



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 000 573.6**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/002769**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/131099**  
(86) PCT-Anmeldetag: **26.01.2017**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.08.2017**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **28.02.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **18.01.2024**

(51) Int Cl.: **H01P 1/04 (2006.01)**  
**G01S 7/02 (2006.01)**  
**G01S 7/03 (2006.01)**  
**H01P 3/123 (2006.01)**  
**H01Q 21/06 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität: <b>2016-015329</b> <b>29.01.2016</b> <b>JP</b>	(72) Erfinder: <b>Kirino, Hideki, Kyoto-city, JP; Kamo, Hiroyuki, Kyoto-shi, JP</b>
(73) Patentinhaber: <b>Nidec Corporation, Kyoto, JP; WGR Co., Ltd., Kyoto-shi, JP</b>	(56) Ermittelte Stand der Technik: <b>EP</b> <b>1 331 688</b> <b>A1</b> <b>EP</b> <b>2 343 774</b> <b>A1</b>
(74) Vertreter: <b>Fleuchaus &amp; Gallo Partnerschaft mbB - Patent- und Rechtsanwälte, 81369 München, DE</b>	

(54) Bezeichnung: **Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung mit der Wellenleitervorrichtung**

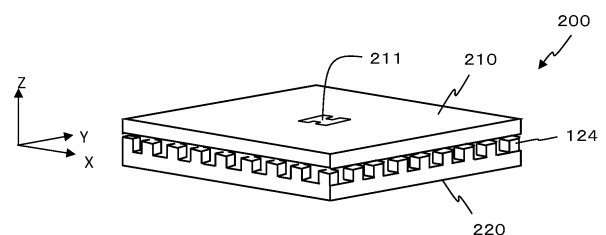
(57) Hauptanspruch: Wellenleitervorrichtung (200) zur Verwendung bei der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle eines Bandes mit einer kürzesten Wellenlänge  $\lambda_m$  im freien Raum, wobei die Wellenleitervorrichtung (200) umfasst:

ein erstes elektrisch leitendes Bauglied (210) mit einer elektrisch leitenden Oberfläche (210a) und einem ersten Durchgangsloch (211);

ein zweites elektrisch leitendes Bauglied (220), das eine Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche (210a) entgegengesetzt ist, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) ein zweites Durchgangsloch (221) hat, welches das erste Durchgangsloch (211), entlang einer axialen Richtung des ersten Durchgangslochs (211) gesehen, überlappt; und

eine elektrisch leitende, wellenleitende Wand (203), die einen Raum zwischen dem ersten Durchgangsloch (211) und dem zweiten Durchgangsloch (221) mindestens teilweise umgibt und von der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) umgeben ist, wobei die wellenleitende Wand (203) eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle zwischen dem ersten Durchgangsloch (211) und dem zweiten Durchgangsloch (221) zulässt, wobei die wellenleitende Wand (203) eine Höhe hat, die kleiner als  $\lambda_m/2$  ist; und

eine Distanz zwischen einem elektrisch leitenden Stab aus der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124), der an die wellenleitende Wand (203) angrenzt, und einem Außenumfang der wellenleitenden Wand kleiner als  $\lambda_m/2$  ist.



**Beschreibung**

[Technisches Gebiet]

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Wellenleitervorrichtung und eine Antennenvorrichtung mit der Wellenleitervorrichtung.

[Stand der Technik]

**[0002]** Beispiele für Wellenleiterstrukturen, die einen künstlichen magnetischen Leiter aufweisen, sind in den Patentdokumenten 1 bis 3 sowie den Nicht-Patentdokumenten 1 und 2 offenbart. Ein künstlicher magnetischer Leiter ist eine Struktur, die die Eigenschaften eines perfekten magnetischen Leiters (PMC), der in der Natur nicht vorkommt, künstlich realisiert. Eine Eigenschaft eines perfekten magnetischen Leiters besteht darin, dass „ein Magnetfeld auf seiner Oberfläche eine Tangentialkomponente von null hat“. Diese Eigenschaft ist entgegengesetzt zu der Eigenschaft eines perfekten elektrischen Leiters (PEC), dass nämlich „ein elektrisches Feld auf seiner Oberfläche eine Tangentialkomponente von null hat“. Obwohl ein perfekter magnetischer Leiter in der Natur nicht vorkommt, ist er durch eine künstliche Struktur ausführbar, z.B. durch ein Array aus einer Vielzahl elektrisch leitender Stäbe. Ein künstlicher magnetischer Leiter funktioniert als perfekter magnetischer Leiter in einem spezifischen Frequenzband, das durch seine Struktur definiert ist. Ein künstlicher magnetischer Leiter beschränkt oder verhindert die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle einer jeden Frequenz, die in dem spezifischen Frequenzband enthalten ist (ausbreitungsbeschränktes Band), entlang der Oberfläche des künstlichen magnetischen Leiters. Daher kann die Oberfläche eines künstlichen magnetischen Leiters als Oberfläche mit hoher Impedanz bezeichnet werden.

**[0003]** Bei den Wellenleitervorrichtungen, die in den Patentdokumenten 1 bis 3 und den Nicht-Patentdokumenten 1 und 2 offenbart sind, ist ein künstlicher magnetischer Leiter durch eine Vielzahl elektrisch leitender Stäbe realisiert, die entlang von Zeilen- und Spaltenrichtungen arrayartig angeordnet sind. Solche Stäbe können auch als Pfeiler oder Stifte bezeichnet werden. Jede dieser Wellenleitervorrichtungen weist als Ganzes ein Paar entgegengesetzter elektrisch leitender Platten auf. Eine leitende Platte hat eine Rippe, die in Richtung der anderen leitenden Platte absteht, und Erstreckungen eines künstlichen magnetischen Leiters, die sich auf beiden Seiten der Rippe erstrecken. Eine obere Fläche der Rippe (d.h. ihre elektrisch leitende Fläche) ist über einen Abstand zu einer leitenden Oberfläche der anderen leitenden Platte entgegengesetzt. Eine elektromagnetische Welle mit einer Wellenlänge, die in dem ausbreitungsbeschränkten Band des künstlichen

magnetischen Leiters enthalten ist, breitet sich entlang der Rippe in dem Raum (Abstand) zwischen dieser leitenden Oberfläche und der oberen Fläche der Rippe aus.

**[0004]** Die EP2343774A1 bezieht sich auf eine Hochfrequenz-Wellenleitervorrichtung und einen Phasenschieber, in dem die Vorrichtung verwendet wird, sowie auf einen Strahler und auf eine elektronische Vorrichtung, in der der Phasenschieber und der Strahler verwendet werden.

**[0005]** Die EP1331688A1 betrifft Wellenleiter und insbesondere, Wellenleiter, die mechanisch bewegbare Teile enthalten, um deren elektrischen Eigenschaften zu verändern.

[Listezitierter Druckschriften]

[Patentliteratur]

[PTL 1] Internationale Veröffentlichung Nr. 2010/050122

[PTL 2] Beschreibung des US-Patents Nr. 8803638

[PTL 3] Beschreibung der europäischen Patentanmeldung Nr. 1331688

[Nicht-Patentliteratur]

[NPL 1] H. Kirino und K. Ogawa, „A 76 GHz Multi-Layered Phased Array Antenna using  $\alpha$  Non-Metal Contact Metamaterial Waveguide“, IEEE Transaction on Antenna and Propagation, Vol. 60, Nr. 2, S. 840-853, Februar 2012

[NPL 2] A. Uz. Zaman und P.-S. Kildal, „Ku Band Linear Slot-Array in Ridge Gap-waveguide Technology“, EUCAP 2013, 7th European Conference on Antenna and Propagation

[Zusammenfassung der Erfindung]

[Technische Aufgabe]

**[0006]** Entsprechend den Wellenleiterstrukturen, die in den Patentdokumenten 1 bis 3 sowie den Nicht-Patentdokumenten 1 und 2 offenbart sind, sind Antennenvorrichtungen realisierbar, die geringere Größe aufweisen als bei der Verwendung eines herkömmlichen Hohlwellenleiters. Mit der Größenverringern der Antennenvorrichtung wird jedoch die Konstruktion eines Speisernetzes zum Zuführen von Leistung zu jedem Antennenelement schwieriger.

**[0007]** Eine Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung stellt eine Wellenleitervorrichtung mit einer neuartigen Speisestruktur bereit, die für eine

Antennenvorrichtung mit geringer Größe geeignet ist.

[Lösung der Aufgabe]

**[0008]** Eine Wellenleitervorrichtung gemäß einer Implementierung der vorliegenden Offenbarung dient zur Verwendung bei der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle eines Bandes mit einer kürzesten Wellenlänge  $\lambda_m$  im freien Raum, wobei die Wellenleitervorrichtung umfasst: ein erstes elektrisch leitendes Bauglied mit einer elektrisch leitenden Oberfläche und einem ersten Durchgangsloch; ein zweites elektrisch leitendes Bauglied, das eine Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche entgegengesetzt ist, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied ein zweites Durchgangsloch hat, welches das erste Durchgangsloch, entlang einer axialen Richtung des ersten Durchgangslochs gesehen, überlappt; und eine elektrisch leitende, wellenleitende Wand, die einen Raum zwischen dem ersten Durchgangsloch und dem zweiten Durchgangsloch mindestens teilweise umgibt und von der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben umgeben ist, wobei die wellenleitende Wand eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle zwischen dem ersten Durchgangsloch und dem zweiten Durchgangsloch zulässt. Die Höhe der wellenleitenden Wand ist kleiner als  $\lambda_m/2$ . Die Distanz zwischen dem elektrisch leitenden Stab aus der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben, der an die wellenleitende Wand angrenzt, und dem Außenumfang der wellenleitenden Wand beträgt weniger als  $\lambda/2$ .

[Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung]

**[0009]** Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung wird das Ausbreiten einer elektromagnetischen Welle durch mindestens eine Wellenleiterschicht über die wellenleitende Wand zugelassen. In einer Schicht oberhalb oder unterhalb dieser Wellenleiterschicht kann eine weitere Wellenleiterschicht oder eine Anregungsschicht vorgesehen sein. Da eine unerwünschte Ausbreitung in einer oder mehreren Zwischenschichten unterdrückt werden kann, bietet die Wellenleitervorrichtung verbesserte Gestaltungsfreiheit.

[Kurze Beschreibung der Zeichnungen]

**[Fig. 1]** Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht, die ein nicht-einschränkendes Beispiel für die Grundkonstruktion einer Wellenleitervorrichtung schematisch zeigt.

**[Fig. 2A]** Fig. 2A ist ein Diagramm, das eine Konstruktion für eine Wellenleitervorrichtung 100 in einem Querschnitt parallel zu der XZ-Ebene schematisch zeigt.

**[Fig. 2B]** Fig. 2B ist ein Diagramm, das eine weitere Konstruktion für die Wellenleitervorrichtung 100 aus FIG. 100 in einem Querschnitt parallel zu der XZ-Ebene schematisch zeigt.

**[Fig. 3]** Fig. 3 ist eine weitere perspektivische Ansicht, die die Konstruktion der Wellenleitervorrichtung 100 schematisch so illustriert, dass die Beabstandung zwischen einem ersten leitenden Bauglied 110 und einem zweiten leitenden Bauglied 120 übertrieben ist.

**[Fig. 4]** Fig. 4 ist ein Diagramm, das einen Beispiel-Abmessungsbereich eines jeden Bauglieds in der in Fig. 2A gezeigten Struktur zeigt.

**[Fig. 5A]** Fig. 5A ist ein Diagramm, das schematisch eine elektromagnetische Welle zeigt, die sich in einem schmalen Raum, d.h. einem Abstand zwischen einer Wellenleiterfläche 122a eines Wellenleiterbauglieds 122 und einer leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110, ausbreitet.

**[Fig. 5B]** Fig. 5B ist ein Diagramm, das einen Querschnitt eines Hohlwellenleiters 130 schematisch zeigt.

**[Fig. 5C]** Fig. 5C ist eine Querschnittsansicht, die eine Implementierung zeigt, bei der zwei Wellenleiterbauglieder 122 auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 vorgesehen sind.

**[Fig. 5D]** Fig. 5D ist ein Diagramm, das einen Querschnitt einer Wellenleitervorrichtung, bei der zwei Hohlwellenleiter 130 nebeneinander angeordnet sind, schematisch zeigt.

**[Fig. 6A]** Fig. 6A ist eine perspektivische Ansicht, welche die Wellenleiterstruktur eines Phasenschiebers zeigt, der in Fig. 7 aus Patentdokument 1 gezeigt ist.

**[Fig. 6B]** Fig. 6B ist eine Querschnittsansicht, welche die Wellenleiterstruktur eines Phasenschiebers zeigt, der in Fig. 8 aus Patentdokument 1 gezeigt ist.

**[Fig. 7A]** Fig. 7A ist eine perspektivische Ansicht, die eine Teilstruktur einer Wellenleitervorrichtung 300 gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Offenbarung schematisch zeigt.

**[Fig. 7B]** Fig. 7B ist eine perspektivische Ansicht, welche die Struktur des ersten leitenden Bauglieds 210 illustriert, das in Fig. 7A auf der zu dem zweiten leitenden Bauglied 220 entgegengesetzten Seite gezeigt ist.

**[Fig. 7C]** Fig. 7C ist eine perspektivische Ansicht, welche die Struktur des zweiten leitenden Bauglieds 220 illustriert, das in Fig. 7A auf der zu dem ersten leitenden Bauglied 210 entgegengesetzten Seite gezeigt ist.

**[Fig. 7D] Fig. 7D** ist ein Diagramm, das schematisch einen Querschnitt der Wellenleitervorrichtung 200 zeigt, der parallel zu der XZ-Ebene und durch die Mitte des Durchgangslochs 211, 221 genommen ist.

**[Fig. 8A] Fig. 8A** ist eine Querschnittsansicht, die eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt.

**[Fig. 8B] Fig. 8B** ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt.

**[Fig. 8C] Fig. 8C** ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt.

**[Fig. 8D] Fig. 8D** ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt.

**[Fig. 8E] Fig. 8E** ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt.

**[Fig. 9A] Fig. 9A** ist ein Diagramm, das eine Beispielform eines X-Y-Querschnitts eines zweiten Abschnitts 203b einer wellenleitenden Wand schematisch zeigt.

**[Fig. 9B] Fig. 9B** ist ein Diagramm, das eine weitere Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt.

**[Fig. 9C] Fig. 9C** ist ein Diagramm, das wiederum eine weitere Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt.

**[Fig. 9D] Fig. 9D** ist ein Diagramm, das wiederum eine weitere Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt.

**[Fig. 10] Fig. 10** ist ein Diagramm, das schematisch eine Beispielverteilung der elektrischen Feldstärke zeigt, die in dem Fall erzeugt wird, in dem die Öffnung H-förmig ist.

**[Fig. 11] Fig. 11** ist ein Diagramm, das eine weitere Beispielkonstruktion für die wellenleitende Wand zeigt.

**[Fig. 12A] Fig. 12A** ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, in dem ein drittes leitendes Bauglied 230 mit einer WRG-Struktur unter dem zweiten leitenden Bauglied 220 vorgesehen ist.

**[Fig. 12B] Fig. 12B** ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, bei dem WRG-Strukturen oberhalb und unterhalb des zweiten leitenden Bauglieds 220 vorgesehen sind.

**[Fig. 13] Fig. 13** ist eine Draufsicht von oben, die das dritte leitende Bauglied 230 aus der positiven Richtung der Z-Achse zeigt.

**[Fig. 14] Fig. 14** ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, in dem eine WRG-Struktur oberhalb des ersten leitenden Bauglieds 210 vorgesehen ist.

**[Fig. 15] Fig. 15** ist eine Draufsicht von oben, die das erste leitende Bauglied 210 in **Fig. 14** aus der positiven Richtung der Z-Achse zeigt.

**[Fig. 16] Fig. 16** ist eine Querschnittsansicht, die eine Beispielkonstruktion zeigt, bei der die Konstruktionen aus **Fig. 12A** und **Fig. 14** kombiniert sind.

**[Fig. 17] Fig. 17** ist eine Querschnittsansicht, die eine Beispielkonstruktion einer Wellenleitervorrichtung 200, die das Ausbreiten elektromagnetischer Wellen unter Auslassung von zwei Schichten schematisch zeigt.

**[Fig. 18] Fig. 18** ist eine Querschnittsansicht, die schematisch eine Beispielkonstruktion zeigt, bei der ein weiterer Wellenleiter in einer Schicht erzeugt ist, in der eine wellenleitende Wand 203 vorgesehen ist.

**[Fig. 19] Fig. 19** ist eine Draufsicht von oben, die das zweite leitende Bauglied 220 in der Wellenleitervorrichtung 200 aus **Fig. 18** aus der positiven Richtung der Z-Achse zeigt.

**[Fig. 20A] Fig. 20A** ist ein Graph, der die Frequenzabhängigkeit von Streuparametern (S-Parametern) in der wellenleitenden Wand der Wellenleitervorrichtung 200 zeigt, die in **Fig. 7A** bis **Fig. 7D** illustriert ist.

**[Fig. 20B] Fig. 20B** ist ein Graph, der die Frequenzabhängigkeit von S-Parametern in dem Fall zeigt, in dem ein angrenzender Anschluss in der Nähe einer wellenleitenden Wand vorgesehen ist.

**[Fig. 21A] Fig. 21A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Antennenvorrichtung (Array-Antenne) zeigt, bei der eine Vielzahl von Schlitzen (Öffnungen) arrayartig angeordnet ist.

**[Fig. 21B] Fig. 21B** ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie B-B in **Fig. 21A**.

**[Fig. 22A] Fig. 22A** ist ein Diagramm, das ein planes Layout von Wellenleiterbaugliedern 122U und leitenden Stäben 124U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 zeigt.

**[Fig. 22B] Fig. 22B** ist ein Diagramm, das ein planes Layout von leitenden Stäben 124M, wellenleitenden Wänden 203 und Durchgangslochern 221 auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 zeigt.

**[Fig. 22C]** **Fig. 22C** ist ein Diagramm, das ein planes Layout eines Wellenleiterbauglieds 122L und leitender Stäbe 124L auf dem dritten leitenden Bauglied 230 zeigt.

**[Fig. 23A]** **Fig. 23A** ist eine Querschnittsansicht, die eine Beispielstruktur zeigt, bei der nur eine Wellenleiterfläche 122a, die eine obere Fläche des Wellenleiterbauglieds 122 bestimmt, elektrisch leitend ist, während jeder andere Abschnitt des Wellenleiterbauglieds 122 außer der Wellenleiterfläche 122a nicht elektrisch leitend ist.

**[Fig. 23B]** **Fig. 23B** ist ein Diagramm, das eine Variante zeigt, bei der das Wellenleiterbauglied 122 nicht auf dem leitenden Bauglied 120 gebildet ist.

**[Fig. 23C]** **Fig. 23C** ist ein Diagramm, das eine Beispielstruktur zeigt, bei der das leitende Bauglied 120, das Wellenleiterbauglied 122 und jeder von der Vielzahl von leitenden Stäben 124 aus einer dielektrischen Oberfläche gebildet sind, die mit einem elektrisch leitenden Material wie etwa einem Metall beschichtet ist.

**[Fig. 23D]** **Fig. 23D** ist ein Diagramm, das eine Beispielstruktur zeigt, bei der dielektrische Schichten 110b und 120b jeweils auf den äußersten Oberflächen von leitenden Baugliedern 110 und 120, einem Wellenleiterbauglied 122 und leitenden Stäben 124 vorgesehen sind.

**[Fig. 23E]** **Fig. 23E** ist ein Diagramm, das eine weitere Beispielstruktur zeigt, bei der dielektrische Schichten 110b und 120b jeweils auf den äußersten Oberflächen von leitenden Baugliedern 110 und 120, einem Wellenleiterbauglied 122 und leitenden Stäben 124 vorgesehen sind.

**[Fig. 23F]** **Fig. 23F** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem die Höhe des Wellenleiterbauglieds 122 niedriger als die Höhe der leitenden Stäbe 124 ist und ein Abschnitt einer leitenden Oberfläche 110a des leitenden Bauglieds 110, die zu der Wellenleiterfläche 122a entgegengesetzt ist, in Richtung des Wellenleiterbauglieds 122 absteht.

**[Fig. 23G]** **Fig. 23G** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem in der Struktur aus **Fig. 23F** ferner Abschnitte der leitenden Oberfläche 110a, die zu den leitenden Stäben 124 entgegengesetzt sind, in Richtung der leitenden Stäbe 124 abstehen.

**[Fig. 24A]** **Fig. 24A** **Fig. 24A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem eine leitende Oberfläche 110a des leitenden Bauglieds 110 als gekrümmte Oberfläche geformt ist.

**[Fig. 24B]** **Fig. 24B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem auch eine leitende Oberfläche 120a des leitenden Bauglieds 120 als gekrümmte Oberfläche geformt ist.

**[Fig. 25]** **Fig. 25** ist ein Diagramm, das ein Eigenfahrzeug 500 und ein voraus befindliches Fahrzeug 502 zeigt, das in derselben Fahrspur wie das Eigenfahrzeug 500 fährt.

**[Fig. 26]** **Fig. 26** ist ein Diagramm, das ein Bordradarsystem 510 des Eigenfahrzeugs 500 zeigt.

**[Fig. 27A]** **Fig. 27** ist ein Diagramm, das ein Verhältnis zwischen einer Array-Antenne AA des Bordradarsystems 510 und mehrerer eintreffender Wellen  $k$  zeigt.

**[Fig. 27B]** **Fig. 27B** ist ein Diagramm, das die Array-Antenne AA zeigt, die die  $k$ -te eintreffende Welle empfängt.

**[Fig. 28]** **Fig. 28** ist ein Blockdiagramm, das eine Beispiel-Grundkonstruktion einer Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 gemäß der vorliegenden Offenbarung zeigt.

**[Fig. 29]** **Fig. 29** ist ein Blockdiagramm, das eine weitere Beispielkonstruktion für die Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 zeigt.

**[Fig. 30]** **Fig. 30** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für eine spezifischere Konstruktion der Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 zeigt.

**[Fig. 31]** **Fig. 31** ist ein Blockdiagramm, das eine detailliertere Beispielkonstruktion des Radarsystems 510 gemäß diesem Anwendungsbeispiel zeigt.

**[Fig. 32]** **Fig. 32** ist ein Diagramm, das die Veränderung der Frequenz eines Sendesignals zeigt, das auf Basis des Signals moduliert ist, welches durch die Dreieckswellen-Generierungsschaltung 581 generiert ist.

**[Fig. 33]** **Fig. 33** ist ein Diagramm, das eine Schwebungsfrequenz  $f_u$  in einer „Anstiegs“-Periode und eine Schwebungsfrequenz  $f_d$  in einer „Abfall“-Periode zeigt.

**[Fig. 34]** **Fig. 34** ist ein Diagramm, das eine Beispielimplementierung zeigt, bei der eine Signalverarbeitungsschaltung 560 in Hardware einschließlich eines Prozessors PR und einer Speichervorrichtung MD implementiert ist.

**[Fig. 35]** **Fig. 35** ist ein Diagramm, das ein Verhältnis zwischen drei Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  zeigt.

**[Fig. 36]** **Fig. 36** ist ein Diagramm, das ein Verhältnis zwischen synthetischen Spektren F1 bis F3 auf einer komplexen Ebene zeigt.

**[Fig. 37]** **Fig. 37** ist ein Ablaufdiagramm, das die Prozedur eines Bestimmungsprozesses für relative Geschwindigkeit und Distanz zeigt.

**[Fig. 38]** **Fig. 38** ist ein Diagramm zu einer zusammengeführten Einrichtung, in der ein Radarsystem 510 mit einer Schlitz-Array-

Antenne und ein Bordkamarasystem 700 enthalten sind.

**[Fig. 39]** **Fig. 39** ist ein Diagramm, das illustriert, wie das Platzieren eines Millimeterwellenradars 510 und eines Bordkamarasystems 700 an im Wesentlichen derselben Position im Fahrzeugraum ermöglichen kann, dass dieselben ein identisches Sichtfeld und eine identische Sichtlinie erfassen, wodurch ein Abgleichprozess erleichtert wird.

**[Fig. 40]** **Fig. 40** ist ein Diagramm, das eine Beispielkonstruktion für ein Überwachungssystem 1500 auf Basis von Millimeterwellenradar zeigt.

**[Fig. 41]** **Fig. 41** ist ein Blockdiagramm, das eine Konstruktion für ein digitales Kommunikationssystem 800A zeigt.

**[Fig. 42]** **Fig. 42** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispielkommunikationssystem 800B zeigt, das einen Sender 810B aufweist, der fähig ist, sein Funkwellenabstrahlungsmuster zu verändern.

**[Fig. 43]** **Fig. 43** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispielkommunikationssystem 800C zeigt, welches eine MIMO-Funktion implementiert.

[Beschreibung von Ausführungsformen]

**[0010]** Bevor Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben werden, erfolgt eine Beschreibung von Feststellungen, welche die Basis der vorliegenden Offenbarung bilden.

**[0011]** Ein Rippenwellenleiter, der jeweils in dem oben genannten Patentedokument 1 und Nicht-Patentedokument 1 offenbart ist, ist in einer Waffeleisenstrukturvorgesehen, die als künstlicher magnetischer Leiter funktionieren kann. Ein Rippenwellenleiter, bei dem ein solcher künstlicher magnetischer Leiter genutzt wird (der nachfolgend als WRG, Waffeleisen-Rippenwellenleiter bezeichnet werden kann), ist fähig zum Realisieren eines Antennenspeisenetzes mit niedrigen Verlusten im Mikrowellen- oder Millimeterwellenband.

**[0012]** **Fig. 1** ist eine perspektivische Ansicht, die ein nicht-einschränkendes Beispiel für eine Grundkonstruktion einer solchen Wellenleitervorrichtung schematisch zeigt. **Fig. 1** zeigt XYZ-Koordinaten entlang der Richtungen X, Y und Z, die zueinander orthogonal verlaufen. Die in der Figur gezeigte Wellenleitervorrichtung 100 weist ein plattenartiges erstes leitendes Bauglied 110 und ein plattenartiges zweites leitendes Bauglied 120 auf, die sich in zueinander entgegengesetzten und parallelen Positionen befinden. Auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 ist eine Vielzahl von leitenden Stäben 124 arrayartig angeordnet.

**[0013]** Es wird darauf hingewiesen, dass jede in einer Figur der vorliegenden Anmeldung dargestellte Struktur in einer Ausrichtung gezeigt ist, die zur einfacheren Erläuterung gewählt ist, was ihre Ausrichtung bei einer tatsächlichen Ausübung einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung in keiner Weise einschränken soll. Zudem sollen Form und Größe eines Ganzen oder eines Teils jedweder Struktur, die in einer Figur gezeigt ist, ihre tatsächliche Form und Größe nicht einschränken.

**[0014]** **Fig. 2A** ist ein Diagramm, das die Konstruktion eines Querschnitts der Wellenleitervorrichtung 100 in **Fig. 1**, parallel zu der XZ-Ebene genommen, schematisch zeigt. Wie in **Fig. 2A** gezeigt, hat das erste leitende Bauglied 110 auf der dem zweiten leitenden Bauglied 120 zugewandten Seite eine leitende Oberfläche 110a. Die leitende Oberfläche 110a hat eine zweidimensionale Ausdehnung entlang einer Ebene, die zu der axialen Richtung (Z-Richtung) der leitenden Stäbe 124 orthogonal verläuft (d.h. einer Ebene, die zu der XY-Ebene parallel ist). Obwohl die leitende Oberfläche 110a in diesem Beispiel als glatte Ebene gezeigt ist, braucht die leitende Oberfläche 110a keine Ebene zu sein, wie noch beschrieben wird.

**[0015]** **Fig. 3** ist eine perspektivische Ansicht, die die Konstruktion der Wellenleitervorrichtung 100 schematisch so zeigt, dass die Beabstandung zwischen dem ersten leitenden Bauglied 110 und dem zweiten leitenden Bauglied 120 zum leichteren Verständnis übertrieben ist. In einer tatsächlichen Wellenleitervorrichtung 100, wie in **Fig. 1** und **Fig. 2A** gezeigt, ist die Beabstandung zwischen dem ersten leitenden Bauglied 110 und dem zweiten leitenden Bauglied 120 schmal, wobei das erste leitende Bauglied 110 alle leitenden Stäbe 124 auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 überdeckt.

**[0016]** Siehe wiederum **Fig. 2A**. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124, die arrayartig auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 angeordnet sind, haben jeweils ein führendes Ende 124a, das zu der leitenden Oberfläche 110a entgegengesetzt ist. Bei dem in der Figur gezeigten Beispiel befinden sich die führenden Enden 124a der Vielzahl von leitenden Stäben 124 auf derselben Ebene. Diese Ebene definiert die Oberfläche 125 eines künstlichen magnetischen Leiters. Jeder leitende Stab 124 braucht nicht vollständig elektrisch leitend zu sein, solange er mindestens eine elektrisch leitende Schicht aufweist, die sich entlang der oberen Fläche und der Seitenfläche der stabartigen Struktur erstreckt. Diese elektrisch leitende Fläche kann zwar an der Oberflächenschicht der stabartigen Struktur angeordnet sein, jedoch kann auch die Oberflächenschicht aus einer Isolierbeschichtung oder einer Harzschicht gebildet sein, ohne dass eine elektrisch leitende Schicht auf der Oberfläche der stabartigen Struktur existiert. Zudem braucht jedes

der zweiten leitenden Bauglieder 120 nicht vollständig elektrisch leitend zu sein, solange es die Vielzahl von leitenden Stäben 124 zu stützen vermag, um einen künstlichen magnetischen Leiter zu bilden. Von den Oberflächen des zweiten leitenden Bauglieds 120 kann eine Fläche 120a, welche die Vielzahl von leitenden Stäben 124 trägt, elektrisch leitend sein, so dass der elektrische Leiter die Oberflächen von benachbarten aus der Vielzahl von leitenden Stäben 124 elektrisch miteinander verbindet. Außerdem kann die elektrisch leitende Schicht des zweiten leitenden Bauglieds 120 mit einer Isolierbeschichtung oder einer Harzschicht bedeckt sein. Anders ausgedrückt: Die gesamte Kombination aus dem zweiten leitenden Bauglied 120 und der Vielzahl von leitenden Stäben 124 kann mindestens eine elektrisch leitende Schicht mit Anstiegen und Senkungen darstellen, die zu der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 entgegengesetzt ist.

**[0017]** Auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 ist ein rippenartiges Wellenleiterbauglied 122 zwischen der Vielzahl der leitenden Stäbe 124 vorgesehen. Insbesondere sind Erstreckungen eines künstlichen magnetischen Leiters in der Weise auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds 122 vorhanden, dass das Wellenleiterbauglied 122 sandwichartig zwischen den Erstreckungen des künstlichen magnetischen Leiters auf beiden Seiten angeordnet ist. Wie aus **Fig. 3** ersichtlich, ist das Wellenleiterbauglied 122 in diesem Beispiel auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 gestützt und erstreckt sich linear entlang der Y-Richtung. Bei dem in der Figur gezeigten Beispiel hat das Wellenleiterbauglied 122 dieselbe Höhe und Breite wie diejenigen der leitenden Stäbe 124. Wie noch beschrieben wird, können Höhe und Breite des Wellenleiterbauglieds 122 jedoch auch andere Werte als die des leitenden Stabes 124 haben. Anders als die leitenden Stäbe 124 erstreckt sich das Wellenleiterbauglied 122 entlang einer Richtung (in diesem Beispiel in der Y-Richtung), in der elektromagnetische Wellen entlang der leitenden Oberfläche 110a zu führen sind. Ebenso braucht das Wellenleiterbauglied 122 nicht vollständig elektrisch leitend zu sein, sondern kann mindestens eine elektrisch leitende Wellenleiterfläche 122a aufweisen, die zu der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 entgegengesetzt ist. Das zweite leitende Bauglied 120, die Vielzahl von leitenden Stäben 124 und das Wellenleiterbauglied 122 können Teile eines kontinuierlichen einstückigen Körpers sein. Darüber hinaus kann das erste leitende Bauglied 110 ebenfalls Teil eines solchen einstückigen Körpers sein.

**[0018]** Auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds 122 lässt der Raum zwischen der Oberfläche 125 einer jeden Erstreckung eines künstlichen magnetischen Leiters und der leitenden Oberfläche 110a

des ersten leitenden Bauglieds 110 keine Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle jedweder Frequenz zu, die innerhalb eines spezifischen Frequenzbands liegt. Dieses Frequenzband wird als „verbotenes Band“ bezeichnet. Der künstliche magnetische Leiter ist so gestaltet, dass die Frequenz (die nachfolgend als die „Betriebsfrequenz“ bezeichnet werden kann) einer elektromagnetischen Welle (die im Folgenden als Signalwelle bezeichnet werden kann) zur Ausbreitung in der Wellenleitervorrichtung 100 in dem verbotenen Band enthalten ist. Das verbotene Band ist auf Basis von Folgendem einstellbar: die Höhe der leitenden Stäbe 124, d.h. die Tiefe einer jeden Vertiefung, die zwischen benachbarten leitenden Stäben 124 gebildet ist; die Breite eines jeden leitenden Stabes 124; das Intervall zwischen den leitenden Stäben 124 sowie die Größe des Abstands zwischen dem führenden Ende 124a und der leitenden Oberfläche 110a eines jeden leitenden Stabes 124.

**[0019]** Als Nächstes werden mit Bezug auf **Fig. 4** Abmessungen, Form, Positionierung und dergleichen eines jeden Bauglieds beschrieben.

**[0020]** **Fig. 4** ist ein Diagramm, das einen Beispiel-Abmessungsbereich eines jeden Bauglieds in der in **Fig. 2A** gezeigten Struktur zeigt. In der vorliegenden Beschreibung bezeichnet  $\lambda_0$  einen repräsentativen Wert für Wellenlängen im freien Raum (z.B. eine Zentralwellenlänge, die einer Mittelfrequenz in dem Betriebsfrequenzband entspricht) einer elektromagnetischen Welle (Signalwelle), die sich in einem Wellenleiter ausbreitet, welcher sich zwischen der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 und der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122 erstreckt. Des Weiteren bezeichnet  $\lambda_m$  eine Wellenlänge, im freien Raum, einer elektromagnetischen Welle der höchsten Frequenz in dem Betriebsfrequenzband. Das Ende eines jeden leitenden Stabes 124, das mit dem zweiten leitenden Bauglied 120 in Kontakt steht, wird als die „Wurzel“ bezeichnet. Wie in **Fig. 4** gezeigt, hat jeder leitende Stab 124 das führende Ende 124a und die Wurzel 124b. Beispiele für Abmessungen, Formen, Positionierung und dergleichen der jeweiligen Bauglieder sind folgende.

#### (1) Breite des leitenden Stabes

**[0021]** Die Breite (d.h. die Größe entlang der X-Richtung und der Y-Richtung) des leitenden Stabes 124 kann auf weniger als  $\lambda_m/2$  eingestellt sein. Innerhalb dieses Bereiches kann das Auftreten von Resonanz der niedrigsten Ordnung entlang der X-Richtung und der Y-Richtung verhindert werden. Da Resonanz möglicherweise nicht nur in der X-Richtung und der Y-Richtung, sondern auch in jeder diagonalen Richtung in einem X-Y-Querschnitt auftreten kann, ist die diagonale Länge eines X-Y-Querschnitts

des leitenden Stabes 124 bevorzugt ebenfalls kleiner als  $\lambda/2$ . Die unteren Grenzwerte für Breite und diagonale Länge des Stabes entsprechen den minimalen Längen, die mit dem gegebenen Fertigungsverfahren erzeugbar sind, sind jedoch nicht in besonderer Weise eingeschränkt.

(2) Distanz von der Wurzel des leitenden Stabes zu der leitenden Oberfläche des ersten leitenden Bauglieds

**[0022]** Die Distanz von der Wurzel 124b eines jeden leitenden Stabes 124 zu der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 kann länger als die Höhe der leitenden Stäbe 124, dabei aber kleiner als  $\lambda/2$  sein. Wenn die Distanz  $\lambda/2$  oder mehr beträgt, kann zwischen der Wurzel 124b eines jeden leitenden Stabes 124 und der leitenden Oberfläche 110a Resonanz auftreten, was die Wirkung der Signalwelleneindämmung verringert.

**[0023]** Die Distanz von der Wurzel 124b eines jeden leitenden Stabes 124 zu der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 entspricht der Beabstandung zwischen dem ersten leitenden Bauglied 110 und dem zweiten leitenden Bauglied 120. Wenn sich beispielsweise eine Signalwelle von  $76,5 \pm 0,5$  GHz (die dem Millimeterband oder dem extrem hohen Frequenzband angehört) in dem Wellenleiter ausbreitet, liegt die Wellenlänge der Signalwelle im Bereich von 3,8923 mm bis 3,9435 mm. Daher ist  $\lambda$  in diesem Fall gleich 3,8923 mm, so dass die Beabstandung zwischen dem ersten leitenden Bauglied 110 und dem zweiten leitenden Bauglied 120 auf weniger als eine Hälfte von 3,8923 mm eingestellt sein kann. Solange das erste leitende Bauglied 110 und das zweite leitende Bauglied 120 eine so schmale Beabstandung realisieren und dabei zueinander entgegengesetzt angeordnet sind, brauchen das erste leitende Bauglied 110 und das zweite leitende Bauglied 120 nicht exakt parallel zu sein. Außerdem kann, wenn die Beabstandung zwischen dem ersten leitenden Bauglied 110 und dem zweiten leitenden Bauglied 120 kleiner als  $\lambda/2$  ist, die Gesamtheit oder ein Teil des ersten leitenden Bauglieds 110 und/oder des zweiten leitenden Bauglieds 120 als gekrümmte Oberfläche geformt sein. Andererseits haben das erste und das zweite leitende Bauglied 110 und 120 jeweils eine plane Form (d.h. die Form ihrer Region, senkrecht auf die XY-Ebene projiziert) und eine plane Größe (d.h. die Größe ihrer Region, senkrecht auf die XY-Ebene projiziert), die je nach Zweckbestimmung beliebig gestaltet sein können.

**[0024]** Obwohl die leitende Oberfläche 120a bei dem in Fig. 2A gezeigten Beispiel als Ebene illustriert ist, sind Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung nicht darauf beschränkt. Wie in Fig. 2B gezeigt, kann es sich bei der leitenden Oberfläche

120a beispielsweise um die unteren Teile von Flächen handeln, die jeweils einen Querschnitt ähnlich einer U-Form oder einer V-Form haben. Die leitende Oberfläche 120a hat eine solche Struktur, wenn jeder leitende Stab 124 oder das Wellenleiterbauglied 122 mit einer Breite geformt ist, die sich in Richtung der Wurzel erhöht. Auch mit einer solchen Struktur kann die in Fig. 2B gezeigte Vorrichtung als die Wellenleitervorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung funktionieren, solange die Distanz zwischen der leitenden Oberfläche 110a und der leitenden Oberfläche 120a kleiner als eine Hälfte der Wellenlänge  $\lambda$  ist.

(3) Distanz L2 von dem führenden Ende des leitenden Stabes zu der leitenden Oberfläche

**[0025]** Die Distanz L2 von dem führenden Ende 124a eines jeden leitenden Stabes 124 zu der leitenden Oberfläche 110a ist auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt. Wenn die Distanz  $\lambda/2$  oder mehr beträgt, kann eine zwischen dem führenden Ende 124a eines jeden leitenden Stabes 124 und der leitenden Oberfläche 110a hin und her bewegte Ausbreitungsmodus entstehen, so dass ein Eindämmen einer elektromagnetischen Welle nicht mehr möglich ist. Es wird darauf hingewiesen, dass von der Vielzahl von leitenden Stäben 124 mindestens bei den zu dem Wellenleiterbauglied 122 benachbarten die führenden Enden nicht in elektrischem Kontakt mit der leitenden Oberfläche 110a stehen. Dass das führende Ende eines leitenden Stabes nicht in elektrischem Kontakt mit der leitenden Oberfläche steht, bedeutet gemäß der vorliegenden Verwendung einen der folgenden Zustände: Zwischen dem führenden Ende und der leitenden Oberfläche besteht ein Luftspalt; oder das führende Ende des leitenden Stabes und die leitende Oberfläche grenzen über eine isolierende Schicht aneinander, die in dem führenden Ende des leitenden Stabes oder in der leitenden Oberfläche existieren kann.

(4) Anordnung und Form der leitenden Stäbe

**[0026]** Der Zwischenraum zwischen zwei benachbarten leitenden Stäben 124 aus der Vielzahl von leitenden Stäben 124 hat beispielsweise eine Breite von weniger als  $\lambda/2$ . Die Breite des Zwischenraums zwischen zwei beliebigen benachbarten leitenden Stäben 124 ist definiert durch die kürzeste Distanz von der Oberfläche (Seitenfläche) eines der zwei leitenden Stäbe 124 zu der Oberfläche (Seitenfläche) des anderen. Diese Breite des Zwischenraums zwischen den Stäben ist so zu bestimmen, dass in den Regionen zwischen den Stäben keine Resonanz der niedrigsten Ordnung auftritt. Die Bedingungen, unter denen Resonanz auftritt, werden auf Basis einer Kombination aus Folgendem bestimmt: die Höhe der leitenden Stäbe 124; die Distanz zwischen zwei beliebigen benachbarten leitenden Stäben sowie die



Kapazität des Luftspalts zwischen dem führenden Ende 124a eines jeden leitenden Stabes 124 und der leitenden Oberfläche 110a. Daher kann die Breite des Zwischenraums zwischen den Stäben in geeigneter Weise nach anderen Gestaltungsparametern bestimmt werden. Obwohl es keine klare Untergrenze für die Breite des Zwischenraums zwischen den Stäben gibt, kann diese zur leichteren Fertigung  $\lambda/16$  oder mehr betragen, wenn eine Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle im extrem hohen Frequenzbereich erfolgen soll. Es wird darauf hingewiesen, dass der Zwischenraum keine konstante Breite zu haben braucht. Solange diese unter  $\lambda/2$  bleibt, kann der Zwischenraum zwischen den leitenden Stäben 124 variieren.

**[0027]** Die Anordnung der Vielzahl von leitenden Stäben 124 ist nicht auf das illustrierte Beispiel beschränkt, solange sie eine Funktion eines künstlichen magnetischen Leiters aufweist. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124 braucht nicht in orthogonalen Zeilen und Spalten angeordnet zu sein; die Zeilen und Spalten können sich auch in anderen Winkeln als 90 Grad überschneiden. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124 braucht kein lineares Array entlang von Zeilen oder Spalten zu bilden, sondern kann eine gestreute Anordnung haben, die keine einfache Regelmäßigkeit zeigt. Die leitenden Stäbe 124 können auch je nach der Position auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 in Form und Größe variieren.

**[0028]** Die Oberfläche 125 des künstlichen magnetischen Leiters, die durch die führenden Enden 124a der Vielzahl von leitenden Stäben 124 gebildet ist, braucht keine exakte Ebene zu sein, sondern kann eine Ebene mit sehr kleinen Anstiegen und Senkungen oder sogar eine gekrümmte Oberfläche sein. Anders ausgedrückt: Die leitenden Stäbe 124 brauchen keine einheitliche Höhe zu haben, vielmehr können die leitenden Stäbe 124 verschieden sein, solange das Array aus leitenden Stäben 124 als künstlicher magnetischer Leiter funktionieren kann.

**[0029]** Jeder leitende Stab 124 braucht keine Prismenform zu haben, wie in der Figur gezeigt, sondern kann beispielsweise auch zylindrische Form haben. Außerdem braucht jeder leitende Stab 124 keine einfache Säulenform zu haben. Der künstliche magnetische Leiter kann auch durch jede andere Struktur als durch ein Array aus leitenden Stäben 124 realisiert sein, und verschiedene künstliche magnetische Leiter sind für die Wellenleitervorrichtung der vorliegenden Offenbarung anwendbar. Es wird darauf hingewiesen, dass, wenn das führende Ende 124a eines jeden leitenden Stabes 124 Prismenform hat, seine diagonale Länge bevorzugt weniger als  $\lambda/2$  beträgt. Wenn das führende Ende 124a eines jeden leitenden Stabes 124 als Ellipse geformt ist, beträgt die Länge ihrer langen Achse bevorzugt weniger als  $\lambda/2$ . Auch bei jeder anderen Form des führenden Endes 124a

beträgt die Abmessung darüber auch an der längsten Position bevorzugt weniger als  $\lambda/2$ .

**[0030]** Die Höhe eines jeden leitenden Stabes 124, d.h. die Länge von der Wurzel 124b zu dem führenden Ende 124a, kann auf einen Wert eingestellt sein, der kürzer als die Distanz (d.h. kleiner als  $\lambda/2$ ) zwischen der leitenden Oberfläche 110a und der leitenden Oberfläche 120a ist, z.B.  $\lambda/4$ .

#### (5) Breite der Wellenleiterfläche

**[0031]** Die Breite der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122, d.h. die Größe der Wellenleiterfläche 122a entlang einer Richtung, die orthogonal zu der Richtung ist, in der sich das Wellenleiterbauglied 122 erstreckt, kann auf weniger als  $\lambda/2$  (z.B.  $\lambda/8$ ) eingestellt sein. Wenn die Breite der Wellenleiterfläche 122a  $\lambda/2$  oder mehr beträgt, tritt Resonanz entlang der Breitenrichtung auf, was bei jedem WRG ein Funktionieren als einfache Übertragungsleitung verhindert.

#### (6) Höhe des Wellenleiterbauglieds

**[0032]** Die Höhe des Wellenleiterbauglieds 122 (d.h. bei dem in der Figur gezeigten Beispiel die Größe entlang der Z-Richtung) ist auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt. Der Grund hierfür ist, dass bei einer Distanz von  $\lambda/2$  oder mehr die Distanz zwischen der Wurzel 124b eines jeden leitenden Stabes 124 und der leitenden Oberfläche 110a  $\lambda/2$  oder mehr beträgt. Ebenso ist die Höhe der leitenden Stäbe 124 (insbesondere derjenigen leitenden Stäbe 124, die zu dem Wellenleiterbauglied 122 benachbart sind) auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt.

#### (7) Distanz L1 zwischen der Wellenleiterfläche und der leitenden Oberfläche

**[0033]** Die Distanz L1 zwischen der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122 und der leitenden Oberfläche 110a ist auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt. Wenn die Distanz  $\lambda/2$  oder mehr beträgt, tritt Resonanz zwischen der Wellenleiterfläche 122a und der leitenden Oberfläche 110a auf, was eine Funktionalität als Wellenleiter verhindert. In einem Beispiel beträgt die Distanz  $\lambda/4$  oder weniger. Um eine einfache Fertigung zu gewährleisten, beträgt die Distanz L1 bevorzugt beispielsweise  $\lambda/16$  oder mehr, wenn sich eine elektromagnetische Welle im extrem hohen Frequenzbereich ausbreiten soll.

**[0034]** Die Untergrenze der Distanz L1 zwischen der leitenden Oberfläche 110a und der Wellenleiterfläche 122a sowie die Untergrenze der Distanz L2 zwischen der leitenden Oberfläche 110a und dem führenden Ende 124a eines jeden leitenden Stabes 124 sind abhängig von der Bearbeitungsgenauigkeit und auch von der Genauigkeit beim Montieren der zwei

oberen/unteren leitenden Bauglieder 110 und 120 in der Weise, dass sie um eine konstante Distanz voneinander entfernt sind. Bei Verwendung einer Press-technik oder einer Spritztechnik beträgt die praktische Untergrenze der genannten Distanz circa 50 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ). Im Fall der Verwendung einer MEMS-Technik (mikro-elektromechanisches System) zur Herstellung eines Produktes z.B. im Terahertzbereich beträgt die Untergrenze für die genannte Distanz circa 2 bis circa 3  $\mu\text{m}$ .

**[0035]** In der Wellenleitervorrichtung 100 mit der oben beschriebenen Konstruktion kann sich eine Signalwelle mit der Betriebsfrequenz nicht in dem Raum zwischen der Oberfläche 125 des künstlichen magnetischen Leiters und der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 ausbreiten, sondern breitet sich in dem Raum zwischen der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122 und der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 aus. Anders als bei einem Hohlwellenleiter braucht die Breite des Wellenleiterbauglieds 122 in einer solchen Wellenleiterstruktur nicht gleich oder größer zu sein als eine Hälfte der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle, deren Ausbreitung erfolgen soll. Zudem brauchen das erste leitende Bauglied 110 und das zweite leitende Bauglied 120 nicht durch eine Metallwand verbunden zu sein, die sich entlang der Dickenrichtung (d.h. parallel zu der YZ-Ebene) erstreckt.

**[0036]** Fig. 5A zeigt schematisch eine elektromagnetische Welle, die sich in einem schmalen Raum, d.h. einem Abstand zwischen der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122 und der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110, ausbreitet. In Fig. 5A zeigen drei Pfeile schematisch die Ausrichtung eines elektrischen Feldes der sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle an. Das elektrische Feld der sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle steht zu der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 und zu der Wellenleiterfläche 122a senkrecht.

**[0037]** Auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds 122 befinden sich Erstreckungen künstlicher magnetischer Leiter, die durch die Vielzahl von leitenden Stäben 124 erzeugt sind. Eine elektromagnetische Welle breitet sich in dem Abstand zwischen der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122 und der leitenden Oberfläche 110a des ersten leitenden Bauglieds 110 aus. Fig. 5A ist schematisch und stellt die Größenordnung eines elektromagnetischen Feldes, das tatsächlich durch die elektromagnetische Welle zu erzeugen ist, nicht akkurat dar. Ein Teil der elektromagnetischen Welle (elektromagnetisches Feld), der sich in dem Raum über der Wellenleiterfläche 122a ausbreitet, kann eine seitliche Ausdehnung aus dem Raum heraus haben, der durch die Breite der Wellenleiterfläche 122a umgrenzt ist

(d.h. dorthin, wo der künstliche magnetische Leiter existiert). In diesem Beispiel breitet sich die elektromagnetische Welle in einer Richtung (Y-Richtung) aus, die zu der Ebene aus Fig. 5A senkrecht ist. Als solches braucht sich das Wellenleiterbauglied 122 nicht linear entlang der Y-Richtung zu erstrecken, sondern kann (eine) Biegung(en) und/oder einen Verzweigungsteil(e), nicht gezeigt, aufweisen. Da die elektromagnetische Welle sich entlang der Wellenleiterfläche 122a des Wellenleiterbauglieds 122 ausbreitet, würde sich die Ausbreitungsrichtung an einer Biegung ändern, während die Ausbreitungsrichtung an einem Verzweigungsabschnitt sich in mehrere Richtungen gabeln würde.

**[0038]** In der Wellenleiterstruktur aus Fig. 5A existiert keine Metallwand (elektrische Wand), die für einen Hohlwellenleiter unerlässlich wäre, auf beiden Seiten der sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle. Daher ist in der Wellenleiterstruktur aus diesem Beispiel „eine Beschränkung aufgrund einer Metallwand (elektrischen Wand)“ nicht in den Grenzbedingungen für die Erzeugung der elektromagnetischen Feldmode durch die sich ausbreitende elektromagnetische Welle enthalten, und die Breite (Größe entlang der X-Richtung) der Wellenleiterfläche 122a ist kleiner als eine Hälfte der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle.

**[0039]** Als Referenz zeigt Fig. 5B schematisch einen Querschnitt eines Hohlwellenleiters 130. Durch Pfeile zeigt Fig. 5B schematisch die Ausrichtung eines elektrischen Feldes einer elektromagnetischen Feldmode ( $\text{TE}_{10}$ ), die in dem inneren Raum 132 des Hohlwellenleiters 130 erzeugt ist. Die Längen der Pfeile entsprechen elektrischen Feldstärken. Die Breite des inneren Raums 132 des Hohlwellenleiters 130 muss breiter als eine Hälfte der Wellenlänge eingestellt sein. Anders ausgedrückt: Die Breite des inneren Raums 132 des Hohlwellenleiters 130 kann nicht kleiner eingestellt sein als eine Hälfte der Wellenlänge der sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle.

**[0040]** Fig. 5C ist eine Querschnittsansicht, die eine Implementierung zeigt, bei der zwei Wellenleiterbauglieder 122 auf dem zweiten leitenden Bauglied 120 vorgesehen sind. Somit besteht zwischen den zwei benachbarten Wellenleiterbaugliedern 122 ein künstlicher magnetischer Leiter, der durch die Vielzahl von leitenden Stäben 124 erzeugt ist. Genauer gesagt, befinden sich Erstreckungen eines künstlichen magnetischen Leiters, der durch die Vielzahl von leitenden Stäben 124 erzeugt ist, auf beiden Seiten eines jeden Wellenleiterbauglieds 122, so dass jedes Wellenleiterbauglied 122 unabhängig eine elektromagnetische Welle ausbreiten kann.

**[0041]** Als Referenz zeigt Fig. 5D schematisch einen Querschnitt einer Wellenleitervorrichtung, bei

der zwei Hohlwellenleiter 130 nebeneinander angeordnet sind. Die beiden Hohlwellenleiter 130 sind elektrisch voneinander isoliert. Jeder Raum, in dem eine elektromagnetische Welle sich ausbreiten soll, muss von einer Metallwand umgeben sein, die den jeweiligen Hohlwellenleiter 130 definiert. Daher kann das Intervall zwischen den inneren Räumen 132, in denen elektromagnetische Wellen sich ausbreiten sollen, nicht kleiner gestaltet sein als eine Gesamtdicke von zwei Metallwänden. Üblicherweise ist eine Gesamtdicke von zwei Metallwänden länger als eine Hälfte der Wellenlänge einer sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle. Das Intervall zwischen den Hohlwellenleitern 130 (d.h. das Intervall zwischen ihren Mitten) kann daher nur schwer kürzer als die Wellenlänge einer sich ausbreitenden elektromagnetischen Welle sein. Insbesondere bei elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen im extrem hohen Frequenzbereich (d.h. Wellenlänge der elektromagnetischen Welle: 10 mm oder kleiner) oder noch kürzeren Wellenlängen ist es schwierig, eine Metallwand zu bilden, die im Verhältnis zur Wellenlänge ausreichend dünn ist. Bei einer gewerblich praktikablen Implementierung stellt dies ein Kostenproblem dar.

**[0042]** Dagegen kann mit einer Wellenleitervorrichtung 100, die einen künstlichen magnetischen Leiter aufweist, leicht eine Struktur realisiert werden, bei der Wellenleiterbauglieder 122 nahe beieinander angeordnet sind. Somit ist eine solche Wellenleitervorrichtung 100 zur Verwendung in einer Array-Antenne geeignet, die mehrere Antennenelemente in einer engen Anordnung aufweist.

**[0043]** Bei der Konstruktion einer Array-Antenne geringer Größe mit der vorgenannten WRG-Struktur ist es wichtig, zu berücksichtigen, wie die einzelnen Antennenelemente gespeist werden sollen. Der Inhalt der Fläche, auf der die Antennenelemente vorgesehen sind, ist auf Basis des Einbauortes und der erforderlichen Antennencharakteristik zu bestimmen. Mit einer Verkleinerung des Inhalts der Fläche, auf der die Antennenelemente vorgesehen sind, aufgrund von Beschränkungen im Zusammenhang mit dem Einbauort und dergleichen, wird die erforderliche Speisung für die einzelnen Antennenelemente über den Wellenleiter schwierig zu erreichen.

**[0044]** Um die gewünschte Speisung für jedes Antennenelement innerhalb eines begrenzten Raumes zu erreichen, würde ein eindimensionaler Rippenwellenleiter wie der in **Fig. 3** gezeigte oder jeder zweidimensionale Rippenwellenleiter nicht ausreichen, und die Konstruktion eines dreidimensionalen Netzwerks aus Speisungswegen (d.h. auf mehreren Ebenen) ist notwendig. Dabei ist es von Bedeutung, wie die Wellenleiter in unterschiedlichen Schichten miteinander zu verbinden sind. In der vorliegenden Beschreibung bedeutet eine „Schicht“ einen zwi-

schen zwei entgegengesetzten leitenden Baugliedern eingefügten laminaren Raum, der eine Region enthält, in der sich elektromagnetische Wellen ausbreiten können. Beispielsweise entspricht der Raum zwischen dem ersten leitenden Bauglied 110 und dem zweiten leitenden Bauglied 120, die in **Fig. 3** gezeigt sind, einer „Schicht“.

**[0045]** Patentdokument 1 offenbart einen Phasenschieber mit einer mehrschichtigen Wellenleiterstruktur. Bei der Beschreibung dieser Struktur wird als Verweis auf Figuren zurückgegriffen, die in Patentdokument 1 offenbart sind.

**[0046]** **Fig. 6A** ist eine perspektivische Ansicht, welche die Wellenleiterstruktur eines Phasenschiebers zeigt, der in **Fig. 7** aus Patentdokument 1 gezeigt ist. Dieser Phasenschieber weist einen oberen Leiter 23 mit einem Durchgangsloch 27b und einen unteren Leiter 22 mit einem Durchgangsloch 27a auf. Der untere Leiter 22 weist eine Rippe 25, die sich entlang der Z-Richtung erstreckt, und um dieselbe eine Vielzahl von säulenartigen Vorsprüngen (Stäben) 24 auf. Das Durchgangsloch 27b und das Durchgangsloch 27a sind an Positionen vorgesehen, die entlang der Z-Richtung voneinander entfernt liegen.

**[0047]** **Fig. 6B** ist eine Querschnittsansicht, welche die Wellenleiterstruktur eines Phasenschiebers zeigt, der in **Fig. 8** aus Patentdokument 1 gezeigt ist. Dieser Phasenschieber hat eine Struktur, die zwei Phasenschieber, wie in **Fig. 6A** gezeigt, verbindet. **Fig. 6B** zeigt einen Querschnitt einer Struktur, in der die Leiter 22a und 22b von zwei Phasenschiebern hintereinander platziert sind, entlang der Rippen 25a und 25b gesehen. Bei diesem Phasenschieber breiten sich elektromagnetische Wellen entlang eines in der Figur gezeigten Weges A-A, über die Durchgangslöcher 27ba, 27aa, 27ab und 27bb aus. Werden die Leiter 22a und 22b in den Richtungen der Pfeilspitzen 30 in der Figur verschoben, so unterliegt eine elektromagnetische Welle, die durch die Durchgangslöcher 27ba, 27aa, 27ab und 27bb passiert, einer Phasenveränderung. Dies ist also als variabler Phasenschieber verwendbar.

**[0048]** Bei der in **Fig. 6A** und **Fig. 6B** gezeigten Konstruktion sind ein Rippenwellenleiter der oberen Schicht und ein Rippenwellenleiter der unteren Schicht über die Durchgangslöcher miteinander verbunden. In der Nähe eines jeden Durchgangslochs ist eine Drosselstruktur 28 oder 29 vorgesehen, die eine Spitze einer Rippe und eine Vielzahl von Vertiefungen aufweist. Infolgedessen werden Verluste an Hochfrequenzenergie unterdrückt, und elektromagnetische Wellen können über die Durchgangslöcher wirksam zwischen den unterschiedlichen Schichten übertragen werden.

**[0049]** Mit der obigen Konstruktion ist ein dreidimensionales Netzwerk aus Speisungswegen realisierbar. Dagegen kann es bei manchen Anwendungen notwendig sein, die Speisung unter Auslassung einer oder mehrerer Schichten zu erreichen. Wenn beispielsweise in einer mittleren Schicht ein weiterer Wellenleiter oder eine Kamera oder andere Strukturen vorgesehen werden müssen, muss eine Speisung über diese Schicht hinaus erreicht werden. Eine solche Konstruktion kann beispielsweise in dem Fall verwendet werden, dass separat ein Speisungsweg als Verbindung zu Sendeantennenelementen und ein Speisungsweg als Verbindung zu Empfangsantennenelementen vorzusehen sind; in dem Fall, dass ein Radarsystem mit Kameras konstruiert werden soll; und so weiter. In einem solchen Fall gab es bislang keine bekannte Struktur, die das Übertragen von elektromagnetischen Wellen unter Auslassung einer oder mehrerer Schichten ermöglichte.

**[0050]** Eine Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung stellt eine neuartige Wellenleiterstruktur bereit, welche die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle über drei oder mehr Schichten zulässt.

**[0051]** Nachfolgend werden spezifischere Beispielkonstruktionen für Wellenleitervorrichtungen gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass unnötig ausführliche Beschreibungen weggelassen sein können. Beispielsweise sind ausführliche Beschreibungen technisch bekannter Sachverhalte oder redundante Beschreibungen von im Wesentlichen gleichen Ausbildungen möglicherweise weggelassen. Hierdurch soll eine übermäßig lange Beschreibung vermieden und dem Fachmann das Verständnis erleichtert werden. Die beigefügten Zeichnungen und die folgende Beschreibung, die von den Erfindern vorgelegt werden, um dem Fachmann ein ausreichendes Verständnis der vorliegenden Offenbarung zu ermöglichen, sollen den Umfang der Ansprüche nicht einschränken.

<Ausführungsform 1: Wellenleitervorrichtung>

**[0052]** Fig. 7A ist eine perspektivische Ansicht, die einen Abschnitt einer Wellenleitervorrichtung 200 gemäß einer illustrativen Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung schematisch zeigt. Die Wellenleitervorrichtung 200 weist ein erstes leitendes Bauglied 210 und ein zweites leitendes Bauglied 220 auf. Das erste leitende Bauglied 210 und das zweite leitende Bauglied 220 sind an einem Umfangsabschnitt, nicht dargestellt, aneinander fixiert, so dass sie über einen Abstand zueinander entgegengesetzt sind. Fig. 7A zeigt XYZ-Koordinaten entlang der Richtungen X, Y und Z, die zueinander orthogonal verlaufen. Das erste leitende Bauglied 210 und das zweite leitende Bauglied 220

erstrecken sich entlang der XY-Ebene. Um den in Fig. 7A gezeigten Abschnitt kann die Wellenleitervorrichtung 200 eine WRG-Struktur ähnlich derjenigen der Wellenleitervorrichtung 100 haben, die mit Bezug auf Fig. 1 bis Fig. 4 beschrieben ist. Mit einer solchen Struktur kann beispielsweise zugelassen werden, dass entweder die Sendewelle oder die Empfangswelle sich entlang der vertikalen Richtung (der Richtung der Z-Achse) über das Durchgangsloch 211 in dem ersten leitenden Bauglied 210 ausbreitet, während eine Ausbreitung der anderen über die WRG-Struktur in dem Umfangsabschnitt zugelassen ist. Die elektromagnetische Welle, die sich entlang der vertikalen Richtung über das Durchgangsloch 211 in dem ersten leitenden Bauglied 210 ausgebreitet hat, kann weiterhin durch die WRG-Struktur in der anderen Schicht ausgebreitet werden, wie noch beschrieben wird.

**[0053]** Fig. 7B ist eine perspektivische Ansicht, welche die Struktur des ersten leitenden Bauglieds 210 illustriert, das in Fig. 7A auf der Seite gegenüber dem zweiten leitenden Bauglied 220 gezeigt ist. Das erste leitende Bauglied 210 weist einen Vorsprung 203a um das erste Durchgangsloch 211 auf. Das erste leitende Bauglied 210, die innere Wand des ersten Durchgangslochs 211 und der Vorsprung 203a haben eine elektrisch leitende Oberfläche.

**[0054]** Fig. 7C ist eine perspektivische Ansicht, welche die Struktur des zweiten leitenden Bauglieds 220 illustriert, das in Fig. 7A auf der Seite gegenüber dem ersten leitenden Bauglied 210 gezeigt ist. Das zweite leitende Bauglied 220 weist ein zweites Durchgangsloch 221, einen Vorsprung 203b um das zweite Durchgangsloch 221 und eine Vielzahl von leitenden Stäben 124 auf, die den Vorsprung 203b umgeben. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124 ist in einem Matrix-Array entlang der X-Richtung und der Y-Richtung angeordnet. Es wird darauf hingewiesen, dass die Vielzahl von leitenden Stäben 124 kein lineares Array entlang von Zeilen oder Spalten zu bilden braucht, sondern eine gestreute Anordnung haben kann, die keine einfache Regelmäßigkeit zeigt. Die innere Wand des Durchgangslochs 221, der Vorsprung 203b und die Vielzahl von leitenden Stäben 124 haben eine elektrisch leitende Oberfläche.

**[0055]** Fig. 7D ist ein Diagramm, das schematisch einen Querschnitt der Wellenleitervorrichtung 200 zeigt, der parallel zu der XZ-Ebene und durch die Mitte des Durchgangslochs 211, 221 genommen ist. In Fig. 7D und jeder weiteren Querschnittsansicht sind nur die Vorsprünge 203a und 203b zur Hervorhebung schraffiert gezeigt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Vorsprünge 203a und 203b, die Vielzahl von leitenden Stäben 124, das erste leitende Bauglied 210 und das zweite leitende Bauglied 220 aus diskreten Teilen zusammengesetzt sein können oder gemeinsam ein einziges verbundenes Teil bil-

den können. In dem Fall, dass diese Bestandteile miteinander zu einem einzigen Teil verbunden sind, bestehen keine klaren Begrenzungen zwischen den Bestandteilen; zum leichteren Verständnis sind jedoch in **Fig. 7D** und nachfolgenden Figuren durch Linien Begrenzungen zwischen Bestandteilen angezeigt.

**[0056]** Wie in **Fig. 7D** gezeigt, sind eine obere Oberfläche 203at des Vorsprungs 203a des ersten leitenden Bauglieds 210 und eine obere Oberfläche 203bt des Vorsprungs 203b des zweiten leitenden Bauglieds 220 zueinander mit einem Abstand dazwischen entgegengesetzt. Die Vorsprünge 203a und 203b funktionieren als wellenleitende Wand, um die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Inneren zuzulassen. Daher können die Vorsprünge 203a und 203b in der vorliegenden Beschreibung zusammen als die „wellenleitende Wand 203“ bezeichnet sein. Im Folgenden wird der Vorsprung 203a des ersten leitenden Bauglieds 210 als „erster Abschnitt“ der wellenleitenden Wand und der Vorsprung 203b des zweiten leitenden Bauglieds 220 als „zweiter Abschnitt“ der wellenleitenden Wand bezeichnet.

**[0057]** Das erste Durchgangsloch 211 erstreckt sich entlang einer Achse 211a durch das erste leitende Bauglied 210. Die Achse 211a wird als „Achse des ersten Durchgangslochs“ bezeichnet. Das zweite Durchgangsloch 221 erstreckt sich entlang einer Achse 221a durch das zweite leitende Bauglied 220. Die Achse 221a wird als „Achse des zweiten Durchgangslochs“ bezeichnet. Das zweite Durchgangsloch 221 ist so angeordnet, dass es, entlang der axialen Richtung des ersten Durchgangslochs 211 gesehen, eine Überlappung mit dem ersten Durchgangsloch 211 aufweist. Wie hier verwendet, schließt „Überlappung“ nicht nur eine vollständige Überlappung, sondern auch jede teilweise Überlappung ein. Anders ausgedrückt: Wenn das erste Durchgangsloch 221 in der Richtung der Achse 211a von der Seite gesehen wird, auf der das zweite leitende Bauglied 220 nicht vorgesehen ist, überlappen sich das erste Durchgangsloch 211 und das zweite Durchgangsloch 221 mindestens teilweise. In der vorliegenden Ausführungsform ist die leitende Oberfläche 210a des ersten leitenden Bauglieds 210 plan. Das erste Durchgangsloch 211 erstreckt sich senkrecht zu der leitenden Oberfläche 210a durch das erste leitende Bauglied 210. Das zweite Durchgangsloch 221 erstreckt sich entlang der axialen Richtung des ersten Durchgangslochs 221a durch das zweite leitende Bauglied 220. Anders ausgedrückt: Die Achse 211a des ersten Durchgangslochs 211 und die Achse 221a des zweiten Durchgangslochs 221 falten zusammen. Die Achsen 211a und 221a können jedoch, ohne auf eine solche Konstruktion beschränkt zu sein, auch leicht versetzt sein. Außerdem können die Richtungen der Achsen 211a

und 221a in Bezug auf die Z-Achse leicht geneigt sein.

**[0058]** In der vorliegenden Ausführungsform haben das erste Durchgangsloch 211, der erste Abschnitt 203a und der zweite Abschnitt 203b der wellenleitenden Wand sowie die innere Wand des zweiten Durchgangslochs 221 jeweils eine X-Y-Querschnittsform, die ungeachtet einer Position entlang der Z-Richtung unveränderlich ist. Ohne Beschränkung auf eine solche Implementierung können jedoch stattdessen auch ein Durchgangsloch oder eine wellenleitende Wand verwendet werden, deren X-Y-Querschnittsform an unterschiedlichen Positionen entlang der Z-Richtung variiert.

**[0059]** Ähnlich wie jedes andere Bauglied braucht die wellenleitende Wand (der erste Abschnitt 203a und der zweite Abschnitt 203b) nicht zur Gänze elektrisch leitend zu sein, solange mindestens die Oberfläche derselben aus einem elektrisch leitenden Material gebildet ist. Solange die wellenleitende Wand mindestens einen Abschnitt des Raums zwischen dem ersten Durchgangsloch 211 und dem zweiten Durchgangsloch 221 umgibt, braucht sie diesen Raum nicht vollständig zu umgeben. Die wellenleitende Wand ermöglicht die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zwischen dem ersten Durchgangsloch 211 und dem zweiten Durchgangsloch 221.

**[0060]** Die Wellenleitervorrichtung 200 wird zur Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen eines Bandes mit einer Zentralwellenlänge  $\lambda_0$  und einer kürzesten Wellenlänge  $\lambda_m$  im freien Raum verwendet. Die Wellenlänge  $\lambda_0$  kann beispielsweise eine Wellenlänge im Millimeterwellenband sein (gleich oder größer als 1 mm und kleiner als 10 cm) und beträgt in der vorliegenden Ausführungsform circa 4 mm. Eine Summe aus der Höhe des ersten Abschnitts 203a und der Höhe des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand und der Länge des Abstands dazwischen beträgt weniger als  $\lambda_m/2$ . Wie hier verwendet, bedeutet die „Höhe des ersten Abschnitts 203a“ die Distanz von der Wurzel (d.h. dem Abschnitt der Verbindung mit dem ersten leitenden Bauglied 210) zu der oberen Oberfläche 203at des ersten Abschnitts 203a. Die „Höhe des zweiten Abschnitts 203b“ bedeutet die Distanz von der Wurzel (d.h. dem Abschnitt der Verbindung mit dem zweiten leitenden Bauglied 220) zu der oberen Oberfläche 203bt des zweiten Abschnitts 203b. Die „Länge des Abstands“ bedeutet die Länge des Abstands zwischen dem ersten Abschnitt 203a und dem zweiten Abschnitt 203b entlang der Z-Richtung. Wenn die wellenleitende Wand wie in der vorliegenden Ausführungsform in den ersten Abschnitt 203a und den zweiten Abschnitt 203b unterteilt ist, ist eine Summe aus der Höhe des ersten Abschnitts 203a und der Höhe des zweiten Abschnitts 203b als die

„Höhe der wellenleitenden Wand“ definiert. Wie noch beschrieben wird, hat die wellenleitende Wand möglicherweise nur einen von dem ersten Abschnitt 203a und dem zweiten Abschnitt 203b. In diesem Fall definiert die Höhe dieses einen Abschnitts die „Höhe der wellenleitenden Wand“. Ohne Beschränkung auf die obige Konstruktion kann jede Konstruktion verwendet werden, bei der die Höhe der wellenleitenden Wand weniger als  $\lambda m/2$  beträgt. Infolgedessen kann eine Reflexion von Signalwellen, die durch die wellenleitende Wand passieren, unterdrückt werden, wodurch eine wirksame Ausbreitung von Signalwellen erreicht werden kann. Die vorliegende Ausführungsform bietet den Vorteil einer leichten Fertigung, da zwischen dem ersten Abschnitt 203a und dem zweiten Abschnitt 203b der wellenleitenden Wand ein Abstand besteht, so dass kein Kontakt dazwischen sichergestellt zu werden braucht.

**[0061]** Die Dicke der wellenleitenden Wand an den oberen Oberflächen 203at und 203bt beträgt weniger als  $\lambda m/2$ . Diese Bedingung besteht, um das Auftreten von Resonanz der niedrigsten Ordnung entlang der oberen Oberflächen 203at und 203bt der wellenleitenden Wand zu verhindern. Dies beschränkt ein Lecken elektromagnetischer Wellen außerhalb der wellenleitenden Wand. In der vorliegenden Beschreibung ist die „Dicke an einer oberen Oberfläche“ definiert als die größte Distanz unter kürzesten Distanzen von verschiedenen Punkten entlang des Innenumfangs zu dem Außenumfang der oberen Oberfläche.

**[0062]** In der vorliegenden Ausführungsform ist die Höhe des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand größer als die Höhe des ersten Abschnitts 203a und ist gleich der Höhe der umliegenden leitenden Stäbe 124. Daher können der erste Abschnitt 203a der wellenleitenden Wand und die Vielzahl von leitenden Stäben 124 auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 durch ein einfaches Verfahren gebildet sein; jedoch ist diese Implementierung nicht einschränkend. Nachfolgend werden weitere Beispielkonstruktionen für die wellenleitende Wand beschrieben.

**[0063]** Fig. 8A ist eine Querschnittsansicht, die eine weitere Beispielkonstruktion für die wellenleitende Wand zeigt. In diesem Beispiel ist die Höhe des ersten Abschnitts 203a der wellenleitenden Wand größer als die Höhe des zweiten Abschnitts 203b. Auch in diesem Beispiel besteht ein Abstand zwischen dem ersten Abschnitt 203a und dem zweiten Abschnitt 203b. Daher ist die Dicke der wellenleitenden Wand an den oberen Oberflächen 203at und 203bt auf weniger als  $\lambda m/2$  eingestellt. Um das Lecken elektromagnetischer Wellen weiter zu verringern, beträgt eine Summe aus der Dicke der wellenleitenden Wand an den oberen Oberflächen 203at und 203bt, einer Hälfte der Breite des Raums zwi-

schen der wellenleitenden Wand und einem leitenden Stab 124 und einer Länge, die sich aus der Subtraktion der Höhe des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand von der Höhe des leitenden Stabes 124 ergibt (d.h. der Längen der in Fig. 8A gezeigten Pfeile) weniger als  $\lambda m/2$ . Infolgedessen kann das Auftreten einer Resonanz der niedrigsten Ordnung in der Region von der Mündung des Abstands der wellenleitenden Wand zu dem führenden Ende des leitenden Stabes 124 verhindert werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die in Fig. 7D gezeigte Konstruktion auch so gestaltbar ist, dass ähnliche Bedingungen erfüllt sind.

**[0064]** Fig. 8B ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für die wellenleitende Wand zeigt. In diesem Beispiel ist eine einzige, ungeteilte wellenleitende Wand 203 mit sowohl dem ersten leitenden Bauglied 210 als auch dem zweiten leitenden Bauglied 220 verbunden. In diesem Beispiel ist eine Summe aus der Höhe der wellenleitenden Wand 203, der Dicke des ersten leitenden Bauglieds 210 und der Dicke des zweiten leitenden Bauglieds 220 so gestaltet, dass sie weniger als  $\lambda m/2$  beträgt. Anders ausgedrückt: Die Länge entlang der Z-Richtung des Raumes, der von dem ersten Durchgangsloch 211, der wellenleitenden Wand 203 und dem zweiten Durchgangsloch 221 umgeben ist, ist so gestaltet, dass sie weniger als  $\lambda m$  beträgt. Infolgedessen wird das Auftreten von Resonanz der niedrigsten Ordnung verhindert, und ein Energieverlust durch Reflexion beim Passieren durch das erste Durchgangsloch 211, die wellenleitende Wand und das zweite Durchgangsloch 221 kann verringert werden. In diesem Beispiel bestehen keine besonderen Einschränkungen hinsichtlich der Dicke der wellenleitenden Wand 203.

**[0065]** Fig. 8C ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt. In diesem Beispiel weist die wellenleitende Wand nur einen zweiten Abschnitt 203b auf, der mit dem zweiten leitenden Bauglied 220 in Verbindung steht. In diesem Beispiel ist die Höhe der wellenleitenden Wand (des zweiten Abschnitts 203b) gleich der Höhe der leitenden Stäbe 124; jedoch können sie auch unterschiedlich sein. Es besteht ein Abstand zwischen der wellenleitenden Wand (dem zweiten Abschnitt 203b) und dem ersten leitenden Bauglied 210. Um ein Lecken der Energie elektromagnetischer Wellen durch den Abstand einzuschränken, ist die Dicke der wellenleitenden Wand (des zweiten Abschnitts 203b) an der oberen Oberfläche auf weniger als  $\lambda m/2$  eingestellt.

**[0066]** Fig. 8D ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt. In diesem Beispiel weist die wellenleitende Wand nur einen ersten Abschnitt 203a auf, der mit dem ersten leitenden Bauglied

210 in Verbindung steht. Es besteht ein Abstand zwischen der wellenleitenden Wand (dem ersten Abschnitt 203a) und dem zweiten leitenden Bauglied 220. Um ein Lecken der Energie elektromagnetischer Wellen durch den Abstand zu verhindern, ist die Dicke der wellenleitenden Wand (des ersten Abschnitts 203a) an der oberen Oberfläche auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt.

**[0067]** Fig. 8E ist eine Querschnittsansicht, die wiederum eine weitere Beispielkonstruktion für eine wellenleitende Wand zeigt. In diesem Beispiel weist die wellenleitende Wand 203 nur einen einzigen Abschnitt auf, der weder mit dem ersten leitenden Bauglied 210 noch mit dem zweiten leitenden Bauglied 220 verbunden ist. Durch ein nicht gezeigtes Bauglied ist die wellenleitende Wand 203 an dem ersten leitenden Bauglied 210 und dem zweiten leitenden Bauglied 220 fixiert. Es besteht ein Abstand zwischen der wellenleitenden Wand 203 und dem ersten leitenden Bauglied 210, und auch zwischen der wellenleitenden Wand 203 und dem zweiten leitenden Bauglied 220. Um ein Lecken der Energie elektromagnetischer Wellen durch den Abstand zu verhindern, ist die Dicke der wellenleitenden Wand 203 an der oberen Oberfläche auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt. In diesem Beispiel bezeichnet die obere Oberfläche der wellenleitenden Wand 203 sowohl eine Fläche, die zu der leitenden Oberfläche 210a des ersten leitenden Bauglieds 210 entgegengesetzt ist, als auch eine Fläche, die zu der leitenden Oberfläche 220a des zweiten leitenden Bauglieds 220 entgegengesetzt ist.

**[0068]** In jeder der vorgenannten Konstruktionen ist die Distanz zwischen dem einen aus der Vielzahl von leitenden Stäben 124, der angrenzend (d.h. am nächsten) an der wellenleitenden Wand gelegen ist, und dem Außenumfang der wellenleitenden Wand auf weniger als  $\lambda/2$  eingestellt. Mindestens eines von dem ersten leitenden Bauglied 210 und dem zweiten leitenden Bauglied 220 und die wellenleitende Wand können einen einzigen, verbundenen Teil bilden. Anders ausgedrückt: Bei mindestens einem von dem ersten leitenden Bauglied 210 und dem zweiten leitenden Bauglied 220 sowie der wellenleitenden Wand kann es sich um Abschnitte eines einstückigen Körpers handeln. In einer Konstruktion, in der die wellenleitende Wand in den ersten Abschnitt 203a und den zweiten Abschnitt 203b geteilt ist, können das erste leitende Bauglied 210 und der erste Abschnitt 203a Abschnitte eines einstückigen Körpers sein, während das zweite leitende Bauglied 220 und der zweite Abschnitt 203b Abschnitte eines anderen einstückigen Körpers sein können. Ein solcher einstückiger Körper kann ein einziges Teil sein, das aus demselben Material hergestellt ist und durch Schritte wie beispielsweise Schneiden, Ziehen oder Formen erzeugt ist. Ein einstückiger Körper kann beispielsweise mithilfe eines

3D-Druckers erzeugt sein. Jede solche Konstruktion, in der die Teilelemente nicht klar gegeneinander abgegrenzt sind, ist ebenfalls in Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung enthalten.

**[0069]** Als Nächstes werden Beispiel-Querschnittsformen der wellenleitenden Wand und der Durchgangslöcher 211 und 221 beschrieben.

**[0070]** Fig. 9A ist ein Diagramm, das eine Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt. Der erste Abschnitt 203a und die Durchgangslöcher 211 und 221 haben ebenfalls ähnliche Querschnittsformen. In diesem Beispiel haben der erste Abschnitt 203a der wellenleitenden Wand, der zweite Abschnitt 203b der wellenleitenden Wand und die innere Wandfläche eines jeden der Durchgangslöcher 211 und 221 zwei Vorsprünge 203r, die einwärts abstehen. Die Öffnung hat eine Querschnittsform, die dem Buchstaben „H“ ähnlich ist, mit einem lateralen Abschnitt 203T, der sich entlang der X-Richtung erstreckt, und einem Paar vertikaler Abschnitte 203L, die sich von beiden Enden des lateralen Abschnitts entlang der Y-Richtung erstrecken. Obwohl die vertikalen Abschnitte 203L sich in diesem Beispiel senkrecht zu dem lateralen Abschnitt 203T erstrecken, ist dies nicht notwendigerweise der Fall. Allgemeiner erstrecken sich die vertikalen Abschnitte 203L entlang einer Richtung, welche die Richtung schneidet, in der sich der laterale Abschnitt 203T erstreckt. Im Folgenden kann eine solche Form als H-Form oder Doppelvorsprungsform bezeichnet sein. Obwohl Fig. 9A den lateralen Abschnitt 203T der H-Form als parallel zu der Richtung der X-Achse illustriert, kann der laterale Abschnitt 203T auch in Bezug auf die Richtung der X-Achse geneigt sein. Die Querschnittsform der Öffnung kann so gestaltet sein, dass eine Länge, die das Doppelte der Länge entlang des lateralen Abschnitts 203T / vertikalen Abschnitts 203L von dem Mittelpunkt (d.h. dem Mittelpunkt des lateralen Abschnitts 203T) zu einem Ende (d.h. einem der beiden Enden eines vertikalen Abschnitts 203L) der H-Form beträgt, gleich oder größer als  $\lambda/2$  ist. Infolgedessen funktioniert die wellenleitende Wand als Hohlwellenleiter und erlaubt die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen hauptsächlich entlang des Vorsprungpaars 203r (lateraler Abschnitt 203T). Durch die Verwendung einer H-Form kann die Größe der Öffnung entlang der Richtung des lateralen Abschnitts 203T verringert werden. Die Dicke der wellenleitenden Wand an einer Mitte des lateralen Abschnitts 203T (d.h. die Dicke entlang der Y-Richtung des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand, wo dieselbe einen Vorsprung 203r aufweist) beträgt bevorzugt  $\lambda/4$  oder nicht weniger als das 0,8-fache von  $\lambda/4$  und nicht mehr als das 1,2-fache von  $\lambda/4$ . Durch die Verwendung dieses Abmessungsbereichs

kann ein Lecken elektromagnetischer Wellen aus den Durchgangslöchern besser unterdrückt werden.

**[0071]** Fig. 9B ist ein Diagramm, das eine weitere Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt. Der erste Abschnitt 203a und die Durchgangslöcher 211 und 221 haben ebenfalls ähnliche Querschnittsformen. In diesem Beispiel haben das erste Durchgangsloch, das zweite Durchgangsloch und die wellenleitende Wand jeweils eine Querschnittsform entlang der leitenden Oberfläche 210a, die in einer Richtung verlängert ist (verlängerte Form), so dass jedes nur einen lateralen Abschnitt 203T hat. Ohne Beschränkung auf eine rechteckige Form können bei einer solchen Form auch beide Enden abgerundet sein, z.B. in Form einer Ellipse. Da eine solche Form dem Buchstaben „I“ ähnelt, kann sie als I-Form bezeichnet werden. Die Abmessung der Öffnung entlang ihrer Längsrichtung (der X-Richtung) ist auf einen Wert von mehr als  $\lambda/2$  eingestellt. Die ergibt zwar eine Vergrößerung entlang der Längsrichtung (die in dem Beispiel aus Fig. 9B die X-Richtung ist) gegenüber der Struktur aus Fig. 9A, jedoch ist die Öffnungsform vereinfacht. Die Abmessung von dem Rand des Durchgangslochs zu dem Rand der längeren Seite des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand entlang der Y-Richtung beträgt bevorzugt  $\lambda/4$  oder nicht weniger als das 0,8-fache von  $\lambda/4$  und nicht mehr als das 1,2-fache von  $\lambda/4$ . Durch die Verwendung dieses Abmessungsbereichs kann ein Lecken elektromagnetischer Wellen aus den Durchgangslöchern besser unterdrückt werden.

**[0072]** Fig. 9C ist ein Diagramm, das wiederum eine weitere Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt. Der erste Abschnitt 203a und die Durchgangslöcher 211 und 221 haben ebenfalls ähnliche Querschnittsformen. In diesem Beispiel haben der erste Abschnitt 203a der wellenleitenden Wand, der zweite Abschnitt 203b der wellenleitenden Wand und die inneren Wandflächen der Durchgangslöcher 211 und 221 jeweils einen Vorsprung 203r, der einwärts absteht. Eine solche Form kann als Einzelsprungsform bezeichnet sein. Da die innere Wandfläche der wellenleitenden Wand somit mindestens einen Vorsprung 203r hat, der einwärts absteht, ist die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen entlang des Vorsprungs bzw. der Vorsprünge 203r möglich. Auch im Fall einer Einzelsprungsform können jedoch ein oder mehrere Vorsprünge an der äußeren Wandoberfläche der wellenleitenden Wand vorgesehen sein. In dem Beispiel aus Fig. 9C hat auf der Seite, die zu der Seite mit dem Vorsprung 203r entgegengesetzt ist, die äußere Wandoberfläche der wellenleitenden Wand einen äußeren Vorsprung 203r2, der nach außen absteht. In diesem Beispiel ist die Breite des äußeren Vorsprungs 203r2 entlang

der X-Richtung größer als die Breite des Vorsprungs 203r entlang der X-Richtung. Es kann jedoch auch eine Struktur verwendet werden, bei welcher der äußere Vorsprung 203r2 im Wesentlichen die gleiche Breite wie der Vorsprung 203r hat. Die Öffnung in diesem Beispiel hat einen lateralen Abschnitt 203T, der sich entlang der X-Richtung erstreckt, und ein Paar vertikaler Abschnitte 203L, die sich in der +Y-Richtung gleichermaßen von beiden Enden des lateralen Abschnitts 203T erstrecken. In diesem Beispiel ist die Länge entlang des Pairs vertikaler Abschnitte 203L und des lateralen Abschnitts 203T von einem Ende des einen vertikalen Abschnitts 203L (dem oberen rechten Ende in Fig. 9C) zu einem Ende des anderen vertikalen Abschnitts 203L (dem oberen linken Ende in Fig. 9C) mit einem Wert gestaltet, der größer als  $\lambda/2$  ist. Die Dicke der wellenleitenden Wand an einer Mitte des lateralen Abschnitts 203T (d.h. die Dicke entlang der Y-Richtung des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand, wo dieselbe den Vorsprung 203r aufweist) beträgt bevorzugt  $\lambda/4$  oder nicht weniger als das 0,8-fache von  $\lambda/4$  und nicht mehr als das 1,2-fache von  $\lambda/4$ . Auch die Abmessung von dem Rand des Durchgangslochs zu dem Rand der längeren Seite des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand entlang der Y-Richtung beträgt bevorzugt  $\lambda/4$  oder nicht weniger als das 0,8-fache von  $\lambda/4$  und nicht mehr als das 1,2-fache von  $\lambda/4$ . Durch die Verwendung dieses Abmessungsbereichs kann ein Lecken elektromagnetischer Wellen aus den Durchgangslöchern besser unterdrückt werden.

**[0073]** Fig. 9D ist ein Diagramm, das wiederum eine weitere Beispielform eines X-Y-Querschnitts des zweiten Abschnitts 203b der wellenleitenden Wand schematisch zeigt. Der erste Abschnitt 203a und die Durchgangslöcher 211 und 221 haben ebenfalls ähnliche Querschnittsformen. Die Querschnittsform hat in diesem Beispiel einen lateralen Abschnitt 203T, der sich entlang der X-Richtung erstreckt, und ein Paar vertikaler Abschnitte 203L, die sich von beiden Enden des lateralen Abschnitts 203T in jeweils unterschiedlichen Richtungen (d.h. in der positiven +Z-Richtung und der -Z-Richtung) erstrecken. Da eine solche Form dem Buchstaben „Z“ oder einem umgedrehten „Z“ ähnelt, kann sie als Z-Form bezeichnet werden. Die Querschnittsform der Öffnung kann so gestaltet sein, dass eine Länge, die das Doppelte der Länge entlang des lateralen Abschnitts 203T / vertikalen Abschnitts 203L von dem Mittelpunkt (d.h. dem Mittelpunkt des lateralen Abschnitts 203T) zu einem Ende (d.h. einem der beiden Enden eines vertikalen Abschnitts 203L) der Z-Form beträgt, gleich oder größer als  $\lambda/2$  ist.

**[0074]** Fig. 10 ist ein Diagramm, das schematisch eine Beispielform der elektrischen Feldstärke zeigt, die in dem Fall erzeugt wird, in dem die Öffnung H-förmig ist. Während eine elektromagnetische



Welle sich entlang der wellenleitenden Wand ausbreitet, kann in der wellenleitenden Wand ein elektrisches Feld erzeugt werden, wie in **Fig. 10** illustriert. In **Fig. 10** sind elektrische Feldrichtungen durch Pfeile angezeigt, wobei die elektrische Feldstärke durch die Pfeillänge angezeigt ist. Das elektrische Feld ist zwischen den paarweisen Vorsprüngen relativ stark, in den Abschnitten um die Vorsprünge dagegen relativ schwach. Bei einer solchen Verteilung des elektrischen Feldes breiten sich elektromagnetische Wellen hauptsächlich entlang der Vorsprünge aus.

**[0075]** In den obigen Beispielen umgeben die wellenleitende Wand (d.h. der erste Abschnitt 203a und der zweite Abschnitt 203b) den Raum zwischen dem ersten Durchgangsloch 211 und dem zweiten Durchgangsloch 221 vollständig (mit Ausnahme des Abstands); jedoch ist diese Implementierung nicht einschränkend.

**[0076]** **Fig. 11** ist ein Diagramm, das eine weitere Beispielkonstruktion für die wellenleitende Wand zeigt. In diesem Beispiel ist die wellenleitende Wand in zwei Abschnitte geteilt. Eine XY-Querschnittsform eines der beiden Abschnitte ist eine Hälfte einer H-Form (d.h. ein halber lateraler Abschnitt und ein vertikaler Abschnitt). Auch bei einer solchen wellenleitenden Wand, wie in **Fig. 11** gezeigt, wird zwischen zueinander entgegengesetzten Vorsprüngen 203r ein starkes elektrisches Feld erzeugt. Daher können sich elektromagnetische Wellen wie in den obigen Beispielen ausbreiten.

**[0077]** Als Nächstes werden Beispiele für eine Kombination aus der Wellenleitervorrichtung 200 in der vorliegenden Ausführungsform und dem vorgenannten Rippenwellenleiter (WRG) beschrieben. Durch Kombination mit der vorgenannten WRG-Struktur können in den Wellenleitervorrichtungen 200 gemäß der vorliegenden Ausführungsform zweckangepasst verschiedene Speisungswege eingerichtet sein.

**[0078]** **Fig. 12A** ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, in dem ein drittes leitendes Bauglied 230 mit einer WRG-Struktur unter dem zweiten leitenden Bauglied 220 vorgesehen ist. Das dritte leitende Bauglied 230 weist ein Wellenleiterbauglied 122, das sich entlang der Y-Richtung erstreckt, und mehrere leitende Stäbe 124 auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds 122 auf. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124, die auf der oberen Oberfläche des dritten leitenden Bauglieds 230 vorgesehen ist, kann als zweite Vielzahl von leitenden Stäben bezeichnet werden. Die Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds 122 und die führenden Enden der leitenden Stäbe 124 sind zu einer leitenden Oberfläche 220b des zweiten leitenden Bauglieds 220 entgegengesetzt.

**[0079]** **Fig. 12B** ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, bei dem leitende Stäbe 124 oberhalb und unterhalb des zweiten leitenden Bauglieds 220 vorgesehen sind. Auf der unteren Oberfläche des zweiten leitenden Bauglieds 220 sind eine Vielzahl von leitenden Stäben 124 und ein Wellenleiterbauglied 122 vorgesehen. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124, die auf der oberen Oberfläche (der leitenden Oberfläche 220a) des zweiten leitenden Bauglieds 220 vorgesehen ist, kann als eine erste Vielzahl von leitenden Stäben 124 bezeichnet werden, während die Vielzahl von leitenden Stäben 124, die auf der unteren Oberfläche (der leitenden Oberfläche 220b) des zweiten leitenden Bauglieds 220 vorgesehen ist, als eine zweite Vielzahl von leitenden Stäben 124 bezeichnet werden kann. Das dritte leitende Bauglied 230 ist ein unterhalb des zweiten leitenden Bauglieds 220 vorgesehenes plattenartiges Bauglied mit einer leitenden Oberfläche 230a, die zu der leitenden Oberfläche 220b entgegengesetzt ist. Das Wellenleiterbauglied 122 unterhalb des zweiten leitenden Bauglieds 220 erstreckt sich in diesem Beispiel entlang der Y-Richtung, mit mehreren leitenden Stäben 124 auf beiden Seiten. Die Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds 122 und die führenden Enden der leitenden Stäbe 124 sind zu der leitenden Oberfläche 230a des dritten leitenden Bauglieds 230 entgegengesetzt. Das zweite Durchgangsloch 221 ist an einem Ende oder einer anderen Stelle der Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds 122 offen.

**[0080]** **Fig. 13** ist eine Draufsicht von oben, die das dritte leitende Bauglied 230 in **Fig. 12A** aus der positiven Richtung der Z-Achse zeigt. Auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds 122 befinden sich Erstreckungen künstlicher magnetischer Leiter, die jeweils durch ein Array aus mehreren leitenden Stäben 124 erzeugt sind. An einem Ende des Wellenleiterbauglieds 122 bildet eine Vielzahl von leitenden Stäben 124, die einander entlang der Y-Richtung flankieren, eine Drosselstruktur 129. Die Drosselstruktur 129 weist auf: ein offenes Ende des Wellenleiterbauglieds (der Rippe) 122 und eine Vielzahl von leitenden Stäben mit einer Höhe von circa  $\lambda_0/4$ , wobei diese leitenden Stäbe auf der Verlängerung von diesem Ende der Rippe 122 liegen. Die Länge der Rippe, die in dieser Drosselstruktur enthalten ist, beträgt  $\lambda_g/4$ , wobei  $\lambda_g$  die Wellenlänge einer elektromagnetischen Welle in dem Rippenwellenleiter ist. Die Drosselstruktur 129 schränkt ein Lecken elektromagnetischer Wellen aus einem Ende des Wellenleiterbauglieds 122 ein, was eine wirksame Übertragung elektromagnetischer Wellen erlaubt.

**[0081]** Das dritte leitende Bauglied 230 hat einen Anschluss (eine Öffnung) 145 in der Nähe des anderen Endes des Wellenleiterbauglieds 122. Über den Anschluss 124 kann eine elektromagnetische Welle aus einer Sendeschaltung (elektronischen Schal-

tung), nicht dargestellt, dem Wellenleiter zugeführt werden, der sich oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 erstreckt. Umgekehrt kann eine elektromagnetische Welle, die sich durch den Wellenleiter ausgebreitet hat, der sich oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 erstreckt, über den Anschluss 145 weiter zu dem Wellenleiter in der Unterschicht übertragen werden. Die Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds 122 auf dem dritten leitenden Bauglied 230 kann zu dem zweiten Durchgangsloch 221 an jeder Stelle auf der Wellenleiterfläche entgegengesetzt sein.

**[0082] Fig. 14** ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel zeigt, in dem eine WRG-Struktur oberhalb des ersten leitenden Bauglieds 210 vorgesehen ist. In diesem Beispiel hat das erste leitende Bauglied 210 ein Wellenleiterbauglied 122 und eine Vielzahl von leitenden Stäben 124, die auf seiner zu der leitenden Oberfläche 210a entgegengesetzten Oberfläche vorgesehen sind. Ein Ende des Wellenleiterbauglieds 122 steht mit den Seitenwänden des ersten Durchgangslochs 211 in Verbindung. Ein weiteres leitendes Bauglied 240 ist gegenüber dem ersten leitenden Bauglied 210 vorgesehen. Die leitende Oberfläche 240a des leitenden Bauglieds 240 ist zu der Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds 122 und den führenden Enden der leitenden Stäbe 124 entgegengesetzt. Zwischen der leitenden Oberfläche 240a und der Wellenleiterfläche ist ein Wellenleiter erzeugt.

**[0083] Fig. 15** ist eine Draufsicht von oben, die das erste leitende Bauglied 210 in **Fig. 14** aus der positiven Richtung der Z-Achse zeigt. Von der Position des ersten Durchgangslochs 211 auf dem ersten leitenden Bauglied 210 erstreckt sich ein Wellenleiterbauglied 122 mit einer Streifenform (die auch als „Bandform“ bezeichnet werden kann) in der negativen Richtung der Y-Achse. Um das Wellenleiterbauglied 122 ist eine Vielzahl von leitenden Stäben 124 in einem zweidimensionalen Array vorgesehen, um einen künstlichen magnetischen Leiter zu bilden. Eine elektromagnetische Welle, die die wellenleitende Wand und das erste Durchgangsloch 211 passiert hat, kann sich entlang der Wellenleiterfläche oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 ausbreiten. Der Wellenleiter, der sich zwischen dem Wellenleiterbauglied 122 und der leitenden Oberfläche 240a erstreckt, kann mit mindestens einem Antennenelement (z.B. einem oder mehreren Schlitzen), nicht dargestellt, verbunden sein oder kann mit einem Wellenleiter in einer weiteren oberen Schicht verbunden sein. In der vorliegenden Beschreibung bedeutet „Streifenform“ eher eine Form, die durch einen einzelnen Streifen definiert ist, als eine durch mehrere Streifen gebildete Form. Nicht nur Formen, die sich linear in einer Richtung erstrecken, sind in „Streifenform“ eingeschlossen, sondern auch jede Form, die sich entlang der Strecke biegt oder verzweigt. In dem

Fall, dass auf der Wellenleiterfläche 122a ein Abschnitt vorgesehen ist, der einer Höhen- oder Breitenveränderung unterliegt, fällt dieser noch unter die Bedeutung von „Streifenform“, solange die Form einen Abschnitt aufweist, der sich, aus der Normalrichtung der Wellenleiterfläche 122a gesehen, in einer Richtung erstreckt.

**[0084] Fig. 16** ist eine Querschnittsansicht, die eine Beispielkonstruktion zeigt, in der die Konstruktionen aus **Fig. 12A** und **Fig. 14** kombiniert sind. In dieser Konstruktion sind der Wellenleiter, der sich oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 auf dem dritten leitenden Bauglied 230 erstreckt, und der Wellenleiter, der sich oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 auf dem ersten leitenden Bauglied 210 erstreckt, über das zweite Durchgangsloch 211, die wellenleitende Wand (d.h. den ersten Abschnitt 203a und den zweiten Abschnitt 203b) sowie das zweite Durchgangsloch 221 miteinander verbunden. Infolgedessen wird die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle zwischen den beiden Wellenleitern (dem oberen und dem unteren) zugelassen. Außerdem ist auf dem dritten leitenden Bauglied 230 eine Drosselstruktur 229, die eine Rippe mit einer Länge von  $\lambda/4$  entlang der Y-Richtung aufweist, in der positiven Richtung der Y-Achse ab dem Durchgangsloch 221 vorgesehen. Die Drosselstruktur 229 schränkt ein Lecken einer elektromagnetischen Welle an dem Ende des Wellenleiterbauglieds 122 ein, das in der positiven Richtung der Y-Achse liegt, wodurch eine wirksame Übertragung elektromagnetischer Wellen ermöglicht wird.

**[0085] Fig. 17** ist eine Querschnittsansicht, die eine Beispielkonstruktion einer Wellenleitervorrichtung 200, die das Ausbreiten elektromagnetischer Wellen unter Auslassung von zwei Wellenleiterschichten schematisch zeigt. Die Wellenleitervorrichtung 200 nach diesem Beispiel weist ein erstes leitendes Bauglied 210, ein zweites leitendes Bauglied 220, ein drittes leitendes Bauglied 230 und weitere leitende Bauglieder 240 und 250 auf. Das dritte leitende Bauglied 230 weist auf: eine zweite Vielzahl von leitenden Stäben 124, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der leitenden Oberfläche 220b des zweiten leitenden Bauglieds 220 entgegengesetzt ist; ein drittes Durchgangsloch 231, das sich, entlang der axialen Richtung des zweiten Durchgangslochs 221 gesehen, mit dem zweiten Durchgangsloch 221 überlappt; und eine weitere elektrisch leitende, wellenleitende Wand 233 (d.h. einen ersten Abschnitt 233a und einen zweiten Abschnitt 233b), die mindestens einen Abschnitt des Raums zwischen dem zweiten Durchgangsloch 221 und dem dritten Durchgangsloch 231 umgibt. Die wellenleitende Wand 233 ist von der zweiten Vielzahl von leitenden Stäben 124 auf dem dritten leitenden Bauglied 230 umgeben und ermöglicht die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zwischen dem zweiten Durchgangsloch 221

und dem dritten Durchgangslot 231. Die Höhe der weiteren wellenleitenden Wand 233 (d.h. eine Gesamthöhe des ersten Abschnitts 233a und des zweiten Abschnitts 233b) beträgt ebenfalls weniger als  $\lambda/2$ . Unter der zweiten Vielzahl von leitenden Stäben 124 ist die Distanz zwischen jedem leitenden Stab 124, der an die wellenleitende Wand 233 angrenzt, und dem Außenumfang der wellenleitenden Wand 233 kleiner als  $\lambda/2$ . Bei dem in **Fig. 17** gezeigten Beispiel ist die wellenleitende Wand 233 unterteilt in den ersten Abschnitt 233a, der mit der Seite der hinteren Fläche (d.h. der leitenden Oberfläche 220b) des leitenden Bauglieds 220 verbunden ist, und den zweiten Abschnitt 233b, der mit dem leitenden Bauglied 230 verbunden ist; sie kann jedoch alternativ aus nur einem Teil gebildet sein. Die wellenleitende Wand 233 kann mit mindestens einem der leitenden Bauglieder 220 und 230 verbunden sein oder mit keinem der leitenden Bauglieder verbunden sein, wie bei dem in **Fig. 8E** gezeigten Beispiel. Mindestens eines der leitenden Bauglieder 220 und 230 sowie mindestens ein Abschnitt der wellenleitenden Wand 233 kann zu einem einstückigen Körper gehören. Auch bei der wellenleitenden Wand 233 ist ihre Dicke an der oberen Oberfläche kleiner als  $\lambda/2$  eingestellt, wie dies bei der vorgenannten wellenleitenden Wand 203 der Fall ist.

**[0086]** In diesem Beispiel können sich elektromagnetische Wellen unter Auslassung von zwei Schichten ausbreiten; d.h. der Schicht zwischen dem leitenden Bauglied 210 und dem leitenden Bauglied 220 sowie der Schicht zwischen dem leitenden Bauglied 220 und dem leitenden Bauglied 230. Dies ermöglicht es, andere Strukturen, z.B. Wellenleiter, Kammern oder dergleichen, in dem Raum vorzusehen, den diese beiden ausgelassenen Schichten einnehmen. Es wird darauf hingewiesen, dass anstelle des leitenden Bauglieds 250 in **Fig. 17** ein Bauglied vorgesehen sein kann, das noch eine weitere wellenleitende Wand hat. Bei einer solchen Konstruktion können elektromagnetische Wellen sich unter Auslassung von drei oder mehr Schichten ausbreiten.

**[0087]** **Fig. 18** ist eine Querschnittsansicht, die schematisch eine Beispielkonstruktion zeigt, bei der ein weiterer Wellenleiter in einer Schicht erzeugt ist, in der eine wellenleitende Wand 203 vorgesehen ist. Zusätzlich zu der in **Fig. 16** gezeigten Konstruktion weist die Wellenleitervorrichtung 200 ferner weitere Rippenwellenleiter auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 und auf dem dritten leitenden Bauglied 230 auf. In diesem Beispiel weist das dritte leitende Bauglied 230 zwei streifenförmige Wellenleiterbauglieder 122 auf, die durch eine Vielzahl von leitenden Stäben 124 getrennt sind.

**[0088]** **Fig. 19** ist eine Draufsicht von oben, die das zweite leitende Bauglied 220 in der Wellenleitervorrichtung 200 aus **Fig. 18** aus der positiven Richtung

der Z-Achse zeigt. Das zweite leitende Bauglied 220 in diesem Beispiel weist ferner, zwischen der Vielzahl von leitenden Stäben 124, ein Wellenleiterbauglied 122 mit einer elektrisch leitenden, wellenleitenden Fläche auf, die zu der leitenden Oberfläche 210a entgegengesetzt ist. Das Wellenleiterbauglied 122 ist um eine bestimmte Anzahl leitender Stäbe 124 von der wellenleitenden Wand 203 entfernt platziert. Zwischen der Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds 122 und der leitenden Oberfläche 210a des ersten leitenden Bauglieds ist ein Wellenleiter erzeugt. Über einen Anschluss 145 ist dieser Wellenleiter mit einem Wellenleiter verbunden, der sich oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 auf dem dritten leitenden Bauglied 230 erstreckt.

**[0089]** Eine elektromagnetische Welle, die sich durch den Wellenleiter ausbreitet, welcher sich oberhalb des Wellenleiterbauglieds 122 auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 erstreckt, ist fähig, ein Signal zu tragen, das von demjenigen einer elektromagnetischen Welle, die sich in der wellenleitenden Wand 203 ausbreitet, verschieden ist. Beispielsweise kann die erstere elektromagnetische Welle eine Empfangswelle sein, die aus einem Empfangsantennenelement übertragen wird, während letztere eine Sendewelle sein kann, die an ein Sendeantennenelement zu senden ist. Eine solche Konstruktion ermöglicht eine Antennenvorrichtung geringer Größe mit einer Wellenleiterstruktur, die in einem begrenzten Raum zu implementieren ist.

**[0090]** Als Nächstes werden mit Bezug auf **Fig. 20A** und **Fig. 20B** Sende-/Rückführcharakteristika von elektromagnetischen Wellen beschrieben, die durch eine wellenleitende Wand gemäß der vorliegenden Ausführungsform passieren. **Fig. 20A** und **Fig. 20B** zeigen Ergebnisse der Durchführung einer Simulation unter Einstellung der Abmessungen der jeweiligen Bauglieder usw. auf geeignete Werte.

**[0091]** **Fig. 20A** ist ein Graph, der die Frequenzabhängigkeit von Streuparametern (S-Parametern) in der wellenleitenden Wand der Wellenleitervorrichtung 200 zeigt, die in **Fig. 7A** bis **Fig. 7D** illustriert ist. Die S-Parameter sind Matrixelemente einer Streumatrix (S-Matrix), welche die Sende-/Rückführcharakteristika einer Signalwelle wiedergeben, die sich in einer gegebenen Schaltung ausbreitet. In **Fig. 20A** gibt  $S(1,1)$  das Verhältnis einer Reflexionswellenintensität zu einer Eingangswellenintensität wieder, und  $S(2,1)$  gibt das Verhältnis einer Sendewellenintensität zu einer Eingangswellenintensität wieder.

**[0092]** Wie aus **Fig. 20A** ersichtlich, beträgt  $S(2,1)$  im Wesentlichen 0dB ( $\times 1$ ), während  $S(1,1)$  sehr kleine Werte in der Größenordnung von -50 dB bis -30dB ( $\times 10^{-5}$  bis  $\times 10^{-3}$ ) annimmt. Das bedeutet, dass beim Passieren einer elektromagnetischen

Welle in der wellenleitenden Wand gemäß der vorliegenden Ausführungsform kaum Reflexion auftritt (d.h. nur geringer Verlust auftritt).

**[0093]** Fig. 20B ist ein Graph, der die Frequenzabhängigkeit von S-Parametern in dem Fall zeigt, in dem ein angrenzender Anschluss in der Nähe einer wellenleitenden Wand vorgesehen ist. In diesem Fall besteht die S-Matrix aus 4 Zeilen mal 4 Spalten, da es zu einem Energieleck aus der wellenleitenden Wand zu dem angrenzenden Anschluss kommen kann. In diesem Fall steht  $S(1,1)$  für das Verhältnis einer Reflexionswellenintensität zu einer Eingangswellenintensität;  $S(2,1)$  steht für das Verhältnis einer Sendewellenintensität zu einer Eingangswellenintensität; und  $S(3,1)$  und  $S(4,1)$  stehen für das Verhältnis der Intensität einer Leckwelle in Richtung des angrenzenden Anschlusses zu einer Eingangswellenintensität.

**[0094]** Wie aus Fig. 20B ersichtlich, beträgt  $S(2,1)$  im Wesentlichen 0dB ( $\times 1$ ), während  $S(1,1)$ ,  $S(3,1)$  und  $S(4,1)$  sehr kleine Werte in der Größenordnung von -37 dB bis -25dB annehmen. Das bedeutet, dass beim Passieren einer elektromagnetischen Welle in der wellenleitenden Wand kaum Reflexion und Lecken zu dem angrenzenden Anschluss auftreten (d.h. nur geringer Verlust auftritt).

**[0095]** Somit kann eine elektromagnetische Welle sich gemäß der vorliegenden Ausführungsform mit hoher Wirksamkeit durch die wellenleitende Wand ausbreiten.

#### <Ausführungsform 2: Antennenvorrichtung>

**[0096]** Als Nächstes wird eine illustrative Ausführungsform einer Antennenvorrichtung mit der Wellenleitervorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung beschrieben. Die Antennenvorrichtung der vorliegenden Ausführungsform weist die Wellenleitervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 und mindestens ein Antennenelement auf, das mit einem Wellenleiter in einer wellenleitenden Wand der Wellenleitervorrichtung verbunden ist. „Mit einem Wellenleiter in einer wellenleitenden Wand verbunden“ zu sein, bedeutet, mit einem Wellenleiter in der wellenleitenden Wand entweder direkt oder indirekt über einen weiteren Wellenleiter wie etwa den vorgenannten WRG verbunden zu sein. Das mindestens eine Antennenelement hat mindestens entweder die Funktion, eine elektromagnetische Welle, die sich durch den Wellenleiter in der wellenleitenden Wand ausgebreitet hat, in den Raum abzustrahlen, oder die Funktion, die Einleitung einer elektromagnetischen Welle, die sich im Raum ausgebreitet hat, in den Wellenleiter in der wellenleitenden Wand zuzulassen. Anders ausgedrückt: Die Antennenvorrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird min-

destens entweder zum Senden oder zum Empfang von Signalen verwendet.

**[0097]** Fig. 21A ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Antennenvorrichtung (Array-Antenne) zeigt, bei der eine Vielzahl von Schlitzen (Öffnungen) arrayartig angeordnet ist. Fig. 21A ist eine Draufsicht von oben, welche die Antennenvorrichtung aus der +Z-Richtung zeigt. Fig. 21B ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie B-B in Fig. 21A. Bei der in der Figur gezeigten Antennenvorrichtung sind stapelförmig angeordnet: eine erste Wellenleiterschicht 10a mit einer Vielzahl von Wellenleiterbaugliedern 122U, welche direkt an eine Vielzahl von Schlitzen 112 gekoppelt sind, die als Antennenelemente (Abstrahlelemente) funktionieren, eine zweite Wellenleiterschicht 10b mit einer Vielzahl von leitenden Stäben 124M und wellenleitenden Wänden, nicht dargestellt, und eine dritte Wellenleiterschicht 10c mit einem weiteren Wellenleiterbauglied 122L, das über die wellenleitenden Wände mit Wellenleiterbaugliedern 122U der ersten Wellenleiterschicht 10a gekoppelt ist. Die Vielzahl von Wellenleiterbaugliedern 122U und die Vielzahl von leitenden Stäben 124U in der ersten Wellenleiterschicht 10a sind auf einem ersten leitenden Bauglied 210 vorgesehen. Die Vielzahl von leitenden Stäben 124M und die wellenleitenden Wände, nicht dargestellt, in der zweiten Wellenleiterschicht 10b sind auf einem zweiten leitenden Bauglied 220 vorgesehen. Das Wellenleiterbauglied 122L und die Vielzahl von leitenden Stäben 124L in der dritten Wellenleiterschicht 10c sind auf einem dritten leitenden Bauglied 230 vorgesehen.

**[0098]** Diese Antennenvorrichtung weist ferner ein leitendes Bauglied 110 auf, das die Wellenleiterbauglieder 122U und die Vielzahl von leitenden Stäben 124U in der ersten Wellenleiterschicht 10a bedeckt. Das leitende Bauglied 110 hat 16 Schlitze (Öffnungen) 112 in einem Array aus 4 Zeilen und 4 Spalten. Seitenwände 114, die die einzelnen Schlitze 112 umgeben, sind auf dem leitenden Bauglied 110 vorgesehen. Die Seitenwände 114 bilden ein Horn, das die Direktivität des Schlitzes 112 einstellt. Anzahl und Anordnung der Schlitze 112 in diesem Beispiel sind lediglich illustrativ. Die Ausrichtungen und Formen der Schlitze 112 sind auch nicht auf diejenigen des in den Figuren gezeigten Beispiels beschränkt. Beispielsweise sind auch H-förmige Schlitze verwendbar. Das in den Figuren gezeigte Beispiel soll keine Beschränkung hinsichtlich dessen, ob die Seitenwände 114 des jeweiligen Horns geneigt sind oder nicht, hinsichtlich der Winkel desselben oder der Form des jeweiligen Horns darstellen.

**[0099]** Fig. 22A ist ein Diagramm, das ein planes Layout der Wellenleiterbauglieder 122U und leitenden Stäbe 124U in dem ersten leitenden Bauglied 210 zeigt. Fig. 22B ist ein Diagramm, das ein planes Layout von leitenden Stäben 124M, wellenleitenden

Wänden 203 und Durchgangslöchern 221 in dem zweiten leitenden Bauglied 220 zeigt. **Fig. 22C** ist ein Diagramm, das ein planes Layout eines Wellenleiterbauglieds 122L und leitender Stäbe 124L auf dem dritten leitenden Bauglied 230 zeigt. Wie aus diesen Figuren ersichtlich, erstrecken sich die Wellenleiterbauglieder 122U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 geradlinig (streifenförmig) und weisen keine Verzweigungsabschnitte oder Biegungen auf. Dagegen weist das Wellenleiterbauglied 122L auf dem dritten leitenden Bauglied 230 sowohl Verzweigungsabschnitte (an denen die Erstreckungsrichtung sich zweiteilt) als auch Biegungen auf (an denen die Erstreckungsrichtung sich ändert). Zwischen den Durchgangslöchern 211 in dem ersten leitenden Bauglied 210 und den Durchgangslöchern 221 in dem zweiten leitenden Bauglied 220, wie in **Fig. 22B** gezeigt, sind wellenleitende Wände 203, wie in Ausführungsform 1 beschrieben, vorgesehen.

**[0100]** Bei dem in **Fig. 22B** gezeigten Beispiel sind auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 vier wellenleitende Wände vorhanden. Die relative Positionierung zwischen den wellenleitenden Wänden 203 und den jeweiligen angrenzenden Stäben 124M unterscheidet sich von einer wellenleitenden Wand 203 zur anderen. Die Dicke einer jeden wellenleitenden Wand 203 mit einem Vorsprung nach innen, wobei die Dicke diesen Vorsprung einschließt, kann auf circa  $\lambda_0/4$  eingestellt sein, wie in **Fig. 9A** gezeigt. Zur Aufnahme solcher wellenleitender Wände 203 muss das Intervall in Bezug auf angrenzende leitende Stäbe 124M eingestellt sein. **Fig. 22B** stellt Varianten hierzu dar. Bei den wellenleitenden Wänden 221 ganz rechts und ganz links in der Figur sind nur sechs Stäbe 124M, die daran entlang der Y-Richtung angrenzen, entlang der Y-Richtung leicht versetzt, um einen Kontakt zwischen den wellenleitenden Wänden 203 und diesen Stäben 124M zu vermeiden. Bei der zweiten wellenleitenden Wand 221 von links sind sechs Stäbe 124M, die entlang der Y-Richtung daran angrenzen, entfernt. Bei der dritten wellenleitenden Wand 221 von links sind drei Spalten von Stäben 124M mit überlappenden X-Koordinaten hinsichtlich ihrer Positionierung entlang der Y-Richtung verschoben. Diese Fälle funktionieren alle zufriedenstellend. Außerdem ist das Intervall zwischen der Außenumfangsoberfläche jeder wellenleitenden Wand 203 und der Außenumfangsoberfläche jedes angrenzenden Stabs 124M kleiner als  $\lambda_m/2$ .

**[0101]** Die Wellenleiterbauglieder 122U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 sind über die Durchgangslöcher 211, die wellenleitenden Wände und die Durchgangslöcher 221 an das Wellenleiterbauglied 122L auf dem dritten leitenden Bauglied 230 gekoppelt. Anders ausgedrückt, passiert eine elektromagnetische Welle, die sich entlang des Wellenleiterbauglieds 122L auf dem dritten leitenden Bauglied

230 ausgebreitet hat, durch die Durchgangslöcher 221, die wellenleitenden Wände und die Durchgangslöcher 211, so dass sie die Wellenleiterbauglieder 122U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 erreicht, und breitet sich entlang der Wellenleiterbauglieder 122U aus. In diesem Fall funktioniert jeder Schlitz 112 als Antennenelement, um die Abstrahlung einer elektromagnetischen Welle, die sich durch den Wellenleiter ausgebreitet hat, in den Raum zuzulassen. Wenn umgekehrt eine elektromagnetische Welle, die sich im Raum ausgebreitet hat, auf einen Schlitz 112 auftrifft, koppelt die elektromagnetische Welle an das Wellenleiterbauglied 122U, das direkt unter diesem Schlitz 112 liegt, und breitet sich entlang des Wellenleiterbauglieds 122U aus. Elektromagnetische Wellen, die sich durch die Wellenleiterbauglieder 122U ausgebreitet haben, können auch durch die Durchgangslöcher 211, die wellenleitenden Wände und die Durchgangslöcher 221 passieren, so dass sie das Wellenleiterbauglied 122L auf dem dritten leitenden Bauglied 230 erreichen, und sich entlang des Wellenleiterbauglieds 122L ausbreiten. Über einen Anschluss 145L des dritten leitenden Bauglieds 230 kann das Wellenleiterbauglied 122L der zweiten Wellenleitervorrichtung 100b an eine externe Wellenleitervorrichtung oder Hochfrequenzschaltung (elektronische Schaltung) koppeln. Als ein Beispiel illustriert **Fig. 22C** eine elektronische Schaltung 290, die mit dem Anschluss 145L verbunden ist. Ohne auf eine bestimmte Position begrenzt zu sein, kann die elektronische Schaltung 290 an jeder beliebigen Position vorgesehen sein. Die elektronische Schaltung 290 kann auf einer Leiterplatte vorgesehen sein, die sich beispielsweise auf der Rückseite (d.h. der unteren Seite in **Fig. 21B**) des dritten leitenden Bauglieds 210 befindet. Eine solche elektronische Schaltung ist eine integrierte Mikrowellenschaltung, die beispielsweise eine MMIC (integrierte monolithische Mikrowellenschaltung) sein kann, welche Millimeterwellen generiert oder empfängt.

**[0102]** Das in **Fig. 21A** gezeigte leitende Bauglied 110 kann als „Abstrahlungsschicht“ bezeichnet werden. Außerdem kann die Schicht mit der Gesamtheit der Wellenleiterbauglieder 122U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 und den leitenden Stäben 124U, gezeigt in **Fig. 22A**, als „Anregungsschicht“ bezeichnet werden, während die Schicht mit der Gesamtheit der leitenden Stäbe 124M und wellenleitenden Wände auf dem zweiten leitenden Bauglied 220, gezeigt in **Fig. 22B**, als „Zwischenschicht“ bezeichnet werden kann und die Schicht mit der Gesamtheit des Wellenleiterbauglieds 122L auf dem dritten leitenden Bauglied 230 und den leitenden Stäben 124L, gezeigt in **Fig. 22C**, als „Verteilungsschicht“ bezeichnet werden kann. Außerdem können die „Anregungsschicht“, die „Zwischenschicht“ und die „Verteilungsschicht“ zusammen als „Speisungsschicht“ bezeichnet werden. Jede der

Schichten „Abstrahlungsschicht“, „Anregungsschicht“, „Zwischenschicht“ und „Verteilungsschicht“ kann durch Verarbeiten einer einzigen Metallplatte massengefertigt sein. Die Strahlungsschicht, die Anregungsschicht, die Verteilungsschicht und die elektronischen Schaltkreise, die auf der Rückseite der Verteilungsschicht vorzusehen sind, können als Ein-Modul-Erzeugnis gefertigt sein.

**[0103]** Wie aus **Fig. 21B** ersichtlich, sind in der Array-Antenne aus diesem Beispiel schichtartig eine Abstrahlungsschicht, eine Anregungsschicht und eine Verteilungsschicht angeordnet, die Plattenform haben; daher ist als Ganzes eine flache und niedrigprofilige Flachpanel-Antenne realisiert. Die Höhe (Dicke) einer mehrschichtigen Struktur mit einer Querschnittskonstruktion wie der in **Fig. 21B** gezeigten kann beispielsweise auf 20 mm oder weniger eingestellt sein.

**[0104]** Bei dem in **Fig. 22C** gezeigten Wellenleiterbauglied 122L sind die Distanzen von dem Anschluss 145L des dritten leitenden Bauglieds 230 zu den jeweiligen Durchgangslöchern 211 (siehe **Fig. 22A**) in dem ersten leitenden Bauglied 210, entlang des Wellenleiterbauglieds 122L gemessen, alle gleich. Eine Signalwelle, die in an dem Anschluss 145L des dritten leitenden Bauglieds 230 in den Wellenleiter 122L eingegeben ist, erreicht daher die vier Durchgangslöcher 211 in dem ersten leitenden Bauglied 210 alle in derselben Phase. Infolgedessen können die vier Wellenleiterbauglieder 122U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 in derselben Phase angeregt werden.

**[0105]** Es ist nicht notwendig, dass alle als Antennenelemente funktionierenden Schlitze 112 elektromagnetische Wellen in derselben Phase abstrahlen. Die Netzwerkstruktur der Wellenleiterbauglieder 122U und 122L in der Anregungsschicht und der Verteilungsschicht können beliebig sein, und sie können so angeordnet sein, dass durch die jeweiligen Wellenleiterbauglieder 122U und 122L unabhängig voneinander eine Ausbreitung unterschiedlicher Signale erfolgt.

**[0106]** Obwohl die Wellenleiterbauglieder 122U auf dem ersten leitenden Bauglied 210 gemäß der vorliegenden Ausführungsform weder einen Verzweigungsabschnitt noch eine Biegung aufweisen, kann der als Anregungsschicht funktionierende Abschnitt auch ein Wellenleiterbauglied mit mindestens entweder einem Verzweigungsabschnitt oder einer Biegung aufweisen. Wie schon erwähnt, ist es nicht notwendig, dass alle leitenden Stäbe in der Wellenleitervorrichtung ähnliche Form haben.

**[0107]** Gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann eine elektromagnetische Welle sich auf direkte Weise über die elektrisch leitenden, wellenleitenden

Wände 203, zwischen den Durchgangslöchern in dem ersten leitenden Bauglied 210 und den Durchgangslöchern 221 in dem zweiten leitenden Bauglied 220 ausbreiten. Da keine unerwünschte Ausbreitung auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 auftritt, ist es möglich, andere Strukturen, z.B. Wellenleiter, Leiterplatten oder Kameras, auf dem zweiten leitenden Bauglied 220 vorzusehen. Die Vorrichtung weist daher verbesserte Gestaltungsfreiheit auf. Obwohl die vorliegende Ausführungsform illustriert, dass wellenleitende Wände zwischen dem ersten leitenden Bauglied 210 und dem zweiten leitenden Bauglied 220 vorgesehen sind, können die wellenleitenden Wände auch an anderen Positionen vorgesehen sein. Es kann gegebenenfalls eine Vielzahl wellenleitender Wände vorgesehen sein.

**[0108]** Die Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform eignet sich zur Verwendung in einem Radar oder einem Radarsystem, das beispielsweise in bewegte Objekte wie etwa Fahrzeuge, Wasserfahrzeuge, Luftfahrzeuge, Roboter oder dergleichen einbaubar ist. Ein Radar würde eine Antennenvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung und eine integrierte Mikrowellenschaltung aufweisen, die mit der Antennenvorrichtung verbunden ist. Ein Radarsystem würde den Radar und eine Signalverarbeitungsschaltung aufweisen, die mit der integrierten Mikrowellenschaltung des Radars verbunden ist. Eine Antennenvorrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform weist eine mehrschichtige WRG-Struktur auf, die eine Größenverringerung erlaubt und somit gegenüber einer Konstruktion, bei der ein herkömmlicher Hohlwellenleiter verwendet wird, eine weitgehende Reduzierung des Bereiches der Fläche zulässt, auf der Antennenelemente arrayartig angeordnet sind. Daher ist ein Radarsystem, das die Antennenvorrichtung enthält, leicht in einen engen Raum montierbar, etwa auf eine Fläche eines Rückspiegels in einem Fahrzeug, die zu seiner Spiegeloberfläche entgegengesetzt ist, oder in einem bewegten Objekt geringer Größe wie etwa einem UAV (einem unbemannten Luftfahrzeug, einer sogenannten Drohne). Es wird darauf hingewiesen, dass ein Radarsystem, ohne auf die Implementierung in einem Fahrzeug beschränkt zu sein, beispielsweise an der Straße oder einem Gebäude fixiert verwendet werden kann.

**[0109]** Eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung kann auch in einem Drahtlos-Kommunikationssystem verwendet werden. Ein solches Drahtlos-Kommunikationssystem würde eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer der obigen Ausführungsformen und eine Kommunikationsschaltung (eine Sendeschaltung oder Empfangsschaltung) aufweisen. Details zu Anwendungsbeispielen für Drahtlos-Kommunikationssysteme werden noch beschrieben.

**[0110]** Eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung kann ferner als Antenne in einem Innenpositionierungssystem (IPS) verwendet werden. Ein Innenpositionierungssystem ist fähig zum Identifizieren der Position eines bewegten Objekts wie etwa einer Person oder eines fahrerlosen Transportfahrzeugs (FTF), das sich in einem Gebäude befindet. Eine Array-Antenne kann auch als Funkwellensender (Funkbake) für ein System verwendet werden, das Informationen einem Informations-Endgerät (z.B. einem Smartphone) zuführt, welches von einer Person getragen wird, die ein Geschäft oder eine andere Einrichtung besucht hat. In einem solchen System kann eine Funkbake einmal alle paar Sekunden eine elektromagnetische Welle abstrahlen, die beispielsweise eine Kennung oder andere darauf aufgebrachte Informationen trägt. Wenn das Informations-Endgerät diese elektromagnetische Welle empfängt, sendet das Informations-Endgerät die empfangenen Informationen über Telekommunikationsverbindungen an einen entfernten Server-Computer. Auf Basis der Informationen, die aus dem Informations-Endgerät empfangen wurden, identifiziert der Server-Computer die Position dieses Informations-Endgerätes und führt Informationen, die dieser Position zugeordnet sind (z.B. Produktinformationen oder einen Gutschein) dem Informations-Endgerät zu.

**[0111]** In der vorliegenden Beschreibung wird der Ausdruck „künstlicher magnetischer Leiter“ zur Beschreibung der Technik gemäß der vorliegenden Offenbarung verwendet, in Übereinstimmung mit der Darstellung in einer Arbeit eines der Erfinder, Kirino (Nicht-Patentdokument 1), sowie einer Arbeit von Kildal u.a., die etwa um dieselbe Zeit eine Untersuchung zu einem verwandten Gegenstand veröffentlichten. Jedoch wurde in einer Untersuchung durch die Erfinder festgestellt, dass für die Erfindung gemäß der vorliegenden Offenbarung nicht unbedingt ein „künstlicher magnetischer Leiter“ nach der herkömmlichen Definition erforderlich ist. Das bedeutet: Bisher wird zwar angenommen, dass eine periodische Struktur eine Voraussetzung für einen künstlichen magnetischen Leiter sei, jedoch ist zur Ausübung der Erfindung gemäß der vorliegenden Offenbarung nicht unbedingt eine periodische Struktur erforderlich.

**[0112]** Der in der vorliegenden Offenbarung beschriebene künstliche magnetische Leiter besteht aus Zeilen leitender Stäbe. Zur Verhinderung eines Leckens elektromagnetischer Wellen von der Wellenleiterfläche weg hielt man es bisher für entscheidend, dass mindestens zwei Zeilen leitender Stäbe auf einer Seite des Wellenleiterbauglieds bzw. der Wellenleiterbauglieder existieren, wobei sich diese Zeilen leitender Stäbe entlang des Wellenleiterbauglieds bzw. der Wellenleiterbauglieder (Rippe(n)) erstrecken. Der Grund hierfür ist, dass mindestens

zwei Zeilen leitender Stäbe erforderlich sind, damit dieselben eine „Periode“ aufweisen. Nach einer Untersuchung durch die Erfinder kann jedoch auch dann, wenn zwischen zwei sich parallel zueinander erstreckenden Wellenleiterbaugliedern nur eine Zeile leitender Stäbe oder nur ein leitender Stab existiert, die Intensität eines Signals, das von einem Wellenleiterbauglied zu dem anderen Wellenleiterbauglied leckt, auf -10 dB oder weniger unterdrückt werden, was in vielen Anwendungen ein praktisch ausreichender Wert ist. Der Grund, weshalb ein solches ausreichendes Trennungsniveau mit einer nur unvollkommenen periodischen Struktur erreicht wird, ist bislang unklar. Jedoch wird angesichts dieser Tatsache in der vorliegenden Offenbarung die herkömmliche Vorstellung eines „künstlichen magnetischen Leiters“ dahingehend erweitert, dass der Ausdruck auch eine Struktur einschließt, die nur eine Zeile leitender Stäbe oder nur einen leitenden Stab aufweist.

<Weitere Varianten>

**[0113]** Als Nächstes werden weitere Varianten einer Wellenleiterstruktur 122, der leitenden Bauglieder 110 und 120 sowie der leitenden Stäbe 124 beschrieben.

**[0114]** Fig. 23A ist eine Querschnittsansicht, die eine Beispielstruktur zeigt, bei der nur die Wellenleiterfläche 122a, die eine obere Fläche des Wellenleiterbauglieds 122 bestimmt, elektrisch leitend ist, während jeder andere Abschnitt des Wellenleiterbauglieds 122 außer der Wellenleiterfläche 122a nicht elektrisch leitend ist. Sowohl das leitende Bauglied 110 als auch das leitende Bauglied 120 sind gleichermaßen nur an der Oberfläche, auf der das Wellenleiterbauglied 122 vorgesehen ist (d.h. der leitenden Oberfläche 110a, 120a), jedoch in keinem anderen Abschnitt elektrisch leitend. Somit braucht nicht jedes von dem Wellenleiterbauglied 122, dem leitenden Bauglied 110 und dem leitenden Bauglied 120 elektrisch leitend zu sein.

**[0115]** Fig. 23B ist ein Diagramm, das eine Variante zeigt, bei der das Wellenleiterbauglied 122 nicht auf dem leitenden Bauglied 120 gebildet ist. In diesem Beispiel ist das Wellenleiterbauglied 122 an einem Stützbauglied befestigt (z.B. der Innenwand des Gehäuses), welches das leitende Bauglied 110 und das leitende Bauglied 120 stützt. Zwischen dem Wellenleiterbauglied 122 und dem leitenden Bauglied 120 existiert ein Abstand. Somit braucht das Wellenleiterbauglied 122 nicht mit dem leitenden Bauglied 120 verbunden zu sein.

**[0116]** Fig. 23C ist ein Diagramm, das eine Beispielstruktur zeigt, bei der das leitende Bauglied 120, das Wellenleiterbauglied 122 und jeder von der Vielzahl von leitenden Stäben 124 aus einer dielektrischen Oberfläche gebildet sind, die mit einem elektrisch lei-

tenden Material wie etwa einem Metall beschichtet ist. Das leitende Bauglied 120, das Wellenleiterbauglied 122 und die Vielzahl von leitenden Stäben 124 sind über den elektrischen Leiter miteinander verbunden. Dagegen ist das leitende Bauglied 110 aus einem elektrisch leitenden Material wie etwa einem Metall hergestellt.

**[0117] Fig. 23D und Fig. 23E** sind Diagramme, die jeweils eine Beispielstruktur zeigen, bei der dielektrische Schichten 110b und 120b jeweils auf den äußersten Oberflächen von leitenden Baugliedern 110 und 120, einem Wellenleiterbauglied 122 und leitenden Stäben 124 vorgesehen sind. **Fig. 23D** zeigt eine Beispielstruktur, bei der die Oberfläche leitender Metallbauglieder, die Leiter sind, mit einer dielektrischen Schicht bedeckt ist. **Fig. 23E** zeigt ein Beispiel, bei dem das leitende Bauglied 120 so strukturiert ist, dass die Oberfläche von Baugliedern, die aus einem Dielektrikum, z.B. Harz, gebildet sind, mit einem Leiter wie etwa einem Metall bedeckt ist, wobei diese Metallschicht ferner mit einer dielektrischen Schicht beschichtet ist. Die dielektrische Schicht, welche die Metalloberfläche bedeckt, kann eine Beschichtung aus Harz oder dergleichen oder ein Oxidfilm aus Passivierungsbeschichtung oder dergleichen sein, der entsteht, während das Metall oxidiert.

**[0118]** Die dielektrische Schicht auf der äußersten Oberfläche lässt eine Erhöhung von Verlusten in der elektromagnetischen Welle zu, die sich durch den WRG-Wellenleiter ausbreitet, vermag jedoch die leitenden Oberflächen 110a und 120a (die elektrisch leitend sind) vor Korrosion zu schützen. Sie verhindert auch Einflüsse einer Gleichspannung oder einer Wechselfrequenz von so niedriger Frequenz, dass sie nicht zur Ausbreitung auf bestimmten WRG-Wellenleitern fähig ist.

**[0119] Fig. 23F** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem die Höhe des Wellenleiterbauglieds 122 niedriger als die Höhe der leitenden Stäbe 124 ist und ein Abschnitt der leitenden Oberfläche 110a des leitenden Bauglieds 110, die zu der Wellenleiterfläche 122a entgegengesetzt ist, in Richtung des Wellenleiterbauglieds 122 absteht. Auch eine solche Struktur funktioniert ähnlich wie die oben beschriebene Ausführungsform, solange die in **Fig. 4** abgebildeten Abmessungsbereiche eingehalten sind.

**[0120] Fig. 23G** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem in der Struktur aus **Fig. 23F** ferner Abschnitte der leitenden Oberfläche 110a, die den leitenden Stäben 124 gegenüberliegen, in Richtung der leitenden Stäbe 124 abstehen. Auch eine solche Struktur funktioniert ähnlich wie die oben beschriebene Ausführungsform, solange die in **Fig. 4** abgebildeten Abmessungsbereiche eingehalten sind. Anstelle einer Struktur, bei der die leitende Oberflä-

che 110a teilweise absteht, kann eine Struktur verwendet werden, bei der die leitende Oberfläche 110a teilweise mit Ausnehmungen versehen ist.

**[0121] Fig. 24A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem eine leitende Oberfläche 110a des leitenden Bauglieds 110 als gekrümmte Oberfläche geformt ist. **Fig. 24B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel zeigt, bei dem auch eine leitende Oberfläche 120a des leitenden Bauglieds 120 als gekrümmte Oberfläche geformt ist. Wie durch diese Beispiele gezeigt, sind die leitenden Oberflächen 110a, 120a möglicherweise nicht als Ebenen geformt, sondern können auch als gekrümmte Oberflächen geformt sein.

<Anwendungsbeispiel: Bordradarsystem>

**[0122]** Als Anwendungsbeispiel für die Nutzung der oben beschriebenen Array-Antenne wird als Nächstes ein Fall eines Bordradarsystems mit einer Array-Antenne beschrieben. Eine in einem Bordradarsystem verwendete Sendewelle kann eine Frequenz z.B. eines 76-Gigahertz- (GHz) - Bandes haben, die eine Wellenlänge  $\lambda_0$  von circa 4 mm im freien Raum hat.

**[0123]** In Sicherheitstechnik für Kraftfahrzeuge, z.B. in Kollisionsverhütungssystemen oder beim automatischen Fahren, kommt es insbesondere darauf an, ein oder mehr Fahrzeuge (Ziele) zu identifizieren, die vor dem Eigenfahrzeug fahren. Als Verfahren zum Identifizieren von Fahrzeugen sind Techniken zum Schätzen der Richtungen eintreffender Wellen mithilfe eines Radarsystems in Entwicklung.

**[0124] Fig. 25** zeigt ein Eigenfahrzeug 500 und ein voraus befindliches Fahrzeug 502, das auf derselben Fahrspur wie das Eigenfahrzeug 500 fährt. Das Eigenfahrzeug 500 weist ein Bordradarsystem auf, das eine Array-Antenne gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform enthält. Wenn das Bordradarsystem des Eigenfahrzeugs 500 ein Hochfrequenz-Sendesignal abstrahlt, erreicht das Sendesignal das voraus befindliche Fahrzeug 502 und wird von demselben reflektiert, so dass ein Teil des Signals zu dem Eigenfahrzeug 500 zurückkehrt. Das Bordradarsystem empfängt dieses Signal, um eine Position des voraus befindlichen Fahrzeugs 502, eine Distanz („Entfernung“) zu dem voraus befindlichen Fahrzeug 502, eine Geschwindigkeit usw. zu berechnen.

**[0125] Fig. 26** zeigt das Bordradarsystem 510 des Eigenfahrzeugs 500. Das Bordradarsystem 510 ist innerhalb des Fahrzeugs vorgesehen. Spezifischer ist das Bordradarsystem 510 auf einer Fläche des Rückspiegels angeordnet, die zu dessen Spiegelfläche entgegengesetzt ist. Aus dem Fahrzeug heraus strahlt das Bordradarsystem 510 ein Hochfrequenz-



Sendesignal in der Fahrtrichtung des Fahrzeugs 500 ab und empfängt (ein) Signal(e), das aus der Fahrtrichtung eintrifft.

**[0126]** Das Bordradarsystem 510 aus diesem Anwendungsbeispiel weist eine Schlitz-Array-Antenne gemäß der obigen Ausführungsform 2 auf. Dieses Anwendungsbeispiel ist so angeordnet, dass die Richtung, in der jedes von der Vielzahl von Wellenleiterbaugliedern sich erstreckt, mit der vertikalen Richtung zusammenfällt und dass die Richtung, in der die Vielzahl von Wellenleiterbaugliedern (relativ zueinander) arrayartig angeordnet sind, mit der horizontalen Richtung zusammenfällt. Infolgedessen kann die laterale Abmessung der Vielzahl von Schlitzen, von vorne gesehen, reduziert werden. Beispielsabmessungen für eine Antennenvorrichtung mit der obigen Array-Antenne können 60 mm (Breite) × 30 mm (Länge) × 10 mm (Tiefe) sein. Es sei darauf hingewiesen, dass dies für ein Millimeterwellenradarsystem des 76-GHz-Bandes eine sehr geringe Größe ist.

**[0127]** Es wird darauf hingewiesen, dass viele herkömmliche Bordradarsysteme außen am Fahrzeug vorgesehen sind, z.B. ganz vorne an der Frontpartie. Der Grund hierfür ist, dass das Bordradarsystem relativ groß ist und somit nur schwer innerhalb des Fahrzeugs vorgesehen sein kann, wie in der vorliegenden Offenbarung. Das Bordradarsystem 510 aus diesem Anwendungsbeispiel kann innerhalb des Fahrzeugs installiert sein, wie oben beschrieben, ist aber stattdessen auch ganz vorne an die Frontpartie montierbar. Da der Platzbedarf des Bordradarsystems an der Frontpartie reduziert ist, wird die Anordnung anderer Teile erleichtert.

**[0128]** Das Anwendungsbeispiel ermöglicht ein schmales Intervall zwischen einer Vielzahl von Wellenleiterbaugliedern (Rippen), die in der Sendeantenne verwendet werden, wodurch sich auch das Intervall zwischen einer Vielzahl von Schlitzen verschmälert, die entgegengesetzt zu einer Anzahl von benachbarten Wellenleiterbaugliedern vorzusehen sind. Dies reduziert die Einflüsse von Gitterkeulen. Beispielsweise treten keine Gitterkeulen in Vorwärtsrichtung auf, wenn das Intervall zwischen den Mitten von zwei lateral benachbarten Schlitzen kürzer als die Wellenlänge im freien Raum  $\lambda_0$  der Sendewelle (d.h. kleiner als circa 4 mm) ist. Daher werden die Einflüsse von Gitterkeulen reduziert. Es wird angemerkt, dass Gitterkeulen dann auftreten, wenn das Intervall, in dem die Antennenelemente arrayartig angeordnet sind, größer als eine Hälfte der Wellenlänge einer elektromagnetischen Welle ist. Wenn das Intervall, in dem die Antennenelemente arrayartig angeordnet sind, kleiner als die Wellenlänge ist, treten keine Gitterkeulen in Vorwärtsrichtung auf. In dem Fall, dass keine Strahlenkung durchgeführt wird, um Phasendifferenzen zwischen den Funkwel-

len zu übermitteln, die aus den jeweiligen Antennenelementen abgestrahlt werden, welche eine Array-Antenne bilden, haben Gitterkeulen daher im Wesentlichen keinen Einfluss, solange das Intervall, in dem die Antennenelemente arrayartig angeordnet sind, kleiner als die Wellenlänge ist. Durch Einstellen des Array-Faktors der Sendeantenne kann die Direktivität der Sendeantenne eingestellt werden. Es kann ein Phasenschieber vorgesehen sein, damit die Phasen elektromagnetischer Wellen, die auf mehreren Wellenleiterbaugliedern übertragen werden, individuell eingestellt werden können. Zur Vermeidung der Einflüsse von Gitterkeulen ist es in diesem Fall vorzuziehen, dass das Intervall zwischen den Antennenelementen weniger als eine Hälfte der Wellenlänge im freien Raum  $\lambda_0$  der Sendewelle beträgt. Durch Vorsehen eines Phasenschiebers kann die Direktivität der Sendeantenne in jede gewünschte Richtung geändert werden. Da die Konstruktion eines Phasenschiebers bekannt ist, wird auf ihre Beschreibung verzichtet.

**[0129]** Eine Empfangsantenne gemäß dem Anwendungsbeispiel vermag den Empfang reflektierter Wellen, die Gitterkeulen zugeordnet sind, zu verringern, so dass die Genauigkeit der unten beschriebenen Verarbeitung verbessert werden kann. Im Folgenden wird ein Beispiel für einen Empfangsprozess beschrieben.

**[0130]** Fig. 27A zeigt ein Verhältnis zwischen einer Array-Antenne AA des Bordradarsystems 510 und mehreren eintreffenden Wellen  $k$  ( $k$ : eine ganze Zahl von 1 bis  $K$ ; das gleiche gilt nachfolgend durchgängig.  $K$  ist die Anzahl der Ziele, die in verschiedenen Azimuten vorhanden sind). Die Array-Antenne AA weist  $M$  Antennenelemente in einem linearen Array auf. Eine Antenne ist prinzipiell sowohl zum Senden als auch zum Empfang verwendbar, und daher kann die Array-Antenne AA sowohl für eine Sendeantenne als auch für eine Empfangsantenne verwendet werden. Im Folgenden wird ein Beispielverfahren für die Verarbeitung einer eintreffenden Welle beschrieben, die durch die Empfangsantenne empfangen wird.

**[0131]** Die Array-Antenne AA empfängt mehrere eintreffende Wellen, die gleichzeitig in verschiedenen Winkeln auftreten. Einige von den mehreren eintreffenden Wellen können eintreffende Wellen sein, die aus der Sendeantenne desselben Bordradarsystems 510 abgestrahlt und durch ein oder mehrere Ziele reflektiert wurden. Außerdem können einige der mehreren eintreffenden Wellen direkte oder indirekte eintreffende Wellen sein, die aus anderen Fahrzeugen abgestrahlt wurden.

**[0132]** Der Einfallswinkel einer jeden eintreffenden Welle (d.h. ein Winkel, der die Richtung ihres Eintreffens repräsentiert) ist ein auf die breite Seite  $B$  der

Array-Antenne AA bezogener Winkel. Der Einfallswinkel einer eintreffenden Welle repräsentiert einen Winkel mit Bezug auf eine Richtung, die zu der Richtung der Linie, entlang derer Antennenelemente arrayartig angeordnet sind, senkrecht steht.

**[0133]** Es werde nun eine k-te eintreffende Welle betrachtet. Wenn auf der Array-Antenne von K Zielen aus, die bei unterschiedlichen Azimuten vorhanden sind, K eintreffende Wellen auftreten, bedeutet eine „k-te eintreffende Welle“ eine eintreffende Welle, die durch einen Einfallswinkel  $\theta_k$  identifiziert ist.

**[0134]** Fig. 27B zeigt die Array-Antenne AA, die die k-te eintreffende Welle empfängt. Die durch die Array-Antenne AA empfangenen Signale können durch Gleichung 1 als ein „Vektor“ mit M Elementen ausgedrückt werden.

$$S = [s_1, s_2, \dots, s_M]^T \quad \text{(Gleichung 1)}$$

**[0135]** In der obigen Gleichung ist  $s_m$  (wobei m eine ganze Zahl von 1 bis M ist; dies gilt auch im Folgenden) der Wert eines Signals, das durch ein m-tes Antennenelement empfangen wird. Das hochgestellte T bedeutet Transposition. S ist ein Spaltenvektor. Der Spaltenvektor S ist definiert durch ein Produkt einer Multiplikation aus einem durch die Konstruktion der Array-Antenne bestimmten Richtungsvektor (als Lenkvektor oder Modenvektor bezeichnet) und einem komplexen Vektor, der ein Signal von dem jeweiligen Ziel repräsentiert (auch als Wellenquelle oder Signalquelle bezeichnet). Wenn die Anzahl der Wellenquellen K ist, sind die Wellen von Signalen, die aus den jeweiligen K Wellenquellen an jedem einzelnen Antennenelement eintreffen, linear überlagert. In diesem Zustand kann  $s_m$  durch Gleichung 2 ausgedrückt werden.

$$s_m = \sum_{k=1}^K a_k \exp \left\{ j \left( \frac{2\pi}{\lambda} d_m \sin \theta_k + \varphi_k \right) \right\} \quad \text{[Gleichung 2]}$$

in Gleichung 2 bezeichnen  $a_k$ ,  $\theta_k$  und  $\varphi_k$  die Amplitude, den Einfallswinkel bzw. die Anfangsphase der k-ten eintreffenden Welle. Außerdem bezeichnet  $\lambda$  die Wellenlänge einer eintreffenden Welle, und j ist eine imaginäre Einheit.

**[0136]** Wie aus Gleichung 2 ersichtlich, ist  $s_m$  als komplexe Zahl ausgedrückt, die aus einem realen Teil (Re) und einem imaginären Teil (Im) besteht.

**[0137]** Wenn dies durch Berücksichtigung von Rauschen (Eigenrauschen oder Wärmerauschen) weiter verallgemeinert wird, lässt sich das Array-Empfangssignal X als Gleichung 3 ausdrücken.

$$X = S + N \quad \text{(Gleichung 3)}$$

N ist ein Vektorausdruck für das Rauschen.

**[0138]** Die Signalverarbeitungsschaltung erzeugt mithilfe des Array-Empfangssignals X, ausgedrückt durch Gleichung 3, eine räumliche Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  (Gleichung 4) eintreffender Wellen und bestimmt des Weiteren Eigenwerte der räumlichen Kovarianzmatrix  $R_{xx}$ .

$$R_{xx} = XX^H = \begin{bmatrix} R_{xx_{11}} & \dots & R_{xx_{1M}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{xx_{M1}} & \dots & R_{xx_{MM}} \end{bmatrix} \quad \text{[Gleichung 4]}$$

In der obigen Gleichung bedeutet das hochgestellte H konjugiert-komplexe Transposition (hermitesche Konjugierte).

**[0139]** Bei den Eigenwerten entspricht die Anzahl der Eigenwerte mit Werten, die gleich einem oder größer als ein vorbestimmter Wert sind, der auf Basis von Wärmerauschen definiert ist (Signalrauschen), der Anzahl eintreffender Wellen. Es werden dann Winkel berechnet, die die höchste Wahrscheinlichkeit hinsichtlich der Einfallrichtungen reflektierter Wellen (d.h. die maximale Wahrscheinlichkeit) ergeben, wodurch die Anzahl der Ziele und die Winkel, in denen sich die jeweiligen Ziele befinden, identifizierbar sind. Dieser Prozess ist als eine Schätztechnik für die maximale Wahrscheinlichkeit bekannt.

**[0140]** Siehe als Nächstes Fig. 28. Fig. 28 ist ein Blockdiagramm, das eine Beispiel-Grundkonstruktion einer Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 gemäß der vorliegenden Offenbarung zeigt. Die in Fig. 28 gezeigte Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 weist ein Radarsystem 510, das in einem Fahrzeug montiert ist, und eine mit dem Radarsystem 510 verbundene elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 auf. Das Radarsystem 510 weist eine Array-Antenne AA und eine Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530 auf.

**[0141]** Die Array-Antenne AA weist eine Vielzahl von Antennenelementen auf, von denen jedes in Antwort auf eine oder mehrere eintreffende Wellen ein Empfangssignal ausgibt. Wie bereits erwähnt, ist die Array-Antenne AA zum Abstrahlen einer Millimeterwelle mit einer hohen Frequenz fähig. Es wird darauf hingewiesen, dass die Array-Antenne AA, ohne auf die Array-Antenne gemäß Ausführungsform 2 beschränkt zu sein, jede andere Array-Antenne sein kann, die in geeigneter Weise Empfang durchführt.

**[0142]** In dem Radarsystem 510 muss die Array-Antenne AA am Fahrzeug angebracht sein, während zumindest einige der Funktionen der Radarsignal-

Verarbeitungseinrichtung 530 durch einen Computer 550 und eine Datenbank 552 implementiert sein können, die extern zu der Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 (z.B. außerhalb des Eigenfahrzeugs) vorgesehen sind. In diesem Fall können die Abschnitte der Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530, die sich im Fahrzeug befinden, dauerhaft oder gelegentlich mit dem Computer 550 und der Datenbank 552 verbunden sein, die zum Fahrzeug extern sind, so dass bidirektionale Übermittlungen von Signalen oder Daten möglich sind. Die Übermittlungen sind über eine Kommunikationsvorrichtung 540 des Fahrzeugs und ein üblicherweise verfügbares Kommunikationsnetz durchführbar.

**[0143]** Die Datenbank 552 kann ein Programm speichern, das verschiedene Signalverarbeitungsalgorithmen definiert. Der Inhalt der Daten und des Programms, die für den Betrieb des Radarsystems 510 benötigt werden, können über die Kommunikationsvorrichtung 540 extern aktualisiert werden. Somit sind zumindest einige der Funktionen des Radarsystems 510 durch eine Cloud-Computing-Technik extern zum Eigenfahrzeug realisierbar (was das innere eines anderen Fahrzeugs einschließt). Für ein „Bord“-Radarsystem in der Bedeutung der vorliegenden Offenbarung ist es daher nicht erforderlich, dass alle Bestandteile innerhalb des (Eigen-) Fahrzeugs montiert sind. Jedoch beschreibt die vorliegende Anmeldung der Einfachheit halber eine Implementierung, bei der alle Bestandteile gemäß der vorliegenden Offenbarung in einem einzigen Fahrzeug (d.h. dem Eigenfahrzeug) montiert sind, sofern nicht anders angegeben.

**[0144]** Die Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530 weist eine Signalverarbeitungsschaltung 560 auf. Die Signalverarbeitungsschaltung 560 empfängt direkt oder indirekt Empfangssignale von der Array-Antenne AA und gibt die Empfangssignale oder (ein) sekundäre(s) Signal(e), die aus den Empfangssignalen generiert wurden, in eine Einfallswellen-Schätzereinheit AU ein. Ein Teil der Schaltung oder die gesamte Schaltung (nicht gezeigt), die aus den Empfangssignalen (ein) sekundäre(s) Signal(e) generiert, braucht nicht innerhalb der Signalverarbeitungsschaltung 560 vorgesehen zu sein. Ein Teil einer oder eine gesamte solche Schaltung (Vorverarbeitungsschaltung) kann zwischen der Array-Antenne AA und der Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530 vorgesehen sein.

**[0145]** Die Signalverarbeitungsschaltung 560 ist dazu konfiguriert, mithilfe der Empfangssignale oder sekundären Signal(e) Berechnungen durchzuführen und ein Signal auszugeben, das die Anzahl der eintreffenden Wellen anzeigt. Gemäß der vorliegenden Verwendung kann als „Signal, das die Anzahl der eintreffenden Wellen anzeigt“ ein Signal bezeichnet werden, das die Anzahl voraus befindlicher Fahr-

zeuge vor dem Eigenfahrzeug anzeigt (die ein voraus befindliches Fahrzeug oder mehrere voraus befindliche Fahrzeuge sein können).

**[0146]** Die Signalverarbeitungsschaltung 560 kann zum Durchführen verschiedener Signalverarbeitungen konfiguriert sein, die durch bekannte Radarsignal-Verarbeitungseinrichtungen ausführbar sind. Beispielsweise kann die Signalverarbeitungsschaltung 560 dazu konfiguriert sein, „Überauflösungs-Algorithmen“ auszuführen wie etwa das MUSIC-Verfahren, das ESPRIT-Verfahren oder das SAGE-Verfahren, oder andere Algorithmen zur Einfallswellen-Schätzung mit relativ niedriger Auflösung.

**[0147]** Die in **Fig. 28** gezeigte Einfallswellen-Schätzereinheit AU schätzt einen Winkel, der das Azimut einer jeden eintreffenden Welle repräsentiert, durch einen beliebigen Algorithmus zur Einfallswellen-Schätzung, und gibt ein Signal aus, das das Schätzungsergebnis anzeigt. Die Signalverarbeitungsschaltung 560 schätzt die Distanz zu jedem Ziel als Wellenquelle einer eintreffenden Welle, die relative Geschwindigkeit des Ziels und das Azimut des Ziels mit einem bekannten Algorithmus, der durch die Einfallswellen-Schätzereinheit AU ausgeführt wird, und gibt ein Signal aus, das das Schätzungsergebnis anzeigt.

**[0148]** In der vorliegenden Offenbarung ist der Ausdruck „Signalverarbeitungsschaltung“ nicht auf eine einzelne Schaltung beschränkt, sondern schließt jede Implementierung ein, bei der eine Kombination aus mehreren Schaltungen konzeptionell als ein einziges funktionelles Teil betrachtet wird. Die Signalverarbeitungsschaltung 560 kann durch ein oder mehr Ein-Chip-Systeme (SoCs) realisiert sein. Beispielsweise kann ein Teil der oder die gesamte Signalverarbeitungsschaltung 560 ein FPGA (feldprogrammierbares Array) sein, das eine programmierbare Logikvorrichtung (PLD) ist. In diesem Fall weist die Signalverarbeitungsschaltung 560 eine Vielzahl von Berechnungselementen (z.B. Universallogiken und Multiplizierer) und eine Vielzahl von Speicherelementen (z.B. Verweistabellen oder Speicherblöcke) auf. Alternativ kann die Signalverarbeitungsschaltung 560 ein Satz aus (einem) Universalprozessor(en) und (einer) Hauptspeichervorrichtung(en) sein. Die Signalverarbeitungsschaltung 560 kann eine Schaltung sein, die (einen) Prozessor(en) und (eine) Speichervorrichtung(en) aufweist. Diese können als die Signalverarbeitungsschaltung 560 funktionieren.

**[0149]** Die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 ist dazu konfiguriert, Fahrassistenz für das Fahrzeug auf Basis verschiedener Signale bereitzustellen, die aus der Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530 ausgegeben werden. Die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 weist

verschiedene elektronische Steuereinheiten dazu an, vorbestimmte Funktionen zu erfüllen, z.B. eine Funktion zur Alarmausgabe, um den Fahrer zu einem Bremsvorgang aufzufordern, wenn die Distanz zu einem voraus befindlichen Fahrzeug (Fahrzeugabstand) kürzer als ein vordefinierter Wert geworden ist; eine Funktion zur Steuerung der Bremsen und eine Funktion zur Beschleunigungssteuerung. Beispielsweise schickt im Fall eines Betriebsmodus, der eine adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung des Eigenfahrzeugs durchführt, die elektronische Fahrassistenz-Steuer-einrichtung 520 vorbestimmte Signale an verschiedene elektronische Steuereinheiten (nicht gezeigt) und Aktoren, um die Distanz des Eigenfahrzeugs zu einem voraus befindlichen Fahrzeug auf einem vordefinierten Wert zu halten oder die Fahrgeschwindigkeit des Eigenfahrzeugs auf einem vordefinierten Wert zu halten.

**[0150]** Im Fall des MUSIC-Verfahrens bestimmt die Signalverarbeitungsschaltung 560 Eigenwerte der räumlichen Kovarianzmatrix und gibt als Signal, das die Anzahl eintreffender Wellen anzeigt, ein Signal aus, das die Anzahl derjenigen Eigenwerte („Signalraum-Eigenwerte“) anzeigt, die größer als ein vorbestimmter Wert sind, der auf Basis von Wärmerauschen definiert ist (thermische Rauschleistung).

**[0151]** Siehe als Nächstes **Fig. 29**. **Fig. 29** ist ein Blockdiagramm, das eine weitere Beispielkonstruktion für die Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 zeigt. Das Radarsystem 510 in der Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 aus **Fig. 29** weist eine Array-Antenne AA, die eine nur für den Empfang bestimmte Array-Antenne Rx (auch als Empfangsantenne bezeichnet) und eine nur zum Senden bestimmte Array-Antenne Tx (auch als Sendeantenne bezeichnet) aufweist; und eine Objektdetektionseinrichtung 570 auf.

**[0152]** Mindestens entweder die Sendeantenne Tx oder die Empfangsantenne Rx hat die oben genannte Wellenleiterstruktur. Die Sendeantenne Tx strahlt eine Sendewelle ab, die beispielsweise eine Millimeterwelle sein kann. Die Empfangsantenne Rx, die nur für den Empfang bestimmt ist, gibt ein Empfangssignal in Antwort auf eine oder mehrere eintreffende Wellen (z.B. eine Millimeterwelle(n)) aus.

**[0153]** Eine Sende-/Empfangsschaltung 580 schickt ein Sendesignal für eine Sendewelle an die Sendeantenne Tx und führt „Vorverarbeitung“ für Empfangssignale von Empfangswellen durch, die an der Empfangsantenne Rx empfangen werden. Ein Teil der oder die gesamte Vorverarbeitung kann durch die Signalverarbeitungsschaltung 560 in der Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530 erfolgen. Ein typisches Beispiel für eine durch die Sende-/Emp-

fangsschaltung 580 durchzuführende Vorverarbeitung kann es sein, aus einem Empfangssignal ein Schwebungssignal zu generieren und ein Empfangssignal mit analogem Format in ein Empfangssignal mit digitalem Format umzuwandeln.

**[0154]** Es wird darauf hingewiesen, dass das Radarsystem gemäß der vorliegenden Offenbarung, ohne auf die Implementierung beschränkt zu sein, bei der es in dem Eigenfahrzeug montiert ist, an der Straße oder einem Gebäude angebracht verwendet werden kann.

**[0155]** Als Nächstes wird ein Beispiel für eine spezifischere Konstruktion der Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 beschrieben.

**[0156]** **Fig. 30** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für eine spezifischere Konstruktion der Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 zeigt. Die in **Fig. 30** gezeigte Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 weist ein Radarsystem 510 und ein Bordkamerasystem 700 auf. Das Radarsystem 510 weist eine Array-Antenne AA, eine Sende-/Empfangsschaltung 580, die mit der Array-Antenne AA verbunden ist, und eine Signalverarbeitungsschaltung 560 auf.

**[0157]** Das Bordkamerasystem 700 weist eine Bordkamera 710, die in einem Fahrzeug montiert ist, und eine Bildverarbeitungsschaltung 720 auf, die ein durch die Bordkamera 710 erfasstes Bild oder Video verarbeitet.

**[0158]** Die Fahrzeug-Fahrsteuereinrichtung 600 aus diesem Anwendungsbeispiel weist eine Objektdetektionseinrichtung 570, die mit der Array-Antenne AA und der Bordkamera 710 verbunden ist, und eine elektronische Fahrassistenz-Steuer-einrichtung 520 auf, die mit der Objektdetektionseinrichtung 570 verbunden ist. Zusätzlich zu der oben beschriebenen Radarsignal-Verarbeitungseinrichtung 530 (einschließlich der Signalverarbeitungsschaltung 560) weist die Objektdetektionseinrichtung 570 eine Sende-/Empfangsschaltung 580 und eine Bildverarbeitungsschaltung 720 auf. Die Objektdetektionseinrichtung 570 detektiert ein Ziel auf der Straße oder in der Nähe der Straße mithilfe nicht nur der durch das Radarsystem 510 gewonnenen Informationen, sondern auch der durch die Bildverarbeitungsschaltung 720 gewonnenen Informationen. Beispielsweise kann die Bildverarbeitungsschaltung 720, während das Eigenfahrzeug auf einer von zwei oder mehr Fahrspuren derselben Richtung fährt, unterscheiden, auf welcher Fahrspur das Eigenfahrzeug fährt, und dieses Unterscheidungsergebnis der Signalverarbeitungsschaltung 560 zuführen. Wenn Anzahl und Azimut(e) von voraus befindlichen Fahrzeugen mithilfe eines vorbestimmten Algorithmus zur Einfallrichtungsschätzung (z.B. das MUSIC-Verfahren) erkannt werden sollen, kann die Signalverarbeitungsschal-

tung 560 zuverlässigere Informationen zu einer räumlichen Verteilung voraus befindlicher Fahrzeuge liefern, indem auf die Informationen aus der Bildverarbeitungsschaltung 720 zurückgegriffen wird.

**[0159]** Es wird darauf hingewiesen, dass das Bordkammersystem 700 ein Beispiel für ein Mittel zum Identifizieren dessen ist, auf welcher Fahrspur das Eigenfahrzeug fährt. Die Fahrspurposition des Eigenfahrzeugs kann auch durch jedes andere Mittel identifiziert werden. Beispielsweise ist es durch Nutzung einer Ultrabreitband- (UWB-) Technik möglich, zu identifizieren, auf welcher von einer Vielzahl von Fahrspuren das Eigenfahrzeug fährt. Es ist allgemein bekannt, dass die Ultrabreitbandtechnik auf Positionsmessung und/oder Radar anwendbar ist. Die Verwendung der Ultrabreitbandtechnik erhöht die Entfernungsauflösung des Radars, so dass auch dann, wenn sich eine große Anzahl von Fahrzeugen voraus befindet, jedes einzelne Ziel auf Basis von Distanzunterschieden deutlich detektiert werden kann. Dies ermöglicht es, eine Distanz aus einer Leitplanke am Seitenstreifen oder aus dem Mittelstreifen zu identifizieren. Die Breite einer jeden Fahrspur ist durch die Gesetze des jeweiligen Landes oder dergleichen vordefiniert. Durch Verwendung solcher Informationen wird es möglich, zu identifizieren, wo sich die Fahrspur befindet, auf der das Eigenfahrzeug gerade fährt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Ultrabreitbandtechnik ein Beispiel ist. Es kann auch eine Funkwelle auf Basis jeder anderen Drahtlostechnik verwendet werden. Zudem kann zusammen mit einem Radar LIDAR (Lichtdetektion und Abstandsmessung) verwendet werden. LIDAR wird manchmal als „Laserradar“ bezeichnet.

**[0160]** Die Array-Antenne AA kann eine generische Millimeterwellen-Array-Antenne zur bordeigenen Verwendung sein. Die Sendeantenne Tx in diesem Anwendungsbeispiel strahlt eine Millimeterwelle als Sendewelle vor dem Fahrzeug ab. Ein Abschnitt der Sendewelle wird von einem Ziel reflektiert, das typischerweise ein voraus befindliches Fahrzeug ist, so dass von dem Ziel als Wellenquelle eine reflektierte Welle ausgeht. Ein Abschnitt der reflektierten Welle erreicht die Array-Antenne (Empfangsantenne) AA als eintreffende Welle. Jedes aus der Vielzahl von Antennenelementen der Array-Antenne AA gibt in Antwort auf eine oder mehrere eintreffende Wellen ein Empfangssignal aus. In dem Fall, dass die Anzahl der Ziele, die als Wellenquellen reflektierter Wellen funktionieren,  $K$  ist (wobei  $K$  eine ganze Zahl mit dem Wert 1 oder mehr ist), ist die Anzahl eintreffender Wellen  $K$ , jedoch ist diese Zahl  $K$  eintreffender Wellen nicht im Voraus bekannt.

**[0161]** In dem Beispiel aus **Fig. 28** wird vorausgesetzt, dass das Radarsystem 510 als integrales Stück, einschließlich der Array-Antenne AA, am Rückspiegel vorgesehen ist. Jedoch sind Anzahl

und Positionen von Array-Antennen AA nicht auf eine spezifische Anzahl oder spezifische Positionen beschränkt. Eine Array-Antenne AA kann an der hinteren Oberfläche des Fahrzeugs angeordnet sein, um Ziele detektieren zu können, die sich hinter dem Fahrzeug befinden. Außerdem kann eine Vielzahl von Array-Antennen AA an der vorderen Oberfläche und der hinteren Oberfläche des Fahrzeugs angeordnet sein. Die Array-Antenne(n) AA können im Inneren des Fahrzeugs angeordnet sein. Auch in dem Fall, in dem eine Hornantenne, deren jeweilige Antennenelemente, wie oben erwähnt, Hörner aufweisen, als Array-Antenne(n) AA verwendet werden soll, können die Array-Antenne(n) mit solchen Antennenelementen sich im Inneren des Fahrzeugs befinden.

**[0162]** Die Signalverarbeitungsschaltung 560 empfängt und verarbeitet die Empfangssignale, die durch die Empfangsantenne Rx empfangen wurden und einer Vorverarbeitung durch die Sende-/Empfangsschaltung 580 unterzogen wurden. Dieser Prozess umfasst das Eingeben der Empfangssignale in die Einfallswellen-Schätzeinheit AU oder alternativ das Generieren eines bzw. mehrerer sekundärer Signale aus den Empfangssignalen und Eingeben des bzw. der sekundäre(n) Signal(e) in die Einfallswellen-Schätzeinheit AU.

**[0163]** In dem Beispiel aus **Fig. 30** ist in der Objektdetektionseinrichtung 570 eine Auswahlschaltung 596 vorgesehen, die das aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 ausgegebene Signal und das aus der Bildverarbeitungsschaltung 720 ausgegebene Signal empfängt. Die Auswahlschaltung 596 ermöglicht das Einspeisen des aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 ausgegebenen Signals oder des aus der Bildverarbeitungsschaltung 720 ausgegebenen Signals, oder beider Signale, in die elektronische Fahrassistenz-Steuerinrichtung 520.

**[0164]** **Fig. 31** ist ein Blockdiagramm, das eine detailliertere Beispielkonstruktion des Radarsystems 510 gemäß diesem Anwendungsbeispiel zeigt.

**[0165]** Wie in **Fig. 31** gezeigt, weist die Array-Antenne AA eine Sendeantenne Tx, die eine Millimeterwelle sendet, und Empfangsantennen Rx auf, die eintreffende, von Zielen reflektierte Wellen empfangen. Obwohl in der Figur nur eine Sendeantenne Tx illustriert ist, können zwei oder mehr Arten von Sendeantennen mit unterschiedlichen Charakteristiken vorgesehen sein. Die Array-Antenne AA weist  $M$  Antennenelemente  $11_1, 11_2, \dots, 11_M$  auf (wobei  $M$  eine ganze Zahl gleich oder größer als 3 ist). In Antwort auf die eintreffenden Wellen geben die Vielzahl von Antennenelementen  $11_1, 11_2, \dots, 11_M$  jeweils Empfangssignale  $s_1, s_2, \dots, s_M$  aus (**Fig. 27B**).

**[0166]** In der Array-Antenne AA sind die Antennenelemente  $11_1$  bis  $11_M$  beispielsweise in einem linearen Array oder einem zweidimensionalen Array in festen Intervallen angeordnet. Jede eintreffende Welle trifft auf die Array-Antenne AA aus einer Richtung in einem Winkel  $\theta$  mit Bezug auf die Normale der Ebene auf, in der die Antennenelemente  $11_1$  bis  $11_M$  arrayartig angeordnet sind. Somit ist die Einfallsrichtung einer eintreffenden Welle durch diesen Winkel  $\theta$  definiert.

**[0167]** Wenn eine eintreffende Welle von einem Ziel aus auf der Array-Antenne AA auftrifft, nähert sich dies einer ebenen Welle, die auf die Antennenelemente  $11_1$  bis  $11_M$  aus Azimuten desselben Winkels  $\theta$  auftrifft. Wenn K eintreffende Wellen auf der Array-Antenne AA von K Zielen mit unterschiedlichen Azimuten auftreffen, können die einzelnen eintreffenden Wellen mithilfe jeweils unterschiedlicher Winkel  $\theta_1$  bis  $\theta_k$  identifiziert werden.

**[0168]** Wie in Fig. 31 gezeigt, weist die Objektdetektionseinrichtung 570 die Sende-/Empfangsschaltung 580 und die Signalverarbeitungsschaltung 560 auf.

**[0169]** Die Sende-/Empfangsschaltung 580 weist eine Dreieckswellen-Generierungsschaltung 581, einen VCO (spannungsgesteuerten Oszillator) 582, einen Verteiler 583, Mischer 584, Filter 585, einen Schalter 586, einen A/D-Wandler 587 und eine Steuerung 588 auf. Obwohl das Radarsystem in diesem Anwendungsbeispiel dazu konfiguriert ist, Senden und Empfang von Millimeterwellen im FMCW-Verfahren durchzuführen, ist das Radarsystem der vorliegenden Offenbarung nicht auf dieses Verfahren beschränkt. Die Sende-/Empfangsschaltung 580 ist dazu konfiguriert, auf Basis eines Empfangssignals von der Array-Antenne AA und eines Sendesignals von der Sendeantenne Tx ein Schwebungssignal zu generieren.

**[0170]** Die Signalverarbeitungsschaltung 560 weist einen Distanzdetektionsabschnitt 533, einen Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 und einen Azimut-Detektionsabschnitt 536 auf. Die Signalverarbeitungsschaltung 560 ist dazu konfiguriert, ein Signal aus dem A/D-Wandler 587 in der Sende-/Empfangsschaltung 580 zu verarbeiten und Signale auszugeben, die jeweils die detektierte Distanz zum Ziel, die relative Geschwindigkeit des Ziels und das Azimut des Ziels anzeigen.

**[0171]** Zunächst werden Konstruktion und Funktionsweise der Sende-/Empfangsschaltung 580 im Detail beschrieben.

**[0172]** Die Dreieckswellen-Generierungsschaltung 581 generiert ein Dreieckswellensignal und führt es dem VCO 582 zu. Der VCO 582 gibt ein Sendesignal mit einer Frequenz aus, wie auf Basis des Dreiecks-

wellensignals moduliert. Fig. 32 ist ein Diagramm, das die Veränderung der Frequenz eines Sendesignals zeigt, das auf Basis des Signals moduliert ist, welches durch die Dreieckswellen-Generierungsschaltung 581 generiert ist. Diese Wellenform hat eine Modulationsbreite  $\Delta f$  und eine Mittelfrequenz von  $f_0$ . Das Sendesignal mit einer so modulierten Frequenz wird dem Verteiler 583 zugeführt. Der Verteiler 583 lässt eine Verteilung des aus dem VCO 582 gewonnenen Sendesignals zwischen den Mischern 584 und der Sendeantenne Tx zu. Somit strahlt die Sendeantenne eine Millimeterwelle mit einer Frequenz ab, die in Dreieckswellen moduliert ist, wie in Fig. 32 gezeigt.

**[0173]** Zusätzlich zu dem Sendesignal zeigt Fig. 32 auch ein Beispiel für ein Empfangssignal aus einer eintreffenden Welle, die von einem einzelnen voraus befindlichen Fahrzeug reflektiert ist. Das Empfangssignal ist gegenüber dem Sendesignal verzögert. Diese Verzögerung steht in Proportion zu der Distanz zwischen dem Eigenfahrzeug und dem voraus befindlichen Fahrzeug. Zudem erhöht oder verringert sich die Frequenz des Empfangssignals aufgrund des Dopplereffekts entsprechend der relativen Geschwindigkeit des voraus befindlichen Fahrzeugs.

**[0174]** Wenn das Empfangssignal und das Sendesignal gemischt werden, wird auf Basis ihres Frequenzunterschieds ein Schwebungssignal generiert. Die Frequenz dieses Schwebungssignals (Schwebungsfrequenz) differiert zwischen einer Periode, in der das Sendesignal sich in der Frequenz erhöht (Anstieg) und einer Periode, in der das Sendesignal sich in der Frequenz verringert (Abfall). Sobald eine Schwebungsfrequenz für jede Periode auf Basis solcher Schwebungsfrequenzen bestimmt ist, werden die Distanz zum Ziel und die relative Geschwindigkeit des Ziels berechnet.

**[0175]** Fig. 33 zeigt eine Schwebungsfrequenz  $f_u$  in einer „Anstiegs“-Periode und eine Schwebungsfrequenz  $f_d$  in einer „Abfall“-Periode. In dem Graphen aus Fig. 33 steht die horizontale Achse für die Frequenz und die vertikale Achse für die Signalintensität. Dieser Graph wird gewonnen, indem das Schwebungssignal einer Zeit-Frequenz-Umwandlung unterzogen wird. Sobald die Schwebungsfrequenzen  $f_u$  und  $f_d$  auf Basis einer bekannten Gleichung bestimmt sind, werden die Distanz zum Ziel und die relative Geschwindigkeit des Ziels berechnet. In diesem Anwendungsbeispiel mit der oben beschriebenen Konstruktion und Funktionsweise werden Schwebungsfrequenzen gewonnen, die dem jeweiligen Antennenelement der Array-Antenne AA entsprechen, was die Schätzung der Positionsinformationen eines Ziels ermöglicht.

**[0176]** In dem in Fig. 31 gezeigten Beispiel werden Empfangssignale aus Kanälen  $Ch_1$  bis  $Ch_M$ , die den

jeweiligen Antennenelementen  $11_1$  bis  $11_M$  entsprechen, jeweils durch einen Verstärker verstärkt und in die entsprechenden Mischer 584 eingegeben. Jeder Mischer 584 mischt das Sendesignal in das verstärkte Empfangssignal. Durch dieses Mischen wird ein Schwebungssignal generiert, das dem Frequenzunterschied zwischen dem Empfangssignal und dem Sendesignal entspricht. Das generierte Schwebungssignal wird in das entsprechende Filter 585 gespeist. Die Filter 585 wenden Bandbreitensteuerung auf die Schwebungssignale auf den Kanälen  $Ch_1$  bis  $Ch_M$  an und führen dem Schalter 586 bandbreitengesteuerte Schwebungssignale zu.

**[0177]** Der Schalter 586 führt ein Schalten in Antwort auf ein aus der Steuerung 588 eingegebenes Abtastsignal durch. Die Steuerung 588 kann beispielsweise durch einen Mikrocomputer gebildet sein. Auf Basis eines Computerprogramms, das in einem Speicher wie etwa einem ROM gespeichert ist, steuert die Steuerung 588 die gesamte Sende-/Empfangsschaltung 580. Die Steuerung 588 braucht nicht innerhalb der Sende-/Empfangsschaltung 580 vorgesehen zu sein, sondern kann innerhalb der Signalverarbeitungsschaltung 560 vorgesehen sein. Anders ausgedrückt: Die Sende-/Empfangsschaltung 580 kann entsprechend einem Steuersignal aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 arbeiten. Alternativ können einige oder alle Funktionen der Steuerung 588 durch eine zentrale Verarbeitungseinheit realisiert sein, die die gesamte Sende-/Empfangsschaltung 580 und Signalverarbeitungsschaltung 560 steuert.

**[0178]** Nachdem die Schwebungssignale auf den Kanälen  $Ch_1$  bis  $Ch_M$  durch die jeweiligen Filter 585 passiert sind, werden sie über den Schalter 586 nacheinander dem A/D-Wandler 587 zugeführt. In Synchronisation mit dem Abtastsignal wandelt der A/D-Wandler 587 die Schwebungssignale auf den Kanälen  $Ch_1$  bis  $Ch_M$ , die aus dem Schalter 586 eingegeben werden, in digitale Signale um.

**[0179]** Im Folgenden werden Konstruktion und Funktionsweise der Signalverarbeitungsschaltung 560 im Detail beschrieben. In diesem Anwendungsbeispiel werden die Distanz zum Ziel und die relative Geschwindigkeit des Ziels im FMCW-Verfahren geschätzt. Ohne auf das unten beschriebene FMCW-Verfahren beschränkt zu sein, kann das Radarsystem auch mithilfe anderer Verfahren implementiert sein, z.B. in 2-Frequenz-CW- und Spreizspektrum-Verfahren.

**[0180]** Bei dem in **Fig. 31** gezeigten Beispiel weist die Signalverarbeitungsschaltung 560 auf: einen Speicher 531, einen Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532, einen Distanzdetektionsabschnitt 533, einen Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534, einen DBF- (Digitale-Strahlformung-)

Verarbeitungsabschnitt 535, einen Azimut-Detektionsabschnitt 536, einen Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537, einen Matrixgenerierungsabschnitt 538, einen Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 und eine Einfallswellen-Schätzereinheit AU. Wie bereits erwähnt, kann ein Teil der oder die gesamte Signalverarbeitungsschaltung 560 durch FPGA oder durch einen Satz aus (einem) Universalprozessor(en) und (einer) Hauptspeichervorrichtung(en) implementiert sein. Der Speicher 531, der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532, der DBF-Verarbeitungsabschnitt 535, der Distanzdetektionsabschnitt 533, der Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534, der Azimut-Detektionsabschnitt 536, der Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 und die Einfallswellen-Schätzereinheit AU können einzelne Teile, die in eigenständigen Hardware-Teilen implementiert sind, oder Funktionsblöcke einer einzigen Signalverarbeitungsschaltung sein.

**[0181]** **Fig. 34** zeigt eine Beispielimplementierung, bei der die Signalverarbeitungsschaltung 560 in Hardware einschließlich eines Prozessors PR und einer Speichervorrichtung MD implementiert ist. Auch bei der Signalverarbeitungsschaltung 560 mit dieser Konstruktion kann ein in der Speichervorrichtung MD gespeichertes Computerprogramm die Funktionen des Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitts 532, des DBF-Verarbeitungsabschnitts 535, des Distanzdetektionsabschnitts 533, des Geschwindigkeitsdetektionsabschnitts 534, des Azimut-Detektionsabschnitts 536, des Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitts 537, des Matrixgenerierungsabschnitts 538 und der Einfallswellen-Schätzereinheit AU erfüllen, die in **Fig. 31** gezeigt sind.

**[0182]** Die Signalverarbeitungsschaltung 560 in diesem Anwendungsbeispiel ist konfiguriert zum Schätzen der Positionsinformationen eines voraus befindlichen Fahrzeugs mithilfe eines jeden Schwebungssignals, das in ein digitales Signal umgewandelt ist, als sekundäres Signal des Empfangssignals sowie zum Ausgeben eines Signals, das das Schätzungsergebnis anzeigt. Im Folgenden werden Konstruktion und Funktionsweise der Signalverarbeitungsschaltung 560 in diesem Anwendungsbeispiel im Detail beschrieben.

**[0183]** Für jeden der Kanäle  $Ch_1$  bis  $Ch_M$  speichert der Speicher 531 in der Signalverarbeitungsschaltung 560 ein digitales Signal, das aus dem A/D-Wandler 587 ausgegeben wird. Der Speicher 531 kann durch ein generisches Speichermedium wie etwa einen Halbleiterspeicher oder eine Festplatte und/oder eine optische Platte gebildet sein.

**[0184]** Der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 wendet Fourier-Transformation auf die jeweiligen Schwebungssignale für die Kanäle  $Ch_1$

bis  $Ch_M$  an (in dem unteren Graphen aus **Fig. 32** gezeigt), die in dem Speicher 531 gespeichert sind. In der vorliegenden Beschreibung wird die Amplitude eines Komplexe-Zahl-Datums nach der Fourier-Transformation als „Signalintensität“ bezeichnet. Der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 wandelt die Komplexe-Zahl-Daten eines Empfangssignals aus einem von der Vielzahl von Antennenelementen oder eine Summe der Komplexe-Zahl-Daten aller Empfangssignale aus der Vielzahl von Antennenelementen in ein Frequenzspektrum um. In dem so entstandenen Spektrum können Schwebungsfrequenzen entsprechend jeweiligen Spitzenwerten detektiert werden, die Vorhandensein und Distanz von Zielen (voraus befindlichen Fahrzeugen) anzeigen. Das Errechnen einer Summe der Komplexe-Zahl-Daten der Empfangssignale aus allen Antennenelementen ermöglicht das Ausmitteln der Rauschanteile, wodurch das S/N-Verhältnis verbessert wird.

**[0185]** In dem Fall, in dem nur ein Ziel, d.h. ein voraus befindliches Fahrzeug, vorhanden ist, wie in **Fig. 33** gezeigt, erzeugt die Fourier-Transformation ein Spektrum mit nur einem Spitzenwert in einer Periode mit steigender Frequenz (der „Anstiegs“-Periode) und nur einem Spitzenwert in einer Periode mit sich verringernder Frequenz (der „Abfall“-Periode). Die Schwebungsfrequenz des Spitzenwertes in der „Anstiegs“-Periode ist mit „ $f_u$ “ bezeichnet, während die Schwebungsfrequenz des Spitzenwertes in der „Abfall“-Periode mit „ $f_d$ “ bezeichnet ist.

**[0186]** Aus den Signalintensitäten von Schwebungsfrequenzen detektiert der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 jede Signalintensität, die einen vordefinierten Wert (Schwellenwert) überschreitet, wodurch das Vorhandensein eines Ziels bestimmt wird. Beim Detektieren einer Signalintensitätsspitze gibt der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 die Schwebungsfrequenzen ( $f_u$ ,  $f_d$ ) der Spitzenwerte als die Frequenzen des Objekts von Interesse an den Distanzdetektionsabschnitt 533 und den Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 aus. Der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 gibt Informationen, welche die Frequenzmodulationsbreite  $\Delta f$  anzeigen, an den Distanzdetektionsabschnitt 533 aus und gibt Informationen, welche die Mittelfrequenz  $f_0$  anzeigen, an den Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 aus.

**[0187]** In dem Fall, in dem Signalintensitätsspitzen entsprechend mehreren Zielen detektiert werden, findet der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 Verbindungen zwischen den Anstiegs-Spitzenwerten und den Abfall-Spitzenwerten auf Basis vordefinierter Bedingungen. Spitzen, die als zu Signalen von demselben Ziel gehörig bestimmt werden, erhalten dieselbe Nummer und werden somit in den Distanzdetektionsabschnitt 533 und

den Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 gespeist.

**[0188]** Wenn es mehrere Ziele gibt, erscheinen nach der Fourier-Transformation so viele Spitzen, wie es Ziele gibt, in den Anstiegsteilen und den Abfallteilen des Schwebungssignals. In Proportion zu der Distanz zwischen dem Radar und einem Ziel wird das Empfangssignal weiter verzögert, und das Empfangssignal in **Fig. 32** verschiebt sich mehr nach rechts. Daher erhält ein Schwebungssignal mit der Erhöhung der Distanz zwischen dem Ziel und dem Radar eine höhere Frequenz.

**[0189]** Auf Basis der aus dem Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 eingegebenen Schwebungsfrequenzen  $f_u$  und  $f_d$  berechnet der Distanzdetektionsabschnitt 533 durch die untenstehende Gleichung eine Distanz  $R$  und führt sie dem Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 zu.

$$R = \{c \cdot T / (2 \cdot \Delta f) \cdot \{(f_u + f_d) / 2\}$$

**[0190]** Außerdem berechnet der Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 durch die untenstehende Gleichung auf Basis der aus dem Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 eingegebenen Schwebungsfrequenzen  $f_u$  und  $f_d$  eine relative Geschwindigkeit  $V$  und führt sie dem Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 zu.

$$V = \{c / (2 \cdot f_0) \cdot \{(f_u - f_d) / 2\}$$

**[0191]** In der Gleichung, die die Distanz  $R$  und die relative Geschwindigkeit  $V$  berechnet, ist  $c$  die Lichtgeschwindigkeit, und  $T$  ist die Modulationsperiode.

**[0192]** Es wird darauf hingewiesen, dass die an der Untergrenze liegende Auflösung der Distanz  $R$  als  $c / (2\Delta f)$  ausgedrückt ist. Mit einer Erhöhung von  $\Delta f$  erhöht sich daher die Auflösung der Distanz  $R$ . In dem Fall, in dem sich die Frequenz  $f_0$  im 76-GHz-Band befindet, liegt bei einer Einstellung von  $\Delta f$  in der Größenordnung von 660 Megahertz (MHz) die Auflösung der Distanz  $R$  beispielsweise in der Größenordnung von 0,23 Metern (m). Wenn zwei voraus befindliche Fahrzeuge nebeneinander fahren, kann es mit dem FMCW-Verfahren daher schwer identifizierbar sein, ob ein Fahrzeug oder zwei Fahrzeuge vorhanden sind. In einem solchen Fall könnte das Betreiben eines Algorithmus zur Schätzung der Einfallrichtung mit extrem hoher Winkelauflösung möglich sein, um zwischen den Azimuten der zwei voraus befindlichen Fahrzeuge zu separieren und die Detektion zu ermöglichen.



**[0193]** Durch Nutzung von Phasendifferenzen zwischen Signalen aus den Antennenelementen  $11_1, 11_2, \dots, 11_M$  erlaubt der DBF-Verarbeitungsabschnitt 535 die Durchführung einer Fourier-Transformation der eintreffenden, den jeweiligen Antennenelementen entsprechenden komplexen Daten, die mit Bezug auf die Zeitachse Fourier-transformiert wurden, mit Bezug auf die Richtung, in der die Antennenelemente arrayartig angeordnet sind. Der DBF-Verarbeitungsabschnitt 535 berechnet dann räumliche Komplexe-Zahl-Daten, die die Spektrumsintensität für jeden Winkelkanal, wie durch die Winkelauflösung bestimmt, anzeigen, und gibt sie für die jeweiligen Schwebungsfrequenzen an den Azimut-Detektionsabschnitt 536 aus.

**[0194]** Der Azimut-Detektionsabschnitt 536 ist zu dem Zweck vorgesehen, das Azimut eines voraus befindlichen Fahrzeugs zu schätzen. Aus den Werten von räumlichen Komplexe-Zahl-Daten, die für die jeweiligen Schwebungsfrequenzen berechnet wurden, wählt der Azimut-Detektionsabschnitt 536 einen Winkel  $\theta$ , der den größten Wert annimmt, und gibt ihn an den Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 als das Azimut aus, bei dem ein Objekt von Interesse existiert.

**[0195]** Es wird darauf hingewiesen, dass das Verfahren zum Schätzen des Winkels  $\theta$ , der die Einfallsrichtung einer eintreffenden Welle anzeigt, nicht auf dieses Beispiel beschränkt ist. Es können verschiedene Algorithmen zur Einfallsrichtungsschätzung eingesetzt werden, die bereits erwähnt wurden.

**[0196]** Der Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 berechnet absolute Werte der Differenzen zwischen den jeweiligen, im aktuellen Zyklus berechneten Werten der Distanz, der relativen Geschwindigkeit und des Azimuts des Objekts von Interesse und den 1 Zyklus zuvor berechneten jeweiligen Werten der Distanz, der relativen Geschwindigkeit und des Azimuts des Objekts von Interesse, die aus dem Speicher 531 ausgelesen werden. Wenn der absolute Wert einer jeden Differenz kleiner als ein Wert ist, der für den jeweiligen Wert definiert ist, bestimmt dann der Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537, dass das Ziel, das 1 Zyklus zuvor detektiert wurde, und das in dem aktuellen Zyklus detektierte Ziel ein identisches Ziel sind. In diesem Fall erhöht der Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 die Zählung der Zielverbindungsprozesse, die aus dem Speicher 531 gelesen werden, um eins.

**[0197]** Wenn der absolute Wert einer Differenz größer als vorbestimmt ist, bestimmt der Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537, dass ein neues Objekt von Interesse detektiert wurde. Der Zielverbindungs-Verarbeitungsabschnitt 537 speichert die jeweiligen, im aktuellen Zyklus berechneten Werte der Distanz, der relativen Geschwindigkeit und des

Azimuts des Objekts von Interesse und auch die Zählung der Zielverbindungsprozesse für dieses Objekt von Interesse in dem Speicher 531.

**[0198]** In der Signalverarbeitungsschaltung 560 können die Distanz zu dem Objekt von Interesse und seine relative Geschwindigkeit mithilfe eines Spektrums detektiert werden, das durch eine Frequenzanalyse von Schwebungssignalen gewonnen ist, die auf Basis von empfangenen reflektierten Wellen generierte Signale sind.

**[0199]** Der Matrixgenerierungsabschnitt 538 generiert eine räumliche Kovarianzmatrix mithilfe der jeweiligen Schwebungssignale für die Kanäle  $Ch_1$  bis  $Ch_M$  (unterer Graph in **Fig. 32**), die in dem Speicher 531 gespeichert sind. In der räumlichen Kovarianzmatrix aus Gleichung 4 ist jede Komponente der Wert eines Schwebungssignals, der in Form von realen und imaginären Teilen ausgedrückt ist. Ferner bestimmt der Matrixgenerierungsabschnitt 538 Eigenwerte der räumlichen Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  und gibt die so entstehenden Eigenwertinformationen in die Einfallswellen-Schätzeinheit AU ein.

**[0200]** Wenn eine Vielzahl von Signalintensitätsspitzen detektiert wurde, die mehreren Objekten von Interesse entsprechen, nummeriert der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 die Spitzenwerte jeweils in dem Anstiegsteil und in dem Abfallteil, angefangen bei denjenigen mit kleineren Frequenzen, und gibt sie an den Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 aus. In den Anstiegs- und Abfallteilen entsprechen Spitzen mit identischer Nummer demselben Objekt von Interesse. Die Identifikationsnummern sind als die Nummern anzusehen, die den Objekten von Interesse zugewiesen sind. Zur einfacheren Illustration ist eine Bezugslinie von dem Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 zu dem Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 in **Fig. 31** der Einfachheit halber weggelassen.

**[0201]** Wenn das Objekt von Interesse eine voraus befindliche Struktur ist, gibt der Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 die Identifikationsnummer dieses Objekts von Interesse als ein Ziel anzeigend aus. Beim Empfang von Bestimmungsergebnissen zu mehreren Objekten von Interesse in der Weise, dass es alles voraus befindliche Strukturen sind, gibt der Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 die Identifikationsnummer eines Objekts von Interesse, das sich auf der Fahrspur des Eigenfahrzeugs befindet, als die Objektpositionsinformationen aus, die anzeigen, wo sich ein Ziel befindet. Beim Empfang von Bestimmungsergebnissen zu mehreren Objekten von Interesse in der Weise, dass es alles voraus befindliche Strukturen sind und dass sich auf der Fahrspur des Eigenfahrzeugs zwei oder mehr Objekte von Interesse befinden, gibt der Ziel-

ausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 außerdem die Identifikationsnummer eines Objekts von Interesse, das der höchsten aus dem Verbindungs-Verarbeitungsspeicher 531 gelesenen Zählung der Ziele zugeordnet ist, als die Objektpositionsinformationen aus, die anzeigen, wo sich ein Ziel befindet.

**[0202]** Wiederum mit Bezug auf **Fig. 30** wird ein Beispiel beschrieben, bei dem das Bordradarsystem 510 in die in **Fig. 30** gezeigte Beispielkonstruktion eingebaut ist. Die Bildverarbeitungsschaltung 720 erfasst Informationen eines Objekts aus dem Video und detektiert aus den Objektinformationen Zielpositionsinformationen. Beispielsweise ist die Bildverarbeitungsschaltung 720 dazu konfiguriert, durch Detektieren des Tiefenwertes eines Objekts in einem erfassten Video Distanzinformationen eines Objekts zu schätzen oder aus charakteristischen Beträgen in dem Video Größeninformationen und dergleichen zu einem Objekt zu detektieren und so Positionsinformationen des Objekts zu detektieren.

**[0203]** Die Auswahlschaltung 596 führt Positionsinformationen, die aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 oder der Bildverarbeitungsschaltung 720 empfangen werden, selektiv der elektronischen Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 zu. Beispielsweise vergleicht die Auswahlschaltung 596 eine erste Distanz, d.h. die Distanz von dem Eigenfahrzeug zu einem detektierten Objekt, wie in den Objektpositionsinformationen aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 enthalten, mit einer zweiten Distanz, d.h. der Distanz von dem Eigenfahrzeug zu dem detektierten Objekt, wie in den Objektpositionsinformationen aus der Bildverarbeitungsschaltung 720 enthalten, und bestimmt, welche näher am Eigenfahrzeug ist. Beispielsweise kann die Auswahlschaltung 596 auf Basis des Bestimmungsergebnisses die Objektpositionsinformationen auswählen, die eine nähere Distanz zum Eigenfahrzeug anzeigen, und dieselben an die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 ausgeben. Wenn das Bestimmungsergebnis anzeigt, dass die erste Distanz und die zweite Distanz denselben Wert haben, kann die Auswahlschaltung 596 entweder eine davon oder beide an die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 ausgeben.

**[0204]** Wenn aus dem Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 Informationen eingegeben werden, die anzeigen, dass kein voraussichtliches Ziel vorhanden ist, gibt der Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539 (**Fig. 31**) als Objektpositionsinformationen null aus, was anzeigt, dass kein Ziel vorhanden ist. Die Auswahlschaltung 596 wählt dann, auf Basis der Objektpositionsinformationen aus dem Zielausgabe-Verarbeitungsabschnitt 539, durch Vergleich mit einem vordefinierten Schwellenwert, entweder die Objektpositionsinformationen aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 oder die Objektpositionsin-

formationen aus der Bildverarbeitungsschaltung 720 zur Verwendung.

**[0205]** Auf Basis vordefinierter Bedingungen führt die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 nach Empfang der Positionsinformationen eines voraus befindlichen Objekts aus der Objektdetektionseinrichtung 570 eine Steuerung durch, um den Betrieb für den Fahrer des Eigenfahrzeugs sicherer oder einfacher zu machen, entsprechend der durch die Objektpositionsinformationen angezeigten Distanz und Größe, der Geschwindigkeit des Eigenfahrzeugs, Straßenbedingungen wie etwa Regen, Schneefall oder klarem Wetter oder anderen Bedingungen. Wenn die Objektpositionsinformationen beispielsweise anzeigen, dass kein Objekt detektiert wurde, kann die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 ein Steuersignal an eine Beschleunigungssteuerschaltung 526 schicken, um die Drehzahl bis zu einer vordefinierten Geschwindigkeit zu erhöhen, so dass die Beschleunigungssteuerschaltung 526 dazu gesteuert wird, eine Operation durchzuführen, die zu einem Herunterdrücken des Gaspedals äquivalent ist.

**[0206]** In dem Fall, dass die Objektpositionsinformationen anzeigen, dass ein Objekt detektiert wurde, steuert die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520, wenn festgestellt wird, dass es sich in einer vorbestimmten Distanz zu dem Eigenfahrzeug befindet, die Bremsen über eine Bremssteuerschaltung 524 durch eine Brake-by-Wire-Konstruktion oder dergleichen. Anders ausgedrückt: Sie führt eine Operation der Geschwindigkeitsverringerung durch, um einen konstanten Fahrzeugabstand einzuhalten. Beim Empfang der Objektpositionsinformationen schickt die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520 ein Steuersignal an eine Alarmsteuerschaltung 522, um das Aufleuchten einer Lampe zu steuern oder Audio über einen im Fahrzeug vorgesehenen Lautsprecher zu steuern, so dass dem Fahrer die Annäherung eines voraus befindlichen Objekts mitgeteilt wird. Beim Empfang von Objektpositionsinformationen einschließlich einer räumlichen Verteilung von voraus befindlichen Fahrzeugen kann die elektronische Fahrassistenz-Steuereinrichtung 520, wenn die Fahrgeschwindigkeit innerhalb eines vordefinierten Bereiches liegt, automatisch eine Betätigung des Lenkrads nach links oder rechts erleichtern oder den Hydraulikdruck auf der Lenkradseite dazu steuern, eine Richtungsänderung der Räder zu erzwingen, wodurch Assistenz bei der Kollisionsverhütung mit Bezug auf das voraus befindliche Objekt bereitgestellt wird.

**[0207]** Die Objektdetektionseinrichtung 570 kann so eingerichtet sein, dass kontinuierliche Nachführung gewählt wird und Objektpositionsinformationen aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 mit Priorität ausgegeben werden, wenn eine Objektpositionsin-

formation, die im vorherigen Detektionszyklus durch die Auswahlhaltung 596 für einige Zeit kontinuierlich detektiert wurde, die jedoch im aktuellen Detektionszyklus nicht detektiert wird, einer Objektpositionsinformation aus einem kameradetektierten Video zugeordnet wird, die ein voraus befindliches Objekt anzeigt.

**[0208]** Eine spezifische Beispielkonstruktion und Beispielfunktionsweise, mit denen die Auswahlhaltung 596 eine Auswahl zwischen den Ausgaben aus der Signalverarbeitungsschaltung 560 und der Bildverarbeitungsschaltung 720 vornehmen kann, sind in der Beschreibung des US-Patents Nr. 8446312, der Beschreibung des US-Patents Nr. 8730096 und der Beschreibung des US-Patents Nr. 8730099 offenbart. Die gesamte Offenbarung derselben wird hier durch Verweis aufgenommen.

(Erste Variante)

**[0209]** In dem Radarsystem zur bordeigenen Verwendung aus dem obigen Anwendungsbeispiel beträgt die (Sweep-) Bedingung für eine einzelne Instanz von FMCW-Frequenzmodulation (frequenzmodulierte kontinuierliche Welle), d.h. eine Zeitspanne, die für eine solche Modulation erforderlich ist (Sweep-Zeit), z.B. 1 Millisekunde, obwohl die Sweep-Zeit auf circa 100 Mikrosekunden verkürzt sein könnte.

**[0210]** Jedoch müssen zur Realisierung einer solchen schnellen Sweep-Bedingung nicht nur diejenigen Bestandteile schnell arbeiten können, die an der Abstrahlung einer Sendewelle beteiligt sind, sondern auch diejenigen Bestandteile, die am Empfang unter dieser Sweep-Bedingung beteiligt sind. Beispielsweise wird ein A/D-Wandler 587 (**Fig. 31**) benötigt, der unter dieser Sweep-Bedingung schnell arbeitet. Die Abtastfrequenz des A/D-Wandlers 587 kann beispielsweise 10 MHz betragen. Die Abtastfrequenz kann auch schneller als 10 MHz sein.

**[0211]** Bei der vorliegenden Variante wird eine relative Geschwindigkeit mit Bezug auf ein Ziel berechnet, ohne eine Frequenzkomponente auf Dopplerverschiebungs-Basis zu nutzen. Bei dieser Variante ist die Sweep-Zeit  $T_m = 100$  Mikrosekunden, was sehr kurz ist. Die niedrigste Frequenz eines detektierbaren Schwebungssignals, die  $1/T_m$  beträgt, ist in diesem Fall gleich 10 kHz. Dies würde einer Dopplerverschiebung einer reflektierten Welle von einem Ziel mit einer relativen Geschwindigkeit von circa 20 m/Sekunde entsprechen. Anders ausgedrückt: Solange man eine Dopplerverschiebung zu Grunde legt, wäre es unmöglich, relative Geschwindigkeiten zu detektieren, die gleich diesem Wert oder kleiner sind. Somit wird bevorzugt ein Berechnungsverfahren verwendet, das sich von einem Berechnungsver-

fahren auf Dopplerverschiebungs-Basis unterscheidet.

**[0212]** Als Beispiel illustriert diese Variante einen Prozess, der ein Signal (Aufwärts-Schwebungssignal) nutzt, das eine Differenz zwischen einer Sendewelle und einer Empfangswelle repräsentiert und in einem Aufwärts- (Anstiegs-) Abschnitt gewonnen ist, in dem die Sendewelle sich in der Frequenz erhöht. Eine einzelne Sweep-Zeit von FMCW beträgt 100 Mikrosekunden, und ihre Wellenform ist eine Sägezahnform, die nur aus einem Aufwärtsteil besteht. Anders ausgedrückt: Bei dieser Variante hat die durch die Signalwelle, die durch die Dreieckswellen-/CW-Wellen-Generierungsschaltung 581 erzeugt wird, Sägezahnform. Die Sweep-Breite in der Frequenz beträgt 500 MHz. Da keine Dopplerverschiebungen zugeordneten Spitzen zu nutzen sind, generiert der Prozess nicht ein Aufwärts-Schwebungssignal und ein Abwärts-Schwebungssignal, um die Spitzen aus beiden zu nutzen, sondern er beruht nur auf einem dieser Signale. Obwohl hier ein Fall der Nutzung eines Aufwärts-Schwebungssignals illustriert ist, kann ein ähnlicher Prozess auch mithilfe eines Abwärts-Schwebungssignals durchgeführt werden.

**[0213]** Der A/D-Wandler 587 (**Fig. 31**) tastet jedes Aufwärts-Schwebungssignal mit einer Abtastfrequenz von 10 MHz ab und gibt mehrere hundert digitale Daten aus (nachfolgend als „Abtastdaten“ bezeichnet). Die Generierung der Abtastdaten erfolgt beispielsweise auf Basis von Aufwärts-Schwebungssignalen nach einem Zeitpunkt, an dem eine Empfangswelle erfasst wird, und bis zu einem Zeitpunkt, an dem eine Sendewelle die Übertragung beendet. Es wird darauf hingewiesen, dass der Prozess beendet sein kann, sobald eine bestimmte Anzahl von Abtastdaten gewonnen ist.

**[0214]** In dieser Variante werden 128 Aufwärts-Schwebungssignale in Serie gesendet/empfangen, für die jeweils mehrere hundert Abtastdaten gewonnen werden. Die Anzahl der Aufwärts-Schwebungssignale ist nicht auf 128 beschränkt. Sie kann 256 oder 8 betragen. Je nach Zweckbestimmung kann eine beliebige Anzahl ausgewählt werden.

**[0215]** Die so entstehenden Abtastdaten werden in dem Speicher 531 gespeichert. Der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 wendet eine zweidimensionale schnelle Fourier-Transformation (FFT) auf die Abtastdaten an. Insbesondere wird zuerst für jedes der Abtastdaten, die durch einen einzelnen Sweep gewonnen wurden, ein erster FFT-Prozess (Frequenzanalyseprozess) durchgeführt, um ein Leistungsspektrum zu generieren. Als Nächstes führt der Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 einen zweiten FFT-Prozess für die Verarbeitungser-

gebnisse durch, die aus allen Sweeps gesammelt wurden.

**[0216]** Wenn die reflektierten Wellen von demselben Ziel stammen, haben Spitzenkomponenten in dem zu detektierenden Leistungsspektrum in jeder Sweep-Periode die gleiche Frequenz. Dagegen unterscheiden sich bei unterschiedlichen Zielen die Spitzenkomponenten in der Frequenz. Durch den ersten FFT-Prozess können mehrere Ziele separiert werden, die sich in unterschiedlichen Distanzen befinden.

**[0217]** In dem Fall, dass eine relative Geschwindigkeit mit Bezug auf ein Ziel ungleich null ist, verändert sich die Phase des Aufwärts-Schwebungssignals von Sweep zu Sweep etwas. Anders ausgedrückt: Durch den zweiten FFT-Prozess wird ein Leistungsspektrum, dessen Elemente die Daten von Frequenzkomponenten sind, welche solchen Phasenveränderungen zugeordnet sind, für die jeweiligen Ergebnisse des ersten FFT-Prozesses gewonnen.

**[0218]** Der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 extrahiert Spitzenwerte in dem obigen zweiten Leistungsspektrum und schickt sie an den Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534.

**[0219]** Der Geschwindigkeitsdetektionsabschnitt 534 bestimmt aus den Phasenveränderungen eine relative Geschwindigkeit. Beispielsweise sei angenommen, dass eine Reihe gewonnener Aufwärts-Schwebungssignale durch jede Phase  $\theta$  [RXd] Phasenveränderungen durchläuft. Angenommen, dass die Sendewelle eine durchschnittliche Wellenlänge  $\lambda$  hat, bedeutet dies, dass jedes Mal, wenn ein Aufwärts-Schwebungssignal gewonnen wird, eine Veränderung der Distanz von  $\lambda/(4\pi/\theta)$  besteht. Da diese Veränderung über ein Intervall der Aufwärts-Schwebungssignalübertragung  $T_m$  (=100 Mikrosekunden) aufgetreten ist, wird die relative Geschwindigkeit mit  $\{\lambda/(4\pi/\theta)\}/T_m$  bestimmt.

**[0220]** Durch die obigen Prozesse können eine relative Geschwindigkeit mit Bezug auf ein Ziel und eine Distanz vom Ziel gewonnen werden.

(Zweite Variante)

**[0221]** Das Radarsystem 510 ist fähig zum Detektieren eines Ziels mithilfe von (einer) kontinuierlichen Welle(n) CW mit einer oder mehreren Frequenzen. Dieses Verfahren ist besonders sinnvoll in einem Umfeld, wo eine Vielzahl reflektierter Wellen von unbewegten Objekten in der Umgebung auf dem Radarsystem 510 auftritt, z.B. wenn das Fahrzeug in einem Tunnel ist.

**[0222]** Das Radarsystem 510 hat ein Antennen-Array zu Empfangszwecken, das fünf Kanäle unab-

hängiger Empfangselemente aufweist. Bei einem solchen Radarsystem ist die Einfallsazimut-Schätzung für einfallende reflektierte Wellen nur dann möglich, wenn vier oder weniger reflektierte Wellen vorhanden sind, die gleichzeitig einfallen. Bei einem Radar des FMCW-Typs kann die Anzahl reflektierter Wellen, die gleichzeitig einer Einfallsazimut-Schätzung zu unterziehen sind, reduziert werden, indem ausschließlich reflektierte Wellen aus einer spezifischen Distanz ausgewählt werden. In einer Umgebung mit einer großen Anzahl unbewegter Objekte in der Nähe, z.B. in einem Tunnel, ist es jedoch so, als gäbe es ein Kontinuum von Objekten zum Reflektieren von Funkwellen; daher ist möglicherweise auch dann, wenn man die reflektierten Wellen auf Basis der Distanz eingrenzt, die Anzahl der reflektierten Wellen immer noch nicht gleich oder kleiner als vier. Jedoch hat jedes solche unbewegte Objekt in der Umgebung mit Bezug auf das Eigenfahrzeug identische relative Geschwindigkeit, und die relative Geschwindigkeit ist größer als diejenige, die jedem anderen Fahrzeug zugeordnet ist, das vorausfährt. Auf dieser Basis können solche unbewegten Objekte auf Basis der Größen der Dopplerverschiebungen von jedem anderen Fahrzeug unterschieden werden.

**[0223]** Daher führt das Radarsystem 510 folgenden Prozess durch: Abstrahlen kontinuierlicher Wellen CW mehrerer Frequenzen sowie, unter Außerachtlassung von unbewegten Objekten entsprechenden Dopplerverschiebungsspitzen in den Empfangssignalen, Detektieren einer Distanz mithilfe einer Dopplerverschiebungsspitze(n) mit kleinerem Verschiebungsbetrag beziehungsweise -beträgen. Anders als beim FMCW-Verfahren ist beim CW-Verfahren ein Frequenzunterschied zwischen einer Sendewelle und einer Empfangswelle nur auf eine Dopplerverschiebung zurückführbar. Anders ausgedrückt: Jede Spitzenfrequenz, die in einem Schwebungssignal auftritt, ist nur auf eine Dopplerverschiebung zurückführbar.

**[0224]** Auch in der Beschreibung dieser Variante wird eine im CW-Verfahren zu verwendende kontinuierliche Welle als „kontinuierliche Welle CW“ bezeichnet. Wie oben beschrieben, hat eine kontinuierliche Welle CW eine konstante Frequenz; d.h. sie ist unmoduliert.

**[0225]** Angenommen, dass das Radarsystem 510 eine kontinuierliche Welle CW einer Frequenz  $f_p$  abgestrahlt hat und eine reflektierte Welle einer Frequenz  $f_q$  detektiert hat, die von einem Ziel reflektiert wurde. Die Differenz zwischen der Sendefrequenz  $f_p$  und der Empfangsfrequenz  $f_q$  wird als Dopplerfrequenz bezeichnet, die sich auf  $f_p - f_q = 2 V_r f_p / c$  nähert. Dabei ist  $V_r$  eine relative Geschwindigkeit zwischen dem Radarsystem und dem Ziel, und  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit. Die Sendefrequenz  $f_p$ , die Dopplerfrequenz ( $f_p - f_q$ ) und die Lichtgeschwindigkeit  $c$  sind

bekannt. Daher kann aus dieser Gleichung die relative Geschwindigkeit  $V_r = (f_p - f_q) \cdot c / 2f_p$  bestimmt werden. Die Distanz zum Ziel wird durch Nutzung von Phaseninformationen berechnet, wie noch beschrieben wird.

**[0226]** Zum Detektieren einer Distanz zu einem Ziel mithilfe kontinuierlicher Wellen CW wird ein 2-Frequenzen-CW-Verfahren verwendet. Im 2-Frequenzen-CW-Verfahren werden kontinuierliche Wellen CW zweier Frequenzen, die etwas auseinander liegen, jeweils für eine bestimmte Periode abgestrahlt und ihre jeweiligen reflektierten Wellen erfasst. Beispielsweise würde im Fall der Verwendung von Frequenzen im 76-GHz-Band die Differenz zwischen den zwei Frequenzen mehrere hundert kHz betragen. Wie noch beschrieben wird, ist es vorzuziehen, die Differenz zwischen den zwei Frequenzen unter Berücksichtigung der Minimaldistanz zu bestimmen, bei welcher der verwendete Radar zum Detektieren eines Ziels fähig ist.

**[0227]** Angenommen, dass das Radarsystem 510 kontinuierliche Wellen CW der Frequenzen  $f_{p1}$  und  $f_{p2}$  ( $f_{p1} < f_{p2}$ ) sequentiell abgestrahlt hat und dass die beiden kontinuierlichen Wellen CW von einem einzigen Ziel reflektiert wurden, so dass reflektierte Wellen der Frequenzen  $f_{q1}$  und  $f_{q2}$  durch das Radarsystem 510 empfangen werden.

**[0228]** Auf Basis der kontinuierlichen Welle CW der Frequenz  $f_{p1}$  und der reflektierten Welle (Frequenz  $f_{q1}$ ) derselben wird eine erste Dopplerfrequenz gewonnen. Auf Basis der kontinuierlichen Welle CW der Frequenz  $f_{p2}$  und der reflektierten Welle (Frequenz  $f_{q2}$ ) derselben wird eine zweite Dopplerfrequenz gewonnen. Die beiden Dopplerfrequenzen haben im Wesentlichen den gleichen Wert. Aufgrund der Differenz zwischen den Frequenzen  $f_{p1}$  und  $f_{p2}$  unterscheiden sich jedoch die komplexen Signale der jeweiligen Empfangswellen in der Phase. Durch Nutzung dieser Phaseninformationen kann eine Distanz (Entfernung) zum Ziel berechnet werden.

**[0229]** Spezifisch ist das Radarsystem 510 fähig zum Bestimmen der Distanz  $R$  als  $R = c \cdot \Delta\phi / 4\pi(f_{p2} - f_{p1})$ . Dabei bezeichnet  $\Delta\phi$  die Phasendifferenz zwischen zwei Schwebungssignalen, d.h. Schwebungssignal 1, das als Differenz zwischen der kontinuierlichen Welle CW der Frequenz  $f_{p1}$  und der reflektierten Welle (Frequenz  $f_{q1}$ ) derselben gewonnen ist, und Schwebungssignal 2, das als Differenz zwischen der kontinuierlichen Welle CW der Frequenz  $f_{p2}$  und der reflektierten Welle (Frequenz  $f_{q2}$ ) derselben gewonnen ist. Das Verfahren zum Identifizieren der Frequenz  $f_{b1}$  des Schwebungssignals 1 und der Frequenz  $f_{b2}$  des Schwebungssignals 2 ist identisch mit demjenigen im oben genannten Fall eines Schwebungssignals aus einer kontinuierlichen Welle CW einer einzigen Frequenz.

**[0230]** Es wird darauf hingewiesen, dass eine relative Geschwindigkeit  $V_r$  gemäß dem 2-Frequenzen-CW-Verfahren folgendermaßen bestimmt wird:

$$V_r = f_{b1} \cdot c / 2 \cdot f_{p1} \text{ oder } V_r = f_{b2} \cdot c / 2 \cdot f_{p2}$$

**[0231]** Außerdem ist die Entfernung, innerhalb derer eine Distanz zu einem Ziel eindeutig identifiziert werden kann, auf die Entfernung begrenzt, die durch  $R_{\max} < c / 2(f_{p2} - f_{p1})$  definiert ist. Der Grund hierfür ist, dass aus einer reflektierten Welle von einem weiter entfernten Ziel resultierende Schwebungssignale ein  $\Delta\phi$  erzeugen würden, das größer als  $2\pi$  ist, so dass sie nicht von Schwebungssignalen unterscheidbar wären, die Zielen an näheren Positionen zugeordnet sind. Daher ist es vorzuziehen, die Differenz zwischen den Frequenzen der zwei kontinuierlichen Wellen CW so einzustellen, dass  $R_{\max}$  größer als die minimale detektierbare Distanz des Radars wird. Im Fall eines Radars, dessen minimale detektierbare Distanz 100 m beträgt, kann  $f_{p2} - f_{p1}$  z.B. als 1,0 MHz vorgesehen sein. In diesem Fall ist  $R_{\max} = 150$  m, so dass ein Signal von jedem Ziel aus einer Position jenseits von  $R_{\max}$  nicht detektiert wird. Im Fall der Einrichtung eines Radars, der zur Detektion bis zu 250 m fähig ist, kann  $f_{p2} - f_{p1}$  z.B. als 500 kHz vorgesehen sein. In diesem Fall ist  $R_{\max} = 300$  m, so dass ein Signal von jedem Ziel aus einer Position jenseits von  $R_{\max}$  ebenfalls nicht detektiert wird. In dem Fall, dass der Radar sowohl einen Betriebsmodus hat, in dem die minimale detektierbare Distanz 100 m und der horizontale Sichtwinkel 120 Grad beträgt, als auch einen Betriebsmodus hat, in dem die minimale detektierbare Distanz 250 m und der horizontale Sichtwinkel 5 Grad beträgt, ist es vorzuziehen, für den Betrieb in den jeweiligen Betriebsmodi den Wert von  $f_{p2} - f_{p1}$  zwischen 1,0 MHz und 500 kHz umzuschalten.

**[0232]** Es ist ein Detektionsansatz bekannt, bei dem durch Senden kontinuierlicher Wellen CW bei  $N$  unterschiedlichen Frequenzen (wobei  $N$  eine ganze Zahl gleich oder größer als 3 ist) und durch Nutzung von Phaseninformationen der jeweiligen reflektierten Wellen eine Distanz zu jedem Ziel detektiert wird. Gemäß diesem Detektionsansatz kann die Distanz für bis zu  $N-1$  Ziele korrekt erkannt werden. Als Verarbeitung, die dies ermöglicht, wird beispielsweise eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) verwendet. Bei gegebenem  $N = 64$  oder  $128$  wird eine FFT für Abtastdaten eines Schwebungssignals als Differenz zwischen einem Sendesignal und einem Empfangssignal für jede Frequenz durchgeführt, wodurch ein Frequenzspektrum (relative Geschwindigkeit) gewonnen wird. Danach wird bei der Frequenz der CW-Welle eine weitere FFT für Spitzen derselben Frequenz durchgeführt, um so Distanzinformationen abzuleiten.

**[0233]** Im Folgenden wird dies spezifischer beschrieben.

**[0234]** Zur einfacheren Erläuterung wird zunächst ein Fall beschrieben, in dem Signale mit drei Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  gesendet werden, während sie im Zeitverlauf geschaltet werden. Es wird angenommen, dass  $f_1 > f_2 > f_3$  und  $f_1 - f_2 = f_2 - f_3 = \Delta f$ . Eine Übertragungszeit  $\Delta t$  wird für die Signalwelle für jede Frequenz angenommen. **Fig. 35** zeigt ein Verhältnis zwischen drei Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$ .

**[0235]** Über die Sendeantenne Tx überträgt die Dreieckswellen-/CW-Wellen-Generierungsschaltung 581 (**Fig. 31**) kontinuierliche Wellen CW der Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$ , die jeweils für die Zeit  $\Delta t$  andauern. Die Empfangsantennen Rx empfangen reflektierte Wellen, die sich aus der Reflexion der jeweiligen kontinuierlichen Wellen CW von einem oder mehreren Zielen ergeben.

**[0236]** Jeder Mischer 584 mischt eine Sendewelle und eine Empfangswelle, um ein Schwebungssignal zu generieren. Der A/D-Wandler 587 wandelt das Schwebungssignal, das ein analoges Signal ist, beispielsweise in mehrere hundert digitale Daten (Abtastdaten) um.

**[0237]** Unter Verwendung der Abtastdaten führt der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 FFT-Berechnung durch. Durch die FFT-Berechnung werden Frequenzspektrumsinformationen von Empfangssignalen für die jeweiligen Sendefrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  gewonnen.

**[0238]** Danach separiert der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 Spitzenwerte aus den Frequenzspektrumsinformationen der Empfangssignale. Die Frequenz eines jeden Spitzenwertes, der vorbestimmt oder größer ist, steht in Proportion zu einer relativen Geschwindigkeit mit Bezug auf ein Ziel. Das Separieren von (einem) Spitzenwert(en) aus den Frequenzspektrumsinformationen von Empfangssignalen ist gleichbedeutend mit dem Separieren eines oder mehrerer Ziele mit unterschiedlichen relativen Geschwindigkeiten.

**[0239]** Als Nächstes misst der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 mit Bezug auf jede der Sendefrequenzen  $f_1$  bis  $f_3$  Spektrumsinformationen von Spitzenwerten derselben relativen Geschwindigkeit oder relativen Geschwindigkeiten innerhalb eines vordefinierten Bereiches.

**[0240]** Es werde nun ein Szenario betrachtet, in dem zwei Ziele A und B existieren, die ungefähr dieselbe relative Geschwindigkeit haben, sich jedoch in jeweils unterschiedlichen Distanzen befinden. Ein Sendesignal der Frequenz  $f_1$  wird von beiden Zielen A und B reflektiert, so dass Empfangssignale gewon-

nen werden. Die reflektierten Wellen von den Zielen A und B ergeben im Wesentlichen dieselbe Schwebungssignalfrequenz. Daher werden die Leistungsspektren bei den Dopplerfrequenzen der Empfangssignale, entsprechend ihren relativen Geschwindigkeiten, als synthetisches Spektrum F1 gewonnen, zu dem die Leistungsspektren von zwei Zielen A und B verschmolzen wurden.

**[0241]** Ebenso werden für jede der Frequenzen  $f_2$  und  $f_3$  die Leistungsspektren bei den Dopplerfrequenzen der Empfangssignale entsprechend ihren relativen Geschwindigkeiten als synthetisches Spektrum F1 gewonnen, zu dem die Leistungsspektren von zwei Zielen A und B verschmolzen wurden.

**[0242]** **Fig. 36** zeigt ein Verhältnis zwischen den synthetischen Spektren F1 bis F3 auf einer komplexen Ebene. In den Richtungen der zwei Vektoren, die jedes der synthetischen Spektren F1 bis F3 bilden, entspricht der rechte Vektor dem Leistungsspektrum einer reflektierten Welle von Ziel A; d.h. in **Fig. 36** die Vektoren  $f_{1A}$ ,  $f_{2A}$  und  $f_{3A}$ . Dagegen entspricht in den Richtungen der zwei Vektoren, die jedes der synthetischen Spektren F1 bis F3 bilden, der linke Vektor dem Leistungsspektrum einer reflektierten Welle von Ziel B; d.h. in **Fig. 36** die Vektoren  $f_{1B}$ ,  $f_{2B}$  und  $f_{3B}$ .

**[0243]** Bei einer konstanten Differenz  $\Delta f$  zwischen den Sendefrequenzen steht die Phasendifferenz zwischen den Empfangssignalen, die den jeweiligen Sendesignalen der Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  entsprechen, in Proportion zu der Distanz zu einem Ziel. Daher haben die Phasendifferenz zwischen den Vektoren  $f_{1A}$  und  $f_{2A}$  und die Phasendifferenz zwischen den Vektoren  $f_{2A}$  und  $f_{3A}$  denselben Wert  $\theta_A$ , wobei diese Phasendifferenz  $\theta_A$  zu der Distanz zu Ziel A in Proportion steht. Ebenso haben die Phasendifferenz zwischen den Vektoren  $f_{1B}$  und  $f_{2B}$  und die Phasendifferenz zwischen den Vektoren  $f_{2B}$  und  $f_{3B}$  denselben Wert  $\theta_B$ , wobei diese Phasendifferenz  $\theta_B$  zu der Distanz zu Ziel B in Proportion steht.

**[0244]** Durch Verwendung eines bekannten Verfahrens können die jeweiligen Distanzen zu den Zielen A und B aus den synthetischen Spektren F1 bis F3 und der Differenz  $\Delta f$  zwischen den Sendefrequenzen bestimmt werden. Diese Technik ist beispielsweise im US-Patent Nr. 6703967 offenbart. Die gesamte Offenbarung dieser Veröffentlichung wird hier durch Verweis aufgenommen.

**[0245]** Eine ähnliche Verarbeitung ist auch anwendbar, wenn die übertragenen Signale vier oder mehr Frequenzen haben.

**[0246]** Es wird darauf hingewiesen, dass vor dem Übertragen kontinuierlicher Wellen CW bei N unterschiedlichen Frequenzen ein Prozess der Bestimmung der Distanz zu jedem Ziel und der relativen

Geschwindigkeit desselben im 2-Frequenzen-CW-Verfahren durchgeführt werden kann. Von diesem Prozess kann dann unter vorbestimmten Bedingungen zu einem Prozess der Übertragung kontinuierlicher Wellen CW bei  $N$  unterschiedlichen Frequenzen umgeschaltet werden. Beispielsweise kann eine FFT-Berechnung mithilfe der jeweiligen Schwebungssignale bei den zwei Frequenzen durchgeführt werden, und wenn das Leistungsspektrum einer jeden Sendefrequenz im Zeitverlauf einer Veränderung von 30% oder mehr unterliegt, kann der Prozess umgeschaltet werden. Die Amplitude einer reflektierten Welle von jedem Ziel unterliegt im Zeitverlauf einer großen Veränderung durch Mehrwegeinflüsse und dergleichen. Wenn eine Veränderung von einer vorbestimmten Größenordnung oder mehr existiert, kann in Betracht gezogen werden, dass möglicherweise mehrere Ziele existieren.

**[0247]** Außerdem ist bekannt, dass das CW-Verfahren ein Ziel nicht detektieren kann, wenn die relative Geschwindigkeit zwischen dem Radarsystem und dem Ziel null beträgt, d.h. wenn die Dopplerfrequenz null beträgt. Wenn jedoch beispielsweise mit den folgenden Verfahren ein Pseudo-Dopplersignal bestimmt wird, ist es möglich, mithilfe dieser Frequenz ein Ziel zu detektieren.

**[0248]** (Verfahren 1) Es wird ein Mischer hinzugefügt, der eine bestimmte Frequenzverschiebung in der Ausgabe einer empfangenden Antenne bewirkt. Durch Verwendung eines Sendesignals und eines Empfangssignals mit einer verschobenen Frequenz kann ein Pseudo-Dopplersignal gewonnen werden.

**[0249]** (Verfahren 2) Zwischen dem Ausgang einer empfangenden Antenne und einem Mischer wird zum kontinuierlichen Einführen von Phasenveränderungen im Zeitverlauf ein variabler Phasenschieber eingefügt, so dass zu dem Empfangssignal eine Pseudo-Phasendifferenz hinzugefügt wird. Durch Verwendung eines Sendesignals und eines Empfangssignals mit einer hinzugefügten Phasendifferenz kann ein Pseudo-Dopplersignal gewonnen werden.

**[0250]** Ein Beispiel für eine spezifische Konstruktion und Funktionsweise zum Einführen eines variablen Phasenschiebers zum Generieren eines Pseudo-Dopplersignals gemäß Verfahren 2 ist in der japanischen Patentveröffentlichungsschrift Nr. 2004-257848 offenbart. Die gesamte Offenbarung dieser Veröffentlichung wird hierdurch Verweis aufgenommen.

**[0251]** Wenn Ziele ohne oder mit sehr geringer relativer Geschwindigkeit detektiert werden müssen, können die oben genannten Prozesse der Generierung eines Pseudo-Dopplersignals verwendet wer-

den, oder es kann zu einem Zieldetektionsprozess im FMCW-Verfahren umgeschaltet werden.

**[0252]** Als Nächstes wird mit Bezug auf **Fig. 37** eine Verarbeitungsprozedur beschrieben, die durch die Objektdetektionseinrichtung 570 des Bordradarsystems 510 durchzuführen ist.

**[0253]** Das untenstehende Beispiel illustriert einen Fall, in dem kontinuierliche Wellen CW bei zwei unterschiedlichen Frequenzen  $fp_1$  und  $fp_2$  ( $fp_1 < fp_2$ ) übertragen werden und die Phaseninformationen einer jeden reflektierten Welle genutzt werden, um jeweils eine Distanz mit Bezug auf ein Ziel zu detektieren.

**[0254]** **Fig. 37** ist ein Ablaufdiagramm, das die Prozedur eines Bestimmungsprozesses für die relative Geschwindigkeit und Distanz gemäß dieser Variante zeigt.

**[0255]** Bei Schritt S41 generiert die Dreieckswellen-/CW-Wellen-Generierungsschaltung 581 zwei kontinuierliche Wellen CW mit Frequenzen, die etwas auseinander liegen, d.h. den Frequenzen  $fp_1$  und  $fp_2$ .

**[0256]** Bei Schritt S42 führen die Sendeantenne Tx und die Empfangsantennen Rx ein Senden / einen Empfang der generierten Serie kontinuierlicher Wellen CW durch. Es wird darauf hingewiesen, dass der Prozess aus Schritt S41 und der Prozess aus Schritt S42 durch die Dreieckswellen-/CW-Wellen-Generierungsschaltung 581 und das Sendeantennenelement Tx / die Empfangsantenne Rx jeweils parallel durchführbar sind, anstelle einer Durchführung von Schritt S42 erst nach Beendigung von Schritt S41.

**[0257]** Bei Schritt S43 generiert jeder Mischer 584 durch Nutzung einer jeden Sendewelle und einer jeden Empfangswelle ein Differenzsignal, so dass zwei Differenzsignale gewonnen werden. Jede Empfangswelle schließt eine von einem unbewegten Objekt ausgehende Empfangswelle und eine von einem Ziel ausgehende Empfangswelle ein. Daher wird als Nächstes ein Prozess der Identifikation von Frequenzen zur Nutzung als Schwebungssignale durchgeführt. Es wird darauf hingewiesen, dass der Prozess aus Schritt S41, der Prozess aus Schritt S42 und der Prozess aus Schritt S43 durch die Dreieckswellen-/CW-Wellen-Generierungsschaltung 581, die Sendeantenne Tx / Empfangsantenne Rx und die Mischer 584 parallel durchführbar sind, anstelle einer Durchführung von Schritt S42 erst nach Beendigung von Schritt S41 oder von Schritt S43 erst nach Beendigung von Schritt S42.

**[0258]** Bei Schritt S44 identifiziert die Objektdetektionseinrichtung 570 für jedes der zwei Differenzsignale bestimmte Spitzenfrequenzen als Frequenzen

fb1 und fb2 von Schwebungssignalen in der Weise, dass diese Frequenzen gleich oder kleiner als eine Frequenz sind, die als Schwellenwert vordefiniert ist, dabei aber Amplitudenwerte haben, die gleich oder größer als ein vorbestimmter Amplitudenwert sind, und dass die Differenz zwischen den zwei Frequenzen gleich oder kleiner als ein vorbestimmter Wert ist.

**[0259]** Bei Schritt S45 detektiert der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 auf Basis von einer der zwei identifizierten Schwebungssignalfrequenzen eine relative Geschwindigkeit. Der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 berechnet die relative Geschwindigkeit beispielsweise gemäß  $V_r = fb1 \cdot c / 2 \cdot fp1$ . Es wird darauf hingewiesen, dass eine relative Geschwindigkeit durch Nutzung einer jeden der zwei Schwebungssignalfrequenzen berechnet werden kann, was dem Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 eine Verifikation dessen erlaubt, ob sie übereinstimmen oder nicht, wodurch die Genauigkeit der Berechnung der relativen Geschwindigkeit erhöht wird.

**[0260]** Bei Schritt S46 bestimmt der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 eine Phasendifferenz  $\Delta\phi$  zwischen zwei Schwebungssignalen 1 und 2 und bestimmt eine Distanz  $R = c \cdot \Delta\phi / 4\pi(fp2 - fp1)$  zu dem Ziel.

**[0261]** Durch die obigen Prozesse kann die relative Geschwindigkeit und Distanz zu einem Ziel detektiert werden.

**[0262]** Es wird darauf hingewiesen, dass kontinuierliche Wellen CW bei N unterschiedlichen Frequenzen übertragen werden können (wobei N = 3 oder mehr ist) und dass durch Nutzung von Phaseninformationen der jeweiligen reflektierten Welle Distanzen zu mehreren Zielen mit derselben relativen Geschwindigkeit, jedoch an unterschiedlichen Positionen detektiert werden können.

**[0263]** Zusätzlich zu dem Radarsystem 510 kann das oben beschriebene Fahrzeug 500 ferner ein weiteres Radarsystem aufweisen. Beispielsweise kann das Fahrzeug 500 ferner ein Radarsystem mit einem Detektionsbereich in Richtung der Rückseite oder der Seiten der Fahrzeugkarosserie aufweisen. Im Fall des Einbaus eines Radarsystems mit einem Detektionsbereich in Richtung der Fahrzeugkarosserierückseite kann das Radarsystem die Rückseite überwachen, und wenn die Gefahr besteht, dass ein anderes Fahrzeug hinten auffährt, eine Reaktion durchführen, indem beispielsweise ein Alarm ausgelöst wird. Im Fall des Einbaus eines Radarsystems mit einem Detektionsbereich in Richtung der Seiten der Fahrzeugkarosserie kann das Radarsystem eine benachbarte Fahrspur überwachen, wenn das Eigenfahrzeug die Fahrspur wechselt usw., und

gegebenenfalls eine Reaktion durchführen, indem ein Alarm ausgelöst wird oder dergleichen.

**[0264]** Die Anwendungen des oben beschriebenen Radarsystems 510 sind nicht ausschließlich auf die bordeigene Verwendung beschränkt. Vielmehr kann das Radarsystem 510 als Sensoren für verschiedene Zwecke verwendet werden. Beispielsweise kann es als Radar zur Überwachung der Umgebung eines Hauses oder jedes anderen Gebäudes verwendet werden. Alternativ ist es verwendbar als Sensor zum Detektieren der Anwesenheit oder Abwesenheit einer Person an einer bestimmten Stelle in einem Innenraum, oder zum Detektieren dessen, ob eine solche Person sich bewegt usw., ohne Nutzung optischer Bilder.

(Zusätzliche Details der Verarbeitung)

**[0265]** Weitere Ausführungsformen werden in Verbindung mit den 2-Frequenz-CW- oder FMCW-Techniken für die oben beschriebenen Array-Antennen beschrieben. Wie bereits beschrieben, wendet der Empfangsintensitäts-Berechnungsabschnitt 532 in dem Beispiel aus **Fig. 31** eine Fourier-Transformation auf die jeweiligen Schwebungssignale für die Kanäle  $Ch_1$  bis  $Ch_M$  an (unterer Graph aus **Fig. 32**), die in dem Speicher 531 gespeichert sind. Diese Schwebungssignale sind komplexe Signale, damit die Phase des Signals identifiziert wird, das für die Berechnung von Interesse ist. Dies erlaubt eine korrekte Identifikation der Richtung einer eintreffenden Welle. In diesem Fall erhöht sich jedoch die Rechenlast für eine Fourier-Transformation, so dass es einer größeren Schaltung bedarf.

**[0266]** Zur Lösung dieses Problems kann ein skalares Signal als ein Schwebungssignal generiert werden. Für jedes von einer Vielzahl von Schwebungssignalen, die generiert wurden, können zwei komplexe Fourier-Transformationen in Bezug auf die Raumachsenrichtung, die dem Antennen-Array entspricht, und auf die Zeitachsenrichtung, die dem Verstreichen der Zeit entspricht, durchgeführt werden, um so Ergebnisse der Frequenzanalyse zu gewinnen. Infolgedessen kann mit geringem Rechenaufwand letztlich eine Strahlformung in der Weise erreicht werden, dass Richtungen des Eintreffens reflektierter Wellen identifizierbar sind, wodurch Frequenzanalyseergebnisse für die jeweiligen Strahlen gewonnen werden können. Als die vorliegende Offenbarung betreffendes Patentedokument wird die gesamte Offenbarung der Beschreibung des US-Patents Nr. 6339395 hier durch Verweis aufgenommen.



(Optischer Sensor, z.B. Kamera, und Millimeterwellenradar)

**[0267]** Als Nächstes werden ein Vergleich zwischen der oben beschriebenen Array-Antenne und herkömmlichen Antennen sowie ein Anwendungsbeispiel beschrieben, bei dem sowohl die vorliegende Array-Antenne als auch ein optischer Sensor (z.B. eine Kamera) genutzt werden. Es wird darauf hingewiesen, dass LIDAR oder dergleichen als der optische Sensor einsetzbar ist.

**[0268]** Ein Millimeterwellenradar ist fähig zum direkten Detektieren einer Distanz (Entfernung) zu einem Ziel und einer relativen Geschwindigkeit desselben. Eine weitere Eigenschaft besteht darin, dass seine Detektionsleistung sich nachts (einschließlich der Dämmerung) oder bei schlechtem Wetter, z.B. Regen, Nebel oder Schneefall, nicht besonders verringert. Andererseits wird davon ausgegangen, dass eine zweidimensionale Erfassung eines Ziels mit einem Millimeterwellenradar nicht so einfach ist wie mit einer Kamera. Dagegen ist eine zweidimensionale Erfassung eines Ziels und Erkennung seiner Form mit einer Kamera relativ einfach. Jedoch kann eine Kamera ein Ziel möglicherweise nicht bei Nacht oder schlechtem Wetter abbilden, was ein erhebliches Problem darstellt. Dieses Problem ist besonders dann bedeutsam, wenn sich an dem Abschnitt, durch den die Belichtung sichergestellt werden soll, Wassertröpfchen angelagert haben oder die Sicht durch Nebel eingeschränkt ist. Dieses Problem besteht in ähnlicher Weise bei LIDAR oder dergleichen, was ebenfalls das Gebiet optischer Sensoren betrifft.

**[0269]** In Reaktion auf eine steigende Nachfrage nach sichererem Fahrzeugbetrieb werden seit einigen Jahren Fahrerassistenzsysteme zur Verhinderung von Kollisionen oder dergleichen entwickelt. Ein Fahrerassistenzsystem erfasst ein Bild in Fahrtrichtung mit einem Sensor wie etwa einer Kamera oder einem Millimeterwellenradar, und wenn ein Hindernis erkannt wird, bei dem vorhergesagt wird, dass es die Fahrt des Fahrzeugs hemmt, werden Bremsen oder dergleichen automatisch betätigt, um Kollisionen oder dergleichen zu verhindern. Von einer solchen Funktion der Kollisionsverhütung wird normales Funktionieren auch bei Nacht oder schlechtem Wetter erwartet.

**[0270]** Daher gewinnen Fahrerassistenzsysteme mit einer sogenannten zusammengeführten Konstruktion an Verbreitung, bei denen zusätzlich zu einem herkömmlichen optischen Sensor wie etwa einer Kamera ein Millimeterwellenradar als Sensor angebracht ist, wodurch ein Erkennungsprozess realisiert wird, der beides ausnutzt. Ein solches Fahrerassistenzsystem wird noch erläutert.

**[0271]** Andererseits werden an die Funktionen des Millimeterwellenradars selbst immer höhere Erwartungen gestellt. Ein Millimeterwellenradar zur bordeigenen Verwendung nutzt hauptsächlich elektromagnetische Wellen des 76-GHz-Bandes. Die Antennenleistung seiner Antenne ist gemäß den jeweiligen Landesgesetzen oder dergleichen auf ein bestimmtes Niveau begrenzt. Beispielsweise ist sie in Japan auf 0,01 W oder weniger begrenzt. Gemäß solchen Einschränkungen wird von einem Millimeterwellenradar zur bordeigenen Verwendung die erforderliche Leistung erwartet, dass beispielsweise sein Detektionsbereich 200 m oder mehr beträgt; die Antennengröße 60 mm × 60 mm oder weniger beträgt; ihr horizontaler Erfassungswinkel 90 Grad oder mehr beträgt; ihre Entfernungsauflösung 20 cm oder weniger beträgt; dass sie zu Nahbereichsdetektion innerhalb von 10 m fähig ist und so weiter. Bei herkömmlichen Millimeterwellenradars wurden Mikrostreifenleitungen als Wellenleiter und Patch-Antennen als Antennen verwendet (im Folgenden werden beide als „Patch-Antennen“ bezeichnet). Jedoch war mit einer Patch-Antenne die oben genannte Leistungsfähigkeit nur schwer zu erzielen.

**[0272]** Mit einer Schlitz-Array-Antenne, auf welche die Technik der vorliegenden Offenbarung angewandt ist, haben die Erfinder die oben genannte Leistungsfähigkeit erzielt. Infolgedessen wurde ein Millimeterwellenradar realisiert, der kleinere Größe hat, effizienter ist und höhere Leistungsfähigkeit besitzt als herkömmliche Patch-Antennen und dergleichen. Daneben wurde durch Kombinieren dieses Millimeterwellenradars und eines optischen Sensors wie etwa einer Kamera eine klein bemessene, hocheffiziente und hochleistungsfähige zusammengeführte Einrichtung realisiert, die es zuvor nicht gab. Dies wird unten ausführlich beschrieben.

**[0273]** Fig. 38 ist ein Diagramm zu einer zusammengeführten Einrichtung in einem Fahrzeug 500, wobei die zusammengeführte Einrichtung ein Bordkameranahsystem 700 und ein Radarsystem 510 (nachfolgend als der Millimeterwellenradar 510 bezeichnet) mit einer Schlitz-Array-Antenne aufweist, auf welche die Technik der vorliegenden Offenbarung angewandt ist. Mit Bezug auf diese Figur werden unten verschiedene Ausführungsformen beschrieben.

(Einbau des Millimeterwellenradars im Fahrzeugraum)

**[0274]** Eine herkömmlicher Millimeterwellenradar 510' auf Patch-Antennen-Basis ist hinter und einwärts von einem Grill 512 platziert, der sich an der Frontpartie eines Fahrzeugs befindet. Eine elektromagnetische Welle, die aus einer Antenne abgestrahlt wird, gelangt durch die Öffnungen in dem Grill 512 und wird vor dem Fahrzeug 500 abgestrahlt.

In der Region, durch welche die elektromagnetische Welle passiert, existiert in diesem Fall keine dielektrische Schicht, z.B. Glas, welche die Energie der elektromagnetischen Welle vermindert oder reflektiert. Infolgedessen reicht eine elektromagnetische Welle, die von dem Millimeterwellenradar 510' auf Patch-Antennen-Basis abgestrahlt wird, über einen langen Bereich, z.B. zu einem Ziel, das 150 m oder weiter entfernt ist. Durch Empfangen der davon reflektierten elektromagnetischen Welle mit der Antenne ist der Millimeterwellenradar 510' fähig, ein Ziel zu detektieren. Da die Antenne hinter und einwärts von dem Grill 512 des Fahrzeugs platziert ist, kann der Radar in diesem Fall jedoch beschädigt werden, wenn das Fahrzeug mit einem Hindernis kollidiert. Zudem kann er bei Regen usw. mit Schlamm oder dergleichen verschmutzt werden, und der an der Antenne anhaftende Schmutz kann Abstrahlung und Empfang elektromagnetischer Wellen hemmen.

**[0275]** Ähnlich wie auf herkömmliche Weise kann der Millimeterwellenradar 510, der eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält, hinter dem Grill 512 platziert sein, der an der Frontpartie des Fahrzeugs (nicht gezeigt) angeordnet ist. Dies erlaubt eine Ausnutzung der von der Antenne abstrahlenden elektromagnetischen Welle zu 100%, wodurch eine Ferndetektion über das übliche Niveau hinaus ermöglicht wird, z.B. die Detektion eines Ziels, das sich in einer Distanz von 250 m oder mehr befindet.

**[0276]** Außerdem kann der Millimeterwellenradar 510 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung auch im Fahrzeugraum, d.h. im Inneren des Fahrzeugs, platziert sein. In diesem Fall ist der Millimeterwellenradar 510 einwärts von der Windschutzscheibe 511 des Fahrzeugs platziert, um in einen Raum zwischen der Windschutzscheibe 511 und einer Fläche des Rückspiegels (nicht gezeigt) zu passen, die zu dessen Spiegeloberfläche entgegengesetzt ist. Der herkömmliche Millimeterwellenradar 510' auf Patch-Antennen-Basis kann dagegen hauptsächlich aus folgenden zwei Gründen nicht im Inneren des Fahrzeugraums platziert werden. Ein erster Grund ist seine große Größe, die eine Unterbringung in dem Raum zwischen der Windschutzscheibe 511 und dem Rückspiegel verhindert. Ein zweiter Grund besteht darin, dass eine nach vorn abgestrahlte elektromagnetische Welle von der Windschutzscheibe 511 reflektiert wird und sich aufgrund dielektrischer Verluste abschwächt, so dass sie die gewünschte Distanz nicht mehr überwinden kann. Daher können bei Platzierung eines herkömmlichen Millimeterwellenradars auf Patch-Antennen-Basis im Fahrzeugraum beispielsweise nur Ziele erfasst werden, die sich 100 m oder weniger voraus befinden. Dagegen vermag ein Millimeterwellenradar gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ein Ziel in einer Distanz von 200 m

oder mehr trotz Reflexion oder Verminderung an der Windschutzscheibe 511 zu detektieren. Diese Leistungsfähigkeit ist äquivalent zu oder sogar größer als in dem Fall, in dem ein herkömmlicher Millimeterwellenradar auf Patch-Antennen-Basis außerhalb des Fahrzeugraums platziert ist.

**[0277]** (Zusammengeführte Konstruktion auf Basis von Millimeterwellenradar und Kamera usw., die im Fahrzeugraum platziert sind)

**[0278]** Gegenwärtig wird in vielen Fahrerassistenzsystemen eine optische Bildgebungsvorrichtung wie etwa eine CCD-Kamera als der Hauptsensor verwendet. Üblicherweise ist eine Kamera oder dergleichen im Fahrzeugraum, einwärts von der Windschutzscheibe 511 platziert, um ungünstigen Einflüssen der Außenumgebung usw. Rechnung zu tragen. Zur Minimierung der optischen Wirkung von Regentropfen und dergleichen wird dabei die Kamera oder dergleichen in einer Region platziert, die von den Scheibenwischern (nicht gezeigt) überstrichen wird, jedoch einwärts von der Windschutzscheibe 511 liegt.

**[0279]** Wegen des Bedarfs an erhöhter Leistungsfähigkeit eines Fahrzeugs, z.B. im Hinblick auf eine Bremsautomatik, besteht seit einigen Jahren der Wunsch nach einer Bremsautomatik oder dergleichen, deren Funktionieren unabhängig von der Außenumgebung gewährleistet ist. Wenn der einzige Sensor in dem Fahrerassistenzsystem eine optische Vorrichtung wie etwa eine Kamera ist, besteht in diesem Fall das Problem, dass ein zuverlässiges Funktionieren bei Nacht oder schlechtem Wetter nicht gewährleistet ist. Hierdurch entstand Bedarf an einem Fahrerassistenzsystem, das nicht nur einen optischen Sensor (wie etwa eine Kamera), sondern auch einen Millimeterwellenradar enthält, wobei diese für eine gemeinsame Verarbeitung verwendet werden, so dass ein zuverlässiger Betrieb auch bei Nacht oder schlechtem Wetter erreicht wird.

**[0280]** Wie bereits beschrieben, ist ein Millimeterwellenradar, der die vorliegende Schlitz-Array-Antenne enthält, aufgrund der Größenverringering und merklichen Erhöhung des Wirkungsgrades der abgestrahlten elektromagnetischen Welle gegenüber einer herkömmlichen Patch-Antenne, im Fahrzeugraum platzierbar. Durch Nutzung dieser Eigenschaften erlaubt der Millimeterwellenradar 510, der nicht nur einen optischen Sensor (Bordkamarasystem) 700 wie etwa eine Kamera, sondern auch eine Schlitz-Array-Antenne gemäß der vorliegenden Offenbarung enthält, wie in **Fig. 38** gezeigt, eine Platzierung von beidem einwärts von der Windschutzscheibe 511 des Fahrzeugs 500. Hierdurch sind folgende neuartige Wirkungen entstanden.

**[0281]** (1) Das Fahrerassistenzsystem ist leichter an dem Fahrzeug 500 anzubringen. Bei dem herkömmlichen Millimeterwellenradar 510' auf Patch-Antennen-Basis war bisher zur Aufnahme des Radars ein Raum hinter dem Grill 512 an der Frontpartie erforderlich. Da dieser Raum einige Stellen aufweisen kann, die sich auf die strukturelle Gestaltung des Fahrzeugs auswirken, konnte es bei einer Größenänderung des Radars notwendig sein, die strukturelle Gestaltung zu überdenken. Diese Schwierigkeit wird durch Platzierung des Millimeterwellenradars im Fahrzeugraum vermieden.

**[0282]** (2) Ohne Einflüsse durch Regen, Nacht oder andere äußere Umgebungsfaktoren auf das Fahrzeug kann ein zuverlässigeres Funktionieren erreicht werden. Durch Platzierung des Millimeterwellenradars (Bordkamarasystems) 510 und des Bordkamarasystems 700 an im Wesentlichen derselben Position im Fahrzeugraum, wie in **Fig. 39** gezeigt, können dieselben insbesondere ein identisches Sichtfeld und eine identische Sichtlinie erreichen, was den „Abgleichprozess“, der noch beschrieben wird, erleichtert, d.h. einen Prozess, mit dem festgestellt werden soll, dass jeweilige Zielinformationen, die durch dieselben erfasst werden, von einem identischen Objekt stammen. Wenn der Millimeterwellenradar 510' dagegen hinter dem Grill 512 platziert wäre, der sich an der Frontpartie außerhalb des Fahrzeugraums befindet, würde seine Radarsichtlinie L von einer Radarsichtlinie M des Falls abweichen, in dem derselbe im Fahrzeugraum platziert ist, woraus sich gegenüber dem durch das Bordkamarasystem 700 zu erfassenden Bild ein großer Versatz ergäbe.

**[0283]** (3) Die Zuverlässigkeit des Millimeterwellenradars wird verbessert. Da, wie oben beschrieben, der herkömmliche Millimeterwellenradar 510' auf Patch-Antennen-Basis hinter dem Grill 512 platziert ist, der sich an der Frontpartie befindet, setzt er leicht Schmutz an und kann schon bei einem kleinen Kollisionsunfall oder dergleichen beschädigt werden. Aus diesen Gründen sind Reinigung und Funktionalitätssprüfungen dauernd erforderlich. Wenn sich die Position oder Richtung der Anbringung des Millimeterwellenradars durch einen Unfall oder dergleichen verschiebt, ist zudem, wie unten beschrieben wird, eine Wiederherstellung der Ausrichtung bezüglich der Kamera notwendig. Die Wahrscheinlichkeit solcher Erscheinungen wird durch Platzierung des Millimeterwellenradars im Fahrzeugraum reduziert, so dass die oben genannten Schwierigkeiten vermieden werden.

**[0284]** In einem Fahrerassistenzsystem mit einer solchen zusammengeführten Konstruktion können der optische Sensor, z.B. eine Kamera, und der Millimeterwellenradar 510, der die vorliegende Schlitz-Array-Antenne enthält, eine integrierte Konstruktion

haben, d.h. in Bezug zueinander an fester Position sein. In diesem Fall sollte eine bestimmte relative Positionierung zwischen der optischen Achse des optischen Sensors wie etwa einer Kamera und der Direktivität der Antenne des Millimeterwellenradars gewahrt bleiben, wie noch beschrieben wird. Wenn dieses Fahrerassistenzsystem mit einer integrierten Konstruktion im Fahrzeugraum des Fahrzeugs 500 fixiert ist, sollte die optische Achse der Kamera usw. so eingestellt sein, dass sie dem Fahrzeug voraus in einer bestimmten Richtung ausgerichtet ist. Siehe hierzu die Beschreibung der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2015/0264230, die Beschreibung der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2016/0264065, die US-Patentanmeldung Nr. 15/248141, die US-Patentanmeldung Nr. 15/248149 und die US-Patentanmeldung Nr. 15/248156, die durch Verweis hier aufgenommen werden. Verwandte Techniken bezüglich der Kamera sind in der Beschreibung des US-Patents Nr. 7355524 und der Beschreibung des US-Patents Nr. 7420159 beschrieben, deren gesamte Offenbarung hier jeweils durch Verweis aufgenommen wird.

**[0285]** Zur Platzierung eines optischen Sensors wie etwa einer Kamera und eines Millimeterwellenradars im Fahrzeugraum siehe beispielsweise die Beschreibung des US-Patents Nr. 8604968, die Beschreibung des US-Patents Nr. 8614640 und die Beschreibung des US-Patents Nr. 7978122, deren gesamte Offenbarung hier jeweils durch Verweis aufgenommen wird. Jedoch waren zum Anmeldezeitpunkt dieser Patente nur herkömmliche Antennen mit Patch-Antennen die bekannten Millimeterwellenradare, und somit war eine Observation nicht über ausreichende Distanzen möglich. Beispielsweise wird die mit einem herkömmlichen Millimeterwellenradar beobachtbare Distanz mit höchstens 100 m bis 150 m beziffert. Wenn ein Millimeterwellenradar einwärts von der Windschutzscheibe platziert ist, wird außerdem durch die Größe des Radars das Sichtfeld des Fahrers in unpraktischer Weise versperrt, was eine sichere Fahrt verhindert. Dagegen ist ein Millimeterwellenradar, der eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung enthält, wegen seiner geringen Größe und merklichen Erhöhung des Wirkungsgrades der abgestrahlten elektromagnetischen Welle gegenüber demjenigen einer herkömmlichen Patch-Antenne, im Fahrzeugraum platzierbar. Dies ermöglicht eine Fernobservation über 200 m, wobei das Sichtfeld des Fahrers nicht versperrt wird.

(Einstellen der Anbringungsposition zwischen Millimeterwellenradar und Kamera usw.)

**[0286]** Bei der Verarbeitung mit einer zusammengeführten Konstruktion (die im Folgenden als „zusammengeführter Prozess“ bezeichnet werden kann) ist es erwünscht, dass ein mit einer Kamera oder der-

gleichen gewonnenes Bild und die mit dem Millimeterwellenradar gewonnenen Radarinformationen auf dasselbe Koordinatensystem abgebildet werden, da ihre Abweichung hinsichtlich Position und Zielgröße eine gemeinsame Verarbeitung zwischen beiden behindert.

**[0287]** Hierzu gehört eine Einstellung unter folgenden drei Gesichtspunkten.

**[0288]** (1) Die optische Achse der Kamera oder dergleichen und die Antennenrichtwirkung des Millimeterwellenradars müssen ein bestimmtes festes Verhältnis haben.

**[0289]** Es ist erforderlich, dass die optische Achse der Kamera oder dergleichen und die Antennendirektivität des Millimeterwellenradars abgeglichen sind. Alternativ kann ein Millimeterwellenradar zwei oder mehr Sendeantennen und zwei oder mehr Empfangsantennen aufweisen, wobei die Direktivitäten dieser Antennen gezielt unterschiedlich gestaltet sind. Es muss daher gewährleistet sein, dass mindestens ein bestimmtes bekanntes Verhältnis zwischen der optischen Achse der Kamera oder dergleichen und den Direktivitäten dieser Antennen besteht.

**[0290]** In dem Fall, dass die Kamera oder dergleichen und der Millimeterwellenradar die oben genannte integrierte Konstruktion haben, d.h. in fester Position zueinander stehen, bleibt die relative Positionierung zwischen der Kamera oder dergleichen und dem Millimeterwellenradar fest. Daher sind die oben genannten Anforderungen in Bezug auf eine solche integrierte Konstruktion erfüllt. Dagegen ist bei einer herkömmlichen Patch-Antenne oder dergleichen, bei welcher der Millimeterwellenradar hinter dem Grill 512 des Fahrzeugs 500 platziert ist, die relative Positionierung zwischen ihnen normalerweise gemäß (2) unten einzustellen.

**[0291]** (2) In einem Anfangszustand (z.B. bei Lieferung) nach Anbringung an dem Fahrzeug besteht zwischen einem mit der Kamera oder dergleichen erfassten Bild und Radarinformationen des Millimeterwellenradars ein bestimmtes festes Verhältnis.

**[0292]** Die Anbringungspositionen des optischen Sensors wie etwa einer Kamera und des Millimeterwellenradars 510 oder 510' an dem Fahrzeug 500 werden zuletzt auf folgende Weise bestimmt. An einer vorbestimmten Position 800 dem Fahrzeug 500 voraus wird ein als Referenz verwendbares Diagramm oder ein Ziel, das der Observation durch den Radar unterliegt, korrekt positioniert (im Folgenden als „Referenzdiagramm“ bzw. „Referenzziel“ und zusammen als „Vergleichspunkt“ bezeichnet). Dies wird mit einem optischen Sensor wie etwa einer Kamera oder mit dem Millimeterwellenradar 510 beobachtet. Die Observationsinformationen bezüglich

des beobachteten Vergleichspunktes werden mit zuvor gespeicherten Forminformationen oder dergleichen des Vergleichspunktes verglichen, und die aktuellen Versatzinformationen werden quantifiziert. Auf Basis dieser Versatzinformationen werden durch mindestens eins der folgenden Mittel die Anbringungspositionen eines optischen Sensors wie etwa einer Kamera und des Millimeterwellenradars 510 oder 510' eingestellt oder korrigiert. Es kann auch jedes andere Mittel eingesetzt werden, das ähnliche Ergebnisse zu liefern vermag.

(i) Einstellen der Anbringungspositionen der Kamera und des Millimeterwellenradars in der Weise, dass der Vergleichspunkt an einen Mittelpunkt zwischen der Kamera und dem Millimeterwellenradar gelangt. Diese Einstellung kann mit einem Hilfsmittel oder Werkzeug usw. erfolgen, das separat vorgesehen ist.

(ii) Bestimmung eines Versatzbetrags der Kamera und der Achse/Direktivität des Millimeterwellenradars relativ zu dem Vergleichspunkt und Korrigieren dieser Versatzbeträge der Achse/Direktivität durch Bildverarbeitung des Kamerabildes und Radarverarbeitung.

**[0293]** Zu beachten ist, dass in dem Fall, in dem der optische Sensor wie etwa eine Kamera und der Millimeterwellenradar 510, der eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält, eine integrierte Konstruktion haben, d.h. in fester Position zueinander stehen, bei einer Einstellung eines Versatzes der Kamera oder des Radars mit Bezug auf den Vergleichspunkt der Versatzbetrag auch dem anderen bekannt wird, so dass sich eine Überprüfung des Versatzes des anderen mit Bezug auf den Vergleichspunkt erübrigt.

**[0294]** Spezifisch kann bezüglich des Bordkamerasystems 700 ein Referenzdiagramm an einer vorbestimmten Position 750 platziert sein, und ein durch die Kamera aufgenommenes Bild wird mit Vorausinformationen verglichen, die anzeigen, wo in dem Sichtfeld der Kamera das Referenzdiagrammbild sich befinden soll, wodurch ein Versatzbetrag detektiert wird. Auf dieser Basis wird die Kamera durch mindestens eins der obigen Mittel (i) und (ii) eingestellt. Als Nächstes wird der Versatzbetrag, der für die Kamera festgestellt wurde, in einen Versatzbetrag des Millimeterwellenradars übersetzt. Danach wird eine Versatzbetragseinstellung in Bezug auf die Radarinformationen durch mindestens eins der obigen Mittel (i) und (ii) vorgenommen.

**[0295]** Alternativ kann dies auf Basis des Millimeterwellenradars 510 erfolgen. Anders ausgedrückt: In Bezug auf den Millimeterwellenradar 510 kann ein Referenzziel an einer vorbestimmten Position 800 platziert sein, und die Radarinformationen desselben

werden mit Vorausinformationen verglichen, die anzeigen, wo in dem Sichtfeld des Millimeterwellenradars 510 das Referenzziel angeordnet sein soll, so dass ein Versatzbetrag detektiert wird. Auf dieser Basis wird der Millimeterwellenradar 510 durch mindestens eins der obigen Mittel (i) und (ii) eingestellt. Als Nächstes wird der Versatzbetrag, der für den Millimeterwellenradar festgestellt wurde, in einen Versatzbetrag der Kamera übersetzt. Danach wird eine Versatzbetragseinstellung in Bezug auf die durch die Kamera gewonnenen Bildinformationen durch mindestens eins der obigen Mittel (i) und (ii) vorgenommen.

**[0296]** (3) Auch nach einem Anfangszustand des Fahrzeugs wird ein bestimmtes Verhältnis zwischen einem mit der Kamera oder dergleichen erfassten Bild und Radarinformationen des Millimeterwellenradars beibehalten.

**[0297]** Üblicherweise wird angenommen, dass ein mit der Kamera oder dergleichen erfasstes Bild und Radarinformationen des Millimeterwellenradars im Anfangszustand fixiert sind und kaum schwanken, es sei denn bei einem Unfall des Fahrzeugs oder dergleichen. Wenn jedoch tatsächlich ein Versatz zwischen denselben auftritt, ist eine Einstellung mit den folgenden Mitteln möglich.

**[0298]** Die Kamera ist beispielsweise so angebracht, dass Abschnitte 513 und 514 (charakteristische Punkte), die für das Eigenfahrzeug charakteristisch sind, in ihr Sichtfeld passen. Die Positionen, an denen diese charakteristischen Punkte durch die Kamera tatsächlich abgebildet werden, werden mit den Information der Positionen verglichen, die diese charakteristischen Punkte einnehmen sollten, wenn die Kamera korrekt an ihrem Ort angebracht ist, und (ein) Versatzbetrag/-beträge werden dazwischen detektiert. Auf Basis dieses/dieser detektierten Versatzbetrags/-beträge kann die Position jedes danach aufgenommenen Bildes korrigiert werden, wodurch ein Versatz der physikalischen Anbringungsposition der Kamera ausgeglichen werden kann. Wenn diese Korrektur die von dem Fahrzeug erforderte Leistungsfähigkeit ausreichend ausbildet, erübrigt sich möglicherweise die Einstellung gemäß dem obigen Punkt (2). Durch regelmäßige Durchführung dieser Einstellung während des Startens oder Betriebs des Fahrzeugs 500 ist ein Ausgleich des Versatzbetrags auch bei erneutem Auftreten eines Versatzes der Kamera oder dergleichen möglich, was zur Fahrtsicherheit beiträgt.

**[0299]** Jedoch ergibt dieses Mittel nach allgemeiner Auffassung geringere Einstellgenauigkeit als bei dem oben genannten Mittel (2). Beim Vornehmen einer Einstellung auf Basis eines Bildes, das durch Abbilden eines Vergleichspunktes mit der Kamera gewonnen ist, kann das Azimut des Vergleichspunk-

tes mit hoher Präzision bestimmt werden, so dass eine hohe Einstellungsgenauigkeit leicht erreichbar ist. Da dieses Mittel für die Einstellung jedoch einen Teil der Fahrzeugkarosserie anstelle eines Vergleichspunktes nutzt, ist die Genauigkeit der Azimutbestimmung relativ schwierig zu erhöhen. Die entstehende Einstellgenauigkeit ist also etwas geringer. Als Korrekturmittel kann dies aber wirksam sein, wenn die Anbringungsposition der Kamera oder dergleichen aus Gründen wie etwa einem Unfall oder einer großen äußeren Kraft, die auf die Kamera oder dergleichen im Fahrzeugraum wirkt, usw. erheblich verändert ist.

(Abbildung des durch Millimeterwellenradar und Kamera oder dergleichen detektierten Ziels: Abgleichprozess)

**[0300]** In einem zusammengeführten Prozess muss für ein gegebenes Ziel festgestellt werden, dass ein mit einer Kamera oder dergleichen erfasstes Bild desselben und mit dem Millimeterwellenradar erfasste Radarinformationen sich auf „dasselbe Ziel“ beziehen. Es sei beispielsweise angenommen, dass zwei Hindernisse (erste und zweite Hindernisse), z.B. zwei Fahrräder, dem Fahrzeug 500 voraus aufgetreten sind. Diese zwei Hindernisse werden als Kamerabilder erfasst und als Radarinformationen des Millimeterwellenradars detektiert. Zu diesem Zeitpunkt müssen das Kamerabild und die Radarinformationen mit Bezug auf das erste Hindernis so aufeinander abgebildet sein, dass sie beide auf dasselbe Ziel gerichtet sind. Ebenso müssen das Kamerabild und die Radarinformationen mit Bezug auf das zweite Hindernis so aufeinander abgebildet sein, dass sie beide auf dasselbe Ziel gerichtet sind. Wenn das Kamerabild des ersten Hindernisses und die Radarinformationen des zweiten Hindernisses fälschlicherweise als auf ein identisches Objekt bezogen erkannt werden, kann es zu einem schwerwiegenden Unfall kommen. Ein solcher Prozess der Bestimmung dessen, ob ein Ziel auf dem Kamerabild und ein Ziel auf dem Radarbild dasselbe Ziel betreffen, kann in der vorliegenden Beschreibung nachfolgend als „Abgleichprozess“ bezeichnet werden.

**[0301]** Dieser Abgleichprozess kann durch verschiedene Detektionsvorrichtungen (oder Verfahren) implementiert sein, die unten beschrieben sind. Nachfolgend werden diese spezifisch beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass jede der folgenden Detektionsvorrichtungen in dem Fahrzeug zu installieren ist und mindestens einen Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt, einen Bilddetektionsabschnitt (z.B. eine Kamera), der in einer Richtung ausgerichtet ist, welche die Richtung der Detektion durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt überlagert, und einen Abgleichsabschnitt aufweist. Dabei weist der Millimeterwellenradar-Detektionsab-

schnitt eine Schlitz-Array-Antenne gemäß einer der Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung auf und erfasst mindestens Radarinformationen in seinem eigenen Sichtfeld. Der Bilderfassungsabschnitt erfasst mindestens Bildinformationen in seinem eigenen Sichtfeld. Der Abgleichsabschnitt weist eine Verarbeitungsschaltung auf, die ein Detektionsergebnis des Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitts mit einem Detektionsergebnis des Bilddetektionsabschnitts abgleicht, um zu bestimmen, ob durch die zwei Detektionsabschnitte dasselbe Ziel detektiert wird oder nicht. Hierbei kann der Bilddetektionsabschnitt aus einem ausgewählten von, oder zwei oder mehr ausgewählten von, einer optischen Kamera, LIDAR, einem Infrarotradar und einem Ultraschallradar gebildet sein. Die folgenden Detektionsvorrichtungen unterscheiden sich voneinander hinsichtlich des Detektionsprozesses an ihrem jeweiligen Abgleichsabschnitt.

**[0302]** Bei einer ersten Detektionsvorrichtung führt der Abgleichsabschnitt zwei Abgleiche wie folgt durch. Zu einem ersten Abgleich gehören für ein Ziel von Interesse, das durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert wurde, das Gewinnen von Distanzinformationen und Lateralpositionsinformationen desselben und auch das Finden eines Ziels, das sich am nächsten an dem Ziel von Interesse befindet, aus einem Ziel oder zwei oder mehr Zielen, die durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert wurden, und das Detektieren von (einer) Kombination(en) daraus. Zu einem zweiten Abgleich gehören für ein Ziel von Interesse, das durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert wurde, das Gewinnen von Distanzinformationen und Lateralpositionsinformationen desselben und auch das Finden eines Ziels, das sich am nächsten an dem Ziel von Interesse befindet, aus einem Ziel oder zwei oder mehr Zielen, die durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert sind, und Detektieren von (einer) Kombination(en) daraus. Außerdem bestimmt dieser Abgleichsabschnitt, ob es eine übereinstimmende Kombination zwischen der bzw. den Kombination(en) solcher Ziele, wie durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert, und der bzw. den Kombination(en) solcher Ziele, wie durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert, gibt. Wenn es eine übereinstimmende Kombination gibt, wird dann bestimmt, dass durch die zwei Detektionsabschnitte dasselbe Objekt detektiert wird. Auf diese Weise wird ein Abgleich zwischen den jeweiligen Zielen erreicht, die durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt und den Bilddetektionsabschnitt detektiert wurden.

**[0303]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 7358889 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird. In dieser Veröffentlichung ist der Bilddetektionsabschnitt durch eine sogenannte Ste-

reokamera illustriert, die zwei Kameras aufweist. Jedoch ist diese Technik nicht darauf beschränkt. In dem Fall, in dem der Bilddetektionsabschnitt eine einzige Kamera aufweist, können detektierte Ziele gegebenenfalls einem Bilderkennungsprozess oder dergleichen unterzogen werden, um Distanzinformationen und Lateralpositionsinformationen der Ziele zu gewinnen. In ähnlicher Weise kann ein Laser-Sensor wie etwa ein Laser-Scanner als der Bilddetektionsabschnitt verwendet werden.

**[0304]** Bei einer zweiten Detektionsvorrichtung gleicht der Abgleichsabschnitt mit jeder vorbestimmten Zeitperiode ein Detektionsergebnis des Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitts und ein Detektionsergebnis des Bilddetektionsabschnitts ab. Wenn der Abgleichsabschnitt bestimmt, dass durch die zwei Detektionsabschnitte in dem vorherigen Abgleichsergebnis dasselbe Ziel detektiert wurde, führt er einen Abgleich mithilfe dieses vorherigen Abgleichsergebnisses durch. Spezifisch gleicht der Abgleichsabschnitt ein Ziel, das aktuell durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert wird, und ein Ziel, das aktuell durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert wird, mit dem Ziel ab, das in dem vorherigen Abgleichsergebnis als durch die zwei Detektionsabschnitte detektiert bestimmt wurde. Sodann bestimmt der Abgleichsabschnitt auf Basis des Abgleichsergebnisses für das Ziel, das aktuell durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert wird, und des Abgleichsergebnisses für das Ziel, das aktuell durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert wird, ob durch die zwei Detektionsabschnitte dasselbe Ziel detektiert wird oder nicht. Statt eines direkten Abgleichs der Ergebnisse der Detektion durch die zwei Detektionsabschnitte führt diese Detektionsvorrichtung somit einen chronologischen Abgleich zwischen den zwei Detektionsergebnissen und einem vorherigen Abgleichsergebnis durch. Daher wird die Genauigkeit der Detektion gegenüber dem Fall verbessert, in dem nur ein momentaner Abgleich erfolgt, so dass ein stabiler Abgleich realisiert wird. Insbesondere ist durch die Nutzung vergangener Abgleichsergebnisse ein Abgleich auch dann noch möglich, wenn die Genauigkeit des Detektionsabschnitts momentan nachlässt. Zudem ist diese Detektionsvorrichtung durch Nutzung des vorherigen Abgleichsergebnisses zur leichten Durchführung eines Abgleichs zwischen den zwei Detektionsabschnitten fähig.

**[0305]** Bei dem aktuellen Abgleich, der das vorherige Abgleichsergebnis nutzt, schließt der Abgleichsabschnitt dieser Detektionsvorrichtung, wenn er bestimmt, dass durch die zwei Detektionsabschnitte dasselbe Objekt detektiert wird, dieses bestimmte Objekt bei der Durchführung des Abgleichs zwischen aktuell durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektierten Objekten und aktuell durch

den Bilddetektionsabschnitt detektierten Objekten aus. Sodann bestimmt dieser Abgleichsabschnitt, ob ein identisches Objekt existiert, das aktuell durch die zwei Detektionsabschnitte detektiert wird. Somit nimmt die Detektionsvorrichtung unter Berücksichtigung des Ergebnisses des chronologischen Abgleichs auch einen momentanen Abgleich auf Basis von zwei Detektionsergebnissen vor, die von Moment zu Moment gewonnen werden. Infolgedessen ist die Detektionsvorrichtung fähig zur sicheren Durchführung eines Abgleichs für jedes Objekt, das während der aktuellen Detektion detektiert wird.

**[0306]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 7417580 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird. In dieser Veröffentlichung ist der Bilddetektionsabschnitt durch eine sogenannte Stereokamera illustriert, die zwei Kameras aufweist. Jedoch ist diese Technik nicht darauf beschränkt. In dem Fall, in dem der Bilddetektionsabschnitt eine einzige Kamera aufweist, können detektierte Ziele gegebenenfalls einem Bilderkennungsprozess oder dergleichen unterzogen werden, um Distanzinformationen und Lateralpositionsinformationen der Ziele zu gewinnen. In ähnlicher Weise kann ein Laser-Sensor wie etwa ein Laser-Scanner als der Bilddetektionsabschnitt verwendet werden.

**[0307]** In einer dritten Detektionsvorrichtung führen die zwei Detektionsabschnitte und der Abgleichsabschnitt eine Detektion von Zielen und Abgleiche dazwischen in vorbestimmten Zeitintervallen durch, und die Ergebnisse einer solchen Detektion sowie die Ergebnisse eines solchen Abgleichs werden chronologisch in einem Speichermedium, z.B. Speicher, abgelegt. Auf Basis einer Veränderungsrate der Größe eines Ziels auf dem Bild, wie durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert, und einer Distanz von dem Eigenfahrzeug zu einem Ziel und ihrer Veränderungsrate (relativen Geschwindigkeit in Bezug auf das Eigenfahrzeug), wie durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert, bestimmt der Abgleichsabschnitt dann, ob das durch den Bilddetektionsabschnitt detektierte Ziel und das durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektierte Ziel ein identisches Objekt sind.

**[0308]** Wenn auf Basis der Position des Ziels auf dem Bild, wie durch den Bilddetektionsabschnitt detektiert, und der Distanz von dem Eigenfahrzeug zu dem Ziel und/oder ihrer Veränderungsrate, wie durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektiert, bestimmt wird, dass diese Ziele ein identisches Objekt sind, sagt der Abgleichsabschnitt eine Möglichkeit der Kollision mit dem Fahrzeug voraus.

**[0309]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 6903677 beschrieben, des-

sen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0310]** Wie oben beschrieben, werden in einem zusammengeführten Prozess eines Millimeterwellenradars und einer Bildgebungsvorrichtung wie etwa einer Kamera ein Bild, das mit der Kamera oder dergleichen gewonnen ist, und Radarinformationen, die mit dem Millimeterwellenradar gewonnen sind, gegeneinander abgeglichen. Ein Millimeterwellenradar, der die oben genannte Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält, kann so konstruiert sein, dass er geringe Größe und hohe Leistungsfähigkeit hat. Daher können für den gesamten zusammengeführten Prozess einschließlich des oben genannten Abgleichprozesses hohe Leistungsfähigkeit und Größenverringerng usw. erreicht werden. Dies verbessert die Genauigkeit der Zielerkennung und ermöglicht eine sicherere Fahrtsteuerung für das Fahrzeug.

(Weitere zusammengeführte Prozesse)

**[0311]** In einem zusammengeführten Prozess sind unterschiedliche Funktionen auf Basis eines Abgleichprozesses zwischen einem Bild, das mit einer Kamera oder dergleichen gewonnen ist, und Radarinformationen realisiert, die mit dem Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt gewonnen sind. Beispiele für Verarbeitungseinrichtungen, die repräsentative Funktionen eines zusammengeführten Prozesses realisieren, werden nachfolgend beschrieben.

**[0312]** Jede der folgenden Verarbeitungseinrichtungen ist in einem Fahrzeug zu installieren und weist mindestens auf: einen Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt zum Senden oder Empfangen von elektromagnetischen Wellen in einer vorbestimmten Richtung; einen Bilderfassungsabschnitt wie etwa eine monokulare Kamera mit einem Sichtfeld, welches das Sichtfeld des Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitts überlagert; und einen Verarbeitungsabschnitt, der Informationen daraus gewinnt, um Zieldetektion und dergleichen durchzuführen. Der Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt erfasst Radarinformationen in seinem eigenen Sichtfeld. Der Bilderfassungsabschnitt erfasst Bildinformationen in seinem eigenen Sichtfeld. Ein ausgewähltes oder zwei oder mehr ausgewählte von einer optischen Kamera, LIDAR, einem Infrarotradar und einem Ultraschallradar können als der Bilderfassungsabschnitt verwendet werden. Der Verarbeitungsabschnitt kann durch eine Verarbeitungsschaltung implementiert sein, die mit dem Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt und dem Bilderfassungsabschnitt verbunden ist. Die folgenden Verarbeitungseinrichtungen unterscheiden sich voneinander mit Bezug auf den Inhalt der Verarbeitung durch diesen Verarbeitungsabschnitt.

**[0313]** Bei einer ersten Verarbeitungseinrichtung extrahiert der Verarbeitungsabschnitt aus einem Bild, das durch den Bilderfassungsabschnitt erfasst ist, ein Ziel, das als dasselbe Ziel wie das durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt detektierte erkannt wird. Anders ausgedrückt: Es wird ein Abgleichprozess entsprechend der oben genannten Detektionsvorrichtung durchgeführt. Sodann erfasst sie Informationen eines rechten Randes und eines linken Randes des extrahierten Zielbildes und leitet Ortsnäherungslinien ab, die Geraden oder vorbestimmte gekrümmte Linien zum Annähern an Orte des erfassten rechten Randes und des linken Randes sind, die für beide Ränder erfasst werden. Der Rand, der eine größere Anzahl von Rändern hat, die auf der Ortsnäherungslinie liegen, wird als ein echter Rand des Ziels ausgewählt. Die laterale Position des Ziels wird auf Basis der Position des Randes abgeleitet, der als echter Rand ausgewählt wurde. Dies erlaubt eine weitere Verbesserung der Detektionsgenauigkeit für eine laterale Position des Ziels.

**[0314]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 8610620 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0315]** Bei einer zweiten Verarbeitungseinrichtung verändert der Verarbeitungsabschnitt bei der Bestimmung des Vorhandenseins eines Ziels eine Bestimmungsschwelle zur Verwendung bei der Überprüfung hinsichtlich eines Zielvorhandenseins in Radarinformationen auf der Basis von Bildinformationen. Wenn ein Zielbild, das ein Hindernis für die Fahrt des Fahrzeugs sein kann, mit einer Kamera oder dergleichen bestätigt wurde, oder wenn das Vorhandensein eines Ziels geschätzt wurde usw., ist somit beispielsweise die Bestimmungsschwelle für die Zieldetektion durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt so optimierbar, dass korrektere Zielinformationen gewonnen werden können. Wenn die Möglichkeit des Vorhandenseins eines Hindernisses groß ist, wird die Bestimmungsschwelle so verändert, dass diese Verarbeitungseinrichtung mit Sicherheit aktiviert wird. Ist die Möglichkeit des Vorhandenseins eines Hindernisses dagegen gering, wird die Bestimmungsschwelle so verändert, dass eine unerwünschte Aktivierung dieser Verarbeitungseinrichtung verhindert wird. Dies erlaubt eine angemessene Aktivierung des Systems.

**[0316]** Außerdem kann in diesem Fall auf Basis von Radarinformationen der Verarbeitungsabschnitt eine Detektionsregion für die Bildinformationen angeben und eine Möglichkeit des Vorhandenseins eines Hindernisses auf Basis von Bildinformationen innerhalb dieser Region schätzen. Hieraus ergibt sich ein effizienterer Detektionsprozess.

**[0317]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 7570198 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0318]** Bei einer dritten Verarbeitungseinrichtung führt der Verarbeitungsabschnitt ein kombiniertes Anzeigen durch, bei dem Bilder, die aus einer Vielzahl unterschiedlicher Bildgebungsvorrichtungen und einem Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt gewonnen sind, und ein Bildsignal auf Basis von Radarinformationen auf mindestens einer Anzeigevorrichtung angezeigt werden. In diesem Anzeigeprozess werden Horizontal- und Vertikal-Synchronisationssignale zwischen der Vielzahl von Bildgebungsvorrichtungen und dem Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt synchronisiert, und unter den Bildsignalen aus diesen Vorrichtungen kann selektiv zu einem gewünschten Bildsignal innerhalb einer Horizontal-Abtastungsperiode oder einer Vertikal-Abtastungsperiode umgeschaltet werden. Dies erlaubt, auf Basis der Horizontal- und Vertikal-Synchronisationssignale, ein Anzeigen von Bildern einer Vielzahl von ausgewählten Bildsignalen nebeneinander; und aus der Anzeigevorrichtung wird ein Steuersignal zum Einstellen eines Steuerbetriebes in der gewünschten Bildgebungsvorrichtung und dem Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt geschickt.

**[0319]** Wenn eine Vielzahl unterschiedlicher Anzeigevorrichtungen jeweilige Bilder oder dergleichen anzeigen, ist ein Vergleich der jeweiligen Bilder miteinander schwierig. Wenn Anzeigevorrichtungen separat von der dritten Verarbeitungseinrichtung selbst vorgesehen sind, besteht zudem nur geringe Funktionsfähigkeit der Vorrichtung. Mit der dritten Verarbeitungseinrichtung würden solche Nachteile behoben.

**[0320]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 6628299 und der Beschreibung des US-Patents Nr. 7161561 beschrieben, deren gesamte Offenbarung hier jeweils durch Verweis aufgenommen wird.

**[0321]** Bei einer vierten Verarbeitungseinrichtung weist der Verarbeitungsabschnitt mit Bezug auf ein Ziel, das sich einem Fahrzeug voraus befindet, einen Bilderfassungsabschnitt und einen Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt dazu an, ein Bild und Radarinformationen zu erfassen, die dieses Ziel enthalten. Aus solchen Bildinformationen bestimmt der Verarbeitungsabschnitt eine Region, in der das Ziel enthalten ist. Außerdem extrahiert der Verarbeitungsabschnitt Radarinformationen innerhalb dieser Region und detektiert eine Distanz von dem Fahrzeug zu dem Ziel und eine relative Geschwindigkeit zwischen dem Fahrzeug und dem Ziel. Auf Basis solcher Informationen bestimmt der



Verarbeitungsabschnitt eine Möglichkeit, dass eine Kollision zwischen Ziel und Fahrzeug erfolgt. Dies ermöglicht eine frühzeitige Detektion einer möglichen Kollision mit einem Ziel.

**[0322]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 8068134 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0323]** Bei einer fünften Verarbeitungseinrichtung erkennt der Verarbeitungsabschnitt auf Basis von Radarinformationen oder durch einen zusammengeführten Prozess, der auf Radarinformationen und Bildinformationen basiert, ein Ziel oder zwei oder mehr Ziele, die sich dem Fahrzeug voraus befinden. Das „Ziel“ schließt jedes bewegte Objekt ein wie etwa andere Fahrzeuge oder Fußgänger, durch weiße Linien auf der Straße angezeigte Fahrspuren, Seitenstreifen und alle unbewegten Objekte (einschließlich Straßengräben, Hindernissen usw.), Ampeln, Fußgängerüberwege und dergleichen, die möglicherweise vorhanden sind. Der Verarbeitungsabschnitt kann eine GPS-Antenne (globales Positionierungssystem) einschließen. Durch Verwendung einer GPS-Antenne kann die Position des Eigenfahrzeugs detektiert werden, und auf Basis dieser Position kann eine Speichervorrichtung (als Karteninformations-Datenbankvorrichtung bezeichnet), die Straßenkarteninformationen speichert, durchsucht werden, um eine aktuelle Position auf der Karte zu ermitteln. Diese aktuelle Position auf der Karte kann mit einem Ziel oder zwei oder mehr Zielen verglichen werden, die auf Basis von Radarinformationen oder dergleichen erkannt wurden, wodurch die Fahrumgebung erkannt werden kann. Auf dieser Basis kann der Verarbeitungsabschnitt jedes Ziel extrahieren, das gemäß einer Einschätzung die Fahrt des Fahrzeugs behindert, sicherere Fahrtinformationen finden und diese gegebenenfalls auf einer Anzeigevorrichtung anzeigen, um den Fahrer zu informieren.

**[0324]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 6191704 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0325]** Die fünfte Verarbeitungseinrichtung kann weiterhin eine Datenkommunikationsvorrichtung (mit Kommunikationsschaltungen) aufweisen, die mit einer Karteninformations-Datenbankvorrichtung kommuniziert, die zum Fahrzeug extern ist. Die Datenkommunikationsvorrichtung kann auf die Karteninformations-Datenbankvorrichtung mit einer Periode von z.B. einmal pro Woche oder einmal pro Monat zugreifen, um die neuesten Karteninformationen davon herunterzuladen. Dies erlaubt eine Durchführung der oben genannten Verarbeitung mit den neuesten Karteninformationen.

**[0326]** Außerdem kann die fünfte Verarbeitungseinrichtung zwischen den neuesten Karteninformationen, die während der oben genannten Fahrt des Fahrzeugs erfasst wurden, und Informationen, die auf Basis von Radarinformationen usw. über ein Ziel oder zwei oder mehr Ziele erkannt wurden, vergleichen, um Zielinformationen (im Folgenden als „Kartenaktualisierungsinformationen“ bezeichnet) zu extrahieren, die nicht in den Karteninformationen enthalten sind. Sodann können diese Kartenaktualisierungsinformationen über die Datenkommunikationsvorrichtung an die Karteninformations-Datenbankvorrichtung gesendet werden. Die Karteninformations-Datenbankvorrichtung kann diese Kartenaktualisierungsinformationen in Verknüpfung mit den Karteninformationen speichern, die in der Datenbank sind, und die aktuellen Karteninformationen nötigenfalls selbst aktualisieren. Bei der Durchführung der Aktualisierung können jeweilige einzelne Kartenaktualisierungsinformationen, die aus einer Vielzahl von Fahrzeugen gewonnen sind, miteinander verglichen werden, um die Sicherheit der Aktualisierung zu überprüfen.

**[0327]** Es wird darauf hingewiesen, dass diese Kartenaktualisierungsinformationen möglicherweise detailliertere Informationen enthalten als die Karteninformationen, die durch jede aktuell verfügbare Karteninformations-Datenbankvorrichtung geführt werden. Beispielsweise sind aus üblicherweise verfügbaren Karteninformationen möglicherweise schematische Formen von Straßen bekannt, sie enthalten jedoch typischerweise nicht Informationen wie etwa die Breite des Seitenstreifens, die Breite des möglicherweise vorhandenen Straßengrabens, neu aufgetretene Erhebungen oder Senken, Gebäudeformen und so weiter. Sie enthalten auch nicht die Höhen der Fahrbahn und des Bürgersteigs, eine mögliche Verbindung einer geneigten Fläche mit dem Bürgersteig usw. Auf Basis von separat eingestellten Bedingungen kann die Karteninformations-Datenbankvorrichtung solche detaillierten Informationen (im Folgenden als „Kartenaktualisierungs-Detailinformationen“ bezeichnet) in Verknüpfung mit den Karteninformationen speichern. Solche Kartenaktualisierungs-Detailinformationen liefern einem Fahrzeug (einschließlich des Eigenfahrzeugs) Informationen, die detaillierter sind als die ursprünglichen Karteninformationen, wodurch sie nicht nur zur Sicherstellung einer sicheren Fahrt, sondern auch für andere Zwecke verfügbar werden. Wie hier verwendet, kann ein „Fahrzeug (einschließlich des Eigenfahrzeugs)“ z.B. ein Kraftfahrzeug, ein Motorrad, ein Fahrrad oder jedes autonome Fahrzeug sein, das in Zukunft erhältlich wird, z.B. ein elektrischer Rollstuhl. Die Kartenaktualisierungs-Detailinformationen sind für die Fahrt eines jeden solchen Fahrzeugs verwendbar.

(Erkennung über neuronales Netz)

**[0328]** Jede der ersten bis fünften Verarbeitungseinrichtungen kann weiterhin eine komplexe Erkennungseinrichtung aufweisen. Die komplexe Erkennungseinrichtung kann extern zu dem Fahrzeug vorgesehen sein. In diesem Fall kann das Fahrzeug eine Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationsvorrichtung aufweisen, die mit der komplexen Erkennungseinrichtung kommuniziert. Die komplexe Erkennungseinrichtung kann aus einem neuronalen Netz gebildet sein, das sogenanntes tiefes Lernen und dergleichen einschließen kann. Dieses neuronale Netz kann beispielsweise ein neuronales Konvolutionsnetz aufweisen (im Folgenden als „CNN“ bezeichnet). Ein CNN, ein neuronales Netz, das sich bei der Bilderkennung als erfolgreich erwiesen hat, ist dadurch gekennzeichnet, dass es ein oder mehr Sätze aus zwei Schichten besitzt, und zwar eine Konvolutionsschicht und eine Pooling-Schicht.

**[0329]** Es existieren mindestens folgende drei Arten von Informationen, die jeweils in eine Konvolutionsschicht in der Verarbeitungseinrichtung eingebbar sind:

(1) Informationen, die auf Radarinformationen basieren, welche durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt erfasst sind;

(2) Informationen, die auf spezifischen Bildinformationen basieren, welche auf Basis von Radarinformationen durch den Bilderfassungsabschnitt erfasst sind; oder

(3) zusammengeführte Informationen, die auf Radarinformationen und Bildinformationen, die durch den Bilderfassungsabschnitt erfasst sind, basieren, oder Informationen, die auf Basis solcher zusammengeführter Informationen gewonnen sind.

**[0330]** Auf Basis von Informationen jeder der oben genannten Arten oder Informationen auf Basis einer Kombination daraus werden Produkt-Summen-Operationen durchgeführt, die einer Konvolutionsschicht entsprechen. Die Ergebnisse werden in die nachfolgende Pooling-Schicht eingegeben, wo Daten gemäß einer vorbestimmten Regel ausgewählt werden. Im Fall eines Maximal-Poolings, bei dem ein Maximalwert unter Pixelwerten gewählt wird, kann die Regel beispielsweise vorschreiben, dass ein Maximalwert für jede Teilungsregion in der Konvolutionsschicht gewählt wird, wobei dieser Maximalwert als der Wert der entsprechenden Position in der Pooling-Schicht angesehen wird.

**[0331]** Eine komplexe Erkennungseinrichtung, die aus einem CNN gebildet ist, kann einen einzelnen Satz aus einer Konvolutionsschicht und einer Pooling-Schicht oder eine Vielzahl solcher Sätze aufweisen, die in Serie kaskadiert sind. Dies ermöglicht

eine korrekte Erkennung eines Ziels, das in den Radarinformationen und den Bildinformationen enthalten ist, die um ein Fahrzeug vorhanden sein können.

**[0332]** Verwandte Techniken sind beschrieben in US-Patent Nr. 8861842, in der Beschreibung des US-Patents Nr. 9286524 und der Beschreibung der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2016/0140424, deren gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0333]** Bei einer sechsten Verarbeitungseinrichtung führt der Verarbeitungsabschnitt Verarbeitung bezüglich der Frontscheinwerfersteuerung eines Fahrzeugs durch. Wenn ein Fahrzeug nachts unterwegs ist, kann der Fahrer überprüfen, ob sich dem Eigenfahrzeug voraus ein anderes Fahrzeug oder ein Fußgänger befindet, und (einen) Lichtstrahl(en) aus dem/den Frontscheinwerfer(n) des Eigenfahrzeugs steuern, um zu verhindern, dass der Fahrer des anderen Fahrzeugs oder der Fußgänger durch den/die Frontscheinwerfer des Eigenfahrzeugs geblendet wird. Diese sechste Verarbeitungseinrichtung steuert automatisch den/die Frontscheinwerfer des Eigenfahrzeugs mithilfe von Radarinformationen oder einer Kombination aus Radarinformationen und einem Bild, das von einer Kamera oder dergleichen aufgenommen ist.

**[0334]** Auf Basis von Radarinformationen, oder durch einen zusammengeführten Prozess auf Basis von Radarinformationen und Bildinformationen, detektiert der Verarbeitungsabschnitt ein Ziel, das einem dem Fahrzeug voraus befindlichen Fahrzeug oder Fußgänger entspricht. In diesem Fall kann ein einem Fahrzeug voraus befindliches Fahrzeug ein voranfahrendes Fahrzeug, ein Fahrzeug oder ein Motorrad auf der Gegenfahrbahn und so weiter einschließen. Beim Detektieren eines solchen Ziels gibt der Verarbeitungsabschnitt einen Befehl aus, den/die Strahl(en) des Frontscheinwerfers bzw. der Frontscheinwerfer abzublenden. Beim Empfang dieses Befehls kann der Steuerabschnitt (die Steuerschaltung), der sich intern im Fahrzeug befindet, den/die Frontscheinwerfer dazu steuern, den/die daraus ausgesandten Strahl(en) abzublenden.

**[0335]** Verwandte Techniken sind beschrieben in der Beschreibung des US-Patents Nr. 6403942, der Beschreibung des US-Patents Nr. 6611610, der Beschreibung des US-Patents Nr. 8543277, der Beschreibung des US-Patents Nr. 8593521 und der Beschreibung des US-Patents Nr. 8636393, deren gesamte Offenbarung hier jeweils durch Verweis aufgenommen wird.

**[0336]** Gemäß der oben beschriebenen Verarbeitung durch den Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt und dem oben beschriebenen zusammenge-

fürten Prozess des Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitts und einer Bildgebungsvorrichtung wie etwa einer Kamera kann der Millimeterwellenradar mit geringer Größe und hoher Leistungsfähigkeit konstruiert sein, so dass hohe Leistungsfähigkeit und Größenverringern usw. für die Radarverarbeitung oder den gesamten zusammengeführten Prozess erreicht werden können. Dies verbessert die Genauigkeit der Zielerkennung und ermöglicht eine sicherere Fahrtsteuerung für das Fahrzeug.

<Anwendungsbeispiel 2: Verschiedene Überwachungssysteme (Naturelemente, Gebäude, Straßen, Bewachung, Sicherheit)>

**[0337]** Ein Millimeterwellenradar (Radarsystem), der eine Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält, hat auch einen breiten Anwendungsbereich auf den Gebieten der Überwachung, was Naturelemente, das Wetter, Gebäude, Sicherheit, Pflege und dergleichen einschließen kann. Bei einem Überwachungssystem in diesem Zusammenhang kann eine Überwachungseinrichtung, die den Millimeterwellenradar aufweist, z.B. an einer festen Position installiert sein, um (einen) Überwachungsgegenstand/-gegenstände ständig zu überwachen. Die Detektionsauflösung an dem Millimeterwellenradar ist im Hinblick auf den/die Überwachungsgegenstand/-gegenstände eingestellt und auf einen optimalen Wert gesetzt.

**[0338]** Ein Millimeterwellenradar, der eine Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält, ist fähig zur Detektion mit einer elektromagnetischen Welle mit einer Hochfrequenz von z.B. mehr als 100 GHz. Hinsichtlich des Modulationsbandes in den Schemata, die bei der Radarerkennung verwendet werden, z.B. dem FMCW-Verfahren, erzielt der Millimeterwellenradar aktuell ein breites Band von mehr als 4 GHz, wodurch das oben genannte Ultrabreitband (UWB) unterstützt wird. Es wird darauf hingewiesen, dass das Modulationsband mit der Entfernungsauflösung zusammenhängt. Bei einer herkömmlichen Patch-Antenne betrug das Modulationsband bis zu circa 600 MHz, was eine Entfernungsauflösung von 25 cm ergab. Dagegen hat ein Millimeterwellenradar im Zusammenhang mit der vorliegenden Array-Antenne eine Entfernungsauflösung von 3,75 cm, was eine Leistungsfähigkeit anzeigt, die mit der Entfernungsauflösung von herkömmlichem LIDAR konkurrieren kann. Während ein optischer Sensor wie etwa LIDAR zum Detektieren eines Ziels bei Nacht oder schlechtem Wetter nicht fähig ist, wie oben erwähnt, ist ein Millimeterwellenradar immer zur Detektion fähig, gleichgültig ob bei Tag oder Nacht und ungeachtet des Wetters. Infolgedessen ist ein der vorliegenden Array-Antenne zugeordneter Millimeterwellenradar für vielfältige Anwendungen verfügbar, die mit einem Millimeterwellenradar, der

eine herkömmliche Patch-Antenne enthält, nicht möglich waren.

**[0339]** Fig. 40 ist ein Diagramm, das eine Beispielkonstruktion für ein Überwachungssystem 1500 auf Basis von Millimeterwellenradar zeigt. Das Überwachungssystem 1500 auf Basis von Millimeterwellenradar weist mindestens einen Sensorabschnitt 1010 und einen Hauptabschnitt 1100 auf. Der Sensorabschnitt 1010 weist mindestens eine Antenne 1011, die auf den Überwachungsgegenstand 1015 gerichtet ist, einen Millimeterwellenradar-Detektionsabschnitt 1012, der auf Basis einer gesendeten oder empfangenen elektromagnetischen Welle ein Ziel detektiert, und einen Kommunikationsabschnitt (Kommunikationsschaltung) 1013 auf, der detektierte Radarinformationen sendet. Der Hauptabschnitt 1100 weist mindestens einen Kommunikationsabschnitt (Kommunikationsschaltung) 1103, der Radarinformationen empfängt, einen Verarbeitungsabschnitt (Verarbeitungsschaltung) 1101, der vorbestimmte Verarbeitung auf Basis der empfangenen Radarinformationen durchführt, und einen Datenspeicherungsabschnitt (Speicherungsmedium) 1102 auf, in dem ältere Radarinformationen und andere Informationen gespeichert sind, die für die vorbestimmte Verarbeitung usw. benötigt werden. Zwischen dem Sensorabschnitt 1010 und dem Hauptabschnitt 1100 existieren Telekommunikationsverbindungen 1300, über die Senden und Empfang von Informationen und Befehlen zwischen denselben stattfinden. Wie hier verwendet, können die Telekommunikationsverbindungen beispielsweise ein Allzweck-Kommunikationsnetz wie etwa das Internet, ein Mobilkommunikationsnetz, dedizierte Telekommunikationsverbindungen und so weiter einschließen. Es wird darauf hingewiesen, dass das vorliegende Überwachungssystem 1500 so angeordnet sein kann, dass der Sensorabschnitt 1010 und der Hauptabschnitt 1100 statt über Telekommunikationsverbindungen direkt verbunden sind. Zusätzlich zu dem Millimeterwellenradar kann der Sensorabschnitt 1010 auch einen optischen Sensor wie etwa eine Kamera aufweisen. Dies erlaubt eine Zielerkennung durch einen zusammengeführten Prozess, der auf Radarinformationen und Bildinformationen aus der Kamera oder dergleichen basiert, wodurch eine komplexere Detektion des Überwachungsgegenstandes 1015 oder dergleichen ermöglicht wird.

**[0340]** Nachfolgend werden Beispiele für Überwachungssysteme, die diese Anwendungen verkörpern, spezifisch beschrieben.

(Naturelement-Überwachungssystem)

**[0341]** Ein erstes Überwachungssystem ist ein System, das Naturelemente überwacht (im Folgenden als „Naturelement-Überwachungssystem“ bezeichnet). Mit Bezug auf Fig. 40 wird dieses Naturele-

ment-Überwachungssystem beschrieben. Überwachungsgegenstände 1015 des Naturelement-Überwachungssystems 1500 können beispielsweise ein Fluss, die Meeresoberfläche, ein Berg, ein Vulkan, die Bodenoberfläche oder dergleichen sein. Wenn der Überwachungsgegenstand 1015 beispielsweise ein Fluss ist, überwacht der an einer fixen Position befestigte Sensorabschnitt 1010 ständig die Wasseroberfläche des Flusses 1015. Diese Wasseroberflächeninformationen werden ständig an einen Verarbeitungsabschnitt 1101 in dem Hauptabschnitt 1100 gesendet. Erreicht oder überschreitet die Wasseroberfläche dann eine bestimmte Höhe, benachrichtigt der Verarbeitungsabschnitt 1101 ein getrenntes System 1200, das separat von dem Überwachungssystem existiert (z.B. ein Wetterbeobachtungs-Überwachungssystem), über die Telekommunikationsverbindungen 1300. Alternativ kann der Verarbeitungsabschnitt 1101 Informationen an ein System (nicht gezeigt) schicken, das die Schleuse verwaltet, wodurch das System auf Anweisung eine an dem Fluss 1015 vorgesehene Schleuse usw. (nicht gezeigt) automatisch schließt.

**[0342]** Das Naturelement-Überwachungssystem 1500 ist fähig zum Überwachen einer Vielzahl von Sensorabschnitten 1010, 1020, usw. mit dem einzelnen Hauptabschnitt 1100. Wenn die Vielzahl von Sensorabschnitten über einen bestimmten Bereich verteilt sind, können die Pegelstände von Flüssen in diesem Bereich gleichzeitig erfasst werden. Dies erlaubt eine Einschätzung dessen, wie der Niederschlag in diesem Bereich die Pegelstände der Flüsse beeinflussen kann, mit möglicherweise katastrophalen Folgen wie etwa Überschwemmungen. Informationen hierzu können über die Telekommunikationsverbindungen 1300 an das getrennte System 1200 (z.B. ein Wetterbeobachtungs-Überwachungssystem) übermittelt werden. So ist das getrennte System 1200 (z.B. ein Wetterbeobachtungs-Überwachungssystem) fähig, die übermittelten Informationen zur Wetterbeobachtung oder Katastrophenvorhersage in einem weiteren Bereich zu nutzen.

**[0343]** Das Naturelement-Überwachungssystem 1500 ist in ähnlicher Weise auch auf jedes andere Naturelement als einen Fluss anwendbar. Beispielsweise ist bei einem Überwachungssystem, das Tsunamis oder Sturmfluten überwacht, der Meeresspiegel der Überwachungsgegenstand. Es ist auch möglich, in Antwort auf einen Anstieg des Meeresspiegels automatisch eine Seedeichschleuse zu öffnen oder zu schließen. Alternativ kann der Überwachungsgegenstand eines Überwachungssystems, das Erdbeben infolge von Niederschlag, Erdbeben oder dergleichen überwacht, die Bodenoberfläche einer Berggegend usw. sein.

(Verkehrsüberwachungssystem)

**[0344]** Ein zweites Überwachungssystem ist ein System, das den Verkehr überwacht (im Folgenden als „Verkehrsüberwachungssystem“ bezeichnet). Überwachungsgegenstand dieses Verkehrsüberwachungssystems kann beispielsweise ein Bahnübergang, eine spezifische Bahnlinie, eine Flughafen-Start- und -Landebahn, eine Straßenkreuzung, eine spezifische Straße, ein Parkplatz usw. sein.

**[0345]** Wenn der Überwachungsgegenstand beispielsweise ein Bahnübergang ist, ist der Sensorabschnitt 1010 an einer Position platziert, wo das Innere des Bahnübergangs überwacht werden kann. In diesem Fall kann der Sensorabschnitt 1010 zusätzlich zu dem Millimeterwellenradar auch einen optischen Sensor wie etwa eine Kamera aufweisen, der eine Detektion eines Ziels (Überwachungsgegenstandes) aus mehr Perspektiven durch einen zusammengeführten Prozess auf Basis von Radarinformationen und Bildinformationen zulässt. Die mit dem Sensorabschnitt 1010 gewonnenen Zielinformationen werden über die Telekommunikationsverbindungen 1300 an den Hauptabschnitt 1100 geschickt. Der Hauptabschnitt 1100 sammelt andere Informationen (z.B. Fahrplaninformationen), die bei einem komplexeren Erkennungsprozess oder komplexerer Steuerung notwendig sein können, und gibt auf dessen Basis notwendige Steueranweisungen oder dergleichen aus. Wie hier verwendet, kann eine notwendige Steueranweisung beispielsweise eine Anweisung sein, einen Zug anzuhalten, wenn bei geschlossenem Bahnübergang eine Person, ein Fahrzeug usw. in dem Bahnübergang aufgefunden wird.

**[0346]** Wenn der Überwachungsgegenstand eine Start- und Landebahn auf einem Flughafen ist, kann beispielsweise eine Vielzahl von Sensorabschnitten 1010, 1020 usw. entlang der Start- und Landebahn platziert sein, um die Start- und Landebahn auf eine vorbestimmte Auflösung einzustellen, z.B. eine Auflösung, die das Detektieren eines Fremdkörpers mit einer Größe von 5 cm mal 5 cm auf der Start- und Landebahn zulässt. Das Überwachungssystem 1500 überwacht die Start- und Landebahn ständig, gleichgültig, ob bei Tag oder Nacht, und ungeachtet des Wetters. Ermöglicht wird diese Funktion gerade durch die Fähigkeit des Millimeterwellenradars gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung, UWB zu unterstützen. Da der vorliegende Millimeterwellenradar mit geringer Größe, hoher Auflösung und niedrigen Kosten ausgebildet sein kann, stellt er zudem eine realistische Lösung dafür dar, die gesamte Start- und Landebahnoberfläche von einem Ende zum anderen abzudecken. In diesem Fall hält der Hauptabschnitt 1100 die Vielzahl von Sensorabschnitten 1010, 1020 usw. unter integrierter Verwaltung. Wenn ein Fremdkörper auf der

Start- und Landebahn gefunden wird, sendet der Hauptabschnitt 1100 Informationen bezüglich Position und Größe des Fremdkörpers an ein Flugsicherungssystem (nicht gezeigt). Beim Empfang derselben verbietet das Flugsicherungssystem vorübergehend das Starten und Landen auf dieser Bahn. In der Zwischenzeit sendet der Hauptabschnitt 1100 Informationen bezüglich Position und Größe des Fremdkörpers an ein separat vorgesehene Fahrzeug, das beispielsweise automatisch die Oberfläche der Start- und Landebahn reinigt usw. Beim Empfang hiervon kann das Reinigungsfahrzeug sich autonom an die Position bewegen, an der sich der Fremdkörper befindet, und den Fremdkörper automatisch beseitigen. Sobald die Beseitigung des Fremdkörpers beendet ist, sendet das Reinigungsfahrzeug Informationen über die Beendigung an den Hauptabschnitt 1100. Der Hauptabschnitt 1100 bestätigt dann wiederum, dass der Sensorabschnitt 1010 oder dergleichen, der den Fremdkörper detektiert hat, nun meldet, dass „kein Fremdkörper vorhanden ist“ und dass es nun sicher ist, und benachrichtigt das Flugsicherungssystem darüber. Beim Empfang hiervon kann das Flugsicherungssystem die Unterbindung von Starts und Landungen auf der Start- und Landebahn aufheben.

**[0347]** In dem Fall, in dem der Überwachungsgegenstand beispielsweise ein Parkplatz ist, kann es außerdem möglich sein, automatisch zu erkennen, welche Position auf dem Parkplatz aktuell frei ist. Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 6943726 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

(Sicherheitsüberwachungssystem)

**[0348]** Ein drittes Überwachungssystem ist ein System, das einen Eindringling auf einem privaten Grundstück oder in einem Haus überwacht (im Folgenden als „Sicherheitsüberwachungssystem“ bezeichnet). Überwachungsgegenstand dieses Sicherheitsüberwachungssystems kann beispielsweise eine spezifische Region innerhalb eines privaten Grundstücks oder eines Hauses usw. sein.

**[0349]** Wenn der Überwachungsgegenstand ein privates Grundstück ist, kann/können der/die Sensorabschnitt(e) 1010 beispielsweise an einer Position oder zwei oder mehr Positionen platziert sein, an denen der/die Sensorabschnitt(e) 1010 dasselbe zu überwachen vermögen. In diesem Fall kann/können der/die Sensorabschnitt(e) 1010 zusätzlich zu dem Millimeterwellenradar auch einen optischen Sensor wie etwa eine Kamera aufweisen, der eine Detektion eines Ziels (Überwachungsgegenstandes) aus mehr Perspektiven durch einen zusammengeführten Prozess auf Basis von Radarinformationen und Bildinformationen zulässt. Die mit dem bzw. den Sensor-

abschnitt(en) 1010 gewonnenen Zielinformationen werden über die Telekommunikationsverbindungen 1300 an den Hauptabschnitt 1100 geschickt. Der Hauptabschnitt 1100 sammelt andere Informationen (z.B. Referenzdaten oder dergleichen, die zur korrekten Erkennung dessen notwendig sind, ob der Eindringling eine Person oder ein Tier wie etwa ein Hund oder eine Vogel ist), die bei einem komplexeren Erkennungsprozess oder komplexerer Steuerung notwendig sein können, und gibt auf Basis dessen notwendige Steueranweisungen oder dergleichen aus. Wie hier verwendet, kann eine notwendige Steueranweisung beispielsweise eine Anweisung sein, einen Alarm auszulösen oder Beleuchtung zu aktivieren, die auf dem Gelände installiert ist, und auch eine Anweisung, über Mobil-Telekommunikationsverbindungen oder dergleichen einen für das Gelände Verantwortlichen direkt zu verständigen usw. Der Verarbeitungsabschnitt 1101 in dem Hauptabschnitt 1100 kann eine Erkennung des detektierten Ziels durch eine intern enthaltene, komplexe Erkennungseinrichtung zulassen (die tiefes Lernen oder eine ähnliche Technik verwendet). Alternativ kann eine solche komplexe Erkennungseinrichtung extern vorgesehen sein, wobei die komplexe Erkennungseinrichtung dann über die Telekommunikationsverbindungen 1300 angeschlossen sein kann.

**[0350]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 7425983 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

**[0351]** Eine weitere Ausführungsform eines solchen Sicherheitsüberwachungssystems kann ein Personenüberwachungssystem sein, das an einem Gate auf einem Flughafen, einer Sperre am Bahnhof, einem Eingang eines Gebäudes oder dergleichen zu installieren ist. Der Überwachungsgegenstand eines solchen Personenüberwachungssystems kann beispielsweise ein Gate auf einem Flughafen, eine Sperre am Bahnhof, ein Eingang eines Gebäudes oder dergleichen sein.

**[0352]** Wenn der Überwachungsgegenstand ein Gate auf einem Flughafen ist, kann/können der/die Sensorabschnitt(e) 1010 beispielsweise in einer Anlage zur Überprüfung persönlicher Gegenstände an dem Gate installiert sein. In diesem Fall kann es folgende zwei Überprüfungsverfahren geben. In einem ersten Verfahren sendet der Millimeterwellenradar eine elektromagnetische Welle und empfängt die von einem Passagier (der der Überwachungsgegenstand ist) reflektierte elektromagnetische Welle, wodurch persönliche Gegenstände oder dergleichen des Passagiers überprüft werden. In einem zweiten Verfahren wird durch die Antenne eine vom Körper des Passagiers abgestrahlte schwache Millimeterwelle empfangen, wodurch eine Überprüfung auf

etwaige Fremdkörper erfolgt, die der Passagier möglicherweise versteckt. In letzterem Verfahren hat der Millimeterwellenradar bevorzugt die Funktion, die empfangene Millimeterwelle abzutasten. Diese Abtastfunktion ist mithilfe digitaler Strahlformung oder durch einen mechanischen Abtastvorgang implementierbar. Es wird darauf hingewiesen, dass die Verarbeitung durch den Hauptabschnitt 1100 einen Kommunikationsprozess und einen Erkennungsprozess ähnliche denen in den oben beschriebenen Beispielen nutzen kann.

(Gebäudeuntersuchungssystem (zerstörungsfreie Untersuchung))

**[0353]** Ein viertes Überwachungssystem ist ein System, das das Betonmaterial einer Straße, einer Eisenbahnüberführung, eines Gebäudes usw. oder das Innere einer Straße oder des Bodens usw. überwacht oder überprüft (im Folgenden als „Gebäudeuntersuchungssystem“ bezeichnet). Überwachungsgegenstand dieses Gebäudeuntersuchungssystems kann beispielsweise das Innere des Betonmaterials einer Überführung oder eines Gebäudes usw. oder das Innere einer Straße oder des Bodens usw. sein.

**[0354]** Wenn der Überwachungsgegenstand das Innere eines Betongebäudes ist, ist der Sensorabschnitt 1010 beispielsweise so strukturiert, dass die Antenne 1011 Abtastbewegungen entlang der Oberfläche eines Betongebäudes durchführen kann. Wie hier verwendet, können „Abtastbewegungen“ manuell implementiert sein, oder es kann separat eine ortsfeste Schiene für die Abtastbewegung vorgesehen sein, auf der die Bewegung mithilfe der Antriebskraft aus einem Elektromotor oder dergleichen bewirkt werden kann. In dem Fall, dass der Überwachungsgegenstand eine Straße oder der Boden ist, kann die Antenne 1011 mit der Fläche nach unten an einem Fahrzeug oder dergleichen installiert sein, und das Fahrzeug kann mit einer konstanten Geschwindigkeit fahren gelassen werden, wodurch eine „Abtastbewegung“ erzeugt wird. Die durch den Sensorabschnitt 1010 zu verwendende elektromagnetische Welle kann eine Millimeterwelle z.B. in der sogenannten Terahertz-Region sein, die 100 GHz überschreitet. Wie bereits beschrieben, ist auch bei einer elektromagnetischen Welle von mehr als z.B. 100 GHz eine Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung so anpassbar, dass sie geringere Verluste aufweist, als dies bei herkömmlichen Patch-Antennen oder dergleichen der Fall ist. Eine elektromagnetische Welle einer höheren Frequenz vermag tiefer in den überprüften Gegenstand, wie etwa Beton, einzudringen, wodurch eine korrektere zerstörungsfreie Untersuchung realisiert wird. Es wird darauf hingewiesen, dass die Verarbeitung durch den Hauptabschnitt 1100 auch einen Kommunikationsprozess und einen Erkennungsprozess ähnlich denen in den

oben beschriebenen anderen Überwachungssystemen nutzen kann.

**[0355]** Eine verwandte Technik ist in der Beschreibung des US-Patents Nr. 6661367 beschrieben, dessen gesamte Offenbarung hier durch Verweis aufgenommen wird.

(Personenüberwachungssystem)

**[0356]** Ein fünftes Überwachungssystem ist ein System, das eine Pflege erhaltende Person bewacht (im Folgenden als „Personenbewachungssystem“ bezeichnet). Überwachungsgegenstand dieses Personenbewachungssystems kann beispielsweise eine Pflege erhaltende Person oder ein Patient in einem Krankenhaus usw. sein.

**[0357]** Wenn der Überwachungsgegenstand eine Pflege erhaltende Person in einem Zimmer einer Pflegeeinrichtung ist, ist/sind der/die Sensorabschnitt(e) 1010 beispielsweise an einer Position oder zwei oder mehr Positionen in dem Zimmer platziert, an denen der/die Sensorabschnitt(e) 1010 zum Überwachen des gesamten Innenraums des Zimmers fähig ist/sind. In diesem Fall kann der Sensorabschnitt 1010 zusätzlich zu dem Millimeterwellenradar auch einen optischen Sensor wie etwa eine Kamera aufweisen. In diesem Fall kann der Überwachungsgegenstand durch einen zusammengeführten Prozess auf Basis von Radarinformationen und Bildinformationen aus mehr Perspektiven überwacht werden. Wenn der Überwachungsgegenstand eine Person ist, kann andererseits eine Überwachung mit einer Kamera oder dergleichen aus Datenschutzsicht unangebracht sein. Daher muss die Auswahl der Sensoren unter Berücksichtigung dieses Aspektes erfolgen. Es wird darauf hingewiesen, dass eine Zieldetektion durch den Millimeterwellenradar es erlaubt, eine Person, die der Überwachungsgegenstand ist, nicht durch ihr Bild, sondern durch ein Signal zu erfassen (das gewissermaßen ein Schatten der Person ist). Daher kann der Millimeterwellenradar als aus Datenschutzsicht vorteilhafter Sensor angesehen werden.

**[0358]** Informationen über die Pflege erhaltende Person, die durch den/die Sensorabschnitt(e) 1010 gewonnen wurden, werden über die Telekommunikationsverbindungen 1300 an den Hauptabschnitt 1100 geschickt. Der Hauptabschnitt 1100 sammelt andere Informationen (z.B. Referenzdaten oder dergleichen, die zum korrekten Erkennen von Zielinformationen der Pflege erhaltenden Person benötigt werden), die in einem komplexeren Erkennungsprozess oder komplexerer Steuerung möglicherweise benötigt werden, und gibt auf dieser Basis notwendige Steueranweisungen oder dergleichen aus. Wie hier verwendet, kann eine notwendige Steueranweisung beispielsweise eine Anweisung sein, auf Basis des

Detektionsergebnisses einen Verantwortlichen direkt zu verständigen usw. Der Verarbeitungsabschnitt 1101 in dem Hauptabschnitt 1100 kann eine Erkennung des detektierten Ziels durch eine intern enthaltene, komplexe Erkennungseinrichtung zulassen (die tiefes Lernen oder eine ähnliche Technik verwendet). Alternativ kann eine solche komplexe Erkennungseinrichtung extern vorgesehen sein, wobei die komplexe Erkennungseinrichtung dann über die Telekommunikationsverbindungen 1300 angeschlossen sein kann.

**[0359]** In dem Fall, dass der Überwachungsgegenstand des Millimeterwellenradars eine Person ist, können mindestens die folgenden zwei Funktionen hinzugefügt sein.

**[0360]** Eine erste Funktion ist eine Funktion der Überwachung der Herzfrequenz und/oder der Atemfrequenz. Bei einem Millimeterwellenradar ist eine elektromagnetische Welle fähig zum Hindurchsehen durch die Kleidung, um die Position und die Bewegungen der Hautoberfläche des Körpers einer Person zu detektieren. Zuerst detektiert der Verarbeitungsabschnitt 1101 eine Person, die der Überwachungsgegenstand ist, und eine äußere Form derselben. Als Nächstes kann im Fall der Detektion einer Herzfrequenz beispielsweise eine Position auf der Körperoberfläche identifiziert werden, an der die Herzschlagbewegungen leicht detektierbar sind, und die Bewegungen dort können chronologisch detektiert werden. Dies erlaubt beispielsweise das Detektieren einer Herzfrequenz pro Minute. Das gleiche gilt beim Detektieren einer Atemfrequenz. Durch Verwendung dieser Funktion kann der Gesundheitszustand einer Pflege erhaltenden Person ständig überprüft werden, was eine höherwertige Bewachung einer Pflege erhaltenden Person ermöglicht.

**[0361]** Eine zweite Funktion ist eine Funktion der Sturzdetektion. Eine Pflege erhaltende Person wie etwa eine ältere Person kann aufgrund einer Schwächung der Beine und Füße von Zeit zu Zeit stürzen. Wenn eine Person stürzt, gelangt die Geschwindigkeit oder Beschleunigung einer spezifischen Stelle des Körpers der Person, z.B. des Kopfes, auf ein bestimmtes Niveau oder darüber. Wenn der Überwachungsgegenstand des Millimeterwellenradars eine Person ist, kann die relative Geschwindigkeit oder Beschleunigung des Ziels von Interesse ständig detektiert werden. Daher kann beispielsweise durch Identifizieren des Kopfes als des Überwachungsgegenstandes und chronologisches Detektieren seiner relativen Geschwindigkeit oder Beschleunigung ein Sturz erkannt werden, wenn eine Geschwindigkeit mit einem bestimmten Wert oder darüber detektiert wird. Beim Erkennen eines Sturzes kann der Verarbeitungsabschnitt 1101 eine Anweisung oder derglei-

chen ausgeben, die beispielsweise relevanter Pflegeassistenten entspricht.

**[0362]** Es wird darauf hingewiesen, dass der/die Sensorabschnitt(e) 1010 in dem oben beschriebenen Überwachungssystem oder dergleichen an (einer) festen Position(en) befestigt sind. Jedoch kann der / können die Sensorabschnitt(e) 1010 auch an einem bewegten Objekt installiert sein, z.B. einem Roboter, einem Fahrzeug, einem fliegenden Objekt wie etwa einer Drohne. Wie hier verwendet, kann das Fahrzeug oder dergleichen nicht nur ein Kraftfahrzeug einschließen, sondern beispielsweise auch ein kleineres bewegtes Objekt wie etwa einen elektrischen Rollstuhl. In diesem Fall kann dieses bewegte Objekt eine interne GPS-Einheit aufweisen, mit der seine aktuelle Position jederzeit bestätigt werden kann. Zusätzlich kann dieses bewegte Objekt auch die Funktion haben, die Genauigkeit seiner eigenen aktuellen Position mithilfe von Karteninformationen und den Kartenaktualisierungsinformationen, die mit Bezug auf die oben genannte fünfte Verarbeitungseinrichtung beschrieben wurden, weiter zu verbessern.

**[0363]** Außerdem kann bei jeder Vorrichtung oder jedem System, das den oben beschriebenen ersten bis dritten Detektionsvorrichtungen, ersten bis sechsten Verarbeitungseinrichtungen, ersten bis fünften Überwachungssystemen usw. ähnlich ist, die gleiche Konstruktion verwendet werden, um eine Array-Antenne oder einen Millimeterwellenradar gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zu nutzen.

<Anwendungsbeispiel3: Kommunikationssystem>

(Erstes Beispiel für ein Kommunikationssystem)

**[0364]** Die Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung (Array-Antenne) gemäß der vorliegenden Offenbarung kann für den Sender und/oder Empfänger verwendet werden, mit dem ein Kommunikationssystem (Telekommunikationssystem) konstruiert ist. Die Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung sind aus schichtartig angeordneten leitenden Baugliedern gebildet und sind deshalb fähig, die Größe des Senders und/oder Empfängers kleiner zu halten als bei Verwendung eines Hohlwellenleiters. Zudem ist ein Dielektrikum nicht notwendig, und somit kann der dielektrische Verlust von elektromagnetischen Wellen kleiner gehalten werden als bei Verwendung einer Mikrostreifenleitung. Daher kann ein Kommunikationssystem konstruiert werden, das einen kleinen und hocheffizienten Sender und/oder Empfänger enthält.

**[0365]** Ein solches Kommunikationssystem kann ein Kommunikationssystem analoger Art sein, das ein

analoges Signal sendet oder empfängt, welches direkt moduliert wird. Jedoch kann zur Konstruktion eines flexibleren und leistungsfähigeren Kommunikationssystems ein digitales Kommunikationssystem verwendet werden.

**[0366]** Nachfolgend wird mit Bezug auf **Fig. 41** ein digitales Kommunikationssystem 800A beschrieben, bei dem eine Wellenleitervorrichtung und eine Antennenvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung verwendet werden.

**[0367]** **Fig. 41** ist ein Blockdiagramm, das eine Konstruktion für das digitale Kommunikationssystem 800A zeigt. Das Kommunikationssystem 800A weist einen Sender 810A und einen Empfänger 820A auf. Der Sender 810A weist einen Analog-Digital- (A/D-) Wandler 812, einen Codierer 813, einen Modulator 814 und eine Sendeantenne 815 auf. Der Empfänger 820A weist eine Empfangsantenne 825, einen Demodulator 824, einen Decodierer 823 und einen Digital-Analog-(D/A-) Wandler 822 auf. Mindestens entweder die Sendeantenne 815 oder die Empfangsantenne 825 können mithilfe einer Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung implementiert sein. In diesem Anwendungsbeispiel werden die Schaltkreise, die den Modulator 814, den Codierer 813, den A/D-Wandler 812 und so weiter aufweisen, welche mit der Sendeantenne 815 verbunden sind, als die Sendeschaltung bezeichnet. Die Schaltkreise, die den Demodulator 824, den Decodierer 823, den D/A-Wandler 822 und so weiter aufweisen, welche mit der Empfangsantenne 825 verbunden sind, werden als die Empfangsschaltung bezeichnet. Die Sendeschaltung und die Empfangsschaltung können zusammen als die Kommunikationsschaltung bezeichnet werden.

**[0368]** Mit dem Analog-Digital- (A/D-) Wandler 812 wandelt der Sender 810A ein analoges Signal, das aus der Signalquelle 811 empfangen wird, in ein digitales Signal um. Als Nächstes wird das digitale Signal durch den Codierer 813 codiert. Wie hier verwendet, bedeutet „Codieren“ ein Abändern des zu sendenden digitalen Signals in ein Format, das für die Kommunikation geeignet ist. Beispiele für eine solche Codierung sind unter anderem CDM (Code-Multiplexen) und dergleichen. Außerdem ist auch jede Wandlung zum Bewirken von TDM (Zeitmultiplexen) oder FDM (Frequenz-Multiplexen) oder OFDM (orthogonalem Frequenz-Multiplexen) ein Beispiel für die Codierung. Das codierte Signal wird durch den Modulator 814 in ein Hochfrequenzsignal gewandelt, um aus der Sendeantenne 815 gesendet zu werden.

**[0369]** Auf dem Gebiet der Kommunikation kann eine Welle, die ein auf eine Trägerwelle zu überlagerndes Signal repräsentiert, als eine „Signalwelle“ bezeichnet werden; jedoch hat der Ausdruck „Signal-

welle“, wie er in der vorliegenden Beschreibung verwendet wird, nicht diese Definition. Eine „Signalwelle“ gemäß der vorliegenden Beschreibung bedeutet im breiten Sinne jede elektromagnetische Welle, die sich in einem Wellenleiter ausbreiten soll, oder jede elektromagnetische Welle zum Senden/Empfang über ein Antennenelement.

**[0370]** Der Empfänger 820A stellt das Hochfrequenzsignal, das durch die Empfangsantenne 825 empfangen wurde, an dem Demodulator 824 zu einem Niederfrequenzsignal und an dem Decodierer 823 zu einem digitalen Signal wieder her. Das decodierte digitale Signal wird durch den Digital-Analog-(D/A-) Wandler 822 zu einem analogen Signal wiederhergestellt und wird an eine Datensenke (einen Datenempfänger) 821 geschickt. Durch die oben genannten Prozesse wird eine Sequenz aus Senden- und Empfangsprozessen beendet.

**[0371]** Wenn die kommunizierende Einheit ein digitales Gerät wie etwa ein Computer ist, sind die Analog-Digital-Wandlung des Sendesignals und Digital-Analog-Wandlung des Empfangssignals in den oben genannten Prozessen nicht nötig. Somit können der Analog-Digital-Wandler 812 und der Digital-Analog-Wandler 822 in **Fig. 41** weggelassen werden. Ein System mit einer solchen Konstruktion ist ebenfalls in einem digitalen Kommunikationssystem eingeschlossen.

**[0372]** In einem digitalen Kommunikationssystem können zur Sicherstellung der Signalintensität oder zur Erweiterung der Kanalkapazität verschiedene Verfahren verwendet werden. Viele solche Verfahren sind auch in einem Kommunikationssystem wirksam, das Funkwellen des Millimeterwellenbandes oder des Terahertz-Bandes nutzt.

**[0373]** Funkwellen im Millimeterwellenband oder im Terahertz-Band haben höhere Geradlinigkeit als Funkwellen niedrigerer Frequenzen und unterliegen geringerer Beugung, d.h. geringerem Umlenken auf die Schattenseite eines Hindernisses. Daher ist es nicht ungewöhnlich, dass ein Empfänger eine aus einem Sender gesendete Funkwelle nicht direkt empfängt. Auch in solchen Situationen können reflektierte Wellen oft empfangen werden, jedoch ist eine reflektierte Welle eines Funkwellensignals häufig von schlechterer Qualität als die direkte Welle, was einen stabilen Empfang schwieriger macht. Außerdem kann eine Vielzahl reflektierter Wellen auf unterschiedlichen Wegen eintreffen. In diesem Fall könnten die Empfangswellen mit unterschiedlichen Weglängen sich in der Phase voneinander unterscheiden und so Mehrwegeschwund verursachen.

**[0374]** Als eine Technik zur Verbesserung solcher Situationen kann eine sogenannte Antennendiversi-



tätstechnik verwendet werden. Bei dieser Technik weist mindestens entweder der Sender oder der Empfänger eine Vielzahl von Antennen auf. Wenn die Vielzahl von Antennen voneinander um Distanzen getrennt sind, die sich mindestens um circa die Wellenlänge unterscheiden, sind die so entstehenden Zustände der Empfangswellen unterschiedlich. Dementsprechend wird selektiv die Antenne verwendet, die von allen zum Senden/Empfang mit der höchsten Qualität fähig ist, was die Zuverlässigkeit der Kommunikation verbessert. Alternativ können Signale, die aus mehr als einer Antenne gewonnen sind, zur Verbesserung der Signalqualität verschmolzen werden.

**[0375]** Bei dem in **Fig. 41** gezeigten Kommunikationssystem 800A kann beispielsweise der Empfänger 820A eine Vielzahl von Empfangsantennen 825 aufweisen. In diesem Fall existiert zwischen der Vielzahl von Empfangsantennen 825 und dem Demodulator 824 eine Umschalteneinrichtung. Durch die Umschalteneinrichtung verbindet der Empfänger 820A die Antenne, die von der Vielzahl von Empfangsantennen 825 das Signal mit der höchsten Qualität bereitstellt, mit dem Demodulator 824. In diesem Fall kann der Sender 810A auch eine Vielzahl von Sendeantennen 815 aufweisen.

(Zweites Beispiel für ein Kommunikationssystem)

**[0376]** **Fig. 42** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für ein Kommunikationssystem 800B zeigt, welches einen Sender 810B aufweist, der zum Variieren des Strahlungsmusters von Funkwellen fähig ist. In diesem Anwendungsbeispiel ist der Empfänger identisch mit dem in **Fig. 41** gezeigten Empfänger 820A; deshalb ist der Empfänger in der Illustration in **Fig. 42** weggelassen. Zusätzlich zu der Konstruktion des Senders 810A weist der Sender 810B auch ein Antennen-Array 815b auf, das eine Vielzahl von Antennenelementen 8151 aufweist. Das Antennen-Array 815b kann eine Array-Antenne gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung sein. Der Sender 810B weist ferner eine Vielzahl von Phasenschiebern (PS) 816 auf, die jeweils zwischen dem Modulator 814 und der Vielzahl von Antennenelementen 8151 verbunden sind. In dem Sender 810B wird ein Ausgang des Modulators 814 an die Vielzahl von Phasenschiebern 816 geschickt, wo Phasendifferenzen eingebracht werden und die so entstehenden Signale zu der Vielzahl von Antennenelementen 8151 geführt werden. In dem Fall, in dem die Vielzahl von Antennenelementen 8151 in gleichen Intervallen angeordnet sind, ist eine Hauptkeule 817 des Antennen-Arrays 815b, wenn ein Hochfrequenzsignal, dessen Phase in Bezug auf ein benachbartes Antennenelement um einen bestimmten Betrag abweicht, in jedes Antennenelement 8151 gespeist wird, in einem Azimut ausgerichtet, das von vorne aus geneigt ist, wobei diese Nei-

gung mit der Phasendifferenz übereinstimmt. Dieses Verfahren kann als Strahlformung bezeichnet werden.

**[0377]** Das Azimut der Hauptkeule 817 kann verändert werden, indem zugelassen wird, dass die jeweiligen Phasenschieber 816 variierende Phasendifferenzen einbringen. Dieses Verfahren kann als Strahlenkung bezeichnet werden. Durch Finden von Phasendifferenzen, die für den besten Sende-/Empfangszustand förderlich sind, kann die Zuverlässigkeit der Kommunikation erhöht werden. Obwohl das vorliegende Beispiel einen Fall illustriert, in dem die Phasendifferenz, die durch die Phasenschieber 816 einzubringen ist, zwischen jeweils benachbarten Antennenelementen 8151 konstant ist, ist dies nicht einschränkend. Zudem können Phasendifferenzen in der Weise eingebracht werden, dass die Funkwelle in einem Azimut abgestrahlt wird, welches ermöglicht, dass nicht nur die direkte Welle, sondern auch reflektierte Wellen den Empfänger erreichen.

**[0378]** Ein Verfahren namens Nullsteuerung kann in dem Sender 810B ebenfalls verwendet werden. Dies ist ein Verfahren, bei dem Phasendifferenzen dazu eingestellt werden, einen Zustand zu erzeugen, in dem die Funkwelle in keiner spezifischen Richtung abgestrahlt wird. Mit Durchführung von Nullsteuerung wird es möglich, ein Abstrahlen von Funkwellen in Richtung jedes anderen Empfängers, an den die Funkwelle nicht gesendet werden soll, einzuschränken. Hierdurch können Interferenzen vermieden werden. Obwohl für die digitale Kommunikation unter Nutzung von Millimeterwellen oder Terahertz-Wellen ein sehr breites Frequenzband zur Verfügung steht, ist es dennoch vorzuziehen, die Bandbreite möglichst effizient zu nutzen. Durch Verwendung von Nullsteuerung können mehrere Instanzen eines Sendens/Empfangs innerhalb desselben Bandes durchgeführt werden, wodurch der Nutzungsgrad der Bandbreite erhöht werden kann. Ein Verfahren, das den Nutzungsgrad der Bandbreite mithilfe von Techniken wie etwa Strahlformung, Strahlenkung und Nullsteuerung erhöht, kann manchmal als SDMA (Mehrfachzugriff mit räumlicher Teilung) bezeichnet werden.

(Drittes Beispiel für ein Kommunikationssystem)

**[0379]** Zur Erhöhung der Kanalkapazität in einem spezifischen Frequenzband kann ein Verfahren namens MIMO (Mehrfach-Eingang und Mehrfach-Ausgang) verwendet werden. Gemäß MIMO wird eine Vielzahl von Sendeantennen und eine Vielzahl von Empfangsantennen verwendet. Aus jeder von der Vielzahl von Sendeantennen wird eine Funkwelle abgestrahlt. In einem Beispiel können jeweils unterschiedliche Signale auf die abstrahlenden Funkwellen überlagert sein. Jede von der Vielzahl von

Empfangsantennen empfängt sämtliche aus der gesendeten Vielzahl von Funkwellen. Da jedoch unterschiedliche Empfangsantennen Funkwellen empfangen, die auf unterschiedlichen Wegen eintreffen, treten unter den Phasen der empfangenen Funkwellen Differenzen auf. Durch Nutzung dieser Differenzen ist es möglich, auf der Empfängerseite die Vielzahl von Signalen, die in der Vielzahl von Funkwellen enthalten waren, zu separieren.

**[0380]** Die Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung kann auch in einem Kommunikationssystem verwendet werden, das MIMO nutzt. Nachfolgend wird ein Beispiel für ein solches Kommunikationssystem beschrieben.

**[0381]** Fig. 43 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel für ein Kommunikationssystem 800C zeigt, welches eine MIMO-Funktion implementiert. In dem Kommunikationssystem 800C weist ein Sender 830 einen Codierer 832, einen TX-MIMO-Prozessor 833 sowie zwei Sendeantennen 8351 und 8352 auf. Ein Empfänger 840 weist zwei Empfangsantennen 8451 und 8452, einen RX-MIMO-Prozessor 843 sowie einen Decodierer 842 auf. Es wird darauf hingewiesen, dass die Anzahl der Sendeantennen und die Anzahl der Empfangsantennen jeweils größer als zwei sein kann. Hier wird zur einfacheren Erläuterung ein Beispiel illustriert, bei dem es von jeder Sorte zwei Antennen gibt. Allgemein erhöht sich die Kanalkapazität eines MIMO-Kommunikationssystems proportional zu der Anzahl der Sendeantennen oder der Empfangsantennen; je nachdem, welche geringer ist.

**[0382]** Nach dem Empfang eines Signals aus der Datensignalquelle 831 codiert der Sender 830 das Signal an dem Codierer 832 in der Weise, dass das Signal zum Senden bereit ist. Das codierte Signal wird durch den TX-MIMO-Prozessor 833 zwischen den zwei Sendeantennen 8351 und 8352 verteilt.

**[0383]** In einem Verarbeitungsverfahren gemäß einem Beispiel des MIMO-Verfahrens teilt der TX-MIMO-Prozessor 833 eine Sequenz codierter Signale in zwei, d.h. so viele, wie es Sendeantennen 8352 gibt, und schickt sie parallel an die Sendeantennen 8351 und 8352. Die Sendeantennen 8351 und 8352 strahlen jeweils Funkwellen ab, die Informationen der geteilten Signalsequenzen enthalten. Wenn N Sendeantennen vorhanden sind, wird die Signalsequenz in N geteilt. Die abgestrahlten Funkwellen werden durch die zwei Empfangsantennen 8451 und 8452 gleichzeitig empfangen. Anders ausgedrückt: In den Funkwellen, die durch jede der Empfangsantennen 8451 und 8452 empfangen werden, sind die zwei Signale, die zur Zeit des Sendens geteilt wurden, gemischt enthalten. Die Separierung

zwischen diesen gemischten Signalen wird durch den RX-MIMO-Prozessor 843 erreicht.

**[0384]** Die zwei gemischten Signale können separiert werden, indem beispielsweise die Phasendifferenzen zwischen den Funkwellen beachtet werden. Eine Phasendifferenz zwischen zwei Funkwellen bei einem Empfang der aus der Sendeantenne 8351 eingetroffenen Funkwellen durch die Empfangsantennen 8451 und 8452 unterscheidet sich von einer Phasendifferenz zwischen zwei Funkwellen bei einem Empfang der aus der Sendeantenne 8352 eingetroffenen Funkwellen durch die Empfangsantennen 8451 und 8452. Das bedeutet: Die Phasendifferenz zwischen Empfangsantennen differiert abhängig von dem Sende-/Empfangsweg. Sofern das räumliche Verhältnis zwischen einer Sendeantenne und einer Empfangsantenne nicht verändert wird, bleibt zudem die Phasendifferenz dazwischen unverändert. Auf Basis einer Korrelation zwischen Empfangssignalen, die durch die zwei Empfangsantennen empfangen werden, verschoben um eine Phasendifferenz, die durch den Sende-/Empfangsweg bestimmt ist, ist es daher möglich, jedes Signal zu extrahieren, das auf diesem Sende-/Empfangsweg empfangen wird. Der RX-MIMO-Prozessor 843 kann die zwei Signalsequenzen aus dem Empfangssignal z.B. durch dieses Verfahren separieren, wodurch die Signalsequenz vor der Teilung wiederhergestellt wird. Die wiederhergestellte Signalsequenz ist noch codiert und wird daher an den Decodierer 842 geschickt, um dort zu dem ursprünglichen Signal wiederhergestellt zu werden. Das wiederhergestellte Signal wird an die Datensenke 841 geschickt.

**[0385]** Obwohl das MIMO-Kommunikationssystem 800C in diesem Beispiel ein digitales Signal sendet oder empfängt, kann auch ein MIMO-Kommunikationssystem realisiert werden, das ein analoges Signal sendet oder empfängt. In diesem Fall sind zusätzlich zu der Konstruktion aus Fig. 43 ein Analog-Digital-Wandler und ein Digital-Analog-Wandler vorgesehen, wie sie mit Bezug auf Fig. 41 beschrieben wurden. Es wird darauf hingewiesen, dass die Informationen, die zum Unterscheiden zwischen Signalen aus unterschiedlichen Sendeantennen verwendbar sind, nicht auf Phasendifferenzinformationen beschränkt sind. Allgemein ausgedrückt, kann für eine andere Kombination aus Sendeantenne und Empfangsantenne die empfangene Funkwelle nicht nur bezüglich der Phase, sondern auch bezüglich Streuung, Schwund und anderer Bedingungen differieren. Diese werden gemeinsam als CSI (Kanalzustandsinformationen) bezeichnet. CSI sind in einem System, das MIMO nutzt, zur Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Sende-/Empfangswegen nutzbar.

**[0386]** Es wird darauf hingewiesen, dass es keine wesentliche Bedingung ist, dass die Vielzahl von Sendeantennen Sendewellen abstrahlt, die jeweils unabhängige Signale enthalten. Solange ein Separieren auf der Seite der Empfangsantenne möglich ist, kann jede Sendeantenne eine Funkwelle abstrahlen, die eine Vielzahl von Signalen enthält. Zudem kann auf der Seite der Sendeantenne Strahlformung durchgeführt werden, während eine Sendewelle, die ein einzelnes Signal enthält, als eine synthetische Welle der Funkwellen aus den jeweiligen Sendeantennen an der Empfangsantenne geformt werden kann. Auch in diesem Fall ist jede Sendeantenne zum Abstrahlen einer Funkwelle angepasst, die eine Vielzahl von Signalen enthält.

**[0387]** Wie im ersten und zweiten Beispiel können auch in diesem dritten Beispiel verschiedene Verfahren wie etwa CDM, FDM, TDM und OFDM als Verfahren zur Signalcodierung verwendet werden.

**[0388]** In einem Kommunikationssystem kann eine Leiterplatte, die eine integrierte Schaltung implementiert (als Signalverarbeitungsschaltung oder Kommunikationsschaltung bezeichnet), zum Verarbeiten von Signalen als eine Schicht auf die Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung gestapelt sein. Da die Wellenleitervorrichtung und Antennenvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung so strukturiert ist, dass plattenartige leitende Bauglieder darin schichtartig angeordnet sind, ist es einfach, außerdem eine Leiterplatte auf dieselben zu stapeln. Durch Verwendung einer solchen Anordnung können ein Sender und ein Empfänger mit kleinerem Volumen als in dem Fall realisiert werden, in dem ein Hohlwellenleiter oder dergleichen eingesetzt wird.

**[0389]** Im ersten bis dritten Beispiel des Kommunikationssystems, wie oben beschrieben, ist jedes Element eines Senders oder eines Empfängers, z.B. ein Analog-Digital-Wandler, ein Digital-Analog-Wandler, ein Codierer, ein Decodierer, ein Modulator, ein Demodulator, ein TX-MIMO-Prozessor oder ein RX-MIMO-Prozessor in **Fig. 41**, **Fig. 42** und **Fig. 43** als unabhängiges Element illustriert; jedoch brauchen dieselben nicht getrennt zu sein. Beispielsweise können diese Elemente alle durch eine einzige integrierte Schaltung implementiert sein. Alternativ können einige dieser Elemente kombiniert sein, um durch eine einzige integrierte Schaltung implementiert zu sein. Beide Fälle gelten als Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, solange die Funktionen, die in der vorliegenden Offenbarung beschrieben wurden, dadurch realisiert werden.

**[0390]** Wie oben beschrieben, schließt die vorliegende Offenbarung Wellenleitervorrichtungen, Antennenvorrichtungen, Radar, Radarsysteme und

Drahtlos-Kommunikationssysteme ein, wie in den folgenden Punkten aufgeführt.

**[0391]** [Punkt 1] Eine Wellenleitervorrichtung zur Verwendung bei der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle eines Bandes mit einer kürzesten Wellenlänge  $\lambda_m$  im freien Raum, wobei die Wellenleitervorrichtung umfasst:

ein erstes elektrisch leitendes Bauglied mit einer elektrisch leitenden Oberfläche und einem ersten Durchgangsloch;

ein zweites elektrisch leitendes Bauglied, das eine Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche entgegengesetzt ist, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied ein zweites Durchgangsloch hat, welches das erste Durchgangsloch, entlang einer axialen Richtung des ersten Durchgangslochs gesehen, überlappt; und

eine elektrisch leitende, wellenleitende Wand, die einen Raum zwischen dem ersten Durchgangsloch und dem zweiten Durchgangsloch mindestens teilweise umgibt und von der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben umgeben ist, wobei die wellenleitende Wand eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle zwischen dem ersten Durchgangsloch und dem zweiten Durchgangsloch zulässt, wobei

die wellenleitende Wand eine Höhe hat, die kleiner als  $\lambda_m/2$  ist; und

eine Distanz zwischen einem elektrisch leitenden Stab aus der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben, der an die wellenleitende Wand angrenzt, und einem Außenumfang der wellenleitenden Wand kleiner als  $\lambda_m/2$  ist.

**[0392]** [Punkt 2] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 1, wobei mindestens eines von dem ersten elektrisch leitenden Bauglied und dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied und die wellenleitende Wand Abschnitte eines einstückigen Körpers sind.

**[0393]** [Punkt 3] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 2, wobei ein Zwischenraum zwischen der wellenleitenden Wand und dem ersten elektrisch leitenden Bauglied oder dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied besteht und eine Dicke der wellenleitenden Wand an einer oberen Oberfläche derselben kleiner als  $\lambda_m/2$  ist.

**[0394]** [Punkt 4] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 3, wobei die wellenleitende Wand und das zweite elektrisch leitende Bauglied Abschnitte eines einstückigen Körpers sind; ein Zwischenraum zwischen der wellenleitenden

Wand und dem ersten elektrisch leitenden Bauglied besteht und eine Höhe der wellenleitenden Wand gleich einer Höhe der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben ist.

**[0395]** [Punkt 5] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 4, wobei die wellenleitende Wand in einen ersten Abschnitt, der mit dem ersten elektrisch leitenden Bauglied in Verbindung steht, und einen zweiten Abschnitt, der mit dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied in Verbindung steht, geteilt ist.

**[0396]** [Punkt 6] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 4, wobei die wellenleitende Wand in einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt geteilt ist; das erste elektrisch leitende Bauglied und der erste Abschnitt Abschnitte eines einstückigen Körpers sind und das zweite elektrisch leitende Bauglied und der zweite Abschnitt Abschnitte eines weiteren einstückigen Körpers sind.

**[0397]** [Punkt 7] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 5 oder 6, wobei ein Zwischenraum zwischen dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt besteht; eine Summe aus einer Höhe des ersten Abschnitts, einer Höhe des zweiten Abschnitts und einer Länge des Zwischenraums kleiner als  $\lambda m/2$  ist; eine Dicke des ersten Abschnitts an einer oberen Oberfläche desselben kleiner als  $\lambda m/2$  ist und eine Dicke des zweiten Abschnitts an einer oberen Oberfläche desselben kleiner als  $\lambda m/2$  ist.

**[0398]** [Punkt 8] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 5 bis 7, wobei eine Höhe des zweiten Abschnitts gleich einer Höhe der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben ist.

**[0399]** [Punkt 9] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 8, wobei Querschnitte des ersten Durchgangslochs, des zweiten Durchgangslochs und der wellenleitenden Wand, entlang der elektrisch leitenden Oberfläche genommen, jeweils einen lateralen Abschnitt aufweisen, der sich in einer Richtung erstreckt.

**[0400]** [Punkt 10] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 9, wobei die Querschnitte des ersten Durchgangslochs, des zweiten Durchgangslochs und der wellenleitenden Wand, entlang der elektrisch leitenden Oberfläche genommen, ferner jeweils mindestens ein Paar vertikaler Abschnitte aufweisen, die sich in einer anderen Richtung erstrecken, welche die eine Richtung schneidet, und der laterale Abschnitt das Paar vertikaler Abschnitte miteinander verbindet.

**[0401]** [Punkt 11] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 10, Innenwandoberflächen des ersten Durchgangslochs, des zweiten Durchgangslochs und der wellenleitenden Wand weisen jeweils mindestens einen Vorsprung auf, der einwärts absteht; und der Vorsprung ist zwischen dem Paar vertikaler Abschnitte eingefügt, und ein führendes Ende des Vorsprungs bildet mindestens einen Teil des lateralen Abschnitts.

**[0402]** [Punkt 12] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 9 bis 11, wobei eine Zentralwellenlänge des Bandes im freien Raum  $\lambda_0$  beträgt und eine Dicke der wellenleitenden Wand an einer Mitte des lateralen Abschnitts nicht weniger als das 0,8-fache von  $\lambda_0/4$  und nicht mehr als das 1,2-fache von  $\lambda_0/4$  beträgt.

**[0403]** [Punkt 13] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 12, wobei zwischen der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben das zweite elektrisch leitende Bauglied ferner ein Wellenleiterbauglied mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche aufweist, die zu der elektrisch leitenden Oberfläche entgegengesetzt ist.

**[0404]** [Punkt 14] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 13, wobei die elektrisch leitende Oberfläche plan ist; das erste Durchgangsloch sich senkrecht zu der elektrisch leitenden Oberfläche durch das erste elektrisch leitende Bauglied erstreckt und das zweite Durchgangsloch sich entlang der axialen Richtung des ersten Durchgangslochs durch das zweite elektrisch leitende Bauglied erstreckt.

**[0405]** [Punkt 15] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 14, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied eine elektrisch leitende Oberfläche auf einer Seite hat, die zu der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben entgegengesetzt ist; die Wellenleitervorrichtung ferner ein drittes elektrisch leitendes Bauglied, das eine zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, welches zu der elektrisch leitenden Oberfläche des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds entgegengesetzt ist, wobei das dritte elektrisch leitende Bauglied ein drittes Durchgangsloch hat, welches das zweite Durchgangsloch, entlang einer axialen Richtung des zweiten Durchgangslochs gesehen, überlappt, und eine elektrisch leitende, weitere wellenleitende Wand umfasst, die einen Raum zwischen dem zweiten Durchgangsloch und dem dritten Durchgangsloch mindestens teilweise umgibt, wobei die weitere wellenleitende Wand von der zweiten Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben umgeben ist und eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle zwischen

dem zweiten Durchgangsloch und dem dritten Durchgangsloch zulässt;  
eine Höhe der weiteren wellenleitenden Wand kleiner als  $\lambda/2$  ist und  
eine Distanz zwischen einem elektrisch leitenden Stab aus der zweiten Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben, der an die weitere wellenleitende Wand angrenzt, und einem Außenumfang der weiteren wellenleitenden Wand kleiner als  $\lambda/2$  ist.

**[0406]** [Punkt 16] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 15, wobei die weitere wellenleitende Wand mit mindestens einem von dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied und dem dritten elektrisch leitenden Bauglied in Verbindung steht.

**[0407]** [Punkt 17] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 15, wobei mindestens eines von dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied und dem dritten elektrisch leitenden Bauglied sowie mindestens ein Abschnitt der weiteren wellenleitenden Wand Abschnitte eines einstückigen Körpers sind.

**[0408]** [Punkt 18] Die Wellenleitervorrichtung gemäß Punkt 16 oder 17, wobei  
ein Zwischenraum zwischen der weiteren wellenleitenden Wand und dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied oder dem dritten elektrisch leitenden Bauglied besteht und  
eine Dicke der weiteren wellenleitenden Wand an einer oberen Oberfläche derselben kleiner als  $\lambda/2$  ist.

**[0409]** [Punkt 19] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 14, wobei  
das zweite elektrisch leitende Bauglied eine elektrisch leitende Oberfläche auf einer zu der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben entgegengesetzten Seite hat;  
die Wellenleitervorrichtung ferner ein drittes elektrisch leitendes Bauglied umfasst;  
das dritte elektrisch leitende Bauglied  
ein Wellenleiterbauglied mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche, die zu der elektrisch leitenden Oberfläche des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds entgegengesetzt ist, und  
eine zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds entgegengesetzt ist, wobei die zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben sich auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds befindet; und  
die Wellenleiterfläche zu dem zweiten Durchgangsloch an einer Stelle auf der Wellenleiterfläche entgegengesetzt ist.

**[0410]** [Punkt 20] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 14, wobei  
das zweite elektrisch leitende Bauglied auf einer zu

der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben entgegengesetzten Seite eine zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben und ein Wellenleiterbauglied mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche aufweist;  
die Wellenleitervorrichtung ferner ein drittes elektrisch leitendes Bauglied mit einer elektrisch leitenden Oberfläche umfasst, die zu führenden Enden der zweiten Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben und der Wellenleiterfläche entgegengesetzt ist; und  
das zweite Durchgangsloch an einem Ende der Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds oder einer anderen Stelle offen ist.

**[0411]** [Punkt 21] Die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 20, die ferner ein weiteres elektrisch leitendes Bauglied auf einer Seite des ersten elektrisch leitenden Bauglieds, die zu dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied entgegengesetzt ist, umfasst, wobei das weitere elektrisch leitende Bauglied eine elektrisch leitende Oberfläche hat, wobei  
das erste elektrisch leitende Bauglied  
ein Wellenleiterbauglied mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche, die zu der elektrisch leitenden Oberfläche des weiteren elektrisch leitenden Bauglieds entgegengesetzt ist, wobei das Wellenleiterbauglied die elektromagnetische Welle ausbreitet, die sich in dem ersten Durchgangsloch ausbreitet, und  
eine Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche des weiteren elektrisch leitenden Bauglieds entgegengesetzt ist, wobei die Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben sich auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds befindet.

**[0412]** [Punkt 22] Eine Antennenvorrichtung, umfassend:  
die Wellenleitervorrichtung gemäß einem der Punkte 1 bis 21 und  
mindestens ein Antennenelement, das mit einem Wellenleiter in der wellenleitenden Wand der Wellenleitervorrichtung verbunden ist, wobei das mindestens eine Antennenelement mindestens entweder zum Senden oder zum Empfang verwendet wird.

**[0413]** [Punkt 23] Ein Radar, umfassend:

die Antennenvorrichtung gemäß Punkt 22 und  
eine integrierte Mikrowellenschaltung, die mit der Antennenvorrichtung verbunden ist.

**[0414]** [Punkt 24] Ein Radarsystem, umfassend:

den Radar gemäß Punkt 23 und  
eine Signalverarbeitungsschaltung, die mit der integrierten Mikrowellenschaltung des Radars verbunden ist.

<b>[0415]</b> [Punkt 25] Ein Drahtlos-Kommunikationssystem, umfassend:		132	innerer Raum des Hohlwellenleiters
die Antennenvorrichtung gemäß Punkt 22 und		140	drittes elektrisch leitendes Bauglied
eine mit der Antennenvorrichtung verbundene Kommunikationsschaltung.		145, 145L, 145M, 145U	Anschluss
[Gewerbliche Anwendbarkeit]		200	Wellenleitervorrichtung
<b>[0416]</b> Eine Wellenleitervorrichtung und eine Antennenvorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung sind auf jedem technischen Gebiet verwendbar, auf dem eine Antenne verwendet wird. Beispielsweise stehen sie für verschiedene Anwendungen zur Verfügung, bei denen Senden/Empfang von elektromagnetischen Wellen des Gigahertz-Bandes oder des Terahertz-Bandes durchgeführt werden. Insbesondere werden sie geeigneterweise in Bordradarsystemen, verschiedenen Überwachungssystemen, Innenpositionierungssystemen und Drahtlos-Kommunikationssystemen verwendet, wo eine Größenverringering erwünscht ist.		203	wellenleitende Wand
		203T	lateraler Abschnitt einer Öffnung in der wellenleitenden Wand
		203L	vertikaler Abschnitt der Öffnung in der wellenleitenden Wand
		210	erstes elektrisch leitendes Bauglied
		211	erstes Durchgangsloch
[Liste der Bezugszeichen]			
100	Wellenleitervorrichtung	203	wellenleitende Wand
		203a	erster Abschnitt der wellenleitenden Wand
110	erstes elektrisch leitendes Bauglied		
110a	leitende Oberfläche des ersten elektrisch leitenden Bauglieds	203b	zweiter Abschnitt der wellenleitenden Wand
112	Schlitz	220	zweites elektrisch leitendes Bauglied
114	Seitenwand eines Horns	221	zweites Durchgangsloch
120	zweites elektrisch leitendes Bauglied	230	drittes elektrisch leitendes Bauglied
120a	leitende Oberfläche des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds	240, 250	weiteres elektrisch leitendes Bauglied
		253	weitere wellenleitende Wand
122, 122U, 122M, 122L	Wellenleiterbauglied		
122a	Wellenleiterfläche	253a	erster Abschnitt einer weiteren wellenleitenden Wand
124, 124U, 124M, 124L	elektrisch leitender Stab		
		253b	zweiter Abschnitt einer weiteren wellenleitenden Wand
124a	führendes Ende des elektrisch leitenden Stabs		
		290	elektronische Schaltung
124b	Wurzel des elektrisch leitenden Stabs		
		500	Eigenfahrzeug
125	Oberfläche eines künstlichen magnetischen Leiters	502	voraus befindliches Fahrzeug
		510	Bordradarsystem
130	Hohlwellenleiter		

520	elektronische Fahr- assistentz-Steuerein- richtung	Stab aus der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124), der an die wellenleitende Wand (203) angrenzt, und einem Außenumfang der wellenleitenden Wand kleiner als $\lambda m/2$ ist.
530	Radarsignal-Verar- beitungseinrichtung	2. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 1, wobei mindestens eines von dem ersten elektrisch leitenden Bauglied (210) und dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) und die wellenleitende Wand (203) Abschnitte eines einstückigen Körpers sind.
540	Kommunikationsvor- richtung	3. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 2, wobei ein Zwischenraum zwischen der wellenleitenden Wand (203) und dem ersten elektrisch leitenden Bauglied (210) oder dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) besteht und eine Dicke der wellenleitenden Wand (203) an einer oberen Oberfläche derselben kleiner als $\lambda m/2$ ist.
550	Computer	4. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei
552	Datenbank	die wellenleitende Wand (203) und das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) Abschnitte eines einstückigen Körpers sind;
560	Signalverarbeitungsschaltung	ein Zwischenraum zwischen der wellenleitenden Wand (203) und dem ersten elektrisch leitenden Bauglied (210) besteht und
570	Objektdetektionsein- richtung	eine Höhe der wellenleitenden Wand (203) gleich einer Höhe der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) ist.
580	Sende-/Empfangs- schaltung	5. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die wellenleitende Wand (203) in einen ersten Abschnitt, der mit dem ersten elektrisch leitenden Bauglied (210) in Verbindung steht, und einen zweiten Abschnitt, der mit dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) in Verbindung steht, geteilt ist.
596	Auswahlschaltung	6. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei
600	Fahrzeug-Fahr- steuereinrichtung	die wellenleitende Wand (203) in einen ersten Abschnitt (203a) und einen zweiten Abschnitt (203b) geteilt ist;
700	Bordkamerasystem	das erste elektrisch leitende Bauglied (210) und der erste Abschnitt (203a) Abschnitte eines einstückigen Körpers sind und
710	Bordkamera	das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) und der zweite Abschnitt (203b) Abschnitte eines weiteren einstückigen Körpers sind.
720	Bildverarbeitungsschaltung	7. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 5 oder 6, wobei

### Patentansprüche

1. Wellenleitervorrichtung (200) zur Verwendung bei der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle eines Bandes mit einer kürzesten Wellenlänge  $\lambda m$  im freien Raum, wobei die Wellenleitervorrichtung (200) umfasst:

ein erstes elektrisch leitendes Bauglied (210) mit einer elektrisch leitenden Oberfläche (210a) und einem ersten Durchgangsloch (211);

ein zweites elektrisch leitendes Bauglied (220), das eine Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche (210a) entgegengesetzt ist, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) ein zweites Durchgangsloch (221) hat, welches das erste Durchgangsloch (211), entlang einer axialen Richtung des ersten Durchgangslochs (211) gesehen, überlappt; und

eine elektrisch leitende, wellenleitende Wand (203), die einen Raum zwischen dem ersten Durchgangsloch (211) und dem zweiten Durchgangsloch (221) mindestens teilweise umgibt und von der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) umgeben ist, wobei die wellenleitende Wand (203) eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle zwischen dem ersten Durchgangsloch (211) und dem zweiten Durchgangsloch (221) zulässt, wobei die wellenleitende Wand (203) eine Höhe hat, die kleiner als  $\lambda m/2$  ist; und eine Distanz zwischen einem elektrisch leitenden

ein Zwischenraum zwischen dem ersten Abschnitt (203a) und dem zweiten Abschnitt (203b) besteht; eine Summe aus einer Höhe des ersten Abschnitts (203a), einer Höhe des zweiten Abschnitts (203b) und einer Länge des Zwischenraums kleiner als  $\lambda m/2$  ist;

eine Dicke des ersten Abschnitts (203a) an einer oberen Oberfläche desselben kleiner als  $\lambda m/2$  ist und  
eine Dicke des zweiten Abschnitts (203b) an einer oberen Oberfläche desselben kleiner als  $\lambda m/2$  ist.

8. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei eine Höhe des zweiten Abschnitts (203b) gleich einer Höhe der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) ist.

9. Die Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei Querschnitte des ersten Durchgangslochs (211), des zweiten Durchgangslochs (221) und der wellenleitenden Wand (203), entlang der elektrisch leitenden Oberfläche (210a) genommen, jeweils einen lateralen Abschnitt (203T) aufweisen, der sich in einer Richtung erstreckt.

10. Die Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 9, wobei die Querschnitte des ersten Durchgangslochs (211), des zweiten Durchgangslochs (221) und der wellenleitenden Wand (203), entlang der elektrisch leitenden Oberfläche (210a) genommen, ferner jeweils mindestens ein Paar vertikaler Abschnitte (203L) aufweisen, die sich in einer anderen Richtung erstrecken, welche die eine Richtung schneidet, und der laterale Abschnitt (203T) das Paar vertikaler Abschnitte (203L) miteinander verbindet.

11. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 10, Innenwandoberflächen des ersten Durchgangslochs (211), des zweiten Durchgangslochs (221) und der wellenleitenden Wand (203) weisen jeweils mindestens einen Vorsprung (203r) auf, der einwärts absteht; und der Vorsprung (203r) ist zwischen dem Paar vertikaler Abschnitte (203L) eingefügt, und ein führendes Ende des Vorsprungs (203r) bildet mindestens einen Teil des lateralen Abschnitts (203T).

12. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch der Ansprüche 9 bis 11, wobei eine Zentralwellenlänge des Bandes im freien Raum  $\lambda_0$  beträgt und eine Dicke der wellenleitenden Wand (203) an einer Mitte des lateralen Abschnitts (203T) nicht weniger als das 0,8-fache von  $\lambda_0/4$  und nicht mehr als das 1,2-fache von  $\lambda_0/4$  beträgt.

13. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch der Ansprüche 1 bis 12, wobei zwischen der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) ferner ein Wellenleiterbauglied (122) mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche aufweist, die zu der elektrisch leitenden Oberfläche (210a) entgegengesetzt ist.

14. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die elektrisch leitende Oberfläche (210a) plan ist; das erste Durchgangsloch (211) sich senkrecht zu der elektrisch leitenden Oberfläche (210a) durch das erste elektrisch leitende Bauglied (210) erstreckt und das zweite Durchgangsloch (221) sich entlang der axialen Richtung des ersten Durchgangslochs (211) durch das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) erstreckt.

15. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) eine elektrisch leitende Oberfläche (220b) auf einer zu der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) entgegengesetzten Seite hat; die Wellenleitervorrichtung (200) ferner ein drittes elektrisch leitendes Bauglied (230), das eine zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, welches zu der elektrisch leitenden Oberfläche (220b) des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds (220) entgegengesetzt ist, wobei das dritte elektrisch leitende Bauglied (230) ein drittes Durchgangsloch (231) hat, welches das zweite Durchgangsloch (221), entlang einer axialen Richtung des zweiten Durchgangslochs (221) gesehen, überlappt, und eine elektrisch leitende, weitere wellenleitende Wand (203) umfasst, die einen Raum zwischen dem zweiten Durchgangsloch (221) und dem dritten Durchgangsloch (231) mindestens teilweise umgibt, wobei die weitere wellenleitende Wand (203) von der zweiten Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) umgeben ist und eine Ausbreitung der elektromagnetischen Welle zwischen dem zweiten Durchgangsloch (221) und dem dritten Durchgangsloch (231) zulässt; eine Höhe der weiteren wellenleitenden Wand (203) kleiner als  $\lambda m/2$  ist und eine Distanz zwischen einem elektrisch leitenden Stab aus der zweiten Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124), der an die weitere wellenleitende Wand (203) angrenzt, und einem Außenumfang der weiteren wellenleitenden Wand (203) kleiner als  $\lambda m/2$  ist.

16. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 15, wobei die weitere wellenleitende Wand (203) mit mindestens einem von dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) und dem dritten elektrisch leitenden Bauglied (230) in Verbindung steht.

17. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 15, wobei mindestens eines von dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) und dem dritten elektrisch leitenden Bauglied (230) sowie mindestens ein



Abschnitt der weiteren wellenleitenden Wand (203) Abschnitte eines einstückigen Körpers sind.

18. Wellenleitervorrichtung (200) nach Anspruch 16 oder 17, wobei ein Zwischenraum zwischen der weiteren wellenleitenden Wand (2030 und dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) oder dem dritten elektrisch leitenden Bauglied (230) besteht und eine Dicke der weiteren wellenleitenden Wand (203) an einer oberen Oberfläche derselben kleiner als  $\lambda/2$  ist.

19. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) eine elektrisch leitende Oberfläche (220b) auf einer zu der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) entgegengesetzten Seite hat; die Wellenleitervorrichtung (200) ferner ein drittes elektrisch leitendes Bauglied (230) umfasst; das dritte elektrisch leitende Bauglied (230) ein Wellenleiterbauglied (122) mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche, die zu der elektrisch leitenden Oberfläche (220b) des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds (220) entgegengesetzt ist, und eine zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche (220b) des zweiten elektrisch leitenden Bauglieds (220) entgegengesetzt ist, wobei die zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) sich auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds befindet; und die Wellenleiterfläche zu dem zweiten Durchgangsloch (221) an einer Stelle auf der Wellenleiterfläche entgegengesetzt ist.

20. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei das zweite elektrisch leitende Bauglied (220) auf einer zu der Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) entgegengesetzten Seite eine zweite Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) und ein Wellenleiterbauglied (122) mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche aufweist; die Wellenleitervorrichtung (200) ferner ein drittes elektrisch leitendes Bauglied (230) mit einer elektrisch leitenden Oberfläche (230a) umfasst, die zu führenden Enden der zweiten Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) und der Wellenleiterfläche entgegengesetzt ist; und das zweite Durchgangsloch (221) an einem Ende der Wellenleiterfläche des Wellenleiterbauglieds (122) oder einer anderen Stelle offen ist.

21. Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, die ferner ein weiteres elektrisch leitendes Bauglied (240) auf einer Seite des ersten elektrisch leitenden Bauglieds (210), die zu dem zweiten elektrisch leitenden Bauglied (220) ent-

gegengesetzt ist, umfasst, wobei das weitere elektrisch leitende Bauglied (240) eine elektrisch leitende Oberfläche (240a) hat, wobei das erste elektrisch leitende Bauglied (210) ein Wellenleiterbauglied (122) mit einer elektrisch leitenden Wellenleiterfläche, die zu der elektrisch leitenden Oberfläche (240a) des weiteren elektrisch leitenden Bauglieds (240) entgegengesetzt ist, wobei das Wellenleiterbauglied (122) die elektromagnetische Welle ausbreitet, die sich in dem ersten Durchgangsloch (211) ausbreitet, und eine Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) aufweist, die jeweils ein führendes Ende haben, das zu der elektrisch leitenden Oberfläche (240a) des weiteren elektrisch leitenden Bauglieds (240) entgegengesetzt ist, wobei die Vielzahl von elektrisch leitenden Stäben (124) sich auf beiden Seiten des Wellenleiterbauglieds (122) befindet.

22. Antennenvorrichtung, umfassend: die Wellenleitervorrichtung (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 21 und mindestens ein Antennenelement, das mit einem Wellenleiter in der wellenleitenden Wand (203) der Wellenleitervorrichtung (200) verbunden ist, wobei das mindestens eine Antennenelement mindestens entweder zum Senden oder zum Empfang verwendet wird.

23. Radar, umfassend: die Antennenvorrichtung nach Anspruch 22 und eine integrierte Mikrowellenschaltung (290), die mit der Antennenvorrichtung verbunden ist.

Es folgen 47 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

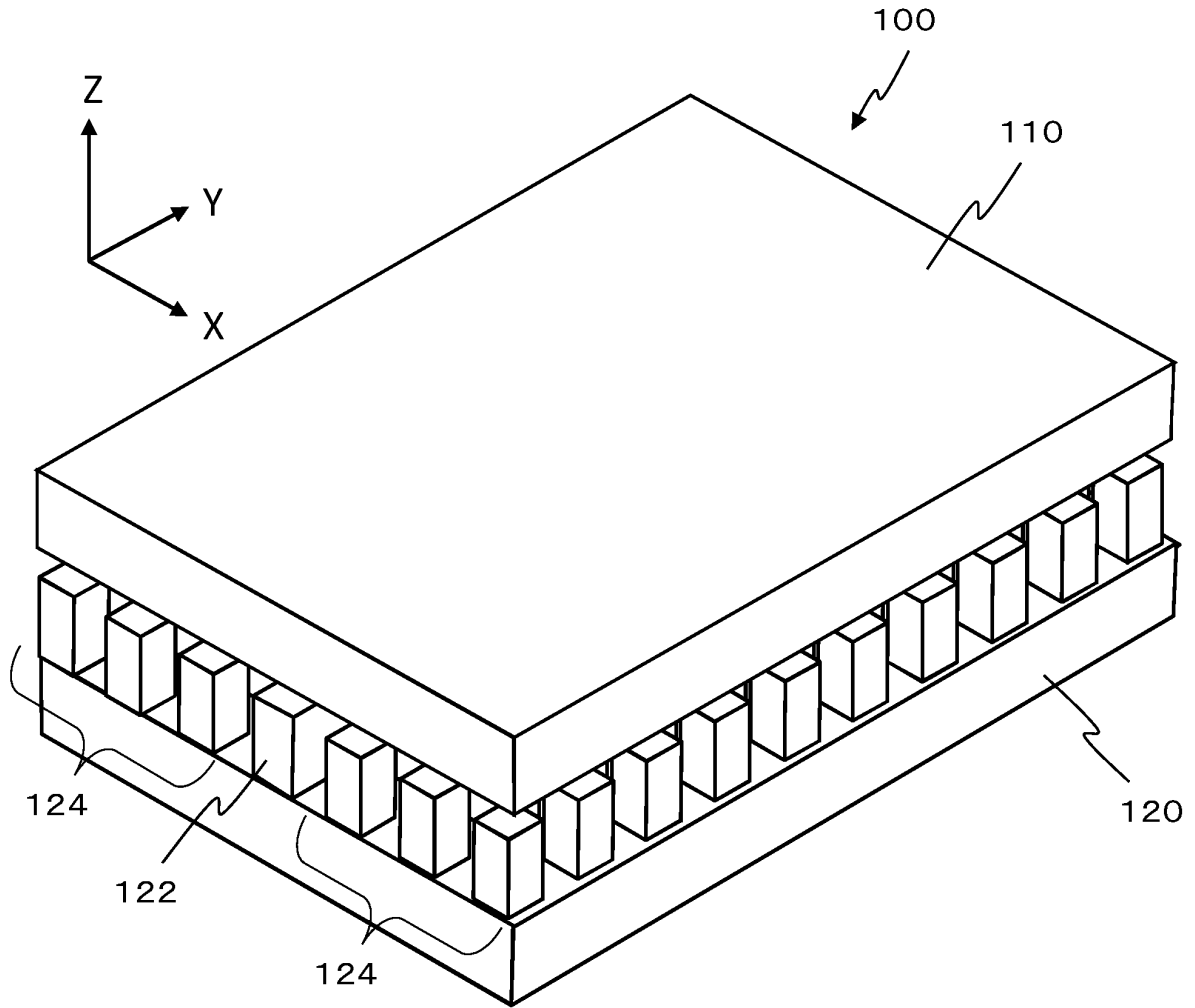


FIG.2A

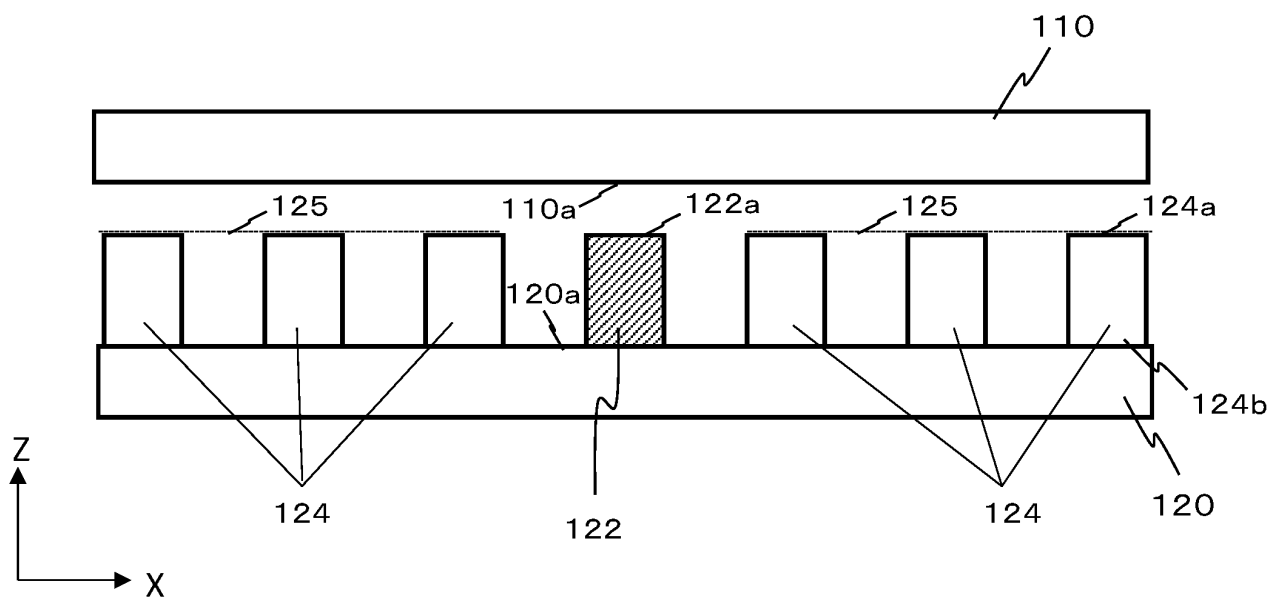


FIG.2B

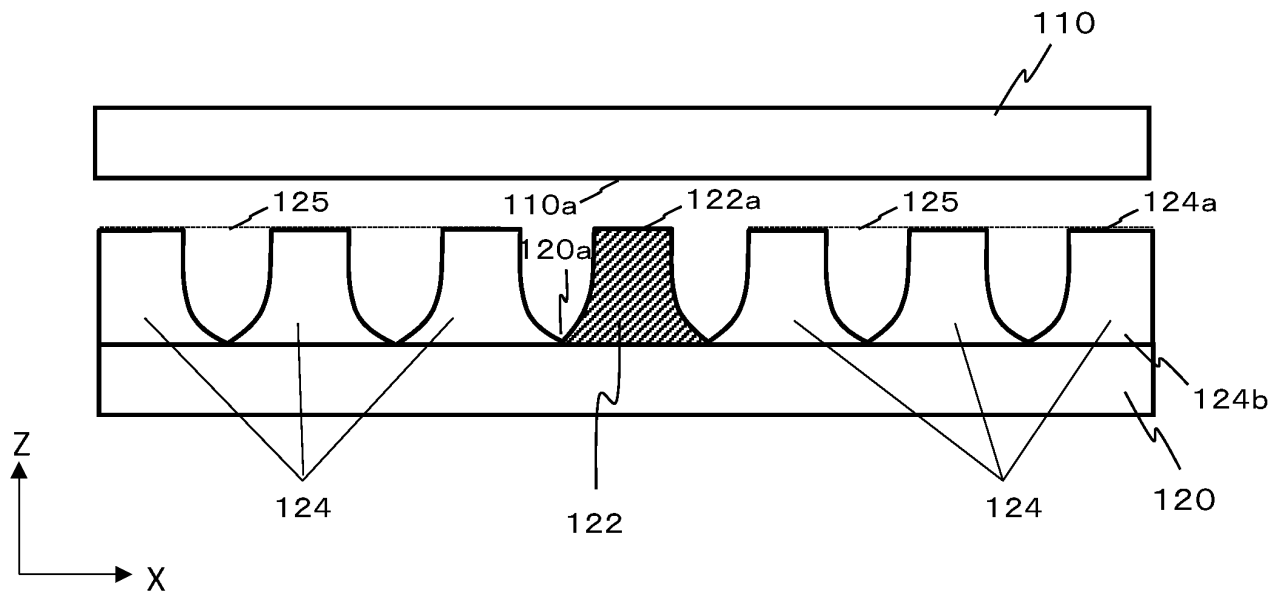


FIG. 3

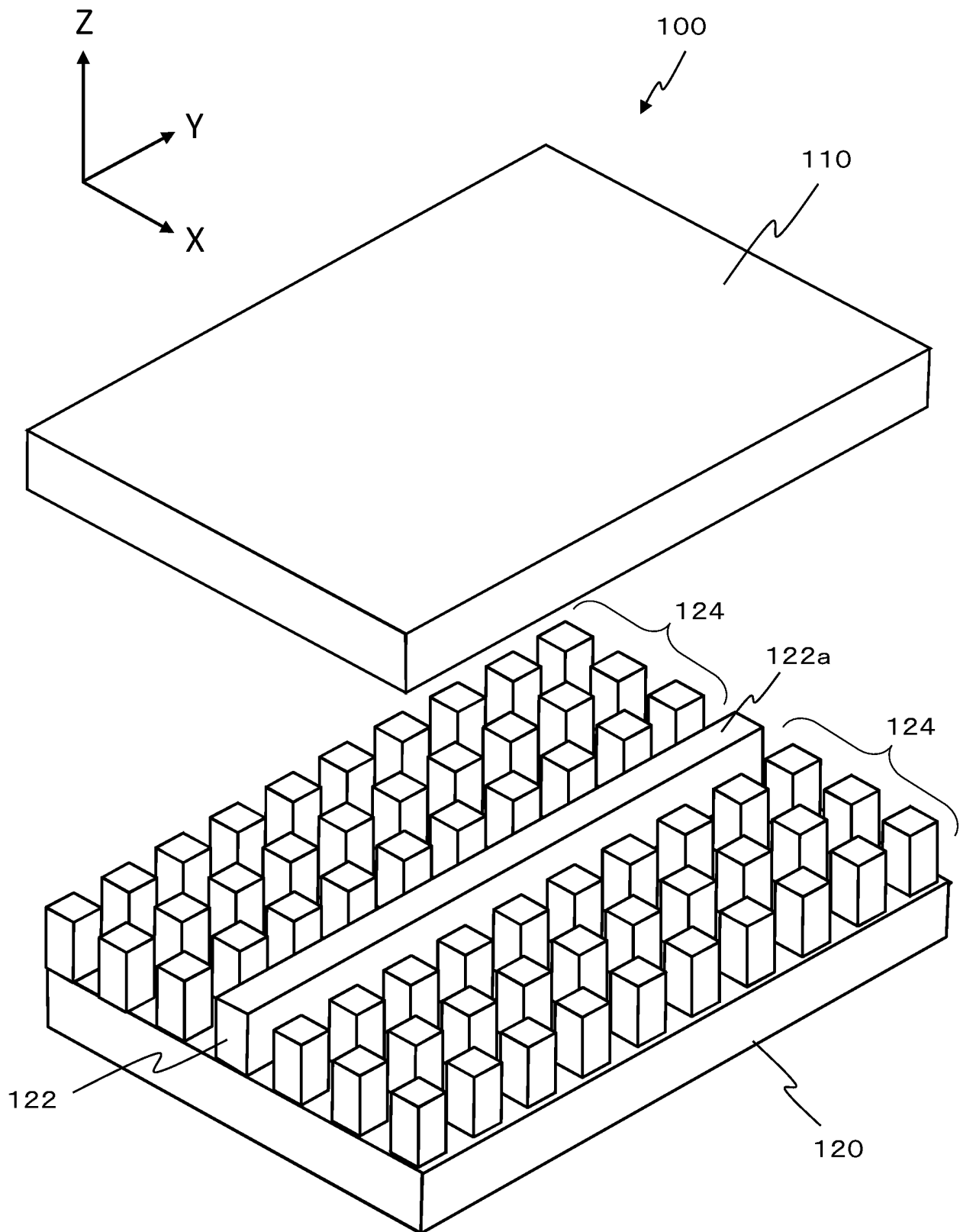


FIG. 4

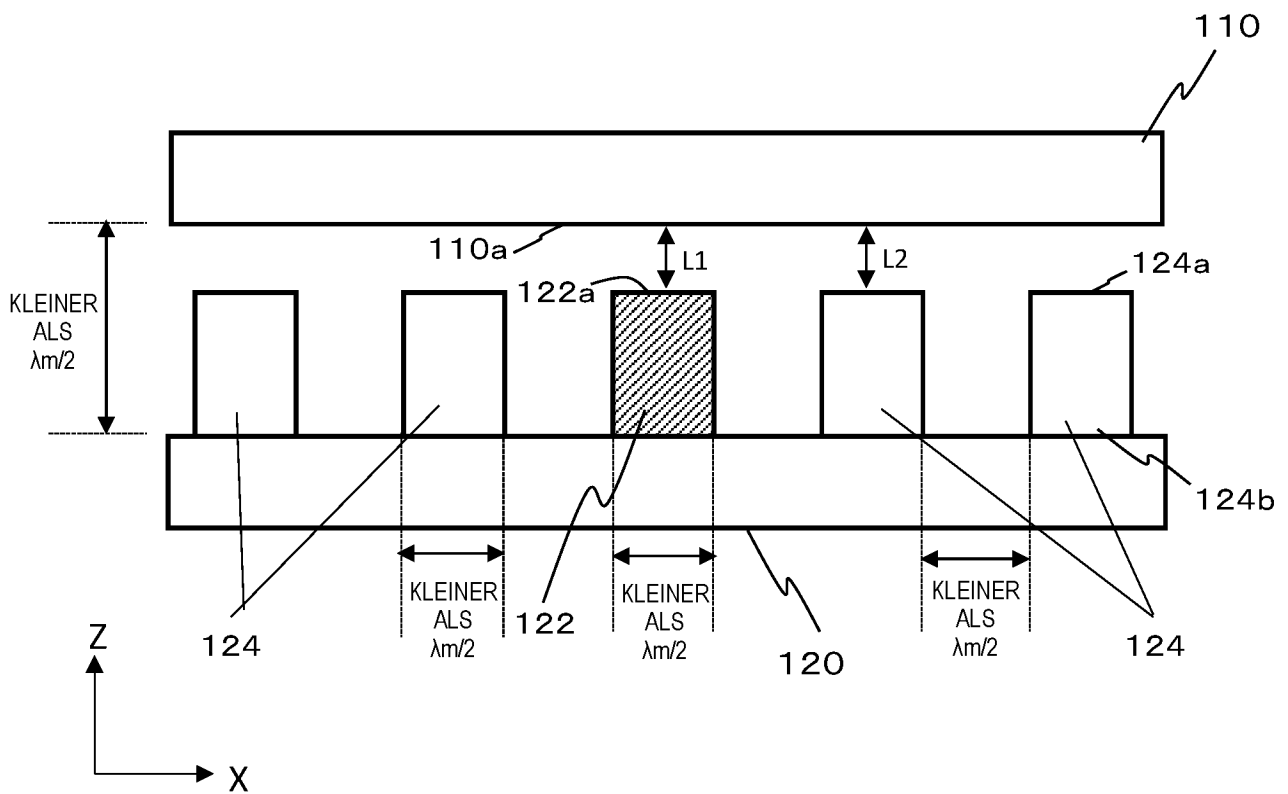


FIG. 5A

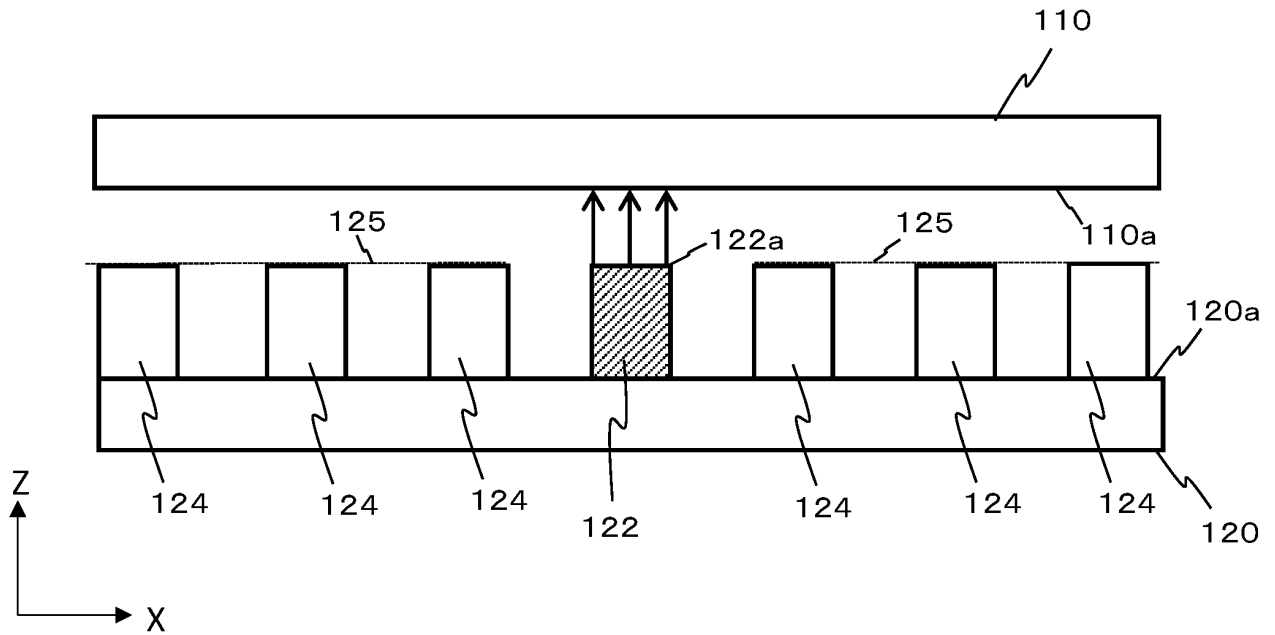


FIG. 5B

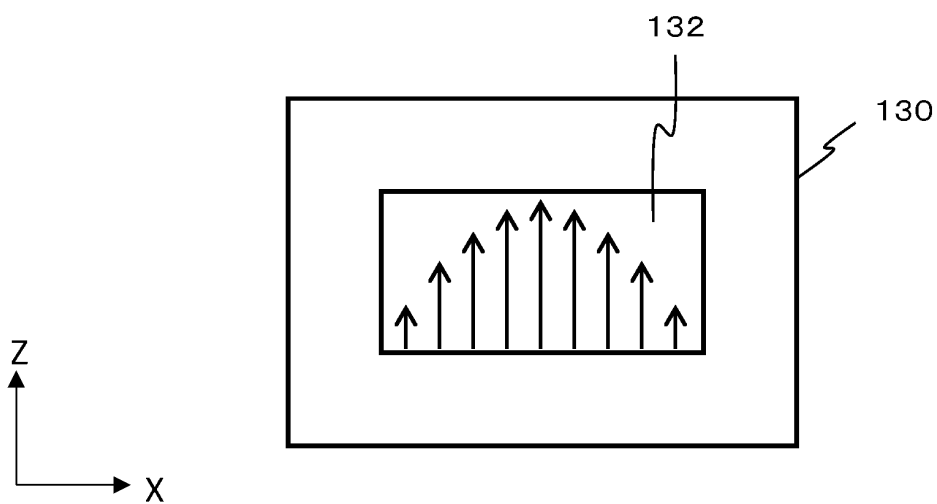


FIG. 5C

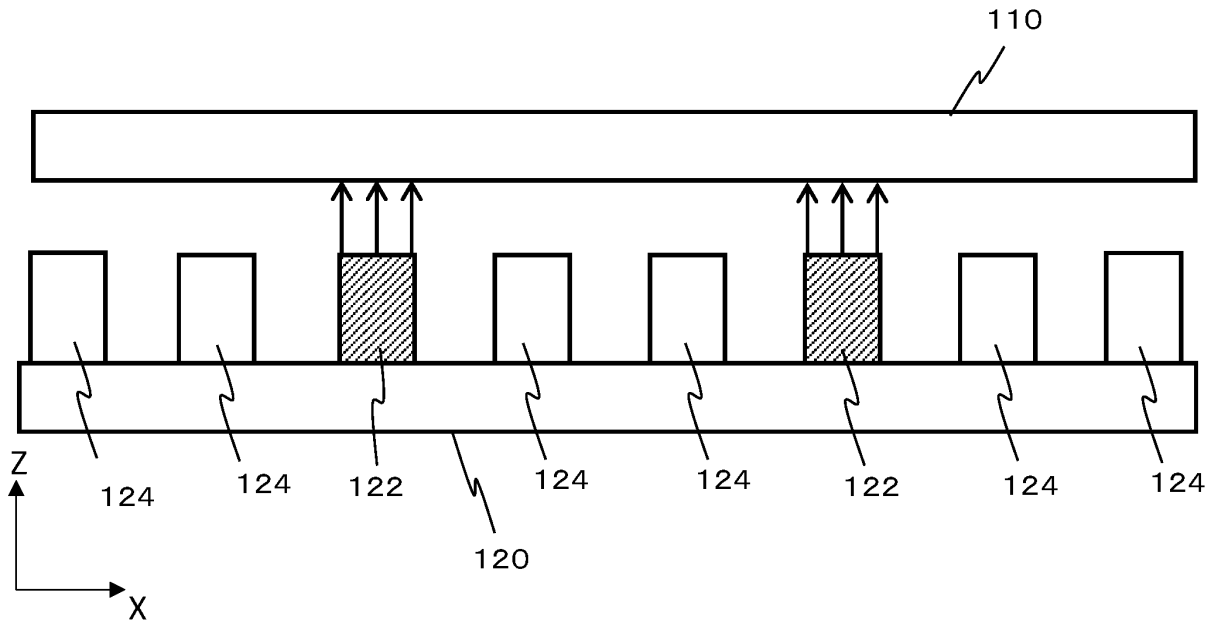


FIG. 5D

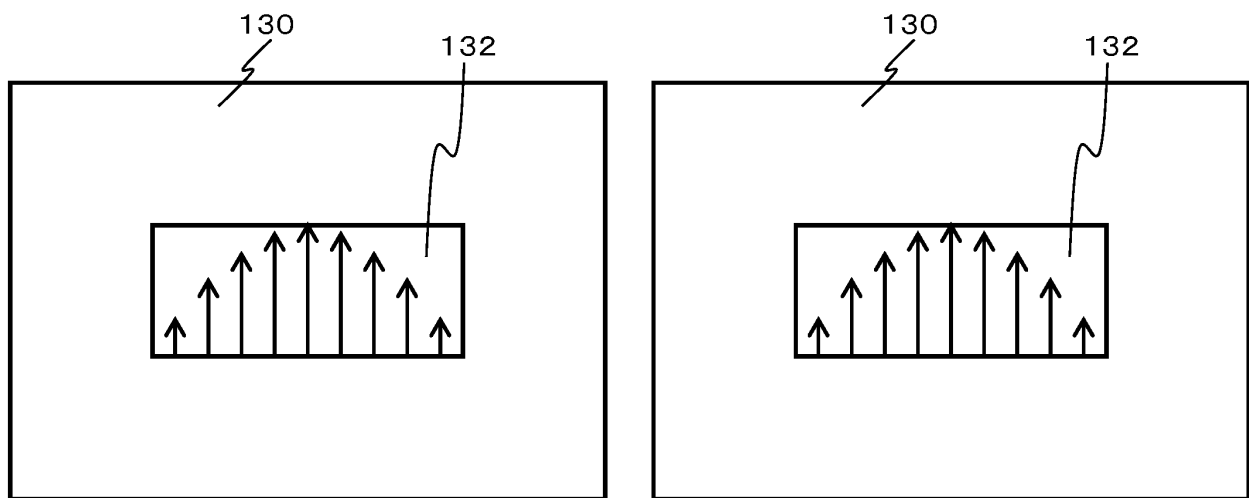


FIG.6A

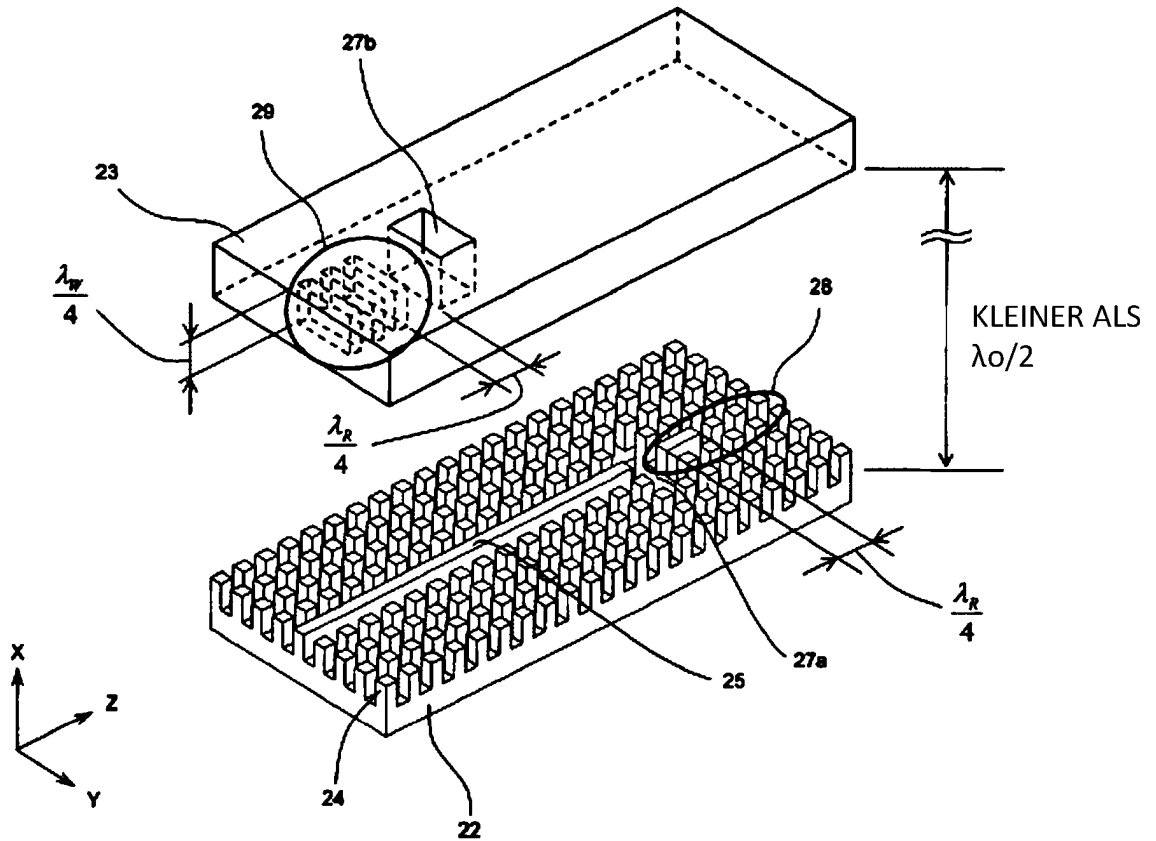


FIG.6B

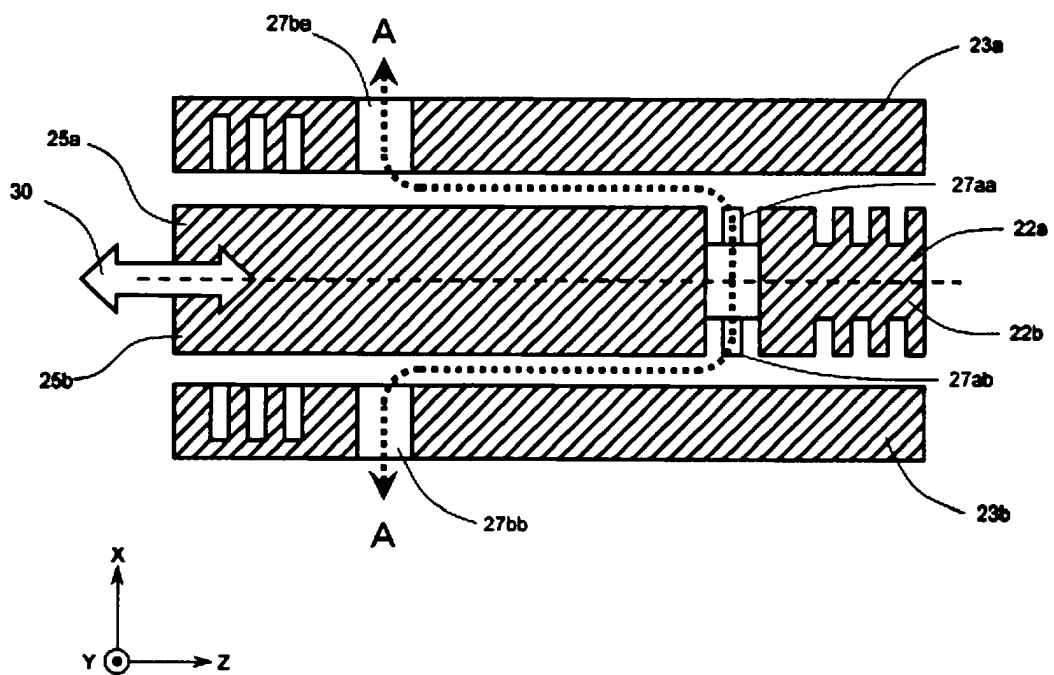




FIG. 7A

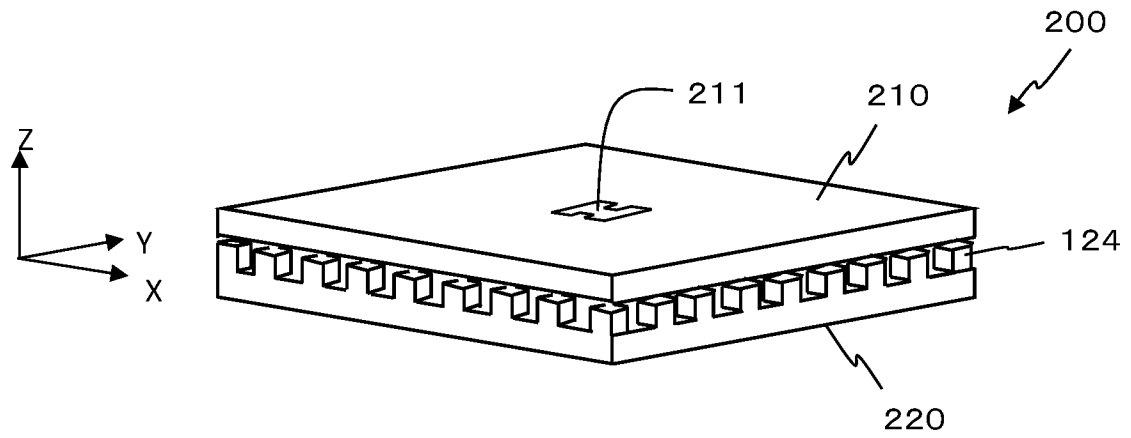


FIG. 7B

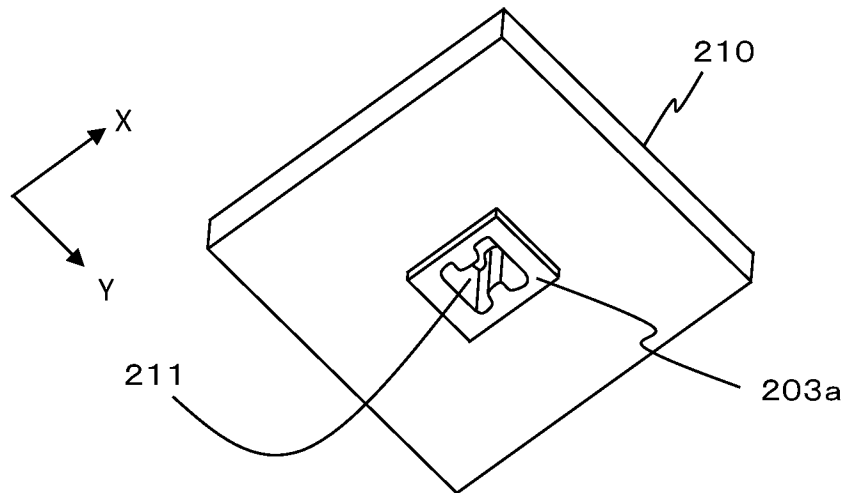


FIG. 7C

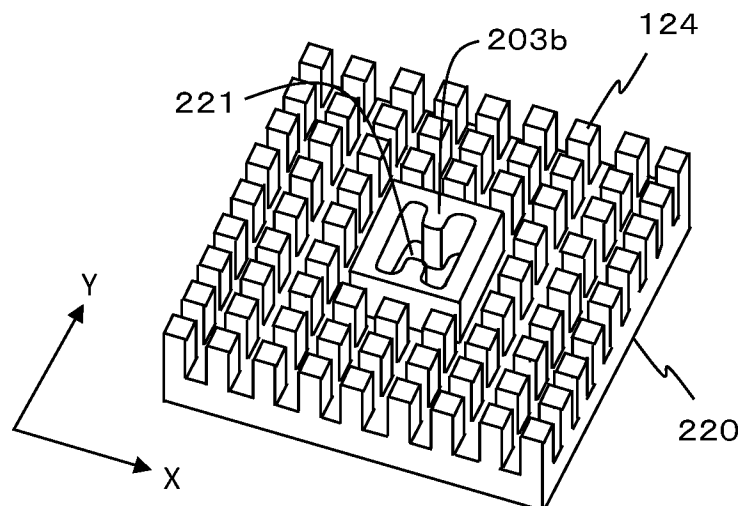


FIG. 7D

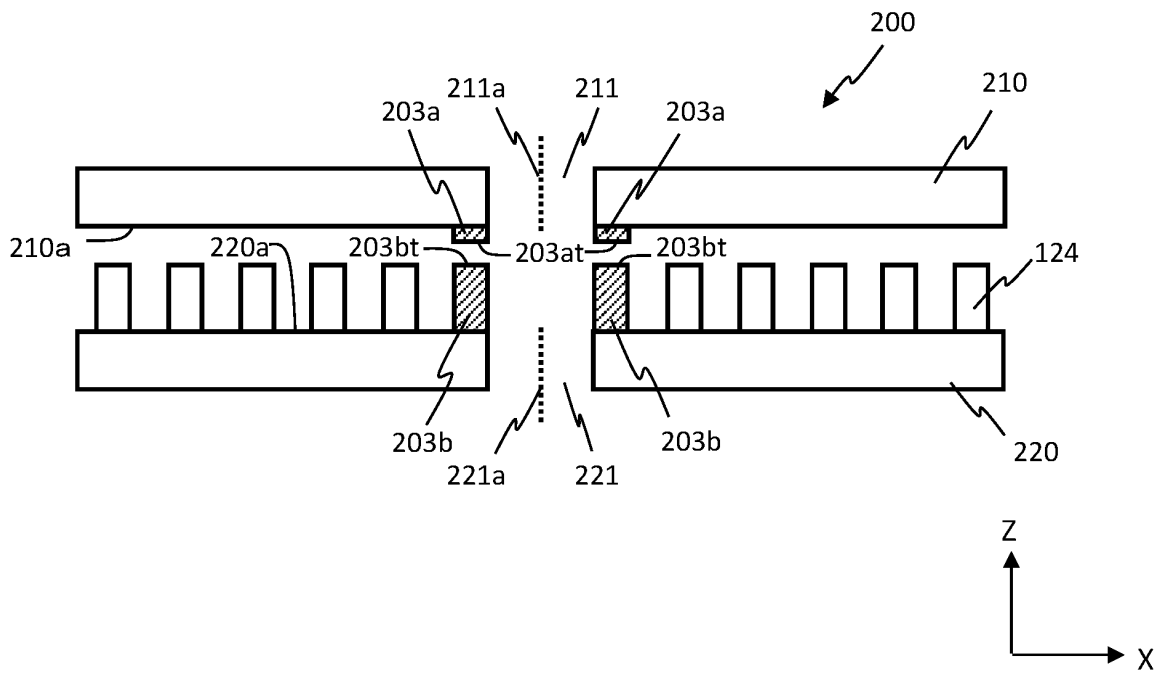


FIG. 8A

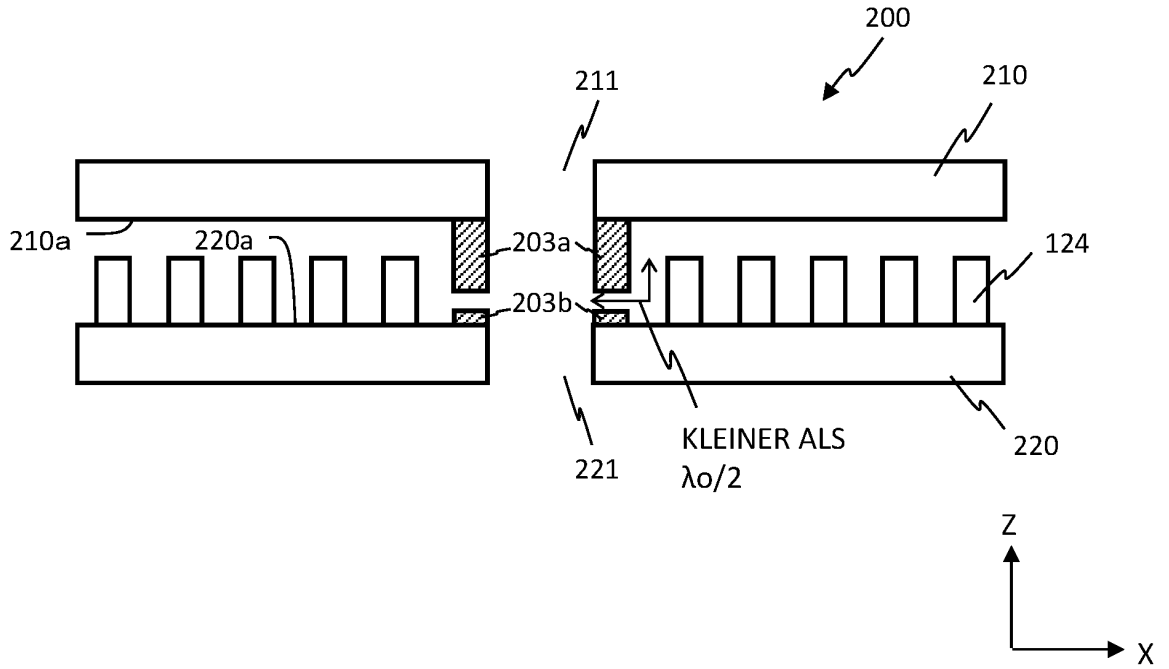


FIG. 8B

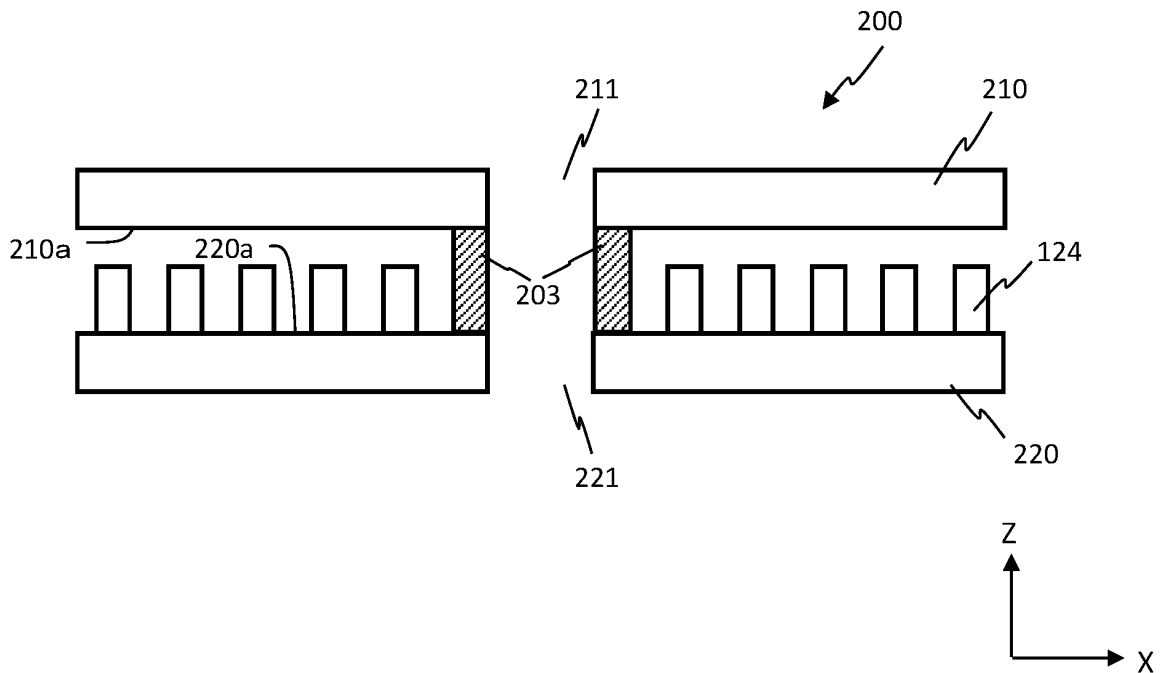


FIG. 8C

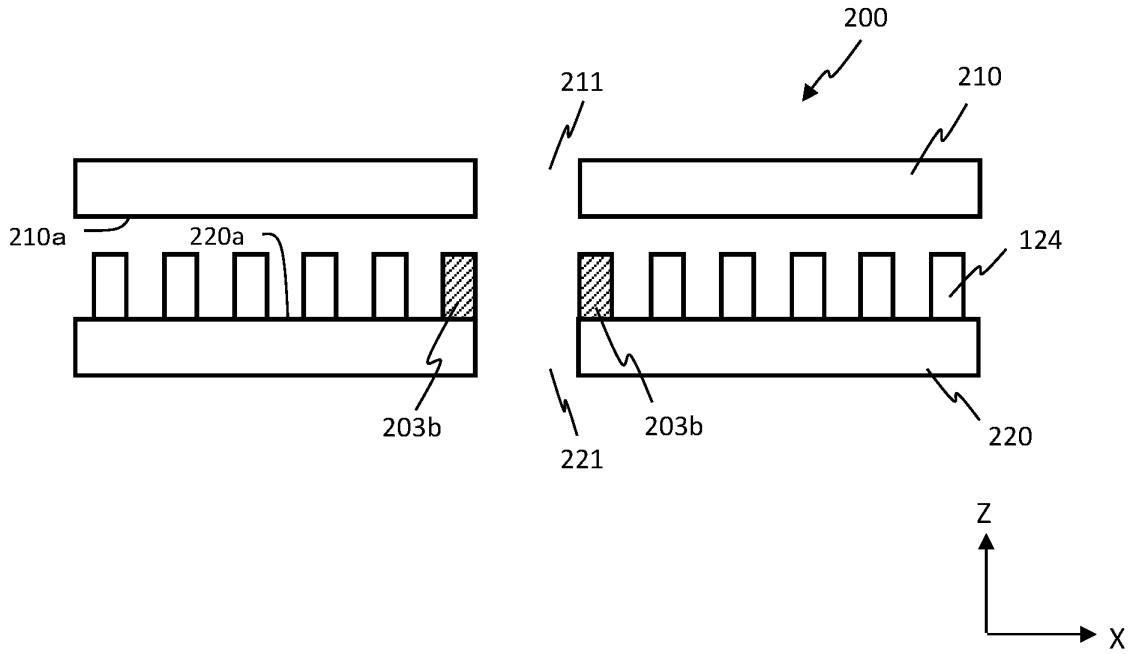
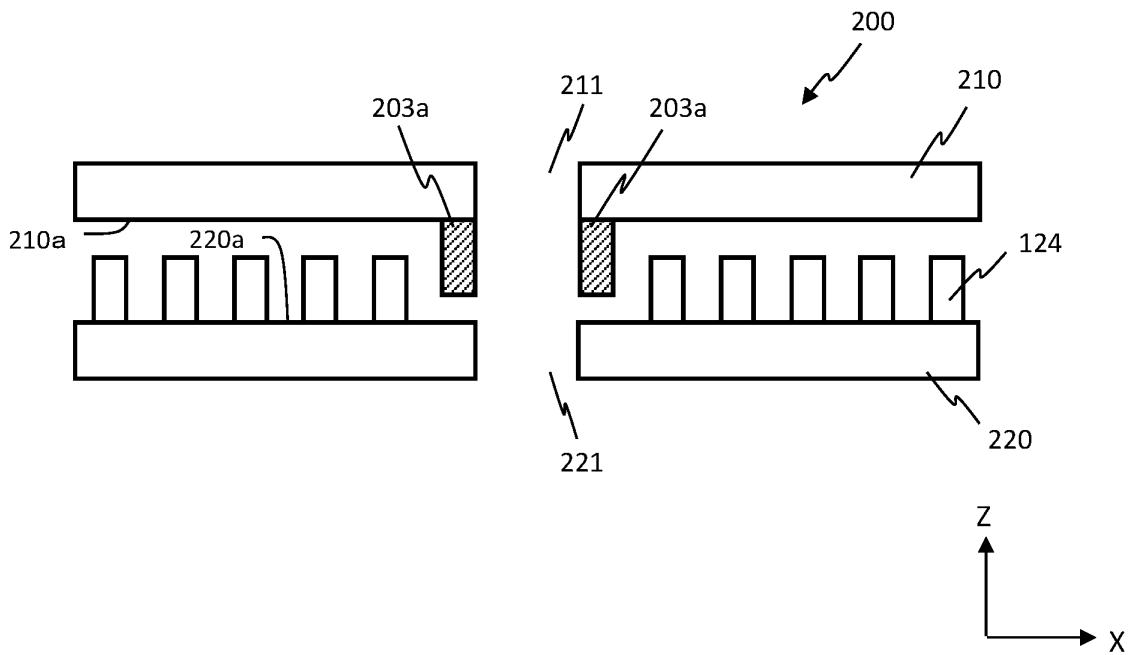
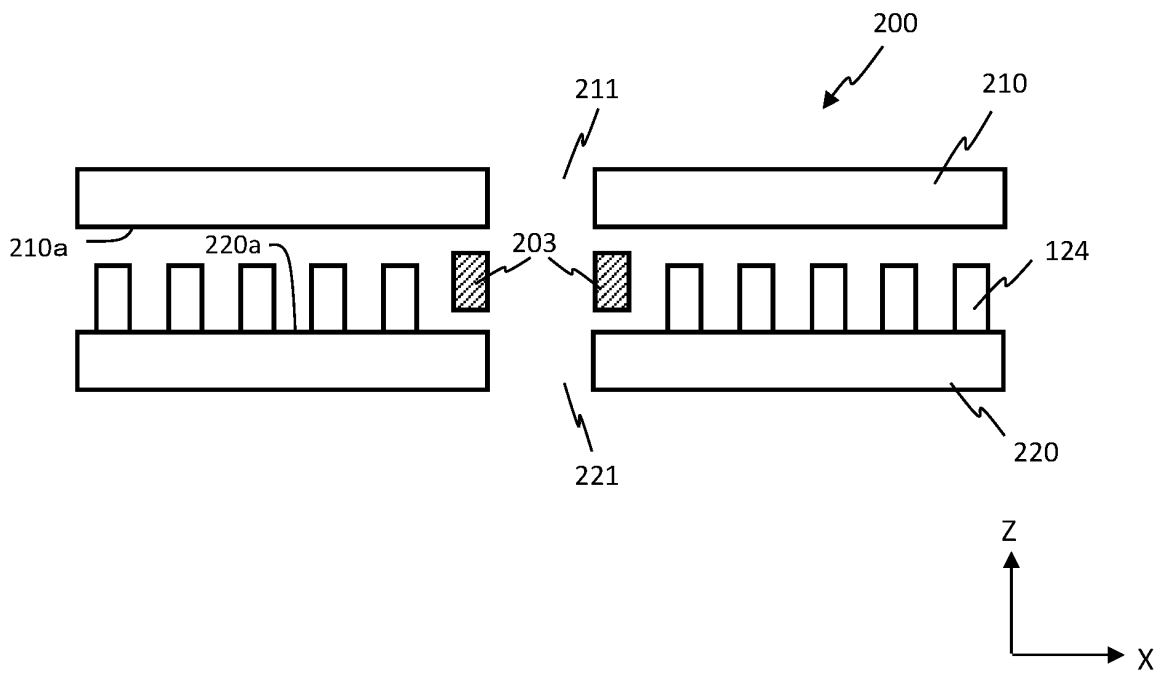


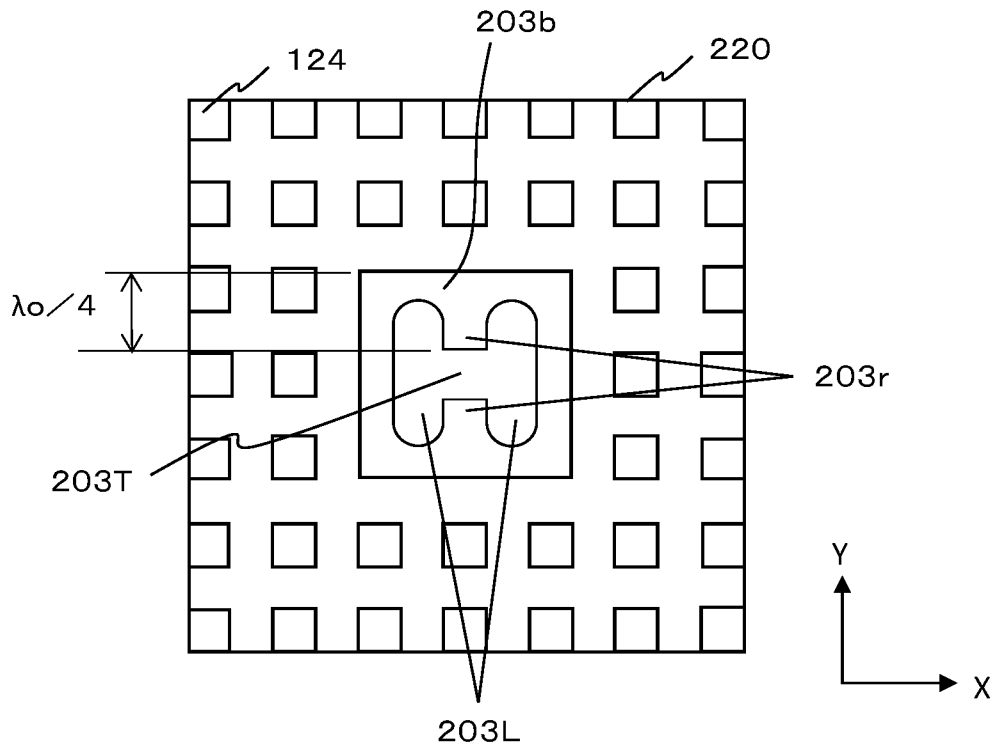
FIG. 8D



*FIG. 8E*



*FIG. 9A*



*FIG. 9B*

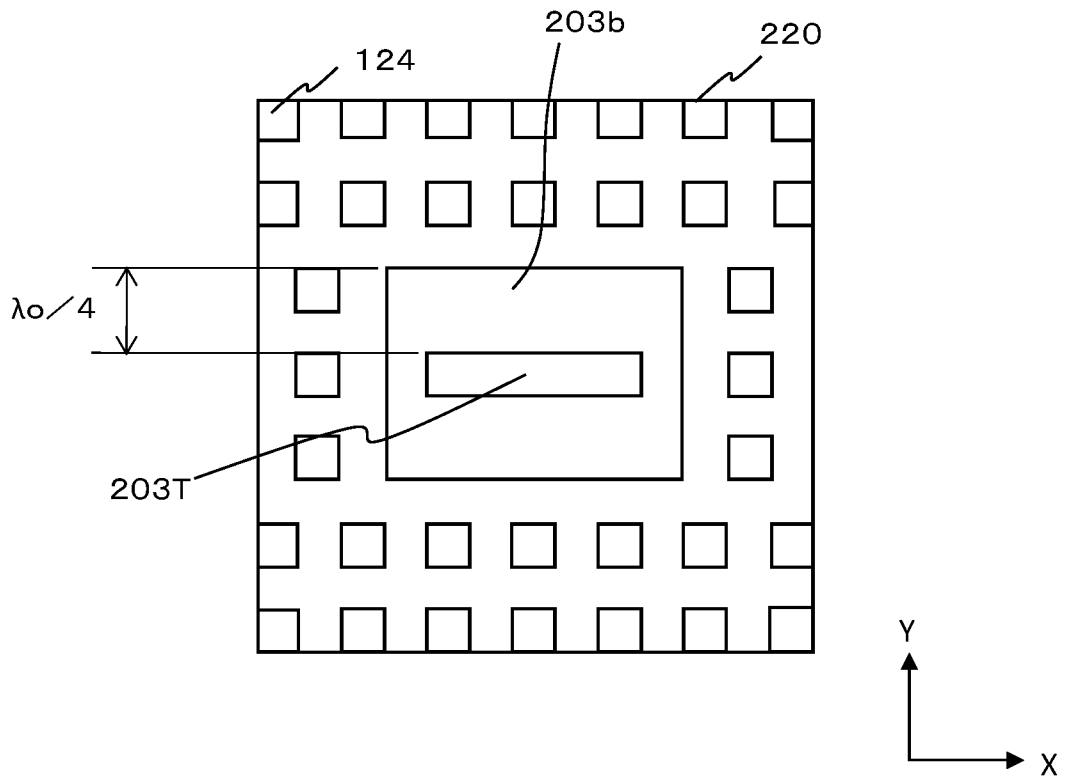


FIG.9C

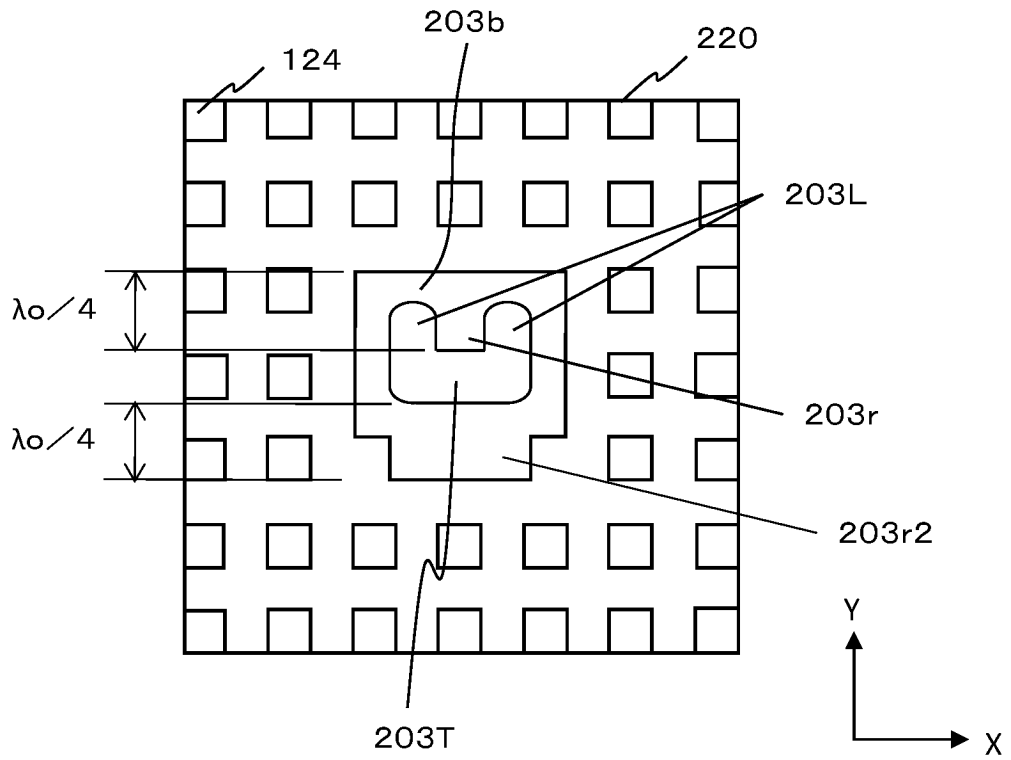
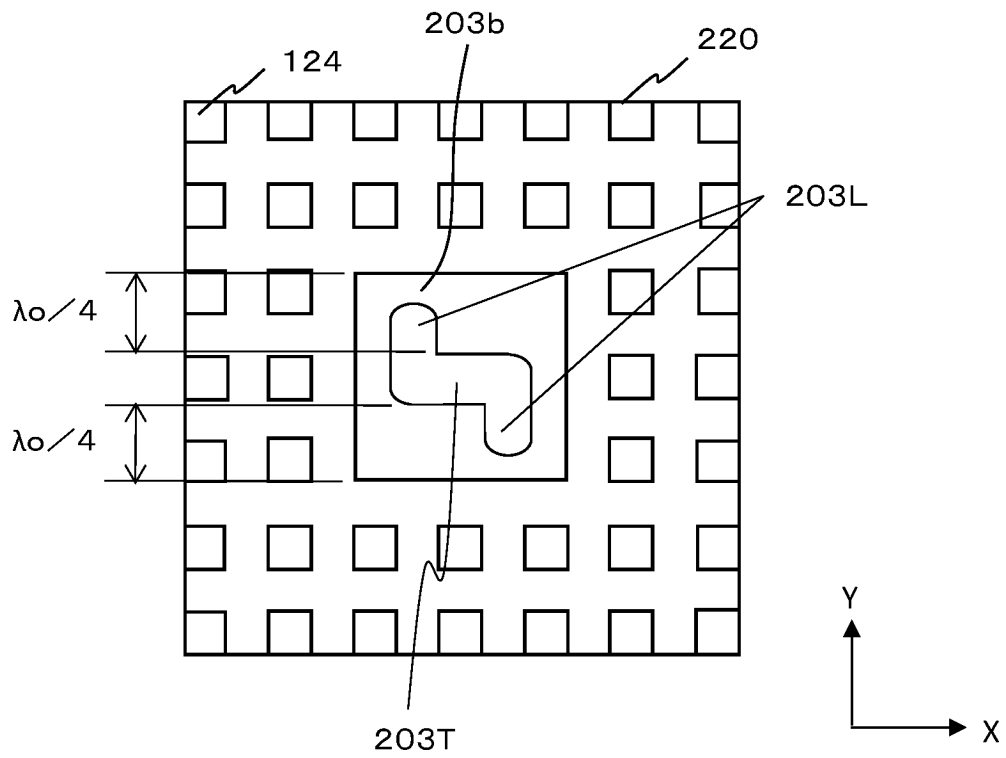
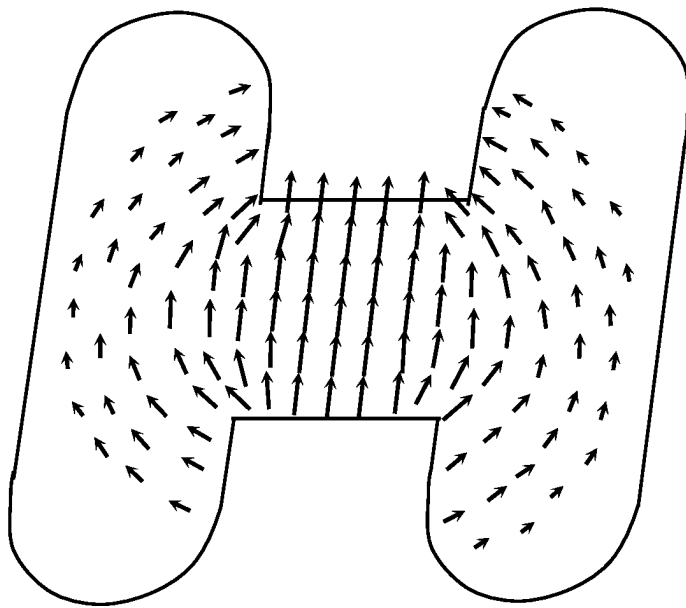


FIG.9D



*FIG. 10*





*FIG. 11*

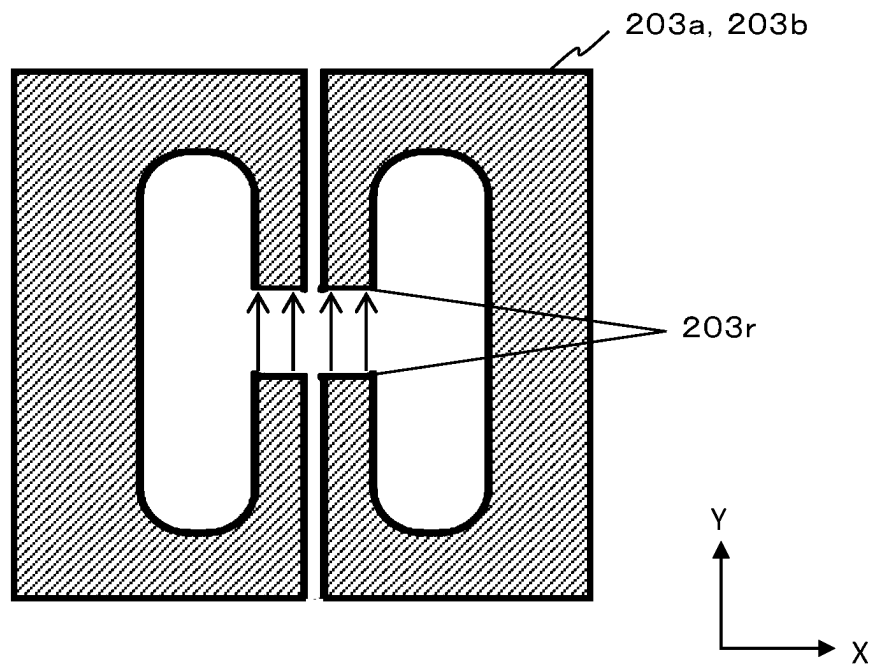


FIG. 12A

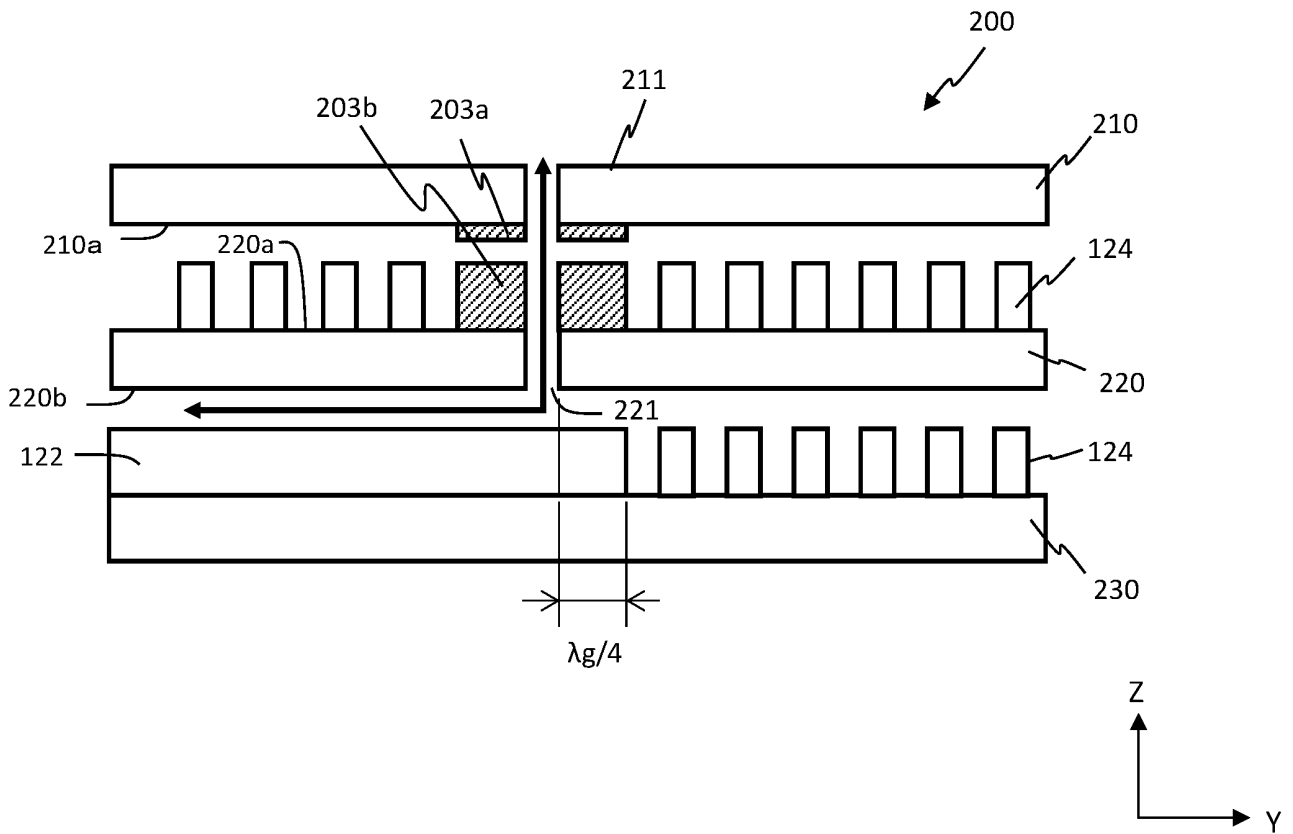


FIG. 12B

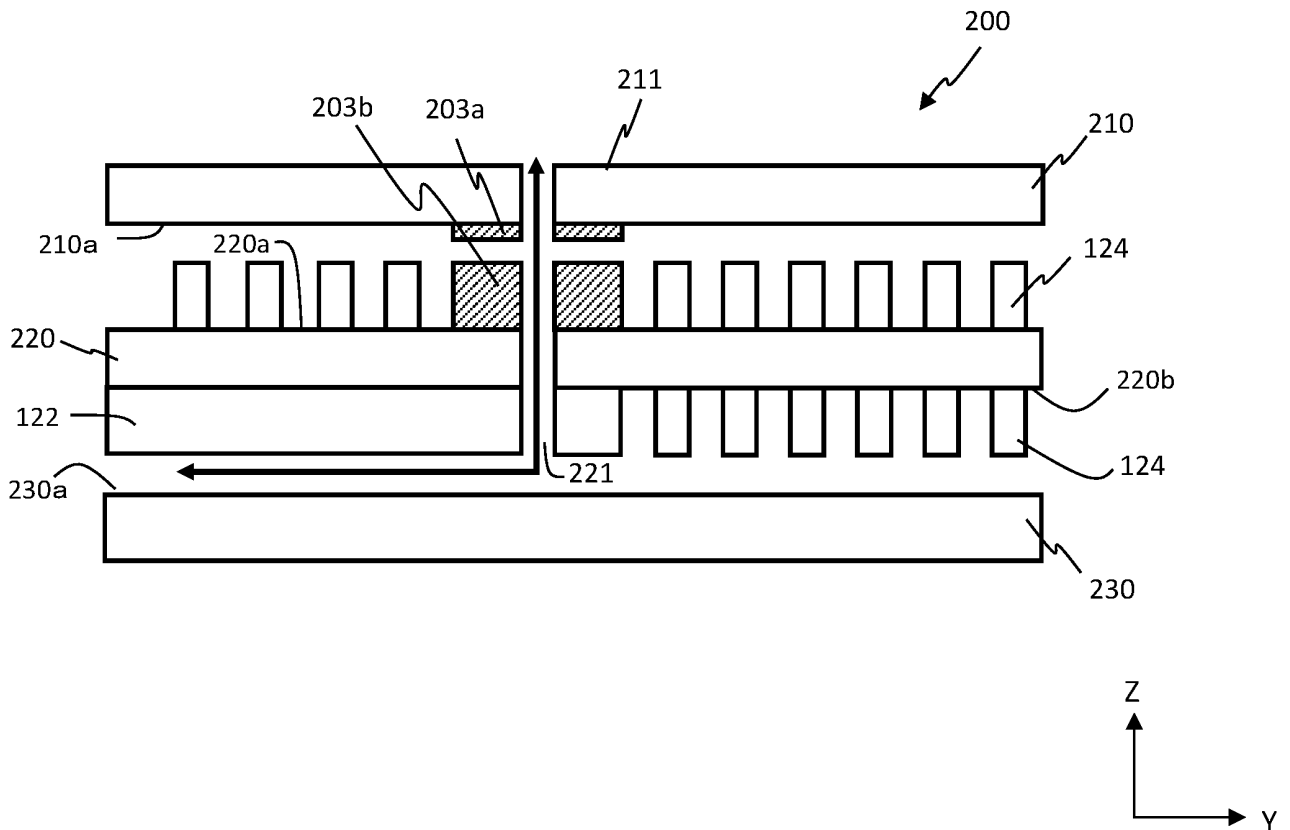


FIG. 13

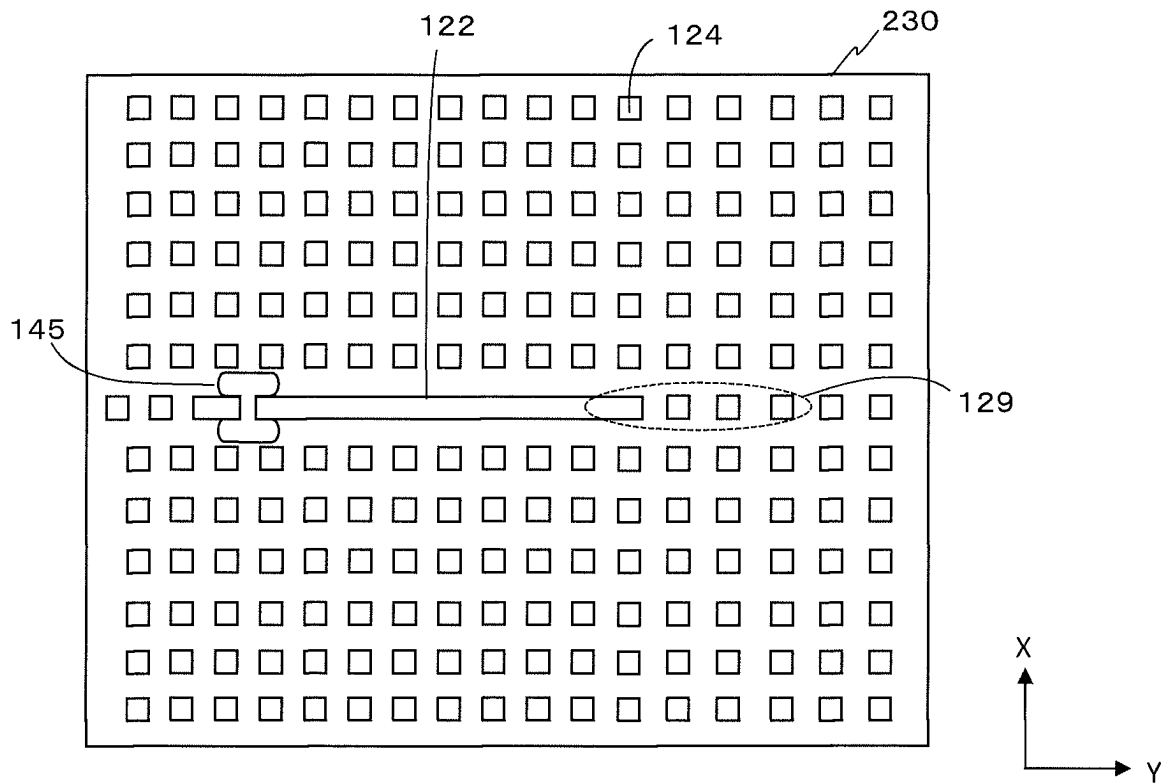


FIG. 14

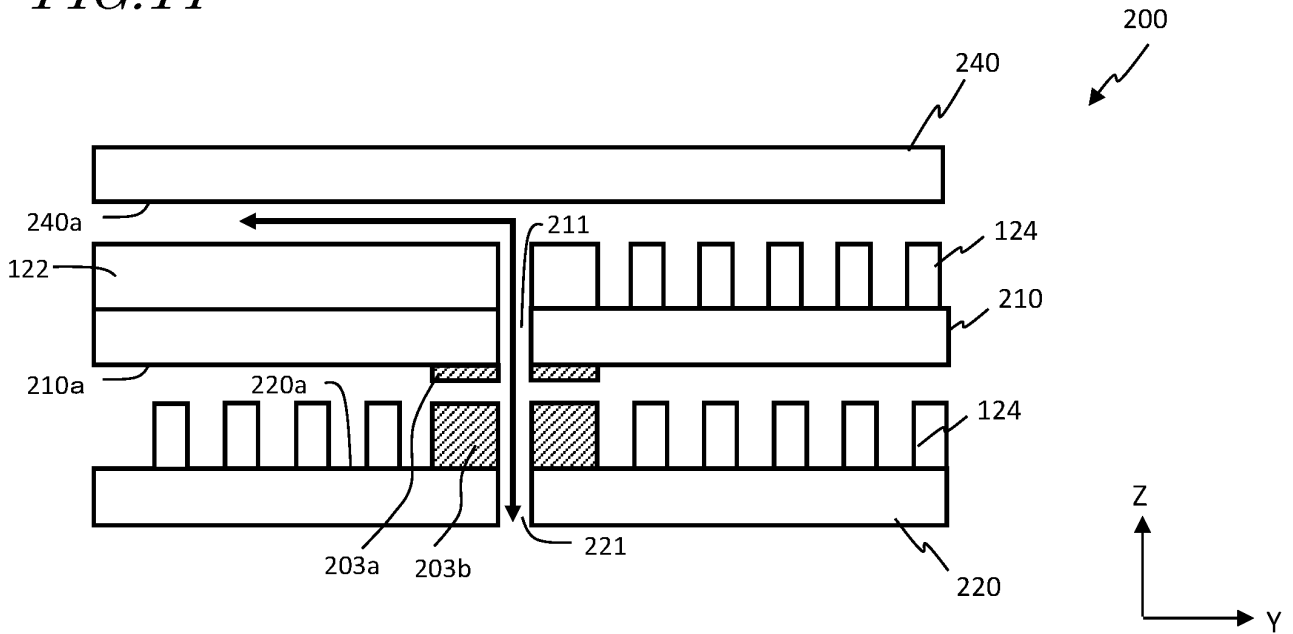


FIG. 15

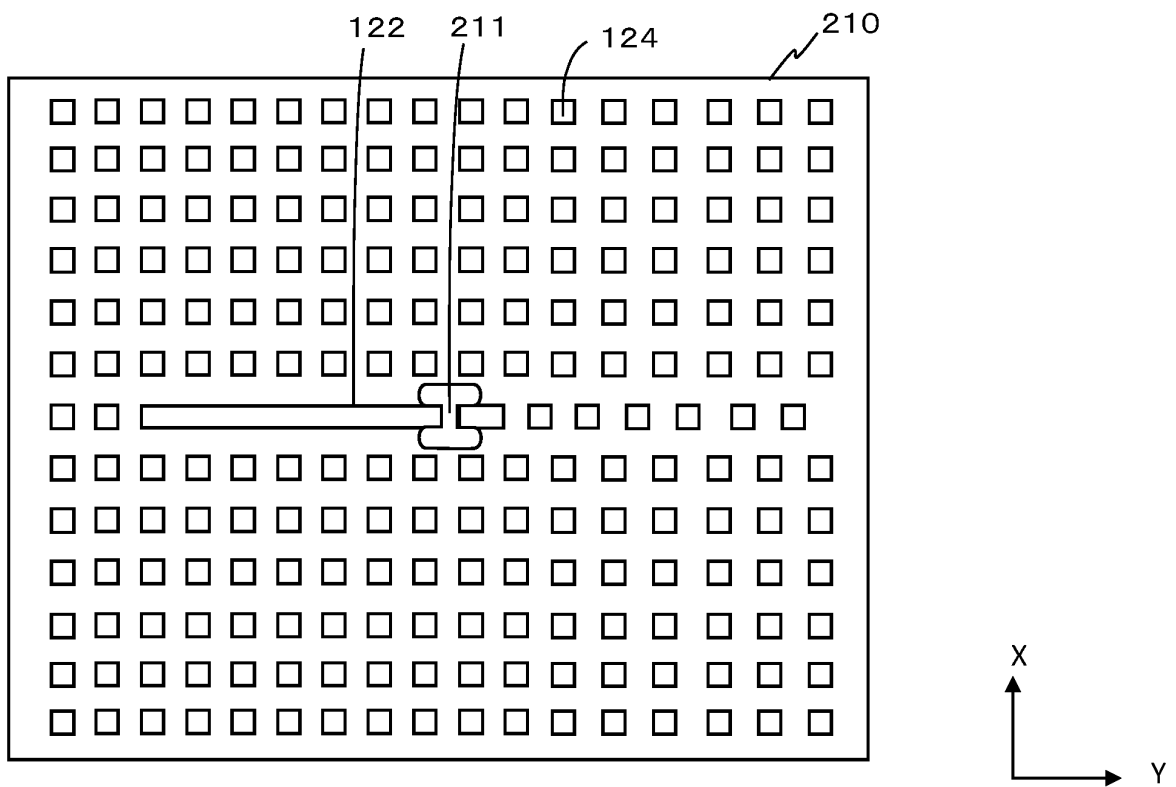


FIG. 16

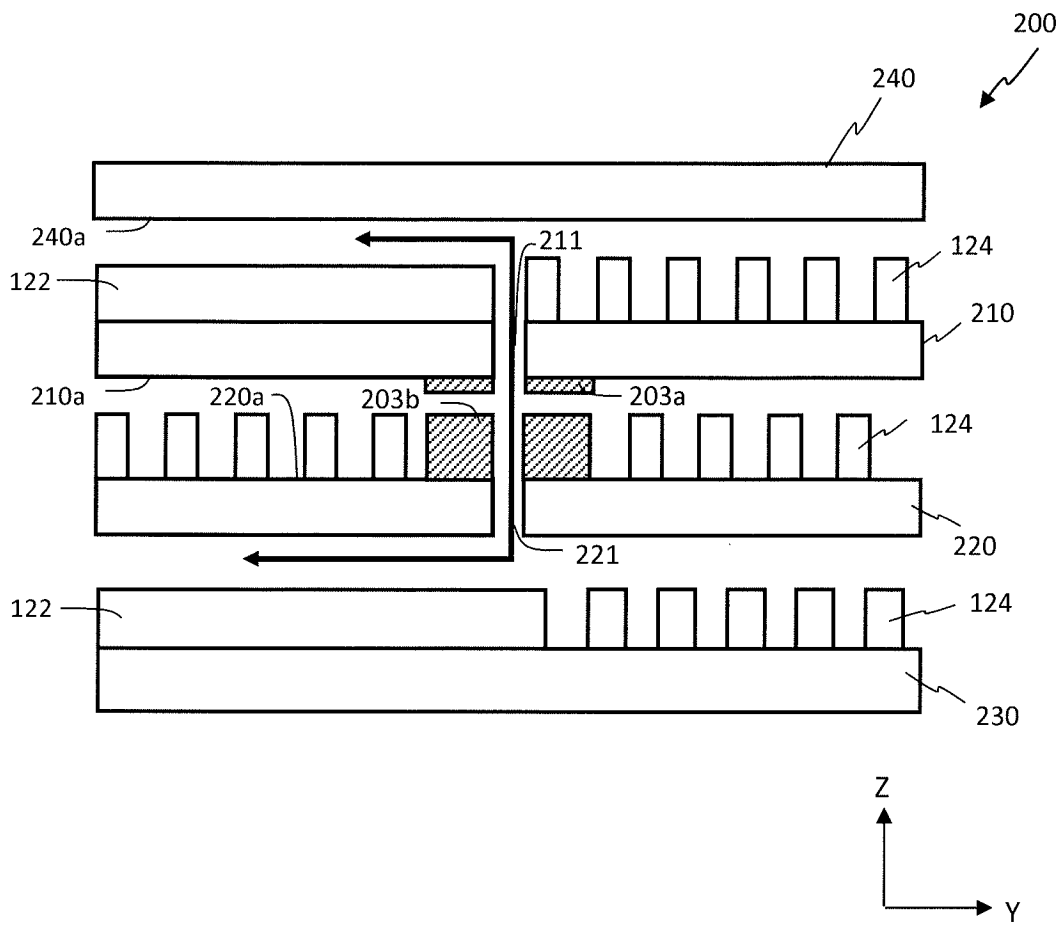


FIG. 17

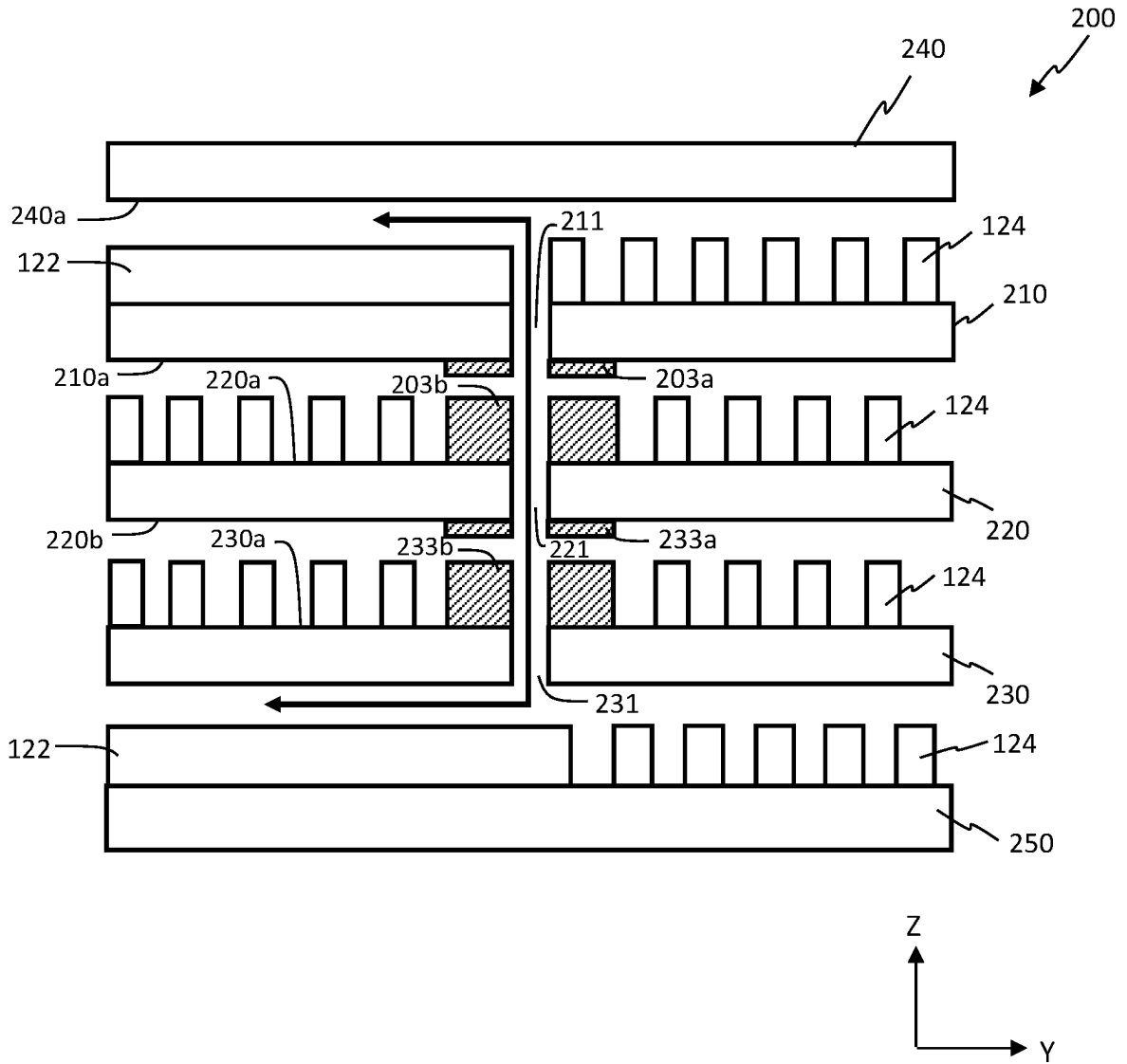


FIG. 18

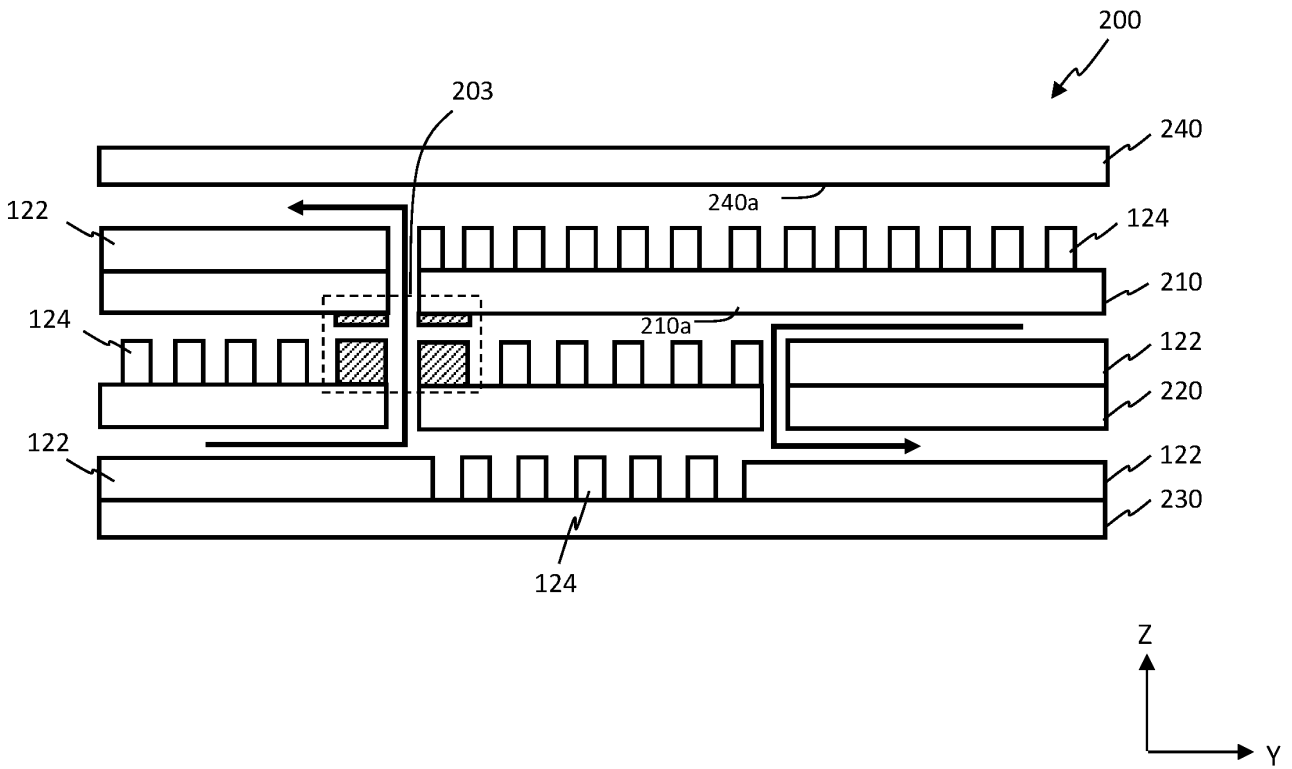


FIG. 19

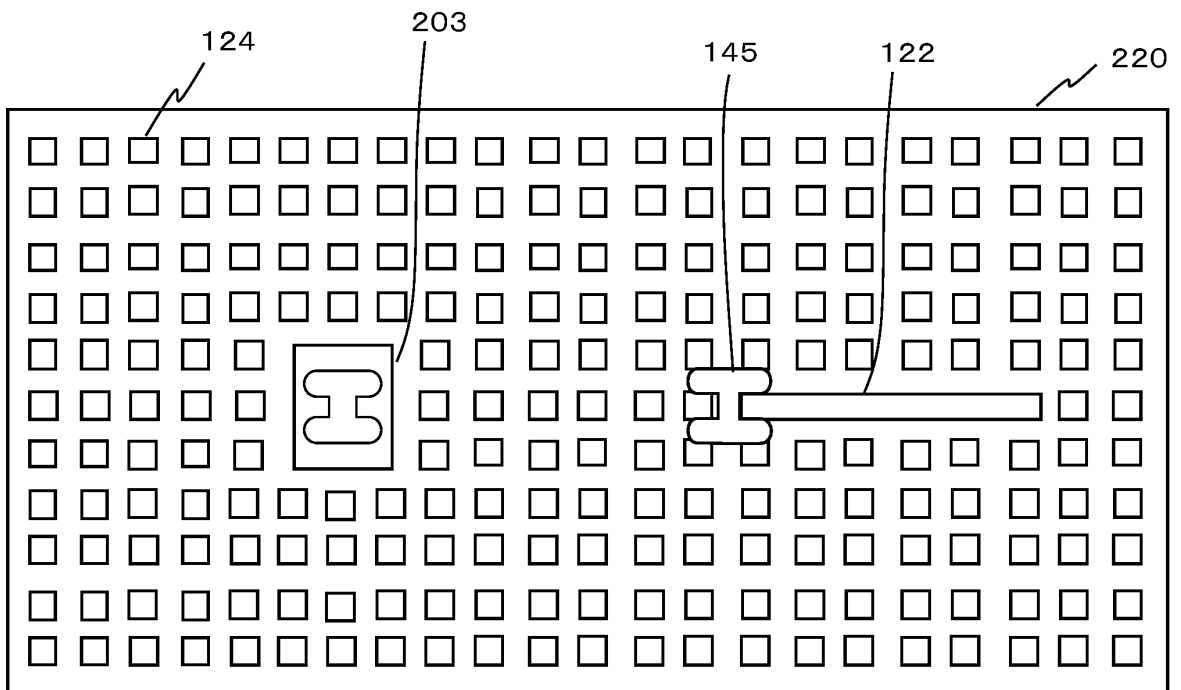


FIG.20A

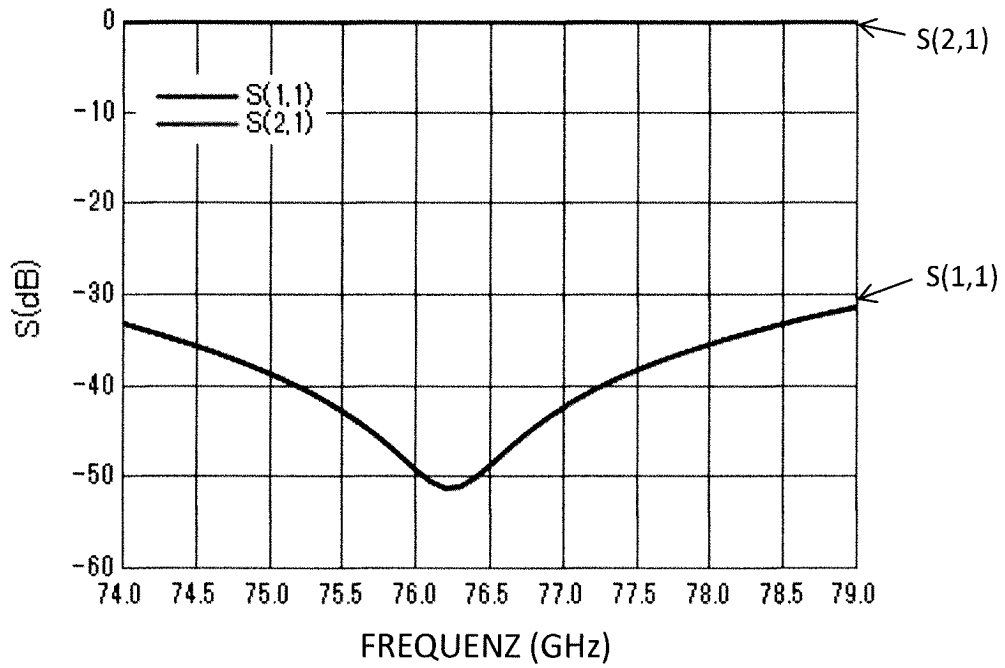


FIG.20B

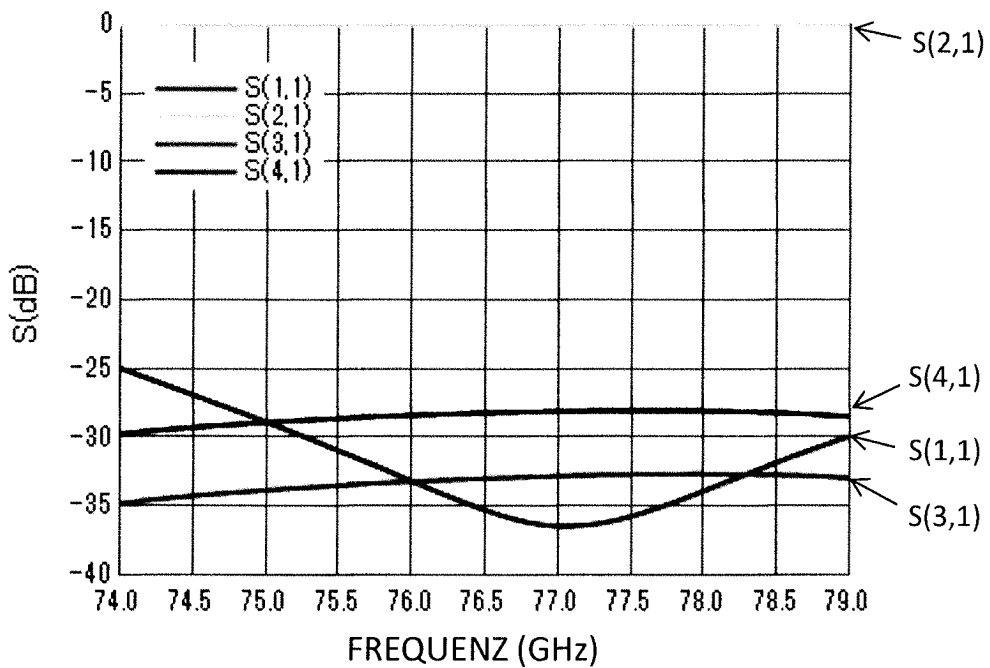




FIG. 21A

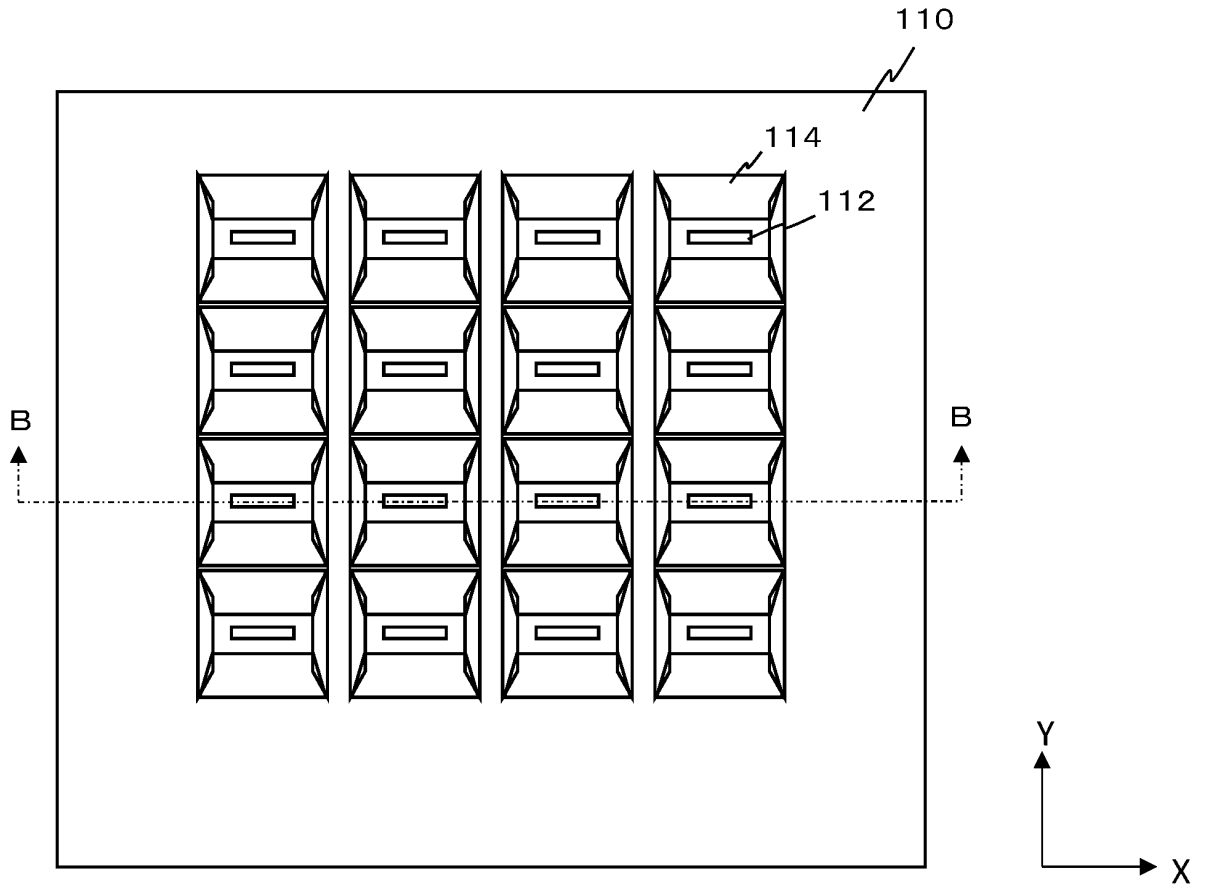


FIG. 21B

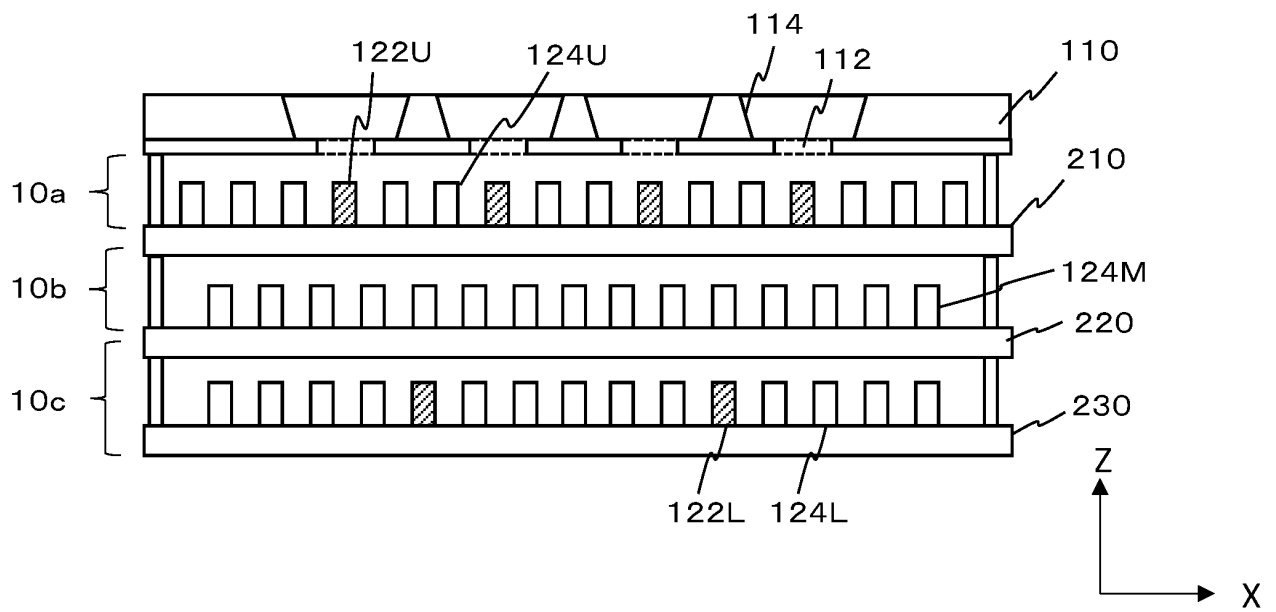


FIG. 22A

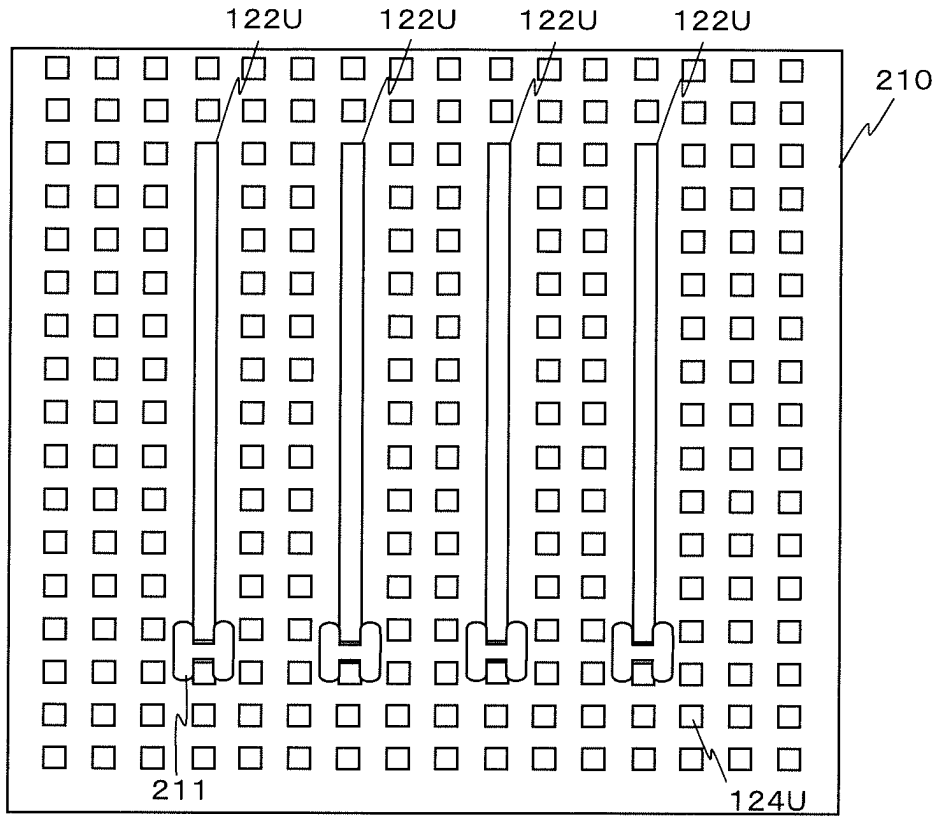
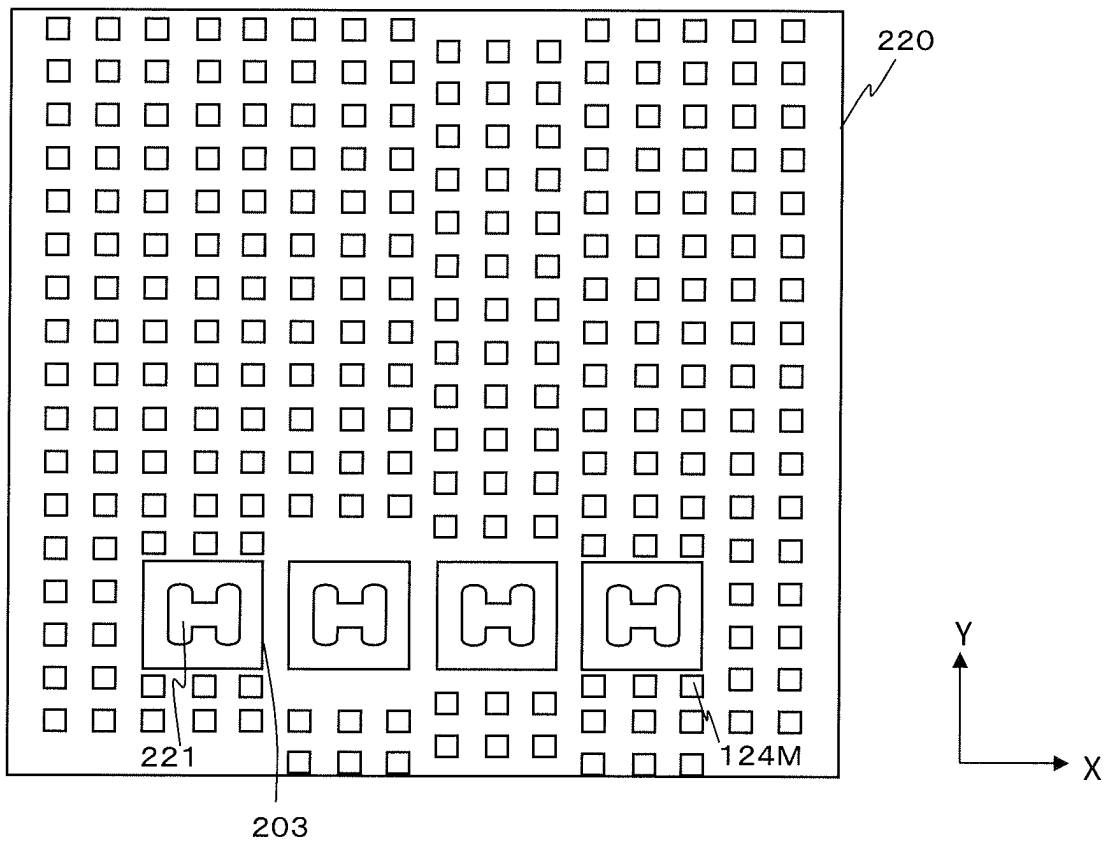


FIG. 22B



*FIG.22C*

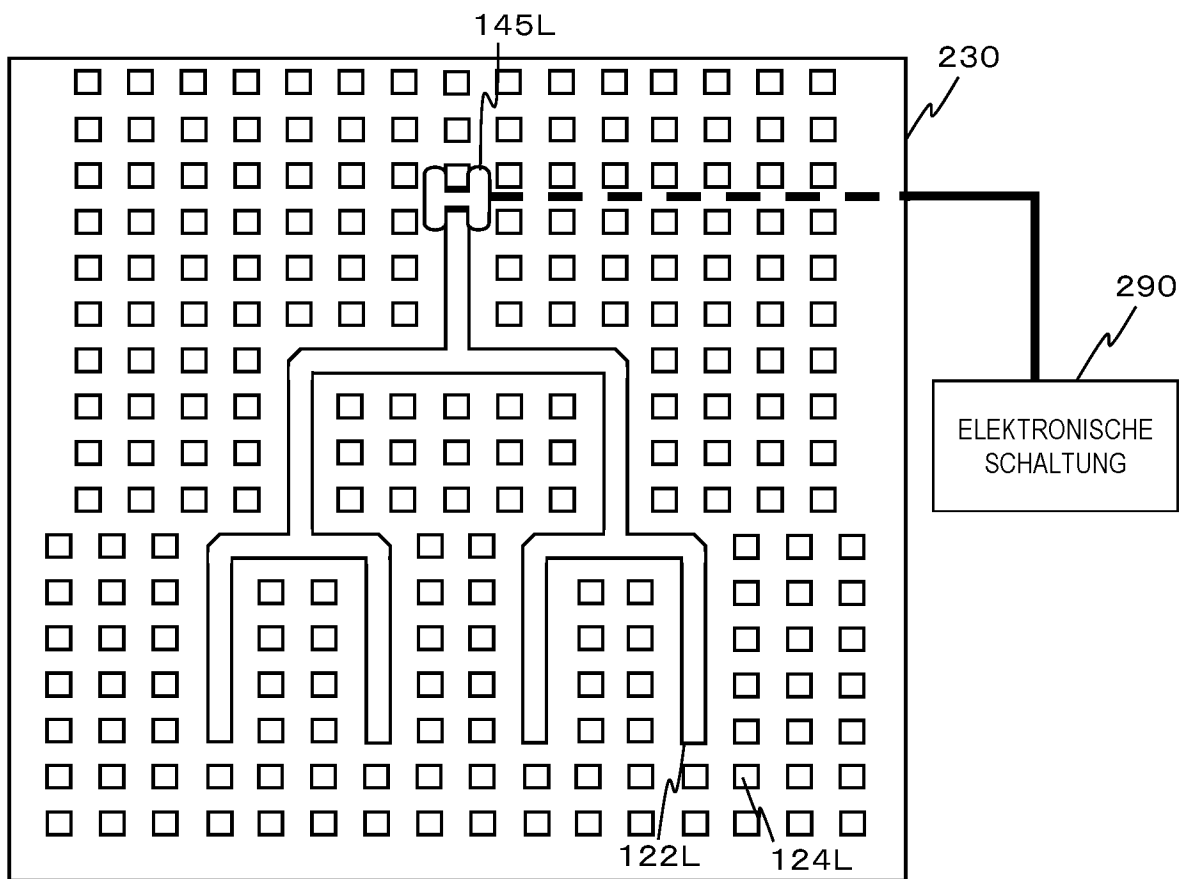


FIG.23A

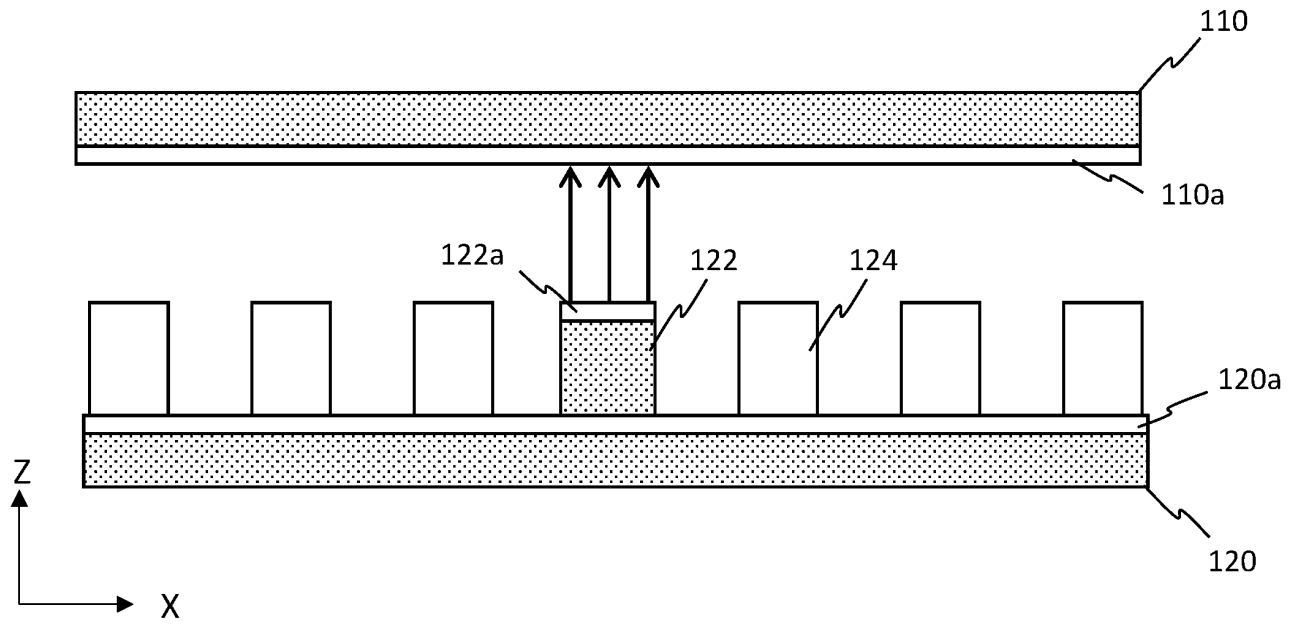


FIG.23B

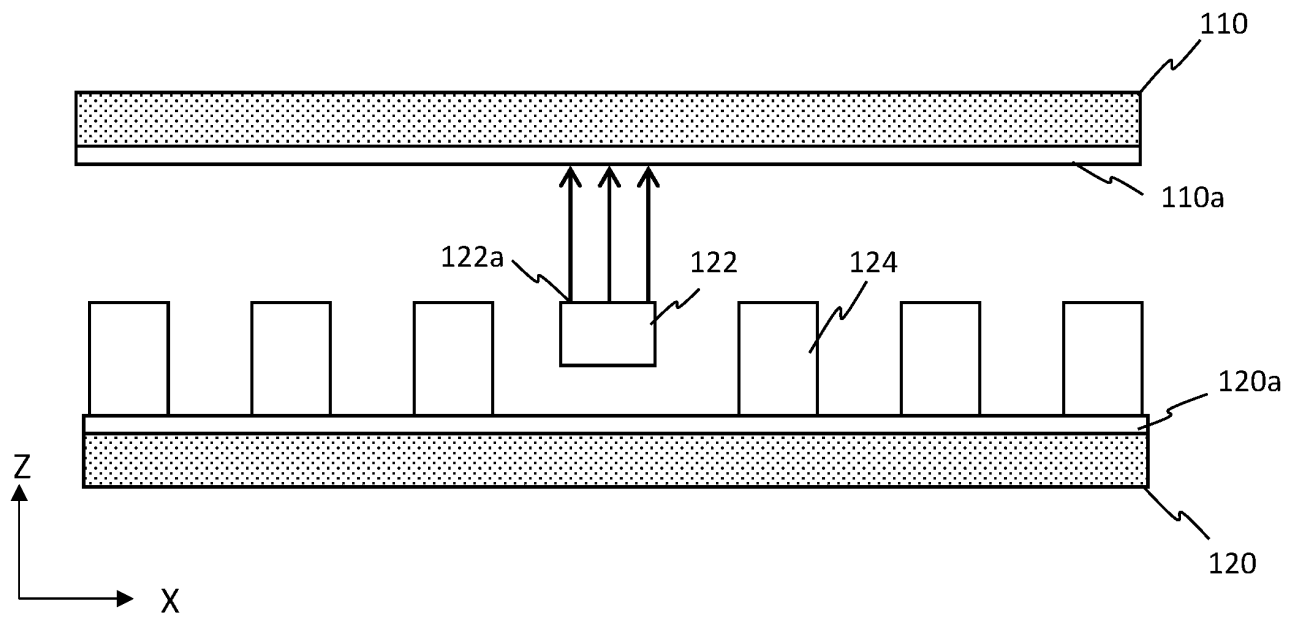


FIG.23C

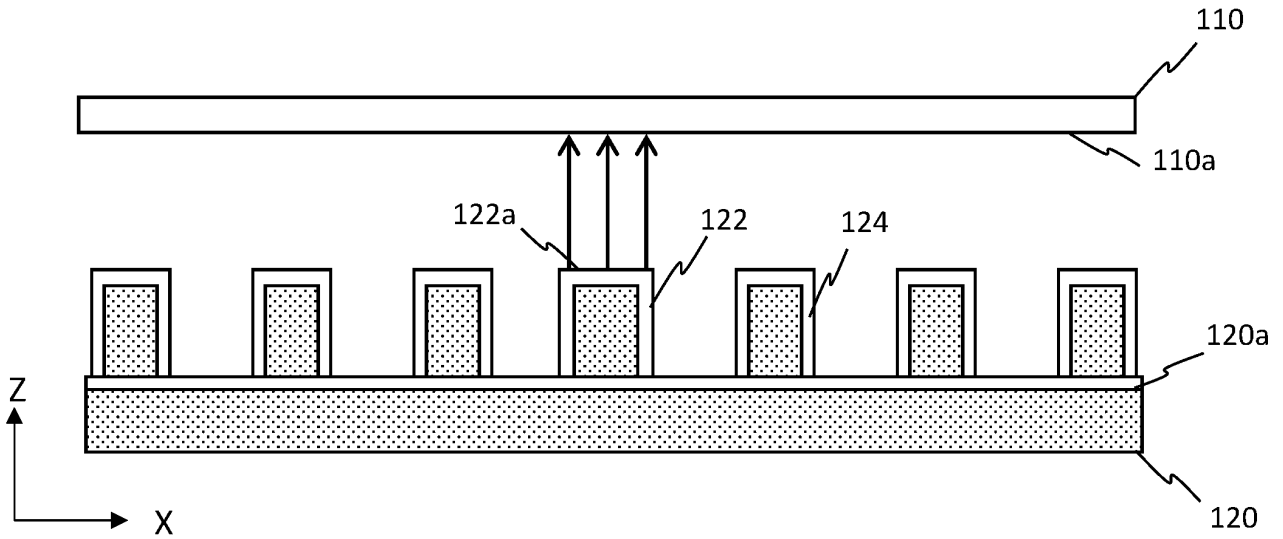


FIG.23D

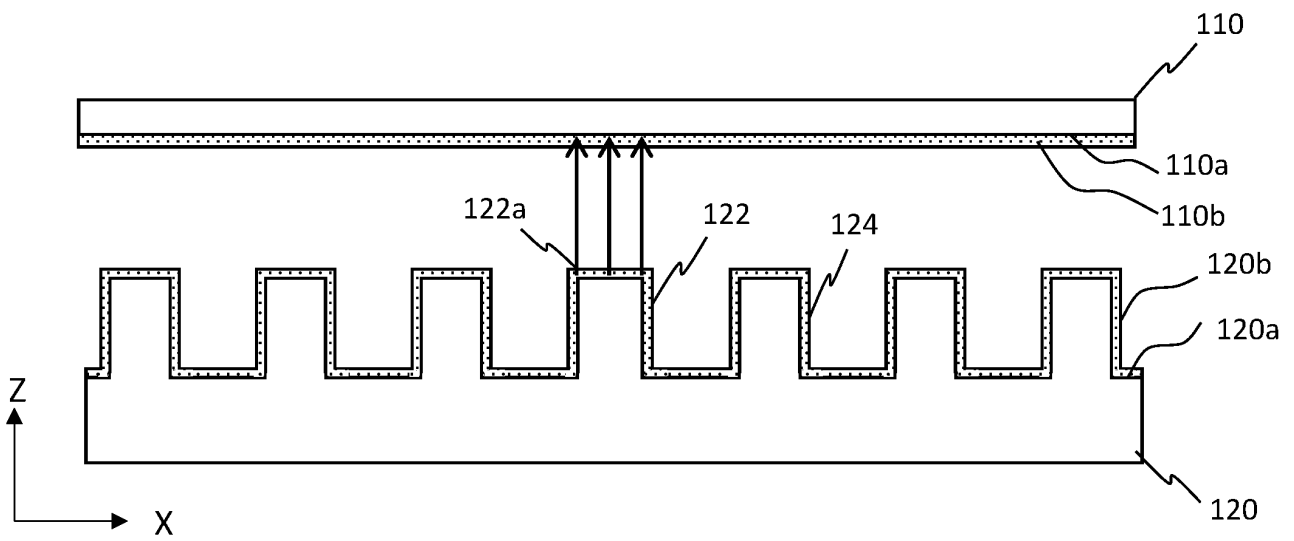


FIG.23E

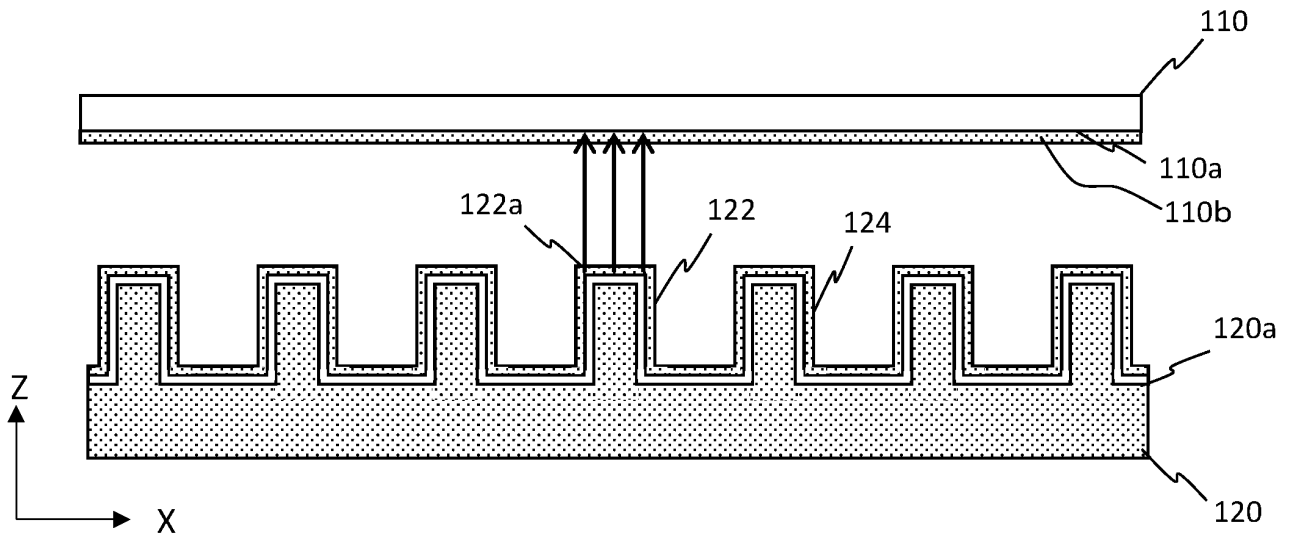
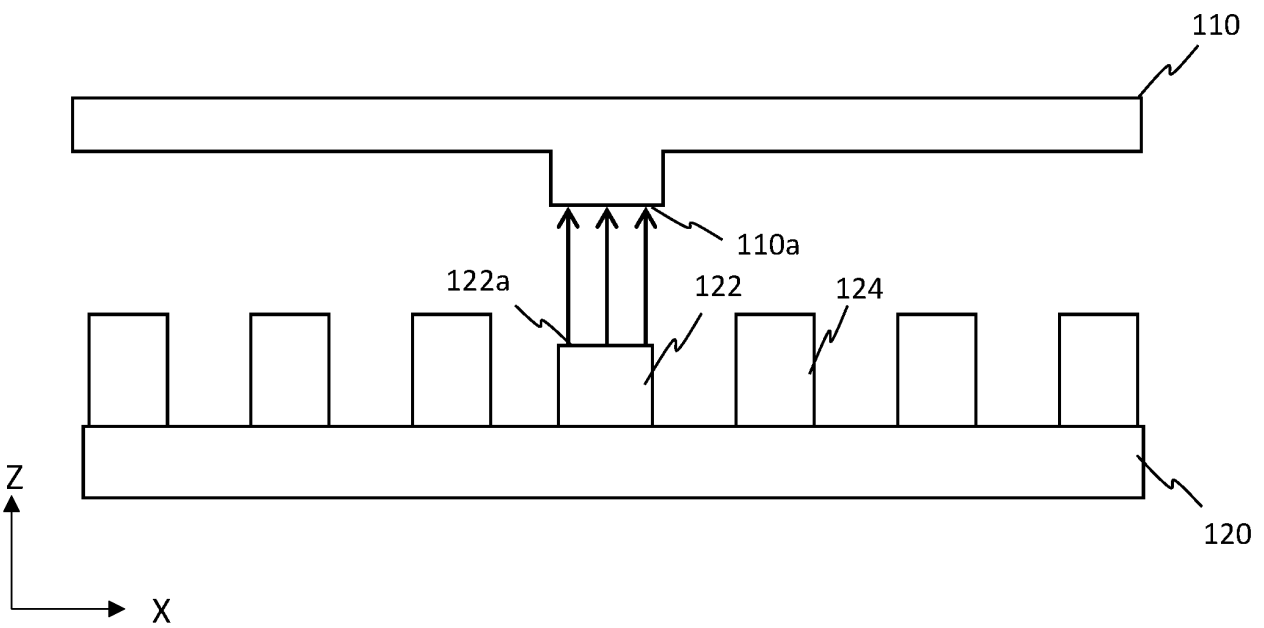


FIG.23F



*FIG.23G*

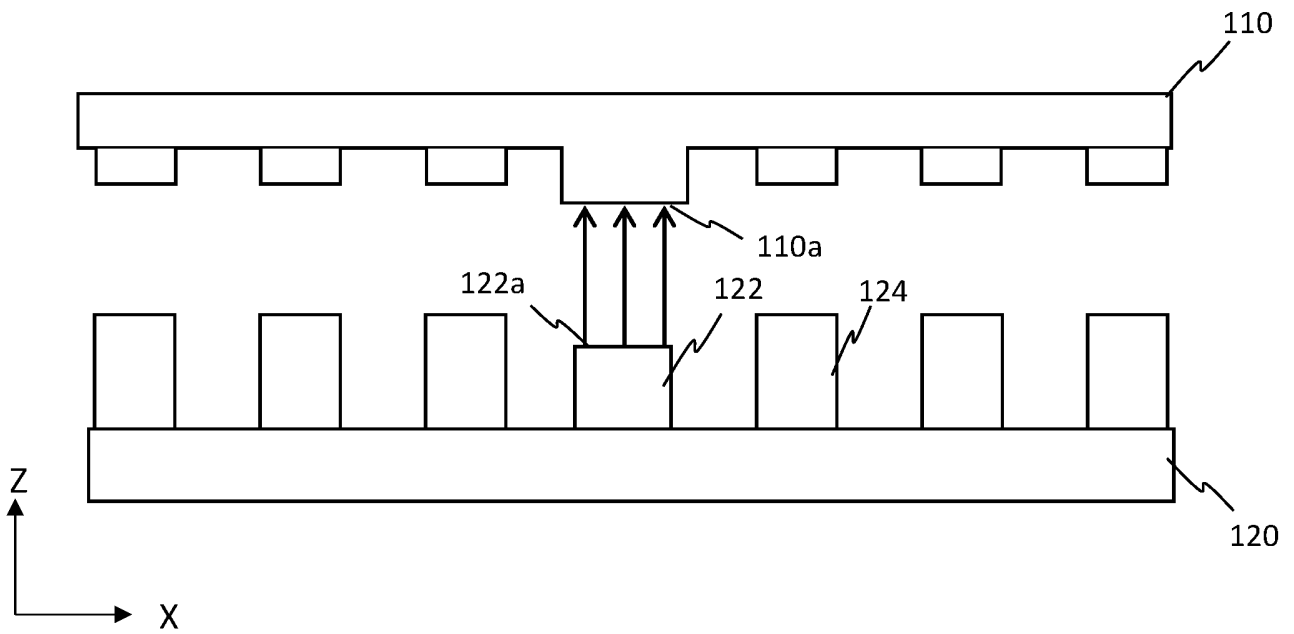


FIG.24A

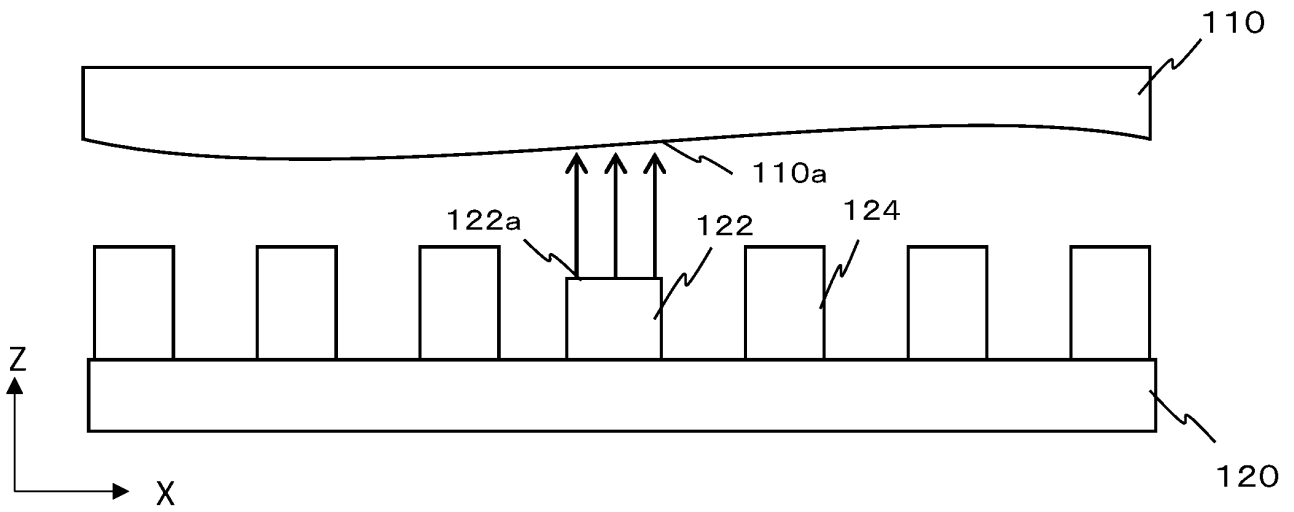
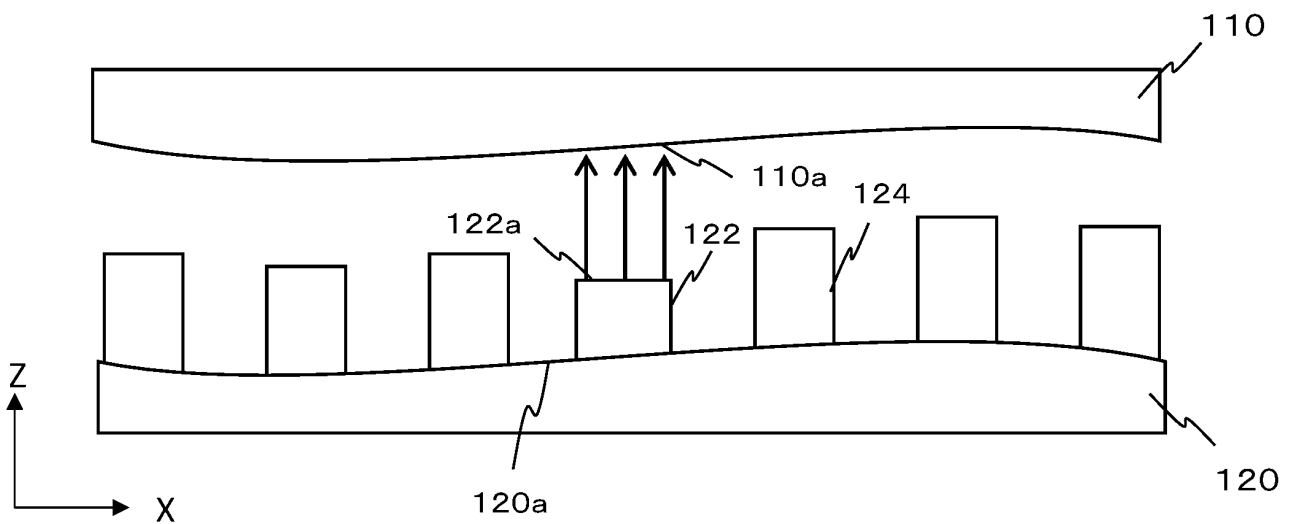
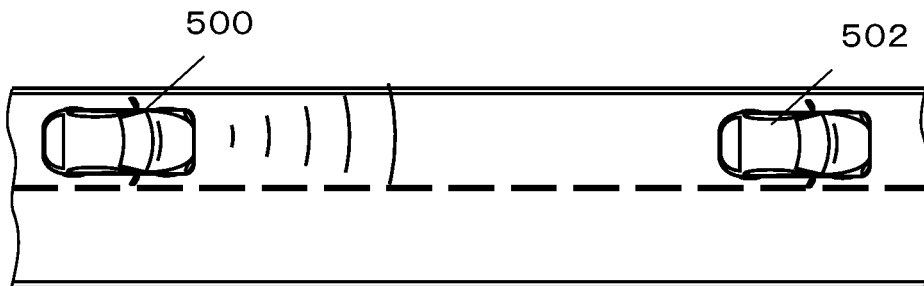


FIG.24B

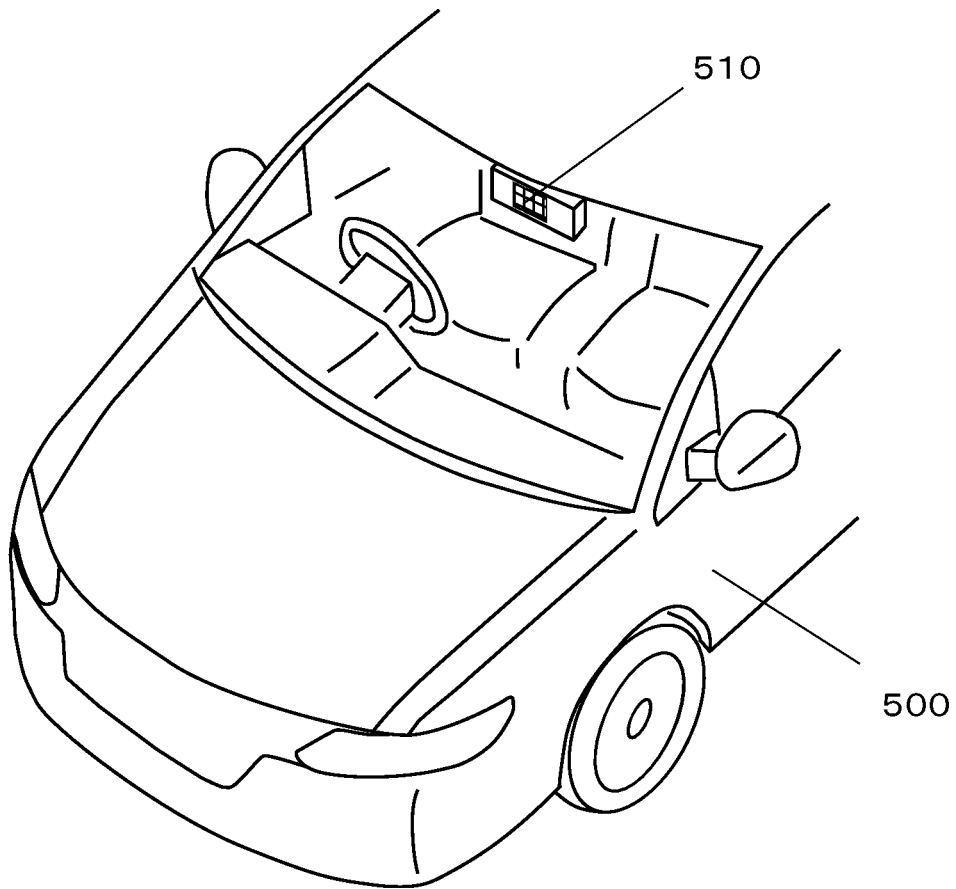




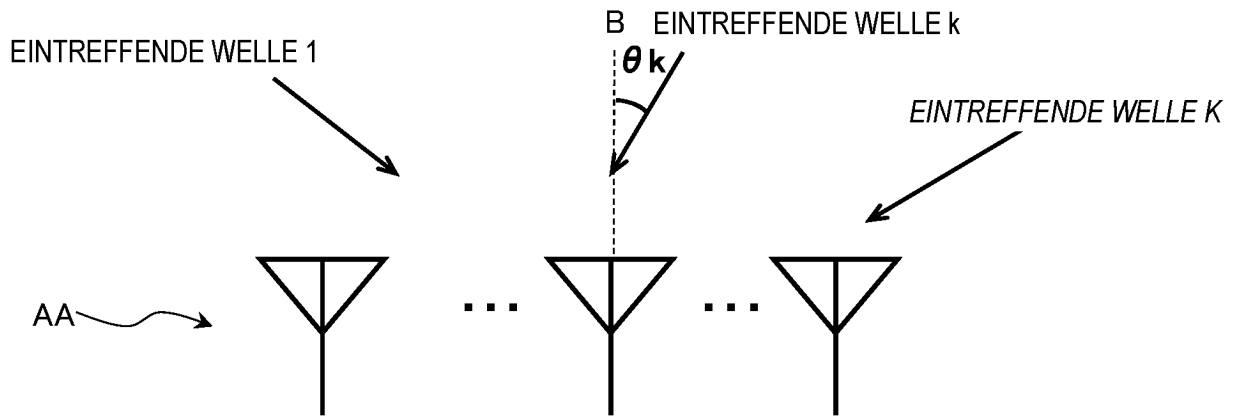
*FIG.25*



*FIG.26*



*FIG.27A*



*FIG.27B*

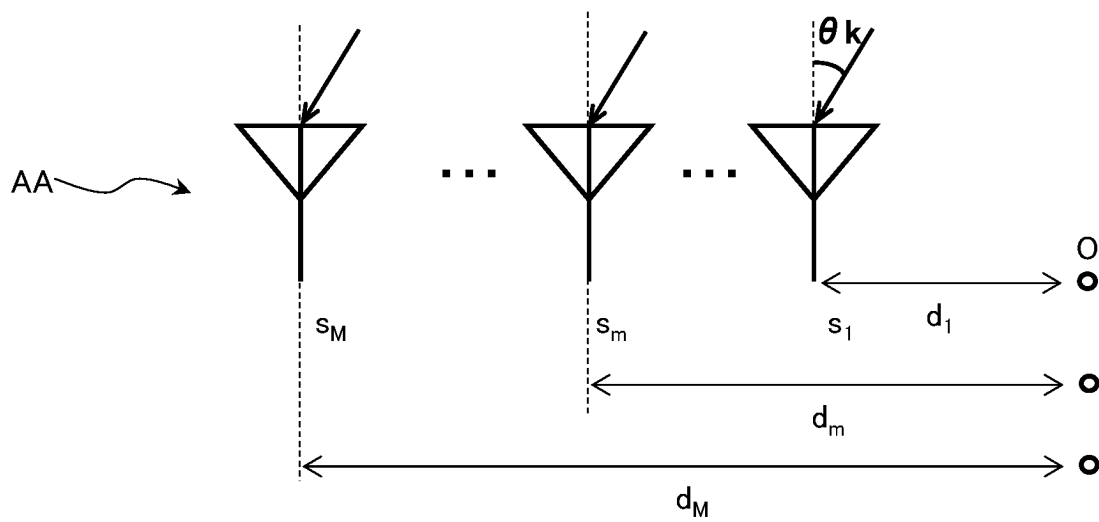


FIG.28

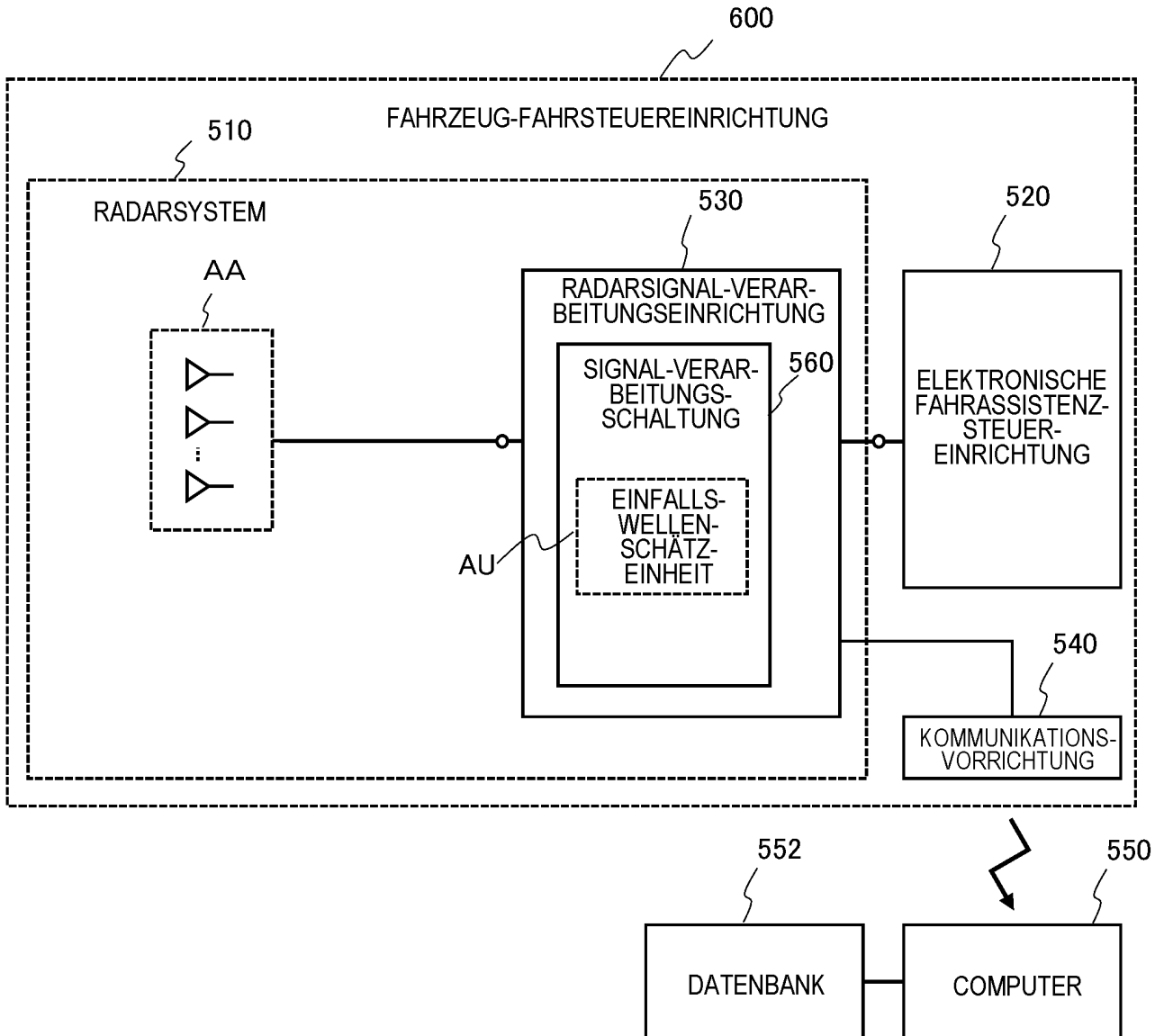


FIG.29

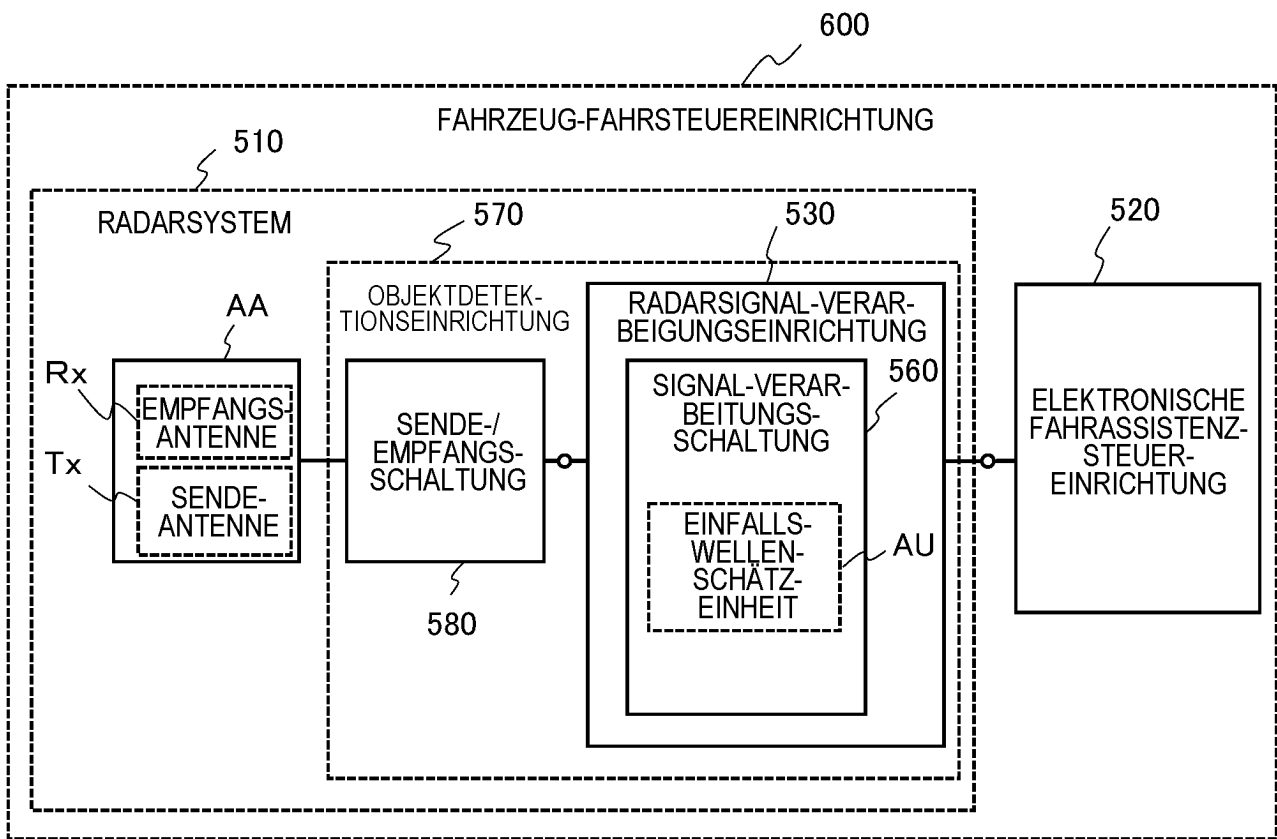


FIG.30

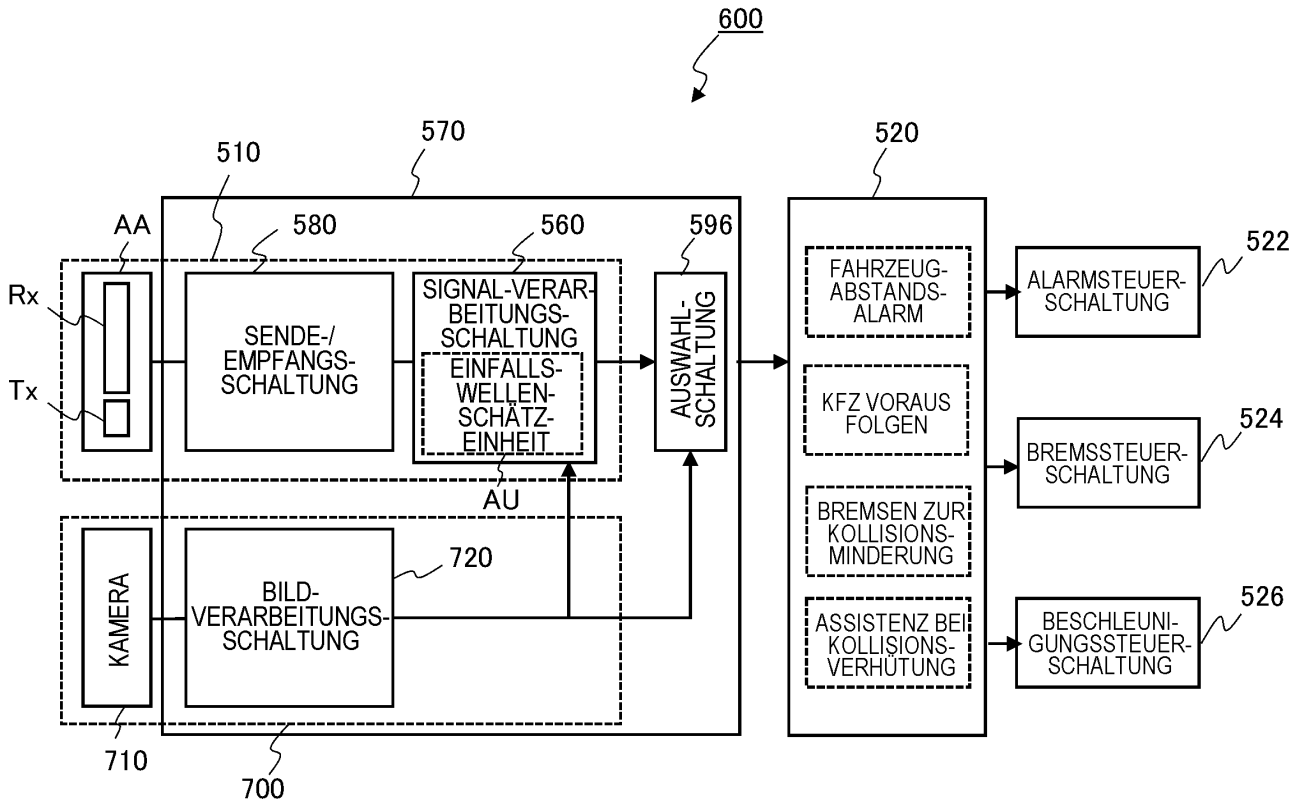


FIG.31

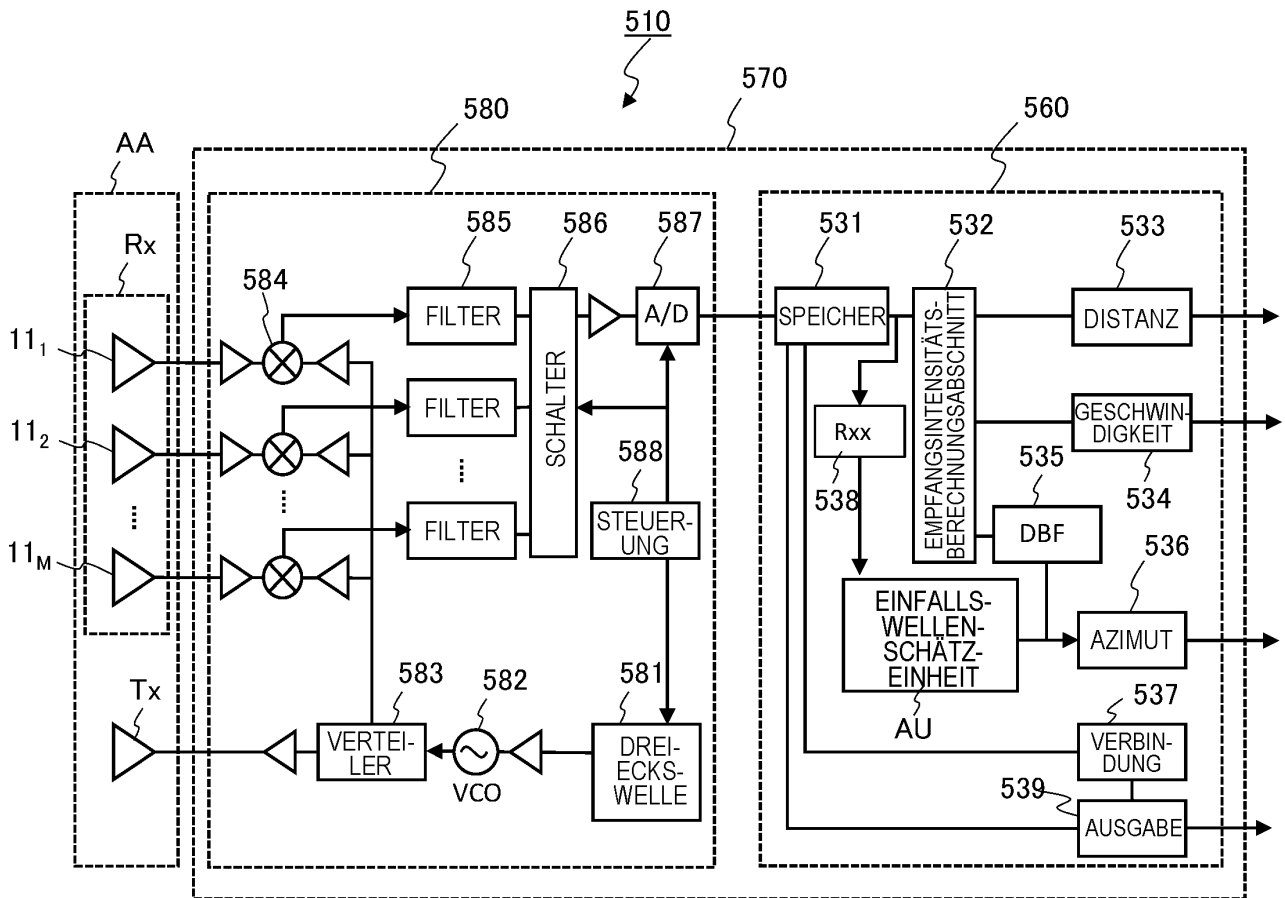


FIG.32

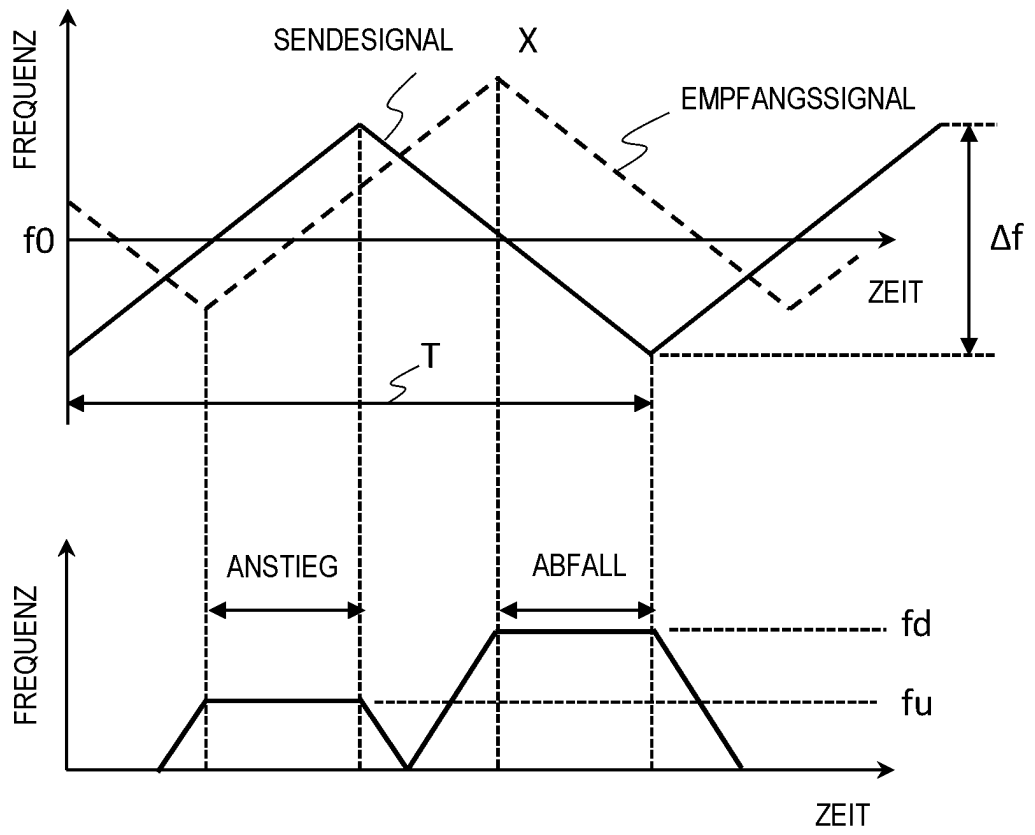


FIG.33

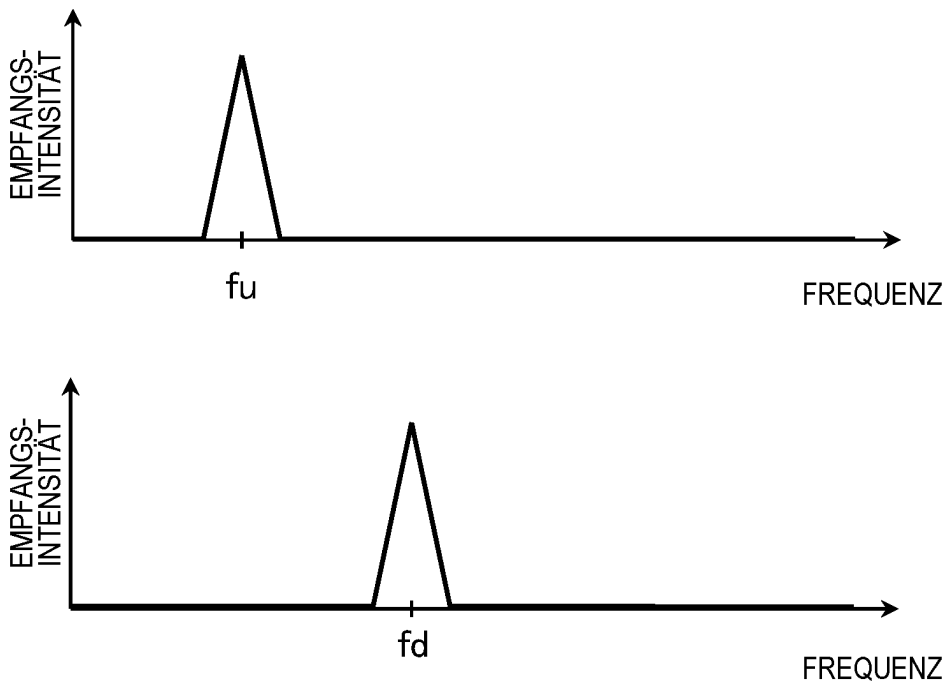
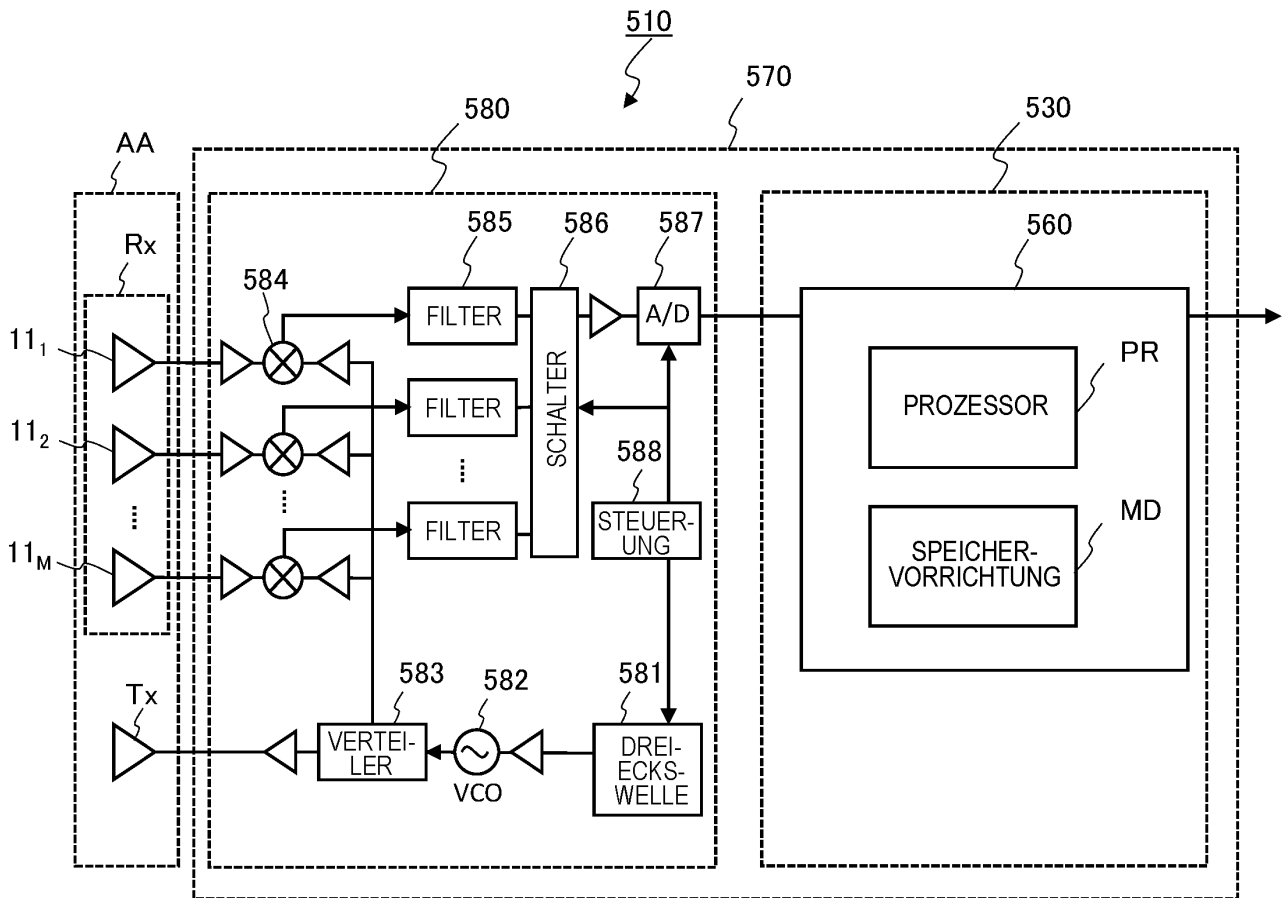
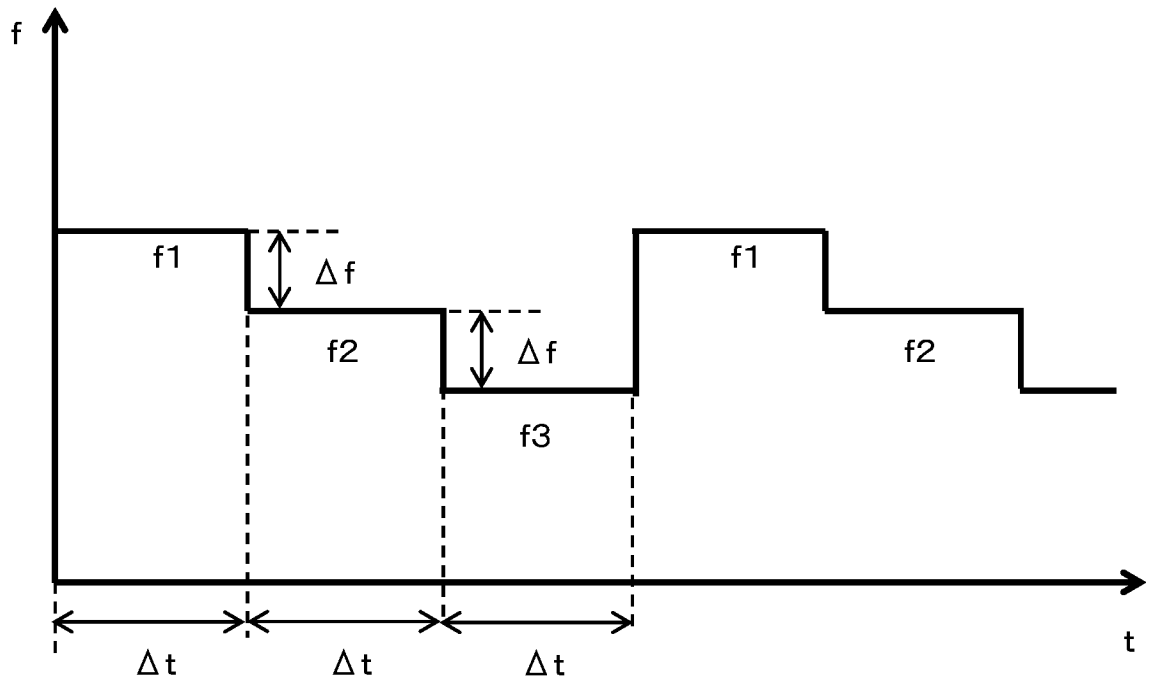


FIG.34





*FIG.35*



*FIG.36*

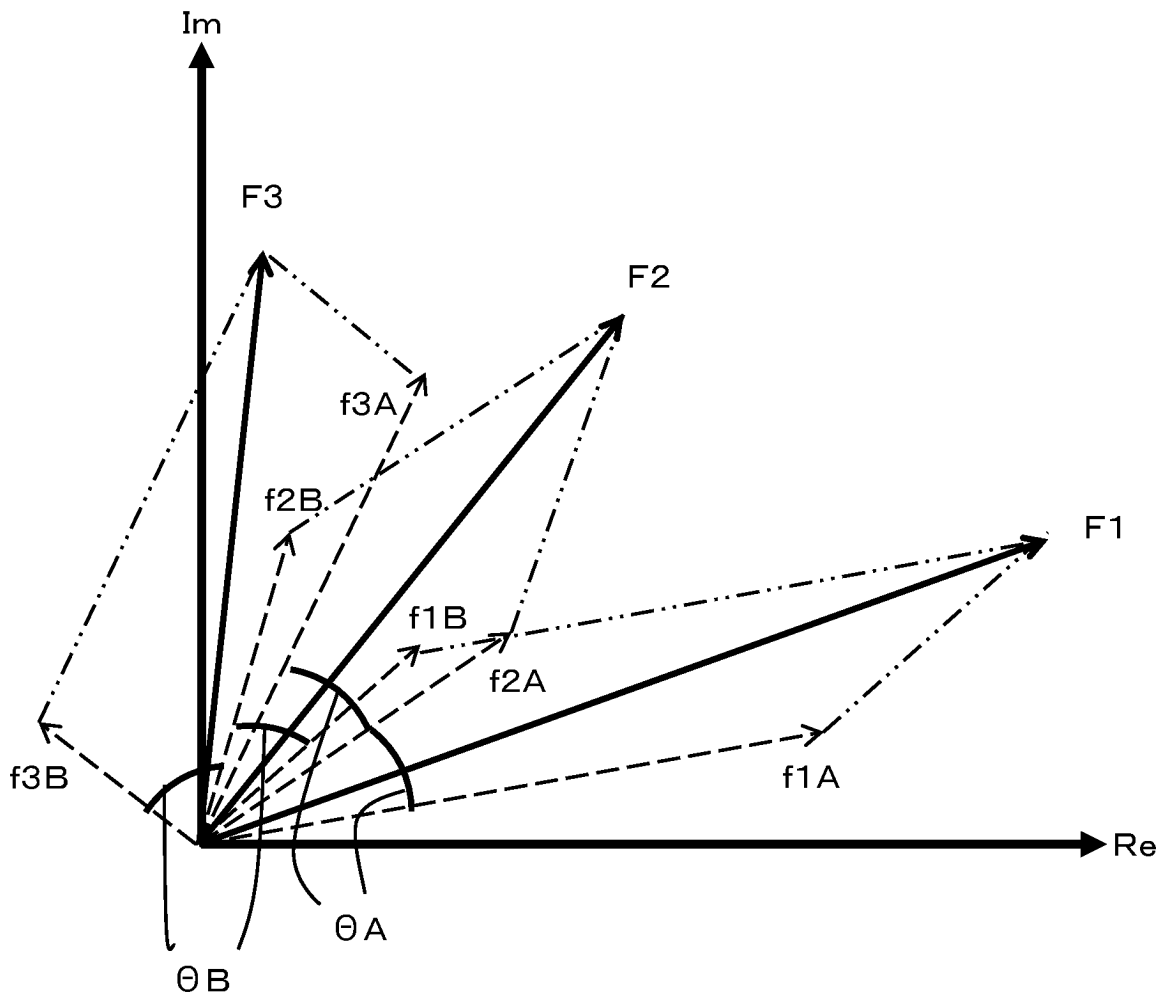


FIG.37

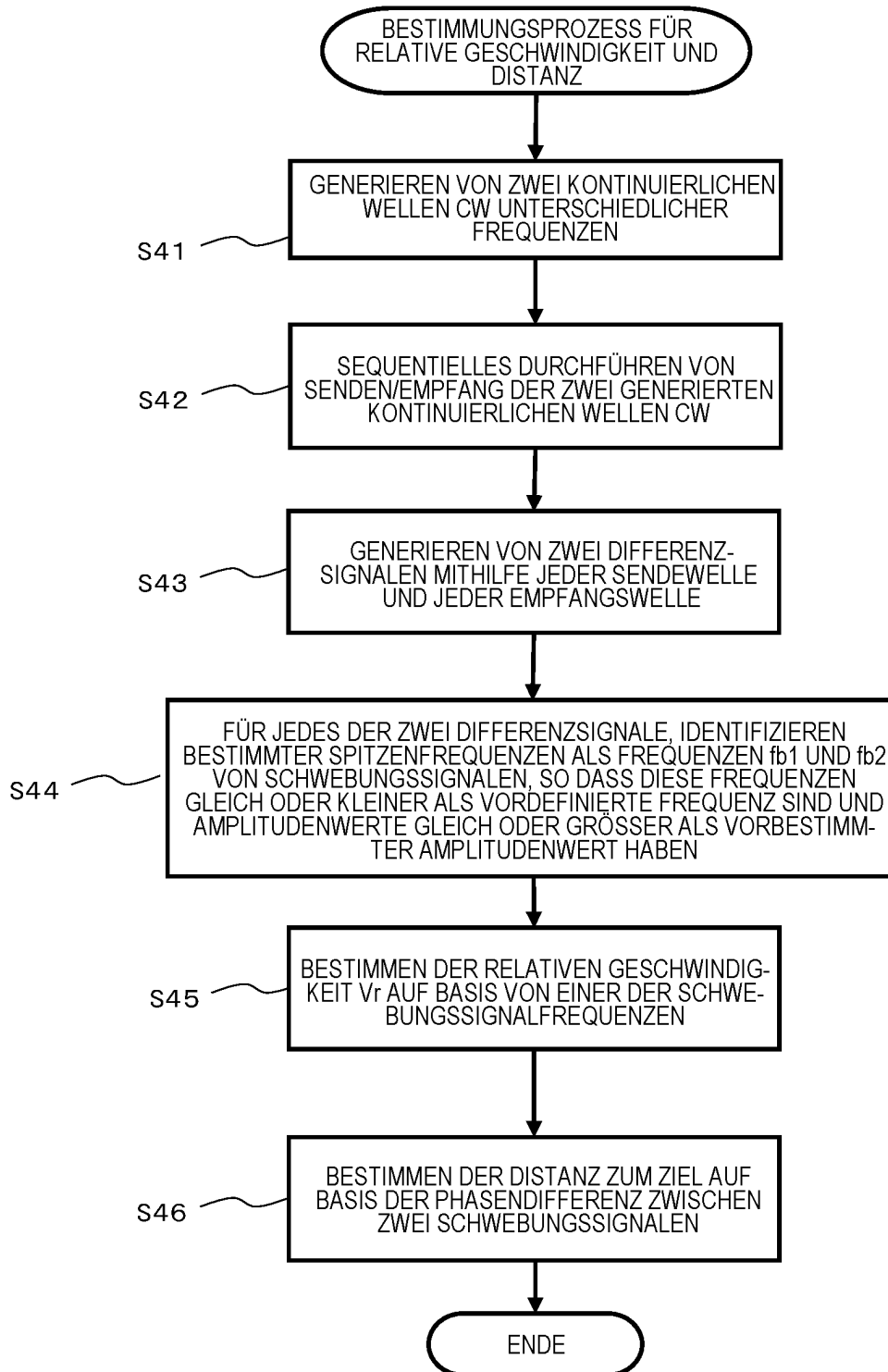
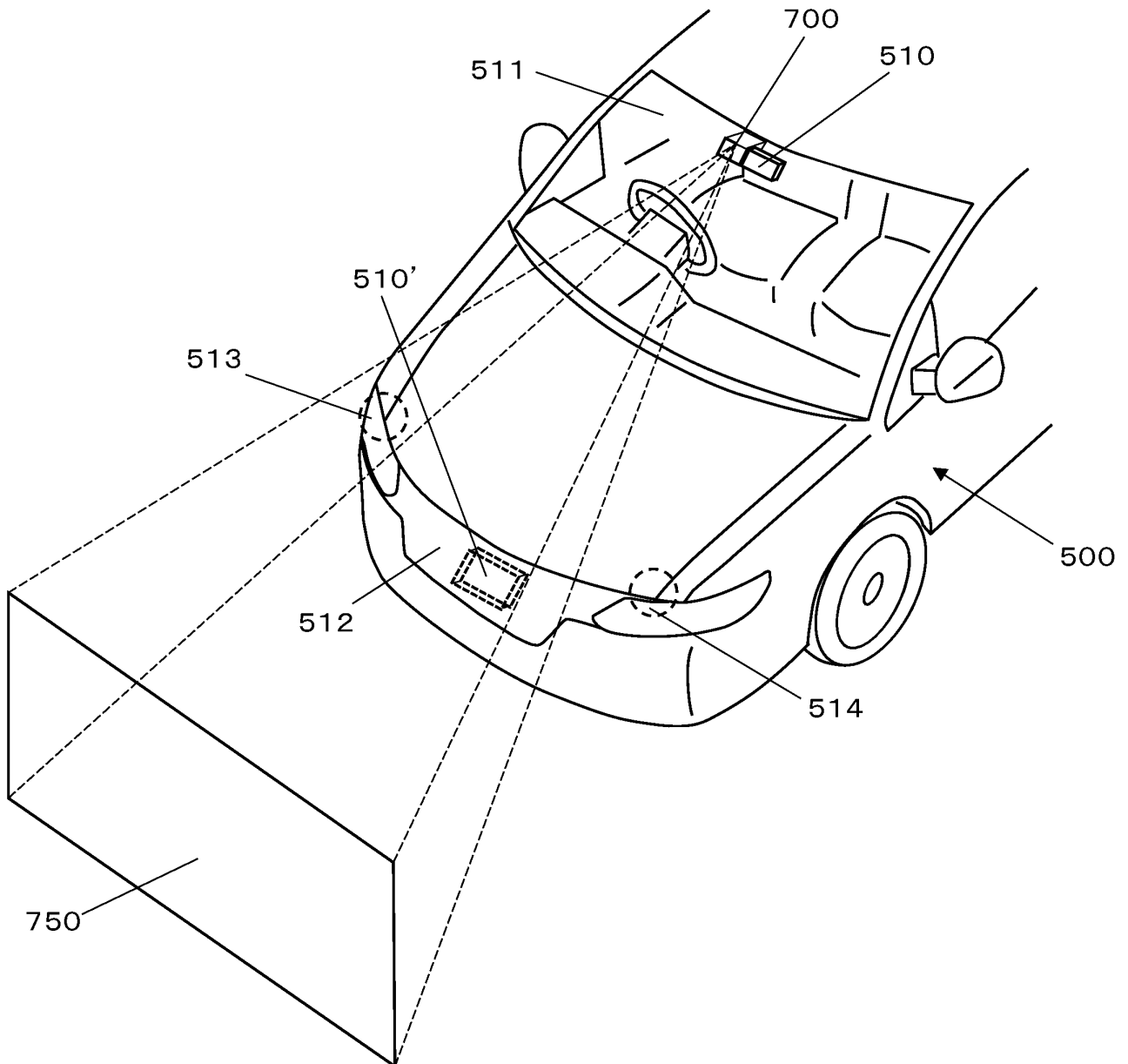


FIG.38



*FIG. 39*

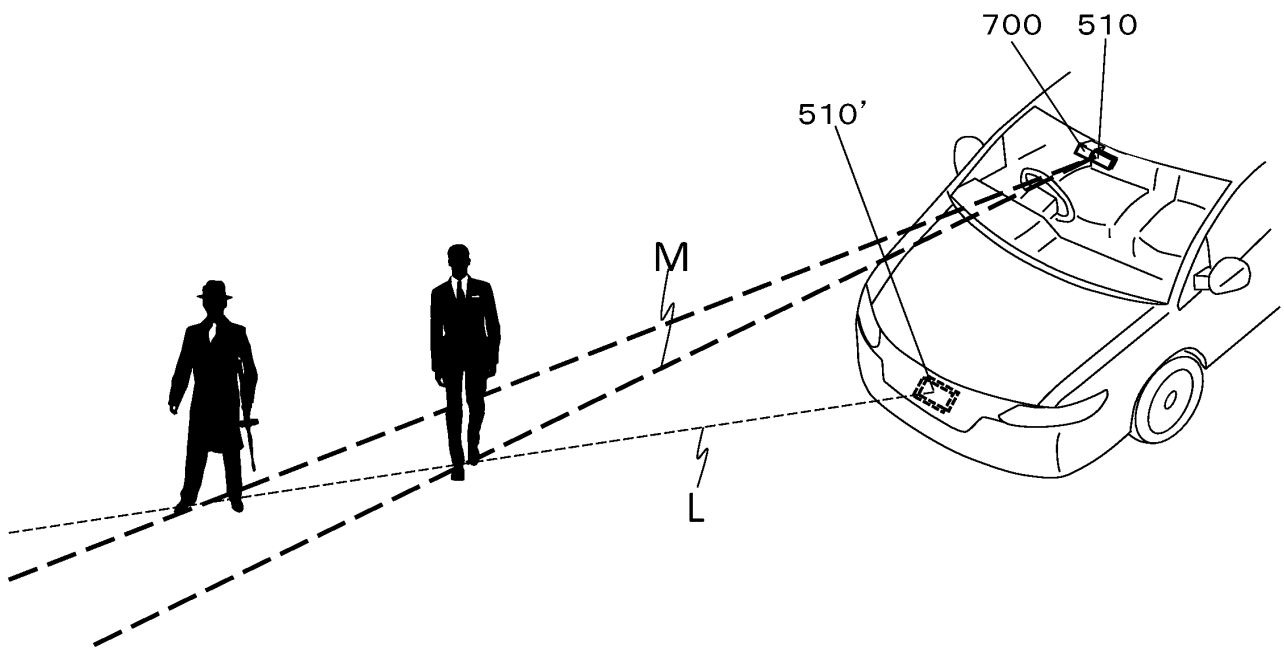


FIG. 40

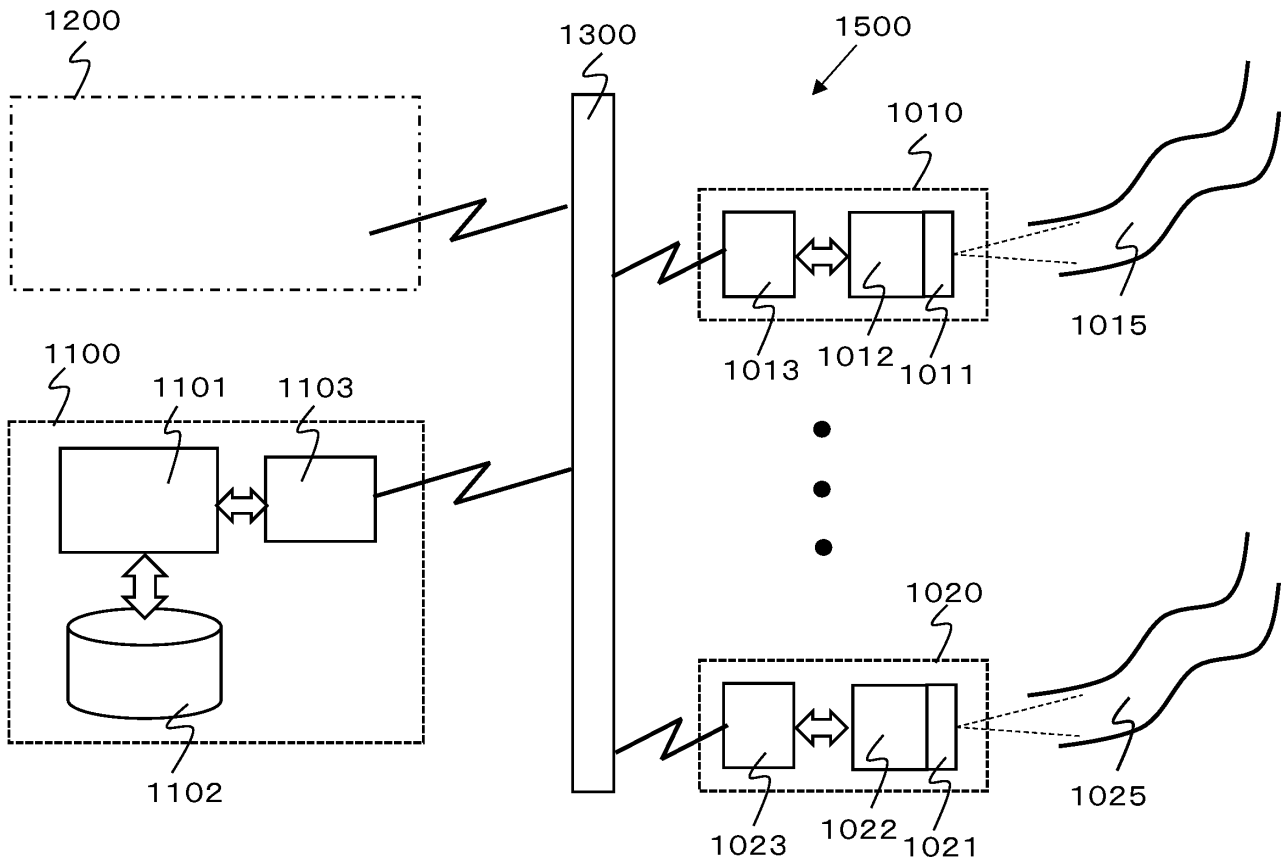


FIG. 41

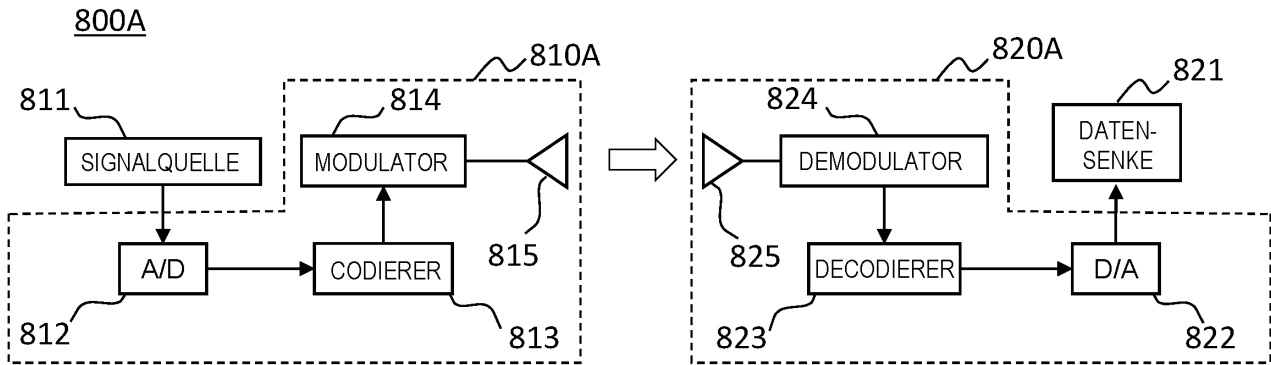


FIG. 42

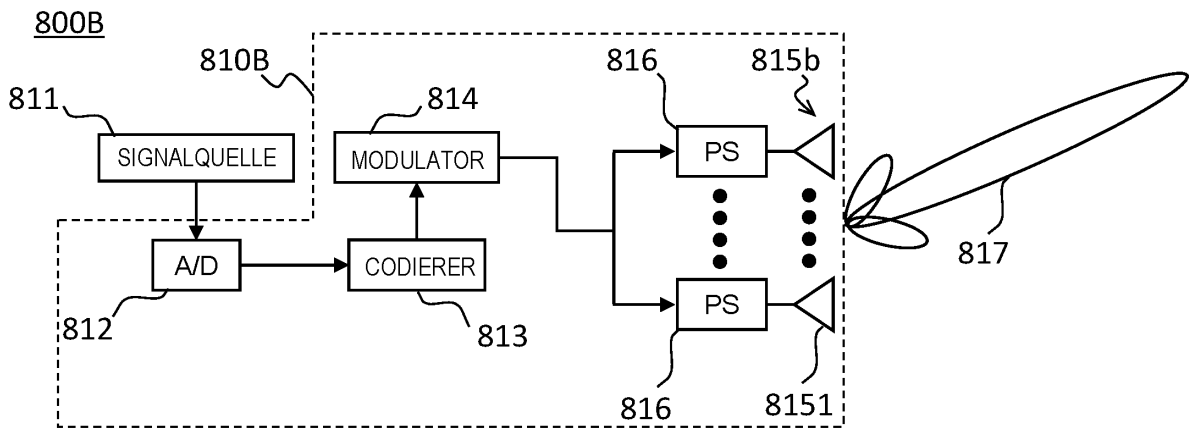


FIG. 43

