



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 212 501.0**

(22) Anmeldetag: **23.11.2022**

(43) Offenlegungstag: **23.05.2024**

(51) Int Cl.: **H01L 21/306** (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Thieringer, Cornelia, 72124 Pliezhausen, DE; Held,
Carmen, 89584 Ehingen, DE; Koppitz, Daniel,
72800 Eningen, DE; I Tomas, Rafel Ferre, 72766
Reutlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

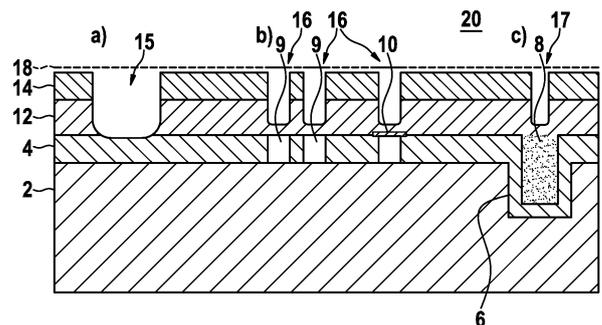
DE	102 22 589	A1
US	2003 / 0 064 521	A1
US	2008 / 0 240 188	A1
US	2010 / 0 227 471	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verbesserte Endpunkt-Erkennung eines Halbleiterätzvorgangs**

(57) Zusammenfassung: Offenbart ist ein Verfahren zur Endpunkt-Erkennung eines Halbleiterätzvorgangs, wobei mindestens eine Unterschicht auf ein Substrat abgeschieden wird, die Unterschicht in einem lokalen Bereich von mindestens einer durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierenden Struktur mit einer Markierung versehen wird, mindestens eine durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierende Schicht abgeschieden oder angeordnet wird, die zu strukturierende Schicht mit einer Ätzmaske bedeckt und der Halbleiterätzvorgang zum Herstellen von mindestens einer Struktur in der zu strukturierenden Schicht eingeleitet wird, ein Freilegen und/oder eine Wechselwirkung des Halbleiterätzvorgangs mit der Markierung ermittelt und der Halbleiterätzvorgang gestoppt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Endpunkt-Erkennung eines Halbleiterätzvorgangs.

Stand der Technik

[0002] Bei unterschiedlichen Halbleiterätzvorgängen, wie beispielsweise einem Plasmaätzprozess, ist eine sogenannte Endpunkt-Erkennung essentiell für eine kontrollierte und reproduzierbare Herstellung von Halbleiterbauteilen. Durch die Endpunkt-Erkennung wird der Moment, an dem eine zu ätzende Schicht verbraucht (geätzt) wird und die Oberfläche der Unterschicht gegenüber der Atmosphäre der Ätzkammer exponiert ist, registriert. In diesem Moment ändert sich die Chemie dieser Atmosphäre, welche mittels Massenspektroskopie gemessen und erkannt wird. Der Endpunkt wird als Auslöser für die Unterbrechung des Halbleiterätzvorgangs verwendet.

[0003] Üblicherweise wird ein sogenanntes Overetch angewandt, um eine vollständige Ätzung in allen Bereichen des Wafers sicherzustellen. Derartige Unregelmäßigkeiten während des Halbleiterätzvorgangs können beispielsweise durch einen inhomogenen Zustand der Ätzanlage, eine inhomogene Schichtdicke der zu ätzende Schicht oder den sogenannten ARDE (Aspect Ratio Dependent Etching)-Effekt verursacht werden.

[0004] Wird ein Endpunkt nicht richtig erkannt oder verpasst, kann der Halbleiterätzvorgang zu einer zu kurzen oder zu langen Ätzung führen, die vorgesehene Toleranzgrenzen überschreitet. Durch das Überschreiten der Toleranzgrenzen kann das entsprechende Halbleiterbauteil bzw. ein Wafer mit Halbleiterbauteilen nicht weiterverarbeitet werden, wodurch der Ausschuss bei der Herstellung steigt. Aus diesem Grund wird versucht während eines Halbleiterätzvorgang eine Variation der sogenannten kritischen Dimensionen bei dem Maskenlayout für das Halbleiterätzen möglichst gering zu halten, um den ARDE-Effekt zu minimieren.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe kann darin gesehen werden, ein Verfahren zum präzisen Ätzen von unterschiedlichen Strukturen in ein Halbleiterbauteil vorzuschlagen.

[0006] Diese Aufgabe wird mittels des jeweiligen Gegenstands der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von jeweils abhängigen Unteransprüchen.

[0007] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Endpunkt-Erkennung eines Halbleite-

rätzvorgangs bereitgestellt. In einem Schritt wird mindestens eine Unterschicht auf ein Substrat abgedeckt. Das Substrat kann beispielsweise ein Wafer oder ein Abschnitt eines Wafers sein. Vorteilhafterweise wird die Unterschicht in einem lokalen Bereich von mindestens einer durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierenden Struktur mit einer Markierung versehen.

[0008] Derartige lokale Bereiche können durch ein Maskenlayout für das Halbleiterätzen vorgegeben sein. Dabei können beispielsweise die Bereiche der Unterschicht, die unterhalb von zu ätzenden Stellen liegen, mit der Markierung versehen werden. Dabei können insbesondere diejenigen Bereiche mit einer chemischen Markierung versehen werden, die eine vordefinierte kritische Abmessung oder einen vordefinierten Bereich von möglichen kritischen Abmessungen aufweisen oder besonders klein gegenüber anderen zu ätzenden Bereichen ausgestaltet sind.

[0009] Beispielsweise können Strukturen mit einer geringen oder mittleren kritischen Dimension relativ zu kritischen Dimensionen von vorhandenen Strukturen des Layouts dazu eingesetzt werden als Basis für einen definierten Stopp des Halbleiterätzvorgangs zu dienen. Je nach Ausgestaltung kann die Markierung an allen Strukturen mit kritischen Dimensionen innerhalb eines Bereichs oder allen Strukturen mit einer bestimmten kritischen Dimension angebracht werden, um eine vollständige Ätzung derartiger, vordefinierter Strukturen zu gewährleisten.

[0010] In einem weiteren Schritt wird mindestens eine durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierende Schicht abgedeckt oder auf der Unterschicht angeordnet. Dabei kann die zu strukturierende Schicht beispielsweise auf die Unterschicht aufgedampft bzw. aufgewachsen oder beispielsweise in Form eines zweiten Wafers auf die Unterschicht gebondet werden.

[0011] Anschließend wird die zu strukturierende Schicht mit einer Ätzmaske bedeckt und der Halbleiterätzvorgang zum Herstellen von mindestens einer Struktur in der zu strukturierenden Schicht eingeleitet.

[0012] Durch den Halbleiterätzvorgang erfolgt nach einer Zeitdauer ein Freilegen und/oder eine Wechselwirkung des Halbleiterätzvorgangs mit der Markierung, die ermittelbar ist. Ein derartiges Ermitteln kann beispielsweise durch ein Detektieren von chemischen Elementen der Markierung und/oder von Reaktionsprodukten der Markierung durch den Halbleiterätzvorgang. Diese Ermittlung fungiert als eine Endpunkt-Erkennung bzw. ein Auslöser, wodurch der Halbleiterätzvorgang gestoppt wird.

[0013] Anstelle der Unterschicht, die bisher während des Halbleiterätzvorgangs zur Endpunkt-Erkennung herangezogen wurde und bei größeren kritischen Dimensionen besonders schnell während des Halbleiterätzvorgangs freilegbar ist, wird nun ein Stoff oder ein Element der Markierung in Bereichen mit geringerer kritischer Dimension zur Endpunkt-Erkennung herangezogen, wodurch auch besonders feine oder kleine Strukturen im Maskenlayout vollständig und präzise geätzt werden können. Das Ablagern oder Einschließen der chemischen oder physikalischen Markierung erfolgt lokal bzw. ortsaufgelöst und erzeugt ein eigenes Muster bei der Auswertung durch Massenspektroskopie.

[0014] Durch das Verfahren kann der ARDE-Effekt, insbesondere bei DRIE (Deep Reactive Ion Etching)-Prozessen, besonders effizient bei der Endpunkt-Erkennung berücksichtigt werden.

[0015] Bei einem Ausführungsbeispiel wird die mindestens eine lokale Markierung in Form einer Dotierung bereichsweise in die Unterschicht eingebracht. Hierdurch kann die Markierung lokal bzw. örtlich begrenzt auf bestimmte Bereiche der Unterschicht durch Dotieren appliziert werden. Beispielsweise können die zu markierenden Bereiche durch Ionenimplantation, durch Abscheidung und dergleichen lokal dotiert werden. Werden diese Bereiche während des Halbleiterätzvorgangs freigelegt, können die Fremdatome der Dotierung an die Ätzatmosphäre gelangen und dort zur Endpunkt-Erkennung detektiert werden.

[0016] Nach einer weiteren Ausführungsform wird die mindestens eine lokale Markierung in Form einer bereichsweisen Beschichtung auf die Unterschicht aufgebracht. Durch ein bereichsweises Abscheiden einer zusätzlichen Schicht als Markierung kann die Endpunkt-Erkennung gezielt auf das erfolgreiche bzw. vollständige Ätzen der markierten Bereiche konzentriert werden. Insbesondere kann ein Freilegen oder eine Wechselwirkung der zusätzlichen Schicht während des Halbleiterätzvorgangs zu detektierbaren Stoffen in der Ätzatmosphäre führen.

[0017] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird mindestens eine Kaverne in dem Substrat und/oder in der Unterschicht ausgebildet. Die mindestens eine lokale Markierung ist dabei in Form eines Gases ausgestaltet und wird in der Kaverne eingeschlossen. Eine derartige Markierung kann zu einer besonders robusten Endpunkt-Erkennung führen, da die Menge bzw. Konzentration des Stoffs der Markierung nach einem Freilegen der Kaverne in der Ätzatmosphäre deutlich ansteigt und zuverlässig detektiert werden kann.

[0018] Nach einer weiteren Ausführungsform wird die zu strukturierenden Schicht als ein Silicon-on-

Insulator Wafer auf der Unterschicht angeordnet. Vorteilhafterweise wird durch das Anordnen der zu strukturierenden Schicht die mindestens eine Kaverne verschlossen. Hierdurch kann diese Form der Markierung besonders vorteilhaft bei Halbleiterbauteilen eingesetzt werden, bei welchen ein zu strukturierender Wafer auf ein Substrat bzw. einen Grundwafer gebondet wird. Der Verschluss der Kavität kann hierdurch technisch besonders einfach ausgestaltet sein. Durch die Anordnung des zu strukturierenden Wafers in einer Gasatmosphäre, die chemische Elemente oder Moleküle der Markierung enthält, kann die Markierung zeitgleich mit dem Verbindungsschritt der Wafer in die Kaverne eingebracht werden.

[0019] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die Markierung im Bereich von mindestens einer zu strukturierenden Struktur bzw. eines zu strukturierenden Bereichs der Schicht appliziert, welche eine geringe kritische Abmessung aufweist. Durch diese Maßnahme können die durch den ARDE-Effekt benachteiligten Strukturen aufgrund der geringeren kritischen Dimension gezielt als Basis für die Endpunkt-Erkennung herangezogen werden. Das erstmalige Freilegen der Unterschicht, welches insbesondere bei Strukturen mit größeren kritischen Dimensionen gegenüber Strukturen mit kleineren kritischen Dimensionen schneller erzielt wird, reicht somit nicht aus, um den Halbleiterätzvorgang zu beenden. Ein unzureichendes oder unvollständiges Ergebnis des Halbleiterätzvorgangs kann somit vermieden werden.

[0020] Nach einer weiteren Ausführungsform wird die Markierung in einem Bereich unterhalb von mindestens einer zu strukturierenden Struktur der Schicht appliziert, welche von einer Vielzahl von zu strukturierenden Strukturen eine geringste kritische Abmessung aufweist. Hierdurch wird sichergestellt, dass selbst die feinsten bzw. kleinsten zu ätzenden Strukturen vollständig durch den Materialabtrag des Halbleiterätzvorgangs geformt werden.

[0021] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird während des Halbleiterätzvorgangs eine Atmosphärenchemie gemessen. Der Halbleiterätzvorgang wird vorteilhafterweise gestoppt, wenn zusätzlich oder anstelle des Materials der Unterschicht mindestens ein Material der Markierung in einer Prozessatmosphäre des Halbleiterätzvorgangs registriert wird. Somit kann anstelle oder zusätzlich zu einer alleinigen Erkennung der chemischen Bestandteile der Markierung in der Ätzatmosphäre auch eine und-Verknüpfung zwischen den detektierten chemischen Bestandteilen der Unterschicht und den chemischen Bestandteilen der Markierung zur Endpunkt-Erkennung genutzt werden.

[0022] Nach einer weiteren Ausführungsform wird der Halbleiterätzvorgang zeitverzögert gestoppt. Hierdurch kann eine definierte Overetch-Zeit vorgesehen sein, die als Sicherheitspuffer zur gleichzeitigen Landungen bzw. Freilegung aller Bereiche der zu strukturierenden Schicht fungiert.

[0023] Im Folgenden werden anhand von stark vereinfachten schematischen Darstellungen bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Hierbei zeigen

Fig. 1-6 schematische Schnittdarstellungen zum Veranschaulichen eines erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einer Ausführungsform.

[0024] Die **Fig. 1** bis **6** veranschaulichen beispielhaft die jeweiligen Schritte eines Verfahrens zur Endpunkt-Erkennung eines Halbleiterätzvorgangs gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform. Der Halbleiterätzvorgang kann beispielsweise als ein DRIE-Prozess ausgestaltet sein.

[0025] In einem Schritt, welcher in der **Fig. 1** gezeigt ist, wird beispielhaft eine Unterschicht 4 auf ein Substrat 2 abgeschieden. Das Substrat 2 kann beispielsweise ein Silizium-Wafer oder ein Abschnitt eines Wafers sein, welcher als Basis für ein späteres Halbleiterbauteil dient.

[0026] In einem Bereich c (s. **Fig. 4**) der Unterschicht 4 wird eine Kavität 6 ausgebildet. Diese Kavität 6 ist beispielsweise durch einen lokalen Trench des Substrats 2 geformt.

[0027] In einem weiteren Schritt des Verfahrens wird die Unterschicht 4 in mindestens einem lokalen Bereich b, c von mindestens einer durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierenden Struktur 15, 16, 17 12 mit einer Markierung 8, 9, 10 versehen. Dieser Schritt ist in der **Fig. 2** veranschaulicht.

[0028] Derartige lokale Bereiche b, c können durch ein Maskenlayout einer Maskierungsschicht 14 für das Halbleiterätzen vorgegeben sein. Dabei können beispielsweise die Bereiche der Unterschicht 2, die unterhalb von zu ätzenden Stellen 16 liegen, mit der Markierung 8, 9, 10 versehen werden.

[0029] Zum Veranschaulichen des Verfahrens wird die Unterschicht 4 bereichsweise mit einer Markierung in Form einer Dotierung 9, durch eine Markierung in Form einer Beschichtung 10 und durch eine Markierung in Form eines in der Kavität 6 eingeschlossenen Gases 8 ausgebildet.

[0030] Die **Fig. 3** zeigt einen weiteren Schritt des Verfahrens, bei dem mindestens eine durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierende Schicht 12 abgeschieden oder auf der Unterschicht 4 angeordnet wird. Beispielhaft ist die zu strukturierende

Schicht 12 als ein Wafer bzw. Silicon-on-Insulator Wafer ausgestaltet und wird durch Bonden auf der Unterschicht 4 angeordnet. Dabei sollen in den Bereichen b und c Strukturen 16, 17 in die zu strukturierende Schicht 12 eingebracht werden, die besonders geringe kritische Dimensionen aufweisen. Im Bereich c sollen die einzubringenden Strukturen 17 eine geringste kritische Dimension aufweisen.

[0031] Anschließend wird die zu strukturierende Schicht 12 mit einer Ätzmaske bzw. Maskierungsschicht 14 bedeckt und der Halbleiterätzvorgang zum Herstellen von Strukturen 15, 16, 17 (s. **Fig. 5**) in der zu strukturierenden Schicht 12 eingeleitet. Zuvor kann die Maskierungsschicht 14 definiert bzw. vorbereitet werden. Die ursprüngliche Oberfläche 18 der Maskierungsschicht 14 ist zum Nachvollziehen des Halbleiterätzvorgangs veranschaulicht.

[0032] Im dargestellten Ausführungsbeispiel weist eine erste zu ätzende Struktur 15 eine größte kritische Dimension auf und ist bedingt durch den ARDE-Effekt am schnellsten geätzt. Dies ist in der **Fig. 5** veranschaulicht. Dabei wird die erste Struktur im Bereich a am schnellsten geätzt, wodurch die Unterschicht 4 im Bereich a zuerst durch den Halbleiterätzvorgang freigelegt wird. Diese Landung wird nicht zur Endpunkt-Erkennung herangezogen, da die zu ätzenden Strukturen 16, 17 in den Bereichen b und c hierdurch nur unvollständig geformt wären.

[0033] Nach einer weiteren Zeitdauer erfolgt ein Freilegen und/oder Wechselwirken des Halbleiterätzvorgangs mit den Markierungen 8, 9, 10 an bzw. in der Unterschicht 4. Dieses Freilegen und ein Freisetzen der chemischen Bestandteile der Markierungen 8, 9, 10 an die Ätzatmosphäre 20 ist schematisch durch die vertikalen Pfeile in der **Fig. 6** gezeigt. Die in die Ätzatmosphäre 20 gelangten chemischen Bestandteile der Markierungen 8, 9, 10 können direkt oder zeitverzögert detektiert werden, um den Halbleiterätzvorgang anzuhalten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Endpunkt-Erkennung eines Halbleiterätzvorgangs, wobei
 - mindestens eine Unterschicht (4) auf ein Substrat (2) abgeschieden wird,
 - die Unterschicht (4) in einem lokalen Bereich (b, c) von mindestens einer durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierenden Struktur (16, 17) mit einer Markierung (8, 9, 10) versehen wird,
 - mindestens eine durch den Halbleiterätzvorgang zu strukturierende Schicht (12) abgeschieden oder angeordnet wird,
 - die zu strukturierende Schicht (12) mit einer Ätzmaske (14) bedeckt und der Halbleiterätzvorgang zum Herstellen von mindestens einer Struktur (15, 16, 17) in der zu strukturierenden Schicht (12) ein-

geleitet wird,

- ein Freilegen und/oder eine Wechselwirkung des Halbleiterätzvorgangs mit der Markierung (8, 9, 10) ermittelt und der Halbleiterätzvorgang gestoppt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine lokale Markierung in Form einer Dotierung (9) bereichsweise in die Unterschicht (4) eingebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die mindestens eine lokale Markierung in Form einer bereichsweisen Beschichtung (10) auf die Unterschicht (4) aufgebracht wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei mindestens eine Kaverne (6) in dem Substrat (2) und/oder in der Unterschicht (4) ausgebildet wird, wobei die mindestens eine lokale Markierung in Form eines Gases (8) ausgestaltet ist und in der Kaverne (6) eingeschlossen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die zu strukturierende Schicht (12) als ein Silicon-on-Insulator Wafer auf der Unterschicht (4) angeordnet wird, wobei durch das Anordnen der zu strukturierenden Schicht (12) die mindestens eine Kaverne (6) verschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Markierung (8, 9, 10) im Bereich (b, c) von mindestens einer zu formende Struktur (16, 17) der Schicht (12) appliziert wird, welche eine vordefinierte kritische Abmessung aufweist oder innerhalb eines vordefinierten Bereichs von möglichen kritischen Abmessungen liegt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Markierung (8, 9, 10) in einem Bereich (c) unterhalb von mindestens einer zu formenden Struktur (17) der Schicht appliziert wird, welche von einer Vielzahl von zu strukturierenden Strukturen (15, 16, 17) eine Struktur (17) mit einer geringsten kritischen Abmessung aufweist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei während des Halbleiterätzvorgangs eine Atmosphärenchemie in einer Ätzatmosphäre (20) gemessen wird, wobei der Halbleiterätzvorgang gestoppt wird, wenn zusätzlich oder anstelle von chemischen Bestandteilen der Unterschicht (4) mindestens ein Material der Markierung (8, 9, 10) in einer Ätzatmosphäre (20) des Halbleiterätzvorgangs registriert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Halbleiterätzvorgang zeitverzögert gestoppt wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

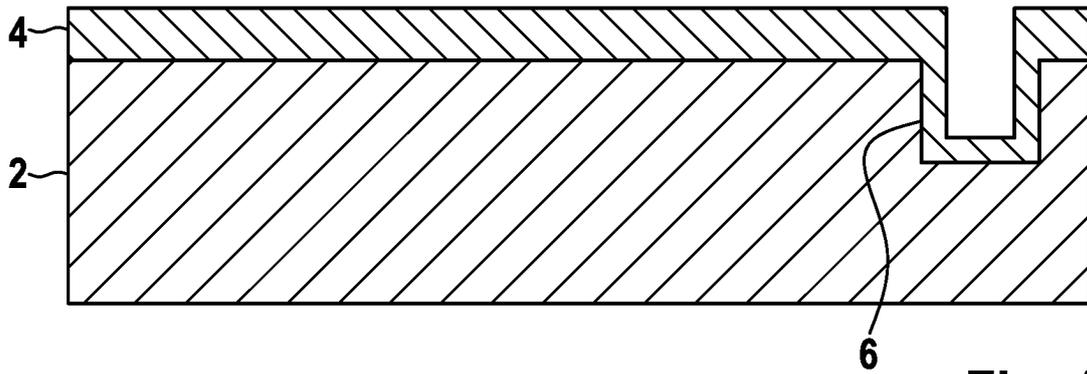


Fig. 1

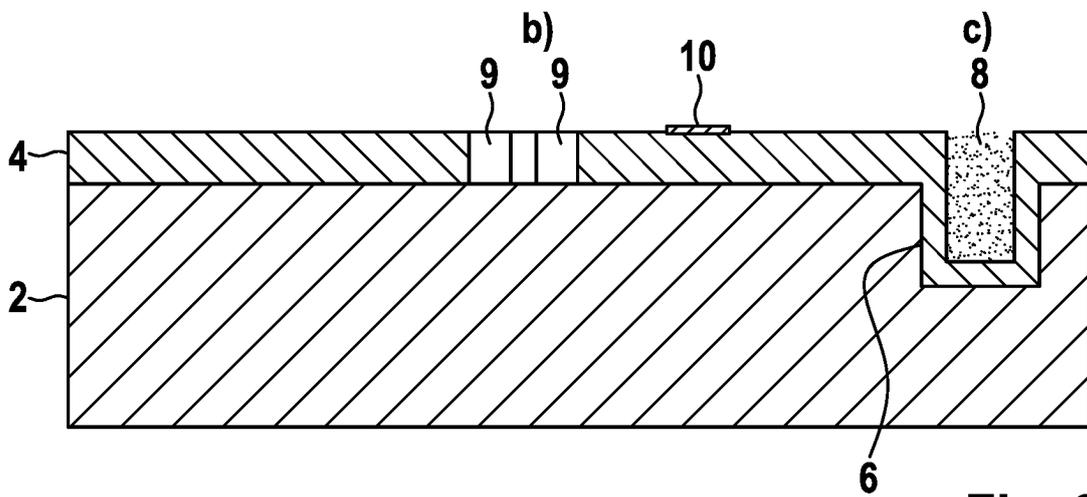


Fig. 2

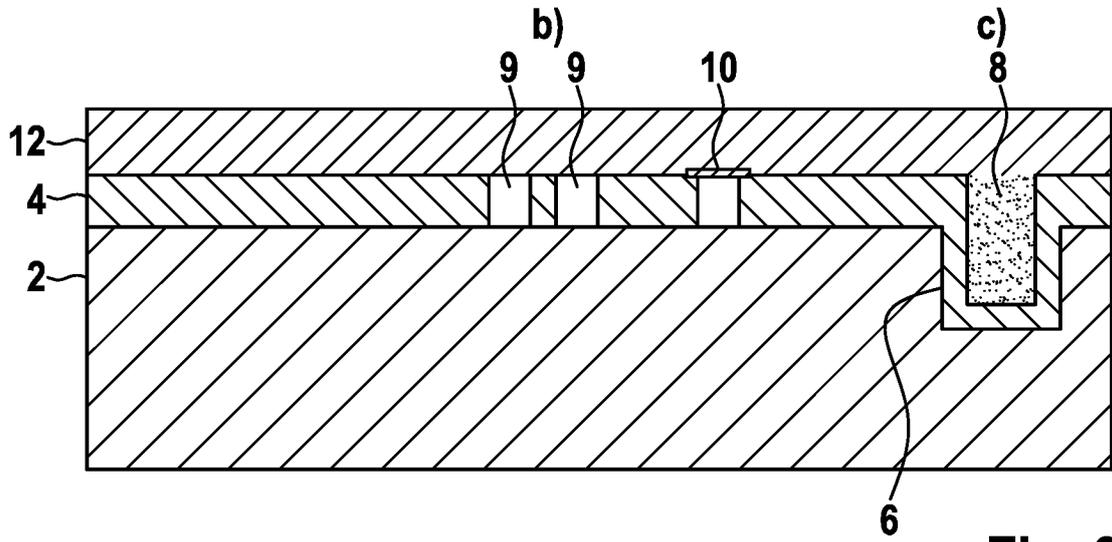


Fig. 3

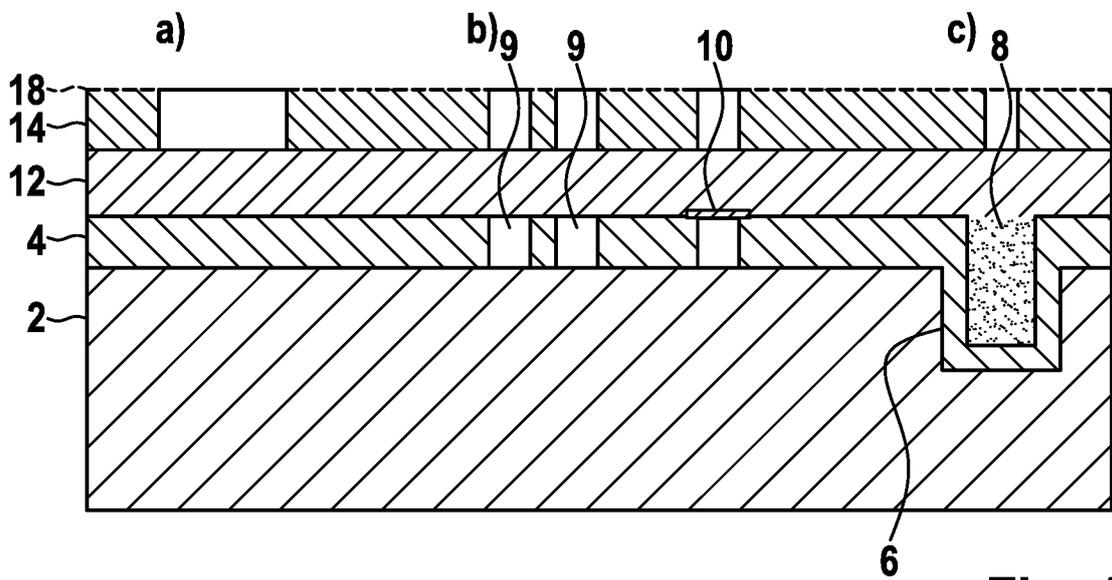


Fig. 4

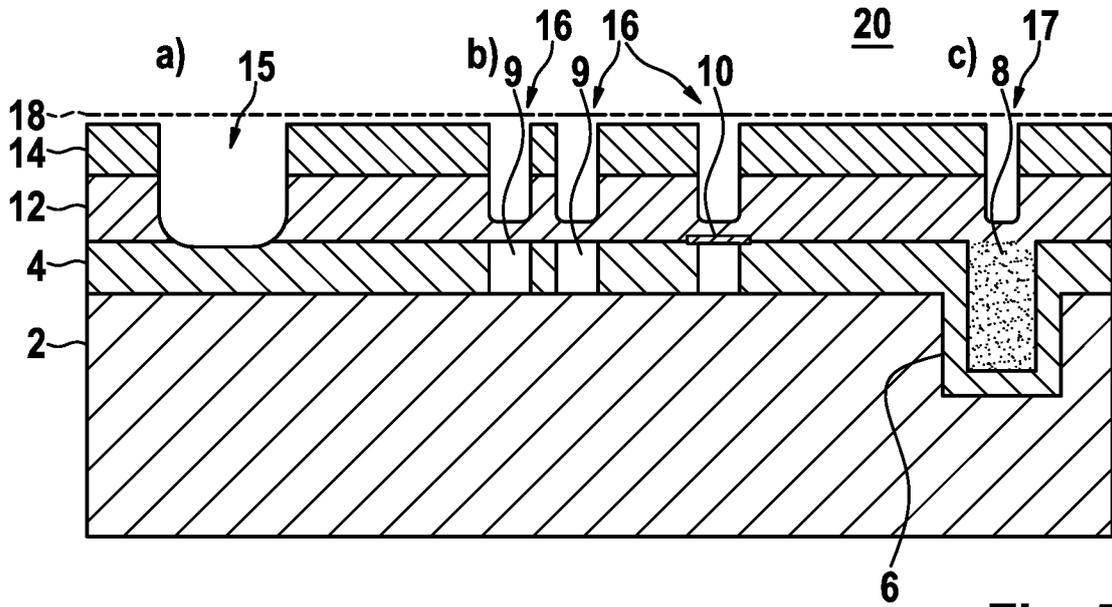


Fig. 5

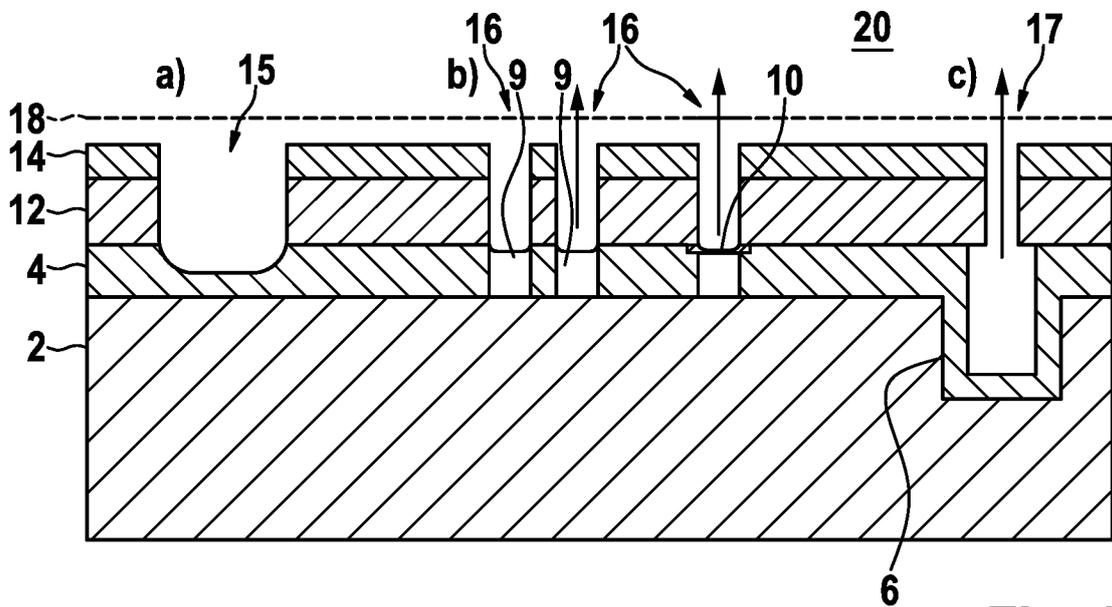


Fig. 6