



(10) **DE 10 2009 026 639 A1** 2010.12.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 026 639.9**

(22) Anmeldetag: **02.06.2009**

(43) Offenlegungstag: **09.12.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B81B 7/02** (2006.01)

**B81B 3/00** (2006.01)

**B81C 1/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

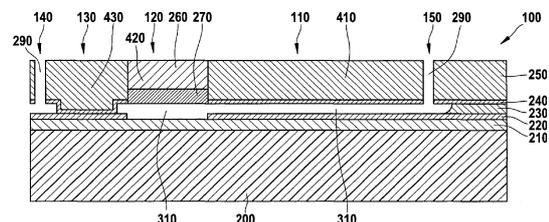
(72) Erfinder:

**Reinmuth, Jochen, 72766 Reutlingen, DE; Butz,  
Juergen, 72770 Reutlingen, DE; Will, Barbara,  
71083 Herrenberg, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Elektromechanische Mikrostruktur**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Mikrostruktur weist Verfahrensschritte auf zum Vorsehen eines Substratwafers mit einer lateralen Substratoberfläche, zum Abscheiden einer ersten dielektrischen Schicht auf der Substratoberfläche, zum Abscheiden und Strukturieren einer leitfähigen Schicht, wobei die leitfähige Schicht in einem lateralen Federaufhängbereich, in einem lateralen MEMS-Bereich und in einem lateralen Zuleitungsbereich verbleibt, und wobei in übrigen lateralen Bereichen die erste dielektrische Schicht freigelegt wird, zum Abscheiden und Strukturieren einer zweiten dielektrischen Schicht, wobei im Federaufhängbereich die leitfähige Schicht freigelegt wird, und wobei in einem lateralen Federtrennbereich die Substratoberfläche freigelegt wird, zum Abscheiden und Strukturieren einer Schicht aus polykristallinem Silizium, wobei im Federtrennbereich die Substratoberfläche freigelegt wird, und wobei in einem lateralen Federbereich die erste oder die zweite dielektrische Schicht freigelegt wird, zum epitaktischen Abscheiden von Silizium, zum Strukturieren des abgeschiedenen Siliziums, wobei in einem den Federaufhängbereich, den Federbereich und den MEMS-Bereich umgebenden Bereich die erste oder die zweite dielektrische Schicht oder die Substratoberfläche freigelegt wird, und zum Herauslösen der ersten und/oder der zweiten dielektrischen Schicht im MEMS-Bereich und im Federbereich.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Mikrostruktur gemäß Patentanspruch 1 sowie ein Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Mikrostruktur gemäß Patentanspruch 7.

## Stand der Technik

**[0002]** Aus Halbleitersubstraten gefertigte elektromechanische Mikrostrukturen (MEMS) sind bekannt. Solche MEMS-Strukturen weisen üblicherweise Federelemente und bewegliche Komponenten auf. Es ist bekannt, polykristalline MEMS-Strukturen herzustellen. Dabei wird auf einer Oxidschicht eine polykristalline Silizium-Startschicht abgeschieden, die über eine epitaktische Abscheidung aufgedickt wird. Durch geeignete Prozessführung können unter der MEMS-Struktur Kontaktflächen, Leiterbahnen und Elektroden integriert werden. Dies ist beispielsweise in der DE 195 37 814 beschrieben.

**[0003]** Weiter ist die Herstellung einkristalliner MEMS-Strukturen mit Hilfe von SOI-Substraten bekannt. Kontaktflächen, Leiterbahnen und Elektroden müssen in dieser Technik aufwendig oberhalb der MEMS-Struktur angebracht werden.

**[0004]** Weiterhin ist bekannt, dass Oxidschichten mittels einer epitaktischen Abscheidung von lateral benachbarten einkristallinen Bereichen aus einkristallin überwachsen werden können. Dies ist beispielsweise in den Publikationen [1],[2] und [3] beschrieben.

[1] "A micromachining technique for a thin silicon membrane using merged epitaxial lateral overgrowth of silicon and SiO<sub>2</sub> for an etch-stop", James J. Pak, Abul E. Kabir, Gerold W. Neudeck, James H. Logsdon, David R. DeRoo and Steven E. Staller, TRANSDUCERS '91, 1991 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators. Digest of Technical Papers (Cat. No. 91CH2817-5), San Francisco, CA, USA, 24–27 June 1991/1991/4160016

[2] "Automatic etch stop on buried oxide using epitaxial lateral overgrowth", Gennisen P. T. J., Bartek M., French P. J., Sarro P. M., Wolfenbuttel R. F., Proceedings of the International Solid-State Sensors and Actuators Conference – TRANSDUCERS '95; Stockholm, Sweden, 25–29 June 1995/1995/5248250 CA Conference Paper (C)

[3] "A new epitaxial lateral overgrowth silicon bipolar transistor", Gerold W. Neudeck, IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-8, No. 10, October 1987

## Offenbarung der Erfindung

**[0005]** Eine erfindungsgemäße elektromechanische Mikrostruktur umfasst ein bewegliches Element, das über ein Federelement mit einem Substrat verbunden ist. Dabei weist entweder das bewegliche Ele-

ment einen Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium und das Federelement einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium, oder das bewegliche Element einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium und das Federelement einen Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium auf. Vorteilhafterweise wird im einkristallinen Bereich dieser elektromechanischen Mikrostruktur eine durch die statistische Verteilung der Kristallorientierungen der Einzelkristalle bewirkte Anisotropie vermieden.

**[0006]** Bevorzugt weist das bewegliche Element einen Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium und das Federelement einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium auf. Ein Vorteil einer solchen elektromechanischen Mikrostruktur mit einkristallinem Federelement besteht darin, dass im Vergleich zu einem Federelement aus polykristallinem Material eine durch die statistische Verteilung der Kristallorientierungen der Einzelkristalle innerhalb des Federelements bewirkte Vorausslenkung des Federelements vermieden wird. Dadurch werden beispielsweise die Eigenschaftsstreuungen der Federelemente bei Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren mit dünnen Federelementen reduziert.

**[0007]** Bevorzugt ist das bewegliche Element über das Federelement mit einer Federaufhängung verbunden und die Federaufhängung mit dem Substrat verbunden. Vorteilhafterweise bilden das bewegliche Element und das Federelement dann ein relativ zum Substrat auslenkbares Feder-Masse-System.

**[0008]** Bevorzugt weist auch die Federaufhängung einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium auf. Dadurch können vorteilhafterweise Übergangseffekte zwischen polykristallinen und einkristallinen Bereichen vermieden werden.

**[0009]** Zweckmäßigerweise ist das bewegliche Element elektrisch leitfähig an eine Zuleitung gekoppelt, die in einer mit dem Substrat verbundenen leitfähigen Schicht angeordnet ist. Die erlaubt es vorteilhafterweise, das bewegliche Element als bewegliche Elektrode zu verwenden.

**[0010]** Ebenfalls zweckmäßig ist es, unterhalb des beweglichen Elements eine mit dem Substrat verbundene Elektrode anzuordnen. Dann können das bewegliche Element und die Elektrode als Plattenkondensator mit variablem Plattenabstand verwendet werden. Dazu ist das bewegliche Element bevorzugt elektrisch von der unterhalb des beweglichen Elements angeordneten Elektrode isoliert.

**[0011]** Bevorzugt sind die unterhalb des beweglichen Elements angeordnete Elektrode und die elektrisch leitfähig an das bewegliche Element gekoppel-

te Zuleitung elektrisch von dem Substrat isoliert.

**[0012]** In einer Ausführungsform der elektromechanischen Mikrostruktur ist die Mikrostruktur Teil eines Drehraten- oder Beschleunigungssensors. Vorteilhafterweise streuen die Eigenschaften solcher Drehraten- oder Beschleunigungssensoren mit einkristallinem Federelement weniger stark als solche mit polykristallinem Federelement.

**[0013]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Mikrostruktur weist Verfahrensschritte auf zum Ausbilden eines beweglichen Elements und zum Ausbilden eines Federelements, das das bewegliche Element mit dem Substrat verbindet. Dabei wird entweder das bewegliche Element mit einem Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium und das Federelement mit einem Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium ausgebildet, oder das bewegliche Element mit einem Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium und das Federelement mit einem Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium ausgebildet. Vorteilhafterweise eignet sich dieses Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Mikrostruktur mit gemischten einkristallinen und polykristallinen Bereichen. Vorteilhafterweise wird im einkristallinen Bereich einer nach diesem Verfahren hergestellten elektromechanischen Mikrostruktur eine durch die statistische Verteilung der Kristallorientierungen der Einzelkristalle bewirkte Anisotropie vermieden.

**[0014]** Bevorzugt wird das bewegliche Element mit einem Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium und das Federelement mit einem Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium ausgebildet. Ein Vorteil einer nach diesem Verfahren hergestellten elektromechanischen Mikrostruktur mit einkristallinem Federelement besteht darin, dass im Vergleich zu einem Federelement aus polykristallinem Material eine durch die statistische Verteilung der Kristallorientierungen der Einzelkristalle innerhalb des Federelements bewirkte Vorauslenkung des Federelements vermieden wird. Dadurch werden beispielsweise die Eigenschaftsstreuungen der Federelemente bei Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren mit dünnen Federelementen reduziert.

**[0015]** Bevorzugt werden zum Ausbilden des beweglichen Elements und des Federelements Verfahrensschritte ausgeführt zum Ausbilden eines lateralen Federbereichs mit einer dielektrischen Schicht auf dem Substrat, zum Ausbilden eines lateralen Bereichs mit einer Schicht aus polykristallinem Silizium auf dem Substrat, zum Ausbilden eines lateralen Federtrennbereichs mit einer freiliegenden Substratoberfläche auf dem Substrat, und zum epitaktischen Abscheiden von Silizium. Vorteilhafterweise können

dadurch während des epitaktischen Abscheidens gleichzeitig polykristalline und einkristalline Bereiche erzeugt und die dielektrische Schicht wahlweise einkristallin oder polykristallin überwachsen werden.

**[0016]** Bevorzugt werden zum Ausbilden der unterschiedlichen lateralen Bereiche auf dem Substrat Verfahrensschritte ausgeführt zum Vorsehen eines Substratwafers mit einer lateralen Substratoberfläche, zum Abscheiden einer ersten dielektrischen Schicht auf der Substratoberfläche, zum Abscheiden und Strukturieren einer leitfähigen Schicht, wobei die leitfähige Schicht in dem lateralen Federaufhängbereich, in einem lateralen MEMS-Bereich und in einem lateralen Zuleitungsbereich verbleibt, und wobei in übrigen lateralen Bereichen die erste dielektrische Schicht freigelegt wird, zum Abscheiden und Strukturieren einer zweiten dielektrischen Schicht, wobei im Federaufhängbereich die leitfähige Schicht freigelegt wird, und wobei in dem lateralen Federtrennbereich die Substratoberfläche freigelegt wird, und zum Abscheiden und Strukturieren einer Schicht aus polykristallinem Silizium, wobei im Federtrennbereich die Substratoberfläche freigelegt wird, und wobei in einem lateralen Federbereich die erste oder die zweite dielektrische Schicht freigelegt wird. Außerdem werden nach dem epitaktischen Abscheiden von Silizium Verfahrensschritte ausgeführt zum Strukturieren des abgeschiedenen Siliziums, wobei in einem den Federaufhängbereich, den Federbereich und den MEMS-Bereich umgebenden Bereich die erste oder die zweite dielektrische Schicht oder die Substratoberfläche freigelegt wird, und zum Herauslösen der ersten und/oder der zweiten dielektrischen Schicht im MEMS-Bereich und im Federbereich. Vorteilhafterweise eignet sich dieses Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Mikrostruktur mit gemischten einkristallinen und polykristallinen Bereichen. Dabei ist es auch möglich, unter den beweglichen Strukturen der elektromechanischen Mikrostruktur Kontaktflächen, Leiterbahnen und Elektroden anzuordnen. Vorteilhafterweise gestattet es das Verfahren insbesondere, elektromechanische Mikrostrukturen mit einkristallinen Federn herzustellen. Diese haben gegenüber polykristallinen Federn den Vorteil, eine durch eine statistische Verteilung der Kristallorientierungen der Einzelkristalle des polykristallinen Materials der Feder bewirkte Vorauslenkung der Feder zu vermeiden. Dadurch wird die Streuung der Eigenschaften der nach dem angegebenen Verfahren hergestellten Mikrostrukturen drastisch reduziert. Vorteilhafterweise werden dadurch Bauteile mit schmalen und kürzeren Federn ermöglicht. Ein weiterer Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens besteht darin, dass es nur geringe Änderungen der bisher verwendeten Prozesse erfordert und sich daher kostengünstig durchführen lässt. Insbesondere werden keine zusätzlichen Prozessschritte benötigt.

**[0017]** Gemäß einer Ausführungsform des Verfah-

rens wird der Federbereich in eine laterale y-Richtung beidseitig durch den Federtrennbereich begrenzt, wobei während des Strukturierens des abgetrennten Siliziums die zweite dielektrische Schicht auch in einem Teil des Federbereichs freigelegt wird und das verbleibende Silizium im Federbereich in y-Richtung asymmetrisch auf der zweiten dielektrischen Schicht angeordnet ist. Vorteilhafterweise kann dadurch das Auftreten einer kristallinen Versetzungslinie innerhalb der Feder der elektromechanischen Mikrostruktur vermieden werden, wodurch eine durch eine solche Versetzungslinie bewirkte Vorauslenkung der Feder vermieden wird.

**[0018]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird der Federbereich in eine laterale y-Richtung beidseitig durch den Federtrennbereich begrenzt, wobei vor dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums die Substratoberfläche im Federtrennbereich auf einer Seite des Federbereichs durch einen Ätzschritt, beispielsweise einen SF<sub>6</sub>-Plasma-Ätzprozess, teilweise entfernt wird. Vorteilhafterweise lässt sich auch dadurch das Auftreten einer kristallinen Versetzungslinie in der Feder der elektromechanischen Mikrostruktur und damit auch eine Vorauslenkung der Feder vermeiden.

**[0019]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird der Federbereich in eine laterale y-Richtung beidseitig durch den Federtrennbereich begrenzt, wobei nur im Federtrennbereich auf einer Seite des Federbereichs die Substratoberfläche nach dem Abscheiden der zweiten dielektrischen Schicht und nach dem Abscheiden der Schicht aus polykristallinem Silizium freigelegt wird, und wobei im Federtrennbereich auf der anderen Seite des Federbereichs vor dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums die zweite dielektrische Schicht freigelegt wird. Vorteilhafterweise lässt sich auch dadurch das Auftreten einer kristallinen Versetzungslinie in der Feder der elektromechanischen Mikrostruktur und eine dadurch bewirkte Vorauslenkung der Feder vermeiden.

**[0020]** Zweckmäßigerweise besteht die leitfähige Schicht aus polykristallinem Silizium, das nach dem Abscheiden dotiert wird. Vorteilhafterweise lassen sich auf diese Weise einfach und kostengünstig Leiterbahnen und Gatterelektroden herstellen.

**[0021]** Bevorzugt erfolgt nach dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums zusätzlich ein Planarisieren durch chemisch-mechanisches Polieren. Vorteilhafterweise lassen sich dadurch laterale Höhenunterschiede ausgleichen.

**[0022]** Zweckmäßigerweise wird die zweite dielektrische Schicht mittels TEOS-Abscheidung abgetrennt.

**[0023]** Zweckmäßigerweise erfolgt das Herauslö-

sen der zweiten dielektrischen Schicht mittels eines Gasphasenätzschritts. Vorteilhafterweise lässt sich die zweite dielektrische Schicht dann als Opferschicht nutzen.

**[0024]** Die Erfindung wird nun anhand der beigefügten Figuren näher erläutert. Dabei werden für gleiche oder gleich wirkende Elemente einheitliche Bezugszeichen verwendet. Es zeigen:

**[0025]** [Fig. 1](#) eine Übersicht über verschiedene laterale Bereiche einer elektromechanischen Mikrostruktur;

**[0026]** [Fig. 2](#) eine Aufsicht auf ein Substrat;

**[0027]** [Fig. 3](#) einen Schnitt durch ein Substrat mit einer aufgetragenen ersten dielektrischen Schicht;

**[0028]** [Fig. 4](#) eine Aufsicht auf ein Substrat mit einer strukturierten leitfähigen Schicht;

**[0029]** [Fig. 5](#) einen Schnitt durch ein Substrat mit einer strukturierten leitfähigen Schicht;

**[0030]** [Fig. 6](#) eine Aufsicht auf ein Substrat mit einer strukturierten zweiten dielektrischen Schicht;

**[0031]** [Fig. 7](#) einen ersten Schnitt durch ein Substrat mit einer strukturierten zweiten dielektrischen Schicht;

**[0032]** [Fig. 8](#) einen zweiten Schnitt durch ein Substrat mit einer strukturierten zweiten dielektrischen Schicht;

**[0033]** [Fig. 9](#) eine Aufsicht auf ein Substrat mit einer strukturierten Schicht aus polykristallinem Silizium;

**[0034]** [Fig. 10](#) einen ersten Schnitt durch ein Substrat mit einer strukturierten Schicht aus polykristallinem Silizium;

**[0035]** [Fig. 11](#) einen zweiten Schnitt durch ein Substrat mit einer strukturierten Schicht aus polykristallinem Silizium;

**[0036]** [Fig. 12](#) eine Aufsicht auf ein Substrat mit einer Epitaxieschicht;

**[0037]** [Fig. 13](#) einen ersten Schnitt durch ein Substrat mit einer Epitaxieschicht;

**[0038]** [Fig. 14](#) einen zweiten Schnitt durch ein Substrat mit einer Epitaxieschicht;

**[0039]** [Fig. 15](#) eine Aufsicht auf ein Substrat mit einer strukturierten Epitaxieschicht;

**[0040]** [Fig. 16](#) einen ersten Schnitt durch ein Subst-

rat mit einer strukturierten Epitaxieschicht;

[0041] [Fig. 17](#) einen zweiten Schnitt durch ein Substrat mit einer strukturierten Epitaxieschicht;

[0042] [Fig. 18](#) eine Aufsicht auf eine fertig prozessierte elektromechanische Mikrostruktur;

[0043] [Fig. 19](#) einen ersten Schnitt durch eine elektromechanische Mikrostruktur;

[0044] [Fig. 20](#) einen zweiten Schnitt durch eine elektromechanische Mikrostruktur;

[0045] [Fig. 21](#) eine Aufsicht auf eine elektromechanische Mikrostruktur gemäß einer zweiten Ausführungsform;

[0046] [Fig. 22](#) ein Schnitt durch eine elektromechanische Mikrostruktur gemäß einer zweiten Ausführungsform;

[0047] [Fig. 23](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß einer dritten Ausführungsform während eines ersten Bearbeitungsstands;

[0048] [Fig. 24](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß einer dritten Ausführungsform während eines zweiten Bearbeitungsstands;

[0049] [Fig. 25](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß einer vierten Ausführungsform während eines ersten Bearbeitungsstands;

[0050] [Fig. 26](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß einer fünften Ausführungsform während eines ersten Bearbeitungsstands;

[0051] [Fig. 27](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß einer sechsten Ausführungsform während eines ersten Bearbeitungsstands;

[0052] [Fig. 28](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß der sechsten Ausführungsform während eines zweiten Bearbeitungsstands;

[0053] [Fig. 29](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß einer siebten Ausführungsform während eines ersten Bearbeitungsstands;

[0054] [Fig. 30](#) einen Schnitt durch eine Mikrostruktur gemäß der siebten Ausführungsform während eines zweiten Bearbeitungsstands.

#### Ausführungsformen der Erfindung

[0055] [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Aufsicht auf unterschiedliche laterale Bereiche einer elektromechanischen Mikrostruktur **100** in einer x-y-Ebene. Die Mikrostruktur **100** kann beispielsweise Teil eines Be-

schleunigungs- oder Drehratensensors sein.

[0056] Die Mikrostruktur **100** umfasst einen MEMS-Bereich **110**. Der MEMS-Bereich **110** kann beispielsweise eine bewegliche Elektrode der Mikrostruktur **100** umfassen.

[0057] An dem MEMS-Bereich **110** grenzt in x-Richtung auf einer Seite ein zweiter Zuleitungsbereich **150** an. Der Zuleitungsbereich **150** kann beispielsweise dazu dienen, eine in einer z-Richtung unterhalb der im MEMS-Bereich **110** angeordneten beweglichen Elektrode angeordnete Festelektrode elektrisch zu kontaktieren.

[0058] Auf einer in x-Richtung gegenüberliegenden Seite des MEMS-Bereichs **110** schließt sich ein Federbereich **120** an. Im Federbereich **120** kann beispielsweise ein Federelement angeordnet sein, das mit der im MEMS-Bereich **110** angeordneten beweglichen Elektrode verbunden ist.

[0059] Auf der dem MEMS-Bereich **110** gegenüberliegenden Seite des Federbereichs **120** schließt sich ein Federaufhängbereich **130** an. Im Federaufhängbereich **130** kann das im Federbereich **120** angeordnete Federelement beispielsweise mit einem Substrat verbunden sein.

[0060] Auf der dem Federbereich **120** gegenüberliegenden Seite des Federaufhängbereichs **130** schließt sich ein erster Zuleitungsbereich **140** an. Im ersten Zuleitungsbereich **140** kann beispielsweise eine Zuleitung angeordnet sein, die die im MEMS-Bereich **110** angeordnete bewegliche Elektrode elektrisch kontaktiert.

[0061] Insgesamt folgen somit in einer x-Richtung aufeinander der erste Zuleitungsbereich **140**, der Federaufhängbereich **130**, der Federbereich **120**, der MEMS-Bereich **110** und der zweite Zuleitungsbereich **150**.

[0062] In y-Richtung schließen sich an den Federbereich **120** auf einer Seite ein erster Federtrennbereich **160** und auf der anderen Seite ein zweiter Federtrennbereich **170** an. Der erste Federtrennbereich **160** und der zweite Federtrennbereich **170** verlaufen dabei in x-Richtung zwischen dem Federaufhängbereich **130** und dem MEMS-Bereich **110**. In den Federtrennbereichen **160**, **170** können beispielsweise Gräben vorgesehen sein, die eine im Federbereich **120** angeordnete Feder von einem umgebenden Substratbereich trennen.

[0063] Die genannten Bereiche **110**, **120**, **130**, **140**, **150**, **160** und **170** werden in lateraler x-y-Richtung von einem Außenbereich **180** umgeben.

[0064] Anhand der [Fig. 2](#) bis [Fig. 20](#) wird im Fol-

genden ein Verfahren zum Herstellen der elektromechanischen Mikrostruktur **100** erläutert. Die [Fig. 2](#) bis [Fig. 20](#) zeigen dabei in Aufsichten und Schnitten aufeinanderfolgende Bearbeitungsstände. Die Herstellung der elektromechanischen Mikrostruktur erfordert das Abscheiden und Strukturieren verschiedener Schichten. Einem Fachmann sind diverse Abscheideverfahren, etwa Aufdampfprozesse, Sputterprozesse oder Exptaxieprozesse, geläufig. Auch für das strukturierte Entfernen einzelner Schichten kennt ein Fachmann diverse Möglichkeiten, die in der Regel ein temporäres Aufbringen einer einzelnen Bereich schützenden Maske sowie einen Ätzprozess beinhalten. Ein in der Halbleiterbearbeitung tätiger Fachmann ist in der Lage, abhängig von den benötigten Schichtmaterialien und der gewünschten Zielstruktur ein geeignetes Verfahren zu wählen. Im Folgenden werden Abscheide- und Strukturierprozesse daher lediglich dann genauer erläutert, wenn sie über ein gewöhnliches fachmännisches Handeln hinausgehen.

**[0065]** [Fig. 2](#) zeigt eine Aufsicht auf ein Substrat **200**. Bei dem Substrat **200** kann es sich beispielsweise um einen Wafer aus einem einkristallinen Halbleitermaterial, beispielsweise um einen Siliziumwafer handeln. Das Substrat **200** weist eine in der x-y-Ebene angeordnete Substratoberfläche **205** auf.

**[0066]** [Fig. 3](#) zeigt einen Schnitt durch das Substrat **200** entlang einer in [Fig. 2](#) dargestellten Schnittlinie A-A. Auf der Substratoberfläche **205** ist eine erste dielektrische Schicht **210** abgeschieden worden. Die erste dielektrische Schicht **210** kann beispielsweise ein Siliziumoxid sein.

**[0067]** [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen eine Aufsicht und einen Schnitt durch das Substrat **200**, nachdem eine leitfähige Schicht **220** aufgebracht und strukturiert worden ist. Bei der leitfähigen Schicht **220** kann es sich beispielsweise um eine dünne Schicht aus polykristallinem Silizium handeln, das dotiert worden ist. Die leitfähige Schicht **220** kann später als vergrabene Leiterbahn dienen. Die Aufsicht der [Fig. 4](#) zeigt, dass während des Strukturierens der leitfähigen Schicht **220** die leitfähige Schicht **220** im Federbereich **120**, in den Federtrennbereichen **160**, **170** und im Außenbereich **180** entfernt worden ist, so dass in diesen Bereichen die erste dielektrische Schicht **210** freigelegt ist. Lediglich im ersten Zuleitungsbereich **140**, im Federaufhängbereich **130**, im MEMS-Bereich **110** und im zweiten Zuleitungsbereich **150** verbleibt die leitfähige Schicht **220**.

**[0068]** In einem nächsten Prozessschritt wird eine zweite dielektrische Schicht **230** aufgebracht und strukturiert. [Fig. 6](#) zeigt eine Aufsicht auf das Substrat **200** nach diesem Bearbeitungsschritt, während in [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) Schnitte entlang von in [Fig. 6](#) dargestellten Schnittlinien A-A und B-B gezeigt werden.

Bei der zweiten dielektrischen Schicht **230** kann es sich beispielsweise um ein Siliziumoxid handeln. Die zweite dielektrische Schicht **230** kann beispielsweise mittels TEOS-Abscheidung abgeschieden worden sein. Die zweite dielektrische Schicht **230** kann in einem späteren Prozessschritt als Opferschicht verwendet werden. Während des Strukturierens der zweiten dielektrischen Schicht **230** wird die zweite dielektrische Schicht **230** im Federaufhängbereich **130** und in den Federtrennbereichen **160**, **170** entfernt. Dabei wird im Federaufhängbereich **130** die leitfähige Schicht **220** freigelegt, während in den Federtrennbereichen **160**, **170** die Substratoberfläche **205** freigelegt wird.

**[0069]** [Fig. 9](#) zeigt eine Aufsicht auf das Substrat nach einem nächsten Prozessschritt, in dem eine Schicht **240** aus polykristallinem Silizium abgeschieden und strukturiert wird. [Fig. 10](#) zeigt einen Schnitt entlang einer in [Fig. 9](#) dargestellten Schnittachse B-B. [Fig. 11](#) zeigt einen Schnitt entlang einer in [Fig. 9](#) dargestellten Schnittachse A-A. Im Federbereich **120** wird die aufgebraute Schicht **240** aus polykristallinem Silizium entfernt und die darunterliegende zweite dielektrische Schicht **230** freigelegt. Alternativ können im Federbereich **120** auch die zweite dielektrische Schicht **230** und die leitfähige Schicht **220** entfernt und so die erste dielektrische Schicht **210** freigelegt werden. Im ersten Federtrennbereich **160** und im zweiten Federtrennbereich **170** wird die Schicht **240** aus polykristallinem Silizium entfernt und die Substratoberfläche **205** des Substrats **200** freigelegt. Im ersten Zuleitungsbereich **140**, im Federaufhängbereich **130**, im MEMS-Bereich **110**, im zweiten Zuleitungsbereich **150** und im Außenbereich **180** verbleibt die Schicht **240** aus polykristallinem Silizium.

**[0070]** Im nächsten Prozessschritt erfolgt ein epitaktisches Abscheiden von Silizium. [Fig. 12](#) zeigt eine Aufsicht auf das Substrat **200** nach dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums. [Fig. 13](#) zeigt einen Schnitt entlang einer in [Fig. 12](#) dargestellten Schnittachse B-B. [Fig. 14](#) zeigt einen Schnitt entlang einer in [Fig. 12](#) dargestellten Schnittachse A-A. In allen lateralen Bereichen, in denen im vorhergehenden Prozessschritt die Schicht **240** aus polykristallinem Silizium verblieben ist, also im ersten Zuleitungsbereich **140**, im Federaufhängbereich **130**, im MEMS-Bereich **110**, im zweiten Zuleitungsbereich **150** und im Außenbereich **180**, bewirkt das epitaktische Abscheiden von Silizium ein Aufwachsen einer polykristallinen Epitaxieschicht **250** in z-Richtung. Im ersten Federtrennbereich **160** und im zweiten Federtrennbereich **170**, in denen im vorhergehenden Prozessschritt die Substratoberfläche **205** des einkristallinen Substrats **200** freigelegt worden ist, bewirkt das epitaktische Abscheiden von Silizium ein Aufwachsen einer einkristallinen Epitaxieschicht **260** in z-Richtung. Sobald die einkristalline Epitaxieschicht **260** in den Federtrennbereichen **160**, **170** in z-Richtung das

Niveau der dielektrischen Schicht **210**, **230** im zwischen den Federtrennbereichen **160**, **170** liegenden Federbereich **120** erreicht hat, erfolgt ein laterales Überwachsen der dielektrischen Schichten **210**, **230** im Federbereich **120** mit einkristallinem Silizium. Ein solches laterales Überwachsen ist beispielsweise in den Publikationen [1] und [2] beschrieben. Nach dem lateralen Überwachsen der dielektrischen Schichten **210**, **230** im Federbereich **120** erfolgt auch im Federbereich **120** ein vertikales Wachstum der einkristallinen Epitaxieschicht **260** in z-Richtung.

[0071] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des beschriebenen Verfahrens erfolgt das epitaktische Abscheiden des Siliziums in drei zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten. Der erste zeitliche Abschnitt erstreckt sich dabei vom Beginn des epitaktischen Abscheidens bis etwa zu dem Zeitpunkt, an dem die einkristalline Epitaxieschicht **260** in den Federtrennbereichen **160**, **170** in z-Richtung die Höhe der dielektrischen Schichten **210**, **230** im Federbereich **120** erreicht hat. Während dieses ersten zeitlichen Abschnitts ist der epitaktische Abscheidungsprozess für ein vertikales Wachstum in z-Richtung senkrecht zur Substratoberfläche **205** optimiert. Sobald die einkristalline Epitaxieschicht **260** in den Federtrennbereichen **160**, **170** in z-Richtung etwa die Höhe der dielektrischen Schichten **210**, **230** im Federbereich **120** erreicht hat, beginnt der zweite zeitliche Abschnitt, während dem das epitaktische Aufwachsen für ein laterales Wachstum optimiert ist. Während des zweiten zeitlichen Abschnitts erfolgt dann ein laterales Überwachsen der dielektrischen Schichten **210**, **230** im Federbereich **120**. Sobald die dielektrische Schicht **210**, **230** im Federbereich **120** lateral vollständig von der einkristallinen Epitaxieschicht **260** überwachsen ist, beginnt der dritte zeitliche Abschnitt des epitaktischen Abscheidens von Silizium, während dem der epitaktische Abscheidungsprozess wieder für ein vertikales Wachstum in z-Richtung senkrecht zur Substratoberfläche **205** optimiert ist. Während des dritten zeitlichen Abschnitts werden dann sowohl die Federtrennbereiche **160**, **170** als auch der Federbereich **120** vertikal in z-Richtung durch die einkristalline Epitaxieschicht **260** überwachsen. Das Optimieren des epitaktischen Abscheidungsprozesses für laterales bzw. vertikales Wachstum ist beispielsweise in der Publikation [3] beschrieben.

[0072] Werden im Verhältnis zu gewünschten Strukturweiten der einkristallinen Bereiche dicke epitaktische Schichten angestrebt, die Ausdehnung des Federbereichs **120** in y-Richtung also beispielsweise geringer als die Dicke der epitaktisch abgeschiedenen Schicht in z-Richtung ist, so kann es sich als vorteilhaft erweisen, einen rein auf vertikales Wachstum optimierten Epitaxieprozess zu verwenden. Dies kann zwar die Entstehung von Hohlräumen und/oder Stapelfehlern in einem in z-Richtung unteren Bereich

der Epitaxieschicht im Federbereich **120** begünstigen, die aber bei derartigen Geometrien nur geringe Einflüsse auf das Bauteil haben.

[0073] Wie in [Fig. 12](#) dargestellt ist, sind der erste Zuleitungsbereich **140**, der Federaufhängbereich **130**, der MEMS-Bereich **110**, der zweite Zuleitungsbereich **150** und der Außenbereich **180** nach dem epitaktischen Abscheiden von der polykristallinen Epitaxieschicht **250** bedeckt. Der erste Federtrennbereich **160**, der Federbereich **120** und der zweite Federtrennbereich **170** sind nach dem epitaktischen Abscheiden von der einkristallinen Epitaxieschicht **260** bedeckt. Bevorzugt erfolgt nach dem epitaktischen Abscheiden noch ein Planarisieren der in der x-y-Ebene liegenden Oberfläche durch ein chemisch-mechanisches Polieren.

[0074] Im nachfolgenden Prozessschritt erfolgt ein Strukturieren der abgeschiedenen Epitaxieschicht **250**, **260** mittels eines Trench-Prozesses. Durch den Trench-Prozess werden im ersten Zuleitungsbereich **140**, im ersten Federtrennbereich **160**, im zweiten Federtrennbereich **170**, im zweiten Zuleitungsbereich **150** und in Teilen des Außenbereichs **180** in z-Richtung verlaufende vertikale Gräben **290** in der Epitaxieschicht **250**, **260** angelegt. Dadurch wird im ersten Zuleitungsbereich **140**, im zweiten Zuleitungsbereich **150** und im Außenbereich **180** die zweite dielektrische Schicht **230** freigelegt. Alternativ können auch die zweite dielektrische Schicht **230** und die leitfähige Schicht **220** entfernt und so die erste dielektrische Schicht **210** freigelegt werden. Im ersten Federtrennbereich **160** und im zweiten Federtrennbereich **170** kann auch die Substratoberfläche **205** des Substrats **200** teilweise entfernt werden, so dass sich in den Federtrennbereichen **160**, **170** eine vertiefte Substratoberfläche **300** ergibt. [Fig. 15](#) zeigt eine Aufsicht auf die lateralen Bereiche nach dem Trench-Prozess. [Fig. 16](#) zeigt einen Schnitt entlang einer in [Fig. 15](#) dargestellten Schnittachse B-B. [Fig. 17](#) zeigt einen Schnitt entlang einer in [Fig. 15](#) dargestellten Schnittachse A-A.

[0075] Im nachfolgenden Prozessschritt erfolgt ein teilweises Herauslösen der zweiten und/oder der ersten dielektrischen Schicht **230**, **210**. Dies kann beispielsweise mittels eines Gasphasenätzschritts erfolgen. Das Ätzmedium kann dabei durch die im vorhergehenden Prozessschritt angelegten Gräben **290** bis zur zweiten dielektrischen Schicht **230** vordringen. Die zweite dielektrische Schicht **230** dient somit als Opferschicht, die teilweise herausgelöst wird. Dabei wird die zweite dielektrische Schicht **230** im Federbereich **120** und im MEMS-Bereich **110** vollständig entfernt. Da im Federbereich **120** in einem vorhergehenden Prozessschritt auch die leitfähige Schicht **220** entfernt worden ist, kann im Federbereich **120** auch die erste dielektrische Schicht **210** teilweise entfernt werden. Die polykristalline Epitaxieschicht **250** im

MEMS-Bereich **110** kann in einem vorhergehenden Prozessschritt mit zusätzlichen vertikalen Öffnungen versehen worden sein, die ein Vordringen des Ätzmediums zur zweiten dielektrischen Schicht **230** im MEMS-Bereich **110** erleichtern.

[0076] [Fig. 18](#) zeigt eine Aufsicht auf die fertig prozessierte Mikrostruktur **100**. [Fig. 19](#) zeigt einen Schnitt durch die Mikrostruktur **100** entlang einer in [Fig. 18](#) dargestellten Schnittachse B-B. [Fig. 20](#) zeigt einen Schnitt durch die Mikrostruktur **100** entlang einer in [Fig. 18](#) dargestellten Schnittachse A-A.

[0077] [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) zeigen, dass sich durch das teilweise Herauslösen der zweiten dielektrischen Schicht **230** im MEMS-Bereich **110** und im Federbereich **120** ein Hohlraum **310** unterhalb der Epitaxieschicht **250** und **260** gebildet hat. Dadurch ist im MEMS-Bereich **110** ein bewegliches Element **410** entstanden. Im Federbereich **120** ist ein Federelement **420** entstanden, das im Federaufhängbereich **130** über eine polykristalline Federaufhängung **430** mit dem Substrat **200** verbunden ist. Das bewegliche Element **410** ist lediglich über das Federelement **420** mit dem Substrat **200** verbunden. Das bewegliche Element **410** besteht aus dem polykristallinen Silizium der polykristallinen Epitaxieschicht **250**. Das Federelement **420** besteht aus dem einkristallinen Silizium der einkristallinen Epitaxieschicht **260**.

[0078] Das Federelement **420** aus einkristallinem Silizium bietet gegenüber herkömmlichen Federelementen aus polykristallinem Silizium Vorteile. Bei Federelementen aus polykristallinem Material kann es wegen der statistischen Verteilung der Kristallorientierungen der Einzelkristalle des polykristallinen Materials innerhalb des Federelements zu einer ungewünschten Vorauslenkung des Federelements kommen. Beim Federelement **420** aus einkristallinem Material besteht keine statistische Verteilung von Kristallorientierungen von Einzelkristallen. Daher weist das einkristalline Federelement **420** auch keine ungewünschte Vorauslenkung auf.

[0079] Das bewegliche Element **410** kann beispielsweise als bewegliches Massenelement in einem Beschleunigungs- oder Drehratensensor verwendet werden. Eine auf die Mikrostruktur **100** wirkende Beschleunigung oder Drehrate bewirkt dann eine Auslenkung des beweglichen Elements **410** gegen eine durch das Federelement **420** ausgeübte Federkraft.

[0080] Die leitfähige Schicht **220** im MEMS-Bereich **110** kann als unter dem beweglichen Element **410** angeordnete Festelektrode verwendet werden. Hierfür kann die leitfähige Schicht **220** im MEMS-Bereich **210** über die leitfähige Schicht **220** im zweiten Zuleitungsbereich **150** mit einer externen Schaltung verbunden werden. Das bewegliche Element **410** kann über das Federelement **420**, die Federaufhängung

**430**, die leitfähige Schicht **220** im Federaufhängbereich **230** und die leitfähige Schicht **220** im ersten Zuleitungsbereich **140** ebenfalls mit einer externen Schaltung verbunden werden. Auf diese Weise kann das bewegliche Element **410** als bewegliche Elektrode verwendet werden.

[0081] Wie in [Fig. 20](#) erkennbar ist, gibt es zwischen dem Federelement **420** aus einkristallinem Silizium und der Federaufhängung **430** aus polykristallinem Silizium einen Übergangsbereich, in dem einkristalline und polykristalline Bereiche aneinandergrenzen. Dieser Übergangsbereich kann die Federeigenschaften des Federelements **420** unter Umständen negativ beeinflussen. Falls es der Anwendungsbereich der Mikrostruktur **100** erlaubt, das bewegliche Element **410**, das Federelement **420**, die Federaufhängung **430** und das Substrat **200** auf einem gemeinsamen elektrischen Potential zu halten, so kann es vorteilhaft sein, die Federaufhängung **430** ebenfalls aus einkristallinem Silizium zu fertigen. [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) zeigen eine elektromechanische Mikrostruktur **1100** gemäß einer zweiten Ausführungsform, die nach einem entsprechend modifizierten Verfahren hergestellt worden ist. [Fig. 21](#) zeigt eine Aufsicht der Mikrostruktur **1100**. [Fig. 22](#) zeigt einen Schnitt durch die Mikrostruktur **1100** entlang einer in [Fig. 21](#) dargestellten Schnittlinie A-A.

[0082] Die Mikrostruktur **1100** weist ein im MEMS-Bereich **110** angeordnetes bewegliches Element **1410**, ein in einem lateralen Federbereich **1120** angeordnetes Federelement **1420** und eine im Federaufhängbereich **130** angeordnete Federaufhängung **1430** auf. Das bewegliche Element **1410** besteht aus polykristallinem Silizium und entspricht dem beweglichen Element **410** der Mikrostruktur **100** der [Fig. 20](#). Das Federelement **1420** besteht aus einkristallinem Silizium und entspricht dem Federelement **420** der [Fig. 20](#). Die Federaufhängung **1430** unterscheidet sich von der Federaufhängung **430** der Mikrostruktur **100** der [Fig. 20](#) dadurch, dass die Federaufhängung **1430** aus einkristallinem Silizium besteht. Dadurch entfällt der Übergangsbereich zwischen der Federaufhängung **1430** und dem Federelement **1420**, wodurch sich die Federeigenschaften des Federelements **1420** gegenüber den Federeigenschaften des Federelements **420** der Mikrostruktur **100** der [Fig. 20](#) verbessern.

[0083] Zur Herstellung der Mikrostruktur **1100** der [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) kommt das anhand der [Fig. 2](#) bis [Fig. 20](#) beschriebene Verfahren zum Einsatz. Allerdings wird nach dem Abscheiden der zweiten dielektrischen Schicht **230** die Substratoberfläche **205** auch im Federaufhängbereich **130** entfernt. Außerdem wird nach dem Abscheiden der Schicht aus polykristallinem Silizium die Substratoberfläche **205** auch im Federaufhängbereich **130** freigelegt. Die übrigen anhand der [Fig. 2](#) bis [Fig. 20](#) beschriebenen

Prozessschritte werden unverändert beibehalten. Während des epitaktischen Abscheidens von Silizium wächst das Silizium im Federaufhängbereich **130** auf der Substratoberfläche **205** des einkristallinen Substrats **200** dann ebenfalls als einkristalline Epitaxieschicht **260** auf und bildet die einkristalline Federaufhängung **1430**.

[0084] [Fig. 21](#) zeigt, dass der laterale Federbereich **1120** der Mikrostruktur **1100** gegenüber dem Federbereich **120** der Mikrostruktur **100** einen lateral verbreiterten Übergangsbereich **1110** am Übergang zum MEMS-Bereich **110** aufweist. Am Übergang zwischen dem lateralen Federbereich **1120** und dem lateralen MEMS-Bereich **110** erstreckt sich der Federbereich **1120** teilweise in die lateralen Federtrennbereich **160**, **170**. Dies führt dazu, dass das Federelement **1420** am Übergang zum beweglichen Element **1410** ebenfalls verbreitert ist. Dadurch können auch im Übergangsbereich zwischen dem einkristallinen Federelement **1420** und dem polykristallinen beweglichen Element **1410** für die Federeigenschaften des Federelements **1420** nachteilige Übergangseffekte vermieden oder reduziert werden.

[0085] Das beschriebene Verfahren eignet sich prinzipiell auch zur Herstellung einer Mikrostruktur, deren Federelement polykristallin ausgebildet ist, während das bewegliche Element und/oder die Federaufhängung aus einkristallinem Silizium bestehen. Die notwendigen Abwandlungen des Verfahrens ergeben sich für einen Fachmann in naheliegender Weise aus der obigen Beschreibung und bedürfen daher keiner weitergehenden Erläuterung.

[0086] [Fig. 13](#), [Fig. 14](#), [Fig. 16](#), [Fig. 17](#), [Fig. 19](#), [Fig. 20](#) und [Fig. 22](#) zeigen, dass sich in der einkristallinen Epitaxieschicht **260** im Federbereich **120**, **1120** ein Stapelfehler **270** ausbildet. Der Stapelfehler **270** entsteht während des epitaktischen Abscheidens des Siliziums durch das laterale Überwachsen der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **120**, **1120** beidseitig vom ersten Federtrennbereich **160** und vom zweiten Federtrennbereich **170** aus. Dabei entsteht der Stapelfehler **270** im einem Abschnitt des Federbereichs **120**, **1120**, in dem die vom ersten Federtrennbereich **160** aus wachsende Epitaxieschicht an die vom zweiten Federtrennbereich **170** aus wachsende Epitaxieschicht stößt.

[0087] Während des weiteren epitaktischen Abscheidens des Siliziums entsteht oberhalb des Stapelfehlers **270** eine Versetzungslinie **280**, entlang derer die einkristalline Epitaxieschicht **260** im Federbereich **120**, **1120** eine Versetzung aufweist. Die Versetzungslinie **280** kann die Federeigenschaften des Federelements **420**, **1420** beeinflussen, insbesondere eine Vorauslenkung des Federelements **420**, **1420** induzieren. Eine solche Vorauslenkung des Federelements **420**, **1420** kann sich für bestimmte Anwen-

dungsfälle als vorteilhaft und gewünscht erweisen. In anderen Anwendungsfällen ist eine Vorauslenkung des Federelements **420**, **1420** jedoch nicht erwünscht.

[0088] Im Folgenden werden daher anhand der [Fig. 23](#) bis [Fig. 30](#) Weiterbildungen des beschriebenen Herstellungsverfahrens erläutert, die eine Ausbildung der Versetzungslinie **280** im Federelement **420**, **1420** verhindern. Zu jeder Weiterbildungen werden die notwendigen Modifikationen und Ergänzungen des oben anhand der [Fig. 2](#) bis [Fig. 20](#) beschriebenen Verfahrens erläutert. Die übrigen Verfahrensschritte werden jeweils unverändert beibehalten.

[0089] [Fig. 23](#) zeigt einen Schnitt durch das Substrat **200** entlang der in [Fig. 12](#) dargestellten Schnittachse B-B. Der Bearbeitungsstand der Mikrostruktur in [Fig. 23](#) entspricht dem Bearbeitungsstand der [Fig. 13](#). Gegenüber [Fig. 13](#) sind in [Fig. 23](#) jedoch der Federbereich **2120**, der erste Federtrennbereich **2160** und der zweite Federtrennbereich **2170** modifiziert. Der erste Federtrennbereich **2160** ist in y-Richtung schmaler als der zweite Federtrennbereich **2170**. Während des epitaktischen Abscheidens des Siliziums hat sich die Versetzungslinie **280** in y-Richtung in der Mitte auf der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **2120** gebildet. Wegen der in y-Richtung unterschiedlich breiten Federtrennbereich **2160**, **2170** ist die Versetzungslinie **280** in y-Richtung jedoch nicht mittig zwischen den benachbarten polykristallinen Epitaxieschichten angeordnet.

[0090] [Fig. 24](#) zeigt einen Schnitt durch das Substrat **200** nach dem nachfolgenden Bearbeitungsschritt zum Strukturieren des abgeschiedenen Siliziums **250**, **260**. Der Bearbeitungsstand der [Fig. 24](#) entspricht dem der [Fig. 16](#). Dabei sind die Gräben **290** so angelegt worden, dass die im Federbereich **2120** verbleibende einkristalline Epitaxieschicht **260**, die später das Federelement **420**, **1420** bildet, in y-Richtung symmetrisch zwischen den benachbarten polykristallinen Epitaxieschichten **250** angeordnet ist. Dabei wurde auch ein Teil der einkristallinen Epitaxieschicht in z-Richtung oberhalb der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **2120** entfernt. Dadurch wurde auch die Versetzungslinie **280** entfernt. Das entstehende Federelement **420**, **1420** weist in diesem Fall somit keine Versetzungslinie auf.

[0091] [Fig. 25](#) erläutert eine alternative Möglichkeit, das Auftreten der Versetzungslinie **280** im Federelement **420**, **1420** zu vermeiden. [Fig. 25](#) zeigt ebenfalls einen Schnitt entlang der Schnittachse B-B im Fertigstellungsstadium der [Fig. 13](#). [Fig. 25](#) zeigt einen gegenüber der [Fig. 13](#) veränderten Federbereich **3120**. Im Federbereich **3120** ist die dielektrische Schicht **210**, **230** angeordnet und weist am Übergang zwischen dem Federbereich **3120** und dem ersten Federtrennbereich **160** eine erste Flanke **3124** und am

Übergang zwischen dem Federbereich **3120** und dem zweiten Federtrennbereich **170** eine zweite Flanke **3125** auf. Anders als in [Fig. 13](#) sind die Flanken **3124**, **3125** nicht parallel zur z-Richtung orientiert. Im in [Fig. 25](#) dargestellten Beispiel ergibt sich vielmehr auf Seite des ersten Federtrennbereichs **160** eine Unterschneidung der dielektrischen Schicht **210**, **230**, während auf der Seite des zweiten Federtrennbereichs **170** die dielektrische Schicht **210**, **230** abgeflacht ist. Die Flanken **3124**, **3125** der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **3120** lassen sich beispielsweise durch zwei aufeinanderfolgende Ätzschritte mit unterschiedlichen Lackmasken erzeugen. Die Unterschneidung der ersten Flanke **3124** auf Seite des ersten Federtrennbereichs **160** führt dazu, dass die dielektrische Schicht **210**, **230** im Federbereich **3120** schneller von der Seite des zweiten Federtrennbereichs **170** her überwachsen wird, als von der Seite des ersten Federtrennbereichs **160** her. Dadurch entsteht die Versetzungslinie **280** während des epitaktischen Abscheidens des Siliziums in y-Richtung näher am ersten Federtrennbereich **160** als am zweiten Federtrennbereich **170** und kann während des nachfolgenden Strukturierens der Epitaxieschichten **250**, **260** entfernt werden, wodurch das entstehende Federelement **420**, **1420** keine Versetzungslinie **280** aufweist.

[0092] [Fig. 26](#) erläutert eine weitere Möglichkeit, das Auftreten der Versetzungslinie **280** im Federelement **420**, **1420** zu vermeiden. [Fig. 26](#) zeigt ebenfalls einen Schnitt entlang der Schnittachse B-B und entspricht wiederum dem Bearbeitungsstand der [Fig. 13](#). [Fig. 26](#) zeigt einen ersten Federtrennbereich **4160**, der gegenüber dem ersten Federtrennbereich **160** der [Fig. 13](#) verändert ist. Im ersten Federtrennbereich **4160** wurde das Substrat **200** teilweise entfernt, beispielsweise durch einen SF<sub>6</sub>-Plasma-Ätzprozess, so dass sich gegenüber der Substratoberfläche **205** im zweiten Federtrennbereich **170** im ersten Federtrennbereich **4160** eine vertiefte Substratoberfläche **4165** ergibt. Während des nachfolgenden epitaktischen Aufwachsens des Siliziums erreicht die einkristalline Epitaxieschicht **260** im zweiten Federtrennbereich **170** in z-Richtung die Höhe der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **120** schneller als die einkristalline Epitaxieschicht **260** im ersten Federtrennbereich **4160**. Dadurch beginnt das laterale Überwachsen der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **120** zunächst nur vom zweiten Federtrennbereich **170** her. In der Folge entsteht die Versetzungslinie **280** näher am ersten Federtrennbereich **4160** als am zweiten Federtrennbereich **170** und ist gegenüber der z-Richtung verkippt. Die so angeordnete Versetzungslinie **280** kann während des nachfolgenden Strukturierens der Epitaxieschicht **250**, **260** wiederum entfernt werden, wodurch das entstehende Federelement **420**, **1420** keine Versetzungslinie **280** enthält.

[0093] [Fig. 27](#) und [Fig. 28](#) zeigen eine weitere Möglichkeit die Versetzungslinie **280** im Federelement **420**, **1420** zu vermeiden. [Fig. 27](#) und [Fig. 28](#) zeigen ebenfalls Schnitte entlang der Schnittachse B-B. Im Unterschied zu [Fig. 13](#) ist in [Fig. 27](#) ein gegenüber dem Federbereich **120** veränderter Federbereich **5120** und ein gegenüber dem ersten Federtrennbereich **160** veränderter erster Federtrennbereich **5160** vorgesehen. Anders als in [Fig. 10](#) ist im ersten Federtrennbereich **5160** nicht die Substratoberfläche **205** freigelegt worden. Vielmehr ist im ersten Federtrennbereich **5160**, genau wie im Federbereich **5120**, die dielektrische Schicht **210**, **230** angeordnet. Wie [Fig. 27](#) zeigt, findet dann während des epitaktischen Abscheidens des Siliziums das laterale Überwachsen der dielektrischen Schicht **210**, **230** im Federbereich **5120** mit der einkristallinen Epitaxieschicht **260** lediglich von der Seite des zweiten Federtrennbereichs **170** her statt. Wegen des lediglich einseitigen lateralen Überwachsens des Federbereichs **5120** entsteht keine Versetzungslinie **280**. [Fig. 28](#) zeigt den Bearbeitungsstand nach dem auf das epitaktische Abscheiden folgenden Strukturieren der Epitaxieschicht **250**, **260**. Das später im Federbereich **5120** entstehende Federelement **420**, **1420** weist keine Versetzungslinie **280** auf.

[0094] [Fig. 29](#) und [Fig. 30](#) zeigen eine weitere Möglichkeit, das Auftreten der Versetzungslinie **280** im Federelement **420**, **1420** zu vermeiden. [Fig. 29](#) und [Fig. 30](#) zeigen Schnitte entlang der Schnittachse B-B. Gegenüber [Fig. 13](#) zeigen [Fig. 29](#) und [Fig. 30](#) einen modifizierten Federbereich **6120** und einen modifizierten ersten Federtrennbereich **6160**. Anders als im in [Fig. 10](#) dargestellten Ausführungsbeispiel wurde im ersten Federtrennbereich **6160** die Substratoberfläche **250** vor dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums nicht freigelegt. Stattdessen ist im ersten Federtrennbereich die dielektrische Schicht **210**, **230** verblieben. Anders als im in [Fig. 27](#) dargestellten Ausführungsbeispiel ist auf der dielektrischen Schicht **210**, **230** im ersten Federtrennbereich **6160** außerdem die Schicht **240** aus polykristallinem Silizium verblieben.

[0095] Die vertikale Wachstumsgeschwindigkeit in z-Richtung der einkristallinen Epitaxieschicht **260** während des epitaktischen Abscheidens hängt von der Kristallorientierung des Substrats **200** an der Substratoberfläche **205** ab. Für gewisse Kristallorientierungen ergibt sich eine höhere Wachstumsgeschwindigkeit als für andere Kristallorientierungen. Die vertikale Wachstumsgeschwindigkeit in z-Richtung der polykristallinen Epitaxieschicht stellt wegen der statistisch verteilten Kristallorientierungen der Einzelkristalle des polykristallinen Materials einen Mittelwert zwischen der minimalen und der maximalen vertikalen Wachstumsgeschwindigkeit der einkristallinen Epitaxieschicht **260** dar.

[0096] Im Ausführungsbeispiel der [Fig. 29](#) und [Fig. 30](#) wurde die Kristallorientierung des Substrats **200** so gewählt, dass sich in z-Richtung oberhalb der Substratoberfläche **205** im zweiten Federtrennbereich **170** eine maximale vertikale Wachstumsgeschwindigkeit der einkristallinen Epitaxieschicht **260** ergibt. Die Wachstumsgeschwindigkeit der einkristallinen Epitaxieschicht **260** ist somit also höher als die Wachstumsgeschwindigkeit der polykristallinen Epitaxieschicht **250** in den lateralen Außenbereichen **180** und im ersten Federtrennbereich **6160**, wo wegen der Schicht **240** aus polykristallinem Silizium ebenfalls eine polykristalline Epitaxieschicht **250** entsteht. Die höhere Wachstumsgeschwindigkeit der einkristallinen Epitaxieschicht **260** hat zur Folge, dass sich der Übergangsbereich zwischen der einkristallinen Epitaxieschicht **260** im Federbereich **6120** und der polykristallinen Epitaxieschicht **250** im ersten Federtrennbereich **6160** mit zunehmender Wachstumshöhe in z-Richtung in y-Richtung vom zweiten Federtrennbereich **170** wegbewegt. Dadurch wird sichergestellt, dass der Federbereich **6120** vollkommen von der einkristallinen Epitaxieschicht **260** überwachsen wird. Dies ist in [Fig. 29](#) erkennbar. Während des nachfolgenden Strukturierens der Epitaxieschicht **250**, **260** wird die polykristalline Epitaxieschicht **250** im ersten Federtrennbereich **6160** und die einkristalline Epitaxieschicht **260** im zweiten Federtrennbereich **170** entfernt, so dass im Federbereich **6120** ein Federelement **420**, **1420** ohne Versetzungslinie **280** verbleibt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 19537814 [\[0002\]](#)

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- "A micromachining technique for a thin silicon membrane using merged epitaxial lateral overgrowth of silicon and SiO<sub>2</sub> for an etch-stop", James J. Pak, Abul E. Kabir, Gerold W. Nedeck, James H. Logsdon, David R. DeRoo and Steven E. Staller, TRANSDUCERS '91, 1991 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators. Digest of Technical Papers (Cat. No. 91CH2817-5), San Francisco, CA, USA, 24–27 June 1991/1991/4160016 [\[0004\]](#)

- "Automatic etch stop on buried oxide using epitaxial lateral overgrowth", Gennisen P. T. J., Bartek M., French P. J., Sarro P. M., Wolffenbuttel R. F., Proceedings of the International Solid-State Sensors and Actuators Conference – TRANSDUCERS '95; Stockholm, Sweden, 25–29 June 1995/1995/5248250 CA Conference Paper (C) [\[0004\]](#)

- "A new epitaxial lateral overgrowth silicon bipolar transistor", Gerold W. Neudeck, IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-8, No. 10, October 1987 [\[0004\]](#)

## Patentansprüche

1. Elektromechanische Mikrostruktur (**100, 1100**) mit einem beweglichen Element (**410, 1410**), das über ein Federelement (**420, 1420**) mit einem Substrat (**200**) verbunden ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass das bewegliche Element (**410, 1410**) einen Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium aufweist und das Federelement (**420, 1420**) einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium aufweist, oder das bewegliche Element (**410, 1410**) einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium aufweist und das Federelement (**420, 1420**) einen Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium aufweist.

2. Elektromechanische Mikrostruktur (**100, 1100**) nach Anspruch 1, wobei das bewegliche Element (**410, 1410**) über das Federelement (**420, 1420**) mit einer Federaufhängung (**430, 1430**) verbunden ist, wobei die Federaufhängung (**430, 1430**) mit dem Substrat (**200**) verbunden ist, und wobei die Federaufhängung (**430, 1430**) einen Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium aufweist.

3. Elektromechanische Mikrostruktur (**100, 1100**) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das bewegliche Element (**410, 1410**) elektrisch leitfähig an eine Zuleitung gekoppelt ist, wobei die Zuleitung in einer mit dem Substrat (**200**) verbundenen leitfähigen Schicht (**220**) angeordnet ist.

4. Elektromechanische Mikrostruktur (**100, 1100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei unterhalb des beweglichen Elements (**410, 1410**) eine mit dem Substrat (**200**) verbundene Elektrode angeordnet ist.

5. Elektromechanische Mikrostruktur (**100, 1100**) nach Anspruch 4, wobei das bewegliche Element (**410, 1410**) elektrisch von der unterhalb des beweglichen Elements (**410, 1410**) angeordneten Elektrode isoliert ist.

6. Elektromechanische Mikrostruktur (**100, 1100**) nach den Ansprüchen 3 und 7, wobei die unterhalb des beweglichen Elements (**410, 1410**) angeordnete Elektrode und die elektrisch leitfähig an das bewegliche Element (**410, 1410**) gekoppelte Zuleitung elektrisch von dem Substrat (**200**) isoliert sind.

7. Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Mikrostruktur (**100, 1100**) auf einem Substrat (**200**), das folgende Verfahrensschritte aufweist:

– Ausbilden eines beweglichen Elements (**410, 1410**);

– Ausbilden eines Federelements (**420, 1420**), das das bewegliche Element (**410, 1410**) mit dem Substrat (**200**) verbindet, wobei das bewegliche Element (**410, 1410**) mit einem Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium ausgebildet wird und das Federelement (**420, 1420**) mit einem Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium ausgebildet wird, oder das bewegliche Element (**410, 1410**) mit einem Bereich aus wenigstens teilweise einkristallinem Silizium ausgebildet wird und das Federelement (**420, 1420**) mit einem Bereich aus wenigstens teilweise polykristallinem Silizium ausgebildet wird.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei zum Ausbilden des beweglichen Elements (**410, 1410**) und des Federelements (**420, 1420**) folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:

– Ausbilden eines lateralen Federbereichs (**120, 1120, 2120, 3120, 5120, 6120**) mit einer dielektrischen Schicht (**210, 230**) auf dem Substrat (**200**);  
– Ausbilden eines lateralen Bereichs (**110, 130, 140, 150, 180**) mit einer Schicht (**240**) aus polykristallinem Silizium auf dem Substrat (**200**);  
– Ausbilden eines lateralen Federtrennbereichs (**160, 170**) mit einer freiliegenden Substratoberfläche (**205**) auf dem Substrat (**200**);  
– Epitaktisches Abscheiden von Silizium (**250, 260**).

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei zum Ausbilden der unterschiedlichen lateralen Bereiche auf dem Substrats (**200**) folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:

– Vorsehen eines Substratwafers (**200**) mit einer lateralen Substratoberfläche (**205**);  
– Abscheiden einer ersten dielektrischen Schicht (**210**) auf der Substratoberfläche (**205**);  
– Abscheiden und Strukturieren einer leitfähigen Schicht (**220**), wobei die leitfähige Schicht (**220**) im lateralen Federaufhängbereich (**130**), in einem lateralen MEMS-Bereich (**110**) und in einem lateralen Zuleitungsbereich (**140, 150**) verbleibt, wobei in übrigen lateralen Bereichen (**120, 1120, 2120, 3120, 5120, 6120, 160, 2160, 4160, 5160, 6160, 170, 2170, 180**) die erste dielektrische Schicht (**210**) freigelegt wird;  
– Abscheiden und Strukturieren einer zweiten dielektrischen Schicht (**230**), wobei im Federaufhängbereich (**130**) die leitfähige Schicht (**220**) freigelegt wird, wobei im lateralen Federtrennbereich (**160, 170**) die Substratoberfläche (**205**) freigelegt wird;  
– Abscheiden und Strukturieren einer Schicht (**240**) aus polykristallinem Silizium, wobei im Federtrennbereich (**160, 2160, 4160, 5160, 6160, 170, 2170**) die Substratoberfläche (**205**) freigelegt wird, wobei in einem lateralen Federbereich (**120, 1120, 2120, 3120, 5120, 6120**) die erste oder die zweite dielektrische Schicht (**210, 230**) freigelegt wird;

wobei nach dem epitaktischen Abscheiden von Silizium (**250, 260**) folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:

– Strukturieren des abgeschiedenen Siliziums (**250, 260**),

wobei in einem den Federaufhängbereich (**130**), den Federbereich (**120, 1120, 2120, 3120, 5120, 6120**) und den MEMS-Bereich (**110**) umgebenden Bereich (**140, 150, 160, 2160, 4160, 5160, 6160, 170, 2170, 180**) die erste oder die zweite dielektrische Schicht (**210, 230**) oder die Substratoberfläche (**205**) freigelegt wird;

– Herauslösen der ersten und/oder der zweiten dielektrischen Schicht (**210, 230**) im MEMS-Bereich (**110**) und im Federbereich (**120, 1120, 2120, 3120, 5120, 6120**).

10. Verfahren nach Anspruch 9,

wobei der Federbereich (**2120**) in eine laterale y-Richtung beidseitig durch den Federtrennbereich (**2160, 2170**) begrenzt wird,

wobei während des Strukturierens des abgeschiedenen Siliziums (**250, 260**) die zweite dielektrische Schicht (**230**) auch in einem Teil des Federbereichs (**2120**) freigelegt wird,

wobei das verbleibende Silizium im Federbereich (**2120**) in y-Richtung asymmetrisch auf der zweiten dielektrischen Schicht (**230**) angeordnet ist.

11. Verfahren nach Anspruch 9,

wobei der Federbereich (**120**) in eine laterale y-Richtung beidseitig durch den Federtrennbereich (**4160, 170**) begrenzt wird,

wobei vor dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums (**250, 260**) die Substratoberfläche (**205**) im Federtrennbereich (**4160**) auf einer Seite des Federbereichs (**120**) durch einen Ätzschritt teilweise entfernt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9,

wobei der Federbereich (**5120**) in eine laterale y-Richtung beidseitig durch den Federtrennbereich (**5160, 170**) begrenzt wird,

wobei nur im Federtrennbereich (**170**) auf einer Seite des Federbereichs (**5120**) die Substratoberfläche (**205**) nach dem Abscheiden der zweiten dielektrischen Schicht (**230**) und nach dem Abscheiden der Schicht (**240**) aus polykristallinem Silizium freigelegt wird,

wobei im Federtrennbereich (**5160**) auf der anderen Seite des Federbereichs (**5120**) vor dem epitaktischen Abscheiden des Siliziums (**250, 260**) die zweite dielektrische Schicht (**230**) freigelegt wird.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

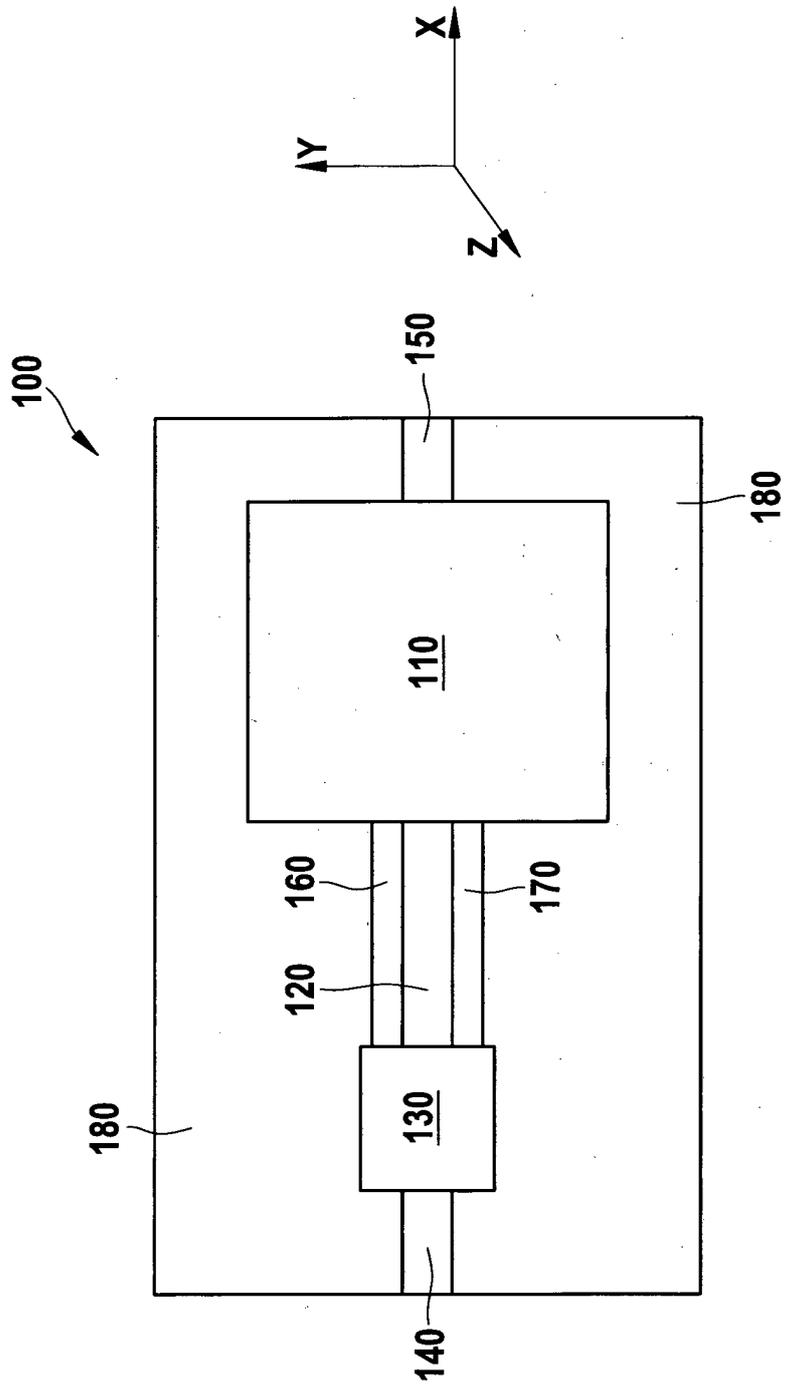
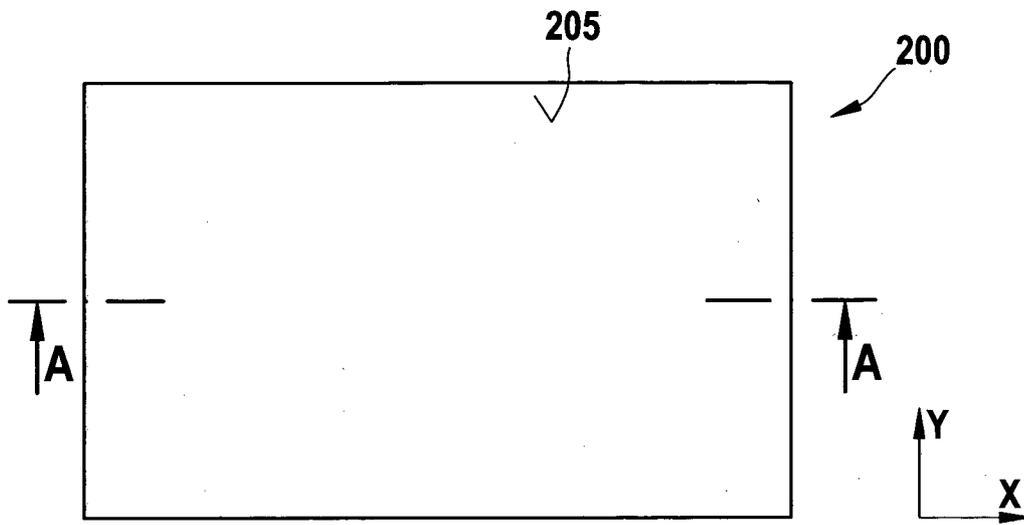
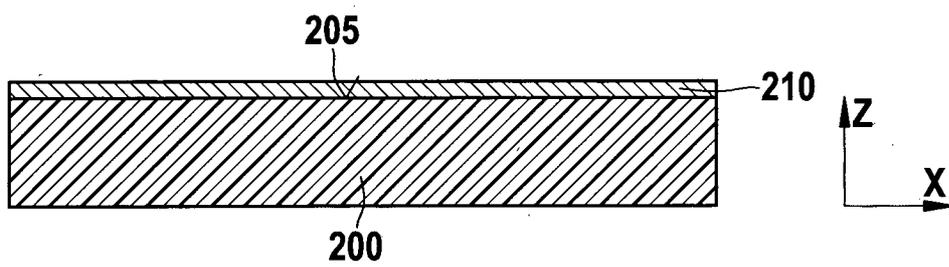


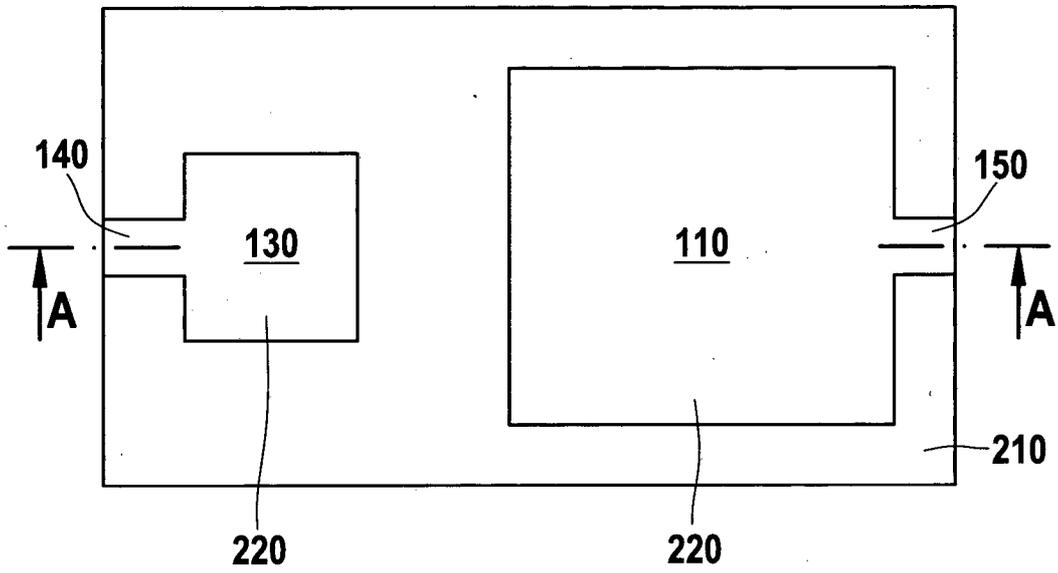
Fig. 1



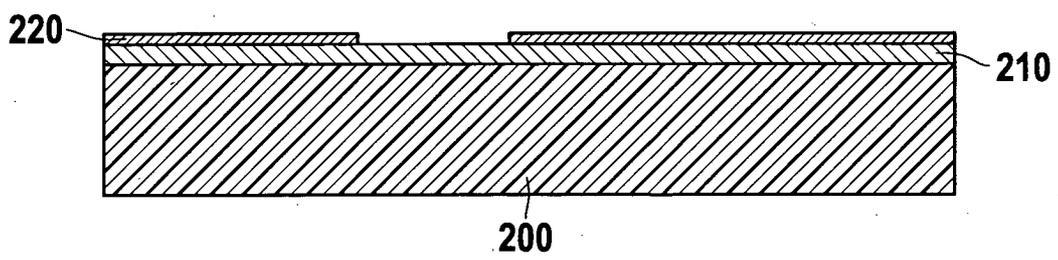
**Fig. 2**



**Fig. 3**  
**(A-A)**



**Fig. 4**



**Fig. 5**  
**(A-A)**

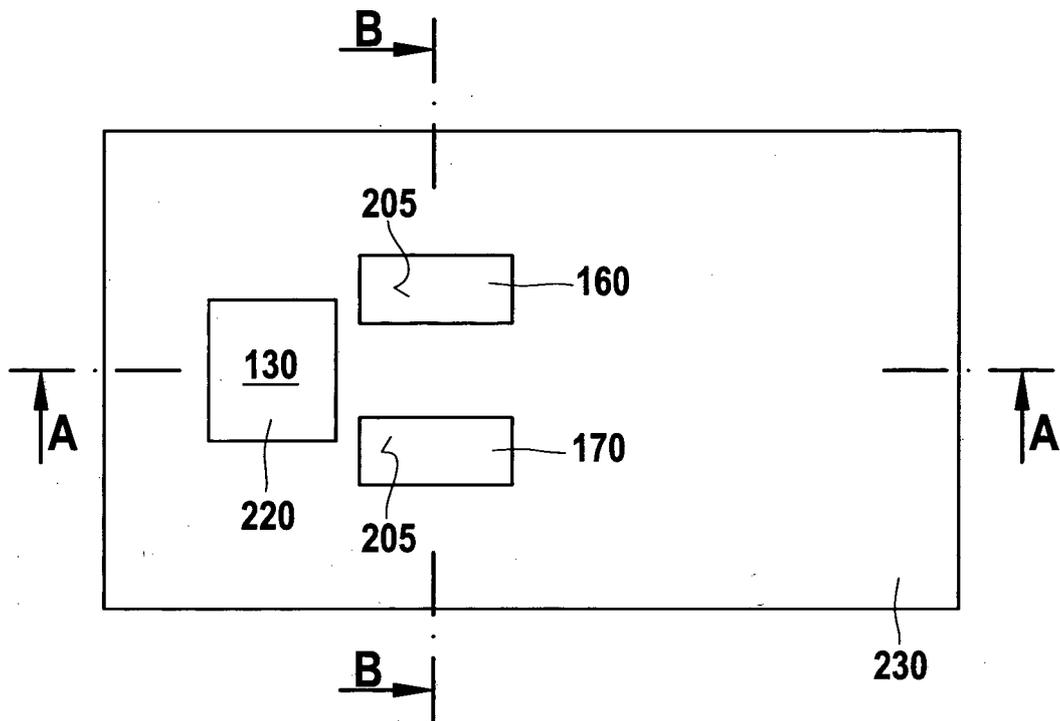


Fig. 6

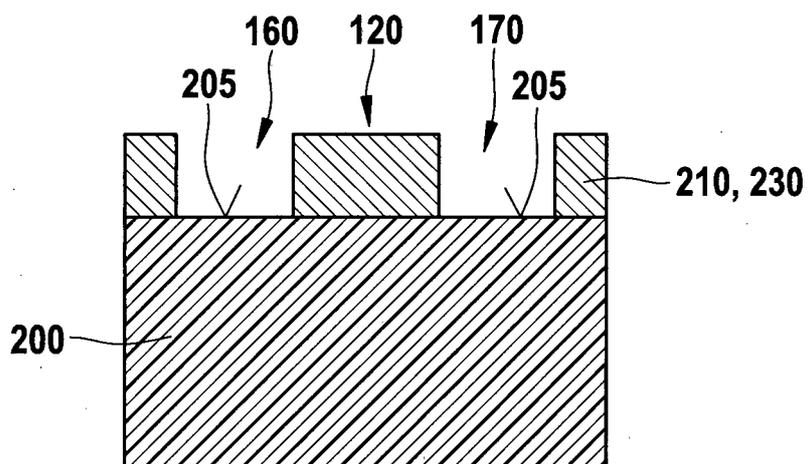


Fig. 7  
(B-B)

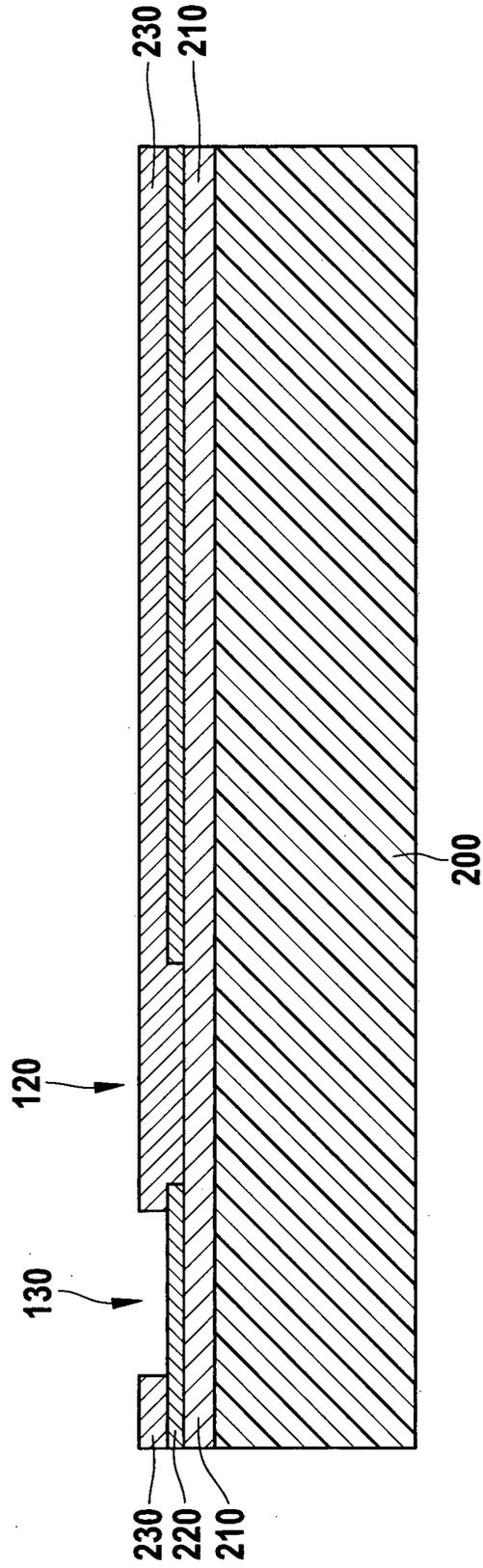


Fig. 8  
(A-A)

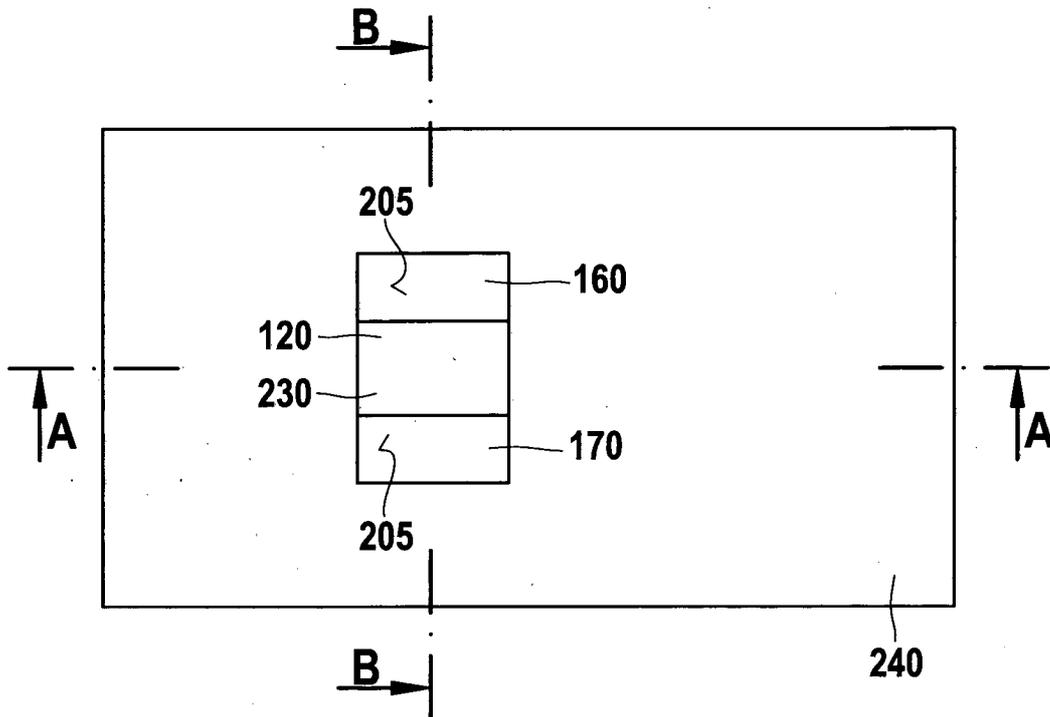


Fig. 9

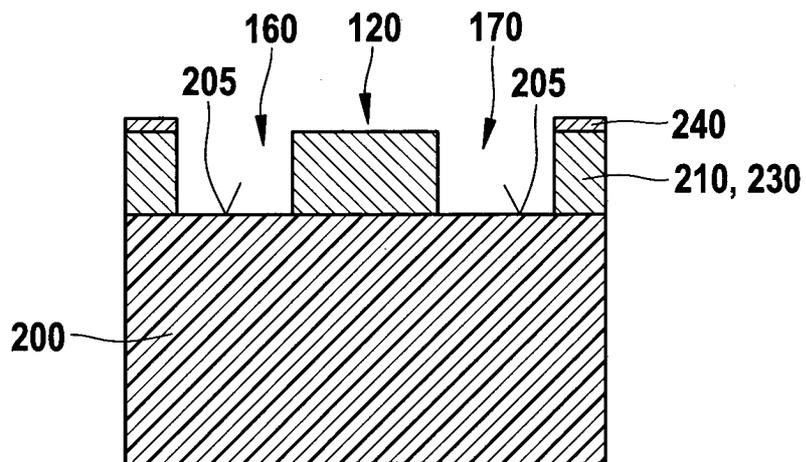
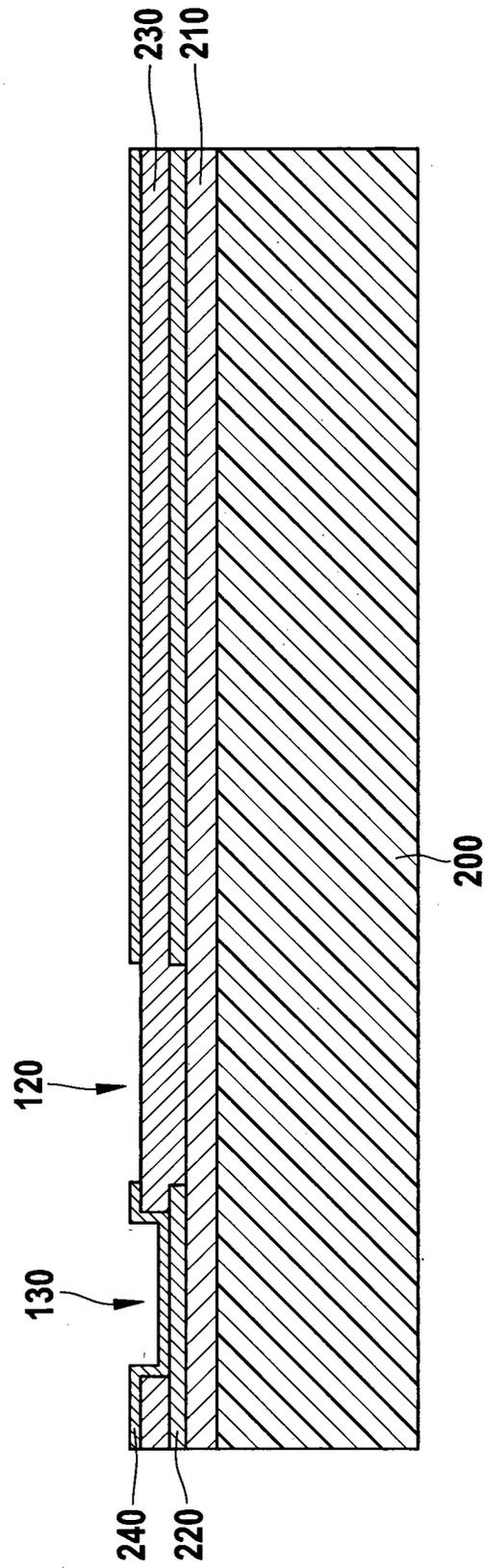
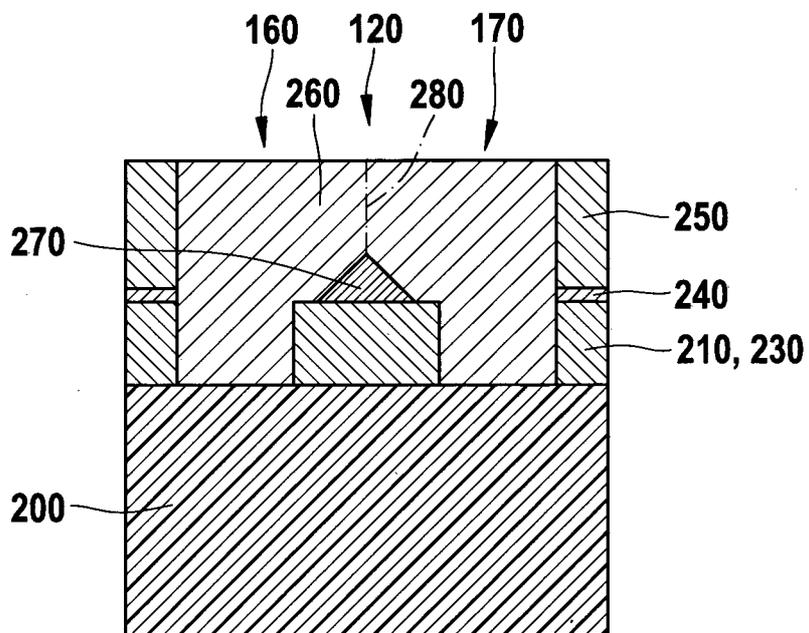
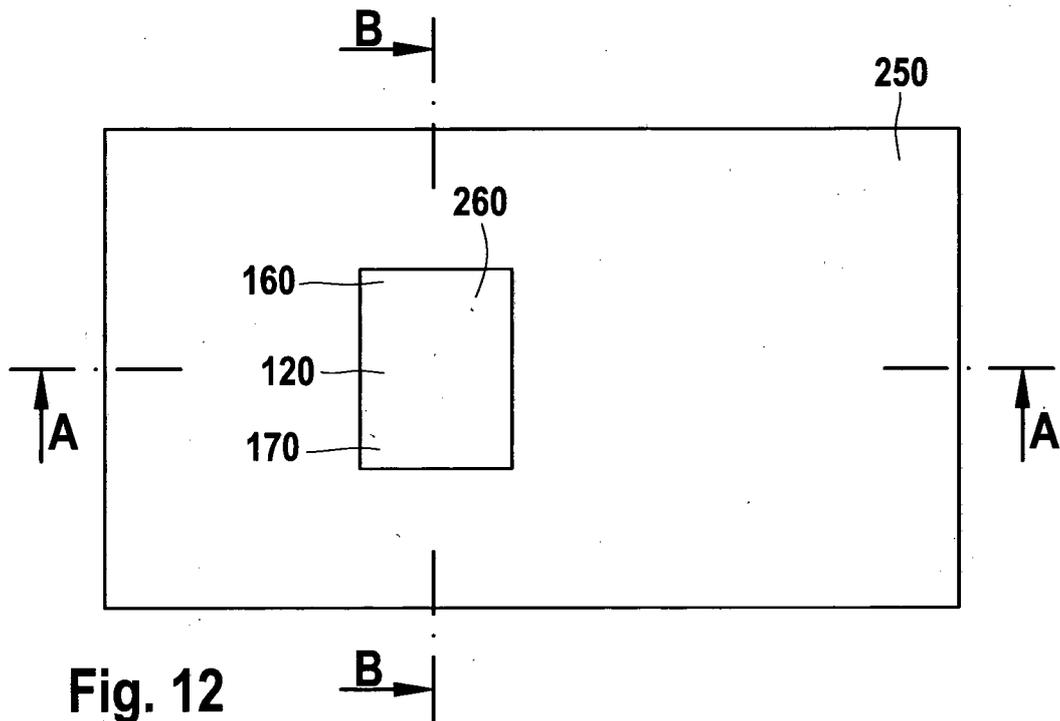
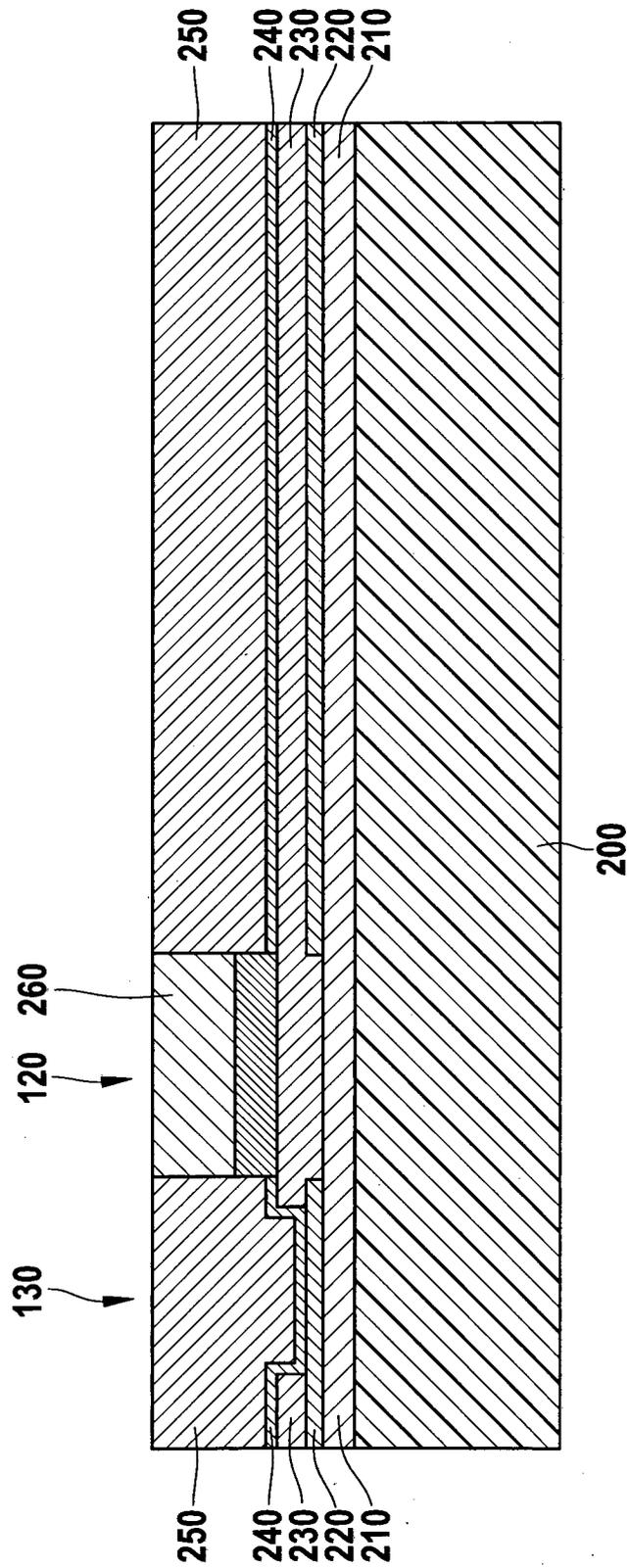


Fig. 10  
(B-B)



**Fig. 11**  
**(A-A)**





**Fig. 14**  
**(A-A)**

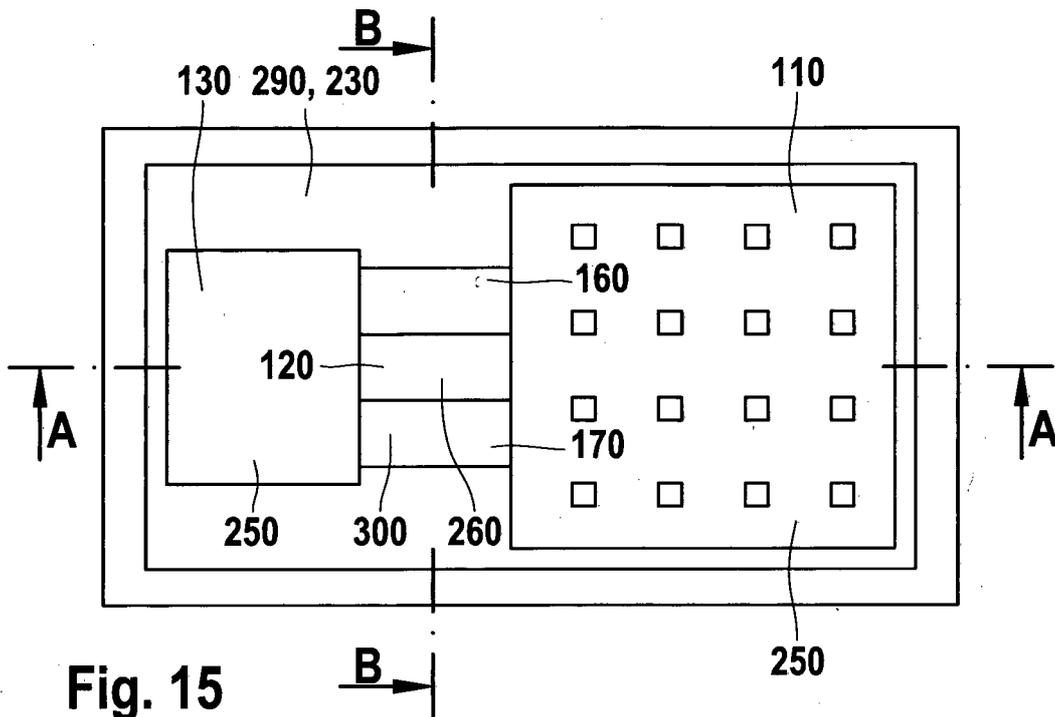


Fig. 15

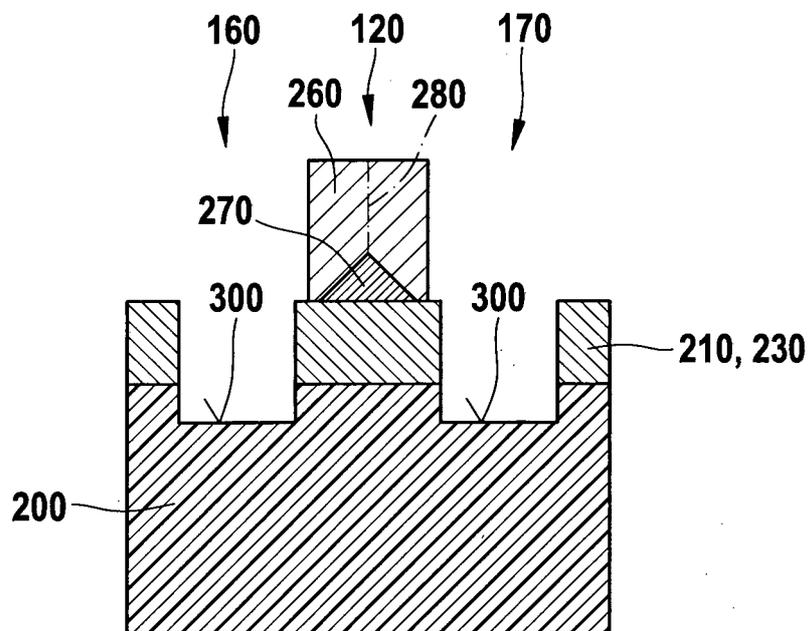


Fig. 16  
(B-B)

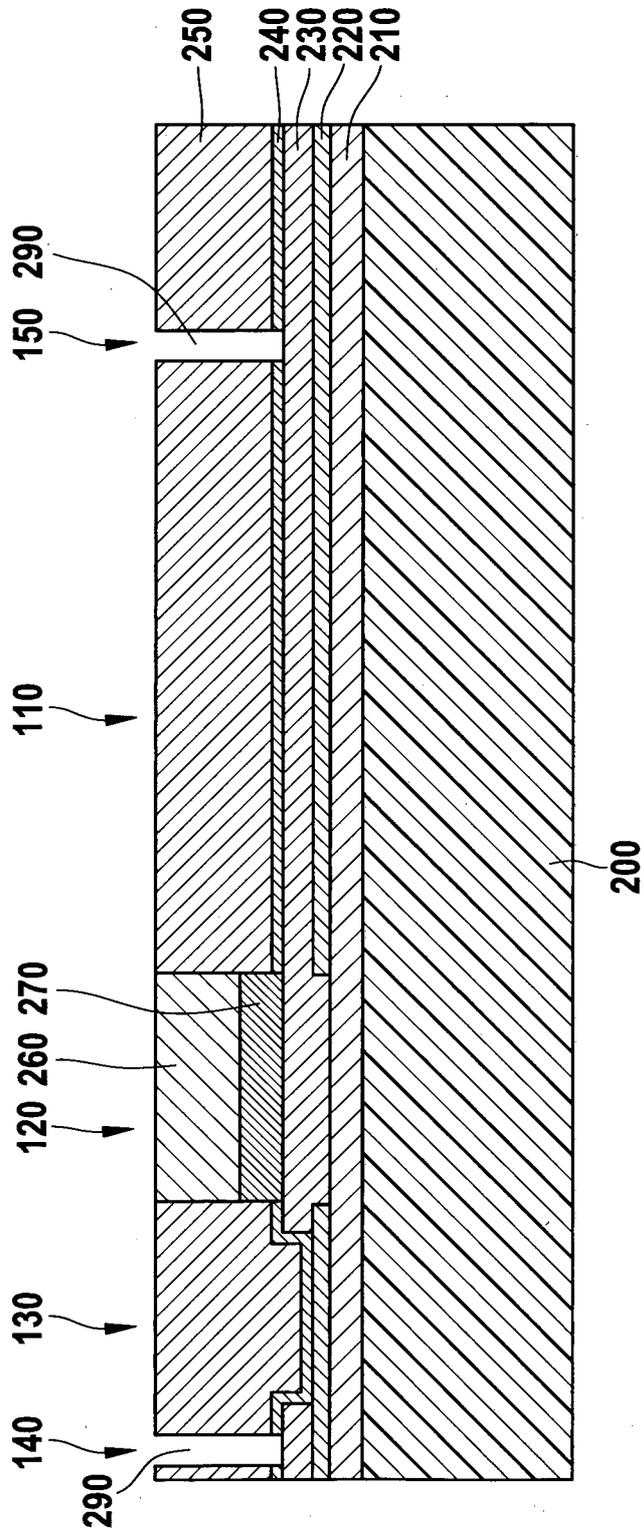


Fig. 17  
(A-A)

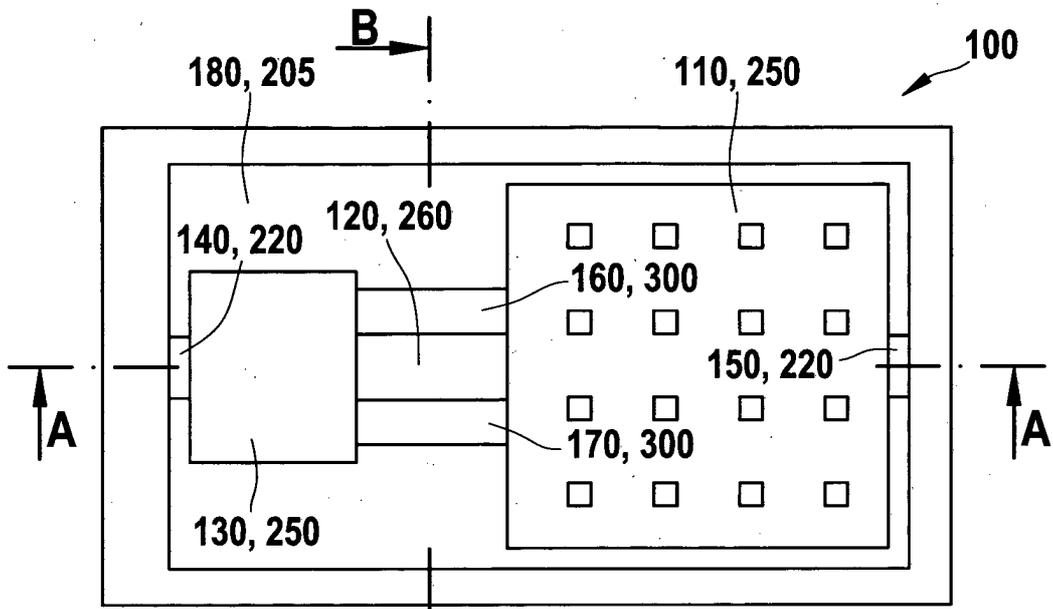


Fig. 18

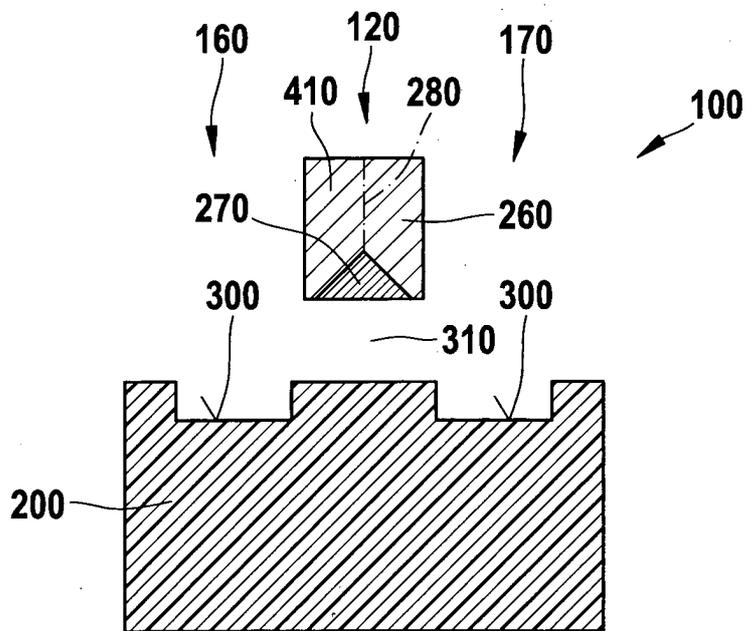


Fig. 19  
(B-B)

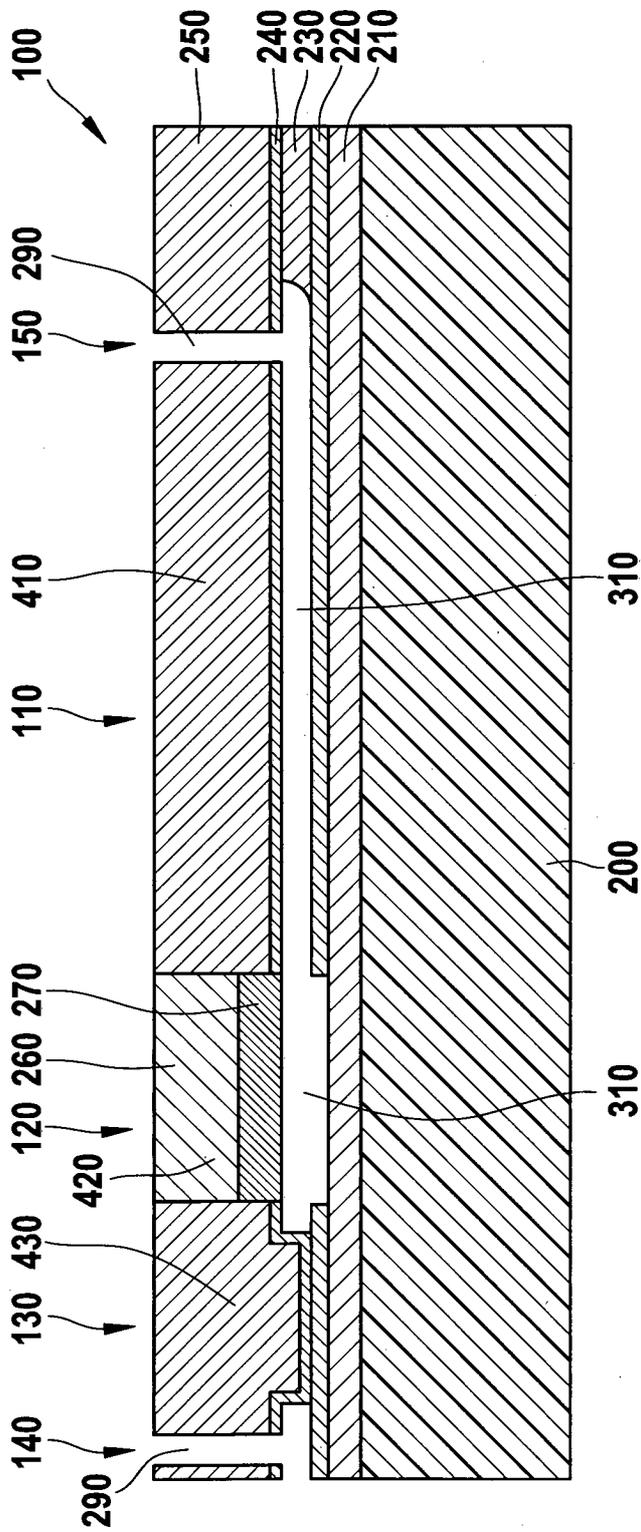


Fig. 20  
(A-A)

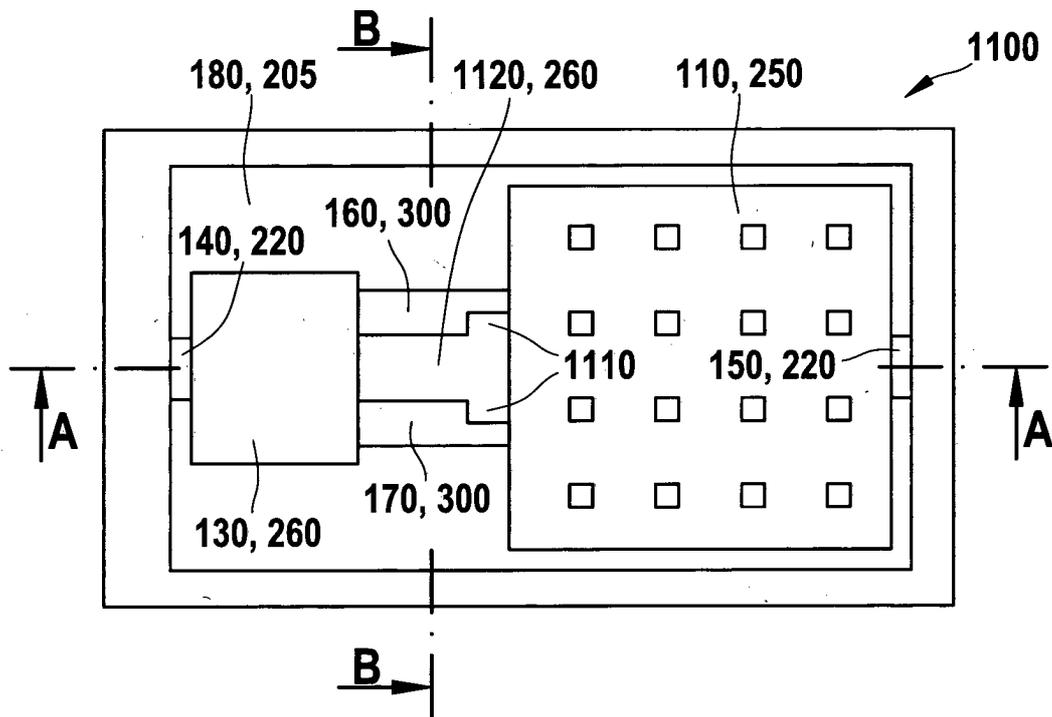


Fig. 21

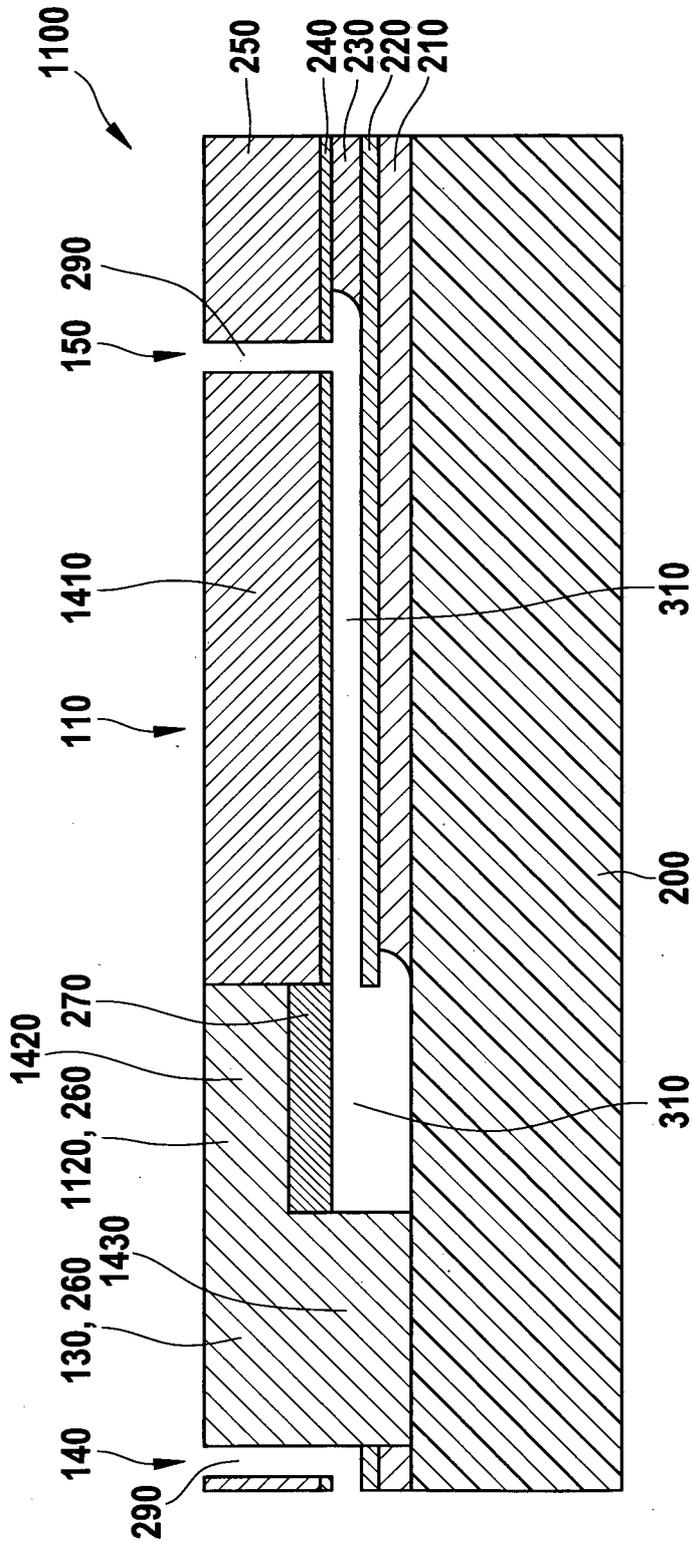
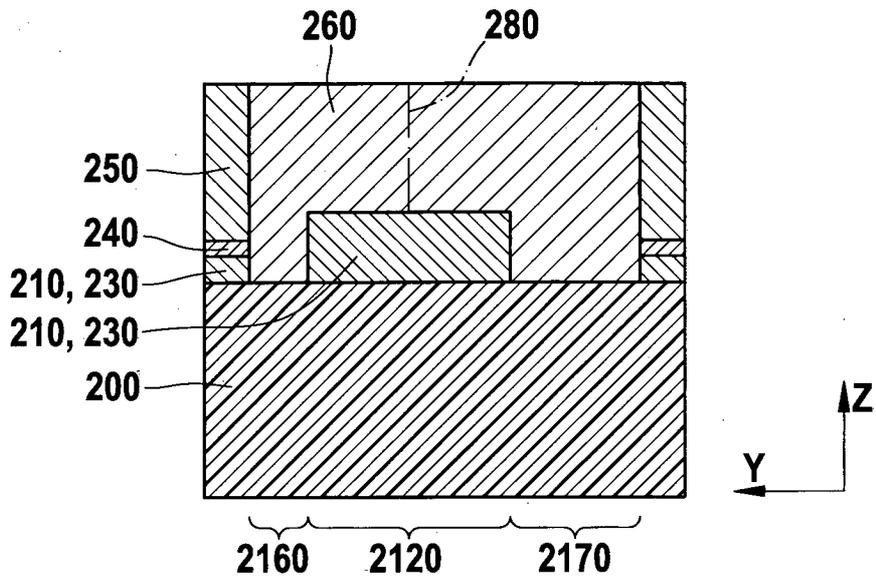
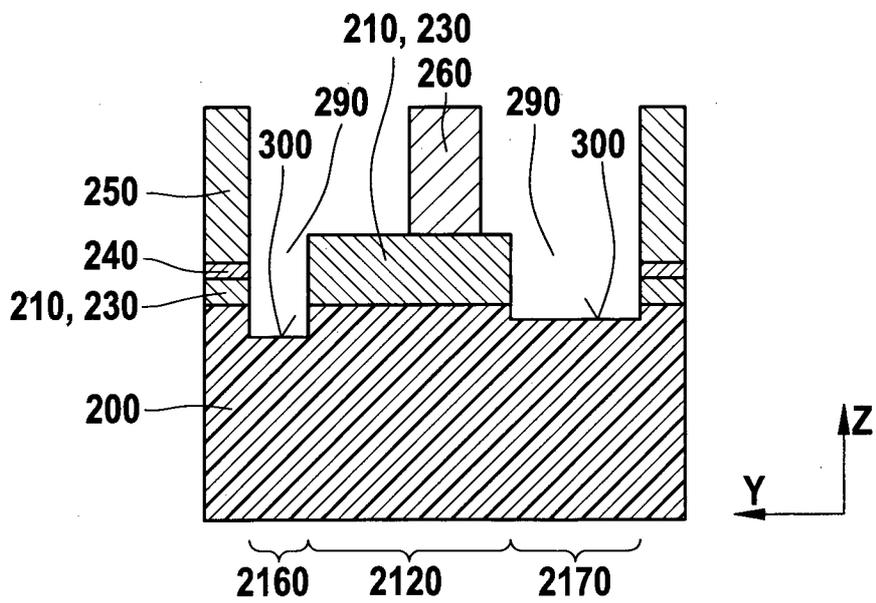


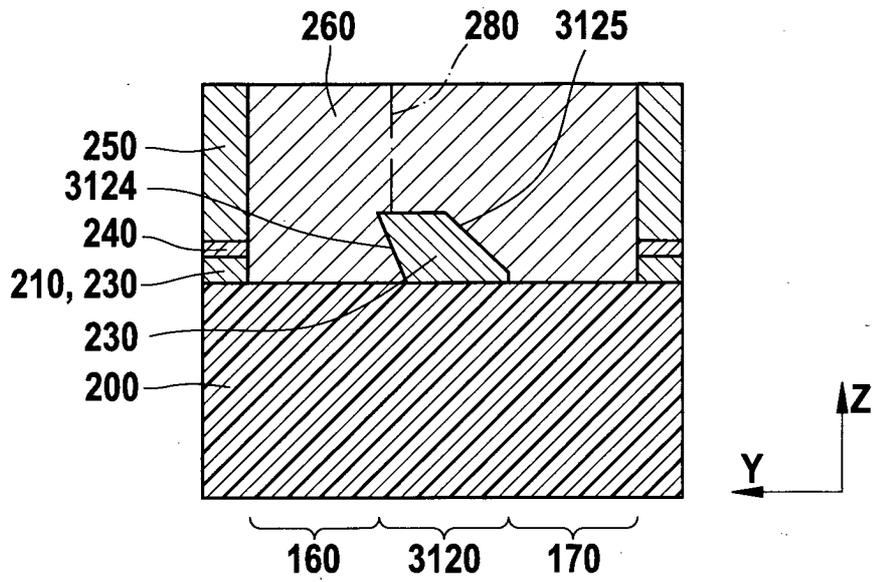
Fig. 22  
(A-A)



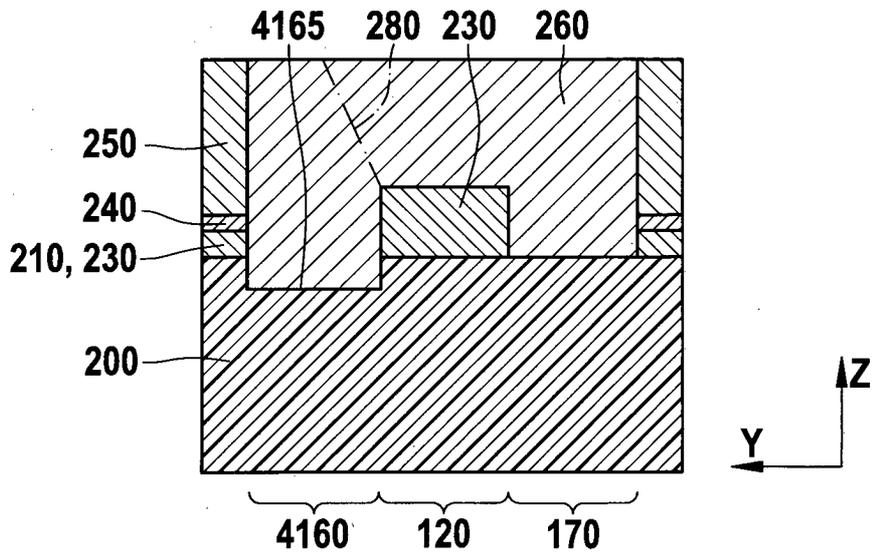
**Fig. 23**  
**(B-B)**



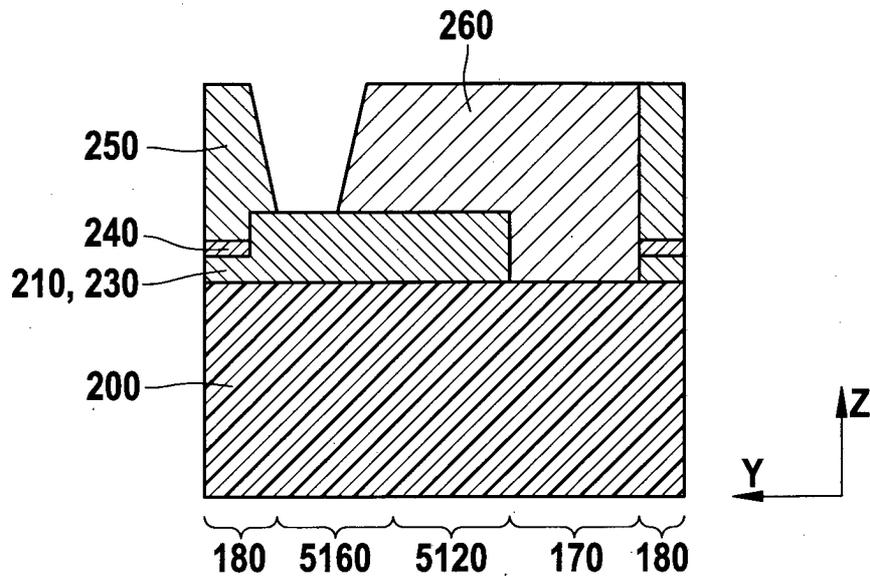
**Fig. 24**  
**(B-B)**



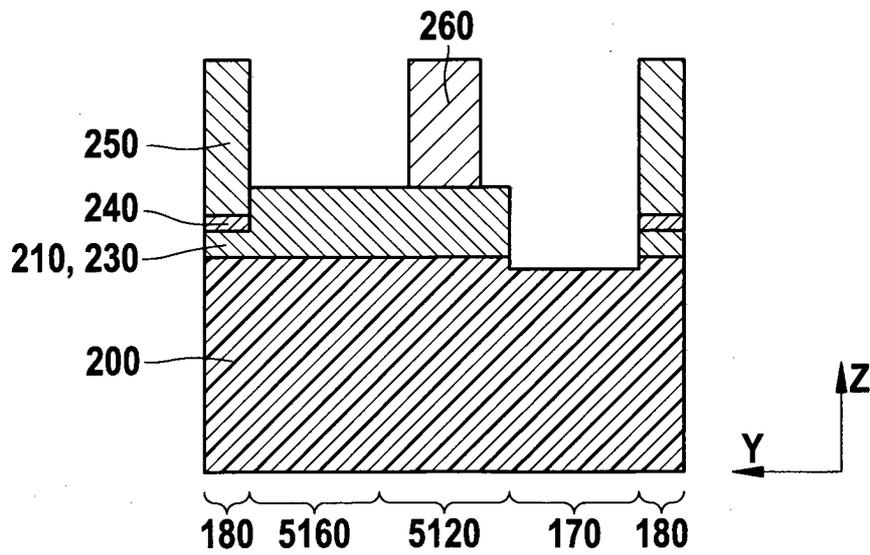
**Fig. 25**  
(B-B)



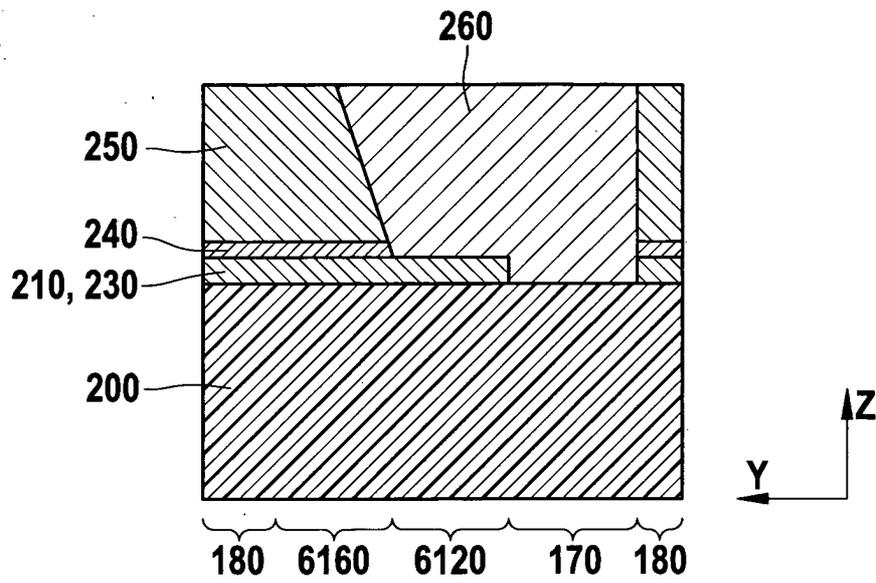
**Fig. 26**  
(B-B)



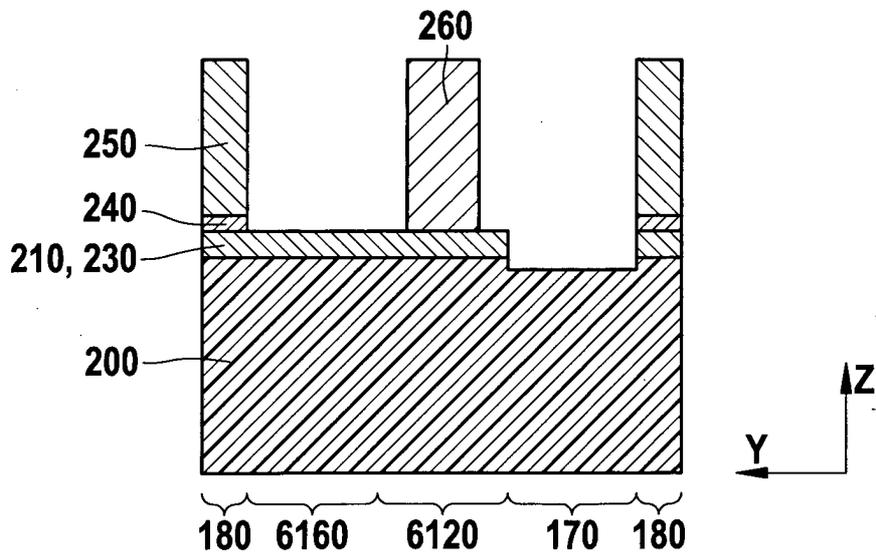
**Fig. 27**  
**(B-B)**



**Fig. 28**  
**(B-B)**



**Fig. 29**  
**(B-B)**



**Fig. 30**  
**(B-B)**