



(10) **DE 10 2017 117 970 B4** 2022.08.25

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 117 970.4**
(22) Anmeldetag: **08.08.2017**
(43) Offenlegungstag: **21.06.2018**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **25.08.2022**

(51) Int Cl.: **H01L 29/78 (2006.01)**
H01L 21/336 (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:

62/495,612	15.12.2016	US
15/594,842	15.05.2017	US

(72) Erfinder:

Lee, Yi-Jing, Hsinchu, TW; Yu, Jeng-Wei, Hsinchu, TW; Chou, Li-Wei, Hsinchu, TW; Kwok, Tsz-Mei, Hsinchu, TW; Yu, Ming-Hua, Hsinchu, TW

(73) Patentinhaber:

Taiwan Semiconductor Manufacturing Co., Ltd., Hsinchu, TW

(56) Ermittelter Stand der Technik:

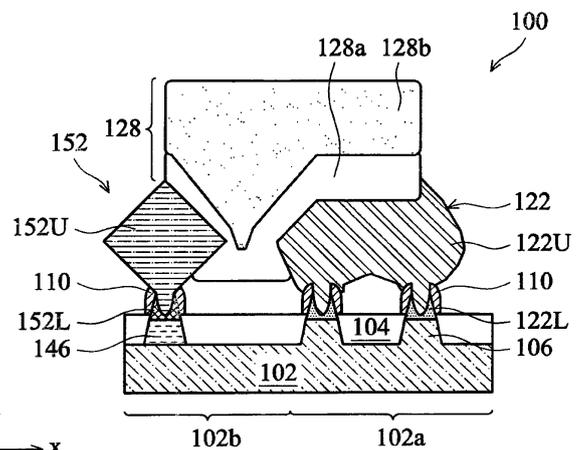
US	9 595 611	B2
US	2015 / 0 303 118	A1

(74) Vertreter:

BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209 Bremen, DE

(54) Bezeichnung: **Halbleiter-Bauelement mit verschmolzenen epitaxialen Strukturelementen mit einer bogenähnlichen Unterseite und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Halbleitervorrichtung mit:
einem Substrat (102);
zwei Halbleiterfinnen (106) über dem Substrat (102); und
einem Halbleiter-Strukturelement (122) über den zwei Halbleiterfinnen (106), wobei
das Halbleiter-Strukturelement (122) zwei untere Teile (122L) und einen oberen Teil (122U) aufweist,
sich die zwei unteren Teile (122L) jeweils direkt über den zwei Halbleiterfinnen (106) befinden,
sich der obere Teil (122U) über den zwei unteren Teilen (122L) befindet,
eine Unterseite des oberen Teils (122U) eine bogenähnliche Querschnittsform hat, und der obere Teil (122U) einstückig ist.



Beschreibung

Hintergrund

[0001] Die IC-Branche (IC: integrierter Halbleiter-Schaltkreis) hat ein exponentielles Wachstum erfahren. Technologische Fortschritte bei IC-Materialien und -Entwürfen haben Generationen von ICs hervorgebracht, wobei jede Generation kleinere und komplexere Schaltkreise als die vorhergehende Generation hat. Im Laufe der IC-Evolution hat die Funktionsdichte (d. h. die Anzahl von miteinander verbundenen Bauelementen je Chipfläche) im Allgemeinen zugenommen, während die Strukturgröße (d. h. die kleinste Komponente oder Leitung, die mit einem Herstellungsverfahren erzeugt werden kann) abgenommen hat. Dieser Prozess der Verkleinerung bietet im Allgemeinen Vorteile durch die Erhöhung der Produktionsleistung und die Senkung der entsprechenden Kosten. Diese Verkleinerung hat aber auch die Komplexität der Bearbeitung und Herstellung von ICs erhöht.

[0002] Zum Beispiel sind mit der schrittweisen Verkleinerung von Halbleiterbauelementen verspannte Source-/Drain(S/D)-Strukturelemente (z. B. Stressorbereiche) unter Verwendung von epitaxialen Halbleitermaterialien implementiert worden, um die Trägerbeweglichkeit zu erhöhen und die Bauelementleistung zu verbessern. Bei der Herstellung eines Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistors (MOSFET) mit Stressorbereichen wird oft Silizium (Si) epitaxial aufgewachsen, um erhabene S/D-Strukturelemente für ein n-Bauelement herzustellen, und Siliziumgermanium (SiGe) wird epitaxial aufgewachsen, um erhabene S/D-Strukturelemente für ein p-Bauelement herzustellen. Verschiedene Methoden, die auf Formen, Konfigurationen und Materialien dieser S/D-Strukturelemente gerichtet sind, sind implementiert worden, um die Leistung des Transistor-Bauelements weiter zu verbessern. Zwar sind bestehende Methoden bei der S/D-Herstellung für ihren angestrebten Zweck bisher im Allgemeinen geeignet gewesen, aber sie sind nicht in jeder Hinsicht völlig zufriedenstellend gewesen. Zum Beispiel ist mit der Verkleinerung der Transistoren der S/D-Kontaktwiderstand zu einem zunehmend herausragenden Faktor für die Schaltkreisleistung geworden. Es ist in hohem Maße wünschenswert, einen kleineren S/D-Kontaktwiderstand zu haben, da dieser zu einem geringeren Energieverbrauch und einer höheren Schaltkreisgeschwindigkeit führt.

Figurenliste

[0003] Die vorliegende Erfindung lässt sich am besten anhand der nachstehenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verstehen. Es ist zu beachten, dass entsprechend der üblichen Praxis in der Branche ver-

schiedene Elemente nicht maßstabsgetreu gezeichnet sind. Vielmehr können der Übersichtlichkeit der Erörterung halber die Abmessungen der verschiedenen Elemente beliebig vergrößert oder verkleinert sein.

Die **Fig. 1A** bis **Fig. 1E** zeigen verschiedene Ausführungsformen eines Halbleiter-Bauelements, das gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung konfiguriert ist.

Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung eines Halbleiter-Bauelements gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung.

Fig. 3 zeigt eine perspektivische Darstellung eines Halbleiter-Bauelements in einem Zwischenschritt der Herstellung gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens von **Fig. 2**.

Die **Fig. 4A** bis **Fig. 4C**, **Fig. 5A** bis **Fig. 5C**, **Fig. 6A**, **Fig. 6B**, **Fig. 7A**, **Fig. 7B**, **Fig. 8A**, **Fig. 8B**, **Fig. 9A**, **Fig. 9B**, **Fig. 10A**, **Fig. 10B**, **Fig. 11A**, **Fig. 11B**, **Fig. 12A**, **Fig. 12B**, **Fig. 13A** und **Fig. 13B** zeigen Schnittansichten der Herstellung eines Ziel-Halbleiter-Bauelements entsprechend dem Verfahren von **Fig. 2**, gemäß einigen Ausführungsformen.

Detaillierte Beschreibung

[0004] Die nachstehende Beschreibung liefert viele verschiedene Ausführungsformen oder Beispiele zum Implementieren verschiedener Merkmale des bereitgestellten Gegenstands. Nachstehend werden spezielle Beispiele für Komponenten und Anordnungen beschrieben, um die vorliegende Erfindung zu vereinfachen. Diese sind natürlich lediglich Beispiele und sollen nicht beschränkend sein. Zum Beispiel kann die Herstellung eines ersten Elements über oder auf einem zweiten Element in der nachstehenden Beschreibung Ausführungsformen umfassen, bei denen das erste und das zweite Element in direktem Kontakt ausgebildet werden, und sie kann auch Ausführungsformen umfassen, bei denen zusätzliche Elemente zwischen dem ersten und dem zweiten Element so ausgebildet werden können, dass das erste und das zweite Element nicht in direktem Kontakt sind. Darüber hinaus können in der vorliegenden Erfindung Bezugszahlen und/oder -buchstaben in den verschiedenen Beispielen wiederholt werden. Diese Wiederholung dient der Einfachheit und Übersichtlichkeit und schreibt an sich keine Beziehung zwischen den verschiedenen erörterten Ausführungsformen und/oder Konfigurationen vor.

[0005] Darüber hinaus können hier räumlich relative Begriffe, wie etwa „darunter befindlich“, „unter“, „untere(r)“, „unteres“, „darüber befindlich“, „obere(r)“, „oberes“ und dergleichen, zur einfachen

Beschreibung der Beziehung eines Elements oder einer Struktur zu einem oder mehreren anderen Elementen oder Strukturen verwendet werden, die in den Figuren dargestellt sind. Die räumlich relativen Begriffe sollen zusätzlich zu der in den Figuren dargestellten Orientierung andere Orientierungen des in Gebrauch oder in Betrieb befindlichen Bauelements umfassen. Die Vorrichtung kann anders ausgerichtet werden (um 90 Grad gedreht oder in einer anderen Orientierung), und die räumlich relativen Deskriptoren, die hier verwendet werden, können ebenso entsprechend interpretiert werden.

[0006] Die vorliegende Erfindung in verschiedenen Ausführungsformen betrifft allgemein Halbleiter-Bauelemente und Verfahren zu deren Herstellung. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung die Herstellung von erhabenen S/D-Strukturelementen in Feldeffekttransistoren (FETs), die FETs mit Finnen-ähnlichen Kanälen (auch als FinFETs bekannt) umfassen. Bei einigen Ausführungsformen stellt die vorliegende Erfindung erhabene S/D-Strukturelemente bereit, die ein Ergebnis der Verschmelzung von mehreren epitaxialen Strukturelementen sind, wobei die erhabenen S/D-Strukturelemente eine bogenähnliche Unterseite haben. Außerdem können die erhabenen S/D-Strukturelemente eine plane oder fast plane Oberseite haben. Durch die bogenähnliche Unterseite entsteht ein großes Volumen in den erhabenen S/D-Strukturelementen, wenn diese geätzt werden, um leitende Strukturelemente, wie etwa S/D-Kontakte, herzustellen. Das große Volumen trägt zur Verringerung des Zwischenschichtwiderstands zwischen den erhabenen S/D-Strukturelementen und den leitenden Strukturelementen bei.

[0007] Fig. 1A zeigt ein Halbleiter-Bauelement 100, das gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung konfiguriert ist. Das Bauelement 100 kann ein Zwischenbauelement sein, das bei der Bearbeitung eines IC oder eines Teils davon hergestellt wird, der einen statischen Direktzugriffsspeicher (SRAM) und/oder Logikschaltungen, passive Komponenten, wie etwa Widerstände, Kondensatoren und Induktoren, und aktive Komponenten, wie etwa p-FETs (PFETs), n-FETs (NFETs), FinFETs, Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOS-FETs) und komplementäre Metall-Oxid-Halbleiter-Transistoren (CMOS-Transistoren), Bipolartransistoren, Hochspannungstransistoren, Hochfrequenztransistoren, andere Speicherzellen und Kombinationen davon umfassen kann. Darüber hinaus werden die verschiedenen Strukturelemente, wie etwa Transistoren, Finnen, Gate-Stapel, Bauelementbereiche und andere Strukturelemente, bei verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zur Vereinfachung und zum besseren Verständnis bereitgestellt und beschränken nicht unbedingt die Ausführungsformen auf einen Typ von Bauelementen, eine Anzahl von Bauelementen, eine Anzahl

von Bereichen oder eine Konfiguration von Strukturen oder Bereichen. Das Bauelement 100 ist zwar bei verschiedenen Ausführungsformen als ein FinFET-Bauelement dargestellt, aber es kann bei alternativen Ausführungsformen auch ein planares FET-Bauelement oder ein anderes Multi-Gate-Bauelement sein.

[0008] Fig. 1A zeigt eine Schnittansicht des Bauelements 100 in dessen S/D-Bereich. In Fig. 1A weist bei dieser Ausführungsform das Bauelement 100 ein Substrat 102, eine Isolationsstruktur 104 über dem Substrat 102 und zwei oder mehr Finnen 106 (in Fig. 1A sind zwei dargestellt) über dem Substrat 102 auf. Die Finnen 106 verlaufen in Längsrichtung senkrecht zu der x-z-Ebene. Obgleich es nicht dargestellt ist, können einige Teile der Finnen 106 über die Isolationsstruktur 104 überstehen. Weiterhin weist bei dieser Ausführungsform das Bauelement 100 ein epitaxial aufgewachsenes Halbleiter-Strukturelement (oder epitaxiales Strukturelement) 122 auf. Das epitaxiale Strukturelement 122 umfasst einen oberen Teil 122U und zwei oder mehr untere Teile 122L (in Fig. 1A sind zwei gezeigt). Die unteren Teile 122L sind über den jeweiligen Finnen 106 angeordnet und sind zumindest teilweise von einer dielektrischen Finnen-Seitenwandschicht 110 umschlossen. Bei der vorliegenden Ausführungsform sind die unteren Teile 122L niedriger als die dielektrische Finnen-Seitenwandschicht 110 entlang der z-Richtung (der Finnen-Höhenrichtung). Die unteren Teile 122L sind über den oberen Teil 122U physisch miteinander verbunden. Der obere Teil 122U stellt eine Oberseite 124 bereit, die plan oder fast plan ist. Bei einer Ausführungsform ist die Oberseite 124 im Wesentlichen parallel zu einer Oberseite 102' des Substrats 102. Bei der vorliegenden Ausführungsform hat eine Unterseite 125 des oberen Teils 122U eine bogenähnliche Querschnittsform in der x-z-Ebene. Die verschiedenen Strukturelemente des Bauelements 100 werden nachstehend näher beschrieben.

[0009] Das Substrat 102 ist bei der vorliegenden Ausführungsform ein Siliziumsubstrat. Alternativ kann das Substrat 102 Folgendes umfassen: einen anderen elementaren Halbleiter, wie etwa Germanium; einen Verbindungshalbleiter, wie etwa Siliziumcarbid, Galliumarsen, Galliumphosphid, Indiumphosphid, Indiumarsenid und/oder Indiumantimonid; einen Legierungshalbleiter, wie etwa SiGe, GaAsP, AlInAs, AlGaAs, GaInAs, GaInP und/oder GaInAsP; oder Kombinationen davon. Bei einer noch weiteren Alternative ist das Substrat 102 ein Halbleiter auf Isolator (SOI), der zum Beispiel eine vergrabene dielektrische Schicht haben kann. Bei einigen Ausführungsformen weist das Substrat 102 aktive Bereiche, wie etwa p-Wannen und n-Wannen, zur Herstellung von aktiven Bauelementen auf.

[0010] Die Finnen 106 können p-Finnen zur Herstellung von PFETs oder n-Finnen zur Herstellung von NFETs sein. Die Finnen 106 können im Wesentlichen das gleiche Halbleitermaterial wie das Substrat 102 aufweisen. Obwohl es in **Fig. 1A** nicht dargestellt ist, weisen die Finnen 106 jeweils einen Kanalbereich und zwei S/D-Bereiche mit dem Kanalbereich dazwischen auf. **Fig. 1A** zeigt eine Schnittansicht des Bauelements 100 durch einen der S/D-Bereiche der Finnen 106. Die Finnen 106 sind durch die Isolationsstruktur 104 getrennt. Die Isolationsstruktur 104 kann Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumoxidnitrid, Fluorsilicatglas (FSG), ein dielektrisches Low-k-Material und/oder ein anderes geeignetes Isoliermaterial aufweisen. Die Isolationsstruktur 104 kann bei einigen Ausführungsformen STI-Strukturelemente (STI: flache Grabenisolation) umfassen. Über der Isolationsstruktur 104 und angrenzend an die S/D-Bereiche der Finnen 106 ist eine dielektrische Schicht 110 angeordnet. Die dielektrische Schicht 110 umschließt zumindest teilweise die unteren Teile 122L. Bei einer Ausführungsform weist die dielektrische Schicht 110 ein Nitrid auf, wie etwa Siliziumnitrid, Siliziumoxidnitrid oder Siliziumcarbonitrid. Der obere Teil 122U ist über der dielektrischen Schicht 110 und den unteren Teilen 122L angeordnet.

[0011] Bei einer Ausführungsform weisen die unteren Teile 122L und der obere Teil 122U jeweils Silizium, das mit einem n-Dotanden, wie etwa Phosphor (P) oder Arsen (As), dotiert ist, auf, um NFET-Bauelemente herzustellen. Außerdem hat der obere Teil 122U eine höhere Konzentration des n-Dotanden als die unteren Teile 122L. In einem Beispiel weist der obere Teil 122U Silizium, das mit Phosphor dotiert ist, mit einer Dotierungskonzentration in dem Bereich von $1e^{21} \text{ cm}^{-3}$ bis $5e^{21} \text{ cm}^{-3}$ auf, während die unteren Teile 122L Silizium, das mit Phosphor dotiert ist, mit einer Dotierungskonzentration in dem Bereich von $1e^{20} \text{ cm}^{-3}$ bis $1e^{21} \text{ cm}^{-3}$ aufweisen. Bei einer anderen Ausführungsform weisen die unteren Teile 122L und der obere Teil 122U jeweils Siliziumgermanium, das mit einem p-Dotanden, wie etwa Bor (B) oder Indium (In), dotiert ist, zur Herstellung von PFET-Bauelementen auf. Bei einer weiteren Ausführungsform hat der obere Teil 122U eine höhere Konzentration des p-Dotanden als die unteren Teile 122L.

[0012] Bei der Ausführungsform, die in **Fig. 1A** gezeigt ist, haben die Finnen 106 einen Finnenabstand p entlang der Breitenrichtung der Finnen (der x-Richtung). Der Finnenabstand p ist auch der Abstand der unteren Teile 122L. Bei einigen Ausführungsformen wird der Abstand p an den Prozessknoten und an die Herstellung der speziellen Form des epitaxialen Strukturelements 122 angepasst. Wenn p zu klein ist, kann der obere Teil 122U in dem epitaxialen Aufwuchsprozess zu früh verschmelzen, sodass er dazu neigt, rhombisch zu werden, statt eine Form

mit einer planen Oberseite und einer bogenähnlichen Unterseite zu haben. Wenn p zu groß ist, kann der obere Teil 122U überhaupt nicht verschmelzen. In einem Beispiel wird der Abstand p auf einen Bereich von 30 nm bis 50 nm eingestellt. Außerdem hat der obere Teil 122U eine vertikale Dicke h (entlang der z-Richtung) von dem Scheitelpunkt der Bogenform der Unterseite 125 bis zu der Oberseite 124. In einem Beispiel beträgt die Dicke h 25 bis 55 nm. Die dielektrische Schicht 110 hat eine Höhe d entlang der z-Richtung, und die Höhe d kann bei verschiedenen Ausführungsformen 5 bis 25 nm betragen. Wie nachstehend dargelegt wird, trägt die Höhe d zu den verschiedenen Formen und Abmessungen des epitaxialen Strukturelements 122 bei. Die unteren Teile 122L haben eine Breite c entlang der x-Richtung, die ungefähr auf der halben Höhe des unteren Teils 122L gemessen wird. Die Breite c kann bei einigen Ausführungsformen 6 bis 15 nm betragen. Außerdem haben die unteren Teile 122L jeweils eine Höhe e entlang der z-Richtung. Die Höhe e kann bei einigen Ausführungsformen 3 bis 15 nm betragen.

[0013] Bleiben wir bei **Fig. 1A**. Zwischen dem oberen Teil 122U, der dielektrischen Seitenwandschicht 110 und der Isolationsstruktur 104 gibt es einen Zwischenraum. Dieser Zwischenraum kann vollständig oder teilweise mit einer Zwischenschichtdielektrikum-Schicht (ILD-Schicht) (in **Fig. 1A** nicht dargestellt, aber siehe das Strukturelement 130 von **Fig. 13A**) gefüllt sein. Bei einer Ausführungsform weist die ILD-Schicht ein anderes Material als die dielektrische Seitenwandschicht 110 auf. Die ILD-Schicht kann zum Beispiel Tetraethylorthosilicat (TEOS)-Oxid, dotiertes oder undotiertes Silicatglas oder Kieselglas (fused silica glass; FSG) aufweisen, während die dielektrische Seitenwandschicht 110 ein Nitrid aufweist.

[0014] Die Bogenform der Unterseite 125 kann nach oben von dem Substrat 102 weg verlaufen, wie es in **Fig. 1A** gezeigt ist. Bei einer alternativen Ausführungsform kann die Bogenform nach unten zu dem Substrat 102 verlaufen, wie es in **Fig. 1D** gezeigt ist, die später erörtert wird. Bei der vorliegenden Ausführungsform hat der Bogen eine Spannweite b entlang der x-Richtung und eine Höhe (oder Anstieg) a_1 entlang der z-Richtung. In einem Beispiel, in dem der Abstand p 30 bis 50 nm beträgt, beträgt die Spannweite b etwa 20 bis 40 nm, während die Höhe a_1 etwa 0 bis 30 nm beträgt. Bei der vorliegenden Ausführungsform hat die Unterseite 125 eine flache bogenähnliche Form, d. h., das Verhältnis der Höhe zur Spannweite des Bogens, a_1/b , ist kleiner als 0,5. Bei einer weiteren Ausführungsform ist das Verhältnis a_1/b kleiner als 0,25. Die Vorzüge und Wirkungen eines kleinen Höhe-Spannweite-Verhältnisses wird durch Bezugnahme auf **Fig. 1B** klar.

[0015] In **Fig. 1B** weist das Bauelement 100 bei einer Ausführungsform weiterhin ein leitendes Strukturelement 126 auf, das über dem epitaxialen Strukturelement 122 hergestellt ist. Insbesondere ist bei dieser Ausführungsform das leitende Strukturelement 126 teilweise in dem oberen Teil 122U des epitaxialen Strukturelements 122 eingebettet. Bei der vorliegenden Ausführungsform weist das leitende Strukturelement 126 eine Sperrschicht 126a und einen Leiter (z. B. ein Metall) 126b über der Sperrschicht 126a auf. Zum Beispiel kann der Leiter 126b Aluminium (Al), Wolfram (W), Kupfer (Cu), Cobalt (Co), Kombinationen davon oder ein anderes geeignetes Material aufweisen, und die Sperrschicht 126a kann ein Metallnitrid, wie etwa TaN oder TiN, aufweisen. Das leitende Strukturelement 126 kann weitere Schichten umfassen. Bei einer anderen Ausführungsform weist das leitende Strukturelement 126 dotiertes Polysilizium auf. Das leitende Strukturelement 126 kann ein S/D-Kontakt oder eine lokale S/D-Verbindungsleitung sein. Die Herstellung des leitenden Strukturelements 126 umfasst das Ätzen eines Grabens in das epitaxiale Strukturelement 122 und das Abscheiden einer oder mehrerer Schichten des leitenden Strukturelements 126 in den Graben. Der Graben kann so geätzt werden, dass er eine Tiefe q in das epitaxiale Strukturelement 122 hinein hat, die kleiner als die Dicke h des oberen Teils 122U (entlang der z -Richtung) ist. Bei einigen Ausführungsformen beträgt die Tiefe q 15 bis 25 nm. Obwohl es nicht dargestellt ist, kann es bei einigen Ausführungsformen ein Silizid-Strukturelement (oder eine Silizidierung) zwischen dem leitenden Strukturelement 126 und dem epitaxialen Strukturelement 122 geben.

[0016] Bei verschiedenen Ausführungsformen ermöglicht der große Zwischenbereich zwischen dem leitenden Strukturelement 126 und dem epitaxialen Strukturelement 122 einen niedrigeren Kontaktwiderstand als bei herkömmlichen Strukturen. Herkömmliche epitaxiale Strukturelemente haben normalerweise ein rhombisches Querschnittsprofil und sind entweder gegeneinander isoliert (nicht verschmolzen), oder sie sind zu einer Form mit einer sehr spitzen Wölbung verschmolzen, wie durch die Strichlinien 150 in **Fig. 1B** gezeigt ist. Isolierte epitaxiale Strukturelemente bieten keinen so großen Zwischenbereich wie die verschmolzenen epitaxialen Strukturelemente. Die sehr spitze Wölbung bei den verschmolzenen epitaxialen Strukturelementen bietet kein ausreichendes Volumen zum Ätzen, zum Beispiel wenn der Graben zum Abscheiden des leitenden Strukturelements 126 hergestellt wird. Wenn zum Beispiel eine vertikale Dicke v des epitaxialen Strukturelements kleiner als die Grabentiefe q ist, wird das epitaxiale Strukturelement durchgeätzt. Wenn das epitaxiale Strukturelement durchgeätzt wird, kontaktiert ein Bereich des leitenden Strukture-

lements 126 nicht das epitaxiale Strukturelement, was zu einem höheren Kontaktwiderstand führt.

[0017] Diese Überätzung könnte bei den modernen Prozessknoten, bei denen das Seitenverhältnis der Transistor-Topografie größer wird, stärker werden. Das Seitenverhältnis ist das Verhältnis zwischen der Höhe der Spitzen (z. B. der Gate-Stapel) der Transistor-Topografie und dem Zwischenraum zwischen benachbarten Spitzen. In einigen Beispielen ist mit der fortschreitenden Integration der Bauelemente dieses Seitenverhältnis 10 oder größer geworden. Während der Ätzung für die S/D-Kontakte oder die lokalen S/D-Verbindungsleitungen können die Ätzchemikalien oder die Ätzdauer an eine bestimmte Überätzung angepasst werden, um die S/D-Strukturelemente zu erreichen, die sich normalerweise an der Unterseite der Transistor-Topografie befinden. Durch die sehr spitze Wölbung bei dem epitaxialen Strukturelement könnte das Volumen nicht groß genug sein, um einer Überätzung standzuhalten. Im Gegensatz dazu wird durch die bogenähnliche Unterseite 125 mit einem kleinen Höhenverhältnis (z. B. 0,25 oder weniger) das Volumen des verschmolzenen epitaxialen Strukturelements 122 vorteilhaft so vergrößert, dass es dieser Überätzung standhält.

[0018] In **Fig. 1C** ist eine weitere Ausführungsform des Bauelements 100 gezeigt, bei der die Unterseite 125 plan oder nahezu plan ist. Andere Aspekte dieser Ausführungsform gleichen oder ähneln denen von **Fig. 1B**.

[0019] In **Fig. 1D** ist eine noch weitere Ausführungsform des Bauelements 100 gezeigt, bei der die Unterseite 125 eine nach unten verlaufende bogenähnliche Form hat. Der Bogen hat eine Spannweite b entlang der x -Richtung und eine Höhe (oder Tiefe) a_2 entlang der z -Richtung. Bei einigen Ausführungsformen ist das Höhenverhältnis a_2/b kleiner als 0,5, wie etwa kleiner als 0,25. Bei einigen Ausführungsformen beträgt die Spannweite b 20 bis 40 nm, und die Höhe a_2 beträgt 0 bis 10 nm. Andere Aspekte dieser Ausführungsform gleichen oder ähneln denen von **Fig. 1B**. In den **Fig. 1B**, **Fig. 1C** und **Fig. 1D** sind die leitenden Strukturelemente 126 jeweils als Strukturelemente dargestellt, die vollständig oder teilweise in dem oberen Teil 122U eingebettet sind. Das ist jedoch nicht beschränkend. Bei einigen alternativen Ausführungsformen können die leitenden Strukturelemente 126 auf der Oberseite 124 des epitaxialen Strukturelements 122 angeordnet sein.

[0020] In **Fig. 1E** weist bei einer weiteren Ausführungsform das Bauelement 100 einen Bereich 102a und einen angrenzenden Bereich 102b auf. Der Bereich 102a weist die vorstehend erörterten Strukturelemente 106 und 122 auf. Der Bereich 102b weist

eine Finne 146 und ein epitaxiales Strukturelement 152 über der Finne 146 auf. Das epitaxiale Strukturelement 152 umfasst einen oberen Teil 152U und einen unteren Teil 152L. Die dielektrische Schicht 110 umschließt zumindest teilweise den unteren Teil 152L. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der untere Teil 152L niedriger als die dielektrische Finnen-Seitenwandschicht 110 entlang der z-Richtung. Der obere Teil 152U ist über der dielektrischen Schicht 110 angeordnet. Außerdem weist bei dieser Ausführungsform das Bauelement 100 ein leitendes Strukturelement 128 auf, das mit den epitaxialen Strukturelementen 122 und 152 verbunden ist. Das leitende Strukturelement 128 weist eine Sperrschicht 128a und einen Leiter (z. B. ein Metall) 128b über der Sperrschicht 128a auf. Die Sperrschicht 128a und der Leiter 128b können die gleiche oder eine ähnliche Zusammensetzung wie die Sperrschicht 126a bzw. der Leiter 126b haben. Wie bei dieser Ausführungsform gezeigt ist, hat das epitaxiale Strukturelement 152 ein rhombisches Querschnittsprofil, und ein Teil des leitenden Strukturelements 128 ist über einer Seite des epitaxialen Strukturelements 152 angeordnet. Insbesondere ist bei dieser Ausführungsform ein Teil des leitenden Strukturelements 128 zwischen den epitaxialen Strukturelementen 122U und 152U und unter dem breitesten Teil (entlang der x-Richtung) des epitaxialen Strukturelements 122U und/oder des epitaxialen Strukturelements 152U angeordnet. Bei einer anderen Ausführungsform kann der Bereich 102a epitaxiale Strukturelemente aufweisen, die die gleiche Form wie das epitaxiale Strukturelement 122 haben, d. h., sie haben eine plane oder nahezu plane Oberseite und eine bogenähnliche Unterseite. Bei einer Ausführungsform bilden die Strukturelemente in dem Bereich 102a einen n-Transistor (z. B. NMOS), und die Strukturelemente in dem Bereich 102b bilden einen p-Transistor (z. B. PMOS). Bei einer alternativen Ausführungsform bilden die Strukturelemente in dem Bereich 102a einen p-Transistor (z. B. PMOS), und die Strukturelemente in dem Bereich 102b bilden einen n-Transistor (z. B. NMOS).

[0021] Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm eines Verfahrens 200 zur Herstellung eines Halbleiter-Bauelements, wie etwa des Halbleiter-Bauelements 100, gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung. Das Verfahren 200 ist lediglich ein Beispiel und soll die vorliegende Erfindung nicht über das hinaus beschränken, was ausdrücklich in den Ansprüchen dargelegt ist. Weitere Schritte können vor, während und nach dem Verfahren 200 vorgesehen werden, und einige der beschriebenen Schritte können bei weiteren Ausführungsformen des Verfahrens ersetzt, weggelassen oder verschoben werden. Das Verfahren 200 wird nachstehend in Verbindung mit den Fig. 3 bis Fig. 13B beschrieben, die perspektivische und Schnittansichten des Halbleiter-Bauelements

100 gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung sind.

[0022] Im Schritt 202 wird bei dem Verfahren 200 (Fig. 2) das Bauelement 100 auf einer Zwischenstufe der Herstellung empfangen. Fig. 3 zeigt eine perspektivische Darstellung des Bauelements 100. Die Fig. 4A, Fig. 4B und Fig. 4C zeigen Schnittansichten des Bauelements 100 entlang der Linien 1 - 1, 2 - 2 bzw. 3 - 3 von Fig. 3. Die Linie 1 - 1 schneidet das Bauelement 100 in der x-z-Ebene in S/D-Bereiche der Finnen 106. Die Linie 2-2 schneidet das Bauelement 100 in der y-z-Ebene entlang einer Länge der Finnen 106. Die Linie 3-3 schneidet das Bauelement 100 in der y-z-Ebene außerhalb der Finnen 106. In allen Fig. 3 und Fig. 4A bis Fig. 4C weist das Bauelement 100 das Substrat 102, die Isolationsstruktur 104 über dem Substrat 102 und zwei Finnen 106 auf, die von dem Substrat 102 abgehen und durch die Isolationsstruktur 104 verlaufen. Die zwei Finnen 106 haben jeweils zwei S/D-Bereiche 106a und einen Kanalbereich 106b zwischen den S/D-Bereichen 106a. Das Bauelement 100 weist weiterhin einen Gate-Stapel 108 auf, der mit den Finnen 106 in den Kanalbereichen 106b in Eingriff ist. Insbesondere ist der Gate-Stapel 108 in Eingriff mit den Finnen 106 auf mehreren Seiten der Finnen 106, sodass ein Multi-Gate-Bauelement (ein FinFET in diesem Fall) entsteht.

[0023] Die Finnen 106 können mit geeigneten Verfahren hergestellt werden, wie etwa fotolithografischen und Ätzprozessen. Der fotolithografische Prozess kann die folgenden Schritte umfassen: Herstellen eines Resists (oder Fotoresists) über dem Substrat 102; Belichten des Resists zu einer Struktur; Durchführen von Nachhärtungsprozessen; und Entwickeln des Resists zur Herstellung eines Maskierungselements mit dem Resist. Das Maskierungselement wird dann für die Ätzung in das Substrat 102 verwendet, wobei die Finnen 106 auf dem Substrat 102 zurückbleiben. Der Ätzprozess kann Trockenätzung, Nassätzung, reaktive Ionenätzung (RIE) und/oder andere geeignete Prozesse umfassen. Für den Trockenätzprozess können zum Beispiel sauerstoffhaltige Gase, fluorhaltige Gase (z. B. CF_4 , SF_6 , CH_2F_2 , CHF_3 und/oder C_2F_6), chlorhaltige Gase (z. B. Cl_2 , CHCl_3 , CCl_4 und/oder BCl_3), bromhaltige Gase (z. B. HBr und/oder CHBr_3), iodhaltige Gase, andere geeignete Gase und/oder Plasmen und/oder Kombinationen davon verwendet werden. Der Nassätzprozess kann zum Beispiel eine Ätzung in verdünnter Fluorwasserstoffsäure (DHF); Kaliumhydroxid(KOH)-Lösung; Ammoniak; einer Lösung, die Fluorwasserstoffsäure (HF), Salpetersäure (HNO_3) und/oder Essigsäure (CH_3COOH) enthält; oder in einem anderen geeigneten Nassätzmittel umfassen. Die Finnen 106 können auch unter Verwendung von DPL-Prozessen (DPL: double-patterning lithography; Doppeltstrukturierungslithografie)

hergestellt werden. Es können zahlreiche weitere Ausführungsformen von Verfahren zur Herstellung der Finnen 106 geeignet sein.

[0024] Die Isolationsstruktur 104 kann durch Ätzen von Gräben in dem Substrat 102, z. B. als Teil des Herstellungsprozesses für die Finnen 106, hergestellt werden. Die Gräben können dann mit einem Isoliermaterial gefüllt werden, und dann wird eine chemischmechanische Planarisierung (CMP) durchgeführt. Es sind auch andere Isolationsstrukturen möglich, wie etwa Feldoxid, lokale Oxidation von Silizium (LOCOS) und/oder andere geeignete Strukturen. Die Isolationsstruktur 104 kann eine Mehrschichtstruktur sein, die zum Beispiel eine oder mehrere thermische Oxiddeckschichten hat.

[0025] Der Gate-Stapel 108 weist eine dielektrische Gate-Schicht und eine Gate-Elektrodenschicht auf. Die dielektrische Gate-Schicht kann Siliziumoxid oder ein dielektrisches High-k-Material aufweisen, wie etwa Hafniumoxid, Zirconiumoxid, Lanthanoxid, Titanoxid, Yttriumoxid und Strontiumtitanat. Die dielektrische Gate-Schicht kann durch chemische Oxidation, thermische Oxidation, Atomlagenabscheidung (ALD), chemische Aufdampfung (CVD) und/oder mit anderen geeigneten Verfahren hergestellt werden. Bei einer Ausführungsform weist die Gate-Elektrodenschicht Polysilizium auf, und sie kann mit geeigneten Abscheidungsverfahren abgeschieden werden, wie etwa chemische Aufdampfung bei Tiefdruck (LPCVD) und Plasma-unterstützte chemische Aufdampfung (PECVD). Bei einigen Ausführungsformen weist die Gate-Elektrodenschicht eine n- oder p-leitende Austrittsarbeitsschicht und eine Metallfüllschicht auf. Die n-leitende Austrittsarbeitsschicht kann zum Beispiel ein Metall mit einer ausreichend kleinen effektiven Austrittsarbeit aufweisen, wie etwa Titan, Aluminium, Tantalcarbid, Tantalcarbidnitrid, Tantalasiliziumnitrid oder Kombinationen davon. Die p-leitende Austrittsarbeitsschicht kann zum Beispiel ein Metall mit einer ausreichend großen effektiven Austrittsarbeit aufweisen, wie etwa Titanidrid, Tantalnitrid, Ruthenium, Molybdän, Wolfram, Platin oder Kombinationen davon. Die Metallfüllschicht kann zum Beispiel Aluminium, Wolfram, Cobalt, Kupfer und/oder andere geeignete Materialien aufweisen. Die Gate-Elektrodenschicht kann durch CVD, PVD, Plattierung und/oder mit anderen geeigneten Verfahren hergestellt werden. Bei einigen Ausführungsformen ist der Gate-Stapel 108 eine Opfer-Gate-Struktur, d. h. ein Platzhalter für einen endgültigen Gate-Stapel. Bei einigen Ausführungsformen weist der Gate-Stapel 108 eine Zwischenschicht zwischen seiner dielektrischen Gate-Schicht und den Finnen 106 auf. Die Zwischenschicht kann ein dielektrisches Material, wie etwa Siliziumoxid oder Siliziumoxidnitrid, aufweisen und kann durch chemische Oxidation, thermische Oxidation, ALD, CVD und/oder mit einem anderen geeigneten Verfahren

hergestellt werden. Der Gate-Stapel 108 kann weitere Schichten aufweisen, wie etwa eine oder mehrere Hartmaskenschichten.

[0026] Im Schritt 204 wird bei dem Verfahren 200 (**Fig. 2**) die dielektrische Schicht 110 auf Seitenwänden der Finnen 106 in den jeweiligen S/D-Bereichen 106a hergestellt. Die **Fig. 5A**, **Fig. 5B** und **Fig. 5C** zeigen Schnittansichten des Bauelements 100 entlang der Linie 1 - 1, der Linie 2 - 2 bzw. der Linie 3 - 3 von **Fig. 3** nach diesem Herstellungsschritt. In den **Fig. 5A** bis **Fig. 5C** kann die dielektrische Schicht 110 eine einzelne Schicht oder eine Mehrschichtstruktur sein, und sie kann ein dielektrisches Material aufweisen, wie etwa Siliziumnitrid (SiN) oder Siliziumoxidnitrid. Die dielektrische Schicht 110 kann durch CVD, PECVD, ALD, thermische Abscheidung oder mit anderen geeigneten Verfahren hergestellt werden. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird die dielektrische Schicht 110 auch auf Seitenwänden des Gate-Stapels 108 abgeschieden. Bei einer Ausführungsform umfasst der Schritt 204 einen Abscheidungsprozess, an den sich ein Ätzprozess anschließt. Zum Beispiel kann ein dielektrisches Material über dem Bauelement 100 als eine Schutzschicht abgeschieden werden, die die Isolationsstruktur 104, die Finnen 106 und den Gate-Stapel 108 bedeckt. Dann kann ein anisotroper Ätzprozess durchgeführt werden, um Teile des dielektrischen Materials von Oberseiten der Isolationsstruktur 104, der Finnen 106 und des Gate-Stapels 108 zu entfernen, sodass übrige Teile des dielektrischen Materials auf den Seitenwänden der Finnen 106 und dem Gate-Stapel 108 als die dielektrische Schicht 110 zurückbleiben. Bei einigen Ausführungsformen hat die dielektrische Schicht 110 auf den Seitenwänden der Finnen 106 eine Höhe von etwa 5 bis 25 nm.

[0027] Im Schritt 206 werden bei dem Verfahren 200 (**Fig. 2**) die S/D-Bereiche 106a der Finnen 106 selektiv geätzt, um Gräben (oder Aussparungen) 114 darin herzustellen. Die **Fig. 6A** und **Fig. 6B** zeigen Schnittansichten des Bauelements 100 entlang der Linie 1 - 1 bzw. der Linie 2-2 von **Fig. 2** nach diesem Herstellungsschritt. In den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** werden bei dieser Ausführungsform die Finnen 106 unter einer Oberseite der Isolationsstruktur 104 geätzt. Der Schritt 206 kann einen oder mehrere fotolithografische und Ätzprozesse umfassen. Zum Beispiel kann durch den fotolithografischen Prozess ein Maskierungselement hergestellt werden, das Bereiche des Bauelements 100 bedeckt, die nicht geätzt werden sollen. Das Maskierungselement stellt Öffnungen bereit, durch die die Finnen 106 geätzt werden. Die Finnen 106 können mit einem Trockenätzprozess, einem Nassätzprozess oder mit anderen geeigneten Ätzverfahren geätzt werden. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird der Ätzprozess selektiv so angepasst, dass die Materialien der Finnen 106 entfernt werden, während der Gate-Stapel

108, die dielektrische Schicht 110 und die Isolationsstruktur 104 im Wesentlichen unverändert bleiben. Im Schritt 206 werden vier Gräben 114 hergestellt, wobei sich jeweils zwei Gräben auf jeder Seite des Gate-Stapels 108 befinden. Jeder Graben 114 kann ein konisches Querschnittsprofil (in der x-z-Ebene) mit einer breiteren Öffnung an seiner Unterseite als an seiner Oberseite haben. Nach dem Ätzprozess kann ein Reinigungsprozess durchgeführt werden, bei dem die Gräben 114 mit einer Reinigungskemikalie gereinigt wird, um die verschiedenen Oberflächen der Gräben 114 für einen nachfolgenden epitaxialen Aufwuchsprozess vorzubereiten. Die Reinigungskemikalie kann eine HF-Lösung (HF: Fluorwasserstoffsäure), eine verdünnte HF-Lösung oder eine andere geeignete Reinigungslösung sein.

[0028] Im Schritt 208 werden bei dem Verfahren 200 (Fig. 2) vier epitaxiale Strukturelemente 122L in den vier Gräben 114 aufgewachsen, wobei sich jeweils ein Strukturelement in jedem Graben befindet (Fig. 7A und Fig. 7B). Die epitaxialen Strukturelemente 122L füllen die jeweiligen Gräben 114 teilweise. Der epitaxiale Aufwuchsprozess kann ein LPCVD-Prozess mit einem Vorläufer auf Siliziumbasis, ein selektiver epitaxialer Aufwuchsprozess (SEG-Prozess) oder ein zyklischer Abscheidungs- und Aufwuchsprozess (CDE-Prozess) sein. Zum Beispiel kann ein Siliziumkristall durch LPCVD mit Dichlorsilan (SiH_2Cl_2) als Vorläufer aufgewachsen werden. In einem anderen Beispiel kann ein Siliziumgermanium-Kristall mit einem CDE-Prozess unter Verwendung von Chlorwasserstoff (HCl) als das Ätzgas und eines Gasgemisches aus Monogerman (GeH_4) und Wasserstoff (H_2) als das Abscheidungs- gas, das etwa 1% bis etwa 10% GeH_4 in H_2 enthält, hergestellt werden. Die Höhe der dielektrischen Schicht 110 wird so eingestellt, dass sie das Aufwachsen der epitaxialen Strukturelemente 122L bis zu einer gewünschten Höhe ohne ein zu starkes seitliches Aufwachsen fördert. Bei verschiedenen Ausführungsformen werden die epitaxialen Strukturelemente 122L so aufgewachsen, dass sie eine Höhe von 3 bis 15 nm haben. Die epitaxialen Strukturelemente 122L weisen ein Halbleitermaterial auf, das zum Herstellen von erhabenen S/D-Strukturelementen geeignet ist. Bei einer Ausführungsform weisen die epitaxialen Strukturelemente 122L Siliziumgermanium (SiGe) auf, das mit einem oder mehreren p-Dotanden, wie etwa Bor oder Indium, dotiert ist. Bei einer Ausführungsform weisen die epitaxialen Strukturelemente 122L Silizium auf, das mit einem oder mehreren n-Dotanden, wie etwa Phosphor oder Arsen, dotiert ist. Die Dotierung kann in situ oder ex situ mit dem epitaxialen Aufwuchsprozess durchgeführt werden.

[0029] Im Schritt 210 werden bei dem Verfahren 200 (Fig. 2) die oberen epitaxialen Strukturelemente 122U über den unteren epitaxialen Strukturelemen-

ten 122L (Fig. 8A und Fig. 8B) aufgewachsen. Bei der vorliegenden Ausführungsform werden die epitaxialen Strukturelemente 122U mit dem gleichen Halbleitermaterial wie bei den epitaxialen Strukturelementen 122L, aber mit einer anderen Dotierkonzentration aufgewachsen. Zum Beispiel können die epitaxialen Strukturelemente 122L und 122U jeweils Silizium, das mit einem n-Dotanden dotiert ist, aufweisen, aber die epitaxialen Strukturelemente 122U haben eine höhere Konzentration des n-Dotanden. In einem anderen Beispiel können die epitaxialen Strukturelemente 122L und 122U jeweils Siliziumgermanium, das mit einem p-Dotanden dotiert ist, aufweisen, aber die epitaxialen Strukturelemente 122U haben eine höhere Konzentration des p-Dotanden. Ähnlich wie die epitaxialen Strukturelemente 122L können die epitaxialen Strukturelemente 122U mit dem LPCVD-, SEG- oder CDE-Verfahren hergestellt werden. Die Fig. 8A und Fig. 8B sind Schnittansichten des Bauelements 100 entlang der Linie 1-1 bzw. der Linie 2 - 2 von Fig. 3 auf dieser Herstellungsstufe.

[0030] Wie in den Fig. 8A und Fig. 8B gezeigt ist, füllen die epitaxialen Strukturelemente 122U die verbliebenen Zwischenräume in den jeweiligen Gräben 114 und dehnen sich außerdem seitlich aus, nachdem sie aus den jeweiligen Gräben 114 herausgewachsen sind. Da die Aufwachsrate des epitaxialen Strukturelements 122 entlang von verschiedenen Kristallrichtungen (z. B. der [100]-, [111]- und [110]-Richtung des Siliziumkristalls) unterschiedlich ist und die epitaxialen Strukturelemente 122U größer und breiter wachsen, beginnen sie zu verschmelzen, wie in Fig. 8A gezeigt ist. In Fig. 8A verschmelzen die epitaxialen Strukturelemente 122U zu einem zusammenhängenden epitaxialen Strukturelement, das der einfachen Erörterung halber auch als epitaxiales Strukturelement 122U bezeichnet wird. Der verschmolzene Teil des epitaxialen Strukturelements 122U hat eine vertikale Dicke t ungefähr in der Mitte des epitaxialen Strukturelements 122U, und er hat eine Seitenausdehnung s_1 auf beiden Seiten gegenüber dem verschmolzenen Teil. Die Seitenausdehnung s_1 wird von der Seitenwand des Grabens 114 (Fig. 6A) entlang der x-Richtung gemessen.

[0031] Auf dieser Herstellungsstufe hat das epitaxiale Strukturelement 122U noch keine plane Oberseite und keine bogenähnliche Unterseite. Stattdessen hat es eine gekrümmte Oberseite 115 mit einer Vertiefung 116 und eine spitz zulaufende oder konkave Unterseite 117 mit einem großen Höhe-Spannweite-Verhältnis. Das Höhe-Spannweite-Verhältnis der Form 117 ist zum Beispiel größer als 0,5. Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben herausgefunden, dass das Aufwachsen des epitaxialen Strukturelements 122U unter den gleichen epitaxialen Aufwuchsbedingungen oft nicht dazu führt, dass

es eine plane Oberseite und eine flache bogenähnliche Unterseite hat.

[0032] Im Schritt 212 werden bei dem Verfahren 200 (**Fig. 2**) die Aufwuchsbedingungen für das epitaxiale Strukturelement 122U geändert, und das epitaxiale Strukturelement 122U wird weiter so aufgewachsen, dass es eine im Wesentlichen plane Oberseite 124 und eine flache bogenähnliche Unterseite 125 hat, wie in **Fig. 9A** gezeigt ist, die eine Schnittansicht des Bauelements 100 entlang der Linie 1 - 1 von **Fig. 3** ist. **Fig. 9B** zeigt eine Schnittansicht des Bauelements 100 entlang der Linie 2 - 2 von **Fig. 3** auf dieser Herstellungsstufe. Das epitaxiale Strukturelement 122U hat eine Höhe S_{11} unter einer Oberseite der Finne 106 und eine Höhe S_{22} über der Oberseite der Finne 106. Die Höhe S_{11} kann bei verschiedenen Ausführungsformen größer als die, kleiner als die oder gleich der Höhe S_{22} sein. Bei einer Ausführungsform beträgt die Höhe S_{11} 45 bis 65 nm. Bei einer Ausführungsform geht das Verfahren 200 von dem Schritt 210 zu dem Schritt 212, wenn der verschmolzene Teil des epitaxialen Strukturelements 122U eine Soll-Abmessung erreicht, zum Beispiel wenn seine Querabmessung entlang der x-Richtung einen bestimmten Wert erreicht (z. B. mindestens das 1,5-fache des Abstands p) oder wenn seine vertikale Dicke t in einen Soll-Abmessungsbereich, wie etwa 5 bis 10 nm, hinein reicht.

[0033] Bei einer Ausführungsform wird in dem Schritt 212 ein anderer Abscheidungsvorläufer oder ein anderes Ätzgas als in dem Schritt 210 verwendet. Bei einer anderen Ausführungsform wird in dem Schritt 212 ein anderes Ätzgas (hinsichtlich der Art oder Menge) als in dem Schritt 210 verwendet, aber es wird der gleiche Abscheidungsvorläufer verwendet. Bei einer noch weiteren Ausführungsform wird der Schritt 212 bei einer anderen Temperatur als der Schritt 210 durchgeführt. Die Aufwuchsbedingungen im Schritt 212 führen zu einem größeren Wachstumsraten-Verhältnis zwischen den Kristallrichtungen [100] und [111] als in dem Schritt 210. Zum Beispiel kann der Schritt 210 so angepasst werden, dass das Wachstum in der Kristallrichtung [111] begünstigt wird, um den verschmolzenen Teil des epitaxialen Strukturelements 122 herzustellen, während der Schritt 212 so angepasst werden kann, dass das Wachstum in der Kristallrichtung [100] begünstigt wird, um die Vertiefung 116 und die konkave Form 117 (**Fig. 8A**) zu füllen. Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben verschiedene Bedingungen ermittelt, mit denen die vorgenannten Ziele erreicht werden können. Zum Beispiel haben sie herausgefunden, dass bei einer Temperatur von 650 bis 720 °C die Wachstumsrate des Siliziumkristalls entlang der [100]-Richtung größer als die oder gleich der Wachstumsrate des Siliziumkristalls entlang der [111]-Richtung ist. Nachstehend werden einige weitere Aufwuchsbedingungen erörtert.

[0034] Bei einer Ausführungsform werden im Schritt 210 die epitaxialen Strukturelemente 122U unter Verwendung von Dichlorsilan (SiH_2Cl_2) (das auch als DCS bekannt ist) als Vorläufer aufgewachsen, sodass ein Siliziumkristall entsteht. Weiterhin wird bei dieser Ausführungsform im Schritt 212 ein Silan zu dem Vorläufer gegeben, um eine höhere Wachstums- oder Abscheidungsrate in der [100]-Richtung des Siliziumkristalls zu erzielen. Bei einer Ausführungsform ist das Silan SiH_4 . Bei einer Ausführungsform beträgt das Verhältnis von SiH_4 zu DCS im Schritt 212 etwa 0,005 bis etwa 0,05. Bei einer anderen Ausführungsform wird in beiden Schritten 210 und 212 HCl als Ätzgas verwendet, und im Schritt 212 wird die Durchflussgeschwindigkeit des HCl-Gases verringert, um seine Ätzwirkungen in der [100]-Kristallrichtung zu reduzieren.

[0035] Bei einer anderen Ausführungsform werden in dem Schritt 210 die epitaxialen Strukturelemente 122U unter Verwendung eines Gasgemisches aus GeH_4 und H_2 als das Abscheidungsgas und unter Verwendung von HCl als das Ätzgas aufgewachsen, sodass ein Siliziumgermaniumkristall entsteht. Weiterhin wird bei dieser Ausführungsform im Schritt 212 die Fließgeschwindigkeit des HCl-Gases verringert, sodass Siliziumgermanium in der [100]-Richtung schneller als in anderen Richtungen wächst. Bei einer Ausführungsform beträgt die Durchflussgeschwindigkeit von HCl im Schritt 212 etwa 100 bis etwa 400 Ncm^3/min .

[0036] Bei verschiedenen Ausführungsformen können die Schritte 210 und 212 bei einem Druck von 200 bis 350 Torr durchgeführt werden.

[0037] Auf Grund der Schritte 208, 210 und 212 wird das Bauelement 100 mit erhabenen S/D-Strukturelementen 122 bereitgestellt, die eine flache bogenähnliche Unterseite 125 und eine plane oder nahezu plane Oberseite 124 haben. Die flache bogenähnliche Unterseite 125 kann eine der Formen haben, die in den **Fig. 1A** bis **Fig. 1D** gezeigt sind.

[0038] Bei einer Ausführungsform kann die Höhe der dielektrischen Seitenwandschicht 110 auch dazu verwendet werden, das vertikale Volumen des oberen Teils 122U zu steuern (siehe die Erörterung zum Schritt 204). Wenn zum Beispiel die dielektrische Seitenwandschicht 110 niedriger ist, verschmelzen die oberen Teile 122U früher, was zu einer größeren Dicke entlang der z-Richtung führt. Wenn hingegen die dielektrische Seitenwandschicht 110 höher ist, verschmelzen die oberen Teile 122U später, was zu einer kleineren Dicke entlang der z-Richtung führt.

[0039] Bleiben wir bei **Fig. 9A**. Bei einigen Ausführungsformen dehnt sich das epitaxiale Strukturelement 122U während des Schritts 212 seitlich aus.

Zum Beispiel wird seine Seitenabmessung s_2 größer als s_1 . Das liegt daran, dass die Aufwuchsbedingung im Schritt 212 dieser Ausführungsformen das Aufwachsen des epitaxialen Strukturelements 122 entlang der [110]-Kristallrichtung nicht vollständig verhindert. In einigen Fällen ist diese seitliche Ausdehnung unerwünscht, da sie angrenzende S/D-Bereiche kurzschließen könnte, was zu Bauelement-Ausfällen führt. Wenn das epitaxiale Strukturelement 122 zum Beispiel Teil einer SRAM-Zelle ist, kann die Bauelement-Dichte hoch sein und der Zwischenraum zwischen benachbarten SRAM-Zellen kann streng kontrolliert werden müssen. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird bei dem Verfahren 200 (**Fig. 2**) der Schritt 214 zum Verkürzen der Seitenabmessung des epitaxialen Strukturelements 122 durchgeführt.

[0040] Bei einer Ausführungsform wird im Schritt 214 ein Ätzprozess an dem Bauelement 100 durchgeführt. Der Ätzprozess wird so angepasst, dass die Breite des epitaxialen Strukturelements 122 (entlang der x-Richtung) ohne eine größere Auswirkung auf dessen Dicke (entlang der z-Richtung) verringert wird. Bei einer Ausführungsform wird für den Ätzprozess ein Gemisch aus GeH_4 -Gas und HCl -Gas als das Ätzmittel verwendet. Bei einer weiteren Ausführungsform wird das Verhältnis von GeH_4 und HCl in dem Ätzmittel auf einen Bereich von 0,5 bis 1,2 eingestellt. Das Verhältnis von GeH_4 und HCl kann zum Beispiel dadurch eingestellt werden, dass die Durchflussgeschwindigkeiten des GeH_4 -Gases und des HCl -Gases, die in die Prozesskammer eingeleitet werden, so gesteuert werden, dass sie in dem Bereich von 0,5 bis 1,2 liegen. Der Ätzprozess kann in situ in derselben Prozesskammer durchgeführt werden, in der das Strukturelement 122 epitaxial aufgewachsen wird. Bei einer alternativen Ausführungsform kann der Ätzprozess ex situ durchgeführt werden. Bei einer Ausführungsform kann der Ätzprozess bei einer Temperatur von 650 bis 750 °C und bei einem Druck von 5 bis 100 Torr durchgeführt werden. Bei verschiedenen Ausführungsformen werden im Schritt 214 die Ätzchemikalie, die Temperatur und der Druck alle so eingestellt, dass die Breite des epitaxialen Strukturelements 122 ohne eine erhebliche Verringerung seiner Dicke reduziert wird. Dadurch wird die Seitenabmessung des epitaxialen Strukturelements 122 auf s_3 verringert, wie in **Fig. 10A** gezeigt ist ($s_3 < s_2$). Bei einer Ausführungsform wird die Seitenabmessung s_3 noch kleiner als die Seitenabmessung s_1 ($s_3 < s_1$). Weiterhin kann auf dieser Herstellungsstufe auf Grund des Ätzprozesses die Höhe des epitaxialen Strukturelements 122 über der Oberseite der Finne 106 von S_{22} auf S_{33} abnehmen, d. h. $S_{33} < S_{22}$. Bei einer Ausführungsform beträgt S_{33} 3 bis 12 nm.

[0041] Im Schritt 216 werden bei dem Verfahren 200 (**Fig. 2**) weitere verschiedenartige Prozesse an dem

Bauelement 100 durchgeführt. In einem Beispiel wird eine Silizidierung oder Germanosilizidierung an dem epitaxialen Strukturelement 122U durchgeführt. Zum Beispiel kann bei der Silizidierung z. B. Nickelsilizid wie folgt hergestellt werden: Abscheiden einer Metallschicht über dem epitaxialen Strukturelement 122U; Glühen der Metallschicht, sodass sie mit dem Silizium in dem epitaxialen Strukturelement 122U zu einem Metallsilizid reagiert; und anschließend Entfernen der nicht-umgesetzten Metallschicht.

[0042] In einem weiteren Beispiel wird im Schritt 216 der Gate-Stapel 108 durch einen endgültigen Gate-Stapel 108a ersetzt, wie in **Fig. 11B** gezeigt ist. Außerdem ist in diesem Beispiel der Gate-Stapel 108 in den **Fig. 3** bis **Fig. 10B** ein Platzhalter, der eine dielektrische Dummy-Gate-Schicht (z. B. Siliziumoxid) und eine Dummy-Gate-Elektrodenschicht (z. B. Polysilizium) hat, während der Gate-Stapel 108a ein High-k-Metall-Gate-Stapel mit einer dielektrischen High-k-Gate-Schicht, einer entsprechenden n- oder p-Austrittsarbeitsschicht und einer Metallfüllschicht ist. Für die dielektrische High-k-Gate-Schicht, die Austrittsarbeitsschicht und die Metallfüllschicht können die geeigneten Materialien verwendet werden, die unter Bezugnahme auf **Fig. 3** erörtert worden sind. Weiterhin kann in diesem Beispiel im Schritt 216 eine Zwischenschichtdielektrikum-Schicht (ILD-Schicht) 130 über dem Substrat 102 abgeschieden werden, um die Topografie darauf zu bedecken (siehe **Fig. 11A** und **Fig. 11B**). Die ILD-Schicht 130 kann Materialien wie Tetraethylorthosilicat (TEOS)-Oxid, dotiertes oder undotiertes Silicatlglas, Kieselglas (FSG) und/oder andere geeignete dielektrische Materialien umfassen. Die ILD-Schicht 130 kann durch PECVD, fließfähige CVD (FCVD) oder mit einem anderen geeigneten Abscheidungsverfahren abgeschieden werden. Bei einigen Ausführungsformen kann die ILD-Schicht 130 den Zwischenraum zwischen der bogenähnlichen Unterseite 125, der Isolationsstruktur 104 und zwei gegenüberliegenden dielektrischen Finnen-Seitenwandschichten 110 füllen. Bei alternativen Ausführungsformen ist die ILD-Schicht 130 möglicherweise nicht in der Lage, in den Zwischenraum zu fließen, sodass ein Hohlraum (oder ein offener Zwischenraum) unter der bogenähnlichen Unterseite 125 entsteht. Bei einer Ausführungsform kann vor der Abscheidung der ILD-Schicht 130 eine Kontakt-Ätzstoppschicht (nicht dargestellt) mit einem dielektrischen Material, wie etwa Siliziumnitrid, über dem epitaxialen Strukturelement 122 und der Isolationsstruktur 104 abgeschieden werden. Nachdem die ILD-Schicht 130 abgeschieden worden ist, wird im Schritt 216 der Gate-Stapel 108 mittels eines oder mehrerer Ätzprozesse entfernt, und der endgültige Gate-Stapel 108a wird an der Stelle des Gate-Stapels 108 mittels eines oder mehrerer Abscheidungsprozesse hergestellt, sodass das in den **Fig. 11A** und **Fig. 11B** gezeigte Bauelement 100 entsteht.

[0043] In einem weiteren Beispiel wird im Schritt 216 das leitende Strukturelement 126 so hergestellt, dass es teilweise in die epitaxialen Strukturelemente 122U eingebettet wird, wie in den **Fig. 13A** und **Fig. 13B** gezeigt ist. Hierfür werden verschiedene Prozesse verwendet. Zum Beispiel können im Schritt 216 ein oder mehrere lithografische und Ätzprozesse durchgeführt werden, um Gräben (oder Kontaktlöcher) 127 durch die ILD-Schicht 130 herzustellen, wie es in den **Fig. 12A** und **Fig. 12B** gezeigt ist. Die Gräben 127 legen die epitaxialen Strukturelemente 122U frei (oder das Silizid oder Germanosilizid darauf, wenn ein Silizidierungsprozess an den epitaxialen Strukturelementen 122U durchgeführt worden ist). Bei der vorliegenden Ausführungsform reichen die Gräben 127 bis zu einer Tiefe q in die epitaxialen Strukturelemente 122U hinein. Bei einem hochintegrierten Schaltkreis kann das Seitenverhältnis der Bauelement-Topografie (z. B. das Verhältnis zwischen der Höhe des Gate-Stapels 108a und dem Abstand zwischen benachbarten Gate-Stapeln) hoch sein, wie etwa größer als $10 : 1$. Um einen guten Kontakt zwischen dem leitenden Strukturelement 126 und dem epitaxialen Strukturelement 122 über einen breiten Bereich eines IC hinweg zu gewährleisten, ist eine gewisse Überätzung beim Herstellen der Gräben 127 wünschenswert. Zum Beispiel kann die Grabentiefe q an bestimmten Stellen des IC 15 bis 25 nm betragen. Bei einem herkömmlichen Bauelement, bei dem die Unterseite des epitaxialen Strukturelements eine spitz zulaufende Wölbung hat (wie durch die Strichlinie 150 in **Fig. 12A** gezeigt ist), würden die Gräben 127 durch das epitaxiale Strukturelement hindurchgehen. Das würde den Zwischenbereich zwischen dem leitenden Strukturelement 126 und dem herkömmlichen epitaxialen Strukturelement verkleinern. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird das epitaxiale Strukturelement 122 so hergestellt, dass es eine flache bogenähnliche Unterseite 125 hat, die vorteilhafterweise die Dicke h des epitaxialen Strukturelements 122 vergrößert. Bei verschiedenen Ausführungsformen wird die Dicke h so konzipiert, dass sie größer als die Grabentiefe q ist. Zum Beispiel wird die Dicke h so konzipiert, dass sie 25 nm oder mehr beträgt. Bei einer Ausführungsform kann im Schritt 216 außerdem eine Silizidierung oder Germanosilizidierung über dem freigelegten Teil des epitaxialen Strukturelements 122U durchgeführt werden. Zum Beispiel kann die Silizidierung wie folgt durchgeführt werden: Abscheiden einer Metallschicht (z. B. Nickel) über dem freigelegten Teil des epitaxialen Strukturelements 122U; Glühen der Metallschicht, sodass sie mit dem Silizium in dem epitaxialen Strukturelement 122U zu einem Metallsilizid reagiert; und anschließend Entfernen der nicht-umgesetzten Metallschicht.

[0044] Dann wird im Schritt 216 eine Sperrschicht 126a auf der Unterseite und den Seitenwänden der Gräben 127 abgeschieden (bei unterschiedlichen

Ausführungsformen mit oder ohne Silizidierung), um zu vermeiden, dass Metallmaterialien des Leiters 126b in benachbarte Strukturelemente diffundieren. Die Sperrschicht weist ein dielektrisches Material auf, wie etwa TaN oder TiN in einem Beispiel. Anschließend wird im Schritt 216 der Leiter 126b (z. B. ein Metall) so abgeschieden, dass er die verbliebenen Zwischenräume der Gräben 127 füllt. Das leitende Strukturelement 126 weist bei dieser Ausführungsform die Sperrschicht 126a und den Leiter 126b auf. Für die Abscheidung der Sperrschicht und der Metallschicht kann ein konformes oder ein nicht-konformes Abscheidungsverfahren verwendet werden. Durch das große Volumen des epitaxialen Strukturelements 122U entsteht eine große Grenzfläche zwischen dem leitenden Strukturelement 126 und den darunter befindlichen epitaxialen Strukturelementen 122U, wodurch der S/D-Kontaktwiderstand vorteilhaft verringert wird. Die Herstellung der Struktur, die in **Fig. 1E** gezeigt ist, kann in ähnlicher Weise erfolgen.

[0045] Eine oder mehrere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, die nicht beschränkend sein sollen, bieten zahlreiche Vorzüge für ein Halbleiter-Bauelement und dessen Herstellung. Zum Beispiel können erhabene S/D-Strukturelemente so aufgewachsen werden, dass sie eine flache bogenähnliche Unterseite und eine im Wesentlichen plane Oberseite haben. Dadurch wird vorteilhafterweise das Volumen der erhabenen S/D-Strukturelemente vergrößert, damit sie einer gewissen Überätzung in nachfolgenden Herstellungsschritten standhalten können. Ein wesentlicher Effekt besteht darin, dass der Zwischenbereich zwischen leitenden Strukturelementen (z. B. S/D-Kontakten oder S/D-Verbindungsleitungen) und den erhabenen S/D-Strukturelementen vergrößert wird und der Kontaktwiderstand verringert wird. Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können problemlos in bestehende Herstellungsprozesse integriert werden.

[0046] Bei einem beispielhaften Aspekt ist die vorliegende Erfindung auf ein Halbleiter-Bauelement gerichtet. Das Halbleiter-Bauelement weist ein Substrat, zwei Halbleiterfinnen über dem Substrat und ein Halbleiter-Strukturelement über den zwei Halbleiterfinnen auf. Das Halbleiter-Strukturelement weist zwei untere Teile und einen oberen Teil auf. Die zwei unteren Teile befinden sich jeweils direkt über den zwei Halbleiterfinnen. Der obere Teil befindet sich über den zwei unteren Teilen. Eine Unterseite des oberen Teils hat eine bogenähnliche Querschnittsform.

[0047] Bei einem weiteren beispielhaften Aspekt ist die vorliegende Erfindung auf ein Halbleiter-Bauelement gerichtet. Das Halbleiter-Bauelement weist ein Substrat, zwei Halbleiterfinnen über dem Substrat

und ein Halbleiter-Strukturelement über den zwei Halbleiterfinnen auf. Das Halbleiter-Strukturelement weist zwei untere Teile und einen oberen Teil auf. Die zwei unteren Teile befinden sich jeweils über den zwei Halbleiterfinnen. Der obere Teil befindet sich über den zwei unteren Teilen und verbindet sie physisch miteinander. Eine Unterseite des oberen Teils hat eine bogenähnliche Form in einer Ebene senkrecht zu einer Finnen-Längsrichtung. Das Halbleiter-Bauelement weist weiterhin eine dielektrische Schicht über dem Substrat auf, wobei die zwei unteren Teile des Halbleiter-Strukturelements zumindest teilweise von der dielektrischen Schicht umschlossen sind.

[0048] Bei einem weiteren beispielhaften Aspekt ist die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Bauelements gerichtet. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Bereitstellen eines Bauelements mit einem Substrat und zwei Finnen, die von dem Substrat abgehen; Ätzen der zwei Finnen, sodass zwei Gräben entstehen; epitaxiales Aufwachsen von ersten Halbleiter-Strukturelementen in den zwei Gräben; und epitaxiales Aufwachsen von zweiten Halbleiter-Strukturelementen über den ersten Halbleiter-Strukturelementen unter einer ersten Aufwachsbedingung, wobei die zweiten Halbleiter-Strukturelemente seitlich verschmelzen, sodass ein verschmolzener Teil entsteht. Das Verfahren umfasst weiterhin das epitaxiale Aufwachsen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente bei einer zweiten Aufwachsbedingung, nachdem eine Abmessung des verschmolzenen Teils einen Sollwert erreicht hat, wobei ein Wachstumsraten-Verhältnis zwischen den Kristallrichtungen [100] und [111] der zweiten Halbleiter-Strukturelemente bei der zweiten Aufwachsbedingung größer als bei der ersten Aufwachsbedingung ist.

[0049] Bei einem weiteren beispielhaften Aspekt ist die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Bauelements gerichtet. Das Verfahren umfasst das Bereitstellen eines Bauelements mit einem Substrat und mindestens zwei Finnen, die von dem Substrat abgehen. Das Verfahren umfasst weiterhin das Ätzen der mindestens zwei Finnen, sodass mindestens zwei Gräben entstehen; und das epitaxiale Aufwachsen von ersten Halbleiter-Strukturelementen in den mindestens zwei Gräben. Das Verfahren umfasst weiterhin das epitaxiale Aufwachsen von zweiten Halbleiter-Strukturelementen über den ersten Halbleiter-Strukturelementen bei einer ersten Aufwachsbedingung, wobei die zweiten Halbleiter-Strukturelemente seitlich verschmelzen, sodass ein verschmolzener Teil entsteht. Nachdem eine Dicke des verschmolzenen Teils einen Sollwert erreicht hat, umfasst das Verfahren weiterhin das epitaxiale Aufwachsen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente bei einer zweiten Aufwachsbedingung, die von der ersten Aufwachsbedingung verschieden

ist, sodass eine bogenähnliche Form in einer Unterseite des verschmolzenen Teils entsteht. Das Verfahren umfasst weiterhin das Durchführen eines Ätzprozesses, um eine Breite der zweiten Halbleiter-Strukturelemente zu reduzieren.

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung mit:
einem Substrat (102);
zwei Halbleiterfinnen (106) über dem Substrat (102);
und
einem Halbleiter-Strukturelement (122) über den zwei Halbleiterfinnen (106), wobei
das Halbleiter-Strukturelement (122) zwei untere Teile (122L) und einen oberen Teil (122U) aufweist, sich die zwei unteren Teile (122L) jeweils direkt über den zwei Halbleiterfinnen (106) befinden, sich der obere Teil (122U) über den zwei unteren Teilen (122L) befindet,
eine Unterseite des oberen Teils (122U) eine bogenähnliche Querschnittsform hat, und der obere Teil (122U) einstückig ist.
2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, die weiterhin eine dielektrische Schicht über dem Substrat (102) aufweist, wobei die zwei unteren Teile (122L) des Halbleiter-Strukturelements (122) zumindest teilweise von der dielektrischen Schicht umschlossen sind.
3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Halbleiter-Strukturelement (122) Silizium mit einem n-Dotanden aufweist.
4. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die weiterhin eine Isolationsstruktur über dem Substrat (102) aufweist, wobei Teile der zwei Halbleiterfinnen (106) über die Isolationsstruktur überstehen.
5. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die bogenähnliche Querschnittsform einen Bogen aufweist, der nach oben von dem Substrat (102) weg verläuft.
6. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 5, wobei der Bogen ein Höhe-Spannweite-Verhältnis hat, das kleiner als 0,5 ist.
7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 5, wobei der Bogen ein Höhe-Spannweite-Verhältnis hat, das kleiner als 0,25 ist.
8. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die bogenähnliche Querschnittsform einen Bogen aufweist, der nach unten in Richtung des Substrats (122) verläuft.

9. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 8, wobei der Bogen ein Höhe-Spannweite-Verhältnis hat, das kleiner als 0,5 ist.

10. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die weiterhin einen Leiter aufweist, der teilweise in dem oberen Teil (122U) des Halbleiter-Strukturelements (122) eingebettet ist.

11. Verfahren mit den folgenden Schritten:
Bereitstellen einer Vorrichtung mit einem Substrat (102) und zwei Finnen (106), die von dem Substrat (102) abgehen;
Ätzen der zwei Finnen (106), sodass zwei Gräben entstehen;
epitaxiales Aufwachsen von ersten Halbleiter-Strukturelementen (122L) in den zwei Gräben;
epitaxiales Aufwachsen von zweiten Halbleiter-Strukturelementen (122U) über den ersten Halbleiter-Strukturelementen (122L) bei einer ersten Aufwachsbedingung, wobei die zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) seitlich verschmelzen, sodass ein verschmolzener Teil entsteht; und
nachdem eine Abmessung des verschmolzenen Teils einen Sollwert erreicht hat, epitaxiales Aufwachsen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) bei einer zweiten Aufwachsbedingung, wobei ein Wachstumsraten-Verhältnis zwischen den Kristallrichtungen [100] und [111] der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) bei der zweiten Aufwachsbedingung größer als bei der ersten Aufwachsbedingung ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die zweite Aufwachsbedingung das Aufwachsen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) bei einer Temperatur von 650 bis 720 °C umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, das weiterhin Folgendes umfasst:
Durchführen eines Ätzprozesses, um eine Breite der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) nach dem epitaxialen Aufwachsen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) bei der zweiten Aufwachsbedingung zu reduzieren.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) Silizium aufweisen,
bei der ersten Aufwachsbedingung ein Vorläufer mit Dichlorsilan, SiH_2Cl_2 , verwendet wird, und
bei der zweiten Aufwachsbedingung ein Silan zu dem Vorläufer gegeben wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei für den Ätzprozess ein Ätzmittel verwendet wird, das Monogerman (GeH_4) und Chlorwasserstoff (HCl) aufweist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, das weiterhin Folgendes umfasst:
Herstellen einer Zwischenschichtdielektrikum-Schicht, ILD-Schicht, über den zweiten Halbleiter-Strukturelementen (122U);
Ätzen von Kontaktlöchern durch die ILD-Schicht, um Teile der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) freizulegen; und
Herstellen von leitfähigen Strukturelementen über den freigelegten Teilen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) in den Kontaktlöchern.

17. Verfahren mit den folgenden Schritten:
Bereitstellen einer Vorrichtung mit einem Substrat (102) und mindestens zwei Finnen (106), die von dem Substrat (102) abgehen;
Ätzen der mindestens zwei Finnen (106), sodass mindestens zwei Gräben entstehen;
epitaxiales Aufwachsen von ersten Halbleiter-Strukturelementen (122L) in den mindestens zwei Gräben;
epitaxiales Aufwachsen von zweiten Halbleiter-Strukturelementen (122U) über den ersten Halbleiter-Strukturelementen (122L) bei einer ersten Aufwachsbedingung, wobei die zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) seitlich verschmelzen, sodass ein verschmolzener Teil entsteht;
nachdem eine Dicke des verschmolzenen Teils einen Sollwert erreicht hat, epitaxiales Aufwachsen der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) bei einer zweiten Aufwachsbedingung, die von der ersten Aufwachsbedingung verschieden ist, sodass eine bogenähnliche Form in einer Unterseite des verschmolzenen Teils entsteht; und
Durchführen eines Ätzprozesses, um eine Breite der zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) zu reduzieren.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die zweiten Halbleiter-Strukturelemente (122U) Silizium aufweisen,
bei der ersten Aufwachsbedingung ein Vorläufer mit Dichlorsilan, SiH_2Cl_2 , verwendet wird,
bei der zweiten Aufwachsbedingung der Vorläufer und Silan, SiH_4 , verwendet werden,
und
für den Ätzprozess ein Ätzmittel verwendet wird, das Monogerman, GeH_4 , und Chlorwasserstoff, HCl, aufweist.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei ein Verhältnis von GeH_4 zu HCl in dem Ätzmittel 0,5 bis 1,2 beträgt.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, das weiterhin das Herstellen eines leitfähigen Strukturelements umfasst, das teilweise in die zwei-

ten Halbleiter-Strukturelemente (122U) eingebettet wird.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

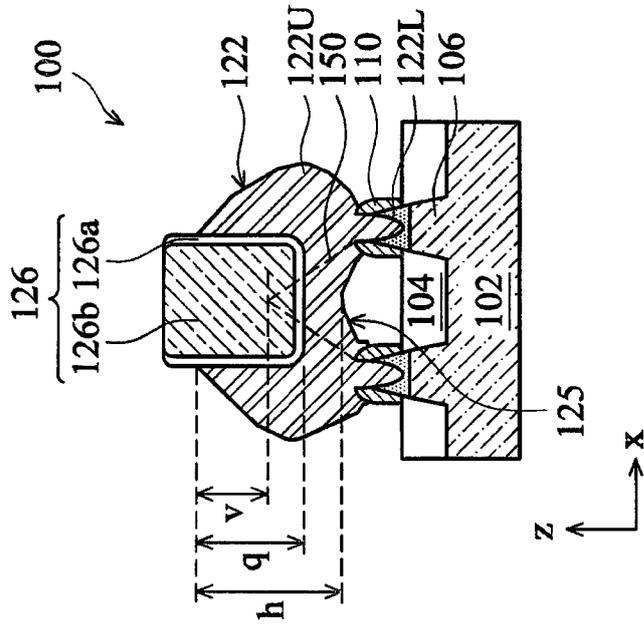


FIG. 1B

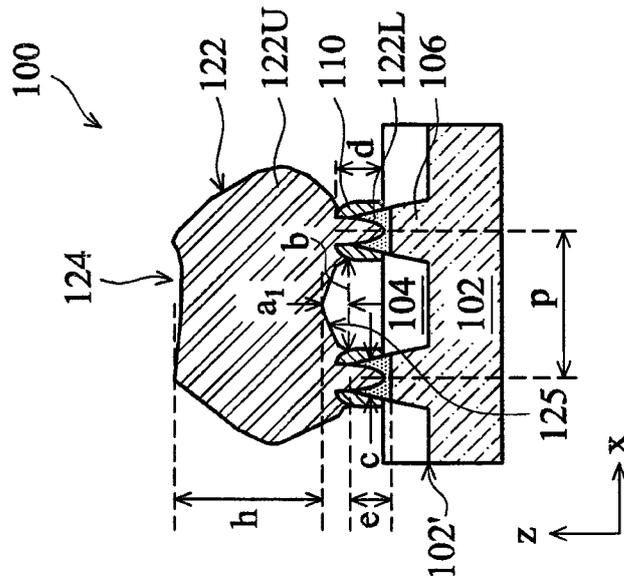


FIG. 1A

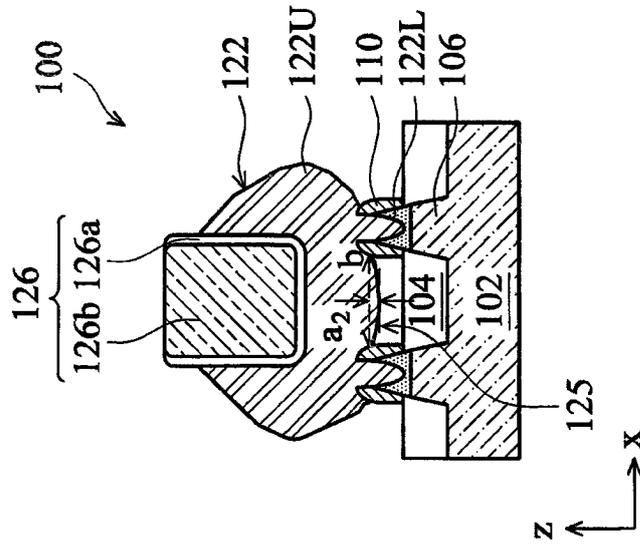


FIG. 1D

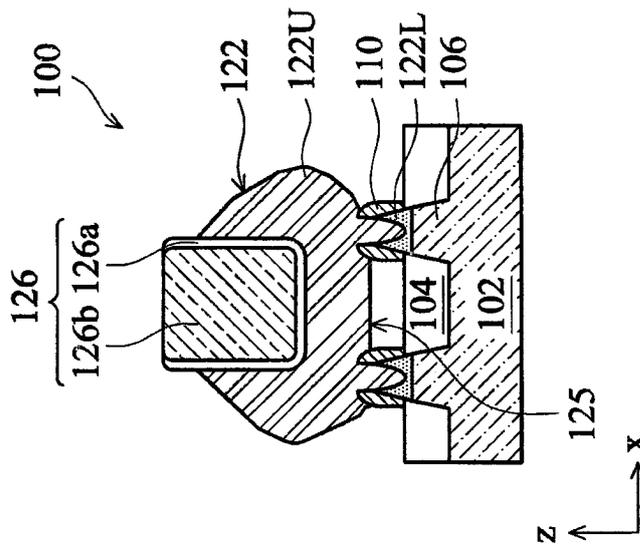


FIG. 1C

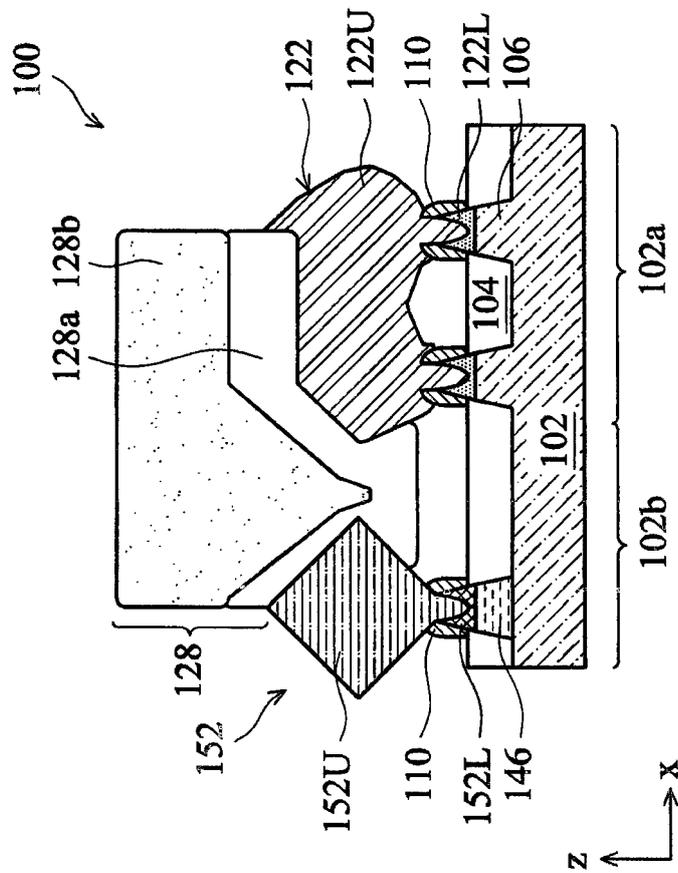


FIG. 1E

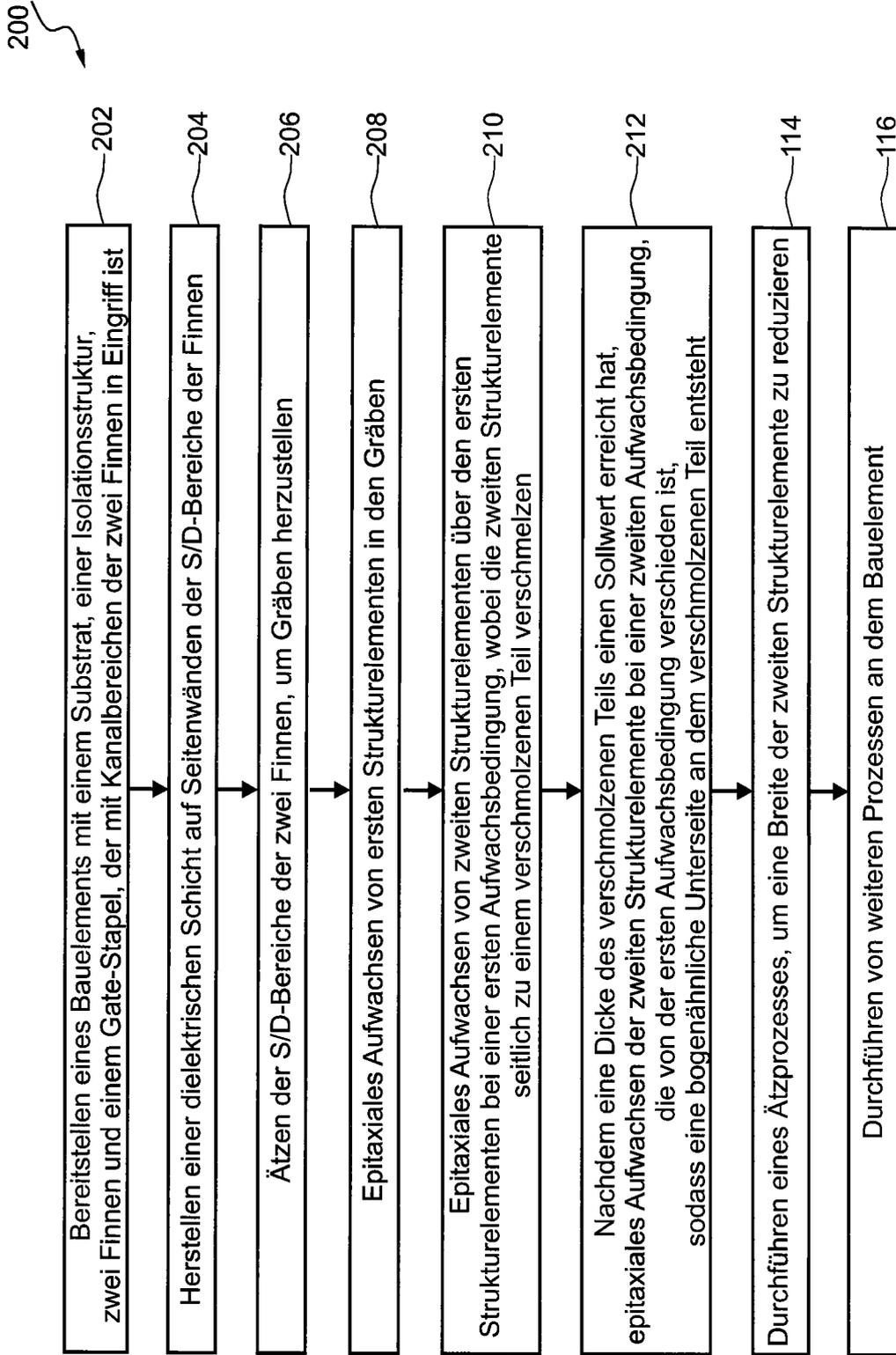


FIG. 2

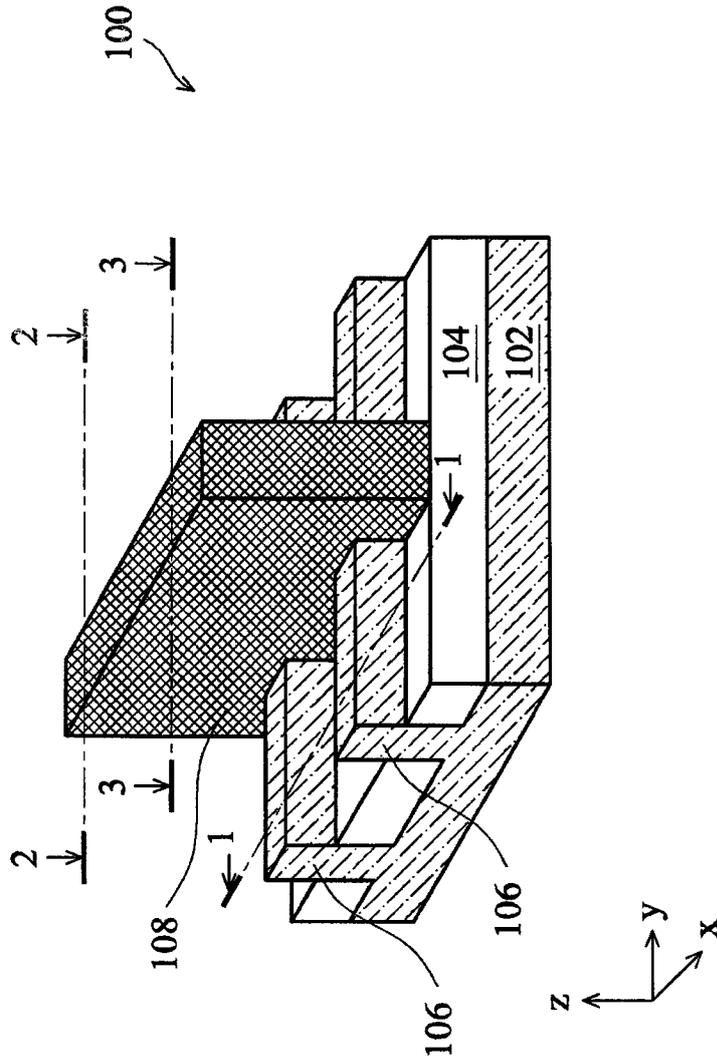


FIG. 3

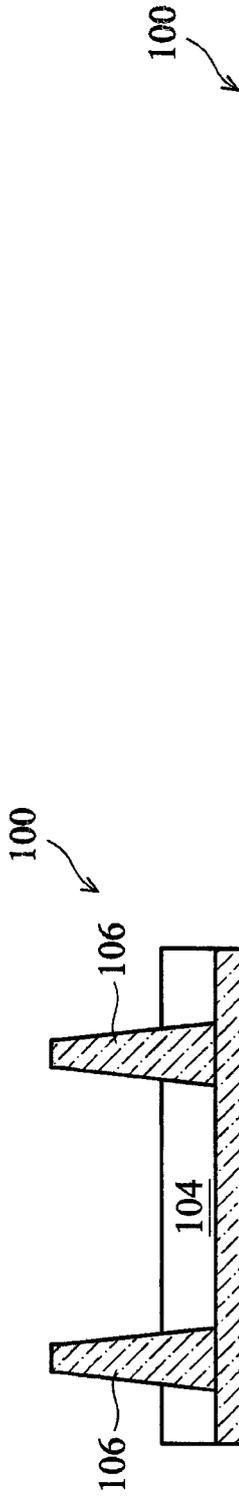


FIG. 4A

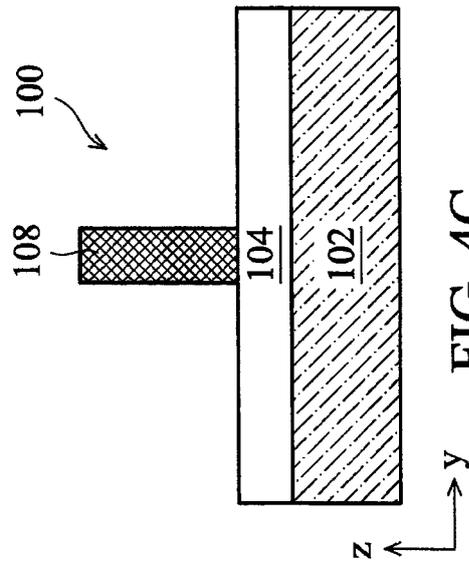


FIG. 4C

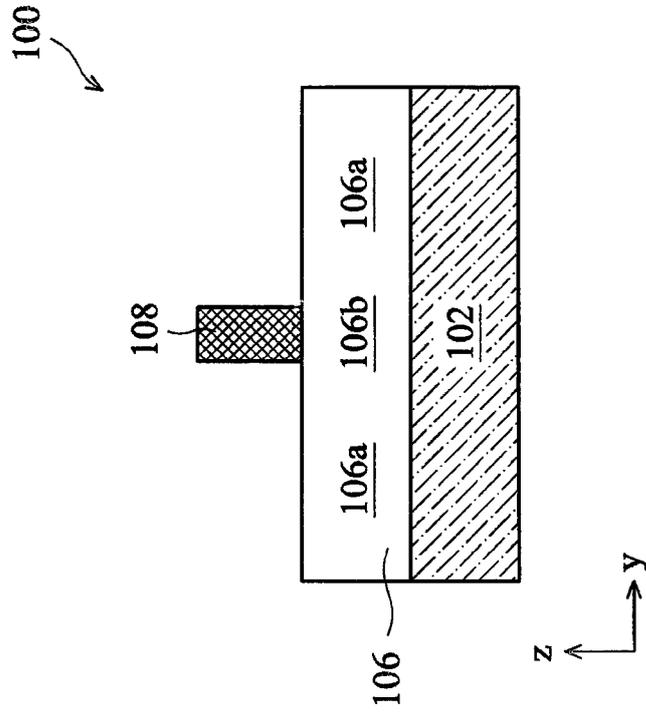


FIG. 4B

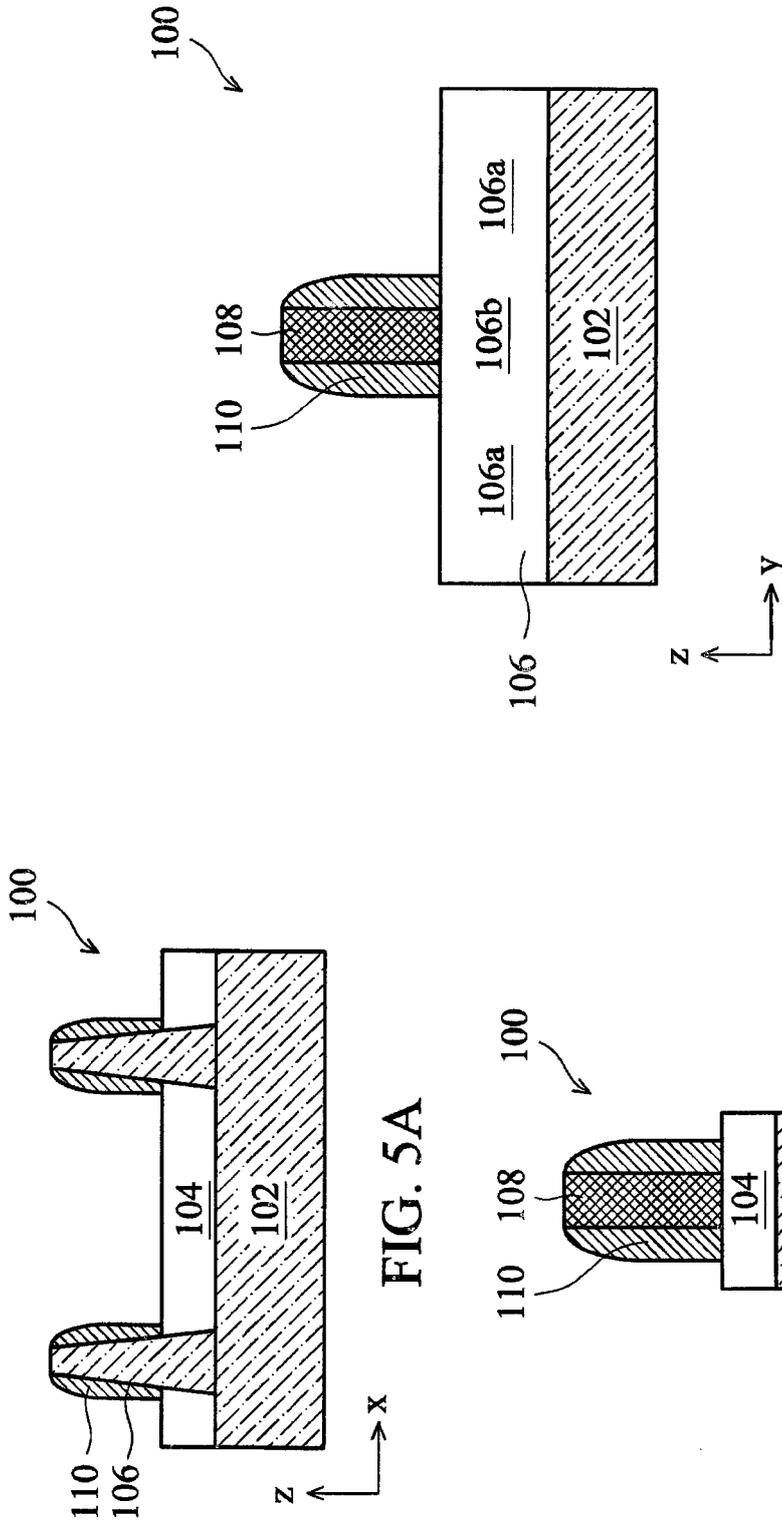


FIG. 5A

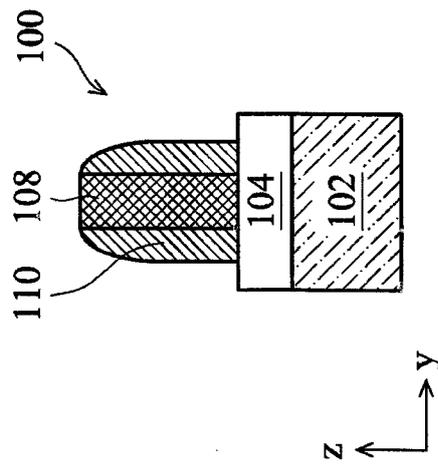


FIG. 5C

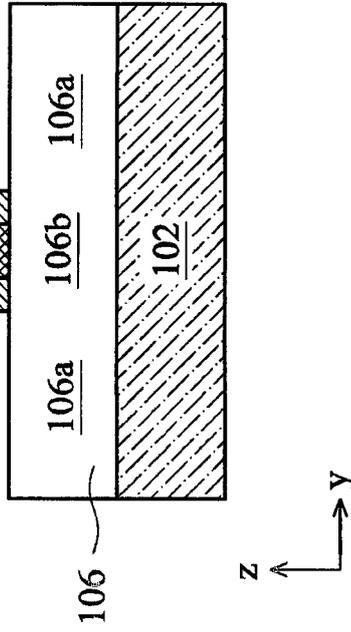


FIG. 5B

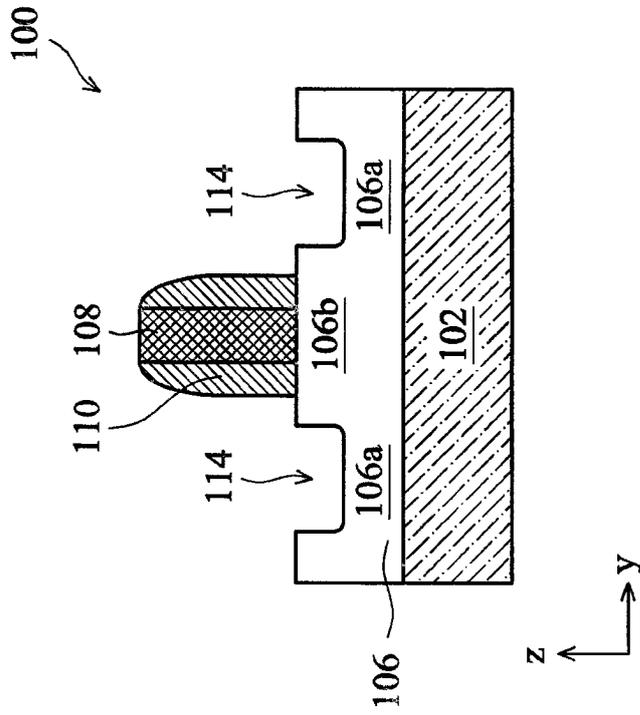


FIG. 6B

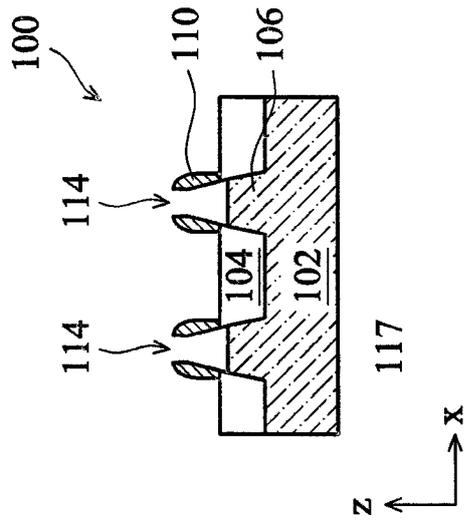


FIG. 6A

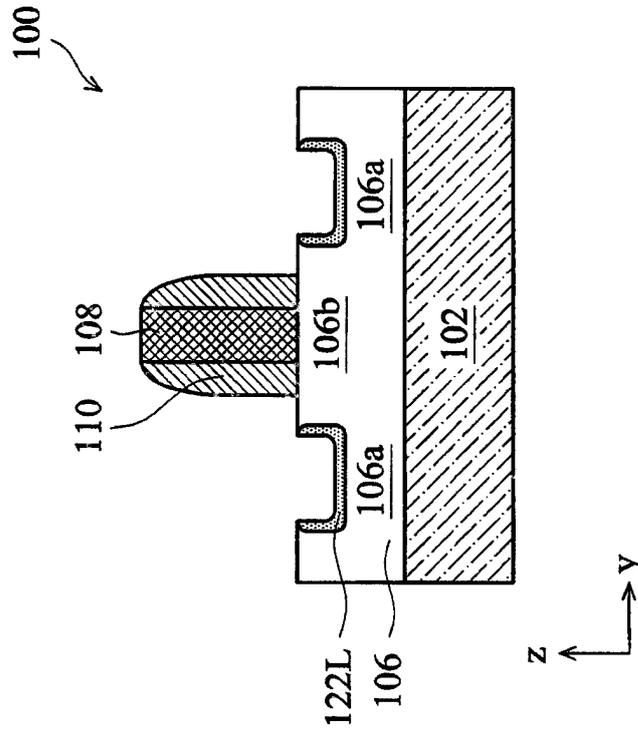


FIG. 7B

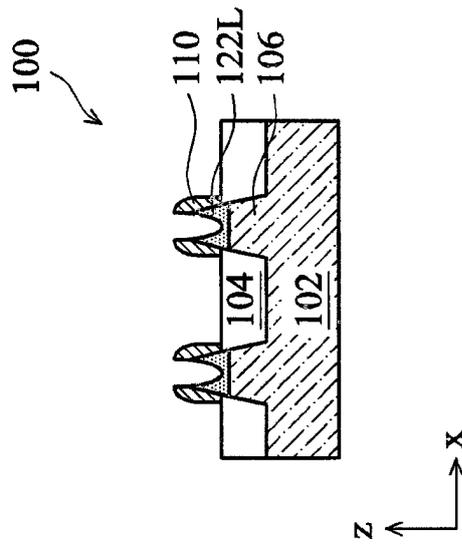


FIG. 7A

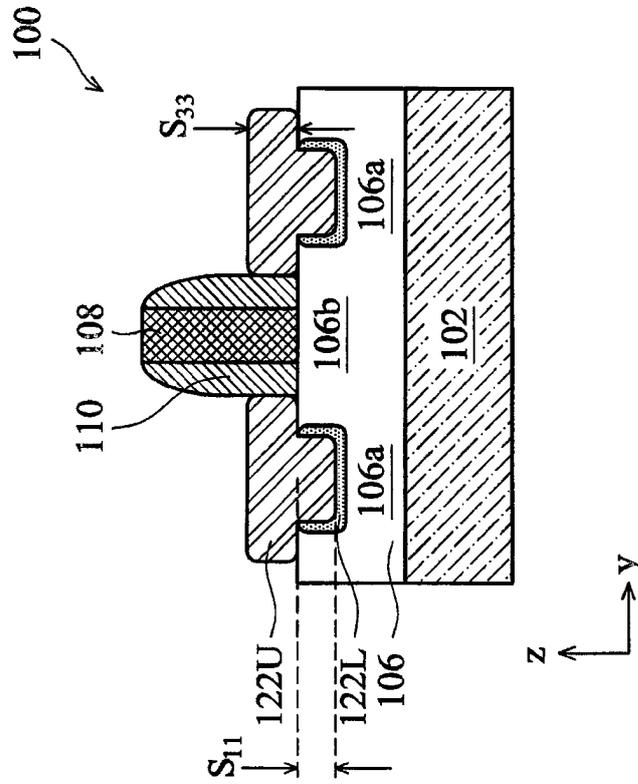


FIG. 10B

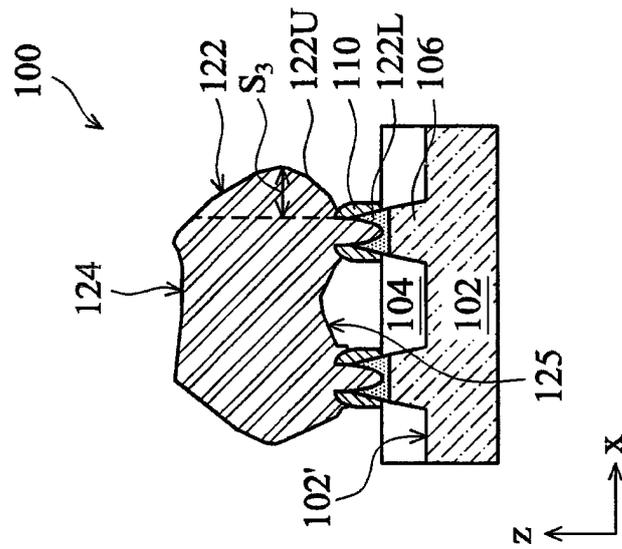


FIG. 10A

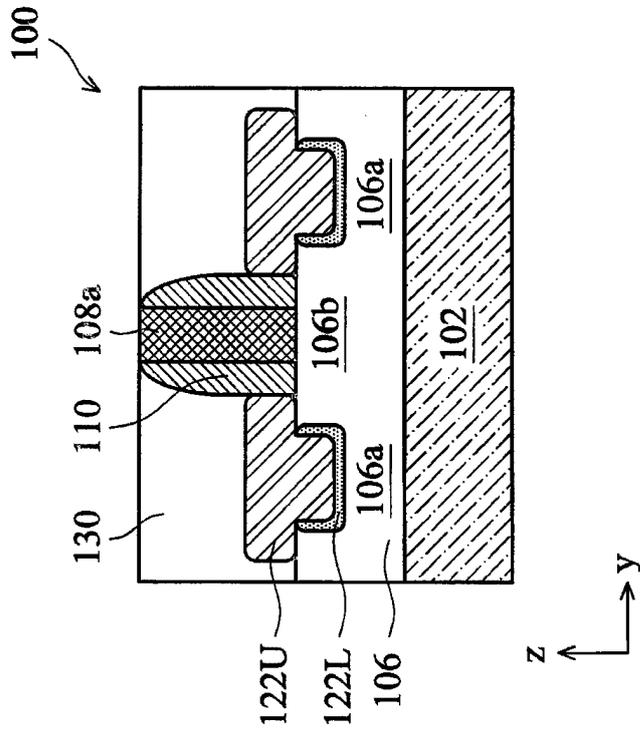


FIG. 11B

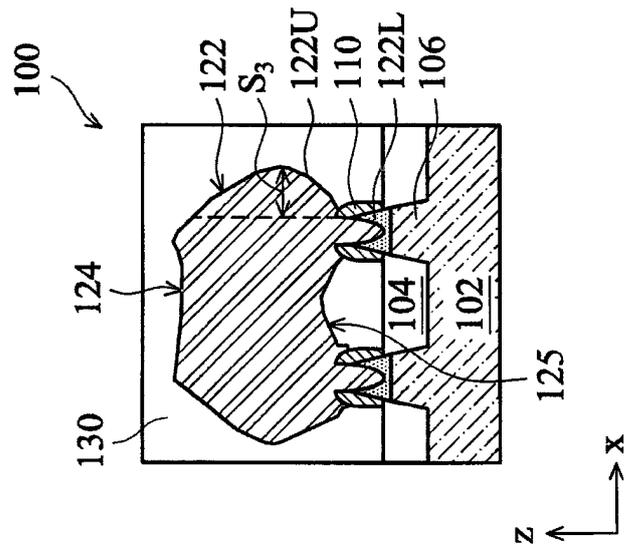


FIG. 11A

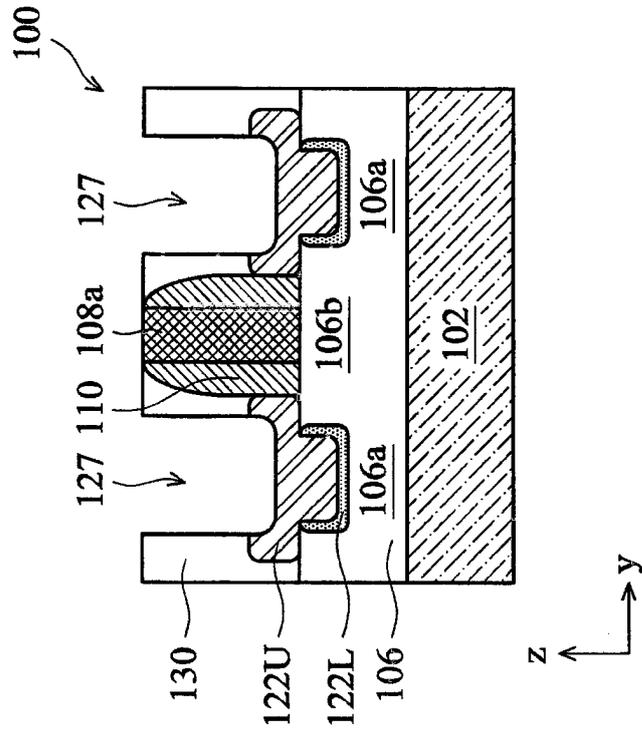


FIG. 12A

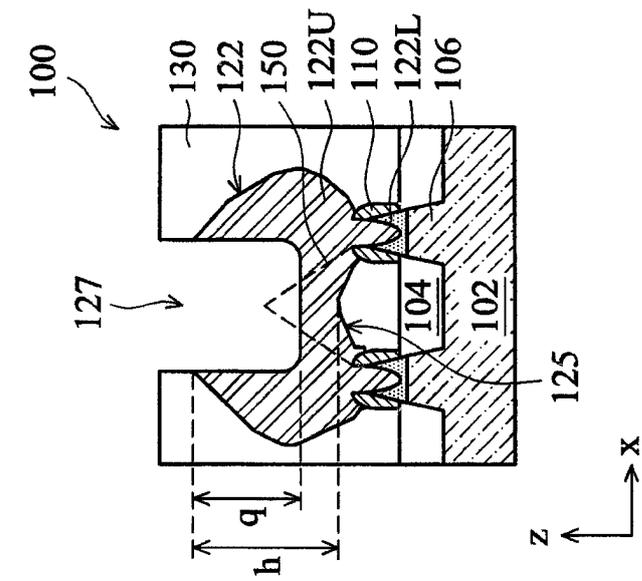


FIG. 12B

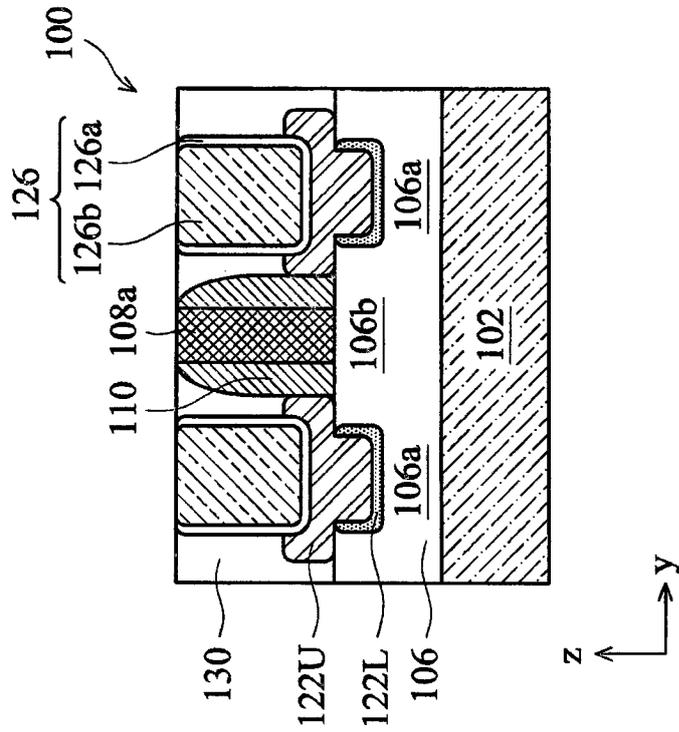


FIG. 13B

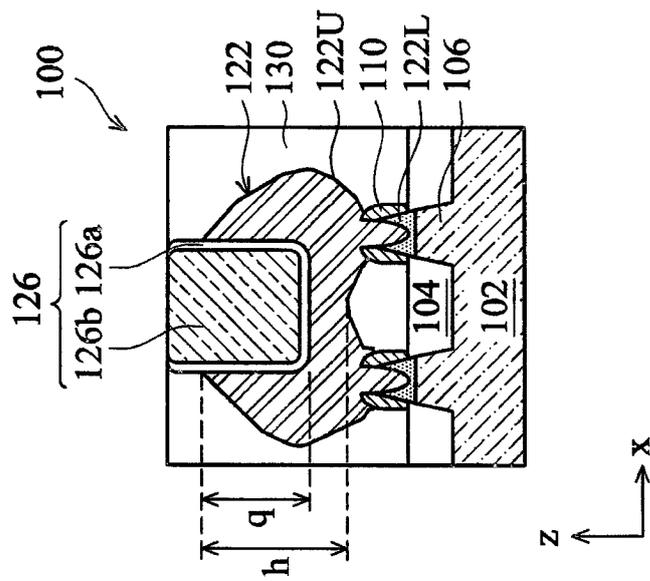


FIG. 13A