



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 046 250.3**

(22) Anmeldetag: **30.10.2009**

(43) Offenlegungstag: **12.05.2011**

(51) Int Cl.: **H01L 21/8236 (2006.01)**
H01L 29/423 (2006.01)

(71) Anmelder:

**GLOBALFOUNDRIES Dresden Module One Ltd.
Liability Company & Co. KG, 01109 Dresden, DE;
GLOBALFOUNDRIES Inc., Grand Cayman, KY**

(72) Erfinder:

**Heinrich, Jens, 01454 Wachau, DE; Werner,
Thomas, 01468 Moritzburg, DE; Seliger, Frank,
01309 Dresden, DE; Richter, Frank, 01109
Dresden, DE**

(74) Vertreter:

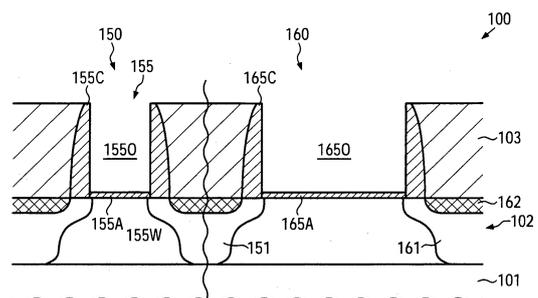
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802 München**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kantenverrundung in einem Austauschgateverfahren auf der Grundlage eines Opferfüllmaterials, das vor der Abscheidung des Austrittsarbeitsmetalls aufgebracht wird**

(57) Zusammenfassung: In einem Austauschgateverfahren besitzt ein oberer Bereich einer Gateöffnung eine verbesserte Querschnittsform, was bewerkstelligt wird auf der Grundlage eines plasmaunterstützten Ätzprozesses oder eines Ionen-Sputter-Prozesses. Während dieses Prozesses schützt ein Opferfüllmaterial empfindliche Materialien, etwa ein dielektrisches Material mit großem ϵ und ein entsprechendes Deckmaterial. Folglich kann die nachfolgende Abscheidung einer austrittsarbeits-einstellenden Materialschicht nicht zu einer Oberflächentopographie führen, die zu einer unzuverlässigen Füllung des Elektrodenmetalls führt. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird das Opferfüllmaterial auch als eine Abstandshaltermaske verwendet, um das Abscheiden der austrittsarbeits-einstellenden Metallsorte in gewisse Gateöffnungen zu vermeiden, in denen eine andere Art an austrittsarbeits-einstellender Substanz erforderlich ist.



Beschreibung

Gebiet der vorliegenden Erfindung

[0001] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung die Herstellung komplexer integrierter Schaltungen mit Transistorelementen, die Gatestrukturen basierend auf einem Gatedielektrikumsmaterial mit großem ϵ in Verbindung mit einem Metallelektrodenmaterial aufweisen.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Die Herstellung moderner integrierter Schaltungen, etwa von CPU's, Speicherbauelementen, ASIC's (anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen) und dergleichen macht es notwendig, eine große Anzahl an Schaltungselementen auf der vorgegebenen Chipfläche gemäß einem spezifizierten Schaltungsaufbau herzustellen, wobei Feldeffekttransistoren eine wichtige Art an Schaltungselementen repräsentieren, die das Leistungsverhalten der integrierten Schaltungen wesentlich bestimmen. Im Allgemeinen wird eine Vielzahl an Prozesstechnologien aktuell eingesetzt, wobei für viele Arten komplexer Schaltungen mit Feldeffekttransistoren die CMOS-Technologie eine der vielversprechendsten Vorgehensweisen auf Grund der guten Eigenschaften im Hinblick auf die Arbeitsgeschwindigkeit und/oder Leistungsaufnahme und/oder Kosteneffizienz ist. Während der Herstellung komplexer integrierter Schaltungen unter Anwendung beispielsweise der CMOS-Technologie werden Millionen an Transistoren, d. h. n-Kanaltransistoren und p-Kanaltransistoren, auf einem Substrat hergestellt, das eine kristalline Halbleiterschicht aufweist. Ein Feldeffekttransistor enthält, unabhängig davon, ob ein n-Kanaltransistor oder ein p-Kanaltransistor betrachtet wird, sogenannte pn-Übergänge, die durch eine Grenzfläche gebildet sind, die durch stark dotierte Gebiete, die als Drain- und Sourcegebiete bezeichnet werden, und einen leicht dotierten oder nicht-dotierten Gebiet gebildet ist, etwa einem Kanalgebiet, das benachbart zu den stark dotierten Gebieten angeordnet ist. In einem Feldeffekttransistor ist die Leitfähigkeit des Kanalgebiets, d. h. der Durchlassstrom des leitenden Kanals, durch eine Gateelektrode gesteuert, die benachbart zu dem Kanalgebiet angeordnet und davon durch eine dünne isolierende Schicht getrennt ist. Die Leitfähigkeit des Kanalgebiets beim Aufbau eines leitenden Kanals auf Grund des Anlegens einer geeigneten Steuerspannung an die Gateelektrode hängt von der Dotierstoffkonzentration, der Beweglichkeit der Ladungsträger und – für eine gegebene Abmessung des Kanalgebiets in der Transistorbreitenrichtung – von dem Abstand zwischen dem Sourcegebiet und dem Draingebiet ab, der auch als Kanallänge bezeichnet wird. Somit beeinflusst die Leitfähigkeit des Kanalgebiets wesentlich das Leistungsverhalten von MOS-Transistoren.

[0003] Gegenwärtig wird der Hauptanteil an integrierten Schaltungen basierend auf Silizium hergestellt auf Grund der nahezu begrenzten Verfügbarkeit, auf Grund der gut verstandenen Eigenschaften des Siliziums und zugehörigen Materialien und Prozesse und auf Grund der Erfahrung, die über die letzten 50 Jahre gewonnen wurde. Daher bleibt Silizium mit hoher Wahrscheinlichkeit das Material der Wahl für künftige Schaltungsgenerationen, die für Massenprodukte vorgesehen sind. Ein Grund für die große Bedeutung des Siliziums bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen sind die guten Eigenschaften einer Silizium/Siliziumdioxidgrenzfläche, die eine zuverlässige elektrische Isolierung unterschiedlicher Gebiete ermöglicht. Die Silizium/Siliziumdioxidgrenzfläche ist bei hohen Temperaturen stabil und ermöglicht das Ausführen nachfolgender Hochtemperaturprozesse, wie sie beispielsweise zum Ausheizen für die Aktivierung der Dotierstoffe und zum Ausheilen von Kristallschäden erforderlich sind, ohne dass dabei die elektrischen Eigenschaften der Grenzfläche beeinträchtigt werden.

[0004] Aus den zuvor dargelegten Gründen wird Siliziumdioxid vorzugsweise als ein Basismaterial einer Gateisolationsschicht in Feldeffekttransistoren eingesetzt, die die Gateelektrode, die häufig aus Polysilizium oder metallenthaltenden Materialien aufgebaut ist, von dem Siliziumkanalgebiet trennt. Beim stetigen Verbessern des Leistungsverhaltens von Feldeffekttransistoren wurde die Länge des Kanalgebiets kontinuierlich verringert, um die Schaltgeschwindigkeit und den Durchlassstrom zu erhöhen. Da das Transistorverhalten durch die Spannung gesteuert ist, die der Gateelektrode zugeführt wird, um die Oberfläche des Kanalgebiets in eine ausreichend hohe Ladungsträgerdichte zu invertieren, um damit den gewünschten Durchlassstrom bei einer vorgegebenen Versorgungsspannung bereitzustellen, ist ein gewisser Grad an kapazitiver Kopplung erforderlich, die durch den Kondensator hervorgerufen wird, der durch die Gateelektrode, das Kanalgebiet und das dazwischen angeordnete Siliziumdioxid gebildet ist. Es erweist sich, dass eine Verringerung der Kanallänge eine höhere kapazitive Kopplung erfordert, um das sogenannte Kurzkanalverhalten während des Transistorbetriebs zu vermeiden. Das Kurzkanalverhalten kann zu einem erhöhten Leckstrom und zu einer ausgeprägten Abhängigkeit der Schwellwertspannung von der Kanallänge führen. Aggressiv skalierte Transistorbauelemente mit einer relativ geringen Versorgungsspannung und damit mit einer geringen Schwellwertspannung weisen eine exponentielle Zunahme des Leckstromes auf, wobei auch eine höhere kapazitive Kopplung der Gateelektrode an das Kanalgebiet erforderlich ist. Daher wird die Dicke der Siliziumdioxidschicht entsprechend verringert, um die erforderliche Kapazität zwischen dem Gate und dem Kanalgebiet zu schaffen. Beispielsweise erfordert eine Kanallänge von unge-

fähr 0,08 μm ein Gatedielektrikum aus Siliziumdioxid mit einer Dicke von ungefähr 1,2 nm. Obwohl allgemein die Verwendung von Hochgeschwindigkeitstransistoren mit einem extrem kurzen Kanal im Wesentlichen auf Hochgeschwindigkeitssignalwege beschränkt wird, wohingegen Transistoren mit einem längeren Kanal für weniger kritische Signalwege eingesetzt werden, etwa in Form von Speichertransistoren, erreicht der relativ hohe Leckstrom, der durch das direkte Tunneln von Ladungsträgern durch eine sehr dünne Siliziumdioxidgateisolationsschicht hervorgerufen wird, Werte für eine Oxiddicke im Bereich von 1 bis 2 nm, die nicht mehr mit den thermischen Entwurfsleistungserfordernissen für leistungsbezogene Schaltungen sind.

[0005] Daher wurde das Setzen des siliziumdioxidbasierten Dielektrikums als Material für Gateisolationsschichten in Betracht gezogen, insbesondere für extrem dünne siliziumdioxidbasierte Gateschichten. Mögliche alternative Materialien sind solche, die eine deutlich höhere Permittivität besitzen, so dass eine physikalisch größere Dicke einer entsprechend gebildeten Gateisolationsschicht eine kapazitive Kopplung ergibt, die ansonsten durch eine extrem dünne Siliziumdioxidschicht erreicht würde.

[0006] Es wurde daher vorgeschlagen, Siliziumdioxid durch Materialien mit hoher Permittivität zu ersetzen, etwa durch Tantaloxid (TA_2O_5) mit einem ϵ von ungefähr 25, durch Strontiumtitanoxid (SrTiO_3) mit einem ϵ von 150, durch Hafniumoxid (HfO_2), HfSiO , Zirkonoxid (ZrO_2) und dergleichen.

[0007] Zudem kann das Transistorverhalten verbessert werden, indem ein geeignetes leitendes Material der Gateelektrode vorgesehen wird, um damit das für gewöhnlich verwendete Polysiliziummaterial zu ersetzen, da Polysilizium eine Ladungsträgerverarmung in der Nähe der Grenzfläche zum Gatedielektrikum aufweist, wodurch die wirksame Kapazität zwischen dem Kanalgebiet und der Gateelektrode verringert wird. Daher wurde ein Gatestapel vorgeschlagen, in welchem ein dielektrisches Material mit großem ϵ für eine erhöhte Kapazität auf der Grundlage der gleichen Dicke wie eine siliziumdioxidbasierte Schicht sorgt, während zusätzlich Leckströme auf einem akzeptablen Niveau gehalten werden. Andererseits wird das nicht-Polysiliziummaterial, etwa Titanitrid und dergleichen, in Verbindung mit anderen Metallen hergestellt, dass die direkte Verbindung zu dem dielektrischen Material mit großem ϵ besteht, wodurch das Auftreten einer Verarmungszone im Wesentlichen vermieden wird. Da die Schwellwertspannung der Transistoren, die die Spannung repräsentiert, bei der sich ein leitender Kanal in dem Kanalgebiet ausbildet, wesentlich der Austrittsarbeit des metallenthaltenden Gatematerials bestimmt ist, muss eine geeignete Einstellung der wirksamen Aus-

trittsarbeit in Bezug auf die Leitfähigkeitsart des betrachteten Transistors sichergestellt sein.

[0008] Das Vorsehen unterschiedlicher Metallsorten für das Einstellen der Austrittsarbeit der Gateelektrodenstrukturen für p-Kanaltransistoren und n-Kanaltransistoren während einer frühen Fertigungsphase kann jedoch mit einer Reihe von Schwierigkeiten verknüpft sein, die sich aus der Tatsache ergeben, da eine komplexe Strukturierungssequenz während der Herstellung des komplexen Metallgatestapels mit großem ϵ erforderlich ist, was zu einer ausgeprägten Variabilität der resultierenden Austrittsarbeit und somit der Schwellwertspannung der Transistorstrukturen führen kann. Während einer entsprechenden Fertigungssequenz wird beispielsweise das Material mit großem ϵ dem Einfluss von Sauerstoff ausgesetzt, was zu einer Zunahme der Schichtdicke und somit zu einer Verringerung der kapazitiven Kopplung führen kann. Ferner kann eine Verschiebung der Austrittsarbeit beobachtet werden, wenn geeignete Austrittsarbeitmetalle in einer frühen Fertigungsphase hergestellt werden, wobei man annehmen kann, dass dies durch eine moderat hohe Sauerstoffaffinität der Metallsorten insbesondere bei Hochtemperaturprozessen hervorgerufen wird, die typischerweise zur Fertigstellung der Transistorstrukturen, beispielsweise zur Bildung der Drain- und Sourcegebiete und dergleichen, erforderlich sind.

[0009] Aus diesem Grunde wird in einigen Vorgehensweisen der anfängliche Gateelektrodenstapel mit einem hohen Grad an Kompatibilität zu konventionellen polysiliziumbasierten Prozessstrategien bereitgestellt und das eigentliche Elektrodenmetall und die endgültige Einstellung der Austrittsarbeit der Transistoren wird in einer sehr fortgeschrittenen Fertigungsphase, d. h. nach der Fertigstellung der grundlegenden Transistorstruktur, bewerkstelligt.

[0010] Gemäß dieser Vorgehensweise können insbesondere Schwellwertschwankungen, die durch Hochtemperaturprozesse und dergleichen hervorgerufen werden, effizient vermieden werden, wodurch zu einer besseren Gleichmäßigkeit der komplexen Transistorelemente beigetragen wird. In diesen Austauschgateverfahren wird das Polysiliziummaterial auf der Grundlage geeigneter Ätzrezepte, etwa naschemischer Ätzrezepte, entfernt, die einen hohen Grad an Selektivität in Bezug auf das isolierende Material aufweisen, das das Polysiliziummaterial lateral einschließt. Nach dem Entfernen des Polysiliziummaterials wird ein geeignetes metallenthaltendes Material aufgebracht, um die austrittsarbeitseinstellende Sorte über dem Gatedielektrikummaterial zu bilden, wie dies auch zuvor erläutert ist. Typischerweise erfordern p-Kanaltransistoren und n-Kanaltransistoren andere Arten von austrittsarbeitseinstellenden Substanzen, wodurch ein entsprechendes Maskierungs- und Strukturierungsschema erforderlich ist,

um in geeigneter Weise das gewünschte austrittsarbeitseinstellende Material in den Gateelektrodenstrukturen von p-Kanaltransistoren bzw. n-Kanaltransistoren vorzusehen. Unabhängig von der angewendeten Prozessstrategie muss nach dem Abscheiden der austrittsarbeitseinstellenden Materialschicht zumindest das eigentliche Elektrodenmetall, etwa Aluminium, in die Öffnung eingefüllt werden, deren Breite jedoch durch die vorhergehende Abscheidung des austrittsarbeitseinstellenden Materials weiter verringert wurde, wodurch ausgeprägte Unregelmäßigkeiten hervorgerufen werden, wie dies mit Bezug zu den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1c](#) erläutert ist.

[0011] [Fig. 1a](#) zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelement **100**, das ein Substrat **101** aufweist, etwa ein Siliziumsubstrat und dergleichen, in oder über welchem eine siliziumbasierte Halbleiterschicht **102** vorgesehen ist. Ferner umfasst das Bauelement **100** einen Transistor **150**, etwa einen p-Kanaltransistor oder einen n-Kanaltransistor, der auf der Grundlage kritischer Abmessungen von ungefähr 40 nm und weniger hergestellt wird. Ferner ist ein weiteres Schaltungselement **160**, etwa ein Feldeffekttransistor, ein Kondensator und dergleichen, in dem Halbleiterbauelement **100** vorgesehen und wird auf der Grundlage einer größeren kritischen Abmessung hergestellt. Der Transistor **150** umfasst Drain- und Sourcegebiete **151**, möglicherweise in Verbindung mit Metallsilizidgebieten **152**. In ähnlicher Weise umfasst das Schaltungselement **160** „Drain- und Sourcegebiete“ **161** in Verbindung mit Metallsilizidgebieten **162**. Der Transistor **150** umfasst ferner eine Gateelektrodenstruktur **155**, die in der gezeigten Fertigungsphase ein Gatedielektrikumsmaterial **155a** aufweist, das auf der Grundlage eines dielektrischen Materials mit großem ϵ hergestellt ist, wie dies zuvor erläutert ist. Ferner ist eine Seitenwandabstandshalterstruktur **155c** und bildet eine Öffnung **155o** mit einer Breite, die im Wesentlichen einer Solllänge der Gateelektrodenstruktur **155** entspricht. Beispielsweise beträgt eine Breite der Öffnung **155o** 40 nm und weniger in anspruchsvollen Anwendungen. In ähnlicher Weise umfasst das Schaltungselement **160** eine „Gateelektrodenstruktur“ **165** mit einem Gatedielektrikumsmaterial **165a**, einer Abstandshalterstruktur **165c**, die eine Öffnung **165o** bildet. Im Prinzip besitzen die Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** den gleichen Aufbau mit Ausnahme einer unterschiedlichen Breite der Öffnung **165o** im Vergleich zu der Öffnung **155o**. Ferner ist ein dielektrisches Material **103**, beispielsweise in Form von Siliziumnitrid, Siliziumdioxid und dergleichen so vorgesehen, dass die Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** lateral eingeschlossen sind.

[0012] Das in [Fig. 1a](#) gezeigte Halbleiterbauelement **100** kann auf der Grundlage der folgenden Prozesstechniken hergestellt werden. Nach dem Bilden von geeigneten Halbleitergebieten in der Schicht **102**,

beispielsweise durch Vorsehen von Isolationsstrukturen (nicht gezeigt), zur Aufnahme der Schaltungselemente **155**, **160** werden die Gatedielektrikumsmaterialien **155**, **165a** auf Basis von Oxidation und/oder komplexen Abscheidetechniken hergestellt, wobei typischerweise ein dielektrisches Material mit großem ϵ in die dielektrischen Materialien **155a**, **165a** eingebaut wird. Z. B. wird häufig ein siliziumoxidbasiertes Material als Basisschicht verwendet, möglicherweise in Verbindung mit anderen Stoffsorten, etwa Stickstoff, worauf ein geeignetes dielektrisches Material mit großem ϵ , etwa Hafniumoxid und dergleichen, aufgebracht wird. Daraufhin wird ein leitendes Deckmaterial hergestellt, um die Integrität der Gatedielektrikumsmaterialien **155**, **165a**, während der weiteren Bearbeitung sicherzustellen. Daraufhin wird Polysiliziummaterial auf der Grundlage gut etablierter Prozessrezepte abgeschieden, möglicherweise in Verbindung mit weiteren Deckmaterialien, Hartmaskenmaterialien und dergleichen, wie dies zum Strukturieren des resultierenden Materialschichtstapels entsprechend den Entwurfsregeln erforderlich ist, um somit in zuverlässiger Weise die kritischen Abmessungen für die Gateelektrodenstruktur **155** einzurichten. Danach werden komplexe Strukturierungsprozesse angewendet, um die Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** zu schaffen, die das Polysiliziummaterial als ein Platzhaltermaterial enthalten. Als nächstes werden die Drain- und Sourcegebiete **151** in Verbindung mit den Seitenwandabstandshalterstrukturen **155c**, **165c** gebildet, um das gewünschte Dotierstoffprofil zu erreichen. Ferner werden die Abstandshalterstrukturen **155c**, **165c** auch verwendet, um die Metallsilizidgebiete **152**, **162** herzustellen, wodurch die grundlegende Struktur der Schaltungselemente **150**, **160** vervollständigt wird. Als nächstes wird das dielektrische Material **103**, das auch als ein dielektrisches Zwischenschichtmaterial bezeichnet wird, hergestellt, indem beispielsweise Siliziumnitrid abgeschieden wird, woran sich Siliziumdioxid und dergleichen anschließt. Daraufhin wird überschüssiges Material entfernt und eine obere Oberfläche der Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** wird beispielsweise durch einen Polierprozess, etwa durch CMP (chemisch-mechanisches Polieren) freigelegt. Anschließend wird ein Ätzprozess, etwa ein sehr selektiver nasschemischer Ätzprozess, ausgeführt, um das freigelegte Polysiliziummaterial selektiv zu dem dielektrischen Material **103** und den Seitenwandabstandshalterstrukturen **155c**, **165c** zu entfernen, wodurch die Öffnungen **155o**, **165o** gebildet werden.

[0013] [Fig. 1b](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100** mit einer metallenthaltenden Materialschicht **155d**, die auf dem dielektrischen Material **103** und in der Öffnung **155o** gebildet ist. Die Materialschicht **155d** weist eine oder mehrere Schichten unterschiedlicher Materialien auf, etwa in Form von Titanitrid, Tantalnitrid und dergleichen, wobei ebenfalls eine geeignete Metallsorte, etwa Lanthan-

num, Aluminium und dergleichen eingebaut ist, um die resultierende Austrittsarbeit der Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** einzustellen. Wie zuvor erläutert ist, werden abhängig von der gesamten Prozessstrategie unterschiedliche Materialschichten lokal in Transistoren unterschiedlicher Leitfähigkeitsart vorgesehen, wodurch das Abscheiden zumindest einer oder mehrerer Materialschichten möglicherweise in Verbindung mit zusätzlichen Ätzprozessen erforderlich ist, um selektiv eine oder mehrere dieser Schichten aus Gateelektrodenstrukturen von Transistoren zu entfernen, die eine andere Art an Austrittsarbeitmetallsorte erfordern. Unabhängig von der angewendeten Prozessstrategie wird das Material **155d** auf der Grundlage komplexer Abscheidetechniken aufgebracht, etwa durch chemische Dampfabscheidung, physikalische Dampfabscheidung und dergleichen, um die Materialschicht **155d** zuverlässig zumindest über den Gatedielektrikumsmaterialien **155a** **165a** mit einer Dicke auszubilden, wie dies zum geeigneten Anordnen der Austrittsarbeitmetallsorte an und in den dielektrischen Materialien **155a**, **165a** erforderlich ist. Während des Abscheidens des Materials **155d** kann eine ausgeprägte Schwankung der Schichtdicke hervorgerufen werden, die insbesondere in einem oberen Bereich der Öffnung **155o** mit den reduzierten kritischen Abmessungen ausgeprägt ist. Während eine Breite **155w** der Öffnung **155o** an deren Unterseite durch die normale Schichtdicke festgelegt ist, die so gewählt ist, dass die gewünschte Abdeckung des Gatedielektrikumsmaterials **155a** erreicht wird, wird eine Breite **155r** an der Oberseite der Öffnung **155o** deutlich auf Grund entsprechender Überhänge der Schicht **155d** verringert. Andererseits beeinflusst die geringere Breite **165r** an den oberen Bereich der Öffnung **165o** die weitere Bearbeitung des Bauelements **100** nicht wesentlich. Auf der anderen Seite führt die geringere Breite **155r**, die 20 nm oder weniger bei einer anfänglichen Breite der Öffnung **155o** von ungefähr 40 nm betragen kann, zu ausgeprägten Unregelmäßigkeiten während der weiteren Bearbeitung, wenn das eigentliche Elektrodenmaterial in die Öffnungen **155o**, **165o** eingefüllt wird.

[0014] [Fig. 1c](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100** nach dem Abscheiden eines Elektrodenmetalls **155e**, etwa in Form von Aluminium und dergleichen, um die Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** fertigzustellen. Auf Grund der reduzierten Breite **155r** ist unter Umständen die Öffnung **155o** nicht vollständig gefüllt oder die Öffnung **155o** bleibt im Wesentlichen ungefüllt, wodurch eine nicht funktionsfähige Gateelektrodenstruktur für den Transistor **150** erzeugt wird. Andererseits kann die Öffnung **165o** zuverlässig auf Grund der weniger kritischen Breite der Öffnung **165o** gefüllt werden. Beim Entfernen von überschüssigem Material werden somit die Gateelektrodenstrukturen **155**, **165** fertiggestellt, wobei durch eine ausgeprägte Wahrscheinlichkeit besteht, dass nicht funktionsfähige Gateelektro-

denstrukturen für kritische Transistoren, etwa dem Transistor **150**, erzeugt werden. Obwohl somit im Prinzip die Einstellung der Austrittsarbeit der Gateelektrodenstruktur **155** in einer sehr fortgeschrittenen Fertigungsphase vorteilhaft ist im Hinblick auf eine Verringerung der Transistorvariabilität hinsichtlich der Schwellwertspannungsschwankungen, ergeben sich insbesondere in sehr kleinen Transistorelementen Ausbeuteverluste auf Grund von unvollständig gefüllten Elektrodenstrukturen oder auf Grund von nicht funktionsfähigen Gateelektrodenstrukturen.

[0015] Angesichts der zuvor beschriebenen Situation betrifft die vorliegende Erfindung Halbleiterbauelemente und Fertigungstechniken, in denen eine Austrittsarbeitssorte in einer sehr fortgeschrittenen Fertigungsphase bereitgestellt wird, wobei eines oder mehrere der oben erkannten Probleme vermieden oder zumindest in der Auswirkung reduziert werden.

Überblick über die vorliegende Erfindung

[0016] Im Allgemeinen stellt die vorliegende Erfindung Fertigungstechniken bereit, in denen ein leitendes Gateelektrodenmaterial in eine Öffnung einer Gateelektrodenstruktur auf der Grundlage einer verbesserten Querschnittsform der Öffnung eingefüllt wird, nachdem das Platzhaltermaterial in einem Austauschgateverfahren entfernt wurde. Zu diesem Zweck wird eine Breite eines oberen Bereichs der Öffnung mittels einer geeigneten Behandlung vergrößert, etwa durch einen plasmaunterstützten Ätzprozess, einen Teilchenbeschuss und dergleichen, wobei gleichzeitig die Unterseite der Öffnung durch Opferfüllmaterial geschützt wird, etwa durch ein organisches Material, wodurch eine unerwünschte Wechselwirkung des Prozesses zur Vergrößerung der Breite an dem oberen Bereich und sensitiver Materialien, etwa den dielektrischen Materialien mit großem ϵ und jeglichen Deckschichten, vermieden wird. Daraufhin wird das austrittsarbeitseinstellende Metall und das eigentliche Elektrodenmetall auf der Grundlage einer besseren Querschnittsform eingefüllt. In einigen anschaulichen hierin offenbarten Aspekten wird das Opferfüllmaterial zusätzlich als eine effiziente Maske verwendet, um das Abscheiden einer austrittsarbeitseinstellenden Metallsorte in gewissen Gateöffnungen zu vermeiden, wenn das austrittsarbeitseinstellende Metall in anderen Gateöffnungen einzufüllen ist. Zu diesem Zweck wird nach dem Vergrößern der Breite zumindest einiger Gateöffnungen das Opfermaterial selektiv von den Gateöffnungen entfernt, in denen die austrittsarbeitseinstellende Sorte vorzusehen ist, während in anderen Öffnungen zumindest ein Teil des Opfermaterials beibehalten wird. Somit kann die weitere Bearbeitung auf der Grundlage verbesserter Querschnittsformen zumindest einiger Gateöffnungen fortgesetzt werden, während gleichzeitig eine Notwendigkeit besteht, zusätzliche leitende Ätzstoppschichten zum Einstellen der

Austrittsarbeit von n-Kanaltransistoren bzw. p-Kanaltransistoren vorzusehen.

[0017] Ein anschauliches hierin offenbartes Verfahren umfasst das Bilden einer Öffnung in einer Gateelektrodenstruktur eines Transistors durch Entfernen eines Platzhalterelektrodenmaterials der Gateelektrodenstruktur. Das Verfahren umfasst ferner das Bilden eines Opferfüllmaterials in der Öffnung, um zumindest die Unterseite der Öffnung abzudecken. Des Weiteren wird eine Breite der Öffnung an oberem Bereich in Anwesenheit des Opferfüllmaterials vergrößert. Ferner wird das Opferfüllmaterial aus der Öffnung entfernt und es wird eine Materialschicht an Seitenwänden und an der Unterseite der Öffnung auf der Grundlage der größeren Breite gebildet, wobei die Materialschicht eine austrittsarbeitseinstellende Substanz aufweist. Ferner umfasst das Verfahren das Füllen eines leitenden Elektrodenmaterials in die Öffnung oberhalb der Materialschicht.

[0018] Ein weiteres anschauliches hierin offenbartes Verfahren umfasst das Bilden einer ersten Öffnung in einer ersten Gateelektrodenstruktur eines ersten Transistors und das Bilden einer zweiten Öffnung in einer zweiten Gateelektrodenstruktur eines zweiten Transistors durch Entfernen eines Platzhalterelektrodenmaterials der ersten und der zweiten Gateelektrodenstruktur. Es wird ferner ein erstes Opferfüllmaterial in die erste und die zweite Öffnung eingefüllt, und eine Breite der ersten und/oder der zweiten Öffnung wird am oberen Bereich in Anwesenheit zumindest eines Teils des ersten Opferfüllmaterials in der ersten und der zweiten Öffnung vergrößert. Das Verfahren umfasst ferner das Entfernen des zumindest einen Teils des ersten Opferfüllmaterials aus der ersten Öffnung und Bilden einer ersten Materialschicht in der ersten Öffnung und über zumindest dem Teil des ersten Opferfüllmaterials, der in der zweiten Öffnung vorhanden ist. Des Weiteren wird der zumindest eine Teil des ersten Opferfüllmaterials aus der zweiten Öffnung entfernt, und es wird eine zweite Materialschicht in der ersten und der zweiten Öffnung hergestellt, wobei das erste Material zumindest an der Unterseite der ersten Öffnung gebildet ist. Schließlich wird ein leitendes Elektrodenmaterial in die erste und die zweite Öffnung eingefüllt.

[0019] Ein noch weiteres anschauliches hierin offenbartes Verfahren betrifft die Einstellung einer Austrittsarbeit von Gateelektrodenstrukturen. Das Verfahren umfasst das Bilden eines Opferfüllmaterials in einer ersten Gateöffnung und in einer zweiten Gateöffnung. Des Weiteren umfasst das Verfahren das Vergrößern einer Breite eines oberen Bereichs zumindest der ersten Gateöffnung in Anwesenheit des Opferfüllmaterials. Des Weiteren wird das Opferfüllmaterial aus der ersten Gateöffnung entfernt und zumindest ein Teil des Opferfüllmaterials wird in der zweiten Gateöffnung bewahrt. Das Verfahren um-

fasst ferner das Bilden einer ersten austrittsarbeitseinstellenden Sorte in der ersten Gateöffnung und über zumindest einem Teil des Opferfüllmaterials in der zweiten Gateöffnung. Ferner umfasst das Verfahren das Entfernen des mindestens einen Teils des Opferfüllmaterials aus der zweiten Gateöffnung und Bilden einer zweiten austrittsarbeitseinstellenden Sorte in der zweiten Gateöffnung und über der ersten austrittsarbeitseinstellenden Sorte.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0020] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den angefügten Patentansprüchen definiert und gehen deutlicher aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor, wenn diese mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen studiert wird, in denen:

[0021] [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1c](#) schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements während diverser Fertigungsphasen beim Ersetzen eines Polysiliziummaterials durch ein Elektrodenmetall in Verbindung mit einer austrittsarbeitseinstellenden Substanz auf der Grundlage konventioneller Austauschgateverfahren zeigen;

[0022] [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2f](#) schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements während diverser Fertigungsphasen zeigen, wobei ein leitendes Elektrodenmaterial in den Öffnungen eingefüllt wird, das darin ausgebildet eine austrittsarbeitseinstellende Materialschicht aufweist und eine bessere Querschnittsform besitzt, die auf der Grundlage eines Opferfüllmaterials gemäß anschaulicher Ausführungsformen erreicht wird; und

[0023] [Fig. 2g](#) bis [Fig. 2m](#) schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements mit Transistoren unterschiedlicher Leitfähigkeitsart während diverser Fertigungsphasen zeigen, wobei die Austrittsarbeit der Gateelektrodenstrukturen auf der Grundlage eines Opferfüllmaterials gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen eingestellt wird.

Detaillierte Beschreibung

[0024] Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug zu den Ausführungsformen beschrieben ist, wie sie in der folgenden detaillierten Beschreibung sowie in den Zeichnungen dargestellt sind, sollte beachtet werden, dass die folgende detaillierte Beschreibung sowie die Zeichnungen nicht beabsichtigen, die hierin offenbarte Erfindung auf die speziellen anschaulichen offenbarten Ausführungsformen einzuschränken, sondern die beschriebenen anschaulichen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhaft die diversen Aspekte der vorliegenden Erfindung dar, deren Schutz-

bereich durch die angefügten Patentansprüche definiert ist.

[0025] Die vorliegende Erfindung stellt allgemein eine Fertigungstechnik bereit, in der ein Opferfüllmaterial, etwa ein organisches Material, effizient eingesetzt wird, um den unteren Bereich einer Gateöffnung nach dem Entfernen eines Platzhalterelektrodenmaterials zu schützen, wenn eine Breite der Gateöffnung auf der Grundlage einer geeigneten Prozesstechnik, etwa durch einen plasmaunterstützten Ätzprozess, einen Ionenbeschuss und dergleichen, vergrößert wird. Folglich können die weiteren erforderlichen Materialien, etwa die austrittsarbeits-einstellenden Substanzen und insbesondere das eigentliche Elektrodenmaterial in die Gateöffnung auf der Grundlage einer verbesserten Querschnittsform eingefüllt werden, wodurch das Auftreten von durch Abscheidung hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten, etwa nicht gefüllte Gateelektroden oder unvollständig gefüllte Gateelektroden, vermieden oder zumindest deutlich reduziert wird.

[0026] In anderen anschaulichen hierin offenbarten Ausführungsformen wird das Opferfüllmaterial als eine effiziente Maske verwendet, wenn eine austrittsarbeits-einstellende Substanz abgeschieden und von Transistoren und Gateelektrodenstrukturen entfernt wird, die eine andere Art an austrittsarbeits-einstellendem Material erfordern. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird das Entfernen eines unerwünschten Teils der austrittsarbeits-einstellenden Substanz zusätzlich auf der Grundlage eines weiteren Opferfüllmaterials bewerkstelligt, das in einer Gateöffnung vorgesehen wird, die darin ein gewünschtes austrittsarbeits-einstellendes Material aufweist, wodurch eine höhere Integrität der austrittsarbeits-einstellenden Sorte erreicht wird. Beispielsweise wird ein Ätzprozess und/oder ein Polierprozess angewendet, um freiliegende Bereiche der austrittsarbeits-einstellenden Substanz zu entfernen, ohne im Wesentlichen dieses Material in einer Art an Gateöffnungen zu beeinflussen, während die andere Art an Gateöffnungen weiterhin mit dem anfänglich aufgebrauchten Opferfüllmaterial gefüllt ist. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird bei Bedarf ein weiterer Prozess zum Vergrößern einer Breite einer oder beider Arten an Gateöffnungen ausgeführt, beispielsweise wird diese in anschaulichen Ausführungsformen als ein Teil der vorhergehenden Materialabtragungsprozesssequenz ausgeführt, wodurch das Gesamtverhalten für einen nachfolgenden Abscheidungsprozess zum Bereitstellen einer weiteren Metallsorte und zum Bereitstellen des eigentlichen Elektrodenmetalls weiter verbessert wird.

[0027] Die Opferfüllmaterialien können auf der Grundlage gut etablierter Ätztechniken entfernt werden, die typischerweise einen hohen Grad an Selektivität in Bezug auf andere Materialien in den ent-

sprechenden Gateöffnungen besitzen, so dass das Opferfüllmaterial effizient entfernt werden kann, ohne dass die darunter liegenden Materialien unnötig beeinflusst werden. Z. B. ist eine Vielzahl an Polymermaterialien verfügbar, die in einem Zustand von geringer Viskosität aufgebracht werden, und diese Materialien können vorteilhaft eingesetzt werden. Beispielsweise werden geeignete Materialien häufig als „optische Einebnungsschichten“ in kritischen Lithographieprozessen und dergleichen eingesetzt. Folglich können derartige Materialien mit einem hohen Grad an Spaltfüllvermögen eingesetzt werden, während gleichzeitig die Materialien für einen im Wesentlichen gleichmäßigen Höhenpegel über große Bereiche des Halbleitersubstrats hinweg sorgen. Anders können derartige Materialien effizient entfernt werden, beispielsweise durch Plasmaabtragungsprozesse, nasschemische Ätzrezepte und dergleichen. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird das Opferfüllmaterial mittels einer Strahlenbehandlung entfernt, beispielsweise auf der Grundlage von Laserstrahlung, Blitzlichtstrahlung und dergleichen, um damit das Opferfüllmaterial zu „verdampfen“, wobei eine minimale Auswirkung auf die darunter liegenden Materialien ausgeübt wird, etwa empfindliche dielektrische Materialien mit großem ϵ und entsprechende Deckschichten. Folglich kann die Breite eines oberen Bereichs der Gateöffnung auf der Grundlage geeigneter reaktiver Prozesstechniken, etwa durch Plasmaätzen, Ionensputtern und dergleichen, vergrößert werden, wodurch ein gewünschter Grad an Kantenverrundung oder Verjüngung der Gateöffnung vor dem Abscheiden der austrittsarbeits-einstellenden Substanz erreicht wird. Auf Grund der besseren Querschnittsform werden somit bessere Abscheidungsbedingungen nach dem Abscheiden der austrittsarbeits-einstellenden Sorte und nach einer Prozesssequenz zum selektiven Entfernen eines Teils der austrittsarbeits-einstellenden Sorte von Gateelektrodenstrukturen, die eine andere Art an austrittsarbeits-einstellenden Substanz erfordern, geschaffen.

[0028] Mit Bezug zu den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2m](#) werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen detaillierter beschrieben, wobei auch bei Bedarf auf die [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1c](#) verwiesen wird.

[0029] [Fig. 2a](#) zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements **200** mit einem Substrat **201**, über welchem eine Halbleiterschicht **202** gebildet ist. Das Substrat **201** in Verbindung mit der Halbleiterschicht **202** repräsentiert ein beliebiges geeignetes Materialsystem, um darin und darüber Schaltungselemente, etwa einen Transistor **250** und andere Schaltungselemente **260** zu bilden, die etwa von Transistoren, Kondensatoren und dergleichen repräsentieren. In der gezeigten Ausführungsform ist der Transistor **250** auf der Grundlage kritischer Abmessungen hergestellt, die kleiner sind als kritische Abmessungen des Schaltungselements

260, wie dies auch zuvor mit Bezug zu dem Halbleiterbauelement **100** erläutert ist. Ferner repräsentieren das Substrat **201** und die Halbleiterschicht **202** eine SOI-(Silizium-auf-Isolator-)Konfiguration, wenn eine vergrabene isolierende Schicht (nicht gezeigt) unter der Halbleiterschicht **202** vorgesehen ist.

[0030] Wie zuvor mit Bezug zu dem Halbleiterbauelement **100** erläutert ist, weist der Transistor **250** Drain- und Sourcegebiete **251** möglicherweise in Verbindung mit Metallsilizidgebieten **252** auf. In ähnlicher Weise enthält das Schaltungselement **260** „Drain- und Sourcegebiete“ **261** in Verbindung mit Metallsilizidgebieten **262**. Des weiteren umfasst der Transistor **250** eine Gateelektrodenstruktur **255**, die in der gezeigten Fertigungsphase ein Gatedielektrikumsmaterial **255a** möglicherweise in Verbindung mit einem leitenden Deckmaterial, und eine Abstandshalterstruktur **255c** aufweist. In ähnlicher Weise enthält das Schaltungselement **260** eine „Gateelektrodenstruktur“ **265** mit den Komponenten **265a** und **265c**. Ferner sind entsprechende Öffnungen **255o**, **265o** in den Strukturen **255**, **265** vorgesehen und sind mit einem Opferfüllmaterial **206** gefüllt. Das Opferfüllmaterial **206** besitzt gewünschte Abscheideeigenschaften, so dass die Öffnungen **255o**, **265o**, die deutlich unterschiedliche laterale Abmessungen besitzen können, zuverlässig gefüllt werden, was bewerkstelligt werden kann auf der Grundlage von verfügbaren optischen Einebnungsmaterialien. Des weiteren kann das Opferfüllmaterial **206** effizient auf der Grundlage sehr selektiver Ätzrezepte abgetragen werden, ohne dass das Materialsystem **255c** beeinflusst wird. Eine geeignete Materialzusammensetzung für das Material **206** kann effizient ermittelt werden, in dem Experimente für unterschiedliche Materialzusammensetzungen, beispielsweise auf der Grundlage verfügbarer optischer Einebnungsmaterialien, ausgeführt werden, um die Abscheideeigenschaften und das Ätzverhalten zu ermitteln, wenn eine Einwirkung durch Plasmaätzrezepte, Ionenbeschusstechniken und dergleichen erfolgt. Die Abtragungseigenschaften des Materials **206** können ferner auf der Grundlage von Experimenten bestimmt werden, um damit geeignete Materialzusammensetzungen und Ätzrezepte zum Abtragen verbleibender Bereiche des Opferfüllmaterials **206** zu ermitteln, ohne dass die darunter liegenden Materialien **255c**, **265c** unerwünscht beeinflusst werden.

[0031] Das Halbleiterbauelement **200** kann auf der Grundlage der folgenden Prozesse hergestellt werden. Die Schaltungselemente **250**, **260** können auf der Grundlage einer beliebigen geeigneten Prozessstrategie hergestellt werden, wie dies auch beispielsweise zuvor beschrieben ist, als auf das Halbleiterbauelement **100** verwiesen wurde. D. h., nach der Herstellung eines dielektrischen Zwischenschichtmaterials **203** zum Einschluss der Gateelektrodenstrukturen **255**, **265** wird eine Oberfläche dieser Strukturen

freigelegt mittels einer geeigneten Prozesstechnik und danach wird ein Platzhaltermaterial, das schematisch als **255b**, **265b** gezeigt ist, etwa in Form von Polysilizium, Silizium/Germanium und dergleichen, möglicherweise in Verbindung mit zusätzlichen Deckmaterialien und dergleichen, auf der Grundlage gut etablierter Ätztechniken entfernt. Daraufhin wird das Opferfüllmaterial **206** vorgesehen, beispielsweise durch Abscheiden eines Polymermaterials in einem Zustand geringer Viskosität auf der Grundlage von Aufschleudertechniken, wobei die geeignet ausgewählten Spaltfülleigenschaften zu einem effizienten Füllen der Öffnung **255o** mit den kritischen Abmessungen führen. Beispielsweise wird ein gewisser Grad an Überfüllung der Öffnungen **255o**, **265o** erreicht, woraus sich eine im Wesentlichen ebene Oberflächentopographie ergibt. Nach der möglichen weiteren Behandlung der Schicht **206**, beispielsweise durch Ausführen einer Wärmebehandlung und/oder einer Behandlung auf der Grundlage von Strahlung und dergleichen, können die gewünschten Materialeigenschaften eingestellt werden, etwa im Hinblick auf die chemische Widerstandsfähigkeit während der weiteren Bearbeitung des Bauelements **200**, wenn eine anfängliche Breite der Öffnungen **255o**, **265o** vergrößert wird, um bessere Bedingungen beim Einfüllen weiterer Materialien in die Öffnungen **255o**, **265o** zu schaffen, etwa für austrittsarbeitseinstellende Substanzen und gut leitende Elektrodenmaterialien. Als nächstes wird ein Abtragungsprozess **207** ausgeführt, etwa ein Ätzprozess, ein Polierprozess und dergleichen, den oberen Bereich **255t** der Öffnung **255o** freizulegen. In ähnlicher Weise wird ein oberer Bereich der Öffnung **265o** freigelegt. Im Folgenden sei lediglich auf die Öffnung **255o** verwiesen, da diese Öffnung die kritische Komponente während der weiteren Bearbeitung repräsentiert, während ein entsprechender Grad an Kantenverrundung in der Öffnung **265o** weniger relevant ist. In der gezeigten Ausführungsform wird der Prozess **207** als ein Ätzprozess ausgeführt, beispielsweise als ein nasschemischer Ätzprozess, ein plasmaunterstützter Ätzprozess und dergleichen, um einen überschüssigen Bereich der Schicht **206** abzutragen.

[0032] [Fig. 2b](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Phase des Abtragungsprozesses **207** (siehe [Fig. 2a](#)) oder während eines separaten Prozesses **207b**, wobei der obere Bereich **255t** der Gateelektrodenstruktur **255** freigelegt und in seiner Querschnittsform modifiziert wird. Während des Prozesses **207b** wird auch vorzugsweise die Abstandshalterstruktur **255c** und das dielektrische Zwischenschichtmaterial **203** an dem oberen Bereich **255t** angegriffen.

[0033] [Fig. 2c](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Phase oder während eines separaten Materialabtragungsprozesses **207c**, der geeignet gestaltet ist, um ei-

ne Materialerosion oder Abtragung vorzugsweise an dem oberen Bereich **255t** in Gang zu setzen, wodurch die Breite der Öffnung **255o** an dem oberen Bereich **255t** vergrößert wird, wie dies durch eine Breite **255x** angezeigt ist. Zu diesem Zweck wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen der Prozess **207c** auf der Grundlage eines plasmaunterstützten Ätzrezepts ausgeführt, in welchem geeignete reaktive Substanzen auf der Grundlage von Fluor, Chlor und dergleichen aufgebracht werden, um vorzugsweise Material an den Kanten der Öffnung **255o** abzutragen, ohne dass in unerwünschter Weise Material der Schicht **203** abgetragen wird. Während des Prozesses **207c** kann auch ein Teil des Opfermaterials **206** abgetragen werden, wobei jedoch das Material **255a** zuverlässig von zumindest einem Teil des Materials **206** geschützt wird.

[0034] In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird der Prozess **207c** auf der Grundlage eines effizienten Teilchenbeschusses ausgeführt, etwa in Form eines Ionensputter-Prozesses, was als ein Prozess zu verstehen ist, wobei Gasmoleküle oder Atome ionisiert und diese ionisierten Teilchen auf der Grundlage eines geeigneten Beschleunigungssystems beschleunigt werden, wodurch den Teilchen ausreichend genetische Energie verliehen wird, um damit Atome aus einer Oberflächenschicht eines freiliegenden Materials herauszulösen. In dem oberen Bereich **255t**, d. h. an den Kanten der Öffnung **255o** ist der gesamte Materialabtrag ausgeprägter im Vergleich zu horizontalen Bereichen auf Grund einer größeren Oberfläche und damit einer größeren Anzahl an eintreffenden energetischen Ionen oder neutralen Teilchen. Folglich wird die Breite **255x** vergrößert, ohne dass übermäßig Material der dielektrischen Schicht **203** entfernt wird, während der verbleibende Teil des Opfermaterials **206** weiterhin zuverlässig das Material **255a** schützt. Es sollte beachtet werden, dass ein gewünschter Grad an „Kantenverrundung“ effizient eingestellt werden kann, indem geeignete Prozessparameter des Prozesses **207c** ausgewählt werden, die auf der Grundlage von Experimenten ermittelt werden können, wobei unterschiedliche Beschussarten und Energien für einen Ionensputter-Prozess ausgewählt werden, wobei ähnliche Materialien und Geometrien angewendet werden, wie sie dem Bauelement **200** entsprechen.

[0035] **Fig. 2d** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** nach dem Ende des Prozesses **207c** aus der **Fig. 2c**. Wie gezeigt, ist ein gewünschter Grad an Kantenverrundung in den oberen Bereich **255t** erreicht, so dass die größere Breite **255x** zu einer verbesserten Querschnittsform der Öffnung **255o** im Hinblick auf die weitere Bearbeitung des Bauelements **200** führt. In der gezeigten Fertigungsphase ist ferner ein Teil des Opferfüllmaterials **206** weiterhin in der Öffnung **255o** und auch in der Öffnung **265o** enthalten.

[0036] **Fig. 2e** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200**, wenn es der Einwirkung einer weiteren reaktiven Prozessumgebung **206** ausgesetzt ist, in der der verbleibende Teil des Materials **206** (siehe **Fig. 2d**) aus den Öffnungen **255o**, **265o** entfernt wird. Wie zuvor erläutert ist, ist eine Vielzahl an organischen Materialien verfügbar, die eine hohe Abtragsrate haben, wenn sie der Einwirkung gut bekannter nasschemischer oder plasmaunterstützter Ätzprozessen ausgesetzt werden, während eine Abtragsrate für andere Materialien, etwa das Material **255a** und das dielektrische Material **203** und die Abstandshalter **255c** deutlich geringer ist. Während des Prozesses **209** werden beispielsweise nasschemische Ätzrezepte, etwa in Form von schwefliger Säure und Wasserstoffperoxid, TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid) und dergleichen angewendet, um effizient das Opferfüllmaterial **206** zu entfernen. In anderen Fällen werden sehr sauerstoffbasierte Plasmaprozesse eingesetzt, um den verbleibenden Teil des Opferfüllmaterials **206** abzutragen. Zu diesem Zweck können geeignete Rezepte effizient auf der Grundlage von Experimenten vermittelt werden. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird der Prozess **209** auf der Grundlage von Strahlung eingerichtet, etwa durch Ultraviolettstrahlung und dergleichen, oder auf der Grundlage anderer Prozesse, in denen ausreichend Energie in den verbleibenden Teil des Opfermaterials **206** (siehe **Fig. 2d**) eingebracht werden kann, um die Verdampfung dieses Materials in Gang zu setzen, ohne dass andere Materialsysteme, etwa das Material **255a** wesentlich beeinflusst werden. In diesem Falle sind geeignete Strahlungsquellen, etwa Laserquellen, blitzlichtbasierte Strahlungsquellen und dergleichen typischerweise in Halbleiterfertigungsstätten verfügbar.

[0037] **Fig. 2f** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase, in der eine Materialschicht **255t** mit einer austrittsarbeitseinstellenden Substanz in Öffnungen **255o**, **265o** gebildet ist. Die Materialschicht **255d** kann auch weitere Ätzstoppmaterialien, etwa Tantalnitrid und dergleichen in Verbindung mit der austrittsarbeitseinstellenden Substanz aufweisen, wenn die austrittsarbeitseinstellende Substanz von anderen Bauteilbereichen, d. h. von Gateelektrodenstrukturen von Transistoren mit anderer Leitfähigkeitsart im Vergleich zu den Schaltungselementen **250**, **260** zu entfernen ist. Ferner kann ein Elektrodenmaterial **255e**, beispielsweise in Form von Aluminium oder einem anderen geeigneten leitenden Material, in den Öffnungen **255o**, **265o** mit einem gewissen Grad an Überfüllung ausgebildet sein. Die Materialschicht **255d**, die zwei oder mehr einzelne Schichten aufweisen kann, wird auf der Grundlage einer beliebigen geeigneten Abscheidetechnik hergestellt, wie dies auch zuvor erläutert ist, wobei die verbesserte Querschnittsform der Öffnungen **255o**, **265o** im Wesentlichen eine unerwünschte Verengung des obe-

ren Bereichs **255t** vermeidet. Nach dem Abscheiden der Schicht **255d** und nach einer möglichen Strukturierung davon in Verbindung mit dem Abscheiden einer weiteren austrittsarbeitseinstellenden Substanz (nicht gezeigt) wird das Elektrodenmaterial **255e** auf der Grundlage einer geeigneten Abscheidetechnik **210** aufgebracht. Beispielsweise können Sputter-Abscheidetechniken, beispielsweise zum Bereitstellen einer Saatschicht, falls erforderlich, und dergleichen, CVD-(chemische Dampfabseide-)Techniken, elektrochemische Abscheideprozesse, etwa Elektroplattieren und/oder stromloses Plattieren und dergleichen, möglicherweise auch in Kombination, angewendet werden, um die Öffnungen **255o**, **265o** zu füllen. Auf Grund der verbesserten Querschnittsform am oberen Bereich **255t**, der die größere Breite **255x** aufweist, wird ein zuverlässiges Füllen der kritischen Öffnung **255o** unabhängig von der Anwesenheit der Schicht **255d** erreicht, wodurch die gesamte Produktgleichmäßigkeit deutlich verbessert wird und wodurch auch eine höhere Produktionsausbeute erreicht wird. Daraufhin wird überschüssiges Material des Elektrodenmaterials **255e** entfernt, etwa durch CMP (chemisch-mechanisches Polieren), während welchem auch unerwünschte Bereiche der Schicht **255d** oder anderer austrittsarbeitseinstellender Substanzen entfernt. Während des entsprechenden Polierprozesses kann auch eine gewünschte endgültige Höhe der Gateelektrodenstrukturen **255o**, **265o** und somit auch eine endgültige Breite am oberen Bereich **255t** eingestellt werden, indem ein gewisser Grad an Materialabtrag eingestellt wird. Beispielsweise kann durch Abtragen eines gewissen Oberflächenbereichs die Breite des oberen Gebiets **255t** verringert werden, was in Bauteilgebieten vorteilhaft sein kann, die eine Vielzahl dicht liegender Gateelektrodenstrukturen aufweisen, wodurch die Wahrscheinlichkeit des Erzeugers von Leckstromwegen zwischen benachbarten Gateelektrodenstrukturen verringert wird.

[0038] Mit Bezug zu den [Fig. 2j](#) bis [Fig. 2m](#) werden weitere anschauliche Ausführungsformen beschrieben, in denen das Opferfüllmaterial vorteilhafter Weise bei der Verbesserung der Querschnittsform verwendet wird, wenn unterschiedliche Arten an austrittsarbeitseinstellenden Substanzen für unterschiedliche Transistorelemente bereitgestellt werden.

[0039] [Fig. 2g](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** mit dem Transistor **250** und der Gateelektrodenstruktur **255** und einem zweiten Transistor **270** mit einer Gateelektrodenstruktur **275**. Die Transistoren **250**, **276** repräsentieren etwa Transistoren unterschiedlicher Leitfähigkeitsart, etwa einen p-Kanaltransistor und einen n-Kanaltransistor, die somit unterschiedliche austrittsarbeitseinstellende Substanzen erfordern. Zu beachten ist, dass die Gateelektrodenstruktur **275** des Transistors **270** einen ähnlichen Aufbau wie die Gateelektrodenstruk-

tur **255**, etwa im Hinblick auf kritische Abmessungen, Gatedielektrikumsmaterial und dergleichen besitzen kann. In der gezeigten Fertigungsphase ist ferner das Opferfüllmaterial **206** zumindest in der Öffnung **255o** und in einer entsprechenden Öffnung **275o** vorgesehen. Zu diesem Zweck können entsprechende Prozesstechniken angewendet werden, wie sie zuvor erläutert sind. Des Weiteren ist eine Ätzmaske **215**, etwa eine Lackmaske und dergleichen, über dem Transistor **270** ausgebildet, wodurch das Material **206** in der Öffnung **275o** abgedeckt wird. In anderen anschaulichen Ausführungsformen, wie dies durch die gestrichelte Linie angezeigt ist, kann ein Teil **260a** des Opferfüllmaterials noch über dem dielektrischen Material **203** ausgebildet sein, während in anderen Fällen überschüssiges Material des Opferfüllmaterials **206** auf der Grundlage von CMP, Ätzen und dergleichen entfernt worden ist, um damit das Material **203** vor dem Herstellen der Ätzmaske **215** freizulegen. Das Bauelement **200** unterliegt der Einwirkung einer reaktiven Prozessumgebung, etwa dem Prozess **207c**, wie dies zuvor erläutert ist, um die Breite der Öffnung **255o** zu vergrößern, während das Material **206** zuverlässig das Material **255a** schützt. Während des Prozesses **207c** kann die Ätzmaske **215** das Material **206** möglicherweise in Verbindung mit dem Bereich **206a** über dem Transistor **270** bewahren. Im Hinblick auf Prozessparameter des Prozesses **207c** sei auf die zuvor beschriebenen Ausführungsformen beschrieben, um einen gewünschten Grad an Kantenverrundung zu erreichen.

[0040] [Fig. 2h](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase. Wie gezeigt, besitzt der obere Bereich **255t** die größere Breite **255x**, die auf der Grundlage des Prozesses **207c** aus [Fig. 2g](#) erhalten wurde, wobei auch ein Teil des Materials **206** in der Öffnung **255o** verbraucht wird. In ähnlicher Weise kann auch ein Teil der Maske **215** während des vorhergehenden reaktiven Prozesses abhängig von der jeweiligen Abtragsrate der Maske **215** aufgebracht werden. Das Bauelement **200** unterliegt ferner dem Ätzprozess **209**, um den verbleibenden Teil des Materials **206** aus der Öffnung **255o** zu entfernen. Zu diesem Zweck wird eine beliebige geeignete Ätztechnik angewendet, wie dies auch zuvor erläutert ist. Beispielsweise werden nasschemische Ätzrezepte angewendet, wenn dies als geeignet erachtet wird. In anderen Fällen ist der Prozess **209** so gestaltet, dass die Maske **215**, beispielsweise auf der Grundlage eines Sauerstoffplasmas, abgetragen wird, während welchem der verbleibende Bereich des Materials **206** aus der Öffnung **255o** entfernt wird. Während des Prozesses **209** ist zumindest ein wesentlicher Anteil des Materials **206** innerhalb der Öffnung **275o** bewahrt, unabhängig davon, ob unterschiedliche Ätzschritte zum Entfernen des Materials **206** aus der Öffnung **255o** und zum Entfernen der Maske **215** angewendet werden. Wie zuvor mit Bezug zu [Fig. 2g](#) erläutert ist, bie-

tet der zusätzliche Bereich **206a**, falls dieser vorgesehen ist, ausreichende Prozesssicherheiten während des Prozesses **209**, um zuverlässig einen gewissen Teil des Materials **206** in der Öffnung **275o** zu bewahren.

[0041] **Fig. 2i** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** nach dem Abscheiden der Materialschicht **255d**, die eine austrittsarbeitseinstellende Substanz aufweist, die für die Gateelektrodenstruktur **255** geeignet ist. Auf Grund der verbesserten Querschnittsform der Öffnung **255o** können das Material oder die Materialien **255d** mit höherer Effizienz aufgebracht werden, während eine verbesserte Querschnittsform für die nachfolgende Abscheidung weiterer Materialien, etwa eine weitere austrittsarbeitseinstellende Substanz in Verbindung mit einem hochleitenden Elektrodenmaterial beibehalten wird. Während des Abscheidens des Materials **255d** wird zumindest die Unterseite der Öffnung **275o** zuverlässig durch das Material **206a** abgedeckt, wodurch ein Kontakt des Materials **255d** mit einem Gatedielektrikumsmaterial **275a** der Gateelektrodenstruktur **275** vermieden wird. Es sollte beachtet werden, dass das Material **206** eine ausreichende Stabilität besitzt, um den Bedingungen einer Vielzahl an Abscheideprozessen, etwa einem Sputter-Prozess, CVD-Prozessen bei geringen Temperaturen und dergleichen zu widerstehen, so dass der Prozess zur Herstellung des Materials **255d** im Wesentlichen nicht negativ durch die Anwesenheit des Materials **206** beeinflusst ist.

[0042] In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird das Material **255d** von der Gateelektrodenstruktur **275** abgetragen, was bewerkstelligt werden kann unter Anwendung von CMP, wobei das Material **255d** in der Öffnung **255o** zumindest an der Unterseite beibehalten wird. Daraufhin wird freiliegendes Material **206** aus der Öffnung **255o** auf der Grundlage eines Ätzprozesses, wie dies zuvor angegeben ist, entfernt, wobei das Material **255t** in der Öffnung **255o** als ein Ätzstoppmaterial dienen kann, ohne dass es in unerwünschter Weise durch den entsprechenden Abtragungsprozess auf Grund der hohen Selektivität zwischen dem Material **206** und dem Material **255d** beeinflusst wird. Daraufhin wird ein weiteres austrittsarbeitseinstellendes Material aufgebracht, was in der Öffnung **255o** bewerkstelligt werden kann, ohne dass die Abscheidebedingungen für ein nachfolgendes Abscheiden eines Elektrodenmetalls wesentlich beeinträchtigt werden, während in der Öffnung **275o** lediglich eine sehr dünne Materialschicht aufgebracht wird, wodurch die weitere Abscheidung des Elektrodenmetalls ebenfalls nicht unnötig beeinflusst wird.

[0043] Mit Bezug zu **Fig. 2j** werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen beschrieben, in denen zusätzlich eine verbesserte Querschnittsform für die Gateelektrodenstruktur **275** und/oder ei-

ne bessere Integrität des Materials **255d** in der Öffnung **255o** erreicht werden.

[0044] **Fig. 2j** zeigt schematisch das Bauelement **200** mit einem weiteren Opferfüllmaterial **206b**, das in der Öffnung **255o** gebildet ist. Das Material **206b** kann im Wesentlichen die gleichen Eigenschaften wie das Füllmaterial **206** aufweisen, beispielsweise im Hinblick auf die Spaltfüllfähigkeit, das Ätzverhalten und dergleichen. Beispielsweise können die gleichen Materialzusammensetzungen für die Materialien **206** und **206b** verwendet werden. Das Material **206b** kann auf der Grundlage einer beliebigen geeigneten Abscheidetechnik aufgebracht werden, etwa durch Aufschleudern, möglicherweise in Verbindung mit nachfolgenden Behandlungen, und überschüssiges Material kann beispielsweise durch Ätzen, CMP und dergleichen entfernt werden.

[0045] **Fig. 2k** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** während eines Materialabtragungsprozesses **217c** und/oder **217d**, um freiliegende Bereiche des Materials **255d** abzutragen und/oder um einen gewissen Grad an Kantenverrundung in der Gateelektrodenstruktur **275** hervorzurufen. Beispielsweise repräsentiert der Abtragungsprozess **217d** einen CMP-Prozess, in welchem Teile des Materials **255d** effizient entfernt werden, wobei die Integrität des Materials **255d** zumindest an der Unterseite der Öffnung **255o** durch das Material **206b** bewahrt wird, wobei die Integrität des Materials **275a** in der Gateelektrodenstruktur **275** durch das Material **206** bewahrt wird. Zusätzlich oder alternativ zu dem Prozess **217d** kann der Prozess **217c** angewendet werden, beispielsweise in Form eines Ätzprozesses, um das Material **255d** abzutragen und um das Material **206** in der Öffnung **275** freizulegen. Während eines oder während beider Prozesse **217c**, **217d**, bei Bedarf, kann auch ein gewisser Grad an Kantenverrundung der Gateelektrodenstruktur **275** erreicht werden. Abhängig von der ausgewählten Prozesssequenz und den Ätzstoppeigenschaften des Materials **255d** kann auch in diesem Falle eine weitere Verrundung der Kanten der Gateelektrodenstruktur **255** erreicht werden.

[0046] **Fig. 2l** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase, d. h. nach dem Entfernen eines Teils des Materials **255d**. In der gezeigten Ausführungsform wurde auch ein Teil des Materials **206b**, **206** während der vorhergehenden Prozesssequenz verbraucht und ein gewisser Grad an Kantenverrundung wurde in der Gateelektrodenstruktur **275** erreicht, wodurch eine größere Breite **275x** an einem oberen Bereich **275t** der Gateelektrodenstruktur **275** erzeugt wird. Das Entfernen unerwünschter Teile des Materials **255d** kann somit auf der Grundlage der verbesserten Integrität des verbleibenden Bereichs des Materials **255d** erreicht werden, zumindest an der Un-

terseite der Öffnung **255o**, während auch das Material **275a** in der Öffnung **275o** zuverlässig geschützt ist. Als nächstes werden die Materialien **206**, **206b** beispielsweise auf der Grundlage nasschemischer Ätzrezepte, Plasmaabtragungsprozesse und dergleichen, entfernt, wie dies auch zuvor beschrieben ist. Es kann auch ein „Verdampfungsprozess“ angewendet werden, wie dies zuvor beschrieben ist, wodurch darunter liegende Materialien, etwa das Material **255d** oder das Material **275a** nicht in unerwünschter Weise beeinflusst werden. Nach dem Entfernen der Materialien **206b**, **206** wird die weitere Bearbeitung fortgesetzt, indem eine weitere austrittsarbeits-einstellende Materialschicht gebildet wird, die geeignet gewählt ist, um die gewünschte Austrittsarbeit für die Gateelektrodenstruktur **275** zu erhalten.

[0047] **Fig. 2m** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase. Wie gezeigt, ist eine Materialschicht **275d**, die eine austrittsarbeits-einstellende Substanz für den Transistor **270** aufweist, in der Öffnung **255o** gebildet, d. h. auf dem verbleibenden Teil des Materials **255d**, und ist auch in der Öffnung **275o** ausgebildet, so dass das Material mit dem Materialsystem **275a** in Kontakt ist. Es sollte beachtet werden, dass bei Bedarf die Materialschicht **255d** ein leitendes Diffusionsbarrierenmaterial, etwa Titanitrid und dergleichen, aufweisen kann, um eine Diffusion einer austrittsarbeits-einstellenden Substanz in der Öffnung **255o** in Richtung des Materials **255a** zu vermeiden. In anderen Fällen besitzt das Material **255d** selbst eine diffusionshindernde Eigenschaft, so dass die Austrittsarbeit der Gateelektrodenstruktur **255** und somit die Schwellwertspannung des Transistors **250** im Wesentlichen durch das Material **255d** gegeben ist. Die Materialschicht **275d** kann auf der Grundlage eines beliebigen geeigneten Abscheiderezepts aufgebracht werden, wobei die verbesserte Querschnittsform der Verbindung **275o** für eine bessere Abscheidegleichmäßigkeit sorgt, während andererseits die ausgeprägte Verengung nach unten der Öffnung **255o** eine zuverlässige Abscheidung des Materials **275d** ermöglicht, während gleichzeitig bessere Prozessbedingungen während des nachfolgenden Abscheidens des Elektrodenmaterials **255e** gewährleistet sind. Im Hinblick auf eine Abscheidetechnik zum Bereitstellen des Elektrodenmaterials **255e** sei auf zuvor beschriebene Ausführungsformen verwiesen. Daraufhin wird überschüssiges Material des Elektrodenmaterials **255e** und der austrittsarbeits-einstellenden Materialsorte **275d** entfernt, beispielsweise durch CMP, wie dies auch zuvor erläutert ist. Folglich kann das Material **255d** ohne ein darunter liegendes Ätzstoppmaterial, etwa Tantalnitrid, vorgesehen werden, wie dies häufig der Fall ist, um ein selektives Entfernen des Materials **255d** aus anderen Gateöffnungen, etwa der Öffnung **275o** in konventionellen Strategien zu ermöglichen. Gemäß den hierin offenbarten Prinzipien kann das Abscheiden des Materials

255d in der Öffnung **275o** zuverlässig durch das Material **206** (siehe **Fig. 2l**) vermieden werden. Folglich kann eine zuverlässigere Einstellung der Austrittsarbeit der Transistoren **250**, **270** erreicht werden. Danach wird das Material **255e** auf der Grundlage der verbesserten Querschnittsform der Öffnungen **255o**, **275o** eingefüllt werden.

[0048] Es gilt also: die vorliegende Erfindung stellt Techniken bereit, in denen ein Opferfüllmaterial vorteilhaft verwendet wird, um eine verbesserte Querschnittsform zumindest einer Art an Gateöffnung vor dem Einfüllen einer austrittsarbeits-einstellenden Substanz und eines Elektrodenmaterials zu schaffen. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird das Opferfüllmaterial auch als eine Abscheidemaske verwendet, um das Abscheiden einer Art an austrittsarbeits-einstellender Substanz in Gateöffnungen zu vermeiden, in denen eine andere Art an austrittsarbeits-einstellender Substanz erforderlich ist. Folglich können Austauschgateverfahren auf Transistorelemente mit kritischen Abmessungen von 32 nm und weniger angewendet werden, wobei dennoch ein hoher Grad an Gleichmäßigkeit der Bauteileigenschaften erreicht wird und wobei auch eine hohe Produktionsausbeute beibehalten wird.

[0049] Weitere Modifizierungen und Variationen der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann angesichts dieser Beschreibung offenkundig. Daher ist diese Beschreibung lediglich anschaulichen Zwecken und soll dem Fachmann die allgemeine Art und Weise des Ausführens der hierin offenbarten Lehre vermitteln. Selbstverständlich sind die hierin gezeigten und beschriebenen Formen der Erfindung als die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen zu betrachten.

Patentansprüche

1. Verfahren mit:

Bilden einer Öffnung in einer Gateelektrodenstruktur eines Transistors durch Entfernen eines Platzhalterelektrodenmaterials der Gateelektrodenstruktur;
Bilden eines Opferfüllmaterials in der Öffnung, um zumindest eine Unterseite der Öffnung abzudecken;
Vergrößern einer Breite der Öffnung an einem oberen Bereich in Anwesenheit des Opferfüllmaterials;
Entfernen des Opferfüllmaterials aus der Öffnung;
Bilden einer Materialschicht an Seitenwänden und der Unterseite der Öffnung, die die größere Breite an dem oberen Bereich besitzt, wobei die Materialschicht eine austrittsarbeits-einstellende Substanz aufweist; und
Einfüllen eines leitenden Elektrodenmaterials in die Öffnung über der Materialschicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Bilden des Opferfüllmaterials in der Öffnung umfasst: Abscheiden einer organischen Materialschicht, um die Öff-

nung zu überfüllen, und Entfernen von überschüssigem Material der Materialschicht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei Entfernen von überschüssigem Material der Materialschicht Ausführen eines Ätzprozesses umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei Entfernen von überschüssigem Material der Materialschicht Ausführen eines Polierprozesses umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Vergrößern einer Breite der Öffnung am oberen Bereich umfasst: Ausführen eines plasmaunterstützten Ätzprozesses.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Vergrößern einer Breite der Öffnung umfasst: Ausführen eines Teilchenbeschusses.

7. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Bilden einer zweiten Öffnung in einer zweiten Gateelektrodenstruktur, Bilden des Opferfüllmaterials gemeinsam in der zweiten Öffnung und in der Öffnung und Maskieren der zweiten Öffnung, wenn eine Breite der Öffnung vergrößert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, das ferner umfasst: Bewahren zumindest eines Teils des Opferfüllmaterials in der zweiten Öffnung, wenn das Opferfüllmaterial in der Öffnung abgetragen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Materialschicht in der Öffnung und über zumindest dem Teil des Opferfüllmaterials, der in der zweiten Öffnung bewahrt wird, gebildet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, das ferner umfasst: Bilden eines zweiten Opferfüllmaterials in der Öffnung nach dem Bilden der Materialschicht darin und Entfernen eines freiliegenden Bereichs der Materialschicht in Anwesenheit des zweiten Opferfüllmaterials und des zumindest einen Teils des Opferfüllmaterials, der in der zweiten Öffnung bewahrt ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, das ferner umfasst: Entfernen des zweiten Opferfüllmaterials und des zumindest einen Teils des Opferfüllmaterials und Bilden einer zweiten Materialschicht in der zweiten Öffnung und in der Öffnung, wobei die zweite Materialschicht eine zweite austrittsarbeits-einstellende Substanz aufweist, die sich von der austrittsarbeits-einstellenden Substanz unterscheidet.

12. Verfahren mit:
Bilden einer ersten Öffnung in einer ersten Gateelektrodenstruktur eines ersten Transistors und einer zweiten Öffnung in einer zweiten Gateelektrodenstruktur eines zweiten Transistors durch Entfernen eines Platzhalterelektrodenmaterials der ersten und der zweiten Gateelektrodenstruktur;

Füllen der ersten und der zweiten Öffnung mit einem ersten Füllopfermaterial;
Vergrößern einer Breite der ersten und/oder der zweiten Öffnung an einem oberen Bereich in Anwesenheit zumindest eines Teils des ersten Opferfüllmaterials in der ersten und der zweiten Öffnung;
Entfernen zumindest des Teils des ersten Opferfüllmaterials aus der ersten Öffnung;
Bilden einer ersten Materialschicht in der ersten Öffnung und über zumindest dem Teil des ersten Opferfüllmaterials, der in der zweiten Öffnung gebildet ist;
Entfernen des zumindest einen Teils des ersten Opferfüllmaterials aus der zweiten Öffnung;
Bilden einer zweiten Materialschicht in der ersten und der zweiten Öffnung, wobei die erste Öffnung an zumindest einem unteren Bereich davon die erste Materialschicht ausgebildet aufweist; und
Füllen eines leitenden Elektrodenmaterials in die erste und die zweite Öffnung.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die erste Materialschicht eine erste austrittsarbeits-einstellende Substanz und die zweite Materialschicht eine zweite austrittsarbeits-einstellende Substanz aufweist, die sich von der ersten austrittsarbeits-einstellenden Substanz unterscheidet.

14. Verfahren nach Anspruch 12, das ferner umfasst: Entfernen eines Teils der ersten Materialschicht von der zweiten Gateelektrodenstruktur.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei Entfernen eines Teils der ersten Materialschicht umfasst: Bilden eines zweiten Opferfüllmaterials in der ersten Öffnung, um zumindest einen unteren Bereich der ersten Materialschicht in der ersten Öffnung abzudecken, und Ausführen eines Materialabtragungsprozesses in Anwesenheit des zweiten Opferfüllmaterials.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei Ausführen des Materialabtragungsprozesses umfasst: Ausführen eines Polierprozesses und/oder eines Ätzprozesses.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei Ausführen des Materialabtragungsprozesses umfasst: Vergrößern einer Breite eines oberen Bereichs der zweiten Öffnung.

18. Verfahren nach Anspruch 15, das ferner umfasst: Entfernen des ersten und des zweiten Opferfüllmaterials in einem gemeinsamen Abtragungsprozess vor dem Bilden der zweiten Materialschicht.

19. Verfahren zum Einstellen einer Austrittsarbeit von Gateelektrodenstrukturen, wobei das Verfahren umfasst:
Bilden eines Opferfüllmaterials in einer ersten Gateöffnung und in einer zweiten Gateöffnung;

Vergrößern einer Breite eines oberen Bereichs zumindest der ersten Gateöffnung in Anwesenheit des Opferfüllmaterials;

Entfernen des Opferfüllmaterials aus der ersten Gateöffnung und Bewahren zumindest eines Teils des Opferfüllmaterials in der zweiten Gateöffnung;

Bilden einer ersten austrittsarbeitseinstellenden Substanz in der ersten Gateöffnung und über zumindest dem Teil des Opferfüllmaterials in der zweiten Gateöffnung;

Entfernen des zumindest einen Teils des Opferfüllmaterials aus der zweiten Gateöffnung; und

Bilden einer zweiten austrittsarbeitseinstellenden Substanz in der zweiten Gateöffnung und über der ersten austrittsarbeitseinstellenden Substanz.

20. Verfahren nach Anspruch 19, das ferner umfasst: Einfüllen eines zweiten Opferfüllmaterials in die erste Gateöffnung nach dem Bilden der ersten austrittsarbeitseinstellenden Substanz und vor dem Entfernen des zumindest einen Teils des Opferfüllmaterials.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

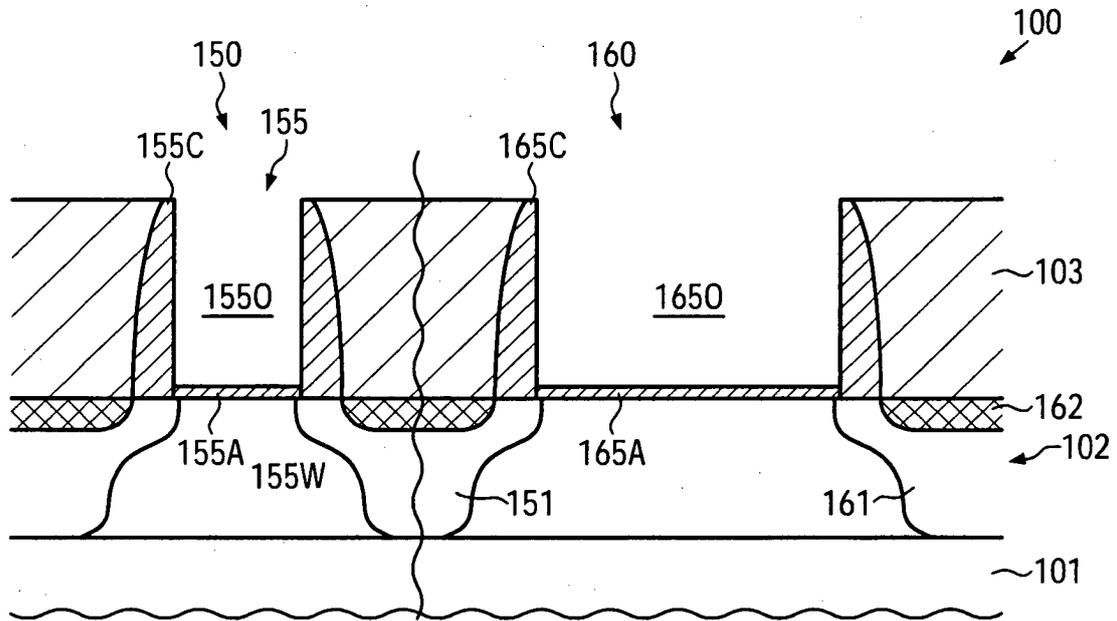


FIG. 1a
(Stand der Technik)

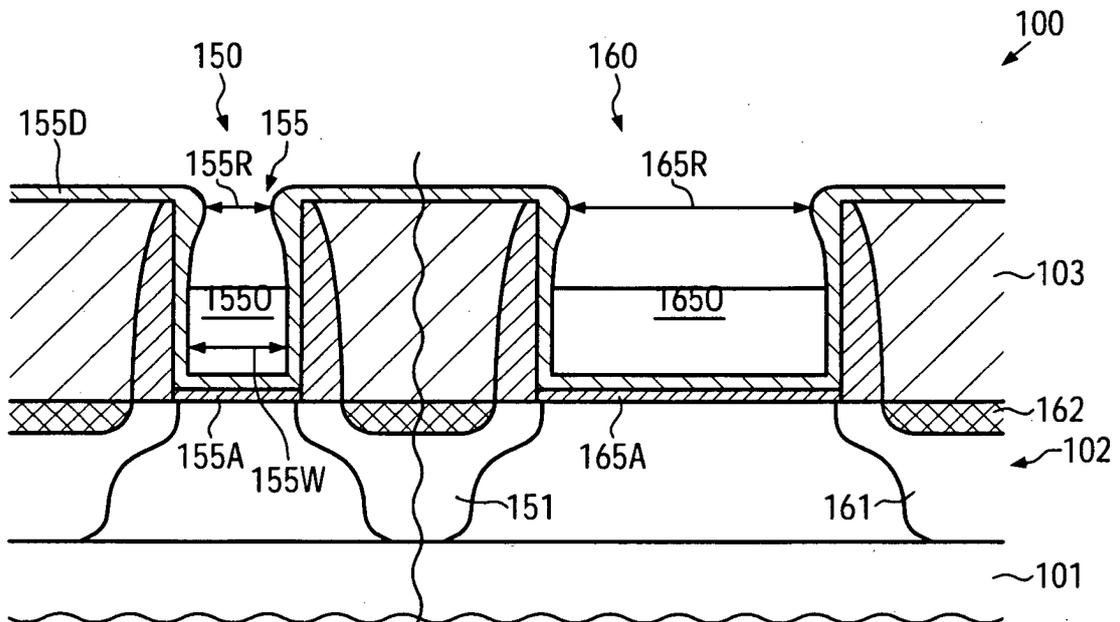


FIG. 1b
(Stand der Technik)

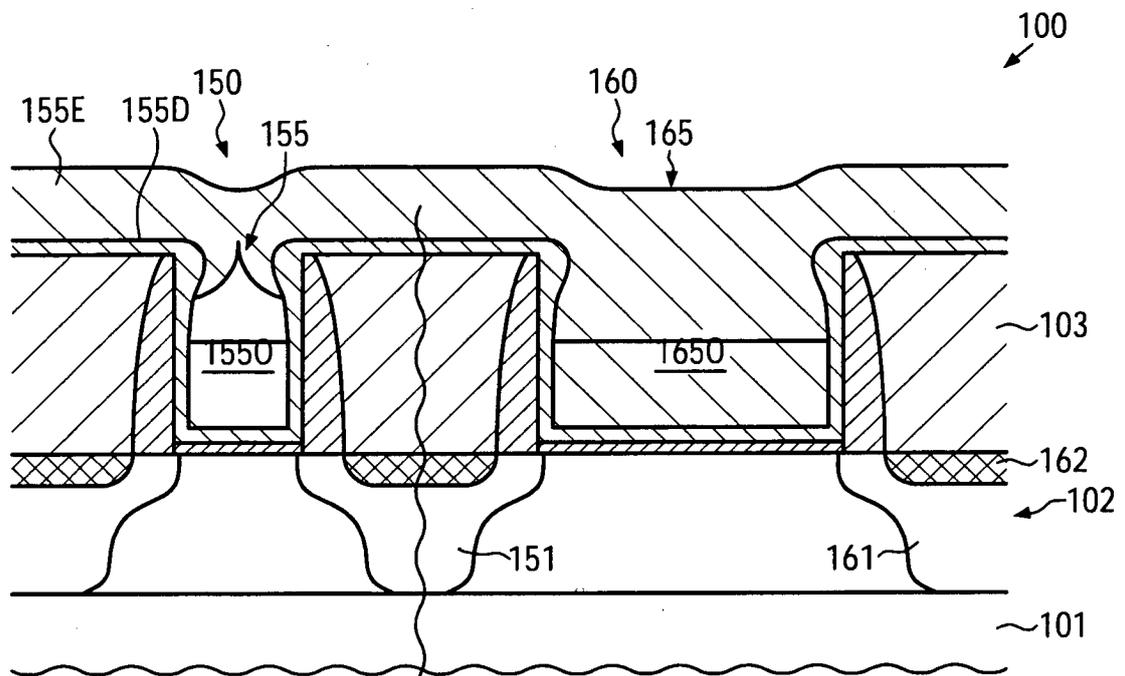


FIG. 1c

(Stand der Technik)

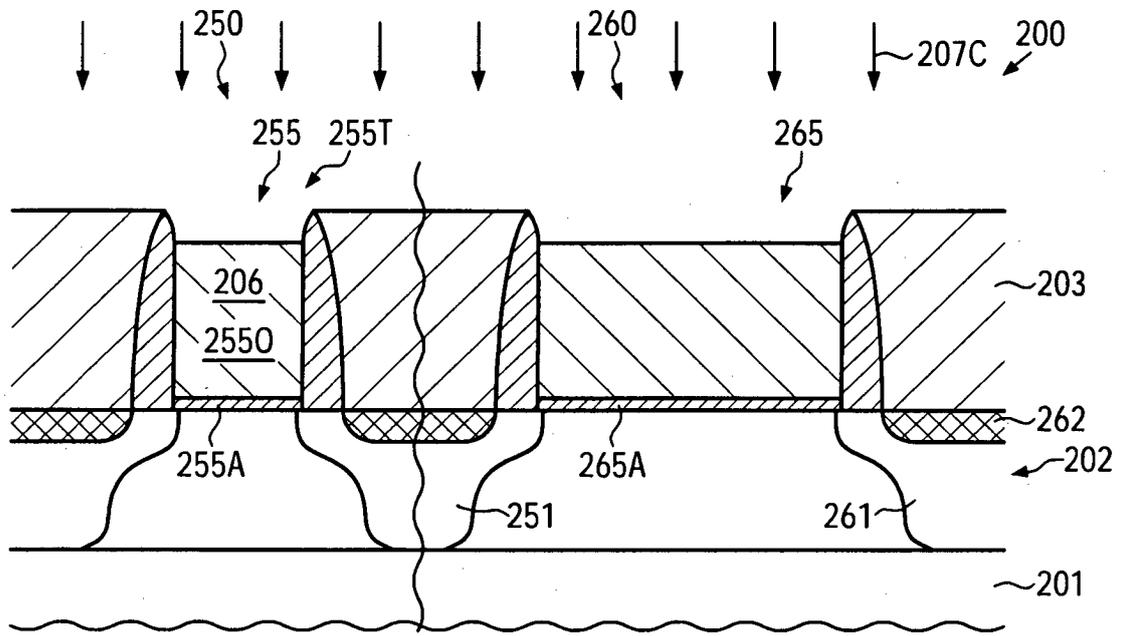


FIG. 2c

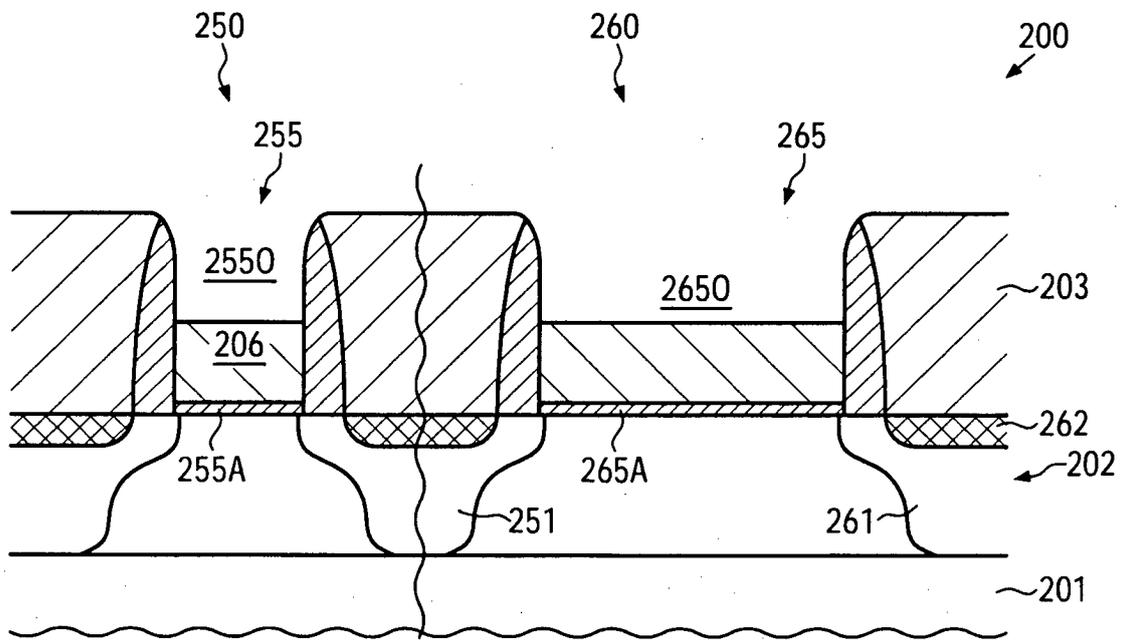


FIG. 2d

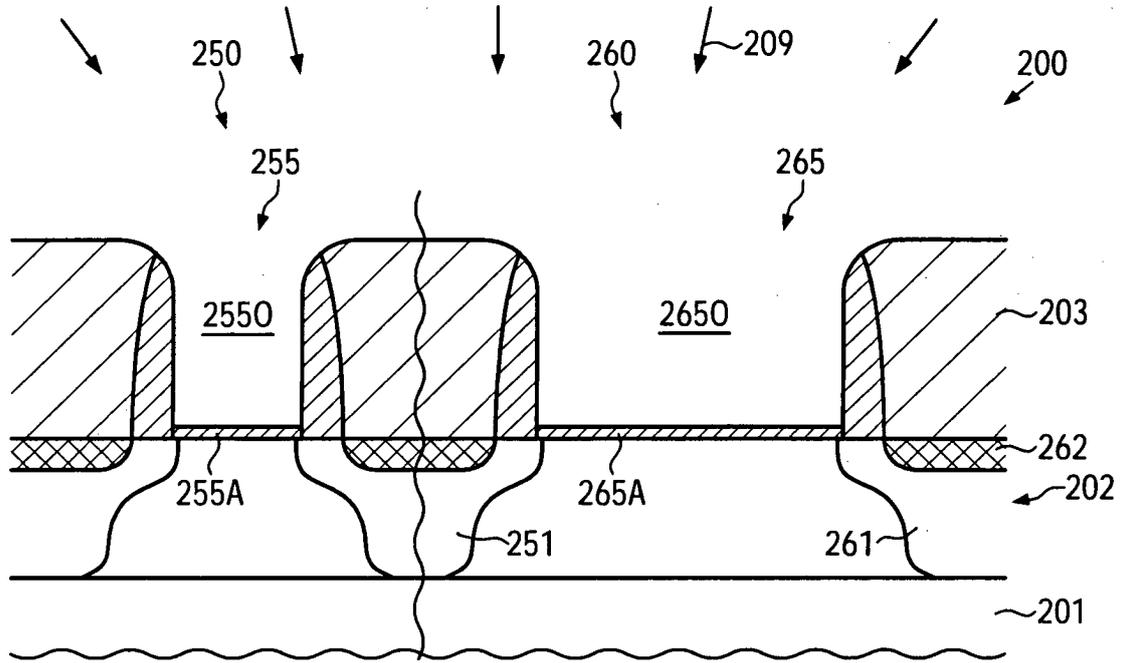


FIG. 2e

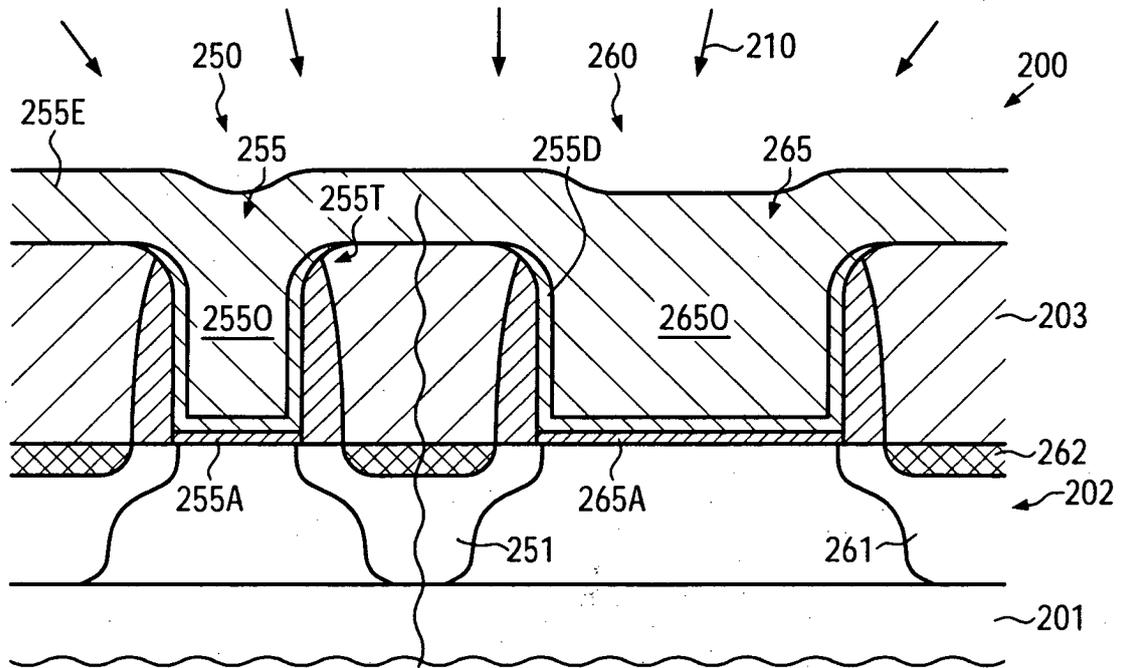


FIG. 2f

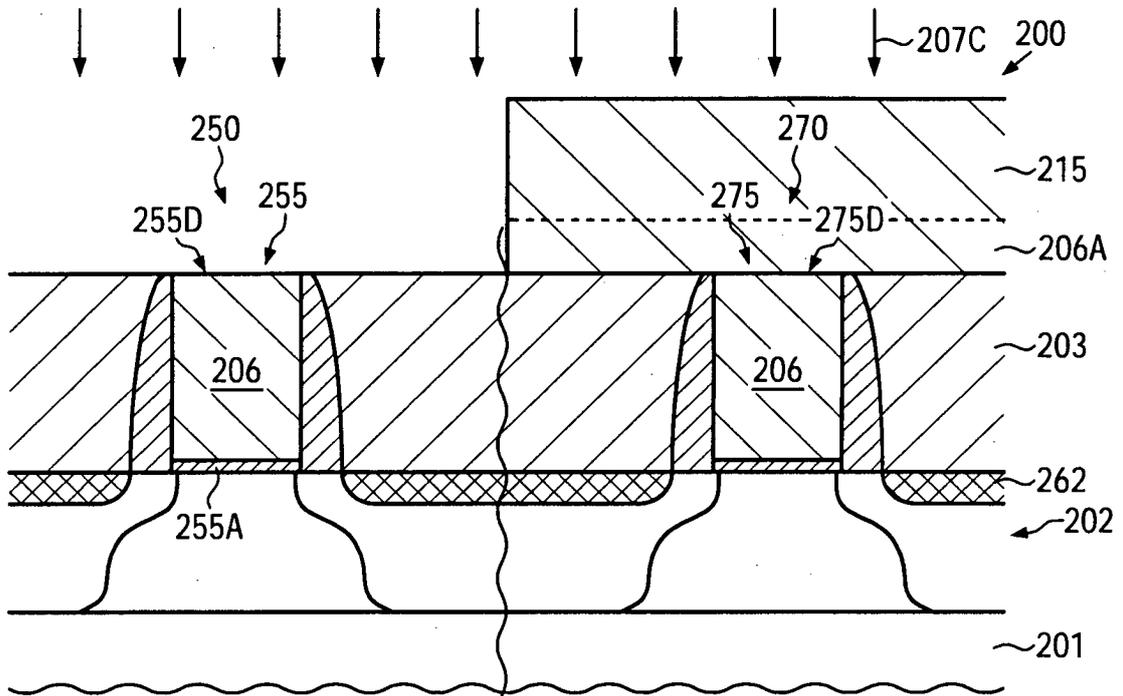


FIG. 2g

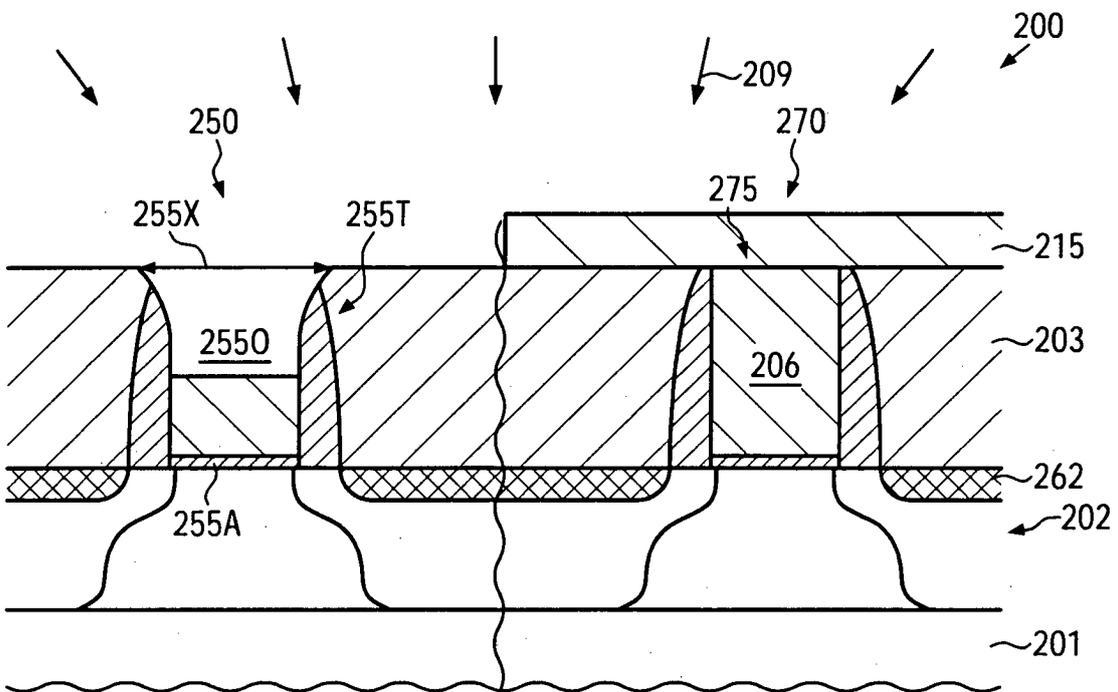


FIG. 2h

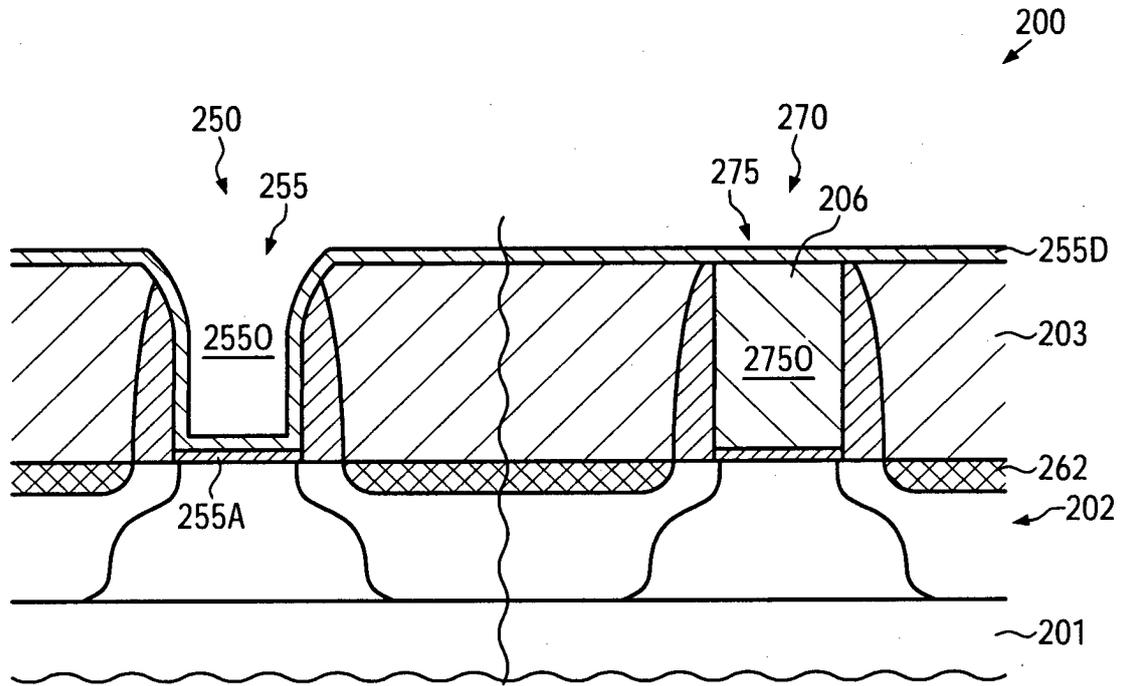


FIG. 2i

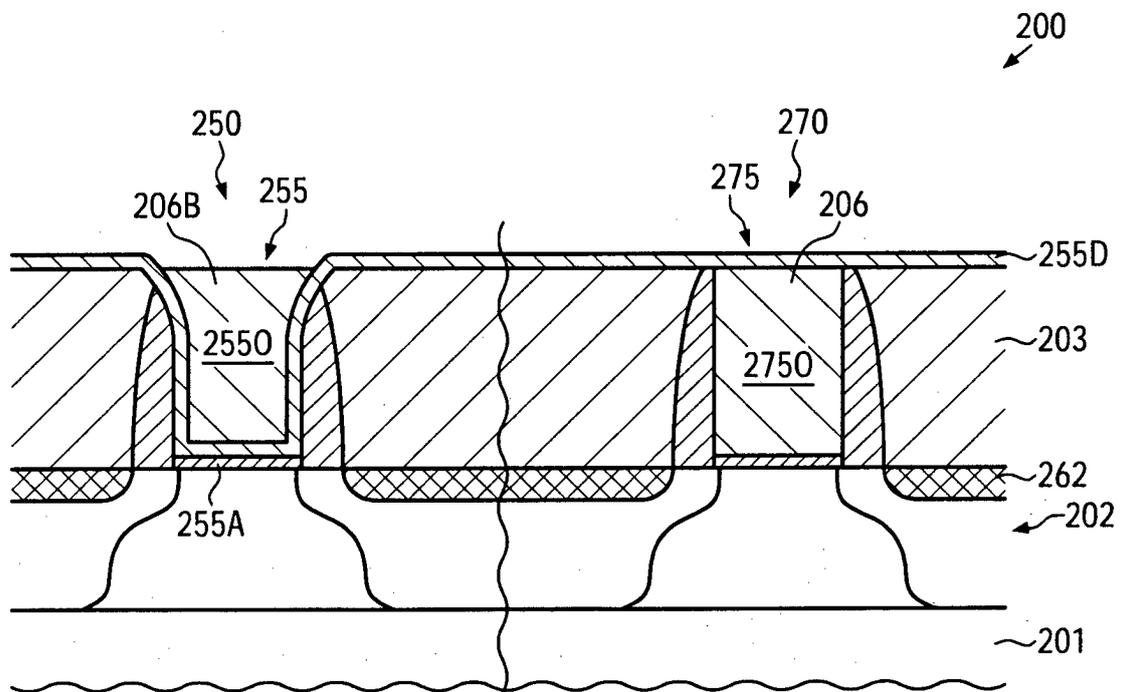


FIG. 2j

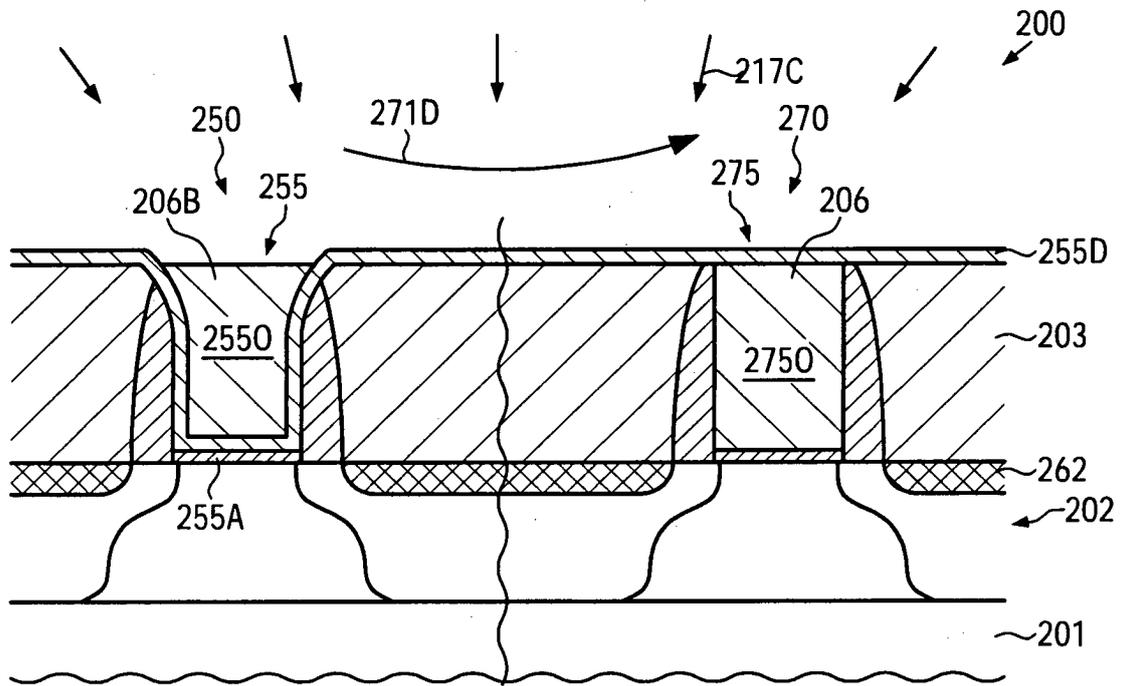


FIG. 2k

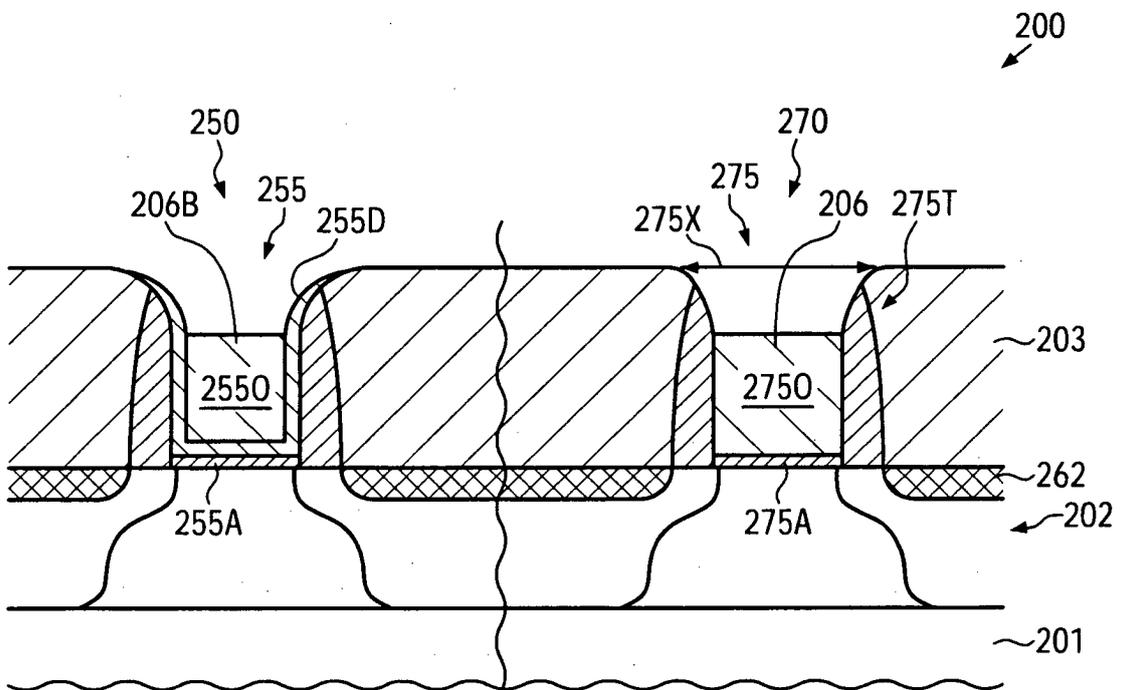


FIG. 2l

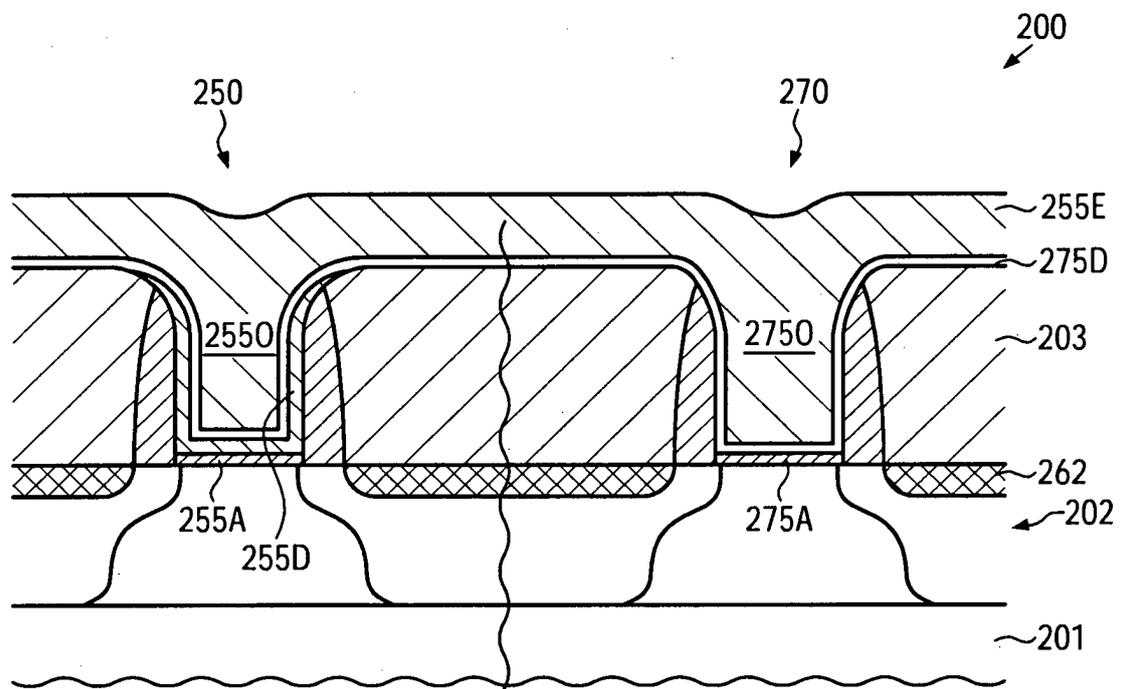


FIG. 2m