



(10) **DE 10 2005 052 001 B4** 2015.04.30

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 052 001.4**
(22) Anmeldetag: **31.10.2005**
(43) Offenlegungstag: **03.05.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.04.2015**

(51) Int Cl.: **H01L 29/78 (2006.01)**
H01L 21/336 (2006.01)
H01L 21/283 (2006.01)
H01L 21/768 (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).

(73) Patentinhaber:
**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,
US**

(74) Vertreter:
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG
mbB, 80802 München, DE**

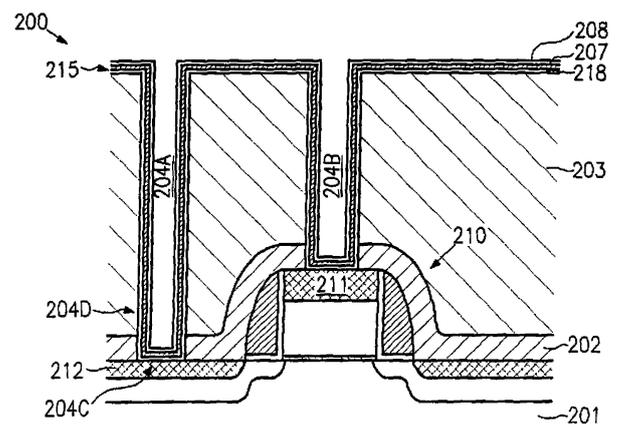
(72) Erfinder:
**Frohberg, Kai, 01689 Niederau, DE; Koschinsky,
Frank, 01445 Radebeul, DE; Huy, Katja, 01139
Dresden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	198 44 451	A1
US	6 727 592	B1
US	6 731 006	B1
US	2005 / 0 035 460	A1
US	5 084 412	A

(54) Bezeichnung: **Halbleiterbauelement mit einem Kontaktpfropfen auf Kupferbasis und ein Verfahren zur Herstellung desselben**

(57) Hauptanspruch: Halbleiterbauelement mit:
einem Transistorelement (200) mit einem Kontaktgebiet (212), das einen Kontakt zu einem Drain- oder Source-Gebiet herstellt; und
einem Kontaktpfropfen (216a, 216b), der in einer dielektrischen Schicht (203) gebildet ist, um damit eine Verbindung zu dem Kontaktgebiet (212) herzustellen, wobei der Kontaktpfropfen (216a, 216b) Kupfer und eine wolframenthaltende Barrierenschicht aufweist, die die dielektrische Schicht (203) von dem Kontaktpfropfen (216a, 216b) trennt; wobei die Barrierenschicht eine erste Unterschicht (207), die Wolfram und Stickstoff aufweist, und eine zweite Unterschicht (208), die zwischen dem Kupfer (216a, 216b) und der ersten Unterschicht (207) angeordnet ist, umfasst; und
eine Gesamtdicke der Barrierenschicht, die aus der ersten Unterschicht (207) und der zweiten Unterschicht (208) aufgebaut ist, 50 nm oder weniger beträgt.



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Halbleiterherstellung und betrifft insbesondere das Herstellen einer Verbindungsstruktur mit einem Kontaktpfropfen zum direkten Kontaktieren eines Schaltungselements.

BESCHREIBUNG DES STANDS DER TECHNIK

[0002] Während des Vorgangs zur Herstellung moderner Halbleiterbauelemente, etwa moderner CPU's, werden mehrere unterschiedliche Materialschichten aufeinander abgeschieden und strukturiert, um die erforderlichen Bauteilstrukturelemente zu definieren. Im Allgemeinen sollten aufeinanderfolgende Materialschichten eine gute Haftung zueinander aufweisen, wobei gleichzeitig die Integrität der einzelnen Schicht gewahrt werden sollte, d. h. die chemische Reaktion benachbarter Schichten miteinander und/oder die Diffusion von Atomen von einer Schicht in die andere sollte während der Fertigungsprozesse für die Herstellung der einzelnen Schichten und nachfolgender Prozesse und danach, wenn das fertiggestellte Bauelement betrieben wird, vermieden werden. Um dieses Erfordernis zu erfüllen, ist häufig eine Zwischenschicht erforderlich, um eine gute Haftung bereitzustellen und um eine Diffusion und damit eine unerwünschte Störung zwischen benachbarten Materialien während der Bearbeitung und des Betriebs zu unterdrücken. Ein typisches Beispiel für derartige Erfordernisse bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen ist die Herstellung von Kontaktpfropfen, wobei Öffnungen und Gräben mit einem Unterseitegebiet und einem Seitenwandgebiet mit einer entsprechenden Zwischenschicht auszukleiden sind, d. h. einer leitenden Barrierenschicht, so dass ein nachfolgend abgeschiedenes leitendes Material eine gute Haftung zu dem umgebenden dielektrischen Schichtmaterial aufweist und dass eine unerwünschte Wechselwirkung während der Bearbeitung und des Betriebes vermieden werden kann. In modernen Halbleiterbauelementen, werden die Kontaktpfropfen typischerweise aus einem Metall auf Wolframbasis hergestellt, die in einem dielektrischen Schichtstapel vorgesehen sind, der typischerweise aus Siliziumdioxid mit einer unten liegenden Ätzstoppschicht, die typischerweise aus Siliziumnitrid hergestellt ist, aufgebaut ist.

[0003] Im Allgemeinen ist der elektrische Widerstand der Barrierenmetallschicht deutlich höher als der Widerstand des Materials auf Wolframbasis, das den Kontaktpfropfen bildet, so dass die Dicke der Barrierenmetallschicht möglichst klein gewählt wird, um eine unerwünschte Erhöhung des Gesamtwiderstandes des Kontaktpfropfens zu vermeiden.

[0004] In modernen integrierten Schaltungen werden Öffnungen – sogenannte Kontaktdurchführungen – hergestellt, die ein Aspektverhältnis aufweisen, das bis zu ungefähr 8:1 oder mehr betragen kann, und die Öffnung kann einen Durchmesser von 0,1 µm oder kleiner besitzen. Das Aspektverhältnis derartiger Öffnungen wird im Allgemeinen als das Verhältnis der Tiefe der Öffnung zu der Breite der Öffnung definiert. Daher ist es äußerst schwierig, eine dünne, gleichförmige Barrierenmetallschicht auf den gesamten Seitenwänden herzustellen, insbesondere an den unteren Ecken, um damit in effizienter Weise einen direkten Kontakt des Metalls mit dem umgebenden dielektrischen Material zu vermeiden. D. h. es ist schwierig, eine Barrierenmetallschicht zu bilden, die in geeigneter Weise alle Oberflächen der Öffnungen abdeckt.

[0005] Mit Bezug zu **Fig. 1** wird nun ein typischer konventioneller Prozessablauf zur Herstellung von Kontakten zu einem Schaltungselement gemäß gut etablierter Technologien auf Wolframbasis detaillierter beschrieben, um die darin beteiligten Probleme bei der Herstellung einer zuverlässigen leitenden Barrierenschicht darzustellen.

[0006] **Fig. 1** zeigt schematisch ein Halbleiterbauelement **100** während einer Fertigungsphase für das Herstellen von Kontaktpfropfen, die eine Verbindung zu einem Schaltungselement, etwa einem Transistor **110** bilden, der über einem geeigneten Halbleitersubstrat **101** ausgebildet ist. Das Schaltungselement **110** kann ein oder mehrere Kontaktgebiete, etwa eine Gateelektrode **111** und Drain- und Sourcegebiete **112** umfassen. Das Schaltungselement **110** ist von einer dielektrischen Materialschicht bedeckt, die eine Kontaktätzstoppschicht **102** aufweisen kann, die aus Siliziumnitrid hergestellt ist, und weist ein Zwischenschichtdielektrikummaterial **103** auf, das typischerweise Siliziumdioxid aufweist. Ferner sind zwei Kontaktöffnungen **104a**, **104b** in den dielektrischen Schichten **103** und **102** ausgebildet, um damit eine Verbindung zu den entsprechenden Kontaktgebieten **111** und **112** herzustellen. Ferner ist eine leitende Barrierenschicht, die typischerweise aus einer Titanbeschichtung **105** und einer Titannitridschicht **106** gemäß der Kontakttechnologie auf Wolframbasis aufgebaut ist, auf der dielektrischen Schicht **103** und innerhalb der Kontaktöffnung **104a**, **104b** gebildet. Die Titanbeschichtung **105** und die Titannitridbarrierenschicht **106** sind so gebildet, dass die Zuverlässigkeit der nachfolgenden Abscheidung eines Materials auf Wolframbasis verbessert wird, wobei der Abscheidungsprozess typischerweise als ein CVD-(chemischer Dampfabsciede-)Prozess ausgeführt wird, in welchem Wolframhexafluorid (WF_6) in einem thermisch aktivierten ersten Schritt auf der Grundlage von Silan (SiH_4) reduziert wird und anschließend in einem zweiten Schritt in Wolfram auf der Grundlage von Wasserstoff umgewandelt wird. Während der Reduzierung des Wolframs auf der Grundlage von Wasser-

stoff wird ein direkter Kontakt zu dem Siliziumdioxid der dielektrischen Schicht **103** im Wesentlichen durch die Titanbeschichtung **105** vermieden, um damit einen unerwünschten Siliziumverbrauch in dem Siliziumdioxid zu vermeiden. Jedoch zeigt Titannitrid eine relativ geringe Haftung zu Siliziumdioxid und kann daher die Zuverlässigkeit des entsprechenden Wolframpfropfens, der nachfolgend gebildet wird, gefährden. Folglich wird die Titannitridbarrierschicht **106** zur Verbesserung der Haftung der Titanbeschichtung **105** vorgesehen.

[0007] Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Halbleiterbauelements **100**, wie es in **Fig. 1a** gezeigt ist, weist die folgenden Prozesse auf. Nach der Herstellung des Schaltungselements **110** auf der Grundlage gut etablierter Fertigungsverfahren kann die Kontaktätzstoppschicht **102** auf der Grundlage gut bekannter plasmaunterstützter CVD-Verfahren hergestellt werden, an die sich das Abscheiden des Siliziumdioxids der Schicht **103** auf der Grundlage von TEOS anschließt, wodurch eine dichte und kompakte Materialschicht gebildet wird. Nach optionalen Einebnungsprozessen zum Einebnen der Schicht **103** wird eine Photolithographiesequenz auf der Grundlage gut etablierter Prozessrezepte ausgeführt, woran sich anisotrope Ätzverfahren zur Herstellung der Kontaktöffnungen **104a, 104b** in der Schicht **103** anschließen, wobei der Ätzprozess in zuverlässiger Weise auf der Grundlage der Ätzstoppschicht **102** gesteuert werden kann. Danach können weitere Ätzprozesse ausgeführt werden, um schließlich die Kontaktätzstoppschicht **102** basierend auf gut etablierten Prozesstechniken zu öffnen. Danach wird die Titanbeschichtung **105** auf der Grundlage einer ionisierten physikalischen Dampfabscheidung, etwa einer Sputter-Abscheidung, hergestellt. Der Begriff „Sputtern“ oder „Sputter-Abscheidung“ beschreibt einen Mechanismus, in welchem Atome aus einer Oberfläche eines Targetmaterials beim Auftreffen ausreichend energetischer Teilchen herausgelöst werden. Das Sputtern wurde zu einer vorherrschenden Technik für die Abscheidung von Titan, Titannitrid und dergleichen. Obwohl im Prinzip eine verbesserte Stufenbedeckung durch Anwendung von CVD-Verfahren erreicht werden könnte, wird die Sputterabscheidung häufig für das Abscheiden der Beschichtung **105** aus den folgenden Gründen eingesetzt.

[0008] Die Sputter-Abscheidung ermöglicht die relativ gleichförmige Abscheidung von Schichten über große Substratflächen hinweg, da das Sputtern mittels großflächiger Targetflächen bewerkstelligt werden kann. Die Steuerung der Filmdicke durch Sputter-Abscheidung ist relativ einfach im Vergleich zur CVD-Abscheidung und kann dadurch erreicht werden, dass ein konstanter Satz an Betriebsbedingungen eingestellt wird, wobei die Abscheidezeit dann eingestellt wird, um die erforderliche Schichtdicke zu erreichen. Ferner kann die Zusammensetzungen von

Verbindungen, etwa Titannitrid, das in der Barrierschicht **106** verwendet wird, einfacher und präziser in einem Sputter-Abscheidungsprozess im Vergleich zu CVD gesteuert werden. Des Weiteren können die Oberflächen der Substrate, die zu bearbeiten sind, vor der eigentlichen Film-Abscheidung durch Sputtern gereinigt werden, so dass eine Kontamination der Oberfläche in effizienter Weise entfernt und eine erneute Kontamination vor dem eigentlichen Abscheidungsprozess in effizienter Weise unterdrückt werden kann. Für eine effiziente Abscheidung eines moderat dünnen Materials in den Kontaktöffnungen **104a, 104b** mit einem relativ hohen Aspektverhältnis werden sogenannte ionisierte Sputter-Abscheidungsverfahren eingesetzt, in denen die Targetatome, die aus dem Target herausgeschlagen werden, in effizienter Weise mittels einer entsprechenden Plasmaumgebung ionisiert werden, während sie sich in Richtung auf das Substrat zubewegen. Auf der Grundlage einer Gleichspannungs- oder Radiofrequenz-Vorspannung kann die Richtungsstreuung der sich bewegenden ionisierten Targetatome deutlich verbessert werden, wodurch das Abscheiden des Targetmaterials an der Unterseite der Kontaktöffnungen **104a, 104b** selbst für hohe Aspektverhältnisse ermöglicht wird.

[0009] Auf Grund dieses Mechanismus ist jedoch die Schichtdicke an der Unterseite **104c** deutlich größer im Vergleich zu einer Dicke an den Seitenwänden der Kontaktöffnungen **104a, 104b**, selbst wenn diese Seitenwände von einer im Wesentlichen zusammenhängenden Schicht bedeckt sind. Insbesondere an unteren Seitenwandbereichen **104d** kann die entsprechende Schichtdicke deutlich kleiner sein im Vergleich zu der Dicke an der Unterseite **104c**. Es ist jedoch eine zuverlässige und damit minimale Schichtdicke erforderlich, insbesondere an den unteren Seitenwandbereichen **104d**, um im Wesentlichen eine nachteilige Wechselwirkung während der nachfolgenden Wolframabscheidung zu vermeiden. Beispielsweise ist für eine minimale Schichtdicke von ungefähr 50 bis 60 Angstrom an den unteren Seitenwandbereichen **104d** eine Schichtdicke an der Unterseite von ungefähr 300 bis 400 Angstrom erforderlich, woraus sich ein erhöhter Kontaktwiderstand ergibt, da die Kombination aus Titannitrid und Titan einen deutlich höheren Widerstand im Vergleich zu den Kontaktgebieten **112** und dem nachfolgend aufgefüllten Wolfram aufweist. Ferner kann in anspruchsvollen Anwendungen, die die Herstellung von Kontaktpfropfen mit hohem Aspektverhältnis erfordern, selbst die moderat geringe Leitfähigkeit des Wolframpfropfens im Vergleich zu Kontaktdurchführungen auf Kupferbasis, die in höheren Metallisierungsschichten vorgesehen sind, deutlich zu einer Signalausbreitungsverzögerung beitragen, wodurch die Arbeitsgeschwindigkeit der gesamten integrierten Schaltung beschränkt wird. Jedoch ist die Verwendung der Kupfertechnologie auf der Grundlage von Tantal als Barrierenmaterial, wie dies für Kontakt-

durchführungen in den Metallisierungsschichten eingesetzt wird, nicht ausreichend, um in zuverlässiger Weise eine Kupferdiffusion in empfindlichen Transistorbereiche zu unterdrücken, da bereits sehr kleine Löcher in dem Tantal zum Aufwachsen von Kupfersilizid führen können, wodurch sich schließlich ein Transistorausfall ergeben kann.

[0010] US 2005/0035460 A1 offenbart ein Halbleitersubstrat mit einer Source-/Drainregion eines MOS-Transistors und eines Metallsilizids, welches auf der Source-/Drainregion gebildet ist. Auf dem Metallsilizid der Source-/Drainregion ist eine Puffer-Metallschicht gebildet, die als Diffusionsbarriere dienen kann. In einem Kontaktloch in einer dielektrischen Schicht ist eine Metallbarrierschicht gebildet, die Tantal-Titan, Wolfram, Tantalnitrid, Titanitrid, Wolframnitrid oder Kombinationen hiervon enthält, und ein Kupfer- oder Kupferlegierungspropfen füllt das Kontaktloch im Wesentlichen aus.

[0011] US 6 727 592 B1 betrifft Kupfer- und Kupferlegierungsverbindungsleitungen von geringem Widerstand, die eine verbesserte Elektromigrationsbeständigkeit und eine erhöhte Durchgangskettenausbeute aufweisen. In diesem Zusammenhang offenbart die US 6 727 592 B1 diskontinuierliche Cluster von Atomen auf den Seiten einer Kontaktöffnung.

[0012] DE 198 44 451 A1 betrifft eine Barrierschicht mit einer ersten Barrierschicht, welche eine dotierte Siliziumschicht oder eine Schicht dotiert mit Silizium ist. Ein auf der ersten Barrierschicht angeordnetes zweites Barrierschichtmaterial ist ausgewählt aus einer Gruppe enthaltend Titan/Titanitrid, Wolframnitrid, Tantal, Tantalnitrid.

[0013] US 6 731 006 B1 betrifft die Herstellung von dotierten Kupferverbindungsleitungen unter Verwendung von thermischer Laserbehandlung. Ein Haft-/Barriermaterial wie zum Beispiel Tantal, Titan, Wolfram, Tantalnitrid oder Titanitrid kann in einer Öffnung abgeschieden werden, welche sich zu einem Metallisierungsniveau erstreckt.

[0014] US 5 084 412 A betrifft die Bildung einer Verdrahtungsschicht, welche Kupfer enthält. Eine dünne Schicht aus einem Metall, welches keine intermetallische Verbindung mit Kupfer bildet, und eine Kupferschicht werden nacheinander auf einer isolierenden Zwischenschicht eines Halbleitersubstrats abgeschieden. Nach einer Strukturierung wird die gestapelte Schicht einer Wärmebehandlung unterzogen, um eine Nitridschicht zu bilden, welche die Kupferschicht bedeckt.

[0015] Angesichts der zuvor beschriebenen Situation besteht ein Bedarf für eine verbesserte Technik, die die Herstellung zuverlässiger Kontaktpropfen mit einem geringeren Kontaktwiderstand ermög-

licht, während eines oder mehrere der zuvor erkannten Probleme vermieden oder deren Auswirkungen zumindest reduziert werden.

ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

[0016] Im Allgemeinen richtet sich die vorliegende Erfindung an eine Technik, die die Herstellung von Kontaktpropfen im Halbleiterbauelement ermöglicht, die eine direkte Verbindung zu Schaltungselementen, etwa Transistoren, herstellen, wobei ein deutlich reduzierter Kontaktwiderstand erreicht wird, indem ein äußerst leitendes Material, etwa ein kupferenthaltendes Metall, eingesetzt wird. Des Weiteren können die entsprechenden Kontaktpropfen eine effiziente leitende Barrierschicht mit einer wolframbasierten Schicht aufweisen, die auf der Grundlage äußerst konformer CVD-(chemische Dampfab-scheide-)Techniken abgeschieden werden kann, wodurch eine verbesserte Stufenabdeckung selbst in kritischen Gebieten der Kontaktöffnungen sichergestellt wird. Das wolframbasierte Material zeigt ferner eine hohe Kupferdiffusionsblockierwirkung, wodurch die Verwendung gut etablierter Kupfermetallisierungsschemata selbst für die äußerst sensiblen Bauteilgebiete, die in der Nähe der Schaltungselemente angeordnet sind, ermöglicht wird. Folglich kann im Vergleich zu konventionellen Verfahren, die auf einem Wolframkontaktpropfen basieren, sogar für äußerst größenreduzierte Halbleiterbauelemente ein deutlich reduzierter Widerstand und damit eine erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit der Transistorelemente erreicht werden. Ferner kann in anschaulichen Ausführungsformen eine ALD-(Atomlagende-position-)Technik eingesetzt werden, die äußerst skalierbar im Hinblick auf eine weitere Erhöhung des Aspektverhältnisses entsprechender Kontaktöffnungen ist, wobei die Möglichkeit geschaffen wird, äußerst dünne aber dennoch äußerst zuverlässige leitende Barrierschichten für äußerst größenreduzierte Halbleiterbauelemente herzustellen.

[0017] Gemäß einer anschaulichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Halbleiterbauelement ein Schaltungselement mit einem Kontaktgebiet. Das Halbleiterbauelement umfasst ferner einen Kontaktpropfen, der in einer dielektrischen Schicht ausgebildet ist, um damit eine Verbindung zu dem Kontaktgebiet herzustellen, wobei der Kontaktpropfen Kupfer und eine wolframenthaltende Barrierschicht, die die dielektrische Schicht und das Kupfer trennt, aufweist.

[0018] Gemäß einer noch weiteren anschaulichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren das Bilden einer leitenden Barrierschicht in einer Kontaktöffnung eines Schaltungselements auf der Grundlage eines wolframenthaltenen Vorstufenmaterials. Ferner wird die Kontaktöff-

nung dann mit einem kupferenthaltenden Material gefüllt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0019] Weitere Vorteile, Aufgaben und 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:

[0020] Fig. 1 schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements während der Herstellung von Kontaktpfropfen auf der Grundlage einer konventionellen Wolframtechnologie zeigt; und

[0021] Fig. 2a bis Fig. 2g schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements während der Herstellung von Kontaktpfropfen auf der Grundlage einer wolframenthaltenden leitenden Barrierenschicht und eines kupferbasierten Füllmaterials während diverser Fertigungsphasen gemäß anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0022] 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 es selbstverständlich sein, dass die folgende detaillierte Beschreibung und die Zeichnungen nicht beabsichtigen, die vorliegende Erfindung auf die speziellen anschaulichen offenbarten Ausführungsformen einzuschränken, sondern die beschriebenen anschaulichen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhaft die diversen Aspekte der vorliegenden Erfindung dar, deren Schutzbereich durch die angefügten Patentansprüche definiert ist.

[0023] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung eine verbesserte Technik für die Herstellung von Kontaktpfropfen, die eine Verbindung zu entsprechenden Kontaktgebieten von Schaltungselementen, etwa Transistoren, Kondensatoren, und dergleichen herstellen. Für diesen Zweck kann ein äußerst leitendes Material, etwa Kupfer, in Verbindung mit einem wolframbasierten Barrierenmaterial verwendet werden, das in einer äußerst zuverlässigen Weise abgeschieden werden kann, d. h. mit einer ausgezeichneten Stufenabdeckung, während andererseits ein hohes Potential an Kupferabblockung geboten wird, wodurch die Anwendung von Kupfer in der Nachbarschaft äußerst sensibler Bauteilgebiete ermöglicht wird. In einigen anschaulichen Ausführungsformen kann die wolframbasierte leitende Barrierenschicht durch moderne CVD-Verfahren, etwa ALD-(Atomla-

gendedepositions-)Abscheidung auf der Grundlage geeigneter Vorstufenmaterialien gebildet werden, wobei die ausgezeichnete Stufenabdeckung des ALD-Prozesses für eine hohe Zuverlässigkeit selbst bei einer reduzierten Schichtdicke sorgt. Somit können auf der Grundlage der wolframenthaltenden Barrierenschicht Kupfermetallisierungsverfahren, wie sie typischerweise für die Herstellung für die Kontaktdurchführung und die Metallleitung in äußerst modernen kupferbasierten Metallisierungsschichten eingesetzt werden, auch in Verbindung mit der Herstellung von Kontaktpfropfen eingesetzt werden, wodurch deutlich die thermische und elektrische Leitfähigkeit der entsprechenden Kontakte verbessert wird. Somit kann die Technik der vorliegenden Erfindung in effizienter Weise auf die Herstellung von Kontaktstrukturen selbst äußerst größenreduzierter Halbleiterbauelemente ausgedehnt werden, die kritische Abmessungen von 100 nm und deutlich weniger aufweisen.

[0024] Mit Bezug zu den Fig. 2a bis Fig. 2g werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung detaillierter beschrieben.

[0025] Fig. 2a zeigt schematisch ein Halbleiterbauelement **200**, das ein Schaltungselement **210** aufweist, etwa einen Kondensator, einen Widerstand oder ein anderes Schaltungselement, das in einer anschaulichen Ausführungsform ein Transistorelement repräsentieren kann, das über einem Substrat **201** gebildet ist. Das Substrat **201** kann ein beliebiges geeignetes Substrat zur Herstellung von Halbleiterbauelementen darauf repräsentieren, etwa ein SOI-(Silizium-auf-Isolator)Substrat, ein Halbleitervollsubstrat oder ein anderes geeignetes Trägermaterial mit einer darauf ausgebildeten geeigneten Halbleiterschicht zur Herstellung von Schaltungselementen. Das Schaltungselement **210** kann ferner ein oder mehrere Kontaktgebiete **211**, **212** aufweisen, die in dem gezeigten Beispiel als eine Gateelektrode, d. h. das Kontaktgebiet **211**, und Drain- und Sourcegebiete, d. h. das Kontaktgebiet **212** gezeigt sind. Ferner ist ein dielektrischer Schichtstapel über dem Schaltungselement **210** ausgebildet und kann aus einem geeigneten dielektrischen Material hergestellt sein, wie dies für die zuverlässige Isolierung und Passivierung des Schaltungselements **210** erforderlich ist. In einer anschaulichen Ausführungsform kann eine Kontaktätzstoppschicht **202**, die beispielsweise aus Siliziumnitrid oder einem anderen geeigneten Material aufgebaut ist, vorgesehen sein, an die sich eine Dielektrikumszwischenschicht **203** anschließt, die aus einem oder mehreren geeigneten dielektrischen Materialien aufgebaut sein kann. In einer anschaulichen Ausführungsform ist die dielektrische Schicht **203** im Wesentlichen aus Siliziumdioxid hergestellt. Kontaktöffnungen **204a**, **204b** können in den dielektrischen Schichten **203** und **202** hergestellt sein, wodurch eine Verbindung zu den entsprechenden Kontaktgebieten **211** und **212** gebildet ist. In einer an-

schaulichen Ausführungsform können ein oder mehrere der Kontaktgebiete **211** und **212** aus einem äußerst leitfähigen Metallsilizid hergestellt sein, das in einer Ausführungsform in Form eines Nickelsilizids vorgesehen ist.

[0026] Ferner unterliegt das Halbleiterbauelement **200** in einer anschaulichen Ausführungsform, wie dies dargestellt ist, einer Vorbehandlung **220** zum Vorbereiten der Kontaktgebiete **211** und **212** für die nachfolgende Abscheidung eines Barrierenmaterials. In einer anschaulichen Ausführungsform kann die Vorbehandlung **220** eine plasmabasierte Behandlung auf der Grundlage einer inerten Gattung, etwa Argon, Wasserstoff, Stickstoff und dergleichen, umfassen. Z. B. kann die Vorbehandlung **220** auf der Grundlage einer Plasmaumgebung ausgeführt werden, die Argon und Wasserstoff für ein effizientes Entfernen von Kontaminationsstoffen von den freiliegenden Bereichen der Kontaktgebiete **211**, **212** in einem Sputter-ähnlichen Prozess ausgeführt werden.

[0027] Das Halbleiterbauelement **200**, wie es in **Fig. 2a** gezeigt ist, kann gemäß gut etablierter Verfahren zur Herstellung von Schaltungselementen, etwa dem Schaltungselement **210**, auf der Grundlage geeigneter kristalliner, polykristalliner und amorpher Halbleitermaterialien gebildet werden. In anschaulichen Ausführungsformen kann das Schaltungselement **210** ein Schaltungselement eines äußerst fortschrittlichen siliziumbasierten Halbleiterbauelements repräsentieren, wobei minimale kritische Abmessungen, etwa eine Gatelänge, d. h. in **Fig. 2a** die horizontale Abmessung der Gateelektrode **211a** einschließlich des Kontaktgebiets **211**, 90 nm und weniger oder sogar 50 nm und weniger für äußerst moderne Bauteile betragen kann. In einigen anschaulichen Ausführungsformen kann die Herstellung des Schaltungselements **210** moderne Silizidierungsprozesse für das Bereitstellen der Kontaktgebiete **211** und **212** in Form eines hoch leitfähigen Metallsilizid beinhalten. In einer anschaulichen Ausführungsform können zumindest einige der Gebiete **212**, **211** als Nickelsilizidgebiete hergestellt werden, wobei während der Herstellung eine chemische Reaktion zwischen Nickel und dem darunter liegenden siliziumhaltenden Material in Gang gesetzt wird, wodurch eine merkliche Menge an Nickelmonosilizid erzeugt wird, während im Wesentlichen die Herstellung des weniger leitfähigen Nickeldisilizids vermieden wird. Während der Herstellung der entsprechenden Nickelsilizidgebiete kann eine Wärmebehandlung so durchgeführt werden, dass die entsprechende chemische Reaktion initiiert und die entsprechende Phase des Nickelsilizids stabilisiert wird. Beispielsweise sollte in nachfolgenden Prozessschritten eine gewisse Temperatur nicht überschritten werden, etwa ungefähr 400 Grad C, um nicht in unerwünschter Weise weiteres Nickelmonosilizid in nicht gewünschtes Nickeldisilizid umzuwandeln, wodurch die Gesamtleitfähig-

keit der Kontaktgebiete **211** und **212** beeinträchtigt würde. Wie nachfolgend beschrieben ist, können gemäß anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die nachfolgenden Prozessschritte zur Herstellung äußerst leitender Kontaktpfropfen in den Kontaktöffnungen **204a**, **204b** bei einer Temperatur von ungefähr 400 Grad C und deutlich weniger ausgeführt werden.

[0028] Nach der Herstellung des Schaltungselements **210** einschließlich der Kontaktgebiete **211** und **212** können die Kontaktätzstoppschicht **202** und das Zwischenschichtdielektrikummaterial **203** auf der Grundlage gut etablierter Verfahren abgeschieden werden, die typischerweise eine CVD-Technik mit oder ohne plasmaunterstützter Abscheideatmosphäre beinhalten. Danach können die Kontaktöffnungen **204a**, **204b** durch Photolithographie und moderne Ätztechniken hergestellt werden, wobei abhängig von den Entwurfserfordernissen eine Breite der Öffnungen **204a**, **204b** in der gleichen Größenordnung wie die entsprechenden kritischen Abmessungen, d. h. die entsprechende Gatelänge des Schaltungselements **210**, liegen können. Danach kann das Bauelement **200** der Atmosphäre der Vorbehandlung **220** ausgesetzt werden, um Ätznebenprodukte, die sich auf den freigelegten Bereichen der Kontaktgebiete **211** und **212** gebildet haben können, zu entfernen.

[0029] **Fig. 2b** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** nach dem Ende der Vorbehandlung **220** mit einer ersten Barrierenschicht **207**, die in einer anschaulichen Ausführungsform Wolfram und Stickstoff aufweist. Die erste Barrierenschicht **207** kann eine Dicke **207a** aufweisen, die ungefähr 10 nm oder weniger betragen kann und die in anschaulichen Ausführungsformen ungefähr 5 nm oder weniger betragen kann. Beispielsweise kann die erste Barrierenschicht **207** in einer anschaulichen Ausführungsform eine Wolframnitridschicht (Wn) repräsentieren, wobei das stöchiometrische Verhältnis zwischen Wolfram und Stickstoff in Abhängigkeit der Prozessbedingungen eines entsprechenden Abscheideprozesses **230** variieren kann.

[0030] In einer anschaulichen Ausführungsform kann der Abscheideprozess **230** zum Abscheiden der Barrierenschicht **207** als ein thermischer ALD-Prozess eingerichtet sein, wobei eine Prozesstemperatur, d. h. die Temperatur des Substrats **201** und damit das Schaltungselement **210**, bei 400 Grad C und weniger gehalten wird, wobei in einer anschaulichen Ausführungsform die Temperatur des Substrats **201** bei ungefähr 300 Grad C und weniger stabilisiert wird. Die Abscheideatmosphäre des Prozesses **230** kann auf der Grundlage von Wolframhexafluorid (Wf_6), Borhydrid (B_2H_6) und Ammoniak (NH_3) als Reaktionsgase eingerichtet werden. Um beispielsweise den oberflächengesättigten thermischen ALD-Pro-

zess in Gang zu setzen, kann eine spezifizierte Dosis der Gase in die Abscheideatmosphäre des Prozesses **230** eingeführt werden, woran sich ein nachfolgender Spülschritt anschließt, um damit eine Abscheiderate von Wolframnitrid von ungefähr 1,0 bis 1,4 Angstrom pro Abscheideschritt zu erreichen. Folglich kann eine gut steuerbare und konforme Abscheidung der ersten Barrierenschicht **207** erreicht werden, so dass im Gegensatz zu konventionellen Vorgehensweisen eine sehr dünne aber äußerst zusammenhängende Schicht selbst an kritischen Positionen, etwa unteren Bereichen **204d** der Kontaktöffnung **204a**, die sich bis ungefähr 20 bis 100 nm herauferstrecken, erreicht werden kann.

[0031] In anderen Ausführungsformen kann die erste Barrierenschicht **207** mittels anderer geeigneter Abscheideverfahren hergestellt werden, beispielsweise auf der Grundlage von CVD-Techniken, die für die erforderliche Stufenbedeckung sorgen können. In noch anderen Ausführungsformen kann die erste Barrierenschicht **207** auf der Grundlage gut etablierter CVD-Techniken für das Abscheiden von Wolfram erfolgen, wobei der Prozess **230** ferner einen nachfolgenden Nitridierungsprozess umfassen kann, in welchem ein stickstoffhaltendes Plasma errichtet wird, um Stickstoff in die zuvor abgeschiedene Wolframschicht einzuführen. In einer anschaulichen Ausführungsform können die Vorbehandlung **220** (siehe Fig. 2a) und der Abscheideprozess **230** ausgeführt werden, ohne dass der Vakuumzustand, der während der Behandlung **220** und des Abscheideprozesses **230** aufrecht erhalten wird, unterbrochen wird. Beispielsweise kann eine Abscheideanlage eingesetzt werden, die das Erzeugen einer entsprechenden plasmabasierten Umgebung für den Reinigungsprozess **220** ermöglicht, wobei danach die Abscheideumgebung des Prozesses **230** eingerichtet werden kann, ohne dass das vorgereinigte Halbleiterbauelement **200** mit Umgebungsluft in Kontakt kommt, so dass eine erneute Kontamination der zuvor gereinigten Struktur vermieden wird.

[0032] In einer anschaulichen Ausführungsform kann die erste Barrierenschicht **207** Wolfram umfassen, wobei die Schicht **207** zumindest eine Unterschicht aufweisen kann, die aus Wolframnitrid hergestellt ist. Der Anteil an Stickstoff in der Wolframnitridschicht kann auf der Grundlage entsprechender Abscheideparameter des Prozessors **230** eingestellt werden, wie dies zuvor erläutert ist. Des Weiteren kann die Kristallstruktur der Schicht **207** auf der Grundlage von Abscheideparametern und/oder auf der Grundlage einer nachfolgenden Behandlung, die nach dem Abscheideprozess **230** ausgeführt wird, eingestellt werden.

[0033] Fig. 2c zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** während eines weiteren Abscheideprozesses **231** zur Herstellung einer zweiten Barrieren-

schicht **208**, die in Verbindung mit der ersten Barrierenschicht und weiteren optionalen Schichten (nicht gezeigt) einen Barrierenschichtstapel **215** bildet. In einer anschaulichen Ausführungsform kann die zweite Barrierenschicht aus einem leitenden Material aufgebaut sein, das geeignet ist, um eine gute Haftung und diffusionsblockierende Eigenschaften im Hinblick auf ein äußerst leitfähiges Metall bereitzustellen, das nachfolgend abgeschieden wird. In einer anschaulichen Ausführungsform weist die zweite Barrierenschicht **208** Tantal und/oder Tantalnitrid, Titan, Titanitrid und dergleichen auf, wobei die Schicht **208** aus zwei oder mehreren Teilschichten aufgebaut sein kann. In einer anschaulichen Ausführungsform wird die Schicht **208** als eine im Wesentlichen reine Tantalschicht abgeschieden, wobei auf Grund der hohen Gleichförmigkeit der zuvor abgeschiedenen wolframbasierten ersten Barrierenschicht **207** die Abscheidegleichförmigkeit für die Schicht **208**, die während des Abscheideprozesses **231** erreicht wird, weniger kritisch ist, da die Schicht **207**, die in zuverlässiger Weise die Oberflächen der Kontaktöffnungen **204a**, **204b** abdeckt, auch als ein effizientes Diffusionsbarrierenmaterial für äußerst leitende Metalle, etwa Kupfer, dient. Folglich kann der Abscheideprozess **231** auf der Grundlage gut etablierter Verfahren, etwa einer physikalischen Dampfabscheidung (PVD), einer Sputter-Abscheidung, und dergleichen ausgeführt werden. Für äußerst anspruchsvolle Anwendungen, wenn die Gesamtdicke einer Barrierenschicht, die aus den Schichten **207** und **208** aufgebaut ist, als eine äußerst dünne Barrierenschicht mit einer Gesamtdicke von ungefähr 50 nm oder deutlich weniger vorzusehen ist, kann die zweite Barrierenschicht ebenso auf der Grundlage von ALD-Verfahren abgeschieden werden, die für gut erprobte Prozessrezepte für Tantal und Tantalnitrid verfügbar sind und die in geeigneter Weise eingesetzt werden können. In noch anderen Ausführungsformen kann der Abscheideprozess **231** einen Abscheideschritt enthalten, in welchem ein geeignetes Katalysatormaterial, etwa Palladium, Platin, Kupfer, Kobalt und dergleichen, abgeschieden oder in die Barrierenschicht **208** eingebaut werden können, und damit als ein Katalysator während eines nachfolgenden elektrochemischen Abscheideprozesses zur Herstellung einer Kupfersaatschicht zu dienen. Während eines entsprechenden Abscheideschrittes zum Einbauen eines derartigen Katalysatormaterials ist die Abdeckung der freiliegenden Oberflächen des zuvor abgeschiedenen Materials weniger kritisch, da das Katalysatormaterial nicht notwendigerweise die gesamten freiliegenden Oberflächenbereiche bedecken muss.

[0034] In einer anschaulichen Ausführungsform können die Schichten **208** und **207** in einem in-situ-Prozess hergestellt werden, wodurch im Wesentlichen ein Kontakt der Schicht **207** nach dem Abscheiden mit Umgebungsluft vermieden wird, was zu einer Oxidation der Schicht **207** führen könnte.

[0035] Fig. 2d zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase. Hier ist eine Saatschicht **209** auf dem Barrierenschichtstapel **215** gebildet, der in dieser anschaulichen Ausführungsform aus der ersten und der zweiten Schicht **207** und **208** aufgebaut sein kann. Die Saatschicht **209** kann durch einen beliebigen geeigneten Abscheidprozess **232** gebildet werden, der in einer anschaulichen Ausführungsform ein elektrochemischer Prozess sein kann, wie dies zuvor beschrieben ist, etwa ein stromloser Plattierungsprozess. In anderen Ausführungsformen können gut etablierte Sputter-Abschleifverfahren zur Herstellung der Saatschicht **209** eingesetzt werden. Danach kann ein weiterer Abscheidprozess, beispielsweise auf der Grundlage gut etablierter elektrochemischer Abscheidverfahren, etwa dem Elektroplattieren, ausgeführt werden, um damit die Kontaktöffnungen **204a**, **204b** in einer äußerst nicht konformen Weise zu füllen, während im Wesentlichen eine Ausbildung von Hohlräumen innerhalb der Öffnungen **204a** und **204b** vermieden wird. Beispielsweise wurden in der Damaszener-Technik, die typischerweise für kupferbasierte Metallisierungsschichten eingesetzt wird, gut erprobte äußerst nicht konforme Elektroplattierungstechniken entwickelt, um selbst Kontaktdurchführungen mit hohem Aspektverhältnis mit Kupfer oder Kupferlegierungen zu füllen, und diese Verfahren können entsprechend angepasst werden, um für die Kontaktöffnungen **204a**, **204b** angewendet zu werden. Während der elektrochemischen Abscheidung des Kupfers oder der Kupferlegierung wird ein gewisses Maß an Überschussmaterial abgeschieden, um damit in zuverlässiger Weise die Kontaktöffnungen **204a**, **204b** zu füllen, das dann durch gut etablierte Verfahren, etwa Elektropolieren und chemisch-mechanisches Polieren (CMP) entfernt werden muss. Stromlose Prozesse können ebenso ausgeführt werden, um die Öffnungen **204a**, **204b** zu füllen. In einer anschaulichen Ausführungsform kann das überschüssige Material des Kupfers oder der Kupferlegierung zusammen mit dem überschüssigen Material der Schichten **209**, **208** und **207**, die auf horizontalen Oberflächenbereichen gebildet sind, mittels eines CMP-Prozesses entfernt werden, während welchem die darunter liegende dielektrische Schicht **203** als eine zuverlässige CMP-Stoppschicht dienen kann.

[0036] Fig. 2e zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** nach dem Ende der zuvor beschriebenen Prozesssequenz. Somit weist das Bauelement **200** Kontaktpfropfen **216a**, **216b** auf, die in den entsprechenden Kontaktöffnungen gebildet sind, die aus dem Barrierenschichtstapel **215**, der die erste Barrierenschicht **207** und die zweite Barrierenschicht **208** enthalten kann, aufgebaut sind. Die Schicht **208** liefert die gewünschte Haftung und die Fähigkeit der Kupferdiffusionsabblockung und kann aus tantalenthaltenden Materialien, etwa Tantal, Tantalnitrid, und

dergleichen hergestellt sein, wobei auch andere Materialien, etwa Titan, Titanitrid und dergleichen verwendet werden können. Die Schichten **207** und **208** können mit einer reduzierten Dicke im Vergleich zu konventionellen Titanitrid/titanbasierten Barrierenschichten für einen Kontaktpfropfen auf Wolframbasis vorgesehen sein, wodurch deutlich der Gesamtwiderstand der Pfropfen **216a**, **216b** reduziert wird. Ferner ist auf Grund des äußerst leitenden Metalls, etwa Kupfer oder Legierungen davon, der Reihewiderstand der Pfropfen **216a**, **216b**, insbesondere wenn Pfropfen mit äußerst großem Aspektverhältnis betrachtet werden, deutlich kleiner auf Grund der verbesserten thermischen und elektrischen Leitfähigkeit des Kupfers und der Kupferlegierungen im Vergleich zu Wolfram, das in konventionellen Verfahren verwendet wird, während der Barrierenschichtstapel **215** für eine hohe Effizienz bei der Kupferabblockung sorgt.

[0037] Fig. 2f zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen. Hier ist das Bauelement **200** in einer Fertigungsphase nach dem Abscheiden von Kupfer oder einer Kupferlegierungsschicht **216** beispielsweise durch Elektroplattieren gezeigt. Das Bauelement **200** kann in der gezeigten Weise mehrere der Schaltungselemente, etwa das Schaltungselement **210**, aufweisen, deren Kontaktöffnungen mit entsprechenden Kupfer- oder Kupferlegierungspfropfen **216a**, **216b**, ..., gefüllt sind. Ferner kann das Zwischenschichtdielektrikummaterial der Schicht **203** darauf ausgebildet eine CMP-Stoppschicht **217** aufweisen, die so gestaltet ist, dass diese eine hohe Diffusionsblockierungseigenschaft in Bezug auf die kupferenthaltende Schicht **216** aufweist. Beispielsweise kann in einer anschaulichen Ausführungsform die Schicht **217** aus Siliziumnitrid, Siliziumkarbid, stickstoffangereichertem Siliziumkarbid und dergleichen aufgebaut sein. Die CMP-Stoppschicht **217** kann vorgesehen sein, um im Wesentlichen einen Kontakt von Kupfermaterial mit dem Zwischenschichtdielektrikummaterial **203** während eines nachfolgenden CMP-Prozesses zum Abtragen des überschüssigen Materials der Kupferschicht **216** zu verhindern. Wie zuvor erläutert ist, kann der Barrierenschichtstapel **215** so vorgesehen sein, dass dieser zwei oder mehrere Teilschichten mit äußerst reduzierter Dicke im Vergleich zu konventionellen Barrierenschichten aufweist und somit können während des CMP-Prozesses zum Entfernen des überschüssigen Kupfers oder der Kupferlegierung selbst sehr geringe Mengen des Kupfers mit dem darunter liegenden Zwischenschichtdielektrikummaterial in Kontakt kommen. Beispielsweise ist Siliziumdioxid dafür bekannt, dass es eine moderat hohe Kupferdiffusion ermöglicht, die auf Grund der Nähe zu empfindlichen Bauteilgebieten der Schaltungselemente **210** als ungeeignet erachtet werden kann. Folglich kann nach dem Herstellen des Zwischenschichtdielektrikums **203** die

Schicht **217** abgeschieden werden, das eine ausgezeichnete Fähigkeit zur Kupferabblockung aufweist, wobei zusätzlich die Schicht **217** eine erhöhte Härte besitzen kann, um damit eine wesentliche Erosion des dielektrischen Materials der Schicht **203** zu vermeiden. Somit kann der CMP-Prozess so ausgeführt werden, dass das überschüssige Kupfer der Schicht **216** effizient abgetragen wird, wobei das Eindringen von Kupfer in das Zwischenschichtdielektrikumsmaterial der Schicht **203** deutlich reduziert wird. Somit kann die Wahrscheinlichkeit des Eindringens von Kupferatomen in empfindliche Bauteilbereiche der Schaltungselemente **210** deutlich reduziert werden.

[0038] Fig. 2g zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** gemäß einer noch weiteren anschaulichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform weist der Barrierenschichtstapel **215** mindestens eine zusätzliche Schicht **218** auf, die auf dem dielektrischen Material der Schicht **203** gebildet werden kann, um damit eine verbesserte Haftung zu der wolframbasierten Schicht **207** zu erreichen. In einer anschaulichen Ausführungsform ist die Schicht **218** aus Wolfram aufgebaut, das mittels CVD oder ALD abhängig von den Prozessanforderungen, abgeschieden werden kann. In einer anschaulichen Ausführungsform können die Schichten **218** und **207** in-situ gebildet werden, wobei die entsprechende Vorstufenmaterialmischung in geeigneter Weise so eingestellt werden kann, dass zunächst Wolfram und dann Wolframnitrid abgeschieden wird. In noch anderen Ausführungsformen können die Schichten **218**, **208** und **207** hergestellt werden, ohne dass die Vakuumbedingung unterbrochen wird, wodurch eine Oxidation der Schichten **218** und **208** im Wesentlichen verhindert wird. In einigen anschaulichen Ausführungsformen kann die Schicht **218** im Wesentlichen aus Wolfram aufgebaut sein und kann auf der Grundlage von Sputter-Abscheidungsverfahren aufgebracht werden, um damit eine erhöhte Schichtdicke an der Unterseite **204c** der Kontaktöffnungen **204a**, **204b** vorzusehen. Folglich kann das stöchiometrische Verhältnis der Schicht **207**, die auf der Schicht **218** abgeschieden ist, in entsprechender Weise an der Unterseite **204c** eingestellt werden, wodurch eine verbesserte Grenzfläche zu den darunter liegenden Kontaktgebiet **212**, **211** erhalten wird. In anderen Ausführungsformen kann die Schicht **207** in Form einer Wolframnitridschicht auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Abscheidetechniken aufgebracht werden, während die Schicht **218**, die beispielsweise aus Wolfram aufgebaut ist, auf der Schicht **207** abgeschieden werden kann, wodurch ein Mittel bereitgestellt wird, um das stöchiometrische Verhältnis insbesondere an der Unterseite **204c** einzustellen. Danach kann das Abscheiden der Schicht **208** erfolgen, oder in anderen anschaulichen Ausführungsformen kann das äußerst leitende Material, etwa Kupfer oder Kupferlegierung direkt ab-

geschieden werden, ohne dass die Schicht **208** vorgesehen ist.

[0039] Es gilt also: Die vorliegende Erfindung stellt eine verbesserte Technik bereit, die die Herstellung von Kontaktpfropfen mit einer deutlich erhöhten Leitfähigkeit im Vergleich zu konventionellen wolframbasierten Kontaktpfropfen ermöglicht. Zu diesem Zweck wird eine äußerst effiziente kupferblockierende Barrierenschicht auf der Grundlage von Wolfram und, in anschaulichen Ausführungsformen, auf der Grundlage von Wolframnitrid gebildet, die mit ausgezeichneter Stufenbedeckung auf der Grundlage geeigneter Abscheidungsverfahren, etwa ALD, CVD, und dergleichen gebildet werden kann. Auf Grund des Vorsehens der wolframbasierten Barrierenschicht kann eine Kupferprozesssequenz ausgeführt werden, ohne dass im Wesentlichen die Gefahr der Diffusion von Kupfer in empfindliche Bauteilgebiete auftritt. Somit kann in einigen anschaulichen Ausführungsformen eine tantalbasierte Barrierenschicht abgeschieden werden, woran sich ein typischer Kupferfüllprozess anschließt, der das Abscheiden einer entsprechenden Kupfersaatschicht beinhalten kann. Während der Herstellung der wolframbasierten Barrierenschicht und der Herstellung optionaler weiterer Barrierenschichten und des Einfüllens des Kupfers oder der Kupferlegierung können die Prozesstemperaturen bei 400 Grad C und deutlich weniger, beispielsweise bei 300 Grad C gehalten werden, wodurch im Wesentlichen die thermische Stabilität eines Kontaktmaterials, das in dem betrachteten Schaltungselementen vorgesehen ist, gewährleistet ist. Beispielsweise können in anschaulichen Ausführungsformen äußerst leitende Metallsilizide, etwa Nickelsilizid, vorgesehen sein, wobei dessen thermische Stabilität während der nachfolgenden Bearbeitung zur Herstellung des wolframenthaltenden Barrierenschichtstapels und der kupferbasierten Kontaktprozesssequenz nicht beeinträchtigt wird. Ferner ist der Kontaktbildungsprozess auch mit beliebigen Transistorarchitekturen verträglich, etwa SOI-Transistoren, Transistoren mit erhöhten Drain- und Sourcegebieten, Transistoren mit einer oder mehreren Quellen für mechanische Spannungen, um damit eine entsprechende Verformung in den Kanalgebieten zu erzeugen, und dergleichen. Auf Grund der Technik der Atomlagenabscheidung, die für die Herstellung der wolframbasierten Barrierenschicht eingesetzt werden kann, kann ferner die Gesamtdicke des Barrierenschichtstapels reduziert werden, wodurch zusätzlich zu einem geringeren Kontaktwiderstand beigetragen wird. Ferner bietet das verbesserte Abscheidungsverfahren für eine wolframbasierte Barrierenschicht die Möglichkeit, eine weitere Bauteilgrößenreduzierung durchzuführen, da selbst Kontaktpfropfen mit hohem Aspektverhältnis auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Techniken effizient hergestellt werden können.

Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement mit:
einem Transistorelement (**200**) mit einem Kontaktgebiet (**212**), das einen Kontakt zu einem Drain- oder Source-Gebiet herstellt; und
einem Kontaktpfropfen (**216a**, **216b**), der in einer dielektrischen Schicht (**203**) gebildet ist, um damit eine Verbindung zu dem Kontaktgebiet (**212**) herzustellen, wobei der Kontaktpfropfen (**216a**, **216b**) Kupfer und eine wolframhaltende Barrierenschicht aufweist, die die dielektrische Schicht (**203**) von dem Kontaktpfropfen (**216a**, **216b**) trennt; wobei die Barrierenschicht eine erste Unterschicht (**207**), die Wolfram und Stickstoff aufweist, und eine zweite Unterschicht (**208**), die zwischen dem Kupfer (**216a**, **216b**) und der ersten Unterschicht (**207**) angeordnet ist, umfasst; und
eine Gesamtdicke der Barrierenschicht, die aus der ersten Unterschicht (**207**) und der zweiten Unterschicht (**208**) aufgebaut ist, 50 nm oder weniger beträgt.
2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, wobei die zweite Unterschicht (**208**) Tantal aufweist.
3. Halbleiterbauelement nach Anspruch 2, wobei die zweite Unterschicht (**208**) auf der ersten Unterschicht (**207**) gebildet ist.
4. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, wobei eine Dicke der ersten Unterschicht (**207**) ungefähr 10 nm oder weniger beträgt.
5. Halbleiterbauelement nach Anspruch 4, wobei die Dicke ungefähr 5 nm oder weniger beträgt.
6. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, wobei die erste Unterschicht (**207**) auf der dielektrischen Schicht (**203**) gebildet ist.
7. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, das ferner eine Haftschrift (**218**) aufweist, die auf der dielektrischen Schicht (**203**) und dem Kontaktgebiet (**212**) gebildet ist, wobei die erste Unterschicht (**207**) auf der Haftschrift (**218**) angeordnet ist.
8. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, wobei das Kontaktgebiet (**212**) Nickelsilizid aufweist.
9. Verfahren mit:
Bilden einer leitenden Barrierenschicht mit Wolfram in einer Kontaktöffnung (**204A**) eines Transistorelements (**210**) auf der Grundlage eines wolframhaltenden Vorstufenmaterials, wobei die Kontaktöffnung (**204A**) ein Draingebiet oder ein Sourcegebiet kontaktiert; und
Füllen der Kontaktöffnung (**204A**) mit einem kupferenthaltenden Material (**216A**); wobei

Bilden einer leitenden Barriereschicht ein Durchführen eines thermischen Atomlagenabscheidungsprozesses (**230**) zum Deponieren einer Wolfram enthaltenden ersten Barriereschicht (**207**) umfasst; eine Prozesstemperatur des thermischen Atomlagenabscheidungsprozesses (**230**) bei 400°C und darunter gehalten wird; und
eine Abscheideatmosphäre des thermischen Atomlagenabscheidungsprozesses (**230**) auf der Basis von Wolframhexafluorid WF₆, Borhydrid B₂H₆ und Ammoniak NH₃ als Reaktionsgase eingerichtet ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei Bilden der leitenden Barrierenschicht Abscheiden einer wolfram- und stickstoffhaltenden Schicht (**207**) umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 10, das ferner umfasst: Abscheiden mindestens eines weiteren Barrierenmaterials (**208**) nach dem Abscheiden der wolfram- und stickstoffhaltenden Schicht (**207**).

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das mindestens eine weitere Barrierenmaterial (**208**) Tantal umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 10, das ferner umfasst: Abscheiden mindestens eines weiteren Barrierenmaterials (**208**) vor dem Abscheiden der wolfram- und stickstoffhaltenden Schicht.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei eine Substrattemperatur bei ungefähr 400 Grad C oder weniger gehalten wird, wenn die leitende Barrierenschicht gebildet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 9, das ferner umfasst: Bilden einer Saatschicht (**209**) auf der Barrierenschicht (**207**, **208**; **218**, **207**, **208**) und Einfüllen des kupferenthaltenden Materials (**216A**) auf der Grundlage eines elektrochemischen Abscheideprozesses.

16. Verfahren nach Anspruch 9, wobei Bilden der leitenden Barrierenschicht umfasst:
Bilden einer Wolframnitridschicht (**207**) und Bilden einer tantalenthaltenden Schicht (**208**) auf der Wolframnitridschicht (**207**).

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Wolframnitridschicht (**207**) und die tantalenthaltende Schicht (**208**) ohne Unterbrechung einer Vakuumbedingung gebildet werden.

18. Verfahren nach Anspruch 9, das ferner Vorbehandeln eines Kontaktgebiets (**212**), das in der Kontaktöffnung (**204A**) freigelegt ist, vor dem Bilden der leitenden Barrierenschicht umfasst.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

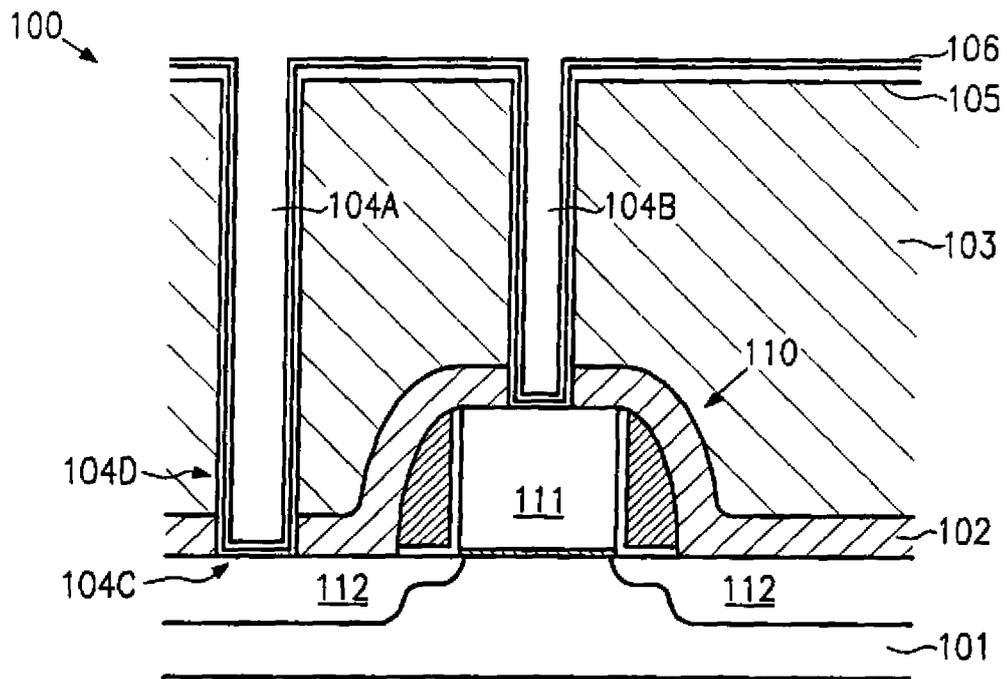


FIG. 1

(Stand der Technik)

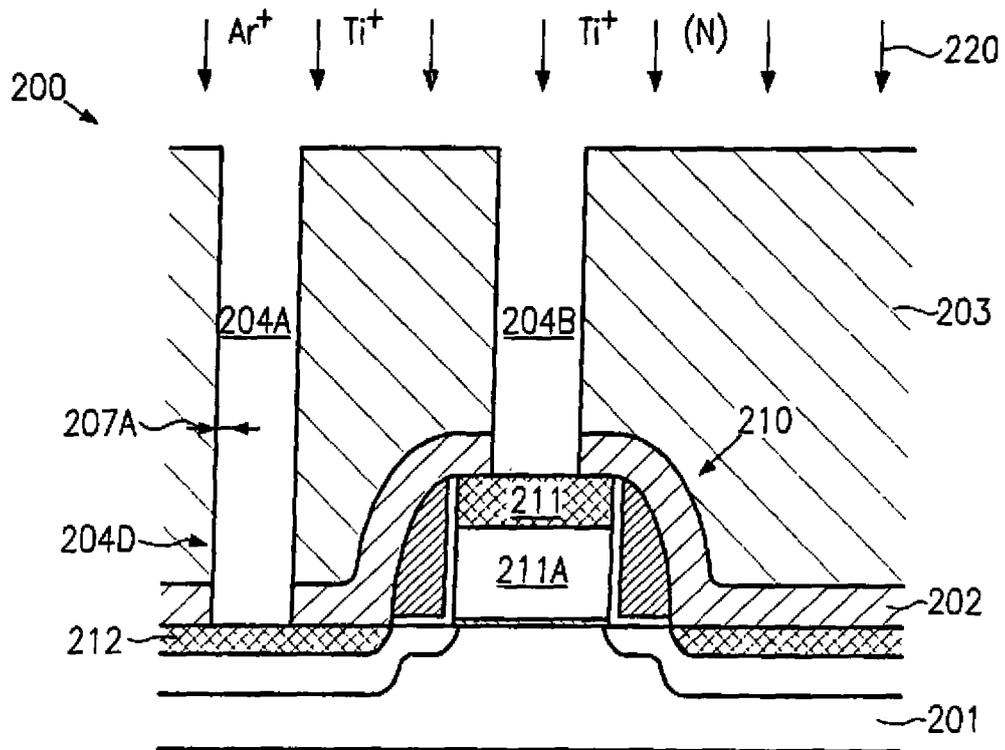


FIG. 2a

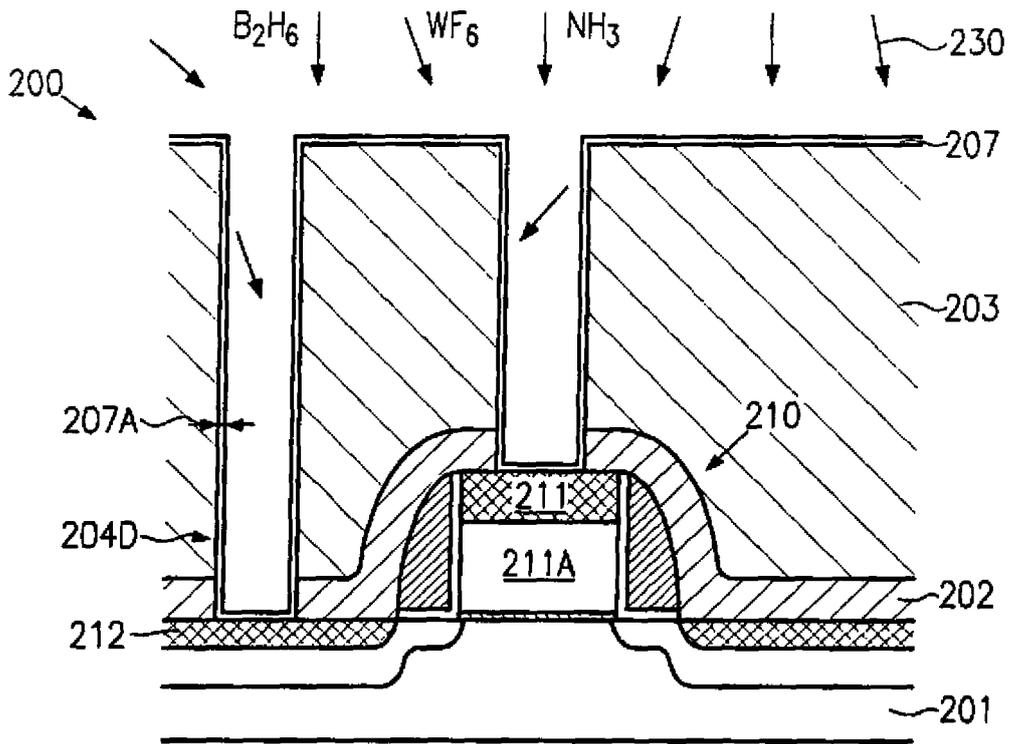


FIG. 2b

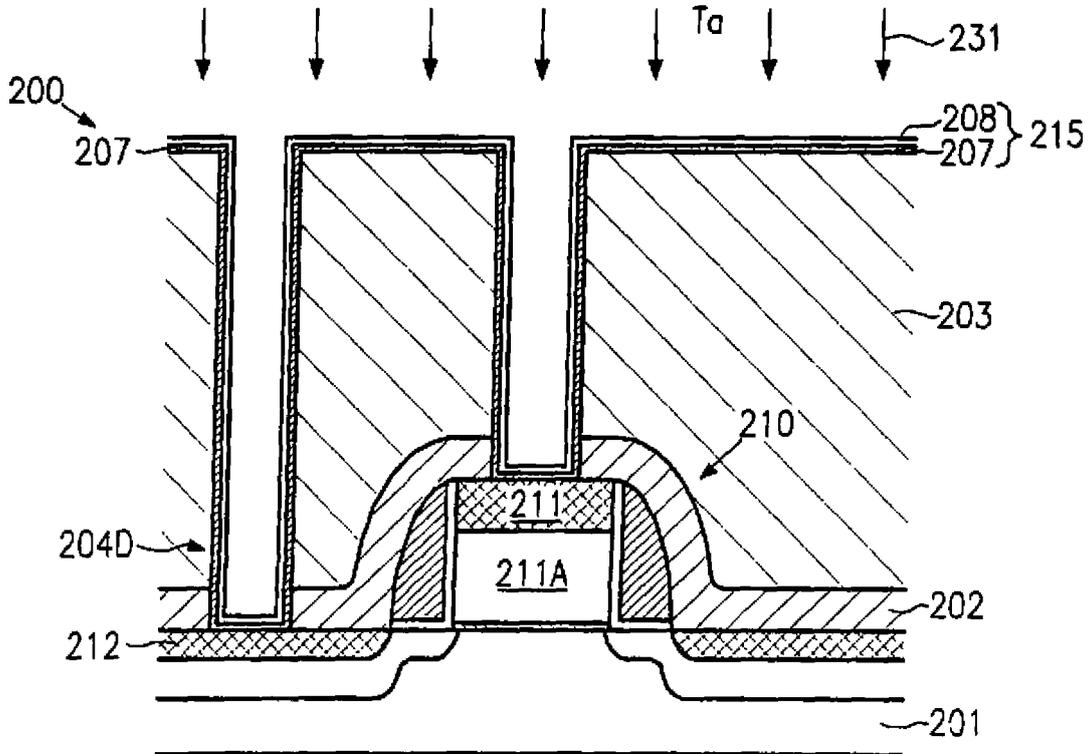


FIG. 2c

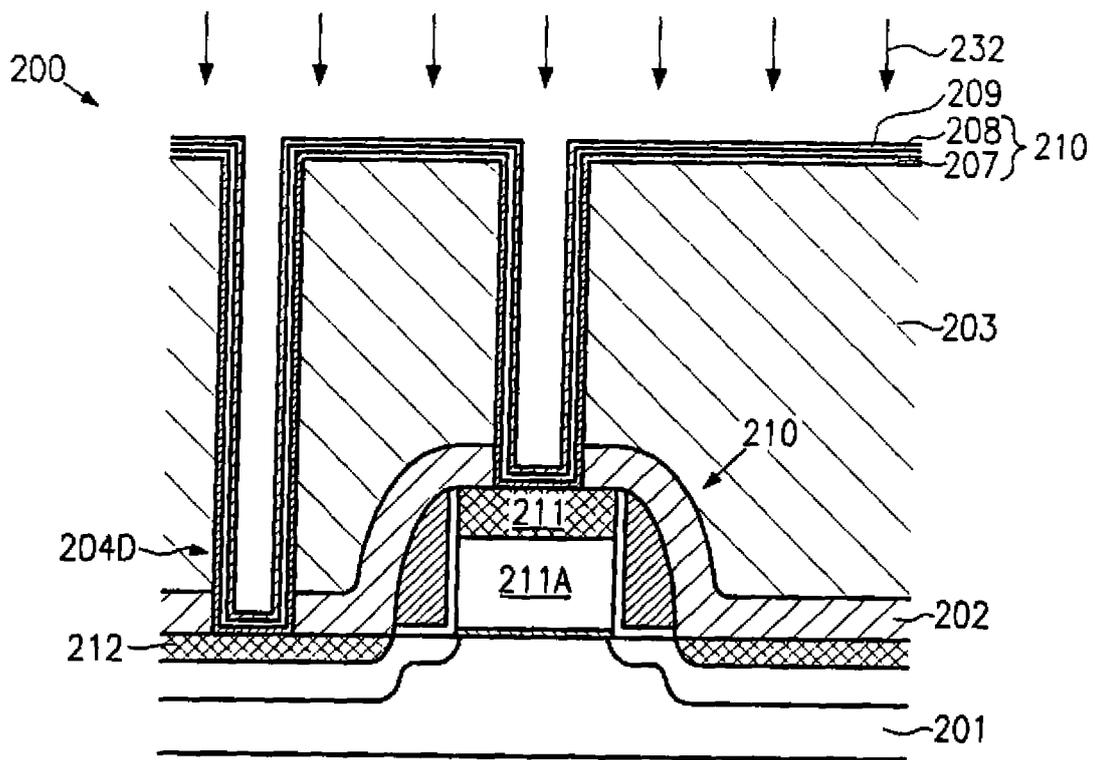


FIG. 2d

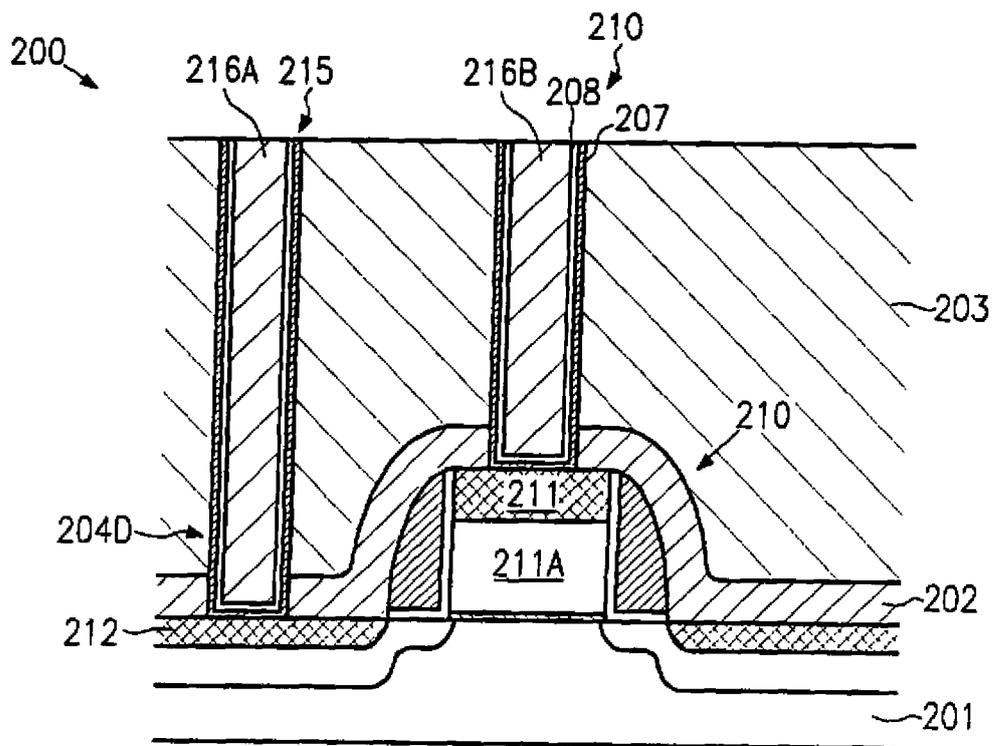


FIG. 2e

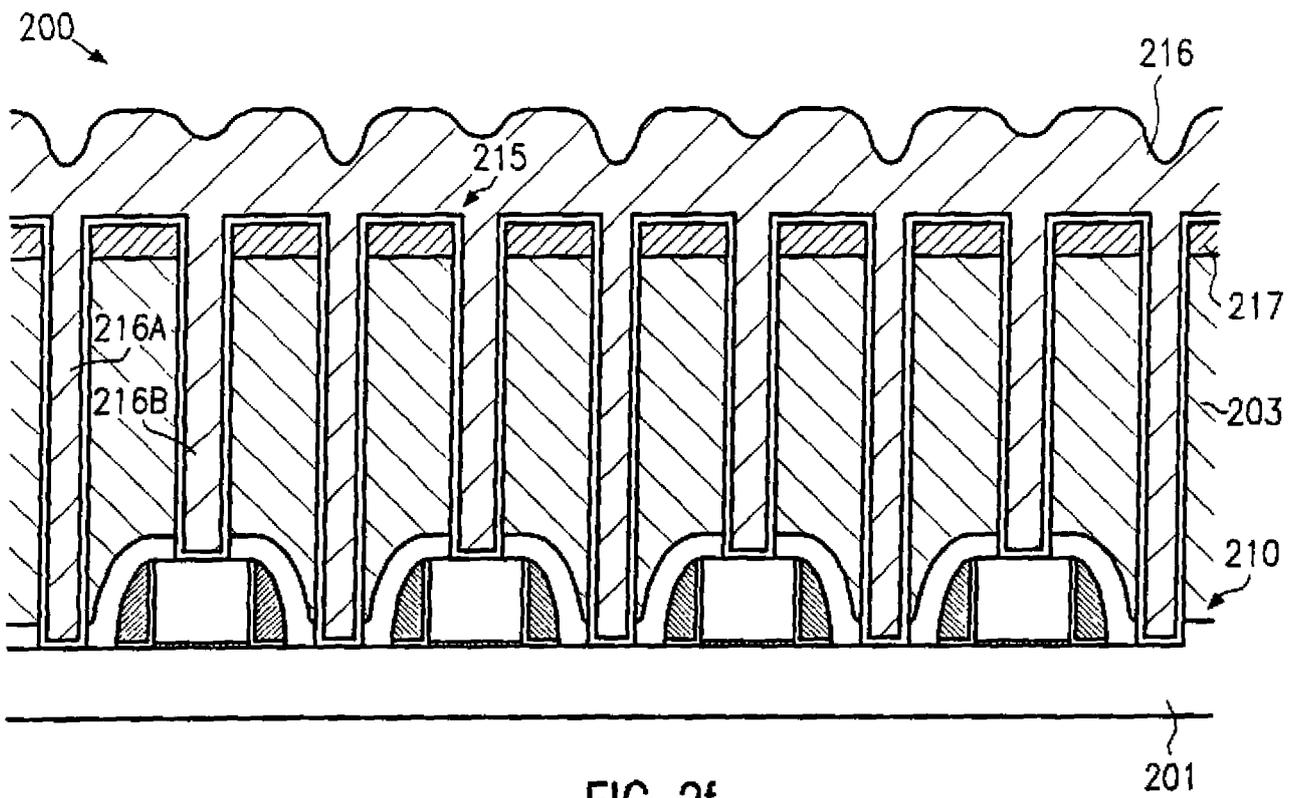


FIG. 2f

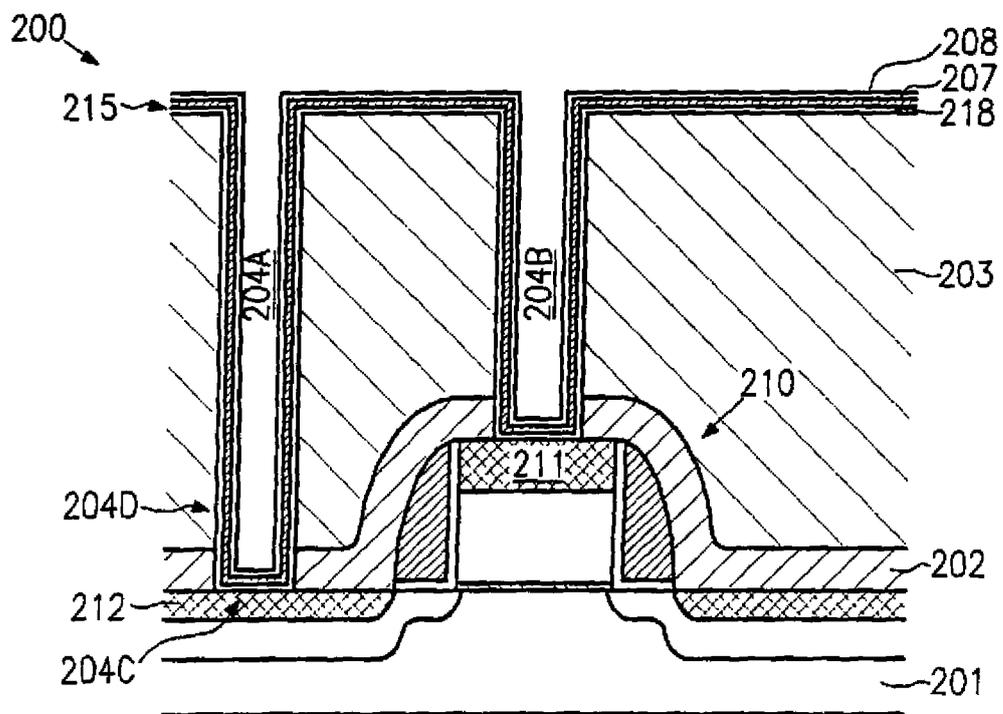


FIG. 2g