



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 32 213 B4 2008.10.09**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 32 213.1**
 (22) Anmeldetag: **03.07.2000**
 (43) Offenlegungstag: **31.05.2001**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **09.10.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/8242 (2006.01)**
H01L 27/108 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
99-26510 02.07.1999 KR
99-49503 09.11.1999 KR

(73) Patentinhaber:
Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.,
Kyongki-do, KR

(74) Vertreter:
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

(72) Erfinder:
Joo, Kwang Chul, Ichon, KR; Lee, Kee Jeung,
Seoul, KR; Han, Il Keoun, Ichon, KR

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 198 25 736 A1
US 59 10 880 A
US 57 86 248 A
US 54 38 012 A
US 53 62 632 A
EP 08 74 393 A2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Kondensators für ein Halbleiterspeicherbauelement**

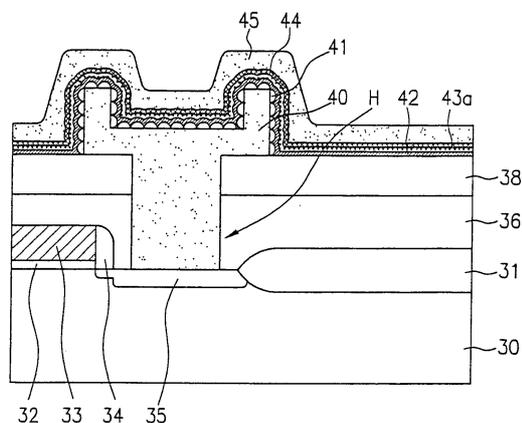
(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Kondensators auf einem Halbleitersubstrat mit den folgenden Schritten:

Auf dem Halbleitersubstrat (30) wird eine untere Elektrode (40) ausgebildet;

die Oberfläche der unteren Elektrode (40) wird nitriert, und zwar innerhalb einer Reaktionskammer, die ein NH_3 - oder N_2/H_2 -Plasmagas enthält und auf einer Temperatur von 200 bis 700°C gehalten wird, um die Bildung einer natürlichen Oxidschicht auf deren Oberfläche zu verhindern;

als dielektrische Schicht wird auf der Oberseite der unteren Elektrode (40) eine Ta_2O_5 -Schicht (43) ausgebildet; nach einer Wärmebehandlung der Ta_2O_5 -Schicht wird die Ta_2O_5 -Schicht (43) in einem weiteren Wärmebehandlungsschritt kristallisiert;

auf der Oberseite der Ta_2O_5 -Schicht (43) wird in einer Reaktionskammer, die ein Plasmagas mit Stickstoff enthält und auf einer Temperatur von 200 bis 400°C gehalten wird, eine Siliziumnitridschicht (44) ausgebildet; und auf der Oberseite der Siliziumnitridschicht (44) wird eine obere Elektrode (45) ausgebildet, wobei der Schritt zur Nitrierung der Oberfläche der unteren...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Kondensators bzw. einer Kapazität für ein Halbleiterspeicherbauelement und betrifft insbesondere ein Verfahren zur Herstellung eines Kondensators für ein Halbleiterspeicherbauelement mit einer Sperrschicht, die die Eigenschaft einer hervorragenden Stufenabdeckung bzw. -bedeckung zwischen einer dielektrischen Schicht und einer oberen Elektrode aufweist.

[0002] Weil die Anzahl von Speicherzellen, aus denen ein DRAM-Halbleiterbauelement besteht, in jüngster Zeit erhöht worden ist, nimmt der Flächenbedarf jeder Speicherzelle allmählich ab. Mittlerweile erfordern Kondensatoren, die in den jeweiligen Speicherzellen ausgebildet sind, eine ausreichende Kapazität, damit die gespeicherten Daten präzise ausgelesen werden können. Folglich erfordert gegenwärtig ein DRAM-Halbleiterbauelement Speicherzellen, bei denen die Kondensatoren eine größere Kapazität aufweisen und gleichzeitig einen geringeren Flächenbedarf haben. Man kann die Kapazität eines Kondensators dadurch vergrößern, dass man einen Isolator mit einer großen Dielektrizitätskonstanten als dielektrische Schicht verwendet oder dass man die Oberfläche bzw. den Oberflächeninhalt einer unteren Elektrode vergrößert. In einem hochintegrierten DRAM-Halbleiterbauelement wird nun als Dielektrikum eine Ta₂O₅-Schicht verwendet, die eine größere Dielektrizitätskonstante aufweist als ein Nitridoxid (NO), um so eine untere Elektrode mit einer dreidimensionalen Struktur auszubilden.

[0003] [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsansicht, die einen der Anmelderin bekannten Kondensator für ein Halbleiterspeicherbauelement zeigt. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist, ist eine Gateelektrode **13** mit einer Gateisolationschicht **12** an deren Unterseite bzw. unterem Abschnitt mit Hilfe eines bekannten Verfahrens auf dem oberen Teil bzw. der Oberseite eines Halbleitersubstrats **10** ausgebildet, wo eine Feldoxidschicht **11** an einem vorbestimmten Abschnitt ausgebildet ist. Eine Übergangszone **14** ist auf dem Halbleitersubstrat **10** zu beiden Seiten der Gateelektrode **13** ausgebildet, um so einen MOS-Transistor auszubilden. Eine erste Zwischenisolationsschicht **16** und eine zweite Zwischenisolationsschicht **18** sind auf dem oberen Teil des Halbleitersubstrats **10** ausgebildet, worin der MOS-Transistor ausgebildet ist. Ein Speicherknoten-Kontaktloch **h** ist in der ersten und zweiten Zwischenisolationsschicht **16**, **18** ausgebildet, so dass die Übergangszone **14** freigelegt ist. Eine zylinderförmige untere Elektrode **20** ist mit Hilfe eines bekannten Verfahrens in dem Speicherknoten-Kontaktloch **h** ausgebildet, um die freigelegte Übergangszone **14** zu kontaktieren. Eine HSG-Schicht **21** (Schicht mit hemisphärischem Korn bzw. hemi-spherical grain) ist auf einer Oberfläche der unteren Elektrode **20** ausge-

bildet, um die Oberfläche bzw. den Oberflächeninhalt der unteren Elektrode weiter zu vergrößern. Auf dem oberen Teil der unteren Elektrode **20**, wo die HSG-Schicht **21** darauf ausgebildet ist, wird eine Ta₂O₅-Schicht **22** abgeschieden. Die Ta₂O₅-Schicht **22** kann mit Hilfe eines PECVD-Verfahrens (plasmaunterstützte Abscheidung aus der chemischen Dampfphase; Plasma enhanced chemical vapor deposition) oder eines LPCVD-Verfahrens (Abscheidung aus der chemischen Dampfphase bei niedrigem Druck; low Pressure chemical vapor deposition) ausgebildet werden. In diesem Stadium hat das Ta₂O₅, das mit Hilfe eines PECVD-Verfahrens abgeschieden wird, den Vorteil einer hervorragenden Schichtqualität, jedoch den Nachteil einer bescheidenen Stufenabdeckungsfähigkeit. Deshalb ist üblicherweise die Ta₂O₅-Schicht **22** mit Hilfe des LPCVD-Verfahrens hergestellt worden, um eine gute Stufenabdeckungsfähigkeit aufzuweisen. Im Anschluss wird die Ta₂O₅-Schicht **22** nach einem ausgewählten Wärmebehandlungsverfahren kristallisiert. Eine Titanitridschicht (TiN) **23** dient als leitende Sperrschicht und ist auf dem oberen Teil der Ta₂O₅-Schicht **22** abgeschieden. Die TiN-Schicht **22** wird mit Hilfe des LPCVD-Verfahrens oder eines Sputterverfahrens ausgebildet. Eine obere Elektrode **24**, die aus einer dotierten Polysiliziumschicht hergestellt ist, ist auf der Oberseite der TiN-Schicht ausgebildet.

[0004] Ein Kondensator, der eine solche Ta₂O₅-Schicht als Dielektrikum verwendet, hat jedoch die folgenden Nachteile.

[0005] Zunächst wird eine Variation im Mischungsverhältnis von Ta und O hervorgerufen, weil die Ta₂O₅-Schicht **23** normalerweise eine instabile Stöchiometrie aufweist. Als Folge werden in einer dünnen Schicht Ta-Substitutionsatome erzeugt, das heißt Gitterfehlstellenatome. Weil es sich bei diesen Gitterfehlstellenatomen um Sauerstofffehlstellen handelt, wird ein Leckstrom hervorgerufen. Die Menge an Gitterfehlstellenatomen kann kontrolliert werden, was von der Menge und der Bindungsstärke der Bestandteile bzw. Verbindungen in der Ta₂O₅-Schicht abhängt; es ist jedoch schwierig, diese vollständig zu eliminieren. Um die instabile Stöchiometrie der Ta₂O₅-Schicht zu stabilisieren, wird die Ta₂O₅-Schicht oxidiert, um so die darin befindlichen Ta-Substitutionsatome zu entfernen. Wenn jedoch die Ta₂O₅-Schicht oxidiert wird, um das Auftreten eines Leckstroms zu verhindern, werden jedoch die folgenden Probleme hervorgerufen. Die Ta₂O₅-Schicht weist eine große Reaktivität mit der unteren Elektrode, die aus einer Polysiliziumschicht ausgebildet ist, auf. Bei einem Verfahrensschritt zur Oxidation der Ta-Substitutionsatome entsteht deshalb eine natürliche Oxidschicht mit einer kleinen Dielektrizitätskonstante zwischen der Ta₂O₅-Schicht und der unteren Elektrode. Ausserdem diffundiert Sauerstoff zwi-

schen der Ta₂O₅-Schicht und der unteren Elektrode, so dass die Homogenität der Grenzschicht verschlechtert wird.

[0006] Ausserdem werden Verunreinigungen, beispielsweise Kohlenstoffatome (C), Kohlenstoffverbindungen (CH₄, C₂H₄) und H₂O, innerhalb der Ta₂O₅-Schicht auf Grund einer Reaktion von organischen Substanzen, beispielsweise von Ta(OC₂H₅)₅, die als Vorprodukt verwendet wird, und O₂- (oder N₂O-)Gas erzeugt. Diese Verunreinigungen erhöhen den Leckstrom des Kondensators und verschlechtern die dielektrischen Eigenschaften innerhalb der Ta₂O₅-Schicht. Deshalb ist es schwierig, einen Kondensator mit großer Kapazität herzustellen.

[0007] Unterdessen hat eine TiN-Schicht **23**, die auch als leitende Sperrschicht zwischen der oberen Elektrode **24** und der Ta₂O₅-Schicht **22** dient, die folgenden Nachteile.

[0008] Zunächst werden die Probleme beschrieben für den Fall, dass eine TiN-Schicht **23**, die als leitende Sperrschicht dient, mit Hilfe des LPCVD-Verfahrens hergestellt wird. Als Quellgas für eine TiN-Schicht, die mit Hilfe eines LPCVD-Verfahrens hergestellt wird, wird fair gewöhnlich TiCl₄-Gas und NH₃-Gas, verwendet. In diesem Stadium des Herstellungsverfahrens hat das TiCl₄-Gas die Eigenschaft, dass es bei einer Temperatur oberhalb von etwa 600°C zerfällt bzw. dissoziiert. Deshalb wird die TiN-Schicht gegenwärtig bei viel höheren Temperaturen als 600°C ausgebildet, damit man die Cl-Dichte darin ohne weiteres kontrollieren kann. Mit der Ausbildung einer solchen TiN-Schicht geht jedoch ein Verfahrensschritt bei hoher Temperatur einher, so dass eine gegenseitige Diffusion von Atomen hervorgerufen wird, die die Ta₂O₅-Schicht **22** und die untere Elektrode **20** ausbilden. Außerdem ist in einer Reaktionskammer auf Grund von NH₄-Gas, das eine hohe Reaktivität aufweist, eine Gasphasenreaktion aktiv, so dass eine große Menge an Partikeln bzw. Teilchen innerhalb der Ta₂O₅-Schicht oder auf deren Oberfläche erzeugt wird. Als Folge wird die Homogenität der dielektrischen Schicht verschlechtert.

[0009] Wenn die TiN-Schicht ausgebildet wird, ist es außerdem schwierig, die Menge an Cl innerhalb der TiN-Schicht zu kontrollieren. Folglich verbleibt eine große Menge an Cl innerhalb der TiN-Schicht. Eine TiN-Schicht, in der eine große Menge an Cl verbleibt, kann jedoch kaum als leitende Sperrschicht dienen, so dass in dem Kondensator ein Leckstrom hervorgerufen wird.

[0010] Weil eine TiN-Schicht **23**, die mit Hilfe eines Sputterverfahrens hergestellt wird, eine schlechte Stufenabdeckungsfähigkeit aufweist, das heißt also Abstufungen auf dem Halbleiter vergleichsweise schlecht abdeckt bzw. überdeckt werden, ist es

schwierig, eine TiN-Schicht auf der Oberseite der Ta₂O₅-Schicht **22** mit einer Dicke von 20 bis 40 nm abzuscheiden. Folglich bilden sich Löcher (voids) zwischen den Körnern der HSG-Schicht **21** aus, so dass die Eigenschaften des Kondensators verschlechtert werden.

[0011] Außerdem reagiert die TiN-Schicht **23** und Ta₂O₅-Schicht **22** bei einer Temperatur von 687 K (414°C) wie folgt:



[0012] Das bedeutet, dass in dem Temperaturbereich von 687 K die TiN-Schicht **23** und die Ta₂O₅-Schicht **24** reagieren, so dass unerwünschte dielektrische TiO₂-Verbindungen (nicht gezeigt) an der Grenzschicht zwischen der TiN-Schicht und der Ta₂O₅-Schicht **22** erzeugt werden. Diese dielektrischen TiO₂-Substanzen vergrößern die Dicke der dielektrischen Schicht, so dass die Kapazität verschlechtert wird. Außerdem hat das TiO₂ selbst die Eigenschaft, dass ein großer Leckstrom auftritt, so dass der Leckstrom der dielektrischen Schicht vergrößert wird.

[0013] Die EP 0 874 393 A2 beschreibt ein Verfahren zum Ausbilden integrierter Schaltungskapazitäten mit verbesserten Elektroden und dielektrischen Schichtcharakteristiken. Die DE 198 25 736 A1 beschreibt ein Verfahren zum Bilden eines Kondensators einer Halbleitervorrichtung. Die US 5,362,632 A beschreibt ein Barriereverfahren für Ta₂O₅-Kondensatoren. Die US 5,438,012 A beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Kapazitätselementen. Die US 5,910,880 A beschreibt Halbleiterschaltungskomponenten und Kondensatoren.

[0014] Die US 5,786,248 A beschreibt ein Herstellungsverfahren zum Ausbilden eines Kondensators mit einer Ta₂O₅-kapazitätsdielektrischen Schicht, wobei auf dem Halbleitersubstrat eine untere Elektrode ausgebildet wird; wobei die Oberfläche der unteren Elektrode nitriert wird, und zwar innerhalb einer Reaktionskammer, die ein NH₃ oder N₂/H₂-Plasmagas enthält, um die Bildung einer natürlichen Oxidschicht auf deren Oberfläche zu verhindern; wobei als dielektrische Schicht auf der Oberseite der unteren Elektrode eine Ta₂O₅-Schicht ausgebildet und kristallisiert wird, wobei auf der Oberseite der Ta₂O₅-Schicht in einer Reaktionskammer, die ein Plasmagas mit Stickstoff enthält, eine Siliziumnitridschicht ausgebildet wird; und wobei auf der Oberseite der Siliziumnitridschicht eine obere Elektrode ausgebildet wird.

[0015] Aufgabe der Erfindung ist es ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Kondensators für ein Halbleiterspeicherbauelement bereitzustellen.

[0016] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren

nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der rückbezogenen Unteransprüche.

[0017] Vorteilhaft wird die Gleichmäßigkeit der dielektrischen Schicht verbessert, indem die Bildung einer natürlichen Oxidschicht zwischen einer unteren Elektrode und einer Ta₂O₅-Schicht unterbunden wird.

[0018] Vorteilhaft wird bei einem Kondensator für ein Halbleiterspeicherbauelement eine große Kapazität und ein kleiner Leckstrom gewährleistet.

[0019] Vorteilhaft wird eine leitende Sperrschicht mit einer guten Stufenabdeckungsfähigkeit ausgebildet.

[0020] Vorteilhaft wird ein Verfahren zum Herstellen eines Kondensators für ein Halbleiterbauelement bereitgestellt, mit den folgenden Schritten: auf einem Halbleitersubstrat wird eine untere Elektrode ausgebildet; die Oberfläche der unteren Elektrode wird in einer Reaktionskammer nitridbehandelt bzw. nitriert, die ein NH₃- oder N₂/H₂-Plasmagas enthält und auf einer Temperatur von etwa 200 bis 700°C gehalten wird, um so die Bildung einer natürlichen Oxidschicht auf deren Oberfläche zu verhindern; als dielektrische Schicht wird auf der Oberseite der unteren Elektrode eine Ta₂O₅-Schicht ausgebildet; nach deren Wärmebehandlung wird die Ta₂O₅-Schicht kristallisiert; auf der Oberseite der Ta₂O₅-Schicht wird in einer Reaktionskammer, die ein Plasmagas mit Stickstoff enthält und auf einer Temperatur von etwa 200 bis 400°C gehalten wird, eine Siliziumnitridschicht ausgebildet, die aus einer Siliziumnitridschicht besteht; und auf der Oberseite der Siliziumnitridschicht wird eine obere Elektrode ausgebildet, wobei der Schritt zur Nitridbehandlung bzw. Nitrierung der Oberfläche der unteren Elektrode, zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht, zur Wärmebehandlung und zur anschließenden Kristallisierung der Ta₂O₅-Schicht und zur Ausbildung der Siliziumnitridschicht in-situ und in derselben Reaktionskammer ausgeführt wird.

[0021] Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben werden. Es zeigen:

[0022] [Fig. 1](#) eine Querschnittsansicht eines der Anmelderin bekannten Kondensators für ein Halbleiterspeicherbauelement

[0023] [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2D](#) Querschnittsansichten, um ein Verfahren zur Herstellung eines Kondensators für ein Halbleiterbauelement gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu beschreiben;

[0024] [Fig. 3](#) eine Querschnittsansicht eines Kondensators für ein Halbleiterspeicherbauelement; und

[0025] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) Querschnittsansichten eines Kondensators für ein Halbleiterspeicherbauelement.

[0026] In den Figuren bezeichnen identische Bezugszeichen gleiche bzw. gleichwirkende Schichten bzw. Elemente.

Ausführungsform 1

[0027] Wie in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, ist eine Feldoxidschicht **31** mit Hilfe eines bekannten Verfahrens bei einem vorbestimmten Abschnitt eines Halbleitersubstrats **30** mit einer vorbestimmten Leitfähigkeit ausgebildet. Eine Gateelektrode **33** mit einer Gateisolationsschicht **32** an deren unterem Abschnitt bzw. Unterseite ist an einem vorbestimmten Abschnitt auf der Oberseite bzw. dem oberen Teil des Halbleitersubstrats **30** ausgebildet und eine Abstandsschicht **34** ist mit Hilfe eines bekannten Verfahrens an beiden Seitenwänden der Gateelektrode **33** ausgebildet. Eine Übergangszone **35** ist auf dem Halbleitersubstrat **30** an beiden Seiten der Gateelektroden **33** ausgebildet, um so einen MOS-Transistor auszubilden. Eine erste Zwischenisolationsschicht **36** und eine zweite Zwischenisolationsschicht **38** ist auf dem Halbleitersubstrat **30** ausgebildet, in welchem der MOS-Transistor ausgebildet ist. Anschließend wird die zweite und erste Zwischenisolationsschicht **38**, **36** strukturiert, so dass ein Abschnitt der Übergangszone **35** freigelegt ist, um so ein Speicherknoten-Kontaktloch H auszubilden. Eine untere Elektrode **40**, beispielsweise eine zylinderförmige Elektrode, wird ausgebildet, um die freigelegte Übergangszone **35** zu kontaktieren. Eine HSG-Schicht **41** (Schicht mit hemisphärischem Korn bzw. hemi-spherical grain) zum Vergrößern der Oberfläche bzw. des Oberflächeninhalts der unteren Elektrode **40** ist mit Hilfe eines bekannten Verfahrens auf der Oberfläche der unteren Elektrode **40** ausgebildet.

[0028] Um die Bildung einer natürlichen Oxidschicht mit kleiner Dielektrizitätskonstante bei einer Grenzfläche zwischen der unteren Elektrode **40** mit der HSG-Schicht **41** und einer dielektrischen Schicht, die später noch zu formen sein wird (nicht gezeigt), zu unterdrücken, wird anschließend die Oberfläche der unteren Elektrode **40** mit der HSG-Schicht **41** und die zweite Zwischenisolationsschicht **38** nitridbehandelt bzw. nitriert. Die Nitrid- bzw.

[0029] Nitrierbehandlung der Oberfläche wird in einer LPCVD-Kammer (Kammer zur Abscheidung aus der chemischen Dampfphase bei niedrigem Druck; low Pressure chemical vapor deposition) ausgeführt, die einen Plasmazustand eines NH₃-Gases oder eines N₂/H₂-Gases bei einer Temperatur von etwa 200 bis 700°C, vorzugsweise bei 300 bis 500°C, aufrecht erhält.

[0030] Wie in [Fig. 2B](#) gezeigt ist, wird als Dielektrikum auf der Oberfläche einer ersten Siliziumnitridschicht **42** eine Ta₂O₅-Schicht **43** ausgebildet. Die Ta₂O₅-Schicht der vorliegenden Erfindung wird mit Hilfe eines chemischen Gasphasenabscheidungsverfahrens ausgebildet, beispielsweise mit Hilfe eines LPCVD-Verfahrens, und ein organisches Material, wie beispielsweise Ta(OC₂H₅)₅ (Tantaläthylat), wird als Vorprodukt verwendet. Hierbei befindet sich die organische Substanz, beispielsweise Ta(OC₂H₅)₅, was bekannt ist, im flüssigen Zustand und wird deshalb der LPCVD-Kammer zugeführt, nachdem diese in den dampfförmigen Zustand überführt worden ist. Das bedeutet, dass die Menge des Vorprodukts im flüssigen Zustand unter Verwendung eines Durchflussreglers, beispielsweise eines Massenflussreglers (MFC), eingestellt wird und dieses dann in einem Verdampfer, der eine Öffnung oder eine Düse aufweist, verdampft oder in einer Röhre, die mit der Kammer verbunden ist, so dass das Vorprodukt die Form von chemischem Ta-Dampf annimmt. Danach wird der chemische Ta-Dampf der LPCVD-Kammer vorzugsweise mit einer Strömungsrate von etwa 80 bis 100 mg/Minute zugeführt. In diesem Stadium wird die Temperatur des Verdampfers und der mit der Kammer verbundenen Röhre, bei der es sich um die Strömungsstrecke des Ta-Dampfes handelt, vorzugsweise auf etwa 150 bis 200°C gehalten, um so eine Kondensation des chemischen Ta-Dampfes zu verhindern. Der chemische Ta-Dampf, der nach diesem Verfahren der LPCVD-Kammer zugeführt worden ist, und überschüssiges O₂-Gas und Reaktionsgas reagieren miteinander, um so eine amorphe Ta₂O₅-Schicht **43** mit einer Dicke von etwa 10 bis 15 nm auszubilden. In diesem Stadium wird zur Minimierung der Teilchen- bzw. Körnchenerzeugung der chemische Ta-Dampf und das O₂-Gas so geregelt, dass die Gasphasenreaktion innerhalb der Kammer gehemmt wird, so dass die Gase nur auf der Waferoberfläche miteinander reagieren. Dabei kann die Gasphasenreaktion mit Hilfe der Strömungsraten der Reaktionsgase und des Drucks innerhalb der Kammer kontrolliert werden. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird das O₂-Gas und das Reaktionsgas der LPCVD-Kammer zugeführt und wird die Temperatur innerhalb der Reaktionskammer vorzugsweise auf etwa 300 bis 500°C gehalten, um so die Gasphasenreaktion zu unterdrücken. In diesem Stadium wird der Verfahrensschritt zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht und der Verfahrensschritt zur Nitrid- bzw. Nitrierbehandlung der Oberfläche der unteren Elektrode jeweils in-situ bzw. an Ort und Stelle ausgeführt, ohne den Vakuumzustand innerhalb der LPCVD-Kammer aufzubrechen. Folglich werden kein zusätzliches natürliches Oxid und auch keine Teilchen erzeugt.

[0031] Um die üblicherweise stets zurückbleibenden Ta-Substitutionsatome innerhalb der Ta₂O₅-Schicht **43** zu beseitigen sowie ungesättigte

bzw. ungebundene Kohlenstoffbestandteile, wird die Ta₂O₅-Schicht **43** anschließend zunächst in einer Atmosphäre von O₃ (Ozon) oder mit UV-Strahlung und Ozon (UV-O₃) bei einer Temperatur von etwa 300 bis 500°C getempert. Um die Ta₂O₅-Schicht **43** zu kristallisieren und gleichzeitig verbleibende Kohlenstoffverbindungen beim Tempern mit niedriger Temperatur zu entfernen, wird dann bei hoher Temperatur bzw. rasch in einer Atmosphäre mit einem N₂O-Gas, O₂-Gas oder N₂-Gas und bei einer Temperatur von etwa 700 bis 950°C für etwa 5 bis 30 Minuten getempert. In diesem Stadium wird auch der Temper-Verfahrensschritt mit der Oberflächen-Nitridbehandlung der unteren Elektrode und der Verfahrensschritt zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht in-situ ausgeführt.

[0032] Wie in [Fig. 2C](#) gezeigt ist, wird anschließend eine zweite Siliziumnitridschicht **44** auf der Oberseite bzw. dem oberen Teil der Ta₂O₅-Schicht **43** abgeschieden. Die zweite Siliziumnitridschicht **44** wird durch Nitrid- bzw. Nitrierbehandlung unter Verwendung eines Plasmas, durch Nitrierbehandlung unter Verwendung eines Ofens oder eines RTN-Verfahrens (rasche thermische Nitrierung bzw. rapid thermal nitridation) gemäß einem in-situ-Verfahren oder einem Cluster-Verfahren ausgebildet.

[0033] Erstes wird die Nitrierbehandlung unter Verwendung eines Plasmas in einer Atmosphäre mit NH₃-Gas, N₂/O₂-Gas oder N₂O-Gas ausgeführt, wozu auch der Stickstoff auf eine Temperatur von etwa 200 bis 400°C gehalten wird. Währenddessen wird die Nitrierbehandlung unter Verwendung des Ofens und das RTN-Verfahren in einer Atmosphäre mit NH₃-Gas, N₂/O₂-Gas oder N₂O-Gas bei einer Temperatur von etwa 750 bis 950°C ausgeführt. Wenn die zweite Siliziumnitridschicht **44** mit Hilfe der Nitrierbehandlung unter Verwendung von Plasma ausgebildet wird, wird dieses Verfahren dabei in-situ mit dem Verfahrensschritt zur Oberflächen-Nitrierbehandlung der unteren Elektrode, dem Verfahrensschritt zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht und dem Verfahrensschritt zum Tempern der Ta₂O₅-Schicht ausgeführt.

[0034] Wie in [Fig. 2D](#) gezeigt ist, wird als Nächstes eine obere Elektrode **45** auf dem oberen Teil der zweiten Siliziumnitridschicht **44** ausgebildet. Die obere Elektrode **45** kann aus einer dotierten Polysiliziumschicht und einer Metallschicht ausgebildet werden, beispielsweise aus TiN, TaN, W, WN, WSi, Ru, RuO₂, Ir, IrO₂ oder Pt. Wenn als obere Elektrode **45** eine dotierte Polysiliziumschicht verwendet wird, wird diese bevorzugt mit einer Dicke von 100 bis 150 nm abgeschieden. Wenn die Metallschicht als obere Elektrode **45** verwendet wird, wird diese vorzugsweise mit einer Dicke von 10 bis 60 nm ausgebildet. Außerdem kann die Polysiliziumschicht mit Hilfe eines CVD-Verfahrens ausgebildet werden und kann die Metallschicht mit Hilfe eines der folgenden Verfahren ausgebildet werden: LPCVD, PECVD, RF-Magnetsput-

tern.

[0035] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird die Ta₂O₅-Schicht **43** in-situ und vor deren Ausbildung nitriert bzw. nitridbehandelt. Als Folge wird bei einem Oxidations-Verfahrensschritt zum Entfernen von Ta-Substitutionsatomen und Verunreinigungen eine Oxidreaktion der unteren Elektrode **40** und der Ta₂O₅-Schicht **43** unterdrückt, um so die Bewegung bzw. das Diffundieren des Sauerstoffs zu verringern. Folglich kann die äquivalente Dicke der dielektrischen Schicht reduziert werden und kann eine Homogenität der Grenzfläche zwischen der unteren Elektrode **40** und der Ta₂O₅-Schicht **43** gewährleistet werden.

[0036] Außerdem werden der Verfahrensschritt zur Oberflächen-Nitrierbehandlung der unteren Elektrode, der Verfahrensschritt zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht, der thermische Verfahrensschritt bzw. Wärmebehandlungsschritt der Ta₂O₅-Schicht und der Verfahrensschritt zur Ausbildung der Siliziumnitridschicht insitu ausgeführt werden, um so das Auftreten einer zusätzlichen natürlichen Oxidation und die Bildung von Partikeln bzw. Teilchen zu verhindern.

[0037] Außerdem wird die Siliziumnitridschicht **44** durch Plasmabehandlung unter einer Atmosphäre mit NH₃-Gas, N₂/O₂-Gas oder N₂O-Gas, durch Nitrierbehandlung mittels eines Ofens oder mit Hilfe des RTN-Verfahrens ausgebildet und kann deshalb homogen und mit einer Dicke von etwa 1 bis 2 nm auf der Oberseite bzw. dem oberen Teil der Ta₂O₅-Schicht abgeschieden werden. Folglich ist die Stufenabdeckungsfähigkeit der bzw. die Fähigkeit zum Bedecken von Stufen besser.

[0038] Schließlich wird kein TiCl₄-Quellgas zur Ausbildung einer TiN-Schicht benötigt und deshalb wird die Kontamination innerhalb der Kammer und der Ta₂O₅-Schicht **43** durch Cl-Ionen verhindert, so dass das Auftreten eines Leckstroms verhindert wird. Weil die Sperrschicht, die aus der Siliziumnitridschicht besteht, mit der Ta₂O₅-Schicht bei einer vorbestimmten Temperatur reagiert hat, besteht außerdem nicht mehr das Problem, dass ein Leckstrom auf Grund von Reaktionsnebenprodukten auftritt, und auch nicht das Problem einer Zunahme der tatsächlichen Dicke bzw. Schichtdicke.

[0039] Außerdem wird die Ta₂O₅-Schicht mit einer größeren Dielektrizitätskonstanten als dielektrische Schicht verwendet, so dass man einen Kondensator mit größerer Kapazität erhält.

Ausführungsform 2

[0040] Jeder Teil der vorliegenden Ausführungsform kann im Wesentlichen gleich zu dem der ersten Ausführungsform sein, während nur die Struktur der un-

teren Elektrode verschieden ist.

[0041] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, wird gemäß der vorliegenden Ausführungsform eine untere Elektrode **400** als Säulenstruktur ausgebildet. Obwohl der Oberflächeninhalt der unteren Elektrode **400** mit Säulen- bzw. Quaderstruktur kleiner ist als der einer unteren Elektrode mit zylinderförmiger Struktur, wird die Ta₂O₅-Schicht mit einer guten dielektrischen Konstanten als dielektrische Schicht verwendet, um so einen gewünschten Kondensator zu erhalten.

Ausführungsform 3

[0042] Die vorliegende Ausführungsform kann gleich der ersten und zweiten Ausführungsform sein, nur deren Herstellungsverfahren ist verschieden. Sämtliche Verfahrensschritte bis zur Ausbildung der ersten Siliziumnitridschicht **42** entsprechen den Verfahrensschritten bei der ersten und zweiten Ausführungsform, so dass bei der vorliegenden Ausführungsform nur das Herstellungsverfahren beschrieben wird.

[0043] Wie in [Fig. 4A](#) gezeigt ist, wird auf dem oberen Teil der ersten Siliziumoxidschicht **42** eine erste Ta₂O₅-Schicht **43-1** mit einer Dicke von etwa 5,3 bis 5,7 nm bei einer Temperatur von etwa 400 bis 450°C ausgebildet. Anschließend wird die erste Ta₂O₅-Schicht **43-1** in-situ in einem Plasmazustand mit N₂O oder O₂ getempert, um Ta-Substitutionsmoleküle und darin befindliche Kohlenstoffverbindungen zu beseitigen. Oder die Ta-Substitutionsmoleküle und darin befindliche Kohlenstoffverbindungen innerhalb der ersten Ta₂O₅-Schicht **43-1** können auch ex-situ unter Verwendung von UV-Licht und/oder Ozon (O₃) beseitigt werden. Anschließend wird auf der Oberfläche der ersten getemperten Ta₂O₅-Schicht **43-1** eine zweite Ta₂O₅-Schicht **43-2** ausgebildet, wozu dieselben Methoden wie bei der Ausbildung der ersten Ta₂O₅-Schicht **43-1** verwendet werden.

[0044] Wie in [Fig. 4B](#) gezeigt ist, werden als Nächstes die zweite Ta₂O₅-Schicht **43-2** und die erste Ta₂O₅-Schicht **43-1** erneut getempert, um so die in diesen Schichten befindlichen Ta-Substitutionsmoleküle und Kohlenstoffverbindungen zu entfernen. Im Ergebnis wird aus der ersten Ta₂O₅-Schicht **43-1** und der zweiten Ta₂O₅-Schicht **43-2** auf Grund dieses Plasmatemperaturverfahrens jeweils eine einzelne Schicht.

[0045] Wie vorstehend ausführlich beschrieben worden ist, hat die vorliegende Erfindung die folgenden Effekte zur Folge.

[0046] Zunächst wird die Ta₂O₅-Schicht **43** vor deren Ausbildung in-situ nitriert bzw. nitridbehandelt. Deshalb wird bei einem Oxidations-Verfahrensschritt

zum Entfernen von Ta-Substitutionsatomen und Verunreinigungen die Oxidationsreaktion der unteren Elektrode **40** und der Ta₂O₅-Schicht **43** unterdrückt und die Bewegung bzw. Diffusion des Sauerstoffs reduziert. Folglich kann die äquivalente Dicke der dielektrischen Schicht dünner gemacht werden, um so eine Homogenität der Grenzfläche zwischen der unteren Elektrode **40** und der Ta₂O₅-Schicht **43** zu gewährleisten.

[0047] Darüber hinaus kann Nitrierung bzw. Nitridbehandlung der Oberfläche der unteren Elektrode, der Verfahrensschritt der Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht, der Wärmebehandlung der Ta₂O₅-Schicht und der Ausbildung der Siliziumnitridschicht in-situ ausgeführt werden, um so das Auftreten einer zusätzlichen natürlichen Oxidation und die Ausbildung von Teilchen bzw. Partikeln zu verhindern.

[0048] Weil die Siliziumnitridschicht als durch die Plasmabehandlung oder das RTN-Verfahren unter einer NH₃-, N₂/O₂- oder N₂O-Gasatmosphäre ausgebildet wird, kann die Siliziumnitridschicht homogen und mit einer Dicke von etwa 1 bis 2 nm (10 bis 20 Å) abgeschieden werden, obwohl auf dem oberen Teil der Ta₂O₅-Schicht eine Stufendifferenz bzw. Abstufung ausgebildet ist. Deshalb ist die Stufenabdeckungsfähigkeit der Siliziumnitridschicht bzw. deren Vermögen, Abstufungen, insbesondere auf der Oberfläche, zu bedecken, gemäß der Erfindung besser.

[0049] Weil zur Ausbildung der TiN-Schicht kein TiCl₄-Quellgas erforderlich ist, wird außerdem die Kontamination innerhalb der Kammer auf Grund von Cl-Ionen verhindert, um so das Auftreten eines Leckstroms zu unterbinden. Weil die Reaktion zwischen der Sperrschicht, die aus der Siliziumnitridschicht hergestellt ist, und der Ta₂O₅-Schicht nicht bei einer ausgewählten Temperatur erzeugt bzw. ausgelöst wird, wird gemäß der Erfindung kein Leckstrom auf Grund von Reaktionsnebenprodukten hervorgerufen und werden auch keine Reaktionsnebenprodukte erzeugt. Als Folge wird die effektive Dicke der Ta₂O₅-Schicht nicht vergrößert.

[0050] Vorteilhaft wird die Ta₂O₅-Schicht gleichzeitig mit der Ausbildung der Siliziumnitridschicht kristallisiert, so dass das Herstellungsverfahren insgesamt vereinfacht werden kann.

[0051] Außerdem wird als dielektrische Schicht die Ta₂O₅-Schicht verwendet, die eine große Dielektrizitätskonstante aufweist, so dass man einen Kondensator mit großer Kapazität erzielen kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Kondensators auf einem Halbleitersubstrat mit den folgenden

Schritten:

Auf dem Halbleitersubstrat (**30**) wird eine untere Elektrode (**40**) ausgebildet;

die Oberfläche der unteren Elektrode (**40**) wird nitriert, und zwar innerhalb einer Reaktionskammer, die ein NH₃- oder N₂/H₂-Plasmagas enthält und auf einer Temperatur von 200 bis 700°C gehalten wird, um die Bildung einer natürlichen Oxidschicht auf deren Oberfläche zu verhindern;

als dielektrische Schicht wird auf der Oberseite der unteren Elektrode (**40**) eine Ta₂O₅-Schicht (**43**) ausgebildet;

nach einer Wärmebehandlung der Ta₂O₅-Schicht wird die Ta₂O₅-Schicht (**43**) in einem weiteren Wärmebehandlungsschritt kristallisiert;

auf der Oberseite der Ta₂O₅-Schicht (**43**) wird in einer Reaktionskammer, die ein Plasmagas mit Stickstoff enthält und auf einer Temperatur von 200 bis 400°C gehalten wird, eine Siliziumnitridschicht (**44**) ausgebildet; und

auf der Oberseite der Siliziumnitridschicht (**44**) wird eine obere Elektrode (**45**) ausgebildet, wobei

der Schritt zur Nitrierung der Oberfläche der unteren Elektrode (**40**), zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht (**43**), zur Wärmebehandlung und anschließenden Kristallisierung der Ta₂O₅-Schicht (**43**) und zur Ausbildung der Siliziumnitridschicht (**44**) in-situ in derselben Reaktionskammer ausgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Ta₂O₅-Schicht (**43**) durch eine oberflächenchemische Reaktion von chemischem Ta-Dampf und O₂-Gas innerhalb einer CVD-Kammer ausgebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Ta₂O₅-Schicht (**43**) unter einer Atmosphäre mit O₃-Gas oder mit UV-Bestrahlung und O₃-Gas bei einer niedrigen Temperatur von 200 bis 400°C und bei einer hohen Temperatur von 750 bis 950°C wärmebehandelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Schritt zur Ausbildung der Ta₂O₅-Schicht (**43**) außerdem die folgenden Schritte umfasst: Es wird eine erste Ta₂O₅-Schicht ausgebildet; die erste Ta₂O₅-Schicht wird ein erstes Mal wärmebehandelt; auf der Oberseite der wärmebehandelten ersten Ta₂O₅-Schicht wird eine zweite Ta₂O₅-Schicht ausgebildet; und die zweite Ta₂O₅-Schicht wird ein zweites Mal wärmebehandelt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der erste oder zweite Wärmebehandlungsschritt eine N₂O- oder O₂-Plasmabehandlung oder eine kombinierte UV-Bestrahlungs- und O₃-Behandlung ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

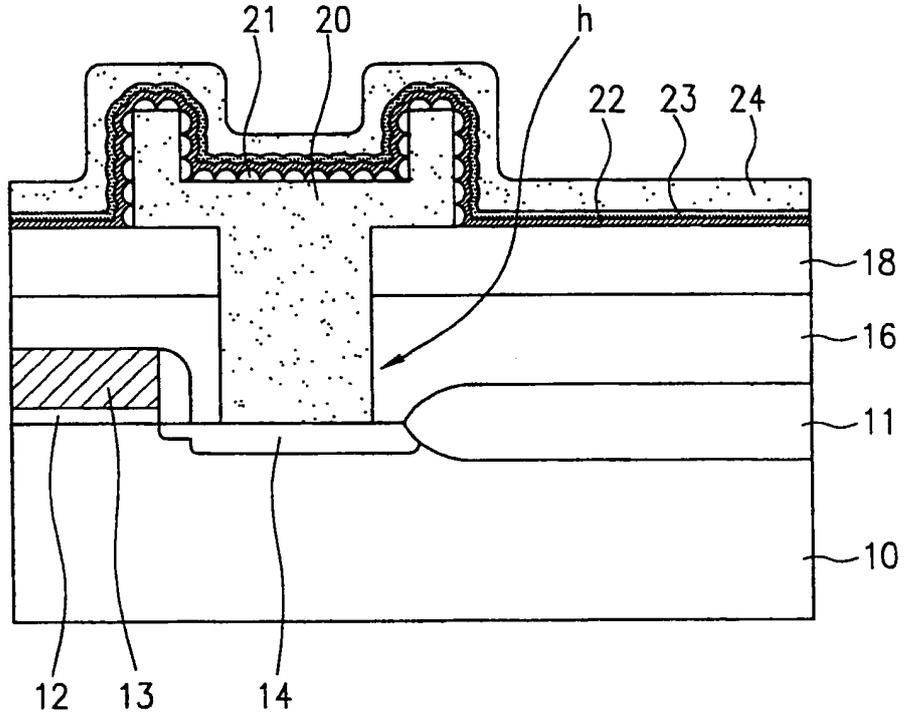


FIG.2A

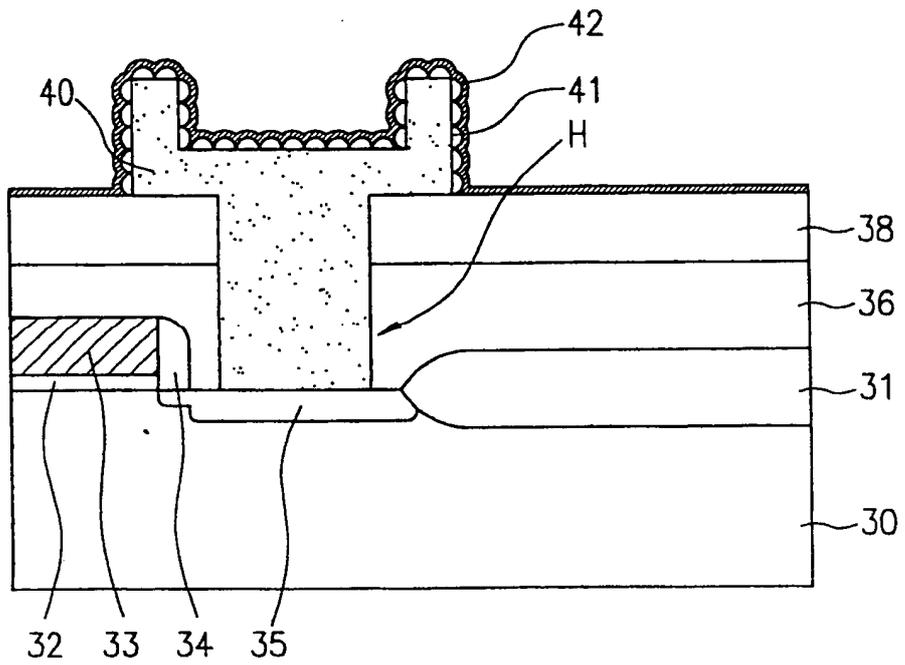


FIG.2B

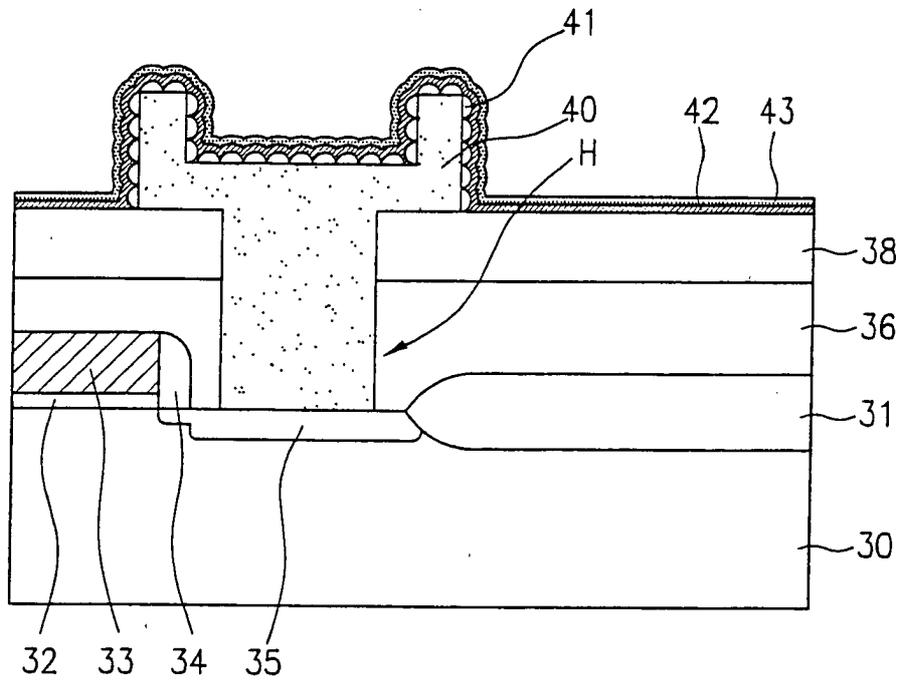


FIG.2C

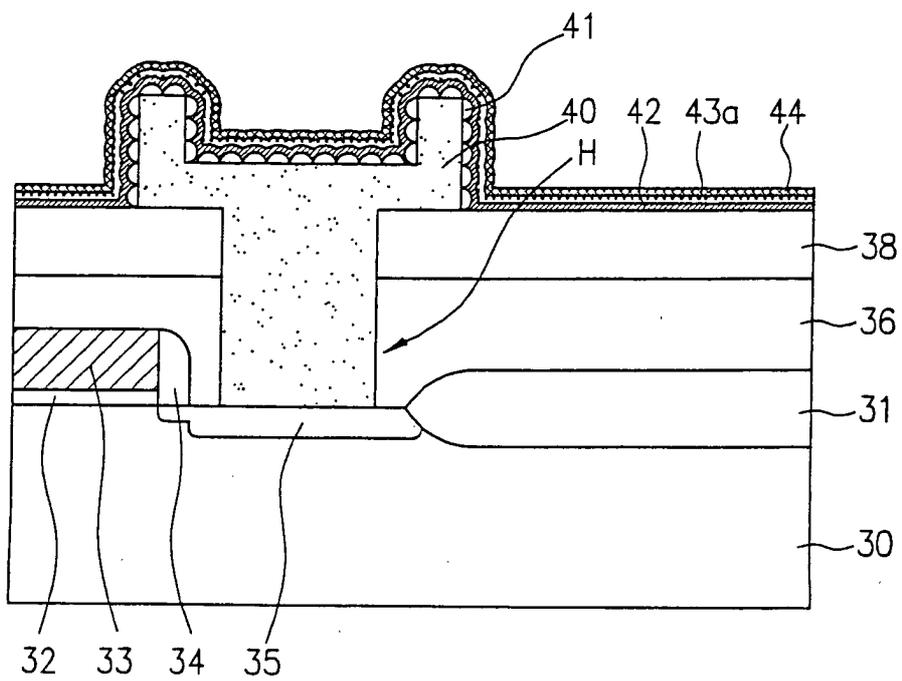


FIG.2D

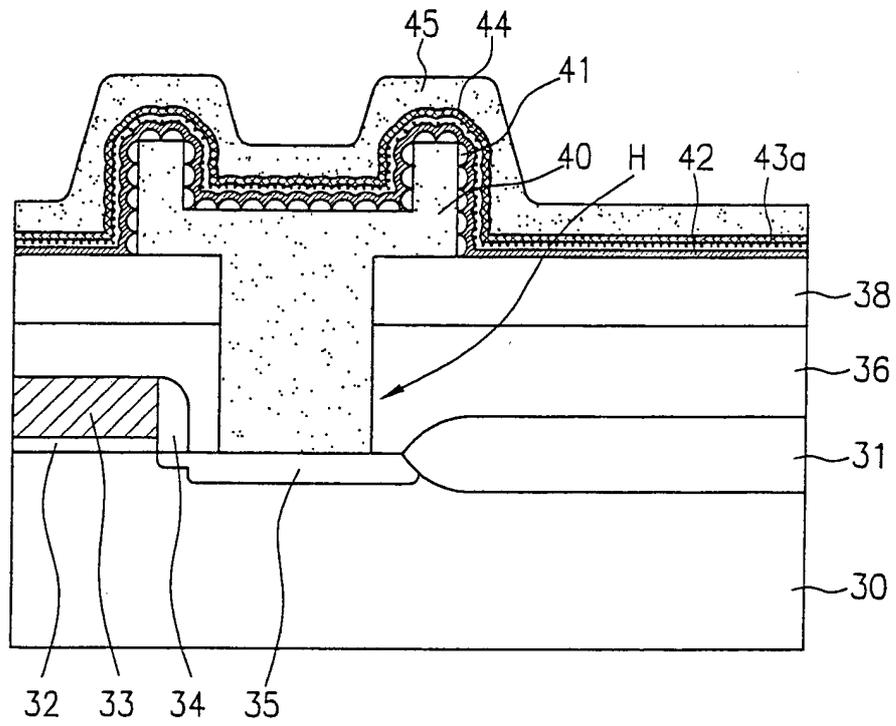


FIG.3

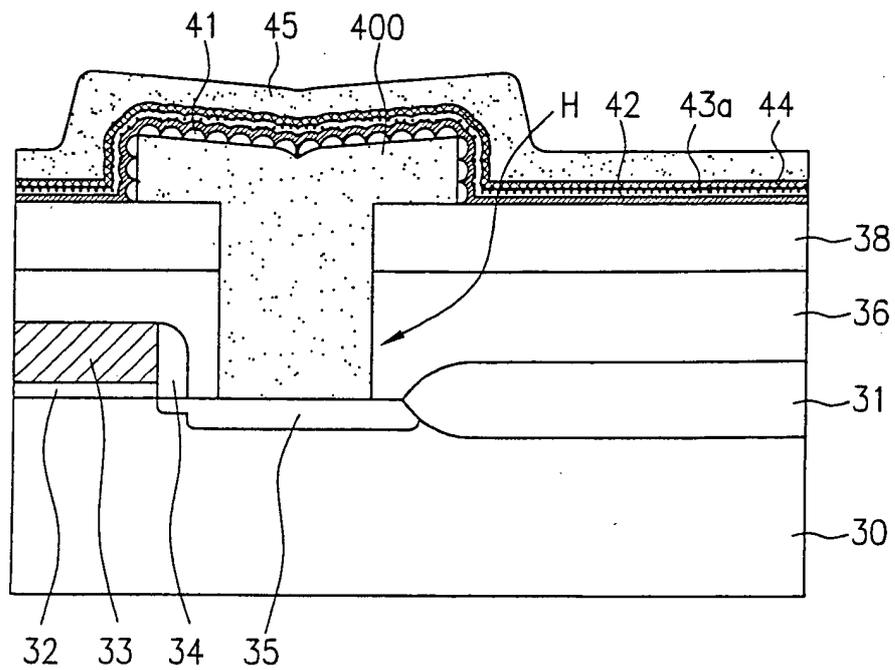


FIG.4A

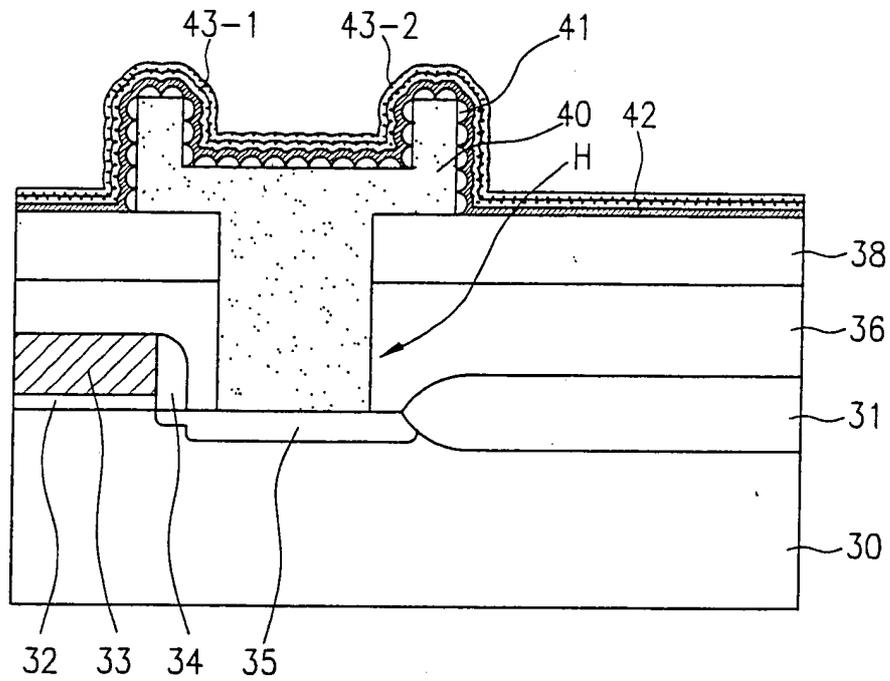


FIG.4B

