(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 196 03 288 B4** 2005.05.25

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **196 03 288.1**
(22) Anmeldetag: **30.01.1996**
(43) Offenlegungstag: **01.08.1996**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **25.05.2005**

(51) Int Cl.[7]: **H01L 29/92**
H01L 27/08, H01L 27/06, H01L 27/108, H01L 27/105

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
P 7-012131 30.01.1995 JP
P 8-002475 10.01.1996 JP

(71) Patentinhaber:
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

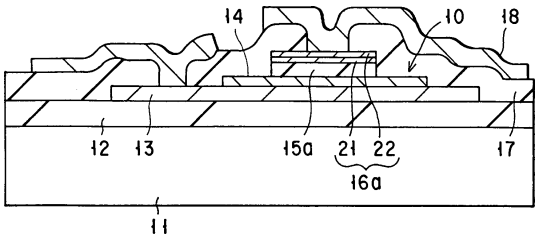
(74) Vertreter:
Henkel, Feiler & Hänzel, 81675 München

(72) Erfinder:
Nishihori, Kazuya, Tokio/Tokyo, JP; Kitaura, Yoshiaki, Kawasaki, Kanagawa, JP; Tanabe, Yoshikazu, Kawasaki, Kanagawa, JP; Aoyama, Tomonori, Kawasaki, Kanagawa, JP; Suguro, Kyoichi, Yokohama, JP; Okuwada, Kumi, Kawasaki, Kanagawa, JP; Komatsu, Shuichi, Yokohama, JP; Abe, Kazuhide, Kawasaki, Kanagawa, JP

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 36 31 371 A1
US 51 87 557 A
EP 06 98 918 A1
JP 06-2 75 776 A
US-Vortrag: KWON, K.W. u.a.: Ta2O5 Capacitors for 1 Gbit DRAM and Beyond; vorgetragen bei dem "International Electron Devices meeting 1994", San Francisco, 11.-14. Dez. 1994; veröff.: IEDM Technical Digest 1994, S. 835-838;

(54) Bezeichnung: **Halbleitervorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Halbleitervorrichtung, umfassend einen Kondensator (10, 30, 50) mit einem dieelektrischen Film (15a, 34, 54) aus einem Metalloxid, bei dem es sich um eine dielektrische Perovskitsubstanz handelt, und ersten und zweiten Elektroden (14, 16a, 32, 35a, 53, 55), zwischen denen sich der dielektrische Film befindet, wobei die erste Elektrode eine erste Kontaktfläche aus Wolframnitrid der Formel WN_x, worin der Koeffizient x im Bereich von 0,05–0,5 liegt, aufweist, die mit dem dielektrischen Film in Kontakt steht.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung mit einem Kondensator, der von einer dielektrischen Perovskitsubstanz, Gebrauch macht.

Stand der Technik

[0002] Integrierte Schaltungen (ICs), die in den vergangenen Jahren rasche Entwicklungen durchgemacht haben, umfassen Transistoren und Kondensatoren in integraler Anordnung auf einem Halbleiterchip. Einer der Faktoren, welche die Kosten eines IC bestimmen, ist die Größe der Halbleiterchips. Mit sinkender Größe des Chips sinken auch die Kosten eines ICs. Um nun den Chip kleiner zu machen, ist es wichtig, die bei einem Halbleiterchip von elementaren Anordnungen eingenommene Fläche zu verkleinern. Von den elementaren Anordnungen bzw. Elementbausteinen besitzen Kondensatoren relativ zur gesamten Chipfläche den größten Flächenbedarf. Folglich läßt sich die Chipgröße durch Verkleinern der Fläche jeden Kondensators stark verringern.

[0003] Im allgemeinen bedient man sich einer MIM (Metall-Isolator-Metall)-Kondensatorstruktur, bei welcher zwischen dünnen Elektrodenfilmen ein dünner dielektrischer Film liegt, bei einem in einem IC zu verwenden Kondensator, um die Vorrichtung zu miniaturisieren und dergleichen. Die Kapazität C eines MIM-Kondensators wird durch $C = (\epsilon_r \times \epsilon_0 \times S)/d$,
worin bedeuten:
ϵ_r die relative Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Films;
ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante von Vakuum;
S die Elektrodenfläche und
d die Dicke des dielektrischen Films,
ausgedrückt.

[0004] Folglich muß zur Verminderung der Elektrodenfläche eines Kondensators die relative Dielektrizitätskonstante seines dielektrischen Films erhöht oder die Filmdicke vermindert werden. Es gibt jedoch ein Limit für die Dicke des dielektrischen Films, da der Leckstrom mit dünner werdendem dielektrischen Film größer wird. Wenn die Dicke des dielektrischen Films gering ist, bereitet es weiterhin Schwierigkeiten, die Dicke im Rahmen des Herstellungsverfahrens zu steuern. Damit kommt es zum Auftreten von Unregelmäßigkeiten in den Kennwerten der Kondensatoren.

[0005] In bezug auf eine Steigerung der relativen Dielektrizitätskonstante wurde bereits vorgeschlagen, als Werkstoff für den dünnen dielektrischen Film, anstelle von üblicherweise verwendetem SiO_2, SiN oder SiON, eine dielektrische Perovskitsubstanz mit hoher Dielektrizitätskonstante zu verwenden. Beispiele für dielektrische Perovskitsubstanzen sind durch die chemischen Formel $SrTiO_3$ ausgedrücktes Strontiumtitanat (STO) und durch die chemische Formel $BaSrTiO_3$ ausgedrücktes Bariumstrontiumtitanat (BSTO).

[0006] Eine durch ein "DRAM" repräsentierte Halbleiterspeichervorrichtung bzw. -anordnung speichert Daten durch Speicherung von elektrischer Ladung in einer Reihe von Kondensatoren. Folglich läßt sich durch Verkleinern der Fläche der einzelnen Kondensatoren in hohem Maße der Integrationsgrad steigern. Mit anderen Worten gesagt, kann man durch Erhöhen der Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Films den Integrationsgrad bzw. das Ausmaß an Intergration verbessern.

[0007] Bei einem monolithischen GaAs-Mikrowellen IC (MMIC), das infolge seiner Verwendbarkeit bei tragbaren Telefonen Aufmerksamkeit gefunden hat, wird oftmals ein Kondensator großer Kapazität zur Entkopplung zwischen einer Energiequelle bzw. Stromversorgung und einem Impedanzkopplungskreis benutzt. Bei einem solchen IC läßt sich die Chipgröße durch Erhöhung der Dielektrizitätskonstante eines dielektrischen Films und Verringern der Elektrodenfläche verkleinern.

[0008] **Fig.** 2 ist eine Querschnittdarstellung eines in einem MMIC verwendeten üblichen Kondensators. Dieser Kondensator wird wie folgt hergestellt:
Ein SiO_2-Film **2** wird auf einem GaAs-Substrat **1** gebildet. Auf dem SiO_2-Film **2** wird nach einem Lift-Off-Verfahren (im folgenden „Abhebmethode" genannt) eine erste Verdrahtungsschicht **3** aus Au u. dgl. ausgebildet.

[0009] Danach wird auf der ersten Verdrahtungsschicht **3** nach einer Abhebmethode ein als untere Elektrode **4** dienender Metallfilm gebildet. Auf der unteren Elektrode **4** wird durch reaktive (s) Zerstäubung bzw. Sputtern bei etwa 300°C ein dielektrischer STO-Film abgelagert. Auf den dielektrischen Film **5** wird nach einer Abhebmethode eine obere Elektrode **6** gebildet. In dem dielektrischen STO-Film **5** wird durch Naßätzen unter Verwendung der oberen Elektrode **6** als Maske ein Muster erzeugt. Nach Ablagerung eines als Zwischenniveauisolator dienenden SiO_2-Films **7** wird ein Kontaktloch ausgebildet. Anschließend wird eine zweite Verdrahtungsschicht **8** aus Au u.dgl. gebildet.

[0010] Bei einem solchen Kondensator werden dessen Kennwerte durch Oxidation der Oberflächen der unteren und oberen Elektroden **4** und **6**, die mit dem dielektrischen Film **5** in Kontakt stehen, degradiert bzw. herabgesetzt. Als Werkstoff für die Elektroden **4** und **6** dient Ti, da dieses eine hervorragende Haftung aufweist. In diesem Falle wird die Oberseite der unteren Elektrode **4** während der Ablagerung des dielektrischen Films **5**, die in sauerstoffhaltiger Atmosphäre

erfolgt, oxidiert. Die Unterseite der oberen Elektrode **6** wird bei Ausbildung der oberen Elektrode **6** oxidiert.

[0011] Wenn die Oberflächen der Elektroden **4** und **6**, die mit dem dielektrischen STO-Film **5** in Kontakt stehen, oxidiert werden, wirkt ein bei dieser Oxidation entstandenes Metalloxid als dielektrische Substanz niedriger relativer Dielektrizitätskonstante. In diesem Fall ist entsprechend einer Ersatzschaltung ein Kondensator mit relativ niedriger Kapazität infolge des Metalloxids in Reihe mit einem Kondensator hoher Kapazität infolge des STO-Films geschaltet. Dies führt dazu, daß die Gesamtkapazität eines zwischen unterer und oberer Elektrode **4** und **6** gebildeten Kondensators gering wird.

[0012] Im allgemeinen ist die im unteren Teil der oberen Elektrode **6** gebildete Oxidschicht dünner als die im oberen Teil der unteren Elektrode **4** gebildete Oxidschicht. Wenn die oberen und unteren Polaritäten einer angelegten Spannung umgekehrt werden, können sich folglich die elektrischen Kennwerte unterscheiden. Um diesen Unterschied zu verringern, wird in der oberen Elektrode ein weiteres Oxid gebildet, damit die Oxidschichten in den unteren und oberen Elektroden **4** und **6** sich einander angleichen. Dies führt jedoch zu der beschriebenen Abnahme der Dielektrizitätskonstante.

[0013] Es ist bekannt, daß sich die Kristallinität eines STO-Films verbessern und dessen Dielektrizitätskonstante erhöhen lassen, wenn man den Film bei einer Temperatur der Größenordnung von 600°C oder mehr wärmebehandelt. Wenn folglich Kondensatorelektroden gewählt werden, sollte deren Wärmebeständigkeit in Betracht gezogen werden. Gemäß der japanischen Patentanmeldung (KOKAI-Veröffentlichung) Nr. 58–97818 werden anstelle eines einzigen Metalls, wie Ti u.dgl., als Werkstoff für eine Elektrode ein Nitrid, Silicid oder Carbid eines Metalls, wie Ti, Ta, Nb, Hf, Zr u.dgl, verwendet, um die Wärmebeständigkeit der Elektrode zu verbessern. Es hat sich jedoch gezeigt, daß bei Einsatz dieser Werkstoffe bei einem Kondensator mit einem dielektrischen Oxidfilm, z.B. einem STO-Film, und hoher Kapazität, deren Oxidationsbeständigkeit nicht ausreicht, so daß (trotzdem) ein Metalloxid entsteht und der Kondensator in seiner Kapazität beeinträchtigt wird. Folglich besitzen diese Werkstoffe einen hohen elektrischen Widerstand und eignen sich nicht als Elektrodenmaterial für einen in einem MMIC verwendeten Kondensator.

[0014] Edelmetalle, wie Gold und Platin, besitzen eine hervorragende Oxidationsbeständigkeit. Diese Werkstoffe eignen sich jedoch nicht für ein IC, da sie teuer sind und kaum mittels reaktiver Trockenätztechnik gemustert werden können. Darüber hinaus sind sie thermisch instabil und zeigen unregelmäßige Eigenschaften, z.B. eine unregelmäßige dielektrische Dispersion. **Fig.** 5 zeigt in graphischer Darstellung die dielektrische Dispersion in bezug auf die Vorspannung bei einem Kondensator mit einem zwischen Pt-Elektroden eingeschobenen dielektrischen STO-Film. In dieser Darstellung bedeuten unterschiedliche drei Markierungen unterschiedliche drei Meßpunkte in einer Ebene. Wie aus **Fig.** 5 hervorgeht, kommt es zu einer Hysterese relativ zu der Vorspannung an entsprechenden Meßpunkten. Dies bedeutet, daß in bezug auf eine angelegte Spannung zwei dielektrische Dispersionswerte auftreten, so daß keine stabilen elektrischen Eigenschaften erreichbar sind.

[0015] Die US 5 187 557 A beschreibt eine Halbleitervorrichtung mit einem Kondensatorteil, bestehend aus einer ersten Elektrode, die einen ersten Titannitridfilm umfasst, eine dielektrische Schicht und eine zweite Elektrode, die einen zweiten Titannitridfilm umfasst, wobei der Titannitridfilm zwischen der dielektrischen Schicht und der ersten und zweiten Elektrode angeordnet ist, wodurch es möglich ist, einen Kondensator zu erhalten, der einen hohen Kapazitanzwert aufweist und der einen Reaktion zwischen der dielektrischen Schicht und der Elektrode verhindern kann und der nicht zu einer Erhöhung des Leckstroms der dielektrischen Schicht und einer Beeinträchtigung der Isolationsspannung führt.

[0016] Die JP 6-275776 A offenbart eine Vorrichtung, worin ein Siliziumoxidfilm auf einem Siliziumsubstrat angeordnet ist, eine Elektrode aus Polysilizium, die mit Phosphor dotiert ist, auf dem Siliziumoxidfilm als unter Elektrode angeordnet ist, auf dem Siliziumoxidfilm ein Laminat aus einem Siliziumoxidfilm und einem Tantaloxidfilm, die nacheinander auf der unteren Elektrode in dieser Reihenfolge angeordnet sind, angeordnet ist und eine Elektrode aus Wolframnitrid auf dem Tantaloxidfilm als obere Elektrode angeordnet ist.

[0017] Die EP 0 698 918 A1 (nachveröffentlichter Stand der Technik mit älterem Zeitrang) beschreibt eine leitende Edelmetallisolatorlegierungssperrschicht, die eine oxidierbare Schicht (z.B. TiN), darauf eine Edelmetallisolatorlegierungssperrschicht (z.B. Pd-Si-N), darauf eine sauerstoffstabile Schicht (z.B. Platin) und darauf eine Materialschicht mit hoher Dielektrizitätskonstante umfasst.

Aufgabenstellung

[0018] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung einer Halbleitervorrichtung mit einem weniger Platz einnehmenden Kondensator, indem man einen Kapazitätsverlust des Kondensators infolge Oxidation seiner Elektrodenoberfläche verhindert.

[0019] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfin-

dung besteht in der Bereitstellung einer Halbleitervorrichtung mit einem Kondensator mit elektrischen Kennwerten, die keine Hysterese zur Folge haben.

[0020] Gegenstand einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Halbleitervorrichtung, umfassend einen Kondensator (**10**, **30**, **50**) mit einem dielektrischen Film (**15a**, **34**, **54**) aus einem Metalloxid, bei dem es sich um eine dielektrische Perovskitsubstanz handelt, und ersten und zweiten Elektroden (**14**, **16a**, **32**, **35a**, **53**, **55**), zwischen denen sich der dielektrische Film befindet, wobei die erste Elektrode eine erste Kontaktfläche aus Wolframnitrid der Formel WN_x, worin der Koeffizient x im Bereich von 0,05 bis 0,5 liegt, aufweist, die mit dem dielektrischen Film in Kontakt steht.

[0021] Gegenstand einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Halbleitervorrichtung, umfassend:
ein Halbleitersubstrat (**31**);
einem auf dem Substrat angeordneten Feldeffekt-transistor (**38**) mit im Substrat gebildeten Source- und Draindiffusions-schichten (**39**) und einer auf dem Substrat zwischen den Source- und Draindiffusionsschichten angeordneten Schottky-Gateelektrode (**33**) und einen auf dem Substrat befindlichen Kondensator gemäß der ersten Ausführungsform, wobei die erste Elektrode elektrisch an die Schottky-Gateelektrode angeschlossen ist,
wobei die Schottky-Gateeelektrode (**33**) und die erste Elektrode (**32**) durch Bemusterung bzw. Strukturierung eines aus einem gemeinsamen Werkstoff bestehenden Films mit Ober- und Unterseite aus Wolframnitrid hergestellt sind, die Schottky-Gateelektrode mit dem Substrat über eine von der genannten Unterseite gebildete und aus Wolframnitrid bestehende Kontaktfläche in Kontakt steht.

[0022] Gegenstand einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Halbleiterspeichervorrichtung; umfassend:
ein Halbleitersubstrat (**52**);
einen auf dem Substrat angeordneten und als Übertragungs- bzw. Transfergate wirkenden Feldeffekttransistor (**51**), der in dem Substrat gebildete Source- und Draindiffusionsschichten (**51a**) aufweist und eine auf dem Substrat über einen Gateisolierfilm (**51b**) zwischen den Source- und Draindiffusionsschichten angeordnete Gateelektrode (**51c**) und
einen auf dem Substrat befindlichen und an das Übertragungs- bzw. Transfergate angeschlossenen Speicherkondensator, wobei es sich bei dem Speicherkondensator um einen Kondensator gemäß der ersten Ausführungsform handelt.

[0023] Da die erfindungsgemäß mindestens eine der Kondensatorelektroden auf einer mit einem dielektrischen Film in Kontakt stehenden Seite mit einer WN_x-Schicht mit x im Bereicht von 0,05–0,5 versehen ist, ist es möglich, die Kapazität des Kondensators zu erhöhen, eine dielektrische Dispersion zu unterdrücken, Unregelmäßigkeiten in den elektrischen Kennwerten zu verringern und eine Hysterese zu unterdrücken.

[0024] Im Hinblick auf die Schaltungsausgestaltung sollte ein Kondensator keine Polarität aufweisen. Folglich werden vorzugsweise beide Kondensatorelektroden mit einer aus Wolframnitrid bestehenden Kontaktfläche ausgestattet, damit die Kondensatorelektroden dieselbe Austrittsarbeit erhalten.

[0025] Weitere Vorteile der Erfindung werden im folgenden beschrieben, ergeben sich zum Teil aus der folgenden Beschreibung oder ergeben sich bei der Ausnutzung der vorliegenden Erfindung in der Praxis. Die Vorteile der Erfindung lassen sich insbesondere durch die in den beigefügten Ansprüchen umrissenen Maßnahmen und Kombinationen realisieren und sicherstellen.

Ausführungsbeispiel

[0026] Die beigefügten Zeichnungen dienen dem Verständnis der Erfindung und/oder veranschaulichen bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung. Sie dienen zusammen mit der zuvor gegebenen allgemeinen Beschreibung und der detaillierten Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen zur Erläuterung der der Erfindung zugrunde liegenden Prinzipien. Im einzelnen zeigen:

[0027] Fig. 1 eine Querschnittdarstellung einer Halbleitervorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0028] Fig. 2 eine Querschnittdarstellung einer üblichen Halbleitervorrichtung;

[0029] Fig. 3 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem Koeffizienten x von WN_x und der Oxidationsbeständigkeit der betreffenden Verbindung;

[0030] Fig. 4 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Vorspannung und der dielektrischen Dispersion (tan δ) bei der in Fig. 1 dargestellten Halbleitervorichtung;

[0031] Fig. 5 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Vorspannung und der dielektrischen Dispersion (tan δ) bei einer üblichen Halbleitervorrichtung;

[0032] Fig. 6 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Vorspannung und der Leckstromdichte bei der in Fig. 1 dargestellten Halbleitervorrichtung;

[0033] Fig. 7 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Vorspannung und der Leckstromdichte bei einer üblichen Halbleitervorrichtung;

[0034] Fig. 8 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der elektrischen Feldintensität bzw. Feldstärke und der relativen Dielektrizitätskonstante bei der in Fig. 1 dargestellten Halbleitervorrichtung;

[0035] Fig. 9 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der elektrischen Feldintensität und der relativen Dielektrizitätskonstante bei einer üblichen Halbleitervorrichtung;

[0036] Fig. 10A bis Fig. 10D Querschnitte zur Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung der in Fig. 1 dargestellten Halbleitervorrichtung;

[0037] Fig. 11A bis Fig. 11C Querschnitte zur Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0038] Fig. 12A bis Fig. 12C Querschnitte zur Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0039] Fig. 13 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Nitridierungsrate und der Kapazität bei der gemäß Fig. 12A bis Fig. 12C hergestellten Halbleitervorrichtung;

[0040] Fig. 14 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Nitridierungsrate und der Oxidationsrate bei der gemäß Fig. 12A bis Fig. 12C hergestellten Halbleitervorrichtung;

[0041] Fig. 15 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Wärmebehandlungstemperatur und der Nitridierungsrate bei der gemäß Fig. 12A bis Fig. 12C hergestellten Halbleitervorrichtung;

[0042] Fig. 16A bis Fig. 16D Querschnitte zur Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0043] Fig. 17 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung nach einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0044] Fig. 18 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0045] Fig. 19 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0046] Fig. 20 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Efindung;

[0047] Fig. 21 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0048] Fig. 22 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0049] Fig. 23 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0050] Fig. 24 eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0051] Fig. 25A bis Fig. 25D Querschnitte zur Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0052] Die Fig. 1 zeigt in einer Querschnittdarstellung eine Halbleitervorrichtung (d.h. einen in einem MMIC verwendeten Kondensator) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0053] In der angegebenen Reihenfolge werden auf einem GaAs-Substrat **11** ein SiO_2-Film **12** und eine erste Verdrahtungsschicht **13** vorgesehen. Auf der ersten Verdrahtungsschicht **13** wird ein Kondensator **10** gebildet. Der Kondensator **10** enthält eine untere Elektrode **14** mehrlagiger Struktur aus einer Ti-Schicht (5 nm), einer Mo-Schicht (50 nm) und einer Pt-Schicht (400 nm) (in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben). Ferner enthält der Kondensator **10** einen dielektrischen Film **15a** aus Strontiumtitanat (STO). Schließlich enthält der Kondensator **10** eine obere Elektrode **16a** mehrlagiger Struktur aus einer WN_x (Wolframnitrid)-Schicht **21** (120 nm) und einer W-Schicht **22** (300 nm) (in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben). Mit anderen Worten gesagt, ist diejenige Oberfläche der oberen Elektrode **16a**, die mit dem dielektrischen Film **15a** in Kontakt steht, als Wolframnitridschicht **21** ausgebildet. Dies ist ein charakteristisches Merkmal der vorliegenden Erfindung.

[0054] Als Werkstoff für den dielektrischen Film **15a** können neben STO auch andere hochdielektrische Substanzen in Form von Metalloxiden, wie $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BSTO), $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ oder $Pb_xLa_{1-x}Zr_yTi_{1-y}O_3$, verwendet werden. Es sei darauf hingewiesen, daß eine dielektrische Perovskitsubstanz vom paraelektrischen Typ trotz etwas niedriger Dielektrizitätskonstante für einen in einem MMIC verwendeten Kondensator besser geeignet ist als eine

weniger gute Frequenzeigenschaften aufweisende dielektrische Substanz vom ferroelektrischen Typ, da ein MMIC bei einer Frequenz von 800 MHz oder mehr verwendet werden soll.

[0055] Wolframnitrid ist stabiler als andere Metallnitride, z.B. die Nitride von Ti, Ta, Nb, Hf, Zr u.dgl. Die Standardbildungsenergie sonstiger Metallnitride, wie der Nitride von Ti, Ta, Nb, Hf, Zr u.dgl., liegt unter -400 kJ/mol N_2 bei 600 K, während diejenige von Wolframnitrid bei 600 K -100 kJ/mol N_2 beträgt. Folglich besitzt Wolframnitrid stabile Eigenschaften und eine hervorragende Oxidationsbeständigkeit und eignet sich demnach als zusammen mit einer dielektrischen Oxidsubstanz zu verwendender Elektrodenwerkstoff. Darüber hinaus läßt sich bei Wolframnitrid durch reaktive Trockenätzung, die bei der Herstellung eines Halbleiter-ICs benutzt wird, eine Mustergebung erreichen.

[0056] Fig. 3 zeigt ein Versuchsergebnis einer Untersuchung der Beziehung zwischen dem Koeffizienten x von WN_x und der Oxidationsbeständigkeit der betreffenden Verbindung. Bei diesem Versuch wurden WN_x-Prüflinge einer Dicke von 120 nm mit unterschiedlichen Werten des Koeffizienten x in einer O_2-Atmosphäre 30 min lang auf 450°C erwärmt. Wie aus Fig. 3 hervorgeht, wird mit zunehmendem Koeffizienten x das Oxidationsverhältnis der WN_x-Prüflinge (Verhältnis Dicke der Oxidationsschicht/Dicke jeden WN_x-Prüflings von 120 nm) niedriger, d.h. die Oxidationsbeständigkeit wird höher.

[0057] Fig. 4 zeigt das Versuchsergebnis einer Untersuchung der Beziehung zwischen der Vorspannung und der dielektrischen Dispersion (tan δ) bei einem Beispiel eines in Fig. 1 dargestellten Kondensators. tan δ entspricht einer Rate von als Wärme verlorener elektrischer Energie bei Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes. In dieser Darstellung entsprechen unterschiedliche drei Marken unterschiedlichen drei Meßpunkten in dem Beispiel. Wie aus Fig. 4 hervorgeht, kam es bei diesem Beispiel nicht zu einer Hysterese relativ zur Vorspannung, so daß für einen Wert an angelegter Spannung ein Dispersionswert gilt und zwischen den Meßpunkten gleichförmige Werte erreicht werden. Dies bedeutet, daß der Kondensator hervorragende Kennwerte ohne Auftreten einer Hysterese zu bieten vermag.

[0058] Fig. 5 zeigt ein Versuchsergebnis bei der Bestimmung der Beziehung zwischen der Vorspannung und der dielektrischen Dispersion (tan δ) bei einem Vergleichskondensator. Der Vergleichskondensator besaß denselben Aufbau wie der in Fig. 1 dargestellte Kondensator, jedoch mit der Ausnahme, daß die oberen und unteren Elektroden aus Pt bestanden. Wie aus Fig. 5 hervorgeht, trat bei dem Vergleichskondensator eine Hysterese relativ zur Vorspannung auf. Diese Hysterese legt nahe, daß an der Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem STO-Film bei Anlegen der Vorspannung irreversibel eine instabile Substanz gebildet wurde.

[0059] Weiterhin zeigte – wie aus Fig. 4 hervorgeht – das erfindungsgemäße Beispiel nahezu keinen Unterschied in den Meßwerten unter den drei Punkten. Dies läßt vermuten, daß die Grenzfläche zwischen der WN_x-Elektrode und dem STO-Film stabil war. Im Gegenzug dazu zeigte – wie aus Fig. 5 hervorgeht – der Vergleichskondensator einen großen Unterschied in den Meßwerten unter den drei Punkten. Dies läßt vermuten, daß an der Grenzfläche zwischen der Pt-Elektrode und dem STO-Film eine instabile Substanz entstanden war, so daß einige Kennwerte des Kondensators beeinträchtigt wurden.

[0060] Der beschriebene Unterschied bzw. die beschriebene Unregelmäßigkeit in den Kennwerten zwischen den Meßpunkten läßt sich auch im Rahmen eines Versuchs zur Bestimmung des Leckstroms bei Anlegen einer Vorspannung beobachten. Die Fig. 6 und Fig. 7 zeigen den Leckstrom bei im erfindungsgemäßen Beispiel bzw. Vergleichsbeispiel. Bei dem Vergleichsbeispiel mit der Pt-Elektrode unterschieden sich die Meßwerte des Leckstroms zwischen den Meßpunkten.

[0061] Der in Fig. 1 dargestellte Kondensator ist hinsichtlich der Hysterese relativ zur Vorspannung sowie hinsichtlich von Unregelmäßigkeiten in den Kennwerten zwischen Meßpunkten verbessert. Weiterhin zeigt der in Fig. 1 dargestellte Kondensator hervorragende absolute Kennwerte. Wie aus Fig. 4 hervorgeht, betrug die dielektrische Dispersion bei einer Vorspannung von 3V oder weniger 2% oder weniger. Andererseits betrug – wie aus Fig. 5 hervorgeht – die dielektrische Dispersion bei einer Vorspannung von 3V oder weniger 4% bis 7%. Dieser Unterschied vergrößert sich noch bei höherer Vorspannung. Wenn die dielektrische Dispersion gering ist, sinkt auch der Verlust, so daß ein bevorzugter Kondensator erhalten wird.

[0062] Wie aus Fig. 9 hervorgeht, beträgt der Maximalwert der Dielektrizitätskonstante bei dem Vergleichskondensator **160**, während er – wie Fig. 8 zeigt – bei dem erfindungsgemäßen Kondensatorbeispiel 1,5mal höher ist bzw. 240 (Vorspannung = 0) beträgt. Da der STO-Film des Beispiels bei 300°C gebildet wurde, ist der Wert von 240 für die Dielektrizitätskonstante im Hinblick auf diese Temperatur der weitaus bessere. Die Dielektrizitätskonstante läßt sich durch Wärmebehandlung bei einer Temperatur von 600 – 700°C weiter erhöhen.

[0063] Wie bereits ausgeführt, lassen sich die Kennwerte eines Kondensators durch Anordnen der WN_x-Schicht **21** auf derjenigen Seite der oberen Elektrode **16a**, die mit dem dielektrischen Film **15a** in

Kontakt steht, verbessern. Wenn eine WN_x-Schicht auf der Oberseite der unteren Elektrode **14**, die bei der Bildung des STO-Films einer drastischen Oxidationsatmosphäre ausgesetzt ist, angeordnet wird, lassen sich die Kennwerte des Kondensators weiter verbessern. Bei einem von den Erfindern durchgeführten Versuch, bei welchem die oberen und unteren Elektroden eines Kondensators mit einem STO-Film aus Titannitrid bestanden, wurden diese tief gehend oxidiert, wobei die Kapazität des Kondensators nahezu dieselbe war wie diejenige eines mit einem SiO_2-Film arbeitenden Kondensators.

[0064] Die Fig. 10A bis Fig. 10D zeigen im Querschnitt ein Verfahren zur Herstellung des in Fig. 1 dargestellten Halbleiters.

[0065] Zunächst wird auf dem GaAs-Substrat **11** nach einer CVD-Methode (d.h. durch chemische Bedampfung) ein SiO_2-Film **12** gebildet. Danach wird mit Hilfe einer Abhebmethode (Lift-Off) (Fig. 10A) eine erste Verdrahtungsschicht **13** aus einem Metall, wie Au, gebildet.

[0066] Anschließend werden auf der ersten Verdrahtungsschicht **13** mit Hilfe einer E-GUN-Methode in der angegebenen Reihenfolge von unten her die Ti-Schicht (5 nm), die Mo-Schicht (50 nm) und die Pt-Schicht (400 nm) zur Bildung eines mehrlagigen Films aufgetragen. Der mehrlagige Film wird unter Verwendung eines auf photolithographischem Wege hergestellten Photolack- bzw. Resistmusters als Maske einer Mustergebung unterworfen bzw. strukturiert. Die untere Elektrode **14** wird nach einer Abhebmethode (Fig. 10B) gebildet.

[0067] Danach wird auf der unteren Elektrode **14** durch in einer Sauerstoffatmosphäre durchgeführte reaktive Zerstäubung (Sputtern) ein STO-Film **15** bis zu einer Höhe von 100 nm abgelagert. Schließlich wird auf dem auf 300°C erwärmten Substrat ein mehrlagiger Film **16** aus der WN_x-Schicht **21** (120 nm) und der W-Schicht **22** (300 nm) in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben durch reaktive Zerstäubung abgelagert (Fig. 10C).

[0068] Der STO-Film **15** und der mehrlagige Film **16** werden unter Verwendung eines auf photolithographischem Wege erzeugten Resistmusters als Maske mittels reaktiver Ionenätzung strukturiert, wobei der dielektrische Film **15a** und die obere Elektrode **16a** entstehen (Fig. 10D). Die WN_x-Schicht **21** dient als derjenige Teil der oberen Elektrode, der mit dem dielektrischen Film **15a** in Kontakt steht.

[0069] Anschließend wurde nach einer CVD-Methode ein Zwischenniveau-Isolierfilm **17** aus beispielsweise SiO_2 bis zu einer Höhe von 600 nm abgelagert. Nach Ausbildung von Kontaktlöchern mittels einer RIE-Methode wurden Verdrahtungsschichten **18** aus beispielsweise Au an die oberen und unteren Elektroden angeschlossen, so daß der Kondensator **10** mit sonstigen elementaren Vorrichtungen bzw. Elementbausteinen in dem IC in elektrische Verbindung gebracht wird (Fig. 1).

[0070] Da der untere Teil des mehrlagigen Films **16**, der die obere Elektrode **16a** bilden soll, aus der WN_x-Schicht **21** besteht, entsteht an der Grenzfläche zwischen dem mehrlagigen Film **16** und dem STO-Film **15** bei Bildung des mehrlagigen Films **16** kaum ein Reaktionsprodukt. Würde anstelle von WN_x TiN_x verwendet, würde die Dielektrizitätskonstante der Vorrichtung bis zu 1/10 oder weniger absinken.

[0071] Die untere Elektrode **14** kann vorzugsweise (ebenfalls) mit WN_x versehen werden, obwohl bei der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung lediglich die obere Elektrode **16a** WN_x umfaßt. In diesem Fall läßt sich eine Mustergebung der unteren Elektrode **14**, des dielektrischen Films **15a** und der oberen Elektrode **16a** mittels RIE bewerkstelligen, so daß das Herstellungsverfahren vereinfacht und eine Miniaturisierung erreichbar werden.

[0072] Die Fig. 11A bis Fig. 11C zeigen im Querschnitt ein Herstellungsverfahren für eine Halbleitervorrichtung gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Diese Ausführungsform bezieht sich auf ein MMIC, wobei WN_x in der unteren Elektrode eines Kondensators und der Gateelektrode eines FET verwendet wird.

[0073] Zuerst wird durch Kaltzerstäubung auf einem GaAs-Substrat **31** ein Elektroden bildender mehrlagiger Film gebildet. Der mehrlagige Film besteht – in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben – aus einer WN_x-Schicht **26** (120 nm), einer W-Schicht **27** (300 nm) und einer WN_x-Schicht (120 nm) **28**. Die Mustergebung des mehrlagigen Films erfolgt unter Verwendung eines nicht dargestellten Resistmusters mittels RIE, so daß gleichzeitig eine Gateelektrode **33** eines FET und eine untere Elektrode **32** eines MIM-Kondensators gebildet werden (Fig. 11A). Der Grund dafür, warum die oberen und unteren Schichten der Elektroden **32** und **33** aus WN_x gefertigt werden, ist, daß sich dieser Werkstoff hervorragend als Material für die Schottky-Gateelektrode und die untere Elektrode eines Kondensators eignet.

[0074] Danach wird durch reaktive Zerstäubung in einer Sauerstoffatmosphäre ein STO-Film **34** (100 nm) abgelagert. Anschließend wird durch reaktive Zerstäubung unter Erwärmen des Substrats auf 300°C ein mehrlagiger Film **35** aus einer WN_x-Schicht **21** (120 nm) und einer W-Schicht **22** (300 nm) in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben gebildet (Fig. 11B).

[0075] Die Mustergebung bzw. Strukturierung des STO-Films **34** und des mehrlagigen Films **35** erfolgt durch reaktive Ionenätzung, wobei ein dielektrischer Film **34a** und eine obere Elektrode **35a** entstehen. Anschließend wird der Kondensator zur Erleichterung einer Kristallisation des STO auf 500°C erwärmt. Danach werden weitere Verfahrensmaßnahmen zur Bildung des FET **38** durchgeführt.

[0076] Anschließend wird ein Zwischenniveau- bzw. Zwischen(ebene)-Isolierfilm **36** aus beispielsweise SiO_2 bis zu einer Höhe von 600 nm abgelagert. Nach Ausbildung von Kontaktlöchern werden Verdrahtungsschichten **37** vorgesehen (Fig. 11C). In dieser Stufe werden in dem Zwischen(ebene)-Isolierfilm **36** hinab bis zu den Source/Drain-Diffusionsschichten **39** des Transistors **38** nach einer RIE-Methode nicht dargestellte Öffnungen gebildet. Durch Ausbilden eines Films aus einem Metall oder einer Legierung, wie AuGe, nach einer Abhebmethode unter Verwendung des Zwischen(ebene)-Isolierfilms **36** mit den Öffnungen als Abstandhalter werden schließlich ohm'sche Elektroden vorgesehen.

[0077] Bei dieser Ausführungsform werden der dielektrische Film **34a** und die obere Elektrode **35a** des Kondensators **30** vor Bildung der ohm'schen Elektrode aus beispielsweise AuGe, die bei einer Temperatur von 400°C oder mehr beeinträchtigt werden würde, gebildet. Danach bedient man sich der Wärmestabilität der WN_x-Elektrode, so daß der Kondensator bei einer Temperatur von 400°C oder mehr und vorzugsweise 600°C oder mehr wärmebehandelt werden kann. Indem man diese Wärmebehandlung durchführt, begünstigt man die Kristallisation des STO und eine Verminderung des Sauerstoffdefizits, so daß die Dielektrizitätskonstante der Vorrichtung verbessert wird. Diese Wärmebehandlung kann nach Bildung des STO-Films insgesamt und vor Bildung der oberen Elektrode durchgeführt werden. Stattdessen kann die Wärmebehandlung auch zusammen bzw. gemeinsam mit einer Wärmebehandlung zur Aktivierung einer ionenimplantierten Schicht des FET durchgeführt werden. In diesem Falle wird die Wärmebehandlung bei einer Temperatur von etwa 800°C durchgeführt.

[0078] Bei einem üblichen Verfahren wird der Transistor vor Bildung des Kondensators hergestellt. Somit kann wegen der Gefahr einer Beeinträchtigung bzw. Zerstörung der ohm'schen Elektrode keine Wärmebehandlung des dielektrischen Films durchgeführt werden. Wenn die Wärmebeständigkeit der oberen und unteren Elektroden schlecht ist, kann darüber hinaus auch keine Wärmebehandlung des dielektrischen Films durchgeführt werden. Wenn dagegen WN_x in der Schottky-Gateelektrode und Kondensatorelektrode verwendet und der MIM-Kondensator zuvor gebildet werden, kann man den dielektrischen Film zur Verbesserung der Dielektrizitätskonstante wärmebehandeln.

[0079] Die Fig. 12A bis Fig. 12C sind Querschnittdarstellungen, welche ein Herstellungsverfahren für eine Halbleitervorrichtung (d.h. einen in einer MMIC verwendeten Kondensator) nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung veranschaulichen.

[0080] Zunächst wird durch reaktive Zerstäubung ein als untere Elektrode dienender WN_x-Film auf einem auf einem Halbleitersubstrat **41** befindlichen SiO_2-Film **42** gebildet. Der WN_x-Film wird mittels RIE unter Verwendung einer Photoresistmaske selektiv entfernt, so daß eine untere Elektrode **43** entsteht. Danach erfolgt eine Wärmebehandlung in Ammoniakgasatmosphäre, um eine gegebene Nitridierungsrate zu erreichen (Fig. 12A).

[0081] Bei dieser Wärmebehandlung wird Stickstoff in die Oberfläche der unteren Elektrode **43** eindiffundiert, um deren Nitridierungsrate weiter zu erhöhen und seine Oxidationsbeständigkeit zu verbessern. Indem man so vorgeht, kann kaum ein die Kapazität des Kondensators während der Ausbildung des dielektrischen Films senkendes Oxid entstehen. Weiterhin lassen sich auf diese Weise die Kristallinität des Elektrodenwerkstoffs verbessern und eine stabile Elektrode bereitstellen.

[0082] Danach werden auf der unteren Elektrode **43** ein einen dielektrischen Film **44** bildender STO-Film und ein als obere Elektrode **45** dienender WN_x-Film abgelagert. Ihre unnötigen Teile werden mittels RIE entfernt. Auf diese Weise entsteht ein Kondensator **40** mit der unteren Elektrode **43**, dem dielektrischen Film **44** und der oberen Elektrode **45** (Fig. 12B).

[0083] Anschließend werden ein Zwischen(ebene)-Isolierfilm **46** aus beispielsweise SiO_2 abgelagert und darin Kontaktlöcher ausgebildet. An die unteren und oberen Elektroden **43** und **45** werden Verdrahtungsschichten **47** aus beispielsweise Au, angeschlossen, so daß der Kondensator **40** in elektrische Verbindung mit den sonstigen elementaren Vorrichtungen in dem MMIC gebracht wird.

[0084] Fig. 13 ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Kapazität und der Nitridierungsrate (der Koeffizient x von WN_x ist als Prozentanteil angegeben) an der äußersten Oberfläche der unteren WN_x-Elektrode **43** in dem nach dem Verfahren gemäß Fig. 12A bis Fig. 12C hergestellten Kondensator. Wie aus Fig. 13 hervorgeht, wird die Kapazität mit zunehmender Nitridierungsrate in der Oberfläche der unteren WN_x-Elektrode **43** größer. Fig. 14 ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Nitridierungsrate der unteren Elektrode **43** und der Oxidationsbeständigkeit bzw. Oxidationsrate (der Koeffizient y von WN_xO_y ist als Prozentanteil angegeben). Wie aus Fig. 14 hervorgeht, sinkt die Oxi-

dationsrate bzw. steigt die Oxidationsbeständigkeit mit zunehmender Nitridierungsrate. Fig. 15 ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Wärmebehandlungstemperatur und der Nitridierungsrate der unteren Elektrode **43**.

[0085] Wie aus Fig. 15 hervorgeht, wird die Nitridierungsrate mit zunehmender Temperatur höher. In Anbetracht dieser Ergebnisse wird klar, daß die Nitridierungsrate der unteren Elektrode steigt und die Produktion eines Oxids unterdrückt werden kann, wenn die untere Elektrode **43** bei hoher Temperatur in einer stickstoffhaltigen Gasatmosphäre wärmebehandelt wird.

[0086] Es sei darauf hingewiesen, daß – obwohl bei der Wärmebehandlung im Rahmen dieser Ausführungsform gasförmiges Ammoniak als Gas zugeführt wird – eine ähnliche Wirkung bei Verwendung eines stickstoffhaltigen Gases erreichbar ist.

[0087] Die Dicke der WN_x-Schicht in den oberen und unteren Elektroden, die mit dem dielektrischen Film in Kontakt steht, und der Koeffizient x wurden für einen bei einem MMIC verwendeten Kondensator auf ihre bevorzugten Bereiche hin überprüft.

[0088] Hierbei zeigte es sich, daß die WN_x-Schicht sowohl in der oberen als auch unteren Elektrode eine Dicke von 1 nm oder mehr aufweisen sollte. Da die oberen und unteren Elektroden vollständig aus WN_x hergestellt werden können, steht die Obergrenze der Dicke der WN_x-Schicht für die Dicke jeder Elektrode. Vorzugsweise sollte jedoch die Obergrenze für die Dicke der WN_x-Schicht auf nahezu dieselbe Dicke, wie sie der dielektrische Film aufweist, eingestellt werden. So ist beispielsweise bei den zuvor beschriebenen Ausführungsformen die WN_x-Schicht 1,2-mal dicker als der dielektrische Film.

[0089] Es hat sich ferner gezeigt, daß der Koeffizient x im Bereich von 0,05–0,5, vorzugsweise von 0,1–0,5, liegen muß. Wenn der Koeffizient x niedriger ist, sinkt auch die Oxidationsbeständigkeit der WN_x-Schicht. Wenn der Koeffizient x höher ist, steigt der elektrische Wiederstand der WN_x-Schicht.

[0090] Die zuvor beschriebenen Ausführungsformen stehen in bezug zu einem bei einem MMIC verwendeten Kondensator. Die vorliegende Erfindung ist jedoch auch bei einem Speicherkondensator in einer Si benutzenden Speichervorrichtung, z.B. einem Kondensator in einer dynamischen Speichervorrichtung anwendbar. Weiterhin läßt sich von der vorliegenden Erfindung auch bei einem Kondensator in einer auf einem Modulsubstrat vorgesehenen Halbleitervorrichtung Gebrauch machen.

[0091] Die Fig. 16A bis Fig. 16D sind Querschnittdarstellungen, aus denen sich die Herstellungsschritte bei der Herstellung einer dynamischen Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ergeben.

[0092] Zunächst wird auf einem Si-Substrat **52** ein als Übertragungs-Gate bzw. Transfer-Gate wirkender MOS-Feldeffekttransistor **51** gebildet (Fig. 16A). Der Transistor **51** besitzt in einer Oberfläche des Substrats **52** ausgebildete Source/Drain-Diffusionsschichten **51a** und eine über einen Gate-Isolierfilm **51b** auf dem Substrat **52** zwischen den Source/Drain-Schichten **51a** gebildete Gateelektrode **51c**.

[0093] Danach wird ein WN_x-Film abgelagert und geätzt, so daß eine Speicherknotenelektrode bzw. untere Elektrode **53** eines Kondensators **50** entsteht. Anschließend wird überall ein dielektrischer Film **54** aus STO abgelagert (Fig. 16B).

[0094] Hierauf werden überall aufeinanderfolgend ein WN_x-Film **55** als Plattenelektrode bzw. obere Elektrode und ein Isolierfilm **56** aus einem SiO_2 abgelagert. Der dielektrische Film **54**, der WN_x-Film **55** und der Isolierfilm **56** werden unter Benutzung derselben Maske geätzt (Fig. 16C).

[0095] Hierauf werden eine an eine Bit-Leitung anzuschließende Metallverdrahtungsschicht **57**, ein Zwischen(ebene)-Isolierfilm **58** und die Bit-Leitung **59** gebildet (Fig. 16D).

[0096] Es sei darauf hingewiesen, daß (nicht dargestellte) periphere Schaltungen, z.B. eine an den Transistor angeschlossene Dekoderschaltung zur Ansteuerung einer elementaren Vorrichtung bzw. eines Elementbausteins und eine an die Bit-Leitung **59** angeschlossene Meßverstärkerschaltung zum Auslesen von Daten aus einer elementaren Vorrichtung in üblichen bekannten Stufen gebildet werden.

[0097] Die Dicke der mit dem dielektrischen Film in Kontakt stehenden WN_x-Schicht in den oberen und unteren Elektroden und der Koeffizient x wurden im Hinblick auf einen in einer Halbleiterspeichervorrichtung verwendeten Kondensator auf ihre bevorzugten Bereiche hin überprüft.

[0098] Hierbei zeigte es sich, daß die WN_x-Schicht sowohl in der oberen als auch unteren Elektrode eine Dicke von 1 nm oder mehr aufweisen sollte. Da die oberen und unteren Elektroden in ihrer Gesamtheit aus WN_x bestehen können, entspricht die Obergrenze der Dicke der WN_x-Schicht der Dicke jeder Elektrode. Vorzugsweise sollte jedoch die Obergrenze der Dicke der WN_x-Schicht auf nahezu denselben Wert, wie ihn die Dicke des dielektrischen Films aufweist, eingestellt werden.

[0099] Es hat sich ferner gezeigt, daß man eine gewisse Wirkung erreicht, wenn der Koeffizient x in ei-

nen Bereich von 0,05–0,5, wie bei einem in einem MMIC verwendeten Kondensator, fällt. Die Kriterien für einen Speichervorrichtungskondensator sollten jedoch schärfer gefaßt sein als diejenigen für einen MMIC-Kondensator. In diesem Sinne fällt der Koeffizient x für die im Rahmen eines Herstellungsverfahrens einer massiven Oxidationsatmosphäre ausgesetzte untere Elektrode vorzugsweise in einen Bereich von 0,3–0,5. Andererseits fällt der Koeffizient x für die obere Elektrode vorzugsweise in einen Bereich von 0,1–0,5. Wenn der Koeffizient x geringer ist, sinkt die Oxidationsbeständigkeit der WN_x-Schicht. Wenn der Koeffizient x größer ist, steigt der elektrische Widerstand der WN_x-Schicht.

[0100] Fig. 17 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0101] Zur Herstellung der in Fig. 17 dargestellten Vorrichtung werden zunächst in oder auf einem p-Siliciumsubstrat **61** ein Isolierbereich **62** zwischen Vorrichtungen bzw. Bauelementen, ein Gate-Isolierfilm **63a**, eine Gateelektrode bzw. Wortleitung **63b**, eine n^+-Diffusionsschicht **64**, eine Bit-Leitung **66** und ein Zwischen(ebene)-Isolierfilm **65** ausgebildet. Danach werden in dem Zwischen(ebene)-Isolierfilm **65** ein Kontaktloch und überall ein n^+-Polysiliciumfilm **67** gebildet. Derjenige Teil des n^+-Polysiliciumfilms **67**, der sich auf dem Zwischen(ebene)-Isolierfilm **65** befindet, wird durch Rückätzen oder chemisches und mechanisches Polieren entfernt, so daß der Siliciumfilm **67** lediglich im Kontaktloch zurückbleibt.

[0102] Danach wird durch chemische Zerstäubung oder nach einer CVD-Methode ein WN_x-Film **68** gebildet und für eine untere Elektrode strukturiert. Da die untere Elektrode aus dem WN_x-Film **68** und nicht aus einem Edelmetall, wie Pt, gebildet ist, läßt sie sich ohne Schwierigkeiten strukturieren. Anschließend werden ein dielektrischer Film **69** und eine obere Elektrode **70** gebildet. Wie zuvor beschrieben, besteht der dielektrische Film **69** aus einer hochdielektrischen Substanz in Form eines Metalloxids mit Perovskitstruktur, wie $SrTiO_3$ (STO), $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BSTO), $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ oder $Pb_xLa_{1-x}Zr_yTi_{1-y}O_3$. Bei Durchführung der geschilderten Maßnahmen erhält man somit einen Speicherkondensator **60** mit der unteren Elektrode **68**, dem dielektrischen Film **69** und der oberen Elektrode **70**. Er ist an die n^+-Diffusionsschicht **64** angeschlossen.

[0103] Die Fig. 18 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0104] Die in Fig. 18 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 17 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer darin, daß die Oberfläche der unteren Elektrode nach der Musterbildung bzw. Strukturierung im WN_x-Film **68** für die untere Elektrode bei einer Temperatur von 500–900°C in einer ammoniakhaltigen Atmosphäre wärmebehandelt wurde. Hierbei entstand in der Oberfläche der unteren Elektrode ein stickstoffreicher Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur. Es sei darauf hingewiesen, daß die gesamte untere Elektrode aus dem stickstoffreichen Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur bestehen kann, wenn die Nitridierung in ausreichendem Maß abläuft.

[0105] Fig. 19 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0106] Die in Fig. 19 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 18 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer darin, daß zu Beginn der Bildung eines WN_x-Films **68** ein an Stickstoff reicher WN_x-Film, d.h. ein stickstoffreicher Film **68b**, in einer reichlich Stickstoff enthaltenden Atmosphäre gebildet wird. Darüber hinaus wird in einer Oberfläche des WN_x-Films **68** durch Behandeln desselben unter den im Zusammenhang mit der Vorrichtung gemäß Fig. 18 beschriebenen Bedingungen ein stickstoffreicher Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur gebildet. Der stickstoffreiche Film **68b** kann durch Zerstäubung bzw. Sputtern in einer stickstoffhaltigen Atmosphäre mit hoher Rate oder nach einer CVD-Methode in einer ein Nitridierungsgas, wie NH_3, enthaltenden Atmosphäre mit hoher Rate gebildet werden. Es sei darauf hingewiesen, daß die gesamte untere Elektrode aus dem stickstoffreichen Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur bestehen kann, wenn die Nitridierung in ausreichendem Maße abläuft.

[0107] Fig. 20 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0108] Die in Fig. 20 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 19 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer darin, daß nach der Ablagerung eines an Stickstoff reichen WN_x-Films **68b** ein W-Film **71** abgelagert wird. Darüber hinaus wird in einer Oberfläche des W-Films **71** durch Behandeln desselben unter den im Zusammenhang mit der in Fig. 18 dargestellten Vorrichtung beschriebenen Bedingungen ein stickstoffreicher Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur gebildet.

[0109] Fig. 21 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0110] Die in Fig. 21 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 17 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer darin, daß ein in ein Kontaktloch zum Anschluß einer

n^+-Diffusionsschicht **64** eingebetteter Bereich und die untere Elektrode eines Kondensators **60** als Einheit mit einem die untere Elektrode bildenden WN_x-Film **68** gebildet sind.

[0111] Fig. 22 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0112] Die in Fig. 22 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 17 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer darin, daß die untere Elektrode eines Kondensators **60** aus einem WN_x-Film **68** und einem an Stickstoff reichen und die Unterseite, die Seitenflächen und die Oberseite des Films **68** bedeckenden WN_x-Film **68b** gebildet ist.

[0113] Fig. 23 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0114] Die in Fig. 23 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 17 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer in mehreren Punkten:
Bei der Herstellung der in Fig. 23 dargestellten Vorrichtung wird vor Ausbildung eines Zwischen(ebene)-Isolierfilms **65** in der Oberfläche einer selbstausrichtenden Diffusionsschicht **64** ein $TiSi_2$-Film **72** gebildet. Danach werden eine Bit-Leitung **66** und der Zwischen(ebene)-Isolierfilm **65** sowie ein Kontaktloch in dem Zwischen(ebene)-Isolierfilm **65** ausgebildet. Ein W-Film **71** wird derart abgelagert, daß er das Kontaktloch ausfüllt und einer Mustergebung unterworfen, um als untere Elektrode dienen zu können. Darüber hinaus wird in einer Oberfläche des W-Films **71** durch Behandeln desselben unter den im Zusammenhang mit der in Fig. 18 dargestellten Vorrichtung beschriebenen Bedingungen ein stickstoffreicher Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur gebildet.

[0115] Fig. 24 ist eine Querschnittdarstellung einer Halbleiterspeichervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0116] Die in Fig. 24 dargestellte Vorrichtung entspricht in etwa der in Fig. 17 dargestellten Vorrichtung. Sie unterscheidet sich jedoch von letzterer in verschiedenen Punkten.

[0117] Bei der Herstellung der in Fig. 24 dargestellten Vorrichtung wird nach Bildung eines Kontaktlochs in einem Zwischen(ebene)-Isolierfilm **65** die Innenwandfhäche des Kontaktlochs mit einem stickstoffreichen WN_x-Film **68b** bedeckt. Dann wird ein W-Film **71** derart abgelagert, um das Kontaktloch auszufüllen und strukturier, um als untere Elektrode dienen zu können. Darüber hinaus wird in einer Oberfläche des W-Films **71** durch Behandeln desselben unter den im Zusammenhang mit der in Fig. 18 dargestellten Vorrichtung geschilderten Bedingungen ein stickstoffreicher Film **68a** mit WN_2-Kristallstruktur gebildet.

[0118] Wie bereits ausgeführt, sind diese Ausführungsformen dadurch gekennzeichnet, daß diejenige Oberfläche mindestens einer der oberen und unteren Elektroden, die mit einem dielektrischen Film in Kontakt steht, als WN_x-Schicht mit x im Bereich von 0,05–0,5 ausgebildet ist. Die Oberfläche jeder Elektrode gegenüber der WN_x-Schicht steht in Kontakt mit einem Zwischen(ebene)-Isolierfilm, der Metallverdrahtungsschicht u.dgl.. Dort, wo die jeweilige Elektrode mit einem Zwischen(ebene)-Isolierfilm oder einer Metallverdrahtungsschicht in Kontakt steht, kann die Haftung durch Einfügen einer Ti-Schicht an der Grenzfläche verbessert werden. In diesem Falle reagieren jedoch die Ti-Schicht und die WN_x-Schicht insbesondere während einer Wärmebehandlung miteinander und erhöhen dabei den elektrischen Widerstand der Elektrode und können gegebenenfalls die Kennwerte eines Kondensators beeinträchtigen.

[0119] Aus diesem Grunde kann die Elektrode, um wärmestabil ausgebildet zu werden, eine mehrlagige Bauweise aus drei oder mehreren Schichten erhalten. Hierbei sind die WN_x-Schicht und eine Ti-Schicht in einer Oberfläche in Kontakt mit dem dielektrischen Film und in einer Oberfläche entgegengesetzt zu letzterem angeordnet und zwischen der WN_x-Schicht und der Ti-Schicht eine Sperrmetallschicht vorgesehen, um eine Wechselwirkung zwischen der WN_x-Schicht und der Ti-Schicht zu verhindern. Die Sperrmetallschicht kann aus Mo, Ti, deren Nitrid oder deren Silicid, bestehen. Eine solche mehrlagige Bauweise bei einer Elektrode eignet sich besonders dann, wenn die mit einem dielektrischen Film in Kontakt stehende Oberfläche der Elektrode aus einem üblichen und von WN_x verschiedenen Werkstoff, wie Pt, besteht.

[0120] Die Fig. 25A bis Fig. 25D sind Querschnittdarstellungen, aus denen sich die Herstellungsschritte bei der Herstellung einer Halbleitervorrichtung (d.h. eines in einem MMIC verwendeten Kondensators) gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ergeben. Bei dieser Ausführungsform wird eine Elektrode mit der geschilderten mehrlagigen Struktur benutzt.

[0121] Zunächst wird auf einem Halbleitersubstrat, z.B. einem halbisolierenden GaAs-Substrat **81**, nach einer CVD-Methode ein Isolierfilm, z.B. ein SiO_2-Film **82**, gebildet.

[0122] Danach wird unter Benutzung einer Photoresistmaske **83** ein mehrlagiger Film aus – in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben – einer Ti-Schicht **84**, einer Mo-Schicht **85** und einer WN_x-Schicht **86** abgelagert (Fig. 25A).

[0123] Anschließend werden nach einer Abhebmethode die Photoresistmaske **83** und unnötige Teile des mehrlagigen Films auf der Maske **83** entfernt, so daß eine untere Elektrode **88** entsteht.

[0124] Anschließend wird beispielsweise durch Zerstäuben bei einer Substrattemperatur von 600°C ein STO-Film abgelagert: Der STO-Film wird mittels RIE unter Verwendung einer Photoresistmaske strukturiert, wobei ein dielektrischer Film **87** entsteht (Fig. 25B).

[0125] Nach Entfernen der Photoresistmaske **83** wird ein mehrlagiger Film aus der WN_x-Schicht, einer Mo-Schicht und einer Ti-Schicht (in der angegebenen Reihenfolge von unten nach oben) abgelagert und strukturier, um in entsprechender Weise wie bei der Bildung der unteren Elektrode **88** eine obere Elektrode **89** auszubilden (Fig. 25C).

[0126] Danach werden ein Zwischen(ebene)-Isolierfilm **91** abgelagert und Kontaktlöcher gebildet. Verdrahtungsschichten **92** aus Au werden an die oberen und unteren Elektroden **88** und **89** angeschlossen, so daß der Kondensator **80** in elektrische Verbindung mit den sonstigen elementaren Vorrichtungen in dem MMIC gebracht wird (Fig. 25D).

[0127] Obwohl man sich bei der Ausbildung des STO-Films im Rahmen dieser Ausführungsform eines Zerstäubungsverfahrens bei einer Substrattemperatur von 600°C bedient, kann man stattdessen auch nach einem Sol/Gel-Verfahren arbeiten. Da die Elektroden dieser Ausführungsform stabil sind, werden die Kennwerte des Kondensators auch bei Durchführung einer Wärmebehandlung bei 600°C oder mehr nach Applikation des STO-Films nach einem Sol/Gel-Verfahren nicht beeinträchtigt.

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung, umfassend einen Kondensator (**10**, **30**, **50**) mit einem dieelektrischen Film (**15a**, **34**, **54**) aus einem Metalloxid, bei dem es sich um eine dielektrische Perovskitsubstanz handelt, und ersten und zweiten Elektroden (**14**, **16a**, **32**, **35a**, **53**, **55**), zwischen denen sich der dielektrische Film befindet, wobei die erste Elektrode eine erste Kontaktfläche aus Wolframnitrid der Formel WN_x, worin der Koeffizient x im Bereich von 0,05–0,5 liegt, aufweist, die mit dem dielektrischen Film in Kontakt steht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Elektrode (**32**, **35a**) mit dem dielektrischen Film (**34**) durch eine zweite, aus Wolframnitrid bestehende Kontaktfläche in Kontakt steht.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Elektrode (**89**) eine Wolframnitridschicht, eine Titanschicht und eine zwischen der Wolframnitridschicht und der Titanschicht befindliche Sperrmetallschicht umfasst, wobei die erste Kontaktfläche durch die Wolframnitridschicht festgelegt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (**10**) für eine Verwendung bei einer Frequenz von 800 MHz oder mehr ausgelegt und die dieelektrische Perovskitsubstanz paraelektrisch ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die dielektrische Perovskitsubstanz Strontium enthält.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die erste und zweite Elektrode so angeordnet sind, dass sie eine obere bzw. untere Elektrode darstellen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die dielektrische Perovskitsubstanz aus $SrTiO_3$, $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ und $Pb_xLa_{1-x}Zr_yTi_{1-y}O_3$ ausgewählt ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die erste Elektrode eine Wolframnitridschicht und eine Titanschicht umfasst, wobei die erste Kontaktfläche durch die Wolframnitridschicht festgelegt ist.

9. Halbleitervorrichtung, umfassend:
– ein Halbleitersubstrat (**31**);
– einen auf dem Substrat angeordneten Feldeffekttransistor (**38**) mit im Substat gebildeten Source- und Draindiffusionsschichten (**39**) und einer auf dem Substrat zwischen den Source- und Draindiffusionsschichten angeordneten Schottky-Gateelektrode (**33**) und
– einen auf dem Substrat befindlichen Kondensator gemäß Anspruch 1, wobei die erste Elektrode elektrisch an die Schottky-Gateelektrode angeschlossen ist,
– wobei die Schottky-Gateelektrode (**33**) und die erste Elekrode (**32**) durch Bemusterung bzw. Strukturierung eines aus einem gemeinsamen Werkstoff bestehenden Films mit Ober- und Unterseite aus Wolframnitrid hergestellt sind und die Schottky-Gateelektrode mit dem Substrat über eine von der genannten Unterseite gebildete und aus Wolframnitrid bestehende Kontaktfläche in Kontakt steht.

10. Halbleiterspeichervorrichtung, umfassend:
– ein Halbleitersubstrat (**52**);
– einen auf dem Substrat angeordneten und als Übertragungs- bzw. Transfergate wirkenden Feldeffekttransistor (**51**), der in dem Substrat gebildete Source- und Draindiffusionsschichten (**51a**) aufweist und eine auf dem Substrat über einen Gateisolierfilm (**51b**) zwischen den Source- und Draindiffusionsschichten angeordnete Gateelektrode (**51c**) und
– einen auf dem Substrat befindlichen und an das

Übertragungs- bzw. Transfergate angeschlossenen Speicherkondensator, bei dem es sich um einen Kondensator gemäß Anspruch **1** handelt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Elektrode (**53**) zwischen dem Substrat (**52**) und dem dielektrischen Film (**54**) angeordnet ist und dass der Koeffizient x im Bereich von 0,3–0,5 liegt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Elektrode (**32**, **35a**) mit dem dielektrischen Film (**34**) durch eine zweite, aus Wolframnitrid bestehende Kontaktfläche in Kontakt steht, und dass das Wolframnitrid der zweiten Kontaktfläche durch WN_x darstellbar ist und der Koeffizient x im Bereich von 0,1–0,5 liegt.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

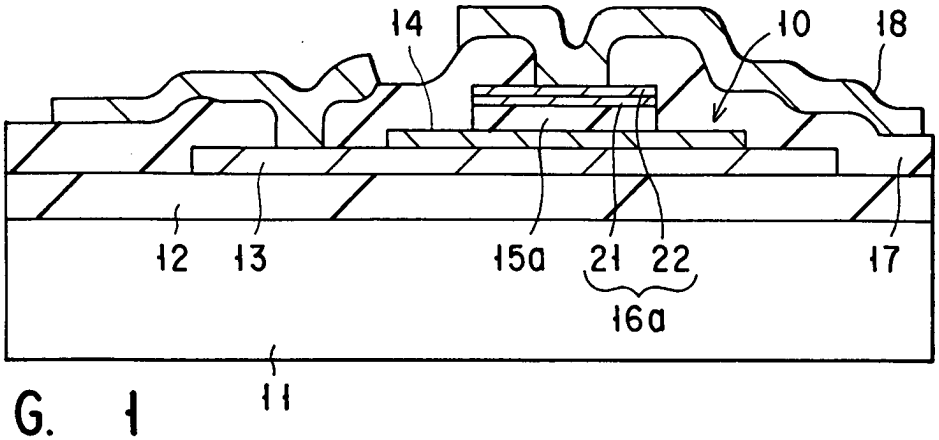


FIG. 1

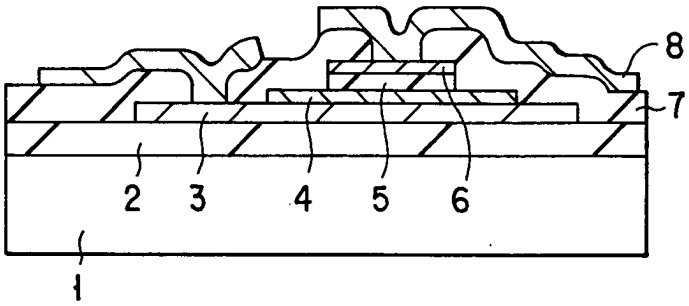


FIG. 2

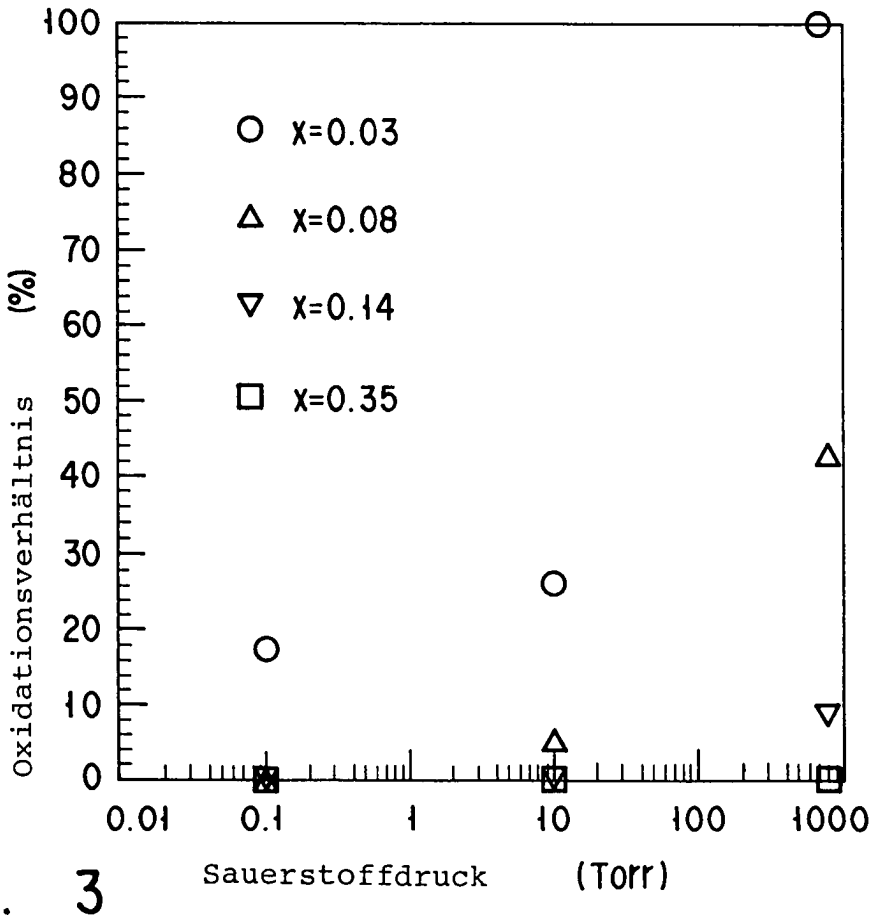


FIG. 3

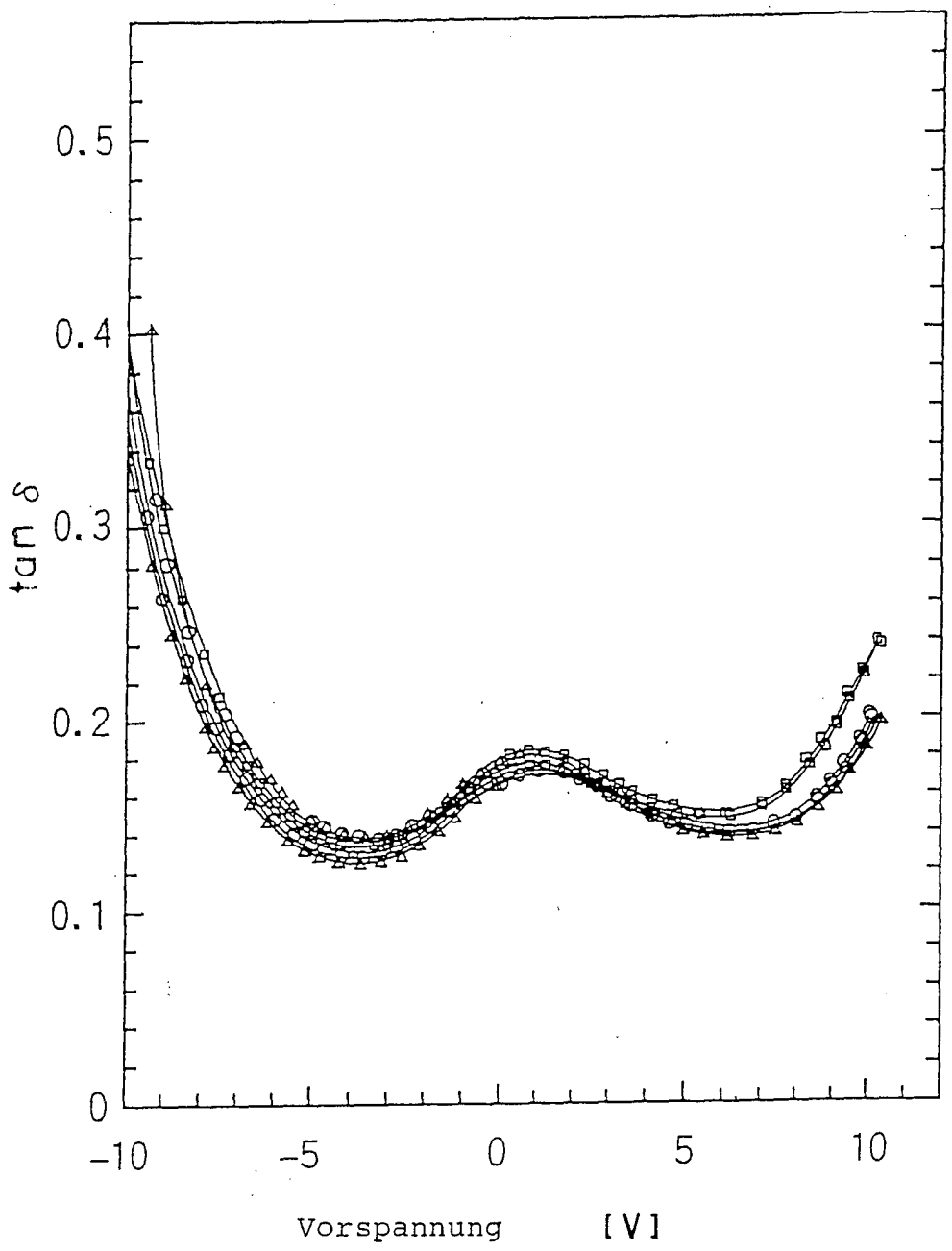


FIG. 4

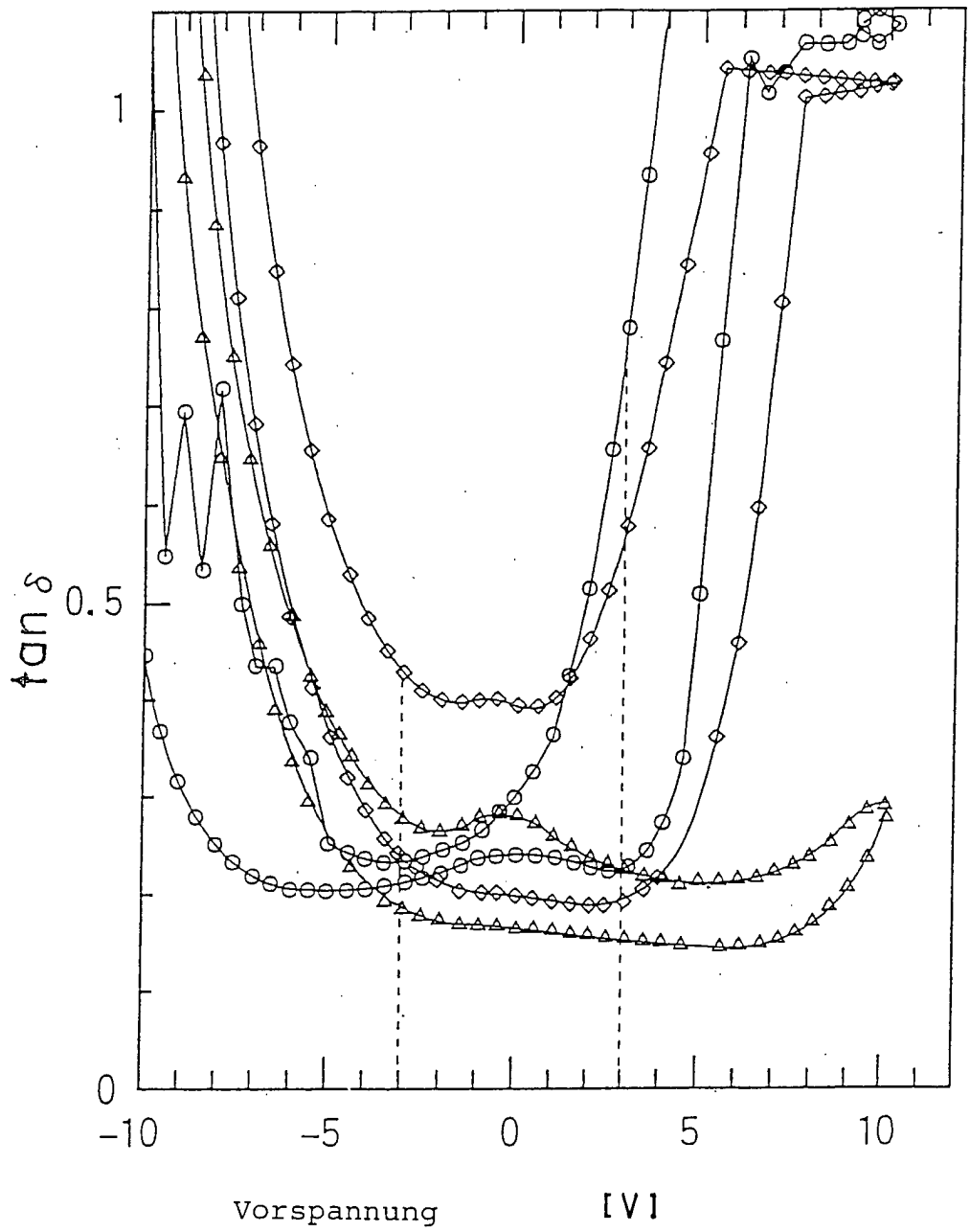


FIG. 5

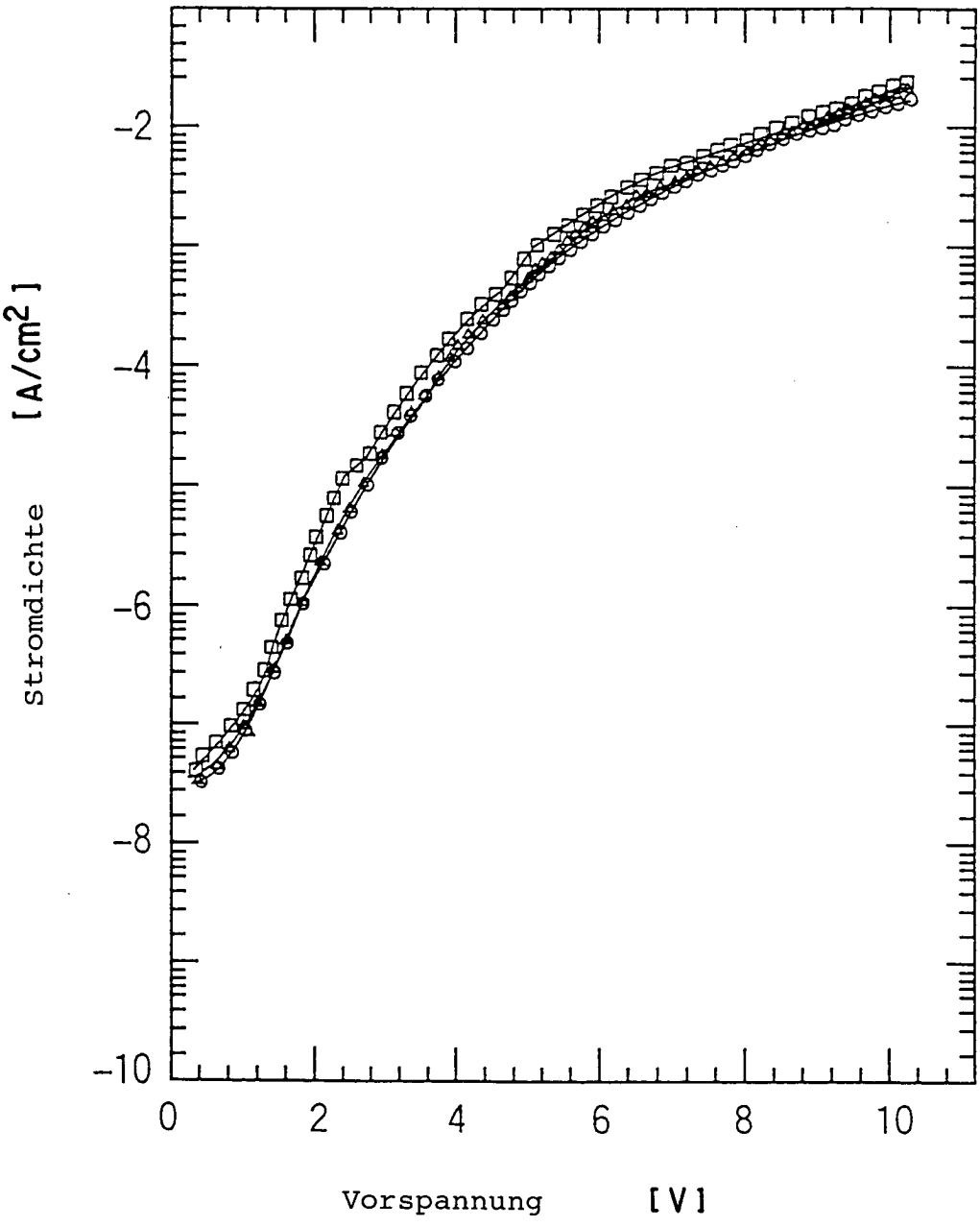


FIG. 6

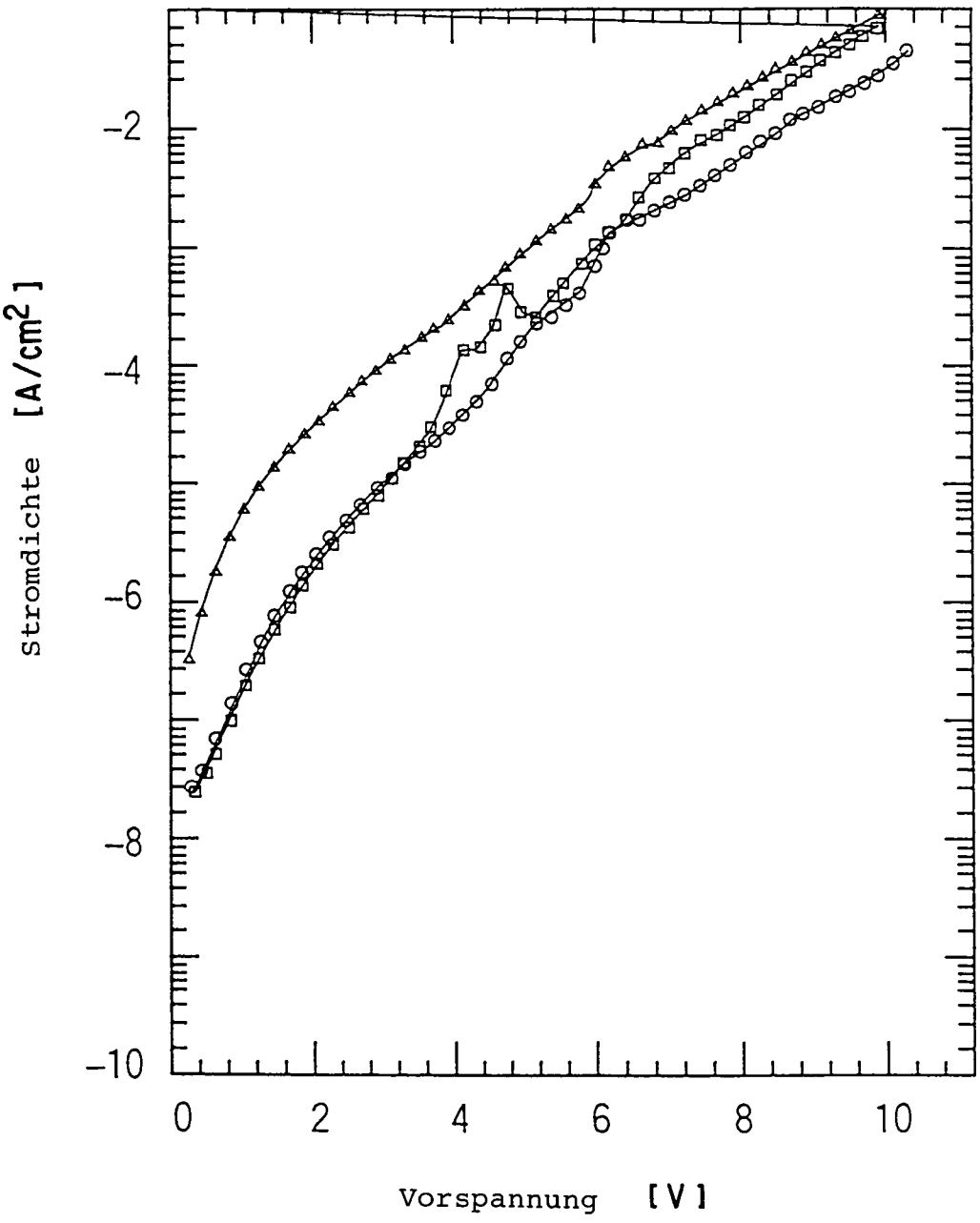


FIG. 7

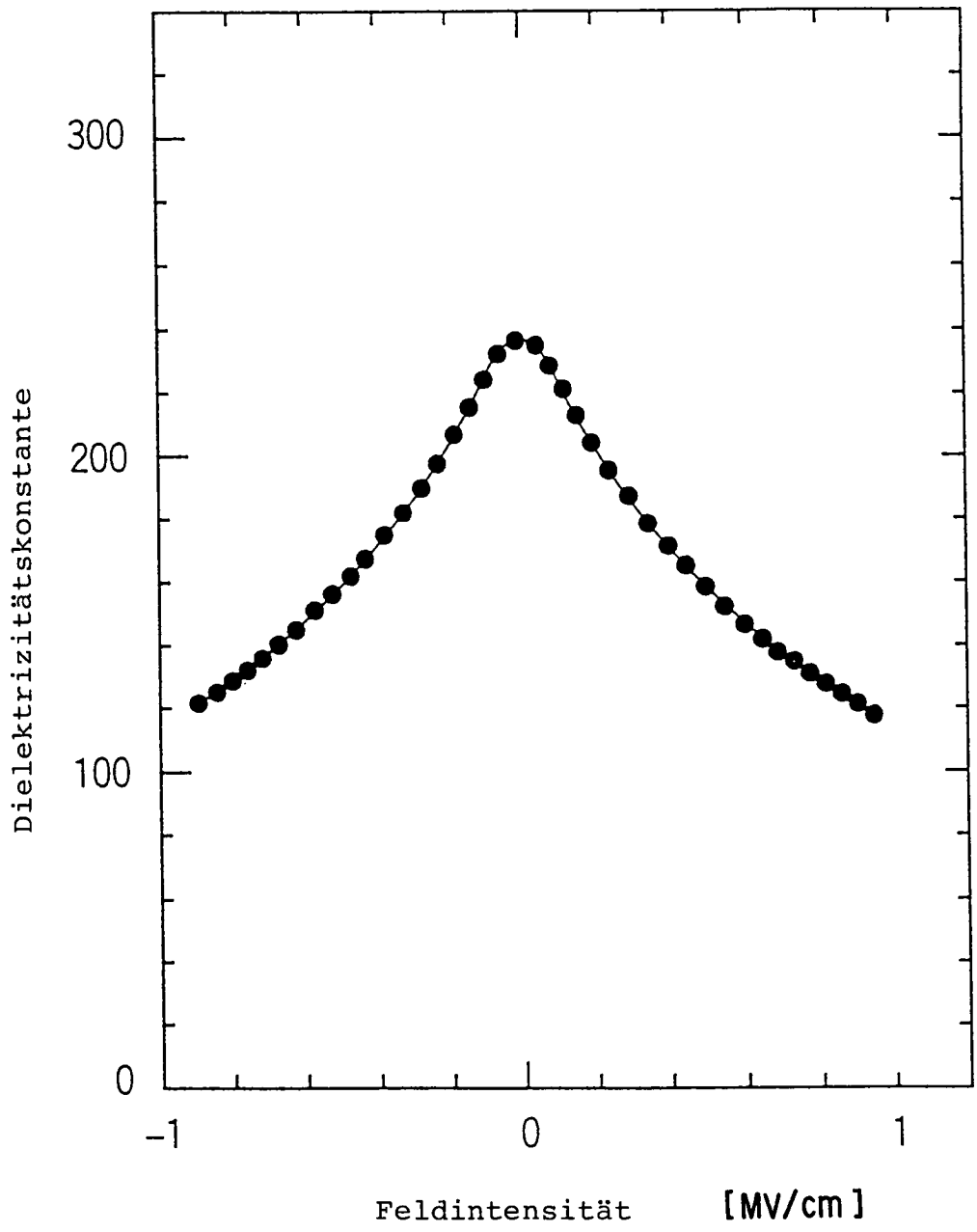

300
200
100
0
Dielektrizitätskonstante
-1
0
1
Feldintensität
[MV/cm]

FIG. 8

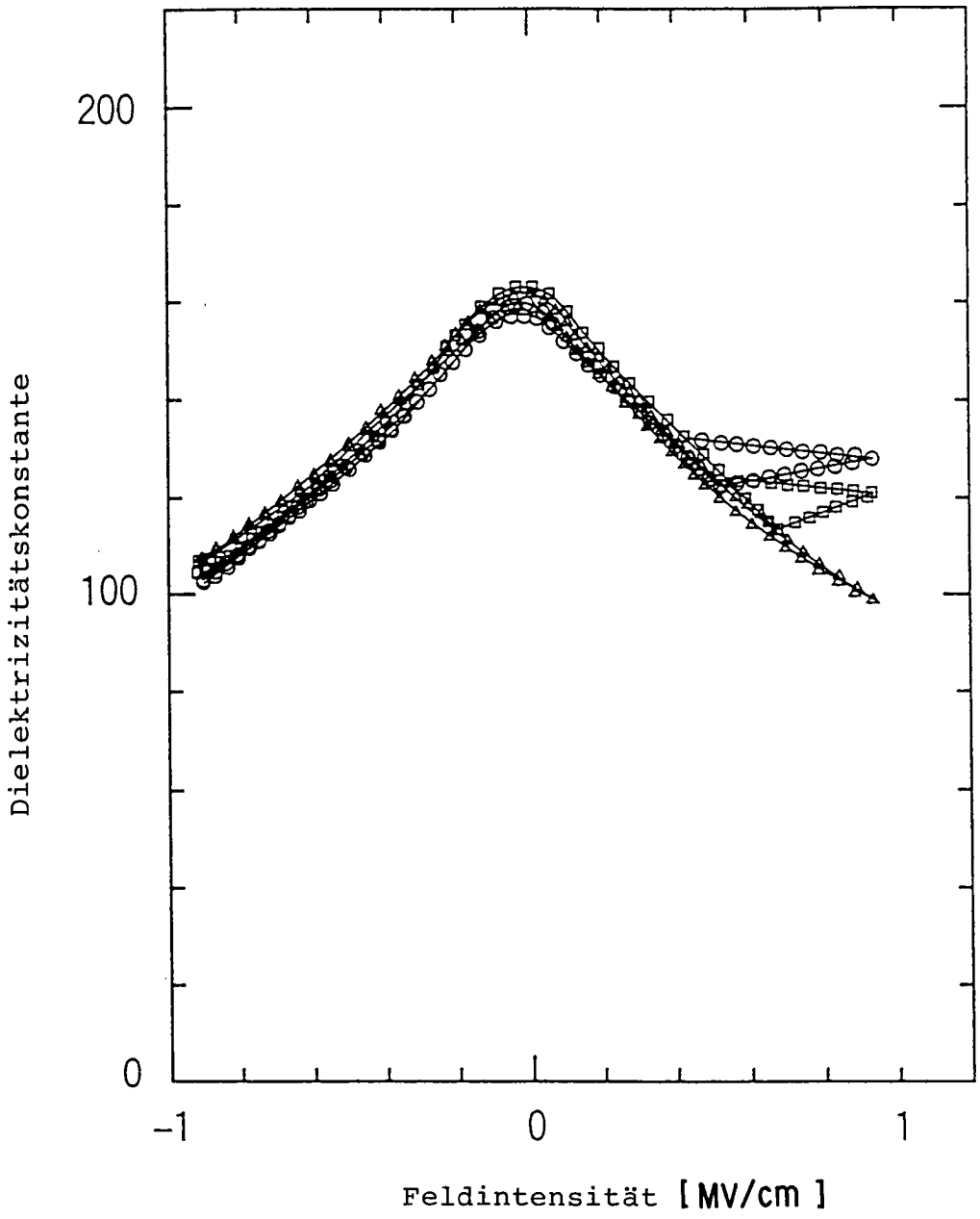

200
100
0
-1
0
1
Dielektrizitätskonstante
Feldintensität [MV/cm]

FIG. 9

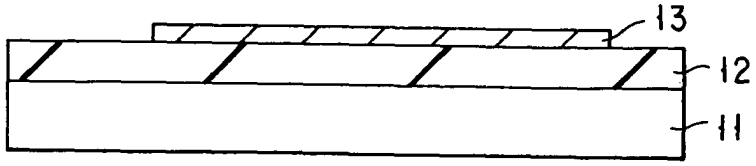


FIG. 10A

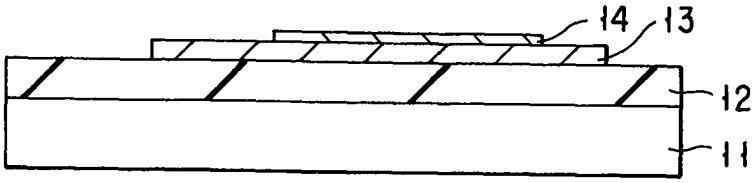


FIG. 10B

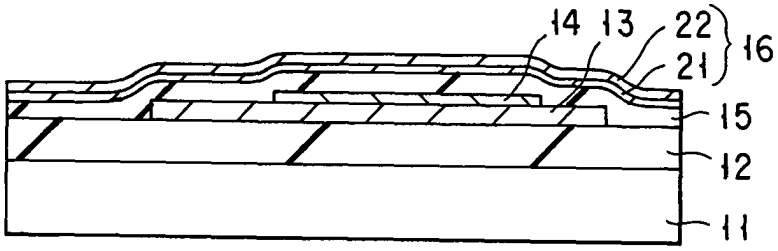


FIG. 10C

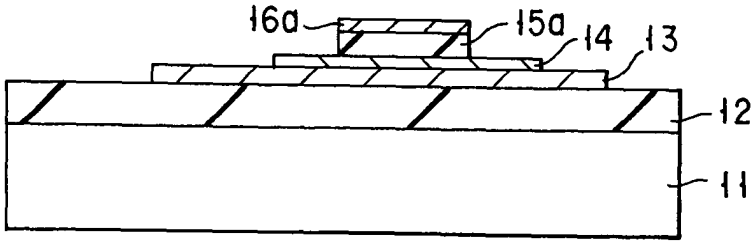


FIG. 10D

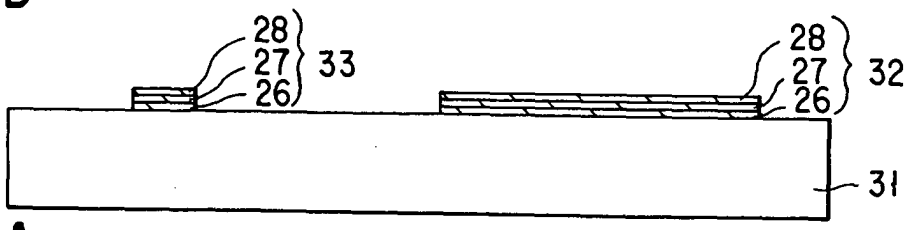


FIG. 11A

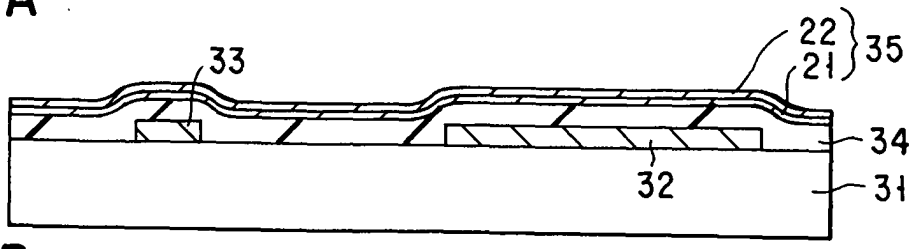


FIG. 11B

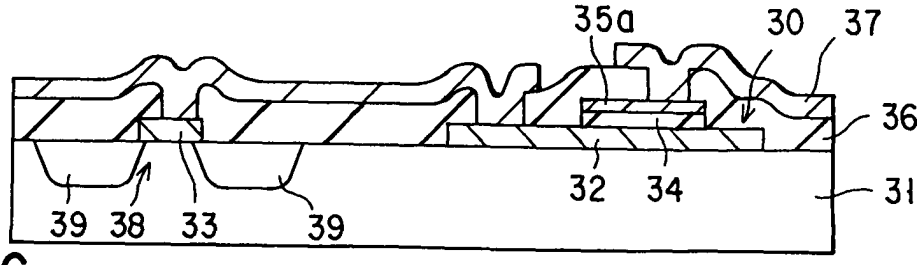


FIG. 11C

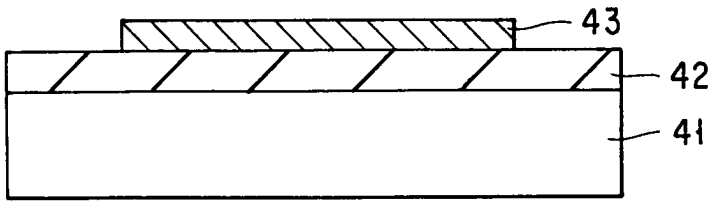


FIG. 12A

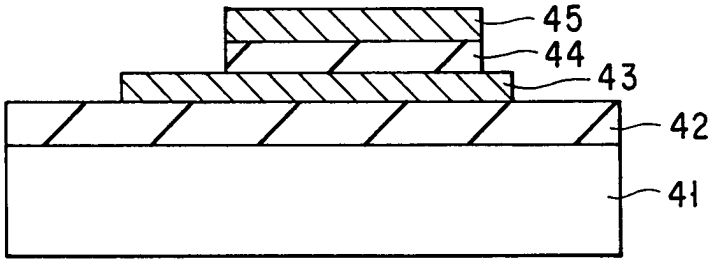


FIG. 12B

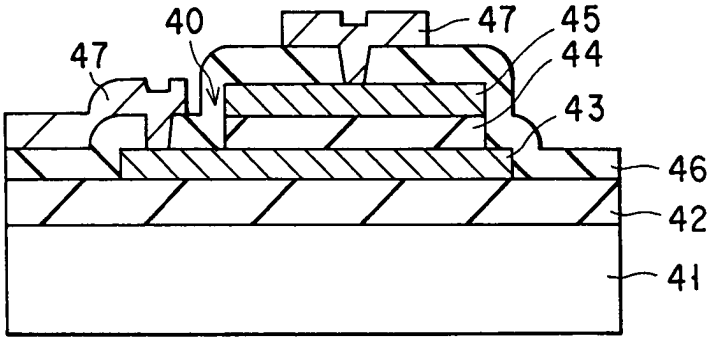


FIG. 12C

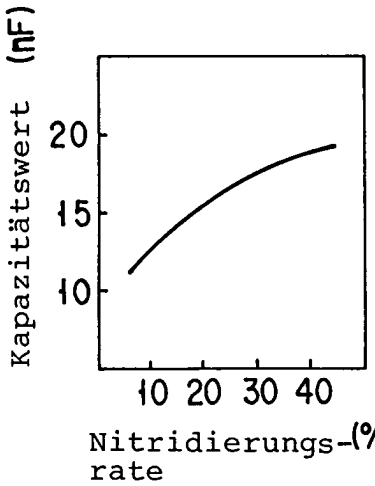


FIG. 13

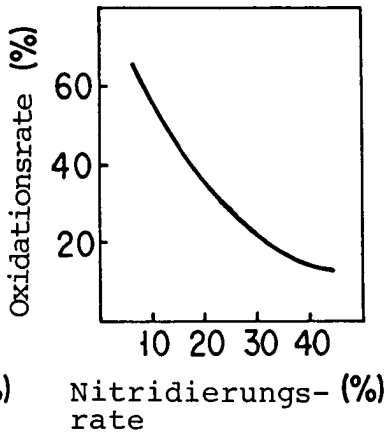


FIG. 14

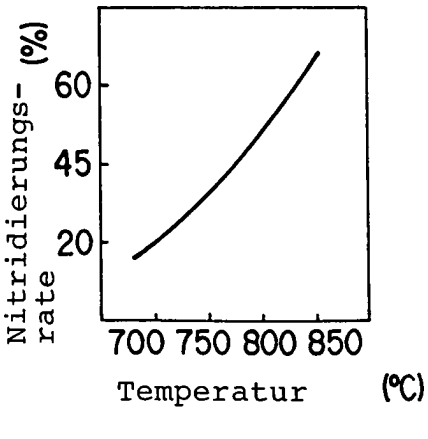


FIG. 15

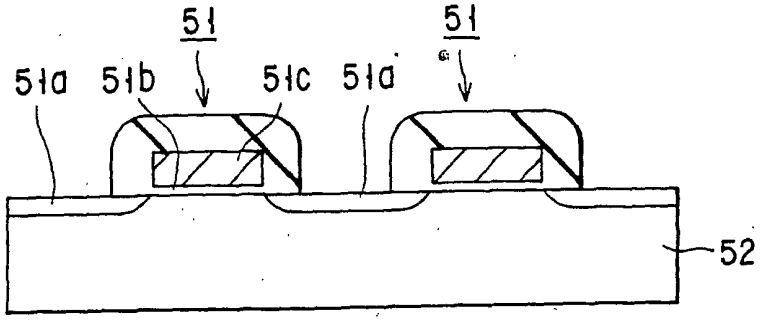


FIG. 16A

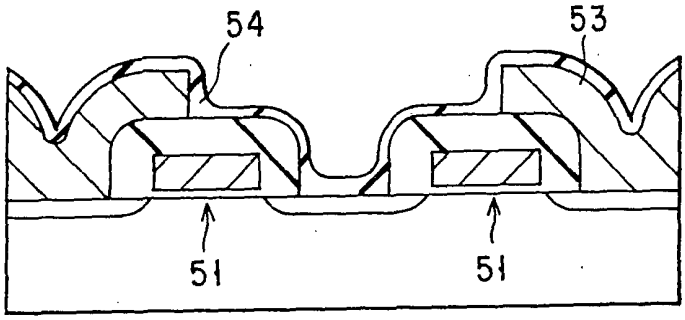


FIG. 16B

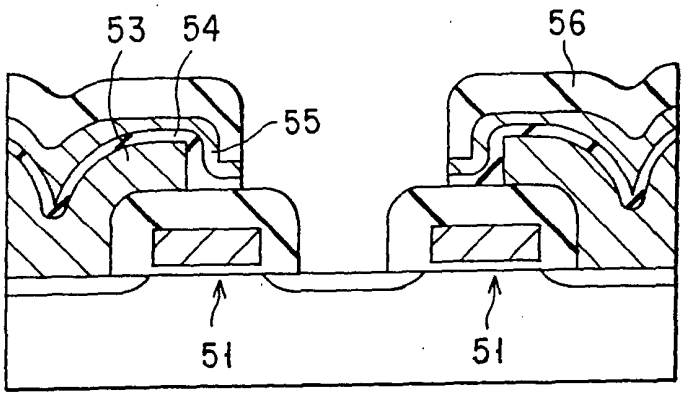


FIG. 16C

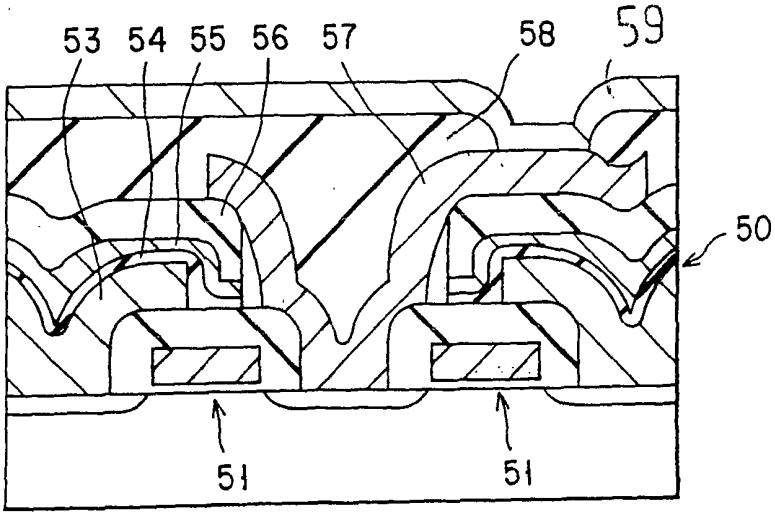


FIG. 16D

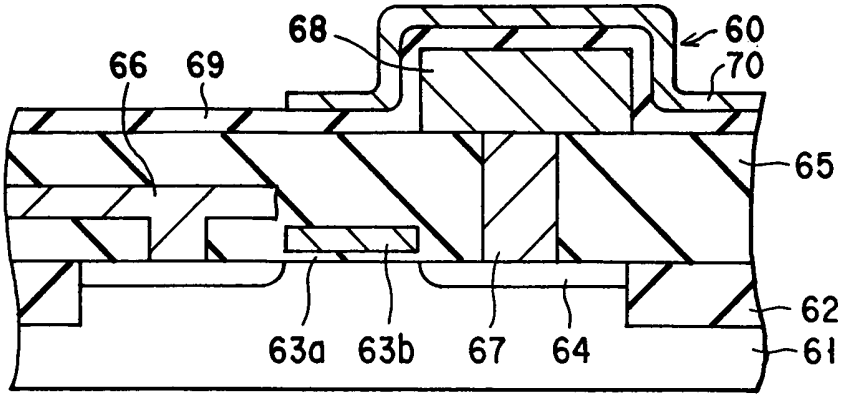


FIG. 17

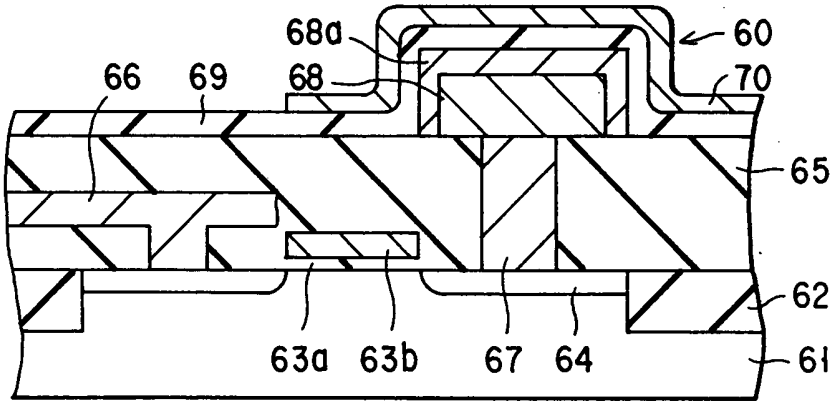


FIG. 18

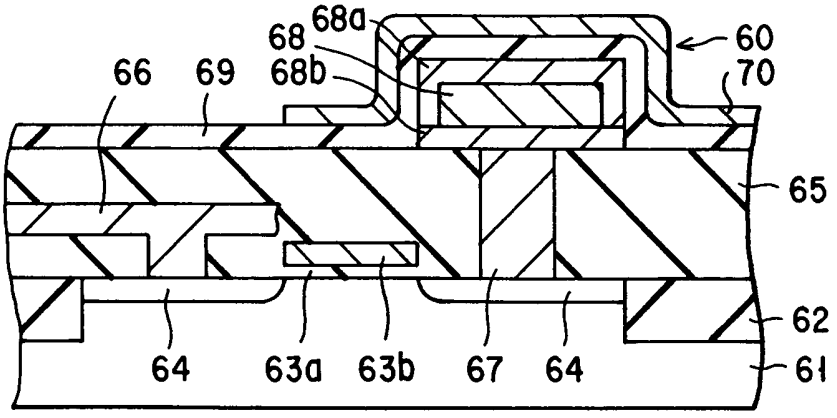


FIG. 19

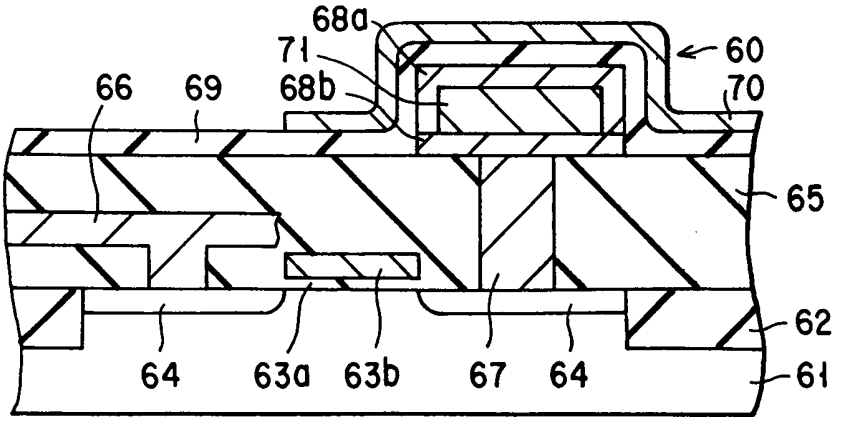


FIG. 20

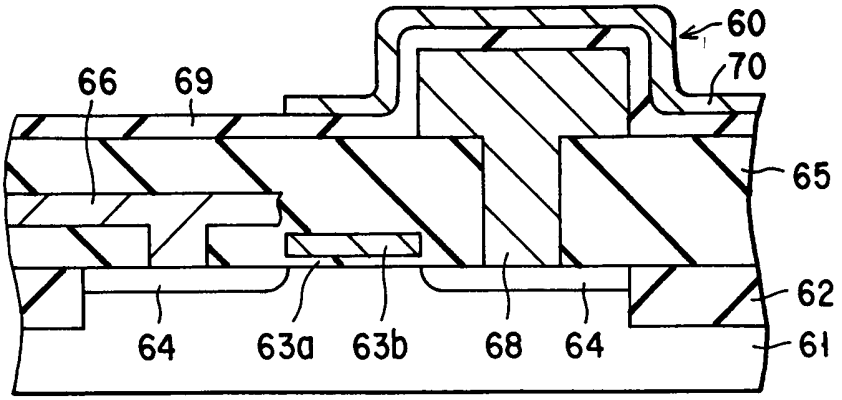


FIG. 21

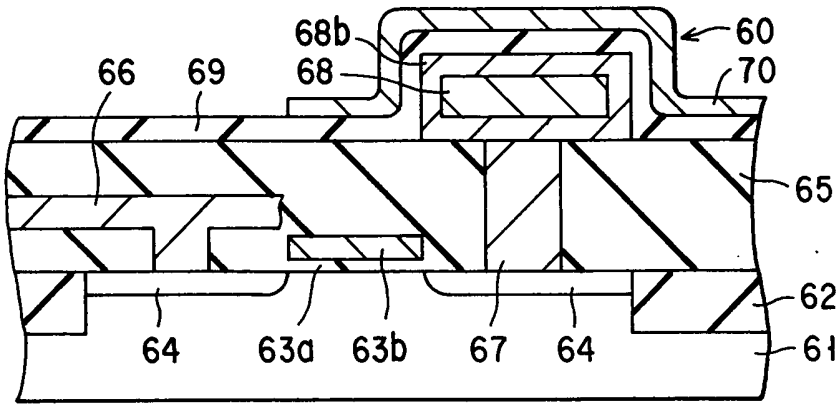


FIG. 22

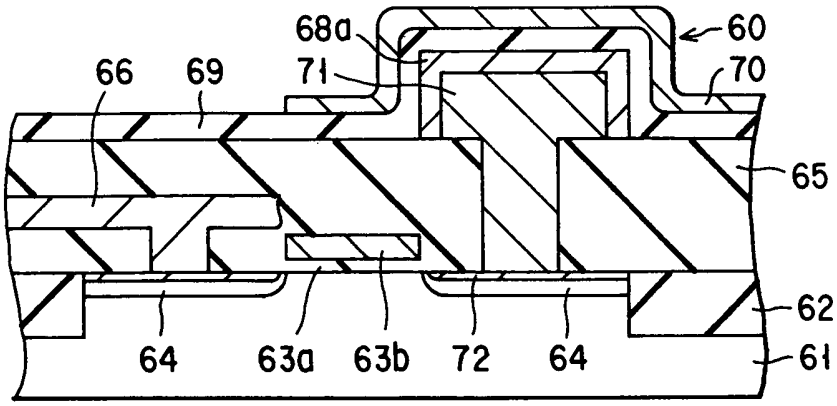


FIG. 23

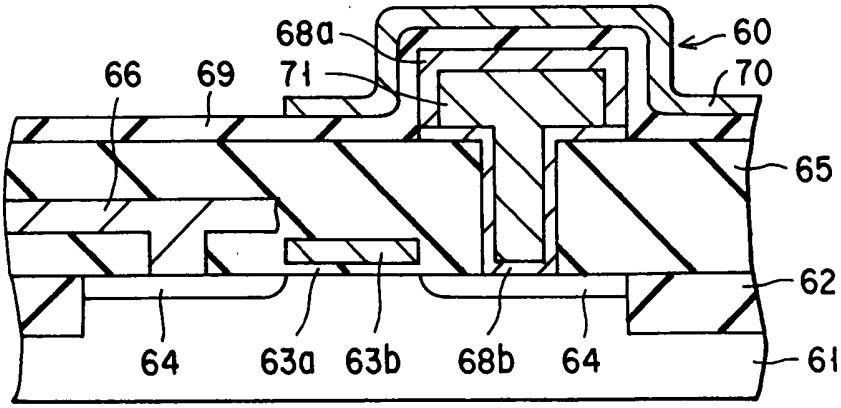


FIG. 24

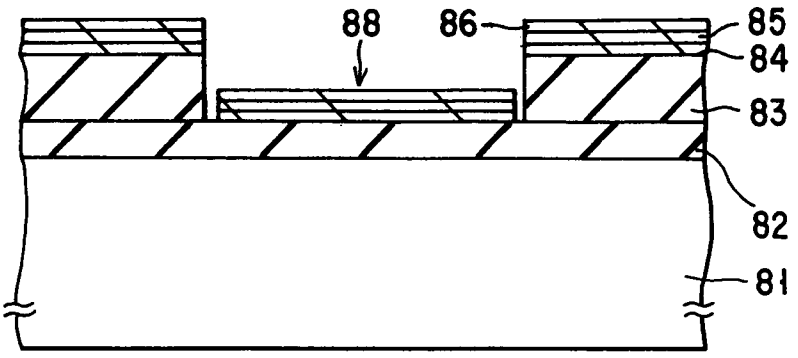


FIG. 25A

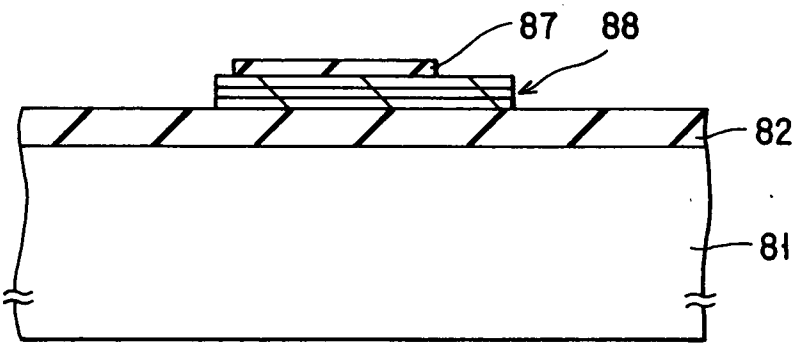


FIG. 25B

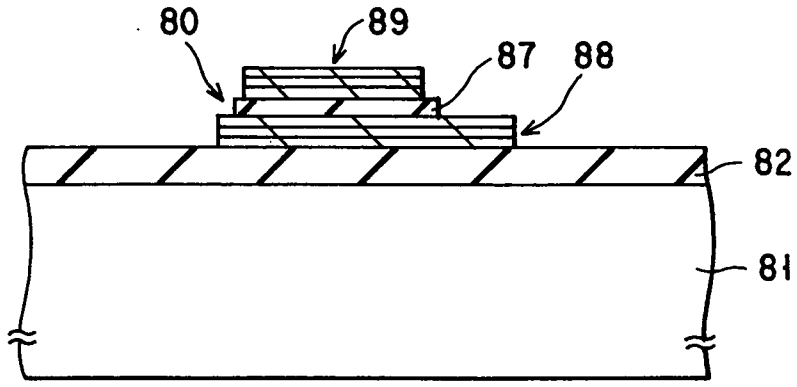


FIG. 25C

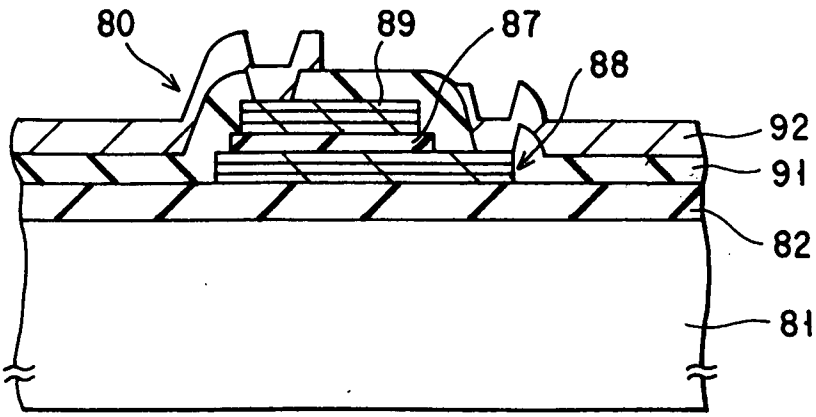


FIG. 25D