



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 16 612 T2 2006.08.17**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 269 530 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 21/336 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 16 612.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/08496**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 920 447.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/075960**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.03.2001**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **11.10.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **11.01.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.08.2006**

(30) Unionspriorität:  
**540856 31.03.2000 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR**

(73) Patentinhaber:  
**General Semiconductor, Inc., Melville, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**SO, Chong, Koon, Fremont, CA 94539, US;  
HSHIEH, Fwu-Iuan, Saratoga, CA 95070, US**

(74) Vertreter:  
**Meissner, Bolte & Partner GbR, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES DMOS-TRANSISTORS MIT EINER GRABEN-GATEE-LEKTRODE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf mikroelektronische Schaltkreise und im Spezielleren auf ein Verfahren zur Herstellung von DMOS-Grabenvorrichtungen.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Metalloxid-Halbleiterfeldeffekttransistorvorrichtungen (MOSFET-Vorrichtungen), die Graben-Gates verwenden, bieten einen niedrigen Einschaltwiderstand und werden oftmals für Schwachstromanwendungen eingesetzt. Bei einer Graben-MOSFET-Vorrichtung sind die Kanäle vertikal angeordnet, und nicht horizontal wie bei den meisten planaren Auslegungen. [Fig. 1](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen, mit Graben versehenen MOSFET-Vorrichtung mit einer Einzelzelle, die mit der Bezugszahl **2** bezeichnet ist. Die MOSFET-Zelle **2** umfasst einen Graben **4**, der mit leitfähigem Material **6** gefüllt ist, das durch eine dünne Schicht Isoliermaterial **10** von den Siliziumzonen **8** getrennt ist. Eine Körperzone **12** ist in einer Epitaxialschicht **18** diffundiert, und eine Quellenzone **14** ist wiederum in der Körperzone **12** diffundiert. Aufgrund des Einsatzes dieser beiden Diffusionsstufen wird ein Transistor dieser Art häufig als doppelt diffundierter Metalloxid-Halbleiterfeldeffekttransistor mit Grabengatter oder kurz als "Graben-DMOS" bezeichnet.

**[0003]** So wie sie angeordnet sind, bilden die leitenden und isolierenden Materialien **6** und **10** im Graben **4** das Gate **15** bzw. die Gate-Oxidschicht **16** des Graben-DMOS. Zusätzlich stellt die Länge  $L$ , gemessen ab der Quelle oder Source **14** der Epitaxialschicht **18**, die Kanallänge  $L$  der Graben-DMOS-Zelle **2** dar. Die Epitaxialschicht **18** ist ein Teil der Senke oder des Drains **20** der Graben-DMOS-Zelle **2**.

**[0004]** Wenn ein Potentialunterschied an den Körper **12** und das Gate **15** angelegt wird, werden Ladungen in der Körperzone **12** angrenzend an die Gate-Oxidschicht **16** kapazitiv induziert, was zur Entstehung des Kanals **21** der Graben-DMOS-Zelle **2** führt. Wird ein anderer Potentialunterschied an die Quelle **14** und die Senke **20** angelegt, fließt ein Strom durch den Kanal **21** von der Quelle **14** zur Senke **20**, und der Graben-DMOS **2** wird als in einem Einschaltzustand befindlich bezeichnet.

**[0005]** Die vorstehend beschriebene DMOS-Vorrichtung hat eine ihr innewohnende hohe Schwellenspannung. Mit Bezug auf [Fig. 1](#) wird die Schwellenspannung als Mindestpotentialunterschied zwischen dem Gate **15** und dem Körper **12** definiert, der notwendig ist, um den Kanal **21** in der Körperzone **12** zu schaffen. Die Schwellenspannung hängt von verschiedenartigen Faktoren, einschließlich der Dicke des Gate-Oxids **16** und der Störstellenkonzentration der Körperzone **12** ab.

**[0006]** Häufig wird die Dicke des Gate-Oxids **16** reduziert, um die Schwellenspannung zu senken. Unglücklicherweise schmälert dieser Lösungsansatz den endgültigen Produktionsertrag sowie die Zuverlässigkeit des Graben-DMOS ernsthaft. Wie beispielsweise aus [Fig. 1](#) ersichtlich, ist, je dünner die Gate-Oxidschicht **16** ist, die Wahrscheinlichkeit umso höher, dass das leitende Material **6** die Halbleiterzonen **8** über einen Defekt in der Gate-Oxidschicht **16** kurzschließt. Überdies erhöht eine Abnahme bei der Oxiddicke die Gate-Ladung, wodurch die Schaltgeschwindigkeit gemindert wird.

**[0007]** Ein anderer Weg zum Reduzieren der Schwellenspannung besteht darin, die Störstellenkonzentration der Körperzone **12** zu senken. [Fig. 2](#) zeigt das Diffusionsprofil einer Graben-DMOS-Zelle. Die x-Achse von [Fig. 2](#) stellt den Abstand gemessen ab der ebenen Fläche **22** zur Quelle **14**, der Körperzone **12** und der Senkenzone **20** von [Fig. 1](#) dar. Zum Beispiel befindet sich die Quellenzone **14** zwischen  $x = 0$  bis  $x = x_{js}$ . Entsprechend ist die Körperzone **12** zwischen  $x = x_{js}$  und  $x = x_{jb}$  positioniert. Die Senkenzone **20** beginnt bei  $x = x_{jb}$  und geht bis zum rechten Rand von [Fig. 2](#) weiter. Die y-Achse von [Fig. 2](#) entspricht der Störstellenkonzentration (Absolutwert) der verschiedenen Zonen.

**[0008]** Während normalen Betriebs werden die Senkenzone **20** und die Körperzone **12** in Sperrrichtung betrieben. In der Folge entsteht eine Sperrschicht, die durch eine wie in [Fig. 1](#) gezeigte Sperrschicht **24** mit einer Sperrschichtdicke  $W$  gekennzeichnet ist. Wie im Stande der Technik hinlänglich bekannt ist, ist die Sperrschichtdicke  $W$ , die sich in diese Zone erstreckt, umso dicker, je schwächer die Störstellenkonzentration einer Zone ist. Wenn mit Rückbezug auf [Fig. 1](#) die Körperzone **12** zu schwach dotiert ist, kann es sein, dass die Sperrschicht **24** die Quellenzone **14** während des Betriebs erreicht, was zu einem "Durchgreifeffekt" genannten unerwünschten Effekt führt. Während des Durchgreifeffekts fließt Strom direkt von der Quelle **14** zur Senke **20**, ohne den Kanal **21** zu passieren, und es findet ein Durchschlag statt.

**[0009]** Wieder mit Bezug auf [Fig. 2](#) entspricht der schraffierte Bereich unter der Störstellenkurve **30** von  $x = x_{js}$  bis  $x = x_{jb}$  der Gesamtladung, die in der Körperzone **12** gespeichert ist. Die Schwellenspannung der Graben-DMOS-Zelle **2** kann dadurch gesenkt werden, dass die Störstellenkonzentration der Körperzone **12** reduziert wird, wie grafisch durch die niedriger liegende Kurve **26** (in [Fig. 2](#) mit einer unterbrochenen Linie) gezeigt ist. Das Senken der Störstellenkonzentration in der Körperzone **12** führt jedoch zu einer Ausweitung der Sperrschicht **24** und erhöht die wie vorstehend beschriebene Wahrscheinlichkeit eines Durchgreifeffekts im Graben-DMOS **2**.

**[0010]** Es wurden auch Versuche unternommen, die Quellenzone **14** bis in eine größere Tiefe zu diffundieren, wie in [Fig. 2](#) durch eine weitere Kurve **28** in unterbrochener Linie gezeigt ist, die sich mit der Körperstörstellendiffusionskurve **30** schneidet, um einen neuen Quellenübergang zu bilden. Wie beim Senken der Störstellenkonzentration in der Körperzone **12** besteht der Zweck darin, die in der Körperzone **12** gespeicherte Gesamtladung zu reduzieren und somit die Schwellenspannung zu senken. Jedoch wird ein Durchgreifeffekt vor einem solchen Hintergrund wahrscheinlicher, weil die Strecke, die die Sperrschicht **24** bis zum Erreichen der Quellenzone zurücklegt, kürzer wird.

**[0011]** Noch ein anderer Lösungsweg wird im US-Patent Nr. 5,907,776 vorgestellt. In diesem Patent ist das in [Fig. 3](#) durch eine unterbrochene Linie **30** dargestellte herkömmliche Dotiermittelprofil für die Körperzone abgeändert. Die y-Achse in [Fig. 3](#), die analog zu derjenigen von [Fig. 2](#) ist, entspricht der absoluten Störstellenkonzentration der verschiedenen Zonen des Halbleitersaufbaus **2**. In [Fig. 3](#) sind die Störstellenkonzentrationen der Quellenzone **14**, Körperzone **12** und Senkenzone **20** durch die Kurven **64**, **66** bzw. **68** dargestellt. Wieder befindet sich die Quellenzone **14** zwischen der ebenen Fläche ( $x = 0$ ) und  $x = x_{js}$ , die Körperzone **12** ist zwischen  $x = x_{js}$  und  $x = x_{jb}$  positioniert, und die Senkenzone **20** fängt bei  $x = x_{jb}$  an. Es wäre festzuhalten, dass in [Fig. 3](#) die überschüssige Störstellenkonzentration für die Körperstörstellenkurve **66** angrenzend an die Quellengrenze  $x = x_{js}$  bezüglich der herkömmlichen Störstellenkurve **30**, die in unterbrochenen Linien dargestellt ist, abgeschnitten ist. Das Abflachen des Störstellenprofils bei der Kurve **66** angrenzend an die Quellen-/Körpergrenze  $x = x_{js}$  erfüllt mehrere Aufgaben. Erstens wird die Schwellenspannung aufgrund der reduzierten Störstellenkonzentration (und von daher der reduzierten Gesamtladung) in der Körperzone **12** wesentlich gesenkt. Darüber hinaus findet die Reduktion bei der Ladung fern von der Körper-/Senkengrenze  $x = x_{jb}$  statt, wo die Sperrschicht **24** ihren Ausgang nimmt und sich erstreckt. Im Ergebnis besteht praktisch keine Gefährdung der Störstellenkonzentration in der Masse der Körperzone **12** soweit die Körperzone betroffen ist, und die Senkung der Störstellenkonzentration hat wenig Auswirkung auf einen Durchgreifeffekt.

**[0012]** Das US-Patent Nr. 5,907,776 lehrt, dass die abgeschnittene Körperdiffusionskurve **66** von [Fig. 3](#) durch einen Körperzonenausgleich geschaffen ist, der vorzugsweise auf aufeinanderfolgende Implantationsschritte hinausläuft. Siehe Spalte 5, Zeile 48 bis Spalte 6, Zeile 13 und Spalte 7, Zeilen 39–56. Ein Material der P-Art, wie Bor, ist bevorzugt, weil es weniger Implantationsenergie erforderlich macht als andere Entsprechungen der N-Art. Ein Ausgleich mit einer Störstelle der P-Art bedeutet, dass die Körperzone von der N-Art, und von daher der Transistor von der Sorte P-N-P sein muss. Ein N-P-N-Aufbau (d.h. eine N-Kanalvorrichtung) ist häufig jedoch wünschenswerter als ein P-N-P-Aufbau (d.h. eine P-Kanalvorrichtung), weil solche Strukturen aufgrund höherer Elektronenbeweglichkeit eine bessere Strombelastbarkeit haben. Ein Ausgleich einer Körperzone der P-Art mit einem Dotiermittel der N-Art macht jedoch einen oder mehrere energiezehrende Implantationsschritte notwendig. Beispielsweise benötigt mit Bezug auf [Fig. 6](#) des US-Patents Nr. 5,907,776 eine Eindringtiefe von 0,3 Mikrometer (die in diesem Patent als Beispiel dargestellt ist) eine Implantationsenergie von 83 eV, wenn Bor von der P-Art als Implantationsart verwendet wird. Für dieselbe Eindringtiefe benötigen die Dotiermittel der N-Art, Phosphor und Arsen, Implantationsenergien von 200 eV und darüber. Unglücklicherweise liegen solche Energien jenseits der Grenzen vieler Fertigungsgießereien.

**[0013]** Von besonderer Bedeutung für diese Anmeldung ist die im US-Patent Nr. 5,072,266 offenbarte Arbeit, die einen optimierten Silizium-DMOS-Aufbau diskutiert. Darin wird das Problem eines Lawinendurchbruchs im Halbleiter als Ergebnis scharfkantig ausgebildeter Grabenwände, insbesondere der Ecken und Winkel, die zwischen der Grabenbasis und Seitenwänden entstehen, erläutert. Das US-Patent Nr. 5,072,266 offenbart, wie das Aufwachsen einer Siliziumoxid-Opferschicht über der Fläche der Struktur, welche die Seitenwände und die Basis des Grabens umfasst, gefolgt von einem Abtragen der Opferschicht durch Nassätzen, die Ecken und Winkel des Grabens abrundet. Es wird gezeigt, dass dieses Abrunden der Grabenecken und -winkel das örtliche elektrische Feld reduziert, was wiederum die Wahrscheinlichkeit eines Lawinendurchbruchs mindert. Darüber hinaus werden die Auswirkungen von Siliziumoxidation auf Siliziumstörstellen erörtert, siehe [Fig. 3](#) des US-Patents Nr. 5,072,266, wobei die Wanderung von Störstellen der N-Art vorzugsweise in das Silizium, und Störstellen der P-Art vorzugsweise in das Siliziumoxid offenbart wird.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0014]** Vorstehende und weitere Mängel aus dem Stand der Technik werden durch das Verfahren der vorliegenden Erfindung überwunden.

**[0015]** Ein Herstellungsverfahren nach der vorliegenden Erfindung ist in Anspruch 1 dargelegt. Spezielle Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

**[0016]** Nach einer Ausführungsform der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Graben-DMOS-Transistors oder mehrerer Graben-DMOS-Transistoren bereitgestellt. In dieser Ausführungsform wird ein Substrat mit einer ersten Leitfähigkeitsart bereitgestellt, und über dem Substrat eine Epitaxialschicht der ersten Leitfähigkeitsart ausgebildet, die vorzugsweise eine niedrigere Majoritätsträgerkonzentration hat als das Substrat. Das Substrat und die Epitaxialschicht haben vorzugsweise eine Leitfähigkeit der N-Art und bestehen vorzugsweise aus Silizium.

**[0017]** Eine Zone einer zweiten Leitfähigkeitsart wird dann in einem oberen Abschnitt der Epitaxialschicht ausgebildet, und mehrere Gräben werden in der Epitaxialschicht ausgebildet, um eine oder mehrere Körperzone/n in der Zone der zweiten Leitfähigkeitsart zu bilden. Vorzugsweise umfasst der Schritt des Ausbildens der Zone der zweiten Leitfähigkeitsart das Implantieren und Diffundieren eines Dotiermittels in die bzw. in der Epitaxialschicht, und der Schritt des Ausbildens der Gräben umfasst das Ausbilden einer strukturierten Maskierungsschicht über der Epitaxialschicht und des Ätzens der Gräben durch die Maskierungsschicht hindurch. Bei der zweiten Leitfähigkeitsart handelt es sich vorzugsweise um die Leitfähigkeitsart der P-Art, die noch bevorzugter von einem Bor-Dotiermittel bereitgestellt wird.

**[0018]** Eine erste Isolierschicht, die die Gräben auskleidet, wird anschließend ausgebildet und eine leitende Zone in den Gräben angrenzend an die erste, die Gräben auskleidende Isolierschicht vorgesehen. Bei der ersten Isolierschicht handelt es sich vorzugsweise um eine Oxidschicht, und sie wird vorzugsweise durch Trockenoxidation ausgebildet. Die leitende Zone ist vorzugsweise eine polykristalline Siliziumzone, und sie wird vorzugsweise dadurch ausgebildet, dass eine Schicht polykristallinen Siliziums abgeschieden und diese dann durch Ätzen abgetragen wird.

**[0019]** Die Majoritätsträgerkonzentration in der einen oder den mehreren Körperzone/n wird modifiziert, indem ein Teil der ersten Isolierschicht entlang oberer Seitenwandabschnitte der Gräben vorzugsweise durch Nassätzen entfernt wird, so dass nur obere Abschnitte der Körperzone entlang der Grabenseitenwände bloßliegen. Eine Oxidschicht wird dann durch Oxidieren zumindest der bloßliegenden oberen Abschnitte der Körperzonen ausgebildet, was zu Zonen verminderter Majoritätsträgerkonzentration in den Körperzonen an deren oberen Abschnitten angrenzend an die Oxidschicht führt. Bei diesem Oxid-Ausbildungsschritt kann es sich beispielsweise um Trockenoxidation bei einer Temperatur im Bereich von 900 bis 1100°C, bevorzugter 900 bis 950°C handeln. Alternativ kann die Oxidschicht in Dampf bei einer Temperatur im Bereich von 900 bis 1100°C, bevorzugter 900 bis 950°C ausgebildet werden.

**[0020]** Mehrere Quellzonen der ersten Leitfähigkeitsart werden in den oberen Abschnitten der Körperzonen angrenzend an die Gräben so ausgebildet, dass die Quellzonen an die Zonen verminderter Majoritätsträgerkonzentration in den Körperzellen angrenzen. Die Quellzonen werden vorzugsweise dadurch ausgebildet, dass eine strukturierte Maskierungsschicht vorgesehen wird und ein Dotiermittel in die Körperzonen implantiert und darin diffundiert wird.

**[0021]** Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass eine niedrige Schwellenspannung hergestellt werden kann, ohne dass dabei auf eine dünnere Gate-Oxidschicht zurückgegriffen wird (was den Ertrag und die Schaltgeschwindigkeit senken würde), und ohne die Wahrscheinlichkeit eines Durchgreiffeffekts wesentlich zu erhöhen.

**[0022]** Ein weiterer, damit verbundener Vorteil ist, dass die Oxiddicke und von daher die Schaltgeschwindigkeit und der Ertrag maximiert werden können, während gleichzeitig eine angemessen niedrige Schwellenspannung beibehalten bleibt.

**[0023]** Noch ein weiterer Vorteil besteht darin, dass ein wünschenswertes Störstellenprofil in den Körperzonen erzielt werden kann, ohne dass dabei auf hohe Implantationsenergien oder einen P-N-P-Aufbau zurückgegriffen werden müsste.

[0024] Diese und weitere Ausführungsformen und Vorteile werden dem durchschnittlichen Fachmann auf dem Gebiet bei der Durchsicht der ausführlichen Beschreibung und den Ansprüchen, die folgen, sofort klar werden.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0025] [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen Graben-DMOS-Vorrichtung.

[0026] [Fig. 2](#) ist ein Diffusionsprofil für die Graben-DMOS-Vorrichtung von [Fig. 1](#), das die Störstellenkonzentrationen der verschiedenen Zonen darstellt.

[0027] [Fig. 3](#) ist ein weiteres Diffusionsprofil für die Graben-DMOS-Vorrichtung von [Fig. 1](#), das die Störstellenkonzentrationen der verschiedenen Zonen darstellt.

[0028] Die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4F](#) sind Schnittansichten, die ein Verfahren zur Herstellung eines Graben-DMOS nach einer Ausführungsform der Erfindung darstellen.

[0029] [Fig. 5](#) stellt ungefähre Dotierprofile bei einem bordotierten Siliziummaterial nach der Ausbildung eines Oberflächenoxids in Trockensauerstoff bei 900°C dar.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0030] Die vorliegende Erfindung wird nachstehend nun ausführlicher mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, worin bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gezeigt sind. Die Erfindung lässt sich jedoch in verschiedenen Formen konkretisieren, die im Rahmen der beigefügten Ansprüche liegen, und sollten nicht auf die hier dargelegten Ausführungsformen beschränkt aufgefasst werden.

[0031] Nunmehr ist mit Bezug auf [Fig. 4A](#) eine N-dotierte Epitaxialschicht **202** auf einem N+-dotierten Substrat **200** aufgewachsen. Beispielsweise kann die Epitaxialschicht **202** 5,5 µm (Mikrometer) dick sein und eine Dotiermittelkonzentration von  $3,4 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$  für eine 30 V-taugliche Graben-DMOS-Vorrichtung haben. Als Nächstes werden P-Körperzonen **204** durch Implantations-, Diffusions- und Grabenausbildungsprozesse in der Epitaxialschicht **202** ausgebildet. Beispielsweise kann die Epitaxialschicht **202** mit Bor bei 50 keV mit einer Dosierung von  $6 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-3}$  implantiert werden, gefolgt von einer Diffusion bei 1100°C. Eine (nicht gezeigte) strukturierte Maskierungsschicht wird dann bereitgestellt und Gräben **207** durch Öffnungen in der strukturierten Maskierungsschicht hindurch ausgebildet. Die Gräben **207** werden vorzugsweise durch Trockenätzung durch die Öffnungen in der Maskierungsschicht hindurch über reaktives Ionenätzen zum Beispiel bis in eine Tiefe hergestellt, die im Bereich von 1,0 bis 2,0 µm (Mikrometer) liegt, wodurch eigenständige P-Körperzonen **204** entstehen. Die strukturierte Maskierungsschicht wird dann entfernt und eine Oxidschicht **206** über der Oberfläche des gesamten Aufbaus, typischerweise durch Trockenoxidation ausgebildet. Eine Oxiddicke im Bereich von 30 bis 70 nm (300 bis 700 Angström) ist typisch für die Schicht **206**. Der sich ergebende Aufbau ist in [Fig. 4A](#) gezeigt.

[0032] Die Oberfläche des Aufbaus wird dann unter Verwendung von auf diesem Gebiet bekannten Verfahren wie CVD mit einer Polysiliziumschicht (d.h. einer polykristallinen Siliziumschicht) bedeckt (und die Gräben damit gefüllt). Das Polysilizium wird beispielsweise auf die N-Art dotiert, um seinen spezifischen Widerstand zu senken, typischerweise auf die Größenordnung von 20 Ω/sq zu senken. Eine Dotierung der N-Art kann beispielsweise während der CVD mit Phosphorchlorid oder durch Einpflanzen von Arsen oder Phosphor durchgeführt werden. Die Polysiliziumschicht wird dann beispielsweise durch reaktives Ionenätzen abgetragen, um ihre Dicke in den Gräben zu optimieren und Teile der Oxidschicht **206**, wie in [Fig. 4B](#) gezeigt, bloßzulegen. Aufgrund von Belangen der Ätzgleichmäßigkeit wird die Polysiliziumschicht etwas überätzt, und die so entstehenden Polysilizium-Gatezonen **210** haben typischerweise Oberflächen, die sich 0,1 bis 0,2 µm (Mikrometer) unter den angrenzenden Oberflächen der P-Körperzone **204** befinden (als Distanz "d" in [Fig. 4B](#) gezeigt).

[0033] Allgemein wird an diesem Punkt bei der Ausbildung des Graben-DMOS die Oxidschicht **206** auf eine gezielte Dicke nassgeätzt, um ein Implantatoxid zu bilden. Das Implantatoxid verhindert Implantatkanalbildungseffekte, Implantatbeschädigung und Schwermetallverunreinigung während der anschließenden Ausbildung der Quellzonen (siehe unten).

[0034] Hingegen und entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Oxidschicht **206** einer kräftigeren Ätzbehandlung unterzogen, indem beispielsweise die Zeit des Nassätzens erhöht wird.

Dadurch wird die Oxidschicht **206** bis zu einem Punkt unter der Oberfläche der Polysilizium-Gatezonen **210** abgeätzt, wodurch eigenständige Gate-Oxidzonen **206g** entstehen, wie in [Fig. 4C](#) gezeigt ist. Als ein Ergebnis dieses Schritts wird ein Teil der Oxidschicht **206** entlang der oberen Seitenwände der Gräben entfernt, wodurch obere Seitenwandabschnitte **204a** sowie Oberflächenabschnitte **204b** der P-Körperzonen **204** freigelegt werden.

**[0035]** Als Nächstes lässt man, wie in [Fig. 4D](#) zu sehen, eine Fülloxidschicht **209** über den bloßliegenden Flächen **204a**, **204b** der in [Fig. 4C](#) gezeigten P-Körperzonen **204** aufwachsen. Dieser Schritt erfüllt mehrere Aufgaben. Zum Beispiels wirkt die Fülloxidschicht wie im herkömmlichen Prozess als Implantatoxid, das Implantatkanalbildungseffekte, eine Implantatbeschädigung und Schwermetallverunreinigung während der anschließenden Ausbildung der Quellzonen verhindert.

**[0036]** Darüber hinaus bewirkt der Schritt des Aufwachsens der Fülloxidschicht **209** eine Neuverteilung von Dotiermittel, in diesem Falle Bor, zwischen der P-Körperzone **204** und der Fülloxidschicht **209** so wie sie sich gebildet hat.

**[0037]** Das Ausmaß der Borneuverteilung wird durch Bedingungen der Oxidausbildung beeinflusst. Beispielsweise wirken sich sowohl die Oxidationswachstempertemperatur als auch die Oxidationswachstbedingungen (z.B. Trocken- oder Dampfoxidation) auf das Borkonzentrationsprofil aus.

**[0038]** Es ist bekannt, dass sich Boratome während den Oxidationsprozessschritten neu verteilen. Ohne an diese Theorie gebunden sein zu wollen, wurde beobachtet, dass diese Neuverteilung auf drei gleichzeitig stattfindende Wirkungen zurückzuführen ist:

(1) den Dotiermittel-Entmischungskoeffizienten  $m$ , wobei

$$m = \frac{C_{Si}}{C_{Ox}},$$

(2) das Verhältnis der Diffusionskoeffizienten des Dotiermittels in Silizium und in Oxid, oder

$$\frac{D_{\text{Dotiermittel, Si}}}{D_{\text{Dotiermittel, Ox}}}$$

und

(3) das Verhältnis der parabolischen Oxidationsratenkonstante  $B$  und der Wurzel des Diffusionskoeffizienten des Dotiermittels in Silizium, oder

$$\frac{B}{\sqrt{D_{\text{Dotiermittel, Si}}}}.$$

**[0039]** [Fig. 5](#) stellt ungefähre Dotierprofile bei einem bordotierten Siliziummaterial nach der Ausbildung eines Oberflächenoxids in Trockensauerstoff bei 900°C dar. In [Fig. 5](#) entspricht die Oxidzone der linken Seite der Grafik zwischen  $x = 0$  (der Oxidfläche) und  $x_1$  (der Grenzfläche Oxid/Silizium). Die Siliziumzone entspricht der rechten Seite von [Fig. 5](#) im dem Bereich jenseits von  $x_1$ . Vor der Oxidation war das Silizium mit einer Massenkonzentration  $C_b$  gleichmäßig dotiert. Nach der Oxidation bleibt die Masse der Siliziumzone auf der rechten Seite von [Fig. 5](#) auf diesem Pegel. Je näher man jedoch an die Grenzfläche kommt, umso mehr nimmt die Dotiermittelkonzentration im Silizium ab. In diesem Fall beträgt die Konzentration von Bor an der Siliziumgrenzfläche ca. 20% der Konzentration von Bor in der Masse  $C_b$ . (Zum Vergleich beträgt die Konzentration von Bor in der Oxidschicht an der Grenzfläche ca. 60% von  $C_b$ .)

**[0040]** Die nachstehende Tabelle enthält das Verhältnis der Borkonzentration in Silizium an der Grenzfläche ( $C_1$ ) zur Borkonzentration in der Siliziummasse ( $C_b$ ) nach der Oxidation einer Siliziumschicht mit der Ausgangskonzentration  $C_b$ . Wie zuvor in Verbindung mit [Fig. 5](#) festgestellt wurde, beträgt dieses Verhältnis in etwa 0,2 (20%), wenn Silizium bei 900°C in Trockensauerstoff oxidiert wird. Dieses Verhältnis und einige andere Verhältnisse sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben. Aus dieser Tabelle ist festzustellen, dass eine größere Neuverteilung an der Grenzfläche bei niedrigeren Temperaturen und bei Dampfoxidation auftritt.

Temperatur (°C)	$C_i/C_b$ nach Trockenoxidation	$C_i/C_b$ nach Dampfoxidation bei 640 torr
900	0,2	0,14
1000	0,25	0,16
1100	0,39	0,20
1200	0,56	0,29

**[0041]** Zusätzliche Information zu diesem Thema findet sich z.B. in Semiconductor Technology Handbook, S. 4.1 ff., Technology Associates (1985).

**[0042]** Wie aus dem Vorstehenden ersichtlich ist, wird durch das Aufwachsen der Fülloxidschicht **209** auf den bloßliegenden Flächen **204a**, **204b** des oberen Abschnitts der P-Körperzone **204** (siehe [Fig. 4C](#) und [Fig. 4D](#)) die Borkonzentration in der P-Körperzone **204** an der Grenzfläche des Oxids **209** gesenkt.

**[0043]** Anschließend wird, wie aus [Fig. 4D](#) ersichtlich ist, eine strukturierte Maskierungsschicht **211** vorgesehen, die Quellzonen **212** festlegt. Die Quellzonen **212** werden typischerweise über einen Implantations- und Diffusionsprozess in den oberen Abschnitten der P-Körperzonen **204** ausgebildet. Beispielsweise kann den Quellzonen **212** Arsen bei 120 keV bis zu einer Konzentration im Bereich von  $5 \times 10^{-5}$  bis  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$  implantiert werden. Der sich ergebende Aufbau ist in [Fig. 4D](#) gezeigt. Wie aus [Fig. 4D](#) ersichtlich ist, bleibt nach dem Implantieren der Quellzonen **212** ein Teil der P-Körperzone **204** angrenzend an die Fülloxidschicht **209**, die ausgebildet wurde, übrig (und von daher ist die Borkonzentration an der Oxidgrenzfläche abgereichert).

**[0044]** [Fig. 4E](#) zeigt den Aufbau von [Fig. 4D](#), nachdem das Quellendotiermittel beispielsweise bis zu einer Tiefe von ca. 0,35  $\mu\text{m}$  (Mikrometer) diffundiert wurde, wodurch die Tiefe der Quellzonen **212** erhöht wird. Dieser Schritt bewirkt, dass die Dicke der Fülloxidschicht **209** erhöht wird, und bildet eine Oxidschicht **215** auf den Polysilizium-Gatezonen **210**. Die Punkte, an denen das Gate-Oxid **206g** am nun verdickten Fülloxid **209** anstößt, sind in [Fig. 4E](#) durch die unterbrochenen Linien gezeigt. Selbst nach diesem Diffusionsschritt bleibt ein Teil der P-Körperzone **204** übrig, die während ihrer Ausbildung an die Fülloxidschicht **209** angrenzte (und somit während des Ausbildungsprozesses der Fülloxidschicht eine Neuverteilung des Bordotiermittels durchmachte). Folglich besteht, da die Oxidgrenzfläche in diesem Teil der P-Körperzone **204** näher kommt, eine Abnahme bei der Borkonzentration im Verhältnis zu der Konzentration, die vor dem Aufwachsen der Fülloxidschicht vorhanden war. Dies entspricht einer Abnahme der Borkonzentration in den Kanalzonen unmittelbar angrenzend an die Quellzonen **212**.

**[0045]** Diese Dotiermittelneuverteilung wird sichtbar, wenn man das Dotiermittelkonzentrationsprofil entlang der Linie x'-x' in [Fig. 4E](#) untersucht, welches in etwa dem in [Fig. 3](#) gezeigten entspricht, ohne dass dabei von hohen Implantationsenergien oder einem P-N-P-Aufbau Gebrauch gemacht würde. Insbesondere hat die N+-Quellzone **212** ein Dotiermittelprofil wie das der Zone zwischen  $x = 0$  und  $x = x_{js}$  in [Fig. 3](#); die P-Körperzone **204** hat ein Dotiermittelprofil wie das der Zone zwischen  $x = x_{js}$  und  $x = x_{jb}$  in [Fig. 3](#); und die N-dotierte Epitaxialschicht **202** hat ein Dotiermittelprofil wie das der Zone jenseits von  $x = x_{jb}$  in [Fig. 3](#). Von daher wird die Dotiermittelkonzentration in der N+-Quellzone **212** näherungsweise durch die Kurve **64** dargestellt, die Dotiermittelkonzentration in der P-Körperzone **204** wird näherungsweise durch die Kurve **66** dargestellt, und die Dotiermittelkonzentration in der N-dotierten Epitaxialschicht **202** wird näherungsweise durch die Kurve **68** von [Fig. 3](#) dargestellt. Wie vorstehend erläutert, wird durch das Aufwachsen der Fülloxidschicht **209** angrenzend an den oberen Abschnitt der P-Körperzone **204** die Konzentration von Bor in der P-Körperzone **204** an der Oxidgrenzfläche gemindert. Diese Zone geminderter Borkonzentration entspricht der linken Seite der Kurve **66**. Die Kurve **30**, die als unterbrochene Linie gezeigt ist, entspricht dem ungefähren Dotiermittelprofil, das ohne einen Rückätzschritt für das Gate-Oxid **206g** und ohne die Ausbildung der Fülloxidschicht **209** vorhanden gewesen wäre.

**[0046]** Noch dazu kann durch das Verfahren der vorliegenden Erfindung ein wünschenswertes Dotiermittelprofil wie das im US-Patent Nr. 5,907,776 erörterte in der P-Körperzone hergestellt werden, ohne von hohen Implantationsenergien oder einem P-N-P-Aufbau Gebrauch machen zu müssen. Wie zuvor festgestellt, ist ein solches Dotiermittelprofil insofern von Vorteil, als eine niedrige Schwellenspannung hergestellt werden kann, ohne dass dabei auf eine dünnere Gate-Oxidschicht zurückgegriffen wird (die den Ertrag und die Schaltgeschwindigkeit senken würde), und ohne die Wahrscheinlichkeit eines Durchgreifeffekts wesentlich zu erhöhen. Insbesondere fanden die vorliegenden Erfinder heraus, dass durch das Aufwachsen der Fülloxidschicht **209** auf eine Dicke von ca. 20 nm (200 Angström) bei 900°C in Trockensauerstoff, eine Abnahme von 0,4 V bei der

Schwellenspannung für eine 30 V-taugliche Vorrichtung ohne eine wesentliche Einbuße bei der Schaltgeschwindigkeit oder der Durchschlagfestigkeit erzielt werden kann.

**[0047]** Nachdem eine Quellendiffusion stattgefunden hat, wird die Vorrichtung von [Fig. 4E](#) unter Verwendung herkömmlicher Prozessschritte fertiggestellt. Beispielsweise kann eine BPSG-Schicht (Bor-Phosphorsilikatglasschicht) beispielsweise durch PECVD über dem gesamten Aufbau ausgebildet und mit einer strukturierten Fotolackschicht versehen werden. Der Aufbau kann dann abgeätzt werden, typischerweise durch reaktives Ionenätzen, das die BPSG- und Oxidschichten auf zumindest einem Teil jeder Quellezone **212** entfernt, während Zonen der BPSG-Schicht **214**, Oxidschicht **209** und Oxidschicht **215** über den Polysilizium-Gatezonen **210** zurückbleiben (und somit sicherstellen, dass die Gate-Zonen isoliert sind). Die Fotolackschicht wird dann entfernt und der Aufbau mit einer Metallkontaktschicht **216** versehen, welche die Quellenzonen **212** kontaktiert. Ein Metallkontakt **218** wird auch typischerweise im Zusammenhang mit dem Substrat **200** vorgesehen. Der sich ergebende Aufbau ist in [Fig. 4F](#) gezeigt.

**[0048]** Obwohl hier speziell verschiedene Ausführungsformen dargestellt und beschrieben sind, ist klar, dass Abwandlungen und Abänderungen an der vorliegenden Erfindung im Rahmen der wie in den beigefügten Ansprüchen definierten Erfindung möglich sind.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines DMOS-Grabentransistors, das Folgendes umfasst:

Bereitstellen in einer Halbleiterzone (**200**, **202**) einer ersten Leitfähigkeitsart einer Körperzone oder mehrerer Körperzonen (**204**) einer zweiten Leitfähigkeitsart angrenzend an einen Graben oder mehrere Gräben (**207**);  
 Ausbilden einer ersten Isolierschicht (**206**), die den einen Graben oder die mehreren Gräben (**207**) auskleidet;  
 Entfernen eines Teils der ersten Isolierschicht (**206**) entlang oberer Seitenwandabschnitte (**204a**) der Gräben, so dass nur obere Abschnitte der Körperzonen (**204**) entlang der Grabenseitenwände bloßliegen; und  
 Ausbilden einer Oxidschicht (**209**), indem zumindest die bloßliegenden oberen Abschnitte der Körperzonen (**204**) oxidiert werden, wobei der Schritt des Ausbildens der Oxidschicht (**209**) zur Ausbildung von Zonen verminderter Störstellenkonzentration in der Körperzone (**204**) an deren oberen Abschnitten angrenzend an die Oxidschicht (**209**) führt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, darüber hinaus die folgenden Schritte umfassend:

Bereitstellen einer leitfähigen Zone (**210**) in den Gräben (**207**) angrenzend an die erste Isolierschicht (**206**), die die Gräben (**207**) auskleidet;  
 Ausbilden mehrerer Quellenzonen (**212**) in den oberen Abschnitten der Körperzonen (**204**) angrenzend an die Gräben (**207**), wobei die Quellenzonen (**212**) an die Zonen verminderter Störstellenkonzentration der Körperzonen (**204**) angrenzen, und  
 wobei die Schritte des Bereitstellens einer Körperzone oder mehrerer Körperzonen (**204**) die folgenden Schritte umfassen:  
 Bereitstellen eines Substrats (**200**) der ersten Leitfähigkeitsart;  
 Ausbilden einer Epitaxialschicht (**202**) der ersten Leitfähigkeitsart über dem Substrat (**200**), wobei die Epitaxialschicht (**202**) eine geringere Störstellenkonzentration der ersten Leitfähigkeitsart besitzt als das Substrat (**200**);  
 Ausbilden einer Zone (**204**) der zweiten Leitfähigkeitsart in einem oberen Abschnitt der Epitaxialschicht (**202**);  
 Ausbilden mehrerer Gräben (**207**) in der Epitaxialschicht (**202**, **204**), wobei die Gräben (**207**) die eine Körperzone oder die mehreren Körperzonen (**204**) in der Zone der zweiten Leitfähigkeitsart bilden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei es sich bei dem Substrat (**200**) um ein Siliziumsubstrat und bei der Epitaxialschicht (**202**) um eine Siliziumschicht handelt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Ausbildens der Zone (**204**) der zweiten Leitfähigkeitsart umfasst, eine Dotiersubstanz in die Epitaxialschicht (**202**) zu implantieren und darin zu zerstreuen.

5. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Ausbildens der Gräben (**207**) den Schritt des Ausbildens einer strukturierten Maskierungsschicht über der Epitaxialschicht und des Ätzens der Gräben (**207**) durch die Maskierungsschicht umfasst.

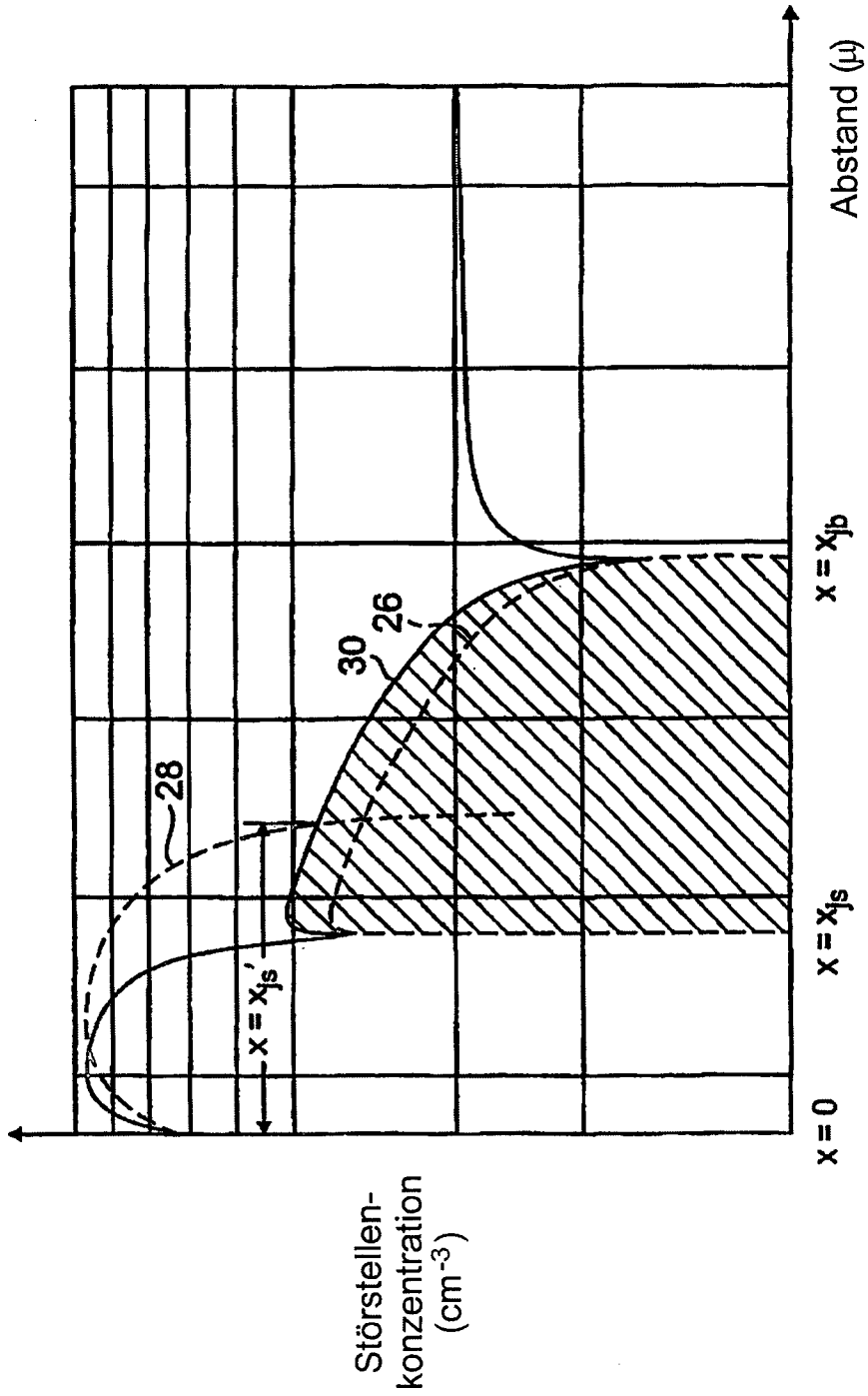
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei es sich bei der ersten Isolierschicht (**206**) um eine Oxidschicht handelt.



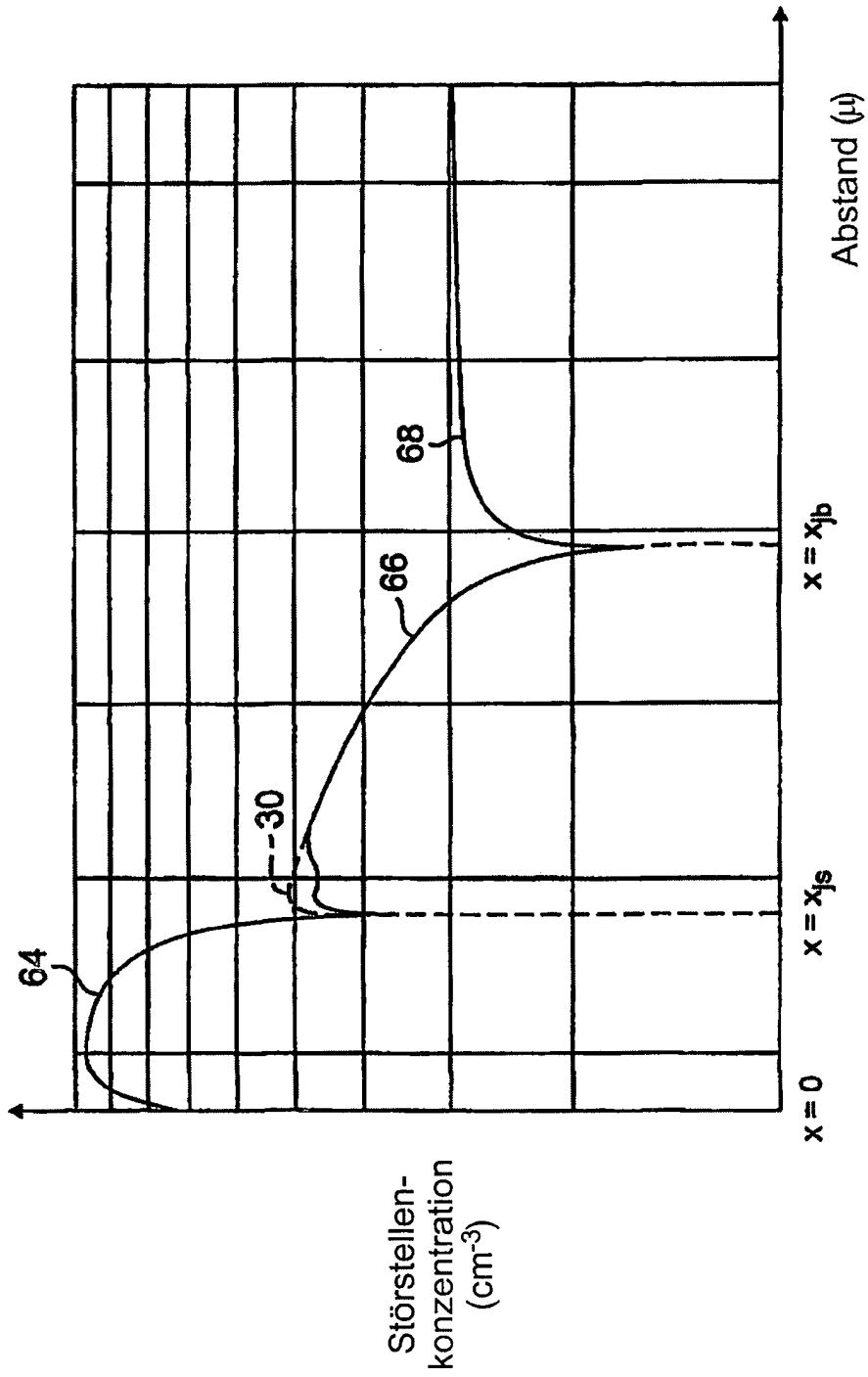
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 6, wobei der Schritt des Ausbildens der ersten Isolierschicht (**206**) das Bereitstellen einer Oxidschicht durch Trockenoxidation umfasst.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Schritt des Entferns eines Teils der ersten Isolierschicht (**206**) entlang oberer Seitenwandabschnitte (**204a**) der Gräben (**207**) durch Nassätzen erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 2, wobei es sich bei der leitfähigen Zone (**210**) um eine polykristalline Siliziumzone handelt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 9, wobei der Schritt des Bereitstellens einer leitfähigen Zone (**210**) in den Gräben (**207**) das Auftragen einer Schicht polykristallinen Siliziums und anschließendes Ätzen der polykristallinen Siliziumschicht umfasst.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Schritt des Ausbildens einer Oxidschicht (**209**) durch Oxidieren zumindest der bloßliegenden oberen Abschnitte der Körperzonen (**204**) eine Trockenoxidation bei einer Temperatur von 900 bis 1100°C umfasst.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Temperatur 900 bis 950°C beträgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Schritt des Ausbildens einer Oxidschicht (**209**) durch Oxidieren zumindest der bloßliegenden oberen Abschnitte der Körperzonen (**204**) eine Oxidation in Dampf bei einer Temperatur von 900 bis 1100°C umfasst.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Temperatur 900 bis 950°C beträgt.
15. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Ausbildens mehrerer Quellzonen (**212**) die Schritte des Ausbildens einer strukturierten Maskierungsschicht (**211**) und des Implantierens und Zerstreuens einer Dotiersubstanz in die Körperzonen (**204**) umfasst.
16. Verfahren nach Anspruch 2, wobei es sich bei der ersten Leitfähigkeitsart (**202**) um eine N-Leitfähigkeitsart und bei der zweiten Leitfähigkeitsart (**204**) um eine P-Leitfähigkeitsart handelt.
17. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Körperzone (**204**) mit Bor dotiert wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

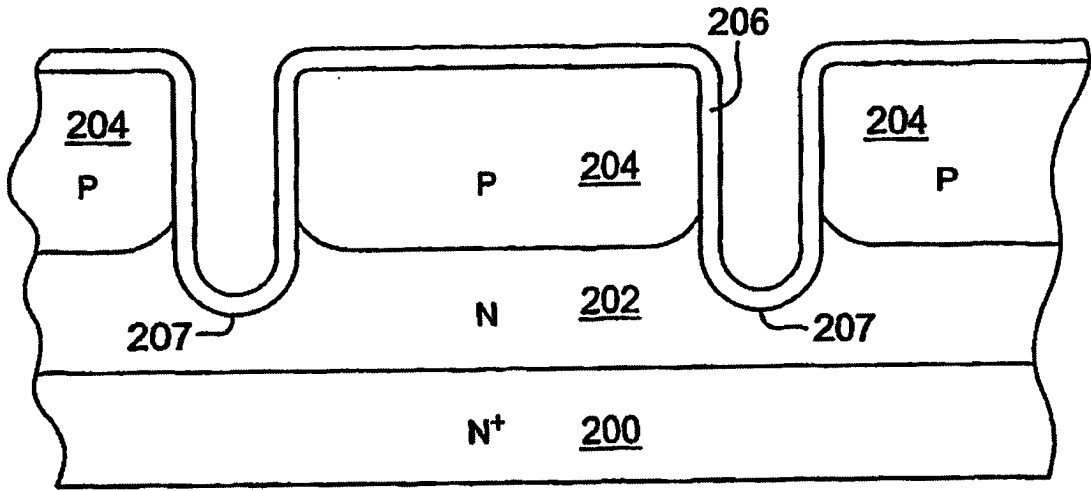




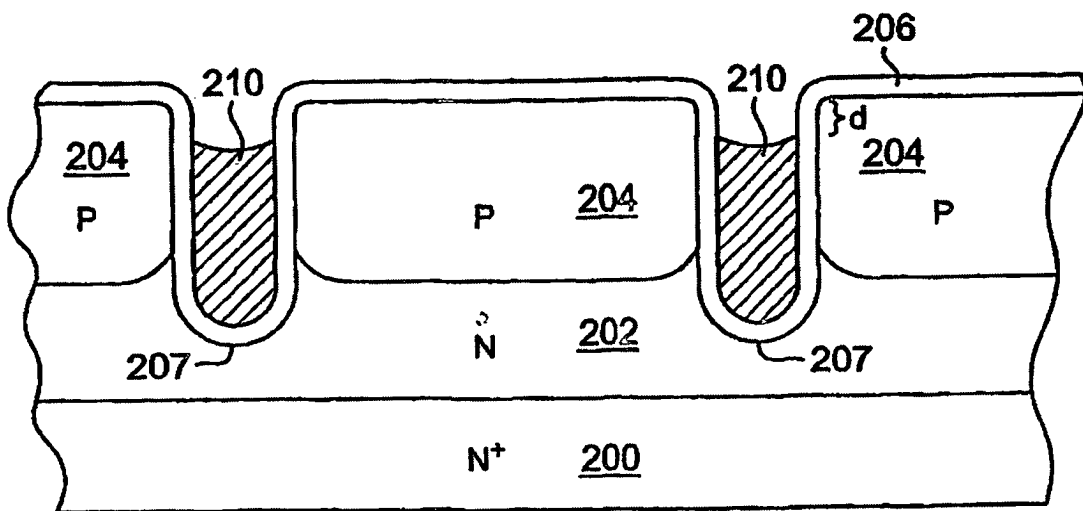
**FIG. 2**  
(Stand der Technik)



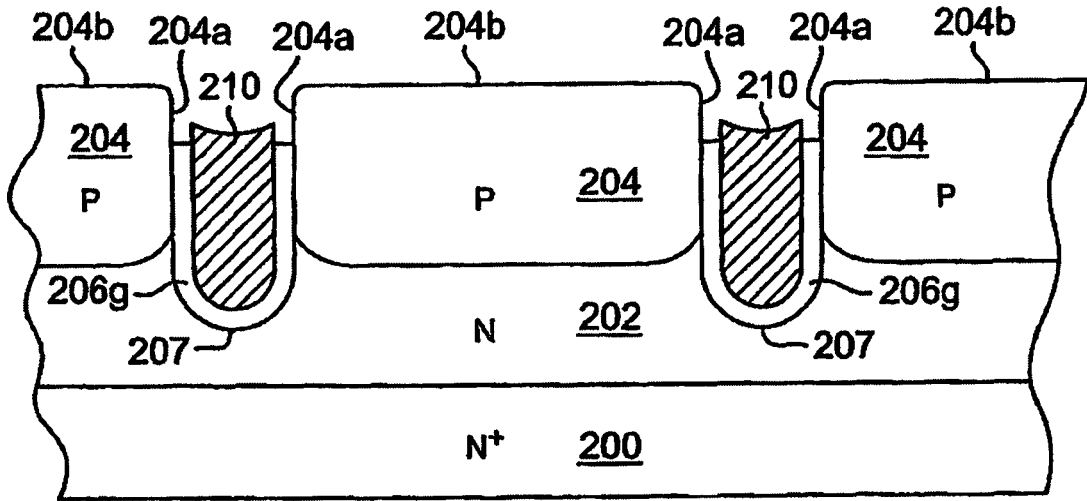
**FIG. 3**  
(Stand der Technik)



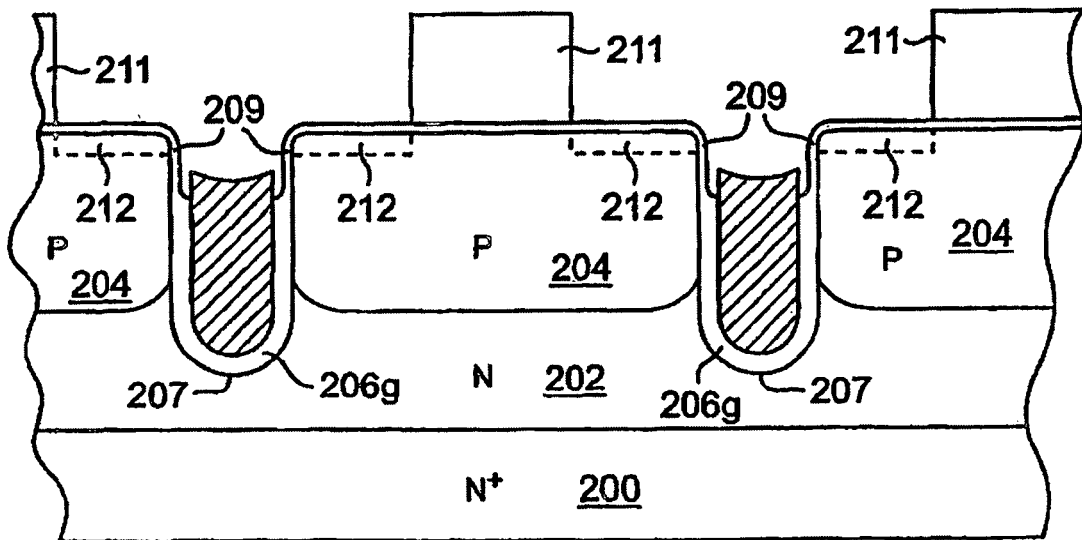
**FIG. 4A**



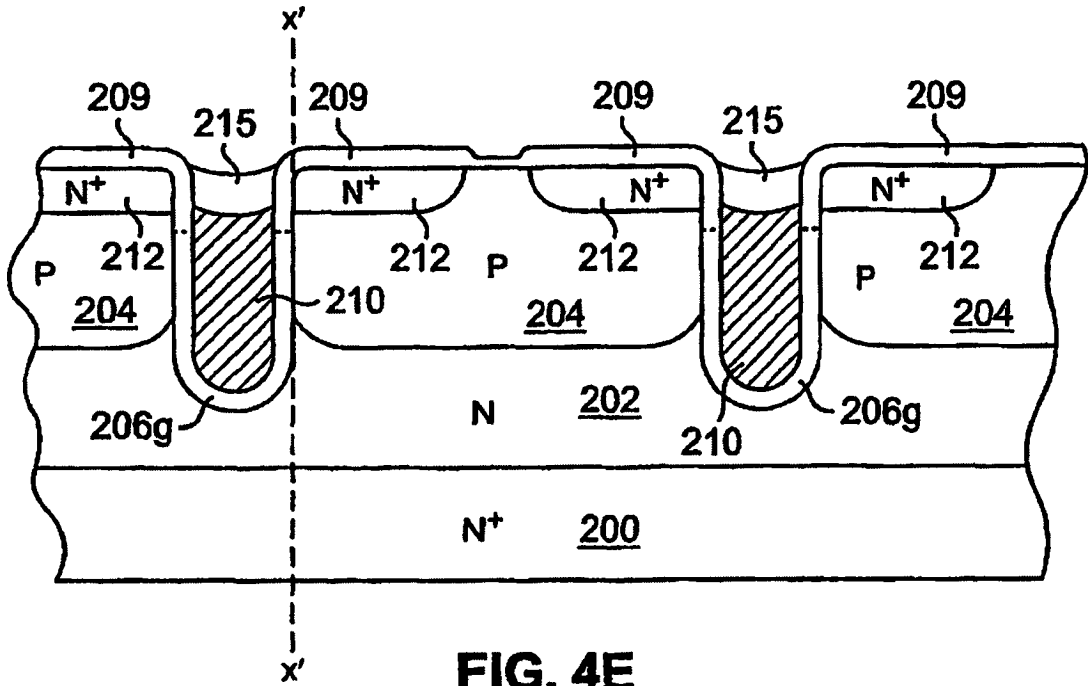
**FIG. 4B**



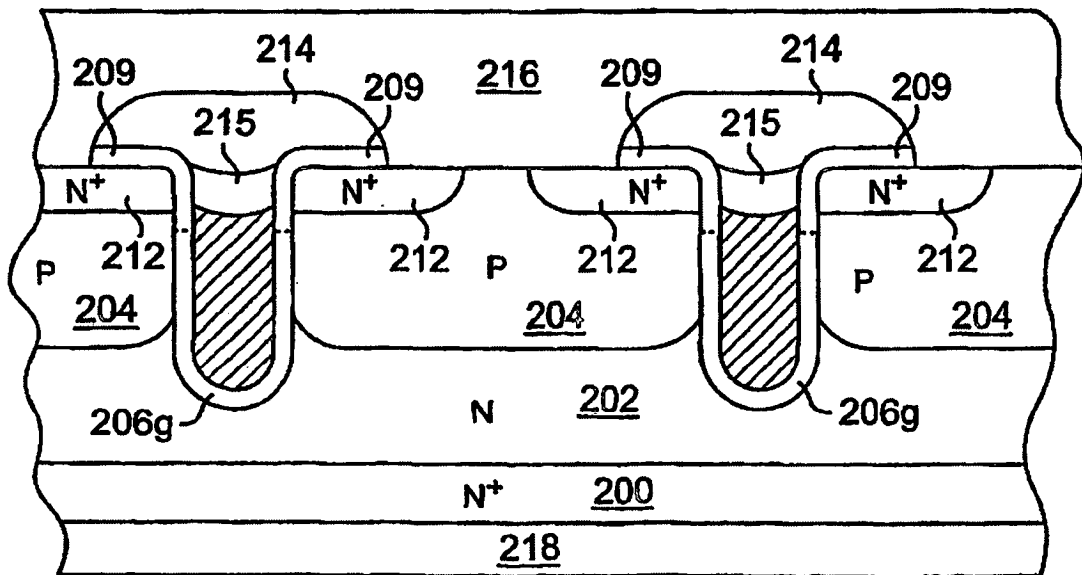
**FIG. 4C**



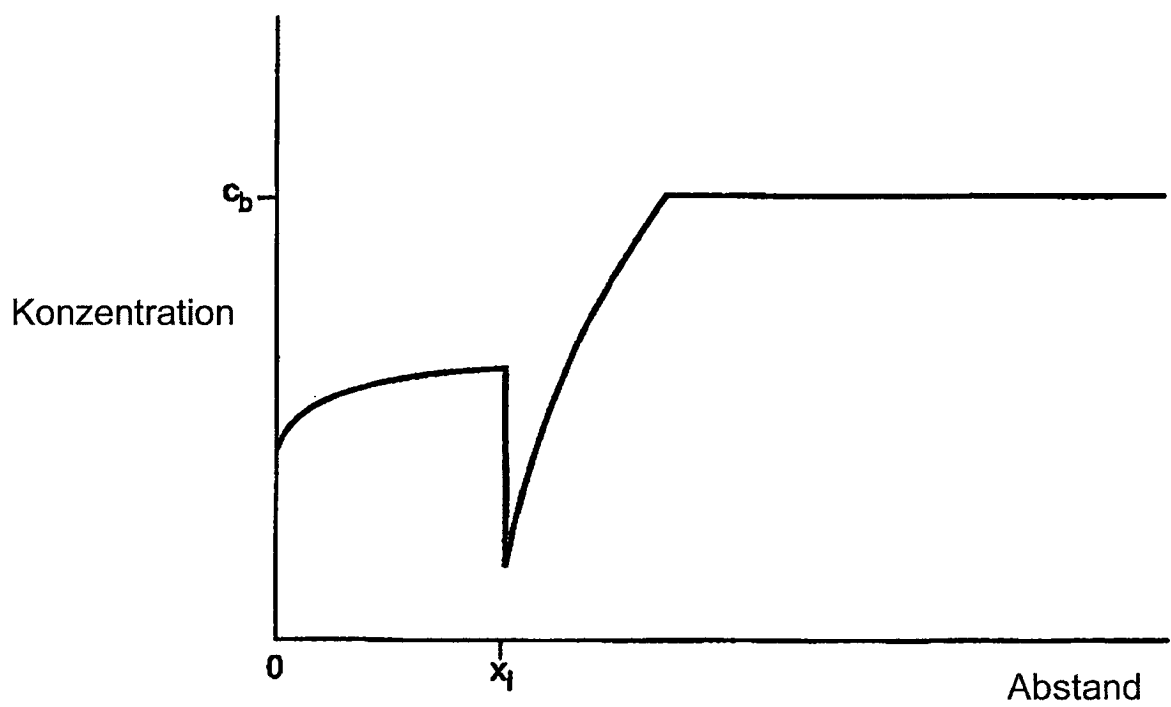
**FIG. 4D**



**FIG. 4E**



**FIG. 4F**



**FIG. 5**