



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 000 911.6**

(22) Anmeldetag: **24.02.2011**

(43) Offenlegungstag: **01.09.2011**

(51) Int Cl.: **H01L 29/778 (2006.01)**
H01L 21/335 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
12/713,336 26.02.2010 US

(74) Vertreter:
Zimmermann & Partner, 80331, München, DE

(71) Anmelder:
Infineon Technologies Austria AG, Villach, AT

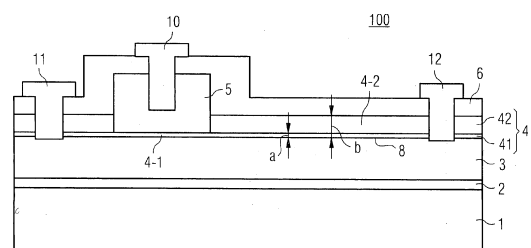
(72) Erfinder:
Haeberlen, Oliver, Villach, AT; Rieger, Walter, Arnoldstein, AT

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Nitridhalbleiterbauelement**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Halbleiterbauelement beschrieben. Bei einer Ausführungsform enthält das Bauelement eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3) und eine Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3), wobei die Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4) einen ersten Abschnitt (4-1) und einen zweiten Abschnitt (4-2) umfasst, wobei der erste Abschnitt (4-1) eine Dicke kleiner als der zweite Abschnitt (4-2) umfasst. Eine p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) ist mindestens auf dem ersten Abschnitt (4-1) der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4) ausgebildet und ein Gatekontakt (10) ist auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) ausgebildet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Beschreibung betrifft Ausführungsformen von Nitridhalbleiterbauelementen und insbesondere Transistoren mit hoher Elektronenbeweglichkeit (HEMTs – High Electron Mobility Transistors) und Verfahren zum Herstellen solcher Bauelemente. Die Beschreibung bezieht sich auch auf Leistungsnitridhalbleiterbauelemente wie etwa Leistungs-HEMTs.

HINTERGRUND

[0002] Übliche Leistungsbauelemente auf der Basis von GaN (Galliumnitrid) sind hauptsächlich laterale HEMTs unter Verwendung eines zweidimensionalen Elektronengases (2-DEG), das an dem Heteroübergang zwischen undotiertem GaN und undotiertem Al-GaN (Aluminium-Galliumnitrid) entsteht. Solche Bauelemente sind in der Regel normalerweise durchgeschaltete Bauelemente (engl.: normally-on devices).

[0003] Zu Ansätzen zum Ausbilden von normalerweise ausgeschalteten Bauelementen (engl.: normally-off devices), das heißt Anreicherungsbauelementen, zählen eine p-dotierte AlGaN- oder p-dotierte GaN-Barrierenschicht zwischen der Gateelektrode und der undotierten Barrierenschicht, um das Leitfähigkeitsband der Barrierenschicht derart anzuheben, dass die Schwellwertspannung des Bauelements zu positiven Werten verschoben wird. Um funktionale Bauelemente zu erhalten, sollte die undotierte Barrierenschicht keine zu hohe Dichte des zweidimensionalen Elektronengases erzeugen, was dem Anstieg bei der Schwellwertspannung entgegenwirkt. Durch das Reduzieren der Dichte des 2-DEG wird jedoch auch die Leitfähigkeit des Driftgebiets zwischen Sourcelektrode und Drainelektrode reduziert.

[0004] Ein weiterer Ansatz besteht in dem Ausbilden einer versenkten Gatestruktur (engl.: recessed-gate-structure) mit einer reduzierten Barrierendicke unter der durch ein Schottky-Metall ausgebildeten Gateelektrode. Das Herstellen solcher Strukturen ist kompliziert und kann nicht immer reproduziert werden.

[0005] Aus diesen und weiteren Gründen besteht ein Bedarf an der vorliegenden Erfindung.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Nitridhalbleiterbauelement bereitgestellt. Das Nitridhalbleiterbauelement enthält eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht; eine Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht, wobei die Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt umfasst, wobei der erste Abschnitt eine Dicke kleiner als der zweite Abschnitt umfasst; eine p-dotierte Gruppe-III-Ni-

tridgateschichtsektion, auf mindestens dem ersten Abschnitt der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht angeordnet; und einen Gatekontakt auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion.

KURZE BESCHREIBUNG DER VERSCHIEDENEN ANSICHTEN DER ZEICHNUNGEN

[0007] Eine umfassende und ermöglichende Offenbarung einschließlich des besten Modus davon für einen Durchschnittsfachmann ist im Rest der Spezifikation eingehender dargelegt, einschließlich Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren.

[0008] [Fig. 1](#) zeigt ein als ein HEMT verkörpertes Nitridhalbleiterbauelement gemäß einer Ausführungsform.

[0009] [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) zeigen Prozesse eines Verfahrens zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements wie etwa eines HEMT gemäß einer Ausführungsform.

[0010] [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3E](#) zeigen Prozesse eines Verfahrens zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements wie etwa eines HEMT gemäß einer Ausführungsform.

[0011] [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4E](#) zeigen Prozesse eines Verfahrens zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements wie etwa eines HEMT gemäß einer Ausführungsform.

[0012] [Fig. 5](#) zeigt die Beziehung zwischen Schwellwertspannung, Al-Gehalt in der Barrierenschicht und der Dicke der Barrierenschicht.

[0013] [Fig. 6](#) zeigt ein als ein HEMT verkörpertes Nitridhalbleiterbauelement gemäß einer Ausführungsform.

[0014] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7D](#) zeigen Prozesse eines Verfahrens zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements einschließlich eines Verarmungs- und eines Anreicherungs-nitridhalbleiterbauelements wie etwa einen Verarmungs- und einen Anreicherungs-HEMT gemäß einer Ausführungsform.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0015] Es wird nun ausführlich auf verschiedene Ausführungsformen Bezug genommen, von denen ein oder mehrere Beispiele in den Figuren dargestellt sind. Jedes Beispiel wird als Erläuterung bereitgestellt und soll keine Beschränkung der beigefügten Ansprüche darstellen. Beispielsweise können als Teil einer Ausführungsform gezeigte oder beschriebene Merkmale an oder in Verbindung mit anderen Ausführungsformen verwendet werden, um eine noch weitere Ausführungsform zu erhalten. Es ist beabsich-

tigt, dass die vorliegende Beschreibung solche Modifikationen und Variationen enthält. Die Beispiele werden unter Verwendung einer spezifischen Sprache beschrieben, die nicht so ausgelegt werden sollte, als dass sie den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche beschränkt. Die Zeichnungen sind nicht maßstabsgetreu und sind nur zu darstellenden Zwecken gedacht.

[0016] Der Ausdruck „seitlich“, wie er in dieser Spezifikation verwendet wird, soll eine Orientierung parallel zu der Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrats beschreiben.

[0017] Der Ausdruck „vertikal“, wie er in dieser Spezifikation verwendet wird, soll eine Orientierung beschreiben, die senkrecht zu der Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats angeordnet ist.

[0018] In dieser Spezifikation wird eine zweite Oberfläche eines Halbleitersubstrats so angesehen, dass sie durch die untere oder hintere Oberfläche ausgebildet wird, während eine erste Oberfläche so angesehen wird, dass sie durch die obere, vordere oder Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats gebildet wird. Die Ausdrücke „über“ und „unter“, wie in dieser Spezifikation verwendet, beschreiben deshalb einen relativen Ort eines strukturellen Merkmals zu einem anderen strukturellen Merkmal unter Berücksichtigung dieser Orientierung.

[0019] In dieser Spezifikation beschriebene spezifische Ausführungsformen betreffen unter anderem Leistungshalbleiterbauelemente und insbesondere Bauelemente, die durch einen Feldeffekt gesteuert werden, wie etwa einen Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit (HEMT) unter Verwendung eines zweidimensionalen Elektronengases (2-DEG). Solche Bauelemente werden auch als Heteroübergangsfeldeffekttransistoren (HFETs) beschrieben.

[0020] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) wird eine erste Ausführungsform eines Nitridhalbleiterbauelements wie etwa ein HEMT beschrieben. In der folgenden Beschreibung wird das Nitridhalbleiterbauelement als HEMT bezeichnet, ohne darauf beschränkt zu sein. Wie aus der weiteren Beschreibung hervorgeht, enthält der HEMT **100** eine Barrierenschicht, die im Vergleich zu der Barrierenschicht in der Gate-Drain- und Gate-Source-Sektion unter der Gateelektrode des HEMT **100** dünner ist.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Nitridhalbleiterbauelement bereitgestellt. Das Nitridhalbleiterbauelement enthält eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht; eine Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht, wobei die Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt umfasst, wobei der erste Abschnitt eine Dicke kleiner als der zwei-

te Abschnitt umfasst; eine p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion, auf mindestens dem ersten Abschnitt der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht angeordnet; und einen Gatekontakt auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements bereitgestellt. Das Verfahren beinhaltet Bereitstellen einer Gruppe-III-Nitridkanalschicht; Ausbilden einer Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht aufweisend einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht, wobei der erste Abschnitt eine Dicke aufweist, die geringer ist als der zweite Abschnitt; Ausbilden einer p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion mindestens auf dem ersten Abschnitt der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; Ausbilden eines Gatekontakts auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion; Ausbilden einer Sourceelektrode Ausbilden einer Drainelektrode, von der Sourceelektrode beabstandet.

[0023] Weitere Ausführungsformen, Modifikationen und Verbesserungen des Halbleiterbauelements und des Verfahrens ergeben sich aus der folgenden Beschreibung und den beigefügten Ansprüchen.

[0024] Der HEMT **100** enthält ein Halbleitersubstrat **1**, das aus verschiedenen Materialien wie etwa GaN (Galliumnitrid), Si (Silizium), SiC (Siliziumcarbid) oder Al₂O₃ (Saphir) hergestellt sein kann. Beispiele für SiC-Substrate sind die Polytypen 4H, 3C, 6H und 15R von SiC. SiC weist beispielsweise eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Saphir auf, was die Wärmeableitung des Bauelements erleichtert.

[0025] Der HEMT **100** kann unter Verwendung verschiedener Materialien hergestellt werden. Gemäß einer oder mehreren hierin beschriebener Ausführungsformen basiert das zum Herstellen des HEMT verwendete Materialsystem auf Gruppe-III-Nitridhalbleitermaterialien. Gruppe III bezieht sich auf Halbleiterverbindungen, die zwischen Stickstoff und einem oder mehreren Elementen aus der Gruppe III des Periodensystems ausgebildet werden, in der Regel Al (Aluminium), Ga (Gallium) und In (Indium). Gruppe-III-Nitridhalbleitermaterialien beziehen sich auf binäre Materialien wie etwa GaN und InN, ternäre Materialien wie etwa AlGaIn und AlInN und quaternäre Materialien wie etwa AlGaInN. Diese Materialien weisen eine hohe spontane piezoelektrische Polarisierung auf, was für das Generieren eines 2-DEG sehr nützlich ist.

[0026] Da zwischen dem Substrat **1** und dem Material der Gruppe III eine Gitterfehlanpassung vorliegen könnte, kann auf dem Substrat **1** eine optionale Pufferschicht **2** vorgesehen werden. Für die Pufferschicht **2** können verschiedene Materialien ver-

wendet werden. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann ein geeignetes Material für die Pufferschicht **2** $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 \leq w \leq 1$) sein. In der Regel wird AlN ($\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ für $w = 1$) beispielsweise in der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform verwendet. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann auch eine durch abwechselnde Kombinationen aus Halbleiternitridschichten ausgebildete mehrschichtige Pufferschicht verwendet werden. Die Pufferschicht **2** kann eine ausreichende Dicke aufweisen, um eine Gitterkompensation zu liefern.

[0027] Der HEMT **100** enthält auch eine Gruppe-III-Nitridschicht **3**, die eine Kanalschicht bildet. In der folgenden Beschreibung wird die Gruppe-III-Nitridschicht **3** als Kanalschicht bezeichnet. Die Kanalschicht **3** kann allgemein aus $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ mit $0 \leq a \leq 1$ bestehen und ist in der Regel signifikant dicker als die Pufferschicht **2**. Die Kanalschicht **3** kann auch dünner sein als die Pufferschicht **2** oder kann von gleicher Dicke sein. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen wird die Kanalschicht **3** aus GaN ($\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ für $a = 0$) hergestellt. Die Kanalschicht **3** ist in der Regel undotiert. In Verbindung mit dieser Spezifikation bedeutet undotiert nicht absichtlich dotiert. Ein Fachmann versteht, dass Halbleitermaterialien nicht vollständig undotiert sind und Spuren von Verunreinigungen enthalten könnten.

[0028] Bei einer Ausführungsform ist die Kanalschicht **3** dicker als die Pufferschicht **2** und kann im Bereich von etwa $2 \mu\text{m}$ bis $6 \mu\text{m}$ liegen, wenngleich auch andere Dicken verwendet werden können. Die Kanalschicht **3** ist auf der optionalen Pufferschicht **2** gegenüber dem Substrat **1** angeordnet. Wenn keine Pufferschicht **2** verwendet wird, wird die Kanalschicht **3** direkt auf dem Substrat **1** angeordnet sein, beispielsweise wenn ein Gruppe-III-Nitridsubstrat **1** verwendet wird.

[0029] Eine Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht **4**, die nachfolgend als Barrierenschicht bezeichnet wird, ist auf der Kanalschicht **3** gegenüber der optionalen Pufferschicht **2** und dem Substrat **1** enthalten. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Barrierenschicht **4** aus einem Material hergestellt sein ausgewählt aus der Gruppe beinhaltend $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) und $\text{Al}_c\text{In}_{1-c}\text{N}$ ($0 \leq c \leq 1$ und $a < c$). Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen ist der Gehalt an Aluminium in der Barrierenschicht **4** höher als der Gehalt an Aluminium in der Kanalschicht **3**, d. h. $a < b$ und $a < c$. Ein Beispiel ist $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$ für die Barrierenschicht **4** und GaN für die Kanalschicht **3**. Die Barrierenschicht **4** kann eine einzelne Schicht oder eine Zusammensetzung mit zwei, drei oder mehr Schichten sein. Beispielsweise kann die Barrierenschicht **4** aus mehreren Monoschichten bestehen. Bei einer oder mehreren Ausführungsformen ist die Barrierenschicht **4** undotiert.

[0030] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Barrierenschicht **4** aus mindestens einer ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht **41**, die nachfolgend als die erste Barrierenschicht bezeichnet wird, und mindestens einer zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht **42**, die nachfolgend als die zweite Barrierenschicht bezeichnet wird, bestehen. Die erste Barrierenschicht **41** kann aus $\text{Al}_{b1}\text{Ga}_{1-b1}\text{N}$ ($0 \leq b1 \leq 1$) oder $\text{Al}_{c1}\text{In}_{1-c1}\text{N}$ ($0 \leq c1 \leq 1$) mit in der Regel $a < b1$ und $a < c1$ bestehen, d. h. der Al-Gehalt in der ersten Barrierenschicht **41** ist bei einer oder mehreren Ausführungsformen höher als in der Kanalschicht **3**. Die zweite Barrierenschicht **42** kann aus $\text{Al}_{b2}\text{Ga}_{1-b2}\text{N}$ ($0 \leq b2 \leq 1$) oder $\text{Al}_{c2}\text{In}_{1-c2}\text{N}$ ($0 \leq c2 \leq 1$) mit in der Regel $a < b2$ und $a < c2$ bestehen, d. h., der Al-Gehalt in der zweiten Barrierenschicht **42** ist bei einer oder mehreren Ausführungsformen höher als in der Kanalschicht **3**. Die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42** sind in der Regel undotiert.

[0031] Die erste Barrierenschicht **41** ist vergleichsweise dünn, beispielsweise kleiner oder gleich 5 nm , beispielsweise 1 nm bis 2 nm dick. Die zweite Barrierenschicht **42** kann von der gleichen Dicke sein, beispielsweise kleiner oder gleich 5 nm , kann aber auch dicker sein als die erste Barrierenschicht **41**, beispielsweise etwa 20 nm . Die erste und zweite Barrierenschicht **41** und **42** können auch andere Dicken und andere Dickenrelationen aufweisen. Beispielsweise können beide Barrierenschichten **41**, **42** im Wesentlichen die gleiche Dicke wie etwa 5 nm aufweisen.

[0032] Das Gebiet, wo die erste Barrierenschicht **41** von einer unten beschriebenen Gateschichtsektion **5** bedeckt ist, wird auch als erster Abschnitt **4-1** der Barriere **4** bezeichnet, während das Gebiet, wo sowohl die erste als auch zweite Barrierenschicht **41**, **42** miteinander in Kontakt stehen, als zweiter Abschnitt **4-2** der Barriere **4** bezeichnet wird. Der erste Abschnitt **4-1** bildet das Gategebiet, während der zweite Abschnitt **4-2** eine Gate-Source-Sektion bzw. eine Gate-Drain-Sektion bildet. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen weist der erste Abschnitt **4-1** der Barriere **4** eine Dicke kleiner als die Dicke des zweiten Abschnitts **4-2** auf.

[0033] [Fig. 1](#) zeigt Dickenrelationen zwischen der ersten Barrierenschicht **41** und der aus der ersten und zweiten Barrierenschicht **41**, **42** bestehenden Barriere **4**. Die erste Barrierenschicht **41** (erster Abschnitt **4-1** der Barriere **4**) weist eine Dicke „a“ auf, während die Dicke der Barriere **4** außerhalb des Gategebiets (zweiter Abschnitt **4-2** der Barriere **4**) „b“ ist. Bei einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Dickenrelation a:b im Bereich von etwa 1:2 bis etwa 1:10 liegen.

[0034] Bei einer Ausführungsform wird die Barrierenschicht **4** auf und in Kontakt mit der Kanalschicht **3** ausgebildet, um eine Heteroübergangsgrenzschicht auszubilden. Bei einer Ausführungsform weist das Material der Barrierenschicht **4** eine größere Bandabstandsbreite auf als das Material der Kanalschicht **3**. Die Differenz bei der Bandabstandsbreite kann beispielsweise dadurch eingestellt werden, dass der Al-Gehalt in den jeweiligen Schichten gewählt wird. Wenn die Barrierenschicht **4** mindestens die erste und die zweite Barrierenschicht **41**, **42** enthält, ist die erste Barrierenschicht **41** in der Regel auf und in Kontakt mit der Kanalschicht **3** angeordnet, so dass die Heteroübergangsgrenzschicht zwischen der Kanalschicht **3** und der ersten Barrierenschicht **41** ausgebildet ist.

[0035] An der Heteroübergangsgrenzschicht zwischen der Kanalschicht **3** und der Barrierenschicht **4** oder zwischen der Kanalschicht bzw. der ersten Barrierenschicht **41** entsteht infolge der piezoelektrischen Polarisierung, der Gitterfehlpassung und der Differenz der Bandabstandsbreiten der Kanalschicht **3** und der Barrierenschicht **4** oder der ersten Barrierenschicht **41** eine 2-DEG-Schicht **8**. Bei einer Ausführungsform weisen die Barrierenschicht **4** und die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42** einen größeren Bandabstand auf als die Kanalschicht **3**. Die 2-DEG-Schicht **8** bildet einen leitenden Kanal, der eine Sourcelektrode **11** mit einer Drainelektrode **12** verbindet. Ohne zusätzliche Maßnahmen bildet der HEMT **100** ein normalerweise durchgeschaltetes Verarmungsmodusbauelement, da die 2-DEG-Schicht **8** einen leitenden Kanal zwischen Sourcelektrode **11** und Drainelektrode **12** bereitstellt.

[0036] Der HEMT **100** enthält weiterhin eine Passivierungsschicht **6** und einen Gatekontakt **10**.

[0037] Um ein (normalerweise ausgeschaltetes) Anreicherungsmodusbauelement zu erhalten, ist auf der Barrierenschicht **4** eine p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion **5** angeordnet, die nachfolgend als Gateschichtsektion **5** bezeichnet wird. Die Gateschichtsektion **5** kann aus p-dotiertem $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ mit $0 \leq z \leq 1$ hergestellt sein, beispielsweise GaN ($\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ für $z = 0$). Die Gateschichtsektion **5** reduziert die Elektronenpopulation in der 2-DEG-Schicht **8** unter dem Gategebiet (erster Abschnitt **4-1**) der Barrierenschicht **4**, was eine Verschiebung der Schwellwertspannung von etwa 3 V in positiver Richtung im Vergleich zu einem Bauelement bewirkt, das keine p-dotierte Gateschichtsektion enthält. Da die 3 V ungefähr dem Bandabstand der Barrierenschicht **4** entsprechen, wird die Entstehung des 2-DEG in dem Gategebiet eingeschränkt oder verhindert, so dass das Bauelement normalerweise ausgeschaltet ist.

[0038] Die p-dotierte Gateschichtsektion **5** kann eine Dicke von etwa 100 nm aufweisen, wengleich

auch andere Dicken verwendet werden können. Die Dotierkonzentration der p-dotierten Gateschichtsektion **5** beträgt in der Regel etwa 10^{18}cm^{-3} , wengleich auch andere Dotierkonzentrationen verwendet werden können. Die p-Dotierkonzentration kann zu der oberen Oberfläche der Gateschichtsektion **5** hin erhöht werden, um einen niederohmigen p-Kontakt zu einem Gate Metall bereitzustellen. Bei einer Ausführungsform kann auf der Gateschichtsektion **5** eine zusätzliche stark p-dotierte Gruppe-III-Nitridkappenschicht abgeschieden werden. Weiterhin kann die Gateschichtsektion **5** mehrere p-dotierte Gruppe-III-Nitridschichten mit unterschiedlichen Dotierkonzentrationen und unterschiedlichen Zusammensetzungen enthalten, falls gewünscht. Beispiele für das als p-dotierte Gateschichtsektion **5** verwendete Material sind GaN und $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$.

[0039] Bei einer Ausführungsform wird die Gateschichtsektion **5** in dem Gategebiet auf und in Kontakt mit der Barrierenschicht **4** oder im Fall der ersten und zweiten Barrierenschicht **41**, **42** auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht **41** ausgebildet. Die zweite Barrierenschicht **42** kann dann auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht **41** in Gebieten ausgebildet werden, die nicht von der Gateschichtsektion **5** bedeckt sind.

[0040] Die Wahl des für die Kanalschicht **3** und die Barrierenschicht **4** verwendeten Materials beeinflusst auch das Ausmaß, in dem die 2-DEG-Schicht **8** an dem Heteroübergang zwischen der Kanalschicht **3** und der Barrierenschicht **4** ausgebildet wird. Beispielsweise hat der Al-Gehalt in der Barrierenschicht **4** oder allgemeiner der Unterschied beim Al-Gehalt zwischen der Kanalschicht **3** und der Barrierenschicht **4** eine Auswirkung auf die Schwellwertspannung des Bauelements. Ein weiterer, zu berücksichtigender Parameter ist die Dicke der Barrierenschicht **4**. **Fig. 5** zeigt die Relation zwischen der Dicke der Barrierenschicht **4** in dem Gategebiet zwischen der Gateschichtsektion **5**, dem Al-Gehalt der Barrierenschicht **4** unter der Gateschichtsektion **5** und der Schwellwertspannung. Um eine Schwellwertspannung größer als -1 V zu erhalten, d. h. einen positiveren Wert, kann ein vergleichsweise großer Al-Gehalt verwendet werden, wenn die Barrierenschicht **4** zwischen der Gateschichtsektion **5** und der Kanalschicht **3** dünn ausgeführt wird. Beispielsweise kann die Barrierenschicht **4** oder die erste Barrierenschicht **41** eine Dicke von bis zu 9 nm aufweisen, wenn ihr Al-Gehalt etwa 30% bis 35% nicht übersteigt. Durch weiteres Reduzieren der Dicke der Barrierenschicht **4** zwischen der p-dotierten Gateschichtsektion **5** und der Kanalschicht **3** kann ein noch größerer Al-Gehalt verwendet werden. Die Dicke und der Al-Gehalt der Barrierenschicht **4** unter der p-dotierten Gateschichtsektion **5** oder die Dicke der ersten Barrierenschicht **41** werden in der Regel so gewählt, dass eine durch die Barrierenschicht, d. h. ohne die p-

dotierte Gateschichtsektion **5**, verursachte Schwellwertverschiebung von höchstens -1 V erhalten wird.

[0041] Die undotierte Barrierenschicht **4** verschiebt die Schwellwertspannung zu negativen Werten durch Erhöhen der Dichte des Elektronengases in der 2-DEG-Schicht **8**. Eine hohe Dichte des Elektronengases in der Gate-Drain- und Gate-Source-Sektion ist erwünscht. Im Gegensatz dazu verschiebt die p-dotierte Gateschichtsektion **5** die Schwellwertspannung in dem Gategebiet zu positiven Werten. Die Kombination aus diesen beiden entgegengesetzten Effekten definiert die Schwellwertspannung des HEMT.

[0042] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** von dem Al-Gehalt der zweiten Barrierenschicht **42** verschieden sein, wenngleich sowohl die erste als auch die zweite Barrierenschicht **41**, **42** auch den gleichen Al-Gehalt aufweisen können. Bei einer Ausführungsform weist die erste Barrierenschicht **41** einen höheren Al-Gehalt auf als die zweite Barrierenschicht **42**. Bei einer oder mehreren Ausführungsformen kann der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** von dem Al-Gehalt der p-dotierten Gateschichtsektion **5** verschieden sein. Das Verwenden eines anderen Al-Gehalts in der ersten und zweiten Barrierenschicht **41**, **42** gestattet eine größere Freiheit beim Festlegen der elektrischen Eigenschaften des HEMT **100**. Dies gestattet beispielsweise das Einstellen der Schwellwertspannung des Bauelements, die durch die entgegengesetzte Wirkung der p-dotierten Gateschichtsektion **5** und der ersten Barrierenschicht **41** definiert ist, unabhängig von der Einstellung des Widerstands der Gate-Drain-Sektion bzw. der Gate-Source-Sektion der 2-DEG-Schicht **8**. Somit ist es möglich, die Gate-Drain-Sektion (GD-Sektion) und die Gate-Source-Sektion (GS-Sektion) mit einem niedrigen Widerstand auszustatten, während die Schwellwertspannung auf einem gewünschten Pegel gehalten wird. Um den Durchschaltwiderstand des HEMT **100** zu reduzieren, kann die erste Barrierenschicht **41** dünn ausgeführt werden und beispielsweise aus AlN ($\text{Al}_{b_1}\text{Ga}_{1-b_1}\text{N}$ für $b_1 = 1$) bestehen, während die zweite Barrierenschicht **42** aus $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{N}$ ($\text{Al}_{b_2}\text{Ga}_{1-b_2}\text{N}$ für $b_2 = 0,3$) hergestellt sein kann. Es ist auch möglich, das gleiche Material für die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42** zu verwenden, da die kleinere unterschiedliche Dicke der ersten Barrierenschicht **41** (erster Abschnitt **4-1**; Gategebiet) alleine im Vergleich zu der größeren Dicke der kombinierten ersten und zweiten Barrierenschicht **41**, **42** (zweiter Abschnitt **4-2**; Gate-Drain-Sektion und Gate-Source-Sektion) auch zu einer anderen Dichte des Elektronengases in der 2-DEG-Schicht **8** führt.

[0043] Das Verwenden eines anderen Al-Gehalts für die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42** erleichtert auch den Herstellungsprozess. Durch Einstellen des Al-Gehalts der ersten Schicht **41** relativ zu dem

Al-Gehalt der p-dotierten Gateschichtsektion **5** beispielsweise ist ein selektives Ätzen des Materials der Gateschichtsektion **5** relativ zu der ersten Barrierenschicht **41** möglich, so dass die erste Barrierenschicht **41** als ein Ätzstopp fungiert.

[0044] Eine weitere Verbesserung besteht darin, dass die Dicke der aus der ersten und zweiten Barrierenschicht **41**, **42** bestehenden Barrierenschicht **4** im Gebiet zwischen der Gateschichtsektion **5** und der Kanalschicht **3** (Gategebiet) fein justiert werden kann, da die Dicke der Barrierenschicht **4** in diesem Gebiet auch die Schwellwertspannung beeinflusst. Beispielsweise können Variationen der Dicke in diesem Gebiet von etwa 1 nm beobachtbare Variationen der Schwellwertspannung bewirken. Da die erste Barrierenschicht **41** separat ausgebildet werden kann, in der Regel durch epitaxiale Abscheidung, die fein gesteuert werden kann, kann die Dicke der Barrierenschicht **4** zwischen der p-dotierten Gateschichtsektion **5** und der Kanalschicht **3** fein justiert werden. Weiterhin können Variationen der Dicke zwischen auf übliche Weise verarbeiteten Bauelementen reduziert werden, was die Ausbeute verbessert.

[0045] Falls gewünscht, kann die Barrierenschicht **4** auch weitere Schichten enthalten. Im Grunde kann die Barrierenschicht **4** mehrere Schichten aus unterschiedlichem oder dem gleichen Material enthalten. Weiterhin kann die erste Barrierenschicht **41** mehr als eine Schicht aus unterschiedlichem oder gleichem Material enthalten. Zudem kann die zweite Barrierenschicht **42** mehr als eine Schicht enthalten, wie etwa zwei oder drei Schichten aus dem gleichen oder einem anderen Material. Die Verwendung von mehr Schichten liefert mehr Freiheit beim Einstellen der elektrischen Charakteristika des Bauelements. Die Barrierenschicht **4** oder die zweite Barrierenschicht **42** kann zusätzlich von einer dünnen, z. B. 2 nm, Schicht aus GaN bedeckt werden, um die Oxidationsanfälligkeit der Barrierenschicht zu reduzieren.

[0046] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen enthält der HEMT **100** eine Barrierenschicht **4** mit einer Ausnehmung. Der Ausdruck „Ausnehmung“ ist als ein Gebiet zu verstehen, wo die Barrierenschicht **4** einen Abschnitt mit geringerer Dicke als benachbarte Gebiete aufweist. Diese Ausnehmung wird durch den ersten Abschnitt **4-1** der Barrierenschicht **4** mit einer Dicke definiert, die kleiner ist als der zweite Abschnitt **4-2** der Barrierenschicht **4**. Die Ausnehmung kann durch ein teilweises Ätzen der Barrierenschicht **4** ausgebildet werden und kann auch eine Anhäufung unter Verwendung von zwei oder mehr Barrierenschichten sein. Die p-dotierte Gateschichtsektion **5** wird mindestens in der Ausnehmung ausgebildet, beispielsweise auf und in Kontakt mit dem ersten Abschnitt **4-1** der Barrierenschicht **4**. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen enthält die Barrierenschicht **4** eine erste Barrierenschicht **41** und ei-

ne zweite Barrierenschicht **42**, die auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht **41** ausgebildet ist. Die zweite Barrierenschicht **42** enthält eine Öffnung, die sich zu der ersten Barrierenschicht **41** erstreckt, um eine Ausnehmung (Gateabschnitt) der Barrierenschicht **4** zu definieren. Die p-dotierte Gateschichtsektion **5** ist in der Öffnung der zweiten Barrierenschicht **42** und auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht **41** angeordnet.

[0047] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen wird ein Nitridhalbleiterbauelement bereitgestellt, das Folgendes enthält: eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht und eine Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht, wobei die Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht eine Ausnehmung enthält. Eine p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion ist mindestens in der Ausnehmung der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht angeordnet. Ein Gatekontakt ist auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht angeordnet. Das Nitridhalbleiterbauelement enthält weiterhin eine Sourceelektrode und eine von der Sourceelektrode beabstandete Drainelektrode.

[0048] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen wird ein Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit (HEMT) bereitgestellt, der ein Substrat, eine Pufferschicht auf dem Substrat und eine Kanalschicht auf dem Substrat enthält. Eine erste Barrierenschicht ist auf und in Kontakt mit der Kanalschicht angeordnet. Die erste Barrierenschicht weist einen Bandabstand auf, der größer ist als der Bandabstand der Kanalschicht, um ein zweidimensionales Elektronengas (2-DEG) an einem Heteroübergang zwischen der Kanalschicht und der ersten Barrierenschicht einzugrenzen. Eine p-dotierte Gateschichtsektion ist auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht in einem Gategebiet des HEMT angeordnet. Ein ohmscher Gatekontakt ist auf der p-dotierten Gateschichtsektion angeordnet, um die p-dotierte Gateschichtsektion elektrisch zu kontaktieren. Ein Sourcekontakt ist in einem Sourcegebiet des HEMT angeordnet, um die 2-DEG-Schicht elektrisch zu kontaktieren. Ein Drainkontakt ist in einem Draingebiet des HEMT angeordnet, um die 2-DEG-Schicht elektrisch zu kontaktieren, wobei das Draingebiet derart von dem Sourcegebiet beabstandet ist, dass die p-dotierte Gateschichtsektion zwischen dem Sourcekontakt und dem Drainkontakt angeordnet ist. Eine zweite Barrierenschicht ist auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht angeordnet.

[0049] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen enthält der HEMT weiterhin ein Substrat und eine Pufferschicht zwischen dem Substrat und der Gruppe-III-Nitridschicht.

[0050] Unter Bezugnahme auf die [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) wird eine erste Ausführungsform eines

Herstellungsverfahrens beschrieben. Diese Ausführungsform beinhaltet eine nichtselektive epitaxiale Abscheidung von ersten und zweiten Barrierenschichten und ein selektives Ätzen einer Gateschicht relativ zu der ersten Barrierenschicht.

[0051] Es wird ein Substrat **1** bereitgestellt, das eine optionale Pufferschicht **2** und eine Gatekanalschicht **3** enthält, wie oben beschrieben. Das Halbleitersubstrat **1** kann in der Regel ein einzelnes monokristallines Volumenmaterial sein. Die Pufferschicht **2** und die Kanalschicht **3** werden in der Regel durch epitaxiale Abscheidung ausgebildet. Bei dieser Ausführungsform ist beispielsweise das Substrat **1** ein Si-Wafer, die Pufferschicht **2** ist aus AlN hergestellt und die Kanalschicht **3** ist aus GaN hergestellt. Es kann auch eine mehrschichtige Pufferschicht **2** verwendet werden. Als nächstes wird eine dünne erste Barrierenschicht **41**, beispielsweise aus AlGaIn oder AlN hergestellt, epitaxial auf der Kanalschicht **3** abgeschieden. Die erste Barrierenschicht **41** kann eine Dicke im Bereich von einigen wenigen nm aufweisen, wie etwa zwischen 1 nm und 20 nm, insbesondere zwischen 1 nm und 10 nm und ganz besonders zwischen 1 nm und 2 nm, je nach ihrem Al-Gehalt. Bei einem weiteren Prozess wird in der Regel durch Epitaxie eine in situ p-dotierte Gateschicht **5-1** abgeschieden. Die p-dotierte Gateschicht **5-1** kann eine Dicke von etwa 100 nm aufweisen, wenngleich auch andere Dicken in einem Bereich von beispielsweise 50 nm bis 200 nm möglich sind.

[0052] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** in einem Bereich von etwa 18% bis etwa 25% liegen, wobei der Al-Gehalt der zweiten Barrierenschicht **42** höher ist als der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41**. Wie sich aus der in [Fig. 5](#) dargestellten Relation ergibt, ist es wünschenswert, in der ersten Barrierenschicht **41** einen niedrigen Al-Gehalt zu haben, um eine signifikante Verschiebung der Schwellwertspannung zu negativen Spannungen zu vermeiden. Andererseits sollte der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** hoch genug sein, um ein selektives Ätzen der Gateschicht **5-1** relativ zu der ersten Barrierenschicht zu gestatten, wie unten beschrieben. Wenn die erste Barrierenschicht **41** einen sehr hohen Al-Gehalt enthält, sollte die Dicke der ersten Barrierenschicht **41** entsprechend reduziert werden, um die durch die erste Barrierenschicht **41** verursachte Schwellwertverschiebung im Bereich von 0 V bis -1 V zu halten.

[0053] Die p-dotierte Gateschicht **5-1** wird zum Ausbilden der p-dotierten Gateschichtsektion **5** verwendet und besteht deshalb aus dem obenbeschriebenen Material für die p-dotierte Gateschichtsektion **5**. In der Regel ist die Gateschicht **5-1** in situ mit Mg höher dotiert, wenngleich auch andere Dotierstoffe verwendet werden können.

[0054] Eine Maske **7** wird auf der p-dotierten Gateschicht **5-1** in einem Gategebiet des Bauelements ausgebildet, d. h. in einem Bereich, wo die p-dotierte Gateschichtsektion **5** ausgebildet werden soll. Das Material der Maske **7** ist nicht beschränkt und kann Material zum Ausbilden einer Hartmaske wie etwa SiO_2 oder organisches oder polymeres Material enthalten. Die resultierende Struktur ist in [Fig. 2A](#) dargestellt.

[0055] In einem nachfolgenden Prozess wird die p-dotierte Gateschicht **5-1** selektiv zu der Maske **7** und auch zu dem Material der ersten Barrierenschicht **41** geätzt. Auf der Gateschicht **5** kann eine nicht-gezeigte, hoch p-dotierte Kappenschicht ausgebildet werden, um einen guten ohmschen Kontakt zu einem später ausgebildeten Gatekontakt bereitzustellen. Die erste Barrierenschicht **41** kann deshalb als eine Ätzstoppschicht fungieren. Um selektives Ätzen zu ermöglichen, kann der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** selektiv auf den Al-Gehalt der p-dotierten Gateschicht **5-1** eingestellt werden. Beispielsweise kann der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** höher sein als der Al-Gehalt der p-dotierten Gateschicht **5-1**. Dies führt zu einem erwünschten anderen Ätzverhalten. Als ein Beispiel kann der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** in einem Bereich von etwa 10% bis etwa 30% liegen, während die p-dotierte Gateschicht **5-1** kein Al enthält. Der Ätzprozess kann ein Plasmaätzen sein, wobei SF_6 als Ätzmittel verwendet wird. Die resultierende Struktur ist in [Fig. 2B](#) gezeigt.

[0056] [Fig. 2C](#) zeigt weitere Prozesse, die eine Abscheidung einer zweiten Barrierenschicht **42** auf exponierten Abschnitten der ersten Barrierenschicht **41** und bei dieser Ausführungsform auch auf der Gateschichtsektion **5** beinhalten. Diejenigen Abschnitte der zweiten Barrierenschicht **42**, die auf der Gateschichtsektion **5** angeordnet sind, dienen nicht als Barrierenschicht und sind deshalb nicht als ein Abschnitt der Barrierenschicht **4** anzusehen. Somit enthält die Barrierenschicht **4** einen ersten Abschnitt **4-1** mit einer geringen Dicke, definiert durch die erste Barrierenschicht **41**, und nur einen zweiten Abschnitt **4-2**, definiert durch die Kombination aus erster und zweiter Barrierenschicht **41**, **42**. Die zweite Barrierenschicht **42** wird durch Epitaxie bis zu einer Dicke von etwa 5 nm bis 50 nm, beispielsweise 20 nm, abgeschieden. Das Material der zweiten Barrierenschicht **42** kann das gleiche sein wie das der ersten Barrierenschicht **41** oder kann davon verschieden sein. Beispielsweise kann AlGaN oder AlInN mit einem geeigneten Al-Gehalt verwendet werden.

[0057] Bei einem weiteren Prozess wird eine Passivierungsschicht **6** abgeschieden, was in oder ex situ erfolgen kann. Die resultierende Struktur ist in [Fig. 2C](#) gezeigt.

[0058] Bei einem weiteren Prozess werden Kontaktöffnungen, um die Ausbildung von Source- und Drainelektroden zu gestatten, in die Passivierungsschicht **6** und die Barrierenschicht **4** geätzt. Die ausgebildeten Öffnungen können sich ganz durch die Barrierenschicht **4** erstrecken, d. h. durch die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42**. Es ist auch möglich, dass sich die Öffnungen nur bis zu der ersten Barrierenschicht **41** erstrecken. Bei einem weiteren Prozess wird ein Kontaktmetall abgeschieden, um die Source- und Drainelektroden **11**, **12** auszubilden. Dann wird eine Ofentemperatur durchgeführt, die die Ausbildung von metallurgischen Phasen bewirkt, um den elektrischen Kontakt zu der 2-DEG-Schicht **8** zu verbessern. Die ausgebildeten metallurgischen Phasen erstrecken sich auch durch die erste Barrierenschicht **41** unter den Source- und Drainelektroden **11**, **12**, selbst wenn die geätzten Öffnungen an der ersten Barrierenschicht **41** aufhören, so dass ein gewünschter elektrischer Kontakt zu der 2-DEG-Schicht **8**, an der Grenzfläche zwischen der Kanalschicht **3** und der ersten Barrierenschicht **41** ausgebildet, zuverlässig ausgebildet wird.

[0059] Bei einem weiteren Prozess wird ein Gatekontakt **10** durch Ätzen einer Öffnung durch die Passivierungsschicht **6** und die zweite Barrierenschicht **42** und Abscheiden eines leitenden Materials zum Bereitstellen einer elektrischen Verbindung zu der Gateschichtsektion **5** ausgebildet. Bei der vorliegenden Ausführungsform sind alle der Kontakte **10** und Elektroden **11**, **12** ohmsche Kontakte. Das Material des Kontakts **10** und der Elektroden **11**, **12** kann entsprechend spezifischer Anforderungen gewählt werden. Es ist auch möglich, die Source- und Drainelektroden **11**, **12** und den Gatekontakt **10** in einem gemeinsamen Prozess auszubilden. Die resultierende Struktur ist in [Fig. 2E](#) gezeigt, die [Fig. 1](#) entspricht.

[0060] Unter Bezugnahme auf [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3E](#) wird eine weitere Ausführungsform zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements beschrieben. Diese Ausführungsform beinhaltet eine selektive epitaxiale Abscheidung einer zweiten Barrierenschicht auf exponierten Abschnitten einer ersten Barrierenschicht und ein selektives Ätzen einer p-dotierten Gateschicht relativ zu der zweiten Barrierenschicht.

[0061] Im Unterschied zu der ersten Ausführungsform entfällt die Pufferschicht **2**, da das Substrat **1** aus einem Halbleitermaterial mit einer der Gitterstruktur der Kanalschicht **3** ähnlichen Gitterstruktur besteht. Falls erwünscht kann auch eine Pufferschicht aufgenommen werden. Die erste Barrierenschicht **41** wird auf der Kanalschicht **3** ausgebildet, wie oben beschrieben.

[0062] Eine Masken- oder Opferschicht **15** wird auf der ersten Barrierenschicht **41** ausgebildet. Die Maske **15** kann beispielsweise eine Hartmaske sein, die

aus einem Oxid wie etwa SiO_2 besteht und durch Abscheiden einer etwa 100 nm dicken Oxidschicht ausgebildet wird, die danach strukturiert wird. Die Maske **15** definiert das Gebiet, wo die Gateschichtsektion später ausgebildet wird, d. h. das Gategebiet. Die resultierende Struktur ist in [Fig. 3A](#) gezeigt.

[0063] Eine zweite Barrierenschicht **42** wird auf der ersten Barrierenschicht **41** durch selektives epitaxiales Aufwachsen von AlGaN oder InAlN bis zu einer Dicke von etwa 20 nm ausgebildet. Kein Halbleitermaterial wird auf der Maske **15** abgeschieden, wie in [Fig. 3B](#) gezeigt.

[0064] In einem nachfolgenden Prozess, wie in [Fig. 3C](#) gezeigt, wird die Hartmaske **15** durch eine Nassoxidätzung entfernt, so dass eine Öffnung in der zweiten Barrierenschicht **42** zum Exponieren der ersten Barrierenschicht **41** ausgebildet wird. Die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42** bilden zusammen die Barrierenschicht **4**, die eine durch die Öffnung in der zweiten Barrierenschicht **42** ausgebildete Ausnehmung aufweist.

[0065] Bei einem Weiteren Prozess wird, wie in [Fig. 3C](#) gezeigt, eine in situ p-dotierte Gateschicht **5-2** abgeschieden, wobei ein Material und ein Prozess wie oben beschrieben verwendet werden. Die p-dotierte Gateschicht **5-2** kleidet auch die Öffnung der zweiten Barrierenschicht **42** aus und füllt sie (Ausnehmung in der Barrierenschicht **4**), so dass die p-dotierte Gateschicht **5-2** ebenfalls auf und in Kontakt mit der ersten Barrierenschicht in dem durch die Öffnung definierten Gategebiet ausgebildet wird.

[0066] Wie in [Fig. 3D](#) gezeigt, wird die p-dotierte Gateschicht **5-2** unter Verwendung einer lithografisch ausgebildeten Maske (nicht gezeigt) geätzt. Das Ätzen, in der Regel ein Plasmaätzen unter Verwendung von SF_6 , erfolgt selektiv zu dem Material der zweiten Barrierenschicht **42**, so dass das Ätzen an der zweiten Barrierenschicht **42** endet. Wie oben in Verbindung mit der in [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) gezeigten Ausführungsform beschrieben, kann die Ätzselektivität dadurch eingestellt werden, dass der Al-Gehalt der die Ätzstoppschicht bildenden zweiten Barrierenschicht **42** gewählt wird. In der Regel liegt der Al-Gehalt im Bereich von etwa 18% bis etwa 25%, was zu einer ausreichenden Ätzselektivität gegenüber p-dotiertem GaN führt, das als Material der p-dotierten Gateschicht **5-2** verwendet werden kann. Ein höherer Al-Gehalt verbessert sogar die Ätzselektivität und verbessert auch die Kanalcharakteristika in der Gate-Drain- und Gate-Source-Sektion der 2-DEG-Schicht **8**, ohne die Schwellwertspannung des HEMT **100** zu beeinflussen. Da die zweite Barrierenschicht **42** außerhalb des Gategebiets ausgebildet wird, kann sie einen hohen Al-Gehalt aufweisen.

[0067] Die resultierende Struktur ist in [Fig. 3D](#) gezeigt. Die so ausgebildete p-dotierte Gateschichtsektion **5** bedeckt einen Teil der zweiten Barrierenschicht **42**, da die lithografische Maske größer als die Öffnung ausgebildet worden ist, um ein Entfernen der p-dotierten Gateschicht **5-2** im Fall einer Fehlausrichtung der lithografischen Maske zu verhindern.

[0068] In einem weiteren Prozess, wie in [Fig. 3E](#) gezeigt, wird eine Passivierungsschicht **6** abgeschieden und ein Gatekontakt **10** und Source- und Drainelektroden **11** und **12** werden ausgebildet, beispielsweise wie oben beschrieben.

[0069] Bei dieser Ausführungsform kann das gleiche Material für die erste und zweite Barrierenschicht **41**, **42** verwendet werden. Es ist jedoch auch möglich, falls gewünscht, verschiedene Materialien zu verwenden, insbesondere Materialien mit einem unterschiedlichen Al-Gehalt.

[0070] Die in [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) und [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) gezeigten Ausführungsformen gestatten eine sehr präzise Einstellung der Dicke des ersten Abschnitts **4-1** der Barrierenschicht **4** zwischen der Gateschichtsektion **5** und der Kanalschicht **3**, da die Dicke in diesem Gebiet durch den zum Ausbilden der ersten Barrierenschicht **41** verwendeten epitaxialen Abscheidungsprozess gesteuert wird. Eine weitere Verbesserung besteht darin, dass der Al-Gehalt der ersten Barrierenschicht **41** ebenfalls niedriger sein kann als der Al-Gehalt der zweiten Barrierenschicht **42**, um die Schwellwertspannung des HEMT **100** in einem Gebiet von etwa +2 V bis etwa +3 V zu halten, ohne die Leitfähigkeit der 2-DEG-Schicht **8** in der Gate-Drain- bzw. Gate-Source-Sektion zu beeinflussen. Weiterhin beziehen sich die in [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) und [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) gezeigten Ausführungsformen auf den obenbeschriebenen HEMT mit doppelter Barrierenschicht.

[0071] Unter Bezugnahme auf die [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4E](#) wird eine weitere Ausführungsform zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements beschrieben. Diese Ausführungsform beinhaltet ein teilweises Ätzen einer Barrierenschicht und eine selektive epitaxiale Abscheidung einer p-dotierten Gateschicht auf exponierten Abschnitten der Barrierenschicht. Weiterhin verwendet diese Ausführungsform eine einzelne Barrierenschicht. Anstatt einer einzelnen Barrierenschicht kann auch eine doppelte Schichtstruktur wie oben beschrieben verwendet werden. Beispielsweise können die Barrierenschichten mit unterschiedlichem Al-Gehalt verwendet werden, um selektives Ätzen zu gestatten.

[0072] Der Prozess beginnt mit einer Kanalschicht **3**, die auf einem nichtgezeigten Substrat und einer optionalen Pufferschicht angeordnet sein kann, auf der eine Barrierenschicht **4** ausgebildet werden

soll. Bei dieser Ausführungsform wird die Barrierenschicht **4** durch eine einzelne Schicht gebildet. Es ist auch möglich, mehrere Barrierenschichten aufzunehmen, die zusammen die Barrierenschicht **4** bilden. Beispielsweise können mehrere Monoschichten aus dem gleichen oder einem unterschiedlichen Material verwendet werden. Das Verwenden von unterschiedlichen Materialien gestattet beispielsweise die Ausbildung einer Barrierenschicht mit einer Abstufung beim Al-Gehalt. Bei dieser Ausführungsform kann die Barrierenschicht **4** beispielsweise eine epitaxial aufgewachsene AlGaN- oder eine AlInN-Schicht mit einer Dicke von etwa 20 nm sein, sie kann aber auch aus einem beliebigen der oben beschriebenen Materialien bestehen. Die Kanalschicht **3** kann beispielsweise aus GaN hergestellt sein, kann aber auch aus einem der oben beschriebenen Materialien bestehen.

[0073] Eine Deckschicht **17**, die später auch eine Passivierungsschicht darstellt, wird auf der Barrierenschicht **4** abgeschieden. Die Deckschicht **17** kann beispielsweise eine aus SiO₂ oder Si₃N₄ bestehende Hartmaske sein.

[0074] Wie in [Fig. 4B](#) gezeigt, wird die Deckschicht **17** unter Verwendung einer nichtgezeigten lithografischen Maske strukturiert, um eine Öffnung in der Deckschicht **17** auszubilden, wobei die Öffnung das Gategebiet des Bauelements definiert. Bei einem weiteren Prozess wird die Barrierenschicht teilweise geätzt, beispielsweise durch plasmaunterstütztes SF₆-Ätzen, wobei die strukturierte Deckschicht **17** als Ätzmaske zum Ausbilden einer Ausnehmung **18** in der Barrierenschicht **4** verwendet wird. Die Ätzzeit steuert das Ausmaß, in dem die Barrierenschicht **4** ausgebildet wird, und wird so gewählt, dass die Barrierenschicht **4** nicht vollständig entfernt wird, d. h., ein dünner Abschnitt der Barrierenschicht **4** bleibt zurück. Falls bei einer Ausführungsform die Barrierenschicht **4** eine erste und eine zweite Barrierenschicht aus unterschiedlichen Materialien enthält, wie oben beschrieben, ist es auch möglich, die zweite Barrierenschicht selektiv zu der ersten Barrierenschicht zu ätzen, die dann als Ätzstoppschicht fungiert. Die resultierende Struktur ist in [Fig. 4B](#) dargestellt, die einen dünnen ersten Abschnitt **4-1** (Ausnehmung **18**) der Barrierenschicht **4** in dem Gategebiet und einen dicken zweiten Abschnitt **4-2** außerhalb des Gategebiets zeigt.

[0075] Wie in [Fig. 4C](#) gezeigt, wird eine in situ p-dotierte Gateschichtsektion **5** durch selektive epitaxiale Abscheidung auf einem exponierten Abschnitt der Barrierenschicht **4**, d. h. dem exponierten ersten Abschnitt **4-1**, abgeschieden. Die Abscheidung kann derart gesteuert werden, dass es zu keinem seitlichen Überwachsen kommt. Die Gateschichtsektion **5** kann eine größere Dicke als die Barrierenschicht **4** aufweisen und kann gegenüber der oberen Oberfläche der Deckschicht **17** ausgenommen sein. Bei

dieser Ausführungsform besteht die p-dotierte Gateschichtsektion **5** aus GaN, sie kann aber auch aus einem beliebigen der oben beschriebenen Materialien bestehen.

[0076] Bei einem weiteren Prozess wird eine selektive epitaxiale Abscheidung von weiterem Material der p-dotierten Gateschichtsektion **5** durchgeführt, was ebenfalls zu einem teilweisen seitlichen Überwachsen der Gateschichtsektion **5** über die Deckschicht **17** führt, wie in [Fig. 4D](#) gezeigt.

[0077] Wie in [Fig. 4E](#) dargestellt, wird ein Gatekontakt **10** auf der p-dotierten Gateschichtsektion **5** ausgebildet und Source- und Drainelektroden **11**, **12** werden wie oben beschrieben ausgebildet.

[0078] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zum Herstellen eines Nitridhalbleiterbauelements bereitgestellt. Das Verfahren beinhaltet Bereitstellen einer Gruppe-III-Nitridkanalschicht; Ausbilden einer Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht mit einer Ausnehmung auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht, der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; Ausbilden einer p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion mindestens in der Ausnehmung der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; Ausbilden eines Gatekontakts auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion; Ausbilden einer Sourceelektrode; Ausbilden einer von der Sourceelektrode beabstandeten Drainelektrode.

[0079] Ein Fachmann versteht, dass Prozesse aus den obigen Ausführungsformen kombiniert und ausgetauscht werden können, um weitere Ausführungsformen zu erhalten. Insbesondere können die funktionalen Schichten Materialien enthalten, die von dem spezifischen Material verschieden sind, das in Verbindung mit den obigen Ausführungsformen beschrieben wird, solange die gewünschten funktionalen Charakteristika im Wesentlichen die gleichen bleiben oder äquivalent dazu sind.

[0080] [Fig. 6](#) zeigt eine weitere Ausführungsform bezüglich eines Nitridhalbleiterbauelements. Das Bauelement **200**, das ein HEMT sein kann, kann im Wesentlichen die gleiche Struktur wie das Bauelement **100** von [Fig. 1](#) aufweisen, mit dem Unterschied, dass die p-dotierte Gateschichtsektion durch ein Metall **13** ersetzt ist, das auf der ersten Barrierenschicht **41** einen Schottky-Kontakt bildet. Je nach der Dicke der ersten Barrierenschicht **41** kann das Bauelement ein Anreicherungsmodus- oder ein Verarmungsmodusbauelement sein. Der Ansatz mit doppelter Barrierenschicht kann deshalb auch auf Verarmungsmodusbauelemente angewendet werden, um eine präzise Dickensteuerung der Barrierenschicht **4** zum Ausbilden einer ausgenommenen Gatestruktur zu gestatten. Die Herstellungsverfahren wie oben gezeigt können leicht angepasst werden, indem die p-dotierte

Gateschicht **5-1** und die p-dotierte Gateschichtsektion **5** durch ein Metall zum Ausbilden eines Schottky-Kontakts ersetzt werden.

[0081] Die in [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3E](#) gezeigten Prozesse eignen sich beispielsweise zum Ausbilden eines derartigen HEMT. Die Prozesse der [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) werden beispielsweise zum Ausbilden der ersten und zweiten Barrierenschicht **41**, **42** verwendet. Anders als bei den in [Fig. 3C](#) und [Fig. 3D](#) gezeigten Prozessen wird eine Schottky-Metallschicht **13-1** abgeschieden und strukturiert, um einen Schottky-Kontakt **13** auszubilden. Der übrige Prozess, wie in [Fig. 3C](#) gezeigt, kann zum Fertigstellen des HEMT verwendet werden.

[0082] Diese Modifikation gestattet eine leichte Integration von Verarmungs- und Anreicherungsbauelementen in ein einzelnes Substrat zum Ausbilden von komplementären integrierten Schaltungen auf der Basis eines Gruppe-III-Nitridhalbleitermaterials. Da ähnliche Prozesse zum Ausbilden der Verarmungs- und der Anreicherungsbauelemente verwendet werden können, erfordert die Integration nur einige wenige zusätzliche Schritte. Dies eröffnet die Möglichkeit zum Auslegen von Gruppe-III-Nitridlogikbauelementen, die bei hoher Geschwindigkeit und mit niedrigem Stromverbrauch arbeiten können. Weiterhin können komplementäre Leistungsbaulemente oder Leistungsbaulemente mit integrierter Logik ausgebildet werden.

[0083] Dementsprechend wird ein Nitridhalbleiterbauelement wie etwa ein HEMT bereitgestellt. Das Nitridhalbleiterbauelement enthält eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht; mindestens eine erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht; mindestens eine zweite Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht, wobei die zweite Barrierenschicht eine Öffnung enthält, die sich zu der ersten Barrierenschicht erstreckt; eine Schottky-Metallsektion mindestens in der Öffnung in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; eine 2-DEG-Schicht an dem Übergang zwischen der Gruppe-III-Nitridkanalschicht und der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; einen Gatekontakt auf der Schottky-Metallsektion; eine Sourceelektrode in elektrischem Kontakt mit der 2-DEG-Schicht und eine Drainelektrode in elektrischem Kontakt mit der 2-DEG-Schicht und von der Sourceelektrode beabstandet.

[0084] Dementsprechend wird ein Nitridhalbleiterbauelement wie etwa ein HEMT bereitgestellt. Das Nitridhalbleiterbauelement enthält eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht; mindestens eine erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht; mindestens eine zweite Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrie-

renschicht, wobei die zweite Barrierenschicht eine Öffnung enthält, die sich zu der ersten Barrierenschicht erstreckt; eine Gateschichtsektion mindestens in der Öffnung in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; eine 2-DEG-Schicht an dem Übergang zwischen der Gruppe-III-Nitridkanalschicht und der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht; einen Gatekontakt auf der Gateschichtsektion; eine Sourceelektrode in elektrischem Kontakt mit der 2-DEG-Schicht und eine Drainelektrode in elektrischem Kontakt mit der 2-DEG-Schicht und von der Sourceelektrode beabstandet. Die Gateschichtsektion kann ein Schottky-Metall oder ein p-dotiertes Gruppe-III-Nitridmaterial sein.

[0085] Die gemeinsame Verarbeitung von Verarmungsmodus- und Anreicherungsmodusbauelementen ist in [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) dargestellt. Die Herstellung des Bauelements **300** einschließlich einem Anreicherungsmodusbauelement **100** und einem Verarmungsmodusbauelement **400** basiert auf den Prozessen der [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3E](#). Nach der selektiven Abscheidung der zweiten Barrierenschicht **42** im Gebiet beider Bauelemente **100**, **400** wird zuerst die p-dotierte Gateschichtsektion **5** in dem Gebiet des Anreicherungsmodusbauelements **100** ausgebildet ([Fig. 7A](#)), und dann wird der Schottky-Kontakt **13** in dem Gebiet des Verarmungsmodusbauelements **200** ausgebildet. Danach werden Passivierungsschicht **6**, Gatekontakte **100** und Source- bzw. Drainelektroden **11**, **12** in dem Gebiet beider Bauelemente ausgebildet. Die endgültige Struktur ist in [Fig. 7C](#) gezeigt. Es wäre auch möglich, ein beispielsweise auf [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4E](#) basierendes Herstellungsverfahren zu verwenden.

[0086] Eine weitere Variation ist in [Fig. 7D](#) gezeigt. Die zweite Barrierenschicht **41** in dem Gebiet des Verarmungsmodusbauelements **500** enthält keine Öffnung, so dass die Barrierenschicht **4** die gleiche Dicke in dem ersten Abschnitt **4-1** und dem zweiten Abschnitt **4-2** aufweist.

[0087] Eine weitere Option besteht darin, auf dem ausgenommenen Abschnitt (ersten Abschnitt) der Barrierenschicht unter der p-dotierten Gateschichtsektion eine zusätzliche Gatedielektrikumsschicht auszubilden. Dies führt ebenfalls zu der Ausbildung eines Anreicherungsmodusbauelements. Solche Anreicherungsmodusbauelemente können dementsprechend zusammen mit den oben beschriebenen Anreicherungsmodusbauelementen integriert werden.

[0088] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen wird eine Nitridhalbleiterschaltung bereitgestellt, die mindestens ein Verarmungsmodusbauelement und mindestens ein Anreicherungsmodusbauelement, wie oben beschrieben, enthält. Beide Bau-

elemente können eine doppelte Barrierenschicht, wie oben beschrieben, enthalten.

[0089] Die schriftliche Beschreibung oben enthält spezifische Ausführungsformen, einschließlich den besten Modus, und um es auch einem beliebigen Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung anzufertigen und zu verwenden. Während die Erfindung im Hinblick auf unterschiedliche spezifische Ausführungsformen beschrieben worden ist, erkennt der Fachmann, dass die Erfindung mit Modifikationen innerhalb des Gedankens und Schutzbereichs der Ansprüche praktiziert werden kann. Insbesondere können sich gegenseitig nicht ausschließende Merkmale der obenbeschriebenen Ausführungsformen miteinander kombiniert werden. Der patentierbare Schutzbereich wird durch die Ansprüche definiert und kann andere Beispiele beinhalten, die sich dem Fachmann ergeben. Solche weiteren Beispiele sollen in dem Schutzbereich der Ansprüche liegen.

Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement, umfassend:
eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
eine Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3), wobei die Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4) einen ersten Abschnitt (4-1) und einen zweiten Abschnitt (4-2) umfasst, wobei der erste Abschnitt (4-1) eine Dicke kleiner als der zweite Abschnitt (4-2) umfasst;
eine p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5), auf mindestens dem ersten Abschnitt (4-1) der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4) angeordnet;
einen Gatekontakt (10) auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5);
eine Sourceelektrode (11); und
eine Drainelektrode (12), die von der Sourcelektrode (11) beabstandet ist.

2. Bauelement nach Anspruch 1, wobei die Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4) Folgendes umfasst:
mindestens eine erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3), wobei die p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) mindestens auf und in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) angeordnet ist; und
mindestens eine zweite Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (42), die auf und in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) angeordnet ist.

3. Bauelement nach Anspruch 2, wobei die erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) einen Al-Gehalt umfasst, der von einem Al-Gehalt der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (42) verschieden ist.

4. Bauelement nach Anspruch 2 oder 3, wobei die erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) einen Al-

Gehalt umfasst, der von einem Al-Gehalt der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) verschieden ist.

5. Bauelement nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die zweite Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (42) ebenfalls auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) angeordnet ist.

6. Bauelement nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die zweite Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (42) eine Öffnung umfasst, die sich zu der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) erstreckt und eine Ausnehmung der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4) definiert, wobei die p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) in der Öffnung angeordnet ist.

7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der erste Abschnitt (4-1) eine Ausnehmung (18) der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4) definiert.

8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, weiterhin umfassend: eine Gatedielektrikumschicht zwischen der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) und dem ersten Abschnitt (4-1) der Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (4).

9. Halbleiterbauelement, umfassend:
eine Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
mindestens eine erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
eine Gateschichtsektion (5) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41), wobei die Gateschichtsektion (5) ein Material umfasst ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus einem p-dotierten Gruppe-III-Nitridhalbleiter und einem Schottky-kontaktbildenden Metall;
mindestens eine zweite Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (42) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) bei der Gateschichtsektion (5);
eine 2-DEG-Schicht (8) an dem Übergang zwischen der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3) und der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41);
einen Gatekontakt (10) auf der Gateschichtsektion (5);
eine Sourceelektrode (11) in elektrischem Kontakt mit der 2-DEG-Schicht (8);
eine Drainelektrode (12) in elektrischem Kontakt mit der 2-DEG-Schicht (8) und von der Sourcelektrode (11) beabstandet.

10. Bauelement nach Anspruch 9, wobei die erste Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (41) einen Al-Gehalt umfasst, der von einem Al-Gehalt der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierenschicht (42) verschieden ist.

11. Bauelement nach Anspruch 9 oder 10, wobei die zweite Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42) eine Öffnung umfasst, wobei die Gateschichtsektion (5) in der Öffnung angeordnet ist.

12. Halbleiterbauelement, umfassend:
eine undotierte Kanalschicht (3) bestehend aus $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ mit $0 \leq a \leq 1$;
eine undotierte Barrierschicht (4) umfassend ein Material ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$ und $a < b$) und $\text{Al}_c\text{In}_{1-c}\text{N}$ ($0 \leq c \leq 1$ und $a < c$) auf der Kanalschicht (3), wobei die Barrierschicht (4) einen höheren Bandabstand als die Kanalschicht (3) aufweist und einen Heteroübergang mit der Kanalschicht (3) bildet, wobei die Barrierschicht (4) einen ersten Abschnitt (4-1) mit einer Dicke umfasst, die geringer ist als ein zweiter Abschnitt (4-2) der Barrierschicht (4);
eine p-dotierte Gateschicht (5) umfassend $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ mit $0 \leq z \leq 1$ auf und in Kontakt mit dem ersten Abschnitt (4-1) der Barrierschicht (4);
einen Gatekontakt (10) auf der p-dotierten Gateschicht (5);
eine Sourceelektrode (11); und
eine Drainelektrode (12), die von der Sourceelektrode (11) beabstandet ist.

13. Bauelement nach Anspruch 12, wobei die Barrierschicht (4) Folgendes umfasst:
mindestens eine erste Barrierschicht (41), die ein Material umfasst ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus $\text{Al}_{b1}\text{Ga}_{1-b1}\text{N}$ ($0 \leq b1 \leq 1$ und $a < b1$) und $\text{Al}_{c1}\text{In}_{1-c1}\text{N}$ ($0 \leq c1 \leq 1$ und $a < c1$) auf der Kanalschicht (3), wobei die erste Barrierschicht (41) einen höheren Bandabstand als die Kanalschicht (3) aufweist und einen Heteroübergang mit der Kanalschicht (3) bildet,
wobei die p-dotierte Gateschicht (5) auf und in Kontakt mit einem Abschnitt der ersten Barrierschicht (41) angeordnet ist;
mindestens eine zweite Barrierschicht (42), die ein Material umfasst ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus $\text{Al}_{b2}\text{Ga}_{1-b2}\text{N}$ ($0 \leq b2 \leq 1$; $a < b2$) und $\text{Al}_{c2}\text{In}_{1-c2}\text{N}$ ($0 \leq c2 \leq 1$; $a < c2$) auf und in Kontakt mit einem anderen Abschnitt der ersten Barrierschicht (41).

14. Bauelement nach Anspruch 13, wobei $b1 \neq b2$ und $c1 \neq c2$.

15. Bauelement nach Anspruch 13 oder 14, wobei die erste Barrierschicht (41) eine Dicke aufweist, die anders ist als eine Dicke der zweiten Barrierschicht (42).

16. Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelements, umfassend:
Bereitstellen einer Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
Ausbilden einer Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4) umfassend einen ersten Abschnitt (4-1) und einen

zweiten Abschnitt (4-2) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3), wobei der erste Abschnitt (4-1) eine Dicke aufweist, die geringer ist als der zweite Abschnitt (4-2);

Ausbilden einer p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) mindestens auf dem ersten Abschnitt (4-1) der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4);
Ausbilden eines Gatekontakts (10) auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5);
Ausbilden einer Sourceelektrode (11); und
Ausbilden einer Drainelektrode (12), die von der Sourceelektrode (11) beabstandet ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, umfassend:
Ausbilden mindestens einer ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
Ausbilden der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) auf und in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41); und
Ausbilden mindestens einer zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42) auf und in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41), wobei die ersten und zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschichten zusammen die Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4) bilden.

18. Verfahren nach Anspruch 17, umfassend:
Ausbilden einer p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41), wobei die p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1) ein Material umfasst, das bezüglich des Materials der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) selektiv geätzt werden kann;
selektives Ätzen der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5) zu der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41), um die p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) auszubilden; und
Ausbilden der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42).

19. Verfahren nach Anspruch 18, umfassend:
Ausbilden einer Maske (7) auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1), um die p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) zu definieren, und
Ätzen der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1) unter Verwendung der Maske (7).

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, umfassend:
Ausbilden einer Öffnung in der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42), um einen Gateabschnitt (4-1) der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) zu exponieren; und
Ausbilden der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) mindestens in der Öffnung der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42).

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, umfassend:

Ausbilden einer Maske (15) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41), um einen Gateabschnitt in der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht zu bedecken, wobei der Gateabschnitt den ersten Abschnitt (4-1) der Barrierschicht (4) definiert;
Abscheiden der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42) auf unbedeckten Abschnitten der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41);
Entfernen der Maske (15), um den Gateabschnitt (4-1) der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) zu exponieren;
Ausbilden der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) auf dem exponierten Gateabschnitt der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41).

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 21, umfassend:

Ausbilden einer Deckschicht (17) auf der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4), wobei die Deckschicht (17) mindestens eine Öffnung umfasst zum Definieren einer Ausnehmung (18) der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4);
Ätzen der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4), um die Ausnehmung (18) in der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4) auszubilden;
Ausbilden der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) in der Ausnehmung (18) der Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (4).

23. Verfahren zum Ausbilden eines Halbleiterbauelements, umfassend:

Bereitstellen einer Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
Ausbilden mindestens einer ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) auf der Gruppe-III-Nitridkanalschicht (3);
Ausbilden einer p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) auf und in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41); und
Ausbilden mindestens einer zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42) auf und in Kontakt mit der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41);
Ausbilden eines Gatekontakts (10) auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5);
Ausbilden einer Sourceelektrode (11);
Ausbilden einer Drainelektrode (12), die von der Sourceelektrode (11) beabstandet ist.

24. Verfahren nach Anspruch 23, umfassend:

Ausbilden einer p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41), wobei die p-dotierte Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1) ein Material umfasst, das bezüglich des Materials der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) selektiv geätzt werden kann;
Ausbilden einer Maske (7) auf der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1);
Ätzen der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschicht (5-1) unter Verwendung der Maske (7), um die p-do-

tierte Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) auszubilden;

Ausbilden der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42).

25. Verfahren nach Anspruch 23, umfassend:

Ausbilden einer Maske (15) auf der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41), um einen Gateabschnitt (4-1) der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) zu bedecken;

Abscheiden der zweiten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (42) auf unbedeckten Abschnitten der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41);

Entfernen der Maske (15), um den Gateabschnitt (4-1) der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41) zu exponieren;

Ausbilden der p-dotierten Gruppe-III-Nitridgateschichtsektion (5) auf dem exponierten Gateabschnitt (4-1) der ersten Gruppe-III-Nitridbarrierschicht (41).

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

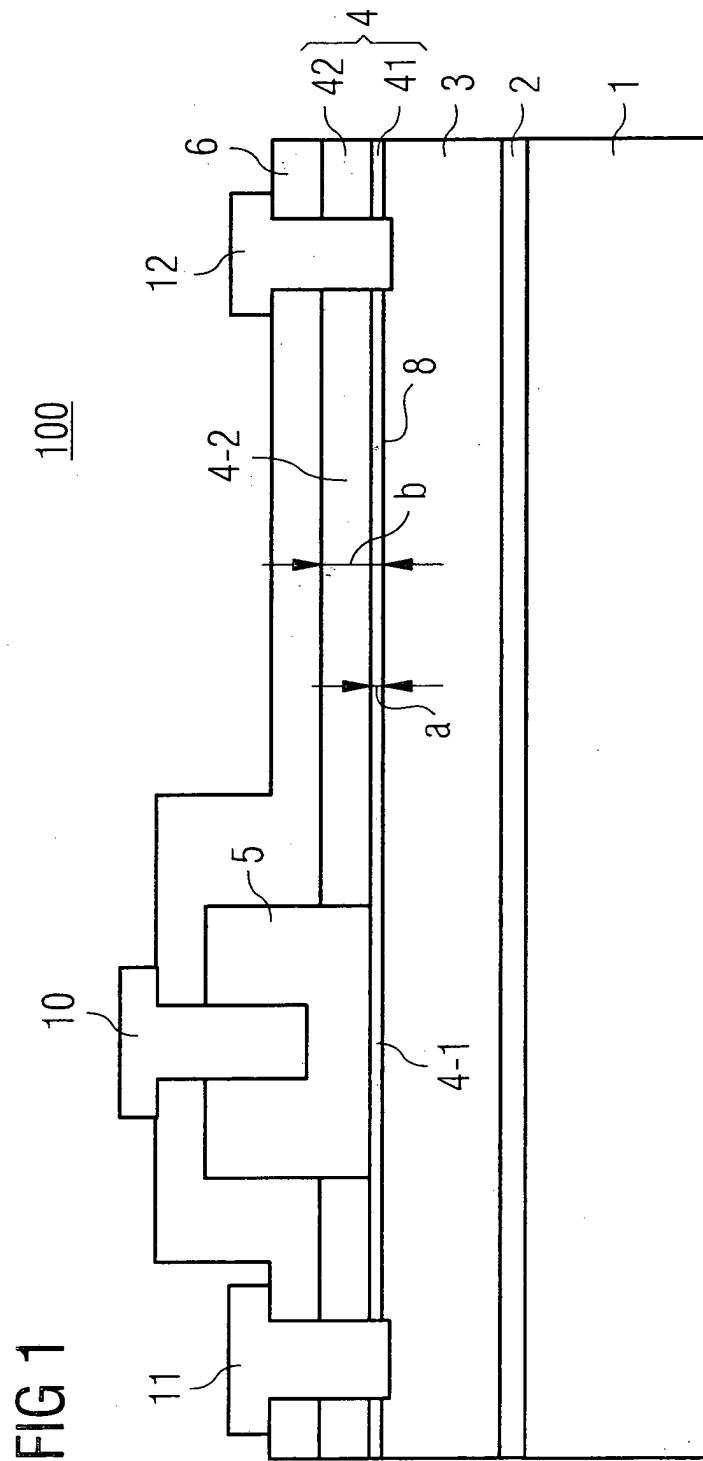


FIG 2A

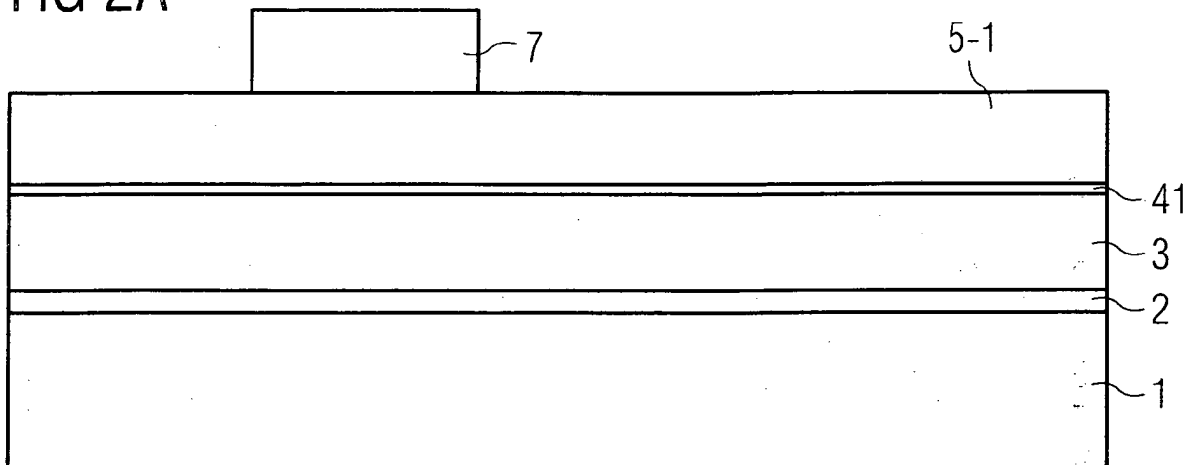


FIG 2B

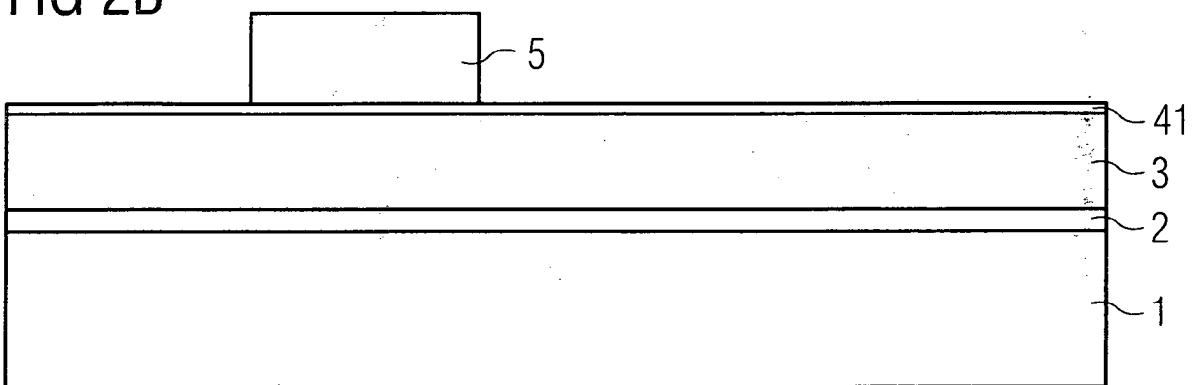


FIG 2C

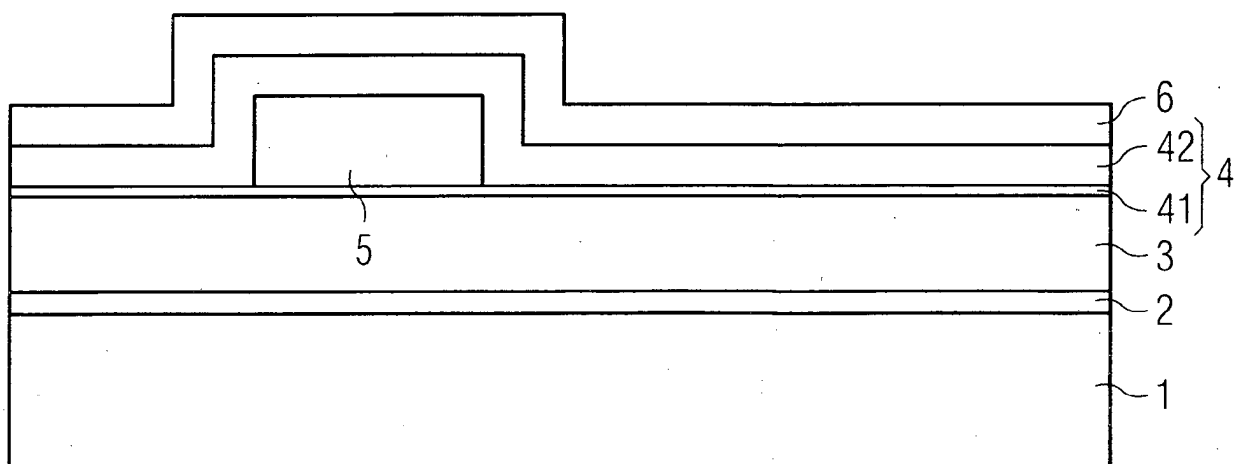


FIG 2D

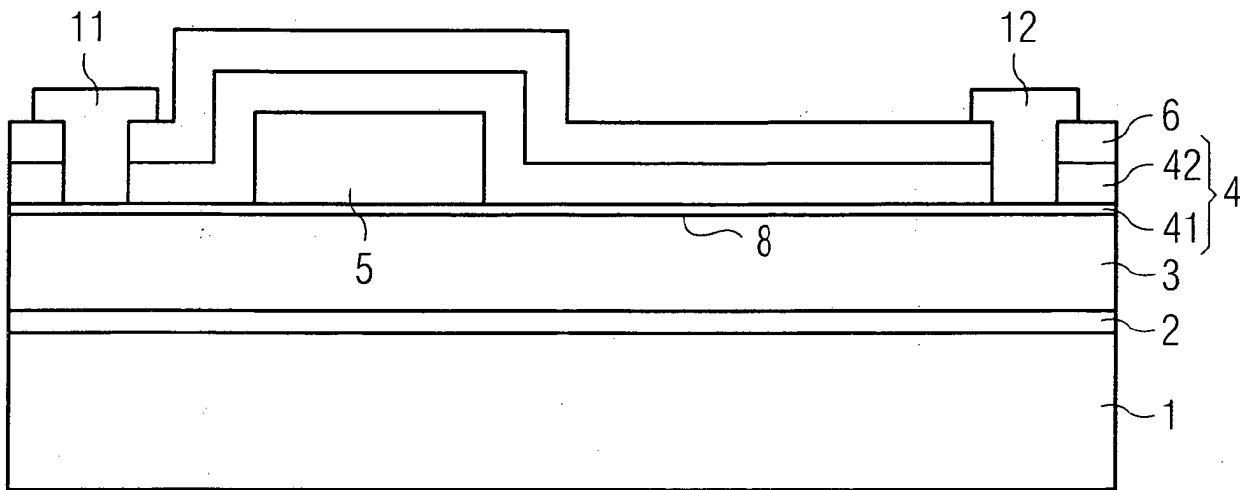


FIG 2E

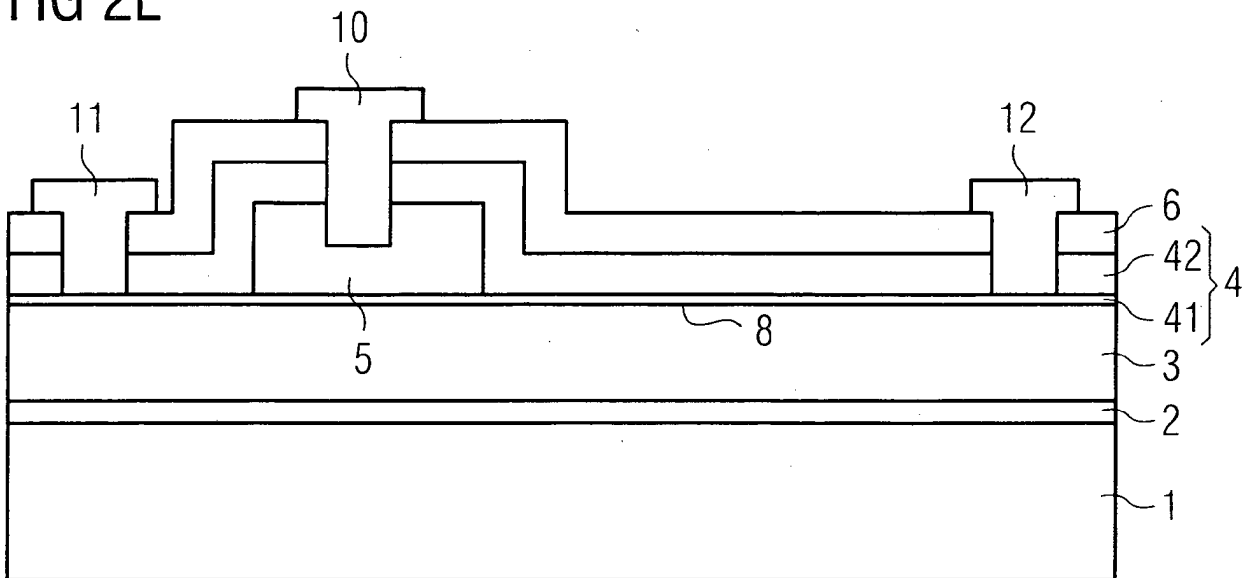


FIG 3A

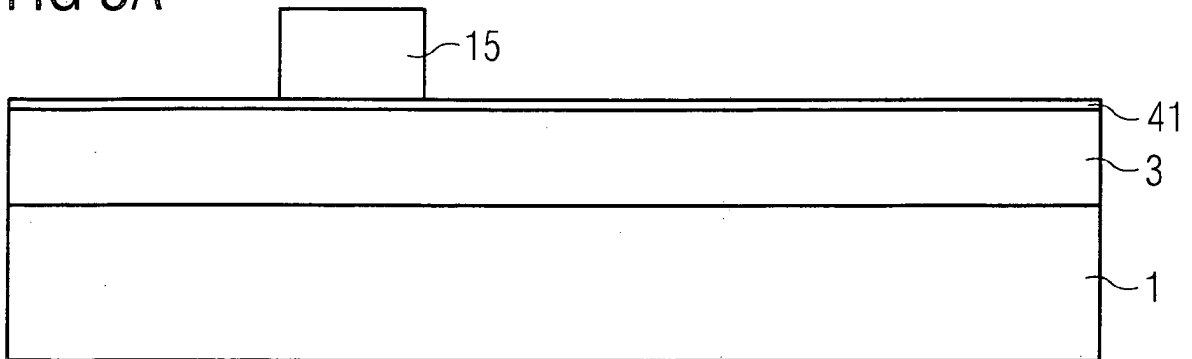


FIG 3B

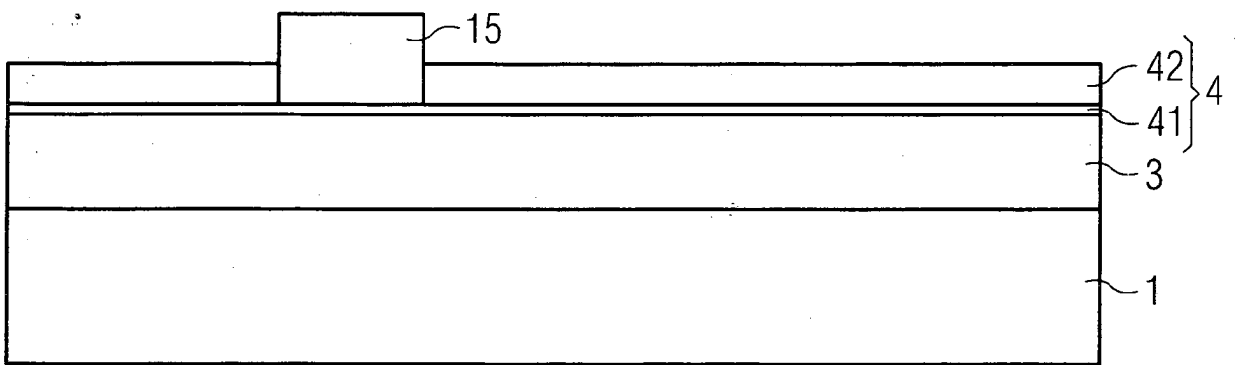


FIG 3C

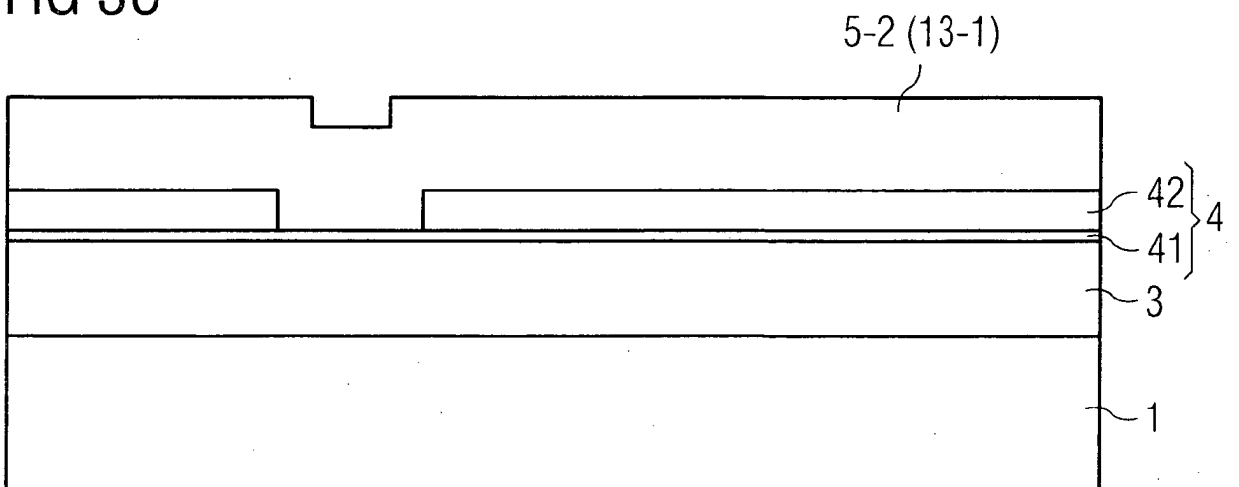


FIG 3D

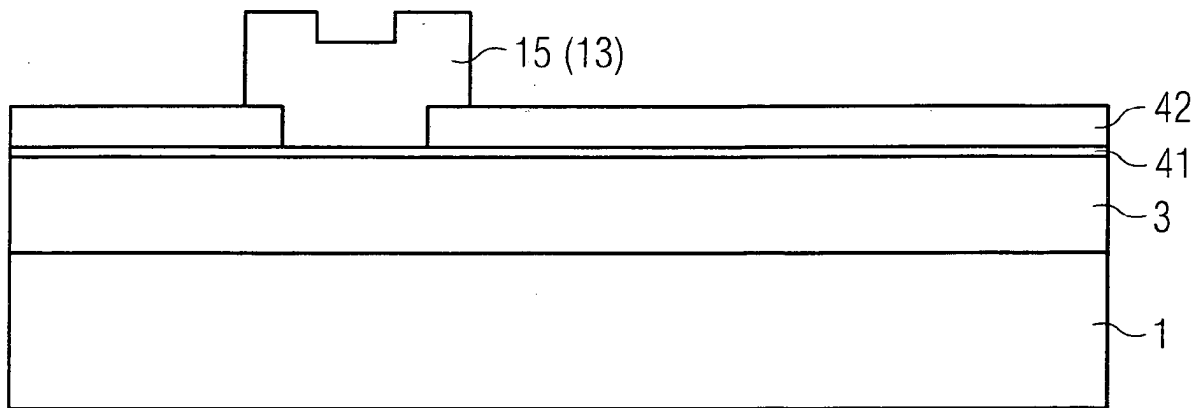


FIG 3E

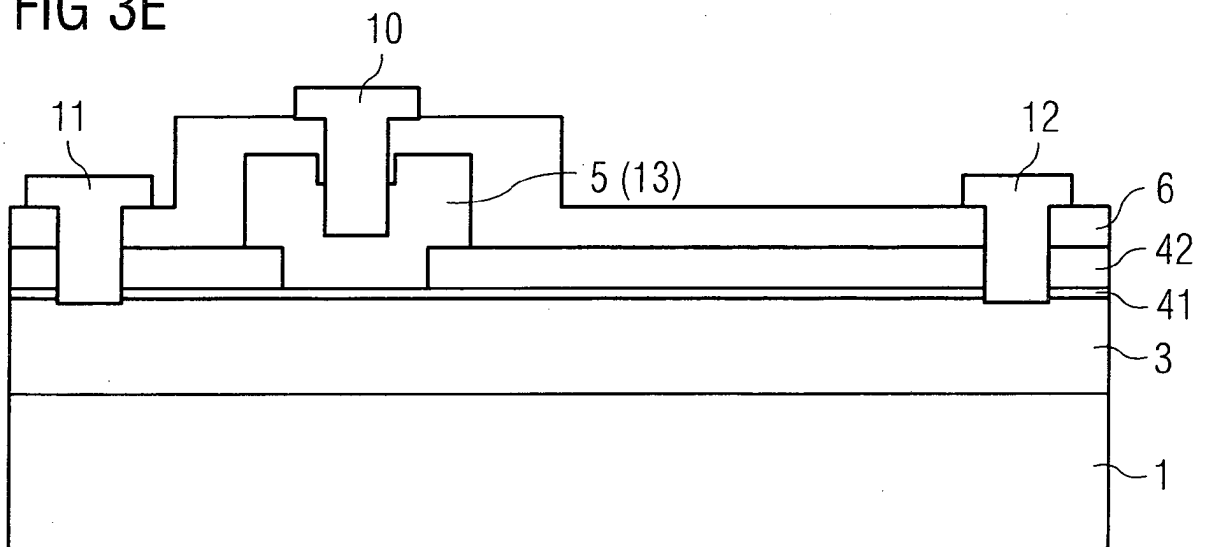


FIG 4A

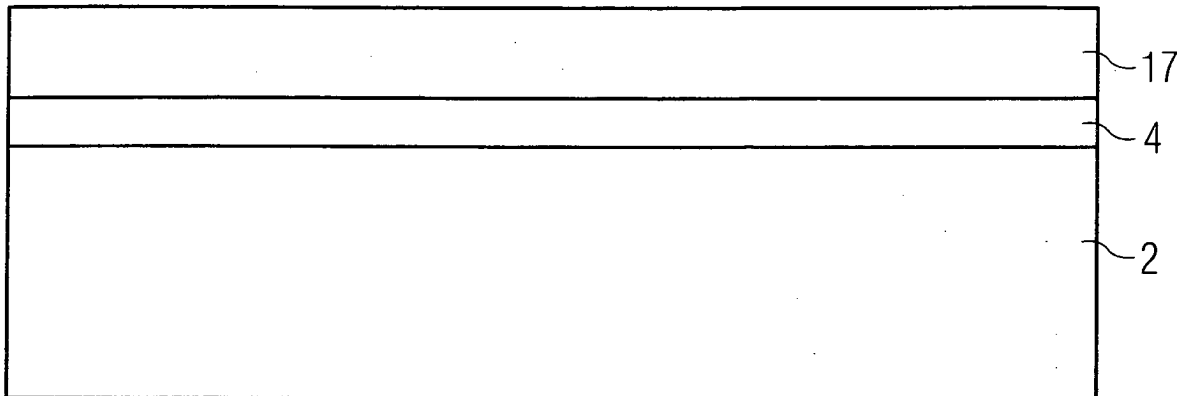


FIG 4B

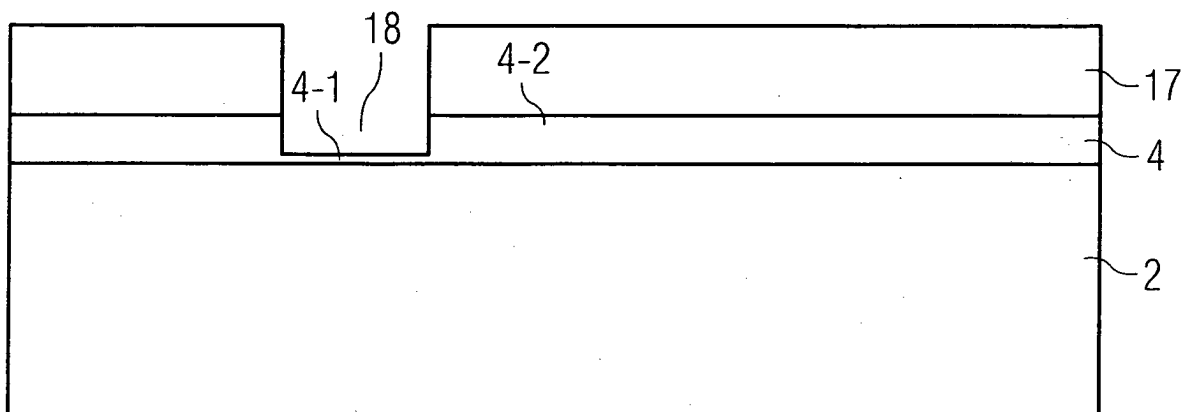


FIG 4C

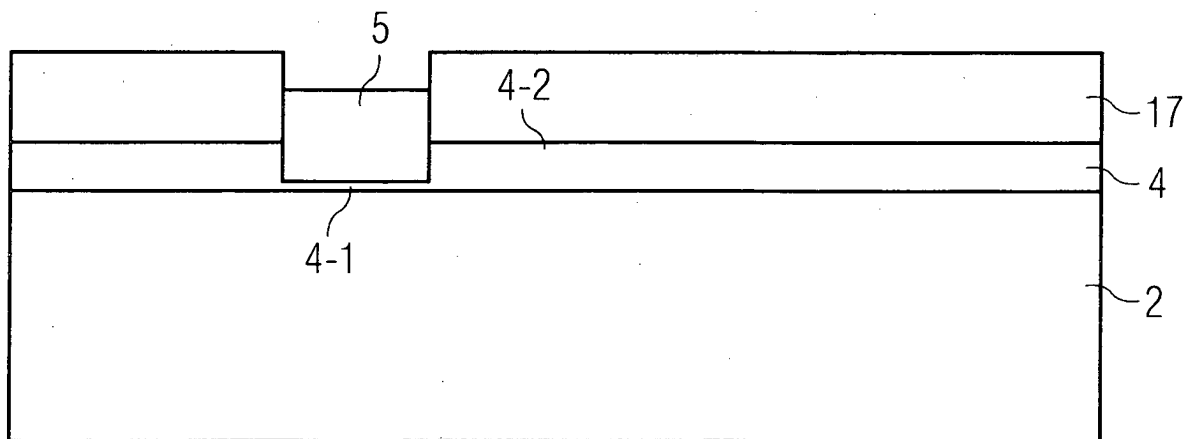


FIG 4D

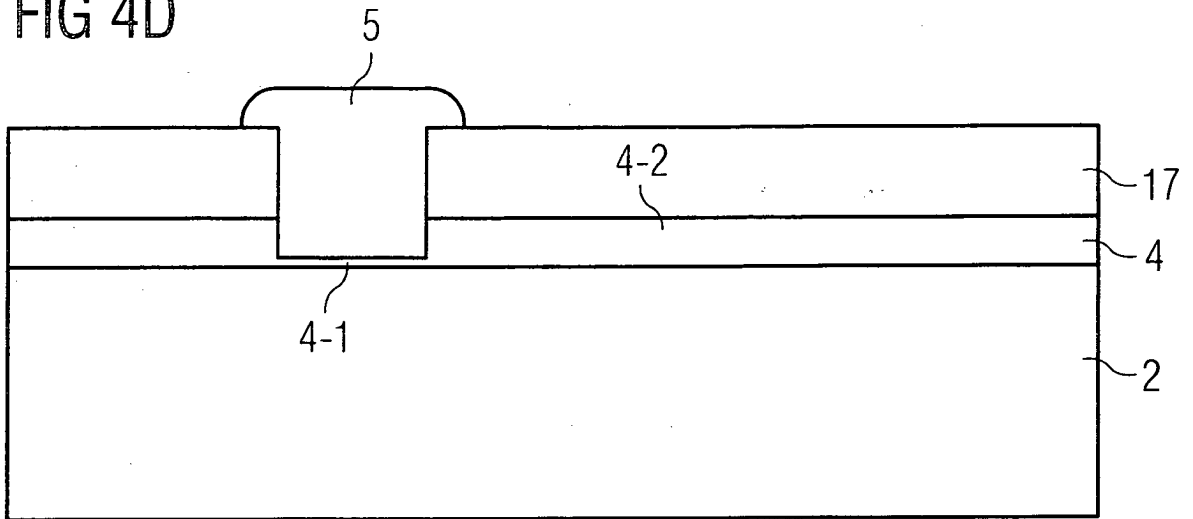


FIG 4E

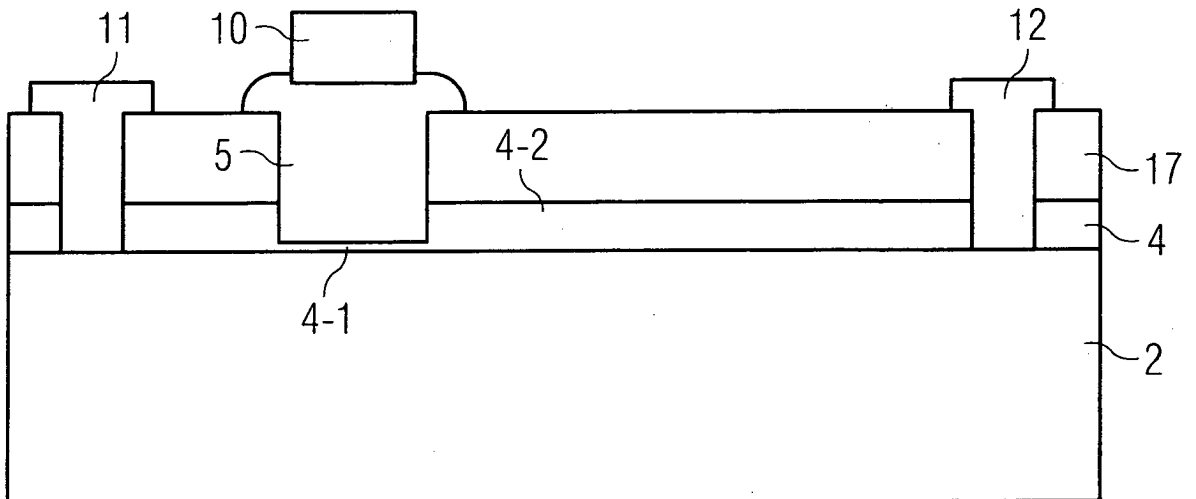


FIG 5

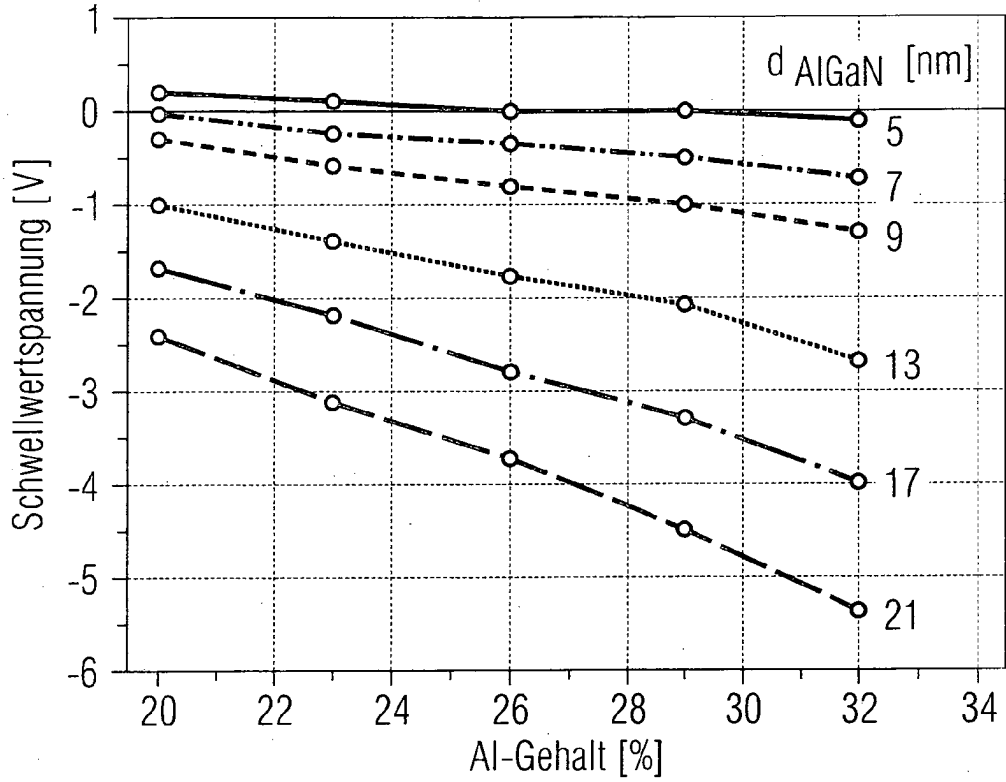


FIG 6

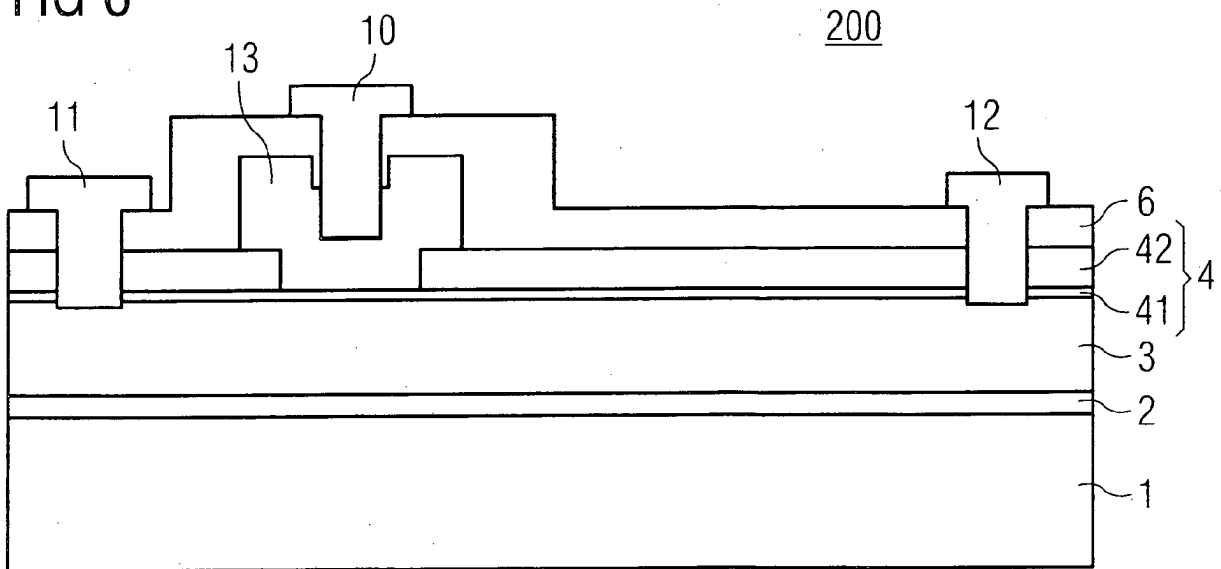


FIG 7A

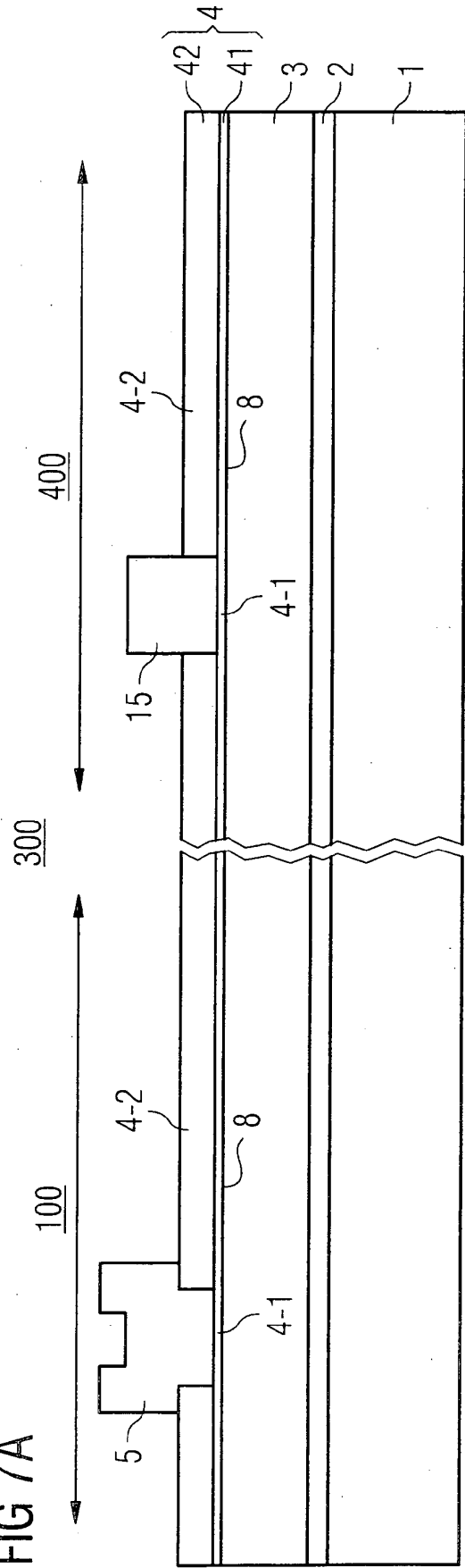


FIG 7B

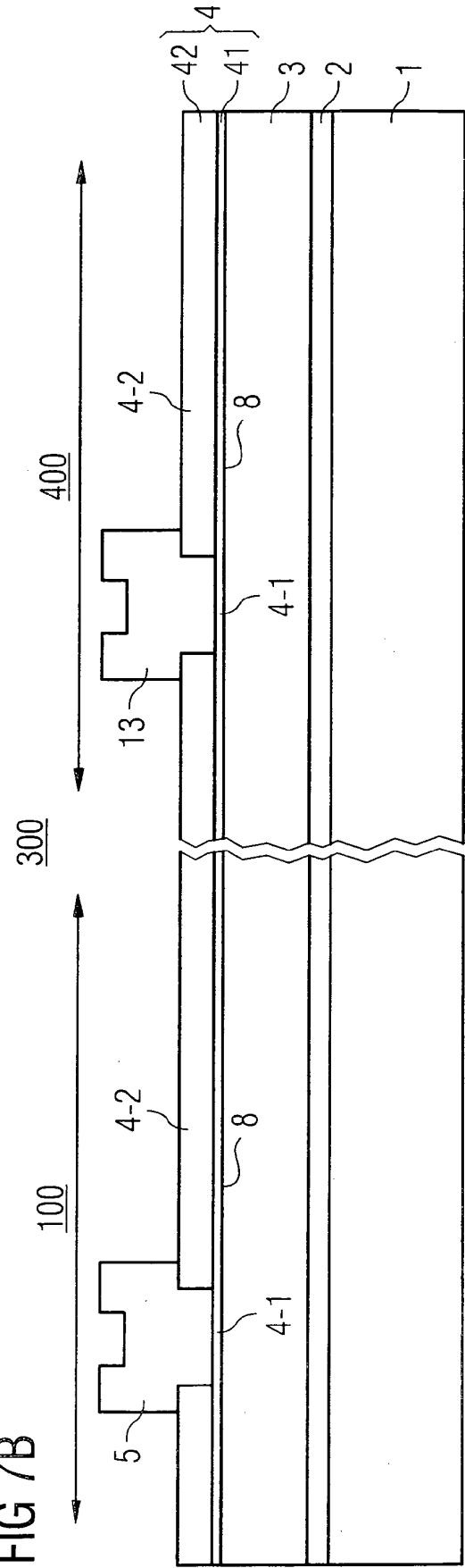


FIG 7C

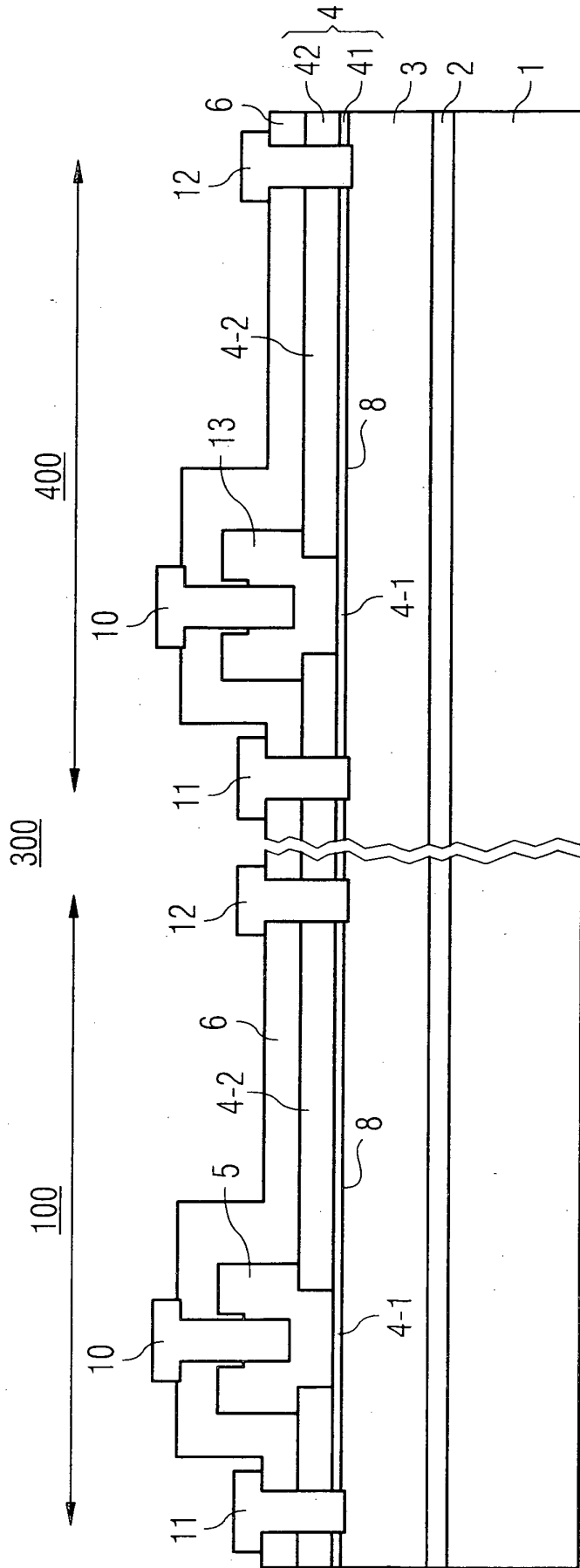


FIG 7D

