



(10) **DE 11 2005 000 358 B4** 2020.11.05

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2005 000 358.2**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2005/004615**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/079370**  
(86) PCT-Anmeldetag: **14.02.2005**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **01.09.2005**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **18.01.2007**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **05.11.2020**

(51) Int Cl.: **H01L 29/812 (2006.01)**  
**H01L 29/20 (2006.01)**

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

(30) Unionspriorität:

**60/544,626**                      **12.02.2004**    **US**  
**11/056,062**                      **11.02.2005**    **US**

(72) Erfinder:

**Beach, Robert, Altadena, Calif, US; Kinzer, Daniel M., El Segundo, Calif., US**

(73) Patentinhaber:

**Infineon Technologies Americas Corp., El Segundo, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**siehe Folgeseiten**

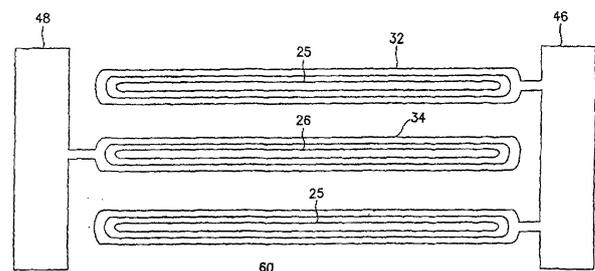
(74) Vertreter:

**Lambsdorff & Lange Patentanwälte Partnerschaft mbB, 81675 München, DE**

(54) Bezeichnung: **Bidirektionaler III-Nitrid-Schalter**

(57) Hauptanspruch: Bidirektionaler Halbleiterschalter (40, 50,60) mit zwei Gate-Elektroden (32, 34), die zwischen zwei ohmschen Elektroden (25, 26) angeordnet sind, welche beide aufgrund ihrer symmetrischen Spannungsblokkierfähigkeit als Drain- oder Source-Elektrode ausgelegt sind, aufweisend:  
ein Substrat (24);  
einen ersten Halbleiterkörper (23), der aus einem III-Nitrid-Halbleitermaterial gebildet ist;  
einen zweiten Halbleiterkörper (21), der über dem ersten Halbleiterkörper ausgebildet ist und aus einem anderen III-Nitrid-Halbleitermaterial gebildet ist, welches einen Bandabstand hat, der sich von demjenigen des einen III-Nitrid-Halbleitermaterials unterscheidet;  
eine erste ohmsche Elektrode (25), die auf einem ersten Abschnitt des zweiten Halbleiterkörpers (21) ausgebildet und damit ohmsch verbunden ist;  
eine zweite ohmsche Elektrode (26), die auf einem zweiten Abschnitt des zweiten Halbleiterkörpers (21) ausgebildet und damit ohmsch verbunden ist; und  
eine erste Gate-Elektrode (32), die auf dem zweiten Halbleiterkörper (21) ausgebildet ist und geschlossen um den Umfang der ersten ohmschen Elektrode (25) umläuft; und eine zweite Gate-Elektrode (34), die auf dem zweiten Halbleiterkörper (21) ausgebildet ist und geschlossen um den Umfang der zweiten ohmschen Elektrode (26) umläuft, wo-

bei die Gate-Elektroden (32, 34) derart positioniert sind, dass die Vorrichtung (40, 50, 60) eine symmetrische Spannungsblockierfähigkeit aufweist, wobei die erste Gate-Elektrode (32) und die ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

**JP S58- 201 375 A**

**Boos, J.B. [u.a.]: Reduction of gate current in AlSb/InAs HEMTs using a dual-gate design. In: Electronics Letters, Vol. 32(17), 1996, S.1624-1625.**

**Chen, Q. [u.a.]: High transconductance heterostructure field-effect transistors based on AlGaIn/GaN. In: Appl. Phys. Lett., Nr. 69(6), 1996, S. 794-796.**

**JAVORKA P. [u.a.]: AlGaIn/GaN Round-HEMT on (111) Silicon Substrates. In: Electronics letters, 37, 2001, 22, 1364-1365.**

**MARSO, M. [u.a.]: Novel HEMT layout: The RoundHEMT. In: Electronics letters, 31, 1995, 7, 589-591.**

**Mohammad, S.N. [u.a.]: Emerging Gallium Nitride Based Devices. In: Proceedings of the IEEE, Vol. 83(10), 1995, S. 1306-1355.**

**Beschreibung**

## ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen Halbleiterschalter und betrifft insbesondere bidirektionale Halbleiterschalter, die in einem III-Nitrid-Materialsystem hergestellt werden.

## Beschreibung der verwandten Technik

**[0002]** Die Entwicklung von Vorrichtungen, die auf III-Nitrid-Materialien basieren, hat im Allgemeinen Hochleistungs-Hochfrequenz-Anwendungen wie Emittier für Mobiltelefon-Basisstationen zum Ziel gehabt. Die Vorrichtungen, die für diese Anwendungsarten hergestellt wurden, basieren auf allgemeinen Vorrichtungsstrukturen, welche eine hohe Elektronenmobilität aufweisen und wechselnd als Heteroübergangs-Feldeffekttransistoren (HFETs), Transistoren mit hoher Elektronenmobilität (HEMTs) oder modulationsdotierte Feldeffekttransistoren (MOD-FETs) bezeichnet werden. Diese Vorrichtungsarten sind in der Regel dazu fähig, hohen Spannungen im Bereich von 100 Volt oder höher standzuhalten und gleichzeitig bei hohen Frequenzen, in der Regel im Bereich von 2 bis 100 GHz, zu arbeiten. Diese Vorrichtungsarten können für eine Reihe von Anwendungsarten modifiziert werden, funktionieren jedoch in der Regel durch die Verwendung von piezoelektrischer Polarisation, um ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG) zu erzeugen, das den Transport von hohen Strömen mit sehr geringen Widerstandsverlusten ermöglicht. Ein typischer HEMT weist ein Substrat auf, das aus Saphir, Silizium oder SiC gebildet ist, eine GaN-Schicht, die über dem Substrat ausgebildet ist, eine AlGaN-Schicht, die über der GaN-Schicht ausgebildet ist, zwei beabstandete ohmsche Elektroden und eine Gate-Elektrode, die dazwischen auf der AlGaN-Schicht ausgebildet ist. Folglich ist ein typischer HEMT eine planare Vorrichtung, was bedeutet, dass Strom zwischen ihren zwei Leistungselektroden in einer Lateralrichtung strömt.

**[0003]** Der spezifische An-Widerstand eines planaren HEMT, der zum Beispiel eine Durchbruchsspannung von 300 V aufweist, beträgt etwa 1/100 desjenigen einer auf Silizium basierenden Vorrichtung mit einer vertikalen Geometrie der gleichen Nennspannung. Folglich ist ein planarer HEMT ein guter Kandidat für Leistungsanwendungen. Diese herkömmlichen Vorrichtungen blockieren die Spannung jedoch nur in einer Richtung.

**[0004]** Aufgrund eines starken Bedarfs an effizienteren Schaltungstopologien in Anwendungen wie PDP und PFC ist es wünschenswert, eine bidirektionale Halbleitervorrichtung bereitzustellen, die zu Anwen-

dungen bei einem hohen Strom, niedrigen Widerstand und hoher Spannung fähig ist, um die Anzahl der Vorrichtungen zu verringern.

**[0005]** Chen, Q. [u.a.]: High transconductance heterostructure field-effect transistors based on AlGaIn/GaN. In: Appl. Phys. Lett., Nr. 69(6), 1996, S. 794-796, beschreibt einen bidirektionalen HEMT mit hoher Transkonduktanz.

**[0006]** Mohammad, s.N. [u.a.]: Emerging Gallium Nitride Based Devices. In: Proceedings of the IEEE, Vol. 83(10), 1995, S. 1306-1355, beschreibt einen AlN/GaN-HBT mit isoliertem Gate.

**[0007]** Boos, J.B. [u.a.]: Reduction of gate current in Al/InAs HEMTs using a dual-gate design. In: Electronics Letters, Vol. 32(17), 1996, 8.1624-1625, beschreibt einen HEMT mit zwei Gates, die zwischen einer Source-Elektrode und einer Drain-Elektrode angeordnet sind.

**[0008]** JP 58-201 375A beschreibt einen symmetrischen Dual-Gate-Transistor mit Schottky Elektroden.

**[0009]** MARSO, M. [u.a.]: Novel HEMT layout: The RoundHEMT. In: Electronics letters. 1995, Vol. 31, No. 7, S. 589-591, beschreibt eine RoundHEMT-Struktur mit einem Drain-Kontakt, der innerhalb eines Gate-Rings angeordnet ist.

**[0010]** JAVORKA P. [u.a.]: AlGaIn/GaN Round-HEMT on (111) Silicon Substrates. In: Electronics letters. 2001, Vol. 37, No. 22, S. 1364-1365, beschreibt einen Round-HEMT auf einem Siliziumsubstrat, der einen hohen Sättigungsstrom zeigt.

## KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0011]** Ein Halbleiterschalter gemäß der vorliegenden Erfindung wie in Anspruch 1 wiedergegeben ist bidirektional und blockiert die Spannung somit in beide Richtungen. Diese Symmetrie bezüglich der Spannungsblockierfähigkeit wird erreicht, ohne Halbleiterscheibenmaterial zu opfern, und ermöglicht somit auch eine Kostenreduzierung.

**[0012]** Im Gegensatz zu konventionellen Gestaltungen, welche die Spannung in eine Richtung blockieren, kann ein bidirektionaler Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung außerdem vier unidirektionale Schalter für den gleichen Gesamtwiderstand ersetzen.

**[0013]** Ein bidirektionaler Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung weist zwei Gate-Elektroden auf, die zwischen zwei ohmschen Elektroden angeordnet sind. Die Verwendung von zwei Gate-Elektroden ist insofern vorteilhaft, als ermöglicht wird, dass der Spannungsabstandsbereich geteilt wird, wodurch die

Reduzierung des Halbleiterwaferbereichs ermöglicht wird, der für den Transistor erforderlich ist.

**[0014]** Andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung der Erfindung ersichtlich, die sich auf die beiliegenden Zeichnungen bezieht.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist ein nominal eingeschaltetes bidirektionales III-Nitrid-Schaltelement.

**Fig. 2** ist ein nominal ausgeschaltetes bidirektionales III-Nitrid-Schaltelement.

**Fig. 3** ist ein nominal eingeschaltetes bidirektionales III-Nitrid-Schaltelement mit zwei Gates.

**Fig. 4** ist ein nominal ausgeschaltetes bidirektionales III-Nitrid-Schaltelement mit zwei Gates.

**Fig. 5** ist eine Draufsicht eines bidirektionalen Schalters mit einem einzigen Gate.

**Fig. 6** ist eine Draufsicht eines bidirektionalen Schalters mit zwei Gates.

**Fig. 7** ist eine Draufsicht einer bidirektionalen Schaltstruktur mit zwei Gates.

**Fig. 8** ist eine Draufsicht einer Gate-Struktur für einen bidirektionalen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 9 bis Fig. 18** stellen ein Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung dar.

**Fig. 19** ist eine Draufsicht einer Variation einer bidirektionalen Vorrichtung mit zwei Gates.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0015]** Mit Bezug auf **Fig. 1** wird ein bidirektionaler III-Nitrid-Schalter im Allgemeinen als eine Vorrichtungsstruktur **20** dargestellt. Vorrichtung **20** weist ein Substrat **24**, das aus Si, SiC, Saphir oder dergleichen zusammengesetzt sein kann, einen ersten Halbleiterkörper **23**, der über dem Substrat **24** ausgebildet ist und aus einem III-Nitrid-Material besteht, und einen zweiten Halbleiterkörper **21** auf, der über dem ersten Halbleiterkörper **23** ausgebildet ist und aus einem anderen III-Nitrid-Halbleitermaterial besteht, mit einem Bandabstand, der sich von dem einem Halbleitermaterial unterscheidet. Es wird darauf hingewiesen, dass der erste Halbleiterkörper **23** nicht direkt über dem Substrat **24** ausgebildet sein muss, sondern dass eine Bodenschicht dazwischen angeordnet werden kann, ohne von der vorliegenden Erfindung abzuweichen. In diesem Beispiel ist das eine III-Nitrid-Halbleitermaterial GaN und das andere Halbleitermaterial ist AlGaIn. Bekanntermaßen erzeugt der Heteroübergang **22** von GaN und AlGaIn ein stark leitfähiges zweidimensionales Elektronengas (**2DEG**) bei oder in der Nähe des Heteroüber-

gangs **22**. Das **2DEG** wird aufgrund des spontanen Polarisierungseffekts gebildet, wie auf dem Fachgebiet bekannt ist.

**[0016]** Die Vorrichtung **20** weist ferner ohmsche Leistungselektroden **25**, **26**, die mit dem zweiten Halbleiterkörper **21** ohmsch verbunden sind, und eine Gate-Elektrode **27** auf, die zwischen den ohmschen Elektroden **25**, **26** angeordnet ist. Die ohmschen Elektroden können aus jedem beliebigen geeigneten Metall wie Gold, Silber, Aluminium, Titan oder Indium, jedem beliebigen geeigneten Metallstapel unterschiedlicher Metalle oder nichtmetallischem Material wie einem stark dotierten Halbleiter (P- oder N-artig), Polysilizium oder Metallsiliciden gebildet sein.

**[0017]** In diesem Beispiel macht die Gate-Elektrode **27** mit dem zweiten Halbleiterkörper **21** einem Schottky-Kontakt und kann aus metallischem Material wie Titan, Gold, Aluminium, Silber, Chrom, Wolfram, Platin, Nickel, Palladium oder Indium, einem Metallstapel unterschiedlicher Metalle oder einem nichtmetallischen Material wie einem dotierten Halbleiter (P- oder N-artig, je nach der gewünschten Schwellenspannung), Polysilizium oder Metallsilicid zusammengesetzt sein. Eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist nicht auf ein Schottky-Gate beschränkt, sondern kann stattdessen ein Gate aufweisen, das aus einer Gate-Elektrode und einem Gate-Isolator wie SiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> oder dergleichen besteht, der zwischen der Gate-Elektrode und dem zweiten Halbleiterkörper **21** angeordnet ist.

**[0018]** Die Vorrichtung **20** ist eine Verarmungsmodusvorrichtung, das heißt, eine Vorrichtung, die nominal eingeschaltet ist. Die Anwendung einer geeigneten Spannung auf die Gate-Elektrode **27** bewirkt die Unterbrechung des 2DEGs, um die Vorrichtung **20** abzuschalten, wodurch der Vorrichtung **20** ihre Leistungsschaltfähigkeit gegeben wird.

**[0019]** Die Gate-Elektrode **27** wird zwischen den ohmschen Elektroden **25**, **26** angeordnet und derart positioniert, dass die Vorrichtung eine symmetrische Spannungsblockierfähigkeit aufweist. Das heißt, die Vorrichtung **20** ist dazu in der Lage, die gleiche Spannung zu blockieren, ungeachtet dessen, welche ohmsche Elektrode **25**, **26** sich bei einem höheren Potenzial befindet.

**[0020]** Die Gate-Elektrode **27** ist um einen gleichen Abstand  $\alpha$  von der ohmschen Elektrode **25** und der ohmschen Elektrode **26** beabstandet (das heißt, in einer zentralen Position im Hinblick auf die ohmschen Elektroden **25**, **26**), um eine symmetrische Spannungsblockierfähigkeit zu erreichen. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Gate-Elektrode **27** nicht zentral angeordnet werden muss, sondern von der Mittelposition versetzt werden kann, um Störfelder aus dem Substrat **24** auszugleichen und noch

immer die symmetrische Spannungsblockierfähigkeit zu erreichen, die gewünscht wird.

**[0021]** Die Vorrichtung **20** ist dazu in der Lage, aufgrund des 2DEGes in der Nähe des Heteroübergangs **22**, große Strommengen von/zu den ohmschen Elektroden **25**, **26** zu transportieren. In der Regel ist das elektrische Potenzial, das auf die Gate-Elektrode **27** angewendet wird, ein negatives Potenzial, das negativer ist als jedes beliebige Potenzial, das auf die ohmschen Elektroden **25**, **26** angewendet wird. Man muss beachten, dass beide ohmschen Elektroden **25**, **26** aufgrund ihrer symmetrischen Spannungsblockierfähigkeit als Drain oder Source dienen können.

**[0022]** Mit Bezug auf **Fig. 2**, in der gleiche Ziffern gleiche Merkmale identifizieren, weist die Vorrichtung **30** alle Merkmale von Vorrichtung **20** auf, außer dass die Gate-Elektrode **27** in Vorrichtung **30** in der Aussparung **38** angeordnet ist, die in der zweiten Halbleiterschicht **21** ausgebildet ist. Folglich ist die Vorrichtung **30** eine Anreicherungsmodusvorrichtung; das heißt, sie ist eine nominal ausgeschaltete Vorrichtung. Genauer bewirkt die Aussparung **38** eine Unterbrechung in dem **2DEG**, das bei Anwendung einer geeigneten Spannung auf die Gate-Elektrode **27** wiederhergestellt werden kann. Die Prinzipien des Betriebs einer Anreicherungsmodusvorrichtung in einer III-Nitrid-Heteroübergangsvorrichtung sind in der US 2006 / 0 060 871 A1 erläutert, deren Inhalte hiermit durch Bezugnahme aufgenommen werden.

**[0023]** Die Gate-Elektrode **27** in der Vorrichtung **30** macht mit der zweiten Halbleiterschicht **21** an dem Boden der Aussparung **38** vorzugsweise einen Schottky-Kontakt. Die Gate-Elektrode **27** kann jedoch durch einen Gate-Leiter und einen Gate-Isolator ersetzt werden, der zwischen dem Gate-Leiter und dem zweiten Halbleiterkörper **21** angeordnet wird. Ferner wird die Gate-Elektrode **27** in der Vorrichtung **30** positioniert, um im Hinblick auf die Spannungsblockierfähigkeit eine Symmetrie zu erreichen. In diesem Beispiel ist die Gate-Elektrode **27** in der Vorrichtung **30** von der ohmschen Elektrode **25** und der ohmschen Elektrode **26** um einen gleichen Abstand  $\alpha$  beabstandet, das heißt, bezüglich der ohmschen Elektroden zentral angeordnet, um eine Symmetrie zu erreichen.

**[0024]** Mit Bezug auf **Fig. 3**, in der gleiche Ziffern gleiche Merkmale identifizieren, weist die Vorrichtung **40** zwei Gate-Elektroden, nämlich die erste Gate-Elektrode **32** und die zweite Gate-Elektrode **34**, auf. Die erste Gate-Elektrode **32** liegt am nächsten zu der ersten ohmschen Elektrode **25** und ist davon um einen Abstand  $\beta$  beabstandet. Die zweite Gate-Elektrode **34** liegt am nächsten zu der zweiten ohmschen Elektrode **26** und ist davon auch um einen Abstand  $\beta$  beabstandet. Das heißt, die erste Gate-Elektrode **32** ist von der ersten ohmschen Elektrode **25** um den

gleichen Abstand beabstandet wie die zweite Gate-Elektrode **34** von der zweiten ohmschen Elektrode **26**.

**[0025]** Die Vorrichtung **40** ist auch eine Verarmungsmodusvorrichtung, was bedeutet, dass sie nominal eingeschaltet ist. Insbesondere bewirkt die Anwendung einer angemessenen Spannung auf eine der Gate-Elektroden **32**, **34** eine Unterbrechung in dem **2DEG**, wodurch die Vorrichtung **40** abgeschaltet wird.

**[0026]** Die erste Gate-Elektrode **32** und die zweite Gate-Elektrode **34** sind unabhängig betriebsfähig, was bedeutet, dass jede Gate-Elektrode einen Spannungsimpuls von einem jeweiligen Gate-Pad (später dargestellt) empfängt. Aufgrund der Tatsache, dass der Abstand  $\beta$  zwischen jeder Gate-Elektrode **32**, **34** und einer am nächsten gelegenen ohmschen Elektrode **25**, **26** der gleiche ist, ist die Vorrichtung **40** auch symmetrisch. Das heißt, die Vorrichtung **40** weist ungeachtet dessen, welche ohmsche Elektrode bei einem höheren Potenzial liegt, die gleiche Spannungsblockiereigenschaft auf.

**[0027]** Die Gate-Elektroden **32**, **34** machen mit dem zweiten Halbleiterkörper **21** Schottky-Kontakte.

**[0028]** Die Vorrichtung **40** ist ein bidirektionaler Schalter, der als zwei Schalter an einer Stelle fungiert. Jede Gate-Elektrode **32**, **34** in der Vorrichtung **40** kann unabhängig funktionieren, um die Vorrichtung EIN/AUS zu schalten. Demgemäß kann die Vorrichtung **40** hergestellt werden, um wie ein NOR-Gate zu arbeiten, in dem die Vorrichtung abgeschaltet ist, wenn irgend eine der zwei Gate-Elektroden **32**, **34** aktiv ist. Wenn eine oder beide Gate-Elektroden **32**, **34** ein angewendetes elektrisches Potenzial aufweisen, um einen Schaltvorgang zu bewirken, wird der Kanal zwischen den Source-/Drain-Elektroden **25**, **26** unterbrochen.

**[0029]** Die Vorrichtung **40** weist einen gemeinsamen Driftbereich auf, um die Leitfähigkeiten der Vorrichtung zu verbessern und gleichzeitig die Funktionalität durch den Gebrauch der Dual-Gate-Struktur zu erhöhen. Mit zeitweiligen Bezug auf **Fig. 1** und **Fig. 2** weist die Vorrichtung mit einem einzigen Gate zwei Driftbereiche auf, die in Reihe miteinander sind. Aus diesem Grund erfordert eine Vorrichtung, welche eine Elektrode **27** mit einem einzigen Gate aufweist, zweimal soviel Halbleitermaterial. Andererseits wird durch Bereitstellen eines gemeinsamen Driftbereichs in der Dual-Gate-Struktur der Vorrichtung **40** die Vorrichtungsfläche fast auf die Hälfte verringert und die Vorrichtung weist aufgrund der zwei separaten Kanäle mit den zwei separaten Gate-Elektroden zusätzliche Funktionalität auf. In der Vorrichtung **40** steht jede Gate-Elektrode **32**, **34** mit der nahe gelegenen ohmschen Elektrode **25**, **26** in Beziehung. Insbesondere

re ist für eine gegebene Blockierspannung die Trennung zwischen Gate-Kante und Drain der relevante Faktor. Folglich ist die Trennung in einer Vorrichtung mit einem einzigen Gate von Source zu Drain **2A** + Breite des Gates, wobei A der Abstand zwischen der Kante des Gates und Source oder Drain ist. Für eine Dual-Gate-Vorrichtung ist die Länge A zwischen den zwei Gates, um der Spannung standzuhalten, und die Gesamtlänge für die Vorrichtung beträgt  $A + 2$  Gate-Breiten +  $2$  Gate-zu Drain-/Source-Abständen. Die Länge A ist der längste Abstand und tritt nur einmal in einer Dual-Gate Design auf.

**[0030]** Mit Bezug auf **Fig. 4**, in der gleiche Ziffern gleiche Merkmale identifizieren, ist eine Vorrichtung **50** eine Anreicherungsmodusvorrichtung, was bedeutet, dass sie nominal abgeschaltet ist. Die Vorrichtung **50** weist Gate-Elektroden **32, 34** auf, von denen jede in einer jeweiligen Aussparung **38** in dem zweiten Halbleiterkörper **21** angeordnet ist. Jede Aussparung **38** bewirkt eine Unterbrechung in dem **2DEG**, das bei Anwendung einer geeigneten Spannung **32, 34** wiederhergestellt werden kann.

**[0031]** Dementsprechend wirkt die Vorrichtung **50** wie ein logisches Leistungs-AND-Gate, in dem Strom zu/von Elektroden **25, 26** strömt, wenn auf beide Gate-Elektroden **32, 34** ein Potenzial angewendet wird.

**[0032]** Aufgrund des gemeinsamen Driftbereichs, der von den zwei Kanälen benutzt wird, die durch die Gate-Elektroden **32, 34** gesteuert werden, kann die Vorrichtung **50** kleiner hergestellt werden als die Vorrichtung **30**.

**[0033]** Ähnlich wie bei Vorrichtung **40** ist die erste Gate-Elektrode **32** um einen Abstand  $\beta$  von der ersten ohmschen Elektrode **25** entfernt und eine zweite Gate-Elektrode **34** ist um den gleichen Abstand  $\beta$  von der zweiten ohmschen Elektrode **26** entfernt, wodurch die Vorrichtung **50** symmetrisch gemacht wird. Das heißt, die Spannungsblockierfähigkeit der Vorrichtung ist die gleiche, ungeachtet dessen, welche ohmsche Elektrode sich bei dem höheren Potenzial befindet.

**[0034]** Ferner ist, ähnlich wie beim Beispiel der **Fig. 3**, jede Gate-Elektrode **32, 34** unabhängig betreibbar.

**[0035]** Ähnlich wie bei den anderen Beispielen machen die Gate-Elektroden **32, 34** vorzugsweise Schottky-Kontakte mit dem zweiten Halbleiterkörper **21**.

**[0036]** Mit Bezug auf **Fig. 5** wird eine Vorrichtung wie in **Fig. 1** oder **Fig. 2** beschrieben eingerichtet, verzahnte ohmsche Elektroden **25, 26** aufzuweisen. Insbesondere weist eine Vorrichtung zwei gegenüber-

liegende und vorzugsweise parallele Läufer (runner) **40, 42** auf. Jeder Läufer **40, 42** ist mit einer der zwei ohmschen Elektroden **25, 26** elektrisch verbunden. Folglich ist der Läufer **40** mit den ersten ohmschen Elektroden **25** elektrisch verbunden und der Läufer **42** ist mit den zweiten ohmschen Elektroden **26** elektrisch verbunden. Man muss beachten, dass die ohmschen Elektroden **25, 26** parallel zueinander angeordnet sind, wodurch eine ineinandergreifende Anordnung erreicht wird. Jede der Gate-Elektroden **27** ist zwischen einem gegenüberliegenden Paar einer ersten und einer zweiten ohmschen Elektrode **25, 26** angeordnet. Man muss beachten, dass auch ein Gate-Läufer **44** bereitgestellt wird, um die Gate-Elektroden **27** elektrisch miteinander zu verbinden.

**[0037]** Mit Bezug auf **Fig. 6**, in der gleiche Ziffern gleiche Merkmale identifizieren, weist eine Vorrichtung zwei Gate-Läufer **46, 48** auf. Jeder Gate-Läufer **46, 48** ist nur mit einer der Gate-Elektroden **32, 34** elektrisch verbunden.

**[0038]** Mit Bezug auf **Fig. 7** ist in einer Vorrichtung gemäß den **Fig. 3** oder **Fig. 4** jeder Gate-Läufer **46, 48** mit einem jeweiligen Gate-Segment **50, 52** elektrisch verbunden, wodurch jede der Gate-Elektroden **32, 34** zu einem unabhängigen Betrieb befähigt wird. Man muss auch beachten, dass alle Läufer **40**, die mit der ersten ohmschen Elektrode **25** verbunden sind, mit einem jeweiligen gemeinsamen Segment **54** elektrisch verbunden sind, und alle Läufer **42**, die mit den zweiten ohmschen Elektroden **26** verbunden sind, sind mit einem jeweiligen gemeinsamen Segment **56** elektrisch verbunden.

**[0039]** Mit Bezug auf **Fig. 8** wird eine erfindungsgemäße alternative Anordnung für Gate-Elektroden und ohmsche Elektroden **26, 25** als Struktur **60** dargestellt. Struktur **90** weist zwei Gate-Elektroden, nämlich die Gate-Elektroden **32, 34** auf. Die Gate-Elektroden **32, 34** werden ohne Isolierung bereitgestellt und sind derart ausgebildet, dass sie sanft gerundete Kanten aufweisen, um eine Ansammlung der elektrischen Felder zu verhindern. Die Gate-Elektroden **32, 34** können ohne die Notwendigkeit für Implantatoperationen ausgebildet sein, wodurch eine Beschädigung an der Struktur verringert wird, welche den Durchbruchwiderstand der Vorrichtung potenziell verringern kann. Die Vorrichtung **60** wird mit weniger Ätzworgängen gebildet, um die Materialmenge zu verringern, die entfernt wird. Dementsprechend wird das Volumen leitfähiger Pfade für Träger durch das Material hindurch erhöht, was wiederum den Gesamtwiderstand der Vorrichtung **90** verringert.

**[0040]** Mit Bezug auf **Fig. 9** bis **Fig. 18** wird ein Beispiel eines Verfahrens zur Herstellung eines bidirektionalen Schalters mit einem einzigen Gate in dem III-Nitrid-Materialsystem erläutert. Obwohl eine Vorrichtung mit einem einzigen Gate dargestellt ist, muss

man verstehen, dass das Verfahren gleichermaßen auf die Konstruktion einer Vorrichtung mit zwei Gates anwendbar ist. Mit Bezug auf **Fig. 9** beginnt das Verfahren mit einer hergestellten GaN-Halbleiterscheibe, die durch bekannte Verfahren erlangt werden kann. Halbleiterscheibe **70** weist ein Substrat **72** auf, das aus Saphir zusammengesetzt ist, eine kompensierte GaN-Schicht **74**, die auf dem Substrat **72** angeordnet ist, eine AlGaN-Schicht **76** über der kompensierten GaN-Schicht **74** und schließlich eine dotierte GaN-Schicht **78**, welche über der AlGaN-Schicht **76** liegt. Halbleiterscheibe **70** ist konstruiert, um eine Beanspruchung auszugleichen und um Verlagerungen und Risse in der kompensierten GaN-Schicht **74** zu verhindern.

**[0041]** Mit Bezug auf **Fig. 10** weist die Halbleiterscheibe **70** eine geschichtete Maske **80** auf, die darauf abgeschieden wird, um einen aktiven Bereich zu definieren. Mit Bezug auf **Fig. 11** wird die Halbleiterscheibe **70** auf das Substrat **72** hinab geätzt. Nachdem die Maske **80** gestrippt wurde, wird eine Metallschicht **82** über der dotierten GaN-Schicht **78** abgeschieden. Die Metallschicht **82** kann aus einer ohmschen Metalllegierung wie zum Beispiel Ti/Al/TiW zusammengesetzt sein. Die Vorrichtung **160** wird dann zum Beispiel eine Minute bei 850°C geölt.

**[0042]** Mit Bezug auf **Fig. 13** werden die ohmschen Elektroden mit Maskenabschnitten **84** strukturiert und eine Ätzung wird durchgeführt, um das offenliegende Metall und die dotierten GaN-Schichten zu entfernen, wonach die Maske entfernt wird, was zu der Struktur in **Fig. 14** führt.

**[0043]** Mit Bezug auf **Fig. 15** werden eine SiN-Schicht **85** und eine SiO<sub>2</sub>-Schicht **86** über der Struktur abgeschieden, die in **Fig. 14** dargestellt ist. Danach wird eine Maske **88** gebildet, die ein Fenster **90** aufweist, um den Bereich zu definieren, der eine Gate-Elektrode aufnehmen soll. Fenster **90** wird benutzt, um einen Abschnitt der SiO<sub>2</sub>-Schicht **86** wegzuätzen, wobei ein dünner Abschnitt der SiN-Schicht **85** (zum Beispiel etwa 200 Å) zurückgelassen wird. Maske **88** wird danach abgezogen und ein Gate-Metall **92** wie TiW wird abgeschieden, was zu der Struktur in **Fig. 16** führt. Danach wird das Gate-Metall **92** geätzt, um die Gate-Elektrode **27** am Platz zu belassen. Mit Bezug auf **Fig. 17** wird eine Isolierschicht **94** derart gebildet und geätzt, dass sie darin und über den ohmschen Elektroden Öffnungen **96** aufweist. Dann wird ein Kontaktmetall abgeschieden, um die Öffnungen **96** zu füllen und mit den ohmschen Elektroden in Kontakt zu treten. Danach wird das abgeschiedene Kontaktmetall geätzt, um Kontakte **98** zu bilden, wie in **Fig. 18** zu sehen ist.

**[0044]** Es sollte offensichtlich sein, dass das oben beschriebene Verfahren zum Bilden eines bidirektionalen III-Nitrid-Schalters mit einem einzigen Gate

gleichermaßen auf die Bildung eines bidirektionalen III-Nitrid-Schalters mit zwei Gates anwendbar ist. Es sollte auch offensichtlich sein, dass eine Reihe von Vorrichtungen in einer einzigen Halbleiterscheibe gebildet werden können, um eine Reihe nützlicher Bestandteile für eine gegebene Anwendung zu bilden. Zum Beispiel kann eine Reihe nützlicher Vorrichtungen verbunden werden, um zusammen eine größere bidirektionale Schaltvorrichtung zu bilden, die dazu in der Lage ist, große Strommengen zu transportieren. Als Alternative können verschiedene so gebildete Hochstromvorrichtungen verbunden werden, um eine bidirektionale 3-Phasen-Brücke, eine bidirektionale Vollbrücke oder eine bidirektionale Halbbrücke zu bilden. Außerdem können Variationen an der Vorrichtung vorgenommen werden, um nützliche Vorrichtungen wie eine Schottky-Brücke oder eine bidirektionale Halbbrücke mit einem gemeinsamen Drain-Knoten zu bilden. Jede der obigen Vorrichtungen ist dazu in der Lage, große Strommengen in einem kleineren Bereich zu transportieren als es bei herkömmlichen Halbleitervorrichtungen möglich ist. Aufgrund der größeren Leistungsfähigkeit der III-Nitrid-Vorrichtungen können die bidirektionalen Schalter kleiner hergestellt werden und leisten genauso viel wie beträchtlich größere herkömmliche Vorrichtungen.

**[0045]** Der bidirektionale Schalter der vorliegenden Erfindung kann auch unter Anwendung anderer bekannter Techniken zur Konstruktion von III-Nitrid-Vorrichtungen gebildet werden, einschließlich der Einsetzung von Supergitter-Schichtstrukturen (superlattice layer structures) und variierenden Legierungsschichten, einschließlich zum Beispiel InAlGaN mit bestimmten Ausgleichseigenschaften und ebenen Gitterstrukturkonstanten. Obwohl die hierin dargestellten bevorzugten Beispiele eine AlGaN-Schicht aufweisen, die über GaN ausgebildet ist, ist die vorliegende Erfindung nicht auf solche eine Kombination beschränkt. Zum Beispiel kann AlGaN/InGaN/GaN benutzt werden, ohne von der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

**[0046]** Ferner kann eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung derart modifiziert werden, dass sie andere Merkmale aufweist. Zum Beispiel kann mit Bezug auf **Fig. 19** eine bidirektionale Vorrichtung ein Stromabstastpad **57** aufweisen, das mit dem Kanal elektrisch verbunden ist, um die Strommenge zu erkennen, welche den Kanal durchquert.

**[0047]** Man muss beachten, dass in der Vorrichtung, die durch das in **Fig. 9** bis **Fig. 18** dargestellte Verfahren hergestellt wird, Gate-Elektrode **27** von der AlGaN-Schicht durch eine SiN-Isolierschicht isoliert ist. Eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann mit einer Gate-Elektrode ausgebildet sein, die mit der AlGaN-Schicht in Schottky-Kontakt oder in

ohmschem Kontakt steht, ohne von der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Bidirektionaler Halbleiterschalter (40,50,60) mit zwei Gate-Elektroden (32, 34), die zwischen zwei ohmschen Elektroden (25, 26) angeordnet sind, welche beide aufgrund ihrer symmetrischen Spannungsblockierfähigkeit als Drain- oder Source-Elektrode ausgelegt sind, aufweisend:

ein Substrat (24);

einen ersten Halbleiterkörper (23), der aus einem III-Nitrid-Halbleitermaterial gebildet ist;

einen zweiten Halbleiterkörper (21), der über dem ersten Halbleiterkörper ausgebildet ist und aus einem anderen III-Nitrid-Halbleitermaterial gebildet ist, welches einen Bandabstand hat, der sich von demjenigen des einen III-Nitrid-Halbleitermaterials unterscheidet;

eine erste ohmsche Elektrode (25), die auf einem ersten Abschnitt des zweiten Halbleiterkörpers (21) ausgebildet und damit ohmsch verbunden ist;

eine zweite ohmsche Elektrode (26), die auf einem zweiten Abschnitt des zweiten Halbleiterkörpers (21) ausgebildet und damit ohmsch verbunden ist; und eine erste Gate-Elektrode (32), die auf dem zweiten Halbleiterkörper (21) ausgebildet ist und geschlossen um den Umfang der ersten ohmschen Elektrode (25) umläuft; und

eine zweite Gate-Elektrode (34), die auf dem zweiten Halbleiterkörper (21) ausgebildet ist und geschlossen um den Umfang der zweiten ohmschen Elektrode (26) umläuft, wobei die Gate-Elektroden (32, 34) derart positioniert sind, dass die Vorrichtung (40, 50, 60) eine symmetrische Spannungsblockierfähigkeit aufweist, wobei die erste Gate-Elektrode (32) und die zweite Gate-Elektrode (34) jeweils ohne Isolierung bereitgestellt werden und sanft gerundete Kanten aufweisen, die eine Ansammlung elektrischer Felder verhindern.

2. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, wobei der erste Halbleiterkörper (23) aus GaN besteht und der zweite Halbleiterkörper (21) aus AlGaIn besteht.

3. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, wobei die Gate-Elektroden (32, 34) aus einem von Titan, Gold, Aluminium, Silber, Chrom, Wolfram und Indium bestehen.

4. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, wobei die ohmschen Elektroden (25, 26) aus entweder Gold, Silber, Aluminium oder Indium bestehen.

5. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, ferner aufweisend eine Aussparung (38), die in der anderen Halbleiterschicht (21) ausgebildet ist, wobei sich mindestens eine der Gate-Elektroden in der Aussparung befindet.

6. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, ferner aufweisend eine erste Aussparung (38) und eine zweite Aussparung (38), welche in der anderen Halbleiterschicht (21) ausgebildet ist, wobei sich die erste Gate-Elektrode (32) in der ersten Aussparung befindet und sich die zweite Gate-Elektrode (34) in der zweiten Aussparung befindet.

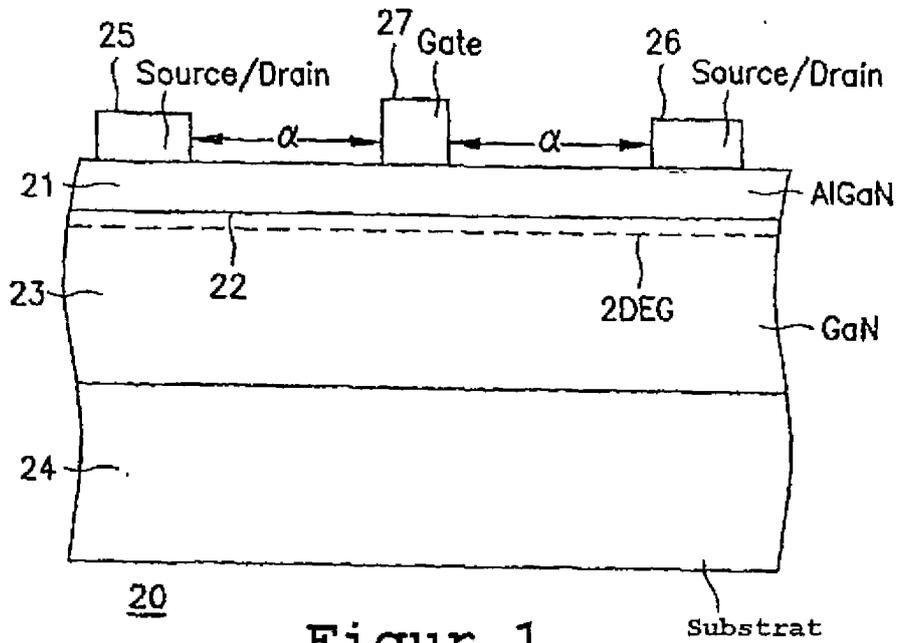
7. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, wobei die erste Gate-Elektrode (32) und die zweite Gate-Elektrode (34) unabhängig voneinander betreibbar sind.

8. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, wobei die erste Gate-Elektrode (32) um einen ersten Abstand von der ersten ohmschen Elektrode (25) beabstandet ist und die zweite Gate-Elektrode (34) um einen zweiten Abstand von der zweiten ohmschen Elektrode (26) beabstandet ist, wobei der erste Abstand und der zweite Abstand gleich sind.

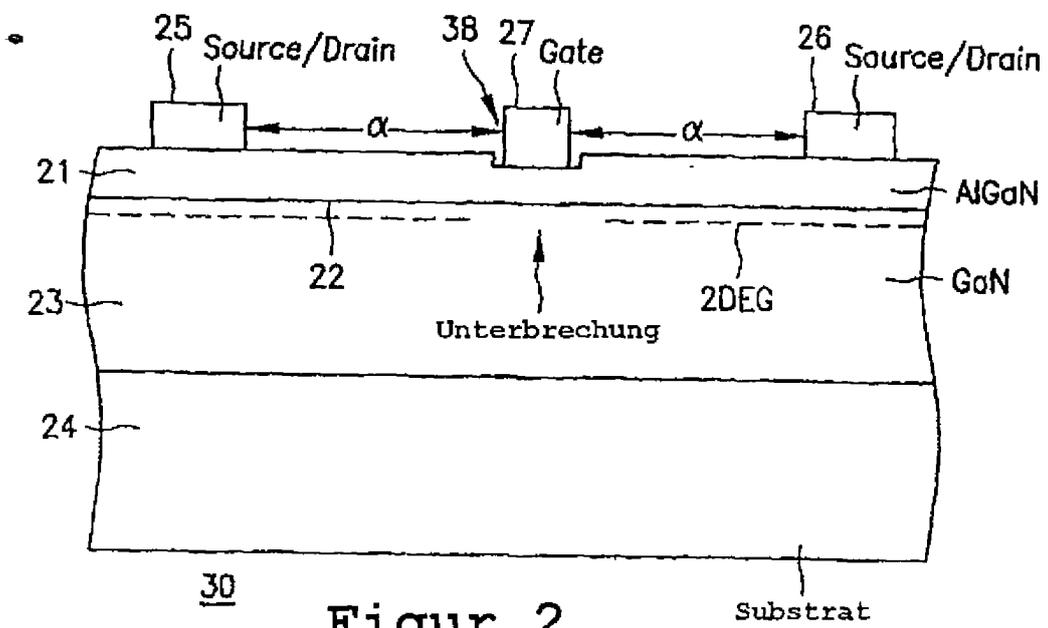
9. Halbleiterschalter nach Anspruch 1, wobei das Substrat (24) aus entweder Silizium, SiC oder Saphir besteht.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

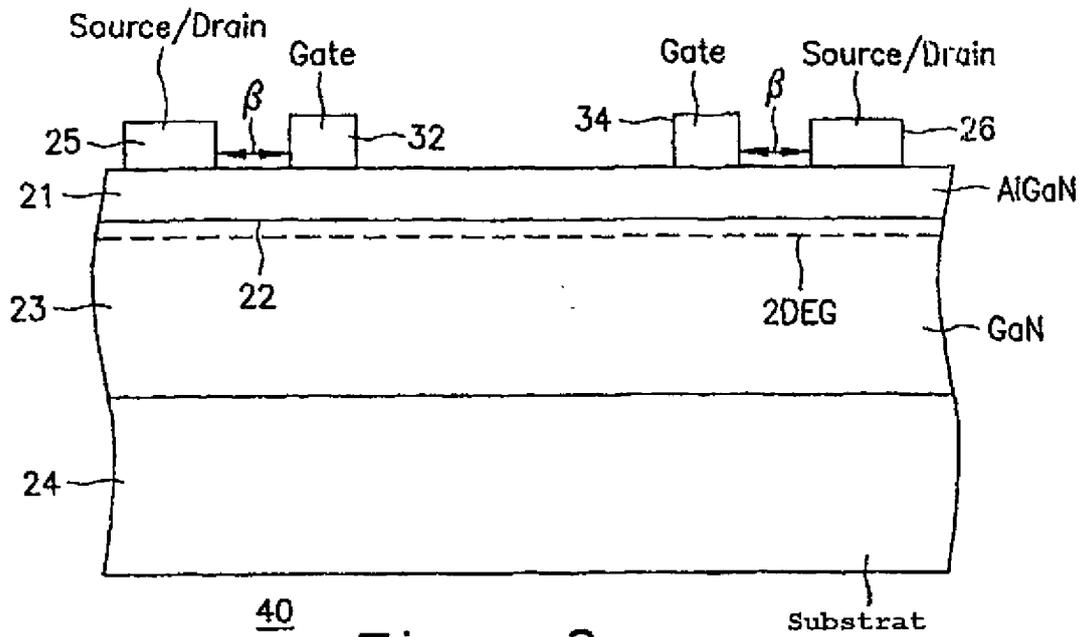
Anhängende Zeichnungen



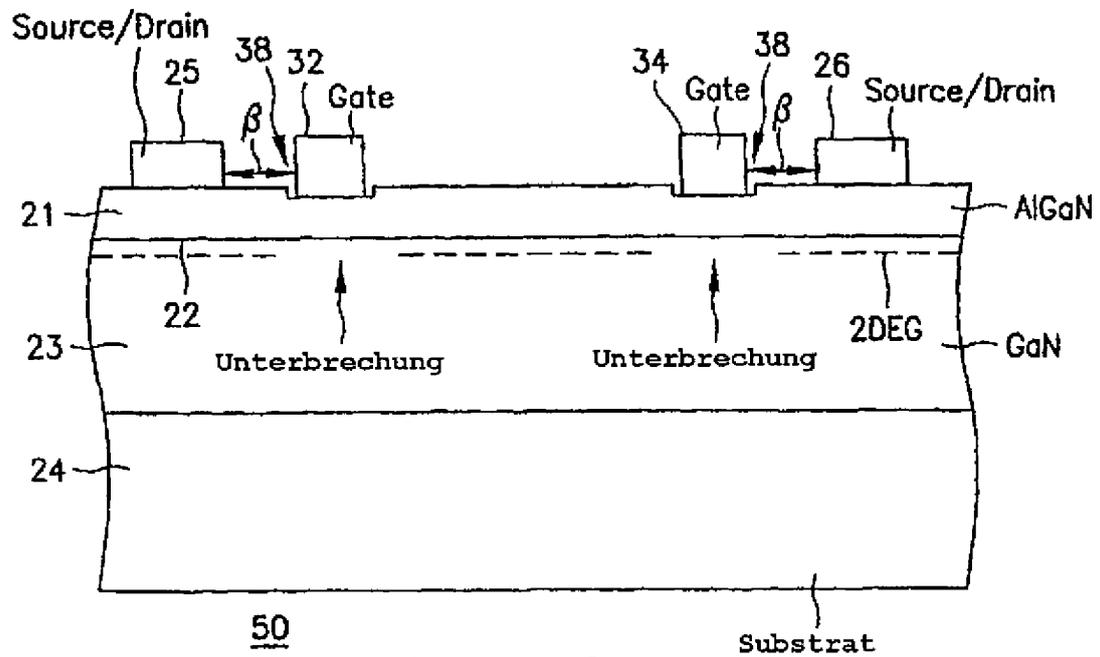
Figur 1



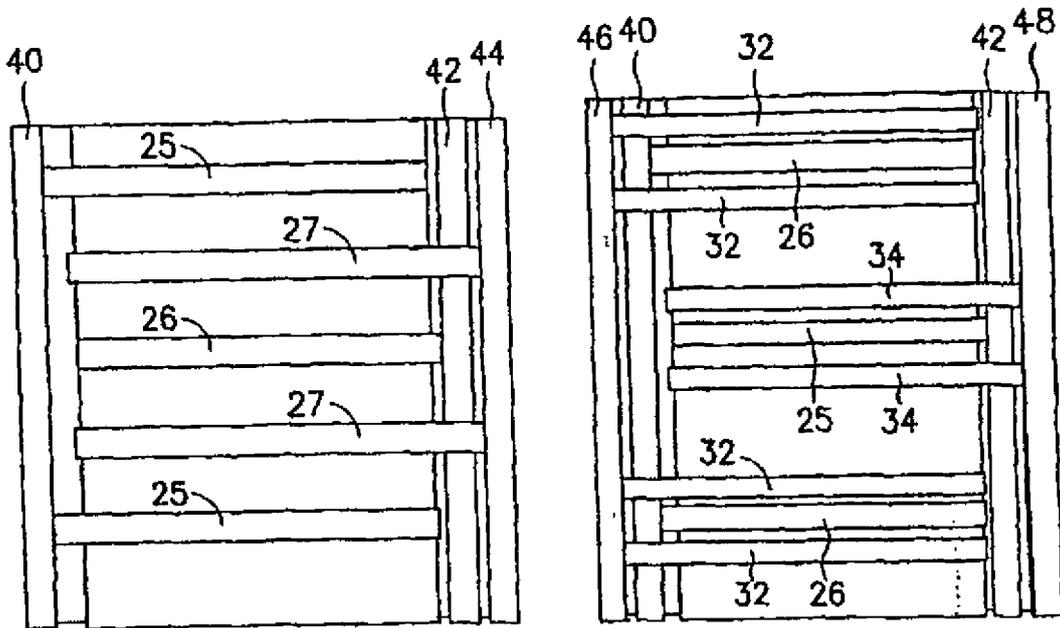
Figur 2



Figur 3

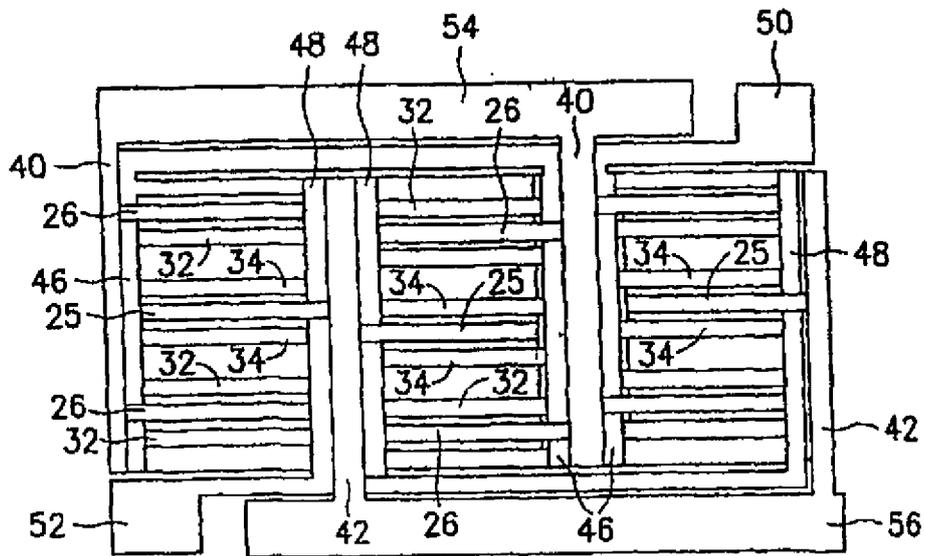


Figur 4

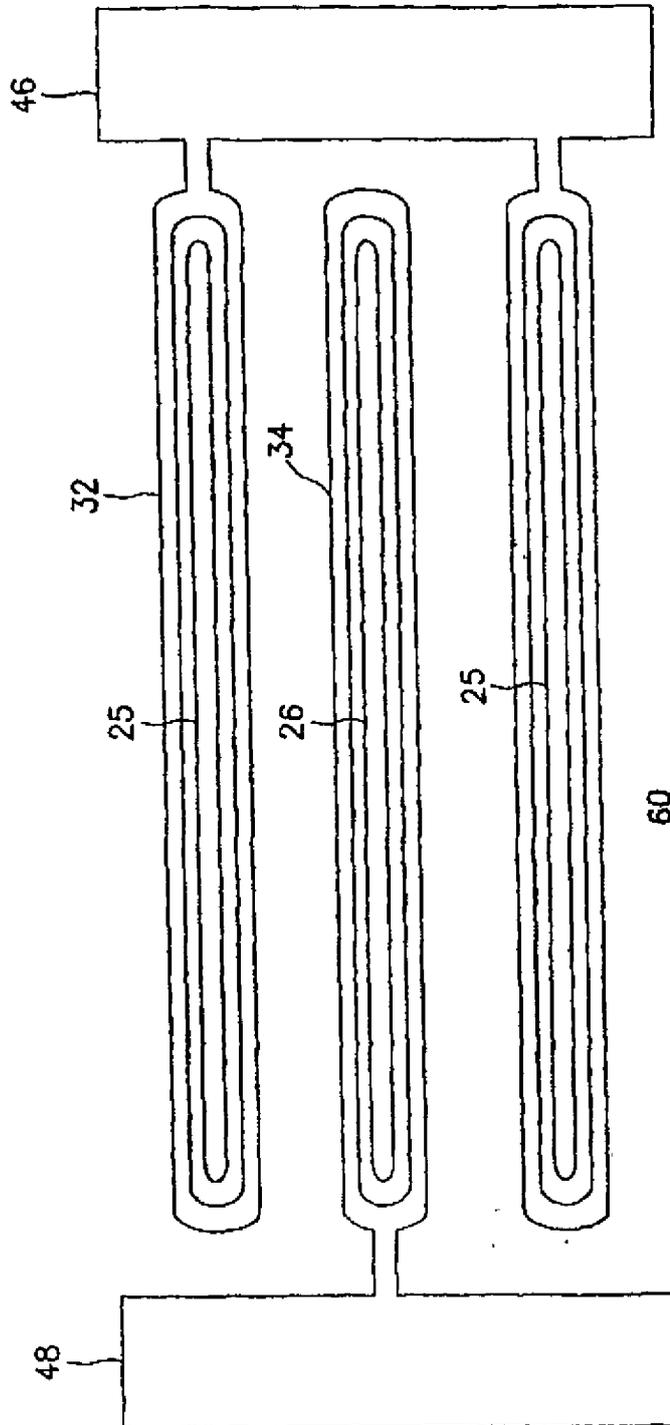


Figur 5

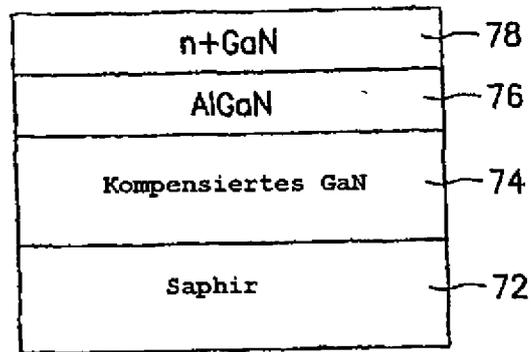
Figur 6



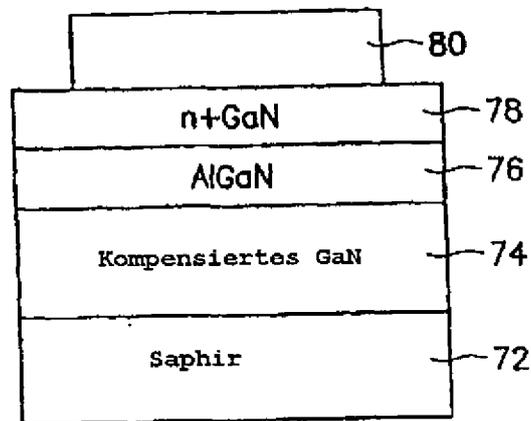
Figur 7



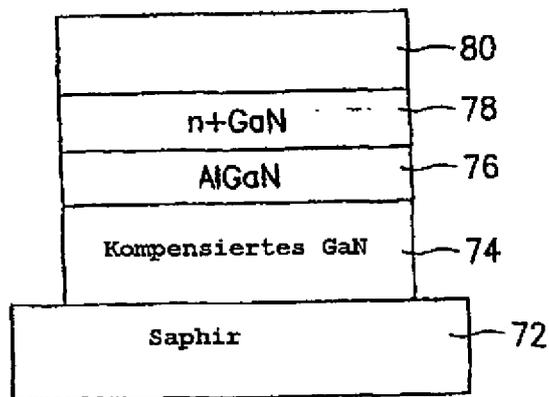
Figur 8



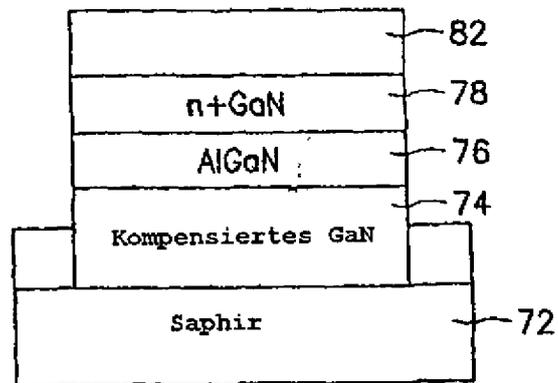
Figur 9



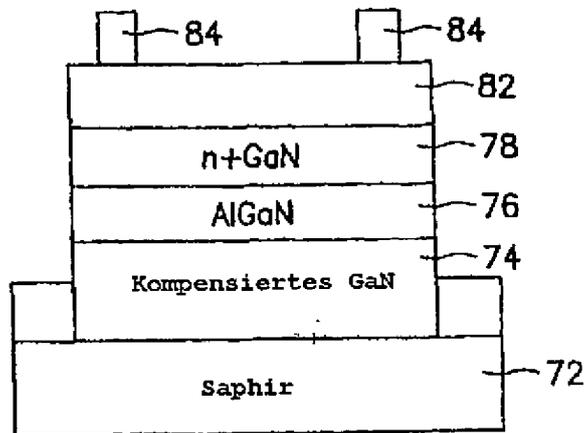
Figur 10



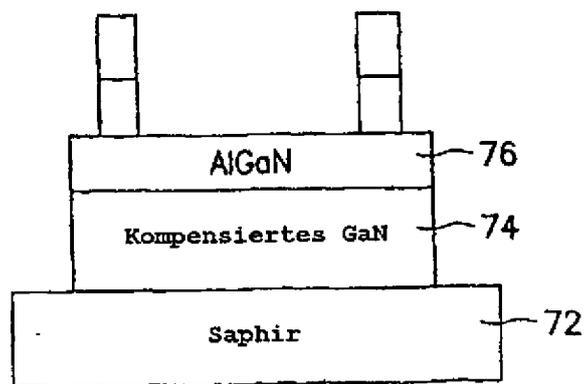
Figur 11



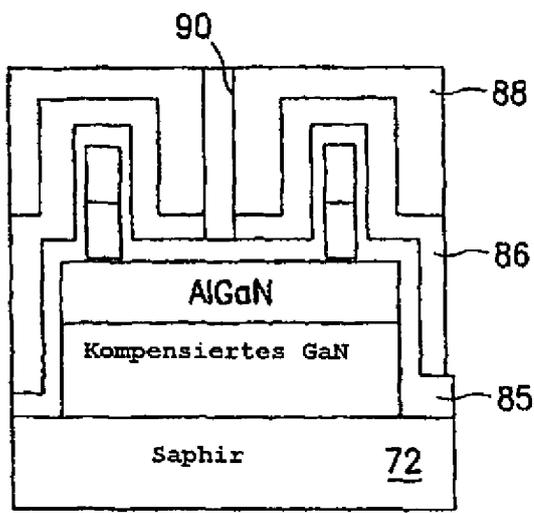
Figur 12



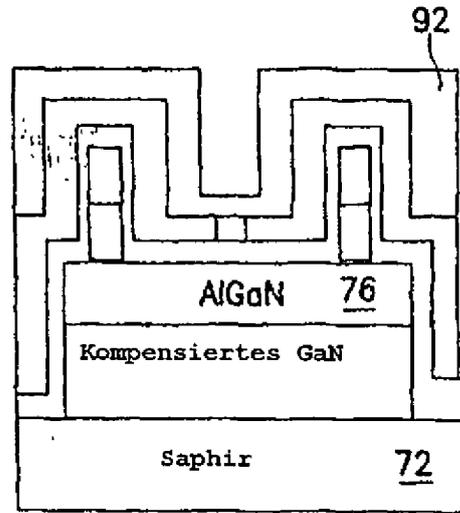
Figur 13



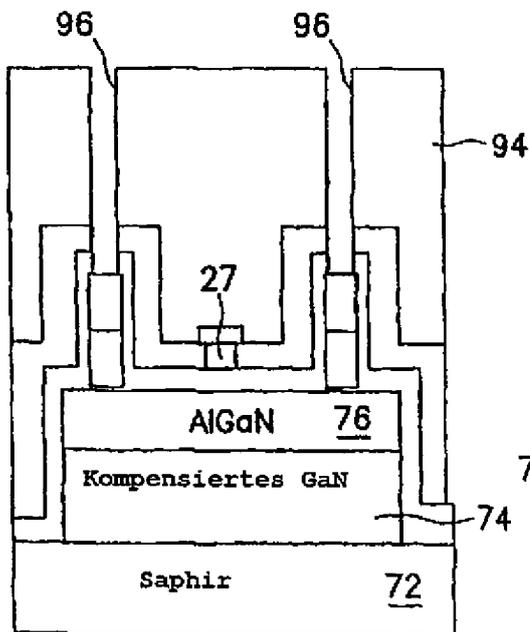
Figur 14



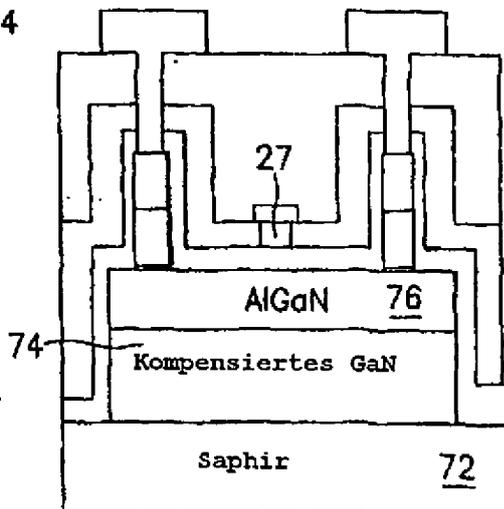
Figur 15



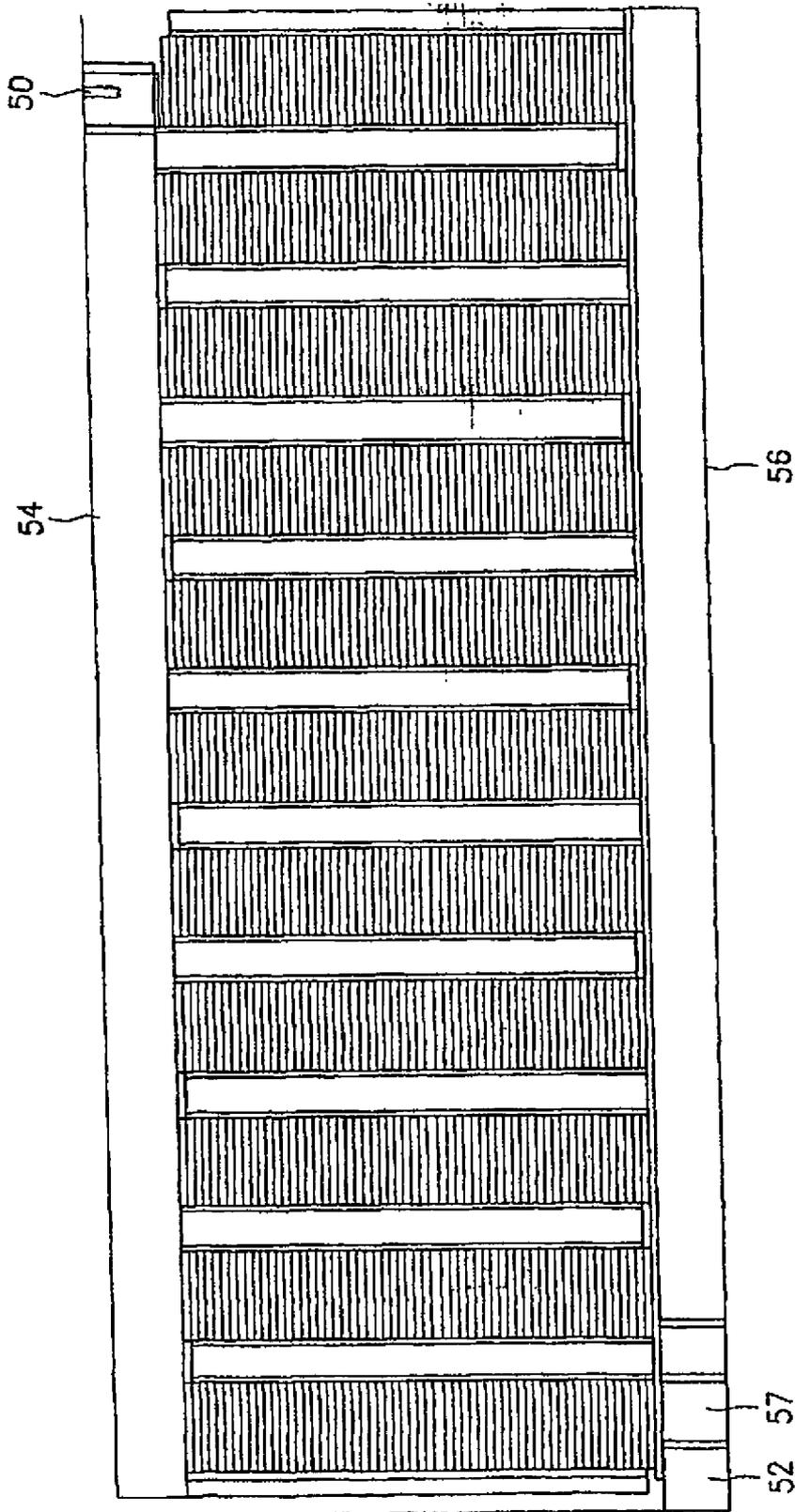
Figur 16



Figur 17



Figur 18



Figur 19