



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 37 030 T2** 2007.12.13

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 923 792 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 37 030.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB98/00551**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 910 935.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1998/052230**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.04.1998**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **19.11.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.06.1999**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **07.02.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.12.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 29/24** (2006.01)

**H01L 29/165** (2006.01)

**H01L 21/329** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**97201478**      **16.05.1997**      **EP**

(73) Patentinhaber:  
**Koninklijke Philips Electronics N.V., Eindhoven,  
NL**

(74) Vertreter:  
**Eisenführ, Speiser & Partner, 10178 Berlin**

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

(72) Erfinder:  
**BROWN, Richard, Adam, NL-5656 AA Eindhoven,  
NL; HURKX, Adrianus, Godefridus, NL-5656 AA  
Eindhoven, NL; DE BOER, Barteld, Wiebe,  
NL-5656 AA Eindhoven, NL; SLOTBOOM, Willem,  
Jan, NL-5656 AA Eindhoven, NL**

(54) Bezeichnung: **SILIZIUM-GERMANIUM-HALBLEITERANORDNUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG**

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

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

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Halbleiteranordnung mit einer Halbleiterdiode, umfassend einen Siliziumhalbleiterkörper mit einem Halbleitersubstrat und einem ersten Halbleiterbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps, der mit einem ersten Anschlussleiter versehen ist und an einen zweiten Halbleiterbereich eines zweiten, zum ersten entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps angrenzt und mit einem zweiten Anschlussleiter versehen ist, wobei die Dotierungskonzentrationen sowohl des ersten als auch des zweiten Halbleiterbereichs so hoch sind, dass der pn-Übergang zwischen dem ersten und dem zweiten Halbleiterbereich einen Tunnelübergang bildet. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Anordnung.

**[0002]** Eine derartige Anordnung ist aus Physics of Semiconductor Devices von S.M. Sze, John Wiley & Sons, 1969, Seiten 150 bis 151, bekannt. Derartige Anordnungen sind wegen ihrer steilen Strom-Spannungs-Kennlinie sowohl in der Durchlass- als auch in der Sperrrichtung attraktiv und in Anwendungen wie etwa der Mikrowellenverstärkung und dem Schalten mit hoher Geschwindigkeit ziemlich nützlich.

**[0003]** Ein Nachteil der bekannten Anordnung ist, dass die Durchlasskennlinie, aber besonders die Sperrkennlinie für einige Anwendungen noch nicht steil genug ist. Es ist demgemäß eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung mit einer verbesserten, d.h., steileren Durchlasskennlinie und insbesondere mit einer verbesserten Sperrkennlinie zu schaffen. Die Erfindung hat auch die Bereitstellung eines einfachen und zuverlässigen Verfahrens für die Herstellung derartiger verbesserter Anordnungen zur Aufgabe.

**[0004]** Nach der Erfindung ist eine Anordnung von der eingangs erwähnten Art dadurch gekennzeichnet, dass die Abschnitte des ersten und des zweiten Halbleiterbereichs, die an den Übergang angrenzen, einen Mischkristall aus Silizium und Germanium umfassen. Die Erfindung beruht vor allen Dingen auf der Erkenntnis, dass ein Mischkristall aus Silizium und Germanium eine kleinere Bandlücke als Silizium aufweist, und dass eine kleinere Bandlücke die Tunnelungswahrscheinlichkeit erhöht, was die Strom-Spannungs-Kennlinie steiler macht. Die Erfindung beruht ferner auf der überraschenden Erkenntnis, dass ein Mischkristall aus Silizium und Germanium einen höheren n-Dotierungspegel wie auch einen höheren p-Dotierungspegel als in Silizium möglich macht. Dies wird an der n-Seite des Übergangs hauptsächlich durch den Umstand verursacht, dass mehr Dotierungsmittelatome, zum Beispiel Phosphor, in das Gitter aufgenommen werden, und an der p-Seite des Übergangs hauptsächlich durch den Umstand verursacht, dass die Dotierungsmittelatome, zum Beispiel

Bor, eine niedrigere Beweglichkeit aufweisen, was ein steileres Dotierungsprofil mit einer höheren Höchstkonzentration schafft. Als Ergebnis ist die Höchstkonzentration der Ladungsträger an beiden Seiten des Tunnelübergangs größer als im Fall eines Tunnelübergangs in reinem Silizium. Als Ergebnis davon steigt auch die Tunnelungsleistungsfähigkeit. Es wird festgestellt, dass eine Anordnung nach der Erfindung eine sehr steile Durchlass- und Sperrkennlinie aufweist, wobei die letztere steiler als die erstere ist. Dies eröffnet Perspektiven für eine attraktive Anwendung der Anordnung nach der Erfindung, bei der der Tunnel-pn-Übergang als Übergang zwischen zwei normalen Dioden, zum Beispiel pn- oder pin-Dioden, verwendet wird, die aufeinander gestapelt sind. Eine derartige Stapelung kann dann in einem einzelnen epitaxialen Wachstumsprozess anstatt durch das Stapeln von diskreten, einzelnen Dioden, die mit Kontaktmetallisierungen versehen sind, hergestellt werden. Ein weiterer wichtiger Vorteil der steileren Strom-Spannungs-Kennlinie ist, dass die Ableitung abnimmt, weshalb eine Anordnung nach der Erfindung eine längere Lebensdauer als die herkömmliche Anordnung aufweisen wird.

**[0005]** In einer bevorzugten Ausführungsform einer Anordnung nach der Erfindung weisen die Abschnitte des ersten und des zweiten Halbleiterbereichs, die an den Tunnelübergang angrenzen, eine Dicke auf, die zwischen 5 und 30 nm liegt, und einen Germaniumgehalt auf, der zwischen 10 und 50 Atom-% liegt. Dadurch wurden hervorragende Ergebnisse erhalten. Demgemäß wurde eine Anordnung verwirklicht, in der die Abschnitte 27 nm dick sind und 25 Atom-% Germanium umfassen., in welchem Fall die Stromdichte durch den Tunnel-pn-Übergang in der Durchlassrichtung 1 A/cm<sup>2</sup> für 0,3 V und 30 A/cm<sup>2</sup> für 1V beträgt. In der Sperrrichtung ergaben die gleichen Messungen sogar 10 A/cm<sup>2</sup> bzw. 80 A/cm<sup>2</sup>. Die benötigte Majoritätsladungsträgerkonzentration beträgt zumindest ungefähr  $5 \times 10^{19}$ . Vorzugsweise sind die Dicke und der Germaniumgehalt dieser Abschnitte so gewählt, dass die mechanische Beanspruchung, die als Ergebnis des Unterschieds in der Gitterkonstanten zwischen Germanium und Silizium aufgebaut wird, nicht zur Erzeugung von fatalen Dislokationen führt. Das heißt, dass das Produkt aus der Gesamtdicke dieser Abschnitte und dem relativen Unterschied in der Gitterkonstanten so gewählt werden muss, dass es kleiner als oder gleich ungefähr 30 nm% ist.

**[0006]** Eine sehr attraktive Ausführungsform einer Halbleiteranordnung nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten Halbleiterbereich und dem ersten Anschlussleiter oder zwischen dem zweiten Halbleiterbereich und dem zweiten Anschlussleiter weitere Halbleiterbereiche vorhanden sind, die einen oder mehrere weitere pn-Übergänge bilden, die in der Durchlassrichtung vorgespannt sind, wenn der Tunnel-pn-Übergang in

der Sperrrichtung vorgespannt ist, und die voneinander durch zwei weitere Halbleiterbereiche getrennt sind, welche die gleichen Eigenschaften wie der erste und der zweite Halbleiterbereich aufweisen und einen weiteren Tunnel-pn-Übergang bilden. Eine derartige Stapelung von Dioden ist besonders zur Verwendung als Hochspannungsschaltodiode geeignet, wobei aus der erwünschten gesamten Durchschlagspannung und der Durchschlagspannung jeder einzelnen Diode bestimmt wird, wie groß die Anzahl der weiteren pn-Übergänge sein sollte. Sie kann jede beliebige ganze Zahl, zum Beispiel eine Zahl zwischen 1 und 10, sein. Dank des Tunnel-pn-Übergangs, der zwischen jedem Paar von weiteren Tunnel-pn-Übergängen vorhanden ist, weist eine derartige Stapelung von Dioden eine hervorragende Strom-Spannungs-Kennlinie auf. Es ist sehr wichtig, dass es die Erfindung zulässig macht, alle Dioden (einschließlich der Tunnelioden) nacheinander in einem einzigen epitaxialen Ablagerungsschritt bereitzustellen. Dies vereinfacht die Herstellung.

**[0007]** Der unterste und der oberste Halbleiterbereich eines derartigen Stapels wirken dann als die Kontaktbereiche und weisen eine hohe Dotierungskonzentration auf, die für diesen Zweck geeignet ist. Die Durchschlagspannung jedes einzelnen pn-Übergangs kann frei gewählt werden. Wenn eine vergleichsweise hohe Durchschlagspannung gewünscht ist, kann ein weiterer pn-Übergang einen i-Bereich umfassen.

**[0008]** Vorzugsweise ist für den Leitfähigkeitstyp des ersten Halbleiterbereichs der p-Typ-Leitfähigkeitstyp gewählt. Dies führt zum abruptesten Übergang, was sehr wünschenswert ist. Diese Erscheinung liegt an der Neigung von n-Typ-Dotierungsmitteln, z.B. P oder As, sich an der Oberfläche abzusondern.

**[0009]** Ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleiteranordnung mit einer Halbleiterdiode, wobei ein erster Halbleiterbereich eines ersten Leitfähigkeitstyps in einem Siliziumhalbleiterkörper, der ein Halbleitersubstrat aufweist, gebildet wird und mit einem ersten Anschlussleiter versehen wird, und ein zweiter Halbleiterbereich eines zweiten, zum ersten entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps so gebildet wird, dass er an den ersten Halbleiterbereich angrenzt, und mit einem zweiten Anschlussleiter versehen wird, und wobei die Dotierungskonzentrationen sowohl des ersten als auch des zweiten Halbleiterbereichs so hoch gewählt werden, dass der pn-Übergang zwischen dem ersten und dem zweiten Halbleiterbereich einen Tunnelübergang bildet, nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Abschnitte des ersten und des zweiten Halbleiterbereichs, die an den Übergang angrenzen, durch einen Mischkristall aus Silizium und Germanium gebildet sind. Anordnungen nach der Erfindung werden durch ein derartiges Verfahren auf eine einfache Weise er-

halten.

**[0010]** Vorzugsweise werden zwischen dem ersten Halbleiterbereich und dem ersten Anschlussleiter oder zwischen dem zweiten Halbleiterbereich und dem zweiten Anschlussleiter weitere Halbleiterbereiche gebildet, die einen oder mehrere weitere pn-Übergänge bilden, die in der Durchlassrichtung vorgespannt sind, wenn der Tunnel-pn-Übergang in der Sperrrichtung vorgespannt ist, und die voneinander durch weitere Halbleiterbereiche getrennt sind, welche die gleichen Eigenschaften wie der erste und der zweite Halbleiterbereich aufweisen und einen weiteren Tunnel-pn-Übergang bilden. Dadurch wird die oben erwähnte Anordnung, die einen Stapel von Dioden umfasst, erhalten, vorzugsweise in einem epitaxialen CVD(=Chemical Vapor Deposition – chemische Abscheidung aus der Gasphase)-Prozess. Die Halbleiterbereiche werden vorzugsweise bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen, zum Beispiel bei 550 bis 800 °C, bereitgestellt, da erwünscht ist, dass die Dotierungsprofile nicht nur sehr steil sind, sondern dies auch bleiben, und da die gewünschte Dicke der Profile sehr klein ist. Eine solche niedrige Wachstumstemperatur trägt auch zur Erfindung bei, da bei niedrigen Temperaturen merklich mehr Dotierungselemente in das Gitter aufgenommen werden, als bei den üblicheren, höheren Wachstumstemperaturen.

**[0011]** Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf zwei Ausführungsformen und die beiliegenden Zeichnungen ausführlicher beschrieben werden, wobei

**[0012]** [Fig. 1](#) eine erste Ausführungsform einer Anordnung nach der Erfindung diagrammatisch in einem Querschnitt senkrecht zur Dickenrichtung zeigt;

**[0013]** [Fig. 2](#) die Zusammensetzung als eine Funktion der Dicke in der Anordnung von [Fig. 1](#) diagrammatisch zeigt;

**[0014]** [Fig. 3](#) die Stromdichte ( $j$ ) als eine Funktion der Spannung ( $V$ ) über den Tunnel-pn-Übergang bei der Anordnung von [Fig. 1](#) und bei einer herkömmlichen Anordnung diagrammatisch zeigt; und

**[0015]** [Fig. 4](#) ein diagrammatischer Querschnitt senkrecht zur Dickenrichtung einer zweiten Ausführungsform einer Anordnung nach der Erfindung ist.

**[0016]** Die Figuren sind diagrammatisch und nicht maßstabsgetreu gezeichnet, und die Abmessungen in der Dickenrichtung sind für eine größere Klarheit besonders übertrieben. Halbleiterbereiche des gleichen Leitfähigkeitstyps wurden in die gleiche Richtung schraffiert.

**[0017]** [Fig. 1](#) ist eine diagrammatische Querschnitt-

ansicht senkrecht zur Dickenrichtung einer ersten Ausführungsform einer Anordnung mit einer Tunnel-diode nach der Erfindung. Die Anordnung umfasst einen aus Silizium hergestellten Halbleiterkörper **10** mit einem Substrat **1**, das hier mit Antimon  $n^{++}$  dotiert ist, und dessen spezifischer Widerstand 6 bis 20 m $\Omega$ cm beträgt. Der Halbleiterkörper **10** umfasst einen ersten Halbleiterbereich **2** eines ersten Leitfähigkeitstyps, hier des n-Typs, der mit einem ersten Anschlussleiter **21**, in diesem Fall über das Substrat **1**, versehen ist. Ein zweiter Halbleiterbereich **3** eines zweiten, zum ersten entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps, somit des p-Typs, grenzt an den ersteren an und ist mit einem zweiten Anschlussleiter **31** versehen. Die Dotierungskonzentrationen sowohl des ersten als auch des zweiten Halbleiterbereichs **2**, **3** von Phosphor bzw. Bor sind so hoch, in diesem Fall  $1,2 \times 10^{19}$  Atome/cm<sup>3</sup>, dass der pn-Übergang **22** zwischen ihnen ein Tunnelübergang **22** ist.

**[0018]** Nach der Erfindung umfassen die Abschnitte **2A**, **3A** des ersten und des zweiten Halbleiterbereichs **2**, **3**, die an den Übergang **22** angrenzen, einen Mischkristall aus Silizium und Germanium. Die Erfindung beruht vor allen Dingen auf der Erkenntnis, dass ein Mischkristall aus Silizium und Germanium eine kleinere Bandlücke als Silizium aufweist, und dass eine kleinere Bandlücke die Tunnelungswahrscheinlichkeit erhöht, so dass die Strom-Spannungs-Kennlinie steiler wird, was für viele Anwendungen einer Tunneldiode erwünscht ist. Die Erfindung beruht ferner auf der überraschenden Erkenntnis, dass ein Mischkristall aus Silizium und Germanium sowohl eine höhere n-Dotierung als auch eine höhere p-Dotierung als Silizium möglich macht, insbesondere für die oben erwähnten Störstoffe Phosphor und Bor. Dies wird im Fall von Phosphor hauptsächlich durch eine gesteigerte Aufnahme der Dotierungsmittelatome in das Gitter und im Fall von Bor hauptsächlich durch eine verringerte Beweglichkeit der Dotierungsmittelatome verursacht, was zu einem steilen Dotierungsprofil mit einer hohen Höchstkonzentration führt. Als Ergebnis ist die Höchstkonzentration der Ladungsträger an beiden Seiten des Tunnelübergangs **22** größer als im Fall einer Tunneldiode in reinem Silizium. Die Tunnelungsleistungsfähigkeit wird dadurch ebenfalls erhöht.

**[0019]** **Fig. 2**, in der die Zusammensetzung (C) diagrammatisch als eine Funktion der Dicke (d) der Anordnung von **Fig. 1** gezeigt ist, veranschaulicht die erhöhte Dotierungskonzentration der Abschnitte **2A**, **3A** des ersten und des zweiten Halbleiterbereichs **2**, **3**, die neben dem Übergang **22** liegen. Die Kurve **26** zeigt das Konzentrationsgefälle des Germaniums. Der Tunnelübergang **22** befindet sich in der Mitte dieses Profils **26**, bei einer von der oberen Fläche der Anordnung von **Fig. 1** gemessenen Dicke von ungefähr 380 nm. Die Kurven **27** und **28** entsprechen dem Bor- bzw. dem Phosphorprofil. Die Zunahme in den

beiden Konzentrationen auf ungefähr  $7 \times 10^{19}$  Atome/cm<sup>3</sup> neben dem Tunnelübergang **22** ist deutlich sichtbar. Als Messtechnik für **Fig. 2** wurde SIMS (= Secondary Ion Mask Spectrometry – Sekundärionenmassenspektroskopie) verwendet. Es wird bemerkt, dass auch die Phosphoratome, die an der anderen Seite des Tunnelübergangs **22** vorhanden sind, eine Rolle bei der Zunahme der Borkonzentration zu spielen scheinen.

**[0020]** Es wird festgestellt, dass eine Anordnung nach der Erfindung eine sehr steile Durchlasskennlinie und eine noch steilere Sperrkennlinie aufweist. Dies eröffnet die Perspektive für, u.a., eine attraktive Anwendung, bei der der Tunnel-pn-Übergang **22** als ein Übergang zwischen zwei Schaltdioden, zum Beispiel pn- oder pin-Dioden, verwendet wird, die aufeinander gestapelt verwendet werden. Eine derartige Stapelung kann in einem einzelnen epitaxialen Wachstumsprozess anstatt durch das Zusammenstapeln von diskreten, einzelnen Dioden, die jeweils mit einer Kontaktmetallisierung versehen sind, hergestellt werden.

**[0021]** **Fig. 3**, in der die Stromdichte (j) diagrammatisch als eine Funktion der Spannung (V) über den Tunnel-pn-Übergang **22** bei der Anordnung von **Fig. 1** und bei einer bekannten Anordnung gezeigt ist, veranschaulicht diesen Gesichtspunkt der Erfindung. Die Kurven **36**, **37** stellen die Sperr- bzw. die Durchlasskennlinie der Anordnung von **Fig. 1** dar. Die Kurven **38**, **39** zeigen diese Kennlinien für eine Anordnung, die mit der Anordnung von **Fig. 1** vergleichbar ist, den gleichen Aufbau und die gleichen Abmessungen aufweist, aber kein Germanium umfasst. **Fig. 3** zeigt, dass eine Anordnung nach der Erfindung eine viel bessere Sperr- und Durchlasskennlinie als die bekannte Anordnung aufweist, insbesondere bei einer niedrigen Spannung, zum Beispiel 0,3 V. Die Stromdichte, die in einer Anordnung nach der Erfindung erreicht werden kann, nähert sich sowohl in der Sperr- als auch in der Durchlassrichtung dem Wert von 100 A/cm<sup>2</sup>.

**[0022]** Die Abschnitte **2A**, **3A** des ersten und des zweiten Halbleiterbereichs **2**, **3**, die an den Tunnelübergang **22** angrenzen, weisen vorzugsweise eine Dicke auf, die zwischen 5 und 30 nm liegt, und einen Germaniumgehalt auf, der zwischen 10 und 50 Atom-% liegt. In diesem Beispiel beträgt die Dicke ungefähr 27 nm, während der Germaniumgehalt ungefähr 25 Atom-% beträgt. Die gemessene Kapazität des Tunnelübergangs **22** betrug ungefähr  $5,2 \times 10^5$  pF/cm<sup>2</sup>, was eine Verarmungsdicke von 20 nm andeutet. Dies entspricht ziemlich gut einer erwarteten Verarmungsdicke von ungefähr 15 nm im Fall eines perfekt abrupten Übergangs zu der (den) oben erwähnten Dotierungskonzentration(en) von ungefähr  $6 \times 10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> und  $10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> in den germaniumhaltigen Abschnitten **2A**, **3A** bzw. im Rest der

Halbleiterbereiche **2, 3**. Eine Verarmungsdicke von ungefähr 10 nm oder geringer ist zur Verwirklichung von Tunnelströmen von mehr als 100 A/cm<sup>2</sup> nötig, und wir glauben, dass sie mit einer Anordnung nach der Erfindung erreichbar ist.

**[0023]** Die Anordnung von [Fig. 1](#) wird wie folgt hergestellt: Die Herstellung beginnt mit einem 675 µm dicken Substrat, das einen Durchmesser von 6 Zoll aufweist und aus (100) Silizium hergestellt ist, auf dem eine Anzahl von Halbleiterschichten nacheinander in einem atmosphärischen CVD-Prozess bei einer Temperatur von 700 °C bereitgestellt wird. Die Wachstumsgeschwindigkeit bei dieser Temperatur beträgt ungefähr 1 bis 20 nm/min. Zuerst wird eine 100 nm dicke, phosphordotierte monokristalline n-Typ-Epitaxieschicht **2** aus Silizium bereitgestellt. Darauf wird eine 27 nm dicke Schicht **2A** aus Silizium, dem 25 % Germanium hinzugefügt war, bereitgestellt, wobei die Phosphorkonzentration in der Gasphase hier die gleiche wie während der Bereitstellung der Siliziumschicht **2** ist, d.h., ungefähr 2 ppm beträgt. Dann wird eine 27 nm dicke Schicht **3A** aus Silizium mit 25 % Germanium bereitgestellt und mit Bor p-typ-dotiert, im Laufe welches Vorgangs die Gasphase zusätzlich ungefähr 2 ppm Diboran umfasst. Die letzte Epitaxieschicht, die nun abgelagert wird, ist eine 200 nm dicke Schicht **3** aus Silizium, wobei der Borgehalt in der Gasphase der gleiche ist. Die Unterseite des Substrats **1** wird mit Aluminium metallisiert, und die Oberseite des Halbleiterkörpers **10** wird mit einer Metallisierung versehen, die 75 nm Titan, eine dünne Schicht aus Titanitrid, und eine Schicht aus Aluminium umfasst, welche Metallisierung durch Photolithographie gemustert wird.

**[0024]** Nun werden durch ein Ätzmittel, das zum Ätzen von Silizium üblich ist, runde Mesas geätzt, wobei die obigen Schichten **2, 2A, 3A, 3** und ein kleiner Teil des Substrats **1** umfasst sind, und wobei jede Mesa einen Oberflächenbereich von 10<sup>4</sup> µm<sup>2</sup> aufweist. Die seitlichen Seiten der Mesas werden durch ein Glas, zum Beispiel TEOS (=Tetraethylorthosilikat) passiviert. Einzelne Anordnungen nach der Erfindung werden erhalten, indem das Substrat **1** zwischen angrenzenden Mesas und in zwei zueinander senkrechten Richtungen durchgesägt wird.

**[0025]** [Fig. 4](#) zeigt schließlich einen Querschnitt senkrecht zur Dickenrichtung einer zweiten Ausführungsform einer Anordnung nach der Erfindung diagrammatisch. Der Halbleiterkörper **10** umfasst hier zwischen dem ersten Halbleiterbereich **2** und dem ersten Anschlussleiter **21** oder, im vorliegenden Beispiel und, zwischen dem zweiten Halbleiterbereich **3** und dem zweiten Anschlussleiter **31** nicht nur die Halbleiterbereiche **2, 2A, 3A, 3**, sondern auch weitere Halbleiterbereiche **4, 5**, die einen oder mehrere, in diesem Fall drei, weitere pn-Übergänge **23** bilden, die in der Durchlassrichtung vorgespannt sind, wenn der

Tunnel-pn-Übergang **22** in der Sperrrichtung vorgespannt ist, und die voneinander durch zwei andere weitere Halbleiterbereiche **6, 7** getrennt sind, welche die gleichen Eigenschaften wie der erste und der zweite Halbleiterbereich **2, 3** aufweisen und einen weiteren Tunnel-pn-Übergang **24** bilden. Das Substrat **1** ist in diesem Beispiel erneut vom n-Leitfähigkeitstyp. Die Bereiche **2, 5, 6** weisen hier eine Leitfähigkeit vom p-Typ und die Bereiche **3, 4, 7** eine Leitfähigkeit vom n-Typ auf, und die Dotierungskonzentrationen der Bereiche **4, 5** sind niedriger als jene der Bereiche **2, 3, 6, 7**. Die Stapelung ist durch Bereiche **8, 9** mit einer Leitfähigkeit vom p-Typ bzw. vom n-Typ begrenzt, die beide eine hohe Dotierungskonzentration von ungefähr 10<sup>19</sup> Atomen/cm<sup>3</sup> aufweisen und als Kontaktbereiche wirken. Die Bereiche **4, 5** weisen eine vergleichsweise niedrige Dotierungskonzentration von 10<sup>15</sup> bis 10<sup>19</sup> Atome/cm<sup>3</sup> auf. Ein derartiger Stapel von Dioden **23** ist besonders zur Verwendung als Hochspannungsschaltdiode geeignet, wobei durch die erwünschte gesamte Durchschlagsspannung und die Durchschlagsspannung jeder einzelnen Diode bestimmt wird, wie groß die Anzahl der weiteren pn-Übergänge sein sollte. Sie kann jede beliebige ganze Zahl, zum Beispiel eine Zahl zwischen 1 und 10, im vorliegenden Beispiel 3, sein.

**[0026]** Ein derartiger Stapel von Dioden **23** weist dank des Tunnel-pn-Übergangs **22, 24**, der zwischen jedem Paar von weiteren pn-Übergängen **23** vorhanden ist, eine hervorragende Strom-Spannungs-Kennlinie auf. Es ist sehr wichtig, dass es die verbesserte Strom-Spannungs-Kennlinie möglich macht, alle Dioden **23** (einschließlich der Tunnelioden **22, 24**) in einem einzelnen Wachstumsprozess bereitzustellen, d.h., dass alle (weiteren) Halbleiterbereiche **2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9** als epitaxiale monokristalline Halbleiterbereiche **2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9** gebildet werden. Dies vereinfacht die Herstellung, die in jeder weiteren Hinsicht auf eine Weise stattfindet, die der oben für die erste Ausführungsform angegebenen ähnlich ist. Die Eigenschaften der Schichten **2, 2A, 3A, 3, 6, 6A, 7A, 7** sind wie im ersten Beispiel gewählt. Den Schichten **4, 5, 8, 9** sind zum Beispiel Dicken verliehen, die im Bereich von 1 bis 5 µm liegen. Die Metallschichten **21, 31** und die Abmessungen der Mesas sind ebenfalls die gleichen wie im ersten Beispiel. Die Durchschlagsspannung der Dioden **23** liegt im Bereich von 10 bis 100 V.

**[0027]** Die Erfindung ist nicht auf die oben angegebenen Ausführungsformen beschränkt, da Fachleuten innerhalb des Rahmens der Erfindung viele Abwandlungen und Veränderungen möglich sind. Daher können für die verschiedenen (Halbleiter)bereiche oder Schichten andere Zusammensetzungen und Dicken als die in den Beispielen erwähnten gewählt werden. Es ist auch möglich, anstelle der erwähnten Techniken alternative Ablagerungstechniken wie etwa MBE (= Molecular Beam Epitaxy – Molekular-

strahlepitaxie) zu verwenden.

**[0028]** Eine Anordnung nach der Erfindung kann auch eine kompliziertere Anordnung als eine einzelne Diode oder ein Stapel von Dioden sein. Derartige kompliziertere Anordnungen, wie etwa ICs (= Integrated Circuits – integrierte Schaltungen), die unter anderem Transistoren umfassen, können auch vorteilhaft einen oder mehrere Tunnel-pn-Übergänge nach der Erfindung umfassen.

### Patentansprüche

1. Halbleiteranordnung mit einer Halbleiterdiode, umfassend einen Siliziumhalbleiterkörper (10) mit einem Halbleitersubstrat (1) und einem ersten Halbleiterbereich (2) eines ersten Leitfähigkeitstyps, der mit einem ersten Anschlussleiter (21) versehen ist und an einen zweiten Halbleiterbereich (3) eines zweiten, zum ersten entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps angrenzt und mit einem zweiten Anschlussleiter (31) versehen ist, wobei die Dotierungskonzentrationen sowohl des ersten als auch des zweiten Halbleiterbereichs (2, 3) so hoch sind, dass der pn-Übergang (22) zwischen dem ersten Halbleiterbereich (2) und dem zweiten Halbleiterbereich (3) einen Tunnelübergang (22) bildet, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Abschnitte (2A, 3A) des ersten Halbleiterbereichs (2) und des zweiten Halbleiterbereichs (3), die an den Übergang (22) angrenzen, einen Mischkristall aus Silizium und Germanium umfassen.

2. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschnitte (2A, 3A) des ersten Halbleiterbereichs (2) und des zweiten Halbleiterbereichs (3), die an den Tunnelübergang (22) angrenzen, eine Dicke aufweisen, die zwischen 5 und 30 nm liegt, und einen Germaniumgehalt aufweisen, der zwischen 10 und 50 Atom-% liegt.

3. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschnitte (2A, 3A) des ersten Halbleiterbereichs (2) und des zweiten Halbleiterbereichs (3), die an den Tunnelübergang (22) angrenzen, eine Dotierungskonzentration von zumindest ungefähr  $5 \times 10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> aufweisen.

4. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten Halbleiterbereich (2) und dem ersten Anschlussleiter (21) oder zwischen dem zweiten Halbleiterbereich (3) und dem zweiten Anschlussleiter (31) weitere Halbleiterbereiche (4, 5) vorhanden sind, die einen oder mehrere weitere pn-Übergänge (23) bilden, die in der Durchlassrichtung vorgespannt sind, wenn der Tunnel-pn-Übergang (22) in der Sperrrichtung vorgespannt ist, und die voneinander durch zwei andere weitere Halbleiterbereiche (6, 7) getrennt sind, welche die gleichen Eigenschaften wie der erste Halblei-

terbereich (2) und der zweite Halbleiterbereich (3) aufweisen und einen weiteren Tunnel-pn-Übergang (24) bilden.

5. Halbleiteranordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass einer der weiteren Halbleiterbereiche (4, 5), die einen weiteren pn-Übergang (23) bilden, nicht dotiert ist.

6. Halbleiteranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterbereiche (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) monokristalline epitaxiale Halbleiterschichten (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) umfassen, die aufeinander gestapelt sind.

7. Halbleiteranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Halbleiterbereich (2) vom p-Typ-Leitfähigkeitstyp ist.

8. Verfahren zur Herstellung einer Halbleiteranordnung mit einer Halbleiterdiode, wobei ein erster Halbleiterbereich (2) eines ersten Leitfähigkeitstyps in einem Siliziumhalbleiterkörper (10), der ein Halbleitersubstrat (1) aufweist, gebildet wird und mit einem ersten Anschlussleiter (21) versehen wird, und ein zweiter Halbleiterbereich (3) eines zweiten, zum ersten entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps so gebildet wird, dass er an den ersten Halbleiterbereich (2) angrenzt, und mit einem zweiten Anschlussleiter (31) versehen wird, wobei die Dotierungskonzentrationen sowohl des ersten Halbleiterbereichs (2) als auch des zweiten Halbleiterbereichs (3) so hoch gewählt werden, dass der pn-Übergang (22) zwischen dem ersten Halbleiterbereich (2) und dem zweiten Halbleiterbereich (3) einen Tunnelübergang (22) bildet, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschnitte (2A, 3A) des ersten Halbleiterbereichs (2) und des zweiten Halbleiterbereichs (3), die an den Übergang (22) angrenzen, durch einen Mischkristall aus Silizium und Germanium gebildet sind.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten Halbleiterbereich (2) und dem ersten Anschlussleiter (21) oder zwischen dem zweiten Halbleiterbereich (3) und dem zweiten Anschlussleiter (31) weitere Halbleiterbereiche (4, 5) gebildet werden, die einen oder mehrere weitere pn-Übergänge (23) bilden, die in der Durchlassrichtung vorgespannt sind, wenn der Tunnel-pn-Übergang (22) in der Sperrrichtung vorgespannt ist, und die voneinander durch andere weitere Halbleiterbereiche (6, 7) getrennt sind, welche die gleichen Eigenschaften wie der erste Halbleiterbereich (2) und der zweite Halbleiterbereich (3) aufweisen und einen weiteren Tunnel-pn-Übergang (24) bilden.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die monokristallinen Halblei-

terschichten (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) durch Epitaxie aufeinander gestapelt werden, und dass eine Temperatur zwischen 550 °C und 800 °C als die Temperatur gewählt wird, bei der die Halbleiterschichten (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) bereitgestellt werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

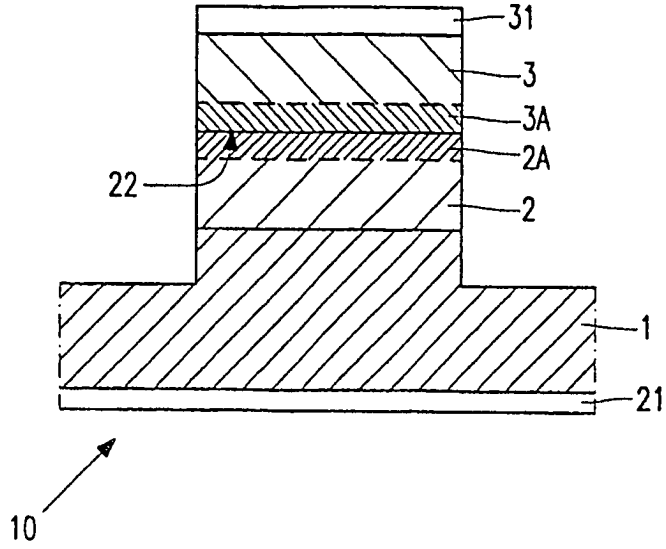


FIG. 1

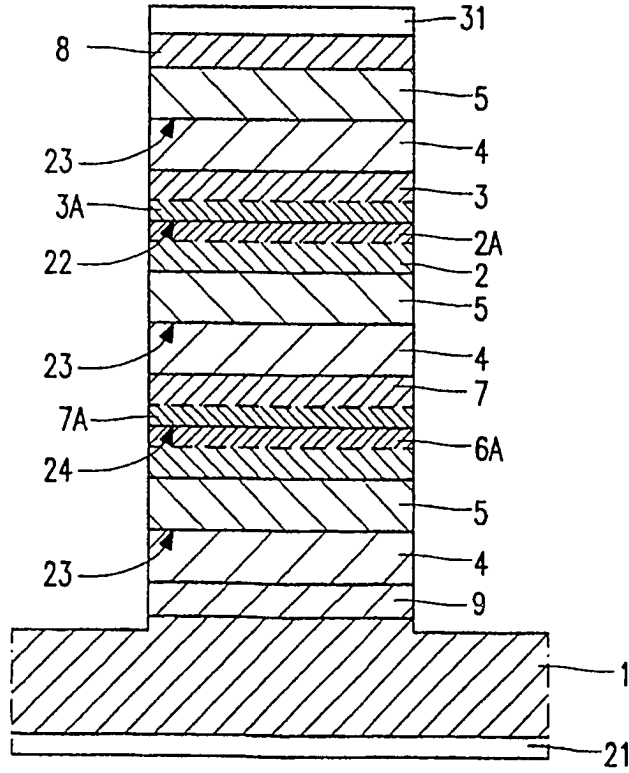


FIG. 4



