



18 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 00 707 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
H 01 L 33/00
H 01 L 21/265

21 Aktenzeichen: 100 00 707.4
22 Anmeldetag: 10. 1. 2000
43 Offenlegungstag: 12. 7. 2001

DE 100 00 707 A 1

71 **Anmelder:**
RUBITEC Gesellschaft für Innovation und
Technologie der Ruhr-Universität Bochum mbH,
44801 Bochum, DE

74 **Vertreter:**
Schneiders & Behrendt Rechts- und Patentanwälte,
44787 Bochum

72 **Erfinder:**
Röcken, Heiner, 44795 Bochum, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 **Herstellungsverfahren für leuchtende Strukturen auf Siliziumsubstrat**
- 57 Die Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für lichtemittierende Strukturen auf Siliziumsubstrat. Mittels fokussierter Ionenimplantation wird ein begrenzter Bereich des vordotierten Siliziumsubstrats gegendotiert. Durch eine Überkompensation der ursprünglichen Ladungsträgerdichte entsteht ein lateraler npn- bzw. npn-Übergang. Wird dieser von Strom durchflossen, so kommt es an dem in Sperrichtung betriebenen pn- bzw. np-Übergang zu Lichtemission. Die Verwendung der fokussierten Ionenimplantation gestattet es, bei der Herstellung der lichtemittierenden Strukturen auf Maskierungsschritte vollständig zu verzichten.

DE 100 00 707 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von lichtemittierenden Strukturen in Silizium.

LEDs und andere technisch verwendbare, lichtemittierende Halbleiterbauelemente bestehen in der Regel aus Verbindungenshalbleitern wie z. B. GaAs, GaP oder GaAsP. Das hängt damit zusammen, daß die Elektrolumineszenz-Eigenschaften durch die elektronischen Bandstrukturen dieser sogenannten III/V-Materialien begünstigt werden.

Mit den üblichen Großintegrationstechnologien ergibt sich das Problem, daß das mit Abstand am weitesten verbreitete Material in der Chip-Herstellung Silizium ist. Da Silizium und die genannten Verbindungshalbleiter unterschiedliche Kristallstrukturen haben, gestaltet sich die Integration von lichtemittierenden Bauelementen in mikroelektronische Systeme auf Siliziumsubstraten aufwendig und schwierig. Insbesondere kommen aus dem genannten Grund konventionelle epitaktische Verfahren nicht in Frage.

Seit 1955 ist bekannt, daß Elektrolumineszenz in Silizium an in Sperrichtung betriebenen pn-Übergängen auftritt. Es kommt zu einem sogenannten Durchbruchstrom, der von einer Leuchterscheinung begleitet ist, wenn die an den pn-Übergang in Sperrichtung angelegte elektrische Spannung einen bestimmten Wert überschreitet (siehe z. B. R. Newman, Physical Review, Band 100, 1955, Seiten 700-703). Hieraus ergibt sich unmittelbar die Möglichkeit, leuchtende Bauelemente auf Siliziumsubstrat zu integrieren. Zur Herstellung des pn-Übergangs ist jedoch eine Mehrzahl von Prozeßschritten zur photolithographischen Maskierung und anschließenden Dotierung mittels Diffusion oder Ionenimplantation erforderlich. Das Verfahren ist daher aufwendig und unökonomisch.

Des weiteren ist bekannt, daß an speziell behandelten, porösen Oberflächen eines Siliziumsubstrats Elektrolumineszenz auftritt (siehe P. M. Fauchet, Journal of Luminescence, Band 80, 1999, Seiten 53-64). Die Herstellung der porösen Oberfläche ist sehr aufwendig, und die nötigen Schritte sind schwer zu kontrollieren. Aufgrund der Porösität ist die Oberfläche des Materials besonders groß und damit äußert reaktiv und empfindlich. Ein erfolgreicher Einsatz dieser Technologie zur Herstellung von lichtemittierenden Bauelementen ist bisher noch nicht abzusehen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von lichtemittierenden Bauelementen auf Siliziumsubstrat bereitzustellen, das ohne zusätzliche Maskierungsschritte auskommt. Gewünscht wird dabei, daß die leuchtenden Strukturen langzeitstabil und unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen (Atmosphäre, Temperatur) sind.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß räumlich begrenzte Bereiche eines vordotierten Siliziumsubstrats durch fokussierte Ionenimplantation gegendotiert werden.

Durch die Verwendung der fokussierten Ionenimplantation wird eine präzise strukturierte Dotierung der Halbleiteroberfläche möglich. Dabei kann auf aufwendige Maskierungsschritte vollständig verzichtet werden. Die erfindungsgemäße Gegendotierung läßt sich ohne Probleme in eine bestehende Silizium-Technologie zur Herstellung von mikroelektronischen Schaltungen einbeziehen. Besonders vorteilhaft ist dabei, daß sich auf diese Weise optoelektronische Schaltungen mit integrierten Leuchtelementen realisieren lassen. Denkbare Anwendungen ergeben sich bei Displays, Lichtleiterverstärkern und anderen mikrooptischen Bauelementen.

Zweckmäßigerweise wählt man bei der fokussierten Ionenimplantation die Dotierungsdosis derart, daß die Ladungsträgerdichte des vordotierten Siliziumsubstrats über-

kompensiert wird. Auf vordotiertem n-Typ-Silizium ergeben sich lateral begrenzte p-Typ-Bereiche. Durch die Überkompensation werden laterale npn-Übergänge erzeugt. In gleicher Weise lassen sich alternativ pnp-Übergänge durch Erzeugung von strukturierten n-Typ-Gebieten auf p-Typ-Silizium herstellen. Bei Anlegen einer ausreichend hohen Spannung wird der jeweils in Sperrichtung betriebene pn- bzw. np-Übergang zum Leuchten gebracht.

Experimente haben gezeigt, daß erfindungsgemäß hergestellte lichtemittierende Strukturen auf Siliziumsubstrat ein breites, weiß erscheinendes Emissionsspektrum aufweisen. Dabei ist die Lichtemission auf einen eng begrenzten Bereich des pn-Übergangsgebietes von weniger als ein Mikrometer Breite beschränkt.

Zur Herstellung eines nutzbaren lichtemittierenden Bauteils ist es zweckmäßig, die fokussierte Ionenimplantation in einem lateral begrenzten Bereich auf der Halbleiteroberfläche durchzuführen. Dieser läßt sich beispielsweise durch einen Maskierungsschritt mit anschließendem naß- oder trockenchemischen Ätzen präparieren. Das Ergebnis ist eine vordotierte Siliziuminsel, die von der Umgebung, die weitere optische oder elektronische Bauteile aufnehmen kann, elektrisch isoliert ist.

Zur Kontaktierung der lichtemittierenden Struktur werden zweckmäßigerweise in der Peripherie des lateral begrenzten Bereiches Metall-Halbleiterübergänge angebracht. Die beiden Kontaktstellen müssen durch den gemäß der Erfindung gegendotierten Bereich voneinander getrennt sein. Wurde durch die fokussierte Ionenimplantation beispielsweise eine p-dotierte Struktur erzeugt, so findet die Kontaktierung im n-dotierten Gebiet statt. Beim Anlegen einer Spannung befindet sich einer der pn-Übergänge in Durchlaß- und der andere in Sperrichtung. Dieser wird von einem Durchbruchstrom durchflossen, wobei es zur Lichtemission kommt.

Experimente haben gezeigt, daß sich die lichtemittierenden Strukturen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhaft herstellen lassen, wenn die Vordotierung des Siliziumsubstrats 10^{16} - 10^{19} , vorzugsweise 5×10^{17} Dotierstoffatome pro ccm beträgt.

Die Gegendotierung sollte dann mit 10^{18} - 10^{21} , vorzugsweise mit 5×10^{19} Dotierstoffatomen pro ccm erfolgen. Nach Möglichkeit sollte die Dosis bei der Gegendotierung etwa zwei Größenordnungen größer sein als im vordotierten Substrat.

Die Strukturierung des lichtemittierenden Bauteils erfolgt zweckmäßigerweise dadurch, daß bei der fokussierten Ionenimplantation eine vorgegebene (Loch-)Maske, die sich im Ionenstrahl befindet, mittels einer Ionenoptik auf die Halbleiteroberfläche abgebildet wird. Durch das Abbildungsverfahren lassen sich die durch die Maske vorgegebenen Strukturen stark verkleinert abbilden. Es ist ionenoptisch ohne weiteres möglich, das Ionenstrahlbündel in wenigstens einer Richtung senkrecht zur Strahlrichtung auf 0,01 Mikrometer-10,0 Mikrometer zu fokussieren. Vorteilhafterweise ergeben sich so auch für die erfindungsgemäß hergestellten leuchtenden Strukturen Dimensionen, die mit den Strukturen der modernen Großintegrationstechnologien kompatibel sind.

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens wird im folgenden anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: einen schematischen Querschnitt eines erfindungsgemäß hergestellten leuchtenden Bauelements;

Fig. 2: Halbleiteroberfläche in verschiedenen Stadien bei der erfindungsgemäßen Herstellung einer lichtemittierenden Struktur.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen n-dotierten Si-

litziumkristall **1**, in dem nach dem erfindungsgemäßen Verfahren eine p-dotierte Zone **2** erzeugt wurde. Der npn-Übergang setzt sich zusammen aus einem n-Gebiet **3**, einem p-Gebiet **2** und einem n-Gebiet **4**. Die Abbildung zeigt ortsfeste Donatoren **5** und Akzeptoren **6**, sowie bewegliche Ladungsträger in Form von Löchern **7** und Elektronen **8**. In den Übergangsbereichen der npn-Struktur ergeben sich Zonen **9** und **10**, die an Ladungsträgern verarmt sind. Legt man über den n-Gebieten **3** und **4** eine Spannung an, so befindet sich abhängig von der Polung einer der Übergänge **9** bzw. **10** in Sperrichtung und der jeweils andere in Durchlaßrichtung. Es kommt zur Lichtemission, wenn durch den in Sperrichtung befindlichen Übergang ein Durchbruchstrom fließt.

Die Fig. 2 illustriert die Herstellung eines lichtemittierenden Bauelementes nach dem erfindungsgemäßen Verfahren. Das Ausgangsmaterial, das in Fig. 2A dargestellt ist, ist kommerziell erhältliches, p-dotiertes Silizium, das als makroskopische, einkristalline Scheibe **11** (Wafer) vorliegt.

Der erste Verfahrensschritt (Fig. 2B) besteht darin, daß eine oberflächennahe Schicht **12** von etwa 50 bis 500 Nanometern Dicke vom Substrat elektrisch separiert wird. Dies erfolgt entweder durch eine Isolatorschicht oder – wie hier gezeigt – durch einen pn-Übergang. Es wird also eine Dotierung der oberflächennahen Siliziumschicht durch Implantation mit einem n-Typ-Dotierstoff, z. B. mit 10^{17} Atomen Arsen pro ccm, durchgeführt.

Im nächsten Schritt (Fig. 2C) wird ein lateral begrenzter Bereich (Mesa) mit einer Größe von wenigen Mikrometern bis zu einigen Millimetern erzeugt. Dies geschieht dadurch, daß auf die n-dotierte Schicht **12** photolithografisch eine Maskierung **13** aufgebracht wird. Das nicht von der Maske bedeckte n-Typ-Silizium wird durch Plasmaätzen entfernt.

In Fig. 2D wurde die Maskierungsschicht **13** entfernt und eine neue Maske **14** aufgebracht, die die Endbereiche der zuvor erzeugten Mesa freiläßt. Durch diese Fenster **15** erfolgt eine oberflächennahe Hochdosis-Implantation von Arsen, z. B. mit 5×10^{20} Atomen pro ccm. Danach läßt man ein geeignetes Metall (z. B. Kobalt) zur Silizidbildung eindiffundieren. Auf diese Weise entsteht ein zur Kontaktierung geeigneter Metall-Halbleiterübergang, über den das lichtemittierende Bauteil später mit Strom versorgt werden kann.

Die Fig. 2E zeigt das Bauelement nach Entfernen der Maskierungsschicht **14**. Zu sehen ist ein n-dotierter Bereich **16**, der an seinen Enden Kontaktbereiche **17** und **18** aufweist.

In Fig. 2F wird nun erfindungsgemäß mittels eines fokussierten Ionenstrahls **19** eine p-dotierte, linienartige Struktur **20** erzeugt, die so tief in die präparierte oberflächennahe Siliziumschicht hineinreicht, daß die beiden benachbarten n-leitenden Bereiche **21** und **22** vollständig voneinander separiert sind. Die Implantation erfolgt beispielsweise mit 10^{19} Boratomen pro ccm. Dabei wird der Ionenstrahl **19** auf etwa 0,01 Mikrometer bis 10 Mikrometer fokussiert. Die linienartige Struktur entsteht entweder durch Ablenkung des Ionenstrahls oder durch ionenoptische Abbildung einer entsprechenden Maske. Bei Anlegen einer Spannung an den Kontaktstellen **17** und **18** kommt es zu einer ebenfalls linienartigen Lichtemission entlang des pn-Übergangs **20**, **21** oder **20**, **22**.

net, daß durch die Gegendotierung die Ladungsträgerdichte des vordotierten Siliziumsubstrats überkompensiert wird.

3. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ionenstrahlbündel in wenigstens einer Richtung senkrecht zur Strahlrichtung auf 0,01 Mikrometer bis 10,0 Mikrometer fokussiert wird.

4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die fokussierte Ionenimplantation in einem lateral begrenzten Bereich auf der Halbleiteroberfläche erfolgt, der auf dem vordotierten Siliziumsubstrat durch einen Maskierungsschritt mit anschließendem naß- oder trockenchemischem Ätzen präpariert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß in der Peripherie des lateral begrenzten Bereiches Metall-Halbleiterübergänge zur Kontaktierung erzeugt werden.

6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Siliziumsubstrat mit 10^{16} bis 10^{19} , vorzugsweise mit 5×10^{17} Dotierstoffatomen pro ccm vordotiert ist.

7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegendotierung mit 10^{18} bis 10^{21} , vorzugsweise mit 5×10^{19} Dotierstoffatomen pro ccm erfolgt.

8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei der fokussierten Ionenimplantation eine (Loch-)Maske mittels einer Ionenoptik auf die Halbleiteroberfläche abgebildet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von lichtemittierenden Strukturen in Silizium, **dadurch gekennzeichnet**, daß räumlich begrenzte Bereiche eines vordotierten Siliziumsubstrats durch fokussierte Ionenimplantation gegendotiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- Leerseite -

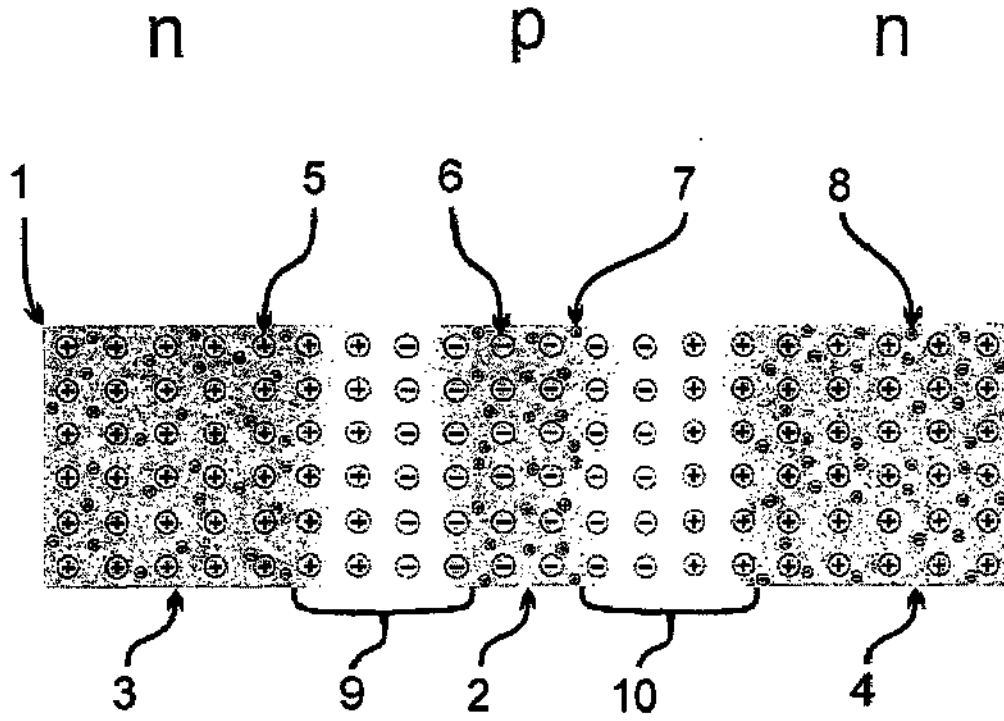


Fig. 1

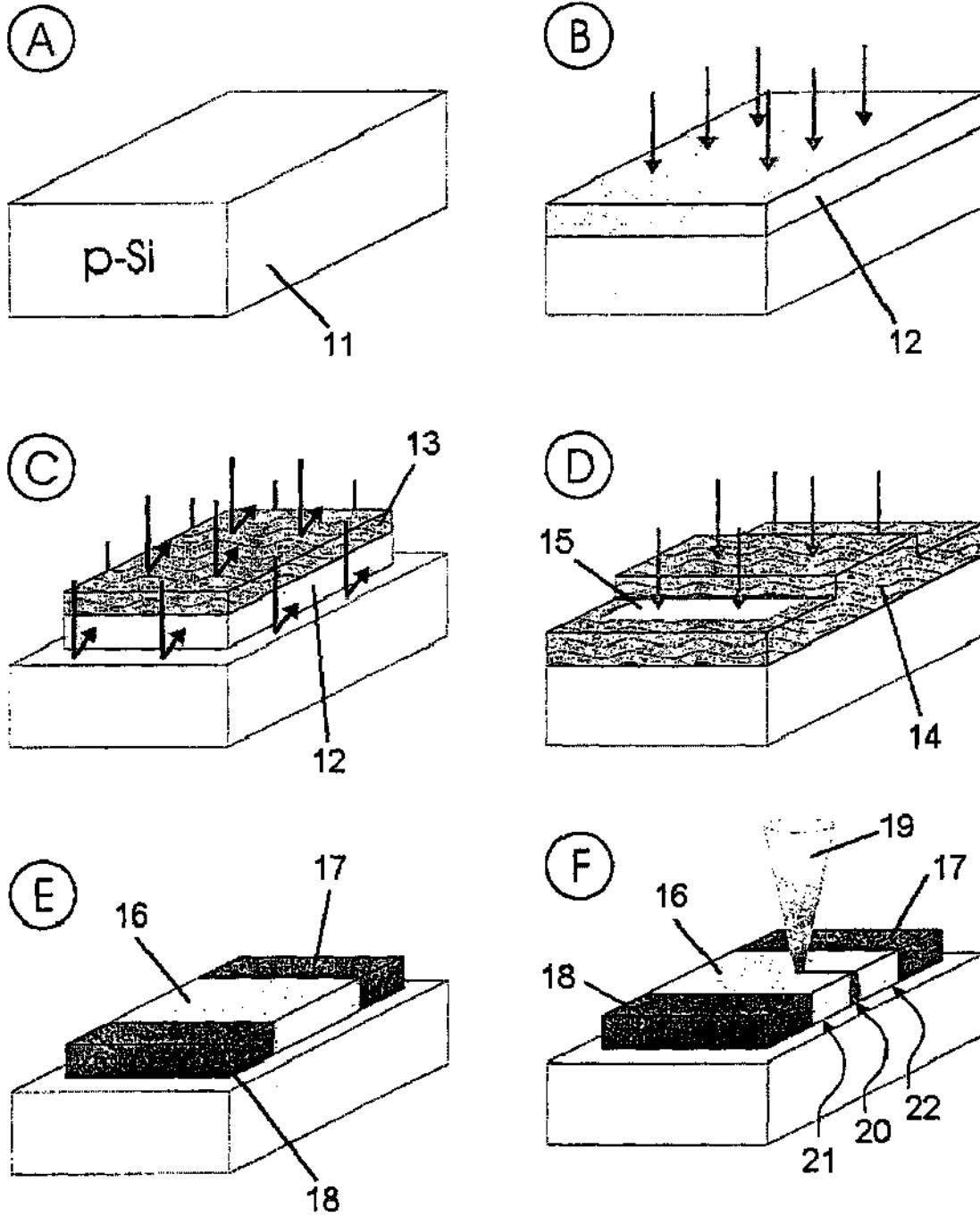


Fig. 2