

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 41 725 A1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 21/265**  
C 23 C 14/48

⑳1 Aktenzeichen: 197 41 725.6  
⑳2 Anmeldetag: 22. 9. 97  
⑳3 Offenlegungstag: 25. 3. 99

⑦1 Anmelder:  
Forschungszentrum Rossendorf eV, 01474  
Schönfeld-Weißig, DE

⑦2 Erfinder:  
Heera, Viton, 01279 Dresden, DE; Skorupa,  
Wolfgang, Dr., 01478 Weixdorf, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DD 63 253  
RAO, Mulpuri, GRIFFITHS, Peter: AI and B ion-  
implantations in 6H- and 3C-SiC. In: J. Appl.  
Phys. 77 (6), 15. March 1995, S.2479-2485;  
JP 3-150360 A., In: Patents Abstracts of Japan,  
C-869, Sep. 19, 1991, Vol.1 5, No.373;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren zur Erzeugung einer dotierten Schicht in Siliziumkarbid

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dotierung von Halbleiterbauelementen, deren Substrat aus Siliziumkarbid besteht.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, in Siliziumkarbid-Substraten p-leitende Schichten herzustellen, deren Schichtwiderstand kleiner als 10 k $\Omega$ /Quadrat ist und in denen die Löcherbeweglichkeit größer als 10 cm<sup>2</sup>/Vs ist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zusätzlich zu den Akzeptor-Ionen Kohlenstoff-Ionen in einer Konzentration von mehr als 5 Atom% implantiert werden. Dabei können die Kohlenstoff-Ionen vor, während oder nach dem Einbringen der Akzeptor-Ionen implantiert werden. In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt eine Ausheilung der Schicht mit mindestens 500 °C. Die Implantationsdosis kann auch in mehreren Teilschritten eingebracht werden. Die Ausheilung soll dann nach jedem Teilschritt erfolgen.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft die Dotierung von Halbleiterbauelementen, deren Substrat aus Siliziumkarbid besteht.

Es ist allgemein bekannt, daß in Siliziumkarbid eine n-Dotierung im wesentlichen problemlos realisierbar ist, die p-Dotierung aber nicht mit einer zufriedenstellenden elektrischen Aktivierung einhergeht.

Es wurde bereits vorgeschlagen, die p-Dotierung mit Aluminium durch Koimplantation mit Kohlenstoff bis zu einer relativen Atomkonzentration von 0,5 Atom-% zu verbessern (M.V.Rao et al, Al,Al/C and Al/Si Implantations in 6H-SiC, Journal of Electronic Materials 25 (1996) 75). Die Ausführung des Vorschlags brachte keine Verbesserung der p-Leitfähigkeit.

Eine p-Dotierung mittels Aluminium und Koimplantation von Kohlenstoff bis zu 2 Atom-% führte zur Verbesserung der Leitfähigkeit der dotierten Schicht (K.Tone, S.R.Weiner, J. H. Zhao, Electrical Characterization of P-Type 6H-SiC Layers Created By C and Al Co-Implantation; International Conference on Silicon Carbide, III-nitrides and Related Materials – 1997, Stockholm, Aug. 31–Sep. 5). Der erreichte Schichtwiderstand von etwa  $10 \text{ k}\Omega / \square$  und die Löcherbeweglichkeit von  $1,6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  sind für die meisten Anwendungen jedoch unzureichend. Weiterhin ist es bekannt, die Koimplantation mit Kohlenstoff bis zu relativen Atomkonzentrationen von  $10^{-3}$  Atom-% durchzuführen, um die Aktivierung von Bor durch die Vermeidung von tiefen Störstellen (D-Zentren) zu verbessern (T. Frank et al, Incorporation of the D-Center in SiC controlled either by B/Si- and B/C-Coimplantation or by Site-Competition-Epitaxy; International Conference on Silicon Carbide, III-nitrides and Related Materials – 1997, Stockholm, Aug. 31–Sep. 5). Die dabei erreichten elektrischen Schichten sind jedoch weiterhin unbefriedigend. Außerdem ist es bekannt, daß Bor in Diamantschichten zu einer guten p-Leitfähigkeit führt (R. Kalish, Ion-implantation in diamond and diamond films: doping, damage effects and their applications, Applied Surface Science 117/118 (1997) 558). Da die n-Dotierung von Diamantschichten nicht gelingt, ist die Herstellung von Bauelementen auf der Basis von pn-Übergängen nicht möglich. Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, in Siliziumkarbid-Substraten p-leitende Schichten herzustellen, deren Schichtwiderstand kleiner als  $10 \text{ k}\Omega / \square$  ist und in denen die Löcherbeweglichkeit größer als  $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  ist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zusätzlich zu den Akzeptor-Ionen Kohlenstoff-Ionen in einer Konzentration von mehr als 5 Atom-% implantiert werden. Dabei können die Kohlenstoff-Ionen vor, während oder nach dem Einbringen der Akzeptor-Ionen implantiert werden. Die Kohlenstoff-Ionen können sowohl in den oberflächennahen, als auch in einen vergrabenen Bereich implantiert werden. Die Implantation soll bei mindestens  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  vorgenommen werden. Vorteilhaft ist eine nachfolgende Ausheilung der Schicht bei Temperaturen von mindestens  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zur Vermeidung irreversibler Implantationsschäden kann die Implantationsdosis auch in mehreren Teilschritten eingebracht werden, dann sollte die Ausheilung auch nach jedem Teilschritt erfolgen.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung sind insbesondere darin zu sehen, daß durch das Einbringen hoher Kohlenstoffkonzentrationen von  $> 5$  Atom-% in SiC die Ausbildung von diamantähnlichen Schichten bzw. Bereichen mit hohem Anteil von  $\text{sp}^3$ -C-C-Bindungen erfolgt, in dem eine p-Dotierung leicht möglich und die Löcherbeweglichkeit sehr hoch ist. Weiterhin vergrößert sich die elektronische Bandlücke in der Schicht mit wachsendem Kohlenstoffanteil. Damit ergibt sich ein weiterer Vorzug bei der

Anwendung der Erfindung, der darin besteht, daß die vorteilhaften Eigenschaften von Halbleitern mit großer Bandlücke und von Hetero-pn-Lbergängen in einfacher und der Mikroelektroniktechnologie adäquaten Weise kombiniert werden können.

Die Erfindung wird nachfolgend an drei Ausführungsbeispielen näher erläutert:

## Ausführungsbeispiel 1

Eine homoepitaktische n-leitende 4H-SiC-Schicht auf einem SiC-Substrat wird in einem Flächenbereich von  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  bei einer Temperatur von  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  mit Kohlenstoff-Ionen mit einer Ionenenergie von  $30 \text{ keV}$  und einer Ionendosis von  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  und anschließend mit Bor-Ionen mit einer Ionenenergie von  $30 \text{ keV}$  und einer Ionendosis von  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  zur p-Dotierung implantiert. Das Material wird 10 Minuten bei etwa  $1700 \text{ }^\circ\text{C}$  ausgeheilt. Es hat sich mit diesen Maßnahmen im implantierten Bereich eine etwa  $40 \text{ nm}$  dicke p-dotierte  $\text{Si}_{0,25}\text{C}_{0,75}$ -Schicht mit einem Hetero-pn-Übergang zur n-SiC-Schicht gebildet.

## Ausführungsbeispiel 2

Eine heteroepitaktische n-leitende 3C-SiC-Schicht mit einer Mindestdicke von  $1 \text{ }\mu\text{m}$  auf einem Si-Substrat wird in einem Flächenbereich von  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  bei einer Temperatur von  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  in 10 Schritten mit Kohlenstoff-Ionen mit einer Implantationsenergie von  $20 \text{ keV}$  und jeweils einer Ionendosis von  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und anschließend mit Aluminium-Ionen mit einer Ionenenergie von  $50 \text{ keV}$  und einer Ionendosis von  $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  zur p-Dotierung implantiert. Nach jedem Implantationsschritt erfolgt eine Ausheilung der Probe für 15 Minuten bei  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Es bildet sich im implantierten Bereich eine etwa  $30 \text{ nm}$  dicke p-dotierte  $\text{Si}_{0,45}\text{C}_{0,55}$ -Schicht mit einem Hetero-pn-Übergang zur n-SiC-Schicht.

## Ausführungsbeispiel 3

In ein n-leitendes 6H-SiC-Substrat werden in einem Flächenbereich von  $5 \times 5 \text{ mm}^2$  bei einer Temperatur von  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  mittels 3fach-Implantation Borionen zur p-Dotierung implantiert:

- Implantation 1 :  $1 \text{ MeV}$ ,  $2,5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ,
- Implantation 2 :  $2 \text{ MeV}$ ,  $2,8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ,
- Implantation 3 :  $3 \text{ MeV}$ ,  $3,1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$

und anschließend Kohlenstoffionen:

- Implantation 1 :  $1 \text{ MeV}$ ,  $2,5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ ,
- Implantation 2 :  $2 \text{ MeV}$ ,  $2,8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ ,
- Implantation 3 :  $3 \text{ MeV}$ ,  $3,1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ .

Nach der Ausheilung der Probe für 30 Minuten bei  $1700 \text{ }^\circ\text{C}$  bildet sich im implantierten Bereich eine etwa  $1 \text{ }\mu\text{m}$  unter der Substratoberfläche vergrabene  $2 \text{ }\mu\text{m}$  dicke p-dotierte  $\text{Si}_{0,40}\text{C}_{0,60}$ -Schicht mit einem Hetero-pn-Übergang zum n-SiC-Substrat.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung einer dotierten Schicht in Siliziumkarbid, bei dem Akzeptor-Atome eingebracht werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß zusätzlich Kohlenstoff-Ionen in einer Konzentration von mehr als 5 Atom-% implantiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet

net, daß die Kohlenstoff-Ionen vor dem Einbringen der Akzeptor-Atome implantiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoff-Ionen zusammen mit den Akzeptor-Ionen implantiert werden. 5

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoff-Ionen nach dem Einbringen der Akzeptor-Atome implantiert werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoff-Ionen in den oberflächennahen Bereich implantiert werden. 10

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoff-Ionen in einen vergrabenen Bereich implantiert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kohlenstoff-Implantation bei Temperaturen von mehr als 200 °C erfolgt. 15

8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß nach der Kohlenstoff-Implantation eine Ausheilung der Schicht bei Temperaturen von mehr als 500 °C vorgenommen wird. 20

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Implantationsdosis in mehreren Teilschritten eingebracht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausheilung nach jedem Teilschritt erfolgt. 25

30

35

40

45

50

55

60

65