

⑲ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 30 083 A1**

⑤① Int. Cl.⁶:
C 23 C 14/48

⑳ Aktenzeichen: 197 30 083.9
㉑ Anmeldetag: 14. 7. 97
㉒ Offenlegungstag: 21. 1. 99

⑦① Anmelder:

Forschungszentrum Rossendorf eV, 01474
Schönfeld-Weißig, DE

⑦② Erfinder:

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

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

DE	195 05 720 C1
US	56 09 926
US	53 54 584
US	52 34 724

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur gezielten Herstellung von n-leitenden Bereichen in Diamantschichten mittels Ionenimplantation

⑤⑦ Die Erfindung betrifft die Herstellung von Halbleiterbauelementen aus Diamanten, Diamantschichten und diamantähnlichen Schichten, die mittels Verfahren der Ionenimplantation dotiert werden und in die auch n-leitende Bereiche eingebracht werden.

Erfindungsgemäß wird zusätzlich zu den bekanntermaßen zur Dotierung verwendeten Elementen der fünften Hauptgruppe Silizium in den zu dotierenden lateralen und Tiefenbereich in einer Konzentration von mehr als 0,1 Atom% implantiert.

Dabei kann das Silizium vor oder nach dem Einbringen der Elemente der fünften Hauptgruppe in das Diamantsubstrat oder in einem Prozessschritt mit diesen zusammen implantiert werden. Bei einer Siliziumimplantation nach dem Einbringen der Ionen der Elemente der fünften Hauptgruppe kann die Ausheilung nach jeder oder nur einmal nach der zweiten Implantation erfolgen.

Die Erfindung betrifft die Herstellung von Halbleiterbauelementen aus Diamanten, Diamantschichten und diamantähnlichen Schichten, die mittels Verfahren der Ionenimplantation dotiert werden und in die auch n-leitende Bereiche eingebracht werden.

Aus der Halbleitertechnik ist allgemein bekannt, Silizium und Siliziumkarbid mit Elementen der 5. Hauptgruppe mittels Ionenimplantation zu dotieren und so n-leitende Bereiche herzustellen. Die Bemühungen, dieses Verfahren für die Dotierung von Diamanten einzusetzen, verliefen nicht erfolgreich. Auch Alternativverfahren zur Dotierung mit z. B. Lithium oder Natrium führten nicht zu einem befriedigenden Ergebnis (R. Kalish, Ion-implantation in diamond and diamond films: doping, damage effects and their applications, Applied Surface Science 117/118 (1997) 558).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine den jeweiligen Anforderungen an die n-Leitfähigkeit genügende Schicht in Diamanten, Diamantschichten und diamantähnlichen Schichten mittels Ionenimplantation zu gewährleisten.

Ansatzpunkt der Erfindung sind Diamanten, Diamantschichten und diamantähnliche Schichten, in die mittels Ionenimplantation Elemente der fünften Hauptgruppe eingebracht werden und die ausgeheilt werden. Erfindungsgemäß wird nun zusätzlich zu den Elementen der fünften Hauptgruppe Silizium in den zu dotierenden lateralen und Tiefenbereich in einer Konzentration von mehr als 0,1 Atom-% implantiert.

Dabei kann das Silizium vor oder nach dem Einbringen der Elemente der fünften Hauptgruppe in das Diamantsubstrat oder in einem Prozessschritt mit diesen implantiert werden. Bei einer Siliziumimplantation nach dem Einbringen der Ionen der Elemente der fünften Hauptgruppe kann die Ausheilung nach jeder oder nur einmal nach der zweiten Implantation erfolgen.

Die Vorzüge bei der Anwendung der Erfindung bestehen darin, daß durch die vollständige oder teilweise Umwandlung von Diamantbereichen in Siliziumcarbid die tiefen Donatorzustände des Stickstoffes ($E_c - 1.7$ eV) im Diamant zu flachen und damit elektrisch aktiven Donatorzuständen ($E_c - 0,08 \dots 0.14$ eV) werden. Außerdem werden die durch Implantationsschäden verursachten graphitischen Anteile im Diamant, die seine halbleitenden Eigenschaften verschlechtern, reduziert. Es entstehen aufgrund der unterschiedlichen Bandlücken Hetero-pn-Übergänge zwischen den $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ (3C-SiC: $E_g = 2.3$ eV) und Diamantbereichen ($E_g = 5.5$ eV), die gegenüber Homo-pn-Übergängen eine Reihe von Vorteilen aufweisen, wie z. B. eine geringere Elektronen-Loch-Rekombinationsrate. Damit können in Bauelementen eine höhere Stromverstärkung und eine höhere Grenzfrequenz erreicht werden.

Die Erfindung wird nachstehend an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Ausführungsbeispiel 1

Eine während des Abscheidens bordotierte p-leitende Diamantschicht mit einer Mindestdicke von $1 \mu\text{m}$ wird in einem Flächenbereich von $5 \times 5 \text{ mm}^2$ bei einer Temperatur von 600°C mit Siliziumionen (Ionenenergie 50 keV , Ionendosis $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$) zur Siliziumkarbid-Synthese und anschließend mit Stickstoffionen (Ionenenergie 20 keV , Ionendosis $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) zur n-Dotierung implantiert. Nach Ausheilung der Probe für 10 min bei 1700°C bildet sich im implantierten Bereich eine etwa 50 nm dicke n-dotierte Siliziumkarbid-Schicht mit einem Hetero-pn-Übergang zum Diamantsubstrat.

Ein natürlicher Diamant mit isolierenden Eigenschaften (Typ IIa) wird bei 1000°C zunächst mit Borionen (Ionenenergie 50 keV , Ionendosis $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), dann mit Stickstoffionen (Ionenenergie 30 keV , Ionendosis $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) und Siliziumionen (Ionenenergie 50 keV , Ionendosis $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$) implantiert. Nach Ausheilung der Probe für 10 min bei 1700°C bildet sich in einer Tiefe von etwa 50 nm ein pn-Übergang zwischen der teilweise in Siliziumkarbid umgewandelten n-leitenden Oberflächenschicht und der vergrabenen p-leitenden Schicht aus.

Patentansprüche

1. Verfahren zur gezielten Herstellung von n-leitenden Bereichen in Diamanten, Diamantschichten und diamantähnlichen Schichten, in die Ionen der Elemente der fünften Hauptgruppe mittels Ionenimplantation eingebracht werden und bei denen das Diamant-Substrat ausgeheilt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß zusätzlich zu den Elementen der fünften Hauptgruppe Silizium in den zu dotierenden lateralen und Tiefenbereich in einer Konzentration von mehr als $0,1$ Atom-% implantiert und thermisch ausgeheilt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elemente der fünften Hauptgruppe und das Silizium nacheinander eingebracht werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elemente der fünften Hauptgruppe und das Silizium gemeinsam in einem Ionenimplantationsprozess eingebracht werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Ausheilung nach jeder Ionenimplantation durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Ausheilung nach der zweiten Ionenimplantation vorgenommen wird.