



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Int. Cl.³: H 01 L 21/265

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



PATENTSCHRIFT A5

(11)

623 685

<p>(21) Gesuchsnummer: 13829/77</p> <p>(22) Anmeldungsdatum: 14.11.1977</p> <p>(30) Priorität(en): 06.12.1976 US 748035</p> <p>(24) Patent erteilt: 15.06.1981</p> <p>(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.06.1981</p>	<p>(73) Inhaber: International Business Machines Corporation, Armonk/NY (US)</p> <p>(72) Erfinder: Siegfried Reinhard Mader, Croton-on Hudson/NY (US) Burton Joseph Masters, Poughkeepsie/NY (US) Hans Bernhard Pogge, Hopewell Junction/NY (US)</p> <p>(74) Vertreter: Dr.-Ing. Otto H. Schröder, c/o IBM Corp., Rüschlikon</p>
---	--

(54) Verfahren zur Herstellung von Silicium-Halbleitervorrichtungen durch Ionenbeschuss.

(57) In Silicium-Halbleitervorrichtungen werden N-leitende Zonen durch Dotierung mit Arsen erzeugt. Wenn die Arsenkonzentration im Silicium hoch ist, z.B. grösser als ein Prozent, entstehen infolge der Gitterversetzungen im Kristall Spannungen. Durch Zufügung von Germanium-Atomen werden die Versetzungen vermindert und die Spannungen ausgeglichen. Das Arsen und das Germanium werden durch Ionenbeschuss in das Silicium eingebracht.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung von Silicium-Halbleitervorrichtungen durch Ionenbeschuss, wobei Arsen in einer Konzentration von mehr als einem Prozent im Silicium eingebracht wird, gekennzeichnet durch zusätzliches Einbringen von Germanium.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Germaniumkonzentration etwa ein Zehntel der Arsenkonzentration beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Arsen und Germanium in eine epitaktische Siliciumschicht eingebracht werden.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Silicium-Halbleitervorrichtungen durch Ionenbeschuss, wobei Arsen in einer Konzentration von mehr als einem Prozent im Silicium eingebracht wird. Das Verfahren eignet sich besonders zur Herstellung von integrierten Schaltungen.

Es ist seit langem bekannt, dass die Einführung leitfähigkeitsbestimmender Verunreinigungen in Silicium, wie Phosphor oder Bor, deren Atomradien kleiner sind als die des Siliciums, Gitterversetzungen erzeugt. Dadurch wird die Leitfähigkeit von Halbleitervorrichtungen, namentlich von integrierten Schaltungen, die aus dem Material bestehen, beeinträchtigt. Der Artikel «Strain Compensation in Silicon by Diffused Impurities» von T.H. Yeh et al., J. Electrochem Soc.: Solid State Science, January 1969, behandelt die Einführung von Verunreinigungen durch thermische Diffusion und stellt fest, dass bei der Diffusion von Bor oder Phosphor, deren Atomabstände oder Atomradien wesentlich von denen des Siliciums abweichen, Fehlanpassungen im Siliciumkristallgitter entstehen und dadurch Spannungen erzeugt werden, die Versetzungen hervorrufen. J. R. Carruthers et al. in «X-Ray Investigation of the Perfection of Silicon», Journal of Applied Physics, Vol. 34, No. 11, November 1969, Seiten 3389–3393, definierten ein solches Fehlanpassungsverhältnis $\Gamma = \frac{r_i}{r_{Si}}$, wobei r_i der Atomabstand des Dotierungsatoms und r_{Si} derjenige des Siliciumatoms ist. Phosphor hat ein Fehlanpassungsverhältnis von 0,932, Bor ein noch schlechteres von 0,746. Ebenfalls angegeben wird dort aber, dass für Arsen nahezu $\Gamma = 1,000$ ist. Dieses Verhältnis deutet auf so gut wie vollständige Übereinstimmung, und Arsen sollte demgemäss keine Spannungen erzeugen, wenn es als Dotierung in Silicium verwendet wird, ibidem, Seiten 3392–3393.

Weiterhin wurde von Yeh et al. festgestellt, dass Versetzungen in Silicium, die durch diffundiertes Bor oder Phosphor hervorgerufen werden, kompensiert werden können durch die Einführung inerte, d. h. nicht leitfähigkeitsbestimmender Ionen wie z. B. Zinn oder Germanium. Im Hinblick auf die Feststellung von Carruthers et al., dass sowohl Bor als auch Phosphor wesentlich kleinere Atomradien haben als Silicium, stellt Yeh et al. fest, dass die Zinn- oder Germaniumatome, deren Atomradien grösser als die des Siliciums sind, Fehlanpassung im entgegengesetzten Sinn hervorrufen. Dies führt zu einem Ausgleich, der eine wesentliche Reduzierung der Spannungen und Versetzungen bewirkt.

Später wurde die Einführung von leitfähigkeitsbestimmenden Dotierungsstoffen in Silicium durch Ionenbeschuss entwickelt. Dabei wurde festgestellt, dass dasselbe Versetzungsproblem bei der Bildung von Substratzonen durch den Ionenbeschuss von Silicium mittels Phosphoratomen auftritt, vgl. N. Yorhihiro et al., «Ion Implantation in Semiconductors», Proceeding of the 4th International Conference on Ion Implantation, edited by S. Namba, Plenum Press, 1975, Seiten

571–576. Auch diese Autoren stellten fest, dass die Fehlanpassung beseitigt werden kann, wenn gleichzeitig mit Phosphor auch Germaniumionen in das Silicium eingeschossen werden.

Im Stand der Technik wurde jedoch nicht erkannt, dass Germanium auch in mit Arsen dotierte Siliciumzonen eingeführt werden kann. Offenbar war angenommen worden, dass, wie Carruthers et al. darlegten, es nicht sinnvoll ist, Germanium in arsendotiertes Silicium einzubringen, weil der Atomradius des Arsens dem des Siliciums sehr ähnlich ist.

Überraschenderweise wurde jedoch festgestellt, dass bei hohen Arsenkonzentrationen, wie sie durch Ionenbeschuss hergestellt werden können, Fehlstellen im Silicium auftreten, die die Wirkung integrierter Schaltungen besonders dann beeinflussen, wenn diese eine hohe Packungsdichte aufweisen. Obwohl der Atomradius des Arsens dem des Siliciums sehr ähnlich ist, so dass der Unterschied bisher als vernachlässigbar angesehen wurde, wurde festgestellt, dass bei Arsenkonzentrationen oberhalb einem Prozent im Substrat die Versetzungen durch einen Zusatz von Germanium im arsendotierten Silicium wesentlich reduziert werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, mit dessen Hilfe Silicium-Halbleitervorrichtungen hergestellt werden können, bei denen die schädlichen Versetzungen vermieden oder zumindest stark reduziert werden. Dies wird durch das erfindungsgemässe Verfahren erreicht, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass neben dem Arsen zusätzlich Germanium eingebracht wird.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen im einzelnen erläutert. Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1–4 schematische Querschnitte von Teilen einer integrierten Schaltung bei verschiedenen Herstellungsschritten;

Fig. 5 eine Elektronenmikrografische Aufnahme der Oberfläche einer nur mit Arsen dotierten Siliciumzone;

Fig. 5A eine Elektronenmikrografische Aufnahme der Oberfläche einer Siliciumzone, die mit Arsen und Germanium dotiert ist.

Mit Bezug auf Fig. 1–4 wird nun ein Beispiel der Erfindung beschrieben, bei dem eine N-Zone, z. B. ein Emittor oder Subkollector, in einem Bipolartransistor einer integrierten Schaltung hergestellt wird. In Fig. 1 ist 10 ein Siliciumsubstrat, dessen P-Leitfähigkeit im Bereich von 8,5–20 Ωcm liegt. Das Substrat wird durch eine Isolationsschicht 11 maskiert, die 1000 bis 2000 \AA dick ist. Die Schicht kann aus Siliciumdioxid bestehen, das auf bekannte Art mittels thermischer Oxidation hergestellt ist. Natürlich kommen andere Materialien wie Siliciumnitrid, Aluminiumoxyd oder Siliciumoxynitrid in Frage, die durch Niederschlag aus der Dampfphase, im Kathodensprühverfahren oder auf andere bekannte Weise, niederschlagen sein können.

In der Schicht 11 wird durch bekannte Fotomaskierung und Ätzung eine Öffnung 12 hergestellt. In der Öffnung 12 wird durch Einführung von Arsenionen $^{75}\text{As}^+$ eine N-leitende Zone 13 erzeugt. Das Arsen wird durch bekannten Ionenbeschuss eingeführt, wie z. B. im USA-Patent 3 756 862 beschrieben. Der Ionenstrahl wird mit einer Dosierung von 2×10^{16} Ionen/ cm^2 auf das Substrat gerichtet, wobei bei einer Spannung von 80 keV gearbeitet wird. Die Energie soll so gross sein, dass die Ionen bis in eine Tiefe von 0,1 μm in das Substrat eindringen.

Gemäss Fig. 2 werden dann auf dieselbe Art Germaniumionen $^{74}\text{Ge}^+$ in die arsendotierte Zone 13 eingeschossen. Die Dosierung beträgt 2×10^{15} Ionen/ cm^2 bei einer Spannung von 75 keV.

Gemäss Fig. 3 wird darauf in der Öffnung eine 300–500 \AA dicke Siliciumdioxidschicht 14 durch Niederschlag aus der Dampfphase erzeugt.

Im nächsten Schritt wird die Vorrichtung während etwa einer Stunde bei 1000° C in einer Stickstoffatmosphäre getem-

pert, wodurch sich die N-Zone 13 in die Tiefe des Substrats ausdehnt.

Wenn der Beschuss mit Germaniumionen gemäss Fig. 2 weggelassen wird, weisen die arsendotierten Zonen 13, deren Arsenkonzentration, wie gesagt, etwa ein Prozent im Substrat beträgt, eine grosse Anzahl von Versetzungen auf. Wird jedoch, wie beschrieben, Germanium beigefügt, so sind kaum noch Versetzungen festzustellen. Der Vorteil der Germaniumbeifügung ist in den Durchsichtelektronenmikroskop-Aufnahmen in Fig. 5 und 5A ersichtlich. Die Objekte wurden hergestellt durch Ätzen von der Rückseite. Dazu wurde das Substrat mit einer Lösung von einem Teil Flusssäure in neun Teilen Salpetersäure so lange geätzt, bis eine durchscheinende, etwa

2000–3000 Å dicke Schicht in den dotierten Zonen stehen blieb. Die Aufnahmen wurden durch die dotierten Oberflächen mittels eines Philips Elektronenmikroskops «EM 301» hergestellt.

5 Fig. 5 zeigt eine Siliciumzone, die nur mit Arsen dotiert ist. Es sind zahlreiche Versetzungen zu erkennen. Fig. 5A zeigt eine Siliciumzone, die mit Arsen und Germanium dotiert ist. Hier sind kaum Versetzungen vorhanden.

10 In einem weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispiel wird die N-leitende, mit Arsen und Germanium dotierte Zone in einer auf ein Substrat aufgebrachten epitaktischen Schicht aus P-leitendem Silicium hergestellt.

FIG. 1

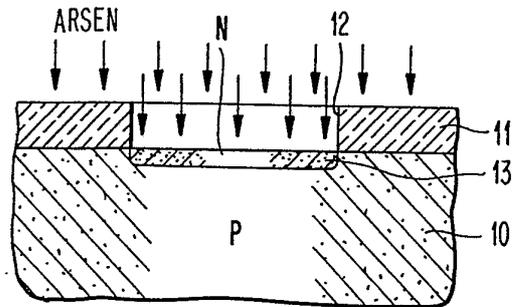


FIG. 2

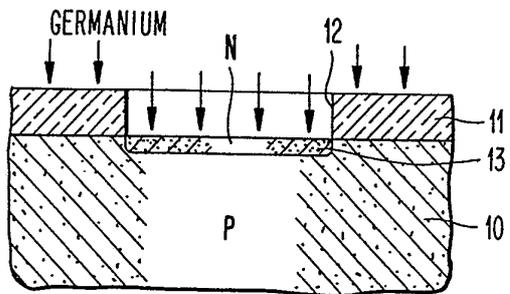


FIG. 3

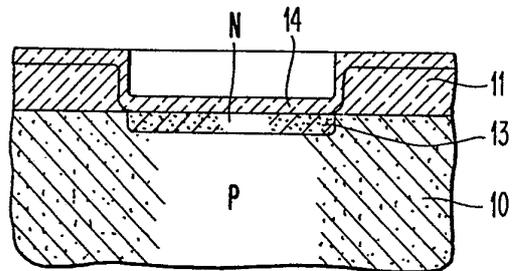
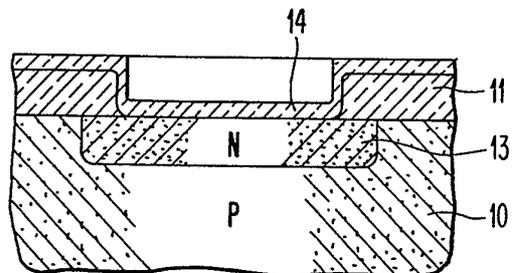


FIG. 4



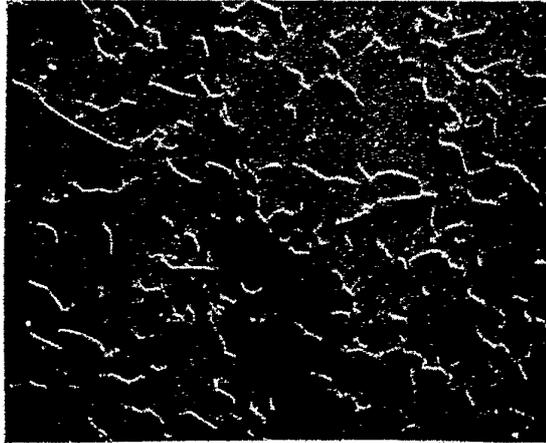


FIG. 5

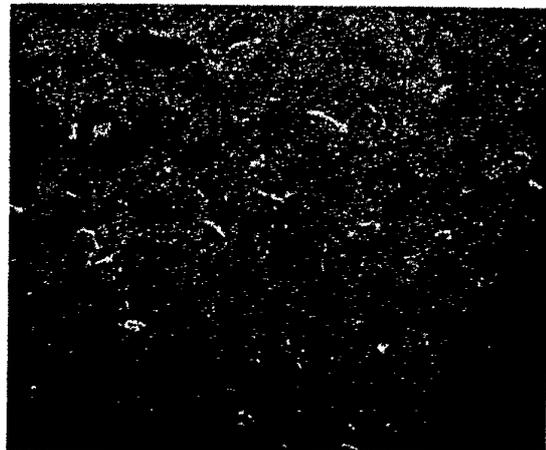


FIG. 5A