



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 235 008 A3

4(51) H 01 L 21/26

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP H 01 L / 243 676 8

(22) 30.09.82

(45) 23.04.86

(71) VEB Werk für Fernsehelektronik, 1160 Berlin, Ostendstraße 1-5, DD

(72) Kudella, Frank, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Heß, Helmut, Dr. sc. nat. Dipl.-Phys.; Finn, Thomas, Dipl.-Ing.; Maetzke, Eckhard, Dipl.-Ing.; Wirsig, Manfred, Dipl.-Phys.; Schreck, Hans-Joachim, Dipl.-Phys.; Kerkow, Hartmut, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DD

## (54) Verfahren zur Kristallisation oder Rekristallisation von Halbleiterschichten

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kristallisation oder Rekristallisation von durch Ionenimplantation geschädigten Halbleiterschichten und die Erzeugung von Kristallinen oder besser kristallinen Schichten aus amorphen oder polykristallinen Halbleiterschichten auf elektrisch leitenden oder isolierenden Unterlagen einkristalliner, polykristalliner oder amorpher Struktur. Ziel der Erfindung ist es, die Schaffung dieses Kristallisations- oder Rekristallisationsverfahrens und desweiteren eine gut reproduzierbare, lateral homogene Bearbeitung der zu behandelnden Proben zu sichern. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das zu rekristallisierende Material der Wirkung des heißen Gases oder Plasmas ausgesetzt wird, das durch schnelle mechanische Kompression erzeugt wird. Die Erfindung findet Anwendung in der Technologie der Mikroelektronik. Fig. 1

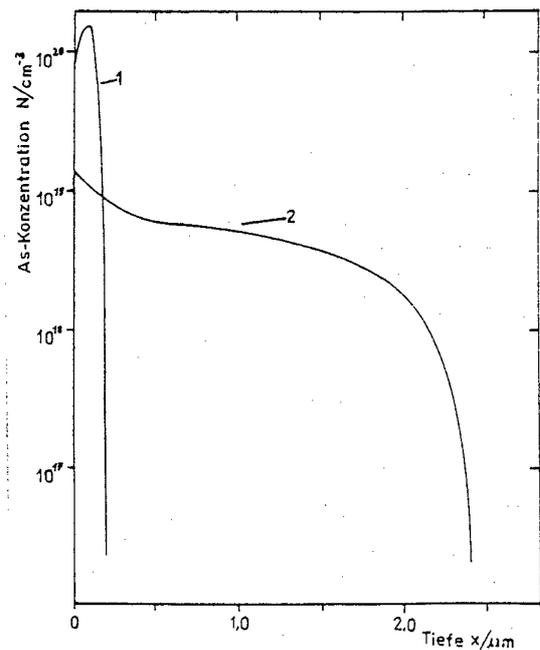


Fig. 1

### **Erfindungsanspruch:**

1. Verfahren zur Kristallisation oder Rekristallisation von Halbleiterschichten, **gekennzeichnet dadurch**, daß das zu rekristallisierende Material der Wirkung des heißen Gases oder Plasmas ausgesetzt wird, daß durch schnelle mechanische Kompression erzeugt wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß zur schnellen mechanischen Kompression eines Gases eine Kolben-Zylinder-Anordnung verwendet wird.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß ionenimplantierte Halbleiterschichten rekristallisiert werden.
4. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß amorphe oder polykristalline Schichten auf einkristallinen Substraten rekristallisiert werden.
5. Verfahren nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß amorphe oder polykristalline Schichten auf einer elektrisch isolierenden Unterlage rekristallisiert werden.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

### **Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kristallisation oder Rekristallisation von gestörten, beispielsweise von durch Ionenimplantation strahlengeschädigten Halbleiterschichten.

Die Erfindung betrifft weiterhin die Erzeugung von Kristallinen oder besser kristallinen Schichten aus amorphen oder polykristallinen Halbleiterschichten auf elektrisch leitenden oder isolierenden Unterlagen einkristalliner, polykristalliner oder amorpher Struktur. Die Erfindung findet Anwendung in der Technologie der Mikroelektronik, speziell die Technologie von Solarzellen, die SOS-Technik, die Graphoepitaxie und die Behandlung von Polysiliziumschichten in der Technologie integrierter Schaltkreise.

### **Charakteristik der bekannten technischen Lösungen**

Voraussetzung für die Anwendung der Ionenimplantation als Dotierungstechnologie in der Mikroelektronik ist die Ausheilung der durch den Ionenbeschuß im Halbleitermaterial erzeugten Strahlenschäden. Weiterhin schließen moderne Technologien zunehmend die Umwandlung von amorphen Halbleiterschichten oder Schichten geringer Kristallinität in Schichten mit größeren Kristalliten oder bessere Kristallperfektion mit ein.

Hierzu sind folgende Verfahren bekannt (Semiconductor Int. Vol. 4 (1981) Nr. 11, S. 69-88 und S. 93-112):

- thermische Behandlung in Öfen
- Bestrahlung mit intensiven Licht aus Halogen- oder Entladungslampen
- Einstrahlung von Wärme aus Graphitheizern
- Bestrahlung mit Licht aus Hochleistungsblitzlampen
- Bestrahlung mit Elektronenstrahlen hoher Leistungsdichte
- Bestrahlung mit intensiven Laserlicht

Diese Verfahren gestalten bekanntlich bei geeigneter Wahl der Prozeßparameter eine mehr oder weniger gute Ausheilung von implantationsbedingten Strahlenschäden. Für spezielle Anwendungen ist eine Veränderung der Tiefenverteilung von implantierten Atomen während des Ausheilprozesses unerwünscht. Sie tritt bei den für die Ausheilung erforderlichen Temperaturen auf, wenn die Bearbeitungszeit einige Sekunden überschreitet. Diese Umverteilung tritt insbesondere bei der Ausheilung im Ofen auf, aber auch in geringem Maße bei der Ausheilung mit Graphitheizern, oder bei Verwendung von Halogen- und Entladungslampen. Die Umverteilung des Implantationsprofils läßt sich nur bei sehr kurzzeitigen Ausheilprozessen vermeiden, die bei Verwendung von Blitzlampen, Hochleistungslasern oder Elektronenstrahlen auftreten. Wesentlich ist, daß die intensive Bestrahlung der auszuheilenden Probe auf wenige Millisekunden beschränkt bleibt. Nachteilig an Blitz- und Entladungslampen ist ihre geringe Lebensdauer und Alterung. So wird bereits nach kurzer Betriebsdauer ein Bedampfen der Lampenwände mit Elektrodenmaterial beobachtet, was zu einer veränderten Transmission durch die Lampenwandung führt. An der Verwendung von Laser- und Elektronenstrahlen zur Ausheilung ist nachteilig, daß sich über größere Strahlungsquerschnitte keine homogene Intensitätsverteilung erzielen läßt. Werden feinfokussierte Laser- oder Elektronenstrahlen eingesetzt, so kommt es in zur Auftreffstelle des Strahls benachbarten Gebieten bereits zu einer beträchtlichen Erwärmung, was zu Veränderungen in der zu bestrahlenden Schicht, z. B. im Falle von implantierten Schichten zu Bereichen mit unvollständig ausgeheilten Strahlenschäden führt, die sich bei nachfolgender direkter Bestrahlung nicht mehr beseitigen lassen.

Andere Anwendungen beinhalten ein kurzzeitiges Aufschmelzen der Halbleiteroberfläche bis in Tiefen von einigen  $\mu\text{m}$ . Hierzu werden bekanntlich Hochleistungslaser und Elektronenkanonen verwendet. Die Bestrahlung erfolgt zumeist in Impulsen mit einer Dauer kleiner  $1 \mu\text{s}$ . Im Falle ionenimplantierter einkristalliner Halbleitermaterialien wird zumeist eine außerordentlich gute Ausheilung der Strahlenschäden beobachtet. In der flüssigen Phase tritt eine drastische Umverteilung von Fremdatomen auf. Die entstehenden Fremdatomprofile werden durch komplizierte Diffusions- und Segregationsphänomene bestimmt.

### **Ziel der Erfindung**

Ziel der Erfindung ist es ein Verfahren zur Kristallisation oder Rekristallisation von strahlengeschädigten ionenimplantierten Halbleiterschichten oder zur Erzeugung kristalliner Schichten aus amorphen Schichten oder zur weiteren Kristallisation von polykristallinen Schichten, zu schaffen. Die Unterlagen dieser Schichten können einkristallin, polykristallin oder amorph sein. Weiterhin soll eine über Flächenbereiche in der Größenordnung von 1 bis zu einigen  $10\text{cm}^2$  gut reproduzierbare, lateral homogene Bearbeitung der zu behandelnden Proben erreicht werden. Durch eine hohe Variationsbreite der Verfahrensparameter ist die Anwendbarkeit des Verfahrens auf verschiedenste Materialien zu sichern.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren zur Kristallisation oder Rekristallisation von strahlengeschädigten ionenimplantierten Halbleiterschichten oder zur Erzeugung kristalliner Schichten aus amorphen Schichten oder zur weiteren Kristallisation von polykristallinen Schichten, zu entwickeln.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Kristallisation oder Rekristallisation durch Einwirkung von Strahlungs-, Wärme- und Druckimpulsen, die durch schnelle mechanische Kompression eines Gases erzeugt werden, auf die zu kristallisierende oder zu rekristallisierende Halbleiterschicht vollzogen wird. Zur Kompression des Gases wird keine Kolben-Zylinder-Anordnung, beispielsweise mit Kurbelwellenantrieb oder ein ballistischer Kompressor benutzt. Bei entsprechender Auslegung des Kompressors und der Ausgangsparameter, wie Anfangsdruck des Arbeitsgases und auf den Kolben übertragene Energiemenge, entsteht bei Kompression ein stark strahlendes, dichtes Plasma.

Bei ausreichend hoher Plasmadichte entsteht Plancksche Schwarzkörperstrahlung. Die Intensität und die Wellenlänge des Intensitätsmaximums können über die Parameter der Kompression eingestellt werden.

Durch Variation der Rohrlänge des Kompressors, der Kolbenenergie und des Anfangsdruckes des Arbeitsgases lassen sich Druck-, Strahlungs- und Wärmeimpulse in einem weiten Parameterbereich steuern. Prinzipiell sind Drücke bis oberhalb 1 GPa und Temperaturen bis etwa 20 000 K erreichbar. Die Halbwertszeiten der Druckimpulse werden im Bereich von etwa 10  $\mu$ s bis zu einigen ms variiert. Die mechanische Kompression des Arbeitsgases mit ballistischen Kompressor gewährleistet ein außerordentlich homogenes Plasma. Der Durchmesser der Strahlungsquelle entspricht dem Durchmesser des Kolbens. Bei geeigneter Auslegung des Kompressors können Flächen von einigen 10 cm<sup>2</sup> gleichzeitig homogen bestrahlt werden.

Von entscheidendem Einfluß auf die Wirkung des Plasmaimpulses auf das Bestrahlungsergebnis sind die Energiedichte und Dauer des Plasmaimpulses. Verteilt sich während des Plasmaimpulses die von der bestrahlten Probe aufgenommene Energie über die gesamte Dicke der genannten Probe, so erfolgt eine Rekristallisation implantierter strahlengeschädigter Schichten, oder die Kristallisation von amorphen oder polykristallinen Schichten nur in der festen Phase.

Für die Bearbeitung im Festphasenregime ist die Probe vorzugsweise mit schlechtem Wärmekontakt auf dem Halter anzubringen. Werden lateral strukturierte Mehrfachschichten auf Substraten bearbeitet, ist es zweckmäßig nicht die strukturierte Schichtfolge, sondern die nach Möglichkeit unstrukturierte Substratseite dem Plasma zuzuwenden. Der wirksame Wärmeimpuls auf die Schichtfolge hat zumeist eine Dauer von einigen 10 ms. Diese Zeit ist ausreichend kurz, um Änderungen von Dotierungs- und anderen Fremdatomprofilen weitgehend zu vermeiden.

Ist die Dauer einer intensiven Kompression so kurz, daß sich die von der dem Plasma zugewandten Oberfläche aufgenommene Energie während des Plasmaimpulses nicht mehr über die gesamte Dicke der bestrahlten Probe verteilt, sondern sich nur in einer dünnen Oberflächenschicht befindet, wird diese Schicht aufgeschmolzen.

In der Regel liegen die hierfür nötigen Impulsdauer unterhalb von einigen 100  $\mu$ s. Durch Variation von Kolbenenergie und Anfangsdruck der Kompression wird die Aufschmelztiefe variiert.

Charakteristisch für dieses Flüssigphasenregime ist gute Kristallperfektion und vielfach auch Überlöslichkeiten für Fremdatome. Dotierungs- und Fremdatomprofile werden durch Diffusion in der flüssigen Phase und Segregationsphänomene an der Grenzfläche zwischen flüssiger und fester Phase zumeist drastisch verändert.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens bestehen in der homogenen und gleichzeitigen Bearbeitung großer Flächen und der guten Steuerbarkeit und Reproduzierbarkeit der Prozeßparameter. Im Unterschied zu den bekannten Verfahren für den gleichen Einsatzzweck erfolgt die Kristallisation oder Rekristallisation von Halbleiterschichten durch gleichzeitige Energieübertragung auf die zu bearbeitende Probe durch Druck- und Strahlungsimpulse, sowie durch Wärmeleitung. Jedoch werden auch die Druck- und Wärmeleitungs-komponente des Impulses von der genannten Probe ferngehalten, wenn die Probe außerhalb des Kompressionsraumes vor einem Strahlungsaustrittsfenster gehalten wird.

## Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend am Beispiel der Flüssigphasenausheilung von arsenimplantierten Silizium beschrieben werden.

Eine mit einer Ionendosis von  $1 \times 10^{15}$  At/cm<sup>2</sup> Arsen mit einer Energie von 150 KeV implantierte einkristalline p-leitende Siliziumscheibe wird in einem ballistischen Kompressor auf der Innenfläche des Verschlusses befestigt.

Mit Argon als Arbeitsgas wird eine ballistische Kompression ausgeführt, wobei ein Maximaldruck von 125 MPa und eine

Impulshalbwertsbreite von 120  $\mu$ s erreicht werden. Die Wellenlänge des Intensitätsmaximum der Strahlung beträgt 405 nm.

Fig. 1 zeigt das implantierte Arsenprofil (Kurve 1) und das Arsenprofil nach der ballistischen Kompression (Kurve 2). Die Umverteilung des implantierten Arsens ist auf ein Aufschmelzen der bestrahlten Probenoberfläche bis in Tiefen von ca. 2,5  $\mu$ m zurückzuführen. Ein Verlust an Arsen durch Ausdampfen während der Kompression wird nicht beobachtet.

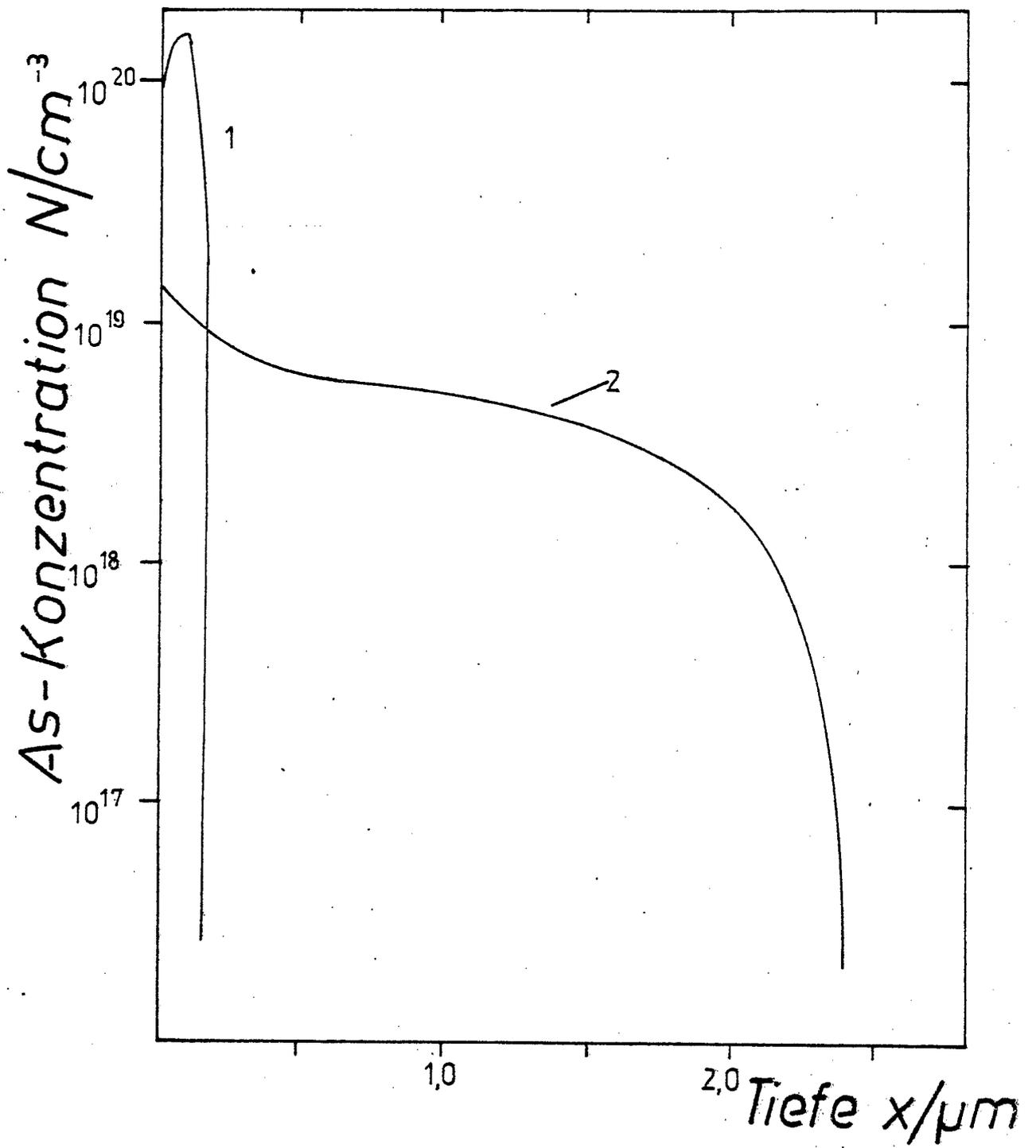


Fig. 1

90 SEP 19 87 \* 038188