DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

(12) **Wirtschaftspatent**

(19) **DD** (11) **234 529 A1**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) **H 01 L 21/268**
H 01 L 21/324

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP H 01 L / 273 013 8	(22)	04.02.85	(44)	02.04.86

(71) Ingenieurhochschule Mittweida, 9250 Mittweida, Platz der DSF 17, DD
(72) Lämmel, Bernd, Dr. paed. Dr.-Ing.; Ochlich, Hans-Michael, Dipl.-Ing.; Zscherpe, Gerhard, Prof. Dr. sc. nat., DD

(54) Verfahren zur Rekristallisation halbleitender Schichten auf dielektrischen Schichten

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Laserrekristallisation von amorphen bzw. polykristallinen Schichten auf dielektrischen Substraten mit dem Ziel, einkristalline und einheitlich orientierte Bereiche zu erzeugen, die sich zur Herstellung elektronischer Bauelemente eignen. Erfindungsgemäß wird dieses Verfahren durch die Superposition zweier Laserstrahlen mittels eines nach bekanntem physikalischem Prinzip arbeitenden optischen Bauelements realisiert und durch Abstandsänderung der einzelnen Laserflecke zueinander das thermische Profil auf und in der zu rekristallisierenden Schicht gesteuert, ohne irgendwelche Oberflächenpräparationen zur Steuerung des thermischen Profils vornehmen zu müssen.

ISSN 0433-6461

10 Seiten

Titel der Erfindung

Verfahren zur Rekristallisation halbleitender Schichten auf dielektrischen Schichten

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekristallisation amorpher bzw. polykristalliner Schichten auf dielektrischen Schichten durch Superposition zweier cw-Laserstrahlen. Die Anwendung bezieht sich vorzugsweise auf solche Schichtkombinationen (z. B. Quarzglassubstrat/dielektrische Schicht [SiO_2 und/oder Si_3N_4] /Poly-Si), die zur Herstellung von elektronischen Bauelementen (z. B. MOS, MOSFET, CMOS, bipolare Transistoren) benötigt werden.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Für die Bauelementehersteller sind halbleitende Filme auf isolierenden Substraten von besonderem technologischem Interesse (SOI-Technologie). Die Laserrekristallisation liefert die Basis für eine solche Technologie. Die auf isolierenden Substraten abgeschiedenen polykristallinen Schichten sind zunächst ungeeignet für Bauelemente, da der Effekt der Korngrenzen sich ungünstig auf die elektrischen Eigenschaften des Bauelementes auswirkt. Mit Hilfe von cw-Lasern gelingt es, die Nucleations- und Wachstumsprozesse im polykri-

stallinen Material so zu steuern, daß größere Körner auf isolierenden Schichten bzw. Substraten erzeugt werden können. Die gesamte Dicke der polykristallinen Schicht muß aufgeschmolzen werden. Grundsätzlich werden Korngrößen und Form des rekristallisierten Materials durch die räumliche Verteilung des thermischen Profils auf und in der Oberflächenschicht sowie durch den Wärmetransfer an der Grenzfläche fest-flüssig bestimmt, d. h., die Struktur der polykristallinen Schicht hängt von der lokalen Temperatur und dem Temperaturgradienten während der Laserkristallisation ab. In Verbindung mit der Laserkristallisation im cw- und Scanbetrieb wurden Verfahren entwickelt, die sich in folgende 3 methodische Vorgehensweisen einordnen lassen:

1. Variation der Leistungsflußdichteverteilung über die Laserbrennfleckgeometrie
2. Formung des Laserbrennfleckes
3. Änderung des Schichtaufbaus mit Variation der Absorptionsverhältnisse

zur Steuerung des thermischen Profils.

In /1/ wird eine Apparatur zur Strahlprofilierung beschrieben. Zur Messung der Leistungsflußdichteverteilung eines 18 W cw-Argonionenlasers in jeder gewünschten Brennflecklage werden ein Pinhole mit anschließender Fotodiode benutzt. Ein Computersystem, das diesen Prozeß kontrolliert, korreliert die Leistungsflußdichte mit der Strahlposition (computergesteuerte Galvanometerspiegel) und speichert die Daten ab. Über eine Bildschirmausgabe ist eine nachfolgende Betrachtung des Laserprofiles sowohl drei- als auch zweidimensional möglich. Die auf dem Schirm sichbar werdende Schattierung ist ein Maß für die Leistungsflußdichte. Die gespeicherten Daten dienen nachfolgend der Steuerung des Leistungsflußdichteprofils während des Laserrekristallisationsprozesses im Scanbetrieb.

In /2/ wird die Leistungsflußdichteverteilung durch eine

lineare Kombination von TEM_{01} und TEM_{10} erreicht. In diesem Fall ist die Grenzfläche flüssig-fest konkav, so daß die Kristallite vom Zentrum der geschmolzenen Zone zur äußeren Kante wachsen und die konkurrierende Nucleation von der Kante her unterdrückt wird. Es bilden sich große Körner parallel zur Scanrichtung aus. Durch eine zusätzliche Verkapselung der Poly-Si-Schicht (z. B. 150 nm Si_3N_4 und 1 µm PSG-Film) werden glatte Oberflächen erhalten.

In DE 1 765 400 dient zur Formung eines Laserstrahles ein Diapositiv bzw. Hologramm. Die holographische Transformation eines gaußverteilten Argonionenlaserstrahles führt zu einem hufeisengeformten Laserfleck auf der Materialoberfläche /3/, so daß die Temperaturgradienten in der Oberfläche sich ändern und der Wachstumsprozeß sich vom Zentrum der Scanlinie nach außen fortsetzt.

In Schw. P. 453 523 wird der Laserstrahl mit Hilfe einer Zylinderlinse in einen rechteckigen Querschnitt umgeformt und auf eine schlitzförmige Öffnung konzentriert. Der schlitzförmige Laserfleck wird senkrecht zur Scanrichtung um einen Winkel von ca. 30° geneigt /4, 5/, um lange und breite Kristallite ziehen zu können.

Nach Br. P. 1 239 777 läßt sich in ähnlicher Weise eine Formung des Laserfleckes mit Hilfe einer Maske vornehmen.

In /6/ werden Ergebnisse zur Rekristallisation von Poly-Si auf Quarzglassubstraten mittels eines cw-Kryptonlasers vorgestellt. Auf den fotolithografisch fixierten Si-Inseln trat nach der Laserrekristallisation eine Korngrößenvariation auf, die auf Kanteneffekte (unterschiedliche Absorptionsverhältnisse) zurückgeführt wird. Durch eine geeignete Strukturierung /7, 8/ können die Absorptionsverhältnisse in der Poly-Si-Schicht so gestaltet werden, daß über das thermische Profil die Nucleations- und Wachstumsprozesse der Körner kontrolliert werden können (MOATs-Strukturen). Durch Verkapselung der Struktur mit einer Si_3N_4-Schicht wird der Massentransport und das thermische Ätzen des Si während des Laser-

schmelzens unterdrückt.

Eine weitere Substruktur zur Laserrekristallisation von Poly-Si auf Quarzglas wird in /9/ diskutiert. Die Anordnung der Poly-Si-Streifen in SiO_2-Gräben und deren Abmessungen waren so dimensioniert, daß ein verbessertes thermisches Profil für die Laserrekristallisation entsteht. Mit solchen Strukturen konnten Lage und Größe der Si-Körner kontrolliert werden.

In /10/ werden Doppelschichtstrukturen aus dünnen Nitrid- und dicken Oxidschichten als isolierendes Material benutzt, um eine gute Qualität der laserrekristallisierten Si-Schicht auf einem Isolator zu erzielen. Eine solche Struktur macht das Poly-Si während der Laserrekristallisation resistent gegenüber Ablösen von der isolierenden Schicht. Es werden große Körner von mehreren Mikrometer Länge und Breite mit random-Orientierung erhalten. Die Oberflächen sind relativ glatt.

In den US-Patenten 4, 309, 224, 4, 309, 225, 4,375,993, 4, 406, 709 und 4, 431, 459 werden weitere Erfindungen zur Laserrekristallisation amorpher bzw. polykristalliner Schichten auf dielektrische Schichten bzw. Substraten beschrieben. Dotiertes polykristallines Silicium als Elektroden- oder Leitbahnmaterial wird durch laserinduzierte Dotantenaktivierung und Kornvergrößerung nach der Laserbestrahlung im Schichtwiderstand reduziert. Durch geeignete Wahl von Laserleistung und Scangeschwindigkeit kann eine kontrollierte und kontinuierliche Bewegung der Rekristallisationsfront eingestellt werden. Durch gleichzeitige Bestrahlung des Schichtsystems dielektrische Schicht/Poly-Silicium mit einem CO_2-Laser können die thermischen Spannungen zwischen beiden Schichten reduziert werden. Außerdem kann ein Laserstrahl im Scanbetrieb über computergesteuerte Galvanometerspiegel so abgelenkt werden, daß auf der polykristallinen Oberfläche definierte Lissajousfiguren entstehen, die bei konkaver Krümmung der Rückflanke des Scans eine Kornvergrößerung mit nahezu ohne Korngrenzen begünstigen. Des weiteren können durch zusätzliches Aufbringen von dielektrischen Schichten

(Antireflexionsbeschichtung) auf die polykristalline Schicht Verbesserungen des Rekristallisationsprozesses erreicht werden.

In /11/ wird ein Verfahren zur Laserrekristallisation vorgestellt, wo der Laserstrahl über ein $\lambda/4$-Plättchen und einen doppelbrechenden Kristall in zwei Teilstrahlen aufgespalten wird, die überlagert werden. Durch das $\lambda/4$-Plättchen wird der linear polarisierte Laserstrahl in einen zirkular polarisierten umgewandelt. Durch die Überlagerung der durch die Aufspaltung entstandenen Teilstrahlen wird das gewünschte Laserstrahlprofil zur Umwandlung von polykristallinem Silicium in einkristallines erzeugt.

Ziel der Erfindung

Der Erfindung liegt die Zielstellung zugrunde, mit Hilfe der Superposition zweier cw-Laserstrahlen das thermische Profil auf und in der zu rekristallisierenden Schicht, die auf einem isolierenden Substrat aufgebracht wurde, so zu steuern, daß große Körner im Scanbetrieb des Lasers gezogen werden können. Die rekristallisierten Schichten müssen einkristalline und einheitlich orientierte Bereiche enthalten, deren Größe mit denen einzelner Bauelemente vergleichbar ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein technisch-technologisch vorteilhaftes Verfahren zu entwickeln, mit dem die Laserrekristallisation amorpher bzw. polykristalliner Schichten auf isolierenden Substraten durch Superposition zweier Laserstrahlen erreicht wird. Die Superposition der Laserstrahlen erfolgt erfindungsgemäß mittels eines optischen Bauelementes, das nach bekanntem physikalischem Prinzip der geometrischen Optik arbeitet. Durch Superposition

der Laserstrahlen kann das thermische Profil auf und in der zu rekristallisierenden Schicht so eingestellt werden, daß für die Bauelementeherstellung ausreichend große und einheitlich orientierte einkristalline Bereiche entstehen können, ohne eine bestimmte Oberflächenpräparation zur Beeinflussung des thermischen Profils vornehmen zu müssen.

Merkmale der Erfindung:

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zwei unabhängig voneinander arbeitende Laser benutzt werden. Mittels eines bekannten optischen Bauelementes erfolgt die Überlagerung der beiden Laserstrahlen. Durch diese Überlagerung können die beiden Peaks der Leistungsflußdichteverteilung im Brennfleck unabhängig voneinander eingestellt werden, was wiederum eine gezielte und kontrollierbare Steuerung der Nukleations- und Wachstumsprozesse in der halbleitenden Schicht ermöglicht. Die Lage der Peaks zueinander ist in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften des verwendeten Werkstoffes unabhängig voneinander einzustellen.

Dieses Verfahren bringt den Vorteil, daß durch Superposition zweier Laserstrahlen leistungsschwacher Laser Leistungsflußdichten erzielt werden, die dann ausreichend sind, um in allen Halbleiterwerkstoffen Phasenumwandlungen mit dem Ziel einer Oberflächeneigenschaftsverbesserung nach erfolgter Rekristallisation zu erreichen.

Ausführungsbeispiel

Fig. 1 zeigt in Form einer Skizze die experimentelle Anordnung. Fig. 2 zeigt eine lichtmikroskopische Aufnahme einer Secco-geätzten polykristallinen Si-Oberfläche nach der Laserbestrahlung. Das Schichtsystem hatte folgende Struktur:

bulk-Silicium/1,5 /um SiO_2/390 nm Poly-Silicium.

Die experimentell bestimmten Werte für die gaußschen Radien

(r_s) und Leistungen beider Argonionenlaserstrahlen waren:

Strahl 1: $P = 1{,}0$ W , $r_s = 7{,}9\,/\mu m$

Strahl 2: $P = 2{,}5$ W , $r_s = 12{,}5\,/\mu m$

Der Abstand der Brennfleckmittelpunkte nach dem optischen Bauelement betrug ca. $0 \ldots 100\,/\mu m$. Die Scangeschwindigkeit wurde auf $v = 2$ mm s^{-1} eingestellt.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Rekristallisation halbleitender Schichten auf dielektrischen Schichten mittels Laser gekennzeichnet dadurch, daß zwei unabhängig voneinander arbeitende Laser benutzt werden und mittels eines bekannten optischen Bauelementes überlagert werden.

2. Verfahren nach Punkt 1 gekennzeichnet dadurch, daß beide Peaks der Leistungsflußdichteverteilung im Brennfleck unabhängig voneinander einstellbar sind.

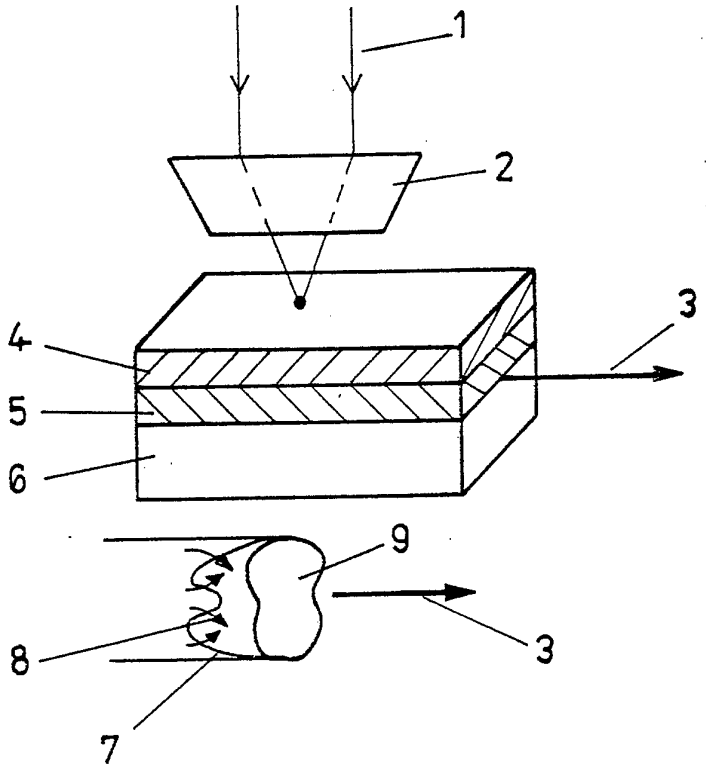
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2 gekennzeichnet dadurch, daß die Lage der Peaks unabhängig voneinander in den Grenzen von 0...100 µm einstellbar ist.

4. Verfahren nach Punkt 1, 2 und 3 gekennzeichnet dadurch, daß die geometrischen Abmessungen der Bereiche für einen Einbau von elektronischen Bauelementen ausreichend sind.

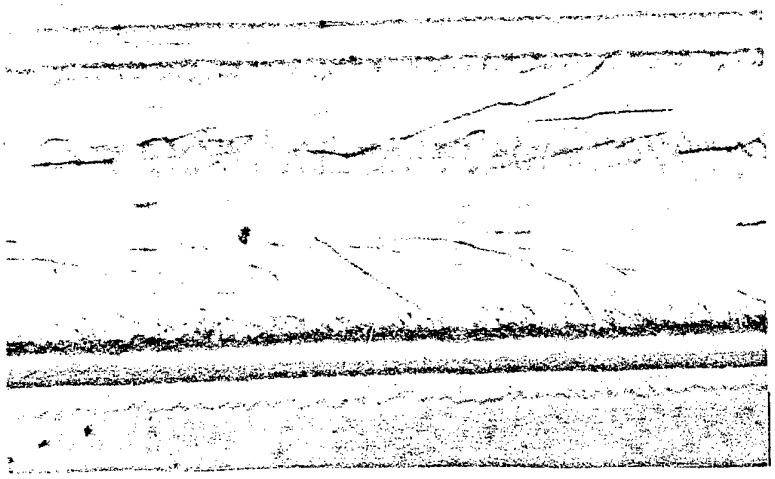
5. Verfahren nach Punkt 1, 2, 3 und 4 gekennzeichnet dadurch, daß die Leistungsflußdichteverteilungen für die Prozesse der Flüssigphasenepitaxie von Halbleiterwerkstoffen auf einkristallinen und/oder isolierenden Substraten ausreichend sind.

6. Verfahren nach Punkt 1, 2 und 3 gekennzeichnet dadurch, daß elektronische Bauelemente mit dritter Dimension gefertigt werden können.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen



Figur 1



Figur 2