



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 219 045 A3

3(51) C 30 B 1/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP C 30 B / 234 453 0

(22) 29.10.81

(45) 20.02.85

(71) siehe (72)

(72) Nowick, Wolfgang, Dr. Dipl.-Phys., 9043 Karl-Marx-Stadt, Bruno-Granz-Straße 46; Scharff, Wolfram, Dr. rer. nat.; Weißmantel, Christian, Prof. Dr. rer. nat. habil., DD

(54) Verfahren zur Herstellung kristalliner Schichtbereiche

(57) Das Verfahren zur Herstellung kristalliner Schichtbereiche ist anwendbar in den Gebieten der Schichttechnik, in denen der Einsatz von kristallinen Schichtbereichen vorteilhafte technische Lösungen bietet, z. B. zur Realisierung aktiver und passiver Bauelementefunktionen in der Elektronik/Mikroelektronik. Ziel und Aufgabe der Erfindung ist es, mit vereinfachter reproduzierbarer Gestaltung der Prozeßführung kristalline Schichtbereiche mit definierter Form, Größe und kristallografischer Orientierung herzustellen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst, indem während oder nach dem Aufbringen einer amorphen Schicht, die nicht zur Umwandlung vorgesehenen Bereiche der Schicht zu einer amorphen Umgebung durch Einbau von Modifizierungsmitteln verändert werden, die amorphe Umgebung gegenüber der folgenden energetischen Einwirkung erhalten bleibt und Form, Größe und kristallografische Struktur der kristallinen Schichtbereiche durch die amorphe Umgebung bestimmt werden.

Verfahren zur Herstellung kristalliner Schichtbereiche

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf die Herstellung von kristallinen Schichtbereichen auf einem Substrat. Eine Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens ist in den Gebieten der Schichttechnik möglich und zweckmäßig, in denen der Einsatz von kristallinen Schichtbereichen vorteilhafte technische Lösungen bietet, z.B. zur Realisierung aktiver und passiver Bauelementefunktionen in der Elektronik/Mikroelektronik, Optoelektronik, Optik und integrierten Optik.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind Verfahren zur Herstellung von kristallinen Schichten auf glatten Substratoberflächen bekannt, z.B. durch die epitaktische Abscheidung einer Schicht auf ein bei ausreichend hohen Temperaturen gehaltenes einkristallines Substrat (L.I. Maissel, R. Glang, Handbook of Thin Film Technology, Mc Graw Hill Book Company, 1970). Dabei werden an die verwendeten Schicht/Substrat-Kombinationen Forderungen bezüglich der Übereinstimmung der Thermoausdehnungskoeffizienten, des maximal zulässigen Grades der Fehlpassung der Gitterparameter und des chemischen Verhaltens der verwendeten Substanzen sowie bezüglich der Oberflächenperfektion und Temperaturbeständigkeit der Substrate gestellt. Diese Forderungen haben eine starke Restriktion verwendbarer Schicht/Substrat-Kombinationen zur

Folge und erfordern aufwendige Substratherstellungstechnologien und teure Substratmaterialien. Die direkte Abscheidung von kristallinen Schichten auf kostengünstigen amorphen Substraten mit glatter Substratoberfläche konnte sich wegen der schweren technologischen Beherrschbarkeit für kommerzielle Zwecke bisher nicht durchsetzen (J.D. Filby, S. Nielson, J. Electrochem. Soc. 112 (1965) 535). Hier, wie bei der Epitaxie, führen die notwendigerweise ausreichend hohen Substrattemperaturen während des gesamten Schichtabscheidungsprozesses zu wesentlichen Einschränkungen bei der Realisierung von Bauelementfunktionen, in der Halbleitertechnologie z.B. zu den bekannten Effekten des Autodopings oder zu unscharfen pn-Übergängen. Es sind Verfahren bekannt, die die beschriebenen hohen Substrattemperaturen bei der Herstellung von einkristallinen Schichten oder Schichtbereichen dadurch umgehen, daß zunächst auf relativ kalten Substraten amorphe Schichten aufgetragen werden, die dann durch eine relativ kurzzeitige energetische Behandlung in einkristalline Schichten oder Schichtbereiche umgewandelt werden.

In der DE-OS 2837750 wird die Behandlung mit Hilfe einer auf das Material gerichteten intensiven optischen Strahlung, z.B. eines Lasers vorgenommen. Mit diesem Verfahren ist es jedoch außerordentlich kompliziert, großflächige, defektfreie, einheitlich kristallografisch orientierte, einkristalline Schichten zu erzeugen. Außerdem wird die kristallografische Orientierung von einkristallinen Schichten oder Schichtbereichen auf glatten, amorphen Substraten außer von den Schichtherstellungs- und Umwandlungsbedingungen hauptsächlich durch die Grenzflächenbedingungen (Minimum der freien Grenzflächenenergie) der Schicht/Substratkombination bestimmt, was die freie Wählbarkeit der Schichtorientierung stark einschränkt.

Es sind auch Verfahren zur Herstellung von einkristallinen Schichten und Schichtbereichen durch Umwandlung einer amorphen Schicht bekannt, bei denen unter Verzicht auf ein glattes Substrat die kristallografische Orientierung der Schichten oder Schichtbereiche durch eine reliefartig strukturierte Substrat-

oberfläche (z.B. Gitter mit definierten Querschnittsprofilen) bestimmt wird (M.W. Geis, D.C. Flanders, H.I. Smith, Appl. Phys. Lett. 35 (1979) 71).

Bei einem weiteren Verfahren erfolgt die Umwandlung der amorphen Schicht durch Temperung mittels zweier Graphitheizer (M.W. Geis, D.A. Antoniadis, D.J. Silversmith, R.W. Mountain, H.I. Smith, Appl. Phys. Lett. 37 (1980) 454). Untersuchungen zur Perfektion der nach diesen beiden Verfahren hergestellten Schichten haben jedoch gezeigt, daß diese Schichten nach dem Kristallisationsprozeß aus kristallinen Blockstrukturen bestehen, die einen weiten Bereich der kristallografischen Orientierung der einzelnen Blöcke bezüglich der Oberflächenreliefstruktur des Substrats eine erhöhte Oberflächenrauigkeit, Schichtdickenschwankungen (mehr als 100 nm) und nicht selten auch Mikrorisse aufweisen. Die für diese Verfahren notwendigerweise verwendeten reliefartig strukturierten Substrate sind gleichzeitig Ursache für die begrenzte Schichtqualität. Der technologische Schritt der reliefartigen Strukturierung der Substratoberflächen mit zum Teil erheblichen Anforderungen an die Präzision führt bei allen Verfahren dieser Art außerdem zu ökonomischen Nachteilen. Die erzeugten reliefartigen einkristallinen Schichten sind für technische Anwendungen zudem vielfach nicht wünschenswert und müssen nachträglich geglättet werden.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, unter Vermeidung der bereits genannten Mängel technischer Lösungen ein Verfahren zur Herstellung kristalliner Schichtbereiche auf Substraten bereitzustellen, daß sich durch eine Verbesserung der Schichteigenschaften und durch eine vereinfachte reproduzierbare Gestaltung der Prozeßführung bezüglich bekannter technischer Lösungen auszeichnet und die Möglichkeit der Verwendung billiger amorpher Substrate mit glatter Oberfläche einschließt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung kristalliner Schichtbereiche mit definierter Form, Größe und kristallografischer Orientierung bereitzustellen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst, indem während oder nach dem Aufbringen einer amorphen Schicht die nicht zur Umwandlung vorgesehenen Bereiche der Schicht zu einer amorphen Umgebung durch den Einbau von Modifizierungsmitteln verändert werden. Bei der folgenden energetischen Einwirkung, die zur Umwandlung der amorphen Schicht in eine kristalline führt, bleibt die gebildete amorphe Umgebung gegenüber der energetischen Einwirkung erhalten. Die Form, Größe und kristallografische Struktur der so entstandenen kristallinen Schichtbereiche werden durch diese amorphe Umgebung bestimmt.

Die Umwandlung der amorphen Schicht kann durch alle bekannten Arten energetischer Einwirkung, also z.B. durch elektromagnetische Strahlung, wozu die Strahlung von kontinuierlich und/oder diskontinuierlich auf einer oder mehreren Wellenlängen arbeitenden Laserquellen, die gefilterte und/oder ungefilterte Strahlung von Blitzlampenquellen und die intensive Wärmestrahlung heißer Körper gerechnet werden kann oder durch Teilchenstrahlung, die die Strahlung von Elektronenquellen, Ionenquellen und Neutralteilchenquellen einschließt, erfolgen.

Erfindungsgemäß werden Form und Größe der amorphen Umgebung entsprechend dem vorgesehenen Anwendungszweck der kristallinen Bereiche, also z.B. zur Realisierung von aktiven oder passiven Bauelementefunktionen, ausgewählt, so daß z.B. quadratische, rechteckige oder streifenförmige kristalline Bereiche entstehen. Die Art der Modifizierungsmittel und die Art und Weise des Einbaus der Modifizierungsmittel in die amorphe Schicht zur Ausbildung der amorphen Umgebung sind entsprechend der konkreten Schicht/Substrat-Materialkombination auszuwählen und unter dem Gesichtspunkt, daß bei der anschließenden energetischen Einwirkung die amorphe Umgebung erhalten bleibt.

Als Modifizierungsmittel werden vorzugsweise leichte Elemente der 1. und 2. Reihe des Periodensystems eingesetzt. Der Einbau

der Modifizierungsmittel in die nicht zur Umwandlung vorgesehenen Bereiche erfolgt durch selektiven Ionen- und/oder Molekularstrahlbeschuß und/oder durch Diffusion, z.B. strahlenstimulierte Diffusion.

Die Modifizierung der amorphen Schicht bezieht sich dabei nicht ausschließlich auf die Änderung der chemischen Zusammensetzung und die damit verbundenen Variationen der elektronischen Eigenschaften, sondern mehr auf die dadurch realisierbaren vorteilhaften Wirkungen der amorphen Umgebung bei der Herstellung der kristallinen Schichtbereiche.

So führt z.B. die Modifizierung der nicht zur Umwandlung vorgesehenen Schichtbereiche zur amorphen Umgebung durch einen in bekannter Maskentechnik ausgeführten selektiven Ionen und/oder Molekularstrahlbeschuß, welcher zur Implantation von Modifizierungsmaterial führt, zur Ausbildung von für die Umwandlung vorteilhaft scharfen Kanten bzw. Grenzen zwischen der amorphen Umgebung und den zur Umwandlung vorgesehenen Schichtbereichen. Ähnlich vorteilhaft scharfe Grenzen werden durch Diffusion von Modifizierungsmaterial in die amorphe Schicht oder, wenn die Anwendung erhöhter Temperaturen zur Erzielung eines ausreichend hohen Diffusionskoeffizienten nicht möglich ist, durch eine mit elektromagnetischer oder Teilchenstrahlung stimulierten Diffusion erhalten. Letzteres ist insbesondere dann vorteilhaft anzuwenden, wenn das amorphe Schichtmaterial bei den für die übliche Diffusion notwendigen Temperaturen bereits zur Rekristallisation neigt, bevor die Modifizierung abgeschlossen ist. Eine weitere vorteilhafte Wirkung der Modifizierung der nicht für die Umwandlung vorgesehenen Schichtbereiche besteht in der mit der Modifizierung einsetzenden Volumenvergrößerung der sich bildenden amorphen Umgebung. Während die Volumenvergrößerung in vertikaler Richtung, also in Richtung der Schichtnormalen, nur teilweise erwünscht ist und gegebenenfalls, z.B. bei der Modifizierung durch Ionen- oder Molekularstrahlbeschuß durch einen zusätzlichen Sputterprozeß unterdrückt werden kann, führt die Volumenvergrößerung in der horizontalen Richtung der

Schichtebene zum Aufbau von mechanischen Spannungen, die der Umwandlung der amorphen nichtmodifizierten Schichtbereiche in kristalline Schichtbereiche förderlich sind.

Eine weitere vorteilhafte Wirkung der Modifizierung des nicht für die Umwandlung vorgesehenen Schichtbereiches besteht in der mit der Modifizierung verbundenen Änderung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten innerhalb der amorphen Umgebung gegenüber dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der nichtmodifizierten Schichtbereiche, wodurch es bei der für die Umwandlung notwendigen energetischen Einwirkung zur Ausbildung mechanischer Spannungen kommt, die der Umwandlung der amorphen, nichtmodifizierten Schichtbereiche in kristalline Schichtbereiche förderlich sind. Eine weitere positive Wirkung auf die Umwandlung der amorphen Schichtbereiche in kristalline Schichtbereiche kann gegebenenfalls dadurch erreicht werden, daß die Modifizierung der nicht zur Umwandlung vorgesehenen Schichtbereiche nur in einzelnen Abschnitten innerhalb der gesamten Schichtdicke dieser Bereiche erfolgt und daß die nichtmodifizierten Abschnitte innerhalb der Schicht dann ebenfalls umgewandelt werden.

Durch die Erfindung wird es möglich, verschiedenartige amorphe Schichtbereiche, die aus organischem oder anorganischem, elektrisch leitendem, halbleitendem oder isolierendem Material bestehen, oder eine Schichtfolge, bestehend aus einer Kombination dieser Materialien darstellen, in kristalline Schichtbereiche umzuwandeln. Ebenso ist es möglich, die elektrische Leitfähigkeit der amorphen Umgebung durch die in ihrer Wirkung auf die Umwandlung bereits beschriebenen Modifizierungsmittel oder durch weitere Modifizierungsmittel in einer für den jeweiligen Anwendungszweck vorteilhaften Form in weiten Grenzen zwischen leitend, halbleitend oder isolierend zu variieren. Die Erfindung ermöglicht es ferner, durch wiederholte Anwendung ein System von in verschiedenen Ebenen übereinander angeordneten und gegebenenfalls durch isolierende Zwischenschichten getrennten kristallinen Schichtbereichen dreidimensional herzustellen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Auf ein Substrat aus SiO_2 wird eine 150 nm dicke amorphe Siliciumschicht durch Zerstäubung aufgebracht. Auf diese amorphe Siliciumschicht wird eine Molybdänmaske aufgebracht, wobei die Dicke der Molybdänmaske - in Abhängigkeit von der Stärke der amorphen Siliciumschicht - 350 nm beträgt. Es werden die Gebiete maskiert, welche später mittels energetischer Einwirkung in kristalline Bereiche umgewandelt werden. Die nicht maskierten Gebiete bestehen aus zueinander parallelen Streifen mit variabler Breite und Abständen von 2, μm bis 50, μm . Durch den Beschuß mit Sauerstoffionen einer Energie von 250 KeV wird der nicht maskierte Bereich der amorphen Schicht vollständig in SiO_x umgewandelt, wobei $x = 1,9$ beträgt. Danach wird die Molybdänmaske entfernt. Anschließend wird die Schicht mit einer Xenonblitzlampe, die eine Strahlungsintensität von 70 - 120 Joule/ cm^2 besitzt, 10 mS bestrahlt. Dabei werden die Siliciumschichtbereiche in kristalline Schichtbereiche umgewandelt. Die amorphe SiO_x -Umgebung bleibt gegenüber der energetischen Einwirkung erhalten.

Nach dem Aufbringen einer 2, μm dicken SiO_2 -Schicht kann die oben beschriebene Prozedur wiederholt werden.

Es ist auch möglich, nur den oberen, 80 nm dicken Bereich der nicht zur Umwandlung vorgesehenen amorphen Siliciumschicht zu SiO_x zu modifizieren. Die Umwandlung zu kristallinen Bereichen erfolgt mittels eines Gaslasers einer Leistung von 10 W und einer Impulsdauer von 100 nS.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Herstellung kristalliner Schichtbereiche durch mittels energetischer Einwirkung vorgenommener Umwandlung einer auf ein Substrat aufgetragenen amorphen Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß während oder nach dem Aufbringen der amorphen Schicht die nicht zur Umwandlung vorgesehenen Bereiche der Schicht zu einer amorphen Umgebung durch Einbau von Modifizierungsmitteln verändert werden, daß die amorphe Umgebung gegenüber der folgenden energetischen Einwirkung erhalten bleibt und daß Form, Größe und kristallografische Struktur der kristallinen Schichtbereiche durch die amorphe Umgebung bestimmt werden.
2. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Modifizierungsmittel, vorzugsweise leichte Elemente der 1. und 2. Reihe des Periodensystems, durch selektiven Ionen- und/oder Molekularstrahlbeschuß und/oder durch Diffusion, z.B. strahlenstimulierte Diffusion, in die nicht zur Umwandlung vorgesehenen Bereiche eingebracht werden.
3. Verfahren nach Punkt 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Einbau der Modifizierungsmittel in die nicht zur Umwandlung vorgesehenen Bereiche der amorphen Schicht in einzelnen Abschnitten innerhalb der gesamten Schichtdicke dieser Bereiche erfolgt.
4. Verfahren nach Punkt 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die amorphe Umgebung aus zueinander parallelen Streifen mit variabler Breite und Abständen bis 50 µm aufgebaut ist.
5. Verfahren nach Punkt 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die amorphe Umgebung elektrisch leitende, halbleitende oder isolierende Eigenschaften besitzt.
6. Verfahren nach Punkt 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die für die Umwandlung notwendige energetische Einwirkung durch elektromagnetische und/oder Teilchenstrahlung erfolgt.