



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 054 564 B4** 2008.11.27

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 054 564.2**

(22) Anmeldetag: **11.11.2004**

(43) Offenlegungstag: **24.05.2006**

(45) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung: **27.11.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 27/12** (2006.01)

**H01L 29/02** (2006.01)

**C03B 33/02** (2006.01)

**H01L 21/84** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Siltronic AG, 81737 München, DE**

(72) Erfinder:

**Dantz, Dirk, Dr., 38154 Königslutter, DE; Huber, Andreas, Dipl.-Phys. Dr., 84518 Garching, DE; Wahlich, Reinhold, 84529 Tittmoning, DE; Murphy, Brian, 84347 Pfarrkirchen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**US 2004/0 05 740 A1**

**EP 13 65 447 A2**

**WO 04/0 21 420 A2**

**WO 03/0 03 430 A2**

(54) Bezeichnung: **Halbleitersubstrat und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Halbleitersubstrat, umfassend eine einkristalline Siliciumscheibe, eine an der Oberfläche liegende, mit der Siliciumscheibe in direktem Kontakt stehende, relaxierte, einkristalline Schicht, die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% liegt, und eine Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen unter der genannten Oberfläche.

## Beschreibung

**[0001]** Gegenstand der Erfindung ist ein Halbleitersubstrat, umfassend eine an der Oberfläche liegende, relaxierte, einkristalline Schicht, die Silicium und Germanium enthält, sowie ein Verfahren zur Herstellung dieses Halbleitersubstrats.

**[0002]** Im Stand der Technik sind sSOI- und SGOI-Substrate bekannt. („strained silicon an insulator“ bzw. „silicon-germanium an insulator“). sSOI-Substrate und SGOI-Substrate zeichnen sich durch eine elektrisch isolierende Schicht oder ein elektrisch isolierendes Trägermaterial aus. Im Fall eines sSOI-Substrats steht eine dünne, einkristalline, verspannte Siliciumschicht („strained silicon“) in direktem Kontakt zum Isolator, wie beispielsweise in US2004/0005740A1 beschrieben. Ein SGOI-Substrat weist dagegen auf dem Isolator eine Schicht oder mehrere Schichten auf, die Silicium und Germanium in einer vorgegebenen Zusammensetzung ( $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  mit  $0 < x < 1$ ) enthält bzw. enthalten. Diese Schicht oder diese Schichten insgesamt werden im Folgenden auch als „Silicium-Germanium-Schicht“ bezeichnet. Auf der Oberfläche der Silicium-Germanium-Schicht kann wiederum eine dünne, einkristalline, verspannte Siliciumschicht aufgebracht werden.

**[0003]** Bei allen bekannten Verfahren zur Herstellung von sSOI- oder SGOI-Substraten wird eine dünne Schicht bestehend aus Silicium-Germanium mittels mechanischer Kräfte von einer Donorscheibe (engl. „donor wafer“) abgetrennt, wobei die freie Oberfläche der zu übertragenden Schicht üblicherweise vor dem Trennvorgang mit einer Trägerscheibe (engl. „handle wafer“) verbunden wird. Im Fall des sSOI-Substrats wird außer der Silicium-Germanium-Schicht auch eine verspannte Siliciumschicht von der Donorscheibe auf die Trägerscheibe übertragen.

**[0004]** Der erste Schritt zur Herstellung eines sSOI- oder SGOI-Substrats ist die Vorbereitung einer Donorscheibe. In beiden Fällen muss zunächst auf einer Siliciumscheibe eine relaxierte Silicium-Germanium-Schicht hergestellt werden, die in einem weiteren Schritt auf die Trägerscheibe übertragen wird. Dafür sind zwei prinzipiell unterschiedliche Verfahren bekannt:

Im ersten Verfahren werden auf der Siliciumscheibe zunächst mehrere Silicium-Germanium-Schichten mit steigendem Germanium-Gehalt (engl. „graded buffer layer“) epitaktisch abgeschieden und damit eine Gitteranpassung zwischen Silicium und Silicium-Germanium erreicht. Eine darauf abgeschiedene Silicium-Germanium-Schicht mit konstantem Germanium-Gehalt dient zur mechanischen Entspannung, sodass an der Oberfläche Silicium-Germanium mit seiner natürlichen Gitterkonstante (d. h. relaxiertes Silicium-Germanium mit einer Zusammensetzung von  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  mit  $0 < x < 1$ ) vorliegt. Optional können

die bei diesem Verfahren auftretenden Oberflächenrauigkeiten durch nachfolgende und/oder zwischengeschaltete Polierschritte reduziert werden. Dieses Verfahren erfordert die epitaktische Abscheidung von Schichten mit einer Gesamtdicke von etwa  $5 \mu\text{m}$  und ist aufgrund der damit verbundenen langen Prozessdauer sehr kostenintensiv. Das Verfahren erfordert zudem einen mehrmaligen Wechsel zwischen epitaktischer Abscheidung und Politur und daher viele einzelne Prozessschritte. Das Verfahren führt zu Versetzungsdichten im Bereich von  $10^5/\text{cm}^2$ .

**[0005]** Beim zweiten bekannten Verfahren wird auf die Schichtfolge mit allmählich steigendem Germanium-Gehalt verzichtet und sofort eine dünne Silicium-Germanium-Schicht mit gewünschter Zusammensetzung abgeschieden. Die Schichtdicke wird hierbei unterhalb der Grenze gehalten, ab der sich Fehlanpassungsversetzungen bilden. Diese zunächst noch verspannte Silicium-Germanium-Schicht wird nachfolgend entspannt, indem der direkt unterhalb der Silicium-Germanium-Schicht liegende Silicium-Kristallverbund geschwächt wird. Dies wird durch eine Implantation von Gas-Ionen (beispielsweise Wasserstoff- oder Helium-Ionen) und eine nachfolgende Wärmebehandlung erreicht. Während der Wärmebehandlung bilden die implantierten Ionen Gasblasen, die den Silicium-Kristallverbund aufbrechen und so die Silicium-Germanium-Schicht und eine darunter liegende, nur sehr dünne Silicium-Schicht mechanisch vom Rest der Siliciumscheibe abkoppeln, was letztlich zur Relaxation der Silicium-Germanium-Schicht führt. Nachteilig ist der aufwändige Implantationsschritt und die Entstehung von Mikrorissen bei der Gasblasenbildung, die zur Zerstörung der Schicht führt. Auch bei diesem Verfahren entsteht eine hohe Versetzungsdichte.

**[0006]** Nur wenn ein sSOI-Substrat hergestellt werden soll, wird auf der relaxierten Silicium-Germanium-Schicht zusätzlich eine dünne, verspannte Siliciumschicht epitaktisch abgeschieden.

**[0007]** Im zweiten Schritt des Verfahrens wird eine oberflächliche Schicht der Donorscheibe (eine Silicium-Germanium-Schicht im Fall von SGOI und zusätzlich eine verspannte Silicium-Schicht im Fall von sSOI) auf eine Trägerscheibe übertragen, wie in US2004/0005740A1 beschrieben. Die Trägerscheibe besteht entweder vollständig aus einem elektrisch isolierenden Material oder sie trägt zumindest an ihrer Oberfläche eine elektrisch isolierende Schicht. Auch für diesen zweiten Schritt sind mehrere Verfahren bekannt.

**[0008]** Am gebräuchlichsten ist das unter dem Namen Smart Cut<sup>®</sup> bekannte Verfahren (EP533551A1). Dabei werden zunächst Wasserstoff-Ionen in die Oberfläche der Donorscheibe implantiert. Nach der Verbindung mit einer Trägerscheibe wird durch eine

Temperaturbehandlung bei etwa 500°C eine Schicht mit wasserstoffgefüllten Hohlräumen erzeugt. Das Abtrennen an dieser Schicht erfolgt durch zunehmenden Gasdruck.

**[0009]** Bei allen bekannten Verfahren zur Herstellung von sSOI- oder SGOI-Substraten entstehen bei der Trennung der Donorscheibe entlang der vorbereiteten Trennschicht derart hohe Oberflächenrauigkeiten, dass das Substrat nicht ohne weitere Nachbehandlung, beispielsweise durch eine Politur oder eine glättende thermische Behandlung, zur Herstellung elektronischer Bauelemente eingesetzt werden kann.

**[0010]** Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe bestand somit darin, eine effiziente Möglichkeit zur Herstellung von sSOI- oder SGOI-Substraten zur Verfügung zu stellen, die einerseits nicht die kostenintensive Abscheidung sehr dicker Silicium-Germanium-Schichten auf der Donorscheibe erfordert und andererseits zu einer geringen Oberflächenrauigkeit nach dem Übertragen der dünnen Schicht auf die Trägerscheibe führt.

**[0011]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Halbleitersubstrat, umfassend eine einkristalline Siliciumscheibe, eine an der Oberfläche liegende, mit der Siliciumscheibe in direktem Kontakt stehende, relaxierte, einkristalline Schicht, die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% (Gewichtsprozent) liegt, und eine Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen unter der genannten Oberfläche.

**[0012]** Vorzugsweise liegt die Dicke der einkristallinen Schicht im Bereich von 5 nm bis 3 µm. Vorzugsweise liegt der Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 60 Gew.%.

**[0013]** Die Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch ein erstes Verfahren zur Herstellung eines Halbleitersubstrats, umfassend folgende Schritte in der angegebenen Reihenfolge:

- Herstellung einer periodische angeordnete Vertiefungen enthaltenden Schicht an der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe und
- thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe, bis sich eine geschlossene Schicht bestehend aus einkristallinem Silicium an der Oberfläche mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat,

dadurch gekennzeichnet, dass nach der thermischen Behandlung auf der geschlossenen Schicht an der Oberfläche eine einkristalline, relaxierte Schicht mit einer Dicke von 5 nm bis 3 µm abgeschieden wird, die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Be-

reich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% liegt.

**[0014]** Gleichermaßen wird die Aufgabe gelöst durch ein zweites Verfahren zur Herstellung eines Halbleitersubstrats, umfassend folgende Schritte in der angegebenen Reihenfolge:

- Abscheidung einer Silicium und Germanium enthaltenden Schicht auf der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe, wobei die Schicht eine Dicke von 5 nm bis 3 µm und einen Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% aufweist,
- Herstellung einer periodisch angeordnete Vertiefungen enthaltenden Schicht an der Oberfläche der einkristallinen Siliciumscheibe, die die Silicium und Germanium enthaltende Schicht trägt und
- thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe, bis sich an der Oberfläche eine geschlossene, einkristalline, relaxierte Schicht enthaltend Silicium und Germanium mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat.

**[0015]** Bei diesem zweiten Verfahren erfolgt die Abscheidung der Silicium und Germanium enthaltenden Schicht im Gegensatz zum ersten Verfahren vor der Herstellung der Vertiefungen und der thermischen Behandlung, während der die Vertiefungen oberflächlich geschlossen werden. Beide Verfahren führen zu dem beschriebenen Halbleitersubstrat.

**[0016]** Dieses erfindungsgemäße Halbleitersubstrat kann als Donorscheibe zur Herstellung von SGOI-Substraten eingesetzt werden. Dazu wird das Halbleitersubstrat an der Fläche, die die Silicium-Germanium-Schicht trägt, mit einer geeigneten Trägerscheibe, die aus einem elektrisch isolierenden Material besteht oder wenigstens an ihrer Oberfläche eine elektrisch isolierende Schicht trägt, verbunden. Nach dem Verbinden wird die Donorscheibe entlang der die Hohlräume enthaltenden Schicht gespalten, sodass die Silicium-Germanium-Schicht auf der Trägerscheibe zurückbleibt.

**[0017]** Das erfindungsgemäße Halbleitersubstrat kann auch als Donorscheibe zur Herstellung von sSOI-Substraten eingesetzt werden. In diesem Fall wird auf der Oberfläche der Silicium und Germanium enthaltenden Schicht, unter der sich die Schicht mit den Hohlräumen befindet, eine verspannte Siliciumschicht abgeschieden. Anschließend wird das Halbleitersubstrat an der Fläche, die die verspannte Siliciumschicht trägt, mit einer geeigneten Trägerscheibe, die aus einem elektrisch isolierenden Material besteht oder wenigstens an ihrer Oberfläche eine elektrisch isolierende Schicht trägt, verbunden. Nach dem Verbinden wird die Donorscheibe entlang der die Hohlräume enthaltenden Schicht gespalten, sodass die verspannte Siliciumschicht und die darüber liegende Silicium-Germanium-Schicht auf der Trä-

gerscheibe zurückbleibt. Die Silicium-Germanium-Schicht kann anschließend entfernt werden, so dass ein sSOI-Substrat vorliegt, bei dem eine an der Oberfläche befindliche verspannte Siliciumschicht in direktem Kontakt zu einem elektrischen Isolator steht.

**[0018]** Die Erfindung erlaubt die Herstellung einer sSOI-Scheibe, umfassend eine Trägerscheibe und eine an der Oberfläche liegende, verspannte Siliciumschicht, wobei die Silicium-Phononenlinie der verspannten Siliciumschicht bei Raumtemperatur im Raman-Spektrum sich um wenigstens  $2\text{ cm}^{-1}$ , bevorzugt um wenigstens  $4\text{ cm}^{-1}$ , von der Phononenlinie von unverspanntem Silicium unterscheidet, und wobei die verspannte Siliciumschicht eine Dicke von  $50\text{ nm}$  oder weniger, eine Schichtdickengleichmäßigkeit ( $6\sigma$ ) von  $5\%$  oder weniger und eine HF-Defekt-Dichte von  $1/\text{cm}^2$  oder weniger aufweist.

**[0019]** Die Lage der Silicium-Phononenlinie im Raman-Spektrum bei Raumtemperatur ist ein direktes Maß für den Grad der Verspannung der Siliciumschicht. Die Silicium-Phononenlinie einer unverspannten Siliciumschicht liegt bei Raumtemperatur bei  $520\text{ cm}^{-1}$ . Bei einer verspannten Siliciumschicht mit  $1\%$  Gitterfehlpassung (Verspannung) verschiebt sich die Lage der Silicium-Phononenlinie um etwa  $8\text{ cm}^{-1}$ .

**[0020]** Das erfindungsgemäße Halbleitersubstrat trägt an seiner Oberfläche eine sehr dünne, einkristalline, relaxierte Schicht enthaltend Silicium und Germanium. Infolge der Gitterfehlpassung zwischen im Wesentlichen reinem Silicium und Silicium-Germanium entstehen Spannungen im Kristallgitter, die durch plastische Verformung, d. h. durch die Ausbildung von Versetzungen, kompensiert werden. Die unmittelbar unterhalb der Silicium-Germanium-Schicht liegende Schicht mit Hohlräumen ist mechanisch weniger stabil als die Silicium-Germanium-Schicht selbst. Daher werden die Spannungen im Kristallgitter hauptsächlich durch die Ausbildung von Versetzungen in den zwischen den Hohlräumen befindlichen Stegen, die die Schicht mit dem Rest des Substrats verbinden, abgebaut. Dies wiederum hat zur Folge, dass die Silicium-Germanium-Schicht einerseits schon bei geringer Dicke durch Versetzungsbildung relaxiert. Andererseits entstehen diese Versetzungen aber vorwiegend in den Stegen zwischen den Hohlräumen und in einer ggf. vorhandenen dünnen Siliciumschicht zwischen der Schicht mit den Hohlräumen und der Silicium-Germanium-Schicht. Damit ist die Versetzungsdichte in der Silicium-Germanium-Schicht selbst deutlich geringer als bei Silicium-Germanium-Schichten gemäß dem Stand der Technik, die die gleiche Dicke aufweisen. Daher kann die Silicium-Germanium-Schicht der erfindungsgemäßen Donorscheibe deutlich dünner sein als gemäß dem Stand der Technik, sodass die

Schicht deutlich schneller und damit kostengünstiger hergestellt werden kann, ohne dass eine Erhöhung der Versetzungsdichte in Kauf genommen werden muss.

**[0021]** Das erfindungsgemäße Halbleitersubstrat wird ohne Ionenimplantation hergestellt. Mikrorisse bei der Gasblasenbildung und eine damit einhergehende Zerstörung der Silicium und Germanium enthaltenden Schicht können daher vermieden werden.

**[0022]** Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen für die einzelnen Schritte der Erfindung beschrieben:

Die Herstellung der Silicium-Germanium-Schicht erfolgt vorzugsweise durch epitaktische Abscheidung. Besonders bevorzugt ist eine CVD-Abscheidung (engl. „chemical vapour deposition“) durch die Zersetzung geeigneter Silicium bzw. Germanium enthaltender gasförmiger Ausgangsverbindungen an der heißen Oberfläche des Substrats in einem CVD-Reaktor.

**[0023]** Die Vertiefungen in der Silicium- oder Silicium-Germanium-Oberfläche sind erfindungsgemäß periodisch angeordnet. Sie können beispielsweise durch Lithographie und Trench-Ätzen (siehe beispielsweise WO03/003430A2) hergestellt werden.

**[0024]** Die thermische Behandlung zum oberflächlichen Verschließen der Vertiefungen wird in der Regel bei einer Temperatur im Bereich von  $700$  bis  $1370^\circ\text{C}$ , bevorzugt  $900$  bis  $1250^\circ\text{C}$  und besonders bevorzugt  $950$  bis  $1150^\circ\text{C}$  und einem Druck im Bereich von  $1$  bis  $100$  Torr, bevorzugt  $1$  bis  $50$  Torr und besonders bevorzugt  $5$  bis  $20$  Torr durchgeführt. Die thermische Behandlung kann in allen Atmosphären erfolgen, die die Bildung einer Oxidschicht („native Oxide“) auf der Silicium- oder Silicium-Germanium-Oberfläche verhindern, vorzugsweise in reduzierenden Gasen und Gasgemischen oder inerten Gasen und Gasgemischen. Bevorzugt ist eine Atmosphäre, die Wasserstoff oder Argon oder Mischungen aus Wasserstoff und Argon enthält. Die Prozessbedingungen werden so gewählt, dass eine möglichst hohe Oberflächenbeweglichkeit der Silicium- oder Germanium-Atome erreicht werden kann. Die thermische Behandlung dauert in der Regel  $3$  Sekunden bis  $6$  Stunden, vorzugsweise  $1$  Minute bis  $30$  Minuten. Die Dauer der thermischen Behandlung wird so gesteuert, dass nach deren Ende die Vertiefungen oberflächlich geschlossen sind, aber die aus den einzelnen Vertiefungen entstehenden individuellen Hohlräume noch nicht zusammenwachsen.

**[0025]** Die für manche Ausführungsformen der Erfindung notwendige verspannte Siliciumschicht wird ebenfalls vorzugsweise durch epitaktische Abscheidung hergestellt. Besonders bevorzugt ist eine CVD-Abscheidung durch die Zersetzung geeigneter

Silicium enthaltender gasförmiger Ausgangsverbindungen an der heißen Silicium-Germanium-Oberfläche des Substrats in einem CVD-Reaktor.

**[0026]** Das erfindungsgemäße Halbleitersubstrat kann vorzugsweise als Donorscheibe für einen Schichttransfer eingesetzt werden. Dazu wird das Halbleitersubstrat an der vorbereiteten Oberfläche, die die zu übertragende Schicht trägt, auf bekannte Art und Weise mit einer Trägerscheibe verbunden. Bei der Herstellung von SGOI- oder sSOI-Substraten wird entweder eine elektrisch isolierende Trägerscheibe (beispielsweise bestehend aus Quarz, Glas oder Saphir) verwendet oder die Oberfläche der Donorscheibe und/oder der Trägerscheibe wird vor dem Verbinden mit einer isolierenden Schicht, beispielsweise einer Oxidschicht versehen. Vorzugsweise wird als Trägerscheibe eine Siliciumscheibe, insbesondere eine einkristalline Siliciumscheibe verwendet, deren Oberfläche oxidiert wird, sodass eine Siliciumoxidschicht die elektrisch isolierende Schicht bildet. Verfahren zum Herstellen dieser isolierenden Schicht und zum Verbinden von Scheiben sind dem Fachmann bekannt.

**[0027]** Um die Übertragung der Schicht zu vervollständigen, wird das mit der Trägerscheibe verbundene Halbleitersubstrat anschließend entlang der Hohlräume enthaltenden Schicht gespalten. Die Spaltung kann beispielsweise chemisch, mechanisch oder thermisch erfolgen. Diese Möglichkeiten können auch kombiniert werden. Die Verfahren sind in WO03/003430A2 näher beschrieben. Vorzugsweise erfolgt die Spaltung thermisch, da dies ein besonders schonendes Verfahren ist, das zu einer geringen Rauigkeit der bei der Spaltung entstehenden Oberflächen führt. Außerdem wird, falls notwendig, durch die thermische Behandlung gleichzeitig eine Verstärkung der Verbindungskraft zwischen Trägerscheibe und Halbleitersubstrat erreicht. Die Bedingungen der thermischen Spaltung sind ebenfalls in WO03/003430A2 näher beschrieben.

**[0028]** Alle bisher bekannten Verfahren für das Übertragen von Silicium-Germanium-Schichten oder verspannten Siliciumschichten setzen zum Trennen der Donorscheibe von der zu übertragenden dünnen Schicht teilweise oder ausschließlich mechanische Kräfte ein. Im Fall der unter dem Namen Smart Cut® bekannten Technologie werden diese Kräfte durch Gasdruck erzeugt, der letztlich zum Durchbrechen der Wände oder Stege zwischen den Hohlräumen führt. Im Gegensatz zu diesen bekannten Verfahren zur Herstellung von SGOI- bzw. sSOI-Scheiben werden bei Verwendung der erfindungsgemäßen Donorscheibe und im Fall der oben beschriebenen bevorzugten Ausführungsform (Spaltung entlang der Schicht mit den Hohlräumen durch eine thermische Behandlung) keine mechanischen Kräfte zum Abtrennen der zu übertragenden Schichten verwendet.

Durch die Spaltung durch thermische Behandlung wird zum einen eine sehr gute Schichtdickengleichmäßigkeit ( $6\sigma$ ; d. h. der sechsfache Wert der Standardabweichung von der mittleren Schichtdicke) von 5% oder weniger (bezogen auf die mittlere Schichtdicke) bei einer Schichtdicke von 50 nm oder weniger erreicht, zum anderen kann im Vergleich zu den bekannten Verfahren die Dichte der HF-Defekte auf  $1/\text{cm}^2$  oder weniger reduziert werden.

**[0029]** Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen für die Abfolge der Einzelschritte im erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben: Bevorzugter Verfahrensablauf 1 (Herstellung eines SGOI-Substrats):

1. Herstellung einer periodisch angeordnete Vertiefungen enthaltenden Schicht an der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe.
2. Thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe, bis sich an der Oberfläche eine geschlossene Schicht bestehend aus einkristallinem Silicium mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat.
3. Abscheidung einer einkristallinen, relaxierten Schicht mit einer Dicke von 5 nm bis  $3\ \mu\text{m}$ , die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt im Bereich von 10 bis 60 Gew.% liegt. Die dabei entstehenden Spannungen im Kristallgitter werden über die dünnen Stege zwischen den Hohlräumen abgebaut. Die derart vorbereitete Scheibe wird als Donorscheibe verwendet.
4. Oxidation der Oberfläche der Silicium-Germanium-Schicht der Donorscheibe oder Oxidation der Oberfläche der Trägerscheibe.
5. Verbindung der Donorscheibe mit der Trägerscheibe.
6. Thermische Behandlung zur Verstärkung der Verbindungskraft und zum Abtrennen der dünnen Silicium-Germanium-Schicht von der Donorscheibe.

**[0030]** Bevorzugter Verfahrensablauf 2 (Herstellung eines sSOI-Substrats):

1. Herstellung einer periodisch angeordnete Vertiefungen enthaltenden Schicht an der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe.
2. Thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe, bis sich an der Oberfläche eine geschlossene Schicht bestehend aus einkristallinem Silicium mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat.
3. Abscheidung einer einkristallinen, relaxierten Schicht mit einer Dicke von 5 nm bis  $3\ \mu\text{m}$ , die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt im Bereich von 10 bis 60 Gew.% liegt. Die dabei entstehenden Spannungen im Kristallgitter werden über die dünnen Stege zwi-

schen den Hohlräumen abgebaut.

4. Abscheidung einer verspannten Siliciumschicht auf der relaxierten Silicium-Germanium-Schicht. Die derart vorbereitete Scheibe wird als Donorscheibe verwendet.

5. Oxidation der Oberfläche der verspannten Siliciumschicht der Donorscheibe oder Oxidation der Oberfläche der Trägerscheibe.

6. Verbindung der Donorscheibe mit der Trägerscheibe.

7. Thermische Behandlung zur Verstärkung der Verbindungskraft und zum Abtrennen der dünnen Silicium-Germanium-Schicht und der verspannten Siliciumschicht von der Donorscheibe.

**[0031]** Bevorzugter Verfahrensablauf 3 (Herstellung eines SGOI-Substrats):

1. Abscheidung einer einkristallinen, relaxierten Schicht mit einer Dicke von 5 nm bis 3 µm, die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt im Bereich von 10 bis 60 Gew.% liegt, auf einer einkristallinen Siliciumscheibe. Diese Silicium-Germanium-Schicht ist wegen ihrer geringen Dicke nicht vollständig relaxiert.

2. Herstellung von periodisch angeordneten Vertiefungen an der Oberfläche der Silicium-Germanium-Schicht.

3. Thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe mit der Silicium-Germanium-Schicht, bis sich an der Oberfläche eine geschlossene Schicht bestehend aus einkristallinem Silicium-Germanium mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat. Während dieser thermischen Behandlung relaxiert die Silicium-Germanium-Schicht durch Bildung von Versetzungen in den Stegen zwischen den Hohlräumen. Die derart vorbereitete Scheibe wird als Donorscheibe verwendet.

4. Oxidation der Oberfläche der Silicium-Germanium-Schicht der Donorscheibe oder Oxidation der Oberfläche der Trägerscheibe.

5. Verbindung der Donorscheibe mit der Trägerscheibe.

6. Thermische Behandlung zur Verstärkung der Verbindungskraft und zum Abtrennen der dünnen Silicium-Germanium-Schicht von der Donorscheibe.

**[0032]** Bevorzugter Verfahrensablauf 4 (Herstellung eines sSOI-Substrats):

1. Abscheidung einer einkristallinen, relaxierten Schicht mit einer Dicke von 5 nm bis 3 µm, die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt im Bereich von 10 bis 60 Gew.% liegt, auf einer einkristallinen Siliciumscheibe. Diese Silicium-Germanium-Schicht ist wegen ihrer geringen Dicke nicht vollständig relaxiert.

2. Herstellung von periodisch angeordneten Vertiefungen an der Oberfläche der Silicium-Germanium-

nium-Schicht.

3. Thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe mit der Silicium-Germanium-Schicht, bis sich an der Oberfläche eine geschlossene Schicht bestehend aus einkristallinem Silicium-Germanium mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat. Während dieser thermischen Behandlung relaxiert die Silicium-Germanium-Schicht durch Bildung von Versetzungen in den Stegen zwischen den Hohlräumen.

4. Abscheidung einer verspannten Siliciumschicht auf der relaxierten Silicium-Germanium-Schicht. Die derart vorbereitete Scheibe wird als Donorscheibe verwendet.

5. Oxidation der Oberfläche der verspannten Siliciumschicht der Donorscheibe oder Oxidation der Oberfläche der Trägerscheibe.

6. Verbindung der Donorscheibe mit der Trägerscheibe.

7. Thermische Behandlung zur Verstärkung der Verbindungskraft und zum Abtrennen der dünnen Silicium-Germanium-Schicht und der verspannten Siliciumschicht von der Donorscheibe.

**[0033]** Bei allen genannten Verfahren kann das Abtrennen der dünnen Schicht von der Donorscheibe auch mit Unterstützung mechanischer Kräfte erfolgen.

Beispiele

Beispiel 1

**[0034]** In der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe wurden mittels Lithographie und Ionenstrahlätzen gemäß dem Stand der Technik periodisch angeordnete Vertiefungen mit einem runden Querschnitt erzeugt. Die Vertiefungen hatten eine Tiefe von 3,5 µm, einen Durchmesser von 0,4 µm und der Abstand von Mitte zu Mitte der Vertiefungen betrug 0,8 µm. Anschließend wurden die Vertiefungen durch eine thermische Behandlung bei 1100°C und 10 Torr in Wasserstoffatmosphäre verschlossen, sodass eine dünne einkristalline Siliciumschicht und eine darunter liegende Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen entstand. Die thermische Behandlung dauerte 10 Minuten. Auf die neu entstandene einkristalline Silicium-Oberfläche wurde dann eine Silicium-Germanium-Schicht epitaktisch abgeschieden. In einem weiteren Schritt wurde die Silicium-Germanium-Schicht der derart vorbereiteten Donorscheibe mit einer Siliciumscheibe mit oxidierter Oberfläche verbunden (gebondet). Hierzu wurde ein handelsüblicher Sonder verwendet. Das miteinander verbundene Scheibenpaar wurde dann einer thermischen Behandlung mit insgesamt 10 Stunden Dauer und einer Maximaltemperatur von 1100°C unterzogen. Der Druck betrug 760 Torr und als Atmosphärenscheibe wurde Argon gewählt. Durch diese thermi-

schen Behandlung wurde die Stärke der Verbindung zwischen den beiden Scheiben erhöht. Zudem verschmolzen im weiteren Verlauf der thermischen Behandlung die individuellen, aus den Vertiefungen entstandenen Hohlräume, so dass sich ein durchgehender Hohlraum bildete, der die Silicium-Germanium-Schicht vom Rest der Donorscheibe trennte. Die nun über der Silicium-Germanium-Schicht angeordnete Siliciumschiicht wurde oxidiert und die Oxidschicht anschließend entfernt. Die dünne, einkristalline Silicium-Germanium-Schicht war nur noch mit der Oxidschicht verbunden, sodass ein SGOI-Substrat vorlag.

#### Beispiel 2

**[0035]** In der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe wurden mittels Lithographie und Ionenstrahlätzen gemäß dem Stand der Technik periodisch angeordnete Vertiefungen mit einem runden Querschnitt erzeugt. Anschließend wurden die Vertiefungen durch eine thermische Behandlung bei 1100°C und 10 Torr in Wasserstoffatmosphäre verschlossen, sodass eine dünne einkristalline Siliciumschiicht und eine darunter liegende Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen entstand. Die thermische Behandlung dauerte 10 Minuten. Auf die neu entstandene einkristalline Silicium-Oberfläche wurde dann eine Silicium-Germanium-Schicht und auf der Silicium-Germanium-Schicht wiederum eine verspannte Siliciumschiicht epitaktisch abgeschieden. In einem weiteren Schritt wurde die verspannte Siliciumschiicht der derart vorbereiteten Donorscheibe mit einer Siliciumschiicht mit oxidiertem Oberfläche verbunden (gebondet). Hierzu wurde ein handelsüblicher Sonder verwendet. Das miteinander verbundene Scheibenpaar wurde dann einer thermischen Behandlung mit insgesamt 10 Stunden Dauer und einer Maximaltemperatur von 1100°C unterzogen. Der Druck betrug 760 Torr und als Atmosphärgas wurde Ar gewählt. Durch diese thermische Behandlung wurde die Stärke der Verbindung zwischen den beiden Scheiben erhöht. Zudem verschmolzen im weiteren Verlauf der thermischen Behandlung die individuellen, aus den Vertiefungen entstandenen Hohlräume, so dass sich ein durchgehender Hohlraum bildete, der die Silicium-Germanium-Schicht und die verspannte Siliciumschiicht vom Rest der Donorscheibe trennte. Die nun über der Silicium-Germanium-Schicht angeordnete Siliciumschiicht und die Silicium-Germanium-Schicht selbst wurden oxidiert und die Oxidschicht anschließend entfernt. Die dünne, einkristalline verspannte Siliciumschiicht war nur noch mit der Oxidschicht verbunden, sodass ein sSOI-Substrat vorlag.

#### Beispiel 3

**[0036]** Auf der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumschiicht wurde eine Silicium-Germanium-Schiicht

mit einer Dicke von ca. 2 µm abgeschieden. Auf der Oberfläche dieser Silicium-Germanium-Schiicht wurden mittels Lithographie und Ionenstrahlätzen gemäß dem Stand der Technik periodisch angeordnete Vertiefungen mit einem runden Querschnitt erzeugt. Die Vertiefungen hatten eine Tiefe von 1,7 µm, einen Durchmesser von 0,2 µm und der Abstand von Mitte zu Mitte der Vertiefungen betrug 0,4 µm. Anschließend wurden die Vertiefungen durch eine thermische Behandlung bei 1100°C und 10 Torr in Wasserstoffatmosphäre verschlossen, sodass eine dünne einkristalline Silicium-Germanium-Schiicht und eine darunter liegende Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen entstand. Die thermische Behandlung dauerte 10 Minuten. In einem weiteren Schritt wurde die Silicium-Germanium-Schiicht der derart vorbereiteten Donorscheibe mit einer Siliciumschiicht mit oxidiertem Oberfläche verbunden (gebondet). Hierzu wurde ein handelsüblicher Sonder verwendet. Das miteinander verbundene Scheibenpaar wurde dann einer thermischen Behandlung mit insgesamt 10 Stunden Dauer und einer Maximaltemperatur von 1100°C unterzogen. Der Druck betrug 10 Torr und als Atmosphärgas wurde Argon gewählt. Durch diese thermische Behandlung wurde die Stärke der Verbindung zwischen den beiden Scheiben erhöht. Zudem verschmolzen im weiteren Verlauf der thermischen Behandlung die individuellen, aus den Vertiefungen entstandenen Hohlräume, so dass sich ein durchgehender Hohlraum bildete, der die Silicium-Germanium-Schiicht vom Rest der Donorscheibe trennte. Die nun über der Silicium-Germanium-Schiicht angeordnete Siliciumschiicht wurde oxidiert und die Oxidschicht anschließend entfernt. Die dünne, einkristalline Silicium-Germanium-Schiicht war nur noch mit der Oxidschicht verbunden, sodass ein SGOI-Substrat vorlag. Die übertragene Silicium-Germanium-Schiicht hatte eine Dicke von ca. 1 µm.

#### Beispiel 4

**[0037]** Auf der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumschiicht wurde eine Silicium-Germanium-Schiicht mit einer Dicke von ca. 2 µm epitaktisch abgeschieden. Auf der Oberfläche dieser Silicium-Germanium-Schiicht wurden mittels Lithographie und Ionenstrahlätzen gemäß dem Stand der Technik periodisch angeordnete Vertiefungen mit einem runden Querschnitt erzeugt. Die Vertiefungen hatten eine Tiefe von 1,7 µm, einen Durchmesser von 0,2 µm und der Abstand von Mitte zu Mitte der Vertiefungen betrug 0,4 µm. Anschließend wurden die Vertiefungen durch eine thermische Behandlung bei 1100°C und 10 Torr in Wasserstoffatmosphäre verschlossen, sodass eine dünne einkristalline Silicium-Germanium-Schiicht und eine darunter liegende Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen entstand. Die thermische Behandlung dauerte 10 Minuten. Auf der relaxierten Silicium-Germanium-Schiicht wurde eine Siliciumschiicht mit einer Dicke von 50 nm epitaktisch

abgeschieden, die aufgrund der unterschiedlichen Gitterparameter im Vergleich zur darunter liegenden Silicium-Germanium-Schicht verspannt war. In einem weiteren Schritt wurde die verspannte Siliciumschicht der derart vorbereiteten Donorscheibe mit einer Siliciumscheibe mit oxidiertem Oberfläche verbunden (gebondet). Hierzu wurde ein handelsüblicher Sonder verwendet. Das miteinander verbundene Scheibenpaar wurde dann einer thermischen Behandlung mit insgesamt 10 Stunden Dauer und einer Maximaltemperatur von 1100°C unterzogen. Der Druck betrug 10 Torr und als Atmosphärgas wurde Ar gewählt. Durch diese thermische Behandlung wurde die Stärke der Verbindung zwischen den beiden Scheiben erhöht. Zudem verschmolzen im weiteren Verlauf der thermischen Behandlung die individuellen, aus den Vertiefungen entstandenen Hohlräume, so dass sich ein durchgehender Hohlraum bildete, der die Silicium-Germanium-Schicht und die verspannte Siliciumschicht vom Rest der Donorscheibe trennte. Die Gesamtdicke der übertragenen Schicht betrug ca. 1,05 µm. Die nun über der Silicium-Germanium-Schicht angeordnete Siliciumschicht und die Silicium-Germanium-Schicht selbst wurden oxidiert und anschließend die Oxidschicht entfernt. Die dünne, einkristalline verspannte Siliciumschicht war nur noch mit der Oxidschicht verbunden, sodass ein sSOI-Substrat vorlag.

### Patentansprüche

1. Halbleitersubstrat, umfassend eine einkristalline Siliciumscheibe, eine an der Oberfläche liegende, mit der Siliciumscheibe in direktem Kontakt stehende, relaxierte, einkristalline Schicht, die Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% liegt, und eine Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen unter der genannten Oberfläche.

2. Halbleitersubstrat gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einkristalline Schicht eine Dicke von 5 nm bis 3 µm aufweist.

3. Verfahren zur Herstellung eines Halbleitersubstrats, umfassend folgende Schritte in der angegebenen Reihenfolge:

- Herstellung einer periodisch angeordnete Vertiefungen enthaltenden Schicht an der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe und
- thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe, bis sich eine geschlossene Schicht bestehend aus einkristallinem Silicium an der Oberfläche mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat, dadurch gekennzeichnet, dass nach der thermischen Behandlung auf der geschlossenen Schicht an der Oberfläche eine einkristalline, relaxierte Schicht mit einer Dicke von 5 nm bis 3 µm abgeschieden wird, die

Silicium und Germanium enthält, wobei der Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% liegt.

4. Verfahren zur Herstellung eines Halbleitersubstrats, umfassend folgende Schritte in der angegebenen Reihenfolge:

- Abscheidung einer Silicium und Germanium enthaltenden Schicht auf der Oberfläche einer einkristallinen Siliciumscheibe, wobei die Schicht eine Dicke von 5 nm bis 3 µm und einen Germanium-Gehalt an der Oberfläche der Schicht im Bereich von 10 Gew.% bis 100 Gew.% aufweist,
- Herstellung einer periodisch angeordnete Vertiefungen enthaltenden Schicht an der Oberfläche der einkristallinen Siliciumscheibe, die die Silicium und Germanium enthaltende Schicht trägt und
- thermische Behandlung der einkristallinen Siliciumscheibe, bis sich an der Oberfläche eine geschlossene, einkristalline, relaxierte Schicht enthaltend Silicium und Germanium mit einer darunter liegenden Schicht von periodisch angeordneten Hohlräumen gebildet hat.

5. Verfahren gemäß Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Oberfläche der Silicium und Germanium enthaltenden Schicht eine verspannte Siliciumschicht abgeschieden wird.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die verspannte Siliciumschicht mit einer Trägerscheibe verbunden wird.

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die verbundenen Scheiben entlang der Schicht von Hohlräumen gespalten werden, sodass die verspannte Siliciumschicht und die darüber liegende Schicht enthaltend Silicium und Germanium auf der Trägerscheibe zurückbleibt.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Silicium und Germanium enthaltende Schicht entfernt wird.

9. Verfahren gemäß Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Silicium und Germanium enthaltende Schicht mit einer Trägerscheibe verbunden wird.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die verbundenen Scheiben entlang der Schicht von Hohlräumen gespalten werden, sodass die Schicht enthaltend Silicium und Germanium auf der Trägerscheibe zurückbleibt.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Oberfläche der Silicium und Germanium enthaltenden Schicht, die auf der Trägerscheibe verblieben ist, eine verspannte Silici-

umschicht abgeschlossen wird.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen