



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 36 286 T2 2008.06.05

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 194 949 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 36 286.8

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US00/10872

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 926 275.9

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2000/063954

(86) PCT-Anmeldetag: 20.04.2000

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: 26.10.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 10.04.2002

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 05.09.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 05.06.2008

(51) Int Cl.⁸: H01L 21/20 (2006.01)

H01L 21/36 (2006.01)

H01L 21/762 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

130423 P 21.04.1999 US
399985 20.09.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Silicon Genesis Corp., Campbell, Calif., US

(72) Erfinder:

KANG, Sien G., Pleasanton, CA 94588, US; MALIK,
Igor J., Palo Alto, CA 94303, US

(74) Vertreter:

Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

(54) Bezeichnung: OBERFLÄCHENBEHANDLUNG EINES SOI SUBSTRATS MITTELS EINES EPITAXIE-VERFAH-
RENS

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Herstellung von Dingen. Insbesondere bietet die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Verbesserung von Oberflächenbeschaffenheit oder Oberflächencharakteristiken eines Films aus Material, etwa aus Silizium, Silizium-Germanium oder anderen. Die vorliegende Erfindung kann beispielsweise angewandt werden zur Behandlung oder Glättung eines gespaltenen Films aus einem Schichttransferprozess für die Herstellung integrierter Schaltungen. Jedoch besitzt die Erfindung selbstverständlich einen umfassenderen Anwendungsbereich; sie ist auch einsetzbar zur Glättung eines Films für andere Substrate, z.B. von mehrschichtigen integrierten Schaltungsvorrichtungen, dreidimensionalen Verpackungen integrierter Halbleitervorrichtungen, photonischen Vorrichtungen, piezoelektronischen Vorrichtungen, mikroelektromechanischen Systemen (MEMS), Sensoren, Aktoren, Solarzellen, flachen Anzeigetafeln (z.B. LCD, AMLCD), dotierten Halbleitervorrichtungen, biologischen und biomedizinischen Vorrichtungen und dergleichen.

[0002] Integrierte Schaltungen werden auf Chips aus Halbleitermaterial gefertigt. Häufig enthalten diese integrierten Schaltungen Tausende, ja sogar Millionen von Transistoren und anderen Vorrichtungen. Insbesondere ist es wünschenswert, so viele Transistoren wie möglich innerhalb eines gegebenen Halbleiterbereichs unterzubringen, weil eine größere Anzahl von Transistoren typischerweise eine größere Funktionalität verschafft, und es gilt, je kleiner ein Chip, desto mehr Chips pro Wafer und desto niedrigere Kosten. Einige integrierte Schaltungen werden auf einem Slice oder einem Wafer aus Einkristall (monokristallinem)-Silizium gefertigt, das gemeinhin als „Bulk“-Siliziumwafer bezeichnet wird. Vorrichtungen auf einem solchen Bulk-Siliziumwafer sind typischerweise voneinander isoliert. Eine Vielfalt von Verfahren ist bereits vorgeschlagen oder verwendet worden, um diese Vorrichtungen auf dem Bulk-Siliziumwafer voneinander zu isolieren, wie z.B. ein Verfahren zur lokalen Oxidation von Silizium (LOCOS), Grabenisolierung, u.a. Allerdings sind diese Verfahren nicht frei von Einschränkungen. Beispielsweise verbrauchen herkömmliche Isolationstechniken eine erhebliche Menge wertvollen Waferoberflächenbereichs auf dem Chip und erzeugen als Produkt des Isolationsprozesses häufig eine nicht ebene Oberfläche. Eine oder beide dieser Überlegungen schränken allgemein den Grad der Integration ein, die in einem gegebenen Chip erreichbar ist. Zusätzlich erfordert eine Grabenisolierung häufig einen Prozess des reaktiven Ionenätzens, der äußerst zeitaufwendig ist und sich gegebenenfalls nur unter Schwierigkeiten präzise ausführen lässt.

[0003] Eine Herangehensweise zur Erzielung von VLSI (Very Large Scale Integration) oder ULSI (Ultra Large Scale Integration) besteht in der Verwendung eines Sol (Semiconductor-on-Insulator)-Wafers. Bei einem Sol-Wafer befindet sich typischerweise eine Schicht aus Silizium auf einer Schicht aus einem Isolatormaterial. Zur Herstellung des Sol-Wafers wurde bereits eine Vielzahl von Verfahren vorgeschlagen oder eingesetzt. Zu diesen Verfahren zählt unter anderem das Wachsenlassen einer dünnen Schicht aus Silizium auf einem Saphirsubstrat, das feste Zusammenfügen einer Siliziumschicht mit einem Isolatorsubstrat und das Bilden einer isolierenden Schicht unter einer Siliziumschicht in einem Bulk-Siliziumwafer. In einer integrierten Sol-Schaltung wird eine im Wesentlichen vollständige Vorrichtungsisolation häufig mithilfe herkömmlicher Vorrichtungsverarbeitungsmethoden erreicht, indem jede Vorrichtung, einschließlich der Unterseite der Vorrichtung, mit einem Isolator umgeben wird. Ein Vorteil, den Sol-Wafer gegenüber Bulk-Siliziumwafern aufweisen, besteht darin, dass der für die Isolierung zwischen den Vorrichtungen auf einem Sol-Wafer erforderliche Bereich kleiner ist als jener, der typischerweise für die Isolierung auf einem Bulk-Siliziumwafer benötigt wird.

[0004] Sol besitzt gegenüber Bulk-Siliziumtechnologien auch noch andere Vorteile. Beispielsweise bietet Sol im Vergleich zu Bulk-Siliziumwafers eine einfachere Fertigungssequenz. Zudem können auf einem Sol-Wafer hergestellte Vorrichtungen eine bessere Resistenz gegenüber Strahlung, weniger photoinduzierten Strom und weniger Übersprechen aufweisen als auf Bulk-Siliziumwafers gefertigte Vorrichtungen. Allerdings sind viele Probleme, die bezüglich der Herstellung von Vorrichtungen auf Bulk-Siliziumwafers bereits gelöst wurden, hinsichtlich der Fertigung von Vorrichtungen auf Sol-Wafers noch zu bewältigen.

[0005] Beispielsweise müssen Sol-Wafer im Allgemeinen auch poliert werden, um jegliche Oberflächenunregelmäßigkeiten vom Siliziumfilm zu entfernen, der über der isolierenden Schicht liegt. Unter anderem umfasst das Polieren gewöhnlich das chemisch-mechanische Polieren, kurz CMP genannt. Im Allgemeinen ist CMP zeitaufwendig, teuer und zwecks Entfernung von Oberflächenunregelmäßigkeiten unter Umständen nur schwer kosteneffizient durchführbar. Das heißt, dass eine CMP-Maschine teuer ist und zudem große Mengen Slurry-Gemisch benötigt, die ebenfalls nicht billig sind. Darüber hinaus kann das Slurry-Gemisch in hohem Maße sauer oder ätzend sein. Demzufolge besteht die Möglichkeit, dass das Slurry-Gemisch die Funktionalität und die Zuverlässigkeit der Vorrichtungen beeinflusst, die auf dem Sol-Wafer gefertigt werden.

[0006] EP-A1-0971395 offenbart ein Verfahren zur Entfernung einer beschädigten Schicht von einer delaminierten Oberfläche einer Sol-Schicht, bevor das

Wachsenlassen einer epitaktischen Schicht möglich ist.

[0007] Aus dem oben Dargelegten ist ersichtlich, dass ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Substrats, wie z.B. eines Sol-Wafers, in hohem Maße erwünscht ist.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Behandlung eines Films aus Material geboten. Insbesondere stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Behandlung einer gespaltenen Oberfläche zur Verfügung, bei dem eine Kombination aus Wärmebehandlung und chemischer Reaktion zum Einsatz kommt, die eine im Wesentlichen glatte Filmschicht aus der gespaltenen Oberfläche formen kann.

[0009] Die vorliegende Erfindung bietet nach Anspruch 1 ein Verfahren zur Behandlung eines Films aus Material, das sich z.B. auf Silizium festlegen lässt. Dieses Verfahren beinhaltet das Bereitstellen eines Substrats, das eine gespaltene Oberfläche umfasst, die einen vorbestimmten Oberflächenrauhheitswert aufweist. Des Weiteren sind in dem Substrat wasserstoffhaltige Partikel verteilt, die von der gespaltenen Oberfläche bis zu einem Bereich vorgesehen sind, der unter der gespaltenen Oberfläche liegt. Vorzugsweise kann der Rauheitswert der Oberfläche in Abhängigkeit von der Ausführungsform um etwa achtzig oder neunzig Prozent oder auch um mehr gesenkt werden.

[0010] Mittels der vorliegenden Erfindung werden zahlreiche Vorteile gegenüber vorher vorhandenen Verfahren erzielt. Beispielsweise verschafft die vorliegende Erfindung ein effizientes Verfahren zur Formung einer im Wesentlichen gleichmäßigen Oberfläche auf einem Sol-Wafer. Zusätzlich wird die im Wesentlichen gleichmäßige Oberfläche mithilfe einer gängigen Wasserstoffbehandlung und üblicher Ätztechniken geschaffen, die mit herkömmlichen epitaktischen Werkzeugen zu erledigen sind. Das Verfahren der vorliegenden Erfindung bietet überdies eine gleichmäßige Schicht, die sich für die Herstellung integrierter Schaltungen eignen kann. Darüber hinaus beruht die vorliegende Erfindung auf Gasen aus standardmäßiger Herstellung, wie z.B. HCl und Wasserstoffgas. In bevorzugten Ausführungsformen kann die vorliegende Erfindung während des Verfahrens sowohl die Integrität der Verbindungsschnittstelle als auch die Kristallstruktur verbessern, und zwar bei gleichzeitiger Verringerung der Schäden im Substrat. In Abhängigkeit von der Ausführungsform sind einer oder mehrere dieser Vorteile vorhanden. Dieselben und weitere Vorteile oder günstige Eigenschaften sind in der vorliegenden Spezifikation durchgängig beschrieben, insbesondere nachstehend.

[0011] Diese und weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sowie ihre Vorteile und Merkmale sind in Verbindung mit dem unten Dargelegten und den beigefügten Zeichnungen detaillierter erläutert.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0012] [Fig. 1](#)-[Fig. 5](#) sind vereinfachte Diagramme mit Querschnittsdarstellung, die ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen, bei dem ein Silizium-auf-Isolator-Substrat geformt wird, und

[0013] [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) sind vereinfachte Diagramme von Versuchsergebnissen.

BESCHREIBUNG DER SPEZIFISCHEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0014] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Behandlung eines Films aus Material zur Verfügung gestellt. Insbesondere bietet die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Behandlung einer gespaltenen Oberfläche mittels einer Kombination aus Wärmebehandlung und chemischer Reaktion, die eine im Wesentlichen glatte Filmschicht aus der gespaltenen Oberfläche formen kann. Die Erfindung erschließt sich besserem Verständnis anhand der Zeichnungen und der nachstehenden Beschreibung.

[0015] Ein Verfahren zur Fertigung eines Silizium-auf-Isolator-Substrats kann folgendermaßen kurz umrissen werden:

- (1) Bereitstellen eines Donor-Siliziumwafers (der mit einem dielektrischen Material überzogen sein kann);
- (2) Einbringen von Partikeln in den Siliziumwafer bis zu einer gewählten Tiefe, um eine Dicke des Siliziumfilms festzulegen;
- (3) Bereitstellen eines Zielsubstratmaterials (das mit einem dielektrischen Material überzogen sein kann);
- (4) Festes Zusammenfügen des Donor-Siliziumwafers mit dem Zielsubstratmaterial durch Verbinden der Implantatfläche mit dem Zielsubstratmaterial;
- (5) Erhöhen der allgemeinen mechanischen Spannung (oder Energie) des Implantatbereichs in ausgewählter Tiefe ohne Auslösen eines Spaltungsvorgangs (optional);
- (6) Versehen eines ausgewählten Bereichs der fest zusammengefügten Substrate mit mechanischer Spannung (oder Energie) mittels eines Fluidstrahls, um einen kontrollierten Spaltungsvorgang in der gewählten Tiefe auszulösen;
- (7) Verschaffen zusätzlicher Energie für die fest zusammengefügten Substrate zwecks Aufrechterhaltung des kontrollierten Spaltungsvorgangs, um die Dicke des Siliziumfilms aus dem Silizium-

wafer zu befreien (optional);
 (8) Fertigstellen des festen Zusammenfügens des Donor-Siliziumwafers mit dem Zielsubstrat (optional);
 (9) Endbearbeitung der Oberfläche aus gespaltenem Film durch Ätzen und Wasserstoffbehandlung;
 (10) Bilden einer epitaktischen Schicht (z.B. aus Silizium, Silizium-Germanium), die über der endbearbeiteten Oberfläche liegt; und
 (11) Durchführen verbleibender Schritte, falls notwendig.

[0016] Zur obigen Abfolge von Schritten gehört ein Schritt des Auslösen eines kontrollierten Spaltvorgangs mittels einer Energie, die auf einen ausgewählten Bereich bzw. auf ausgewählte Bereiche einer mehrschichtigen Substratstruktur angewandt wird, um eine Spaltungsfront bzw. -fronten zu bilden. Dieser Schritt des Auslösens startet einen Spaltungsprozess in kontrollierter Weise, indem die Menge an Energie begrenzt wird, die auf das Substrat beaufschlagt wird. Die weitere Ausbreitung des Spaltvorgangs kann dadurch erfolgen, dass ausgewählten Bereichen des Substrats zusätzliche Energie zugeführt wird, um den Spaltvorgang aufrechtzuhalten, oder dass die Energie aus dem Schritt des Auslösens verwendet wird, um für eine weitere Ausbreitung des Spaltvorgangs zu sorgen. Die Schritte werden auch zur Endbearbeitung der gespaltenen Oberfläche benutzt, wobei z.B. eine Kombination aus Ätz- und Wasserstoffbehandlung für den Siliziumwafer verwendet wird. Diese Sequenz von Schritten stellt lediglich ein Beispiel dar und grenzt die Tragweite der hierin definierten Ansprüche nicht ein. Weitere Einzelheiten bezüglich der obigen Abfolge von Schritten werden nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert.

[0017] Bei den [Fig. 1](#)-[Fig. 5](#) handelt es sich um vereinfachte Diagramme mit Querschnittsdarstellung von Substraten, die einem erfindungsgemäßen Fertigungsprozess für einen Silizium-auf-Isolator-Wafer unterzogen werden. Der Prozess beginnt mit dem Bereitstellen eines Halbleitersubstrats, das dem in [Fig. 1](#) dargestellten Siliziumwafer **2100** ähnelt. Das Substrat oder der Donor enthält einen zu entfernenden Materialbereich **2101**, bei dem es sich um einen dünnen, verhältnismäßig gleichmäßigen Film handelt, der aus dem Substratmaterial stammt. Der Siliziumwafer beinhaltet eine obere Fläche **2103**, eine untere Fläche **2105** und eine Dicke **2107**. Außerdem umfasst der Materialbereich eine Dicke (z_0) innerhalb der Dicke **2107** des Siliziumwafers. Gegebenenfalls liegt eine dielektrische Schicht **2102** (z.B. Siliziumnitrid, Siliziumoxid, Siliziumoxynitrid) über der oberen Fläche des Substrats. Das vorliegende Verfahren bietet eine Technik zum Entfernen des Materialbereichs **2101** mittels der folgenden Abfolge von Schritten für die Fertigung eines Silizium-auf-Isolator-Wa-

fers.

[0018] Ausgewählte energetische Partikel **2109** werden durch die obere Fläche des Siliziumwafers bis zu einer gewählten Tiefe implantiert, welche die Dicke des Materialbereichs festlegt, der als dünner Materialfilm bezeichnet wird. Wie veranschaulicht, besitzen die Partikel in der gewählten Tiefe (z_0) eine gewünschte Konzentration **2111**. Zur Implantation der energetischen Partikel im Siliziumwafer lässt sich eine Vielzahl von Verfahren anwenden. Zu diesen Verfahren zählt die Ionenimplantation, bei der z.B. ein Beamlne-Ionenimplantationsgerät genutzt wird, das von Unternehmen wie etwa Applied Materials, Eaton Corporation und Varian hergestellt wird. Alternativ dazu erfolgt die Implantation unter Einsatz von Plasmamimensionsionenimplantation (PIII). Darüber hinaus kann die Implantation mithilfe einer Ionendusche stattfinden. Selbstverständlich sind die eingesetzten Verfahren anwendungsabhängig.

[0019] Für das Verständnis der vorliegenden Erfindung ist es von Nutzen zu wissen, dass in Abhängigkeit von der Anwendung allgemein Partikel mit geringerer Masse ausgewählt werden, um die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung des Materialbereichs zu verringern. Dies bedeutet, dass sich Partikel mit geringerer Masse problemlos durch das Substratmaterial zur gewählten Tiefe bewegen, ohne den Materialbereich wesentlich zu beschädigen, den die Partikel durchqueren. Bei den Partikeln mit geringerer Masse (bzw. den energetischen Partikeln) kann es sich beispielsweise um beinahe alle (z.B. positiv oder negativ) geladenen und/oder neutralen Atome oder Moleküle oder Elektronen oder dergleichen handeln. In einer spezifischen Ausführungsform können die Partikel neutral und/oder geladen sein und Ionen von Wasserstoff und dessen Isotope, Ionen von Edelgasen, wie z.B. Helium und dessen Isotope und Neon einschließen. Die Partikel können auch aus Verbindungen wie z.B. Gasen abgeleitet werden, etwa aus Wasserstoffgas, Wasserdampf, Methan und weiteren Wasserstoffverbindungen, und es können andere Partikel mit geringer Atommasse sein. Alternativ dazu kann es sich bei den Partikeln um jedwede Kombination aus den obigen Partikeln und/oder Ionen und/oder molekularen Spezies und/oder atomaren Spezies handeln.

[0020] Im Verfahren wird ein Schritt genutzt, bei dem der Implantat-Siliziumwafer an ein Werkstück oder einen Zielwafer gefügt wird, wie [Fig. 2](#) zeigt. Das Werkstück kann auch aus einer Vielzahl anderer Substrattypen bestehen, etwa aus jenen, die bestehen aus einem dielektrischen Material (z.B. Quarz, Glas, Siliziumnitrid, Siliziumdioxid), einem leitenden Material (Silizium, Polysilizium, Materialien der Gruppe III/V, Metall) und aus Kunststoffen (z.B. auf Polyimid basierenden Materialien). Jedoch handelt es sich im vorliegenden Beispiel beim Werkstück um einen

Siliziumwafer.

[0021] In einer spezifischen Ausführungsform werden die Siliziumwafer unter Anwendung eines thermischen Niedrigtemperaturschritts miteinander verbunden oder verschmolzen. Das thermische Niedrigtemperaturverfahren gewährleistet im Allgemeinen, dass die implantierten Partikel im Materialbereich keine übermäßige mechanische Spannung hervorrufen, was einen unkontrollierten Spaltungsvorgang bewirken könnte. In einem Aspekt vollzieht sich der Prozess des festen Zusammenfügens bei niedriger Temperatur durch einen Prozess des Selbstzusammenfügens. Insbesondere wird ein Wafer gestript, um die Oxidation zu beseitigen (oder ein Wafer wird nicht oxidiert). Mit einer Reinigungslösung wird die Oberfläche des Wafers behandelt, damit sich O-H-Bindungen auf der Waferoberfläche bilden. Ein Beispiel für eine Lösung, die zur Reinigung des Wafers benutzt wird, ist ein Gemisch aus H_2O_2 - H_2SO_4 . Die Waferoberflächen werden mit einem Trockner getrocknet, um jegliche Flüssigkeits- oder Partikelreste von den Waferoberflächen zu entfernen. Das Selbstzusammenfügen findet dadurch statt, dass eine Fläche des gereinigten Wafers an der Fläche eines oxidierten Wafers platziert wird.

[0022] Alternativ dazu findet ein Selbstzusammenfügungsprozess statt, indem eine der zusammenzufügenden Waferoberflächen durch Plasmareinigung aktiviert wird. Durch die Plasmareinigung wird insbesondere die Waferoberfläche angeregt, wobei aus Gasen wie Argon, Ammoniak, Neon, Wasserdampf und Sauerstoff gewonnenes Plasma eingesetzt wird. Die aktivierte Waferoberfläche **2203** wird an einer Fläche des anderen Wafers platziert, auf der sich ein Oxidationsüberzug **2205** befindet. Die Wafers sind mit freiliegenden Waferflächen sandwichartig angeordnet. Auf jede dieser freiliegenden Waferflächen wird ein ausgewähltes Maß an Druck beaufschlagt, um den einen Wafer mit dem anderen selbsthaftend zusammenzufügen.

[0023] Als Alternative dazu wird ein auf den Waferoberflächen aufgetragener Klebstoff verwendet, um einen Wafer fest auf den anderen zu fügen. Zu den verwendbaren Klebstoffen zählen Stoffe vom Epoxid- oder Polyimidtyp und Ähnliche. Auch Spin-on-Glass-Schichten lassen sich einsetzen, um die Fläche eines Wafers fest auf die eines anderen zu fügen. Zu den Spin-an-Glass(SoG)-Materialien gehören u.a. Siloxane oder Silikate, die häufig mit alkoholbasierten Lösungsmitteln oder dergleichen gemischt werden. SoG kann als Material aufgrund der niedrigen Temperaturen (z.B. 150 bis 250 Grad Celsius) erwünscht sein, die oft erforderlich sind, um SoG nach seiner Anwendung auf die Oberflächen der Wafer auszuhärten.

[0024] Alternativ dazu lässt sich eine Vielzahl ande-

rer Niedrigtemperaturverfahren zur Verbindung des Donorwafers mit dem Zielwafer einsetzen. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, ein elektrostatisches Zusammenfügungsverfahren zu verwenden, um die beiden Wafer miteinander zu verbinden. Insbesondere werden eine oder beide Waferoberflächen aufgelaufen, damit sie einander anziehen. Darüber hinaus kann der Donor-Wafer mit dem Zielwafer mittels einer Vielfalt bekannter gängiger Verfahren verschmolzen werden. Die Art des eingesetzten Verfahrens hängt selbstverständlich von der Anwendung ab.

[0025] Nach dem festen Zusammenfügen der Wafer zu einer sandwichartigen Struktur **2300**, wie sie in [Fig. 3](#) dargestellt ist, sieht das Verfahren einen kontrollierten Spaltungsvorgang zwecks Entfernung des Substratmaterials vor, um einen dünnen Film aus Substratmaterial **2101** zu erhalten, der über einem Isolator **2305** auf dem Zielsiliziumwafer **2201** liegt. Das kontrollierte Spalten erfolgt dadurch, dass Energie aus Energiequellen auf dem Donor-Wafer und/oder auf dem Zielwafer selektiv platziert oder positioniert oder zielgerecht ausgerichtet wird **2301**, **2303**. Es ist beispielsweise möglich, einen Energieimpuls bzw. Energieimpulse zur Auslösung des Spaltungsvorgangs zu nutzen. Der Impuls bzw. die Impulse wird bzw. werden durch den Einsatz einer Energiequelle geliefert, bei der es sich unter anderem um eine mechanische Quelle, eine chemische Quelle, eine elektrische Quelle oder eine thermische Quelle bzw. um einen Kühlkörper handeln kann.

[0026] Der kontrollierte Spaltungsvorgang wird mittels eines beliebigen der zuvor erwähnten oder eines anderen Verfahrens ausgelöst und ist anhand [Fig. 3](#) veranschaulicht. Beispielsweise sieht ein Verfahren zur Auslösung des kontrollierten Spaltungsvorgangs einen Schritt zur Leitung von Energie **2301**, **2303** zu einem ausgewählten Bereich des Substrats vor, um einen kontrollierten Spaltungsvorgang in der gewählten Tiefe (z_0) im Substrat auszulösen, woraufhin sich der Spaltungsvorgang mithilfe einer sich ausbreitenden Spaltungsfront vollzieht, damit ein Abschnitt des Substratmaterials befreit wird, der aus dem Substrat zu entfernen ist. In einer spezifischen Ausführungsform bedient sich das Verfahren eines einzigen Impulses zur Auslösung des Spaltungsvorgangs, wie zuvor erwähnt. Alternativ dazu nutzt das Verfahren einen Auslösungsimpuls, gefolgt von einem weiteren Impuls oder von sukzessiven Impulsen für ausgewählte Bereiche des Substrats. Als Alternative dazu liefert das Verfahren einen Impuls zur Auslösung des Spaltungsvorgangs, der durch entlang dem Substrat gescannte Energie aufrechterhalten wird. Als weitere Alternative dazu kann Energie quer durch ausgewählte Bereiche des Substrats gescannt werden, um den kontrollierten Spaltungsvorgang auszulösen und/oder aufrechtzuerhalten.

[0027] Gegebenenfalls wird eine Energie oder me-

chanische Spannung des Substratmaterials zu einem Energieniveau hin erhöht, das zwar für die Auslösung des Spaltungsvorgangs notwendig ist, aber nicht zur Auslösung des Spaltungsvorgangs ausreicht, bis gemäß der vorliegenden Erfindung ein Impuls oder viele aufeinanderfolgende Impulse auf das Substrat gerichtet wird bzw. werden. Der Gesamtenergiezustand des Substrats lässt sich mit einer Vielfalt von Quellen erhöhen oder senken, z.B. mit einer chemischen, mechanischen, elektrischen oder thermischen Quelle bzw. mit einem Kühlkörper, die allein oder in Kombination zum Einsatz kommen. Die chemische Quelle kann Partikel, Fluide, Gase oder Flüssigkeiten umfassen. Außerdem kann diese Quelle eine chemische Reaktion beinhalten, um die mechanische Spannung im Materialbereich zu verstärken. Eingebracht wird die chemische Quelle in Form einer Flut, in zeitlich variierender, räumlich variierender oder kontinuierlicher Weise. In anderen Ausführungsformen wird eine mechanische Quelle aus Rotation-, Translations-, Kompressions-, Expansion- oder Ultraschallenergie gewonnen. Auch die mechanische Quelle lässt sich in Form einer Flut, in zeitlich variierender, räumlich variierender oder kontinuierlicher Weise einbringen. In weiteren Ausführungsformen wird die elektrische Quelle unter einer angelegten Spannung oder einem angelegtem elektromagnetischen Feld ausgewählt, eingebracht in Form einer Flut, in zeitlich variierender, räumlich variierender oder kontinuierlicher Weise. In noch weiteren Ausführungsformen wird bezüglich der thermischen Quelle bzw. des Kühlkörpers zwischen Bestrahlung, Konvektion oder Ableitung entschieden. Diese thermische Quelle kann ausgewählt werden unter einem Photonenstrahl, Fluidstrahl, Flüssigkeitsstrahl, Gasstrahl, elektromagnetischen Feld, Elektronenstrahl, einer thermoelektrischen Heizung und einem Ofen, u.a.. Hinsichtlich des Kühlkörpers kann die Wahl auf einen Fluidstrahl, einen Flüssigkeitsstrahl, einen Gasstrahl, ein kryogenes Fluid, eine supergekühlte Flüssigkeit, ein thermoelektrisches Kühlmittel, ein elektromagnetisches Feld, usw. fallen. Ähnlich wie bei den vorhergehenden Ausführungsformen wird die thermische Quelle in Form einer Flut, in zeitlich variierender, räumlich variierender oder kontinuierlicher Weise angewandt. Ferner besteht die Möglichkeit, jede der obigen Ausführungsformen anwendungsabhängig in Kombination oder sogar separat einzusetzen. Selbstverständlich ist der Typ der benutzten Quelle von der Anwendung abhängig. Wie anmerkt, erhöht die Gesamtquelle ein Niveau an Energie oder mechanischer Spannung im Materialbereich, ohne den Spaltungsvorgang im Materialbereich auszulösen, bevor Energie zur Auslösung des kontrollierten Spaltungsvorgangs zugeführt wird.

[0028] In einer bevorzugten Ausführungsform wird im Verfahren eine Temperatur aufrechterhalten, die unter einer Temperatur zur Einbringung der Partikel in das Substrat liegt. Während des Schritts zur Ener-

giezuführung zwecks Auslösung der Ausbreitung des Spaltungsvorgangs wird in einigen Ausführungsformen die Substrattemperatur zwischen -200 und 450 Grad Celsius gehalten. Ferner ist es möglich, die Substrattemperatur auf einer Temperatur unter 400 oder unter 350 Grad Celsius zu halten. In bevorzugten Ausführungsformen nutzt das Verfahren einen Kühlkörper zur Auslösung und Aufrechterhaltung des Spaltungsvorgangs, der sich bei Bedingungen vollzieht, die erheblich unter Raumtemperatur liegen.

[0029] In einer alternativen bevorzugten Ausführungsform kann es sich bei der mechanischen und/oder thermischen Quelle um einen Fluidstrahl handeln, der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Druck gesetzt wird (z.B. durch Kompression). Der Fluidstrahl (bzw. der Flüssigkeits- oder Gasstrahl) trifft auf einen Randbereich des Substrats **2300** auf, damit der kontrollierte Spaltungsvorgang ausgelöst wird. Der Fluidstrahl aus einer komprimierten oder unter Druck stehenden Fluidquelle wird auf einen Bereich in der gewählten Tiefe **2111** gerichtet, um eine Dicke des Materialbereichs **2101** vom Substrat **2100** zu spalten. Der Fluidstrahl trennt den Bereich **2101** vom Substrat **2100**, die sich voneinander in der gewählten Tiefe **2111** trennen. Der Fluidstrahl lässt sich so regulieren, dass der kontrollierte Spaltungsvorgang zwecks Trennung des Materials **2101** vom Substrat **2100** ausgelöst und aufrechterhalten wird. In Abhängigkeit von der Anwendung bietet sich die Möglichkeit, den Fluidstrahl in Bezug auf Richtung, Ort und Stärke zu regulieren, um den gewünschten kontrollierten Spaltungsprozess zu erhalten.

[0030] Ein abschließender Schritt des festen Zusammenfügens findet gemäß einigen Ausführungsformen zwischen dem Zielwafer und dem dünnen Materialbereichfilm statt, wie aus [Fig. 4](#) ersichtlich. In einer Ausführungsform weist ein Siliziumwafer eine ihn überziehende Schicht aus Siliziumdioxid auf, deren Wachstum thermisch und über der Fläche liegend erfolgt, bevor der dünne Materialfilm gereinigt wird. Das Siliziumdioxid kann auch durch eine Vielzahl anderer Verfahren, wie z.B. die chemische Phasenabscheidung, gebildet werden. Bei diesem Verfahren lässt das zwischen den Waferoberflächen vorhandene Siliziumdioxid diese miteinander verschmelzen.

[0031] In einigen Ausführungsformen wird die oxidierte Siliziumoberfläche entweder des Zielwafers oder des dünnen Materialbereichfilms (des Donor-Wafers) weiter zusammengepresst und einer oxidierenden Umgebung **2401** ausgesetzt. Diese oxidierende Umgebung kann in einem Diffusionsofen zur Dampfoxidation, Wasserstoffoxidation oder dergleichen vorliegen. Eine Kombination aus Druck und oxidierender Umgebung lässt die beiden Siliziumwafer an der Oxidoberfläche bzw. -schnittstelle **2305** mit-

einander verschmelzen. Diese Ausführungsformen erfordern häufig hohe Temperaturen (z.B. 700 Grad Celsius).

[0032] Alternativ dazu werden die beiden Siliziumoberflächen weiter zusammengepresst und einer zwischen den beiden Wafers angelegten Spannung ausgesetzt. Die angelegte Spannung erhöht die Temperatur der Wafer, damit eine feste Bindung zwischen den Wafers herbeigeführt wird. Dieses Verfahren begrenzt die Menge von Kristallfehlern, die in die Siliziumwafer während des Zusammenfügensprozesses eingebracht werden, da im Wesentlichen keine mechanische Kraft benötigt wird, um den Vorgang des Zusammenfügens zwischen den Wafers auszulösen. Selbstverständlich ist der Einsatz eines Verfahrens von der Anwendung abhängig.

[0033] Nach dem festen Zusammenfügen der Wafer verfügt das Silizium-auf-Isolator-Substrat über ein Zielsubstrat mit einem dieses überziehenden Film aus Siliziummaterial und einer Oxidschicht, die sandwichartig zwischen dem Zielsubstrat und dem Siliziumfilm angeordnet ist, wie [Fig. 5](#) darstellt. Die gelöste Oberfläche des Films aus Siliziummaterial ist häufig rau **2404** und benötigt eine Endbearbeitung. Die Rauheit der Oberfläche bei Siliziumwafers beläuft sich oft auf etwa zwei bis acht Nanometer RMS oder mehr. Häufig sollte diese Rauheit vor weiterer Verarbeitung beseitigt werden. In und auf der gelösten Oberfläche befindet sich eine Konzentration wasserstoffhaltiger Partikel aus dem vorhergehenden Implantationsschritt.

[0034] Um die Oberfläche **2404** glatt zu machen oder zu behandeln, wird das Substrat einer Wärmebehandlung **2401** in einer wasserstoffhaltigen Umgebung unterzogen. Zusätzlich wird das Substrat einem HCl-Ätzmittel, einer halogenhaltigen Verbindung, ausgesetzt. Für das Verständnis der vorliegenden Erfindung ist es nützlich zu wissen, dass HBr, HI, HF und andere Stoffe verwendet werden können und dass es sich bei dem Ätzmittel auch um eine fluorhaltige Verbindung, wie z.B. SF₆, C_xF_x, handeln kann.

[0035] Das vorliegende Substrat wird einer Behandlung unterzogen, die in einer Kombination aus Ätzmittel und Wärmebehandlung in wasserstoffhaltiger Umgebung besteht. Bei dem Ätzmittel handelt es sich um HCl-Gas, und zur Wärmebehandlung wird ein Wasserstoffgas herangezogen. Das Ätzgas ist ein Halogengas, nämlich HCl. Für das Verständnis der vorliegenden Erfindung ist es nützlich zu wissen, dass auch HF, HI, HBr, SF₆, CF₄, NF₃ und CCl₂F₂ verwendbar sind. Überdies kann das Ätzgas mit einem weiteren Halogengas, z.B. Chlor- oder Fluorgas, gemischt werden. Zwar lässt sich die Wärmebehandlung mithilfe eines Ofens durchführen, wird aber bevorzugt mit einem Werkzeug zur raschen thermischen Bearbeitung, z.B. einem RTP-Werkzeug, vor-

genommen. Alternativ dazu kann das Werkzeug in einer epitaktischen Kammer bestehen, die über Lampen zur schnellen Erhitzung eines Substrats verfügt. In einer Ausführungsform, in der ein Siliziumwafer und Wasserstoffgas benutzt werden, kann das Werkzeug das Substrat in Abhängigkeit von der Ausführungsform mit einer Rate von ungefähr 10 Grad Celsius/Sekunde und mehr oder von 20 Grad Celsius/Sekunde und mehr erhitzen.

[0036] Bei einer Ausführungsform wird davon ausgängen, dass die Wasserstoffpartikel in der gelösten Oberfläche den Prozess der Oberflächenglättung verbessern. Hierbei wurden die Wasserstoffpartikel auf einer Temperatur gehalten, bei der sie nicht aus dem Substrat herausdiffundieren. Die Konzentration der Wasserstoffpartikel liegt in einem Bereich von 10²¹ bis 5 × 10²² Atomen/cm³. Die Konzentration der Wasserstoffpartikel kann ungefähr bei mindestens 6 × 10²¹ Atomen/cm³ liegen. Die jeweilige Konzentration der Wasserstoffpartikel lässt sich in Abhängigkeit von der Ausführungsform regulieren.

[0037] Des Weiteren ist es für das Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlich zu wissen, dass das vorliegende Substrat einem Wasserstoffbehandlungs- oder Implantationsverfahren unterzogen werden kann, bevor die Wärmebehandlungen erfolgen. Hierbei wird das Substrat, einschließlich des gelösten Films, mittels Implantation, Diffusion oder einer beliebigen Kombination daraus wasserstoffhaltigen Partikeln ausgesetzt. In einigen Ausführungsformen, in denen Wasserstoff aus dem anfänglichen Implantat herausdiffundiert ist, kann ein nachfolgender Wasserstoffbehandlungsvorgang erfolgen, um die Konzentration von Wasserstoff im gelösten Film zu erhöhen. Das vorliegende Wasserstoffbehandlungsverfahren ist bei Substraten durchführbar, die mithilfe von kontrollierten Spaltungsverfahren, wie des Smart Cut™-Verfahrens der Soltec SA, u.a., gefertigt werden, aus denen sich nach Ablösung ein unebenes oder raues Oberflächenfinish ergeben kann. Ein nach Glättung oder Oberflächenbehandlung endbearbeiteter Wafer ist in [Fig. 5](#) dargestellt. Hierbei umfasst der endbearbeitete Wafer eine im Wesentlichen glatte Oberfläche **2601**, die sich im Allgemeinen als gut genug zur Herstellung integrierter Schaltungen erweist, ohne dass sie wesentlich poliert wird oder dergleichen.

[0038] Überdies kann im vorliegenden Verfahren zur Endbearbeitung der gespaltenen Oberfläche eine Kombination aus Ätzmittel, Abscheidung und Wärmebehandlung genutzt werden, um den gespaltenen Film zu glätten. Hierbei ist es für das Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlich zu wissen, dass der gespaltene Film wasserstoffhaltigen Verbindungen, wie z.B. HCl, HBr, HI, HF und dergleichen, ausgesetzt werden kann. Zusätzlich wird der gespaltene Film beispielsweise einer Abscheidung während ei-

ner Zeit unterzogen, zu welcher der Film den wasserstoffhaltigen Verbindungen ausgesetzt ist, welche Abschnitte des gespaltenen Films ätzen. Wird beispielsweise ein gespaltener Siliziumfilm verwendet, kann die Abscheidung mithilfe einer siliziumhaltigen Verbindung stattfinden, wie z.B. mit Silanen, etwa $\text{Si}_x\text{-Cl}_y\text{H}_z$, SiH_4 , SiCl_x , und anderen Siliziumverbindungen. Dementsprechend unterzieht das vorliegende Verfahren den gespaltenen Film einer Kombination aus Ätzen und Abscheidung mithilfe einer wasserstoffhaltigen Verbindung und einer siliziumhaltigen Verbindung. Zusätzlich wird die gespaltene Oberfläche einer Wärmebehandlung unterzogen, während sie der Kombination aus Ätzmittel und Abscheidungsgas ausgesetzt ist. Zwar lässt sich die Wärmebehandlung in einem Ofen durchführen, wird aber bevorzugt mittels eines Werkzeugs zur raschen thermischen Bearbeitung, also einem RTP-Werkzeug, vorgenommen. Alternativ dazu kann das Werkzeug in einer epitaktischen Kammer bestehen, die über Lampen zur raschen Erhitzung eines Substrats verfügt. In einer Ausführungsform, in der ein Siliziumwafer und Wasserstoffgas verwendet werden, kann das Werkzeug das Substrat in Abhängigkeit von der Ausführungsform mit einer Rate von etwa 10 Grad Celsius/Sekunde und mehr oder von 20 Grad Celsius/Sekunde und mehr erhitzten.

[0039] In einer spezifischen Ausführungsform durchläuft das Silizium-auf-Isolator-Substrat eine Serie von Verarbeitungsschritten, um auf demselben integrierte Schaltungen zu bilden. Erläutert sind diese Verarbeitungsschritte in S. Wolf: „Silicon Processing for the VLSI Era“, (Band 2), Lattice Press (1990).

[0040] Obwohl sich die obige Beschreibung auf einen Siliziumwafer bezieht, sind auch andere Substrate verwendbar. Beispielsweise kann es sich bei dem Substrat um beinahe jedes Substrat vom monokristallinen, polykristallinen oder selbst vom amorphen Typ handeln. Zusätzlich ist das Substrat aus III/V-Materialien, wie z.B. Galliumarsenid, Galliumnitrid (GaN), u.a. herstellbar. Es besteht außerdem die Möglichkeit zur Verwendung des mehrschichtigen Substrats gemäß der vorliegenden Erfindung. Das mehrschichtige Substrat umfasst ein Silizium-auf-Isolator-Substrat, eine Vielzahl sandwichartig angeordneter Schichten auf einem Halbleitersubstrat und zahlreiche andere Arten von Substraten. Zusätzlich beziehen sich die obigen Ausführungsformen im Allgemeinen darauf, dass ein Energieimpuls gegeben wird, um einen kontrollierten Spaltungsprozess auszulösen. Der Impuls lässt sich durch Energie ersetzen, die quer durch einen ausgewählten Bereich des Substrats gescannt wird, um den kontrollierten Spaltungsprozess auszulösen. Des Weiteren kann Energie quer durch ausgewählte Bereiche des Substrats gescannt werden, um den kontrollierten Spaltungsprozess zu unterstützen oder aufrechtzuerhalten. Ein Fachmann auf diesem Gebiet ist mühelos

dazu in der Lage, eine Vielzahl von Alternativen, Modifikationen und Variationen zu erkennen, die anwendbar sind.

[0041] Während das oben Dargelegte eine vollständige Beschreibung spezifischer Ausführungsformen darstellt, besteht die Möglichkeit zur Anwendung von verschiedenen Modifikationen, alternativen Konstruktionen und Äquivalenten. Deshalb sind die obige Beschreibung und die obigen Erläuterungen nicht als Einschränkung der Tragweite der vorliegenden Erfindung anzusehen, die durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

VERSUCH:

[0042] Um das Prinzip und die Funktionsweise der vorliegenden Erfindung unter Beweis zu stellen, wurden die folgenden Versuche durchgeführt. Diese sollen den Leser beim Verständnis der allgemeinen Konzepte in Bezug auf Schichttransferverfahren unterstützen, die sich alle wesentlich unterscheiden. Die Verfahren werden zur Fertigung von Sol-Wafers eingesetzt. Es bestehen zumindest zwei grundlegende Methoden, die Herstellung von Sol-Wafers anzugehen. Bei der ersten handelt es sich um SIMOX (Separation by Implantation of Oxygen), die eine frühe Sol-Technik darstellt, die in Silizium implantierten Sauerstoff nutzt, gefolgt von einem Annealing mit hoher Temperatur. Die zweite ist eine Schichtübertragungsmethode, von der erwartet wird, dass sie SIMOX im Hinblick auf die Herstellung von Sol-Volumenmaterial künftig ersetzen wird. Möglicherweise nicht ausschließlich umfassen diese Methoden wie folgt: BESOITM (Bonded and Etched Back Silicon an Insulator), ELTRANTM (Epitaxial Layer TRANSfer), der das Spalten entlang einer Schicht aus porösem Silizium einbezieht, Smart CutTM, bei dem ein Wafer Wasserstoff als Implantat erhält, mit einem anderen Wafer fest zusammengefügten und entlang der implantierten Schicht thermisch gespalten wird, und schließlich den kontrollierten Spaltungsprozess, der von der Silicon Genesis Corporation (SiGen) entwickelt wurde. Bei den drei letztgenannten Verfahren ist die Oberfläche der transferierten Sol-Schicht rau, und zur Glättung der Oberfläche werden andere Methoden verwendet. Ein hierzu gängiges Verfahren wird als Touch-Polishing-Technik bezeichnet, die das mechanische Reinigen und Scheuern mittels einer CMP-Vorrichtung einschließt.

[0043] Im vorliegenden Beispiel wollten wir die Oberflächenbeschaffenheit-charakteristiken einer Sol-Schicht verbessern, die mittels eines kontrollierten Spaltungsprozesses gespalten wird, der sich auch für andere Verfahren einsetzen lässt. Eine Kombination (einschließlich einer gleichzeitigen Kombination) aus chemischer und thermischer Behandlung des Sol-Wafers wird im vorliegenden Beispiel benutzt. Des Weiteren kommt im vorliegenden Beispiel

eine atmosphärische „Epi“-Kammer für Einzelwafer von Applied Materials zum Einsatz, und zwar die Epi Centura™. Diese Kammer verfügt über zwei Module mit Radiallampenanordnungen, um Strahlungswärme für den Wafer zu liefern. Die Kammer besitzt eine geschlossene Temperaturregelschleife mit programmierbarem PID, der zwei optische Pyrometer nutzt, die in der Lage sind, eine unabhängige Temperaturmessung sowohl am Wafer als auch am Suszeptor vorzunehmen.

[0044] Bei dem verwendeten Wafer handelte es sich um einen Siliziumwafer mit acht Zoll Durchmesser, in den Wasserstoffgas implantiert wurde. Die Implantation erfolgte mit einer Dosis von 6×10^{16} Atomen/cm² und einer Energie von etwa 60 KeV. Der Implantat-Wafer wurde mit einem Handle-Substrat fest zusammengefügten, das ebenfalls ein Wafer mit acht Zoll Durchmesser war. Die fest zusammengefügten Substrate wurden einer Wärmebehandlung unterzogen, um sie noch stärker zusammenzufügen. Nach Abschluss des Zusammenfügens wurde an den fest zusammengefügten Substraten ein Spaltungsprozess vorgenommen. Hierbei wurden die fest zusammengefügten Substrate mittels eines kontrollierten Spaltungsprozesses gespalten, der die Implantat-Oberfläche aus dem restlichen Abschnitt des Substrats durch einen Strahl aus fluidisiertem Gas spaltet. Der gespaltene Film verfügte (bis zur Implantattiefe) über eine ausgewählte Konzentration an wasserstoffhaltigen Partikeln, da die Spaltung bei Raumtemperatur stattfand, die den Wasserstoff nicht wesentlich aus der gespaltenen Oberfläche diffundiert. Obgleich der durch das Gas gespaltene Film sehr gleichmäßig und glatt war, benötigte er noch etwas Endbearbeitung.

[0045] Um die Oberfläche in den richtigen Zustand zu versetzen, wurde der gespaltene Film einer Kombination aus Wärmebehandlung und chemischer Reaktion unterzogen. Insbesondere haben wir den gespaltenen Wafer in die Epi-Kammer gegeben. Als Nächstes haben wir HCl und H₂ in Gasform in die Epi-Kammer gelassen, in der die gespaltene Siliziumoberfläche den Gasen ausgesetzt war. Außerdem wurde die Oberfläche einer Umgebung mit hoher Temperatur überlassen, um nicht nur eine kontrollierte und reversible Reaktion zwischen Silizium und HCl zu fördern, sondern auch um die Siliziumatomoberflächenmobilität zu verbessern. Durch die KammerTemperatur wurde das Substrat auf etwa 1000 Grad Celsius und insbesondere auf bis zu ungefähr 1200 Grad Celsius gehalten. Der Kammerdruck wurde allgemein bei ungefähr 1 Atmosphäre gehalten, aber es sind auch andere Werte möglich. Die HCl-Fließrate lag unter 1 Standardliter/Minute, und der Wasserstoffgasdurchfluss betrug etwa 100 Standardliter/Minute. Weitere Parameter wurden in standardgemäßer Weise reguliert. Zusätzlich gehen wir davon aus, dass die Anwesenheit von H₂-Restmolekülen in der

oberen Sol-Oberflächenschicht und in der gespaltenen Oberfläche als Ergebnis der zuvor durchgeföhrten H₂-Implantation die Sol-Oberflächenmodifikation weiter verbessert.

[0046] [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) sind Diagramme gespalterner Oberflächen, die vermessen wurden. Die vorliegenden Diagramme stellen lediglich Beispiele dar, welche die Tragweite der Ansprüche hierin nicht begrenzen. Zunächst wurden die Oberflächen, die gespalten worden waren, bezüglich ihrer Oberflächenrauheit vermessen. Die anfängliche Oberflächenrauheit lag in einem Bereich von etwa 4,0-8,0 nm RMS laut Messung mit Rasterkraftmikroskop (AFM) nach dem Tapping Mode von Digital Instruments. Diese anfänglichen Messungen **600** der Rauheit sind durch das Bild aus [Fig. 6](#) erläutert. Nach Anwendung des vorliegenden Verfahrens wurde die Oberflächenrauheit auf unter 0,1 nm 700 reduziert, was durch das Bild aus [Fig. 7](#) veranschaulicht ist. Anders als herkömmliches Touch-Polishing, das sich auf die Entfernung einiger Dutzend nm beschränkt, kann der vorliegende Versuch eingesetzt werden, um die Dicke der Sol-Schicht bis auf ein paar hundert oder sogar bis auf ein paar Dutzend Nanometer zu reduzieren, ohne die Gleichmäßigkeit der Schicht zu verschletern. Soll eine dickere Schicht entfernt werden, besteht die Möglichkeit, eine Kombination aus hohen und niedrigen Entfernungsraten zu benutzen, während weiterhin ausgezeichnete Sol-Oberflächencharakteristiken aufrechterhalten werden. Zusätzlich ist das vorliegende Verfahren trocken, was bedeutet, dass es bei einigen Anwendungen im Wesentlichen frei von nassen Batch-Chemikalien und dergleichen ist. Dementsprechend haben wir mithilfe unserer Versuche einige der Vorteile der vorliegenden Erfindung gegenüber herkömmlichen Techniken dargelegt.

[0047] Dieser Versuch hat nur als Beispiel gedient, das die Tragweite der Ansprüche nicht beschränkt. Ein Fachmann auf diesem Gebiet würde viele weitere Variationen, Alternativen und Modifikationen erkennen.

[0048] Während es sich bei dem oben Dargelegten um eine vollständige Beschreibung der spezifischen Ausführungsformen handelt, können verschiedene Modifikationen, alternative Konstruktionen und Äquivalente eingesetzt werden. Deshalb sind die obige Beschreibung und die obigen Erläuterungen nicht als Begrenzung der Tragweite der vorliegenden Erfindung anzusehen, die durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln eines Films bzw. einer Schicht eines Materials, wobei das Verfahren umfasst:
ein Substrat wird bereit gestellt, dass eine gespaltete

bzw. geschlitzte Oberfläche aufweist, und zwar durch einen gesteuerten Spalt- bzw. Schlitzprozess, bei dem eine raua gespaltene bzw. geschlitzte Oberfläche hergestellt wird, die einen vorbestimmten Oberflächenrauigkeitswert hat, und bei welchem die gespaltene bzw. geschlitzte Oberfläche ein anfängliches Konzentrationsniveau von Wasserstoff in dem Bereich von 10^{21} bis 5×10^{22} Atomen/cm³ hat; eine Temperatur der gespaltenen bzw. geschlitzten Oberfläche wird auf mehr als ungefähr 1.000°C erhöht, während die gespaltene bzw. geschlitzte Oberfläche in einer wasserstoffhaltigen Umgebung gehalten wird, um den vorbestimmten Oberflächenrauigkeitswert um ungefähr 50 Prozent und mehr zu verringern, wobei die wasserstoffhaltige Umgebung ein Ätzmittel enthält, wobei das Ätzmittel ein HCl-Gas ist, und wobei die wasserstoffhaltige Umgebung das HCl-Gas und Wasserstoffgas enthält.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem ein Verhältnis des HCl-Gases zu dem Wasserstoffgas ungefähr 0,001 bis 10 beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der vorbestimmte Oberflächengenauigkeitswert der gespaltenen bzw. geschlitzten Oberfläche in einer Thermo-Prozesskammer reduziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem das Substrat ein Silizium-Wafer ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, das weiter umfasst, die gespaltene bzw. geschlitzte Oberfläche einem siliziumhaltigen Gas auszusetzen, um Siliziumatome darauf abzuscheiden.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

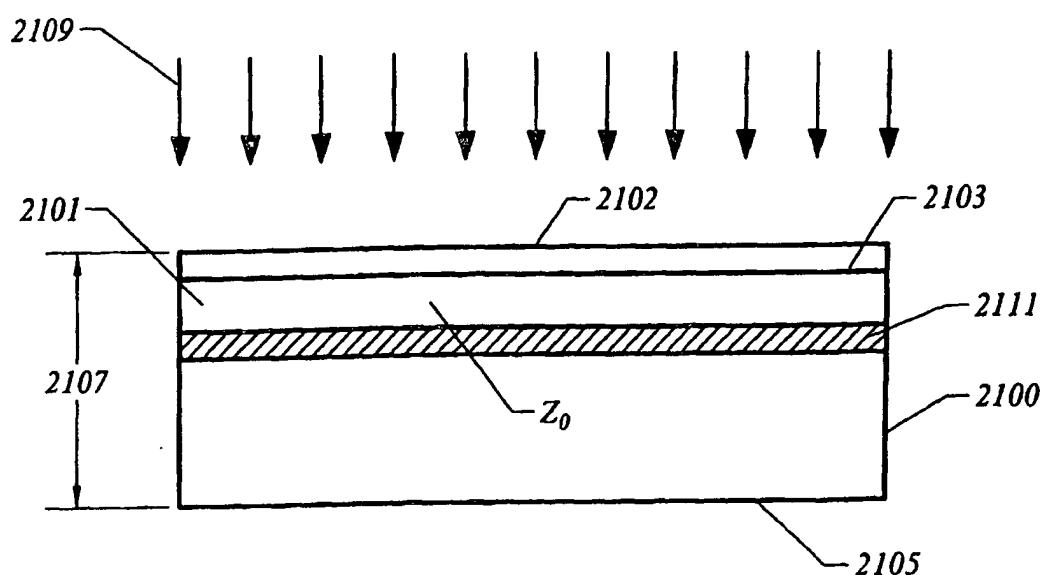


FIG. 1

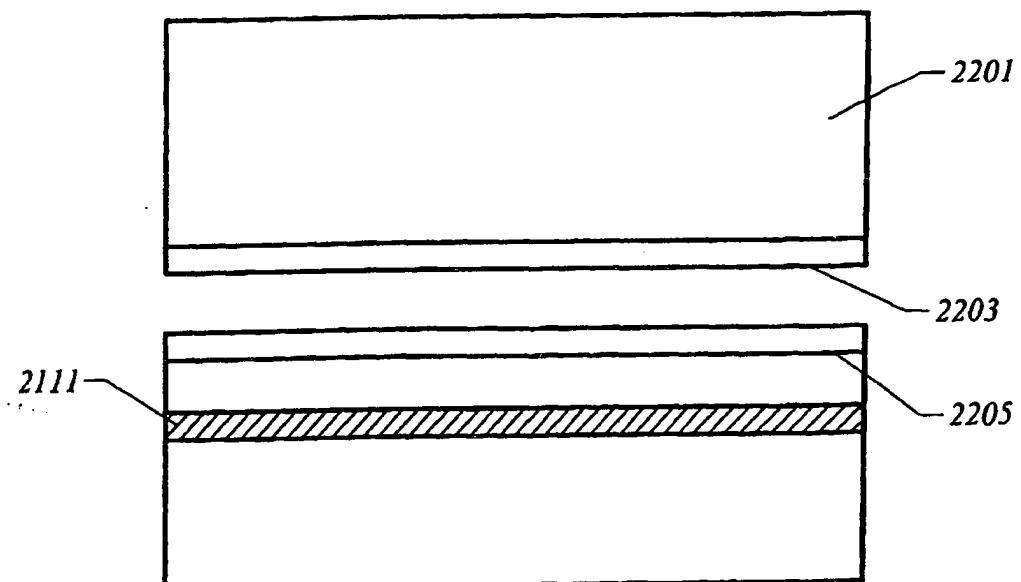


FIG. 2

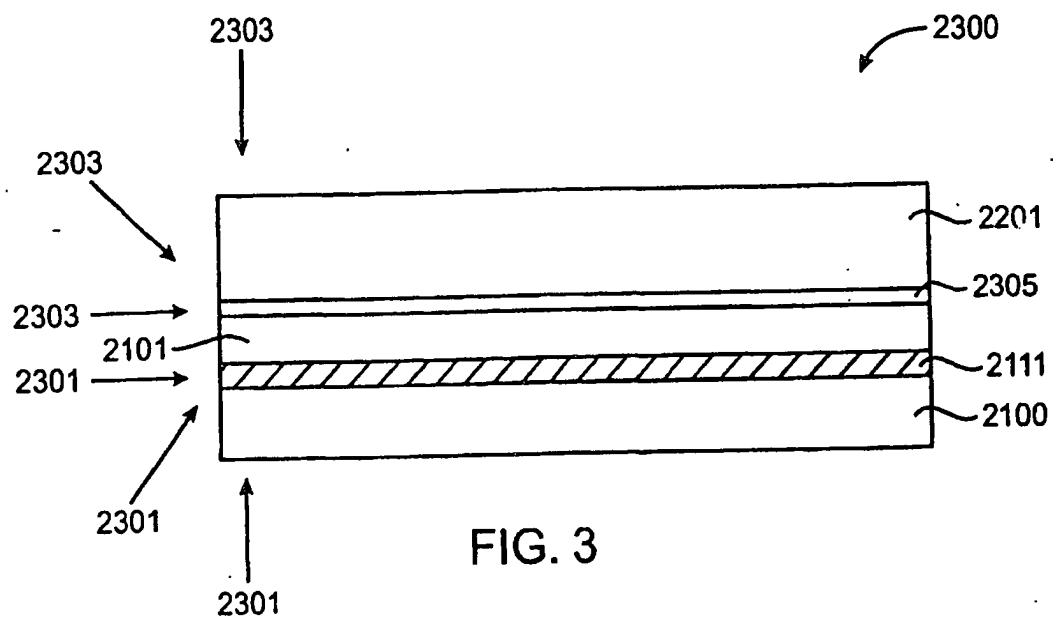


FIG. 3

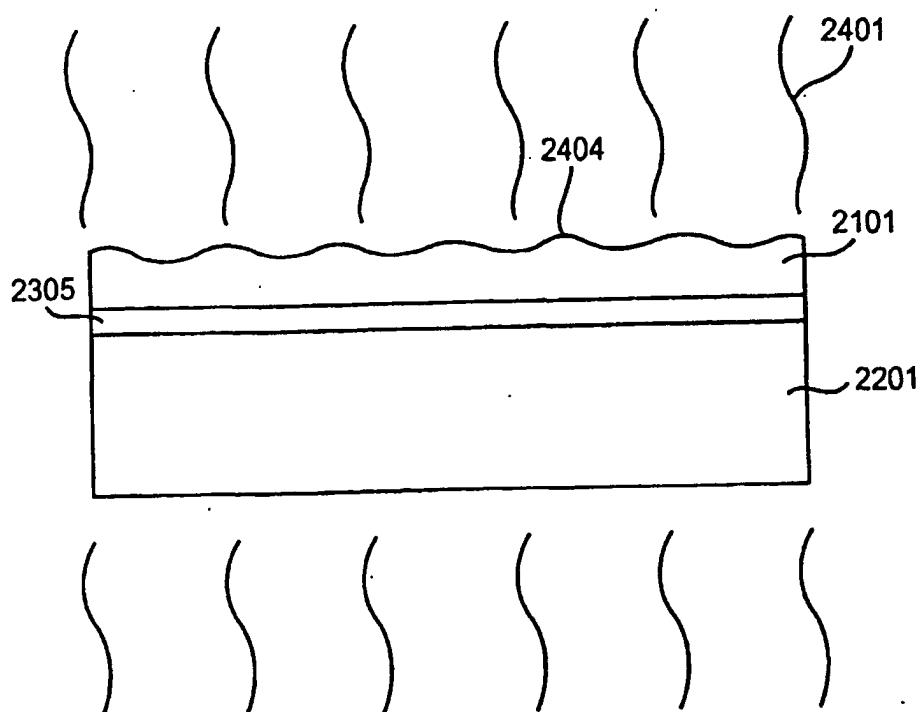


FIG. 4

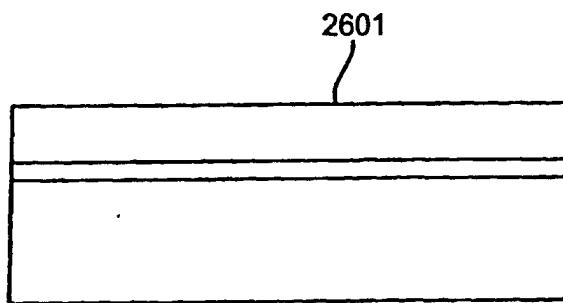


FIG. 5

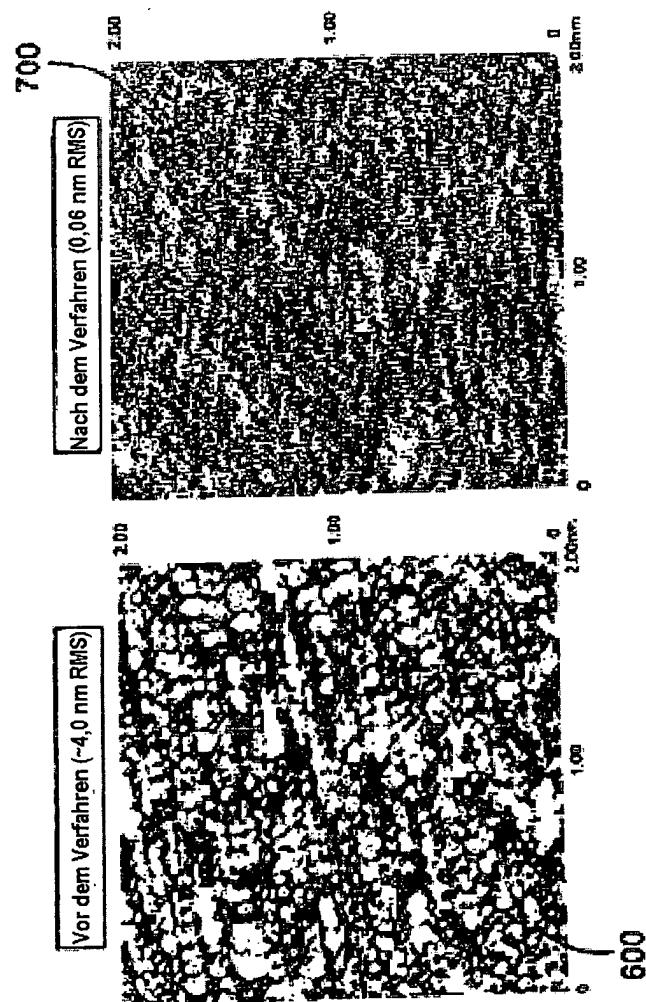


FIG. 7

FIG. 6