

Verfahren und Vorrichtung zur Kompensation von Verzerrungen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung gemäß den nebengeordneten Patentansprüchen.

In der Halbleiterindustrie werden unterschiedliche Substrate verwendet, um Bauteile, sogenannte Devices, herzustellen. Die am häufigsten verwendete Art von Substraten sind sogenannte Wafer.

Der Herstellprozess eines solchen Bauteils umfasst mehrere, manchmal hunderte, Prozesse mit mehreren Prozessschritten. Bei den Prozessen handelt es sich beispielsweise um Beschichtungs-, Präge-, Belichtungs-, Reinigungs-, Ätz-, Bond-, Debond- oder Rückdünnprozesse. Ziel der unterschiedlichen Prozesse ist meistens die Herstellung mehrerer hundert bis tausend einzelner Bauteile auf einem Substrat.

Alle diese Prozesse sind grundsätzlich fehlerbehaftet. Beispielsweise kann in einem Computer eine lithographische Maske mit hoher Genauigkeit definiert

- 2 -

werden. Deren Herstellung wird aber durch Herstellverfahren fehlerbehaftet sein. Aus einer fehlerbehafteten Maske ergeben sich notwendigerweise auch fehlerbehaftete Belichtungen. Denkbar ist auch, dass ein maskenloses Lithografieverfahren verwendet wird, bei dem eine oder mehrere SLMs (engl.: spatial light modulators), insbesondere DMDs (engl.: digital micromirror device) verwendet werden, mit dem eine fehlerhafte Belichtung erfolgt, die korrigiert werden muss.

Ähnliche Probleme treten bei Verfahren auf, bei denen es starke mechanische Einwirkungen auf ein Substrat gibt. Ein Substrat kann sehr exakte Strukturen auf einer Substratoberfläche aufweisen. Wird die Rückseite des Substrats aber zurückgeschliffen oder auch nur poliert, kann dieses zu einer unerwünschten Verzerrung des Substrats, insbesondere der Substratoberfläche, führen.

Möglich ist also, dass Substrate auch großflächig verformt und verzerrt werden. Beispielsweise werden Substrate durch die Schleif- und/oder Polierprozesse einerseits gedünnt, andererseits werden auch Eigenspannungen in die Substrate eingebaut, die zu einer konvexen, konkaven Krümmung oder zu einem globalen Krümmungsmuster führen, das sich als Funktion des Ortes ändert. Bauteile auf solchen Substraten werden dadurch, auch wenn sie sich vor dem Schleif- und/oder Polierprozesse in einem unverzerrten Zustand befunden haben, nachträglich erneut verzerrt.

Denkbar wäre auch, dass zwei Substrate miteinander verbondet werden und es durch den Bondvorgang zu einer Verzerrung einer der äußeren Substratoberflächen kommt. Wird eine der äußeren Substratoberflächen mit einem weiteren Substrat verbondet, das unverzerrt ist, ist die Bondoberfläche zwischen beiden Substraten dennoch fehlerbehaftet.

In dieser Druckschrift wird die Differenz zwischen einem Ist-Zustand und einem Soll-Zustand als Verzerrung bezeichnet. Diese Verzerrung kann entweder mechanischer Natur sein, wie sie beispielsweise beim Einbringen mechanischer Spannungen durch einen Schleifprozess entsteht, oder es kann sich dabei um die Abweichung einer fotolithographisch belichteten Schicht von ihrem Soll-Zustand handeln, die durch eine fehlerhafte oder zumindest schlecht hergestellte lithographische Maske entsteht. In diesem Fall kann also das Substrat, auf dem sich die fotolithographisch belichtete Schicht befindet, selbst unverzerrt sein, aber die darauf hergestellte Struktur wird verzerrt hergestellt.

Die Verzerrungen sind im Allgemeinen ortsabhängig. Insbesondere ändern sie sich kontinuierlich als Funktion des Ortes. Die Verzerrungen können daher auch als Verzerrungsfelder angegeben werden. Verzerrungen sind also entweder lokal und/oder global. Der Einfachheit halber wird im weiteren Verlauf der Druckschrift aber immer nur von Verzerrungen gesprochen. Verzerrungen werden vorzugsweise als, insbesondere zweidimensionale, Vektoren beschrieben. Die Vektoren liegen innerhalb einer Tangentialebene an den Punkt ihres Ursprungs.

Verzerrungen können entweder auf der aktiven Substratoberfläche und/oder auf der der aktiven Substratoberfläche gegenüberliegenden passiven Substratoberfläche vorhanden sein und/oder kompensiert werden. Unter aktiver Substratoberfläche versteht man insbesondere jene Substratoberfläche auf der sich funktionale Elemente, beispielsweise MEMS, LEDs, Transistoren, Beschichtungen etc. befinden, während die passive Substratoberfläche beispielsweise der Fixierung dient. Jede passive Substratoberfläche kann in einem Herstellverfahren zur aktiven Substratoberfläche werden. Denkbar ist auch, dass ein Substrat über zwei aktive Substratoberflächen verfügt.

Am Beginn eines Verfahrens sind beide Substratoberflächen meistens passiv. Insbesondere bei dünnen Substraten ist es denkbar, dass sich die Kompensation einer Verzerrung über die Substratdicke hinweg und damit auch auf die gegenüberliegende Substratseite auswirkt. Damit wird die Kompensation von Verzerrungen auf der aktiven Substratoberfläche von der passiven Substratoberfläche aus ermöglicht. Bevorzugt werden die Verzerrungen allerdings direkt an der aktiven Substratoberfläche kompensiert, insbesondere weil dadurch vorzugsweise eine besonders effiziente Überwachung möglich und denkbar ist.

Im Stand der Technik existieren Druckschriften, aus denen eine Beeinflussung einer Verformung eines Substrats hervorgehen. Die Druckschrift WO2012083978A1 zeigt z.B. einen Substrathalter, der mit Hilfe mehrerer Verformungselemente lokale und/oder globale Verzerrungen eines Substrats kompensieren kann. Die Druckschrift WO2021079786A1 zeigt eine Vorrichtung, mit deren Hilfe Verzerrungen vermessen und teilweise kompensiert werden können.

Das Problem im Stand der Technik besteht insbesondere darin, dass die Kompensation von lokalen und/oder globalen Verzerrungen durch den Substrathalter erfolgt. Insbesondere ist die Kompensation der Verzerrungen nicht permanent, d.h. die Verzerrungen entstehen erneut, wenn die aktiven steuerbaren Verformungselemente der Substrathalter ausgeschaltet oder die Substrate entnommen werden.

Das Substrat verformt sich in seine ursprüngliche Form zurück, es verhält sich also elastisch. Im Stand der Technik versucht man, die Verzerrungen durch derartige Substrathalter zu kompensieren, bevor man weitere Prozessschritte an dem Substrat durchführt. Eines der wichtigsten Verfahren bei dem sichergestellt werden muss, dass die lokalen und/oder globalen

- 5 -

Verzerrungen an mindestens einer Substratoberfläche kompensiert wurden, bevor weiterverfahren werden kann, ist das o.g. Bonden.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen.

Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand der vorliegenden Erfindung gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, in den Ansprüchen und/oder den Figuren angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sind auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und in beliebiger Kombination beanspruchbar.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Verzerrungen auf mindestens einer Substratoberfläche eines Substrats, wobei auf mindestens einer der Substratoberflächen mindestens eine lokale Aktion erzeugt wird.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Kompensation von Verzerrungen auf mindestens einer Substratoberfläche eines Substrats, wobei auf mindestens einer der Substratoberflächen mindestens eine lokale Aktion erzeugbar ist.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Produkt, hergestellt mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Insbesondere wenn mehrere Verzerrungen vorhanden sind, müssen nicht alle vorhandenen Verzerrungen kompensiert werden. Es ist auch möglich, einige

- 6 -

Verzerrungen bestehen zu lassen, um eine gewünschte Verformung zu erzielen. Vorzugsweise werden aber vor allem Verzerrungen in der Nähe funktionaler Einheiten und Strukturen kompensiert, da derartige Verzerrungen einen Nachteil bei weiteren Verfahrensschritten darstellen.

Denkbar ist insbesondere, dass die mindestens eine lokale Aktion mit dem Ziel erzeugt wird, Verformungen zu erzeugen, um das Substrat in eine gewünschte Form zu bringen. Insbesondere kann ein Teilbereich des Substrats, das keine Verzerrung aufweist, durch die mindestens eine lokale Aktion verformt werden, um eine Verzerrung in einem anderen Teilbereich zu kompensieren.

Die mindestens eine lokale Aktion kompensiert die mindestens eine Verzerrung an mindestens einer Substratoberfläche und erzeugt insbesondere Verformungen an einer anderen Stelle. Die neu erzeugten Verformungen werden den neu geschaffenen Zustand der mindestens einen Substratoberfläche verbessern.

Insbesondere ist vorgesehen, dass die Vorrichtung Mittel zur Erzeugung der lokalen Aktion aufweist, wobei die Mittel zur Erzeugung der lokalen Aktion vorzugsweise einen Laser umfassen.

Das Substrat ist insbesondere ein Wafer.

Das Substrat bzw. die Substrate können jede beliebige Form besitzen, sie sind aber bevorzugt kreisrund. Der Durchmesser der Substrate ist insbesondere industriell genormt. Für Wafer sind die industrieüblichen Durchmesser, 1 Zoll, 2 Zoll, 3 Zoll, 4 Zoll, 5 Zoll, 6 Zoll, 8 Zoll, 12 Zoll und 18 Zoll. Die

- 7 -

Erfindung kann aber grundsätzlich für jedes Substrat unabhängig von dessen Durchmesser angewendet werden.

Unter Verzerrung fallen sowohl lokale als auch globale Verzerrungen.

Unter lokalen Verzerrungen versteht man insbesondere örtlich begrenzte, kleinflächige Verzerrungen, die keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die gesamte Fläche des Substrats haben.

Unter einer globalen Verzerrung versteht man insbesondere die großflächige Abweichung eines Substrats, insbesondere Wafers, von seiner ebenen Form. Insbesondere dünne Substrate haben die Eigenschaft, sich durch mechanische und/oder chemische Beeinflussung und/oder die Gravitation großflächig zu verformen bzw. zu verbiegen. Die Substrate weisen in solchen Fällen starke globale Abweichungen von der Ebenheit auf. Typisch ist beispielweise eine konvexe, durchhängende Form eines an einem oberen Substrathalters nur peripher fixierten Substrats. Diese gravitativen Effekte sind meistens reversibel, sobald das Substrat vollflächig unterstützt wird. Schleif- und Polierprozesse können ein Substrat bleibend und großflächig wölben. Diese Wölbungen können konvex oder konkav sein oder sich als Funktion des Ortes ändern. Auch eine Beschichtung und/oder Ätzen eines Substrats kann ebenfalls zu einer globalen Verzerrung führen. Bei einer Beschichtung ist die globale Verzerrung meistens auf die Differenz in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen der Beschichtung und dem Substrat zurückzuführen. Da Beschichtungen meistens bei höheren Temperaturen durchgeführt werden und das beschichtete Substrat nach der Beschichtung abgekühlt wird, erfolgt durch den Aufbau von thermischen Spannungen eine globale Verzerrung des Substrats.

Es können globale Verzerrungen durch die Kompensation lokaler Verzerrungen kompensiert werden. Insbesondere kann durch die Durchführung mehrerer Kompensationen lokaler Verzerrungen entlang eines Rasters der mindesten einen Substratoberfläche eine globale Verzerrung kompensiert werden. Die Art und/oder Stärke, insbesondere die Intensität, der Kompensationen im Raster ändert sich als Funktion des Ortes so, dass die globale Verzerrung kompensiert wird.

Der Ursprung von Verzerrungen kann auch dahingehend unterschieden werden, ob die Verzerrungen durch die Eigenschaft des Substrats oder durch die Umgebung erzeugt werden. Beispielsweise kann eine Beschichtung, ein Schleif- oder Polierprozess, im Substrat erzeugte Bauteile, eine als Funktion des Ortes variierende Dichte von Bauteilen auf dem Substrat etc. zu Verzerrungen führen. Diese Verzerrungen werden als intrinsisch bezeichnet. Die Verzerrungen können auch erst durch die Fixierung an einem Substrathalter entstehen und sind möglicherweise sogar reversibel, d.h. verschwinden in der Regel bei der Entnahme vom Substrathalter. Diese Verzerrungen werden als extrinsisch bezeichnet. Da die Substrate allerdings meistens auf einem Substrathalter prozessiert werden kommt einer Kompensation von Verzerrungen, hervorgerufen durch einen Substrathalter, ebenfalls eine große Bedeutung zu. Erfindungsgemäß können auch derartige Verzerrungen kompensiert werden. Extrinsische Verzerrungen werden beispielsweise hervorgerufen durch eine spezifische Substrathaltertopografie. Keine Substrathalteroberfläche kann perfekt geschliffen und poliert werden und weist immer eine Welligkeit auf.

Wird ein solcher Substrathalter z.B. in einer Bondanlage verwendet, kann es von Vorteil sein, die Substrate auf dem Substrathalter zu fixieren und danach ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Kompensation der Verzerrungen durchzuführen, um die für den Bondprozess vorgesehene Substratoberfläche so anzupassen, dass das Bondergebnis optimal wird. Denkbar ist sogar, dass

- 9 -

die Verzerrungen vor der Fixierung des Substrats am Substrathalter so kompensiert werden, dass bei der Fixierung des Substrats am Substrathalter die gewünschte Substratoberfläche vorhanden ist.

Die Erfindung ist geeignet, um alle genannten Arten von Verzerrungen zu kompensieren.

Die lokale Aktion umfasst bzw. erzeugt:

- eine physikalische und/oder chemische Reaktion, und/oder
- Mechanische und/oder thermische Spannungen, und/oder
- Verformungen und/oder Verwölbungen des Substrats, insbesondere am Rand des Substrats, und/oder
- Materialentfernung an der mindestens einen Substratoberfläche.

Die Verzerrungen befinden sich insbesondere auf einer aktiven Substratoberfläche. Die aktive Substratoberfläche weist insbesondere Strukturen auf, wie zum Beispiel LEDs, MEMS etc.

Es können eine oder mehrere Verzerrungen kompensiert werden. Diese können gleichzeitig oder nacheinander kompensiert werden.

Die mindestens eine lokale Aktion kann auf der aktiven Substratoberfläche und/oder auf einer passiven Substratoberfläche erzeugt werden, welche der aktiven Substratoberfläche gegenüberliegt. Es können mehrere lokale Aktionen erzeugt werden, die gleichzeitig oder nacheinander erzeugt werden.

- 10 -

Wenn mehrere lokale Aktionen erzeugt werden, können diese auf der aktiven Substratoberfläche und/oder auf der passiven Substratoberfläche erzeugt werden.

Erfindungsgemäß ist es insbesondere vorteilhaft möglich, bleibende, insbesondere plastische, Veränderungen in dem Substrat, vorzugsweise gezielt lokal, einzubringen. Dadurch ist es erfindungsgemäß insbesondere möglich, das Substrat lokal und/oder global so zu verformen, dass seine Oberflächentopologie an einen Soll-Zustand angepasst wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die lokale Aktion durch eine elektromagnetische Strahlung, bevorzugt durch einen Laser, erzeugt wird. Die elektromagnetische Strahlung bzw. der Laser verfügt über die notwendigen Parameter, mit denen eine physikalische und/oder chemische Reaktion in der näheren Umgebung der Verzerrung ausgelöst werden kann, sodass die Verzerrung kompensiert werden kann.

Dabei ist es nicht notwendig, dass die elektromagnetische Strahlung bzw. der Laser genau auf den Punkt der Verzerrung einwirken muss. Der Laser muss so auf die nähere Umgebung der Verzerrung einwirken, dass die Verzerrung kompensiert wird.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird ein Laser verwendet, dessen Pulsdauer eingestellt werden kann. Sollte die Pulsdauer nicht eingestellt werden können, wird ein Laser mit möglichst kurzer Pulsdauer, vorzugsweise im Piko- oder Femtosekundenbereich verwendet. Kurze Pulsdauern bewirken eine rein lokale Erhitzung, welche notwendig sein kann, um die genannte physikalische und/oder chemische Reaktion zu bewirken, die für die Kompensation der Verzerrung notwendig ist.

- 11 -

Die Pulsdauern sind kleiner als 10^{-5} s, vorzugsweise kleiner als 10^{-7} s, noch bevorzugter kleiner als 10^{-9} s, am bevorzugtesten kleiner als 10^{-12} s, am allerbevorzugtesten kleiner als 10^{-15} s.

Die Laserleistung ist größer als 1 Watt, vorzugsweise größer als 10 Watt, noch bevorzugter größer als 100 Watt, am bevorzugtesten größer als 1000 Watt, am allerbevorzugtesten größer als 10000 Watt.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird ein Laser verwendet, dessen Laserstrahlform, insbesondere durch optische Elemente, geformt werden kann. Dadurch wird es vorteilhafter Weise möglich, zwischen einem kreisrunden und einem longitudinalen Laserstrahl zu wechseln. Ein longitudinal geformter Laserstrahl wird einen anisotropen Effekt zur Folge haben, da seine horizontale Photonendichteverteilung sich von seiner vertikalen Photonendichteverteilung unterscheidet.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird der Laser in einer maskenlosen Belichtungsvorrichtung verwendet, die über mindestens ein SLM (engl.: spatial light module), insbesondere mindestens ein DMD (engl.: digital micromirror device), verfügt. Durch das Rastern und den örtlich aufgelösten Beschuss der Substratoberfläche kann die Kompensation der Verzerrung besonders gut gesteuert werden.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird eine Überwachung der Substratoberfläche durchgeführt, wobei die Kompensation in-situ beobachtet wird.

Bevorzugt wird ein Laser in ein optisches System einer Metrologievorrichtung, welche zur Überwachung der Substratoberfläche verwendet werden kann, eingekoppelt. Dadurch wird eine besonders effiziente Möglichkeit geschaffen, die Kompensation der Verzerrung in-situ zu beobachten.

Folgende lokale Aktionen insbesondere Reaktionen bzw. physikalische und/oder chemische Effekte sind denkbar, die zur Kompensation der Verzerrung führen können.

Denkbar ist, dass eine Einwirkung z.B. eines Laserstrahls zu einem lokalen Aufschmelzen und anschließendem Erstarren der lokalen Umgebung, auf die z.B. der Laser einwirkt, führt. Durch das Aufschmelzen und Erstarren können Eigenspannungen lokal im Substrat auf- oder abgebaut werden.

Denkbar ist auch, dass das Aufschmelzen und Erstarren zu einer bleibenden Volumenänderung führen. Unter der Annahme der Massenerhaltung muss das Material, und bei gleicher Dichte damit auch das Volumen, erhalten bleiben. Allerdings werden beim Schmelzvorgang Atome den Schmelzverband verlassen und auf Grund der immensen Hitze des Laserstrahls sofort sublimieren und in die Umgebung abgegeben werden. Damit wird die Masse geringer und bei gleichbleibender Dichte auch das Volumen. Die Volumenverminderung führt dazu, dass sich die Umgebung in den Bereich des Lasers ausdehnen kann, insbesondere wenn die Umgebung unter Druckeigenspannungen steht.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass sich beim Erstarrungsvorgang die Dichte ändert. Eine Dichteänderung kann entweder durch den Entzug einer gelösten Komponente, die Aufnahme, d.h. die Lösung, einer Komponente oder durch Blasen- bzw. Porenbildung erfolgen. Die Blasen- bzw. Porenbildung ist

- 13 -

meistens unerwünscht, kann aber akzeptabel sein, wenn die Seite der Lasereinwirkung in einem späteren Verfahrensschritt weggeschliffen bzw. wegpoliert wird.

Denkbar ist auch, dass die Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung bzw. des Laserstrahls zu einer Festkörperphasenumwandlung führt. Die Festkörperphasenumwandlung sollte bevorzugt nicht reversibel sein. Das Substrat besitzt in diesem Fall mindestens eine metastabile Phase, um durch die Wärmeeinwirkung des Laserstrahls in eine stabile Phase umgewandelt zu werden, die auch nach der Abkühlung der Umgebung stabil bleibt. Denkbar ist beispielsweise die Amorphisierung mindestens einer Substratoberfläche, die dann nach der Einwirkung eines Laserstrahls rekristallisiert.

Denkbar ist auch, dass durch die Phasenumwandlung Zug- oder Druckeigenstressungen entstehen, welche die nähere Umgebung, insbesondere elastisch, verformen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass durch die Einwirkung des Laserstrahls und die damit einhergehende Erwärmung thermische Spannungen und/oder eine Ausdehnung des Materials erzeugt werden, welche zu einer plastischen Verformung des Materials führen. Bei dem Material handelt es sich in diesem Fall vorzugsweise um ein Metall. Denkbar wäre beispielsweise, dass man gezielt die metallischen TSV Oberflächen in einem Hybridsubstratoberfläche beschießt, um dort eine plastische Verformung zu erzeugen, welche zur Kompensation der Verzerrungen führt.

In einer anderen beispielhaften Ausführungsform wird die lokale Aktion durch eine Beschichtung erzeugt, welche auf die Substratoberfläche aufgebracht wird.

Bevorzugt wird die Substratoberfläche, insbesondere die passive Substratoberfläche, beschichtet. Vorzugsweise werden in die Beschichtung Eigenspannungen und/oder thermische Spannungen eingebaut.

Insbesondere handelt es sich bei der Beschichtung um ein Metall, eine Metalllegierung, ein Oxid oder eine Keramik. Eigenspannungen können durch einen Beschuss der Beschichtung mit Partikeln in atomaren Maßstab, insbesondere Ionen, weniger bevorzugt durch grobkörnige Partikel im Nanometer- bzw. Mikrometer Maßstab, eingestellt werden.

Die so eingestellten Eigenspannungen sind vorwiegend Druckeigenspannungen. Thermische Spannungen können durch die gezielte Abscheidung eines Materials mit bekanntem thermischem Ausdehnungskoeffizienten eingestellt werden. Unterscheidet sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Substrats von jenem der Beschichtung, stellen sich bei einer Abkühlung von einer Beschichtungstemperatur auf eine Umgebungstemperatur entweder Zug- oder Druckeigenspannungen in der Beschichtung ein.

Bevorzugt kann die Beschichtung strukturiert werden. Durch die Strukturierung, also durch die Entfernung von Material, werden Eigenspannungen in der Beschichtung lokal ab- bzw. aufgebaut. Dadurch beeinflusst die Beschichtung auch das darunterliegende Substrat und damit die Verzerrung. Insbesondere kann die Strukturierung so erfolgen, dass die Beschichtung lokal nur teilweise in der Dicke abgetragen wird. Durch die Einstellung eines Reliefs können die Spannungszustände in der Beschichtung und damit auch im Substrat geändert und die Verzerrung im Substrat kompensiert werden.

- 15 -

In einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei der Beschichtung um ein Oxid, in einer besonders bevorzugten Ausführungsform um ein natives Oxid. Vorteilhafterweise sind viele Substrate, die mit der Umgebung in Kontakt kommen, immer mit einem nativen Oxid überzogen, das einige Nanometer dick ist. Dadurch entfällt die kostspielige Herstellung einer Beschichtung.

Die Beschichtung kann insbesondere aus mindestens einem der folgenden Materialien bzw. Materialklassen bestehen...

- Oxid, insbesondere
 - Siliziumdioxid (SiO_2), bevorzugt
 - Natives Siliziumdioxid (SiO_2)
- Keramik, insbesondere
 - Siliziumnitrid (Si_3N_4)
- Halbleiter, insbesondere
 - Ge, Si, Alpha-Sn, B, Se, Te
- Verbindungshalbleiter
 - GaAs, GaInP, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, InSb, InAs, GaSb, AlN, InN, GaP, BeTe, ZnO, CuInGaSe₂, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, $\text{Hg}(1-x)\text{Cd}(x)\text{Te}$, BeSe, HgS, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, GaS, GaSe, GaTe, InS, InSe, InTe, CuInSe₂, CuInS₂, CuInGaS₂, SiC, SiGe
- Metall, insbesondere
 - Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Co, Pt, W, Cr, Pb, Ti, Ta, Zn, Sn
- Metalllegierung
- Polymer, insbesondere
 - Polymere aus Sol-Gelen, insbesondere

- 16 -

--- Polyhedrales oligomerisches Silsesquioxan (POSS), Polydimethylsiloxan (PDMS), Tetraethylorthosilicat (TEOS), Poly(organo)siloxane (Silikon), Perfluoropolyether (PFPE)

Bevorzugt wird durch die lokale, gezielte Abtragung bzw. Strukturierung des Oxids der Spannungszustand der Beschichtung und damit des darunterliegenden Substrats geändert. Diese Änderung bedingt wiederum die Kompensation der Verzerrung. Sollte das native Oxid zu dünn sein, kann ein thermisches Oxid erstellt werden. Besonders vorteilhaft wird das thermische Oxid bereits vor der Herstellung von aktiven Bauteilen auf der aktiven Substratoberfläche hergestellt. Damit werden die aktiven Bauteile keiner hohen thermischen Belastung ausgesetzt. In einer besonders bevorzugten Vorgehensweise wird ein Substrat mit thermischem Oxid eingekauft und die aktive Substratoberfläche durch Rückdünnen vom thermischen Oxid befreit, sodass das thermische Oxid nur an der passiven Substratoberfläche vorhanden bleibt.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei der Beschichtung um ein Polymer. Die Eigenspannungen werden hier hauptsächlich durch die Aushärtung des Polymers hervorgerufen, welche insbesondere zu einer Vernetzung des Polymers führt. Die Strukturierung des Polymers erfolgt durch Fotolithografie und/oder Imprintlithografie.

Es können erfindungsgemäß insbesondere Zug- oder Druckeigenspannungen (im Weiteren nur mehr als Eigenspannungen bezeichnet) erzeugt werden. Die so erzeugten Eigenspannungen rufen eine meist elastische Verformung des umgebenden Materials hervor und sind dadurch in der Lage die vorhandenen Verzerrungen zu kompensieren. Bleiben die Eigenspannungen aufrecht, so bleibt auch die elastische Verformung und damit die Kompensation der Verzerrungen aufrecht. Die elastische Kompensation von Verzerrungen

beschreibt damit eine weitere Möglichkeit, um Verzerrungen zu kompensieren, zusätzlich zur Kompensation der Verzerrungen durch bleibende, insbesondere plastische, Verformung. Die genannten Eigenspannungen werden insbesondere durch auf die mindestens eine Substratoberfläche aufgebrachte Schichten, die insbesondere strukturiert werden können, hervorgerufen.

Grundsätzlich eignet sich die Erfindung insbesondere dazu, Abweichungen vom Soll-Zustand, die aus bereits erfolgten Prozessschritten resultieren, zu kompensieren, um die Substrate für nachfolgende Prozessschritte vorzubereiten, insbesondere um in den nachfolgenden Prozessschritten bessere Ergebnisse erzielen zu können.

Mit Vorzug kann das die Erfindung auch dazu eingesetzt werden, um bekannte und/oder erwartete Unregelmäßigkeiten zukünftiger Prozessschritte vorab zu kompensieren, insbesondere vorzuhalten. In einer bevorzugten Ausführungsform werden dabei erwartete Verzerrungen vorgehalten. In einer alternativen, besonders bevorzugten Ausführungsform werden die Substrate vor der Durchführung eines Prozesses mittels dem erfindungsgemäßen Verfahren derart verformt, dass der Prozess gleichmäßiger stattfinden kann und somit unregelmäßige Verzerrungen minimiert, insbesondere weitgehend eliminiert werden.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die mindestens eine lokale Aktion Verformungen des Substrats hervorruft, insbesondere an Rändern des Substrats. Insbesondere wird das Substrat an den Rändern zumindest bereichsweise nach oben gebogen. Dieses kann insbesondere durch Beschuss mit Laser an den Rändern des Substrats hervorgerufen werden. Durch die Verformungen des Substrats werden die Verzerrungen kompensiert.

Insbesondere kann der Soll-Zustand des Substrats so aussehen, dass die Peripherie des Substrats leicht nach oben gekrümmt wird. Die erfindungsgemäßen Aktionen werden so durchgeführt, dass sich einerseits die Verzerrungen an der Substratoberfläche kompensieren lassen, und dass sich gleichzeitig die Peripherie des Substrats leicht nach oben wölbt. In einem späteren Bondvorgang kann dadurch die Entstehung von Randdefekten (engl.: edge voids) vorzugsweise vermindert oder sogar verhindert werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird die Wölbung des Substrats so eingestellt, dass sich die Ränder soweit konkav mit Bezug auf die Bond-Kontaktfläche wölben, dass der natürlichen Beschleunigung der Bondwelle zum Wafer Rand hin entgegengewirkt wird, und die Bondwelle insbesondere bis 5 mm, bevorzugt bis 3 mm, mit besonderem Vorzug bis 2 mm zum Rand hin mit kontinuierlicher Geschwindigkeit läuft und / oder einen Krümmungsradius im Kontaktpunkt der Wafer aufweist, der maximal $\pm 30\%$ oder mit Vorzug $\pm 20\%$ vom Krümmungsradius im Kontaktpunkt der Wafer abweicht, der nach 50mm vom Bond-Initiierungspunkt vorliegt.

In einer alternativen Ausführungsform werden die Ränder von zumindest einem der beiden Wafer soweit nach konvex mit Bezug auf die Bond-Kontaktfläche gewölbt, dass beim späteren Bondvorgang die häufig zu beobachtende geringere Verzerrung des Wafers im Randbereich, insbesondere verursacht durch den abfallenden Atmosphären Druck im Raum zwischen den Wafern, unmittelbar vor dem Kontaktpunkt der Wafer entlang der Bondwelle, durch Kompensation mittels dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgehalten wird.

In einer anderen beispielhaften Ausführungsform wird die lokale Aktion durch Entfernung von Material des Substrats erzeugt.

Insbesondere werden an mindestens einer der Substratoberflächen Teile des Substrats entfernt. Die Entfernung erfolgt durch Sägen, Laser, Ionen oder Atombeschuss oder jede andere geeignete Art der Materialentfernung. Durch die Materialentfernung wird sich das Substrat, insbesondere wenn es Eigenspannungen aufweist, in der Umgebung der Materialentnahme entsprechend verformen. Diese Ausführungsform eignet sich vor Allem für die Anwendung auf der passiven Substratoberfläche, insbesondere falls diese in einem späteren Verfahrensschritt durch einen Rückdünnprozess zurück gedünnt werden sollte.

Insbesondere nachdem die Verzerrungen erfindungsgemäß derart kompensiert wurden, dass sich am Substrat, insbesondere auf der mindestens einen Substratoberfläche, der gewünschte Soll-Zustand ergeben hat, kann das Substrat weiterprozessiert werden.

Besitzt das Substrat eine Substratoberfläche, die lithographisch behandelt wurde, kann die Erfindung dazu verwendet werden, um eine Verzerrung der lithographischen Struktur zu ändern. Dadurch wird sichergestellt, dass nachfolgende Verfahrensschritte an einer unverzerrten bzw. entzerrten Schicht durchgeführt werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird ein Verfahren durchgeführt, wobei eine Vermessung der Substratoberfläche erfolgt und danach die Kompensation der Verzerrungen auf der Substratoberfläche erfolgt und im Anschluss die Substratoberfläche erneut vermessen wird.

Insbesondere erfolgt in einem ersten Verfahrensschritt eine Vermessung mindestens einer, insbesondere der aktiven, Substratoberfläche. Die

Vermessung erfolgt vorzugsweise mit einem Interferometer. Die Vermessung der Substratoberfläche führt zu einer Verzerrungskarte. Die Verzerrungskarte stellt die Abweichung des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand dar. Die Verzerrungskarte wird von einer Software oder Hardware gespeichert.

In einem zweiten, optionalen, Verfahrensschritt erfolgt eine Berechnung der notwendigen Kompensationen, um den Ist-Zustand in den Soll-Zustand umzuwandeln, d.h. alle Verzerrungen entsprechen zu kompensieren. Auf diesen Schritt kann verzichtet werden, wenn das erfindungsgemäße Kompensationsverfahren durch naheliegende Schritte durchgeführt werden kann. Müssen beispielsweise Verzerrungen entlang einer x-Achse kompensiert werden und man weiß, dass die Anwendung eines erfindungsgemäßen Kompensationsverfahrens auf einem Punkt der x-Achse das notwendige Ergebnis liefert, kann auf eine exakte Berechnung verzichtet werden.

Mit Vorzug werden für komplexere Kompensationserfordernisse die Berechnungen mit Hilfe von Modellen durchgeführt, welche die Auswirkung des Kompensationsverfahrens auf die Verzerrung beschreiben. Insbesondere handelt es sich hierbei um mechanische Modelle. Alternativ können mit Vorteil auch Modelle eingesetzt werden, die experimentell gewonnene Daten beschreiben. Mit Vorzug können bzw. werden beide Varianten kombiniert und das mechanische Modell wird insbesondere mit experimentell gewonnenen Daten mit Vorzug kontinuierlich kalibriert. Mit besonderem Vorzug nutzen die Modelle zumindest teilweise Finite Elemente Methoden (FEM) Simulationen.

In einem dritten Verfahrensschritt wird mindestens ein erfindungsgemäßes Kompensationsverfahren durchgeführt, um die Verzerrungen zu kompensieren. In einer besonders bevorzugten Vorgehensweise erfolgt die Anwendung des erfindungsgemäßen Kompensationsverfahrens parallel zur

Vermessung der Substratoberfläche. Durch eine Regelschleife kann jede durchgeführte Kompensation einer Verzerrung überwacht und entsprechend geregelt werden. Durch die in-situ Überwachung der Kompensation ist eine besonders schnelle, exakte und kostengünstige Kompensation aller Verzerrung möglich.

In einem vierten Verfahrensschritt wird die mindestens eine, insbesondere die aktive, Substratoberfläche erneut vermessen. Die Vermessung der Substratoberfläche führt erneut zu einer Verzerrungskarte. Die Verzerrungskarte stellt die Abweichung des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand dar. Die Verzerrungskarte wird von einer Software oder Hardware gespeichert. Sollte die Verzerrungskarte immer noch zu viele und/oder zu starke Verzerrungen aufzeigen, können einzelne Positionen der Substratoberfläche erneut angefahren werden und der dritte Verfahrensschritt wird entsprechend wiederholt. Sollte eine Verzerrungskarte mit minimalen Verzerrungen, insbesondere keinen Verzerrungen mehr vermessen werden, kann das Verfahren abgebrochen werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird die, durch das erfindungsgemäße Kompensationsverfahren eingeprägte Verzerrung durch Bildung der Differenz aus der Vermessung vor dem Verfahren und nach dem Verfahren ermittelt. Diese Information kann in einer Feedback-Schleife zur insbesondere kontinuierlichen Kalibrierung des erfindungsgemäßen Kompensationsverfahrens verwendet werden. Mit Vorzug können damit die Prozess und / oder Vorrichtungparameter für nachfolgende prozessierte Substrate so gewählt werden, dass die Ergebnisse besser den angestrebten Sollzustand erreichen. Diese kontinuierliche Kalibrierung ermöglicht mit Vorzug stabile Ergebnisse über eine Vielzahl von Substraten, wenn die Qualität dieser Substrate einem Trendverlauf unterliegt.

Ein anderer Gegenstand der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bonden zweier Substrate, wobei Verzerrungen mindestens eines der Substrate mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kompensiert werden und danach die beiden Substrate miteinander gebondet werden.

Durch die erfindungsgemäße Kompensation der Verzerrungen kann insbesondere der Verlauf der Bondwelle beeinflusst werden. Vorzugsweise soll sich die Bondwelle symmetrisch und/oder konzentrisch in Bezug zum Kontaktpunkt ausbreiten.

Besonders bevorzugt werden die Verzerrungen so beeinflusst, dass die Bondwellengeschwindigkeit zum Rand hin abnimmt. Dadurch wird die Bildung von Randdefekten möglichst minimiert bzw. sogar vermieden. Mindestens eines der beiden Substrate, die am Bondvorgang beteiligt sind, ist zur Bondgrenzfläche hin konvex gekrümmt. Es werden die Verzerrungen daher insbesondere so kompensiert, dass sich eine leicht konvexe Krümmung zur Bondgrenzfläche hin ergibt.

In mindestens einem der beiden Substrate werden die Verzerrungen vorzugsweise so kompensiert, dass sich die Substratoberfläche während des Bondens als Teil einer Kugel, einer Parabel oder eines Ellipsoids beschreiben lässt. Durch eine derartige mathematische Formgebung der Substratoberfläche lassen sich ideale Bondergebnisse erzielen, d.h. die Abweichungen zwischen den miteinander zu verbindenden Teilbereichen beider Substrate werden minimiert.

Ein erstes Substrat kann zu einem zweiten Substrat gebondet werden. Denkbar ist, dass die Verzerrungen des zweiten Substrats ebenfalls durch das erfindungsgemäße Verfahren kompensiert wurden. Denkbar ist aber auch, dass

die Verzerrungen des ersten Substrats so kompensiert wurden, dass die zueinander zu bondenden Bereiche der beiden Substrate deckungsgleich sind, bzw. minimale Abweichungen voneinander aufweisen. In diesem Fall muss die Kompensation der Verzerrungen nur am ersten Substrat durchgeführt werden. Voraussetzung für ein gutes Bondergebnis ist insbesondere, dass die Positionen der miteinander zu verbondenden Bereiche an beiden Substraten sehr gut vermessen wurden.

Die Erfindung eignet sich insbesondere dafür, die Verzerrungen von Substratoberflächen zweier Hybridsubstrate, die über elektrische und dielektrische Bereiche verfügen, zu kompensieren. Die metallischen Bereiche der Hybridsubstrate sind die Oberflächen der TSVs (engl.: through silicon vias), deren korrekte Positionierung vor und nach dem Bondvorgang gewährleistet sein muss, um eine intakte elektrische Verbindung zwischen den beiden Substraten zu garantieren. Insbesondere werden Verzerrungskarten, wie in der Druckschrift WO2012079786A1 beschrieben, aufgenommen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen schematisch in:

- Figur 1a eine Aufsicht auf ein Substrat in einem Soll-Zustand,
- Figur 1b eine Aufsicht auf ein Substrat in einem Ist-Zustand,
- Figur 1c eine Aufsicht auf ein Substrat mit kompensierter Verzerrung,
- Figur 2 eine Seitenansicht mit mehreren erfindungsgemäßen Kompensationsverfahren,
- Figur 3 eine Seitenansicht eines Substrats mit globalen Verzerrungen, und
- Figur 4 eine Seitenansicht des Substrats ohne globale Verzerrungen.

In den Figuren sind gleiche Bauteile oder Bauteile mit der gleichen Funktion mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Die **Figur 1a** zeigt eine Aufsicht auf ein sehr vereinfachtes Substrat 1 in einem Soll-Zustand. Das Substrat 1 verfügt über fünf Strukturen 2 auf seiner aktiven Substratoberfläche 1a. Bei den Strukturen 2 kann es sich um Bauteile wie MEMS, LEDs oder Chips handeln. Denkbar ist, dass es sich bei den Strukturen 2 um lithographisch erzeugte Strukturen handelt. Der Einfachheit halber werden nur fünf Strukturen 2 dargestellt und jede der Strukturen 2 wird durch ein einfaches Quadrat symbolisiert. Die Anzahl, Form, Orientierung der Strukturen 2 kann im Allgemeinen beliebig sein. Die Figur 1a repräsentiert den Soll-Zustand, d.h. die optimale Anordnung und Orientierung der Strukturen 2 in Bezug zum Substrat 1. In der Figur 1a ist ein Koordinatensystem mit einer X – und einer Y – Achse für die rechte Struktur 2 dargestellt. Diese beiden Achsen spannen eine Ebene für die rechte Struktur 2 auf.

Die **Figur 1b** zeigt eine Aufsicht auf ein sehr vereinfachtes Substrat 1 in einem Ist-Zustand sowie in der rechten unteren Ecke eine Vergrößerung einer Struktur 2'. Durch Fehler in der Herstellung oder Beeinflussung der aktiven Substratoberfläche 1a und/oder einer passiven Substratoberfläche 1p können einige, im Allgemeinen alle, Strukturen 2,2' eine Abweichung 4 von ihren Soll-Positionen und Orientierungen unterliegen. Diese Abweichung 4 wird in der Figur 1b anhand der rechten Struktur 2' dargestellt. Die Struktur 2' ist entlang der x- und der y-Achse verschoben. Denkbar wäre auch eine leichte Rotation zur Idealposition. Der Anschaulichkeit halber wird darauf in der Figur verzichtet. Die Abweichung 4 von der Soll-Position wird als Verzerrung bezeichnet.

Die **Figur 1c** zeigt eine Aufsicht auf ein sehr vereinfachtes Substrat 1 bei dem ein erfindungsgemäßes Kompensationsverfahren, im vorliegenden Fall die Einwirkung eines Lasers 3, 3' zu einer Kompensation 7 der Verzerrung 4 führt. Dargestellt sind zwei Laserpunkte 3, 3'. Der Laserpunkt 3 besitzt eine längliche Form und ist vertikal ausgerichtet, der Laserpunkt 3' besitzt eine kreisförmige Form. Die Laserpunkte 3, 3' erzeugen jeweils entsprechende Einflussbereiche 6, 6', in denen physikalische und/oder chemische Reaktionen stattfinden, welche zur Kompensation 7 der Verzerrung 4 führen. Diese beiden Laserpunkte 3, 3' sollen auch veranschaulichen, dass mehrere Laserpunktformen möglich sind.

In den **Figuren 1a-1c** wird das erfindungsgemäße Kompensationsverfahren an der aktiven Substratoberfläche 1a durchgeführt. Es können alle Kompensationsmethoden auch auf der passiven Substratoberfläche 1p durchgeführt werden, die der aktiven Substratoberfläche 1a gegenüber liegt.

Die **Figur 2** zeigt eine Seitenansicht eines Substrats 1. Das Substrat 1 verfügt an seiner aktiven Substratoberfläche 1a über mehrere Strukturen 2. Im vorliegenden Fall könnte es sich beispielsweise um Mikrochips handeln, die im Substrat 1 erzeugt worden sind. Im Allgemeinen wird das Substrat wieder Verzerrungen an unterschiedlichen Positionen aufweisen. Diese Verzerrungen werden in der Figur 2 nicht explizit dargestellt. Mehrere beispielhafte erfindungsgemäße Kompensationsverfahren werden anhand von Vergrößerungen (A-D) dargestellt.

Die beiden Vergrößerungen A beschreiben jeweils die Kompensation 7 von Verzerrungen 4 durch das Einbringen von Energie mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen, insbesondere einem Laser und/oder von Partikeln, insbesondere Ionen. Im Substrat 1 entsteht jeweils ein Einflussbereich 6, in dem eine physikalische und/oder chemische Reaktion

stattfindet, die insbesondere irreversibel ist und so jeweils zu der Kompensation 7 der Verzerrung 4 beitragen kann. Die Vergrößerungen A wurden an der aktiven Substratoberfläche 1a und an der passiven Substratoberfläche 1p dargestellt, um aufzuzeigen, dass diese Art der Kompensation 7 vorteilhafterweise an beiden Substratoberflächen 1a,1p durchgeführt werden kann.

Die Vergrößerung B beschreibt die Kompensation 7 von Verzerrungen 4 durch das Einbringen von Energie mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen, insbesondere einem Laser und/oder von Partikeln, insbesondere Ionen, in eine Beschichtung 5, die sich auf dem Substrat 1 befindet. Die Beschichtung 5 befindet sich vorzugsweise an der passiven Substratoberfläche 1p, da die aktive Substratoberfläche 1a vorzugsweise unbeschichtet weiterprozessiert wird.

Die Beschichtung 5 wird im Einflussbereich 6 so verändert, dass sich in ihr Zug- oder Druckeigenspannungen aufbauen. Diese können wiederum durch dieselben physikalischen und/oder chemischen Reaktion erzeugt werden, wie in anderen Kompensationsverfahren. Denkbar wäre beispielsweise, dass es zu einer Umwandlung einer metastabilen Phase in eine stabile Phase kommt, die ein größeres Volumen als die metastabile Phase besitzt. In diesem Fall bauen sich Druckeigenspannungen auf. Besitzt die stabile Phase ein kleineres Volumen als die Ausgangsphase, bauen sich Zugeigenspannungen auf. Denkbar ist die Implantation von Ionen, Atomen oder Molekülen, welche zum Aufbau von Druckeigenschaften führen. Denkbar ist die Materialentfernung durch Sublimation und/oder Schmelzen. Denkbar ist die Entfernung einzelner chemischer Komponenten einer Verbindung durch Zufuhr von Wärme. Die Beschichtung 5 könnte beispielsweise durch Wärmezufuhr ausgasen, und insbesondere Wasser, Sauerstoff oder Stickstoffverbindungen verlieren. Vorzugsweise handelt es sich bei der Beschichtung um ein Oxid, am bevorzugtesten um ein natives Oxid.

Die Vergrößerung C beschreibt die Kompensation 7 von Verzerrungen 4 durch die vollständige Entfernung der Beschichtung 5 und/oder sogar der Entfernung von Teilen des Substrats 1. Die teilweise Entfernung des Substrats 1 kann auch an der aktiven Substratoberfläche 1a durchgeführt werden, ist dort aber weniger vorteilhaft, da dadurch die Strukturen 2 beschädigt und/oder verschmutzt werden könnten. Des Weiteren kann eine teilweise Entfernung des Substrats 1 an der passiven Substratoberfläche 1p in späteren Verfahrensschritten durch einen Rückdünnprozess entfernt werden.

Die Vergrößerung D beschreibt die Kompensation 7 von Verzerrungen 4 durch eine Strukturierung der Beschichtung 5. Dazu wird die Beschichtung 5 durch ein Lithografieverfahren strukturiert. Die Strukturierung erfolgt vorzugsweise mit Hilfe der Imprintlithografie. In diesem Fall ist das Material der Beschichtung vorzugsweise ein Polymer. Denkbar ist auch die Verwendung von maskenloser Fotolithografie. Bei einer maskenlosen Fotolithografie wird eine Vorrichtung mit mindestens einem SLM, insbesondere einem DMD verwendet. Durch die Strukturierung wird die Auswirkung der Eigenspannungen der Beschichtung 5 auf das darunterliegende Substrat verändert und erlaubt so die Kompensation 7 der Verzerrungen 4.

Von allen genannten Kompensationsverfahren ist die direkte Beeinflussung des Substrats 1 durch einen Laser die effizienteste Art, da auf die Abscheidung einer Beschichtung 5 gänzlich verzichtet werden kann. Die Verwendung einer Beschichtung 5 hat dann Vorteile, wenn die Beschichtung 5 durch natürliche Ursachen, insbesondere die Atmosphäre, entsteht, wie das bei nativen Oxiden der Fall ist.

Die oben beschriebenen Ausführungsformen dienen lediglich der Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Gedankens und schränken den Gegenstand der Erfindung in keiner Weise ein.

Die Figur 3 zeigt eine Seitenansicht eines Substrats 1 mit globalen Verzerrungen. Die globalen Verzerrungen sind ortsabhängige Verzerrungen über das gesamte Substrat 1. Durch eine ortsabhängige, gezielte Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere eines Lasers, können Aktionen in den Einflussbereichen 6 (Figur 4) erzeugt werden, welche die gewünschten Kompensationen zur Folge haben. Die Kompensationen führen dann zu dem gewünschten Ergebnis, beispielsweise dem unverzerrten Substrat 1 (siehe Figur 4).

Die Figur 4 zeigt die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, indem Aktionen in den Einflussbereichen 6 gezielt erzeugt werden, um Verformungen an den Rändern zu erzeugen, sodass sich das Substrat 1 an den Rändern nach oben wölbt. Die Wölbung wird in der Figur der Anschaulichkeit halber übertrieben dargestellt.

Bezugszeichenliste

1	Substrat
1a	Aktive Substratoberfläche
1p	Passive Substratoberfläche
2, 2'	Struktur
3, 3'	Laser
4	Verzerrung
5	Beschichtung
6	Einflussbereich
7	Kompensation
A, B, C, D	Vergrößerungen
x, y	Achsen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation (7) von Verzerrungen (4) auf mindestens einer Substratoberfläche (1a,1p) eines Substrats (1), wobei auf mindestens einer der Substratoberflächen mindestens eine lokale Aktion erzeugt wird.

- 31 -

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die lokale Aktion durch eine elektromagnetische Strahlung, bevorzugt durch einen Laser, erzeugt wird.
3. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Überwachung der Substratoberfläche (1a,1p) durchgeführt wird, wobei die Kompensation (7) in-situ beobachtet wird.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die lokale Aktion durch eine Beschichtung (5) erzeugt wird, welche auf die Substratoberfläche (1a,1p) aufgebracht wird.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die lokale Aktion durch Entfernung von Material des Substrats (1) erzeugt wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine lokale Aktion Verformungen des Substrats (1) hervorruft, insbesondere an Rändern des Substrats.
7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Vermessung der Substratoberfläche (1a,1p) erfolgt und danach die Kompensation (7) der Verzerrungen (4) auf der Substratoberfläche (1a,1p) erfolgt und im Anschluss die Substratoberfläche (1a,1p) erneut vermessen wird.

8. Verfahren zum Bonden zweier Substrate (1), wobei Verzerrungen mindestens eines der Substrate (1) mit einem Verfahren gemäß mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche kompensiert werden und danach die beiden Substrate (1) miteinander gebondet werden.

9. Vorrichtung zur Kompensation (7) von Verzerrungen (4) auf mindestens einer Substratoberfläche (1a,1p) eines Substrats (1), wobei auf mindestens einer der Substratoberflächen (1a,1p) mindestens eine lokale Aktion erzeugbar ist.

10. Vorrichtung gemäß Anspruch 9, wobei die Vorrichtung Mittel zur Erzeugung der lokalen Aktion aufweist, wobei die Mittel zur Erzeugung der lokalen Aktion vorzugsweise einen Laser umfassen.

11. Produkt, hergestellt mit einem Verfahren und/oder einer Vorrichtung gemäß mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche.