

B e s c h r e i b u n g

Verfahren und Substratsystem zum Trennen von Trägersubstraten

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung und Substratsystem zum Trennen von Trägersubstraten von weiteren Schichten. Das Trägersubstrat kann in unterschiedlichen Verfahren zum Bearbeiten von Substraten getrennt werden, beispielsweise beim Debonden oder beim Transferieren von Substraten.

In der Halbleiterindustrie wird es immer wichtiger, Verfahren und Vorrichtungen zu entwickeln, mit deren Hilfe man einerseits eine hohe Adhäsion zwischen Oberflächen erzeugen kann, andererseits die Adhäsion bei Bedarf wieder unterbinden kann. Derartige Verfahren und Vorrichtungen zum Bearbeiten von Substraten, werden vor allem für zwei unterschiedliche Techniken verwendet, den Schichttransfer und dem Bonden bzw. Debonden von Substraten.

Beim Schichttransfer werden, insbesondere anorganische, meist sehr dünne, für sich mechanisch nicht stabile Schichten, zwischen selbsttragenden Substraten transferiert. Die anorganischen Schichten werden beispielsweise auf speziellen Wachstumssubstraten erzeugt, müssen danach aber auf ein anderes Substrat, insbesondere ein Produktsubstrat, transferiert werden, um dort ihre funktionalen Eigenschaften erfüllen zu können. In den seltensten Fällen sind Wachstumssubstrat und Produktsubstrat identisch.

Im Stand der Technik werden sogenannte Löseschichten (engl.: release layer) beziehungsweise Trennschichten verwendet, um eine örtlich gezielte Trennung der Nutzschrift von einem Trägersubstrat durchzuführen. Bis heute

- 2 -

werden organische Polymerschicht als Bondschicht verwendet, welche aufwendig ein zusätzlichen Reinigungsschritt bei dem Transfer des Nutzsubstrats erforderlich machen und die Kontamination erhöhen.

Beim Bonden und Debonden von Substraten werden zwei Substrate zuerst miteinander verbunden, damit eines der beiden Substrate, welches meist aufgrund geringerer Dicke oder Festigkeit keine ausreichende innere Stabilität für den Prozess besitzt, unterstützt durch das zweite Substrat, prozessiert werden kann. Das prozessierte Substrat nennt man Produktsubstrat, das stützende Substrat wird Trägersubstrat genannt. Dabei werden vorwiegend Polymere verwendet, um einen sogenannten Temporärbond, d.h. einen zerstörungsfrei lösbaren Bond herzustellen. Dazu wird mindestens ein Polymer durch ein Verfahren, insbesondere ein Schleuderbelackungsverfahren, auf einem Substrat aufgebracht. Vorwiegend wird das Trägersubstrat mit dem Polymer (Trennschicht) beschichtet und das Trägersubstrat zum Produktsubstrat gebondet. Nach dem Bonden des Produktsubstrats zum Trägersubstrat wird das Produktsubstrat weiterbearbeitet, um in einem späteren Verfahrensschritt wieder vom Trägersubstrat getrennt zu werden. Für das Trennen des Trägersubstrats gibt es im Stand der Technik unterschiedliche Methoden.

In den ersten Jahren wurde das Trägersubstrat meist vollflächig mit dem Polymer beschichtet. Dadurch entstand eine sehr gute Haftung zwischen dem Träger- und dem Produktsubstrat. Verfügt das Produktsubstrat über Erhöhungen, beispielsweise Lötkugeln (engl.: bumps), Dies oder Chips, können diese im Polymer eingebettet werden, sofern die als Trennschicht fungierende Polymerschicht eine entsprechende Schichtdicke aufweist. Der Nachteil dieser Methode zeigt sich beim Lösen des Trägersubstrats vom Produktsubstrat. Für die Trennung muss auf die Polymerschicht vollflächig eingewirkt werden, so dass sich die vollständige Trennung aufwendiger, unter anderem mit mehreren Bearbeitungsschritten, gestaltet. Die Haftkraft der Haftschrift kann durch eine Chemikalie, die seitlich oder durch das Trägersubstrat zur Haftschrift gelangt soweit gemindert werden, dass eine

mechanische Trennung ermöglicht wird. Die Einwirkung der Chemikalie auf die Haftschrift erfolgt vorzugsweise bei erhöhten Temperaturen.

Beim Trennen einer vollflächigen Polymerschicht besteht zudem auch bei der Entfernung der Haftmaterialien ein höherer Energiebedarf (z.B. Wärme, Ultraschall) beziehungsweise Lösungsmittelbedarf und somit auch höhere Kosten. Die Trennung selbst wird in diesem Prozess vorzugsweise durch Ablösekraften normal zur Substratoberfläche kontrolliert.

Eine alternative Entwicklung ist das sogenannte „Slide-Off Debonden“. In diesem Verfahren wird eine Vorrichtung verwendet, die das Produksubstrat und das Trägersubstrat vollflächig mit je einem Substrathalter fixiert. Die beiden Substrathalter werden dann parallel zueinander verschoben, sodass die Substrate über Kräfte entlang der Haftfläche voneinander abgesichert werden. Dazu ist es nötig, die dazwischenliegende Polymerschicht zu erwärmen. Die Polymerschicht erweicht dadurch und verliert ihre Haftfestigkeit. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass auf Lösungsmittel und Ultraschall gänzlich verzichtet werden kann. Nachteilig ist, dass der Debond immer noch bei erhöhter Temperatur durchgeführt werden muss.

Alternative Verfahren zum Debonden verzichten auf die Verwendung einer erhöhten Temperatur und verwenden ausschließlich Lösungsmittel, welche das Polymer von der Peripherie der beiden Substrate her angreift. Das Einwirken des Lösungsmittels, kann mittels Ultraschall beschleunigt werden. Das gelöste Polymer wird vorzugsweise durch eine Umwälzung des Lösungsmittels vom Substratstapel wegtransportiert und vorzugsweise kontinuierlich aus dem Lösungsmittelbad entfernt. Möglich ist auch, das Lösungsmittel nur seitlich auf das Polymer zu spritzen und mittels eines Lösungsmittelstrahls zu entfernen.

Eine Weiterentwicklung des Lösungsmittelprozesses stellt die sogenannte **ZoneBond™ Methode** dar, die in der Druckschrift **WO2009094558A2** beschrieben wird. Dabei handelt es sich um ein Verfahren, bei dem ein Trägersubstrat speziell präpariert werden muss. Das Trägersubstrat besteht aus zwei unterschiedlichen Zonen. Die zentrale Zone, welche die größte

- 4 -

Fläche einnimmt, wird mit Hilfe einer Antihafschicht (engl.: anti sticking layer) beschichtet und weist eine niedrige Adhäsion zu jeder Art von Polymer auf. Die zweite Zone umgibt die erste Zone kreisförmig meist als geschlossener Ring und reicht bis zum Rand des Trägersubstrats. Die Kreisringdicke beträgt nur wenige Millimeter. Diese sehr geringe Fläche reicht aus, um das Polymer und damit das zum Trägersubstrat gebondete Produktsubstrat vollflächig zu fixieren. Das Innere wird dabei während der Bearbeitungsschritte durch den Luftdruck und die Abdichtung der Seiten fixiert. Vorteilhaft ist, dass zum Debonden nur das Polymer aus der zweiten, leichter zugänglichen Zone entfernt werden muss, um einen Debond des Trägersubstrats vom Produktsubstrat zu ermöglichen.

Eine weitere Weiterentwicklung bestand in der Verwendung von photosensitiven Trennschichten. Diese wurden meistens auf einem, insbesondere transparenten, Trägersubstrat aufgebracht. Danach wurde das Trägersubstrat mit einer Polymerschicht beschichtet und zu einem Produktsubstrat gebondet. Nachdem das Produktsubstrat fertig prozessiert wurde, konnte durch die Bestrahlung der Trennschicht durch das Trägersubstrat dieses vom Produktsubstrat gelöst werden. Derartige Verfahren werden beispielsweise in den Druckschriften US20150035554A1, US20160133486 und US20160133495A1 beschrieben. Eine spezielle Ausführungsform dieses Verfahrens, bei dem die Trennschicht nicht auf dem Trägersubstrat, sondern auf dem Produktsubstrat aufgebracht wurde, findet man in der Druckschrift WO2017076682A1.

Die genannten Verfahren können miteinander kombiniert werden. Beispielsweise kann auch ein Orientierungswechsel des Produktsubstrats vorgenommen werden. Da bei diesem Verfahren die Trägersubstrate gewechselt werden, spricht man auch von einem Trägerwechsel (engl.: carrier flip). Beispielsweise zeigt die WO2011120537A1 ein Verfahren auf, bei dem ein Produktsubstrat mittels einer Polymerschicht auf einen ersten Träger fixiert und dann bearbeitet wird. Nach der Bearbeitung, insbesondere einer Rückdünnung, ist das Produktsubstrat sehr dünn und wird zur weiteren

Verwendung der anderen Substratseite auf ein zweites Trägersubstrat gebondet. Der Transfer des Produktsubstrats erfolgt über zwei Polymerschichten. Das erste Trägersubstrat muss dabei, nach der Fixierung des Produktsubstrats am zweiten Trägersubstrat, vom Produktsubstrat getrennt werden.

Alle genannten Verfahren beruhen meistens darauf, dass irgendein Teil, insbesondere aber eine Schicht, so beeinflusst wird, dass die Adhäsion zu anderen Teilen erniedrigt, insbesondere vollständig eliminiert, wird. In anderen Worten werden die Hafteigenschaften der Trennschicht herabgesetzt.

Die im Stand der Technik beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren beschreiben somit einen Trennungsprozess, welcher organische Schichten, insbesondere Polymerschichten, als Trennschicht vorsehen oder organische Bondschichten mit anorganischen Trennschichten kombinieren. Die Verwendung von Polymeren als Bondschichten und/oder Trennschichten, welche zwei Substrate miteinander temporär verbinden, hat mehrere Nachteile. Bei den Polymeren handelt es sich um langkettige Moleküle, deren Hauptkomponente Kohlenstoff ist. Organische Materialien sind in der Halbleiterindustrie häufig von Nachteil und unerwünscht, da sie eine Reinraumumgebung, insbesondere die Vorrichtungen, in denen die Substrate prozessiert werden, kontaminieren können. Des Weiteren haben die Polymere den Nachteil, dass sie nur bis zu einer relativ niedrigen Temperatur ihre Hafteigenschaft aufrechterhalten, was einen Vorteil für das Debonden darstellt, allerdings nachteilig ist, sollte das Produktsubstrat auf dem Trägersubstrate bei hohen Temperaturen bearbeitet werden müssen. Neben der geringen Temperaturbeständigkeit von organischen Schichten, müssen organische Trennschichten häufig relativ dick aufgetragen werden, um entsprechende Hafteigenschaften bereitzustellen.

Neben den Problemen beim Debonden besteht im Stand der Technik aber auch das Problem, auf Substraten erzeugte Schichten auf Produktsubstrate zu transferieren, da auch hierfür eine Trennschicht verwendet wird, um den erzeugten Substratstapel vom Trägersubstrat zu separieren.

- 6 -

Die unterschiedlichen Verfahren zeichnen sich also darin aus, dass einerseits während einer Bearbeitung hohe Haltekräfte unabhängig von der Prozessstemperatur benötigt werden, andererseits die Substrate nach der Bearbeitung mit möglichst geringen Kräften voneinander getrennt werden müssen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Trennen eines Trägersubstrates und ein Substratsystem zum Bearbeiten sowie Transferieren eines Substrates aufzuzeigen, welche die im Stand der Technik aufgeführten Nachteile zumindest zum Teil beseitigen, insbesondere vollständig beseitigen. Es ist insbesondere Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Verfahren und verbessertes Substratsystem zum Trennen von Substraten beziehungsweise zum Trennen von Schichten an einem Substrat aufzuzeigen. Es ist weiterhin eine Aufgabe der Erfindung ein alternatives Verfahren und ein alternatives Substratsystem aufzuzeigen, mit dessen Hilfe ein Substrat einfach und sauber bearbeitet, insbesondere abgelöst (engl.: debonded) oder transferiert werden kann. Es ist weiterhin Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und ein Substratsystem aufzuzeigen, welche kontaminationsarm arbeiten bzw. ein solches ermöglichen. Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Substratsystem aufzuzeigen, aus welchem insbesondere ein Trägersubstrat besonders einfach trennbar beziehungsweise ablösbar ist.

Die vorliegende Aufgabe wird mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei in der Beschreibung, in den Ansprüchen und/oder den Zeichnungen angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart gelten und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

- 7 -

Demnach betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Trennen eines Trägersubstrates von einem Produktsubstrat mit zumindest den folgenden Schritten:

- i) Bereitstellung des Trägersubstrates und des Produktsubstrates mit einer dazwischen angeordneten Trennschicht, wobei die Trennschicht das Produktsubstrat an dem Trägersubstrat fixiert,
- ii) Bestrahlen der Trennschicht mit Laserstrahlen einer Lasereinheit und
- iii) Trennen des Trägersubstrates von dem Produktsubstrat,

dadurch gekennzeichnet, dass die Trennschicht anorganisch ist.

Dabei fungiert die Trennschicht gleichzeitig als Bondschicht bzw. Klebeschicht zur insbesondere temporären Befestigung des Trägersubstrates an dem Produktsubstrat. Das Produktsubstrat kann ein Substratstapel, ein Bauteil oder eine einzelne funktionale Schicht sein. Insoweit ist das Verfahren zum Trennen grundsätzlich auch zum Trennen eines beliebigen weiteren Substrates von dem Trägersubstrat vorgesehen. Besonders bevorzugt ist die Trennschicht unmittelbar auf dem Trägersubstrat angeordnet. Auf diese Weise kann vorteilhaft auf eine weitere Bondschicht verzichtet werden. Zudem ist neben der anorganischen Trennschicht vorzugsweise keine weiteren Schichten, insbesondere keine organischen Schichten, bei dem Trennvorgang notwendig. Somit wird vorteilhaft der Grad der Kontamination reduziert.

In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass zwischen der Trennschicht und dem Produktsubstrat mindestens eine weitere Schicht, angeordnet ist, und wobei die mindestens eine weitere Schicht anorganisch ist.

In anderen Worten kann mit dem Verfahren vorteilhaft ein Substratsystem mit wenigstens dem Trägersubstrat, der Trennschicht und einer weiteren Schicht

- 8 -

durch eine gezielte Laserbehandlung so bearbeitet werden, dass das Trägersubstrat von der mindestens einen weiteren Schicht einfach und kontaminationsarm trennbar beziehungsweise ablösbar ist. Dabei wird im Gegensatz zum Stand der Technik eine Trennschicht aus kohlenstofffreiem Material mittels eines Lasers mit Laserstrahlen beaufschlagt, so dass die Hafteigenschaften dieser anorganischen Trennschicht herabgesetzt werden, während die weitere Schicht ebenfalls anorganisch ist. Durch die Freigabe des Trägersubstrates durch Einwirken auf die anorganische Trennschicht, ist ein vollständig anorganischer Schichtaufbau des Substratsystems möglich. Somit kann in unterschiedlichen Verfahren zum Bearbeiten von Substraten, insbesondere beim Debond und Transferieren von Substraten, auf die Verwendung von organischen Trennschichten beziehungsweise Bondschichten vorteilhaft verzichtet werden.

Die höhere Temperaturbeständigkeit von anorganischen Materialien, ermöglicht eine flexiblere Prozessgestaltung. Weiterhin besitzen anorganische Trennschichten und Bondschichten typischerweise eine gute thermische Leitfähigkeit, so dass eine bessere Wärmeableitung über das Trägersubstrat erfolgen kann.

Zudem können organische Trennschichten und organische Bondschichten auf Polymerbasis in entsprechende Anlagen nachteilig verschmutzen und die Qualität negativ beeinflussen. Mit anorganischen Materialien für die Trennschicht und die Bondschicht, kann somit eine Kontamination der Anlagen reduziert werden.

Die hohen Hafteigenschaften der anorganischen Trennschichten und/oder Bondschichten ermöglichen zudem eine dünnere Trennschicht und somit insgesamt einen dünneren Schichtaufbau im zu bearbeitenden Substratsystem. Somit kann eine verbesserte Ebenheit des Substratsystems bewirkt werden und zu bearbeitendes und somit kontaminierendes Material eingespart werden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens zum Trennen von Trägersubstraten besteht in dem geringeren Energieeintrag in das zu bearbeitende

Substratsystem und einer entsprechenden geringeren Wärmebelastung, wodurch insbesondere temperatursensible Substratsysteme bearbeitbar sind.

Die Trennschicht ist dabei aus einem kohlenstofffreien Material gebildet und wird insbesondere vorher auf das Trägersubstrat abgeschieden. Insoweit kann die Trennschicht auch weiterhin gleichzeitig als Bondschicht (temporär Bond) zum Verbinden mit dem Produktsubstrat über die mindestens eine weitere Schicht dienen.

Dabei ist unter einem Trägersubstrat ein beliebiges Substrat zu verstehen, welches zum Auftrag der anorganischen Trennschicht geeignet ist. Bevorzugt handelt es sich bei dem Trägersubstrat um ein anorganisches Substrat, besonders bevorzugt um einen Silizium-Wafer. Silizium-Wafer sind besonders bevorzugt.

Die Lasereinheit wirkt gezielt und mit abgestimmten Parametern auf die Trennschicht in unterschiedlichen, vorzugsweise regelmäßig beanstandeten Bereichen, ein. Dabei absorbiert die für die Laserstrahlung der Lasereinheit vorzugsweise undurchlässige anorganische Trennschicht die Laserstrahlung, so dass lokale die Hafteigenschaften und/oder die Stabilität der Trennschicht verringert werden. Insbesondere entstehen auf Grund der hohen lokalen Energiekonzentration laterale Risse in der Trennschicht, so dass das Trägersubstrat einfach von der mindestens einen weiteren Schicht bzw. dem Produktsubstrat gelöst werden kann. Durch die anorganische Trennschicht kann dann im Verfahren zum Trennen das Trägersubstrat gezielt von der mindestens einen weiteren Schicht getrennt werden.

Möglich, wenn auch nicht bevorzugt, ist eine, insbesondere kontinuierliche, großflächige Lasereinstrahlung denkbar. Der Laserstrahl bewegt sich in diesem Fall nicht relativ zum Substrat, sondern wird so aufgeweitet, dass er das Substrat vollflächig trifft. Insbesondere muss in einer solchen speziellen Ausführungsform die Belichtungszeit viel länger gewählt werden.

- 10 -

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass ausschließlich anorganische Schichten zwischen dem Produktsubstrat und dem Trägersubstrat angeordnet sind. Auf diese Weise kann das Verfahren besonders kontaminationsarm durchgeführt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass bei dem Bestrahlen in Schritt ii) von der Lasereinheit emittierte Laserstrahlen zuerst das Trägersubstrat durchdringen und dann auf die Trennschicht treffen. In anderen Worten passieren die Laserstrahlen zunächst das Trägersubstrat und werden anschließend von der Trennschicht absorbiert. Das Trägersubstrat ist somit zumindest teildurchlässig für die Laserstrahlung. Die Lasereinheit kann somit vorteilhaft auf der Trägerseite Rückseite angeordnet werden und ein Trennen flexibel von der Rückseite durchgeführt werden, ohne besondere Anforderungen an das Produktsubstrat zu stellen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass auch die ggf. mindestens eine weitere Schicht die Laserstrahlung jedenfalls so stark absorbiert, dass das Produktsubstrat vorteilhaft geschützt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die mindestens eine weitere Schicht eine Siliziumoxidschicht ist, welche als Bondschicht fungiert. Diese anorganische Bondschicht erlaubt einen kontaminationsarmen Trennvorgang.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die mindestens eine weitere Schicht aus einer ersten Oxidschicht und einer zweiten Oxidschicht, insbesondere durch Fusionsbonden, erzeugt ist. Diese weitere Schicht aus zwei Oxidschichten eignet sich besonders für ein einfaches und stabiles Bonden.

- 11 -

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Trennschicht aus einem Metall oder Nitrid, bevorzugt aus TiN ist. Eine anorganische Trennschicht aus Metall oder Nitrid sind besonders geeignet, da diese insbesondere auch einen stabiles Bonden ermöglichen. Eine Trennschicht auf Zinnbasis ist besonders bevorzugt.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Laserstrahlen eine Wellenlänge zwischen 0.1 μm und 500 μm , vorzugsweise zwischen 0.2 μm und 100 μm , noch bevorzugter zwischen 0.3 μm und 50 μm , am bevorzugtesten zwischen 0.5 μm und 10 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 1 μm und 2.5 μm aufweist. Auf diese Weise kann die Trennschicht besonders effizient und gezielt bestrahlt werden. Das Trägersubstrat ist vorzugsweise durchlässig für die Laserstrahlen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Pulsenergie der Laserstrahlen zwischen 0.01 μJ und 128 μJ , vorzugsweise zwischen 0.125 μJ und 64 μJ , noch bevorzugter zwischen 0.25 μJ und 32 μJ , am bevorzugtesten zwischen 0.5 μJ und 16 μJ , am allerbevorzugtesten zwischen 1 μJ und 8 μJ beträgt. Es hat sich herausgestellt, dass mit diesen Pulsenergien eine Beschädigung des Produktsubstrates vermieden werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Laserfläche kleiner als 2000 μm^2 , vorzugsweise kleiner als 500 μm^2 , noch bevorzugter kleiner als 80 μm^2 , am bevorzugtesten kleiner als 20 μm^2 , am allerbevorzugtesten kleiner als 1 μm^2 ist. Die Fläche der Trennschicht auf welche der Laser einwirkt ist vorteilhaft klein und gezielt und lokal die Hafteigenschaften der Trennschicht zu reduzieren bzw. diese zu zerstören.

- 12 -

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass zwischen Einwirkbereichen der Laserstrahlen auf der Trennschicht mindestens $0.1\text{ }\mu\text{m}$, bevorzugt mindestens $1\text{ }\mu\text{m}$, bevorzugter mindestens $5\text{ }\mu\text{m}$, noch bevorzugter mindestens $10\text{ }\mu\text{m}$, am bevorzugtesten mindestens $50\text{ }\mu\text{m}$ liegen, so dass die Einwirkbereiche der Laserstrahlen nicht überlappen. Auf diese Weise ist ein besonders einfaches und effizientes Trennen möglich.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Pulsdauer der Laserstrahlen zwischen 10000 ps und 1 ps , vorzugsweise zwischen 1000 ps und 1 ps , noch bevorzugter zwischen 500 ps und 1 ps , am bevorzugtesten zwischen 100 ps und 1 ps , am allerbevorzugtesten zwischen 50 ps und 1 ps beträgt. Diese Pulsdauer erlaubt ein gezieltes Einwirken zum Trennen.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Substratsystem, insbesondere zur Erzeugung von Halbleiter-Bauteilen, zumindest aufweisend,

- A) ein Trägersubstrat,
- B) eine auf dem Trägersubstrat angeordnete Trennschicht und
- C) ein auf der Trennschicht angeordnetes Produktsubstrat,

wobei das Trägersubstrat durch Bestrahlen der Trennschicht mit einer Lasereinheit von dem Produktsubstrat trennbar ist.

dadurch gekennzeichnet, dass die Trennschicht eine anorganische Schicht ist und die Trennschicht das Produktsubstrat an dem Trägersubstrat fixiert.

In anderen Worten dient die Trennschicht gleichzeitig als Bondschicht. Somit ist ein einfacher und kohlenstofffreier Aufbau möglich.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Substratsystems ist vorgesehen, dass mindestens eine weitere Schicht zwischen der Trennschicht und dem Produktsubstrat angeordnet ist und das Produktsubstrat von der mindestens einer weiteren Schicht an dem Trägersubstrat fixiert wird, wobei die mindestens eine weitere Schicht anorganisch ist.

Auf diese Weise kann eine weitere funktionale Schicht mit optimalen Eigenschaften für das jeweilige Vorhaben bereitgestellt werden. Zudem ist die weitere Schicht anorganisch, so dass weiterhin die Vorteile eines kohlenstofffreien bzw. anorganischen Stapels bestehen. Ist die weitere Schicht eine Bondschicht, können vorteilhaft die Hafteigenschaften zwischen dem Trägersubstrat/Trennschicht und dem Produktsubstrat eingestellt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Substratsystems ist vorgesehen, dass die mindestens eine weitere Schicht eine Bondschicht ist, wobei die Bondschicht zumindest aus einer ersten Oxidschicht und einer zweiten Oxidschicht, insbesondere durch Fusionsbonden, erzeugt ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Substratsystems ist vorgesehen, dass zwischen dem Trägersubstrat und dem Produktsubstrat ausschließlich anorganische Schichten angeordnet sind. Auf diese Weise kann das Substratsystem unabhängig von den Ansprüchen an kohlenstoffhaltige Stapel verarbeitet werden. Zudem wird die Kontamination verringert.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Substratsystems ist vorgesehen, dass wobei die Trennschicht eine Trennschichtdicke zwischen 10nm und 500nm aufweist. Die geringe Trennschichtdicke erlaubt ein besonders einfaches und effizientes Trennen des Trägersubstrates. Weiterhin kann vorteilhaft ein besonders leichtes Substratsystem mit einer geringen Dicke bereitgestellt werden, wobei gleichzeitig eine ausreichende Stabilisierung

- 14 -

durch das Trägersubstrat und eine Fixierung durch die Trennschicht bzw. Bondschicht bereitgestellt werden.

Unter Produktsubstrat wird jede Art von übertragbarem Bauteil verstanden, insbesondere ein Wafer, eine Platte aber auch kleine, vereinzelte Bauteile wie Chips, Dies unterschiedlicher Komplexität Form und Funktionalität wie z.B. LEDs, MEMS etc. Trägersubstrate sind meist Wafer und sind geeignet die darauf angeordneten Schichten zu stützen.

In einer speziellen Ausführungsform ist vorgesehen, dass sich auf der anorganischen Trennschicht eine anorganische Bondschicht, insbesondere aus Oxid, am bevorzugtesten aus Siliziumoxid befindet, die selbst aus dem Fusionsbond zweier einzelner anorganischer Schichten erzeugt wurde, während sich auf dieser anorganischen Bondschicht eine weitere Schicht, insbesondere eine funktionale Schicht, vorzugsweise aus einem Halbleitermaterial befindet. Da sich die anorganische Bondschicht aus zwei Schichten zusammensetzt kann sie als Schichtstapel bezeichnet werden. Die eine weitere Ausführungsform besteht daher in Reihenfolge aus den folgenden Elementen: Trägersubstrat, anorganische Trennschicht, Schichtstapel aus mindestens zwei anorganischen Schichten erzeugt durch einen Fusionsbond, funktionale Schicht bzw. Produktsubstrat.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Trennen eines Trägersubstrates, zumindest aufweisend:

- a) eine Bereitstellungseinheit zur Bereitstellung des Trägersubstrates,
- b) eine Lasereinheit zur Bestrahlung einer auf dem Trägersubstrat angeordneten Trennschicht, wobei mindestens eine weitere Schicht auf der dem Trägersubstrat abgewandten Seite der Trennschicht angeordnet ist,

- 15 -

wobei das Trägersubstrat durch Bestrahlung der Trennschicht von der mindestens einen weiteren Schicht trennbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Trennschicht und die weitere Schicht anorganisch sind.

Die Vorrichtung ist geeignet, um die Hafteigenschaften der anorganischen Trennschicht zu reduzieren und somit das Trägersubstrat eines Substratsystems abzulösen beziehungsweise zu trennen. Dabei ist die Lasereinheit sowie das Material des Trägersubstrates und der Trennschicht aufeinander abgestimmt. Insbesondere die Verwendung von Laserstrahlung im Bereich der Infrarotstrahlung in Verbindung mit den bevorzugtesten Materialkombinationen liefert optimale Ergebnisse. Die optimalen Kombinationsmöglichkeiten von Laserparametern und Materialien werden in der Offenbarung als bevorzugte Ausführungsformen tabellarisch dargestellt.

Ein wichtiger Aspekt ist, dass mit dem Verfahren und der Vorrichtung anorganische Schichten zerstört werden können beziehungsweise die Hafteigenschaften anorganischer Schichten verändert werden können. Die anorganischen Schichten werden als Trennschichten verwendet, um zwei miteinander verbundene Substrate/Schichten voneinander zu trennen oder auf den Trennschichten angeordnete Schichten von dem Substrat beziehungsweise Trägersubstrat abzulösen. Somit können Substrate und Schichten durch die Trennschicht separiert werden. Das Substrat mit der Trennschicht kann somit auch verwendet werden, um andere Substrate/Schichten transferieren zu können.

Das Verfahren, die Vorrichtung und das Substratsystem können zum Bearbeiten eines Substrates verwendet werden, insbesondere zum Trennen eines Produktsubstrat von einem Trägersubstrat. Dabei umfasst der Begriff des einzelnen Substrats auch mehrschichtige Substratsysteme oder Substratstapel.

- 16 -

Ein wichtiger Aspekt des Verfahrens und der Vorrichtung zum Trennen eines Trägersubstrates besteht darin, ausschließlich anorganische Schichten auf mindestens einem Trägersubstrat abzuscheiden, von denen mindestens eine Schicht eine Trennschicht (engl.: release layer) ist.

Die Trennschicht ist kleiner als 10 μm , typischerweise aber kleiner als 100 nm, vorzugsweise kleiner als 50 nm, noch bevorzugter kleiner als 25 nm, am bevorzugtesten kleiner als 10 nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 1 nm.

Diese Trennschicht wird bei der Trennung der Substrate insbesondere durch einen Strahl, insbesondere einem Laserstrahl oder einer vergleichbaren hochintensiven elektromagnetischen Strahlungsquelle, oder einem Partikelstrahl beschossen. Bevorzugterweise werden elektromagnetische Strahlen, insbesondere Laserstrahlen, weniger bevorzugt Partikelstrahlen verwendet.

Die Laserparameter erfüllen bevorzugt bestimmte Bedingungen, um die beiden Substrate, beziehungsweise die auf der dem Trägersubstrat abgewandten Seite der Trennschicht angeordneten Schichten, durch die, vorzugsweise optische, Beeinflussung der anorganischen Trennschicht, mit geringer Belastung für das Produktsubstrat und das Trägersubstrat sauber voneinander zu trennen. Auf diese Weise kann vorteilhaft auf die Verwendung organischer Schichten in dem zu bearbeitbaren Substrat vollständig verzichtet werden. Der Einsatz der hochtemperaturbeständigen, anorganischen Trennschicht ermöglicht so Bearbeitungsschritte, die Temperaturbereiche einschließt, welche für organische und somit weniger temperaturbeständigen Schichten, insbesondere Polymerschichten, nicht erreichbar wären, ohne die Haltekraft negativ zu beeinflussen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt besteht darin, wie die Energie eines Lasers auf die Trennschicht fokussiert wird um eine Haftreduktion und/oder sogar eine wünschenswerte Sublimation der Trennschicht zu bewirken, die durch einen zusätzlichen Gasdruck die Schichten über den lateralen Bestrahlungsbereich hinaus auseinander treibt und so eine hohe Effizienz bei der Ablösung ermöglicht, sofern die Kohäsion der oben und unten

begrenzten Schichten höher ist, als die Adhäsion des angrenzenden Materials und so eine Rissbildung entlang der Schichten und nicht quer dazu ermöglicht. Dabei ist es notwendig, das Trägersubstratmaterial, die Oberflächeneigenschaften des Trägersubstrats, die Laserwellenlänge, die Laserenergie und vor allem die Einwirkdauer - bei gepulsten Lasern primär definiert durch die Laserpulsdauer - aufeinander abzustimmen. Da im infraroten und sichtbaren, im Gegensatz zum ultravioletten, Spektralbereich nur sehr wenige effiziente spezifische Übertragungsprozesse bestehen, die durch direkte Wechselwirkung auf chemische Bindungen zur molekularen **Spaltung führen (photochemische Dissoziation)**, ist eine „kalte chemische“ Trennung nicht so leicht möglich. In diesem photonenergiearmen, langwelligen Spektralbereich werden deshalb nicht-lineare optische Effekte, oder kurze thermische Pulse eingesetzt. Letztere werden absichtlich so kurzgehalten, dass eine Wärmeausbreitung innerhalb der Wechselwirkungsdauer des Pulses möglichst auf die Trennschicht begrenzt ist. Damit, und durch die laterale Begrenzung wird auch verhindert, dass die Wärme in hoher Konzentration auf das Nutzsubstrat einwirken kann, sondern entweder in Umwandlungsprozessen (z.B. in der Gasphase) gebunden wird, oder sich vor der Ableitung auf ein wesentlich größeres Volumen und eine größere Querschnittsfläche verteilt, so dass die Temperaturen um mehrere Größenordnungen sinken und zu keinen unerwünschten Schäden an den Substraten führen.

Insbesondere sollte die Pulsdauer im 1- bis 2-stelligen Pikosekundenbereich liegen, weil sich die Wärmekonzentration bei $<1\ \mu\text{m}$ -Schichtdicke innerhalb der Schicht zeitlich einfangen lässt. Andererseits können so unerwünschte nicht-lineare Prozesse im Trägersubstrat unterdrückt werden.

Eine Weiterentwicklung des Verfahrens und der Vorrichtung beschreibt, dass neben der anorganischen Trennschicht eine rein anorganische Bondschicht zur Verbindung zweier Substrate oder Schichten verwendet wird. Die anorganische Bondschicht ist dann auf der dem Trägersubstrat abgewandten Seite der Trennschicht angeordnet. Eine anorganische Bondschicht ermöglicht

- 18 -

eine weitere Abgrenzung zum Stand der Technik, in dem ausschließlich organische Schichten, insbesondere keine Polymerschichten, als Bondschichten verwendet werden. Auf diese Weise kann ein Transferieren von Substraten ebenfalls sauber bei höheren Temperaturen durchgeführt werden, da weder die Trennschicht noch die Bondschicht aus organischem Material, insbesondere zur Karbonisierung neigenden Polymeren, besteht. Insbesondere zeichnen sich die anorganischen Schichten auch dadurch aus, eine sehr hohe Absorption (linear oder nicht-linear) aufzuweisen, die besonders dünne Schichten oder auch komplexere Schichtsysteme ermöglicht.

Dabei ist der erzeugte Substratstapel vorzugsweise ausschließlich anorganisch. Durch den anorganischen Aufbau kann der Substratstapel, insbesondere das Produktsubstrat, bei sehr hohen Temperaturen prozessiert werden. Ein weiterer Vorteil ist die relativ hohe Haftfestigkeit, die zwischen den beiden Substraten beziehungsweise den anorganischen Schichten vorherrscht. Daher können die anorganischen Trennschichten und ggf. anorganischen Bondschichten dünner ausgelegt werden. Das anorganische Material der Trennschicht kann somit vorteilhaft auf die unterschiedlichen Parameter der Lasereinheit abgestimmt werden. Somit kann die Lasereinheit vorteilhaft auf die Trennschicht gezielt einwirken und dabei weitere Schichten und/oder das Trägersubstrat nicht oder nur minimal beeinflussen.

Das Verfahren zum Bearbeiten eines Substrates besteht in der, zumindest teilweisen, Entfernung oder Zerstörung beziehungsweise Herabsetzung der Haftung der anorganischen Trennschicht. Somit wird die Übertragung anderer Schichten und/oder eine Trennung des Substrates, insbesondere Trägersubstrates, von einem anderen Substrat ermöglicht.

In einer Ausführungsform des Verfahrens werden zusätzlich zu der anorganischen Trennschicht, eine anorganische Bondschicht verwendet. Die anorganische Bondschicht bewirkt die Verbindung zweier Substrate bzw. mehrerer Schichten.

- 19 -

Im folgenden Abschnitt werden die Parameterbereiche beschrieben, mit denen das Verfahren durchgeführt werden kann, beziehungsweise die Vorrichtung arbeitet.

Das Verfahren beruht darauf, dass der Laserstrahl eines Lasers, besonders bevorzugt eines Infrarot Lasers, auf eine Trennschicht fokussiert wird. Die Laserparameter müssen dabei insbesondere einige der folgenden Kriterien erfüllen.

In dem Verfahren und der Vorrichtung zum Trennen von Trägersubstraten werden folgende Laser beziehungsweise Lasereinheiten bevorzugt:

-Im ultraviolett Spektrum

-F₂, ArF, Nd:YAG, He-Ag, KrF, XeCl, He-Cd, XeF

- Im sichtbaren Spektrum

-He-Cd, Ar, Kupferdampf, He-Ne, Kr, Rubin

-Im nahen Infrarot Spektrum

-Nd:YAG, He-Ne, Er:Glass, Tm:YAG, Ho:YAG, Er:YSGG, Er:YAG

-Im fernen Infrarot Spektrum

-Methanol, Methylamin, Methylfluorid

Die Wellenlänge des von der Lasereinheit emittierten Laserstrahls liegt zwischen 0.1 μm und 500 μm , vorzugsweise zwischen 0.2 μm und 100 μm , noch bevorzugter zwischen 0.3 μm und 50 μm , am bevorzugtesten zwischen 0.5 μm und 10 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 1 μm und 2.5 μm .

Bevorzugt werden folgende Materialklassen und Materialien für die Trennschicht verwendet

- Halbleiter, insbesondere
Ge
- Metalle, insbesondere
Ti, W, Al, Ta, Cu

- 20 -

- Nitride, insbesondere
TiN, TaN, WN, W₂N, WN₂

Der Laser beziehungsweise die Lasereinheit wird vorzugsweise im Pulsmodus betrieben. Von besonderem Interesse ist eine möglichst kurze Pulsdauer. Die kurze Pulsdauer sorgt für einen örtlichen Wärmeeintrag in der Trennschicht und verhindert weitestgehend die Wärmeleitung in andere Schichten. Die Pulsdauer des Lasers liegt zwischen 10000 ps und 1 ps, vorzugsweise zwischen 1000 ps und 1 ps, noch bevorzugter zwischen 500 ps und 1 ps, am bevorzugtesten zwischen 100 ps und 1 ps, am allerbevorzugtesten zwischen 50 ps und 1 ps.

Die Laserfläche (engl.: spot size) ist die effektive Querschnittsfläche des Laserstrahls in der Trennschicht.

Ist die Laserfläche kreisrund, wird sie vorzugsweise durch einen Laserflächendurchmesser angegeben. Der Laserflächendurchmesser ist kleiner als 50 µm, vorzugsweise kleiner als 25 µm, noch bevorzugter kleiner als 10 µm, am bevorzugtesten zwischen 5 µm, am allerbevorzugtesten kleiner als 1 µm.

Ist die Laserfläche quadratisch, wird sie durch einen Laserflächenseitenlänge angegeben. Die Laserflächenseitenlänge ist kleiner als 100 µm, vorzugsweise kleiner als 80 µm, noch bevorzugter kleiner als 50 µm, am bevorzugtesten zwischen 25 µm, am allerbevorzugtesten kleiner als 15 µm.

Ist die Laserfläche allgemein rechteckig, wird sie durch eine erste und eine zweite Laserflächenseitenlänge angegeben. Die erste und/oder die zweite Laserflächenseitenlänge ist kleiner als 100 µm, vorzugsweise kleiner als 80 µm, noch bevorzugter kleiner als 50 µm, am bevorzugtesten zwischen 25 µm, am allerbevorzugtesten kleiner als 15 µm.

Die mittlere Laserfläche ist kleiner als 2000 µm², vorzugsweise kleiner als 500 µm², noch bevorzugter kleiner als 80 µm², am bevorzugtesten kleiner als 20 µm², am allerbevorzugtesten kleiner als 1 µm².

Unter Vernachlässigung einer Konvergenz entspricht die Laserfläche ungefähr dem Laserstrahldurchmesser entlang der Strecke des Laserstrahls.

Die eingebrachte Energie pro Puls liegt zwischen 0.01 μJ und 128 μJ , vorzugsweise zwischen 0.125 μJ und 64 μJ , noch bevorzugter zwischen 0.25 μJ und 32 μJ , am bevorzugtesten zwischen 0.5 μJ und 16 μJ , am allerbevorzugtesten zwischen 1 μJ und 8 μJ . Die entsprechende Laserflächenenergiedichte pro Puls errechnet sich als Quotient der Energie pro Puls zur Laserfläche.

Die Rauheit der Trägersubstratoberfläche beeinflusst die Streuung der Laserstrahlung. Vorzugsweise ist die Rauheit so einzustellen, dass eine maximale Menge an Photonen in das Trägersubstrat eindringen.

Die Rauheit wird entweder als mittlere Rauheit, quadratische Rauheit oder als gemittelte Rauhtiefe angegeben. Die ermittelten Werte für die mittlere Rauheit, die quadratische Rauheit und die gemittelte Rauhtiefe unterscheiden sich im Allgemeinen für dieselbe Messstrecke bzw. Messfläche, liegen aber im gleichen Größenordnungsbereich. Daher sind die folgenden Zahlenwertebereiche für die Rauheit entweder als Werte für die mittlere Rauheit, die quadratische Rauheit oder für die gemittelte Rauhtiefe zu verstehen.

Die Rauheit ist dabei größer als 10 nm, vorzugsweise größer als 100 nm, noch bevorzugter größer als 1 μm , am bevorzugtesten größer als 10 μm , am allerbevorzugtesten größer als 100 μm .

Die Verteilung der Laserflächenenergie entlang der Position ist nicht notwendigerweise homogen. Die Laserflächenenergie ist insbesondere durch eine der folgenden Verteilungsfunktionen charakterisiert:

- Gaussverteilung,
- Cauchyverteilung,
- Lorentzverteilung,
- Pearsonverteilung oder

- Gleichverteilung.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Verfahrens zum Trennen einer Trägerschicht sind die beim Bestrahlen der Trennschicht mit der Lasereinheit auftretenden nichtlineare optische Effekte.

Durch die richtige Kombination der richtigen physikalischen Parameter, insbesondere des Trägersubstratmaterials, der Pulslänge, der Laserwellenlänge, der Laserenergie kann das Verhalten der elektromagnetischen Welle bzw. der Photonen im Trägermaterial so eingestellt werden, dass die Fokussierung des Laserstrahls in der Trennschicht erfolgt. Maßgeblich dafür verantwortlich ist der elektrooptische Kerr-Effekt, der die Änderungen der optischen Eigenschaften eines Materials, insbesondere des Brechungsindex, als Funktion der elektrischen Feldstärke beschreibt.

Durch die gewählten Laserparameter, und den damit erzeugten räumlich fokussierten, kurzzeitigen, hochenergetischen Energieeintrag entsteht mindestens einer der folgenden physikalischen Effekte.

Die extreme Temperaturerhöhung führt zu einer thermischen Dehnung zwischen der Trennschicht und der an die Trennschicht angrenzende mindestens einen weiteren Schichten beziehungsweise Substraten. Dieser Effekt ist umso effizienter, je größer die Differenz in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Trennschicht und den angrenzenden Schichten beziehungsweise Substraten ist. Ausdehnungskoeffizienten sind temperaturabhängig, liegen aber im Größenordnungsberiech von 10^{-6} K^{-1} . Eine Verhältnisangabe ist daher zweckmäßig. Der Absolutbetrag der Differenz zwischen dem Ausdehnungskoeffizienten der Trennschicht und dem Ausdehnungskoeffizient mindestens einer angrenzenden mindestens einen weiteren Schicht beziehungsweise mindestens eines angrenzenden Substrats ist größer als $0.1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, vorzugsweise größer als $1.0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, noch bevorzugter größer als $2.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, am bevorzugtesten größer als $5.0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, am allerbevorzugtesten größer als $10.0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Übersteigt die thermische Dehnung einen kritischen Wert, so lässt sich die Trennschicht

beziehungsweise das auf der anderen Seite von der Trennschicht angeordnete Trägersubstrat von der mindestens einen weiteren Schicht beziehungsweise Substrats trennen beziehungsweise ablösen.

Durch eine sehr gering gewählte Pulsdauer kann mehr Wärmemenge pro Zeiteinheit in die Trennschicht eingebracht werden als in die Umgebung abgeführt wird. Dadurch kommt es zu einer Sublimation und teilweise zur Ausbildung eines Plasmas. Würde die Pulsdauer zu groß gewählt werden, würde die anorganische Trennschicht schmelzen. Durch die raschere Abfuhr der Wärme in die Umgebung kommt es sehr schnell wieder zu einer Erstarrung der Schmelze und damit zu einem erneuten Verschweißen der Trennschicht mit der Umgebung.

Denkbar auch ein Aufschmelzen der anorganischen Trennschicht. Wie bereits erwähnt muss bei einem Aufschmelzen sichergestellt werden, dass eine erneute Erstarrung der Schmelze die Trennschicht nicht wieder mit ihrer Umgebung verschweißt.

In einer besonderen bevorzugten Vorgehensweise überlappen sich die Laserflächen (engl.: laser spots) in der Trennschicht nicht. In diesem Fall muss die Schrittweite zwischen zwei erzeugten Laserflächen größer als die Laserfläche des Laserstrahls sein. Dabei wird jede Laserfläche in der Trennschicht beziehungsweise Einwirkbereich mit einem entsprechenden Laserstrahl der Lasereinheit beaufschlagt. Folgende Parametersätze sollen exemplarisch genannt werden. Bei einer bevorzugten kreisrunden Laserfläche mit einem Laserflächendurchmesser von 10 µm, liegt die Schrittweite zwischen 10 µm und 30 µm, vorzugsweise zwischen 10 µm und 25 µm, noch bevorzugter zwischen 10 µm und 20 µm, am bevorzugtesten zwischen 10 µm und 15 µm, am allerbevorzugtesten zwischen 10 µm und 12 µm. Dabei sollte eine Schrittweite gewählt werden, die größer als die Laserflächendurchmesser ist aber immer noch groß genug, um eine effiziente Schwächung der Trennschicht beziehungsweise den Hafteigenschaften der Trennschicht zu bewirken. Beispielsweise bei einem Laserflächendurchmesser von 10 µm kann gewährleistet werden, dass die Schwächung bzw. Zerstörung der Trennschicht

- 24 -

auch bei einer Schrittweite von 30 μm erfolgt. Es ist insbesondere nicht notwendig dann die Schrittweite auf beispielsweise 15 μm oder sogar 12 μm zu reduzieren.

Würden sich die Laserflächen überschneiden, könnte das sublimierte anorganische Material der Trennschicht einer Laserfläche in der anliegenden Laserfläche kondensieren bzw. resublimieren und zu einer erneuten Verschweißung führen. Im Stand der Technik würde das Polymer das sublimierten Trennschichtmaterial aufnehmen. Es ist daher ein wichtiger Aspekt aller Ausführungsformen des Verfahrens und der Vorrichtung zum Trennen von Trägersubstraten, dass durch die korrekte Wahl der Schrittweite zwischen zwei Laserflächen bei vorgegebener Laserfläche eine erneute Verschweißung verhindert werden kann. Des Weiteren sei erwähnt, dass ein Laser mit entsprechend geringer Pulsdauer bei Systemen mit organischen Schichten nicht funktioniert.

Folgende Schichtsystem beziehungsweise Substratsysteme sind für das Trennen beim Bonden bzw. Debonden vorgesehen.

In einer ersten Ausführungsform besteht das Schichtsystem nur aus einer anorganischen Trennschicht. Die Trennschicht ist vorzugsweise auf einem Substrat, insbesondere einem Trägersubstrat, aufgebracht. Die Trennschicht wirkt gleichzeitig als Bondschicht.

In einer zweiten Ausführungsform besteht das Schichtsystem mindestens aus einer Trennschicht und einer Bondschicht. Die Trennschicht ist vorzugsweise auf einem Substrat, insbesondere einem Trägersubstrat, aufgebracht. Die Bondschicht ist auf der Trennschicht aufgebracht. Die Aufgabe der Bondschicht besteht darin eine Verbindung zu einem anderen Substrat (mindestens einen weiteren Schicht), insbesondere einem Produktsubstrat, herzustellen, während die Trennschicht die Aufgabe hat, durch eine Lasereinheit geschwächt beziehungsweise zerstört zu werden.

Folgende Schichtsysteme beziehungsweise Substratsysteme sind für den Schichttransfer vorgesehen. Die mindestens eine weitere Schicht

beziehungsweise der Substratstapel kann somit vorteilhaft transferiert werden und nutzt dazu das Verfahren zum Trennen von Trägersubstraten.

In einer dritten Ausführungsform besteht das Schichtsystem mindestens aus einer Trennschicht und einer Transferschicht. Die Trennschicht ist vorzugsweise auf einem Substrat, insbesondere einem Trägersubstrat, aufgebracht. Die Transferschicht ist auf der Trennschicht aufgebracht.

In einer vierten Ausführungsform besteht das Schichtsystem mindestens aus einer Trennschicht, einer Wachstumsschicht und einer Transferschicht. Die Trennschicht ist vorzugsweise auf einem Substrat, insbesondere einem Trennschicht, aufgebracht. Die Wachstumsschicht ist auf der Trennschicht aufgebracht und wird verwendet, um die Transferschicht darauf herzustellen insbesondere zu züchten.

In einer fünften Ausführungsform besteht das Schichtsystem mindestens aus einer Trennschicht, einer Wachstumsschicht, einer Maske und einer Transferschicht. Die Trennschicht ist vorzugsweise auf einem Substrat, insbesondere einem Trägersubstrat, aufgebracht. Die Wachstumsschicht ist auf der Trennschicht aufgebracht. Auf der Wachstumsschicht wird insbesondere eine Maske, insbesondere eine Hartstoffmaske die durch die Kombination der Abscheidung eines Sol-Gels, einem Imprintverfahren und einem Aushärtvorgang hergestellt wurde, erzeugt. Durch ein Abscheideverfahren wird eine Überwuchsschicht erzeugt, die ausgehend von der Wachstumsschicht durch die Aperturen der Maske wächst. Diese Wachstumsschicht stellt die Transferschicht dar.

Die erwähnten Schichtsysteme beziehungsweise Substratsysteme können nun verwendet werden, um das Verfahren zum Trennen umzusetzen.

In einem ersten Verfahren wird die Trennschicht zum Debonden zweier Substrate verwendet. Der Anschaulichkeit und Übersicht halber wird das Verfahren anhand zweier Substrate, einem Trägersubstrat und einem Produktsubstrat, beschrieben. Das Verfahren kann allerdings verwendet

werden, um einen Substratstapel mit mehreren Substraten zu erzeugen. Insbesondere ist es denkbar, dass die anorganischen Schichten, insbesondere die Trennschicht, zwischen jeweils zwei Substraten variieren. Im Fall mehrerer Substrate gibt es vorzugsweise ein Trägersubstrat und mehrere darauf angebrachte Produktsubstrate. Denkbar ist auch, dass der Substratstapel nur aus Produktsubstraten besteht. In diesem Fall sollte aber entweder mindestens eines der Produktsubstrate so dick sein, dass der Substratstapel mechanisch genügend stabilisiert ist oder der Substratstapel sollte in seiner Gesamtheit so dick sein, dass eine mechanische Stabilisierung vorhanden ist.

In einem ersten Verfahrensschritt wird eine Trennschicht auf einem Trägersubstrat aufgebracht. Auf der Trennschicht wird eine Bondschicht aufgebracht. Ein Produktsubstrat wird zu dieser Bondschicht gebondet.

In einem zweiten Verfahrensschritt wird das Produktsubstrat prozessiert.

In einem dritten Verfahrensschritt wird das Produktsubstrat mit seiner prozessierten Produktsubstratoberfläche zu einem anderen Substrat, insbesondere einem Transfersubstrat, gebondet.

In einem vierten Verfahrensschritt wird die Trennschicht durch das Trägersubstrat mit einem Laserstrahl eines Lasers beschossen.

In einem fünften Verfahrensschritt wird das Trägersubstrat abgenommen beziehungsweise abgelöst.

In einem speziellen ersten Verfahren werden Schichtsysteme, bestehend aus einer Trennschicht und einer Bondschicht verwendet.

Auf einem Trägersubstrat wird eine Trennschicht erzeugt. Auf der Trennschicht wird eine Bondschicht erzeugt. Ein, insbesondere ebenfalls mit einer Bondschicht versehenes, Produktsubstrat wird zur Bondschicht des Trägersubstrats gebondet. Bei dem Bond handelt es sich vorzugsweise um einen Fusionsbond. Das Produktsubstrat verfügt insbesondere bereits über funktionale Einheiten. In weiteren Prozessschritten wird die zweite, nicht gebondete, Produktsubstratoberfläche prozessiert. Insbesondere erfolgt eine

Rückdünnung auf weniger als 100 μm , vorzugsweise weniger als 50 μm , noch bevorzugter weniger als 25 μm , am bevorzugtesten weniger als 10 μm , am allerbevorzugtesten weniger als 5 μm . Auf dem zurück gedünnten Produktsubstrat können weitere Verfahrensschritte, insbesondere auch bei hohen Temperaturen durchgeführt werden. Vorzugsweise erfolgt eine Oxidation der zweiten Produktsubstratoberfläche und es werden TSVs erzeugt, sodass die zweite Produktsubstratoberfläche zu einer Hybridbondoberfläche wird. Denkbar wäre ein weiterer Fusionsbond eines zweiten Produktsubstrats zur zweiten Produktsubstratoberfläche des ersten Produktsubstrats. Bei diesem Bond handelt es sich dann vorzugsweise um einen Hybridbond, d.h. die elektrischen Kontakte des ersten Produktsubstrats werden direkt mit den elektrischen Kontakten des zweiten Produktsubstrats verbunden, während die dielektrische Umgebung der elektrischen Kontakte durch einen Fusionsbond miteinander verbunden wird. Die Produktsubstratoberfläche des zweiten Produktsubstrats besitzt dabei vorzugsweise wieder eine Bondschicht. Ist der Substratstapel bestehend aus erstem und zweiten Produktsubstrat mechanisch stabil genug, kann das Verfahren der Trennschichtschwächung auf die Trennschicht angewandt werden. Der Laserstrahl wird dabei vorzugsweise durch das für die bestimmte Wellenlänge des Lasers durchlässige beziehungsweise transparente Trägersubstrat auf die Trennschicht fokussiert. Dadurch verliert die Trennschicht ihre Haftfestigkeit bzw. wird zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, entfernt. Danach können die beiden miteinander verbundenen Produktsubstrate vom Trägersubstrat entfernt werden.

Dabei werden ausschließlich anorganische Schichten verwendet, d.h. die Trennschicht sowie alle Bondschichten sind anorganisch.

In einem zweiten Verfahren wird die Trennschicht verwendet, um eine Transferschicht zu übertragen. Dieser Vorgang wird als Schichtübertragung (engl.: layer transfer) bezeichnet.

In einem ersten Verfahrensschritt wird ein Trägersubstrat bereitgestellt. Auf dem Trägersubstrat wird mindestens eine Trennschicht aufgebracht. Auf der

- 28 -

Trennschicht befindet sich mindestens eine Transferschicht. Denkbar und bevorzugt ist auch, dass zuerst auf der Trennschicht eine Wachstumsschicht aufgebracht wird und auf der Wachstumsschicht die Transferschicht. Denkbar ist auch, dass die Transferschicht eine Überwuchsschicht (engl.: over growth layer) ist, welche durch eine Maske wachsen muss. Die Erzeugung einer solchen Überwuchsschicht wird in der Druckschrift WO2016184523A1 ausführlich beschrieben. Denkbar ist auch, dass eine Diffusionsschicht (engl.: diffusion layer, diffusion barrier) zwischen der Trennschicht und der Transferschicht abgeschieden werden muss, damit beide bei weiteren Verfahrensschritten nicht miteinander vermischen.

In einem zweiten Verfahrensschritt wird die Transferschicht mit ihrer freien Transferschichtoberfläche zu einem Produktsubstrat ausgerichtet. Das Produktsubstrat kann bereits über funktionale Einheiten und/oder andere Schichten verfügen. Denkbar wäre auch, dass es sich bei dem Substrat um ein Transfersubstrat handelt, welches die Transferschicht nur temporär aufnimmt und in weiteren Verfahrensschritten, auf ein Produktsubstrat überträgt. In diesem Fall kann auf dem Transfersubstrat ebenfalls eine entsprechende anorganische Trennschicht erzeugt werden.

In einem dritten Verfahrensschritt wird die Transferschicht mit dem Produktsubstrat verbondet.

In einem vierten Verfahrensschritt wird die Trennschicht mit dem Laserstrahl beschossen, sodass sie entweder die Haftfestigkeit verliert und/oder zumindest teilweise zerstört wird.

In einem fünften Verfahrensschritt wird das Trägersubstrat entfernt und die Transferschicht verbleibt auf dem Produktsubstrat. Insbesondere verbleibt auch die Wachstumsschicht noch auf der Transferschicht.

In einem sechsten Verfahrensschritt wird eine möglicherweise noch vorhandene Wachstumsschicht von der Transferschicht entfernt.

Der Unterschied der beispielhaften Verfahren zum Trennen besteht insbesondere darin, dass einerseits zwei Substrate voneinander getrennt und

- 29 -

andererseits eine Schicht transferiert wird. Für alle genannten Verfahren wird eine anorganische Trennschicht benötigt.

Folgend wird eine beispielhafte Auflistung bevorzugter Material und Prozessparameter offenbart, mit deren Hilfe eine Trennschicht besonders optimal durch einen Laserbeschuss zur Trennung verwendet werden kann.

	System 1	System 2	System 3	System 4
Trägersubstratmaterial	Silizium	Saphir	Quarz	SiC
Trägersubstratdicke	300-1500µm	300-1500µm	300-1500µm	300-1500µm
Trennschichtmaterial	TiN, TaN, Ti, WN, W ₂ N, WN ₂	TiN, TaN, Ti, WN, W ₂ N, WN ₂	TiN, TaN, Ti, WN, W ₂ N, WN ₂	TiN, TaN, Ti, WN, W ₂ N, WN ₂
Trennschichtdicke	10nm-500nm	10nm-500nm	10nm-500nm	10nm-500nm
Laserpulslänge	100 fs - 100 ns	100 fs - 100 ns	100 fs - 100 ns	100 fs - 100 ns

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

- Figur 1a eine Seitansicht eines Substrats mit einer Trennschicht, die auch als Bondschicht wirken kann,
- Figur 1b eine Seitansicht eines Substrats mit einer Trennschicht und einer separaten Bondschicht,
- Figur 2a eine Seitansicht eines Substrats mit einer Trennschicht und einer Transferschicht,
- Figur 2b eine Seitansicht eines Substrats mit einer Trennschicht, einer Wachstumsschicht und einer Transferschicht,
- Figur 2c eine Seitansicht eines Substrats mit einer Trennschicht, einer Wachstumsschicht, einer Maske und einer Transferschicht,
- Figur 3a einen ersten Verfahrensschritt eines beispielhaften ersten Verfahrens,
- Figur 3b einen zweiten Verfahrensschritt eines ersten Verfahrens,
- Figur 3c einen dritten Verfahrensschritt eines ersten Verfahrens,
- Figur 3d einen vierten Verfahrensschritt eines ersten Verfahrens,
- Figur 3e einen fünften Verfahrensschritt eines ersten Verfahrens,
- Figur 4a einen ersten Verfahrensschritt eines beispielhaften ersten speziellen Verfahrens,
- Figur 4b einen zweiten Verfahrensschritt eines ersten speziellen Verfahrens,
- Figur 4c einen dritten Verfahrensschritt eines ersten speziellen Verfahrens,
- Figur 4d einen vierten Verfahrensschritt eines ersten speziellen Verfahrens,
- Figur 4e einen fünften Verfahrensschritt eines ersten speziellen Verfahrens,

Figur 4f einen sechsten Verfahrensschritt eines ersten speziellen, Verfahrens,

Figur 4g einen siebten Verfahrensschritt eines ersten speziellen, Verfahrens,

Figur 4h einen achten Verfahrensschritt eines ersten speziellen, Verfahrens,

Figur 4i einen neunten Verfahrensschritt eines ersten speziellen,

Figur 5a einen ersten Verfahrensschritt eines beispielhaften zweiten,

Figur 5b einen zweiten Verfahrensschritt eines zweiten Verfahrens,

Figur 5c einen dritten Verfahrensschritt eines zweiten Verfahrens,

Figur 5d einen vierten Verfahrensschritt eines zweiten Verfahrens,

Figur 5e einen fünften Verfahrensschritt eines zweiten Verfahrens und

Figur 5f einen sechsten Verfahrensschritt eines zweiten Verfahrens.

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

Die Figuren 1a-1b zeigen zwei grundlegende Substratsysteme beziehungsweise Schichtsysteme auf einem Trägersubstrat 1, deren Aufgabe in der Bereitstellung einer Trennschicht 2 und einer Bondschicht 14 besteht. Dabei sind alle Schichten anorganisch.

Die Figur 1a zeigt eine Seitenansicht eines Trägersubstrats 1, auf dem eine Trennschicht 2 aufgetragen wurde. Die Trennschicht 2 ist anorganisch. Die Trennschicht 2 wird mit einem aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren direkt am Substrat 1 abgeschieden. Diese Kombination von Trägersubstrat 1 und Trennschicht kann zum Bonden eines zweiten Substrats verwendet werden. Die Trennschicht 2 wirkt in diesem Fall nicht nur als Trennschicht, sondern gleichzeitig auch als Bondschicht 14. In dem Fall wäre das Trägersubstrat 1 ein Trägersubstrat, dessen Aufgabe darin besteht, das zweite Substrat mechanisch zu stabilisieren.

Die Figur 1b zeigt eine Seitenansicht eines Trägersubstrats 1, auf dem eine Trennschicht 2 aufgetragen wurde. Die Trennschicht 2 ist anorganisch. Auf der Trennschicht 2 befindet sich eine Bondschicht 14, zu der ein anderes Substrat, das vorzugsweise ebenfalls über eine Bondschicht 14 verfügt, gebondet werden kann. Die Bondschicht 14 ist anorganisch, vorzugsweise ein Dielektrikum, insbesondere eine Oxidschicht, am bevorzugtesten eine Siliziumoxidschicht.

Die Figuren 2a-2c zeigen vier grundlegenden Substratsysteme beziehungsweise Schichtsysteme. Diese weisen zusätzlich zu der anorganischen Trennschicht mindestens eine weitere Schicht auf. Weiterhin stellt das Trägersubstrat die Trennschicht 2 und eine Transferschicht 3 bereit. Dabei sind alle Schichten des Substratsystems anorganisch. Diese Schichtsysteme dienen dem Transfer der Transferschicht 3 auf ein anders Substrat (nicht eingezeichnet), insbesondere ein Produktsubstrat 6 und nicht dem Bonden des Trägersubstrats 1 zu einem Substrat (nicht eingezeichnet), insbesondere Produktsubstrat 6. Die Transferschicht 3 wird breitestmöglich ausgelegt. So kann unter einer Transferschicht 3 eine einzelne Schicht, aber auch ein Schichtsystem verstanden werden. Die Transferschicht 3 kann beispielsweise auch eine geprägt Schicht mit Strukturen sein. Die Transferschicht 3 kann beispielsweise eine Schicht bestehend aus mehreren Linsen, Mikrochips, MEMS, LEDs etc. sein. Die Dicke der Transferschicht 3 kann einige Angström bis einige Millimeter betragen.

Die Figur 2a zeigt eine Seitenansicht eines Trägersubstrats 1, auf dem eine Trennschicht 2 aufgetragen wurde. Die Trennschicht 2 ist anorganisch. Auf der Trennschicht 2 befindet sich eine Transferschicht 3, die auf ein anders Substrat (nicht eingezeichnet), insbesondere eine Produktsubstrat 6, transferiert werden soll.

Die Figur 2b zeigt eine Seitenansicht eines Trägersubstrats 1, auf dem eine Trennschicht 2 aufgetragen wurde. Die Trennschicht 2 ist anorganisch. Auf der Trennschicht 2 befindet sich eine Wachstumsschicht 4. Auf der Wachstumsschicht 4 wird eine Transferschicht 3 erzeugt. Die Transferschicht

3 kann in einem Verfahren auf ein anders Substrat (nicht eingezeichnet), insbesondere Produktsubstrat 6, transferiert werden. Die Figur 2b ist ein Spezialfall der Figur 2a. Im Allgemeinen wird eine Trennschicht 2 nicht die notwendigen Voraussetzungen bieten, um eine gewünschte Transferschicht 3 zu erzeugen, sodass zuerst eine Wachstumsschicht 4 erzeugt werden muss, auf der dann die Transferschicht 3 gezüchtet werden kann.

Die Figur 2c zeigt eine Seitenansicht eines Trägersubstrats 1, auf dem eine Trennschicht 2 aufgetragen wurde. Die Trennschicht 2 ist anorganisch. Auf der Trennschicht 2 befindet sich eine Wachstumsschicht 4. Auf der Wachstumsschicht 4 wird eine Maske 5 aufgebracht. Die Maske 5 wird vorzugsweise durch einen Prägeprozess direkt aus einer Flüssigkeit, vorzugsweise einem Sol-Gel, geprägt und ausgehärtet. Die Maske 5 kann aber durch jedes andere Verfahren erzeugt werden. Danach wird das Material für eine Transferschicht 3 abgeschieden. Das Material der Transferschicht 3 wird zuerst in den Öffnungen der Maske 5 abgeschieden und wächst über diese hinaus zu einer vollflächigen Transferschicht 3 heran. Eine derartige Transferschicht 3 wird Überwuchsschicht genannt. Die Transferschicht 3 kann in einem Verfahren zum Trennen auf ein anders Substrat (nicht eingezeichnet), insbesondere Produktsubstrat 6, transferiert werden. Die Figur 2c ist ein Spezialfall der Figur 2b. Zusätzlich zur Wachstumsschicht 4 wurde noch eine Maske 5 erzeugt. Der Vorteil in der Herstellung einer solchen Transferschicht 3 besteht darin, dass sie weitestgehend defektfrei ist.

Auf den genannten Transferschichten 3 kann auch noch eine Bondschicht 14 aufgebracht werden, um die Haftfestigkeit zum Substrat (nicht eingezeichnet), insbesondere dem Produktsubstrat 6, auf welches die Transferschicht 3 transferiert werden soll, zu erhöhen. Da die Darstellung einer solchen Bondschicht 14 bereits in den Figuren 1a-1b aufgezeigt wurde, wird in den Figuren 2a-2c, der Übersichtlichkeit halber, darauf verzichtet.

Die Figur 3a zeigt eine Seitenansicht eines ersten Verfahrensschritts eines ersten möglichen Verfahrens. Ein Trägersubstrat 1, auf dem sich eine

Trennschicht 2 und eine Bondschicht 14 befinden (siehe Figur 1b) wird zu einem Produktsubstrat 6 ausgerichtet und gebondet. Das Produktsubstrat 6 wird über eine erste Produktsubstratoberfläche zur Bondschicht 14 gebondet. Das Trägersubstrat 1 hat im weiteren Verfahren die Aufgabe, das Produktsubstrat 6 mechanisch zu stabilisieren.

Die Figur 3b zeigt eine Seitenansicht eines zweiten Verfahrensschritts eines ersten möglichen Verfahrens. Die zweite Produktsubstratoberfläche des Produktsubstrats 6 wird prozessiert. Exemplarisch wird eine Rückdünnung des Produktsubstrats 6 dargestellt. In diesem Verfahrensschritt können aber unzählige andere Prozesse durchgeführt werden. Insbesondere können LEDs, MEMS, Mikrokontroller etc. hergestellt werden. Um die Darstellung möglichst einfach zu halten, wird auf die Darstellung dieser Prozesse verzichtet.

Die Figur 3c zeigt eine Seitenansicht eines dritten Verfahrensschritts eines ersten möglichen Verfahrens. Das Produktsubstrat 6 wird über eine prozessierte zweite Produktsubstratoberfläche zu einem Transfersubstrat 7 ausgerichtet und gebondet. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei dem Transfersubstrat 7 um eine Folie 9, die auf einen Rahmen 8 aufgespannt wurde. Das Transfersubstrat 7 kann allerdings ein anderes Substrat, insbesondere ein weiteres Trägersubstrat 1 oder ein anderes Produktsubstrat 6 sein.

Die Figur 3d zeigt eine Seitenansicht eines vierten Verfahrensschritts eines ersten möglichen Verfahrens. Dabei wird ein Laser 10 verwendet, um einen Laserstrahl 11 auf die Trennschicht 2 zu fokussieren. Durch die Verwendung eines Lasers 10 mit entsprechenden Laserparametern, insbesondere einer sehr kurzen Pulsdauer im Pikosekundenbereich, wird die Trennschicht 2 aufgelöst bzw. die Haftfestigkeit zum Trägersubstrat 1 zumindest so weit reduziert, dass das Trägersubstrat 1 abgenommen werden kann.

Die Figur 3e zeigt eine Seitenansicht eines fünften Verfahrensschritts eines ersten möglichen Verfahrens. Das Produktsubstrat 6 befindet sich nach Abnahme des Trägersubstrats 1 (nicht eingezeichnet, siehe Figur 3d) auf dem

Transfersubstrat 7. Die Trennschicht 2 wurde entfernt oder ist beim Verfahrensschritt gemäß Figur 3d bereits automatisch entfernt worden.

Die weiteren Figuren zeigen ein zweites Verfahren, welchem in der Halbleiterindustrie entscheidende Bedeutung zukommt. Das zweite Verfahren wird so weit wie möglich verallgemeinert und abstrahiert. Charakteristisch ist allerdings die Verwendung einer, anorganischen Trennschicht 2 sowie einer eigenen Bondschicht 14.

Die Figur 4a zeigt eine Seitenansicht eines ersten Verfahrensschritts eines ersten speziellen Verfahrens. Auf einem Trägersubstrat 1 wird eine Trennschicht 2 aufgebracht. Auf der Trennschicht 2 wird eine Bondschicht 14 erzeugt (siehe Figur 1b). Bei der Bondschicht 14 handelt es sich vorzugsweise um eine dielektrische Schicht, am bevorzugtesten um ein Oxid, am allerbevorzugtesten um ein Siliziumoxid.

Die Figur 4b zeigt eine Seitenansicht eines zweiten Verfahrensschritts eines ersten speziellen Verfahrens. Ein bereits mit funktionalen Einheiten 12 versehenes Produktsubstrat 6, dessen Produktsubstratoberfläche 6o vorzugsweise mit einer Bondschicht 14 beschichtet wurde, wird relativ zum Trägersubstrat 1 ausgerichtet. Die Funktionalen Einheiten 12 verfügen vorzugsweise über elektrische Kontakte 15. Auf die Verwendung einer Bondschicht 14 auf dem Produktsubstrat 6 kann verzichtet werden, wenn das Produktsubstrat 6 mit seiner Produktsubstratoberfläche 6o gut genug zur Bondschicht 14 des Trägersubstrats 1 haftet. Vorzugsweise ist die Bondschicht 14 am Produktsubstrat 6 allerdings vorhanden, noch bevorzugter sind die Materialien der beiden Bondschichten 14 am Trägersubstrat 1 und am Produktsubstrat 6 identisch. Am allerbevorzugtesten handelt es sich bei den Bondschichten um Oxide.

Die Figur 4c zeigt eine Seitenansicht eines dritten Verfahrensschritts eines ersten speziellen Verfahrens. Das Produktsubstrat 6 wird über die Bondschichten 14 mit dem Trägersubstrat 1 verbondet. Handelt es sich bei den Bondschichten um ein Oxid, dann handelt es sich hier um einen

Fusionsbond. Vor einer allfälligen Wärmebehandlung spricht man noch von einem sogenannten Pre-Bond. Nach einer Wärmebehandlung, nachdem sich zwischen den kontaktierenden Bondschichtoberflächen der Bondschichten 14 kovalente Verbindungen ausgebildet haben, spricht man von einem Fusionsbond. Der Verfahrensschritt der Wärmebehandlung wird nicht dargestellt. Dabei ist von Bedeutung, dass das Produktsubstrat 6 gut genug am Trägersubstrat 1 haftet, um es weiter prozessieren zu können. Sollte die Haftfestigkeit ohne Wärmebehandlung hoch genug sein, ist sogar denkbar, keine Wärmebehandlung durchzuführen.

Die Figur 4d zeigt eine Seitenansicht eines vierten Verfahrensschritts eines ersten speziellen Verfahrens. Hier erfolgt eine Rückdünnung des Produktsubstrat 6. Eine Rückdünnung ist sehr oft gewollt, um die Dicke des Endprodukts weitestgehend zu minimieren.

Die Figur 4e zeigt eine Seitenansicht eines fünften Verfahrensschritts eines ersten speziellen Verfahrens. Die rückgedünnte Produktsubstratoberfläche des Produktsubstrat 6 wird mit einer Bondschicht 14, insbesondere einer dielektrischen Schicht, vorzugsweise einem Oxid, am allerbevorzugtesten mit einem Siliziumoxid, beschichtet. Durch die Bondschicht 14 und das Produktsubstrat 6 werden Silizium-Durchkontaktierungen (TSVs) (engl. through silicon vias) 13, erzeugt, um die elektrischen Kontakte 15 der funktionalen Einheiten 12 an der Oberfläche der Bondschicht 14 zugänglich und verfügbar zu machen.

Die Figur 4f zeigt eine Seitenansicht eines sechsten Verfahrensschritts eines **ersten speziellen Verfahrens**. Ein **zweites Produktsubstrat 6'**, ebenfalls versehen mit funktionalen Einheiten 12, TSVs 13 und einer Bondschicht 14, wird relativ zum ersten Produktsubstrat 6 bzw. zum Trägersubstrat 1 **ausgerichtet**. **Das zweite Produktsubstrat 6' wird wahrscheinlich ebenfalls auf einem Trägersubstrat 1' fixiert sein**, vorzugsweise sogar mit Hilfe des Verfahrens. Um die Figuren allerdings nicht zu unübersichtlich zu gestalten, **wird auf die Darstellung eines Trägersubstrats 1' mit einer entsprechenden Trennschicht 2 und Bondschicht 14 oder einem beliebigen anderen**

Schichtsystem, verzichtet. Die Ausrichtung erfolgt über Ausrichtungsmarken (nicht eingezeichnet) und speziell dafür vorgesehenen Ausrichtungsanlagen mit sehr präzisen Optiken (nicht eingezeichnet).

Die Figur 4g zeigt eine Seitenansicht eines siebten Verfahrensschritts eines **ersten speziellen Verfahrens**. Die **beiden Produktsubstrat 6, 6'** werden über deren Bondschichten 14 miteinander verbondet. Dabei werden die TSVs 13 korrekt miteinander verbunden, sodass eine elektrische Verbindung zwischen den **funktionalen Einheiten 12 der Produktsubstrate 6, 6'** möglich ist.

Die Figur 4h zeigt eine Seitenansicht eines siebten Verfahrensschritts eines **ersten speziellen Verfahrens**. Dabei wird ein Laser 10 verwendet, um einen Laserstrahl 11 auf die Trennschicht 2 zu fokussieren. Durch die Verwendung eines Lasers 10 mit entsprechenden Laserparametern, insbesondere einer sehr kurzen Pulsdauer im Pikosekundenbereich, wird die Trennschicht 2 aufgelöst bzw. die Haftfestigkeit zum Trägersubstrat 1 zumindest so weit reduziert, dass das Trägersubstrat 1 abgenommen werden kann.

Die Figur 4i zeigt eine Seitenansicht eines siebten Verfahrensschritts eines **ersten speziellen Verfahrens**. Erkennbar ist ein permanent miteinander verbondeter Substratstapel 16, bestehend aus **zwei Produktsubstraten 6, 6'**. Dieser Substratstapel kann entsprechend weiterprozessiert werden. In der **Figur 4i wurde erwähnt, dass auf die Darstellung eines Trägersubstrats 1' auf Grund der Übersichtlichkeit verzichtet wurde**. Auf einem derartigen **Trägersubstrat 1' würde der Substratstapel 16 problemlos weitertransportiert und/oder weiterprozessiert werden können**.

In den Figuren 4a-4i wurde eine Trennschicht 2 mit einer darauf befindlichen Bondschicht 14 verwendet und beschrieben. Gemäß der allgemeinen Ausführungsform aus Figur 1a können Trennschicht 2 und Bondschicht 14 auch identisch sein.

Die Figur 5a zeigt eine Seitenansicht eines ersten Verfahrensschritts eines **zweiten Verfahrens**, bei dem ein Trägersubstrat 1, mit mindestens einer Trennschicht 2 und einer Transferschicht 3 versehen wird. Vorzugsweise

befindet sich noch eine Wachstumsschicht 4 auf der Trennschicht 2, um die Transferschicht 3 herstellen, insbesondere züchten zu können.

Die Figur 5b zeigt eine Seitenansicht eines zweiten Verfahrensschritts eines zweiten Verfahrens, bei dem ein Produksubstrat 6, vorzugsweise mit funktionalen Einheiten 13, relativ zum Trägersubstrat ausgerichtet wird. Die Ausrichtung erfolgt wieder anhand von Ausrichtungsmarken (nicht eingezeichnet) und mit speziellen Ausrichtungsanlagen (nicht eingezeichnet).

Die Figur 5c zeigt eine Seitenansicht eines dritten Verfahrensschritts eines zweiten Verfahrens, bei dem das Produksubstrat 6 mit der Transferschicht 3 kontaktiert wird. Im vorliegenden Fall ist es erwünscht, dass die Transferschicht 3 direkt die Funktionalen Einheiten 12 kontaktiert. Denkbar ist beispielsweise, dass in späteren Verfahrensschritten eine Strukturierung der Transferschicht 3 erfolgt. Die Transferschicht 3 könnte beispielsweise eine Graphenschicht sein, die auf einer Wachstumsschicht 4 aus Kupfer gezüchtet wurde. An der Produksubstratoberfläche des Produksubstrats 6 könnte dann aus der Transferschicht 3 eine RDL Schicht (engl.: redistribution layer) erzeugt werden.

Die Figur 5d zeigt eine Seitenansicht eines vierten Verfahrensschritts eines zweiten Verfahrens, bei dem ein Laserstrahl 11 eines Lasers 10 auf die Trennschicht 2 fokussiert wird.

Die Figur 5e zeigt eine Seitenansicht eines fünften Verfahrensschritts eines zweiten Verfahrens, bei dem das Trägersubstrat 1 (nicht eingezeichnet, siehe Figur 5d) entfernt wurde.

Die Figur 5f zeigt eine Seitenansicht eines sechsten Verfahrensschritts eines zweiten Verfahrens, bei dem die Wachstumsschicht 4 noch entfernt wurde.

- 40 -

Bezugszeichenliste

1	Trägersubstrats
2	Trennschicht
3	Transferschicht
4	Wachstumsschicht
5	Maske
6, 6'	Produktsubstrat
7	Transfersubstrat
8	Rahmen
9	Folie
10	Lasereinheit, Laser
11	Laserstrahl
12	Funktionale Einheit
13	TSV
14	Bondschrift
15	Elektrische Kontakte
16	Substratstapel

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zum Trennen eines Trägersubstrates (1) von einem Produktsubstrat (6) mit zumindest den folgenden Schritten:

- i) Bereitstellung des Trägersubstrates (1) und des Produktsubstrates (6) mit einer dazwischen angeordneten Trennschicht (2), wobei die Trennschicht das Produktsubstrat an dem Trägersubstrat fixiert,
- ii) Bestrahlen der Trennschicht (2) mit Laserstrahlen (11) einer Lasereinheit (10) und
- iii) Trennen des Trägersubstrates (1) von dem Produktsubstrat (6),
dadurch gekennzeichnet, dass die Trennschicht (2) anorganisch ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zwischen der Trennschicht und dem Produktsubstrat (6) mindestens eine weitere Schicht (3, 4, 5, 6', 7, 14), angeordnet ist, und wobei die mindestens eine weitere Schicht (3, 4, 5, 6', 7, 14) anorganisch ist.
3. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ausschließlich anorganische Schichten zwischen dem Produktsubstrat und dem Trägersubstrat angeordnet sind.
4. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei bei dem Bestrahlen in Schritt ii) von der Lasereinheit (10) emittierte Laserstrahlen (11) zuerst das Trägersubstrat (1) durchdringen und dann auf die Trennschicht (2) treffen.
5. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die mindestens eine weitere Schicht (3, 4, 5, 6', 7, 14) eine Siliziumoxidschicht ist, welche als Bondschicht (14) fungiert.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine weitere Schicht (3, 4, 5, 6', 7, 14) aus einer ersten Oxidschicht und einer zweiten Oxidschicht, insbesondere durch Fusionsbonden, erzeugt ist.
7. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Trennschicht (2) aus einem Metall oder Nitrid, bevorzugt aus TiN ist.

8. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Laserstrahlen (11) eine Wellenlänge zwischen $0.1\ \mu\text{m}$ und $500\ \mu\text{m}$, vorzugsweise zwischen $0.2\ \mu\text{m}$ und $100\ \mu\text{m}$, noch bevorzugter zwischen $0.3\ \mu\text{m}$ und $50\ \mu\text{m}$, am bevorzugtesten zwischen $0.5\ \mu\text{m}$ und $10\ \mu\text{m}$, am allerbevorzugtesten zwischen $1\ \mu\text{m}$ und $2.5\ \mu\text{m}$ aufweist.
9. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Pulsenergie der Laserstrahlen (11) zwischen $0.01\ \mu\text{J}$ und $128\ \mu\text{J}$, vorzugsweise zwischen $0.125\ \mu\text{J}$ und $64\ \mu\text{J}$, noch bevorzugter zwischen $0.25\ \mu\text{J}$ und $32\ \mu\text{J}$, am bevorzugtesten zwischen $0.5\ \mu\text{J}$ und $16\ \mu\text{J}$, am allerbevorzugtesten zwischen $1\ \mu\text{J}$ und $8\ \mu\text{J}$ beträgt.
10. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Laserfläche kleiner als $2000\ \mu\text{m}^2$, vorzugsweise kleiner als $500\ \mu\text{m}^2$, noch bevorzugter kleiner als $80\ \mu\text{m}^2$, am bevorzugtesten kleiner als $20\ \mu\text{m}^2$, am allerbevorzugtesten kleiner als $1\ \mu\text{m}^2$ ist.
11. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei zwischen Einwirkbereichen der Laserstrahlen (11) auf der Trennschicht (2) mindestens $0.1\ \mu\text{m}$, bevorzugt mindestens $1\ \mu\text{m}$, bevorzugter mindestens $5\ \mu\text{m}$, noch bevorzugter mindestens $10\ \mu\text{m}$, am bevorzugtesten mindestens $50\ \mu\text{m}$ liegen, so dass die Einwirkbereiche der Laserstrahlen (11) nicht überlappen.
12. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Pulsdauer der Laserstrahlen (11) zwischen $10000\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, vorzugsweise zwischen $1000\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, noch bevorzugter zwischen $500\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, am bevorzugtesten zwischen $100\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, am allerbevorzugtesten zwischen $50\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$ beträgt.

- 44 -

13. Substratsystem, insbesondere zur Erzeugung von Halbleiter-Bauteilen, zumindest aufweisend,

A) ein Trägersubstrat (1),

B) eine auf dem Trägersubstrat (1) angeordnete Trennschicht (2) und

C) ein auf der Trennschicht angeordnetes Produktsubstrat (6),

wobei das Trägersubstrat (1) durch Bestrahlen der Trennschicht (2) mit einer Lasereinheit (10) von dem Produktsubstrat (6) trennbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die Trennschicht (2) anorganisch ist und die Trennschicht (2) das Produktsubstrat (6) an dem Trägersubstrat fixiert.

14. Substratsystem nach Anspruch 13, wobei mindestens eine weitere Schicht (3, 4, 5, 6', 7, 14) zwischen der Trennschicht (2) und dem Produktsubstrat (6) angeordnet ist und das Produktsubstrat (6) von der mindestens einen weiteren Schicht (3, 4, 5, 6', 7, 14) an dem Trägersubstrat (1) fixiert wird, wobei die mindestens eine weitere Schicht anorganisch ist.

15. Substratsystem nach Anspruch 14, wobei die mindestens eine weitere Schicht eine Bondschicht (14) ist, wobei die Bondschicht (14) zumindest aus einer ersten Oxidschicht und einer zweiten Oxidschicht, insbesondere durch Fusionsbonden, erzeugt ist.

16. Substratsystem nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen dem Trägersubstrat (2) und dem Produktsubstrat (6) ausschließlich anorganische Schichten angeordnet sind.

17. Substratsystem nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Trennschicht (2) eine Trennschichtdicke zwischen 10nm und 500nm aufweist.