

Vorrichtung und Verfahren zum Trennen eines temporär gebondeten Substratstapels

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen eines temporär gebondeten Substratstapels gemäß Anspruch 1 sowie eine Vorrichtung nach Anspruch 6.

Im Stand der Technik existieren unzählige Verfahren um Substrate miteinander zu verbinden. Sinn und Zweck der Verbindung sind entweder permanente oder temporäre Substratstapel. Werden die Substrate temporär, insbesondere mittels einer Bondschicht, verbunden, werden sie zu einem anderen Zeitpunkt in der Prozesskette wieder voneinander getrennt. Den Trennvorgang nennt man Debonden. Eines der neuesten und wichtigsten Verfahren zur Trennung von Substratstapeln ist das Laserdebonden. Beim Laserdebonden rastert ein fokussierter Laserstrahl mit hoher Leistung und definierter Wellenlänge den Substratstapelgrenzflächenbereich zweier Substrate ab und führt durch den hohen Energieeintrag in die Bondschicht zu einer Lösung beider Substrate voneinander.

Eine Bewertung des Debondvorgangs erfolgt im Stand der Technik nach der Trennung der Substrate voneinander, beispielsweise durch optische Begutachtung. Geprüft werden beispielsweise die Oberflächenrauigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit.

Ein Problem im Stand der Technik besteht darin, dass durch die Beaufschlagung mit Laserstrahlen eine Zerstörung der Substrate, insbesondere von teuren funktionalen Bauteilen der Substrate, erfolgen kann.

- 2 -

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Stands der Technik zu beseitigen und insbesondere ein möglichst zerstörungsfreies, aber gleichwohl effektives Trennen des Substratstapels zu gewährleisten.

Diese Aufgabe wird mit den Gegenständen der nebengeordneten Patentansprüche sowie den nachfolgend offenbarten Erfindungsgedanken 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, den Ansprüchen und/oder den Zeichnungen angegebenen Merkmalen. Bei Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Die Erfindung zeigt insbesondere auf, dass durch Evaluierung der korrekten Laserparameter zur Trennung der Substratstapel während des Trennens Schäden vermieden werden können, gleichzeitig aber eine effektive Trennung ermöglicht wird. Auf der einen Seite muss die eingebrachte Energie der Laserstrahlen zur zumindest teilweisen Zerstörung der temporären Bondschicht (Verbindungsschicht) stark genug sein, um eine effiziente Trennung hervorzurufen. Auf der anderen Seite darf die eingebrachte Laserleistung eine Leistung nicht überschreiten, welche die Substratoberflächen zerstören würde, auf denen sich insbesondere funktionale Bauteile befinden können. Mit anderen Worten führt die eingebrachte Energie der Laserstrahlen zur zumindest teilweisen Schwächung (bevorzugter vollständigen Reduktion) der Haftstärke der temporären Bondschicht. Da in Folge der Bestrahlung der gezielte Energieeintrag und die Energieumsetzung in der Bondschicht erfolgt, wird die, insbesondere thermische und/oder photothermische, Belastung der funktionalen Bauteile minimiert. Zur Evaluierung der korrekten Laserparameter werden erfindungsgemäß insbesondere in-situ während der Beaufschlagung des Substratstapels mit Laserstrahlen zur Trennung der Substrate des Substratstapels voneinander von dem Substratstapel reflektierte und/oder durch den Substratstapel transmittierte Laserstrahlen erfasst.

Ein Kerngedanke der Erfindung besteht insbesondere darin, eine Vorrichtung und ein Verfahren aufzuzeigen, mit deren Hilfe eine Überwachung und/oder Anpassung

der Laserparameter und/oder eine Überwachung der Bondschicht während der Beaufschlagung der Bondschicht des Substratstapels erfolgen kann.

Erfindungsgemäß sind die beiden Substrate des Substratstapels durch mindestens eine Verbindungsschicht, insbesondere eine Temporärbondsicht, vorzugsweise ein Bondingadhäsiv, miteinander verbunden. Denkbar wäre auch die Verwendung mehrerer Verbindungsschichten, insbesondere mit unterschiedlichen physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften. In einer ganz besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsform reagieren die unterschiedlichen Verbindungsschichten physikalisch und/oder chemisch unterschiedlich sensitiv auf die Photonen des Lasers. Erfindungsgemäß denkbar ist, dass die Verbindungsschicht eine Löseschicht (engl.: release layer) aufweist. Durch Beaufschlagung der Löseschicht wird diese chemisch und/oder physikalisch so verändert, dass die Adhäsion zwischen den Substraten, insbesondere vollständig, reduziert wird.

Ein weiterer Kerngedanke der Erfindung besteht insbesondere darin, eine Vorrichtung und ein Verfahren aufzuzeigen, um die korrekten oder optimalen Laserparameter für eine Art von Substratstapel zu bestimmen, damit der Substratstapel in der Massenproduktion (engl. High volume manufacturing, HVM) mit hohem Durchsatz und minimalem Kontrollaufwand getrennt werden kann.

Dabei werden die Laserparameter als Resultate von Messreihen und/oder als Parameter von Regelgrößen optimiert. Mit anderen Worten werden die erfassten Messwerte wie Laserstrahlintensität, Profilform, Flächengleichmäßigkeiten des getrennten Stapels, Homogenität des Laserstrahls durch insbesondere automatische Rückführungsschleifen in Steuer-/bzw. Regelungseinheiten, insbesondere Rechnern zusammengeführt und/oder ausgewertet. Die optimierten Regelgrößen werden dann für weitere Debondvorgänge und/oder Messreihen verwendet.

Der minimale, nach vorgenannter Bestimmung der optimalen Laserparameter verbleibende Kontrollaufwand bezieht sich insbesondere auf die in-situ-Vermessung der Laserstrahleigenschaften, wobei die Strahlung zumindest teilweise und/oder zeitweise nicht auf den Substratstapel gerichtet ist, sondern direkt auf

- 4 -

einen Laserstrahlsensor. Dies lässt die Kontrolle des jeweiligen Zustandes der Strahlungsquelle insbesondere auf korrekte Einstellungen, Alterungserscheinungen zu.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Beaufschlagung der Verbindungsschicht (25) mit den Laserstrahlen (16, 16') gerastert.

Eine Rasterbewegung des Laserstrahls in Rasterschritten weist eine oder mehrere der folgenden Trajektorien und/oder Bahnen auf:

- x-y-Scan beziehungsweise Sägezahn-Zeilenrasterung. In einer Koordinatenrichtung beleuchtet der Laserstrahl den Substratstapel, wobei nach Erledigung einer Zeile die nächste Zeile in der gleichen Richtung beleuchtet wird.
- x-y-Scan mit Hin- und Rückbewegung (Mäanderbewegung): der Laserstrahl beleuchtet eine Zeile in eine Richtung, die nächste Zeile wird, insbesondere nahtlos, in die entgegengesetzte Richtung beleuchtet/abgerastert und so weiter.
- Spiral-scan: die Rasterbewegung wird entlang einer Spirale mit identischer Pulsfrequenz und daran gekoppelt in unterschiedlicher Auslenkungsgeschwindigkeit ausgeführt.
- Alternativer Spiral-Scan: die Rasterbewegung findet entlang einer Spirale mit variabler Pulsfrequenz und dazu gekoppelt mit identischer Auslenkungsgeschwindigkeit des Scanners statt.
- Kreis-Scan: es werden insbesondere geschlossene, vollumfängliche Kreisinge mittels der Rasterbewegung ausgeführt.
- Random-Spot-Scan mit Ortsbegrenzung: Die Rasterbewegung ist mit Zufallsvorgängen wie ein Zufallszahlgenerator gekoppelt, wobei nach einem Laserpuls der darauffolgende Laserpuls in einem Abstand von größer 5 Mikrometer, bevorzugt größer 50 Mikrometer, besonders bevorzugt größer 500 Mikrometer, besonders bevorzugt größer 5 mm an einem zufällig

errechneten Spot erfolgt. Dabei werden die mit Laserpuls behandelten sowie nicht behandelten Flächen fortlaufend aktualisiert, sodass die Vorrichtung insbesondere selbstständig zufällig aus der Menge der nicht behandelten Flächen den nächsten Fleck auswählt. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist die Reduzierung der lokalen Wärmebelastung des Substrats.

Ein Rasterschritt entspricht insbesondere der Beleuchtung einer Bestrahlungsfläche der Laserstrahlen ohne Bewegung der Laserstrahlen.

Vorzugsweise ist bei allen genannten Rasterbewegungen ein Mindestabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rasterschritten einstellbar. Der Mindestabstand ist insbesondere größer als der Durchmesser der Bestrahlungsfläche, vorzugsweise mindestens zweimal so groß wie der Durchmesser der Bestrahlungsfläche. In einer weiteren Ausführungsform kann der minimale Kontrollaufwand minimiert werden, indem der Laserstrahl beim Abrastern des Substratstapels einen definierten Bereich trifft, in dem die Transmission mittels der aufgeführten Sensoren erfasst wird und keine zusätzlichen technischen Maßnahmen, insbesondere Scannerbewegungen, zur Vermessung der Laserstrahlung notwendig sind.

Die Vorrichtung wird erfindungsgemäß vorzugsweise so ausgelegt, dass nicht nur die Überwachung und/oder Anpassung der Laserparameter erfolgen, sondern gleichzeitig auch ein Laserdebond mit den Laserstrahlen durchgeführt werden kann. Somit können in vorteilhafter Weise bestehende Laserdebondanlagen zu einer erfindungsgemäßen Vorrichtung erweitert werden, indem erfindungsgemäße Erfassungsmittel installiert werden.

In einer weiteren Ausführungsform können bestehende Debondvorrichtungen mit der erfindungsgemäßen Messvorrichtung sowie Regelvorrichtung und Verfahren nachgerüstet, erweitert werden. Als eigenständige Erfindung wird hierdurch ein Nachrüstsatz offenbart, um bestehende Vorrichtungen aus dem Stand der Technik mit der erfindungsgemäßen Funktionalität auszustatten.

Die Erfindung beschreibt insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren, mit deren Hilfe eine in-situ Vermessung eines Debondvorganges, insbesondere eines

Laserdebondvorganges, ermöglicht wird. Der Erfindung liegt dabei insbesondere die Idee zu Grunde, die transmittierte und/oder reflektierte Intensität des in den Substratstapel eingekoppelten Laserstrahls durch mindestens einen Sensor, vorzugsweise ein Sensorfeld, zu vermessen und, insbesondere durch die Normierung auf die Eingangsleistung, einen Rückschluss auf die Qualität der Beaufschlagung der Bondschicht zu erhalten. Insbesondere wird durch die Ermittlung der Verlustleistung auf die Qualität der Beaufschlagung geschlossen. Durch die Verwendung von Sensorfeldern kann insbesondere eine orts aufgelöste Karte der gesamten Bondschicht erzeugt werden.

Die Vorrichtung und das Verfahren werden vorzugsweise in einem Transmissionsmodus verwendet, da die Positionierung der Detektoren an der Seite, welche dem optischen System gegenüberliegt, technisch einfacher umsetzbar ist.

Die transmittierte und/oder reflektierte Laserleistung kann in-situ, insbesondere orts aufgelöst, ermittelt werden. Die aufgezeichneten Daten liefern Rückschlüsse auf die Auswirkung des Lasers auf die Bondschicht.

Die Dicke einer erfindungsgemäßen Löseschicht liegt vorzugsweise zwischen 0.0001 μm und 1000 μm , vorzugsweise zwischen 0.005 μm und 500 μm , noch bevorzugter zwischen 0.001 μm und 400 μm , am bevorzugtesten zwischen 0.05 μm und 300 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 0.01 μm und 200 μm .

Die Dicke der, insbesondere die Löseschicht aufweisenden, Temporärbondschrift liegt vorzugsweise zwischen 0.001 μm und 1000 μm , bevorzugter zwischen 0.005 μm und 500 μm , noch bevorzugter zwischen 0.01 μm und 400 μm , am bevorzugtesten zwischen 0.05 μm und 300 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 0.1 μm und 200 μm .

Insbesondere beim Laserdebonden wird durch den Laser die Löseschicht der Temporärbondschrift aufgelöst und damit die Trennung, also der Debondvorgang, durchgeführt. Insbesondere werden mit den Laserstrahlen chemische Verbindungen dissoziiert, die eine Verringerung der Adhäsion zur Folge haben. Der, insbesondere einstellbare, Laserstrahl löst in einer bevorzugten Ausführungsform des Debonners eine direkte photochemische Reaktion in der Temporärbondschrift

aus, welche unmittelbar die Bindungen der Temporärbondschicht, insbesondere der Löseschicht der Temporärbondschicht in insbesondere irreversibler Art verändert, sodass die Haftstärke der Schicht reduziert, insbesondere eliminiert wird. Es findet durch die direkte photochemische Reaktion keine wesentliche Erwärmung, insbesondere keine Erwärmung des Substrates bzw. des Substratstapels statt. Mit Vorzug wird die Temperaturerhöhung gegenüber der Ausgangstemperatur des gesamten Substratstapels dabei auf weniger als 100°C, bevorzugt weniger als 50°C, mit Vorzug weniger als 25°C, mit besonderem Vorzug weniger als 15°C begrenzt. Soweit von Temporärbondschicht gesprochen wird, ist alternativ eine Verbindungsschicht denkbar.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Debonders löst die insbesondere einstellbare Laserstrahlung eine photothermische Reaktion in der Temporärbondschicht aus, welche die Bindungen der Temporärbondschicht, insbesondere der Löseschicht der Temporärbondschicht, insbesondere irreversibel, verändert, sodass die Haftstärke der Schicht reduziert, insbesondere eliminiert wird. Es findet eine ausreichend hohe lokale Erwärmung statt, um die Haftstärke zu reduzieren. Die lokale Erwärmung im Laserspot ist insbesondere kleiner als 2000°C, vorzugsweise kleiner als 1500°C, noch bevorzugter kleiner als 1000°C, am bevorzugtesten kleiner als 500°C, am allerbevorzugtesten kleiner als 250°C. Der Substratstapel wird dabei global um weniger als 100°C, bevorzugter weniger als 50°C, besonders bevorzugt weniger als 25°C aufgewärmt.

Die Reaktionstemperatur, global am Substrat in der Vorrichtung gemessen, ist insbesondere zwischen 0°C und 300°C, bevorzugt zwischen 10°C und 200°C, besonders bevorzugt zwischen Raumtemperatur/Atmosphärentemperatur und 40°C.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Debonders können Laserstrahleigenschaften, insbesondere Wellenlänge, Pulsdauer, Homogenität, Strahlquerschnitt und/oder Lichtenergie so einstellbar sein, dass eine photochemische oder eine photothermische Reaktion oder eine Mischform beider Reaktionstypen erfolgt.

Insbesondere können photochemische und/oder photothermische Reaktionen bei organischen Materialien zu einer vollständigen Karbonisierung des organischen Materials führen. Darunter wird die chemische Entfernung aller Atome mit Ausnahme des Kohlenstoffs verstanden. Der Kohlenstoff, welcher als Reaktionsprodukt der Karbonisierung als Schicht entsteht, weist eine hohe Absorbanz insbesondere für die erfindungsgemäß relevanten Wellenlängenbereiche auf. Daher wird vorzugsweise versucht, die erfindungsgemäßen Parameter so einzustellen, dass möglichst geringfügige, bevorzugt keine Karbonisierung stattfindet und in Folge keine kohlenstoffhaltige, nicht transparente Schicht, insbesondere Rußschicht, entsteht.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst insbesondere ein optisches System, mit dessen Hilfe von einem Laser erzeugte Laserstrahlen auf einen Substratstapel gerichtet werden können und deren Parameter (insbesondere deren Leistung) im Reflexions- und/oder Transmissionsmodus gemessen werden. Das optische System ist vorzugsweise durch ein Gestell statisch mit einer Basis verbunden. Die Substratstapel werden auf einem Substrathalter fixiert.

Der Substrathalter verfügt vorzugsweise über Fixierungen. Die Fixierungen dienen dem Festhalten der Substrate. Die Fixierungen werden insbesondere aus einem oder mehreren der folgenden Fixierungen ausgewählt:

- Mechanische Fixierungen, insbesondere Klemmen, und/oder
- Vakuumfixierungen, insbesondere mit einzeln ansteuerbaren und/oder miteinander verbundenen Vakuumbahnen, und/oder
- Elektrische Fixierungen, insbesondere elektrostatische Fixierungen, und/oder
- Magnetische Fixierungen, und/oder
- Adhäsive Fixierungen, insbesondere Gel-Pak-Fixierungen und/oder Fixierungen mit adhäsiven, insbesondere ansteuerbaren, Oberflächen.

Die Fixierungen sind insbesondere elektronisch durch eine, vorzugsweise softwarebasierte, Steuerungseinheit ansteuerbar. Vakuumfixierung ist die

bevorzugte Fixierungsart. Die Vakuumfixierung besteht vorzugsweise aus mehreren Vakuumbahnen, die an der Oberfläche des Probenhalters austreten. Die Vakuumbahnen sind vorzugsweise einzeln ansteuerbar. In einer technisch einfacher realisierbaren Anwendung sind einige Vakuumbahnen zu Vakuumbahnsegmenten vereint, die einzeln ansteuerbar sind. Sie können evakuiert oder geflutet werden. Jedes Vakuumsegment ist vorzugsweise unabhängig von den anderen Vakuumsegmenten. Die Vakuumsegmente sind vorzugsweise ringförmig konstruiert. Dadurch wird eine gezielte, radialsymmetrische, insbesondere von innen nach außen oder umgekehrt verlaufende Fixierung oder Loslösung eines Substrats vom Probenhalter ermöglicht.

Generell kann die Debondvorrichtung mindestens eine Steuerungs- und/oder Regelungseinheit, insbesondere einen Rechner, beinhalten, welche die Vorrichtungssparameter/Verfahrensparameter überprüft und/oder speichert und/oder aufarbeitet und/oder ausgibt und/oder einstellt. Insbesondere können alle Messinstrumente im erfindungsgemäßen Verfahren mit der Steuerungs- und/oder Regelungseinheit für die Informationserfassung bzw. Aufarbeitung bzw. Speicherung bzw. Ausgabe verbunden sein.

Zwischen dem optischen System und dem Substrathalter kann vorzugsweise eine Relativbewegung erfolgen. Vorzugsweise bewegt sich der Substrathalter, während optisches System, Gestell und Basis statisch angeordnet sind.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt eine Relativbewegung zwischen dem Substratstapel und dem Laserstrahl durch die Auslenkung des Strahls im optischen System, wobei das Substrat auf dem Substrathalter sowie die weiteren Teile der Vorrichtung zueinander nicht bewegt werden.

Für das Beladen des Substratstapels und für das Entladen des bestrahlten Substratstapels bzw. der getrennten Substrate sind dem Fachmann bekannten Lade- bzw. Entladesequenzen vorgesehen.

Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist man in der Lage, mindestens zwei Substrate, die Teil eines Substratstapels sind, mittels eines Lasers zu trennen und simultan, gleichzeitig oder in zumindest teilweise überlappenden

Zeitabschnitten Eigenschaften/Parameter von reflektierten und/oder transmittierten Laserstrahlen zu bestimmen, welche einen direkten Rückschluss über den Debondvorgang zulassen. Somit ist erfindungsgemäß eine Steuerung des Trennens während des Trennens möglich, um den Trennvorgang zu optimieren, also möglichst beschädigungsfrei und effizient zu Trennen.

In einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist die Vorrichtung vorzugsweise als Rastervorrichtung ausgelegt. Unter einer Rastervorrichtung versteht man eine erfindungsgemäße Vorrichtung, bei der eine Relativbewegung in einer durch den Substratstapel gebildeten X-Y-Ebene zu dem optischen System, insbesondere den normal zum Substratstapel in einer Z-Richtung ausgerichteten Laserstrahlen, erfolgt. Der Laser kann in diesem Fall durch eine kontinuierliche, insbesondere vollflächige, Abrasterung die gesamte Bondschicht des Substratstapels bestrahlen. Vorzugsweise wird dabei mindestens ein Detektor statisch zum optischen System fixiert.

In einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform werden von der Vorrichtung Laserstrahlen ausgegeben, die den Substratstapel vollflächig bestrahlen, insbesondere durch Aufweitung der aus dem Laser ausgegebenen Laserstrahlen mit einer Optik. Die Vermessung der Laserstrahlen, insbesondere deren Leistung, erfolgt vorzugsweise mittels eines Felds von Detektoren, welche die transmittierte und/oder reflektierte Laserstrahlung positionsabhängig vermessen. Alternativ erfolgt eine Relativbewegung mindestens eines Detektors relativ zum statischen Substratstapel, um die transmittierte und/oder reflektierte Laserstrahlung ortsabhängig zu vermessen.

Die Leistung des Lasers, gemessen als Lichtleistung, insbesondere Strahlungsleistung, welche kontinuierlich am Substrat abgegeben werden kann, beträgt insbesondere mindestens 5 W, vorzugsweise mehr als 10 W, noch bevorzugter mehr als 15 W, am bevorzugtesten mehr als 17 W, am allerbevorzugtesten mehr als 30 W.

Der bevorzugte Wellenlängenbereich des Lasers liegt zwischen 100 nm – 10000 nm, vorzugsweise zwischen 250 nm – 1100 nm, noch bevorzugter zwischen

270 nm – 430 nm, am bevorzugtesten zwischen 280 nm – 380 nm, am allerbevorzugtesten zwischen 305 nm – 380 nm.

Die Wellenlänge des Lasers ist in einer besonders bevorzugten Ausführungsform mittels Frequenzwandler, insbesondere akustooptischen Modulatoren, insbesondere Bragg-Zellen, einstellbar und/oder filterbar.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung beinhaltet der Laserstrahl mindestens eine Wellenlänge aus der Gesamtheit von 1064 nm, 420 nm, 380 nm, 343 nm, 318 nm, 308 nm, 280 nm.

Besonders vorteilhaft ist die Verwendung von Laserstrahlen mit mindestens zwei Wellenlängen, um insbesondere photochemische und photothermische Vorgänge kombiniert in der Bondschicht bewirken zu können.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung ist die Strahlquelle ein Diodenlaser.

Die Gesamtenergie der Laserstrahlung pro Substrat wird insbesondere zwischen 0,01 mJ und 5000 kJ, bevorzugt zwischen 0,1 mJ und 4000 kJ, besonders bevorzugt zwischen 100 mJ und 2000 kJ eingestellt.

Der Laserstrahl kann im kontinuierlichen Modus oder gepulst betrieben werden. Die Pulsfrequenz wird insbesondere zwischen 0,1 Hz und 300 MHz, bevorzugt zwischen 100 Hz und 500 kHz, besonders bevorzugt zwischen 10 kHz und 400 kHz, ganz besonders bevorzugt zwischen 100 kHz bis 300 kHz, eingestellt.

Die Anzahl der Pulse pro Substratstapel beträgt in Abhängigkeit der benötigten Gesamtenergie bevorzugt mehr als 1 Mio. Pulse, bevorzugt mehr als 3 Mio. Pulse, besonders bevorzugt mehr als 5 Mio. Pulse, ganz besonders bevorzugt 6 Mio. Pulse.

Die Energie, welche pro Puls Bestrahlung den Substratstapel trifft, wird insbesondere zwischen 0,1 nJ und 1 J, bevorzugt zwischen 1 nJ und 900 µJ, besonders bevorzugt zwischen 10 nJ und 500 µJ eingestellt.

Die Bestrahlungsfläche pro Puls liegt insbesondere zwischen $1\ \mu\text{m}^2$ und $100000\ \mu\text{m}^2$, bevorzugt $10000\ \mu\text{m}^2$ und $50000\ \mu\text{m}^2$, besonders bevorzugt $1000\ \mu\text{m}^2$ und $40000\ \mu\text{m}^2$, ganz besonders bevorzugt zwischen $2500\ \mu\text{m}^2$ und $26000\ \mu\text{m}^2$.

Synonyme für die Bestrahlungsfläche sind als Fleckgröße, Strahlfleck (engl. laser spot size) für den Fachmann bekannt.

Die Form der Bestrahlungsfläche ist insbesondere kreisförmig, in anderen bevorzugten Ausführungsformen elliptisch, in besonders bevorzugten Ausführungsformen rechteckförmig.

Im weiteren Verlauf des Textes und in den Figuren wird die erste erfindungsgemäße Ausführungsform beschrieben und dargestellt.

Als optisches System wird im weiteren Verlauf der Druckschrift die Menge aller optischen Elemente verstanden, mit deren Hilfe die erfindungsgemäße Vorrichtung aufgebaut wird oder die verwendet werden, um die erfindungsgemäßen Prozesse durchzuführen. Als optische Elemente werden erfindungsgemäß insbesondere eines oder mehrere der folgenden ausgewählt:

- Spiegel, insbesondere Planspiegel, Konvexspiegel oder Konkavspiegel,
- Linsen, insbesondere
 - Konvexlinsen, insbesondere Bikonvex, Planarkonvex oder Konkavkonvex,
 - Konkavlinsen, insbesondere Bikonkav, Planarkonkav oder Konvexkonkav,
 - Fresnellinsen,
- Prismen,
- Diffraktionselemente, insbesondere Diffraktionsgitter,
- Teleskope.

Als Teleskope werden optische Systeme verstanden, mit denen der Durchmesser und/oder die Fokussierung des Laserstrahls mit mindestens zwei optischen Bauelementen verändert werden können.

Die optischen Bauelemente können aus einfachen Linsen und/oder korrigierten Linsen wie Achromaten und/oder Apochromaten sowie aus mehreren Linsen zusammengesetzten, insbesondere zueinander verstellbaren, Linsengruppen bestehen.

Die Substrate können jede beliebige Form besitzen, 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 erfindungsgemäße Ausführungsform kann aber grundsätzlich jedes Substrat, unabhängig von dessen Durchmesser handhaben. Die Substrate sind insbesondere für den Laser transparent ausgebildet. Vorzugsweise handelt es sich bei mindestens einem, noch bevorzugter bei beiden, Substraten um ein Glassubstrat.

In einer weiteren Ausführungsform besteht der Substratstapel aus einem für die Laserstrahlung transparenten Trägersubstrat, aus einem nicht transparenten, insbesondere teilmetallisierten, spiegelnden Produktsubstrat sowie der Temporärbondschicht. In diesem Fall wird das Trägersubstrat zuerst vom Laserstrahl durchstrahlt.

In einer weiteren Ausführungsform kann der Substratstapel so am Substrathalter fixiert werden, dass nicht das Trägersubstrat sondern das Produktsubstrat zuerst vom Laserstrahl durchstrahlt wird.

Die Transmittanz im optischen Pfad zumindest durch das Trägersubstrat bis in die Verbindungsschicht in Bezug auf den verwendeten Laser ist vorzugsweise für ein erfindungsgemäßes Substrat oder einen erfindungsgemäßen Substratstapel größer als 5%, bevorzugter größer als 25%, noch bevorzugter größer als 50%, noch bevorzugter größer als 75%, am allerbevorzugtesten größer 90%.

Bei den Teleskopen handelt es sich insbesondere um Teleskope, die sehr schnell geschaltet werden können, wobei insbesondere deren Fokuspunkt sehr schnell geändert werden kann. Die Schaltfrequenz für den Wechsel zwischen zwei Fokuspunkten ist insbesondere größer als 1 Hz, vorzugsweise größer als 10 Hz,

noch bevorzugter größer als 100 Hz, am bevorzugtesten größer als 1000 Hz, am allerbevorzugtesten größer als 10000 Hz.

Die Länge, innerhalb welcher der Fokuspunkt geändert werden kann, ist insbesondere größer als 0.1 mm, vorzugsweise größer als 1 mm, noch bevorzugter größer als 5 mm, am bevorzugtesten größer als 10 mm, am allerbevorzugtesten größer als 20 mm.

Die erfindungsgemäße Ausführungsform kann über mehrere Teleskope verfügen, insbesondere mehr als 1 Teleskop, vorzugsweise mehr als 2 Teleskope, noch bevorzugter mehr als 3 Teleskope, am bevorzugtesten mehr als 4 Teleskope, am allerbevorzugtesten mehr als 5 Teleskope. Die Teleskope dienen insbesondere der dynamischen Vergrößerung/Verkleinerung der Strahlform und damit der Ablationsfläche beziehungsweise Bestrahlungsfläche.

Die Anpassung des Fokus erlaubt die korrekte Positionierung des Schärfentiefebereichs entsprechend einer eventuell vorhandenen Krümmung des Substratstapels. Insbesondere temporär gebundene Substratstapel können, vor allem nachdem die Produktsubstrate rückgedünnt oder anderweitig behandelt wurden, extreme Spannungen aufweisen, die zu einer nicht vernachlässigbaren Krümmung des gesamten Substratstapels führen. Ist der Substratstapel gekrümmt, dann ist auch die Bondschicht an der die Substrate miteinander verbunden sind, gekrümmt. Erfolgt nun eine erfindungsgemäße Abrasterung aller Punkte entlang der Bondschicht, so wird der Schärfentiefebereich erfindungsgemäß als Funktion der Position angepasst, um ein optimales Debondergebnis zu erhalten.

Der Strahl kann durch eine beliebige Anzahl und Kombination optischer Elemente geformt werden. Die Strahlform ist die geometrische Schnittfigur die entsteht, wenn man den Laserstrahl mit einer Ebene schneidet. Insbesondere ist die geometrische Schnittfigur des Strahls mit der Bondschicht identisch mit der Ablationsfläche/Bestrahlungsfläche. Denkbare Strahlformen sind:

- Linienform
- Rechteckform, insbesondere
 - Quadratische Form

- Hexagonalform
- Dreiecksform
- Ellipsenform, insbesondere Kreisform
- Beliebige andere Formung, insbesondere mittels Apertur.

Durch optische Elemente können die Intensitätsprofile, also der Verlauf der Intensität entlang einer Richtung durch die Strahlform, beliebig eingestellt werden. Bevorzugte Intensitätsprofile sind

- Gaussprofil
- Rechteckprofil
- Dreiecksprofil
- Elliptische Profile, insbesondere Kreisprofile.

Die Einstellungsmöglichkeiten der Strahlformen und der Intensitätsprofile dienen insbesondere der Homogenitätsoptimierung. Exemplarisch sei folgendes ideales Beispiel genannt. Ein Laserstrahl mit einer quadratischen Strahlform von $1\text{ }\mu\text{m}$ Seitenlänge und einem perfekten rechteckigen Intensitätsprofil würde bei einer Schrittweite von $1\text{ }\mu\text{m}$ in x- und y-Richtung bei vollständiger Abrasterung der Fläche eine vollständig homogene Bestrahlung erzeugen. Da die Erzeugung eines Laserstrahls mit einer perfekten quadratischen Strahlform und einem perfekten rechteckigen Strahlungsprofil nicht möglich ist, wird die Homogenität der bestrahlten Fläche durch Überlagerung anderer Strahlformen und/oder anderer Intensitätsprofile approximiert.

Die Strahlform definiert die Ablationsfläche/Bestrahlungsfläche.

Die Ablationsfläche, im Grenzfall einer kleinen Fläche auch als Ablationspunkt bezeichnet, ist die Schnittfläche des Laserstrahls mit jenem Teil der Bondschicht die durch den Laserstrahl zerstört und/oder insbesondere irreversibel verändert wird. Die Form und/oder Größe der Ablationsfläche hat insbesondere einen direkten Einfluss auf die Leistungsdichte des Lasers in dieser Fläche und kann somit verwendet werden, um die Ablation gezielt zu steuern.

Die Größe der Ablationsfläche kann insbesondere durch optische Elemente, vorzugsweise durch Teleskope eingestellt werden. Denkbar ist auch eine

Relativverschiebung zwischen dem Substratstapel und dem optischen System, solange der auf den Substratstapel gerichtete Laser nicht parallelisiert d.h. konvergent oder divergent ist. Insbesondere ein zweites Teleskop kann für eine affine Transformation, insbesondere Skalierung, der Ablationsfläche verwendet werden. Durch die Möglichkeit, die Größe und Form der Ablationsfläche einzustellen, kann der Debondprozess insbesondere auf die Materialien des Substratstapels, insbesondere das Material der Grenzflächenschicht, angewandt werden.

In einer besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsform können die Strahlform und/oder das Intensitätsprofil ferngesteuert, insbesondere automatisch, eingestellt und gesteuert, in anderer Ausführungsform geregelt werden, insbesondere auch während des Debondvorgangs. Die Änderung der Strahlform und/oder des Intensitätsprofils verändert insbesondere die Laserleistungsdichte im Ablationspunkt oder der Ablationsfläche.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung verfügt vorzugsweise über einen Laserstrahlformsensor (engl.: laser beam shape sensor, laser beam profiler), mit dessen Hilfe der Laserstrahl, insbesondere in-situ, also während des erfindungsgemäßen Debondvorgangs, untersucht werden kann. Typische Ausführungsformen für Laserstrahlformsensoren sind Kameras, welche das Laserstrahlprofil erfassen. Mit den Sensoren kann die Homogenität des Laserstrahls quantitativ vermessen werden. In einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird der Laserstrahlformsensor außerhalb des Probenhalters positioniert. Ein Teil des Laserstrahls wird durch optische Elemente ausgekoppelt und in den Laserstrahlformsensor umgeleitet. In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform ist ein Laserstrahlformsensor in den Probenhalter eingebaut, insbesondere in die Haltefläche des Probenhalters, vorzugsweise bündig, eingebettet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung verfügt vorzugsweise über einen Laserstrahlenergiesensor (engl.: laser beam energy sensor) mit dessen Hilfe die Energie des Laserstrahls, insbesondere in-situ, d.h. während des erfindungsgemäßen Debondvorgangs untersucht werden kann.

Laserstrahlenergiesensoren können als Laserleistungssensoren ausgeführt sein. In einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird der Laserstrahlenergiesensor außerhalb des Probenhalters positioniert. Ein Teil des Laserstrahls wird durch optische Elemente ausgekoppelt und in den Laserstrahlenergiesensor umgeleitet. In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform ist ein Laserstrahlenergiesensor in den Probenhalter eingebaut, insbesondere in die Haltefläche des Probenhalters, vorzugsweise bündig, eingebettet.

In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Laserstrahlformsensor und/oder ein Laserstrahlenergiesensor so positioniert, dass ein Teil des Laserstrahls durch optische Elemente ausgekoppelt und umgeleitet wird, bevor er in den Substratstapel eindringen kann. Durch diese Konstruktion wird es erfindungsgemäß ermöglicht, den Laserstrahl zu analysieren, bevor er den Substratstapel durchdringt oder beaufschlägt. Die Messungen dienen insbesondere als Referenz oder Bezugswerte.

Des Weiteren kann ein zweiter Laserstrahlformsensor und/oder Laserstrahlenergiesensor unterhalb des Substratstapels, insbesondere im Probenhalter, eingebaut werden. In diesem Fall werden transmittierte Signale analysiert.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein zweiter Laserstrahlformsensor und/oder Laserstrahlenergiesensor oberhalb des Substratstapels positioniert, um die vom Substratstapel, insbesondere von der Bondschicht und/oder Metallisierungsschicht des Produktsubstrats reflektierte Strahlung zu vermessen. In diesem Fall werden reflektierte Signale analysiert.

Denkbar ist auch, dass Laserstrahlformsensor und Laserstrahlenergiesensor in einem Gerät verbaut sind.

Laserstrahlformsensoren und Laserstrahlenergiesensoren werden weiterhin mit dem Oberbegriff Laserstrahlsensoren bezeichnet.

Jeder Laserstrahlsensor kann insbesondere seine Daten an ein Steuerungssystem weiterleiten, sodass eine in-situ Analyse der Laserstrahleigenschaften erfolgt. Die

Ergebnisse der Analyse der Laserstrahleigenschaften können dann zu einer Anpassung des Laserstrahls verwendet werden. Aus dem Laserstrahl und den Laserstrahlsensoren wird insbesondere eine Regelschleife gebildet. Die Analyse und Steuerung erfolgt insbesondere mittels Hard- und/oder Firm- und/oder Software.

Im oder unterhalb des Substrathalters befindet sich eine oder mehrere Ausnehmungen, in denen sich lichtempfindliche Geräte befinden. Die lichtempfindlichen Geräte werden erfindungsgemäß aus einem oder mehreren der folgenden Geräte ausgewählt:

- Lichtempfindliche Sensoren, insbesondere Photodioden,
- Pyroelektrischer Sensor,
- Thermischer Sensor, insbesondere Thermoelement oder Thermosäule
- Kamera, insbesondere CCD-Kamera oder CMOS-Kamera.

Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen erlauben insbesondere die Bestimmung eines oder mehrerer der nachfolgend genannten Punkte:

- Transmittanz und/oder Alterung des Substrats,
- Transmittanz durch die Temporärbondschiicht:
 - idealerweise erfolgt im Einzelbeschuss keine oder nur eine sehr geringe Transmittanz (T) durch die Temporärbondschiicht ($T < 0,01\%$), um die Unversehrtheit des funktionalen Substrats (Device Wafer) zu gewährleisten.
 - vorzugsweise wird über 99,9% der Laserstrahlung in der Temporärbondschiicht absorbiert.
 - bei wiederholten Laserpulsen auf denselben Spot des zu trennenden Substratstapels kann die zeitliche Veränderung der Temporärbondschiicht auf die Dosis gemessen werden. Aus dem zeitlichen Verhalten kann zumindest in Analogie zur Williams-Landel-Ferry-Gleichung oder mit einem anderen Zeit-Temperatur-Superpositionsansatz auf das thermische Verhalten der Temporärbondschiicht geschlossen werden.

- Weiterhin wird aus der Anzahl der wiederholten Pulse auf einem Spot die notwendige Dosis für eine optimierte, das Produktsubstrat schonende Dosis mit Hilfe von bekannten statistischen Algorithmen bestimmt.
- Unterschiedliche Dicken weisen unterschiedliche Transmittanz auf, mit der der Extinktionskoeffizient gemäß dem Lambert-Beerschen Gesetz ermittelt werden kann
- Erlaubt in Referenzmessung zur Wafer-Leermessung die Bestimmung der Karbonisierung, wobei optimale Verfahrensparameter die Karbonisierung verhindern, welche unerwünschten Wärmeeintrag ins Produktsubstrat bewirken kann.
- Interaktion von Kleber oder anderen Materialien der Bondschicht mit dem Laser, wenn die Laserleistung zeitlich aufgelöst vermessen und dargestellt werden kann (zeitliche Auflösung 1 ns, oder besser)
- Messung der Dynamik und der Homogenität bei Mehrfachbelichtungen an einem oder benachbarten Orten im Laserschreibfeld.

Gemäß einer erfindungsgemäßen Verbesserung verfügt die Vorrichtung über ein Kantenreinigungsmodul. Das Kantenreinigungsmodul dient der Entfernung des überschüssigen Materials (beispielsweise Klebers), das zur temporären Verbindung der Substrate verwendet wurde. Das überschüssige Material der Bondschicht kann, insbesondere durch den Bondvorgang, sehr nahe an den Substratrand oder darüber hinaus gedrückt werden und so die Außenrandbereiche verunreinigen.

Vorzugsweise wird das Material entfernt, bevor mit dem Trennen der Substrate begonnen wird.

In einer eigenständigen erfindungsgemäßen Verwendung des erfindungsgemäßen Debondverfahrens wird die Laserstrahlung ausschließlich an einer Randzone des Substratstapels angewandt, um spezielle ZoneBond-Substratstapel, wie sie insbesondere in der Druckschrift US2009/0218560A1 genannt werden, voneinander trennen zu können.

Insbesondere kann die erfindungsgemäß Ausführungsform auch so angewandt werden, dass nicht ein vollständiger Debond durchgeführt wird, sondern an einigen Stellen die Adhäsionseigenschaft erhalten bleibt. Damit wird verhindert, dass die Substrate sofort gänzlich auseinanderfallen und voneinander entfernt werden können. Der Substratstapel ist damit noch transportierbar, allerdings sind die Substrate auch durch minimale Kraftbeaufschlagung trennbar.

In einer weiteren eigenständigen erfindungsgemäßen Verwendung des erfindungsgemäßen Debondverfahrens und der erfindungsgemäßen Debondvorrichtung kann die Temporärbondschicht örtlich begrenzt geschwächt werden, dass die Hafteigenschaften insbesondere im Randbereich soweit erhalten bleiben, dass der Substratstapel zu einem späteren Zeitpunkt, insbesondere mechanisch, voneinander trennbar wird.

In einer weiteren eigenständigen erfindungsgemäßen Verwendung werden insbesondere die Transmissionseigenschaften im Randbereich vermessen, wenn eine entsprechende Randschichtentfernung erfolgen soll. Vor allem temporär gebundene Substrate besitzen eine Temporärbondschicht, die sich beim Schleuderbelackungsprozess am Rand sammelt und eine Randwulst (engl.: edge bead) bildet. Diese Randwulst ist erfahrungsgemäß dicker, insbesondere auch dichter. Durch die erfindungsgemäße Vermessung des Bereichs, in dem die Randwulst auftritt, können die exakten Parameter für deren effiziente Entfernung ermittelt werden.

Diese eigenständige Verwendung des Verfahrens wird als Debonden von getackten Substraten bezeichnet.

Der Grundgedanke der erfindungsgemäßen Verfahren besteht in einem Messprozess, insbesondere einem Rastermessprozess, bei dem insbesondere gleichzeitig ein Laserdebondvorgang durchgeführt werden kann.

In allen erfindungsgemäßen Verfahren kann die Bestrahlung der Grenzfläche oder Bondschicht mehrfach erfolgen. Dazu wird der Rasterprozess mehrfach durchgeführt, sodass die Ablationsfläche des Substratstapels vom Laser mehrmals bestrahlt wird. Die Anzahl der Bestrahlungen der Ablationsfläche ist demnach

insbesondere größer als 1, vorzugsweise größer als 2, noch bevorzugter größer als 5, am bevorzugtesten größer als 10, am allerbevorzugtesten größer als 15.

In Abhängigkeit der Laserspotgröße und -form kann der Substratstapel mit bis zu 10 Millionen Pulsen zum Debonden beaufschlagt werden. Aus der Substratfläche, der Laserspotgröße und der Anzahl der Pulse bezogen auf das gesamte Substrat ist der Wert der Pulse einer Ablationsfläche bestimmbar.

Die Mehrfachbestrahlung kann insbesondere mehrfach mit unterschiedlichen Laserparametern erfolgen. Dadurch können erfindungsgemäß eine bessere Homogenisierung und eine Reduktion der Strahlungsbelastung pro Durchlauf erreicht werden. Eine geringere Strahlungsbelastung schont die Bauteile, die sich auf dem Produktsubstrat befinden können. Diese unterliegen dann auch einer geringeren thermischen Belastung.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Homogenität kann durch einen verschobenen Ursprung (engl.: shift) des Laserstrahls um einen Bruchteil eines Größenparameters der Ablationsfläche erfolgen. Die Verschiebung ist insbesondere kleiner als 10-mal der Größenparameter der Ablationsfläche, vorzugsweise kleiner als 5-mal der Größenparameter der Ablationsfläche, noch bevorzugter kleiner als 1-mal die der Größenparameter der Ablationsfläche, am bevorzugtesten kleiner als 0.05-mal der Größenparameter der Ablationsfläche, am allerbevorzugtesten kleiner als 0.01-mal der Größenparameter der Ablationsfläche. Besitzt der Laserstrahl eine runde Ablationsfläche, dann entspricht der Größenparameter beispielsweise dem Durchmesser.

Mit anderen Worten werden durch die Verschiebungen des Ursprungs des Laserstrahls Überlappungen der Ablationsflächen erzeugt, sodass die Inhomogenitäten des Laserstrahls mit der Mehrfachbestrahlung ausgemittelt werden. Die Mehrfachbestrahlung kann als Integration bzw. eine Addition der Energiedosis auf der Ablationsfläche verstanden werden.

Ein erstes erfindungsgemäßes Verfahren umfasst die Ermittlung der optimalen Laserparameter zum optimalen Debonden mindestens zweier Substrate von einem Substratstapel. Denkbar ist allerdings auch, dass man nur die Laserparameter eines

Substrats untersucht. In diesem Fall wird nur ein Substrat anstelle eines Substratstapels am Substrathalter fixiert. Des Weiteren ist denkbar, dass zwei Substrate ohne einer dazwischenliegenden Temporärbondschicht und/oder einem dazwischenliegenden Löseschicht untersucht werden. Somit kann insbesondere die Transmittanz des Substratstapels ermittelt werden. Bei bekannten Substratstapeleigenschaften können die Eigenschaften der Temporärbondschicht aus identischen Messungen berechnet werden.

Es ist weiterhin denkbar, dass ein Substrat bzw. ein Substratstapel in unterschiedlichen Bereichen mit unterschiedlichen Materialdicken desselben Temporärbondadhäsivs beschichtet wird, sodass an einem Substrat Messreihen zur Bestimmung der Eigenschaften der Schicht durchgeführt werden können. Weiterhin ist es möglich, an einem Substrat unterschiedliche Temporärbondadhäsive und/oder unterschiedliche Materialdicken einzusetzen. Dies ermöglicht eine rasche Charakterisierung bzw. Optimierung des Temporärbondadhäsivs bzw. der Temporärbondadhäsive.

Unter einem optimalen Debond versteht man einen Trennvorgang, bei dem in minimaler Zeit eine vollständige Trennung der Substrate erfolgt, ohne die Substrate, insbesondere Bauteile auf den Substraten, zu zerstören oder zu schädigen. Dies wird gewährleistet, indem die Parameter so gewählt werden, dass das Produktsubstrat so minimal wie möglich bestrahlt wird. Um diese optimalen Laserparameter zu ermitteln, wird erfindungsgemäß insbesondere eine Menge an Laserparametern, insbesondere in Form einer Liste oder einer Matrix, in einem Computer, vorzugsweise in einer Software, erstellt und gespeichert. Denkbar wäre, einen Laserparameter, beispielsweise die Laserleistung in 10er Schritten von 10 Watt bis 1000 Watt in einer Liste zu speichern. Erfindungsgemäß werden danach zehn Positionen mit dem Scanner angefahren und die Grenzfläche mit einer Laserleistung, die einem der gespeicherten zehn Werte entspricht, bestrahlt. Durch die gleichzeitige erfindungsgemäße Vermessung der reflektierten und/oder transmittierten Laserleistung kann dann darauf geschlossen werden, bei welcher Laserleistung die optimale Zerstörung der Grenzfläche und damit der optimale Debondvorgang erfolgt. Die Verwendung einer Liste stellt eine Optimierung des

erfindungsgemäßen Prozesses anhand eines Parameters dar. Sollten mehrere Parameter variiert werden müssen, so müssen diese Parameter in einer n-dimensionalen Liste abgespeichert werden. Die n-dimensionale Liste kann auch als Matrix bezeichnet werden. Die optimale Parameterkombination ergibt sich dann insbesondere durch mathematische Optimierungsverfahren. Dem Fachmann sind die Ansätze der Versuchsplanung bekannt, sodass die Berechnungsvorschriften der Optimierung als Teil des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht detailliert angegeben werden. Denkbare Laserparameter, die erfindungsgemäß untersucht werden könnten, sind einer oder mehrere der folgenden:

- Laserleistung
- Belichtungszeit
- X-Y Überlappung
- Strahlform
- Pulsform
- Wiederholte Belichtung
- Wellenlänge

Ein weiteres, zweites erfindungsgemäßes Verfahren erlaubt die in-situ Homogenitätsquantifizierung. Darunter versteht man den Vorgang, während des Debondvorgangs Auskunft über die Qualität des Debonds, insbesondere an unterschiedlichen Stellen in der Grenzfläche zwischen den Substraten, zu erhalten. Während der Laser auf die Grenzfläche fokussiert wird, um den Debondvorgang, insbesondere örtlich, durchzuführen, wird gleichzeitig die reflektierte und/oder transmittierte Strahlung vermessen. Hieraus wird die Qualität des Debonds an der entsprechenden Stelle ermittelt. Sollte der Debond nicht vollständig erfolgt sein, so kann die Stelle erneut oder zu einem späteren Zeitpunkt belichtet werden, um den Debond vollständig durchzuführen. Erfindungsgemäß wird die Qualität und/oder Homogenität des Debonds (Trennvorgang) insbesondere nicht nach der Laserbeaufschlagung, sondern während der Laserbeaufschlagung erfolgen.

Die genannten erfindungsgemäßen Verfahren eignen sich insbesondere für eines oder mehrere der folgenden Temporärbondmaterialien:

- 24 -

- HD 3007 (Einfachschicht)
- Brewer Science Doppelschicht: UV aktive Schicht (Release Layer)
- Brewer 701
- Brewer Bond 305
- Brewer Bond 220.
- JSR Laser Debond Material Doppelschicht (UV aktive Schicht + Temporärbondschicht)
- Shin Etsu Organic Planarization Layer + Temporärbondschicht
- 3M Doppelschicht
- Fujifilm Doppelschicht
- Weitere photochemisch erregbare Temporärbondadhäsive,
- Weitere photothermisch erregbare Temporärbondadhäsive,
- Polyimid

Ein erstes erfindungsmäßiges Verfahren beinhaltet einen oder mehrere der folgenden Schritte:

- Selbstkalibrierung der Strahlungsquelle und der Messinstrumente. Dazu wird eine Leermessung der Vorrichtung ohne Substrate oder Substratstapel durchgeführt. Die Intensität sowie Homogenität der Laserquelle in Atmosphäre wird an den Sensoren erfasst. Die Selbstkalibrierung dient zur Aufnahme eines aktuellen Ist-Standes aller verfahrensrelevanten Parameter inklusive Laborbedingungen wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Schwebeteilchenanzahl.
- Die Messwerte werden verarbeitet und gespeichert.
- Ein nicht gebondeter, aufeinandergelegter Substratstapel wird in die Vorrichtung geladen.
- Optional kann ein nicht gebondeter, aufeinandergelegter Substratstapel und die zur Folienfixierung verwendete Folie in die Vorrichtung geladen werden.

- 25 -

- Optional können Glassubstrate, insbesondere transparente Glassubstrate aufeinandergelegt als Substratstapel mit oder ohne Folienfixierung in die Vorrichtung geladen werden.
- Optional kann ein Glassubstrat, welche einen Substratstapel ausbildet, ohne Folienfixierung in die Vorrichtung geladen und vermessen werden. Danach kann ein weiteres, insbesondere identisches Glassubstrat mit Folienfixierung in die Vorrichtung geladen und vermessen werden. Somit kann die Absorbanz bzw. Transmittanz der Glassubstrate eines Substratstapels für eine Referenzmessung ohne Kontaktierung der Substrate bestimmt werden.
- Kalibriermessung mit einem nicht gebondeten Substratstapel. Dabei wird die Transmittanz des Substratstapels ohne Temporärbondadhäsiv vermessen.
- Die Messerte werden verarbeitet und gespeichert. Insbesondere lässt sich die Absorbanz des Substratstapels berechnen.
- Der nicht gebondete Substratstapel wird aus der Vorrichtung entladen.
- Die Laserparameter werden optional angepasst. Die Anpassung basiert an Erfahrungswerten und/oder berechneten Parameter, welche als Parametersätze in der Regelung in einem Wissensspeicher hinterlegt sind.
- Ein, insbesondere temporär, gebondeter Substratstapel wird in die Vorrichtung geladen.
- Optional kann ein temporär gebondeter Substratstapel, bestehend aus einem Glassubstrat mit bekannter und gemessener Transmittanz, einer Temporärbondadhäsiv bekannter Dicke und einem weiteren Glassubstrat mit bekannter und gemessener Transmittanz mit oder ohne Folienfixierung (mit bekannter Transmittanz) in die Vorrichtung geladen werden.
- Eine in-situ-Messung findet parallel zum Debonden statt.
- Optional kann eine in-situ-Messung für die Bestimmung der Transmittanz des Temporärbondadhäsivs stattfinden, welche zur Bestimmung, bevorzugt zur Optimierung, der Parameter dient.

- 26 -

- Der getrennte Substratstapel wird entladen.
- Die Messerte werden verarbeitet und gespeichert.
- Die Laserparameter werden erneut optimiert.

Messreihen können für die Ausbildung des Wissensspeichers der Variationen von Parametern durchgeführt werden. Diese beinhalten insbesondere Variationen in:

- dem Trägersubstratmaterial,
- der Trägersubstratbeschichtung,
- der Trägersubstratvorbehandlung, insbesondere Plasmabehandlung,
- der Trägersubstratdicke,
- dem Fixierfolienmaterial,
- der Fixierfoliendicke,
- der Fixierfolienbeschichtung,
- dem Material des Temporärbondadhäsivs,
- der Dicke des Temporärbondadhäsivs,
- den Füllstoffen des Temporärbondadhäsivs,
- den Löseschichtdicken des Temporärbondadhäsivs,
- der Auftragemethode des Temporärbondadhäsivs wie Aufsprühen, Schleuderbelacken, Gießen, Rakeln.

Alle bekannten Eingangsgrößen mit allen Variationen sowie alle Messergebnisse können im Wissensspeicher des Verfahrens abgelegt sein, sodass eine rasche Optimierung mit Ansätzen, welche dem Fachmann bekannt sind, erfolgen kann.

Insbesondere kann durch eine Messreihe eine Dosis bestimmt werden, welche das Produktsubstrat beim Debondvorgang trifft. Somit kann die Laserleistung und/oder die Schichtdicke des Temporärbondadhäsivs und/oder die Spotgröße des Laserstrahls angepasst werden, um eine Beschädigung des Produktsubstrats zu verhindern.

Die einzelnen Messungen zu einer Dosisbestimmung des Produktsubstrats beinhalten:

- eine Transmissionsmessung eines ersten Substrats, insbesondere Glassubstrats, bevorzugt eines Trägersubstrats aus Glas. Daraus wird die Transmittanz und/oder die Absorbanz des Trägersubstrats bestimmt.
- eine Transmissionsmessung eines zweiten Substrats, insbesondere Glassubstrats, mit oder ohne Fixierfolie. Daraus wird die Transmittanz und/oder die Absorbanz des zweiten Substrats bestimmt.
- eine Transmissionsmessung eines Substratstapels, bestehend aus einem ersten, vermessenen Glassubstrats oder Glassubstrats identischer Spezifikationen und einem Temporärbondadhäsiv bekannter Dicke und weiteren Parametern und Vorgeschichte wie Auftrageverfahren, Charge und eines zweiten Glassubstrats mit bekannten Parametern, sowie optional einer Fixierfolie mit bekannten Parametern.

Aus diesen Transmissionsmessungen kann die Absorbanz und/oder Transmittanz des Temporärbondadhäsivs bestimmt werden.

Wird ein Substrat, insbesondere das zweite Substrat, auf ein Produktsubstrat im Substratstapel ausgetauscht, wobei die anderen Substrate sowie Parameter bevorzugt sehr ähnlich, bevorzugt identisch bleiben, kann die Dosis, welche das Produktsubstrat treffen würde, berechnet werden. Ist die resultierende Dosis kleiner als die Dosis, welche das Produktsubstrat schädigt, können die Berechnungen evaluiert werden. Würde die resultierende Dosis das Produktsubstrat schädigen, können die Parameter basierend auf die Berechnungen angepasst werden, um den Substratstapel effektiv und ohne Schäden trennen zu können.

Insbesondere können optimale Debondparameter mit Hilfe des Wissensspeichers eingestellt werden, wenn die Eingangsgrößen streuen und/oder verändert sind. Insbesondere die Alterung der Laserquelle oder die Dickenschwankungen im Temporärbondadhäsiv oder die Alterung des Temporärbondadhäsiv können so erkannt und mit entsprechend ausgegebenen sowie zurückgeführten Informationen und/oder veränderten Kenngrößen kompensiert werden.

Die Bestimmung der Transmittanz des zu trennenden Substratstapels auf der Fixierfolie setzt voraus, dass die Laserstrahlung über 50%, bevorzugt über 75%, besonders bevorzugt über 95%, ganz besonders bevorzugt über 99%, im optimalen Fall über 99,9%, im Idealfall über 99,99% im Temporärbondadhäsiv absorbiert wird.

Alle genannten erfindungsgemäßen Ausführungsformen und Prozesse können beliebig miteinander kombiniert werden, werden aber einzeln beschrieben. Soweit Verfahrensmerkmale beschrieben sind, sollen diese auch als Vorrichtungsmerkmale offenbart gelten und umgekehrt.

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

- | | |
|----------|--|
| Figur 1a | eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Scannerposition |
| Figur 1b | die erste Ausführungsform gemäß Figur 1a in einer zweiten Scannerposition, |
| Figur 1c | die erste Ausführungsform gemäß Figur 1a in einer dritten Scannerposition, |
| Figur 2 | eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, |
| Figur 3 | eine vergrößerte Teilansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung. |

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

Die Figur 1a zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zum Trennen eines temporär gebondeten Substratstapels 23 durch Beaufschlagung einer Verbindungsschicht 25 des Substratstapels 23 mittels von einem optischen System 26 ausgegebenen Laserstrahlen 16 im Transmissionsmodus. Die Vorrichtung 1 besteht aus einer Basis 2, mit einem Gestell 3 und dem optischen System 26. Das

optische System 26 besteht aus mehreren Bauteilen, insbesondere optischen Elementen. Die Basis 2 und das Gestell 3 können miteinander unbeweglich und ortsfest verbunden sein. Die Verbindungsschicht 25 wird auch als Bondschicht 25 bezeichnet und ist insbesondere als Temporärbondsicht ausgebildet.

Die optischen Elemente sind vorzugsweise in einem Gehäuse 4 untergebracht. Die Vorrichtung 1 verfügt über einen Laser 5. Ein von dem Laser 5 erzeugter Laserstrahl 16 (oder mehrere Laserstrahlen 16) wird über ein Brewsterfenster 20 ausgekoppelt und über optische Elemente, insbesondere Spiegel 7, in das optische System 26 eingekoppelt. Entlang des Pfades, den der Laserstrahl 16 zurücklegt, befinden sich vorzugsweise mindestens ein Teleskop 9 und/oder eine Laserstrahlformeinheit 21 und/oder mindestens eine Apertur 10 und/oder eine dynamische Fokussiereinheit 13 und/oder halbdurchlässige Spiegel 7' zur Aufteilung und/oder Auslenkung des Laserstrahls 16 und/oder ein optischer Positionssensor, insbesondere ein PSD 14, und/oder eine Autofokuseinheit 19, eine insbesondere dynamisch regelbare Auslenkungseinheit 29 und/oder eine Ebenungslinseneinheit 15 mit Linsen 8.

Mit einer Leitung 18 ist die Kopplung des Lasers 5 mit der regelbaren Auslenkungseinheit 29 symbolisiert. Die Mess- und Regelinstrumente sind mit einem nicht dargestellten Regelungsrechner verbunden.

In einer ersten Position des durch die Auslenkungseinheit 29 ausgelenkten Laserstrahls 16 wird zumindest ein Teil des Laserstrahls 16 durch einen Spiegel 7 in einen ausgekoppelten Laserstrahl 16r umgelenkt und somit aus dem in Richtung des Substratstapels verbleibenden Strahlengang 16' ausgekoppelt. Der ausgekoppelte Laserstrahl 16r wird an einen Laserstrahlformsensor 11 und/oder einen Laserstrahlenergiesensor 17 weitergeleitet. Der ausgekoppelte Laserstrahl 16r wird somit vermessen, bevor der restliche, nicht ausgekoppelte Teil des Laserstrahls 16 den Substratstapel 23 erreicht. Der ausgekoppelte Laserstrahl 16r wird zur Ermittlung einer Referenz beziehungsweise von Bezugswerten verwendet. Der restliche Teil des Laserstrahls 16 kann die Bondschicht 25 erreichen und den Substratstapel 23 zumindest teilweise trennen.

Die Substratoberfläche 24o und/oder die Bondschicht 25 können bei jeder erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' durch eine Kamera 6 mit einem Sichtbereich 12 untersucht und vermessen werden. Die Kamera 6 ist insbesondere eine Infrarotkamera. Sind die Substrate 24 transparent für sichtbares Licht, handelt es sich vorzugsweise um eine Kamera, die im sichtbaren Wellenlängenbereich sensitiv ist.

Der Substrathalter 22 ist insbesondere in x- und/oder y- und/oder z-Richtung bewegbar. Die Bewegung in z-Richtung kann insbesondere der Änderung der Position der Schärfentiefe dienen und/oder für eine Be- und/oder Entladesequenz der Vorrichtung verwendet werden. Vorzugsweise wird die Schärfentiefe durch eine Anpassung der Fokussierung des Laserstrahls geändert. Die Be- und/oder Entladung kann insbesondere auch mit Hilfe von Ladestiften, die in den Substrathalter eingebaut sind, erfolgen.

Gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird der Substratstapel 23 in eine Fokusebene des Laserstrahls 16' transportiert und für den Debondvorgang fixiert, insbesondere geklemmt, sodass der Substratstapel 23 eine definierte Position auf dem Substrathalter 22 einnimmt und diese nicht verändert.

Der Substratstapel 23 wird vorzugsweise auf einem Träger in die erfindungsgemäße Vorrichtung gebracht. In diesem Fall wird der Träger vorzugsweise mit dem Produktsubstrat des Substratstapels 23 verbunden.

In einer ganz bevorzugten Vorgehensweise wird der Substratstapel 23 auf einer Folie (engl.: tape) fixiert, welche über einen Rahmen (engl.: frame) gespannt wird. Der Substratstapel 23 wird dabei über das Produktsubstrat mit dem Film verbunden. Der Substratstapel 23 kann dadurch leicht transportiert werden. Durch die Verwendung einer solchen Fixierung verbleibt das, im allgemeinen relativ dünne Produktsubstrat, nach der Entfernung des Trägersubstrats auf der Folie und kann problemlos aus der erfindungsgemäßen Anlage entfernt werden.

Denkbar ist auch, dass der Substratstapel 23 ohne einen Träger von der erfindungsgemäßen Vorrichtung behandelt wird. In diesem Fall sollte das

Produktsubstrat allerdings eine ausreichende Dicke (Steifigkeit) besitzen, um formstabil genug zu sein.

Gemäß einer Ausführungsform, bei der kein Träger verwendet wird, ist der Substrathalter insbesondere so konstruiert, dass er nach der Entfernung des Trägersubstrats vom Substratstapel das Produktsubstrat ausreichend genug fixieren und stabilisieren kann. Bei einer solchen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung wird das Aufrollen des Produktsubstrats nach dem Debonden insbesondere mit angepassten Fixierungen für Produktsubstrate verhindert. Insbesondere kann es notwendig sein, dass so fixierte Produktsubstrat durch einen Trägerwechsel (engl.: carrier flip flop) auf einem anderen Träger zu fixieren, bevor man es vom Substrathalter entfernt.

Die Beaufschlagung des Substratstapels 23 mit dem Laserstrahl 16' erfolgt durch Abrasterung, insbesondere eines überwiegenden Teils, vorzugsweise der gesamten Bondschicht 25, mittels Rasterbewegungen. Die Rasterbewegungen werden insbesondere mittels der Auslenkungseinheit 29 als Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 16' und dem Substratstapel 23 durchgeführt.

Alternativ dazu (oder zusätzlich) kann durch ein Teleskop 9 die Position der Schärfentiefe verändert werden.

In einer weiteren Ausführungsform kann die Abrasterung durch eine Relativbewegung, insbesondere eine aktive Bewegung des Substrathalters 22 zum optischen System 26, erfolgen.

Die Rasterbewegung des Laserstrahls 16' kann verschiedene, oben beschriebene Trajektorien und/oder Bahnen beinhalten mit dem Ziel, den Substratstapel 23, insbesondere die Verbindungsschicht 25, zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig, zu beaufschlagen, gleichzeitig aber möglichst wenig zu schädigen.

Für die Rasterbewegung ist es unerheblich, ob der Laserstrahl 16' und/oder der Substratstapel 23 und/oder der Substrathalter 22 die Rasterung ausführt, somit sind folgende Ausführungsformen als erfindungsgemäß offenbart:

- stillstehender Laserstrahl 16' und bewegter Substratstapel 23, oder

- 32 -

- stillstehender Substratstapel 23 und bewegter Laserstrahl 16', oder
- bewegter Laserstrahl 16' und bewegter Substratstapel 23.

Ein stillstehender Laserstrahl 16' (beziehungsweise stillstehende Gruppe von Laserstrahlen) und ein stillstehender Substratstapel wird als einmalige, also vollflächige Rasterung ohne Bewegung während der Beaufschlagung ebenfalls als erfindungsgemäß offenbart.

Der Laserstrahlsensor 30 kann in einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' in der Ebene des Temporärbondadhäsivs nicht vom Substratstapel 23 verdeckt, neben dem Substrat platziert sein. Diese Ausführungsform ist nicht abgebildet.

Der Laserstrahlsensor 30 kann in einer alternativen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' wie schematisch dargestellt, insbesondere als eine Teilfläche des Substrathalters 22, ausgebildet sein, wobei die Positionierung entweder (bevorzugt) zentrisch oder nicht zentrisch erfolgen kann.

Eine, insbesondere parallel und/oder bündig zur Substratoberfläche 23o angeordnete, Sensorfläche des Laserstrahlsensors 30 kann mehr als 0.001%, bevorzugt mehr als 0.005%, besonders bevorzugt mehr als 0.01%, noch bevorzugter mehr als 0.05%, am allerbevorzugtesten mehr als 0.1% der Gesamtfläche des Substrathalters 22 einnehmen.

In einer dritten, nicht dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' können mehr als 1, bevorzugt mehr als 2, besonders bevorzugt mehr als 5 Laserstrahlsensoren 30 im Substrathalter 22, insbesondere an der Substratoberfläche 23o verteilt angeordnet, eingebaut sein. Dabei kann die Skalierung der Gesamtfläche des Substrathalters zur Sensorfläche verschieden von der zweiten Ausführungsform sein.

In einer vierten, nicht dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' kann mindestens ein Laserstrahlsensor 30 als Flächensensor ausgebildet sein, sodass mehr als 50% der Substratstapelfläche, bevorzugt mehr als 60% der Substratstapelfläche, besonders bevorzugt mehr als 80% der

Substratstapel­fläche, ganz besonders bevorzugt mehr als 99% der Substratstapel­fläche beim Debonden, insbesondere in-situ vermessen werden kann.

Figur 1b zeigt einen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 gemäß der Ausführungsform der Figur 1a. Die Auslenkungseinheit 29 hat den Laserstrahl 16' in eine weitere Strahlposition ausgelenkt. Der Laserstrahl 16' trifft durch den Substratstapel 23 in dieser Strahlposition auf den Laserstrahlsensor 30. Die Vermessung des restlichen Teils des Laserstrahls 16' nach Reflexion und/oder Transmission am/durch den Substratstapel 23, insbesondere die Bonds­schicht 25, erfolgt insbesondere mit dem Laserstrahlsensor 30, welcher sowohl ein Laserstrahlenergiesensor 17 als auch ein Laserstrahlformsensor 11 als auch ein integrierter Sensor für die Vermessung der Energie des Laserstrahls als auch die Form des Laserstrahls geeignet ist. Bei dieser erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 handelt es sich daher um eine Vorrichtung 1 zur Transmissionsmessung.

Die Figur 1c zeigt einen Teil einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, wie in Figur 1a beschrieben wird. Die Auslenkungseinheit 29 hat den Laserstrahl 16' in eine weitere dargestellte Strahlposition ausgelenkt. Der Laserstrahl 16' trifft durch den Substratstapel 23 den Substrathalter 22. Somit ist eine voll­flächige Abrasterung der Bonds­schicht 25 möglich.

Die Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1' im Reflexionsmodus, also mit einer Reflexionsmessung statt oder zusätzlich zu einer Transmissionsmessung. Im Gegensatz zur Vorrichtung 1 befindet sich ein Laserstrahlformsensor (nicht eingezeichnet) und/oder einen Laserstrahlenergiesensor (nicht eingezeichnet) oberhalb des Substratstapels 23 und vermisst die von der Bonds­schicht 25 reflektierte Strahlung.

Die Substratoberfläche 24o und/oder die Bonds­schicht 25 können in jeder erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' durch eine Kamera 6 mit einem Sichtbereich 12 untersucht und vermessen werden. Die Kamera 6 ist insbesondere eine Infrarotkamera, mit Vorzug eine Kamera, die IR und sichtbares Licht gleichzeitig erfassen kann. Die Kamera 6 ist sowohl auf die Transparenz des Substratstapels 23

als auch auf die verwendete Laserstrahlung so abgestimmt, dass das Ablösevorgang mit optischen Mitteln beobachtet werden kann.

Der Substrathalter 22 ist insbesondere in x- und/oder y- und/oder z-Richtung bewegbar. Die Bewegung in z-Richtung kann insbesondere der Änderung der Position der Schärfentiefe dienen und/oder für die Be- und/oder Entladesequenz der Vorrichtung verwendet werden.

In einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird der Substratstapel 23 in eine Fokusebene des Laserstrahls 16' transportiert und für den Debondvorgang geklemmt, dass der Substratstapel 23 eine Position auf dem Substrathalter 22 einnimmt und diese nicht verändert. Die Rasterbewegungen werden insbesondere mittels Auslenkungseinheit 29 als Relativbewegung zwischen Laserstrahl 16 und Substratstapel durchgeführt.

Alternativ dazu (oder zusätzlich) kann durch ein Teleskop 9 die Position der Schärfentiefe verändert werden. Die Relativbewegung, insbesondere die aktive Bewegung des Substrathalters 22 zum optischen System 26 erlaubt eine Abrasterung der gesamten Bondschicht 25.

Alternativ dazu (oder zusätzlich) kann durch ein Teleskop 9 die Position der Schärfentiefe verändert werden.

In einer weiteren Ausführungsform kann eine Relativbewegung, insbesondere die aktive Bewegung des Substrathalters 22 zum optischen System 26 eine Abrasterung der gesamten Bondschicht 25 erreichen.

Es ist in einer nicht dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' möglich, dass die Vorrichtung 1, 1' einen Laserstrahlsensor 30 für reflektive Messungen beinhaltet, jedoch keinen Laserstrahlsensor 30 für Transmissionsmessungen. Diese Vorrichtung 1, 1' kann bei Verwendung eines nicht transparenten Produktsubstrats verwendet werden.

In der Darstellung von Figur 2 in der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, 1' sind drei dedizierte Strahlengänge des Laserstrahls 16 gleichzeitig eingezeichnet, wobei zwei Randstrahlen und ein Mittelstrahl dargestellt ist. Dies dient in einer ersten

- 35 -

erfindungsgemäßen Ausführungsform nur zur Veranschaulichung von Randlagen eines einzelnen Laserstrahls 16, welche gleichzeitig einen Fleck auf dem Substrat bearbeiten können.

In einer weiteren erfindungsgemäßen, nicht dargestellten Ausführungsform der Vorrichtung 1, 1' ist es durch entsprechenden Anpassungen (Strahlenteiler, Mehrere Laserquellen) des Laserstrahls 16 und der Auslenkungseinheit 29 möglich, zeitgleich mehrere Laserstrahlen parallel, insbesondere massiv parallel zum Debonden zu verwenden.

Die Figur 3 zeigt eine vergrößerte Querschnittsdarstellung eines Substratstapels 23, bestehend aus zwei Substraten 24 und einer Bondschicht 25. Der fokussierte Laserstrahl 16 besitzt an der jeweiligen x-y Position einen endlichen Schärfentiefebereich 28 in z-Richtung. Der Substratstapel 23 weist eine leichte Krümmung mit einem Krümmungsradius 27 auf. Um den Schärfentiefebereich 28 an jeder x-y Position exakt an der Bondschicht 25 ausrichten zu können, ist die z-Position des Schärfentiefebereichs 28 vorzugsweise verstellbar. Die Verstellung erfolgt durch mindestens eines der optischen Elemente, vorzugsweise durch mindestens eines der Teleskope 9, die sich im Strahlengang des Laserstrahls 16 befinden. Die Figur 3 zeigt eines der Teleskope 9 exemplarisch als vorgeschaltetes optisches Element. Der Schärfentiefebereich 28 ist in z-Richtung insbesondere dünner als der Substratstapel 23. Mit Vorzug ist der Schärfentiefebereich kleiner als die Schichtdicke des Klebers, mit besonderem Vorzug $< 0,5$ mal der Dicke des Klebers.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung
2	Basis
3	Gestell
4	Gehäuse
5	Laser
6	Kamera
7	Spiegel
7'	teildurchlässiger Spiegel
8	Linse
9	Teleskop
10	Apertur
11, 11'	Laserstrahlformsensor
12	Sichtbereich
13	Dynamische Fokussiereinheit
14	PSD (position sensitive device)
15	Ebenungslinseneinheit (engl.: field flattening unit)
16	Laserstrahl
16'	Laserstrahl
16r	ausgekoppelter Laserstrahl
17, 17'	Laserstrahlenergiesensor
18	Leitung
19	Autofokuseinheit
20	Brewsterfenster
21	Laserstrahlformeinheit
22	Substrathalter
23	Substratstapel
24	Substrat
24o	Substratoberfläche
25	Verbindungsschicht/Bondschicht

- 37 -

26	Optisches System
27	Krümmungsradius
28	Schärfentiefebereich
29	Auslenkungseinheit
30	Laserstrahlsensor