

Verfahren und Vorrichtung zur Übertragung von Bauteilen

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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übertragung, insbesondere elektronischer, Bauteile von einem Gebersubstrat auf ein Empfängersubstrat.

Der Stand der Technik zeigt verschiedenste Verfahren auf um ein Produktsubstrat von einem Trägersubstrat auf ein anderes Trägersubstrat zu transferieren. Derartige Trägerwechselprozesse werden beispielsweise in der Druckschrift WO2011120537A1 ausführlich erwähnt. In den letzten Jahren werden vermehrt einzelne funktionale Bauteile auf- oder nebeneinander gestapelt. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, dass nur jene Bauteile transferiert werden, welche eine vorherige, insbesondere elektrische, Prüfung bestanden haben. Dadurch wird ausgeschlossen, dass defekte Bauteile transferiert werden.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, welche die im Stand der Technik aufgeführten Nachteile zumindest zum Teil beseitigen, insbesondere vollständig beseitigen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, um Bauteile von einem Geber- auf ein Empfängersubstrat zu transferieren. Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Verfahren und eine Vorrichtung für die Herstellung einer Leuchtdiode aufzuzeigen, bei welchen die einzelnen Bauteile von einem Gebersubstrat auf ein Empfängersubstrat transferiert werden. Es ist eine

- 2 -

weitere Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, bei welchen keine defekten Bauteile oder nur Bauteile mit bestimmten Eigenschaften auf das Empfängersubstrat transferiert werden.

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. Im weiteren Verlauf des Textes wird unter einem Bauteil ein zu transferierendes Objekt verstanden. Ein Bauteil muss nicht notwendigerweise eine Funktionalität an sich besitzen.

Demnach betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Übertragen von, insbesondere elektronischen, Bauteilen von einem Gebersubstrat auf ein Empfängersubstrat mit zumindest den folgenden Schritten, insbesondere mit dem folgenden Ablauf:

- i) Bereitstellen und/oder Erzeugen der Bauteile auf dem Gebersubstrat,
- ii) Übertragen der Bauteile des Gebersubstrates auf ein Transfersubstrat,
- iii) Übertragen der Bauteile von dem Transfersubstrat auf das Empfängersubstrat,

wobei die Bauteile mittels Bondmittel und/oder Debondmittel selektiv übertragbar sind.

- 3 -

Bei der Übertragung können die Bauteile auf dem Gebersubstrat abgelegt oder fixiert sein. Auch ist denkbar, dass die Bauteile auf dem Gebersubstrat erzeugt werden und nach ihrer Erzeugung auf dem Gebersubstrat angeordnet sind. Bei den, insbesondere elektronischen, Bauteilen handelt es sich insbesondere um sehr kleine Bauteile die in der Halbleiterindustrie verwendet werden.

Das Übertragen in Schritt ii) kann insbesondere als ein Übernehmen der Bauteile durch das Transfersubstrat verstanden werden. Das Übertragen in Schritt iii) kann insbesondere als ein Übergeben der Bauteile an das Empfängersubstrat verstanden werden. Bei dem Übertragen in Schritt ii) können die auf dem Gebersubstrat angeordneten Bauteile mit dem Transfersubstrat kontaktiert werden.

Falls die Bauteile an dem Gebersubstrat fixiert sind, kann diese Fixierung bei der Übertragung auf das Transfersubstrat aufgehoben werden, insbesondere selektiv für jedes einzelne Bauteil. Die Bauteile können ebenso an dem Transfersubstrat für die Übertragung fixiert werden, insbesondere selektiv für jedes einzelne Bauteil.

Bei der Übertragung der Bauteile an das Empfängersubstrat können wiederum die Bauteile beziehungsweise das Transfersubstrat das Empfängersubstrat und/oder auf dem Empfängersubstrat angeordnete weitere Bauteile kontaktieren. Weitere Bauteile, welche auf dem Empfängersubstrat angeordnet sind, sind insbesondere Bauteile die in einem zuvor durchgeführten Verfahren von dem Gebersubstrat und/oder weiteren Gebersubstraten auf das Empfängersubstrat übertragen worden sind.

- 4 -

Eine Fixierung am Transfersubstrat kann, insbesondere selektiv, aufgehoben werden. Die Bauteile werden bei der Übertragung auf dem Empfängersubstrat und/oder an den auf dem Empfängersubstrat angeordneten weiteren Bauteilen verbondet, insbesondere mit einem Bondmittel, insbesondere durch einen Laser.

Zwischen den einzelnen Verfahrensschritten findet insbesondere eine Ausrichtung der Substrate zueinander beziehungsweise insbesondere eine Ausrichtung der Bauteile und den entsprechenden Positionen für die Bauteile, insbesondere mithilfe von Ausrichtungsmarkern auf den Substraten, statt. Bei dem Verfahren ist von entscheidender Bedeutung, dass eine selektive Übertragung der Bauteile zwischen dem Gebersubstrat und dem Empfängersubstrat erfolgt. Auf diese Weise können vorteilhaft nur bestimmte beziehungsweise ausgewählte Bauteile übertragen werden. Insbesondere können defekte Bauteile nicht übertragen werden oder nur Bauteile mit bestimmten Eigenschaften übertragen werden. Dabei können auch alle Bauteile ausgewählt werden, wobei jedoch die Möglichkeit zur Selektion durch Bondmittel und/oder Debondmittel bei den jeweiligen Übertragungen gegeben ist. Weiterhin kann durch das Transfersubstrat eine Selektion der zu übertragenden Bauteile vorteilhaft in zwei Schritten erfolgen.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Übertragen von Bauteilen mit dem Verfahren zum Übertragen der Bauteile, wobei auf einem Gebersubstrat Bauteile erzeugbar und/oder bereitstellbar sind, und wobei die Bauteile des Gebersubstrates auf ein Transfersubstrat übertragbar sind, und wobei die Bauteile von dem Transfersubstrat auf das Empfängersubstrat übertragbar sind, und wobei die Übertragung der Bauteile auf das Trägersubstrat und/oder das Empfängersubstrat selektiv mittels Bond und/oder Debondmittel durchführbar ist.

- 5 -

Weiterhin betrifft die Erfindung eine lichtemittierende Diode (LED) hergestellt mit dem Verfahren zur Übertragung von Bauteilen.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass einzelne Bauteile oder mehrere Bauteile lokal begrenzt bei dem Übertragen in Schritt ii) und/oder in Schritt iii) durch die Bondmittel, insbesondere durch Laserstrahlung, fixiert werden. Bei dem Verfahren ist von entscheidender Bedeutung, dass bei der Übertragung die Bauteile jeweils einzeln fixiert werden oder die Fixierung aufgehoben werden kann, so dass auf diese Weise eine selektive Übertragung der Bauteile erfolgen kann. Ein lokal begrenztes wirken der Bondmittel auf zwei oder mehrerer Bauteile ist dabei ebenfalls denkbar. Jedoch kann jedes Bauteil individuell an dem Transfersubstrat oder dem Empfängersubstrat fixiert, insbesondere verbondet, werden. Auf diese Weise wird vorteilhaft eine Selektierung bei der Übertragung möglich.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass einzelne Bauteile oder mehrere Bauteile lokal begrenzt bei dem Übertragen in Schritt ii) und/oder in Schritt iii) durch die Debondmittel, freigegeben werden. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass bei dem Übertragen der Bauteile diese einzeln durch die Debondmittel freigegeben werden können, so dass nur ausgewählte Bauteile freigegeben beziehungsweise übertragen werden. Auf diese Weise können wiederum defekte Bauteile von der Übertragung durch ein Unterlassen der Freigabe von der Übertragung ausgeschlossen werden. Eine lokal begrenzte Freigabe von zweien oder mehreren Bauteilen ist ebenfalls denkbar. Auf diese Weise wird vorteilhaft eine Selektierung bei der Übertragung möglich.

Weiterhin ist bevorzugt vorgesehen, dass ein Fixieren der einzelnen Bauteile oder mehrerer lokal benachbarter Bauteile und ein Aufheben der Fixierung

- 6 -

der einzelnen Bauteile oder mehrerer lokal benachbarter Bauteile durch die Bondmittel beziehungsweise die Debondmittel gleichzeitig und/oder zeitlich und räumlich versetzt stattfindet. Die zu übernehmenden Bauteile werden dann beispielsweise zuerst an dem Transfersubstrat fixiert und anschließend wird die Fixierung am Gebersubstrat aufgehoben, so dass die Bauteile nicht bei der Übernahme verrutschen können. Gleiches gilt bei der Übertragung der Bauteile von dem Transfersubstrat an das Empfängersubstrat.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zur Selektion die Bauteile zumindest einmal durch eine, insbesondere elektrische, Prüfung auf Funktionalität geprüft werden. Auf diese Weise können insbesondere funktionalen Bauteile bestimmt werden die insbesondere nicht defekt sind. Funktionale Bauteile können die für sie vorgesehene Funktion erfüllen. Durch die Bestimmung der funktionalen Bauteile können diese selektiv von dem Gebersubstrat auf das Empfängersubstrat übertragen werden. Denkbar ist jedoch auch, dass Bauteile funktional sind, jedoch trotzdem nicht übertragen werden, da sie beispielsweise eine andere Funktion erfüllen, als die in dem Herstellungsprozess an der entsprechenden Position des Empfängersubstrates geforderte Funktion erfüllen. Auch ist denkbar, dass an der entsprechenden Position an dem Empfängersubstrat bereits ein entsprechendes, insbesondere funktionales, Bauteil mit der geforderten Funktion vorhanden ist.

Die elektrische Prüfung kann grundsätzlich vor, während oder nach der Übertragung stattfinden. Im Fall, dass die Bauteile auf dem Gebersubstrat erzeugt wurden, findet vorzugsweise eine Prüfung vor der Übertragung an das Transfersubstrat statt, damit fehlerhafte Bauteile nicht auf das Transfersubstrat übertragen werden. Eine zweite Prüfung nach der Übertragung an das Transfersubstrat ist ebenfalls denkbar. Insbesondere kann auch geprüft werden, ob die Bauteile an der vorgesehen Position angeordnet

- 7 -

sind. Sind die Bauteile verrutscht beziehungsweise an einer falschen Position angeordnet, kann auch in diesem Fall eine Übertragung verhindert werden, mithin eine Selektion stattfinden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Übertragen in Schritt ii) das Transfersubstrat die auf dem Gebersubstrat bereitgestellten Bauteile kontaktiert und/oder mit Druck beaufschlägt, so dass die Bauteile zwischen dem Gebersubstrat und dem Transfersubstrat in einer bestimmten Position gehalten werden. Auf diese Weise kann ein Verrutschen unterbunden werden, insbesondere wenn die Bauteile nicht oder nicht mehr an dem Gebersubstrat fixiert sind, und es kann die entsprechende Position bei der Fixierung und/oder bei der Aufhebung der Fixierung der Bauteile beibehalten werden. Weiterhin wird so ein Kontakt der Bauteile mit dem Transfersubstrat hergestellt, wodurch beispielsweise ein Bondvorgang an das Transfersubstrat ermöglicht wird.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Übertragen in Schritt iii) die auf dem Transfersubstrat angeordneten Bauteile das Empfängersubstrat kontaktieren und/oder mit Druck beaufschlagen, so dass die Bauteile zwischen dem Transfersubstrat und dem Empfängersubstrat gehalten werden. Auf diese Weise kann ein Verrutschen der Bauteile unterbunden werden, insbesondere wenn sie nicht oder nicht mehr an dem Transfersubstrat fixiert sind, und es kann die entsprechende Position bei der Fixierung und/oder bei der Aufhebung der Fixierung der Bauteile beibehalten werden. Weiterhin wird so ein Kontakt der Bauteile mit dem Empfängersubstrat hergestellt, wodurch beispielsweise ein Bondvorgang an das Empfängersubstrat ermöglicht wird.

- 8 -

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass auf dem Gebersubstrat und/oder dem Transfersubstrat und/oder dem Empfängersubstrat und/oder den Bauteilen eine Löseschicht und/oder eine Adhäsionsschicht aufgetragen ist, welche insbesondere durch wirken der Debondmittel und/oder der Bondmittel ihre Hafteigenschaften bezüglich der Bauteile in einem Haftbereich ändern. Dabei reagieren die Löseschicht und die Adhäsionsschicht insbesondere auf die Bond- und/oder Debondmittel. Dadurch kann beispielsweise ein Bauteil, welches auf einer Löseschicht fixiert ist, durch ein Debondmittel, insbesondere einen Laser, freigegeben werden, indem die Löseschicht vom Laser aufgeschmolzen wird und dadurch ein Ablösen des Bauteils ermöglicht werden. Ein Bauteil kann an einer Adhäsionsschicht durch das Einwirken eines Bondmittels, insbesondere eines Lasers, haften bleiben beziehungsweise fixiert werden. In Kombination mit strahlungsdurchlässigen Substraten oder entsprechenden Löchern in den Substraten können so vorteilhaft die einzelnen Bauteile selektiv fixiert werden und/oder eine Fixierung aufgehoben werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Gebersubstrat und/oder das Transfersubstrat und/oder das Empfängersubstrat für die Laserstrahlung durchlässig ausgebildet sind. Dadurch kann das Einbringen der Laserstrahlung vorteilhaft von der der Bauteil abgewandten Seite des jeweiligen Substrates erfolgen. Beispielsweise kann das Gebersubstrat ein Glas sein, welches auf der dem Bauteil zugewandten Seite eine Löseschicht aufweist, welche die Bauteile auf dem Gebersubstrat fixiert. Durch die Laserstrahlung wird dann die Löseschicht insbesondere aufgeschmolzen beziehungsweise die Hafteigenschaft der Löseschicht in dem Haftbereich der jeweiligen Bauteile herabgesetzt, so dass die jeweiligen Bauteile abgelöst werden können. Dieses Vorgehen kann sinngemäß auch auf das Transfersubstrat und das Empfängersubstrat angewendet werden. Auch ist ein solches Vorgehen bei einer Adhäsionsschicht denkbar, wobei die Hafteigenschaften erhöht werden

- 9 -

beziehungsweise die jeweiligen Bauteile temporär oder dauerhaft gebondet werden. Auch können die Substrate beispielsweise Löcher aufweisen, so dass die Laserstrahlung vorteilhaft eingebracht werden kann ohne eine Durchlässigkeit der Substrate für die Laserstrahlung vorauszusetzen.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Transfersubstrat Fixierelemente aufweist, welche die Bauteile bei dem Übertragen, insbesondere durch Oberflächenadhäsion, fixieren. Die Fixierelemente kontaktieren dann die auf dem Gebersubstrat bereitgestellten Bauteile und/oder beaufschlagen diese mit Druck. Dadurch werden die Bauteile an dem Transfersubstrat beziehungsweise an den Fixierelementen des Transfersubstrates fixiert. Die Fixierelemente können auch einzeln ansteuerbar ausgebildet sein, so dass die Fixierelemente selbst selektiv übernehmen können. In diesem Fall werden nur die Bauteile an den Fixierelemente fixiert, welche übertragen werden sollen. In einem anderen Fall ist auch denkbar, dass zunächst alle Bauteile an dem Transfersubstrat fixiert werden und anschließend bei der Übertragung an das Empfängersubstrat nur die zu übertragenden beziehungsweise ausgewählten Bauteile an das Empfängersubstrat durch ansteuerbare Fixierelemente übertragen werden. Auf diese Weise kann vorteilhaft und bauteilschonend eine Selektion bei der Übertragung durchgeführt werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Fixierelemente aus einem Polymerwerkstoff bestehen und/oder saugnapfähnlich ausgebildet sind. Die Fixierelemente sind vorzugsweise aus einem Kunststoff und sind regelmäßig auf der den Bauteilen zugewandten Seite des Transfersubstrates angeordnet. Insbesondere weist das Transfersubstrat für jedes Bauteil ein passendes Fixierelement auf. Die Fixierelemente sind vorzugsweise elastisch, wodurch insbesondere geringe Höhenunterschiede der Bauteile bei der Fixierung ausgeglichen werden

- 10 -

können. Auch ist denkbar, dass ein Ausgleichen der Höhenunterschiede durch ein biegsames und elastisches Transfersubstrat unterstützt beziehungsweise ermöglicht wird. Weiterhin ist die saugnapfähnliche Form vorteilhaft, da auf diese Weise eine Oberflächenadhäsionswirkung geschaffen werden kann, welche ohne zusätzliche Hilfsmittel die Bauteile fixieren kann.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Transfersubstrat bei dem Übertragen durch, insbesondere mechanische und/oder pneumatische, Mittel verformt wird, so dass sich insbesondere die Bauteile räumlich und/oder zeitlich versetzt, von den Fixierelementen lösen und/oder von den Fixierelementen fixiert werden. In diesem Fall ist das Transfersubstrat vorzugsweise an einem Transferstempel angeordnet beziehungsweise angebracht. Durch die Verformung, insbesondere eine konkave oder konvexe Krümmung, können bei der Übertragung der Zeitpunkt beziehungsweise der Ort einer Kontaktierung der Bauteile mit dem Transfersubstrat beziehungsweise mit den Fixierelementen eingestellt werden. Weiterhin kann durch die Verformung des Transfersubstrates vorteilhaft eine Kontaktierung der an dem Transfersubstrat fixierten Bauteile mit dem Empfängersubstrat und/oder mit den weiteren auf dem Empfängersubstrat angeordneten Bauteilen eingestellt werden. Auch ist ein vorteilhaft ein Freigeben der Bauteile nach der Übertragung an das Empfängersubstrat einstellbar. In diesem Sinne kann das Transfersubstrat auch als ein Bond- und/oder Debondmittel verstanden werden. Denkbar ist auch, dass das Gebersubstrat und/oder das Empfängersubstrat kontrolliert verformbar ausgebildet sind.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Transfersubstrat eine, insbesondere elastische, Folie ist. Wenn das Transfersubstrat als elastische Folie ausgebildet ist kann insbesondere eine schonende Kontaktierung beziehungsweise Beaufschlagung mit Druck auf die

- 11 -

Bauteile vorgenommen werden. Weiterhin ist die Folie in diesem Fall leichter verformbar. Vorzugsweise ist die Folie in einem Transferstempel angeordnet, welcher insbesondere durch mechanische und/oder pneumatische Mittel die Folie kontrolliert verformen kann.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die lichtemittierende Diode aus mehreren, insbesondere von unterschiedlichen Gebersubstraten bereitgestellten, übereinander und/oder nebeneinander angeordneten Bauteilen besteht. Auf diese Weise können mehrere unterschiedliche Bauteile auf das Empfängersubstrat und/oder auf die weiteren auf dem Empfängersubstrat angeordneten Bauteile übertragen werden. Der Herstellungsprozess kann somit flexibler gestaltet werden, insbesondere wenn nur gleiche elektronischen Bauteile mit einer gleichen Funktion auf jeweils einem Gebersubstrat erzeugt beziehungsweise bereitgestellt werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Positionen der Bauteile in einer elektronischen Datenverarbeitung (EDV) gespeichert werden. Die EDV kann so bestimmen welche Bauteile in welcher Reihenfolge übertragen werden. Dabei ist auch denkbar, dass die EDV die aktuelle Anordnung bereits übertragener Bauteile auf dem Empfängersubstrat berücksichtigt. Zusätzlich kann die EDV die Position der Bauteile analysieren und auf dieser Grundlage eine Ansteuerung der Bond- beziehungsweise der Debondmittel so ausführen, dass die Fixierung beziehungsweise die Aufhebung der Fixierung einzelner Bauteile effizienter abläuft. Insbesondere können so die Bond- beziehungsweise Debondmittel auf benachbarte Bauteile gleichzeitig einwirken. Dabei bleibt eine Einflussnahme auf einzelne Bauteile jedoch prinzipiell möglich.

- 12 -

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren um, insbesondere funktionale, Bauteile, insbesondere selektiv, von einem Gebersubstrat auf ein Empfängersubstrat zu transferieren. Der Transfer erfolgt dabei mit Hilfe eines Transfersubstrats. Bei den Bauteilen handelt es sich insbesondere um Mikrochips, Speicherbausteine, LEDs, MEMs etc. Denkbar sind auch Bauteile die erst in einer Aneinanderreihung, Anordnung oder Stapelung ein eigentliches funktionales Bauteil ergeben. Im weiteren Sinne ist unter Bauteil ein Teil zu verstehen, dass kleiner ist als die in der Offenbarungsschrift beschriebenen Substrate, insbesondere Geber-, Transfer- und Empfängersubstrat. Insbesondere kann es sich bei einem Bauteil einfach nur um eine Schicht eines speziellen Materials, insbesondere eine Oxidschicht oder Nitridschicht, handeln.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass nur funktionierende, nicht beschädigte, Bauteile auf das Empfängersubstrat übertragen werden. Funktionierende, nicht beschädigte, Bauteile sind in diesem Zusammenhang Bauteile, welche die elektrische Prüfung bestanden haben und somit funktionieren. Durch die selektive Übertragung kann mithin sichergestellt werden, dass nur die funktionierenden Bauteile vom Gebersubstrat auf das Empfängersubstrat übertragen werden. Auf diese Weise kann insbesondere die Anzahl an fehlerhaft hergestellten Produkten verringert werden und die Herstellung effizienter durchgeführt werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Bondmittel und/oder die Debondmittel ein Laser sind. Die von dem Laser abgegebene Laserstrahlung kann vollflächig und/oder sehr punktuell auf die Substrate beziehungsweise die Bauteile einwirken. Dabei kann durch die Laserstrahlung die Hafteigenschaft einer Oberfläche, insbesondere ein Teilbereich einer Substratoberfläche auf dem ein Bauteil fixiert ist

- 13 -

beziehungsweise aufliegt und/oder fixiert beziehungsweise aufliegen soll geändert werden. Insbesondere für die Fixierung oder ein Aufheben der Fixierung einzelner Bauteile ist ein Laser vorteilhaft, da ein Laser sehr ortsspezifisch einwirken kann. Weiterhin kann eine Einbringung der Laserstrahlung insbesondere durch mehrere Laser schnell erfolgen. Außerdem ist denkbar, dass mehrere benachbarte Bauteile, die die Prüfung bestanden haben, zusammen fixiert werden oder die Fixierung gleichzeitig durch einen insbesondere flächig wirkenden Laser aufgehoben wird. Auf diese Weise kann die Übertragung schneller und effizienter durchgeführt werden. Bei der Verwendung eines Lasers können die Substrate für die Strahlung des Lasers durchlässig ausgebildet sein. Für die Laserstrahlung durchlässige Materialien sowie Löcher in den Substraten sind dabei denkbar. Auch kann die Laserstrahlung seitlich vom Bauteil, insbesondere auf das Substrat, eingebracht werden. Prinzipiell können jedoch auch andere physikalische und/oder chemische und/oder mechanische wirkende Bond- und Debondmittel zum Einsatz kommen. Die Laserstrahlung eines Lasers, welche als Bondmittel und/oder Debondmittel eingesetzt wird, hat eine Wellenlänge im Wellenlängenbereich zwischen 10 nm und 100 μm , vorzugsweise zwischen 100 nm und 50 μm , am bevorzugtsten zwischen 200 nm und 6 μm . Die bevorzugte Wellenlänge kann nicht noch genauer angegeben werden, da die die Bond- und Debondmittel im Allgemeinen auch auf die entsprechenden Haftbereiche abgestimmt sein müssen. Werden Laser als Bond- und/oder Debondmittel verwendet, hängt die verwendete Wellenlänge, und/oder Intensität insbesondere davon ab, welche Art von Haftbereichen verwendet werden.

Die Bauteile können selektiv transferiert werden. Vorzugsweise wird dieselbe Technik zum Bonden und Debonden der Bauteile verwendet.

- 14 -

Bauteile

Bei den Bauteilen kann es sich daher beispielsweise um folgende Objekte handeln:

1. Schichten, insbesondere

1.1 Oxidschichten

1.2 Nitridschichten

1.3 Metallschichten, insbesondere aus

1.3.1 Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Co, Pt, W, Cr, Pb, Ti, Ta, Zn, Sn

1.4 Halbleiterschichten, insbesondere aus

1.4.1 Ge, Si, Alpha-Sn, Fullerene, B, Se, Te

1.5 Verbindungshalbleiterschichten, insbesondere aus

1.5.2 GaAs, GaN, InP, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, InSb, InAs, GaSb, AlN, InN, GaP, BeTe, ZnO, CuInGaSe_2 , ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, $\text{Hg}(1-x)\text{Cd}(x)\text{Te}$, BeSe, HgS, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, GaS, GaSe, GaTe, InS, InSe, InTe, CuInSe_2 , CuInS_2 , CuInGaS_2 , SiC, SiGe

1.6 Gläser, insbesondere

1.6.1 Saphirglas

2. Funktionale Bauteile

2.1 Mechanische Bauteile, insbesondere

2.1.2 MEMS

2.2 Elektronische Bauteile, insbesondere

2.2.1 LEDs,

2.2.2 Chips, insbesondere

2.2.2.1 Mikrochips,

2.2.3.2 Speicherchips.

- 15 -

Die Bauteile sind zwischen 0µm und 1000µm dick, vorzugsweise zwischen 0µm und 800µm, noch bevorzugter zwischen 0µm und 500µm, am bevorzugtesten zwischen 0µm und 250µm, am allebvorzugtesten zwischen 0µm und 100µm dick. Auf Grund der Miniaturisierung werden die Bauteile in Zukunft wahrscheinlich eher weniger als 10µm dick sein.

Bond- und Debondmittel

Ein wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, dass Bond- und Debondmittel, im weiteren Text zusammenfassend auch als Mittel bezeichnet, eingesetzt werden um die Bauteile an Substrate zu bonden bzw. von Substraten zu debonden. Diese Mittel können im Allgemeinen über die gesamte Fläche eines Substrats oder sehr ortsspezifisch einwirken. Mittel die großflächig wirken sind beispielsweise elektromagnetische Strahlen, insbesondere Wärmestrahlung, aus einem Flächenstrahler. Die Flächenstrahler besitzen dann vorzugsweise eine Strahlungsfläche, die mindestens genauso groß ist wie die Fläche des Substrats. Durch die Beaufschlagung einer Substratseite durch eine solche großflächig einwirkende, elektromagnetische Strahlung ist die einseitige Temperaturbeaufschlagung eines Substrats möglich. Denkbar wäre auch die Verwendung eines Lasers der durch optische Systeme verbreitert wird und auf die einzuwirkenden Oberflächen vollflächig einwirken kann.

Denkbar ist auch, dass man die Kammer in der sich die Substrate befinden auf eine Temperatur aufheizt. In diesem Fall würden die Substrate allerdings beidseitig erhitzt werden.

Die verwendeten Temperaturen sollten natürlich in Bereichen liegen, die nicht zu einer Schädigung der Bauteile und/oder der Substrate führen.

Vorzugsweise sind die Temperaturen daher möglichst gering. Die Temperatur zum Erzielen des erfindungsgemäßen Effekts ist kleiner als 1000°C,

- 16 -

vorzugsweise kleiner als 500°C, noch bevorzugter kleiner als 250°C, am bevorzugtesten kleiner als 100°C, am allerbevorzugtesten kleiner als 50°C.

In einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei den Mitteln um, insbesondere bewegliche, örtlich begrenzt einwirkende, elektromagnetische Strahler, insbesondere Laser. Durch eine Relativbewegung zwischen der zu bestrahlenden Oberfläche und den Lasern ist ein örtlich gezielt einstellbares Bonden und/oder Debonden möglich. Vorzugsweise sind die Mittel selbst statisch, während der Substrathalter, auf dem das Substrat bzw. die Substrate, fixiert werden, sich bewegt.

Gebersubstrat

Als Gebersubstrat wird ein Substrat bezeichnet, welches über mehrere Bauteile verfügt. Es stellt das Substrat dar, welches am Beginn des Transferprozesses steht und die Bauteile zur Verfügung stellt, die auf das Empfängersubstrat transferiert werden sollen.

In einer Ausführungsform können die Bauteile auf bzw. aus dem Gebersubstrat hergestellt worden sein. Insbesondere dann, wenn es sich bei den Bauteilen um einfache Schichten handelt, können diese durch spezielle physikalische und/oder chemische Prozesse direkt auf dem Gebersubstrat erzeugt und gegebenenfalls durch weitere Prozessschritte strukturiert werden.

In einer weiteren Ausführungsform wurden die Bauteile an einer anderen Stelle hergestellt und auf dem Gebersubstrat positioniert um im späteren Transferprozess vom Transfersubstrat aufgenommen zu werden. Die Bauteile sind dann vorzugsweise über einen Adhäsionsmechanismus mit dem Gebersubstrat verbunden. Das Gebersubstrat ist vorzugsweise so konstruiert, dass der Adhäsionsmechanismus, mit dessen Hilfe die Bauteile am

- 17 -

Gebersubstrat fixiert sind, von der Gebersubstratunterseite geschwächt werden kann. Vorzugsweise erfolgt die Schwächung durch einen Laser. Durch die Schwächung des Adhäsionsmechanismus können die Bauteile im späteren Transferprozess auf das Transfersubstrat leicht vom Gebersubstrat entfernt werden, nachdem sie zum Transfersubstrat gebondet worden sind. Die Schwächung des Adhäsionsmechanismus und die darauffolgende Entfernung des Bauteils wird auch als Debonden bezeichnet. Insbesondere kann der Debondprozess selektiv erfolgen. So ist es denkbar, dass nur jene Bauteile vom Gebersubstrat gelöst werden, die eine vorherige funktionale, insbesondere elektrische, Prüfung bestanden haben. Dadurch wird verhindert, dass beschädigte Bauteile transferiert werden.

Denkbar ist auch, dass die Bauteile einfach nur am Gebersubstrat abgelegt wurden und kein spezieller Fixiermechanismus zwischen dem Gebersubstrat und dem Bauteil wirkt.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Gebersubstrat um ein Glassubstrat.

In einer anderen Ausführungsform handelt es sich bei dem Gebersubstrat um einen Wafer, insbesondere einen Siliziumwafer.

In einer weiteren Ausführungsform handelt es sich bei dem Gebersubstrat um eine Folie. Die Folie wird vorzugsweise auf einem Rahmen aufgespannt um sie zu fixieren und zu stabilisieren. Denkbar ist allerdings auch, dass Vorrichtungen mit Endlosfolien verwendet werden um den Prozess durchzuführen.

- 18 -

In einer allgemeinsten Ausführungsform kann es sich bei einem Gebersubstrat um jede Art von, insbesondere planarer, Oberfläche handeln, von der Bauteile abgenommen werden können. Denkbar wäre beispielsweise eine Art von Tischoberfläche, Maschinenoberfläche oder Granitplattenoberfläche. Der Term Gebersubstrat ist daher, im Gegensatz zu den beiden anderen genannten Substratarten, dem Transfer- und dem Empfängersubstrat, breitest möglich auszulegen.

Transfersubstrat

Das Transfersubstrat dient dem Transport der Bauteile vom Geber- auf das Empfängersubstrat.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Transfersubstrat um eine Folie. Die Folie wird vorzugsweise auf einem Rahmen aufgespannt um sie zu fixieren und zu stabilisieren. Denkbar ist allerdings auch, dass Vorrichtungen mit Endlosfolien verwendet werden um den Prozess durchzuführen. Eine Folie hat den Vorteil, dass sie elastisch und nachgiebig ist, wodurch es besonders einfach wird, Bauteile bei Höhenunterschieden von einigen Mikro- oder Nanometer dennoch mit einer darunterliegenden Oberfläche zu kontaktieren.

In einer weniger bevorzugten Ausführungsform ist das Transfersubstrat aus Glas.

In einer am wenigsten bevorzugten Ausführungsform ist das Transfersubstrat ein Wafer, insbesondere handelt es sich um einen Siliziumwafer.

- 19 -

In einer Ausführungsform handelt es sich bei dem Transfersubstrat um ein Substrat mit mehreren Fixierelemente.

Die Fixierelemente dienen dem Festhalten der Bauteile. Bei den Fixierelementen kann es sich um

1. Mechanische Fixierungen, insbesondere
 - 1.1. Klemmen
 2. Vakuumfixierungen, insbesondere mit
 - 2.1. einzeln ansteuerbare Vakuumbahnen
 - 2.2. miteinander verbundenen Vakuumbahnen
 3. Elektrische Fixierungen, insbesondere
 - 3.1. Elektrostatische Fixierungen
 4. Magnetische Fixierungen
 5. Adhäsive Fixierungen, insbesondere
 6. Gel-Pak Fixierungen
 7. Fixierungen mit adhäsiven, insbesondere ansteuerbaren, Oberflächen
- handeln. Die Fixierelemente sind insbesondere elektronisch ansteuerbar. Eine Vakuumfixierung besteht vorzugsweise aus mehreren Vakuumbahnen, die an der Oberfläche des Transfersubstrats austreten. Die Vakuumbahnen sind vorzugsweise einzeln ansteuerbar.

Die Fixierelemente besitzen ungefähr die Größe der zu transferierenden Bauteile und sind vorzugsweise symmetrisch an der Oberfläche des Transfersubstrats angebracht. Die Fixierelemente sind vorzugsweise saugnapfähnlich konstruiert. Diese Art von Transfersubstrat wird im Zusammenhang mit einem Transferstempel verwendet, der in der Erfindungsoffenbarung ausführlich beschrieben wird.

- 20 -

Empfängersubstrat

Unter dem Empfängersubstrat versteht man das Produktsubstrat, auf dem sämtliche Bauteile, insbesondere von mehreren Transfersubstraten und/oder der wiederholten Anwendung desselben Transfersubstrats, fixiert werden.

Es können Bauteile von unterschiedlichen Gebersubstraten über ein oder mehrere Transfersubstrate auf dasselbe Empfängersubstrat transferiert werden. Dadurch wird eine besonders effiziente und vor allem diversifizierte Bauteilübertragung möglich. Bauteile unterschiedlicher Funktionalität können von mehreren Gebersubstrat bzw. Transfersubstratquellen auf demselben Empfängersubstrat gebondet werden. Dabei meint ein Transfer beziehungsweise eine Übertragung auf das Empfängersubstrat auch, dass die Bauteile an bereits auf dem Empfängersubstrat angeordnete, insbesondere gebondet, Bauteile erfolgen kann.

Die offenbaren Substrate können unterschiedlich beschichtet werden. Insbesondere handelt es sich bei den Schichten um funktionale Schichten, deren Hafteigenschaften durch eine äußere Beeinflussung verändert werden können. Dadurch ist es möglich, die Bauteile von einem Substrat auf ein anderes Substrat zu transferieren. Dabei ist vor allem eine lokal, d.h. auf ein einzelnes Bauteil, einwirkende Beeinflussung vorgesehen. Dieses Merkmal unterscheidet das Verfahren maßgeblich vom Stand der Technik, in der insbesondere Wärme zur vollflächigen Beeinflussung des gesamten Wafers verwendet wird um eine Änderung der Hafteigenschaften zu hervorzuführen.

Bondarten

Vorzugsweise wird mindestens eine der folgenden Bondarten verwendet, um die Bauteile mit einem Träger über einen Haftbereich zu verbinden:

- Adhäsionsbond,

- 21 -

- Metall-Metall-Bond,
- Eutektischer Bond,
- anodischer Bond, oder
- Fusionsbond.

Die einzeln aufgelisteten Bondarten werden nun bezüglich ihrer Funktionsweise näher beschrieben.

Beim Adhäsionsbond ist es denkbar, dass das einwirkende Bondmittel, insbesondere ein Laser, die Klebeeigenschaften des verwendeten Adhäsives zumindest verbessert. Denkbar wäre beispielsweise, dass durch die Einbringung von Wärme ein Vermischung zweier Komponenten des Adhäsives erfolgt, und dass erst durch die Mischung eine Klebeeigenschaft erzeugt wird. In einer anderen Ausführungsform handelt es sich beim Bondmittel für einen Adhäsionsbond um ein, insbesondere örtlich begrenzend einwirkendes, Kühlgerät, welches die Temperatur senkt. Denkbar wäre, dass das Adhäsiv Molekülseitenketten besitzt, die für die Klebeeigenschaft maßgeblich verantwortlich sind. Die Abkühlung könnte die thermische Bewegung reduzieren und die Molekülketten könnten, insbesondere durch Selbstassemblierung, eine stärkere parallele Ausrichtung erfahren, was zu einer Steigerung der Klebeeigenschaft führt.

Beim Metall-Metallbond besteht das Bondprinzip darin, dass zwei, insbesondere vollständig miteinander mischbare, Metalle miteinander kontaktiert und durch die Einwirkung eines Bondmittels, insbesondere eines Lasers, so aufgeheizt werden, dass sie sich durch Kompression und/oder Diffusion miteinander verbinden. Ein derartig erzeugter Bond ist in den meisten Fällen, insbesondere bei der Ausbildung intermetallischer Phasen, schwer zu trennen, sodass er insbesondere als Bond für einen Endzustand,

- 22 -

d.h. eine Verbindung eines Bauteils mit einer Oberfläche, die nicht mehr gelöst werden muss, eingesetzt werden sollte.

Beim eutektischen Bond besteht das Bondprinzip darin, dass mindestens zwei Metalle, die in der Lage sind ein Eutektikum auszubilden, über die eutektische Temperatur erwärmt werden. Vorzugsweise werden Metallkombinationen verwendet, deren eutektische Temperatur möglichst klein ist, sodass nur geringe Temperaturerhöhungen notwendig sind. Der Vorteil solcher eutektischen Legierungen besteht darin, dass das Eutektikum beliebig oft, aufgeschmolzen werden kann. Im Gegensatz zu einem Metall-Metallbond mit relativ hohem Schmelzpunkt eignen sich daher die Eutektischen Bonds auch für Debondvorgänge. Nachteilig ist allerdings, dass der Debondvorgang oberhalb der eutektischen Temperatur stattfinden muss, in der eine nicht vernachlässigbare Menge an Schmelze vorhanden ist, die Teile der Substrate verunreinigen könnte.

Beim anodischen Bond wird die Bewegung von Ionen durch die Anlegung eines elektrischen Feldes begünstigt. Anodische Bonds werden vorwiegend für Glassubstrate verwendet. Auf dieses Bondverfahren wird nicht näher eingegangen. Es ist dem Fachmann bekannt.

Eines der wichtigsten Bondverfahren für das erfindungsgemäße Verfahren ist der Fusionsbond. Beim Fusionsbond werden die, insbesondere gereinigten und mit Plasma behandelten, zu verbindenden Oberflächen direkt, insbesondere bei Raumtemperatur, miteinander kontaktiert. Dadurch kommt es zur Ausbildung eines Pre-Bonds. Der Pre-Bond wird vorzugsweise durch eine Temperaturerhöhung in einen permanenten Bond überführt. Dem Fachmann auf dem Gebiet sind auch derartige Mechanismen bestens bekannt. Der Fusionsbond ist für das erfindungsgemäße Verfahren vor allem deshalb bevorzugt, weil ein Pre-Bond zwischen einer Bauteiloberfläche und dem

- 23 -

Trägersubstrat eine schnelle und effiziente Methode darstellt, das Bauteil am Trägersubstrat, leicht lösbar, temporär zu fixieren. Das Trägersubstrat muss in diesem Fall natürlich für Fusionsbonds bzw. die Pre-Bonds geeignet sein. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Fusionsbonds in der Halbleiterindustrie angestrebt werden, um mehrere Bauteile direkt miteinander zu verbinden, vorzugsweise über sogenannte Hybridbonds. Diese besonders bevorzugte Ausführungsform wird im Text noch eingehender beschrieben werden.

Beim Transfer der Bauteile vom Geber- auf das Transfersubstrat muss das Bondverfahren gewählt werden, mit dessen Hilfe das Bauteil gut genug am Transfersubstrat fixiert werden kann. Dieser erzeugte Bond muss allerdings beim Transfer des Bauteils vom Transfer- auf das Empfängersubstrat wieder leicht genug durch ein Debondmittel lösbar sein. Von Bedeutung ist daher die richtige Kombination von Bondart und Bond- bzw. Debondmittel um den Transfer der Bauteile reibungslos, insbesondere fehlerfrei, durchführen zu können.

Besonders bevorzugt handelt es sich beim Trägersubstrat um eine Folie oder ein steifes Substrat mit einer Klebeschicht. In diesem Fall kann es sein, dass der Kleber der Klebeschicht selbstklebend ist, d.h. nicht durch ein erfindungsgemäßes Bondmittel wie beispielsweise einen Kleber aktiviert werden muss. Vorteilhafterweise wird allerdings die Klebestärke der Klebeschicht durch die Einwirkung eines adäquaten Bondmittels zumindest verbessert.

In einer besonderen Ausführungsform wird ein Mehrschichtsystem verwendet um die Bauteile an einen Träger zu bonden. Denkbar ist beispielsweise, dass ein Schichtsystem, bestehend aus einer Löseschicht (engl.: release layer) und einer adhäsiven Schicht (engl.: adhesive layer) kombiniert werden. Die

- 24 -

Löseschicht kann auch Reaktionsschicht genannt werden, da die Einwirkung eines Debondmittels zu einer Reaktion führt, die zu einer Haftverminderung zwischen Träger und Bauteil führt und so die Loslösung des Bauteils vom Träger ermöglicht. Die Reihenfolge von Löseschicht und Adhäsionsschicht sind beliebig, vorzugsweise wird die Löseschicht allerdings am Träger aufgebracht. Die Druckschrift WO2017076682A1 offenbart beispielsweise ein Mehrschichtsystem, bei dem die Löseschicht am Produktsubstrat und nicht am Trägersubstrat aufgebracht wird. Die Erfindungsoffenbarung fasst die Verwendung eines solchen Mehrschichtsystems unter dem allgemeineren Begriff des Haftbereichs zusammen.

Die Schichtsysteme können vollflächig auf einem der Substrate und/oder auf den Bauteilen aufgebracht werden. Technisch ist eine vollflächige Aufbringung eines Schichtsystems auf einem Substrat leichter, da man auf bekannte Beschichtungstechnologien wie Schleuder- und/oder Sprühbelackung zurückgreifen kann. Eine partielle Aufbringung eines solchen Schichtsystems auf einem Substrat ist zwar möglich, aber auf Grund des Aufwandes weniger bevorzugt. Denkbar ist natürlich eine vollflächige Aufbringung eines Schichtsystems mit nachträglicher Strukturierung. Sollte ein Schichtsystem, auf einem Bauteil aufgebracht werden, bedeckt es dessen Oberfläche vorzugsweise vollständig.

Transferprozesse

In einem **ersten** Prozessschritt eines ersten erfindungsgemäßen beispielhaften Verfahrens werden Bauteile auf einem Gebersubstrat erzeugt oder abgelegt. Die Bauteile können entweder auf das Gebersubstrat bestückt oder direkt am Gebersubstrat hergestellt werden. Die Bauteile sind insbesondere über ihre erste Bauteiloberfläche so mit der Gebersubstratoberfläche verbunden sein, dass eine einfache, insbesondere gezielt gesteuerte, Loslösung der Bauteile von der Gebersubstratoberfläche erfolgen kann. Sollte keine Verbindung

- 25 -

zwischen dem Gebersubstrat und dem Bauteil bestehen, weil die Bauteile am Gebersubstrat beispielsweise einfach nur abgelegt wurden, sind sie umso einfacher vom Gebersubstrat zu entfernen.

In einem optionalen **zweiten** Schritt des ersten Prozesses, kann jedes einzelne Bauteil auf seine Funktionstauglichkeit geprüft werden. Die Position defekter oder nicht den Vorgaben entsprechender Bauteile können von einem Computerprogramm gespeichert werden um einen späteren Transferprozess der Bauteile zu verhindern. Insbesondere kann dieser Prozessschritt auch schon vor dem ersten Prozessschritt für jedes Bauteil im Einzelnen erfolgen. Technisch kann es allerdings vorteilhaft sein, die Bauteile zuerst zu Positionieren und dann durch eine automatisierte Messsonde rasch zu prüfen.

In einem **dritten** Prozessschritt des ersten Prozesses erfolgt die Ausrichtung eines Transfersubstrats zum Gebersubstrat. Die Ausrichtung erfolgt dabei mechanisch und/oder optisch. Vorzugsweise erfolgt eine Ausrichtung über Ausrichtungsmarken, die sich am Geber und am Transfersubstrat befinden. Für die Ausrichtung werden vorzugsweise optische Ausrichtungsanlagen verwendet.

In einem **vierten** Prozessschritt des ersten Prozesses werden die zweiten Bauteiloberflächen der Bauteile, welche insbesondere der ersten Bauteiloberfläche gegenüber liegenden, auf dem Gebersubstrat mit der Transfersubstratoberfläche in Kontakt gebracht oder zumindest so weit angenähert, dass die Bauteile vom Gebersubstrat auf das Transfersubstrat übertragen werden können. Insbesondere kann es notwendig sein, dass Transfersubstrat und/oder das Gebersubstrat lokal soweit zu verformen, dass die zweite Bauteiloberfläche die Transfersubstratoberfläche kontaktiert. Handelt es sich beim Transfersubstrat um eine Folie, kann dieser Vorgang besonders einfach durchgeführt werden, da die Folie lokal sehr leicht

- 26 -

verformbar ist. Denkbar wäre beispielsweise die Verformung durch einen kleinen Stempel von der Rückseite der Folie. Der Stempel wird insbesondere mit dem Laser bzw. den Laserbauteilen kombiniert.

In einem **fünften** Prozessschritt des ersten Prozesses erfolgt ein Bond zwischen der zweiten Bauteiloberfläche der Bauteile auf dem Gebersubstrat und der Transfersubstratoberfläche. Bei dem Bond handelt es sich vorzugsweise um einen Temporärbond. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt der Bond zwischen der zweiten Bauteiloberfläche eines jeden einzelnen Bauteils und der Transfersubstratoberfläche einzeln, daher selektiv. In diesem Prozessschritt kann daher bereits entschieden werden, welches der Bauteile überhaupt transferiert werden soll. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt der Bond mit Hilfe eines Lasers. Die unterschiedlichen Möglichkeiten einen Bond zu erzeugen werden in der Offenlegungsschrift an anderen Stellen ausführlich erläutert.

In einem **sechsten** Prozessschritt des ersten Prozesses erfolgt ein Debond zwischen der ersten Bauteiloberfläche der Bauteile auf dem Gebersubstrat und der Gebersubstratoberfläche.

Denkbar wäre auch, dass die Prozessschritte fünf und sechs miteinander vertauscht sind, d.h. dass zuerst der Debondprozess zwischen der ersten Bauteiloberfläche der Bauteile auf dem Gebersubstrat erfolgt und danach erst der Bondprozess zwischen der zweiten Bauteiloberfläche der Bauteile und dem Transfersubstrat erfolgt. Die Vertauschung der Prozessschritte ist auf Grund einer, insbesondere beidseitig, auf die Bauteile wirkenden Kraft möglich, welche die Bauteile in Position hält. Allerdings besteht bei der Vertauschung der Prozessschritt die Gefahr, dass die Bauteile verrutschen. Auch denkbar wäre es, dass der Bond- und der Debondprozess gleichzeitig stattfinden.

- 27 -

In einer anderen Ausführungsform wäre es denkbar, dass der Bond- und der Debondprozess gleichzeitig stattfinden.

In einem **siebten** Prozessschritt des ersten Prozesses erfolgt eine Ausrichtung des zuvor bestückten Transfersubstrats mit einem Empfängersubstrats. Die Ausrichtung erfolgt dabei mechanisch und/oder optisch. Vorzugsweise erfolgt eine Ausrichtung über Ausrichtungsmarken, die sich am Transfer und am Empfängersubstrat befinden. Für die Ausrichtung werden vorzugsweise optische Ausrichtungsanlagen verwendet.

In einem **achten** Prozessschritt des ersten Prozesses werden die ersten Bauteiloberflächen der Bauteile auf dem Transfersubstrat mit der Empfängersubstratoberfläche oder mit den zweiten Oberflächen anderer, bereits auf dem Empfängersubstrat bestückten, Bauteile in Kontakt gebracht. Insbesondere kann es notwendig sein, dass Transfersubstrat und/oder das Empfängersubstrat lokal soweit zu verformen, dass die erste Bauteiloberfläche die Empfängersubstratoberfläche beziehungsweise die Oberfläche der zuvor fixierten Bauteile kontaktiert. Alle Vor- und Nachteile der Verformung wurden bereits im vierten Schritt bei der Aufnahme des Bauteils auf das Transfersubstrat beschrieben und können entsprechend für den achten Schritt sinngemäß übernommen werden.

In einem neunten Prozessschritt wird dann erneut ein Debond- und Bondvorgang durchgeführt. Der Debondvorgang findet diesmal zwischen den Bauteilen am Transfersubstrat und dem Transfersubstrat statt, während die Bauteile, insbesondere gleichzeitig, an der Empfängersubstratoberfläche oder mit den zweiten Oberflächen anderer, bereits auf dem Empfängersubstrat bestückten, Bauteilen gebondet werden. Die dabei angewandten Bond- bzw.

- 28 -

Debondvorgänge sind in der Offenbarung beschrieben und werden abhängig von der jeweils notwendigen Situation ausgewählt. Insbesondere beim Stapeln mehrerer Bauteilen übereinander, werden diese Fusionsgebondet, vorzugsweise Hybridgebondet, sofern sie über Hybridoberflächen verfügen. Durch einen Hybridbond wird vorteilhafterweise eine notwendige elektrisch leitende Verbindung zwischen den Bauteilen hergestellt.

In einem zweiten erfindungsgemäßen beispielhaften Transferprozess besitzt das Transfersubstrat insbesondere einzelne Fixierelemente, welche über Oberflächenadhäsion in der Lage sind, Bauteile zu fixieren. Bei den Fixierelementen handelt es sich vorzugsweise um sehr elastische, biege- und dehnbare, vorzugsweise aus Polymerwerkstoffen hergestellte Körper. Anschaulich kann man sich unter den Fixierelementen eine Art Saugnapf vorstellen. Bei der Verwendung eines derartigen Trägers kommen insbesondere gänzlich andere Bond und Debondmittel zum Einsatz.

Unter einem Bondmittel versteht man in diesem Fall eine Kontaktierung der Fixierelemente mit den Bauteilen auf einem Gebersubstrat, insbesondere in Kombination mit einer Kraftbeaufschlagung. Die Kraftbeaufschlagung kann durch ein Druckelement, beispielsweise durch eine Rolle, erfolgen.

Die einwirkende Kraft liegt im Bereich zwischen 0 MPa und 1000 MPa, vorzugsweise zwischen 0 MPa und 750 MPa, noch bevorzugter zwischen 0 MPa und 500 MPa, am bevorzugtesten zwischen 0 MPa und 250 MPa, am allerbevorzugtesten zwischen 0 MPa und 100 MPa.

Denkbar ist auch, dass man den Druck in der Kammer, in dem die Fixierelemente mit den Bauteilen kontaktiert werden erhöht. Dadurch werden die Fixierelemente stärker auf die Bauteile gedrückt.

- 29 -

Unter einem Debondmittel versteht man in diesem Fall vor allem eine Biegung des Transfersubstrat in der Form, dass sich die Fixierelemente sukzessive, insbesondere von außen nach innen von den Bauteilen lösen, nachdem die Bauteile auf dem Empfängersubstrat fixiert, insbesondere permanent gebondet wurden. Dieser Bondvorgang kann beispielsweise sehr wohl mit einem Bondmittel aus dem ersten Prozess, beispielsweise einem Laser, erfolgen.

Bei dem zweiten beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahren wird einen Transferstempel verwendet, der an der Unterseite ein Transfersubstrat mit mehreren Fixierelementen besitzt. Der Prozess unterscheidet sich vor allem dadurch, dass der Transferstempel um einiges komplizierter aufgebaut ist als die einfachen Transfersubstrate. Er verfügt neben einem Transfersubstrat vorzugsweise noch über weitere Kontrollmittel, welche insbesondere die Krümmung des Transfersubstrats beeinflussen und vor allem steuern können. Des Weiteren weist das Transfersubstrat Fixierelemente auf, die den vorher beschriebenen Transfersubstraten fehlen. Denkbar wäre auch eine Verwendung des Transfersubstrats mit den jeweiligen Fixierelementen ohne einen dahinterliegenden Stempel. Dann müssten die Krümmungen zum Bonden und Debonden allerdings durch andere mechanische und/oder pneumatische und/oder hydraulische Mittel erfolgen, die vom Transfersubstrat unabhängig zu betrachten wären. Der zweite Prozess wird nun im Detail beschrieben.

In einem **ersten** Prozessschritt des zweiten Prozesses werden Bauteile auf einem Gebersubstrat erzeugt oder abgelegt. Die Bauteile können entweder auf das Gebersubstrat bestückt oder direkt am Gebersubstrat hergestellt werden. Die Bauteile müssen über ihre erste Bauteiloberfläche so mit der Gebersubstratoberfläche verbunden sein, dass eine einfache, insbesondere

- 30 -

gezielt gesteuerte, Loslösung der Bauteile von der Gebersubstratoberfläche erfolgen kann. Sollte keine Verbindung zwischen dem Gebersubstrat und dem Bauteil bestehen, weil die Bauteile am Gebersubstrat beispielsweise einfach nur abgelegt wurden, sind sie umso einfacher vom Gebersubstrat zu entfernen. Nachteilig wirkt sich allerdings aus, dass die Bauteile in diesem Fall verrutschen könnten bevor und/oder während sie durch das Transfersubstrat in einem weiteren Prozessschritt kontaktiert werden.

In einem optionalen **zweiten** Schritt des zweiten Prozesses, kann jedes einzelne Bauteil auf seine Funktionstauglichkeit geprüft werden. Die Position defekter oder nicht den Vorgaben entsprechender Bauteile können von einem Computerprogramm gespeichert werden um einen späteren Transferprozess der Bauteile zu verhindern. Insbesondere kann dieser Prozessschritt auch schon vor dem ersten Prozessschritt für jedes Bauteil im Einzelnen erfolgen. Technisch kann es allerdings vorteilhaft sein, die Bauteile zuerst zu Positionieren und dann durch eine automatisierte Messsonde rasch zu prüfen.

In einem **dritten** Prozessschritt des zweiten Prozesses erfolgt die Ausrichtung des Gebersubstrats zu einem Transfersubstrat. Das Transfersubstrat ist vorzugsweise Teil eines Transferstempels, kann aber auch alleine verwendet werden. Das Transfersubstrat verfügt im Gegensatz zum Gebersubstrat aus dem ersten Prozess über mehrere Fixierelemente. Die Ausrichtung erfolgt dabei mechanisch und/oder optisch. Vorzugsweise erfolgt eine Ausrichtung über Ausrichtungsmarken, die sich am Geber und am Transfersubstrat befinden. Für die Ausrichtung werden vorzugsweise optische Ausrichtungsanlagen verwendet. Das Transfersubstrat wird insbesondere so positioniert, dass sich die Fixierelemente des Transfersubstrats über den zu transferierenden Bauteilen befinden. Dieser Aspekt unterscheidet sich vom ersten Prozess.

- 31 -

In einem **vierten** Prozessschritt des zweiten Prozesses werden die zweiten Bauteiloberflächen der Bauteile auf dem Gebersubstrat mit der den Fixierelementoberflächen der Fixierelemente in Kontakt gebracht. Insbesondere kann es notwendig sein, dass Transfersubstrat und/oder das Gebersubstrat lokal soweit zu verformen, dass die zweiten Bauteiloberflächen die Fixierelementoberflächen kontaktiert. Handelt es sich beim Transfersubstrat um eine Folie, kann dieser Vorgang besonders einfach durchgeführt werden, da die Folie lokal sehr leicht verformbar ist. Allerdings ist die Kombination der Fixierelemente mit einer Folie technisch nachteilig, da die Folie über zu wenig Stabilität für die Fixierelemente verfügen dürfte. Daher werden die Fixierelemente vorzugsweise auf Transfersubstraten hergestellt oder befestigt, die über eine nötige Stabilität, insbesondere eine gewisse Steifigkeit verfügen. Da es sich bei den Fixierelementen vorzugsweise um polymere Fixierelemente, insbesondere Saugnapfähnliche Fixierelemente handelt, ist es denkbar, die Verformung des Transfersubstrats durch die Erzeugung eines Überdrucks durchzuführen. Sollen die Bauteile im Vakuum vom Geber- auf das Transfersubstrat übertragen werden, ist die Verwendung von mechanischen Hilfsmitteln zur Druckbeaufschlagung, insbesondere Rollen denkbar. In einer besonders einfachen Ausführungsform wird allerdings nur das Transfersubstrat soweit in Richtung des Gebersubstrats bewegt, dass durch die Bewegung genug Druck aufgebaut wird um einen vollständigen Kontakt zwischen den Fixierelementen und den Bauteilen zu erzeugen.

In einem **fünften** Prozessschritt des zweiten Prozesses erfolgt ein Bond zwischen der zweiten Bauteiloberfläche der Bauteile auf dem Gebersubstrat und der Transfersubstratoberfläche. Bei dem Bond handelt es sich vorzugsweise um einen Temporärbond. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt der Bond zwischen der zweiten Bauteiloberfläche eines jeden einzelnen Bauteils und der Transfersubstratoberfläche einzeln, daher selektiv. In diesem Prozessschritt kann daher bereits entschieden

- 32 -

werden, welches der Bauteile überhaupt transferiert werden soll. Da im zweiten Prozess allerdings Fixierelemente verwendet werden, kann die selektive Auswahl von zu transferierenden Bauteilen nur dann erfolgen, wenn die Fixierelemente selbst schaltbar beziehungsweise regelbar sind. Denkbar wären schaltbare, adhäsive Fixierelemente, die durch Strom ihre Adhäsionseigenschaften ändern können. Sind die Fixierelemente saugnapfähnlich ausgebildet, wäre es denkbar, einen selektiven Bondvorgang durch eine gezielte, örtliche Krafteinwirkung zu erzeugen. Dazu müsste das Kraftbeaufschlagungsmittel von der Rückseite allerdings selbst örtlich selektiv einwirken können, d.h. einen begrenzten Durchmesser haben. Denkbar wäre beispielsweise die Verwendung eines Stiftes. Insbesondere bei der Verwendung eines Transferstempels müsste sich dieser Stift wohl innerhalb des Transferstempels befinden. Entsprechend kompliziert wäre die Konstruktion eines Transferstempels. Denkbar wäre allerdings einen kleinen x-y Translationseinheit hinter der Transferstempeloberfläche vorzusehen, welche einen Stift in z-Richtung bewegen kann. Wird auf den Transferstempel verzichtet, müssen die Kraftbeaufschlagungsmittel Teil der Anlage sein, in der der Transfer der Bauteile erfolgt.

In einem **sechsten** Prozessschritt des zweiten Prozesses erfolgt ein Debond zwischen der ersten Bauteiloberfläche der Bauteile auf dem Gebersubstrat und der Gebersubstratoberfläche.

Denkbar wäre auch, dass die Prozessschritte fünf und sechs miteinander vertauscht sind, d.h. dass zuerst der Debondprozess zwischen der ersten Bauteiloberfläche der Bauteile auf dem Gebersubstrat erfolgt und danach erst der Bondprozess zwischen der zweiten Bauteiloberfläche der Bauteile und dem Transfersubstrat erfolgt. Die Vertauschung der Prozessschritte ist auf Grund einer, insbesondere beidseitig, auf die Bauteile wirkenden Kraft

- 33 -

möglich, welche die Bauteile in Position hält. Allerdings besteht bei der Vertauschung der Prozessschritt die Gefahr, dass die Bauteile verrutschen.

In einer anderen Ausführungsform wäre es denkbar, dass der Bond- und der Debondprozess gleichzeitig stattfinden.

In einem **siebten** Prozessschritt des zweiten Prozesses erfolgt eine Ausrichtung des zuvor bestückten Transfersubstrats mit einem Empfängersubstrats. Die Ausrichtung erfolgt dabei mechanisch und/oder optisch. Vorzugsweise erfolgt eine Ausrichtung über Ausrichtungsmarken, die sich am Transfer und am Empfängersubstrat befinden. Für die Ausrichtung werden vorzugsweise optische Ausrichtungsanlagen verwendet.

In einem **achten** Prozessschritt des zweiten Prozesses werden die ersten Bauteiloberflächen der Bauteile auf dem Transfersubstrat mit der Empfängersubstratoberfläche oder mit den zweiten Oberflächen anderer, bereits auf dem Empfängersubstrat bestückten Bauteile in Kontakt gebracht. Insbesondere kann es notwendig sein, dass Transfersubstrat und/oder das Empfängersubstrat lokal oder global soweit zu verformen, dass die erste Bauteiloberfläche die Empfängersubstratoberfläche kontaktiert. Denkbar ist vor allem eine globale Krümmung des Transfersubstrats durch eine Druckvorrichtung, welche sich hinter dem Transfersubstrat befindet.

Der neunte Prozessschritt umfasst vor allem die Lösung der Bauteile von den Fixierelementen des Transfersubstrats, was dem Debondvorgang entspricht. Der Bondvorgang zwischen den Bauteilen und der Empfängersubstratoberfläche bzw. den zweiten Oberflächen anderer, bereits auf dem Empfängersubstrat bestückten, Bauteilen erfolgt wieder analog zu

- 34 -

bereits in der Offenbarung genannten Methoden. Insbesondere handelt es sich auch diesmal wieder um einen Fusionsbond, vorzugsweise einen Hybridbond.

Alle Vor- und Nachteile der Verformung wurden bereits im vierten Schritt bei der Aufnahme des Bauteils auf das Transfersubstrat beschrieben und können entsprechend für den achten Schritt sinngemäß übernommen werden.

Der Unterschied zwischen dem ersten und dem zweiten Prozess besteht also vor allem darin, dass im zweiten Prozess die Fixierelemente als wichtige technische Komponente eingesetzt werden.

Der Positionierung beziehungsweise der Anordnung von Bauteilen kommt eine wichtige Aufgabe zu. In einer besonderen Erweiterung der Erfindung stellen sich die Positionen der Bauteile durch einen Selbstassemblierungsprozess selbst ein. Dazu muss die Oberfläche, auf der die Bauteile positioniert werden sollen, speziell präpariert werden.

Eine Ausführungsform der Selbstassemblierung besteht in der Beschichtung der Oberfläche mit einer niedrig adhäsiven Schicht (engl.: ASL, anti sticking layer), die nur jene Bereiche der Oberfläche bedeckt, in denen die Bauteile nicht positioniert werden dürfen. Diese Bereiche werden im Weiteren als ASL Bereiche bezeichnet. Die Bereiche der Oberfläche an denen die Bauteile positioniert werden sollen werden von der niedrig adhäsiven Schicht nicht bedeckt und besitzen daher eine, insbesondere relativ zur niedrig adhäsiven Schicht, eine hohe Adhäsion. Diese Bereiche werden im Weiteren als Adhäsionsbereiche bezeichnet. Werden die Bauteile nun auf den Adhäsionsbereichen positioniert, werden Positionsfehler im Mikrometer- oder Nanometerbereich automatisch dadurch korrigiert, dass sich die Bauteile durch einen vorhandenen Adhäsionsgradienten in die Adhäsionsbereiche

- 35 -

bewegen. Vorzugsweise sind die Adhäsionsbereiche selbst symmetrisch, insbesondere zumindest rechteckig. Je höher die Symmetrie der Adhäsionsbereiche, desto effizienter der Selbstassemblierungsprozess.

Eine weitere Ausführungsform der Selbstassemblierung besteht darin, dass die Bereiche, in denen ein Bauteil positioniert werden soll, mit einem Fluid beschichtet werden. Die restliche Umgebung, in der keine Bauteile positioniert werden sollen, bleibt unbehandelt. Legt man ein Bauteil auf einen dieser Bereiche ab, wird das Bauteil durch entstehende Adhäsionsprozesse und Energieminimierungsprozesse so ins Zentrum des Fluids gezogen, dass es durch den Selbstassemblierungsprozess symmetrisch zum Fluid positioniert wird. Wurde das Fluid also sehr exakt, insbesondere mit Mikrometer- oder Nanometergenauigkeit, abgeschieden und weist die Kontaktfläche des zu positionierenden Bauteils dieselbe Form wie das Fluid auf, wird sich das Bauteil vorzugsweise so ausrichten, dass es symmetrisch zum Fluid zum Stillstand kommt. Es schwimmt quasi über das Fluid. Diese erfindungsgemäße Selbstassemblierung ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn das Fluid zwischen der Oberfläche und dem Bauteil dauerhaft oder zumindest bis zur weiteren Entfernung des Bauteils auf ein anderes Substrat vorhanden sein darf.

Mehrschicht LED

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird das Verfahren dazu verwendet, um eine lichtemittierende Diode (LED), vorzugsweise eine Weißlicht LED (wLED), zu erzeugen. Die wLED kann dabei auf vielfältige Art und Weise hergestellt werden.

Es gibt mehrere Arten Weißlicht in der Halbleiterindustrie herzustellen. Eine Möglichkeit besteht in der Verwendung phosphoreszierender Schichten, die

- 36 -

von einer Anregungsstrahlung angestrahlt werden und ein breitbandigeres Spektrum an Licht emittieren (WO2013041136A1).

Eine weitere Möglichkeit Weißlicht herzustellen besteht in der Herstellung einer wLED, die aus drei einzelnen LEDs besteht, von der jede einzelne LED Licht in einem spezifischen Wellenlängenbereich emittiert, insbesondere im roten (rLED), grünen (gLED) und blauen (bLED) Wellenlängenbereich. Durch die Mischung der drei Farbkomponenten kann man weißes Licht erzeugen. Jede der drei einzelnen LEDs wird, im Allgemeinen, durch unterschiedliche Materialien und Herstellprozesse etc. erzeugt. Jeder der einzelnen LEDs wird als Bauteil angesehen, dass mit Hilfe des Prozesses auf einem Empfängersubstrat zu einer voll funktionstüchtigen wLED kombiniert werden kann.

In einer **ersten** beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsform besteht die zu erzeugende wLED aus drei nebeneinander angeordneten LEDs (rLED, gLED und bLED).

In einer **zweiten**, bevorzugten Ausführungsform besteht die zu erzeugende wLED aus drei übereinander gestapelten LEDs (rLED, gLED und bLED). Um zu gewährleisten, dass das Licht der untersten LED und/oder der mittleren LED nicht durch die darüber liegende LED bzw. liegenden LEDs zu stark absorbiert wird, kann die Größe der LEDs von unten nach oben hin kontinuierlich abnehmen. In einer verbesserten zweiten Ausführungsform ist die unterste LED vollflächig, die darauf gebondete, mittlere LED ringförmig und die oberste LED ebenfalls ringförmig mit einem größeren Innenradius als die mittlere LED. Die Form der ringförmigen LEDs kann rechteckig oder kreisförmig sein.

- 37 -

Vorzugsweise werden die LEDs so gestapelt, dass die Absorption durch die darüber liegenden LEDs minimiert wird. Die korrekte Reihenfolge muss im Allgemeinen empirisch bestimmt werden und hängt vor allem vom Material der einzelnen LEDs ab.

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 einen ersten Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 1b einen zweiten Prozessschritt,
- Figur 1c einen dritten Prozessschritt,
- Figur 1d einen vierten Prozessschritt,
- Figur 1e einen fünften Prozessschritt,
- Figur 1f einen sechsten Prozessschritt,
- Figur 2 ein vollbestücktes erfindungsgemäßes Empfängersubstrat
- Figur 3a ein Transfersubstrat mit einem Transferstempel in einer ersten Position,
- Figur 3b einen Transferstempel in einer zweiten Position,
- Figur 3c einen Transferstempel in einer dritten Position,
- Figur 4 eine erste erfindungsgemäße Weißlichtdiode (wLED)
- Figur 5 eine zweite erfindungsgemäße Weißlichtdiode (wLED)

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

- 38 -

Die Figuren sind nicht maßstabsgetreu gezeichnet. Insbesondere werden die Haftbereiche 3 der Anschaulichkeit halber sehr dick dargestellt. Der Grund für die übertriebene Darstellung der Haftbereiche 3 besteht darin, dass die Verwendung der Bondmittel 6 und der Debondmittel 7, welche die Haftbereiche 3 erzeugen bzw. wieder auflösen ein wesentliches Merkmal der Erfindung ist. Sind die Haftbereiche 3 sichtbar dargestellt, ist insbesondere eine Haftung zwischen den, den Haftbereich 3 berührenden, Bauteilen vorhanden. Ist kein Haftbereich 3 dargestellt, ist eine solche Haftung nicht oder in so geringem Ausmaß vorhanden, dass sie technisch vernachlässigt werden kann. Ein an einer gewissen Position nicht eingezeichneter Haftbereich 3 bedeutet nicht, dass sich an dieser Position kein Haftvermittler, beispielsweise ein Kleber, mehr befinden muss. Es bedeutet nur, dass der Haftvermittler, insbesondere der Kleber, keine oder eine zumindest vernachlässigbare Haftwirkung besitzt, insbesondere weil die Haftwirkung durch ein Debondmittel 7 geändert, insbesondere reduziert oder sogar vollständig aufgehoben wurde.

Die **Figur 1a** zeigt einen ersten Prozessschritt bei dem ein Gebersubstrat 1, mit mehreren Bauteilen 2 bereitgestellt wird. Die Bauteile 2 sind vorzugsweise bereits in diesem Prozessschritt über Haftbereiche 3 mit dem Gebersubstrat 1 fest verbunden, sodass ein Verrutschen der Bauteile 2 verhindert wird. Die feste Verbindung zwischen dem Bauteil 2 und dem Gebersubstrat 1 wird über einen chemischen und/oder physikalischen Haftbereich 3 hergestellt. Bei dem Haftbereich 3 kann es sich beispielsweise um einen Klebstoff handeln, der als Haftvermittler zwischen dem Gebersubstrat 1 und dem Bauteil 2 wirkt. Denkbar ist auch, dass es sich bei dem Haftbereich um einen Mikrometer oder Nanometer großen Bereich handelt, in dem direkte Adhäsionskräfte zwischen den Oberflächen des Gebersubstrats 1 und dem Bauteil 2 wirken, insbesondere van-Der-Waals Kräfte. Denkbar ist auch, dass es sich bei dem Haftbereich 3 um eine Metalllegierung, insbesondere ein Lot, handelt. Denkbar ist auch, dass es sich

- 39 -

bei dem Haftbereich 3 um eine Klebefolie handelt. Für den Haftbereich 3 kommen im Allgemeinen alle chemischen und/oder physikalischen Effekte und/oder Materialien und/oder Objekte in Frage, mit deren Hilfe man das Bauteil 2 am Gebersubstrat 1 fixieren kann. Der Haftbereich 3 wird in der Figur 1 immer nur auf die Grenze zwischen einem Bauteil 2 und dem Gebersubstrat 1 dargestellt. Denkbar ist aber auch, dass der Haftbereich 3 über die gesamte Gebersubstratoberfläche 10 ausgebreitet wird. Insbesondere handelt es sich dann beim Haftbereich 3 um eine Schicht, die durch einen Beschichtungsprozess, insbesondere einen Schleuderbelackungsprozess aufgebracht wurde. Denkbar ist auch, dass es sich bei den Bauteilen 2 um eine Schicht, insbesondere eine Oxidschicht oder Nitridschicht handelt, die durch entsprechende Beschichtungsprozesse zuerst vollflächig aufgebracht und durch andere Prozessschritte entsprechend strukturiert wurde. In diesem Fall entspricht der Haftbereich 3 einfach nur der Grenzfläche, dem Interface, zwischen der Schicht und dem Gebersubstrat 1. Die Schicht ist in diesem Fall also direkt mit dem Gebersubstrat 1 verbunden. Denkbar ist natürlich auch, dass das Bauteil 2 einfach ein Schichtsystem darstellt, das entsprechend abgeschieden und strukturiert wurde. Das Gebersubstrat 1 wird in allen Figuren exemplarisch als Wafer dargestellt, kann aber grundsätzlich jede Art von Substrat sein, insbesondere auch ein Glassubstrat oder eine Folie.

Die **Figur 1b** zeigt einen zweiten Prozessschritt, bei dem ein Transfersubstrat 4, insbesondere eine Folie die auf einem Rahmen 5 aufgespannt wurde, über den Bauteilen 2 des Gebersubstrats 1 positioniert und fixiert wird. Insbesondere reicht eine leichte Durckbeaufschlagung von der Rückseite des Transfersubstrats 4. Denkbar ist auch, dass der Rahmen 5, auf dem das als Folie ausgelegte Transfersubstrat 4 aufgespannt wurde, in Richtung Gebersubstrat 1 bewegt wird, damit das Transfersubstrat 4 vorspannt und auf die Bauteile 2 drückt. Insbesondere kann das Transfersubstrat 4 vor der Kontaktierung relativ zum Gebersubstrat 1 ausgerichtet worden sein. Die Ausrichtung erfolgt vorzugsweise mit Hilfe von Ausrichtungsmarken (nicht

- 40 -

ingezeichnet) und optischen Hilfsmitteln, insbesondere Ausrichtungsanlagen (engl.: aligner, nicht eingezeichnet).

Die **Figur 1c** zeigt einen dritten Prozessschritt, bei dem ein Bondvorgang der Bauteile 2 mit Hilfe eines Bondmittels 6, insbesondere mit Hilfe eines Lasers, über die Bauteiloberfläche 2o so erfolgt, dass sich zwischen dem Bauteil 2 und dem Transfersubstrat 4 ein Haftbereich 3 ausbilden. Insbesondere gleichzeitig, noch bevorzugter ein wenig Zeit- und/oder Wegversetzt, erfolgt ein Debondvorgang mit Hilfe eines Debondmittels 7, vorzugsweise ebenfalls mit Hilfe eines Lasers. Dieser Debondvorgang erfolgt vorzugsweise durch das Gebersubstrat 1. Denkbar wäre auch ein Debond von der Seite des Transfersubstrats 4. Dabei dürfte aber der Debondmittel 7 zum Debonden keine Wechselwirkung mit dem Haftbereich 3 zwischen dem Transfersubstrat 4 und den Bauteilen 2 haben. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform würden Bond- und Debondvorgang gleichzeitig ausgeführt werden. Denkbar wäre beispielsweise die Verwendung eines Lasers der einerseits als Bondmittel 6 wirkt und einen Bondvorgang zwischen den Bauteilen 2 und dem Transfersubstrat 4 herstellt, andererseits als Debondmittel 7 wirkt und einen Debondvorgang zwischen den Bauteilen 2 und dem Gebersubstrat 1 durchführt. Dementsprechend müssten die Haftbereiche 3 an den unterschiedlichen Seiten der Bauteile 2 unterschiedlich auf die Photonen des Lasers 6 reagieren. In der Figur wird exemplarisch nur der Bond- bzw. Debondvorgang von vier Bauteilen 3 dargestellt (siehe dazu auch **Figur 1d**) um zu verdeutlichen, dass der Transferprozess bereits in diesem Prozessschritt selektiv erfolgen kann. Der Grund für einen selektiven Transferprozess wäre, dass einige der Bauteile 2 fehlerbehaftet sind und daher nicht transferiert werden dürfen. Es können natürlich auch alle Bauteile 2 transferiert werden. Insbesondere sollten fehlerhafte Bauteile 2 erst gar nicht auf einem Gebersubstrat vorhanden sein. Werden die Bauteile allerdings auf dem Gebersubstrat 2 hergestellt, können einige der Bauteile 2 beim

- 41 -

Herstellungsprozess durchaus defektbehaftet sein. In diesem Fall würde die selektive Auswahl technisch sinnvoll und notwendig sein.

Die **Figur 1d** zeigt einen vierten Prozessschritt bei dem das Transfersubstrat 4 über einem Empfängersubstrat 8 positioniert, insbesondere zu diesem ausgerichtet wird. Die Ausrichtung erfolgt vorzugsweise über Ausrichtungsmarken (nicht eingezeichnet) und mit Hilfe einer optischen Ausrichtungsanlage (nicht eingezeichnet).

Die **Figur 1e** zeigt einen fünften Prozessschritt, bei dem nach der Kontaktierung der Bauteile 2 des Transfersubstrats 4 mit den Bauteilen 2 des Empfängersubstrats 8 ein Debondmittel 7, insbesondere ein Laser, vorzugsweise durch die Rückseite des Transfersubstrats 4, einen Debondvorgang zwischen den Bauteilen 2 des Transfersubstrats 4 und dem Transfersubstrat 4 durchführt. Insbesondere gleichzeitig erfolgt mit Hilfe eines Bondmittels 6 die Herstellung eines Haftbereichs 3 zwischen den Bauteilen 3. In der Figur wird exemplarisch nur der Debondvorgang von drei Bauteilen 3 dargestellt um zu verdeutlichen, dass der Transferprozess auch in diesem Prozessschritt selektiv erfolgen kann.

In einer sehr Ausführungsform werden die Bauteile 2 durch ein selektiv wirkendes Debondmittel 7 nur vom Transfersubstrat 4 gelöst während es sich beim Bondmittel 6 nicht um ein selektives, sondern über die Fläche wirkendes Bondmittel handelt. Denkbar wäre beispielsweise eine erwärmte Umgebung. Das kann insbesondere dann sinnvoll sein, wenn die Bauteile 2 durch einen metallphysikalischen Bondprozess oder durch einen Fusionsbondprozess permanent miteinander verbunden werden sollen.

- 42 -

Die Figur 1f zeigt einen sechsten Prozessschritt bei dem das Transfersubstrat 4 mit einem einzigen zurückbleibenden Bauteil 2 abgehoben und entfernt wird. Man erkennt, dass insgesamt drei Bauteile 3 übertragen wurden. Der in Figur 1e dargestellte Bondvorgang mit Hilfe des Bondmittels 6 kann insbesondere auch erst in diesem Prozessschritt durchgeführt werden. Das Transfersubstrat 4 verfügt nun noch über ein Bauteil 2, welches beispielsweise auf ein anderes Empfängersubstrat 8 transferiert werden kann.

Bevorzugt wird natürlich der Transfer einer immer gleich großen Anzahl von Bauteilen 3 von einem Gebersubstrat 1 auf ein Empfängersubstrat 8. Im Allgemeinen wird jede Bauteilschicht von Bauteilen 3 in einem Empfängersubstrat 8 immer zuerst vollständig bestückt. Erst danach können und sollen weitere Bauteile 3, die insbesondere auch eine andere Funktionalität aufweisen können, in einer weiteren Bauteilschicht aufgebaut werden.

Die Prozessschritte der Figuren 1a-1f zeigen daher immer nur den Transfer einer Anzahl von Bauteilen 3 einer Bauteilschicht. Die Prozessschritte der Figuren 1a-1f können danach beliebig oft wiederholt werden um weitere, im Allgemeinen beliebig viele, Bauteilschichten aufzubauen.

Der zweite Prozess wird nicht explizit durch Figuren dargestellt. Er zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass der in den Figuren 3a-3c dargestellte und beschriebene Transferstempel 11 zum Transfer der Bauteile 2 verwendet wird. Der Transferstempel 11 kann zusammen mit anderen Bond- und Debondmitteln zum Transfer der Bauteile 2 verwendet werden. Insbesondere wird der Transfer der Bauteile 2 dadurch erleichtert, dass die Fixierelemente 10 des Transfersubstrats 4' die Bauteile 2 fixieren können, ohne auf andere Bondmittel zurückgreifen zu müssen. Die Loslösung der Bauteile 2 von den Fixierelementen 10 des Transfersubstrats 4' erfolgt dann vorzugsweise durch

- 43 -

eine Krümmung des Transfersubstrats 4' gemäß einer der Figuren 3b oder 3c. Der Debondvorgang vom Gebersubstrat 1 bzw. der Bondvorgang zum Empfängersubstrat 8 kann dabei allerdings wieder durch die genannten Bond- und/oder Debondmittel (6,7) erfolgen. Das krümbare Transfersubstrat 4' und/oder der gesamte Transferstempel stellen also gleichzeitig ein Bond- und Debondmittel (6,7) dar.

Die **Figur 2** zeigt ein Endprodukt eines Empfängersubstrats 8, auf dem mehrere Bauteilgruppen, insbesondere Weißlicht LEDs 9, mit dem Verfahren hergestellt wurden. Die Weißlicht LEDs 9 bestehen dabei aus drei unterschiedlichen Bauteilen 2, 2', 2''. Jedes der Bauteile 2, 2', 2'' ist eine eigene Einzelfarben LED, d.h. eine Lichtemittierende Diode für einen ganz spezifischen Wellenlängenbereich. Beispielsweise ist das Bauteil 2 eine Rotlicht LED (rLED), das Bauteil 2' eine Grünlicht LED (gLED) und das Bauteil 2'' eine Blaulicht LED (bLED). Durch die Kombination der Einzelfarben LEDs können somit auf einfache Art und Weise Weißlicht LEDs 9 hergestellt werden. Weitere Ausführungsformen der Weißlicht LEDs 9 werden in den andren Figuren und Figurenbeschreibungen erläutert.

In den weiteren Figuren werden spezielle Ausführungsformen von Weißlicht LEDs 9 dargestellt. Diese Weißlicht LEDs 9 werden durch den Prozess hergestellt. Auf die Darstellung der unterschiedlichen Halbleiterbereiche einer Diode für die Einzelfarben LEDs 2, 2', 2'' wird ebenso verzichtet wie auf die Darstellung von Kontakten. Die Darstellung der Weißlicht LEDs 9 hat nur den Sinn Ausführungsformen aufzuzeigen.

Die **Figur 3a** zeigt einen Transferstempel 11 in einer ersten Position. Der Transferstempel 11 besteht aus einem Transfersubstrat 4', welches über mehrere Fixierelemente 10 verfügt. Die Fixierelemente 10 fixieren über die Fixierelementoberfläche die entsprechenden Bauteile 2 (nicht eingezeichnet).

- 44 -

Der Transferstempel 11 kann über Verformelemente 12 verfügen, welche das Transfersubstrat 4' verformen können. Verformelemente 12 können Stifte sein, die sich insbesondere mit einer entsprechenden Mechanik im Inneren des Transferstempels 11 in x-y-z Richtung bewegen können und so in der Lage sind, dass Transfersubstrat 4' lokal zu verkrümmen. Im vorliegenden Fall ist das Verformelement 12 als Zuleitung dargestellt und kann ein Fluid, insbesondere ein Gas oder eine Gasmischung, in die Kammer leiten.

Die **Figur 3b** zeigt einen Transferstempel 11 in einer zweiten Position. Das Verformelement 12 sorgt dafür, dass das Transfersubstrat 4' konkav gekrümmt wird. Ist das Verformelement 12 eine Zuleitung, erfolgt die Krümmung insbesondere durch eine Evakuierung des Innenraumes.

Die **Figur 3c** zeigt einen Transferstempel 11 in einer zweiten Position. Das Verformelement 12 sorgt dafür, dass das Transfersubstrat 4' konvex gekrümmt wird. Ist das Verformelement 12 eine Zuleitung, erfolgt die Krümmung insbesondere durch die Erzeugung eines Überdrucks im Innenraum.

Die **Figur 4** zeigt eine erste Weißlicht LED 9, bestehend aus den Einzelfarben LEDs 2, 2', 2''. Die Einzelfarben LEDs 2' und 2'' wurden dabei ringförmig hergestellt. Die unterste LED 2 ist vollflächig ausgeführt. Die ringförmigen Öffnungen der LEDs 2' und 2'' erlauben dem unteren LED bzw. den unteren LEDs die Emission von Photonen. Durch die Emission von Photonen in den drei Wellenlängenbereichen für die Farben rot, grün und blau kann man damit auf einfache Art eine Weißlicht LED 9 herstellen. Insbesondere kann der Prozess verwendet werden um die Stapelung der LEDs 2, 2', 2'' vorzunehmen. Die Ringform der Einzelfarben LEDs 2, 2', 2'' kann beliebig sein ist aber vorzugsweise rechteckig, noch bevorzugter rund.

- 45 -

Die Figur 5 zeigt eine zweite Weißlicht LED 9', bei der die einzelnen LEDs 2, 2', 2'' sich in Größe und relativer Position zueinander unterscheiden.

- 46 -

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

1	Gebersubstrat
1o	Gebersubstratoberfläche
2, 2', 2''	Bauteil
3	Haftbereich
4, 4'	Transfersubstrat
5	Rahmen
6	Bondmittel
7	Debondmittel
8	Empfängersubstrat
9	LED
10	Fixierelement
10o	Fixierelementoberfläche
11	Fixierstempel
12	Verformelement