

Verfahren zum Transfer einer funktionalen Einheit, Gebersubstrat und Anlage zum Durchführen eines solchen Verfahrens

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Transfer einer funktionalen Einheit, ein Gebersubstrat für ein solches Verfahren und eine Anlage zum Durchführen eines solchen Verfahrens.

10 Die Halbleiterindustrie stößt mit der Miniaturisierung immer mehr an ihre Grenzen. Transistoren besitzen mittlerweile Node-Größen, die so klein sind, dass weitere Verkleinerungen immer schwieriger, teurer oder physikalisch sogar unmöglich werden. Bereits vor einigen Jahren wurde daher damit begonnen funktionale Einheiten nicht nur lateral zu verkleinern, sondern auch dreidimensional anzuordnen.

15 Anfangs bestand die Lösung darin, mehrere funktionale Schichten übereinander herzustellen und diese über TSVs (engl.: through silicon vias) zu verbinden.

Eine Weiterentwicklung bestand darin unterschiedliche funktionale Einheiten auf unterschiedlichen Substraten herzustellen. Die Herstellung konnte insbesondere auch von verschiedenen Firmen durchgeführt werden. Eine Firma konnte sich beispielsweise auf die Herstellung von Mikrochips spezialisieren, eine zweite Firma auf die Herstellung von Speicherchips. Die Substrate wurden dann zueinander ausgerichtet und miteinander gebondet. Bei dem Bond handelte es sich vorzugsweise um einen Fusionsbond, insbesondere eine Hybridbond. Da die einzelnen funktionalen Einheiten des ersten Substrats sich zumindest in der Nähe der funktionalen Einheiten des zweiten Substrats befinden mussten, musste ein Raster, entlang dem die funktionalen Einheiten erzeugt wurden, gleich sein.

20 Wurden auf dem ersten Substrat 10.000 funktionale Einheiten erzeugt, mussten sich auch auf dem zweiten Substrate 10.000 funktionale Einheiten befinden. Ein gravierender Nachteil dieser Methode bestand darin, dass eine nicht funktionierende funktionale Einheit immer zu einer gegenüberliegenden funktionierenden funktionalen Einheit gebondet wurde. Der aus diesen zwei funktionalen Einheiten gebondete, später aus dem Substratstapel

herausgetrennte Chip war natürlich nicht mehr funktionsfähig und musste entsorgt werden. Man hatte also keine Möglichkeit, ausschließlich funktionstüchtige Einheiten (engl.: „known-good-dies“) zu verwenden und die nicht funktionierenden vorher aus dem Bondprozess zu entfernen, da diese ja Teil des Substrats waren. Verfahren bei denen zwei Substrate, insbesondere Wafer, miteinander verbondet werden nennt man auch W2W Verfahren (engl.: wafer-2-wafer bzw. wafer-to-wafer).

Eine Weiterentwicklung bestand darin, ein erstes Substrat zu verwenden, auf dem einzelne funktionale Einheiten hergestellt wurden. Jede einzelne funktionale Einheit auf dem Substrat wurde auf ihre Funktionalität geprüft. Danach wurden die, durch einen Trennprozess (engl.: dicing process) bereits vereinzelter, funktionalen Einheiten eines zweiten Substrats mit Hilfe eines Chip-to-Wafer Bonders einzeln auf die funktionalen Einheiten des ersten Substrats gebondet, allerdings nur, wenn die funktionale Einheit am zweiten Substrat und die vorher ebenfalls geprüfte, bereits vereinzelter funktionale Einheit, funktionstüchtig waren. Dadurch wurde sichergestellt, dass ein Bondvorgang ausschließlich zwischen funktionierenden funktionalen Einheiten erfolgte. Dieser Stapelprozess konnte mit weiteren funktionalen Einheiten fortgesetzt werden, sodass man schließlich ein einzelnes Substrat erhielt, auf dem es mehrere Lagen funktionaler Einheiten gab. Das so erzeugte Substrat wurde dann vor der Trennung in Einzelchips entweder vergossen oder anderweitig geschützt. Die Druckschriften WO 2018 157 937 A1 und WO 2009 115 240 A1 zeigen beispielsweise derartige Verfahren und Vorrichtungen. Durch dieses Verfahren konnte der Ausschuss stark reduziert werden. Nachteilig war, dass die bereits vereinzelter funktionalen Einheiten einzeln zu dem funktionalen Einheiten gebondet werden mussten, was zeit- und kostenintensiv war. Ein weiterer Nachteil bestand darin, dass es sich bei den funktionalen Einheiten meistens um Chips, also vergossenen Dies, gehandelt hat. Diese Chips waren in einer Gussmasse eingebettet, hatten Lötkegeln (engl.: bumps) an mindestens einer Seite, im Idealfall aber zumindest Kontakte, um mit den funktionalen Einheiten des Substrats oder den anderen auf ihnen gestapelten Chips eine elektrisch leitfähige Verbindung aufbauen zu können. Die Gussmasse und die Lötkegeln vergrößerten die so erzeugten gestapelte funktionale Einheit unnötig.

30

Ein Problem im Stand der Technik besteht daher darin, dass die funktionalen Einheiten meistens Chips oder Chipllets, d. h. bereits vergossene Dies, sind, die insbesondere noch über Lötkegeln oder zumindest elektrischen Kontakten mit einer gewissen Höhe verfügen. Vorzugsweise würde man gerne die Dies direkt, insbesondere als ultradünne funktionale

Einheiten, bonden. Die Dies können einseitig oder doppelseitig aktiv sein, d. h. an ihrer Vorder- und/oder an ihrer Rückseite eine Funktion und/oder Kontakte besitzen.

5 Ein weiteres Problem besteht darin, dass die einzelnen funktionalen Einheiten sich im Allgemeinen auch in ihren lateralen Dimensionen, also Länge und Breite, unterscheiden. Man möchte die funktionalen Einheiten daher nicht nur in der dritten Dimension stapeln, sondern auch innerhalb einer Ebene, optimal anordnen.

10 Ein weiteres Problem besteht im Transfer der funktionalen Einheiten. Je dünner die funktionalen Einheiten sind, desto schwieriger ist deren Transfer von einem Gebersubstrat auf ein Empfängersubstrat. Selbst wenn der Transfer selbst durch einen Bondvorgang erfolgreich durchgeführt wird, muss die funktionale Einheit immer noch vom Gebersubstrat getrennt werden. Da es sich bei den funktionalen Einheiten um ultradünne Substrate handelt, müssen die Verfahrensschritte so durchgeführt werden, dass keine Schädigung der
15 funktionalen Einheiten erfolgt.

Ein weiteres Problem im Stand der Technik besteht darin, dass die auf einem Empfängersubstrat erzeugten, insbesondere gestapelten, funktionalen Einheiten auch wieder vom Empfängersubstrat getrennt werden müssen, um in den letzten Verfahrensschritten
20 schließlich zu fertigen Chips oder Chiplets vergossen zu werden.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe mit einem Verfahren zum Transfer einer funktionalen Einheit gemäß Anspruch 1, mit einem Gebersubstrat gemäß Anspruch 14 und einer Anlage gemäß Anspruch 15. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den
25 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.

30

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Transfer einer funktionalen Einheit von einem die funktionale Einheit abgebenden Gebersubstrat zu einem die funktionale Einheit aufnehmenden Empfängersubstrat, insbesondere als Teilschritt zum Aufbau eines Produktsubstrats, vorgesehen, umfassend:

- Bereitstellen eines Gebersubstrats und eines Empfängersubstrats, wobei das Gebersubstrat eine funktionale Einheit, vorzugsweise mehrere funktionale Einheiten, und eine Trennschicht, vorzugsweise integriert in ein Schichtsystem, aufweist,
- 5 - Ausrichten des Gebersubstrats und des Empfängersubstrats zueinander mittels einer Ausrichtungseinrichtung,
- Auftrennen der Trennschicht im Bereich der funktionalen Einheit und
- Entfernen des Gebersubstrats ohne die funktionale Einheit,

wobei die funktionale Einheit zum Aufbau eines Produktsubstrats auf dem Empfängersubstrat oder einem Produktsubstrataufbau am Empfängersubstrat zurückgelassen wird.

Im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik üblichen Herangehensweisen, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass die funktionale Einheit von einem Gebersubstrat bereitgestellt wird, das selbst nicht Teil des Produktsubstrats wird, sondern dem die Aufgabe

15 zukommt, die funktionale Einheit auf dem Empfängersubstrat zu hinterlassen. Dadurch können besonders dünne funktionale Einheiten beim Aufbau des Produktsubstrats auf dem Empfängersubstrat platziert werden, ohne dass der funktionalen Einheiten stabilisierende Komponenten beigefügt werden müssen, um es auf dem Empfängersubstrat zu platzieren. Dadurch werden entsprechend bauraumfüllende Komponenten beim Aufbau

20 des Produktsubstrats vermieden. Unter einer funktionalen Einheit wird vom Fachmann insbesondere eine Struktur verstanden, die einen funktionalen Charakter hat, die also als aktives Teil angesehen werden kann. Beispiele hierfür wären Mikrochips, Speicherchips, LEDs, MEMS etc. Die vorliegende Erfindung ermöglicht es somit, dass ultradünne funktionale Einheiten direkt auf einem Produktsubstrataufbau bzw. auf einer anderen ultradün-

25 nen funktionalen Einheit gebondet werden können. Des Weiteren können die funktionalen Einheiten mit einer hohen Packungsdichte auch in der lateralen Ebene angeordnet werden. Die ultradünnen funktionale Einheiten können bevorzugt direkt oder über TSVs (engl.: through silicon vias) miteinander verbunden werden.

30 Das Produktsubstrat umfasst vorzugsweise im gefertigten Zustand eine Vielzahl von funktionalen Einheiten, die insbesondere höhenversetzt zueinander angeordnet sind. Möglich ist auch eine laterale Anordnung, insbesondere unterschiedlicher, funktionaler Einheiten auf einer Ebene in Verbindung mit einer höhenversetzten Anordnung. Durch ein sukzessives Anordnen von einem oder mehreren funktionalen Einheiten wird bevorzugt das Produktsubstrat aufgebaut. Dabei wird in einem Zwischenschritt ein dielektrisches Medium

35

bzw. eine dielektrische Schicht abgeschieden, um lagenweise einen Höhenversatz zwischen den einzelnen höhenversetzten und gegebenenfalls lateral versetzten funktionalen Einheiten zu realisieren. Das Verfahren zum Transfer der funktionalen Einheiten wird bevorzugt genutzt, um das Produktsubstrat aufzubauen. Das Produktsubstrat bildet dann
5 beispielsweise einen Chip oder eine Vorstufe für einen Chip.

Insbesondere ist unter einem Produktsubstrataufbau eine Anordnung von Lagen zu verstehen, die bereits im Rahmen des Verfahrens zur Herstellung des Produktsubstrats aufgebaut wurden, bevorzugt mit dem beschriebenen Verfahren, bevor alle Lagen für das Produktsubstrat zusammengesetzt sind.
10

Ferner ist es bevorzugt vorgesehen, dass das Gebersubstrat ein erstes Gebersubstratteil und ein zweites Gebersubstratteil aufweist. Das erste Gebersubstratteil, dient insbesondere als Träger und das zweite Gebersubstratteil umfasst eine oder mehrere funktionale
15 Einheiten. Zwischen dem ersten Gebersubstratteil und dem zweiten Gebersubstratteil ist vorzugsweise sandwichartig eine Trennschicht ausgebildet, insbesondere entlang einer senkrecht zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Stapelrichtung. Das Gebersubstrat kann entlang einer parallel zur Haupterstreckungsebene eine Ausdehnung aufweisen, die größer ist als die entsprechende Ausdehnung des späteren Produktsubstrats oder vergleich-
20 bar in Hinblick auf die Ausdehnung des späteren Produktsubstrats. Hierzu ist es beispielsweise vorstellbar, dass das Gebersubstrat aus einem größeren Gebersubstrataufbau herausgetrennt wurde. Das Gebersubstrat wird beispielsweise, zumindest teilweise, monolithisch aufgebaut, beispielsweise mittels Epitaxie.

25 Die Trennschicht zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass sie gezielt, insbesondere zu einem festgelegten Zeitpunkt und vorzugsweise in einem festgelegten Umfang auf-trennbar ist bzw. aufgetrennt wird. Hierzu ist vorzugsweise ein Trennschicht vorgesehen, die unter Einwirkung eines Auslösers die Trennung bzw. das Auflösen veranlassen kann. Entsprechend ist die Trennschicht an den entsprechenden Auslöser, beispielsweise ein
30 chemisches oder optisches Mittel, angepasst bzw. mit diesem abgestimmt.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Aufbau eines Produktsubstrats, umfassend:

- Bereitstellen eines Gebersubstrats und eines Empfängersubstrats, wobei das Gebersubstrat eine funktionale Einheit vorzugsweise mehrere funktionale Einheiten, und eine Trennschicht, vorzugsweise integriert in ein Schichtsystem, aufweist,
 - Ausrichten des Gebersubstrats und des Empfängersubstrats zueinander mittels
5 einer Ausrichtungseinrichtung,
 - Auftrennen der Trennschicht im Bereich der funktionalen Einheit und
 - Entfernen des Gebersubstrats ohne die funktionale Einheit,
- wobei die funktionale Einheit zum Aufbau eines Produktsubstrats auf dem Empfängersubstrat oder einem Produktsubstrataufbau zurückgelassen wird. Alle für das Verfahren zum
10 Transfer beschriebenen Eigenschaften und Vorteile lassen sich analog auf das Verfahren zum Aufbau des Produktsubstrats übertragen.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass die zurückgelassene funktionale Einheit gebondet und/oder eine dielektrische Schicht auf dem Empfängersubstrat aufgetragen wird. Vorzugsweise wird dabei aus einem Pre-bond ein permanenter Bond gemacht. Dies ist bevorzugt vorgesehen, wenn die funktionale Einheit auf den Produktsubstrat platziert wird. Beispielsweise erfolgt das Bonden über eine Temperaturerhöhung, die beispielsweise vor oder nach dem Auftrennen der Trennschicht erfolgen kann. Durch das Auftragen der dielektrischen Schicht wird vorzugsweise eine Lage gebildet, die sich neben der funktionalen
15 Einheit in einer parallel zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Eben erstreckt. Anschließend kann auf die funktionale Einheit und/oder die dielektrische Schicht eine weitere funktionale Einheit zurückgelassen werden. Auf diese Weise wird sukzessive ein Produktsubstrat gebildet. Dabei ist es vorstellbar, dass die dielektrische Schicht im Wesentlichen eine Dicke aufweist, die der Dicke der funktionalen Einheit entspricht. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass ein Teil der aufgetragenen Schicht an dielektrischem Material, d. h. ein Teil der dielektrischen Schicht, wieder abgetragen wird.
20
25

Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass ein Kontakt zwischen dem Gebersubstrat auf der einen Seite und dem Empfängersubstrat oder dem Produktsubstrataufbau auf der anderen Seite hergestellt wird, wobei der Kontakt, insbesondere der direkte Kontakt, zwischen dem Gebersubstrat und dem Empfängersubstrat oder dem Produktsubstrataufbau über eine Kontaktseite des Gebersubstrats hergestellt wird, wobei ein Abschnitt der funktionalen Einheit einen Teil der Kontaktseite bildet. Mit anderen Worten: die funktionale Einheit ist beim Aufsetzen auf das Empfängersubstrat bzw. das Produktsubstrat dem Empfängersubstrat bzw. dem Produktsubstrat zugewandt. Dadurch kann beispielsweise die funktionale Einheit direkt auf dem Produktsubstrataufbau oder dem Empfängersubstrat
30
35

abgelegt werden. Außerdem ist ein direkter Zugang zu der funktionalen Einheit vor dessen Herauslösen möglich, wodurch ein Funktionstest gestattet ist. Insbesondere ist es vorgesehen, dass durch den Kontakt ein Pre-Bond verursacht wird. Dies kann beispielsweise durch eine geeignete Präparation einer Außenseite des Empfängersubstrats oder
5 des Produktsubstrataufbaus unterstützt oder verursacht werden.

Insbesondere ist es vorgesehen, dass die Trennschicht optisch und/oder chemisch aufgetrennt wird. Dabei erweist sich das optische Auftrennen als besonders vorteilhaft, da es beispielsweise ein lokal begrenztes Auftrennen erlaubt. Ein chemisches Auflösen kann
10 sich in solchen Fällen als vorteilhaft erweisen, bei denen Produktsubstrataufbau und/oder Empfängersubstrat nicht transparent sind für Licht, das andernfalls für ein Auftrennen verwendet werden könnte.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass die Trennschicht lokal begrenzt aufgetrennt wird.
15 Dadurch ist es in vorteilhafter Weise möglich, nur eine einzelne funktionale Einheit oder eine begrenzte Anzahl an funktionalen Einheiten aus dem Gebersubstrat herauszulösen. Dies gestattet die individuelle Auswahl von funktionalen Einheiten in einem Gebersubstrat mit mehreren funktionalen Einheiten, was insbesondere dann von Vorteil ist, wenn ein funktionale Einheit oder ein paar wenige funktionale Einheiten im Gebersubstrat defekt
20 sind. Diese können dann ausgespart werden und stattdessen nur gezielt funktionstüchtige funktionale Einheiten übertragen bzw. zurückgelassen werden.

Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass die Trennschicht und/oder das Schichtsystem mindestens eine Lage aus einem anorganischen Material umfasst, insbesondere aus
25 dem anorganischen Material besteht. Dadurch lässt sich eine Trennschicht bereitstellen, die sich vergleichsweise einfach, beispielsweise mittels eines Lasers, auftrennen lässt und die keine zusätzlichen Reinigungsschritte erforderlich macht. In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist es vorgesehen, dass die Trennschicht aus einem Metall oder Nitrid, bevorzugt aus TiN ist. Eine anorganische Trennschicht aus Metall oder
30 einem Nitrid ist besonders geeignet, da diese insbesondere auch einen stabiles Bonden ermöglichen. Eine Trennschicht auf Zinnbasis ist besonders bevorzugt.

Das Schichtsystem umfasst mindestens eine Schicht. Bei der mindestens einen Schicht handelt es sich um eine Löseschicht, die durch die Beaufschlagung eines externen Mittels,
35 tels, vorzugsweise von elektromagnetischer Strahlung, am bevorzugtesten von einem Laser, am allerbevorzugtesten von einem Infrarotlaser, so beeinflusst werden kann, dass

eine Loslösung von mindestens einem Substrat von mindestens einer Seite des Schichtsystem erfolgen kann. Weitere Schichten können die Aufgabe einer Bondschicht, einer Absorptionsschicht, einer die Absorption verstärkenden Schicht, einer Keimschicht, einer Überwuchsschicht etc. erfüllen.

5

Die Schichten des Schichtsystem bestehen vorzugsweise aus mindestens einem Material einer der folgenden Materialklassen

- Dielektrikum, insbesondere
- Nitrid, insbesondere
- 10 - TiN, CrN, TaN, AlN, NiN, Si₃N₄
- Carbide, insbesondere Karbonschichten
- Oxid
- weniger bevorzugt Polymer
- Elektrikum, vorzugsweise
- 15 - Metall, insbesondere
- Cr, Al, Ta, Co, Ni, Mn, Fe, Au, Ga, Sn, Ge, W, Cu, In

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass zeitlich vor dem Herstellen des Kontakts zwischen dem Gebersubstrat und dem Empfängersubstrat die funktionale Einheit einem Funktions-

20 test unterzogen wird. Dadurch wird mit Vorteil vermieden, dass defekte funktionale Einheiten einem Bondprozess unterworfen werden. Schließlich können solche hergestellten Produktsubstrate auf Grund ihrer mangelnden Funktionalität nicht verwendet werden. Somit lässt sich ein Ausschluss an fehlerhaften Produktsubstraten reduzieren.

25 Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass mehrere funktionale Einheiten auf dem Empfängersubstrat höhenversetzt, insbesondere auch zueinander versetzt, angeordnet werden. Dadurch wird sukzessiv ein Produktsubstrataufbau und schließlich das Produktsubstrat mit einer dreidimensionalen Anordnung von funktionalen Einheiten realisiert.

30 Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass die funktionale Einheit Teil einer Mehrzahl von funktionalen Einheiten ist, die insbesondere vom selben Gebersubstrat, vorzugsweise gleichzeitig oder nacheinander, auf dem Empfängersubstrat und/oder dem Produktsubstrataufbau zurückgelassen werden. Insbesondere wird aus der Mehrzahl an funktionalen Einheiten ein Teil von funktionalen Einheiten, mindestens eine funktionale Einheit, transferiert.

35

Insbesondere ist es vorgesehen, dass zum Auftrennen Laserlicht, insbesondere gepulstes Laserlicht, verwendet wird. In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Laserstrahlen eine Wellenlänge zwischen $0.1\ \mu\text{m}$ und $500\ \mu\text{m}$, vorzugsweise zwischen $0.2\ \mu\text{m}$ und $100\ \mu\text{m}$, noch bevorzugter zwischen $0.3\ \mu\text{m}$ und $50\ \mu\text{m}$,
5 am bevorzugtesten zwischen $0.5\ \mu\text{m}$ und $10\ \mu\text{m}$, am allerbevorzugtesten zwischen $1\ \mu\text{m}$ und $2.5\ \mu\text{m}$ aufweist. Auf diese Weise kann die Trennschicht besonders effizient und gezielt bestrahlt werden. Das Trägersubstrat ist vorzugsweise durchlässig für die Laserstrahlen.

10 In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Pulsenergie der Laserstrahlen zwischen $0.01\ \mu\text{J}$ und $128\ \mu\text{J}$, vorzugsweise zwischen $0.125\ \mu\text{J}$ und $64\ \mu\text{J}$, noch bevorzugter zwischen $0.25\ \mu\text{J}$ und $32\ \mu\text{J}$, am bevorzugtesten zwischen $0.5\ \mu\text{J}$ und $16\ \mu\text{J}$, am allerbevorzugtesten zwischen $1\ \mu\text{J}$ und $8\ \mu\text{J}$ beträgt. Es hat sich herausgestellt, dass mit diesen Pulsenergien eine Beschädigung des Produktsubstrates vermieden
15 werden kann. In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Pulsdauer der Laserstrahlen zwischen $10000\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, vorzugsweise zwischen $1000\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, noch bevorzugter zwischen $500\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, am bevorzugtesten zwischen $100\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$, am allerbevorzugtesten zwischen $50\ \text{ps}$ und $1\ \text{ps}$ beträgt. Diese Pulsdauer erlaubt ein gezieltes Einwirken zum Trennen.

20 Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass die funktionale Einheit Teil einer Mehrzahl von funktionalen Einheiten ist, die vom selben Gebersubstrat, vorzugsweise gleichzeitig oder nacheinander, auf dem Empfängersubstrat zurückgelassen werden.

25 Bevorzugt ist es vorgesehen, dass das Produktsubstrat oder der Produktsubstrataufbau über eine empfängersubstratseitige Trennschicht vom Empfängersubstrat gelöst wird. Dadurch wird das gefertigte Produktsubstrat bereitgestellt, insbesondere ohne das Empfängersubstrat zerstören oder verlieren zu müssen. Dabei ist es auch vorstellbar, dass der Produktsubstrataufbau für eine Weiterprozessierung weitergegeben wird, bevor das finale
30 Produktsubstrataufbau gefertigt ist.

Denkbar ist auch, dass das Produktsubstrat am Empfängersubstrat verbleibt und so ein neues Produktsubstrat bildet. Mit anderen Worten: das Empfängersubstrat wird Teil des Produktsubstrats. Das Empfängersubstrat kann insbesondere auch über eine Funktionali-

tät oder über funktionale Einheiten verfügen. Bevorzugt ist aber die Trennung des Produktsubstrats vom Empfängersubstrat, da das Empfängersubstrat dann wiederverwendet werden kann.

- 5 Insbesondere ist es vorgesehen, dass die funktionale Einheit eine senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene bemessene Dicke aufweist, die kleiner ist als 50 μm , bevorzugt kleiner als 25 μm und besonders bevorzugt kleiner als 1 μm oder sogar kleiner als 100 nm, wobei die funktionale Einheit bevorzugt verkapselt ist. Das vorteilhafte Verfahren erweist sich gerade für derart ultradünne funktionale Einheiten als besonders vorteilhaft,
- 10 weil sie auf Grund der reduzierten Dicke keine ausreichende eigene Stabilität aufweisen, die einen individuellen Transport erlauben. Insbesondere kann es sich bei den ultradünnen funktionalen Einheiten auch um sogenannte 2D-Materialien handeln.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren die folgenden Verfahrensschritte

15

In einem ersten Verfahrensschritt wird ein Gebersubstrat hergestellt, welches aus einem stabilisierenden ersten Gebersubstratteil, einem Schichtsystem und einem zweiten, die funktionalen Einheiten aufweisenden, Gebersubstratteil zusammengesetzt ist bzw. wird. Das Schichtsystem verfügt über mindestens eine Trennschicht, die eine, insbesondere

20 selektive, Trennung der funktionalen Einheiten vom ersten Gebersubstratteil erlaubt.

- In einem zweiten Verfahrensschritt wird das Gebersubstrat relativ zu einem Empfängersubstrat ausgerichtet. Insbesondere werden die funktionalen Einheiten des Gebersubstrats relativ zu Ausrichtungsmarken und/oder zu bereits am Empfängersubstrat vorhandenen anderen funktionalen Einheiten ausgerichtet. Die Ausrichtung erfolgt vorzugsweise
- 25 optisch, insbesondere mit einer Ausrichtungsvorrichtung (engl.: aligner). Die Ausrichtung kann nach einem face-to-face, back-to-back, face-to-back oder back-to-face Verfahren durchgeführt werden.

- In einem dritten Verfahrensschritt wird das Gebersubstrat mit dem Empfängersubstrat kontaktiert. Diese Kontaktierung stellt einen Pre-Bond dar. Die Gebersubstrat- und/oder
- 30 die Empfängersubstratoberfläche können insbesondere hydrophilisiert worden sein, um einen effizienteren Pre-Bond zu erzeugen.

In einem vierten Verfahrensschritt erfolgt eine chemische und/oder physikalische Einwirkung auf die Trennschicht innerhalb des Schichtsystems. Vorzugsweise wird die Trennschicht mit Hilfe eines Lasers derart beaufschlagt, dass eine Trennung der funktionalen Einheit vom Gebersubstrat erfolgt. Die Trennschicht wird beispielsweise verdampft bzw. sublimiert. Die Einwirkung erfolgt vorzugsweise selektiv, d. h. es werden ausschließlich funktionierende funktionale Einheiten vom Gebersubstrat gelöst. Im Idealfall werden alle funktionalen Einheiten des Gebersubstrats übertragen.

In einem fünften Verfahrensschritt wird das Gebersubstrat vom Empfängersubstrat entfernt. Die übertragenen funktionalen Einheiten befinden sich nun auf dem Empfängersubstrat. Es ist möglich, unterschiedliche große, mit unterschiedlichen Funktionen versehene funktionale Einheiten nebeneinander anzuordnen und zum Empfängersubstrat zu bonden. Die entsprechenden funktionalen Einheiten sind bevorzugt ultradünn. Daher kann ein anderes Gebersubstrat mit anderen funktionalen Einheiten das bereits teilweise bestückte Empfängersubstrat kontaktieren und die anderen funktionalen Einheiten zum Empfängersubstrat bonden.

In einem sechsten, bevorzugt optionalen Verfahrensschritt erfolgt eine Wärmebehandlung, welche die funktionalen Einheiten permanent bondet. Denkbar ist auch, dass dieser Wärmebehandlungsschritt bereits nach dem dritten oder vierten Verfahrensschritt erfolgt, je nachdem wie stark der Pre-Bond ist. Je stärker der Pre-Bond desto später kann die Wärmebehandlung ausgeführt werden, da die Gefahr einer Verschiebung der funktionalen Einheiten geringer ist.

In einem siebten Verfahrensschritt werden die funktionalen Einheiten auf dem Empfängersubstrat dielektrisch eingebettet. Dazu können alle gängigen Verfahren verwendet werden. Da es technisch nur schwer möglich ist, das dielektrische Material genau so dick abzuscheiden wie die funktionalen Einheiten und weil innerhalb einer Ebene auch funktionale Einheiten unterschiedlicher Dicke existieren können, wird das dielektrische Material so abgeschieden, dass die entstehende dielektrische Schicht eine größer Dicke aufweist als die dickste funktionale Einheit. Vorzugsweise wird nach dem Abscheidungsprozess ein Rückdünnen und/oder ein Rückschleifen der dielektrischen Schicht auf eine gewünschte Dicke vorgenommen. Danach können Durchkontaktierungen erzeugt werden. Der Bereich oberhalb der funktionalen Einheiten wird insbesondere in den Figurenbeschreibungen explizit als Verbindungsschicht beschrieben. Denkbar ist nämlich, dass die Verbindungsschicht aus einem andren Material besteht als die dielektrische Schicht, in

der die funktionalen Einheiten eingebettet werden. Vorzugsweise bestehen sie aber aus demselben Material und werden mit nur einem Verfahrensschritt abgeschieden.

Das zweite beispielhafte Verfahren ist ein D2W (engl.: Die-to-wafer) Verfahren, bei dem ein D2W bzw. C2W Bonder verwendet wird um einzelne Dies auszurichten und zu bon-
5 den.

In einem ersten Verfahrensschritt wird ein Gebersubstrat hergestellt, welches aus einem stabilisierenden ersten Gebersubstratteil, einem Schichtsystem und einem zweiten, die funktionalen Einheiten aufweisenden, Gebersubstratteil besteht. Das Schichtsystem verfügt über mindestens eine Trennschicht, die eine, insbesondere selektive, Trennung der
10 funktionalen Einheiten vom Gebersubstrat erlaubt. Das Gebersubstrat wird anschließend noch vereinzelt. Es existieren dann mehrere Gebersubstrateinzelstück, die jeweils wiederum als Gebersubstrat im Erfindungssinn zu verstehen sind.

In einem zweiten Verfahrensschritt wird ein C2W Bonder verwendet. Der Bondkopf des C2W Bonders nimmt ein Gebersubstrateinzelstück auf und richtet es relativ zu einer Posi-
15 tion am Empfängersubstrat aus. Insbesondere wird die funktionale Einheit des Gebersubstrateinzelstück relativ zu Ausrichtungsmarken und/oder zu einer bereits am Empfängersubstrat vorhandenen anderen funktionalen Einheit ausgerichtet.

In einem dritten Verfahrensschritt wird das Gebersubstrateinzelstück mit dem Empfängersubstrat kontaktiert. Diese Kontaktierung stellt einen Pre-Bond dar. Die Oberfläche des
20 Gebersubstrateinzelstück und/oder die Empfängersubstratoberfläche können insbesondere hydrophilisiert worden sein, um einen effizienteren Pre-Bond zu erzeugen.

In einem vierten Verfahrensschritt erfolgt eine chemische und/oder physikalische Einwirkung auf die Trennschicht innerhalb des Schichtsystems. Vorzugsweise wird die Trennschicht mit Hilfe eines Lasers derart beaufschlagt, dass eine Trennung der funktionalen
25 Einheit vom Gebersubstrateinzelstück erfolgt. Die Trennschicht wird beispielsweise verdampft bzw. sublimiert. Der Vorteil zum ersten Verfahren besteht darin, dass überhaupt nur jene Gebersubstrateinzelstücke verwendet werden, deren funktionale Einheiten keine Fehlfunktion aufweisen.

In einem fünften Verfahrensschritt werden die Gebersubstratteile oberhalb des Schichtsystems von den am Empfängersubstrat fixierten funktionalen Einheiten entfernt. Die
30 übertragenen funktionalen Einheiten befinden sich nun auf dem Empfängersubstrat. Es ist möglich, unterschiedliche große, mit unterschiedlichen Funktionen versehene funktionale

Einheiten nebeneinander anzuordnen und zum Empfängersubstrat zu bonden. Insbesondere bei der Verwendung eines C2W Bonders ist die gezielte Positionierung innerhalb der lateralen Ebene einfach.

5 In einem sechsten, bevorzugt optionalen Verfahrensschritt erfolgt eine Wärmebehandlung, welche die funktionalen Einheiten permanent bondet. Denkbar ist auch, dass dieser Wärmebehandlungsschritt bereits nach dem dritten oder vierten Verfahrensschritt erfolgt, je nachdem wie stark der Pre-Bond ist. Je stärker der Pre-Bond desto später kann die Wärmebehandlung ausgeführt werden, da die Gefahr einer Verschiebung der funktionalen Einheiten geringer ist.

10 In einem siebten Verfahrensschritt werden die funktionalen Einheiten auf dem Empfängersubstrat dielektrisch eingebettet. Die dielektrische Einbettung kann durch unterschiedliche Verfahren erfolgen, beispielsweise und bevorzugt durch CVD (engl.: chemical vapour deposition), PVD (engl.: physical vapour deposition), einen Sol-Gel Prozess und weniger bevorzugt durch ALD (engl.: atomic layer deposition), Molekularstrahlepitaxie. Denkbar ist
15 allerdings auch, dass eine Einbettung in ein Polymer erfolgt.

In der Mehrzahl der Fälle bedeckt die abgeschiedene dielektrische Schicht die funktionalen Einheiten und muss daher bis auf die funktionalen Einheiten rückgedünnt werden. Die Rückdünnung erfolgt durch Schleif und/oder Polierprozesse. Denkbar wäre auch ein Rückätzen. Diese Verfahrensschritte sind dem Fachmann bekannt. Sie werden im weite-
20 ren Text nicht mehr erwähnt, da sie nicht zum Verständnis der Erfindung beitragen.

In einer Weiterbildung richten sich die vom Gebersubstrat gelösten funktionalen Einheiten durch einen Selbstassemblierungsprozess nach dem Transfer auf das Empfängersubstrat selbst aus. Die Selbstausrichtung kann dabei durch mehrere chemische und/oder physikalische Umstände bewirkt und/oder unterstützt werden.

25 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt der Pre-Bond der funktionalen Einheiten auf Erhebungen (engl. mesa). Diese Erhebungen können insbesondere mit einem dünnen Wasserfilm versehen sein. Wird die funktionale Einheit auf einer dieser Erhebungen abgelegt, wird sie durch einen Energieminimierungsprozess relativ zur Erhebung zentriert. Die Dicke Erhebungen ist kleiner als 1 mm, vorzugsweise kleiner als 0.5 mm,
30 noch bevorzugter kleiner als 0.1 mm, am bevorzugtesten kleiner als 0.05 mm, am allerbe-

vorzugtesten kleiner als 0.01 mm. Insbesondere soll die Erhebung dem Zweck dienen, einen Wasserfilm örtlich zu fixieren, da der Wasserfilm durch den Rand der Erhebung in seiner Position fixiert wird.

5 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Empfängersubstratoberfläche chemisch und/oder physikalisch maskiert. Unter einer Maskierung versteht man die Präparierung einer Oberfläche in der Art, dass mindestens zwei Bereichsarten mit unterschiedlichen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften entstehen. Denkbar wäre beispielsweise, dass jene Bereiche, in denen die funktionalen Einheiten fixiert werden sollen, hydrophil sind. Die umliegenden Bereiche sind hydrophob. Eine weitere Möglichkeit wäre Bereich mit einer hohen Haftfestigkeit zu erzeugen, während die umliegenden Bereiche eine sehr geringe Haftfestigkeit aufweisen. Derartige Maskierungen können durch kombinierte Verfahren aus der Fotolithografie, Imprintlithografie und der Beschichtungstechnik leicht vorgenommen werden.

15 Die beiden letztgenannten Ausführungsformen können vorteilhafterweise auch miteinander kombiniert werden. So ist es denkbar, dass die Oberfläche der Erhebungen hydrophilisiert wird, um den Wasserfilm noch besser zu fixieren und zu planarisieren, während zur Erhebung abgesetzte Umgebung hydrophob, d. h. wasserabweisend, ist.

20 Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist Gebersubstrat für ein erfindungsgemäßes Verfahren, wobei das Gebersubstrat die funktionale Einheit und die Trennschicht aufweist. Alle für das Verfahren beschriebenen Vorteile und Eigenschaften lassen sich analog übertragen auf das Gebersubstrat und andersrum.

25 Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Anlage zur Durchführung eines erfindungsgemäß, wobei die Anlage mindestens eine Steuereinrichtung aufweist, die das Verfahren koordiniert. Alle für das Verfahren beschriebenen Vorteile und Eigenschaften lassen sich analog übertragen auf die Anlage und andersrum.

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

Figur 1 eine schematische, Teil- und Seitenansicht eines Gebersubstrats,

Figur 2 eine schematische, Teil- und Seitenansicht eines Empfängersubstrats,

- Figur 3a einen ersten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 3b einen zweiten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 5 Figur 3c einen dritten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 3d einen vierten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 3e einen fünften Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 10 Figur 3f einen sechsten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 3g einen siebten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 15 Figur 3h einen achten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 4a einen ersten Verfahrensschritt eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 4b einen zweiten Verfahrensschritt eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 20 Figur 4c einen dritten Verfahrensschritt eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 4d einen vierten Verfahrensschritt eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens,
- 25 Figur 4e einen fünften Verfahrensschritt eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens,

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

- Die Figur 1 zeigt eine schematische Teil- und Seitenansicht eines Gebersubstrats 1, das ein Schichtsystems 3 mit einer Trennschicht 6, einem ersten Gebersubstratteil 2 und einem zweiten Gebersubstratteil 2' mit funktionalen Einheiten 4 aufgebaut ist. Das Gebersubstrat 1 kann auf jede beliebige Art und Weise hergestellt werden. Vorzugsweise sind die Trennschicht 6, das erste Gebersubstratteil 2 und das zweite Gebersubstratteil sandwichartig aufgebaut, wobei die Trennschicht 6 zwischen dem ersten Gebersubstratteil 2 und dem zweiten Gebersubstratteil 2' angeordnet ist.
- 10 Ein erstes beispielhaftes Verfahren zur Herstellung eines Gebersubstrats 1 verwendet Oxidschichten. Auf einem zweiten Ausgangssubstrat, das später zum zweiten Gebersubstratteil 2' wird und auf dem sich bereits funktionale Einheiten 4 befinden bzw. in dem bereits funktionale Einheiten integriert sind, wird eine Oxidschicht 7 abgeschieden, welche später zum Teil des Schichtsystems 3 wird. Gleichzeitig wird auf einem ersten Ausgangssubstrat, das später zum ersten Gebersubstratteil 2 wird, mindestens eine Trennschicht 6 abgeschieden. Denkbar ist auch, dass über der Trennschicht 6 ebenfalls ein Oxid 7 abgeschieden wird. Das erste und das zweite Ausgangssubstrat werden dann zum Gebersubstrat 1 gebondet. Danach erfolgt ein Rückdünnen bzw. ein Entfernen zumindest eines Teils des zweiten Ausgangssubstrats, insbesondere auf der dem ersten Ausgangssubstrat gegenüberüberliegenden Seite, bis zu den funktionalen Einheiten 4. Denkbar wäre auch die Verwendung eines SmartCut Prozesses. Die funktionalen Einheiten 4 können vor und/oder nach dem Bonden hergestellt werden. Dem Fachmann auf dem Gebiet sind allerdings unzählige Verfahren bekannt, um das in Figur 1 dargestellte Gebersubstrat 1 herzustellen.
- 25 Ein zweites Verfahren zur Herstellung eines Gebersubstrats 1 erzeugt mindestens die Trennschicht 6 als Teil des Schichtsystems 3 auf dem ersten Gebersubstratteil 2 und erzeugt den zweiten Gebersubstratteil 2' mittels Epitaxie auf dem Schichtsystem 3. In diesem Fall ist kein Bondvorgang notwendig, um das Gebersubstrat 1 mit den funktionalen Einheiten 4 zu erzeugen. Das Gebersubstrat 1 wird also beispielsweise monolithisch aufgebaut.
- 30

Der erste Gebersubstratteil 2 dient hauptsächlich der Stabilisierung, d. h. als Träger. Das Schichtsystem 3 umfasst im Allgemeinen eine Vielzahl, insbesondere dielektrischer, Hart-

stoffschichten. Denkbar wäre allerdings auch, dass mindestens eine der Schichten dielektrisch und organisch sind. Vorzugsweise umfassen alle dielektrische Hartstoffschichten ein Nitrid, Oxid, oder Karbid. Das Schichtsystem 3 verfügt über mindestens eine Trennschicht 6, die durch chemische und/oder physikalische Mittel, vorzugsweise durch Laserlicht, zu einer Trennung des ersten Gebersubstratteils 2 vom zweiten Gebersubstratteil 2' führt. Bei der Verwendung eines Lasers muss der Gebersubstratteil 2 sowie alle anderen Schichten des Schichtsystem 3 bis zur Trennschicht 6 transparent für die verwendete Laserstrahlung sein. Die Trennschicht 6 selbst sollte eine möglichst hohe Absorption für das verwendete Laserlicht besitzen.

- 10 Die funktionalen Einheiten 4 verfügen vorzugsweise über elektrische Kontakte 5, mit denen eine elektrische Verbindung zu weiteren funktionalen Einheiten 4 hergestellt werden kann.

Die funktionalen Einheiten 4 am Gebersubstrat 1 können alle vor einem Bondvorgang getestet werden, um die funktionierenden funktionalen Einheiten 4 (engl.: „good-known-dies“) beziehungsweise die defekten funktionalen Einheiten 4 zu identifizieren. Im weiteren Verfahren werden dann ausschließlich die funktionierenden funktionalen Einheiten 4 transferiert, d. h. es findet ein selektiver Transferprozess statt.

Die Vergrößerung der Figur 1 zeigt eine schematische Teil- und Seitenansicht eines Schichtsystems 3, das eine Trennschicht 6 und zwei Oxidschichten 7 umfasst. In diesem konkreten Fall wurde auf dem ersten Gebersubstratteil 2 zuerst die Trennschicht 6 und auf der Trennschicht 6 zur Erhöhung der Bondfestigkeit eine Oxidschicht 7 abgeschieden. Eine zweite Oxidschicht 7 wurde auf dem zweiten Gebersubstratteil 2' abgeschieden. Die Gebersubstratteile 2, 2' wurden dann über ihre Oxidschichten 7 miteinander verbondet. Das dargestellte Schichtsystem 3 ist nur eine von vielen Möglichkeiten. Eine weitere Möglichkeit könnte darin bestehen, nur die Trennschicht 6 auf dem Gebersubstratteil 2 abzuscheiden und direkt zur Oxidschicht 7 des Gebersubstratteils 2' zu bonden. Eine weitere Möglichkeit wäre, das Gebersubstrat 1 gänzlich monolithisch aufzubauen, auf dem Gebersubstratteil 2 ein Schichtsystem 3, mit mindestens einer Trennschicht 6 herzustellen, und danach durch einen, insbesondere epitaktischen Wachstumsprozess, den Gebersubstratteil 2' zu erzeugen. Durch das epitaktische Wachstum wäre die Herstellung funktionaler Einheiten 4 im zweiten Gebersubstratteil 2' möglich. Im Falle eines monolithischen Aufbaus ist kein Bondschritt zur Erzeugung des Gebersubstrats 1 erforderlich, und die Oxid-

schichten 7 werden zumindest nicht für das Bonden verwendet. Denkbar ist die Verwendung von Oxidschichten für einen Überwuchsprozess während der epitaktischen Herstellung des zweiten Gebersubstratteil 2'.

Die **Figur 2** zeigt eine schematische Teil- und Seitenansicht eines Empfängersubstrats 8, das aus einem Empfängersubstratteil 9 und einem darauf erzeugten Schichtsystem 3, sowie eine Teilvergrößerung. Das Schichtsystem 3 besteht in diesem einfachen Fall aus nur einer einzigen empfängersubstratseitigen Trennschicht 6. Denkbar ist auch in diesem Fall, dass das Schichtsystem 3 aus mehreren, unterschiedliche Aufgaben erfüllenden, Schichten aufgebaut ist. Durch die Verwendung eines Schichtsystems 3 wird es später wiederum möglich sein, die auf dem Gebersubstrat 8 erstellten funktionellen Einheitenstapel 16 (siehe beispielsweise Figur 3h) vom Empfängersubstratteil 9 zu trennen, um sie in weiteren Verfahrensschritten verkapseln zu können. Denkbar ist auch, dass das Empfängersubstrat 8 über kein Schichtsystem 3, insbesondere über keine empfängersubstratseitige Trennschicht 6, verfügt. Allerdings müssten zur Vereinzelung der funktionellen Einheitenstapel 16 dann andere Verfahren angewandt werden, insbesondere müsste man das Empfängersubstrat 8, insbesondere das Empfängersubstratteil 9, zurückschleifen. Dies würde zu einer Zerstörung des Empfängersubstrats 8 führen, was mit immensen Kosten verbunden wäre. Durch die Verwendung eines Schichtsystems 3 mit einer empfängersubstratseitigen Trennschicht 6 können die funktionellen Einheitenstapel 16 später vom Empfängersubstrat 8 getrennt und das Empfängersubstrat 8 erneut verwendet werden. Denkbar wäre auch, dass das Empfängersubstrat 8 nicht entfernt werden muss. Es kann insbesondere selbst über weitere funktionale Einheiten 4 verfügen oder einfach nur Teil der späteren funktionellen Einheitenstapel 16 werden, indem es einfach vertikal mitgetrennt wird.

Die **Figur 3a** zeigt einen ersten Verfahrensschritt eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem ein Gebersubstrat 1 bereitgestellt wird. Das Gebersubstrat 1 umfasst mindestens eine funktionale Einheit 4 und ein Schichtsystem 3. Das Schichtsystem 3 umfasst mindestens einer Trennschicht 6 (nicht eingezeichnet, siehe Figur 1).

Die **Figur 3b** zeigt einen zweiten Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem das Gebersubstrat 1 relativ zu einem (noch nicht bestückten) Empfängersubstrat 8 ausgerichtet wird. Ausrichtungsmarken auf dem Gebersubstrat 1 und/oder dem Empfängersubstrat 8 sind nicht eingezeichnet. Die Ausrichtung erfolgt beispielsweise über Optiken 17. Das dargestellte Empfängersubstrat 8 könnte bereits so prozessiert worden sein, dass es selbst bereits im Ausgangszustand

über funktionale Einheiten verfügt. Um die Figuren möglichst einfach zu halten, wurde auf die Darstellung eines bereits prozessierten Empfängersubstrats 8 verzichtet. Das Empfängersubstrat 8 wird daher als nicht prozessiertes Substrat dargestellt.

Die **Figur 3c** zeigt einen dritten Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem das Gebersubstrat 1 mit dem Empfängersubstrat 8 verbondet wird. Da die Gebersubstratoberfläche und die Empfängersubstratoberfläche dielektrisch sind, handelt es sich um einen Direktbond. Die Gebersubstratoberfläche und/oder die Empfängersubstratoberfläche können chemisch und/oder physikalisch behandelt worden sein, insbesondere erfolgt eine Hydrophilisierung.

Die **Figur 3d** zeigt einen vierten Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem eine Einwirkung auf das Schichtsystem 3, insbesondere auf die im Schichtsystem 3 enthaltene Trennschicht 6, erfolgt. Vorzugsweise handelt es sich um eine thermische, insbesondere durch elektromagnetische Strahlung, am bevorzugtsten von einem Laser 18 erzeugte, Einwirkung. Durch die Verwendung eines Lasers 18 ist eine lokale und damit insbesondere selektive, d.h. auf eine wohldefinierte Fläche beschränkte, Einwirkung möglich. In der Figur wird die Transmission des Laserstrahls 19 durch das Gebersubstrat 1 dargestellt. Denkbar ist, dass ein Laserstrahl 19 über das Gebersubstrat 1 und/oder das Empfängersubstrat 8 einwirkt. Im weiteren Verlauf des Verfahrens werden allerdings mehrere funktionale Einheiten 4 am Empfängersubstrat 8 gestapelt, sodass eine Transmission der Laserstrahlung 19 durch das Empfängersubstrat 8 nicht mehr oder nur mehr beschränkt möglich ist. Vorzugsweise wird der Laserstrahl 19 daher durch das Gebersubstrat 1 auf das Schichtsystem 3, insbesondere die Trennschicht 6, fokussiert.

Die **Figur 3e** zeigt einen fünften Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem das Gebersubstrat 1 wieder vom Empfängersubstrat 8 entfernt wird. Exemplarisch wird nur eine übertragene funktionale Einheit 4 am Empfängersubstrat 8 dargestellt, um die Selektivität des Verfahrens hervorzuheben. In einer Produktionsumgebung werden vorzugsweise alle (funktionierenden) funktionalen Einheiten 4 des Gebersubstrats 1 auf das Empfängersubstrat 8 übertragen. Sollten einige der funktionalen Einheiten des Gebersubstrats 1 beschädigt sein, werden die fehlenden funktionalen Einheiten am Empfängersubstrat durch weitere funktionale Einheiten eines weiteren Gebersubstrats (nicht dargestellt) entnommen. Des Weiteren ist es möglich, dass weitere Gebersubstrate 1'', 1''' (nicht dargestellt) mit weiteren funktionalen Einheiten anderer Größe, Beschaffenheit, Form oder Funktionalität auf das Empfängersubstrat

übertragen werden. Auf die Darstellung dieser weiteren funktionalen Einheiten wird der Übersichtlichkeit halber ebenfalls verzichtet.

Die **Figur 3f** zeigt einen sechsten Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem eine Wärmebehandlung durchgeführt wird.

- 5 Dieser Verfahrensschritt kann auch bereits nach dem dritten Verfahrensschritt (siehe Figur 3c) oder nach dem vierten Verfahrensschritt (siehe Figur 3d) durchgeführt werden. Die Wärmebehandlung sorgt für die Umwandlung des Pre-Bonds in einen permanenten Bond.

- 10 Die **Figur 3g** zeigt einen siebten Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem eine Einbettung der funktionalen Einheiten 4 in eine dielektrische Schicht 11 erfolgt. Durch diesen Verfahrensschritt wird eine neue Empfängersubstratoberfläche geschaffen, auf der eine neue Menge an funktionalen Einheiten 4 befestigt werden können. Im Allgemeinen wird die dielektrische Schicht 11 über die funktionalen Einheiten abgeschieden und muss in einem weiteren Verfahrensschritt
- 15 rückgedünnt werden, insbesondere solange bis die funktionale Einheit nicht mehr von der aufgetragenen dielektrischen Schicht bedeckt ist. Das Rückdünnen erfolgt vorzugsweise mittels CMP (engl.: chemical mechanical polishing). Dieser Verfahrensschritt wird nicht explizit dargestellt. Die Figur 3g zeigt nur das Endergebnis der Abscheidung der dielektrischen Schicht 11. Denkbar wäre auch noch, dass die funktionalen Einheiten 4 nach dem
- 20 Rückdünnen mit elektrischen Kontakten 5 versehen werden müssen, sollten diese an der jetzt exponierten Oberfläche noch nicht vorhanden sein. Auch auf die Darstellung aller Verfahrensschritte zur Erzeugung solcher Kontakte wird verzichtet. Die Figur 3g scheint darzustellen, dass die dielektrische Schicht 11 bis auf die Höhe der funktionalen Einheiten 4 zurückgedünnt wurde, was in einem Produktionsprozess nicht oder nur sehr schwer zu
- 25 realisieren ist. Vorzugsweise wird die abgeschiedene dielektrische Schicht 11 nicht bis auf die funktionalen Einheiten 4 zurückgedünnt, sondern bedeckt diese minimal (siehe linke Vergrößerung Fig. 3h). Sollte die dielektrische Schicht 11 dennoch bis auf die funktionalen Einheiten 4 rückgedünnt werden, so ist eine weitere Beschichtung mit einer Verbindungsschicht 21 (siehe rechte, alternative Vergrößerung Fig. 3h) möglich. In einer weiteren, be-
- 30 sondern bevorzugten Ausführungsform würde die dielektrische Schicht 11 bis auf die funktionalen Einheiten 4 rückgedünnt werden und die funktionalen Einheiten 4 der nächsten Ebene würden direkt mit den funktionalen Einheiten 4 der darunterliegenden Ebene kontaktiert werden. Sollten sich die Produktionsprozesse in Zukunft verbessern, würde

dieser Prozessfluss ein noch kompakteres und dünneres Endprodukt, d. h. Produktsubstrat, ermöglichen.

Die **Figur 3h** zeigt einen achten Verfahrensschritt des beispielhaften ersten Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung mit dem Endergebnis. Mehrere funktionale Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' wurden höhenversetzt und teilweise innerhalb einer lateralen Ebene (4'', 4''') angeordnet. Die unterschiedlichen funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' sind der Übersichtlichkeit halber in unterschiedlichen Grautönen dargestellt. Die Figur 3h zeigt auch zwei mögliche Vergrößerung der funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' um die elektrischen Kontakte 5 darstellen zu können, über welche die funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' miteinander verbunden sind. Die erste, linke Vergrößerung stellt den häufigsten in der Industrie anzutreffenden Fall dar, bei dem die dielektrische Schicht 11 nicht vollständig auf die Höhe der funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' rückgedünnt wurde. Die Durchkontaktierungen oder TSVs (engl.: through silicon via) 20 erlauben die Kontaktierung der funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' unterschiedlicher Ebenen durch die dielektrische Schicht 11. Die zweite, rechte Vergrößerung stellt eine Alternative dar (das Zeichen v repräsentiert ein mathematisches ODER), bei der die dielektrische Schicht 11 bis auf die funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' rückgedünnt wurde. Über die dielektrische Schicht 11 und die funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' wurde dann eine Verbindungsschicht (engl.: interconnect layer) 21 abgeschieden. Die Verbindungsschicht 21 kann aus demselben oder einem anderen Material als die dielektrische Schicht 11 gebildet sein. Denkbar ist auch, dass beide Verfahren kombiniert werden, d. h. die dielektrische Schicht 11 wird bis kurz über die funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' rückgedünnt und danach wird zusätzlich eine Verbindungsschicht 21 abgeschieden (nicht dargestellt). Die Herstellung dieser Durchkontaktierungen 20 und zusätzlicher Leiterbahnen kann insbesondere mit dem Dual-Damaszen-Prozess erfolgen. Diese Möglichkeiten sind dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt und werden hier nicht weiter ausgeführt, da sie nichts zur eigentlichen Patentidee beitragen. Denkbar ist auch, dass die funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' übereinandergestapelt direkt miteinander verbunden werden, d. h. dass auf die Herstellung von, über die funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' abgeschiedenen dielektrischen Schichten 11 und/oder von Verbindungsschichten 21 und Durchkontaktierungen 20 gänzlich oder zumindest teilweise verzichtet wird. Die Menge dieser funktionalen Einheiten 4, 4', 4'', 4''', 4'''' bildet einen funktionalen Einheitenstapel 16, der später als Chip verwendet werden kann. Dieser wird aus dem Empfängersubstrat 8 getrennt, möglicherweise vergossen und mit Kontakten oder Lötkegeln versehen. Denkbar ist auch,

dass der neue funktionale Einheitenstapel 16 direkt gemäß einem der beschriebenen Verfahren vorliegenden Erfindung erneut weiterverarbeitet wird. Das so erhaltene Empfängersubstrat 8 kann dann vereinzelt und weiterverarbeitet werden, beispielsweise zu einem Endprodukt wie einen Chip 15 (siehe Figur 5).

- 5 Es wurde absichtlich eine Darstellung gewählt, bei der die unterste funktionale Einheit 4 eine kleinere laterale Ausdehnung hat, als die zu ihr gebondete funktionale Einheit 4' um die Möglichkeiten dieses Verfahrens aufzuzeigen. Im Produktionsprozess kann es sein, dass die unterste funktionale Einheit 4 die größten lateralen Dimensionen besitzt und über ihr gestapelten funktionalen Einheiten 4', 4'', 4''', 4'''' mit zunehmendem Abstand zur funktionalen Einheit 4 immer kleinere laterale Dimensionen besitzen. Des Weiteren ist erkennbar, dass auf der rechten Seite der funktionalen Einheit 4' zwei funktionale Einheiten 4''' und 4'''' gestapelt wurden, während die linke Seite nur über eine einzige funktionale Einheit 4'' verfügt.

- 15 Die **Figur 4a** zeigt einen ersten Verfahrensschritt eines zweiten beispielhaften Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem aus einem größeren Gebersubstrat 1 (nicht dargestellt) mindestens ein Gebersubstrateinzelstück 12 herausgetrennt wurde. Dieses Gebersubstrateinzelstück stellt selbst ein Gebersubstrat 1 dar.

- 20 Die **Figur 4b** zeigt einen zweiten Verfahrensschritt des zweiten beispielhaften Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem ein Bondkopf 13 eines Chip-to-Wafer Bonders (nicht dargestellt) ein Gebersubstrateinzelstück 12 rückseitig fixiert und über dem Empfängersubstrat 8 positioniert. Die Positionierung kann wieder optisch, insbesondere anhand von Ausrichtungsmarken, und/oder computergesteuert erfolgen. Das dargestellte Empfängersubstrat 8 könnte bereits so prozessiert worden sein, dass es selbst bereits im Ausgangszustand über funktionale Einheiten verfügt. Um die Figuren möglichst einfach zu halten, wurde auf die Darstellung eines bereits prozessierten Empfängersubstrats 8 verzichtet. Das Empfängersubstrat 8 wird daher als unprozessiertes Substrat dargestellt.

- 30 Die **Figur 4c** zeigt einen dritten Verfahrensschritt des zweiten beispielhaften Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung, bei dem das Gebersubstrateinzelstück 12 mit dem Empfängersubstrat 8 verbondet wird. Da die Gebersubstrateinzelstückoberfläche und die Empfängersubstratoberfläche dielektrisch sind, handelt es sich um einen Direktbond. Die Gebersubstrateinzelstückoberfläche und/oder die Empfängersubstratoberfläche können chemisch und/oder physikalisch behandelt worden sein, insbesondere erfolgt eine Hydrophilisierung.

- Die **Figur 4d** zeigt einen vierten Verfahrensschritt des zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem eine Einwirkung auf das Schichtsystem 3, insbesondere die im Schichtsystem 3 enthaltene Trennschicht 6 erfolgt. Vorzugsweise handelt es sich um eine thermische, insbesondere durch elektromagnetische Strahlung, am bevorzugtesten von einem Laser 18 erzeugte, Einwirkung. Die Selektivität des zweiten Verfahrens besteht bereits darin, dass einzelne Gebersubstrateinzelstücke 12 verwendet werden, während im ersten Verfahren die Selektivität durch die Verwendung des Lasers definiert wird. In der Figur wird die Transmission des Laserstrahls 19 durch das Gebersubstrateinzelstück 12 dargestellt. Denkbar ist, dass ein Laserstrahl 19 über das Gebersubstrateinzelstück 12 und/oder das Empfängersubstrat 8 einwirkt. Im weiteren Verlauf des Verfahrens werden allerdings mehrere funktionale Einheiten 4 am Empfängersubstrat 8 gestapelt, sodass eine Transmission der Laserstrahlung 19 durch das Empfängersubstrat 8 nicht mehr oder nur mehr beschränkt möglich ist. Vorzugsweise wird der Laserstrahl 19 daher durch das Gebersubstrateinzelstück 12 auf das Schichtsystem 3, insbesondere die Trennschicht 6, fokussiert.
- Die **Figur 4e** zeigt einen fünften Verfahrensschritt des zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem das Gebersubstrateinzelstück 12 wieder vom Empfängersubstrat 8 entfernt wird. Exemplarisch wird nur eine übertragene funktionale Einheit 4 am Empfängersubstrat 8 dargestellt, um die Selektivität des Verfahrens hervorzuheben. In einer Produktionsumgebung werden vorzugsweise mehrere (funktionierende) funktionalen Einheiten 4 mehrerer Gebersubstrateinzelstücke 12 auf das Empfängersubstrat 8 übertragen. Sollte die funktionale Einheit eines Gebersubstrateinzelstück 12 beschädigt sein, wird dieses erst gar nicht aus der Menge aller Gebersubstrateinzelstücke 12 entnommen. Des Weiteren ist es möglich, dass weitere Gebersubstrateinzelstücke 12', 12'' (nicht dargestellt) mit weiteren funktionalen Einheiten anderer Größe, Beschaffenheit, Form oder Funktionalität auf das Empfängersubstrat 8 übertragen werden. Auf die Darstellung dieser weiteren funktionalen Einheiten 4 wird der Übersichtlichkeit halber ebenfalls verzichtet.
- Die weiteren Verfahrensschritte des zweiten Verfahrens sind identisch zu den Verfahrensschritten des ersten Verfahrens gemäß den Figurenbeschreibungen und Figuren 3f, 3g und 3h und werden hier nicht nochmals explizit ausgeführt.
- Die **Figur 5** zeigt eine schematische Skizze eines von vielen möglichen Endprodukten, einem in eine Gussmasse 13 und mit Lötkegeln 14 versehenen Chip 15. Die Kontaktierung zwischen den beiden mittleren Lötkegeln 14 und den funktionalen Einheit 4 ist nicht explizit dargestellt. Denkbar sind weitere Endprodukte, bei denen keine Lötkegeln 14, sondern

flache Kontakte (engl.: pads) verwendet werden, Endprodukte, die nicht in einer Gussmasse vergossen werden, etc.

Bezugszeichenliste

5	1	Gebersubstrat
	2	Erstes Gebersubstratteil
	2'	Zweites Gebersubstratteil
	3	Schichtsystem
	4, 4', 4'', 4''', 4''''	funktionale Einheit
10	5	Elektrische Kontakte
	6	Trennschicht
	7	Oxidschicht
	8	Empfängersubstrat
	9	Empfängersubstratteil
15	10	Lötkekeln
	11	Dielektrische Schicht
	12	Gebersubstrateinzelstück
	13	Bondkopf
	14	Gussmasse
20	15	Chip
	16	funktionaler Einheitenstapel
	17	Optik
	18	Laser
	19	Laserstrahl
25	20	Durchkontaktierung, TSV (engl.: through silicon via)
	21	Verbindungsschicht (engl.: interconnect layer)

Ansprüche

1. Verfahren zum Transfer einer funktionalen Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') von einem die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') abgebenden Gebersubstrat (1) zu einem die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') aufnehmenden Empfängersubstrat (8), insbesondere als Teilschritt zum Aufbau eines Produktsubstrats, umfassend:
- Bereitstellen eines Gebersubstrats (1) und eines Empfängersubstrats (8), wobei das Gebersubstrat (1) eine funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4'''), vorzugsweise mehrere funktionale Einheiten (4, 4', 4'', 4''', 4'''), und eine Trennschicht (6), vorzugsweise integriert in ein Schichtsystem (3), aufweist,
 - Ausrichten des Gebersubstrats (1) und des Empfängersubstrats (8) zueinander mittels einer Ausrichtungseinrichtung,
 - Auftrennen der Trennschicht (6) im Bereich der funktionalen Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') und
 - Entfernen des Gebersubstrats (1) ohne die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4'''),
- wobei die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') zum Aufbau eines Produktsubstrats auf dem Empfängersubstrat (8) oder einem Produktsubstrataufbau am Empfängersubstrat (8) zurückgelassen wird.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die zurückgelassene funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') angebunden und/oder eine dielektrische Schicht auf dem Empfängersubstrat (8) aufgetragen wird.
3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Kontakt zwischen dem Gebersubstrat (1) auf der einen Seite und dem Empfängersubstrat (8) oder dem Produktsubstrataufbau auf der anderen Seite hergestellt wird, wobei der Kontakt, insbesondere ein direkter Kontakt, zwischen dem Gebersubstrat (1) und dem Empfängersubstrat (8) oder dem Produktsubstrataufbau über eine Kontaktseite des Gebersubstrats (1) hergestellt wird, wobei ein Abschnitt der funktionalen Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') einen Teil der Kontaktseite bildet.
4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Trennschicht (6) optisch und/oder chemisch aufgetrennt wird.

5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Trennschicht (6) lokal begrenzt aufgetrennt wird.
- 5 6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Trennschicht (6) und/oder das Schichtsystem mindestens eine Lage aus einem anorganischen Material umfasst, insbesondere aus einem anorganischen Material besteht.
- 10 7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zeitlich vor dem Herstellen des Kontakts zwischen dem Gebersubstrat (2) und dem Empfängersubstrat (8) die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') einem Funktionstest unterzogen wird.
- 15 8. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mehrere funktionale Einheiten (4, 4', 4'', 4''', 4''') auf dem Empfängersubstrat (8) oder dem Produktsubstrataufbau höhenversetzt zueinander angeordnet werden.
- 20 9. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zum Auftrennen Laserlicht, insbesondere gepulstes Laserlicht, verwendet wird.
- 25 10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') Teil einer Mehrzahl von funktionalen Einheiten (4, 4', 4'', 4''', 4''') ist, die vom selben Gebersubstrat (1), vorzugsweise gleichzeitig oder nacheinander, auf dem Empfängersubstrat (8) zurückgelassen werden.
- 30 11. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in einem Vorbereitungsschritt ein Gebersubstrat (1) hergestellt wird, an dessen Kontaktseite die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4'''), vorzugsweise eine Mehrzahl an funktionalen Einheiten (4, 4', 4'', 4''', 4'''), ausgebildet ist.
12. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Produktsubstrat oder der Produktsubstrataufbau über eine empfängersubstratseitige Trennschicht (6) vom Empfängersubstrat (8) gelöst wird.

13. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') eine senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene bemessene Dicke aufweist, die kleiner ist als 50 µm, bevorzugt kleiner 25 µm und besonders bevorzugt kleiner als µm oder sogar kleiner als 100 nm, wobei die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4''') bevorzugt verkapselt ist.
14. Gebersubstrat (1) für ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gebersubstrat (1) die funktionale Einheit (4, 4', 4'', 4''', 4'''), vorzugsweise mehrere funktionale Einheiten (4, 4', 4'', 4''', 4'''), und die Trennschicht (6) umfasst.
15. Anlage zum Durchführen eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, umfassend mindestens eine Steuereinrichtung zur Koordination des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13.