

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Anmeldenummer: GM 67/2017
(22) Anmeldetag: 05.04.2017
(24) Beginn der Schutzdauer: 15.02.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2020

(51) Int. Cl.: **H01L 41/083** (2006.01)
H01L 21/18 (2006.01)
H03H 9/02 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 5998907 A
US 2007166883 A1
EP 0742598 A1

(73) Gebrauchsmusterinhaber:
EV Group E. Thallner GmbH
4782 St. Florian am Inn (AT)

(72) Erfinder:
Eibelhuber Martin
4910 Ried im Innkreis (AT)

(74) Vertreter:
Martinschitz Klaus Jürgen
4782 St. Florian am Inn (AT)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Bonden**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bonden einer Vielzahl von Substratteilen eines ersten Substrats auf ein zweites Substrat. Erfindungsgemäß werden Vertiefungen in das erste Substrat eingebracht. Danach wird das erste Substrat zu einem zweiten Substrat gebondet. Nach dem Bondprozess erfolgt eine Materialabtragung und damit eine Vereinzelung des ersten Substrats. Eine anschließende Wärmebehandlung verfestigt den Bond zwischen den Substratteilen und dem zweiten Substrat.

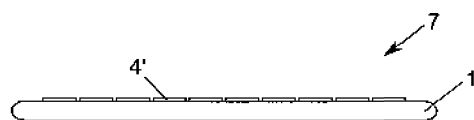


Fig. 1h

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BONDEN

[0001] In der Halbleiterindustrie werden seit mehreren Jahren Substrate miteinander verbunden. Den Verbindungsprozess nennt man Bonden. Durch das Bonden wird eine Herstellung einer Lagenstruktur aus Substraten mit unterschiedlichen Eigenschaften ermöglicht.

[0002] Es existieren unterschiedliche Bondverfahren wie Direkt- bzw. Fusionsbonden, eutektisches Bonden, Metaldiffusionsbonden, anodisches Bonden oder Temporärbonden. Die ersten vier Bondverfahren dienen der permanenten Verbindung zweier Substrate während das letztgenannte Bondverfahren einer temporären Produktsubstratfixierung auf einem Trägersubstrat dient. Insbesondere das Fusionsbonden gewinnt zunehmend an Bedeutung, da mit dessen Hilfe viele Halbleitermaterialien und Oxidmaterialien, bei relativ geringen Temperaturen, sehr effizient permanent miteinander verbunden werden können.

[0003] Ein sehr wichtiger Bondvorgang ist dabei die Verbindung von Substraten mit unterschiedlichen mechanischen und/oder thermischen Eigenschaften. Materialien können sich im Allgemeinen in ihren mechanischen und/oder thermischen Verhalten sehr stark voneinander unterscheiden. Werden zwei Materialien mit stark unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten bei einer Herstelltemperatur miteinander kontaktiert und verbondet, die von der späteren Verwendungstemperatur abweicht, so können sich die beiden Substrate nicht mehr unabhängig voneinander dehnen. Je größer die Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten ist, desto größer ist bei einer auftretenden Temperaturänderung die Differenz in der thermischen Dehnung. Die Längenänderung würde bei zwei nicht miteinander verbundenen Substraten mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten kein Problem darstellen, da sich jedes der beiden Substrate entsprechend frei dehnen kann. Sind die beiden Substrate allerdings durch einen Bondprozess miteinander verbunden, wirkt ein Substrat dehnungsbehindernd auf das jeweils zweite Substrat. Diese Dehnungsbehinderung führt notwendigerweise zum Aufbau einer Spannung. Durch die Dehnungsbehinderung entstehen in den Substraten also thermische Spannungen. Selbst kleine Temperaturänderungen können so zu merklichen thermischen Spannungen führen.

[0004] Sehr oft durchlaufen derartig verbondete Substrate bereits beim Herstellprozess unterschiedliche Temperaturen, sodass bereits beim Herstellprozess hohe thermische Spannungen auftreten können, welche die Substrate zerstören. Unter Zerstörung kann man ein Brechen, eine Ablösung oder eine Vorwölbung eines Substrats verstehen. Eine Möglichkeit zur Minimierung derartiger thermischer Spannungen besteht in der Vereinzelung von einem der beiden Substrate vor einer, insbesondere notwendigen, Temperaturänderung im Herstellprozess. Die Vereinzelung des Substrats erfolgt dabei im Stand der Technik regelmäßig entweder erst nach einem, notwendigerweise vollflächigen, Bondvorgang oder die Substrate werden aufwendig durch einen Bestückungsprozess mit bereits vereinzelt Substratteilen bestückt.

[0005] Vor allem in der Halbleiterindustrie werden sehr oft monokristalline Substrate eingesetzt. Die physikalischen Eigenschaften von Monokristallen sind im Allgemeinen anisotrop, d.h. richtungsabhängig. Diese Anisotropie verschärft die Situation weiter. Für sehr viele Anwendungen in der Halbleiterindustrie sind vor allem Substrate mit piezoelektrischen Eigenschaften von herausragender Bedeutung.

[0006] Der Stand der Technik offenbart mehrere Druckschriften, in denen Substrate aus piezoelektrische Materialien, insbesondere Lithiumtantalat oder Lithiumniobat, zu Substraten gebondet werden die, im Speziellen, über keine piezoelektrischen Eigenschaften verfügen. Die Druckschrift US7331092B2 offenbart beispielsweise die Aktivierung und das Bonden eines solchen Substrats, sowie dessen spätere Trennung. In der Druckschrift US8907547B2 wird ein Verbund aus einem Lithiumtantalat- oder Lithiumniobatsubstrat mit einem Siliziumsubstrat beschrieben. Ähnliche Verfahren werden im Stand der Technik in den Druckschriften US7208859B2, US7230512B1, US7635636B2, US7105980B2, US7213314B2, DE102010053273B4, Mizumoto

et al., Direct Wafer Bonding and Its Application to Waveguide Optical Isolators, Materials, 985-1004 (2012), ISSN 1996-1944 und Eibelhuber et al., Temperature stabilization of LiNbO₃ using plasma activated wafer bonding, SAW Symposium (2014) erwähnt.

[0007] Keine der genannten Druckschriften erwähnt allerdings, wie man vereinzelte Substratteile eines, insbesondere piezoelektrischen, Materials durch einen effizienten, schnellen und sauberen Prozess auf die Oberfläche eines Substrats bonden kann. Insbesondere behandeln die erwähnten Druckschriften nur Bondverfahren, bei denen ein piezoelektrisches Substrat vollflächig gebondet wird oder mit bereits vereinzelt Substratteilen aufwendig und kostenintensiv bestückt wird. Derartige Bondverfahren führen bei vielen Substraten zu Schädigungen während einer Wärmebehandlung.

[0008] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, welche die Nachteile des Stands der Technik beseitigen und insbesondere dem Aufbau eines Substrats mit vereinzelt, insbesondere piezoelektrischen, Substratteilen bzw. Substratteilstapeln dient. Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der nebengeordneten Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0009] Der erfindungsgemäße Gedanke besteht in der Herstellung eines Substratstapels, bestehend aus einem ersten Substrat und einem zweiten Substrat, bei dem mindestens eines der beiden Substrate vor dem Bondprozess speziell, insbesondere mechanisch und/oder chemisch, vorbehandelt wurde und einer anschließenden Materialentfernung an mindestens einem der beiden Substrate.

[0010] Mindestens ein Substrat weist entlang mindestens einer Richtung, insbesondere entlang zweier normal aufeinander stehender Richtungen, Vertiefungen auf. Die Vertiefungen besitzen eine wohldefinierte Tiefe, welche die spätere maximale Höhe der aus dem erfindungsgemäßen Prozess entstehenden, vereinzelt Substratteile definiert. Die Tiefe der Vertiefungen ist dabei größer als 1 nm, vorzugsweise größer als 10 nm, noch bevorzugter größer als 100 nm, am bevorzugtesten größer als 1 µm, am allerbevorzugtesten größer als 1mm. Die Vertiefungen verlaufen dabei vorzugsweise von einem ersten Abschnitt der Substratperipherie zu einem, dem ersten Abschnitt gegenüberliegenden, zweiten Abschnitt der Substratperipherie, durchschneiden das Substrat also vollständig. Denkbar ist allerdings auch, dass die Vertiefungen niemals die Substratperipherie schneiden. Erfindungsgemäß werden die Vertiefungen vor dem Bondvorgang dabei auf der Bondseite des Substrats eingebracht.

[0011] Die Substrate können jede beliebige Form besitzen, sind aber bevorzugt kreisrund. Der Durchmesser der Substrate ist insbesondere industriell genormt. Für Wafer sind die industriellen Durchmesser, 1 Zoll, 2 Zoll, 3 Zoll, 4 Zoll, 5 Zoll, 6 Zoll, 8 Zoll, 12 Zoll und 18 Zoll. Die erfindungsgemäße Ausführungsform kann aber grundsätzlich jedes Substrat, unabhängig von dessen Durchmesser handhaben. Insbesondere sind daher auch rechteckige Substrate denkbar.

[0012] Ein entscheidendes Merkmal für die Qualität eines Bonds stellt die Rauheit der Substratbondoberflächen dar. Die Rauheit wird entweder als mittlere Rauheit, quadratische Rauheit oder als gemittelte Rauhtiefe angegeben. Die ermittelten Werte für die mittlere Rauheit, die quadratische Rauheit und die gemittelte Rauhtiefe unterscheiden sich im Allgemeinen für dieselbe Messstrecke bzw. Messfläche, liegen aber im gleichen Größenordnungsbereich. Daher sind die folgenden Zahlenwertebereiche für die Rauheit entweder als Werte für die mittlere Rauheit, die quadratische Rauheit oder für die gemittelte Rauhtiefe zu verstehen. Die Rauheit ist dabei kleiner als 100 µm, vorzugsweise kleiner als 10 µm, noch bevorzugter kleiner als 1 µm, am bevorzugtesten kleiner als 100nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 10nm.

[0013] Im Folgenden wird ein erfindungsgemäßer Prozess beschrieben, der die Herstellung von vereinzelt, insbesondere piezoelektrischen, Substratteilen auf einem Substrat beschreibt.

[0014] In einem erfindungsgemäß ersten Prozessschritt wird ein erstes Substrat aus einem Material mit entsprechenden thermischen und/oder mechanischen Eigenschaften ausgewählt.

Vorzugsweise handelt es sich dabei um eines der folgenden Materialien

- [0015] • Halbleitermaterial, insbesondere
- [0016] o Ge, Si, Alpha-Sn, B, Se, Te
- [0017] • Verbindungshalbleiter, insbesondere
- [0018] o 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
- [0019] • Metall, insbesondere
- [0020] o Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Co, Pt, W, Cr, Pb, Ti, Ta, Zn, Sn
- [0021] • Mineralien, insbesondere
- [0022] o Apatite
- [0023] o Quarz (SiO_2)
- [0024] • Nitride, insbesondere
- [0025] o Aluminiumnitrid (AlN)
- [0026] • Phosphate, insbesondere
- [0027] o Galliumphosphat (GaPO_4)
- [0028] • Silikate, insbesondere
- [0029] o Lanthangalliumsilikat
- [0030] • Oxide, insbesondere
- [0031] o Titanate, insbesondere
- [0032] ▪ Bariumtitanat (BaTiO_3)
- [0033] ▪ Bleizirkonattitanat (PZT)
- [0034] ▪ Bismuttitanat ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$)
- [0035] ▪ Natriumbismuttitanat ($\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$, $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$)
- [0036] ▪ Lithiumtitanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, Li_2TiO_3)
- [0037] o Tantalate, insbesondere
- [0038] ▪ Lithiumtantalat (LiTaO_3)
- [0039] ▪ Bleiscandiumtantalat ($\text{Pb}(\text{Sc}_x\text{Ta}_{1-x})\text{O}_3$)
- [0040] o Niobiate, insbesondere
- [0041] ▪ Lithiumniobat (LiNbO_3)
- [0042] o Siliziumdioxid (SiO_2)
- [0043] • Polymere, insbesondere
- [0044] o Polyvinylidenfluorid
- [0045] • Salze, insbesondere
- [0046] o Kaliumnatriumtartrat Tetrahydrat ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

[0047] Denkbar, wenn auch erfindungsgemäß nicht bevorzugt, ist die Beschichtung von mindestens einem der beiden Substrate auf der Substratbond- und/oder Substratrückseitenoberfläche, insbesondere mit mindestens einem der in der oberen Liste genannten Materialien. Die

Beschichtung kann folgende Eigenschaften aufweisen

[0048] • Verbesserung der Hafteigenschaft zwischen erstem und zweitem Substrat, insbesondere durch Erzeugung einer amorphen Phase

[0049] • Diffusionshemmende Eigenschaften

[0050] • Hohe Duktilität um auftretende thermische Spannungen durch Plastifizierung abzubauen.

[0051] • Oxidationsschutz

[0052] Eine beidseitige Beschichtung wäre insbesondere zur Vermeidung einer Krümmung des Schicht-Substratverbundes sinnvoll.

[0053] In einem erfindungsgemäßen zweiten Prozessschritt wird das erste Substrat mit den erfindungsgemäßen Vertiefungen versehen. Die Vertiefungen können dabei in das erste Substrat geschnitten werden. Das Schneiden erfolgt vorzugsweise mit Hilfe einer Säge oder eines Drahts. Denkbar ist auch ein Ätzen der Vertiefungen. Dazu wird in einem ersten Prozessschritt eine Material, insbesondere ein Lack, noch bevorzugter ein Fotolack, auf das erste Substrat aufgebracht. In einem zweiten Prozessschritt wird das Material durch eine geeignete Maske belichtet. In einem dritten Prozessschritt wird das Material entwickelt und in einem vierten Prozessschritt optional gereinigt, sodass eine Ätzmaske entsteht. Danach erfolgt eine Ätzung des ersten Substrats mit einer Chemikalie, einem Plasma oder eine Sputteranlage. Durch die vorher aufgebrachte Ätzmaske werden nur die freigelegten Bereiche vom Material des ersten Substrats entfernt. Denkbar ist auch die Erzeugung der Vertiefungen durch hochenergetische, insbesondere stark fokussierte, Ionen- und/oder Laserstrahlen etc.

[0054] In einem erfindungsgemäßen, optionalen dritten Prozessschritt wird die Substratbondoberfläche des ersten Substrats behandelt. Unter einer Behandlung versteht man die Anwendung von mindestens einem der folgenden Prozesse

[0055] • Reinigung, insbesondere

[0056] o Chemische Reinigung

[0057] o Physikalische Reinigung

[0058] • Aktivierung, insbesondere

[0059] o Durch Plasma

[0060] o Durch Ionenbeschuss

[0061] • Mechanische Bearbeitung, insbesondere

[0062] o Schleifen

[0063] o Polieren

[0064] Vorzugsweise wird vor allem ein Reinigungsprozess durchgeführt um die Substratbondoberfläche zu reinigen und sie für den späteren Bondprozess vorzubereiten. Eine Aktivierung der Substratbondoberfläche kann die spätere Bondfestigkeit des Verbonds ebenfalls drastisch erhöhen. Eine Reinigung der Oberfläche kann auch durch Ionenstrahlen erfolgen.

[0065] In einem erfindungsgemäßen vierten Prozessschritt wird das erste Substrat zu einem zweiten Substrat ausgerichtet. Das zweite Substrat besteht vorzugsweise ebenfalls aus mindestens einem der, im ersten Prozessschritt aufgezählten, Materialien, am bevorzugtesten aus Si. In einer ganz besonders bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist das Material des zweiten Substrats mit einer Oxidschicht versehen, insbesondere mit SiO₂. Das erste Substrat wird dazu auf einem ersten Probenhalter fixiert. Ein beispielhafter Probenhalter wird in der Druckschrift WO2013023708A1 beschrieben. Das zweite Substrat wird auf einem zweiten Probenhalter fixiert. Der zweite Probenhalter kann das zweite Substrat eben oder gekrümmt fixieren. Vorzugsweise handelt es sich um einen Ausrichtungsprozess anhand von Ausrich-

tungsmarken. Im Falle einer einfachen mechanischen Ausrichtung, bei der es auf eine geringe Ausrichtungsgenauigkeit ankommt, wird auf die Ausrichtung anhand von Ausrichtungsmarken vorzugsweise gänzlich verzichtet.

[0066] In einem erfindungsgemäßen fünften Prozessschritt kontaktieren die beiden Substrate und werden miteinander verbondet. Der Bondvorgang wird exemplarisch durch den am häufigsten vorkommenden Bondprozess, den Fusionsbondprozess, beschrieben. Bei einem Fusionsbond entsteht bei der Kontaktierung zuerst ein sogenannter Vorbond (engl.: prebond), daher ein Bond, bei dem noch keine maximale Bondstärke zwischen den Materialien vorliegt. Vorzugsweise besitzt mindestens einer der beiden Probenhalter Verformungsmittel, welche das am Probenhalter fixierte Substrat verformen können. Vorzugsweise wird mindestens das Substrat mit den Vertiefungen durch die Verformungsmittel verformt. Die Verformung führt zu einer, vorzugsweise zentrischen, Kontaktierung der beiden Substrate. Durch die Ausbreitung einer Bondwelle erfolgt die vollflächige Kontaktierung beider Substratbondoberflächen. Die erzeugte Bondstärke des Vorbonds liegt zwischen 0.001 J/m^2 und 1.5 J/m^2 , vorzugsweise zwischen 0.01 J/m^2 und 1.5 J/m^2 , noch bevorzugter zwischen 0.1 J/m^2 und 1.5 J/m^2 , am allerbevorzugtesten zwischen 1.0 J/m^2 und 1.5 J/m^2 . Sollte die Materialkombination der Substrate es zulassen und es vorteilhaft sein, können auch andere Bondprozesse zum Bonden verwendet werden. Der Vorbond wird vorzugsweise direkt in einer Ausrichtungslage durchgeführt, die über die notwendigen Probenhalter und Verformungsmittel verfügt. Sollte der Vorbond stark genug sein um eine Verschiebung der Substrate zu verhindern, kann der Substratstapel direkt weitertransportiert werden. Denkbar ist allerdings auch eine Fixierung der Substrate.

[0067] In einem erfindungsgemäßen sechsten Prozessschritt wird Material von der Substratrückseitenoberfläche entfernt. Die Materialentfernung wird vorzugsweise durch einen Schleif- und/oder Polierprozess durchgeführt. In diesem Fall wirkt sich eine auf die Substrate ausgeübte Normalkraft F positiv auf den Prozess aus, da dadurch ein Abplatzen der, durch den Schleif- und/oder Polierprozess entstehenden, Substratteile zumindest erschwert oder sogar verhindert wird, da eine Reibungskraft innerhalb einer Ebene direkt proportional zur wirkenden Normalkraft F auf die Ebene ist. Die Normalkraft F ist insbesondere größer als 1 N , vorzugsweise größer als 10 N , noch bevorzugter größer als 100 N , am bevorzugtesten größer als 1000 N , am allerbevorzugtesten größer als 10000 N . Denkbar, wenn auch nicht bevorzugt, ist eine chemische Ätzung zur Materialentfernung. Derartige chemische Ätzungen würden bei entsprechend dicken Substraten sehr lange dauern. Ist der Abstand zwischen der Substratrückseitenoberfläche und den Vertiefungen allerdings sehr gering, kann eine Ätzung in einem Batchprozess möglicherweise kosteneffizient durchgeführt werden. In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform wird nicht die gesamte Substratrückseitenoberfläche rückgedünnt, sondern die Substratrückseitenoberfläche wird entlang der Linien, die über den Vertiefungen liegen mit einem Teilchenstrahl und/oder Laserstrahl, die für eine Materialentfernung entlang der Linien sorgen, aufgeschnitten. Der Rückdünnp Prozess wird dann durch einen reinen Schneidprozess ersetzt.

[0068] In einem erfindungsgemäßen siebten Prozessschritt erfolgt eine Wärmebehandlung. Die Wärmebehandlung dient vorzugsweise der Ausbildung eines permanenten Bonds. Insbesondere wird die Anzahl der kovalenten Verbindungen erhöht. Die Wärmebehandlung muss nicht notwendigerweise nur der Verstärkung des Bonds dienen sondern kann auch Teil eines weiterführenden Prozesses sein, bei dem die Substratteile auf dem Substrat weiterbearbeitet werden. In einer ganz bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein solcher Prozessschritt gleichzeitig auch für die Verstärkung des Bonds verwendet. Die erzeugte Bondstärke nach der Wärmebehandlung liegt zwischen 1.0 J/m^2 und 3.0 J/m^2 , vorzugsweise zwischen 1.5 J/m^2 und 3.0 J/m^2 , noch bevorzugter zwischen 2.0 J/m^2 und 3.0 J/m^2 , am allerbevorzugtesten zwischen 2.3 J/m^2 und 3.0 J/m^2 .

[0069] Der offenbarte erfindungsgemäße Prozess kann um weitere, optionale Prozessschritte erweitert werden, die insbesondere zwischen dem erfindungsgemäßen sechsten und dem erfindungsgemäßen siebten Schritt liegen. Bei diesen Prozessschritten handelt es sich vorzugsweise um Prozessschritte die der weiteren Veränderung der Substratteile dienen. Denkbar wären beispielsweise Strukturierungsprozesse, Ätzprozesse, Belichtungsprozesse, Stripping-

prozesse etc. die aus den Substratteilen funktionale Einheiten, insbesondere MEMS Baugruppen (engl.: devices) erzeugen.

[0070] Denkbar ist auch die Wiederholung der erfindungsgemäßen Prozessschritte eins bis sieben um Substratteilstapel auf einem Substrat herzustellen.

[0071] Des Weiteren wird eine Vorrichtung offenbart, die aus mehreren Modulen besteht um den erfindungsgemäßen Prozess effizient durchführen zu können. Die Anlage besteht aus mindestens

[0072] • einem Trennmodul mit Trennmitteln zur Erzeugung der Vertiefungen

[0073] • einem Bondmodul zum Bonden

[0074] • einem Materialentfernungsmodul zur Materialentfernung, insbesondere zum Schleifen und/oder Polieren

[0075] Des Weiteren können Module optional vorgesehen werden, insbesondere

[0076] • Ausrichtungsmodule

[0077] • Oberflächenbehandlungsmodule, insbesondere

[0078] o Plasmamodule

[0079] o Reinigungsmodule

[0080] o Sputtermodule

[0081] • Metrologiemodule

[0082] Bondmodul und Ausrichtungsmodul sind vorzugsweise identisch, d.h. Vorrichtungen zum Bonden und zur Ausrichtung sind im selben Modul untergebracht.

[0083] Durch die Kombination mehrere Module in einer Vorrichtung kann der Prozess schnell und effizient an einem Ort durchgeführt werden.

[0084] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

[0085] Figur 1a einen ersten erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0086] Figur 1b einen zweiten erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0087] Figur 1c einen optionalen dritten erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0088] Figur 1d einen vierten erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0089] Figur 1e einen fünften erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0090] Figur 1f einen sechsten erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0091] Figur 1g einen siebten erfindungsgemäßen Prozessschritt,

[0092] Figur 1h ein erfindungsgemäß erstes Endprodukt,

[0093] Figur 1i einen optionalen achten erfindungsgemäßen Prozessschritt und

[0094] Figur 1j ein erfindungsgemäß zweites Endprodukt.

[0095] Die Figur 1a zeigt ein erstes Substrat 1, mit einer Substratbondoberfläche 1o und einer der Substratbondoberfläche 1o gegenüberliegenden Substratrückseitenoberfläche 1r. Während des ersten Prozessschrittes kann die Substratbondoberfläche 1o bereits vorbehandelt werden. Denkbar wäre bereits in diesem Prozessschritt eine Reduktion der Rauigkeit durch einen Schleif und/oder Polierprozess und/oder eine Vorreinigung und/oder eine Aktivierung etc.

[0096] Die Figur 1b zeigt die Herstellung von Vertiefungen 2 in der Substratbondoberfläche 1o eines ersten Substrats 1 in einem erfindungsgemäßen zweiten Prozessschritt. Die Vertiefungen

2 können mit beliebigen Trennmitteln 3 durchgeführt werden. Schematisch wird die Erzeugung der Vertiefungen 2 durch eine Säge dargestellt. Die Verwendung der Trennmittel 3 erzeugt mehrerer Substratteile 4 die innerhalb einer Tiefe t durch die Vertiefungen 2 voneinander getrennt werden aber immer noch Teil des Substrats 1 sind. Das Substrat 1 wird daher gleichzeitig als Träger für die Substratteile 4 verwendet, die in einem späteren Prozess durch Materialentfernung vom Substrats über dessen Substratrückseitenoberfläche $1o$ gänzlich zu Substratteilen 4' vereinzelt werden.

[0097] Die Figur 1c zeigt einen optionalen aber vorzugsweise durchzuführenden erfindungsgemäßen dritten Prozessschritt einer Oberflächenbehandlung der Substratoberfläche $1o$ des Substrats 1. In diesem Prozessschritt werden insbesondere die erzeugten Verunreinigungen der vorherigen Prozessschritte entfernt. Des Weiteren ist eine Oberflächenaktivierung der Substratoberfläche $1o$ für den folgenden Bondprozess denkbar. Die Oberflächenaktivierung erfolgt vorzugsweise mittels Plasma.

[0098] Die Figur 1d zeigt einen erfindungsgemäßen vierten Prozessschritt einer Ausrichtung des ersten Substrats 1 mit der Substratbondoberfläche $1o$ zu einem zweiten Substrat 1' mit der Substratbondoberfläche $1o'$. Die Ausrichtung kann dabei mechanisch und/oder optisch oder durch jede andere bekannte Methode erfolgen. Weisen die Substrate 1, 1' Ausrichtungsmarken auf (nicht eingezeichnet), erfolgt die Ausrichtung der Substrate 1, 1' zueinander insbesondere über die Ausrichtungsmarken. Denkbar ist allerdings auch eine rein mechanische Justierung der beiden Substrate 1, 1' zueinander, insbesondere durch das Anschlagen beider Substrat 1, 1' an einer oder mehreren Ausrichtungserhöhungen (nicht eingezeichnet) insbesondere Ausrichtungsstiften. Eine rein mechanische Ausrichtung erfolgt insbesondere dann, wenn sich zwischen den beiden Substraten 1, 1' noch keine funktionalen Einheiten befinden, die hochpräzise zueinander ausgerichtet und verbunden werden müssen.

[0099] Die Figur 1e zeigt einen erfindungsgemäßen fünften Prozessschritt eines Bondvorgangs der beiden Substrate 1, 1' an deren Substratbondoberflächen $1o$, $1o'$.

[00100] Die Figur 1f zeigt einen erfindungsgemäßen sechsten Prozessschritt einer Materialentfernung des Substrats 1 von der Rückseite $1r$. Die Materialentfernung wird exemplarisch durch einen Schleifprozess mit einer Schleifmaschine 5 dargestellt. Denkbar ist allerdings auch, dass das Substrat 1 zurückpoliert, geätzt oder anderweitig abgetragen wird. Die Materialentfernung erfolgt mindestens bis zu den Vertiefungen 2. Am Ende des erfindungsgemäßen Prozessschrittes befinden sich vereinzelt Substratteile 4' auf dem Substrat 1'.

[00101] Die Figur 1g zeigt einen erfindungsgemäßen siebten Prozessschritt einer Wärmebehandlung des Substrats 1'. Die Wärmebehandlung trägt insbesondere zur Erhöhung der Bondfestigkeit zwischen dem Substrat 1' und den Substratteilen 4' bei. Die Steigerung der Bondfestigkeit ist vor allem auf eine Ausbildung von kovalenten Verbindung zwischen dem Substrat 1' und den Substratteilen 4' zurückzuführen. Die Wärmebehandlung kann allerdings auch Resultat eines notwendigen Prozessschrittes bei der Weiterverarbeitung der Substratteile 4' ein. In jedem Fall entstehen bei einer Wärmebehandlung, unter der Annahme, dass die thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Substrat 1' und den Substratteilen 4' unterschiedlich und/oder anisotrop sind, thermische Dehnungen. Erfindungsgemäße wird durch die Erzeugung der vereinzelt Substratteile 4' die thermische Dehnung allerdings reduziert. Die Wärmebehandlung findet zwischen 0°C und 600°C , vorzugsweise zwischen 50°C und 550°C , noch bevorzugter zwischen 100°C und 500°C , am bevorzugtesten zwischen 150°C und 450°C , am allerbevorzugtesten zwischen 200°C und 400°C statt.

[00102] Die Figur 1h zeigt ein erfindungsgemäßes erstes Endprodukt 7, bestehend aus einem Substrat 1', auf dem ein Reihe von vereinzelt Substratteilen 4' hergestellt wurden. Durch den erfindungsgemäßen Prozess können die aufgetretenen thermischen Spannungen zwischen dem Substrat 1' und den Substratteilen 4' so gering gehalten werden, dass es zu keiner Ablösung und zu keinem Bruch der Substratteile 4' kommt.

[00103] In einer besonderen erfindungsgemäßen Erweiterung des erfindungsgemäßen Prozes-

ses, können weitere Prozessschritte erfolgen, um Substratteilstapel 8, bestehend aus mehreren Substratteilen 4', auf dem Substrat 1' aufzubauen.

[00104] Die Figur 1i zeigt einen weiteren, optionalen, erfindungsgemäßen Bondschritt, bei dem die Substratteile 4 eines weiteren Substrats 1" mit den bereits auf dem Substrat 1' befindlichen Substratteilen 4' verbunden werden. Auf eine erneute Darstellung der Prozessschritte eins bis vier wird der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Die Prozessschritte eins bis vier werden vorzugsweise am Substrat 1" durchgeführt, bevor dieses gebondet wird. Erfindungsgemäß ist in diesem Fall eine optische Ausrichtung der Substratteile 4 des Substrats 1" relativ zu den Substratteilen 4' des Substrats 1' bevorzugt. Durch eine optische Ausrichtung wird die möglichst exakte Deckungsgleichheit der Substratteile 4, 4' gewährleistet. Nach dem erfolgreichen Bondvorgang wird das Material des Substrats 1" von der Substratrückseitenoberfläche 1r" des Substrats 1" analog dem sechsten Prozessschritt entfernt und eine Wärmebehandlung analog dem siebten Prozessschritt durchgeführt.

[00105] Die Figur 1j zeigt ein erfindungsgemäßes zweites Endprodukt 7', bestehend aus einem Substrat 1', auf dem mehrere Substratstapel 8, bestehend aus mindestens zwei Substratteilen 4', erstellt wurden. Jeder Substratteilstapel 8 besteht aus mindestens zwei, vorzugsweise mehr als 3, noch bevorzugter mehr als 4, am bevorzugtesten mehr als 5, am allerbevorzugtesten mehr als 6 Substratteilen 4'. Erfindungsgemäß ist es denkbar, dass alle Substratteile 4' eines Substratstapels 8 sich in ihren mechanischen und/oder thermischen und/oder funktionalen Eigenschaften unterscheiden.

BEZUGSZEICHEN

1, 1', 1''	Substrat
1o, 1o'	Substratbondoberfläche
1r, 1r''	Substratrückseitenoberflächen
2	Vertiefung
3	Trennmittel
4, 4'	Substratteil
5	Schleifmaschine
6	Substratteilstapel
7, 7'	Endprodukt
8	Substratteilstapel
t	Tiefe
F	Normalkraft

Ansprüche

1. Verfahren zum Bonden einer Vielzahl von Substratteilen (4') aus einem ersten Substrat (1) auf ein zweites Substrat (1'), mit folgenden Schritten:
 - Herstellung von Vertiefungen (2) im ersten Substrat (1),
 - Kontaktieren einer Substratbondoberfläche (1o) eines ersten Substrats (1) mit der Substratbondoberfläche (1o') eines zweiten Substrats (1') und
 - Materialentfernung vom ersten Substrat (1).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tiefe (t) der der Vertiefungen (2) größer als 1 nm, vorzugsweise größer als 10 nm, noch bevorzugter größer als 100 nm, am bevorzugtesten größer als 1 µm, am allerbevorzugtesten größer als 1mm ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rauheit der Substratoberflächen (1o,1o') der Substrate (1,1') kleiner als 100 µm, vorzugsweise kleiner als 10 µm, noch bevorzugter kleiner als 1 µm, am bevorzugtesten kleiner als 100nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 10nm ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialentfernung mechanisch erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der mechanischen Materialentfernung eine Normalkraft F größer als 1N, vorzugsweise größer als 10 N, noch bevorzugter größer als 100 N, am bevorzugtesten größer als 1000 N, am allerbevorzugtesten größer als 10000 N wirkt.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialentfernung chemisch erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach der Materialentfernung eine Wärmebehandlung erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmebehandlung zwischen 0°C und 600°C, vorzugsweise zwischen 50°C und 550°C, noch bevorzugter zwischen 100°C und 500°C, am bevorzugtesten zwischen 150°C und 450°C, am allerbevorzugtesten zwischen 200°C und 400°C stattfindet.
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eines der Substrate (1, 1') vor dem Kontaktieren beschichtet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substratmaterialien mindestens eines der folgenden Materialien aufweisen
 - Halbleitermaterial, insbesondere
 - o Ge, Si, Alpha-Sn, B, Se, Te
 - Verbindungshalbleiter, insbesondere
 - o GaAs, GaN, InP, InxGa_{1-x}N, InSb, InAs, GaSb, AlN, InN, GaP, BeTe, ZnO, CuInGaSe₂, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, Hg_(1-x)Cd_(x)Te, BeSe, HgS, AlxGa_{1-x}As, GaS, GaSe, GaTe, InS, InSe, InTe, CuInSe₂, CuInS₂, CuInGaS₂, SiC, SiGe
 - Metall, insbesondere
 - o Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Co, Pt, W, Cr, Pb, Ti, Ta, Zn, Sn
 - Mineralien, insbesondere
 - o Apatite
 - o Quarz (SiO₂)
 - Nitride, insbesondere
 - o Aluminiumnitrid (AlN)
 - Phosphate, insbesondere
 - o Galliumphosphat (GaPO₄)
 - Silikate, insbesondere
 - o Lanthangalliumsilikat

- Oxide, insbesondere
 - o Titanate, insbesondere
 - Bariumtitanat (BaTiO_3)
 - Bleizirkonattitanat (PZT)
 - Bismuttitanat ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$)
 - Natriumbismuttitanat ($\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$, $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$)
 - Lithiumtitanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, Li_2TiO_3)
 - o Tantalate, insbesondere
 - Lithiumtantalat (LiTaO_3)
 - Bleiscandiumtantalat ($\text{Pb}(\text{Sc}_x\text{Ta}_{1-x})\text{O}_3$)
 - o Niobiate, insbesondere
 - Lithiumniobat (LiNbO_3)
 - o Siliziumdioxid (SiO_2)
- Polymere, insbesondere
 - o Polyvinylidenfluorid
- Salze, insbesondere
- Kaliumnatriumtartrat Tetrahydrat ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

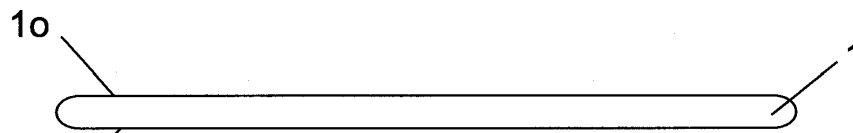


Fig. 1a

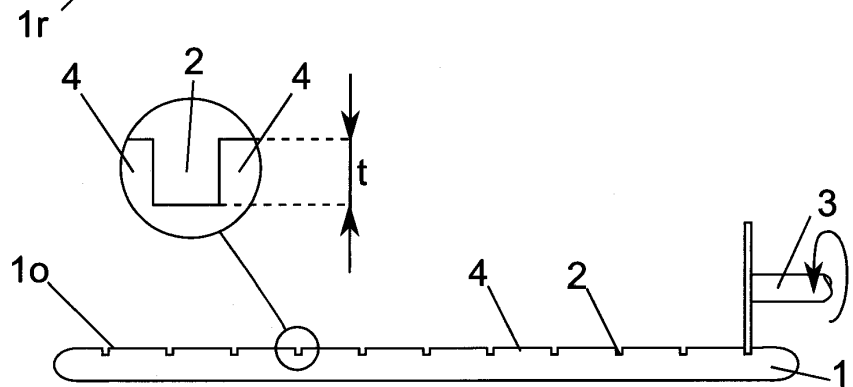


Fig. 1b

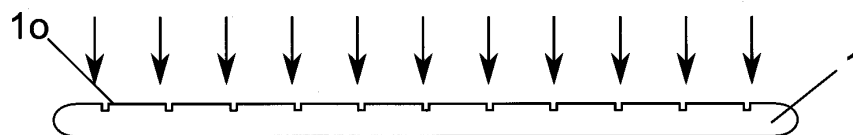


Fig. 1c

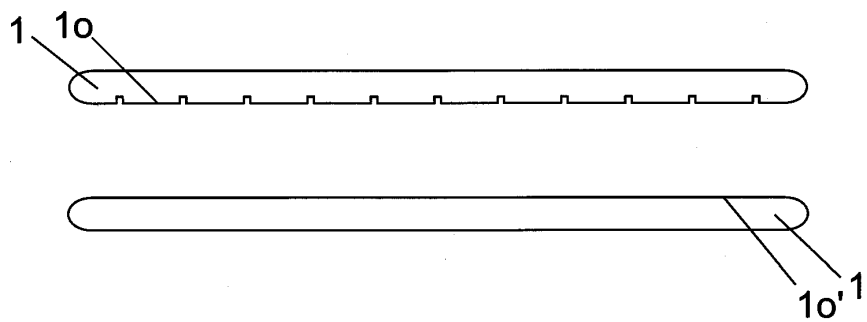


Fig. 1d

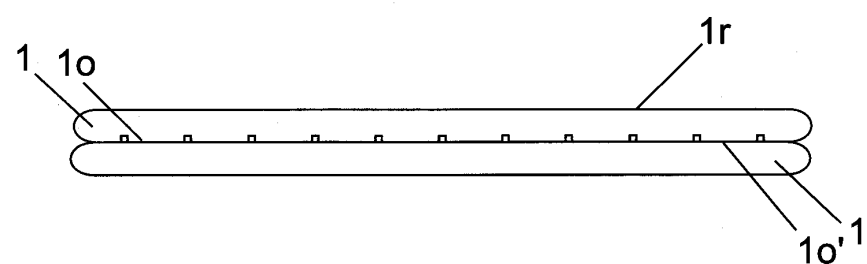


Fig. 1e

2/2

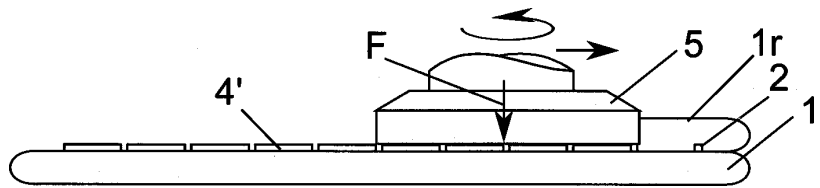


Fig. 1f

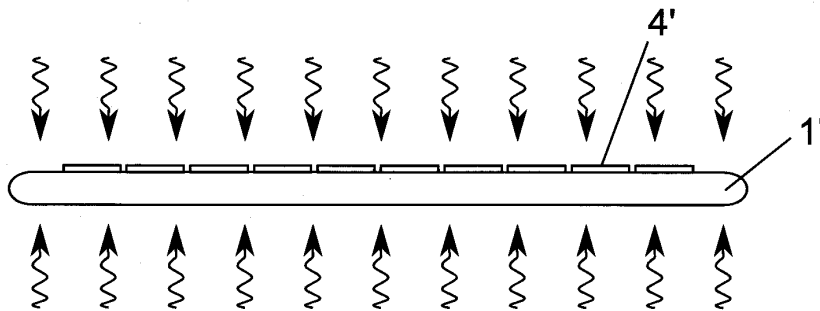


Fig. 1g

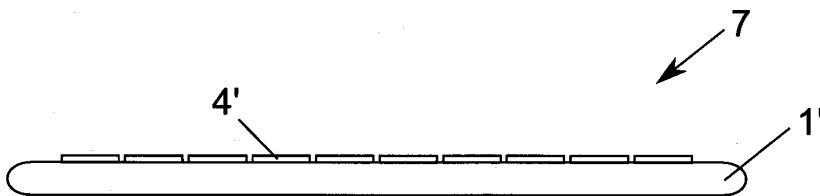


Fig. 1h

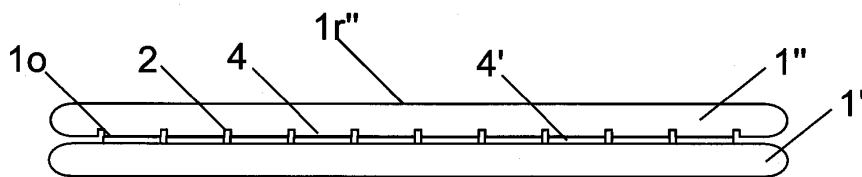


Fig. 1i

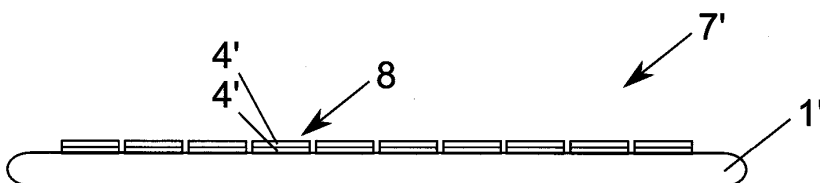


Fig. 1j

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
H01L 41/083 (2006.01); **H01L 21/18** (2006.01); **H03H 9/02** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
H01L 41/083 (2015.10); **H01L 21/187** (2013.01); **H03H 9/02834** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
 H01L, H03H

Konsultierte Online-Datenbank:
 PATENW

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 05.04.2017 eingereichten Ansprüchen 1-10 erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 5998907 A (TAGUCHI YUTAKA et al.) 07. Dezember 1999 (07.12.1999) Beschreibung Spalte 13, Zeile 12 ff.	1-10
X	US 2007166883 A1 (WANG SHUN-TA) 19. Juli 2007 (19.07.2007) das ganze Dokument.	1, 4, 10
A	EP 0742598 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 13. November 1996 (13.11.1996) das ganze Dokument.	1-10

Datum der Beendigung der Recherche:
 03.07.2019

Seite 1 von 1

Prüfer(in):
 ROBISCH Nicolas

¹⁾ Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.