(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 525618 B1 2023-07-15**

(12) # Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 9535/2012
(86) PCT-Anmeldenummer: PCT/EP12069268
(22) Anmeldetag: 28.09.2012
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2023

(51) Int. Cl.:
H01L 23/00 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01)
B23K 20/02 (2006.01)
B23K 20/16 (2006.01)
B23K 20/24 (2006.01)
H01L 23/488 (2006.01)
B32B 37/10 (2006.01)
B32B 38/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 2388810 A2
SO William W. et al. "High Temperature Joints Manufactured at Low Temperature", Electronic Components & Technology Conference, 1998. 48th IEEE, Seattle, WA, 1998, Seiten 284-291. DOI 10.1109/ECTC.1998.678707, ISBN (Print) 0-7803- 4526-6, ISSN (Print) 0569-5503
US 4077558 A

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

(72) Erfinder:
Wimplinger Markus
4910 Ried im Innkreis (AT)
Rebhan Bernhard
4680 Haag a. H. (AT)

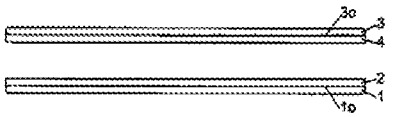
(54) **Verfahren zum Beschichten und Bonden von Substraten**

(57) Verfahren zum Bonden eines ersten Substrats (1) mit einem eine zweite Diffusionsbondschicht aufweisenden zweiten Substrat (3), wobei die zweite Diffusionsbondschicht aus einem Metall und /oder einem Halbmetall besteht, wobei das erste Substrat (1) mit einer ersten Diffusionsbondschicht (5) durch Abscheiden eines die erste Diffusionsbondschicht (5) bildenden ersten Materials aus einem Metall und/oder einem Halbmetall auf einer ersten Oberfläche (1o) des ersten Substrats (1) beschichtet wird, wobei die erste Diffusionsbondschicht (5) mit einer Kornoberfläche mit einem mittleren Korndurchmesser H parallel zur ersten Oberfläche (1o) von 1 nm bis 1µm ausgebildet wird, wobei zwischen der ersten Diffusionsbondschicht (5) und dem ersten Substrat (1) mindestens eine Zwischenschichte (5') ausgebildet wird, und wobei die Zwischenschicht (5') einen größeren mittleren Korndurchmesser H' parallel zur ersten Oberfläche (1o) als der mittlere Korndurchmesser H der ersten Diffusionsbondschicht (5) sowie einen größeren mittleren Korndurchmesser V' orthogonal zur ersten Oberfläche (1o) als ein mittlerer Korndurchmesser V der Kornoberfläche der ersten Diffusionsbondschicht (5) aufweist, wobei H' mindestens 2 mal H beträgt,
mit folgenden Schritten:

- Entfernen der Oxidschicht einer Oberfläche der ersten Diffusionsbondschicht (5) und der zweiten Diffusionsbondschicht vor dem Bond,
- Kontaktieren der ersten Diffusionsbondschicht (5) des ersten Substrats (1) mit der zweiten Diffusionsbondschicht des zweiten Substrats (3),

Zusammenpressen der Substrate (1, 3) zur Ausbildung eines permanenten Metalldiffusionsbonds zwischen dem ersten und zweiten Substrat (1, 3).

Fig. 1



AT 525618 B1 2023-07-15

Beschreibung

VERFAHREN ZUM BESCHICHTEN UND BONDEN VON SUBSTRATEN

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten eines ersten Substrats mit einer ersten Diffusionsbondschicht gemäß Patentanspruch.

[0002] Ziel beim permanenten oder irreversiblen Bonden von Substraten ist es, zwischen den beiden Kontaktflächen der Substrate eine möglichst starke und insbesondere unwiderrufliche Verbindung, also eine hohe Bondkraft, zu erzeugen. Hierfür existieren im Stand der Technik verschiedene Ansätze und Herstellungsverfahren, insbesondere das Verschweißen der Oberflächen bei höheren Temperaturen. EP2388810A2 offenbart eine Halbleitervorrichtung mit einem Verbindungsteil mit zwei oder mehr Schichten von durch Diffusion verbundenen Metallnanopartikeln. So William W et al. offenbaren in "High Temperature Joints Manufactured at low temperature", Electronic Components & Technology Conference, 1998. 48th IEEE, Seattle, WA, 1998, Seiten 284-291. DOI 10.1109/ECTC.1998.678707, ISBN (Print) 0-7803-45266, ISSN (Print) 0569-5503, ein Bondverfahren mit zwei Materialien, um eine fast leerstellenfreie Verbindung bei niedrigen Temperaturen herzustellen. US4077558A offenbart ein Verfahren zum Bonden von Kristallen.

[0003] Permanent verbondet werden alle Arten von Materialien, vorwiegend allerdings Metalle, Halbmetalle, Halbleiter, Polymere und/oder Keramiken. Eines der wichtigsten Systeme des Permanentbondens sind Metall-Metall Systeme. Vor allem in den letzten Jahren traten die Cu-Cu Systeme vermehrt in Erscheinung. Die Entwicklung von 3D Strukturen verlangt nämlich meistens die Verbindung unterschiedlicher funktionaler Schichten. Diese Verbindung wird immer häufiger über sogenannte TSVs (Through Silicon Vias) realisiert. Die Kontaktierung dieser TSVs zueinander erfolgt sehr oft durch Kupferkontaktstellen. Zum Zeitpunkt des Bondens liegen sehr oft bereits vollwertige, funktionstüchtige Strukturen, beispielsweise Mikrochips, an einer oder mehreren Oberflächen der Substrate vor. Da in den Mikrochips unterschiedliche Materialien mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten verwendet werden, ist eine Erhöhung der Temperatur beim Bonden unerwünscht. Diese kann zu thermischen Dehnungen und damit zu Thermospannungen und/oder Stress Induced Voiding (SIV) führen, die Teile des Mikrochips oder seiner Umgebung zerstören können.

[0004] Die bekannten Herstellungsverfahren und bisher verfolgten Ansätze führen häufig zu nicht oder schlecht reproduzierbaren und insbesondere kaum auf veränderte Bedingungen übertragbaren Ergebnissen. Insbesondere benutzen derzeit eingesetzte Herstellungsverfahren häufig hohe Temperaturen, insbesondere >400°C, um wiederholbare Ergebnisse zu gewährleisten.

[0005] Technische Probleme wie hoher Energieverbrauch und eine mögliche Zerstörung von auf den Substraten vorhandenen Strukturen resultieren aus den bisher für eine hohe Bondkraft erforderlichen hohen Temperaturen, den schnellen und/oder oft durchgeführten Temperaturänderungen, die sich durch das Laden und/oder Entladen ergeben, von teilweise weit über 300°C.

[0006] Weitere Anforderungen bestehen in:

- der Back-end-of-line-Kompatibilität.
  Darunter versteht man die Kompatibilität des Prozesses während der Prozessierung. Der Bondingprozess muss also so ausgelegt werden, dass Back-end-of-line Strukturen, meist bestehend aus elektrischen Leitern und low-k Dielektrikas, die bereits auf den Strukturwafern vorhanden sind, während der Prozessierung weder beeinträchtigt noch geschädigt werden. Zu den Kompatibilitätskriterien zählen vor allem die mechanische und thermische Belastbarkeit, vor allem durch Thermospannungen und Stress Induced Voiding (SIV).
- der Front-end-of-line-Kompatibilität.
  Darunter versteht man die Kompatibilität des Prozesses während der Herstellung der elektrisch aktiven Bauteile. Der Bondingprozess muss also so ausgelegt werden, dass aktive Bauelemente wie Transistoren, die bereits auf den Strukturwafern vorhanden sind, während der Prozessierung weder beeinträchtigt noch geschädigt werden. Zu den Kompatibilitätskriterien zählen vor allem die Reinheit an gewissen chemischen Elementen (vor allem bei

CMOS Strukturen), mechanische und thermische Belastbarkeit, vor allem durch Thermospannungen.
- niedrige Kontamination.
- keine, oder möglichst niedrige, Krafteinbringung.
- möglichst niedrige Temperatur, insbesondere bei Materialien mit unterschiedlichem Wärmeausdehnungskoeffizienten.

[0007] Die Reduktion der Bondkraft führt zu einer schonenderen Behandlung der Strukturwafer, und damit zu einer Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit durch direkte mechanische Belastung, insbesondere wenn die Isolationslagen zwischen den metallischen Leitern aus sogenannten „low-k" Materialen gefertigt sind.

[0008] Heutige Bondingverfahren sind vor allem auf hohe Drücke und Temperaturen ausgelegt. Vor allem das Vermeiden einer hohen Temperatur ist von essentieller Bedeutung für das Verschweißen zukünftiger Halbleiteranwendungen, da unterschiedliche Materialien mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten nicht zu vernachlässigende thermische Spannungen bei Aufheiz- und/oder Abkühlvorgängen erzeugen. Des Weiteren wird die Diffusion von Dotierungselementen bei steigender Temperatur zunehmend zum Problem. Die dotierten Elemente sollen nach dem Dotiervorgang das vorgesehene Raumgebiet nicht verlassen. Anderenfalls würden sich die physikalischen Eigenschaften der Schaltkreise fundamental ändern. Dies führt im besten Fall zu einer Verschlechterung, im schlimmsten und wahrscheinlichsten Fall zur Funktionsuntüchtigkeit des Bauteils. Vor allem Speicher sind durch Degradierung des Dielektrikums und die damit verbundene verkürzte Speicherzeit während thermischen Prozessen sehr anfällig. Andererseits sind es gerade die Speicher, bei denen die 3D Technologie zunehmend zur Kapazitäts- und Leistungssteigerung verwendet wird.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur schonenden Herstellung eines permanenten Bonds zwischen zwei Substraten mit einer möglichst hohen Bondkraft bei gleichzeitig möglichst niedriger Temperatur und/oder durchschnittlicher Prozesszeit anzugeben.

[0010] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0011] Die Grundidee der vorliegenden Erfindung ist es, zumindest an einem der Substrate eine Diffusionsbondschicht aus einem Material zu schaffen beziehungsweise aufzubringen, welche eine Mikrostruktur mit möglichst feinem Korn, und damit einer möglichst großen Korngrenzenoberfläche besitzt. Erfindungsgemäß werden vor allem Korngrenzen bevorzugt, welche normal zu den zu verbondenden Substratoberflächen verlaufen. Dies wird erfindungsgemäß durch ein gezieltes Einstellen der Schichtdicke der Diffusionsbondschicht erreicht, welche ein limitierendes Kriterium für die Korngröße des Korns darstellt. Die beiden Substrate können, müssen aber nicht notwendigerweise einen Prebond miteinander eingehen. Auch eine einfache Kontaktierung ohne Ausbildung eines Prebonds ist möglich. Unter dem Begriff „Reaktion" ist erfindungsgemäß eine Festkörperdiffusion zu verstehen. Vor und/oder nach der Ausbildung/Aufbringung der Diffusionsbondschicht(en) auf dem ersten und/oder zweiten Substrat findet meist eine Reinigung des Substrats oder der Substrate statt, insbesondere durch einen Spülschritt statt. Diese Reinigung soll zumeist sicherstellen, dass sich keine Partikel auf den Oberflächen befinden, die ungebondete Stellen zur Folge haben würden. Im Idealfall erfolgen alle erfindungsgemäßen Schritte der Abscheidung und/oder des Bondens in einem geschlossenen, mit Vorzug mittels Inertgas gefluteten, mit größerem Vorzug evakuierten System, sodass auf einen Reinigungsschritt nach der Beschichtung verzichtet werden kann.

[0012] Kern der vorliegenden Erfindung ist es, die Diffusionsbondschicht zumindest an der Kontaktfläche zwischen dem ersten und zweiten Substrat mit einem mittleren Korndurchmesser H parallel zur Kontaktfläche oder Oberfläche des Substrats von 1nm bis 1 µm auszubilden.

[0013] Durch die so beschaffene, einen kleinen mittleren Korndurchmesser aufweisende Diffusionsbondschicht wird eine technische Möglichkeit geschaffen, unmittelbar an den Kontaktflächen

zwischen den Substraten eine schnellere Diffusion zu bewirken und damit den permanenten Bond primär bei niedrigen Temperaturen zu ermöglichen und des weiteren zu verstärken und die Bondgeschwindigkeit zu erhöhen.
Unter Verformung ist im Weiteren eine Veränderung der Oberfläche und/oder des Bulks auf Grund von Diffusion zu verstehen.

[0014] Als erfindungsgemäße Materialien für die Diffusionsbondschicht kommen vor allem die Metalle, Halbmetalle, Lanthanoide und Actinoide in Betracht.

[0015] Mit besonderem Vorzug findet die Erfindung allerdings Anwendung für Cu-Cu Bonds.

[0016] Als Substrate sind folgende Mischformen von Halbleitern denkbar:

- III-V: GaP, GaAs, InP, InSb, InAs, GaSb, GaN, AlN, InN, $Al_xGa_{1-x}As$, $In_xGa_{1-x}N$
- IV-IV: SiC, SiGe,
- III-VI: InAlP.
- nichtlineare Optik: $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, KDP (KH_2PO_4)
- Solarzellen: CdS, CdSe, CdTe, $CuInSe_2$, $CuInGaSe_2$, $CuInS_2$, $CuInGaS_2$
- Leitende Oxide: $In_{2-x}SnxO_{3-y}$

[0017] Besonders vorteilhaft ist es erfindungsgemäß, wenn nach der Aufbringung der Diffusionsbondschicht möglichst zeitnah, insbesondere innerhalb von 2 Stunden, vorzugsweise innerhalb von 30 Minuten, noch bevorzugter innerhalb von 10 Minuten, idealerweise innerhalb von 5 Minuten, die Kontaktierung der Substrate erfolgt. Durch diese Maßnahme werden etwaige unerwünschte Reaktionen wie Oxidierung der Metalldiffusionsbondschicht oder der Oberflächen der Substrate minimiert.

[0018] Möglich ist auch eine Oxidentfernung vor dem eigentlichen Bondvorgang. Die Oxidentfernung kann beispielsweise nasschemisch oder mit entsprechenden reduzierenden Gasen erfolgen. Es kann grundsätzlich jedes bekannte chemische und/oder physikalische Verfahren zur Oxidreduktion verwendet werden.

[0019] Erfindungsgemäß können Mittel zur Hemmung solcher Reaktionen der Metalldiffusionsbondschicht und/oder der Oberflächen der Substrate vor dem Kontaktieren der Kontaktflächen vorgesehen sein, insbesondere durch Passivierung der Oberflächen der Substrate, vorzugsweise durch Beaufschlagung mit N_2, Formiergas oder einer inerten Atmosphäre oder unter Vakuum oder durch Amorphisieren. Als besonders geeignet hat sich in diesem Zusammenhang eine Behandlung mit Plasma, welches Formiergas enthält, insbesondere überwiegend aus Formiergas besteht, erwiesen. Als Formiergas sind hier Gase zu verstehen, die mindestens 2%, besser 4%, idealerweise 10% oder 15% Wasserstoff enthalten. Der restliche Anteil der Mischung besteht aus einem inerten Gas wie beispielsweise Stickstoff oder Argon. Systeme mit inerter Atmosphäre oder Vakuum Atmosphäre lassen sich mit Vorzug als Systeme realisieren, bei denen der Transfer der Substrate von einer Prozesskammer zur nächsten Prozesskammer mittels eines Substrat Handhabungssystems geschieht, welches den Transfer der Substrate vollständig in einer kontrollierten, einstellbaren Atmosphäre, insbesondere einer Vakuum Atmosphäre durchführen kann. Derartige Systeme sind dem Fachmann bekannt.

[0020] Die Diffusionsbondschicht wird durch eines oder mehrere der nachfolgend genannten Verfahren aufgebracht:

- CVD insbesondere PECVD, LPCVD, MOCVD oder ALD
- PVD insbesondere Sputtern oder Aufdampfen
- Epitaxie insbesondere MBE, ALE
- Elektrochemische Abscheideprozesse
- Stromlose Abscheidungsprozesse

[0021] Die Erfindung löst das Problem, die Oberflächen zweier zueinander in Kontakt gebrachter, beschichteter Substrate besser zu verschweißen, indem man die Mikrostruktureigenschaften der obersten Schicht, der Diffusionsbondschicht ausnutzt. Die Erfindung betrifft somit ein Verfahren, durch das gezielte Abscheiden dünner Schichten mittels chemischer und/oder physikalischer Pro-

zesse, die Mikrostruktur der obersten abgeschiedenen Schicht so einzustellen, dass deren Korngrenzfläche möglichst groß ist. Mit Vorzug verlaufen die Korngrenzen normal zur Substratoberfläche.

[0022] Durch die erfindungsgemäß geringe Korngröße ergibt sich eine extrem gesteigerte Korngrenzenoberfläche und damit entsprechend größere Diffusionswege, was die Verschweißung beider Materialschichten beim Bonden begünstigt. Der erfindungsgemäße Gedanke besteht also darin, durch die Steigerung der Korngrenzenoberfläche den Strom jener Atome, welche entlang der Korngrenzen diffundieren, zu erhöhen.

[0023] Gemäß einer weiteren, vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ausbildung des permanenten Bonds bei einer Temperatur zwischen Raumtemperatur und 400 °C, insbesondere zwischen Raumtemperatur und 300°C, vorzugsweise zwischen Raumtemperatur und 200°C, noch bevorzugter zwischen Raumtemperatur und 100°C, insbesondere während maximal 12 Tagen, vorzugsweise maximal 1 Tag, noch bevorzugter maximal 1 Stunde, am besten maximal 15 Minuten, erfolgt.

[0024] Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der irreversible Bond eine Bondstärke von größer 1,5 J/m^2, insbesondere größer 2 J/m^2, vorzugsweise größer 2,5 J/m^2 aufweist. Die Bondstärke kann beispielsweise mit dem sogenannten Maszaratest ermittelt werden.

[0025] Die Bondstärke kann in besonders vorteilhafter Weise dadurch erhöht werden, dass beide Substrate über eine Diffusionsbondschichten mit erfindungsgemäß sehr kleiner Korngröße, und damit eine sehr große Korngrenzenoberfläche, besitzen. Hierdurch wird ein erhöhter Diffusionsstrom in beide Richtungen ermöglicht, welcher den Bondvorgang entsprechend unterstützt.

[0026] Soweit vor der Aufbringung/Ausbildung der Funktionsschicht eine Plasmaaktivierung der Oberflächen der Substrate, insbesondere mit einer Aktivierungsfrequenz zwischen 10 und 600 kHz und/oder einer Leistungsdichte zwischen 0,075 und 0,2 Watt/cm^2 und/oder unter Druckbeaufschlagung mit einem Druck zwischen 0, 1 und 0,6 mbar, erfolgt, werden zusätzliche Effekte wie die Glättung der Kontaktfläche bewirkt. Unter Druckbeaufschlagung meint man hier den Druck der Arbeitsatmosphäre während der Plasmaaktivierung.

[0027] Soweit das Zusammenpressen der Substrate bei einem Druck zwischen 0,1 MPa und 10 MPa erfolgt, können optimale Ergebnisse erzielt werden. Vorzugsweise liegt der Druck zwischen 0,1 und 10 MPa, noch bevorzugter zwischen 0,1 und 1 MPa, am Bevorzugtesten zwischen 0,1 und 0,3 MPa. Der Druck muss umso größer gewählt werden, je größer die Unebenheiten und je dünner die Schichten sind.

[0028] In vorteilhafter Weise ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass die Ausbildung/Aufbringung der Diffusionsbondschicht im Vakuum durchgeführt wird. Somit können Verunreinigungen der Diffusionsbondschicht mit nicht erwünschten Materialien oder Verbindungen vermieden werden.

[0029] Besonders effektiv für den Verfahrensablauf ist es, wenn die Diffusionsbondschicht mit Vorzug in einer mittleren Dicke R zwischen 0,1 nm und 2500 nm, mit größerem Vorzug zwischen 0,1 nm und 150 nm, mit noch größerem Vorzug zwischen 0,1 nm und 10 nm, mit größtem Vorzug zwischen 0,1 nm und 5 nm ausgebildet wird.

[0030] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

[0031] Fig. 1 einen Querschnitt zweier erfindungsgemäß mit einem Schichtsystem beschichteter Substrate,

[0032] Fig. 2 eine erfindungsgemäße Diffusionsbondschicht,

[0033] Fig. 3 eine erfindungsgemäße Zwischenschicht,

[0034] Fig. 4 eine auf einem Substrat aufgebrachte Diffusionsbondschicht,

[0035] Fig. 5 ein auf einem Substrat aufgebrachtes Schichtsystem mit einer Zwischenschicht und einer Diffusionsbondschicht und

[0036] Fig. 6 ein auf einem Substrat aufgebrachtes Schichtsystem mit zwei Zwischenschichten und einer Diffusionsbondschicht.

[0037] In den Figuren sind gleiche oder gleichwirkende Merkmale mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Die Zeichnungen sind nicht maßstabsgetreu. Vor allem die Zwischenschichten und Diffusionsbondschicht sind um ein vielfaches größer dargestellt, um die Mikrostruktur besser verständlich darstellen zu können.

[0038] Die Erfindung betrifft ein Verfahren, um zwei beschichtete Substrate 1,3 über zwei Schichtsysteme 2,4 miteinander zu verbonden. Die Schichtsysteme 2, 4 können dabei aus beliebig vielen Schichten 5, 5‘, 5“ unterschiedlichen Typs (Zwischenschichten 5‘, 5“ und Diffusionsbondschicht 5) mit unterschiedlichen physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften und Mikrostrukturen aufgebaut sein. Erfindungsgemäß ist die jeweils oberste Schicht (Kontaktfläche zwischen den Schichtsystemen 2, 4) eine Diffusionsbondschicht 5, also eine Schicht, deren Korngröße erfindungsgemäß limitert ist.

[0039] Die auf eine erste Oberfläche des ersten Substrats 1 aufgebrachte Diffusionsbondschicht 5 wird als erste Diffusionsbondschicht und die auf eine zweite Oberfläche 3o des zweiten Substrats 3 aufgebrachte als zweite Diffusionsbondschicht bezeichnet.

[0040] Der mittlere, parallel zur Oberfläche projezierte (Draufsicht) Korndurchmesser H der Oberfläche 1o, 3o der Substrate 1, 3 beträgt mit Vorzug weniger als 1 µm, mit größerem Vorzug weniger als 100 nm, mit noch größerem Vorzug weniger als 10 nm, mit noch größerem Vorzug weniger als 5 nm, mit größtem Vorzug weniger als 1 nm.

[0041] Der orthogonal zum mittleren Korndurchmesser H beziehungsweise zur Substratoberfläche gemessene mittlere Korndurchmesser V beträgt mit Vorzug weniger als 1 µm, mit größerem Vorzug weniger als 100 nm, mit noch größerem Vorzug weniger als 10 nm, mit noch größerem Vorzug weniger als 5 nm, mit größtem Vorzug weniger als 1 nm.

[0042] Die projizierten Korndurchmesser H und V sind nicht notwendigerweise gleich. Jedoch bei sehr dünnen Schichtdicken t haben H und V vermutlich die gleiche Größenordnung. In diesen Fall limitiert V bzw. t den Korndurchmesser. Die Begründung liegt in der Oberflächenenergie, die ein Vergrößern des Korns verhindert. In der Ausführungsform gemäß Figur 2 ist der vertikale Korndurchmesser V durch eine Schichtdicke t des hier aus nur einer einzigen Diffusionsbondschicht 5 bestehenden Schichtsystems 2 begrenzend vorgegeben. Dann ist eine Schichtdicke t des Schichtsystems 2 gleich dem Korndurchmesser V.

[0043] In der in Figur 4 gezeigten Ausführungsform wird die Diffusionsbondschicht 5 mit möglichst hoher Korngrenzfläche direkt auf dem ersten Substrat 1 abgeschieden.

[0044] In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform gemäß Figur 5 wird die Diffusionsbondschicht 5 mit möglichst hoher Korngrenzfläche (daher mit vielen Korngrenzen) auf einer beliebigen anderen Zwischenschicht 5’ abgeschieden. Bei der Zwischenschicht 5’ kann es sich um dasselbe Material, mit gegebenenfalls unterschiedlicher Verteilung der Korngröße wie bei der Diffusionsbondschicht 5 handeln. Die Mikrostruktur an der Kontaktfläche (Oberfläche der Diffusionsbondschicht 5) wurde, insbesondere ausschließlich, durch den Abscheideprozess beeinflusst. Insbesondere ist die Zwischenschicht 5’ durch einen elektrochemischen Abscheideprozess (ECD) oder PVD-Prozess hergestellt worden, wohingegen die Diffusionsbondschicht 5 durch PVD und/oder CVD-Prozesse hergestellt wird.

[0045] Die Zwischenschicht 5‘ weist gemäß Figur 3 einen größeren mittleren Korndurchmesser H‘ parallel zur Oberfläche 1o beziehungsweise 3o sowie einen größeren mittleren Korndurchmesser V‘ quer (d.h. orthogonal) zur Oberfläche 1o beziehungsweise 3o auf. Hier ist es auch von Vorteil, wenn die Schichtdicke t‘ der Zwischenschicht 5‘ größer, insbesondere 2 mal, mit Vorzug 3 mal, mit größerem Vorzug 5 mal, mit noch größerem Vorzug 10 mal, mit größtem Vorzug 100 mal, mit allergrößtem Vorzug 1000 mal so groß wie der mittlere Korndurchmesser V ist.

[0046] In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform gemäß Figur 6 wird eine weitere Zwischenschicht 5'' zwischen der Diffusionsbondschicht 5 und der Zwischenschicht 5' abgeschieden. Die Zwischenschicht 5'' hat dabei die erfindungsgemäße Aufgabe, eine mögliche Interdiffusion zwischen der Diffusionsbondschicht 5 und der Zwischenschicht 5' zu vermeiden, sodass die Mikrostruktur der Diffusionsbondschicht 5 bis zum eigentlichen Bondvorgang erhalten bleibt.

[0047] Durch einen anschließenden Bondvorgang der beiden Substrate 1,3 über deren Schichtsysteme 2,4 erfolgt erfindungsgemäß durch die hohe Korngrenzenfläche (und damit eine hohe Korngrenzenanzahl) mindestens einer Diffusionsbondschicht eine effizientere Diffusion der Atome vom Schichtsystem 2 in das Schichtsystem 4 und umgekehrt.

[0048] Erfindungsgemäß ist die Diffusionsbondschicht 5 die Schicht, welche die Kontaktfläche ausbildet. Der Grund liegt darin, dass die Diffusionsbondschicht 5 eine sehr große Anzahl von Korngrenzen 7 besitzt.

[0049] Der mittlere Diffusionsstrom erfolgt daher vorzugsweise in vertikaler Richtung (quer zur Oberfläche 1o, 3o) entlang dieser Korngrenzen 7.

[0050] Die Eigendiffusion einer Spezies ist entlang einer freien Oberfläche größer als entlang der Konrgrenzen, aber entlang der Korngrenzen größer als innerhalb des Bulks. Mit Vorzug wird daher durch die erfindungsgemäße große Anzahl an Korngrenzen die „Ineinanderdiffusion" der Atome der beiden Schichtsysteme 2 und 4 über die Korngrenzen erfolgen.

[0051] Das Bonden der beiden Schichtsysteme 2 und 4 erfolgt vorzugsweise bei möglichst niedrigen Temperaturen. Für Metalle erfolgt das Bonden mit Vorzug bei einer homologen Temperatur von weniger als 1.0 aber oberhalb der Raumtemperatur und unterhalb einer Temperatur von 300°C.

[0052] Erfindungsgemäße Schichtsysteme wären insbesondere:

- Si-Substrat / dünne Diffusionsbarriere / dicke (ECD) Cu Schicht / dünne Diffusionsbarriere (z.B. Ti, Ta,...) / dünne (PVD) Cu Schicht,
- Si-Substrat / dünne Diffusionsbarriere / dicke (ECD) Cu Schicht / dünne (PVD) Cu Schicht,
- Si-Substrat / dünne Diffusionsbarriere / dünne (PVD) Cu Schicht.
- Si-Substrat / dünne Diffusionsbarriere / Cu Schicht / dünne Si Schicht
- Si-Substrat / dünne Diffusionsbarriere / Cu Schicht / dünne Schicht eines Übergangsmetalls (Ti, Ta, W,...)
- Si-Substrat / dünne Diffusionsbarriere / Cu Schicht / dünne Schicht eines Edelmetalls (Au, Pd,...)
- eine beliebige Kombination der oben genannten Schichtsysteme

[0053] Der Bondvorgang kann erfindungsgemäß durch das Bonden eines jeden der oben genannten Schichtsysteme mit einem jeden anderen der oben genannten Schichtsysteme erfolgen. Analoge Überlegungen gelten für jedes andere, nicht explizit im Text erwähnte, aber auf der gleichen erfinderischen Idee beruhenden, Schichtsystem.

[0054] Das erfindungsgemäß bevorzugte Verfahren zur Herstellung der Zwischenschichten 5', 5'' mit vergleichsweise großen Korngrößen (verglichen mit der Diffusionsbondschicht 5) ist die elektrochemische Deposition (ECD).

[0055] Das erfindungsgemäß bevorzugte Verfahren zur Herstellung der Diffusionsbondschicht 5 mit vergleichsweise kleinen Korngrößen sind alle PVD- und/oder CVD-Verfahren.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	erstes Substrat
1o	Oberfläche
2	Schichtsystem
3	zweites Substrat
3o	Oberfläche
4	Schichtsystem
4o, 4o‘	Oberfläche
5	Diffusionsbondschicht
5‘, 5“	Zwischenschichten
6	Korn
7	Korngrenze
t, t‘	Schichtdicke
H, H‘	(mittlerer) Korndurchmesser
V, V‘	(mittlerer) Korndurchmesser

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bonden eines ersten Substrats (1) mit einem eine zweite Diffusionsbondschicht aufweisenden zweiten Substrat (3), wobei die zweite Diffusionsbondschicht aus einem Metall und/oder einem Halbmetall besteht, wobei das erste Substrat (1) mit einer ersten Diffusionsbondschicht (5) durch Abscheiden eines die erste Diffusionsbondschicht (5) bildenden ersten Materials aus einem Metall und/oder einem Halbmetall auf einer ersten Oberfläche (1o) des ersten Substrats (1) beschichtet wird, wobei die erste Diffusionsbondschicht (5) mit einer Kornoberfläche mit einem mittleren Korndurchmesser H parallel zur ersten Oberfläche (1o) von 1nm bis 1µm ausgebildet wird, wobei zwischen der ersten Diffusionsbondschicht (5) und dem ersten Substrat (1) mindestens eine Zwischenschichte (5‘) ausgebildet wird, und wobei die Zwischenschicht (5‘) einen größeren mittleren Korndurchmesser H‘ parallel zur ersten Oberfläche (1o) als der mittlere Korndurchmesser H der ersten Diffusionsbondschicht (5) sowie einen größeren mittleren Korndurchmesser V‘ orthogonal zur ersten Oberfläche (1o) als ein mittlerer Korndurchmesser V der Kornoberfläche der ersten Diffusionsbondschicht (5) aufweist, wobei H' mindestens 2 mal H beträgt, mit folgenden Schritten:
   - Entfernen der Oxidschicht einer Oberfläche der ersten Diffusionsbondschicht (5) und der zweiten Diffusionsbondschicht vor dem Bond,
   - Kontaktieren der ersten Diffusionsbondschicht (5) des ersten Substrats (1) mit der zweiten Diffusionsbondschicht des zweiten Substrats (3),
   - Zusammenpressen der Substrate (1, 3) zur Ausbildung eines permanenten Metalldiffusionsbonds zwischen dem ersten und zweiten Substrat (1, 3).
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die weitere Zwischenschicht (5‘, 5“) durch einen elektrochemischen Abscheideprozess hergestellt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die erste Diffusionsbondschicht (5) durch physikalische Gasphasenabscheidung und/oder chemische Gasphasenabscheidung hergestellt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Zusammenpressen bei einem Druck zwischen 0,1 und 10 MPa stattfindet.
5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die erste und/oder zweite Diffusionsbondschicht (5) als Festkörperdiffusion, insbesondere zumindest überwiegend als Korngrenzendiffusion, ausgebildet werden.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

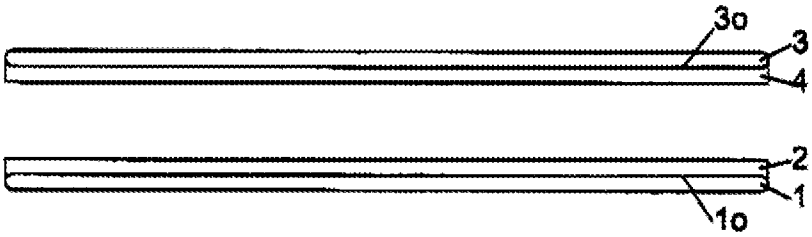


Fig. 2

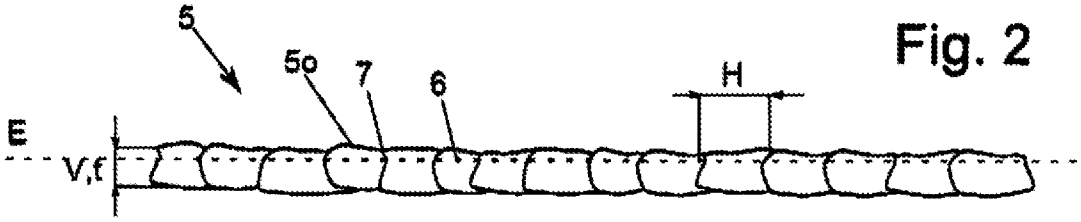
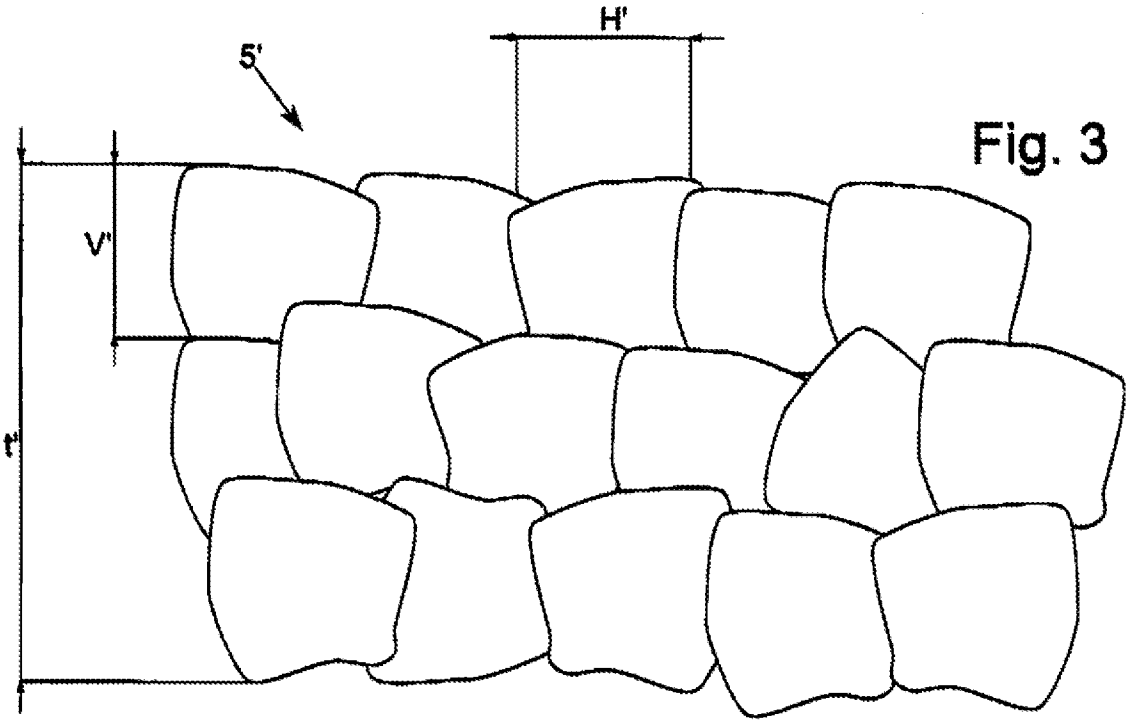


Fig. 3



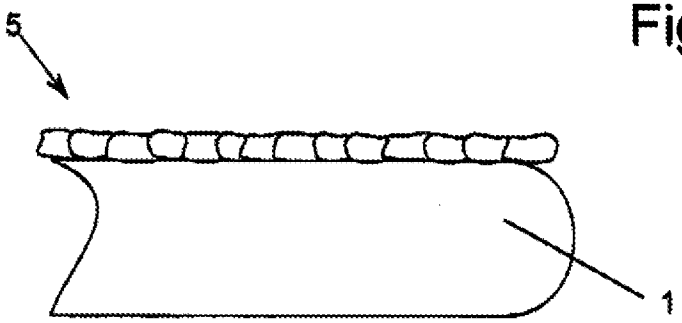


Fig. 4

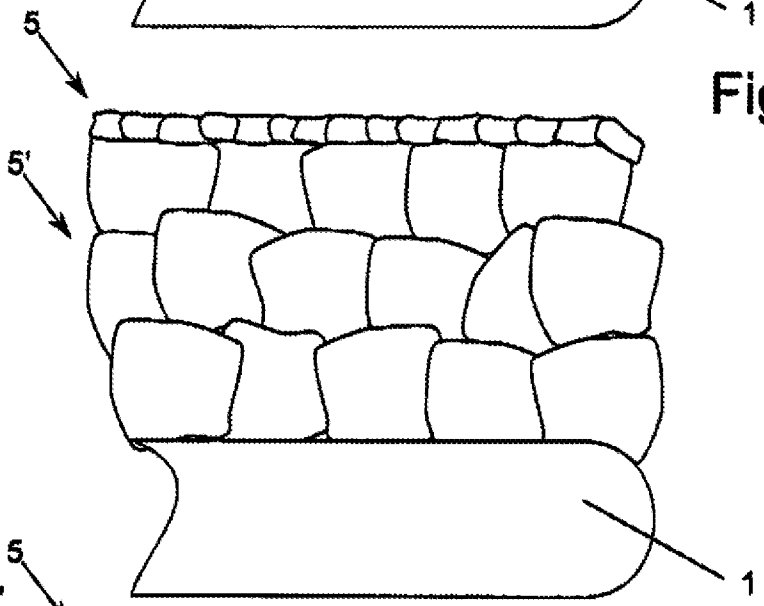


Fig. 5

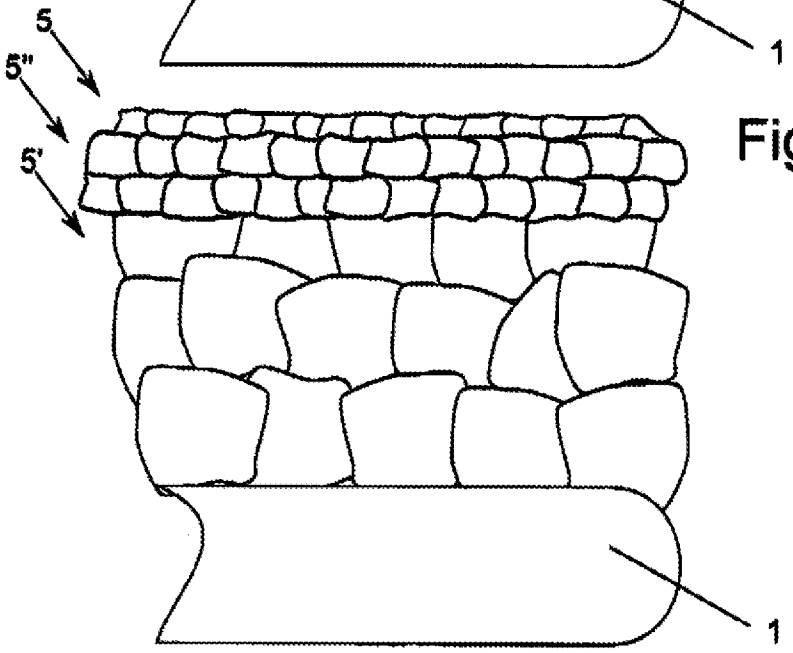


Fig. 6