

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. August 2010 (19.08.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/091660 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2010/000127

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Februar 2010 (04.02.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 008 926.8
13. Februar 2009 (13.02.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DANFOSS SILICON POWER GMBH** [DE/DE]; Heinrich-Hertz-Strasse 2, 24837 Schleswig (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KOCK, Mathias** [DE/DE]; Bundesstrasse 46, 25557 Gockels (DE). **EISELE, Ronald** [DE/DE]; Faulstr. 21, 24229 Surendorf (DE).

(74) Anwalt: **BIEHL, Christian**; BOEHMERT & BOEHMERT, Niemannsweg 133, 24105 Kiel (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A CONNECTION BETWEEN A SEMICONDUCTOR COMPONENT AND SEMICONDUCTOR MODULE RESISTANT TO HIGH TEMPERATURES AND TEMPERATURE CHANGES BY MEANS OF A TEMPERATURE IMPINGING PROCESS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR SCHAFFUNG EINER HOCHTEMPERATUR- UND TEMPERATURWECHSELFESTEN VERBINDUNG EINES BAUGRUPPEN-HALBLEITERS UND EINES HALBLEITERBAUSTEINS MIT EINEM TEMPERATURBEAUFSCHLAGENDEN VERFAHREN

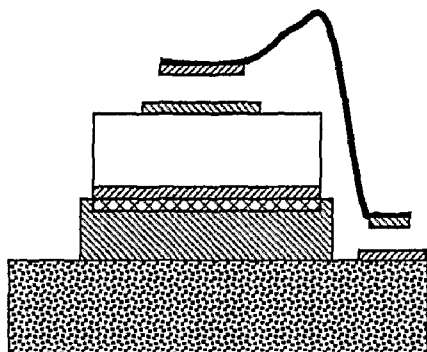


Fig. 5

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a connection between a semiconductor component and semiconductor module resistant to high temperatures and temperature changes by means of a temperature impinging process, wherein a metal powder suspension is applied to the areas of the semiconductor module to be connected later; the suspension layer is dried, outgassing the volatile components and generating a porous layer; the porous layer is pre-sealed without complete sintering taking place throughout the suspension layer; and, in order to obtain a solid electrically and thermally conductive connection of a semiconductor module to a connection partner from the group of: substrate, further semiconductor or interconnect device, the connection is a sintered connection generated without compression by increasing the temperature and made of a dried metal powder suspension that has undergone a first transport-safe contact with the connection partner in a pre-compression step and has been solidified at zero pressure using temperature sintering.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Verfahren zur Schaffung einer hochtemperatur- und temperaturwechselfesten Verbindung eines Baugruppen-Halbleiters und eines Halbleiterbausteins mit einem temperaturbeaufschlagenden Verfahren, bei dem auf die Bereiche der später zu verbindenden einzelnen Halbleiter-Bausteine eine Metallpulversuspension aufgebracht wird, die Suspensionsschicht unter Ausgasen der flüchtigen Bestandteile und unter Erzeugung einer porösen Schicht getrocknet wird, die poröse Schicht vorverdichtet wird, ohne dass eine vollständige, die Suspensionsschicht durchdringende Versinterung stattfindet, und zur Erlangung einer festen elektrisch und thermisch gut leitenden Verbindung eines Halbleiter-Bausteins auf einem Verbindungspartner aus der Gruppe : Substrat, weiterem Halbleiter oder Schaltungsträger, die Verbindung eine ohne Pressdruck durch Temperaturerhöhung erzeugte Sinterverbindung ist, die aus einer getrockneten Metallpulversuspension besteht, die in einem Vorverdichtungsschritt mit dem Verbindungspartner einen ersten transportfesten Kontakt mit dem Verbindungspartner erfahren hat, und drucklos unter Temperatúraussinterung verfestigt wurde.

Verfahren zur Schaffung einer hochtemperatur- und temperaturwechselfesten
Verbindung eines Baugruppen-Halbleiters und eines Halbleiterbausteins
mit einem temperaturbeaufschlagenden Verfahren

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schaffung einer hochtemperatur- und temperaturwechselfesten Verbindung eines Baugruppen-Halbleiters und eines Halbleiterbausteins mit einem temperaturbeaufschlagenden Verfahren.

Stand der Technik

Die zunehmende Nachfrage nach Leistungselektronik, insbesondere für Kraftfahrzeuge (Hybridfahrzeuge) steigert die Stückzahlen, in denen Leistungshalbleiter-Baugruppen hergestellt werden, erheblich. Um mit den Kosten, die bei der Kfz-Produktion naturgemäß möglichst gering gehalten werden müssen, Schritt zu halten, werden die Herstellungsverfahren dauernd optimiert.

Ein aufwendiger Schritt bei der Herstellung von Sinterverbindungen, wie sie beispielsweise in der DE 10 2006 033 073 B3 der Anmelderin beschrieben werden, sind dabei die bei der eigentlichen Sinterung (der sogenannten Endsinterung) benötigten Drücke von mehr als 30 MPa, die durch eine spezielle Apparatur für einige Sekunden bis zu einigen Minuten aufgebracht werden müssen.

Andererseits ist aus dieser genannten Schrift bereits bekannt, dass sich eine sägefeste getrocknete Metallpulversuspension nach einem Trocknungs- und Erwärmungsschritt nach dem Aufbringen schon geringen Druckes derart vorverdichtet, dass sie „sägefähig“ ist.

- 2 -

Weiter ist aus bekannten Lötverfahren bekannt, dass eine geeignete Temperierung des Werkstückes ein Aufschmelzen auf dem Werkstück angeordneten Lotmaterials zur Herstellung einer innigen Lotverbindung ermöglicht.

Der Erfindung liegt nun die Erkenntnis zugrunde, dass durch Wahl einer geeigneten Metallpulversuspension durch Aktivierung dieser, entweder durch lokalen, geringen Druck von beispielsweise 5 MPa oder durch Erhitzen auf z. B. 250°C der Sintervorgang soweit veranlasst werden kann, dass eine transportfeste Fixierung für die Bearbeitung durch weitere Fertigungsschritte erfolgt.

Dabei wird ein elektrotechnisches Bauelement mit metallischen Kontaktflächen entweder mit einer Silber- oder einer Goldoberfläche durch stoffschlüssiges Fügen auf ein Substratmaterial in mehreren Fertigungsstufen verbunden, ohne dass ein kritischer Sinterdruck anzuwenden ist.

Dies ermöglicht es, das erfindungsgemäße Verfahren ohne eine aufwendige Press-Station durchzuführen, so dass die Taktraten erheblich vergrößert werden können und dennoch Baugruppen mit Sinterverbindung erzeugt werden können.

Dabei werden als Substratmaterial Schaltungsträger Verwendung finden können, wie z. B. organische Leiterplatten (PCB, keramische Leiterplatten, DCB, Metallkern-Leiterplatten, IMS oder Leiter-Leadframes, Stanzgitter, keramische Hybrid-Schaltungsträger usw.). Das elektrotechnische Bauelement kann dabei ein ungehäustes Halbleiterbauelement oder ein auch ein gemoldetes, d. h. gehäustes Halbleiterbauelement sein. Elektrische Kontaktanschlüsse SMD-Bauelemente oder dergleichen können ebenfalls mit dem erfindungsgemäßen stoffschlüssigen Fügeverfahren miteinander verbunden werden.

Der Unterschied zum sogenannten Niedertemperatur-Sintern, bei dem durch gleichzeitiges quasi isostatisches Pressen mit Drücken von 20 bis 30 MPa und gleichzeitigem Erhitzen der Fügepartner auf ca. 220°C eine Verbindung erzeugt wird besteht darin, dass nun mit deutlich geringeren Drücken eine Verbindung takt schnell, d. h. bei einer Erhitzung für wenige Sekunden ermöglicht wird.

Dabei bleiben gleichzeitig die folgenden Nachteile des Standes der Technik vermieden:

Durch die bisherige gleichzeitige Anwendung von hohem Druck und Temperatursteigerung werden statische und dynamische Spannungen in Werkstoffen der Fügepartner induziert, die, beispielsweise bei ungehäusten Silizium-Halbleiterbauelementen und keramischen Leiterplatten dazu führen konnten, dass diese sehr spröden Werkstoffe Risse bildeten.

Dabei wurde die natürliche Sprödigkeit dieser Werkstoffe durch die typischen Bearbeitungsmethoden gefördert. Den Siliziumchips wurde durch Sägen an den Sägekanten bereits initiale Mikrorisse zugefügt (das sog. Chipping). Den keramischen Leiterplatten wurde durch das Brechen, das einem lediglich Ritzen durch Laser nachfolgte, bereits ebenso eine partielle Vorschädigung gegeben.

Erst bei den nachfolgenden Hochdruckbehandlungen wurde beim klassischen Niedertemperatursintern ein störendes Risswachstum bis hin zur Zerstörung des Bauelementes beobachtet. Für einige nicht planare Bauelemente ist das Niedertemperatursintern wegen der Bauteilesprödigkeit und schwieriger dreidimensionaler Formgebungen (z. B. SMD-Widerstände und SMD-Kondensatoren) direkt zerstörend und daher steht dem Sintern dieser Anwendungsbereiche bisher nicht offen.

Durch das erfindungsgemäße Vorgehen ergeben sich nun drei Vorteile gegenüber dem Stand der Technik:

- Das Platzieren und Fixieren des elektronischen Bauelementes geschieht durch geringe Kräfte, die gerade geeignet sind, das Bauteil am gewünschten Ort auf dem Schaltungsträger zu halten.
- Das Fixieren und das Sintern sind dabei getrennte Vorgänge. Das Fixieren erfolgt überwiegend durch eine Verkrallung in der Oberfläche der Fügepartner bzw. der Silber-Fügeschichten.
- Das nachfolgende Sintern erfolgt drucklos in einem Wärmeofen bei Temperaturen zwischen 170°C bis 300°C, kann also ggf. in einer Transportstraße für Bauelemente einfach eingefügt werden.

- Zur Förderung der Sinterqualität kann die Atmosphäre für bestimmte Metallsuspensionsschichten optional mit einem inerten oder reaktiven Gas eingestellt werden. Als inertes Gas eignet sich z.B. Stickstoff und als reaktives Gas kann Formiergas oder mit Ameisensäure gesättigtes Inertgas eingesetzt werden.

Dabei muss man sich das Verkrallen bei der Fixierung vorstellen wie das Ineinanderverkrallen von Schneekristallen beim Rollen von Schneemannkugeln. Durch die raue Oberfläche und die Möglichkeit der Verdichtung ergibt sich die Verkrallung, ohne dass die Schichtdicke wesentlich abnimmt.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels anhand einer beigefügten Zeichnung. Dabei zeigt :

- Fig. 1 ein metallisiertes Bauelement, das über einer vorbeschichteten und getrockneten Metallsuspensionsschicht platziert ist,
- Fig. 2 die Elemente der Fig. 1, die durch geringen Druck miteinander fixiert sind
- Fig. 3 die Elemente der Fig. 2 nach einem drucklosen Temperierschritt, der für eine bevorzugt vollständige Volumensinterung sorgt,
- Fig. 4 ein unter- und weiter noch oberseitig metallisiertes Bauelement über einer zuvor aufgetragenen und getrockneten Metallsuspensionsschicht wie in Fig. 1,
- Fig. 5 die Elemente der Fig. 4, die durch geringen Druck miteinander fixiert sind und eine darüber – noch separat angeordnete – Kontaktflasche,
- Fig. 6 die Elemente der Fig. 5, wobei durch geringen Druck auch die Kontaktflasche mit den anderen Elementen fixiert ist, und

Fig. 7 die Elemente der Fig. 6 nach einem drucklosen Temperierschritt, der für eine bevorzugt vollständige Volumensinterung aller fixierten Kontaktpositionen sorgt

Schritt 1:

Ein Substratmaterial bzw. eine Chip Rückseite, oder in einer bevorzugten Ausführungsform auf beide zu fügende Oberflächen, wird durch bevorzugt mit einem Schablonendrucker eine Silberpartikel enthaltenen Schicht in gleichmässiger Schichtdicke aufgebracht. Dieses geschieht selektiv an den Stellen, an denen das Bauelement platziert werden soll bzw., wenn auf den Chip aufgebracht wird, vollflächig. Andere Aufbringungstechniken, insbesondere das Sprühen, sind denkbar. Ein Tauchen oder Spin-on einer Silberpartikellösung dagegen würde Probleme mit einer schichtdicken Varianz mit sich bringen.

Schritt 2:

Nach dem Auftrag wird die Schicht getrocknet und so von den flüchtigen organischen Bestandteilen befreit. Dabei unterstützen Temperaturen von bis zu 150°C den Prozess, um hohe Taktraten zu gewährleisten. Die hierdurch erzeugte getrocknete Schicht weist eine große Porosität und eine große Rauigkeit auf.

Würde auf diesen Schritt verzichtet werden und sogenanntes „Nassaufbringen“ erfolgen, wäre zu befürchten, dass die dann noch mobilen Silberpartikel in der Lösungsmittelsuspension beim Ausgasen sich noch bewegen würden und sich Kanäle zum Austrag des Lösungsmittels in der Schicht bilden würden. Diese Kanäle wären als Beginn von Mikrorissen äußerst unerwünscht. Daher ist das vollständige Trocknen der Schicht ein wesentlicher Bestandteil des Verfahrens unabhängig davon, ob die Metallsuspensionen mit thermisch sich aktivierenden Bestandteilen versehen sind oder nicht. Bevorzugt jedoch werden derartige Zusammensetzungen gewählt, die bei einer Trocknungstemperatur von 150°C noch nicht zusätzliche exothermische Energie lokal freisetzen, sondern dies erst bei der wesentlich höheren Temperatur von beispielsweise 250°C tun, weil sie erst durch diese hohen Temperaturen aktiviert werden.

- 6 -

In Abstimmung auf die gewählte Zusammensetzung der Metallpulversuspension kann die Trocknungstemperatur zur Beschleunigung des Prozesses so hoch gewählt sein, dass eine vorzeitige (noch) Versinterung unterbleibt.

Schritt 3:

Das elektrotechnische Bauelement wird von einer Bauelement Greif- und Absetzvorrichtung an die vorbestimmte Position gebracht und einseitige oder beidseitige Silberschichten, die auf die Bauteile aufgebracht werden, werden durch die beim Auftrag erfolgende Kraftaufbringung ineinander gedrückt und miteinander verkrallt. Dies ist ein kurzer 0,1 bis 3 Sekunden dauernder Platzierprozess, wobei die erforderliche Kraft nur so groß ist, dass die raue Oberfläche umgeformt wird und sich gegenseitig verkrallt. Die Halterung durch Verkrallen muss dabei nicht den Anforderungen für späteren Einsatz genügen sondern lediglich nur so stark sein, dass während des Fortbewegungsprozesses in der Herstellung die Bauelemente nicht mehr verrutschen.

Wie zuvor schon am Beispiel von Schnee illustriert, ist durch die zweidimensionale Verkrallung der rauen getrockneten Metallschicht in einer Silber- oder Goldoberfläche eine einfache Haftung vorgesehen. In gleicher Weise haftet ein Schneeball an einer Zementwand oder eben der Schnee in sich, wenn ein Schneeball geformt wird.

Falls an dieser Stelle die Haftung nicht bei Raumtemperatur ausreichend ist, kann durch eine Erhöhung der Temperatur wieder bis auf beispielsweise 150°C die Haftung verbessert werden. Dies wäre im Beispiel „Schnee“ einem feuchten Schnee gleichzusetzen.

Schritt 4:

In einem vierten Schritt wird das so fixierte Bauelement schließlich einem nachfolgenden Wärmeprozess ohne weiteren Druck ausgesetzt, wobei eine Diffusion der Silberatome in die Grenzfläche des Fügepartners und umgekehrt stattfindet, so dass sich die erwünschte hochtemperatur- und temperaturwechselfeste, für Kraftfahrzeuganwendungen auch über viele Jahre stabile Verbindung ergibt.

In Fig. 1 ist ein mit üblichen Verfahren vor-metallisiertes Bauelement dargestellt, das über einer z.B. mit ca. 50 Mikrometer vorbeschichteten und bei einer Tempera-

- 7 -

tur von weniger als 140°C für wenige Minuten (bevorzugt 1-3 min) getrockneten Metallsuspensionsschicht platziert ist. Ein geeignete Vorverdichtung der Schicht, um diese besser lagern zu können, und Abrieb zu vermeiden, kann vor dem Fixieren des Bauelementes schon an der Schicht erfolgt sein.

Weiter kann in einer Variante an einem der Verbindungspartner eine auf gleiche oder ähnliche Weise erzeugte Schicht – nur um diese als gleichartig zur einer Vor-metallisierung zu verwenden – auch schon ausgesintert sein. Es reicht, wenn eine Schicht noch aus lediglich getrockneter, nicht versinterter Paste/Suspension besteht.

Dann werden die Elemente (siehe Fig. 2), durch geringen Druck miteinander fixiert sind. Dabei kann ein Druck von 1 - 10 MPa, bevorzugt 2 - 6MPa und hierin weiter bevorzugt für eine Sekunde mit weniger als 5 MPa ausgeübt werden.

Fig. 3 zeigt die Elemente der Fig. 2 nach einem drucklosen Temperierschritt, bei pastenabhängigen Temperaturen von typischerweise mehr als 230°C, der für eine bevorzugt vollständige Volumensinterung sorgt. Reaktive Prozessgase können eine Versinterung beschleunigen.

Fig. 4 bis 7 zeigen, wie stellvertretend für viele mögliche Elemente, eine Kontakt-lasche durch geringen Druck mit der Baugruppe auf gleiche Weise fixiert wird.

In sehr vorteilhafter Weise wird durch geringen Druck auf die Kontakt-lasche diese bereits transportfest mit den anderen Elementen fixiert, und kann schließlich mit einem drucklosen Temperierschritt, der für eine bevorzugt vollständige Volumensinterung aller fixierten Kontaktpositionen (z.B. auch vieler Kontakt-laschen) sorgt, die erwünschte hochtemperatur- und temperaturwechselfeste, über viele Jahre stabile Verbindung erhalten (Fig. 7).

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Schaffung einer hochtemperatur- und temperaturwechselfesten Verbindung eines Baugruppen-Halbleiters und eines Halbleiterbausteins mit einem temperaturbeaufschlagenden Verfahren, bei dem auf die Bereiche der später zu verbindenden einzelnen Halbleiter-Bausteine eine Metallpulver-suspension aufgebracht wird, die Suspensionsschicht unter Ausgasen der flüchtigen Bestandteile und unter Erzeugung einer porösen Schicht getrocknet wird, anschließend die poröse Schicht vorverdichtet wird, ohne dass eine vollständige, die Sus-

pensionsschicht durchdringende Versinterung stattfindet, wobei zur Erlangung einer festen elektrisch und thermisch gut leitenden Verbindung eines Halbleiter-Bausteins auf einem Verbindungspartner aus der Gruppe : Substrat, weiterem Halbleiter oder Schaltungsträger, die Verbindung eine ohne Pressdruck durch Temperaturerhöhung erzeugte Sinterverbindung ist, die aus einer getrockneten Metallpulversuspension besteht, die in einem Vorverdichtungsschritt mit dem Verbindungspartner einen ersten transportfesten Kontakt mit dem Verbindungspartner erfahren hat, und drucklos unter Temperatúraussinterung verfestigt wurde kann in einer bevorzugten Ausführungsform dadurch erweitert werden, dass mehr als eine Seite eines Verbindungspartners mit Metallsuspensionsauftrag versehen wird.

Weiter kann zur Förderung der Sinterqualität die Atmosphäre (in einer abgeschlossenen Kammer) während der Erhitzung mit einem inerten oder reaktiven Gas angereichert werden. Das inerte Gas kann bevorzugt Stickstoff als Hauptbestandteil enthalten. Als reaktives Gas wird ein solches mit einem überwiegenden Bestandteil von Formiergas vorgeschlagen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Schaffung einer hochtemperatur- und temperaturwechselbeständigen Verbindung eines Baugruppen-Halbleiters und eines Halbleiterbausteins mit einem temperaturbeaufschlagenden Verfahren, bei dem

auf die Bereiche der später zu verbindenden einzelnen Halbleiter-Bausteine eine Metallpulversuspension aufgebracht wird,

die Suspensionsschicht unter Ausgasen der flüchtigen Bestandteile und unter Erzeugung einer porösen Schicht getrocknet wird,

die poröse Schicht vorverdichtet wird, ohne dass eine vollständige, die Suspensionsschicht durchdringende Versinterung stattfindet,

dadurch gekennzeichnet, dass

zur Erlangung einer festen elektrisch und thermisch gut leitenden Verbindung eines Halbleiter-Bausteins auf einem Verbindungspartner aus der Gruppe : Substrat, weiterem Halbleiter oder Schaltungsträger, die Verbindung eine ohne Pressdruck durch Temperaturerhöhung erzeugte Sinterverbindung ist, die aus einer getrockneten Metallpulversuspension besteht, die in einem Vorverdichtungsschritt mit dem Verbindungspartner einen ersten transportfesten Kontakt mit dem Verbindungspartner erfahren hat, und drucklos unter Temperaturaussinterung verfestigt wurde.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als eine Seite eines Verbindungspartners mit Metallsuspensionsauftrag versehen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Förderung der Sinterqualität die Atmosphäre mit einem inerten oder reaktiven Gas angereichert ist.

- 10 -

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Förderung der Sinterqualität die Temperatúraussinterung unter Stickstoff stattfindet.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Förderung der Sinterqualität die Trocknung unter Formiergas stattfindet.

1/2

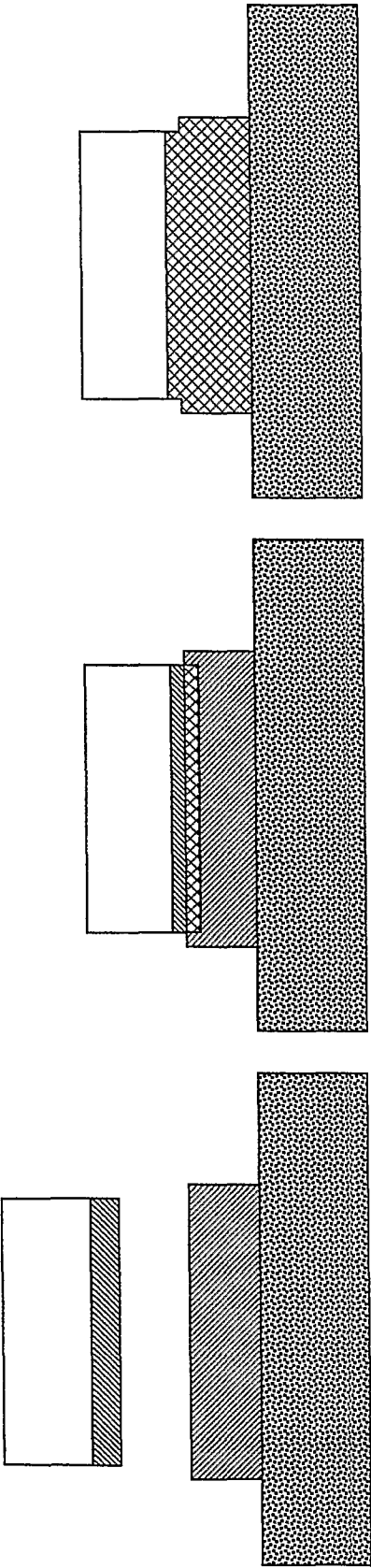


Fig. 1

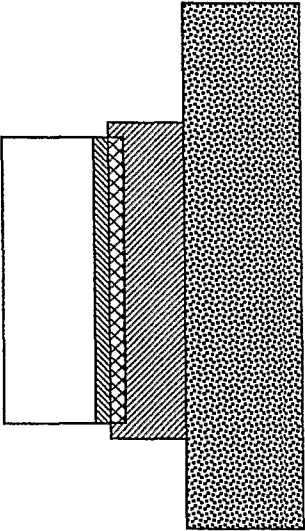


Fig. 2

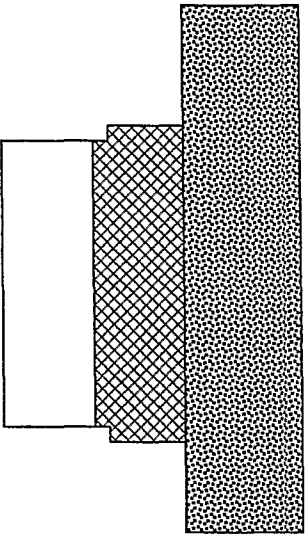


Fig. 3

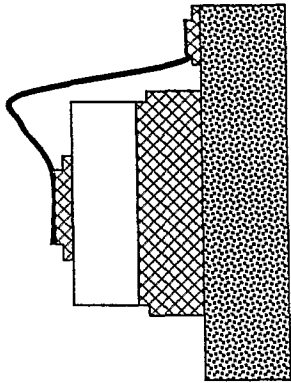


Fig. 4

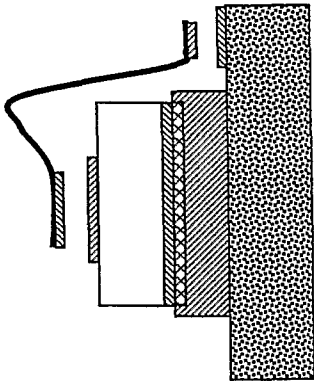


Fig. 5

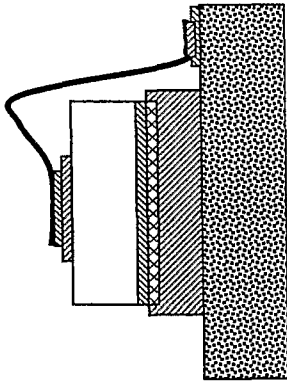


Fig. 6

Fig. 7

