

(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
14. November 2013 (14.11.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/167643 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/29 (2013.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/059562

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Mai 2013 (08.05.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 207 598.4 8. Mai 2012 (08.05.2012) DE

(71) Anmelder: CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: RICHTER, Thomas; Großprüfening 12a,
93049 Regensburg (DE). LENK, Andreas;
Windmühlenhöhe 11, 01728 Bannewitz Ot Possendorf
(DE). ZUMSTRULL, Claus; Zum Vogelherd 3, 93128
Regenstauf (DE).

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

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MAKING ELECTRICAL CONTACT WITH AN ELECTRONIC COMPONENT IN THE FORM OF A
STACK, AND ELECTRONIC COMPONENT HAVING A CONTACT-MAKING STRUCTURE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM ELEKTRISCHEN KONTAKTIEREN EINES ELEKTRONISCHEN BAUELEMENTS
ALS STAPEL UND ELEKTRONISCHES BAUELEMENT MIT EINER KONTAKTIERUNGSSTRUKTUR

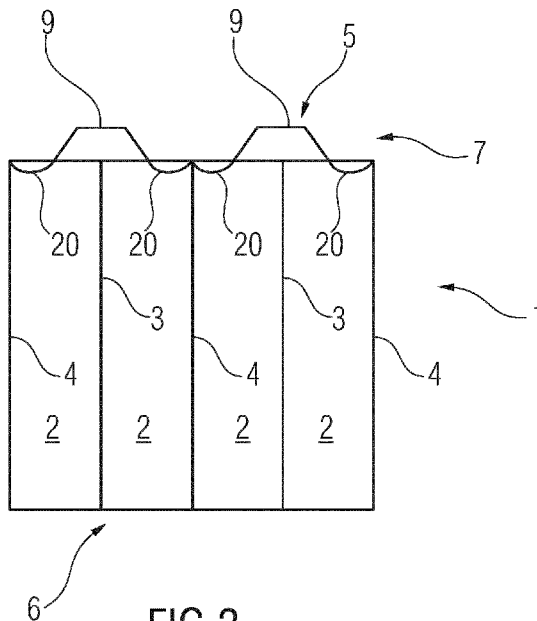


FIG 3

(57) Abstract: The invention describes a method for making electrical contact with an electronic component in the form of a stack (1) which is formed from a plurality of material layers (2), which react upon application of an electric field, and a plurality of electrode layers (3, 4), wherein each material layer (2) is arranged between two of the electrode layers (3, 4). In the method according to the invention, an insulation structure (7, 8) is generated on at least one stack circumferential region (5, 6) of the stack (1), as a result of which each second electrode layer (3, 4) of the at least one stack circumferential region (5, 6) is exposed for electrical contact to be made. Furthermore, a contact-making structure (13, 14) is applied to the at least one stack circumferential region (5, 6) which is provided with the insulation structure (7, 8). The method according to the invention is distinguished in that, before the step of generating the contact-making structure (13, 14), the material layers (2) are partially removed by means of a material-removing method in such a way that the electrode layers (3, 4) are exposed close to the surface.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/167643 A2

**Veröffentlicht:**

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

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zum elektrischen Kontaktieren eines elektronischen Bauelements als Stapel (1), das aus einer Mehrzahl von auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten (2) und einer Mehrzahl von Elektrodenschichten (3, 4) gebildet ist, wobei jede Werkstoffschicht (2) zwischen zwei der Elektrodenschichten (3, 4) angeordnet ist. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird auf zumindest einem Stapelumfangsbereich (5, 6) des Stapels (1) eine Isolationsstruktur (7, 8) erzeugt, wodurch jede zweite Elektrodenschicht (3, 4) des zumindest einen Stapelumfangsbereichs (5, 6) zur elektrischen Kontaktierung frei gelegt ist. Ferner wird auf den zumindest einen, mit der Isolationsstruktur (7, 8) versehenen Stapelumfangsbereich (5, 6) eine Kontaktierungsstruktur (13, 14) aufgebracht. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass vor dem Schritt des Erzeugens der Kontaktierungsstruktur (13, 14) mittels eines materialabtragenden Verfahrens die Werkstoffschichten (2) partiell derart abgetragen werden, dass die Elektrodenschichten (3, 4) oberflächennah freigelegt werden.

Beschreibung

Verfahren zum elektrischen Kontaktieren eines elektronischen Bauelements als Stapel und elektronisches Bauelement mit einer Kontaktierungsstruktur

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrischen Kontaktieren eines elektronischen Bauelements als Stapel, das aus einer Mehrzahl von auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten und einer Anzahl von Elektrodenschichten gebildet ist, wobei jede Werkstoffschicht zwischen zwei der Elektrodenschichten angeordnet ist, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Die Erfindung betrifft ferner ein als Stapel ausgebildetes elektronisches Bauelement der oben genannten Art gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 9.

Ein solches Bauelement aus übereinander und alternierend zueinander gestapelten Schichten von Werkstoffschicht und Elektrodenschicht wird allgemein als Stapel bezeichnet. Das heutzutage bekannteste elektronische Bauelement dieser Art ist ein allgemein als Piezoaktor bezeichneter Stapel, der als Betätigungselement in Einspritzventilen der verschiedensten Motortypen für Kraftfahrzeuge zur Anwendung kommt. Die Werkstoffschichten sind bei diesem Piezoaktor Keramiksichten.

Üblicherweise weist ein solcher Stapel, in der Draufsicht betrachtet, einen rechteckigen oder quadratischen Querschnitt auf. Der Stapel wird an zwei sich gegenüberliegenden Umfangsseiten elektrisch kontaktiert. Um dies technologisch sorgfältig durchführen zu können, wurden die Elektrodenschichten in der Vergangenheit geometrisch so ausgelegt, dass sich nur jede zweite Elektrodenschicht seitlich bis zu einer der beiden Umfangsseiten erstreckt, während sich die jeweils anderen Elektrodenschichten nicht bis zu dieser Umfangsseite hin erstrecken. Entsprechendes gilt für die andere Umfangsseite des Stapels analog.

Darüber hinaus sind sog. vollaktive Stapel bekannt, bei denen die Elektrodenschichten und die Werkstoffschichten die gleiche Fläche aufweisen, wodurch sich sämtliche Elektrodenschichten jeweils bis an die gegenüberliegenden Umfangsseiten erstrecken. Da sich sämtliche Elektrodenschichten des Bauelements bis zu den beiden gegenüberliegenden Umfangsseiten erstrecken, muss die Kontaktierung auf andere Weise erfolgen.

Aus der DE 101 53 770 A1 ist ein Verfahren zur Kontaktierung einer gestapelten piezoelektrischen Vorrichtung bekannt. Bei diesem Verfahren wird beidseitig abwechselnd jede zweite Elektrodenschicht mit einer elektrisch isolierenden Schicht versehen. Anschließend werden die freiliegenden Elektrodenschichten jeder Umfangsseite über eine leitende Schicht miteinander verbunden. Als leitende Schicht wird ein Harz verwendet, das leitfähige Partikel enthält.

Aus der DE 10 2006 003 070 B3 ist ein Verfahren zur elektrischen Kontaktierung eines als Stapel gebildeten Bauelements bekannt, welches aus Werkstoffschichten und Elektrodenschichten besteht. Zur Ankontaktierung wird auf zwei gegenüberliegenden Seiten eine Isolationsschicht aufgebracht. Anschließend wird jede Isolationsfolie durch Laserstrukturierung an der Position jeder zweiten Elektrodenschicht geöffnet. Anschließend werden die Elektrodenschichten auf jeder Umfangsseite mit einem elektrisch leitenden Material miteinander verbunden.

Allgemein sind aufgrund gegebener Anforderungen eine hohe Temperaturbeständigkeit des Aktors sowie eine hohe Dauerhaltbarkeit gefordert. Wesentlich hierfür ist eine gute Anbindung von Außenelektroden an die sehr dünnen Elektrodenschichten des Stapels. Ist die elektrische Anbindung der Außenelektroden an die Elektrodenschichten nicht niederohmig oder fehlerstellenbehaftet, kann es lokal zu überhöhten Stromdichten und damit erhöhten Temperaturen kommen, welche im schlechtesten Fall zu einer dauerhaften Dekontaktierung führen können. Diese Problematik ist insbesondere dann gegeben, wenn das Material der Außenelektroden, welche auf den gegenüberliegenden Umfangs-

seiten die Elektrodenschichten elektrisch kontaktieren, aus einem Leitleber gebildet ist. Ein Leitleber umfasst elektrisch leitende Partikel, beispielsweise aus Silber, Gold oder einem beliebigen anderen Metall oder einer Metalllegierung, welche in
5 ein isolierendes Trägermaterial, z.B. ein Polyimidharz, ein Epoxidharz, usw., eingebettet sind.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum elektrischen Kontaktieren eines elektronischen Bauelements als Stapel sowie ein elektronisches Bauelement anzugeben, welche
10 eine verbesserte Langzeit-Zuverlässigkeit des Stapels ermöglichen.

Diese Aufgaben werden gelöst durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie ein als Stapel ausgebildetes elektronisches Bauelement gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich jeweils aus den abhängigen Patentansprüchen.

20 Die Erfindung schafft ein Verfahren zum elektrischen Kontaktieren eines elektronischen Bauelements als Stapel, das aus einer Mehrzahl von auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten und einer Mehrzahl von Elektrodenschichten gebildet ist, wobei jede Werkstoffschicht zwischen zwei der
25 Elektrodenschichten angeordnet ist. Auf zumindest einem Stapelumfangsbereich des Stapels wird eine Isolationsstruktur erzeugt, so dass jede zweite Elektrodenschicht des zumindest einen Stapelumfangsbereichs zur elektrischen Kontaktierung freigelegt ist.

30 Bevorzugt wird dabei jede zweite, zu den frei gelegten Elektrodenschichten vorzugsweise alternierend angeordnete Elektrodenschicht zumindest teilweise von der Isolationsstruktur bedeckt.

35 Das Erzeugen der Isolationsstruktur und Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht von der Isolationsstruktur kann beispielsweise erfolgen, indem zunächst eine Isolationschicht auf den

Stapelumfangsbereich aufgetragen wird, von welcher anschließend zum Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht wieder Material entfernt wird. Alternativ kann die Isolationsstruktur auch über ein Direktstrukturierungsverfahren, z.B. mittels Sprühen oder
5 Dispensen, aufgebracht werden, so dass jede zweite Elektrodenschicht frei bleibt.

Auf den zumindest einen, mit der Isolationsstruktur versehenen Stapelumfangsbereich wird dann eine Kontaktierungsstruktur
10 aufgebracht. Vor dem Schritt des Erzeugens der Kontaktierungsstruktur werden mittels eines materialabtragenden Verfahrens die Werkstoffschichten partiell derart abgetragen, dass die Elektrodenschichten oberflächennah freigelegt werden.

15 Vorzugsweise wird durch das partielle Abtragen der Werkstoffschichten zumindest jede zweite Elektrodenschicht oberflächennah freigelegt, insbesondere jede von der Isolationsstruktur freigelegte Elektrodenschicht.

20 Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass durch das oberflächennahe Freilegen der Elektrodenschichten eine vergrößerte Fläche zur elektrischen Kontaktierung der Elektrodenschichten zur Verfügung steht. Hierdurch ist eine bessere elektrische Anbindung der Elektrodenschichten an die Kontaktierungsstruktur möglich. Die Gefahr von lokalen überhöhten
25 Stromdichten und damit erhöhten Temperaturen kann hierdurch verringert werden. Im Ergebnis wird hierdurch die Langzeit-Zuverlässigkeit des hergestellten Stapels verbessert.

30 In einer zweckmäßigen Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Abtragen des Materials der Werkstoffschichten derart, dass oberflächennahe Abschnitte der Elektrodenschichten zusätzlich zu ihrer an den Stapelumfangsbereich grenzenden Stirnseite zumindest teilweise an ihren Hauptflächen
35 freigelegt werden. Die elektrische Kontaktierung kann damit nicht nur an den Stirnflächen der Elektrodenschichten erfolgen, welche lediglich jeweils wenige Mikrometer breit sind. Stattdessen kann zusätzlich ein Kontaktierungsbereich an den

jeweiligen Hauptflächen geschaffen werden. Die Größe des Kontaktierungsbereichs hängt dabei im Wesentlichen von dem gewählten materialabtragenden Verfahren und der Dauer der Materialabtragung ab.

5

Es sollte lediglich so viel Material der Werkstoffschichten abgetragen werden, dass eine erhöhte Kontaktfläche an den Elektrodenschichten geschaffen ist. Gleichzeitig darf die Stabilität der dünnen Elektrodenschichten durch das Abtragen der
10 Materialschichten jedoch nicht geschwächt werden. Es ist ausreichend, wenn - ausgehend von einer durch die Stapelumfangsbereiche gebildeten Oberfläche - das Material der Werkstoffschichten wenige Mikrometer tief abgetragen wird. Insbesondere sollte das Abtragen des Materials der Werkstoff-
15 schichten eine Tiefe von 10 μm bis 20 μm nicht übersteigen. Bei größeren Tiefen besteht die Gefahr, dass die Elektrodenschichten und das Material der Werkstoffschichten, welches an die Elektroden grenzt, im weiteren Prozess der Weiterverarbeitung beschädigt werden könnten.

20

In einer weiteren zweckmäßigen Ausgestaltung erfolgt das partielle, oberflächennahe Abtragen des Materials der Werkstoffschichten vor dem Schritt des Erzeugens der Isolationsstruktur. Hierzu kann beispielsweise ein jeweiliger Stapelumfangsbereich (auf die die Außenelektroden aufgebracht werden)
25 vor dem Erzeugen der Isolationsstruktur plan geschliffen werden, so dass die Elektrodenschichten an den Oberflächen der jeweiligen Stapelumfangsbereiche zunächst bündig mit den Werkstoffschichten abschließen. Anschließend erfolgt das oberflächennahe
30 partielle Abtragen des Materials der Werkstoffschichten, um die Elektrodenschichten ungefähr gleichförmig oberflächennah freizulegen.

Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass das partielle,
35 oberflächennahe Abtragen des Materials der Werkstoffschichten nach dem Schritt des Erzeugens der Isolationsstruktur erfolgt. Insbesondere können das Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht und das Abtragen des Materials der Werkstoffschichten

durch das gleiche Bearbeitungsverfahren erfolgen. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass keine zusätzlichen Werkzeuge oder Bearbeitungsschritte im Rahmen der Herstellung des Bauelementstapels bereitgestellt werden müssen. Das
5 gleichzeitige Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht des zumindest einen Stapelumfangsbereichs zur elektrischen Kontaktierung und das Abtragen des Materials der Werkstoffschichten in den freigelegten Bereichen kann beispielsweise unter Verwendung eines Lasers geschehen.

10

Das partielle, oberflächennahe Abtragen des Materials der Werkstoffschichten kann beispielsweise mittels Schleifen, Bürsten, Strahlen oder den Laser erfolgen. Das Strahlen kann beispielsweise mittels in einen Trägerstrom eingebrachte
15 Partikel (z.B. Sand) erfolgen. Durch die genannten Bearbeitungsverfahren kann sichergestellt werden, dass lediglich das Material der Werkstoffschichten, jedoch nicht das Material der Elektrodenschichten während des Bearbeitungsvorganges abgetragen wird. Ebenso sind diese Verfahren geeignet, das Material
20 der auf die Stapelumfangsbereiche aufgebrachten Isolations-schicht zum Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht zu entfernen.

25

In einer weiteren Ausgestaltung wird nach dem Schritt des Erzeugens der Isolationsstruktur und dem gegebenenfalls darauffolgenden Schritt des partiellen Abtragens des Materials der Werkstoffschicht eine dünne Metallschicht, insbesondere durch Sputtern, auf den Stapelumfangsbereich aufgebracht, auf welche
30 in einem nachfolgenden Schritt die Kontaktierungsstruktur auf die dünne Metallschicht aufgebracht wird. Die dünne Metallschicht ermöglicht eine zuverlässigere und fehlerstellenfreie Kontaktierung der Elektrodenschichten des Stapels. Wird die Kontaktierungsstruktur, wie dies bevorzugt ist, mittels eines Leitklebers realisiert, so können die in dem Leitkleber
35 enthaltenen Metallpartikel die dünne Metallschicht auch im Bereich der Isolationsstruktur elektrisch kontaktieren und tragen damit zusätzlich zu einer Stromleitung bei. Auch hierdurch

lässt sich die Zuverlässigkeit des elektronischen Bauelements erhöhen.

Die Erfindung schafft ferner ein als Stapel ausgebildetes
5 elektronisches Bauelement. Dieses umfasst eine Mehrzahl von
Elektrodenschichten und eine Mehrzahl von auf Anlegen eines
elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten, wobei jede
Werkstoffschicht zwischen zwei Elektrodenschichten angeordnet
10 ist. Ferner ist eine Isolationsstruktur vorgesehen, die auf
zumindest einem Stapelumfangsbereich des Stapels aufgebracht
ist, wobei die Isolationsstruktur derart ausgebildet ist, dass
jede zweite Elektrodenschicht eines Stapelumfangsbereichs zur
elektrischen Kontaktierung freigelegt ist. Eine Kontaktie-
15 rungsstruktur ist auf zumindest einen, mit der Isolations-
struktur versehenen Stapelumfangsbereich aufgebracht. Das als
Stapel ausgebildete elektronische Bauelement zeichnet sich
dadurch aus, dass die Werkstoffschichten in einem Schnitt, der
parallel zu einer Längsachse des Stapels und senkrecht durch
20 einen der Stapelumfangsbereiche verläuft, in einem oberflä-
chennahen Bereich, der an die Elektrodenschichten angrenzt,
zumindest teilweise abgetragen und durch Material der Isola-
tionsstruktur oder der Kontaktierungsstruktur ersetzt ist.

Insbesondere können vorzugsweise die Werkstoffschichten in einem
25 oberflächennahen Bereich, der an die freigelegten Elektro-
denschichten angrenzt, zumindest teilweise abgetragen und durch
Material der Kontaktierungsstruktur ersetzt sein. Somit ist
vorteilhaft jede zweite Elektrodenschicht mit der Kontaktie-
rungsstruktur verbunden.

30 Unter dem oberflächennahen Bereich des Stapels ist hierbei eine
Ebene bzw. Oberfläche des Stapelumfangsbereichs zu verstehen,
wenn die Isolationsstruktur und die Kontaktierungsstruktur noch
nicht auf den Stapelumfangsbereich aufgebracht sind. Nach dem
35 Aufbringen grenzen die Isolationsstruktur bzw. die Kontak-
tierungsstruktur an den oberflächennahen Bereich der Werk-
stoffschichten.

Der erfindungsgemäß ausgebildete Stapel weist die gleichen Vorteile auf, wie diese vorstehend in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläutert wurden.

- 5 Obwohl die Oberflächenform der durch Materialabtragung bearbeiteten Werkstoffschichten prinzipiell beliebig ausgebildet sein kann, ist es zweckmäßig, wenn die Werkstoffschichten in einer Schnittansicht durch den Schnitt zwischen zwei benachbarten Elektrodenschichten eine konkave Gestalt aufweisen. Die
10 konkave Gestalt, aber auch jede andere beliebige Oberflächengestalt der Werkstoffschichten des Stapels, ergibt sich aus dem für die Bearbeitung gewählten materialabtragenden Verfahren. Insbesondere sind die Werkstoffschichten gegenüber dem Stapelumfangsbereich bereichsweise um höchstens 10 µm bis 20 µm
15 reduziert. Diese geringe Materialabtragung ermöglicht einerseits eine verbesserte Kontaktierung der freigelegten Abschnitte der Elektrodenschichten. Andererseits ist die Materialreduzierung derart gering, dass die Weiterverarbeitung des derart vorbereiteten Stapels keine Abänderung der Verfahrensschritte
20 zum Aufbringen der Isolationsstruktur und der Kontaktierungsstruktur erfordert. Insbesondere kann aufgrund der geringen Materialabtragung auch sichergestellt werden, dass die Oberflächen eines fertiggestellten Stapels eben sind.
- 25 Zweckmäßigerweise umfasst das Material der Kontaktierungsstruktur einen Leitkleber mit einem Träger aus einem nichtleitenden Material, insbesondere Polyimid, und darin eingebetteten Metallpartikeln. Ein Vorteil der Verwendung eines Leitklebers als Material für die Kontaktierungsstruktur besteht
30 darin, dass das nichtleitende Trägermaterial des Leitklebers ähnliche Eigenschaften aufweist, wie das zur Erzeugung der Isolationsstruktur eingesetzte Material. Hierdurch kann eine hohe Langzeit-Zuverlässigkeit des Stapels begünstigt werden, da hohe Temperaturen nicht zu unterschiedlichen Ausdehnungen der
35 Isolations- und der Kontaktierungsstruktur führen. Weiterhin ist durch die vergrößerte Kontaktierungsfläche der Elektrodenschichten die Gefahr fehlstellenbehafteter Kontaktstellen verringert.

Die Erfindung wird nachfolgend näher anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 eine schematische Querschnittsdarstellung eines bekannten Bauelements, auf dessen Stapel aus Werkstoffschichten und Elektrodenschichten eine Isolationsstruktur und eine Kontaktierungsstruktur aufgebracht ist,
- 10 Fig. 2 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Teils einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bauelementstapels, bei dem die Werkstoffschichten partiell abgetragen sind,
- 15 Fig. 3 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Teils einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Bauelementstapels, bei dem die Werkstoffschichten in einer alternativen Ausgestaltung partiell abgetragen sind, und
- 20 Fig. 4 eine vergrößerte Darstellung der Materialabtragung im Bereich einer Elektrodenschicht eines Bauelementstapels.

25 Ausgangspunkt ist ein als Stapel 1 ausgebildetes elektronisches Bauelement. Der Stapel 1 ist aus einer Mehrzahl von auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten 2 und einer Mehrzahl von Elektrodenschichten 3, 4 gebildet. Jede der

30 Werkstoffschichten 2 ist zwischen zwei der Elektrodenschichten 3, 4 angeordnet. Die Elektrodenschichten 3, 4 sind beidseitig bis an die jeweiligen Ränder des Stapels 1 geführt. Eine elektrische Kontaktierung erfolgt beispielhaft im Zusammenspiel auf gegenüberliegenden und geometrisch nicht zusammenhängenden

35 Stapelumfangsbereichen 5, 6. Die Oberflächen der Stapelumfangsbereiche 5, 6, sind in der Regel geschliffen, um ebene Oberflächen für die weiteren Herstellungsschritte zu erhalten. Ein derartiger Stapel 1 ist aus dem Stand der Technik prinzipiell

bekannt und dient beispielsweise als Piezoaktor für einen Piezoinjektor für einen Verbrennungsmotor.

Wie der schematischen Querschnittsdarstellung der Fig. 1 zu entnehmen ist, ist auf dem Stapelumfangsbereich 5 eine Isolationsstruktur 7 aufgebracht. Die Isolationsstruktur 7 ist derart aufgebaut, dass die Elektrodenschichten 4 auf dem Stapelumfangsbereich 5 freigelegt sind. Zu diesem Zweck sind Isolationswälle 9 auf den Elektrodenschichten 3 aufgebracht. Lediglich beispielhaft erstrecken sich deren Flanken schräg in Richtung des Bauelementstapels 1. Die Flanken könnten auch senkrecht zu der Ebene des Stapelumfangsbereichs oder gewölbt, usw. ausgebildet sein.

In entsprechender Weise ist auf dem Stapelumfangsbereich 6 eine Isolationsstruktur 8 mit Isolationswällen 10 auf den Elektrodenschichten 4 vorgesehen. Flanken der Isolationswälle 10 erstrecken sich ebenfalls lediglich beispielhaft in Richtung des Bauelementstapels 1, wobei die Elektrodenschichten 3 freigelegt sind. Es versteht sich für einen Fachmann, dass auch die Flanken der Isolationswälle 10 von der gezeigten Form abweichen könnten.

Die Erzeugung der Isolationsstrukturen 7, 8 erfolgt z.B. durch ein subtraktives Verfahren. Hierbei wird zunächst eine zur elektrischen Isolation geeignete Schicht, z.B. aus einem Polymer oder einer Keramik oder einem temperaturstabilen Glas, flächig auf den jeweiligen Stapelumfangsbereich 5, 6 aufgebracht. Über ein Strukturierungsverfahren, wie z.B. Laserablation oder Fotostrukturierung, wird jede zweite der Elektrodenschichten 3, 4 auf einem jeweiligen Stapelumfangsbereich geöffnet. Wahlweise kann die Isolationsstruktur auch über ein Direktstrukturierungsverfahren, z.B. mittels Sprühen oder Dispensen, aufgebracht werden. Sofern das Material der Isolationsstruktur aus einem temperaturstabilen Glas gebildet wird, ist es zweckmäßig, wenn dieses eine verringerte Silbermigration aufweist. Hierdurch wird die Isolationseigenschaft des Glases für einen langen Zeitraum nicht negativ beeinflusst.

Die elektrische Kontaktierung der Elektrodenschichten 4 auf dem Stapelumfangsbereich 5 bzw. der Elektrodenschichten 3 auf dem Stapelumfangsbereich 6 wird durch eine Kontaktierungsstruktur realisiert, welche beispielsweise mittels eines Leitklebers realisiert werden kann. Bei einem Leitkleber sind in einem nicht-leitenden Material, wie z.B. einem Harz aus Polyimid oder Epoxyd, leitende Metallpartikel, eingebracht. Als Materialien kommen insbesondere Gold, Silber, Palladium, Platin, Kupfer oder Nickel sowie deren Legierungen in Betracht. Die Dicke der Kontaktierungsstruktur hängt von der zu erzielenden Stromtragfähigkeit der Kontaktierungsstruktur ab. Ebenso könnten die Kontaktierungsstrukturen auch aus einem Metall oder einer Metalllegierung gebildet sein.

Eine jeweilige Kontaktierungsstruktur 13, 14 übernimmt somit die elektrische Anbindung an die freigelegten Elektrodenschichten 3 bzw. 4 und dient zur Stromführung mit einer vorgegebenen Stromtragfähigkeit. Die Kontaktierungsstruktur 13, 14 bildet somit jeweilige Außenelektroden.

Da die Elektrodenschichten 4 nur wenige Mikrometer, typischerweise 1 bis 4 μm , dick sind, ist insbesondere bei der Verwendung eines Leitklebers als Material der Kontaktierungsstruktur die Gefahr gegeben, dass einzelne der Elektrodenschichten oder Abschnitte von Elektrodenschichten nicht ausreichend elektrisch an die Kontaktierungsstruktur angebunden sind. Hierdurch entsteht ein hoher Kontaktwiderstand, so dass es zu lokal überhöhten Stromdichten und erhöhten Temperaturen kommen kann.

Um die Anbindung des Materials der Kontaktierungsstruktur an die Elektrodenschichten zu verbessern, schlägt die Erfindung vor, vor dem Erzeugen der Kontaktierungsstruktur mittels eines materialabtragenden Verfahrens die Werkstoffschichten partiell derart abzutragen, dass die Elektrodenschichten oberflächennah freigelegt sind. Dies ist beispielsweise in Fig. 2 dargestellt, wobei die partielle Abtragung des Materials der Werkstoff-

schichten hier vor dem Aufbringen der Isolationsstruktur erfolgt.

Das Abtragen des Materials der Werkstoffschichten kann beispielsweise mittels Schleifen, Bürsten, Strahlen oder durch einen Laser erfolgen. Werden die Stapelumfangsbereiche 5, 6 (wobei in Fig. 2 lediglich der Stapelumfangsbereich 5 dargestellt ist) mittels Sandstrahlen bearbeitet, so ergibt sich z.B. zwischen zwei benachbarten Elektrodenschichten eine konkave Gestalt der Oberflächen der Werkstoffschichten 2. Der in Fig. 2 dargestellte Schnitt verläuft hierbei parallel zu einer Längsachse des Stapels (welche sich in Fig. 2 in Blattebene von links nach rechts erstreckt) und senkrecht durch den Stapelumfangsbereich 5 (d.h. in Blattebene von oben nach unten). Durch das materialabtragende Verfahren werden oberflächennahe Abschnitte der Elektrodenschichten 3, 4 zusätzlich zu ihrer an den Stapelumfangsbereich 5, 6 grenzenden Stirnseite 21 zumindest teilweise an ihren gegenüberliegenden Hauptflächen 22, 23 freigelegt. Dies ist vergrößert und für lediglich zwei aneinander grenzende Werkstoffschichten 2 in Fig. 4 dargestellt.

Die Tiefe T des Materialabtrags des Materials der Werkstoffschichten 2 beträgt höchstens 10 μm bis 20 μm , ausgehend vom äußersten Ende einer Elektrodenschicht 3, 4 bis zum tiefsten Punkt der bearbeiteten Werkstoffschicht 2. Abhängig von dem gewählten Bearbeitungsverfahren wird sich hier im Bereich der Elektrodenschichten unter Umständen ein geringerer Materialabtrag als beispielsweise in der Mitte zwischen zwei Elektrodenschichten ergeben. Hierdurch bedingt werden lediglich einige Mikrometer im oberflächennahen Bereich der Elektrodenschichten vom Material der Werkstoffschicht 2 befreit. Diese freigelegten Kontaktflächen der Elektrodenschichten reichen jedoch aus, eine bessere elektrische Anbindung an das Material der Kontaktierungsstruktur bereitzustellen.

35

In Fig. 3 ist ein Ausschnitt eines Bauelementstapels 1 dargestellt, bei dem die Erzeugung des Materialabtrags 20 erst nach der Erzeugung der Isolationsstruktur 7 erfolgt. Das Freilegen der

für die Kontaktierungsstruktur erforderlichen Bereiche in der Isolation 9 und das Erzeugen der Materialabtragungen 20 kann hierbei unter Verwendung des gleichen Bearbeitungsverfahrens erfolgen. Beispielsweise kann die Erzeugung der Gräben in der Isolationsstruktur 7 mit einem Laser erfolgen. Dieser kann weiter dazu verwendet werden, das Material der Werkstoffschicht 2 im Bereich zwischen zwei Wällen 9 abzutragen, so dass wiederum die konkaven Materialabtragungen entstehen.

10 In einer alternativen Ausgestaltung kann das Erzeugen der Gräben in der Isolationsstruktur 7 und das Erzeugen der Materialabtragungen 20 in den Werkstoffschichten 2 auch mit unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren erfolgen.

15 Um die elektrische Anbindung der Kontaktierungsstruktur 13, 14 an die Elektrodenschichten 3, 4 weiter zu verbessern, kann ferner vorgesehen sein, auf die in den Figuren 2 und 3 erzeugten Oberflächenstrukturen eine dünne Metallschicht, insbesondere durch Sputtern, aufzubringen. Auf diese dünne Metallschicht wird dann in einem nachfolgenden Schritt die bereits beschriebene Kontaktierungsstruktur aufgebracht.

Aufgrund der geringen Tiefe der Materialabtragung 20 in den Werkstoffschichten ist nach dem Erzeugen der Isolationsstruktur und der Kontaktierungsstruktur dennoch sichergestellt, dass der fertig hergestellte Bauelementstapel eine ebene Oberfläche aufweist.

Für einen Fachmann ist klar, dass die in den Figuren 2 und 3 dargestellten Querschnitte der Materialabtragungen 20 lediglich exemplarisch sind und von dem für die Materialabtragung verwendeten Verfahren abhängen. Insbesondere ist es auch möglich, dass über die gesamte Breite zwischen zwei Elektrodenschichten eine gleiche Materialstärke der Werkstoffschicht abgetragen wird. Ebenso ist es möglich, dass das Abtragen einer Werkstoffschicht nicht über die gesamte Breite zwischen zwei Elektroden erfolgt, sondern lediglich im unmittelbaren Bereich

der Elektrodenschichten. In diesem Fall könnte die Materialabtragung auch eine konvexe Gestalt im Querschnitt aufweisen.

5 Ebenso ist es nicht erforderlich, dass die Materialabtragung über die gesamte Länge einer Elektrodenschicht gleichförmig ist. Abhängig vom verwendeten Verarbeitungsverfahren könnte die Abtragung über die Länge einer jeweiligen Elektrodenschicht auch variieren.

10 Das vorgeschlagene Vorgehen ist insbesondere in Verbindung mit der Verwendung von Leitkleber als Material der Kontaktierungsstruktur von Vorteil, da nach dem Aufbringen des Materials der Kontaktierungsstruktur sich die in dem Leitkleber ent-
haltenen Metallpartikel zufällig verteilen. Je größer jedoch die
15 zur Verfügung stehende Kontaktfläche für die Metallpartikel ist, desto geringer ist die Gefahr, dass lokale Stellen mit hohem Kontaktwiderstand entstehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum elektrischen Kontaktieren eines elektronischen Bauelements als Stapel (1), das aus einer Mehrzahl von auf Anlegen
5 eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten (2) und einer Mehrzahl von Elektrodenschichten (3, 4) gebildet ist, wobei jede Werkstoffschicht (2) zwischen zwei der Elektrodenschichten (3, 4) angeordnet ist, bei dem
- auf zumindest einem Stapelumfangsbereich (5, 6) des Stapels
10 (1) eine Isolationsstruktur (7, 8) erzeugt wird, wodurch jede zweite Elektrodenschicht (3, 4) des zumindest einen Stapelumfangsbereichs (5, 6) zur elektrischen Kontaktierung frei gelegt ist;
 - auf den zumindest einen, mit der Isolationsstruktur (7, 8)
15 versehenen Stapelumfangsbereich (5, 6) eine Kontaktierungsstruktur (13, 14) aufgebracht wird;
- dadurch gekennzeichnet, dass
- vor dem Schritt des Erzeugens der Kontaktierungsstruktur
20 (13, 14) mittels eines materialabtragenden Verfahrens die Werkstoffschichten (2) partiell derart abgetragen werden, dass zumindest jede zweite Elektrodenschicht (3, 4) oberflächennah freigelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
25 dadurch gekennzeichnet, dass das Abtragen des Materials der Werkstoffschichten (2) derart erfolgt, dass oberflächennahe Abschnitte der Elektrodenschichten (3, 4) zusätzlich zu ihrer an den Stapelumfangsbereich (5, 6) grenzenden Stirnseite zumindest teilweise an ihren
30 Hauptflächen freigelegt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das partielle, oberflächennahe Abtragen des Materials der
35 Werkstoffschichten (2) vor dem Schritt des Erzeugens der Isolationsstruktur erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das partielle, oberflächennahe Abtragen des Materials der
Werkstoffschichten (2) nach dem Schritt des Erzeugens der
5 Isolationsstruktur erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
gleichzeitig mit dem Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht
10 (3, 4) des zumindest einen Stapelumfangsbereichs (5, 6) zur
elektrischen Kontaktierung das Abtragen des Materials der
Werkstoffschichten (2) in den freigelegten Bereichen erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,
15 dadurch gekennzeichnet, dass
das Freilegen jeder zweiten Elektrodenschicht (3, 4) und das
Abtragen des Materials der Werkstoffschichten (2) durch das
gleiche Bearbeitungsverfahren erfolgt.
- 20 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das partielle, oberflächennahe Abtragen des Materials der
Werkstoffschichten (2) mittels Schleifen, Bürsten, Strahlen oder
durch einen Laser erfolgt.
- 25 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
nach dem Schritt des Erzeugens der Isolationsstruktur (7, 8) und
dem gegebenenfalls darauffolgenden Schritt des partiellen
30 Abtragens des Materials der Werkstoffschichten (2), eine dünne
Metallschicht, insbesondere durch Sputtern, auf den Stapel-
umfangsbereich (7, 8) aufgebracht wird, auf welche in einem
nachfolgenden Schritt die Kontaktierungsstruktur (13, 14) auf
die dünne Metallschicht aufgebracht wird.
- 35 9. Als Stapel (1) ausgebildetes elektronisches Bauelement,
umfassend:
- eine Mehrzahl von Elektrodenschichten (3, 4);

- eine Mehrzahl von auf Anlegen eines elektrischen Feldes reagierenden Werkstoffschichten (2), wobei jede Werkstoffschicht (2) zwischen zwei der Elektrodenschichten (3, 4) angeordnet ist;
- 5 - eine Isolationsstruktur (7, 8), die auf zumindest einem Stapelumfangsbereich (5, 6) des Stapels (1) aufgebracht ist, wobei die Isolationsschicht (7) derart ausgebildet ist, dass jede zweite Elektrodenschicht (3, 4) eines Stapelumfangsbereichs (5, 6) zur elektrischen Kontaktierung frei gelegt ist;
- 10 - einer auf den zumindest einen, mit der Isolationsstruktur (7, 8) versehenen Stapelumfangsbereich (5, 6) aufgebrachten Kontaktierungsstruktur (13, 14);
dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 - die Werkstoffschichten (2) in einem Schnitt, der parallel zu einer Längsachse des Stapels (1) und senkrecht durch einen der Stapelumfangsbereiche (5, 6) verläuft, zumindest in einem oberflächennahen Bereich, der an die freigelegten Elektrodenschichten (3, 4) angrenzt, zumindest teilweise abgetragen und durch Material der Isolationsstruktur (7, 8) oder der Kontaktierungsstruktur (13, 14) ersetzt ist.

10. Stapel nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Werkstoffschichten (2) in einer Schnittansicht durch den Schnitt zwischen zwei benachbarten Elektrodenschichten (3, 4) eine konkave Gestalt aufweisen.

11. Stapel nach Anspruch 9 oder 10,
30 dadurch gekennzeichnet, dass
die Werkstoffschichten (2) gegenüber dem Stapelumfangsbereich (5, 6) bereichsweise um höchstens 10µm bis 20µm reduziert sind.

12. Stapel nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
35 dadurch gekennzeichnet, dass
das Material der Kontaktierungsstruktur (13, 14) einen Leitkleber mit einem Träger aus einem nicht leitenden Material,

insbesondere Polyimid, und darin eingebetteten Metallpartikeln umfasst.

1/2

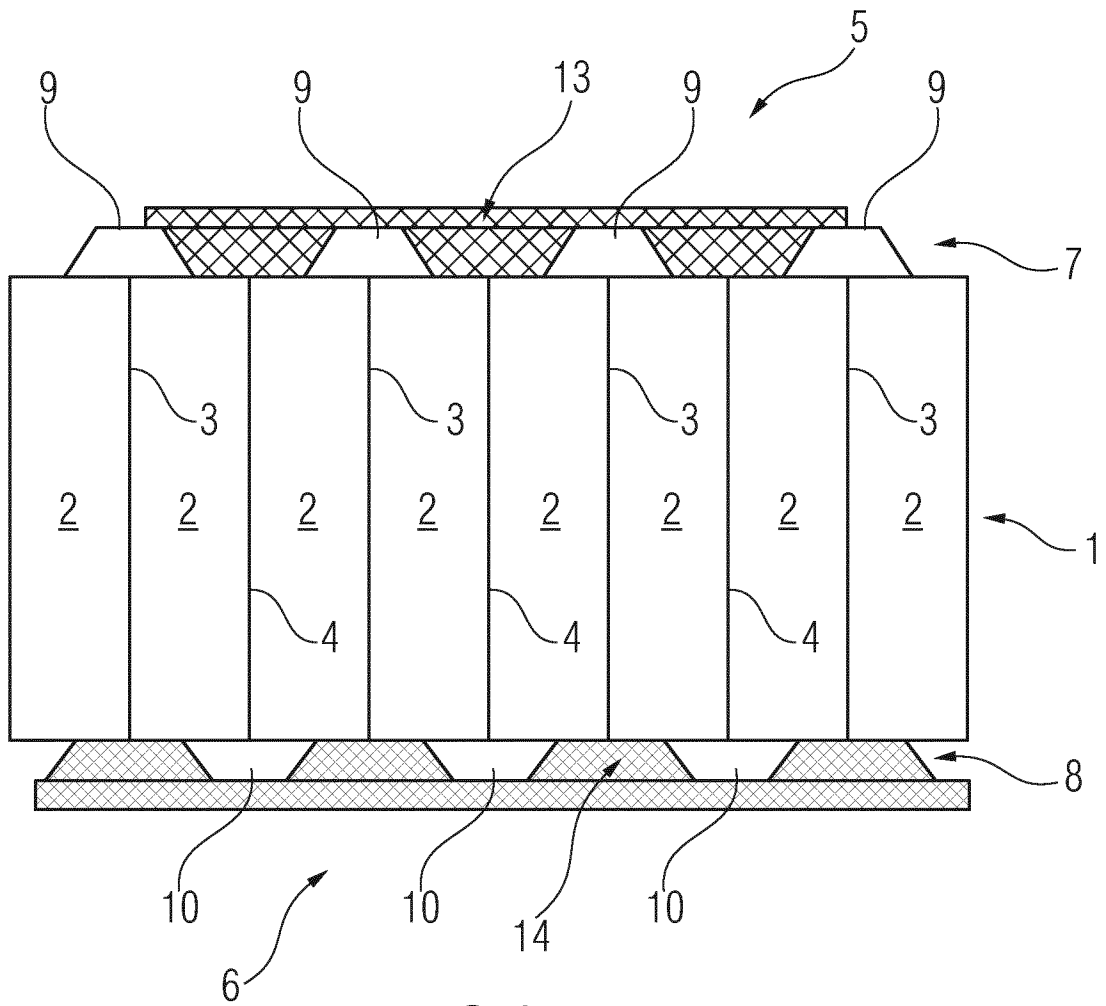


FIG 1

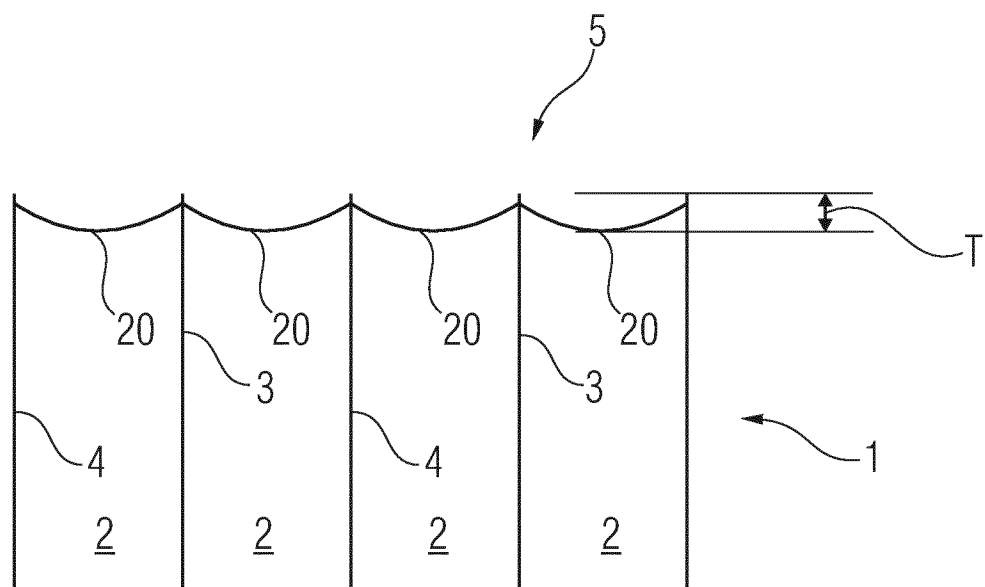


FIG 2

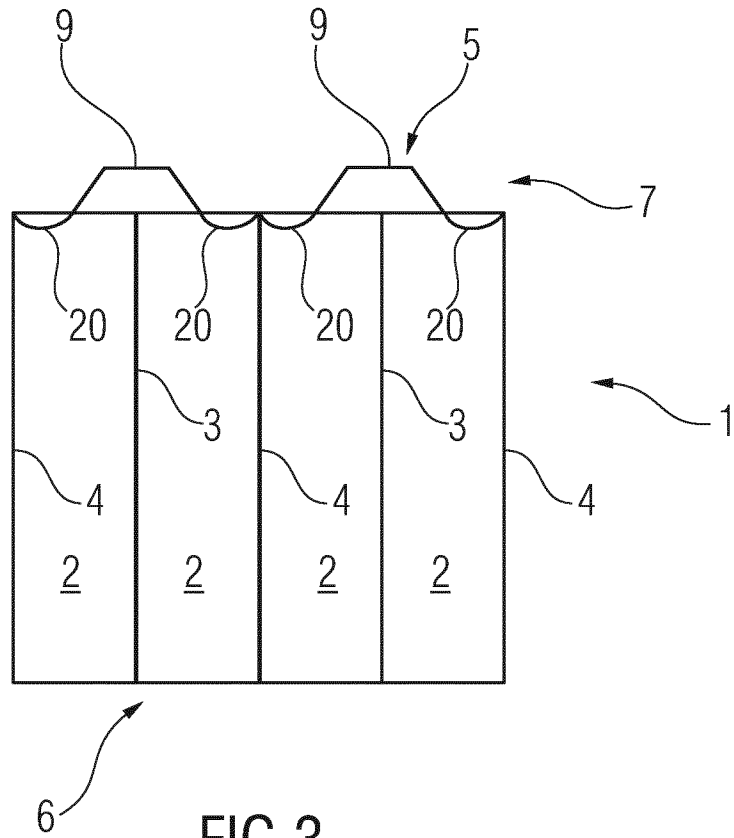


FIG 3

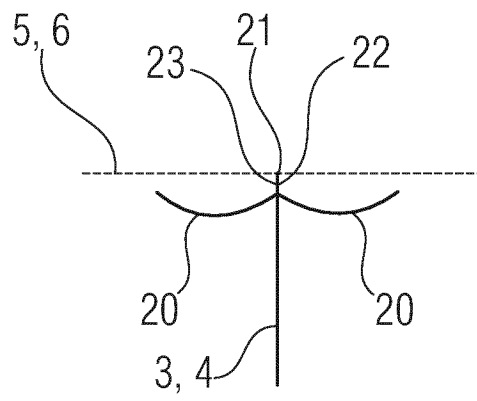


FIG 4