



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 104 156.5**

(22) Anmeldetag: **22.02.2022**

(43) Offenlegungstag: **24.08.2023**

(51) Int Cl.: **H05K 1/11** (2006.01)

H05K 1/02 (2006.01)

H05K 3/32 (2006.01)

H05K 3/38 (2006.01)

H01L 23/15 (2006.01)

(71) Anmelder:
Rogers Germany GmbH, 92676 Eschenbach, DE

(74) Vertreter:
**Müller Schupfner & Partner Patent- und
Rechtsanwaltspartnerschaft mbB, 80336
München, DE**

(72) Erfinder:
**Welker, Tilo, 91284 Neuhaus, DE; Britting, Stefan,
91220 Schnaittach, DE; Wagle, Fabian, 95447
Bayreuth, DE; Meyer, Andreas, 95469
Speichersdorf, DE; Schmidt, Karsten, 92676
Eschenbach, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|----|------------------|----|
| DE | 199 27 046 | B4 |
| DE | 197 53 149 | A1 |
| DE | 10 2009 033 029 | A1 |
| DE | 10 2013 104 739 | A1 |
| DE | 10 2020 111 700 | A1 |
| US | 2019 / 0 373 727 | A1 |
| JP | 2017- 59 831 | A |
| JP | 2017- 183 715 | A |

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

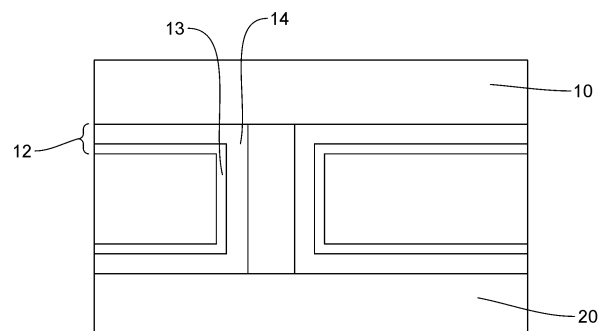
(54) Bezeichnung: **Metall-Keramik-Substrat und Verfahren zur Herstellung eines Metall-Keramik-Substrats**

(57) Zusammenfassung: Metall-Keramik-Substrat (1) als Träger für elektrische Bauteile, insbesondere in Form einer Leiterplatte, umfassend:

- ein Keramikelement (20) und
- mindestens eine Metallschicht (10, 20), wobei sich die mindestens eine Metallschicht (10) und das Keramikelement (30) entlang einer Haupterstreckungsebene (HSE) erstrecken und entlang einer senkrecht zur Haupterstreckungsebene (HSE) verlaufenden Stapelrichtung (S) übereinander angeordnet sind,

wobei im gefertigten Metall-Keramik-Substrat (1) eine Bindungsschicht (12) zwischen der mindestens einen Metallschicht (10, 20) und dem Keramikelement (30) ausgebildet ist, und

wobei eine Haftvermittlerschicht der Bindungsschicht (12) einen Flächenwiderstand aufweist, der größer ist als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 10 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq, wobei im Keramikelement (30) eine Durchkontaktierung (15) ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Metall-Keramik-Substrat und ein Verfahren zur Herstellung eines Metall-Keramik-Substrats.

[0002] Trägersubstrate für elektrische Bauteile, beispielsweise in Form von Metall-Keramik-Substraten, sind beispielsweise als Leiterplatten oder Platinen aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt, beispielsweise aus der DE 10 2013 104 739 A1, der DE 19 927 046 B4 und der DE 10 2009 033 029 A1. Typischerweise werden auf einer Bauteilseite des Metall-Keramik-Substrats Anschlussflächen für elektrische Bauteile und Leiterbahnen angeordnet, wobei die elektrischen Bauteile und Leiterbahnen zu elektrischen Schaltkreisen zusammenschaltbar sind. Wesentliche Bestandteile der Metall-Keramik-Substrate sind eine Isolationsschicht, die bevorzugt aus einer Keramik gefertigt ist, und eine an die Isolationsschicht angebundene Bauteilmetallisierung bzw. Bauteilmetallisierung. Wegen ihren vergleichsweise hohen Isolationsfestigkeiten haben sich aus Keramik gefertigte Isolationsschichten in der Leistungselektronik als besonders vorteilhaft erwiesen. Durch eine Strukturierung der Bauteilmetallisierung können sodann Leiterbahnen und/oder Anschlussflächen für die elektrischen Bauteile realisiert werden.

[0003] Weiterhin ist es üblich Durchkontaktierungen vorzusehen, mit der Bauteilmetallisierung und eine Rückseitenmetallisierung bzw. eine metallische Zwischenschicht miteinander des Metall-Keramik-Substrats verbunden werden können, um einen elektrischen Kontakt zu ermöglichen.

[0004] Die vorliegende Erfindung macht es sich zur Aufgabe, die aus dem Stand der Technik bekannten Metall-Keramik-Substrate mit Durchkontaktierungen zu verbessern, insbesondere im Hinblick auf einen Aufwand, der zur Herstellung der Durchkontaktierung erforderlich ist.

[0005] Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe durch Metall-Keramik-Substrate gemäß Anspruch 1 sowie ein Verfahren zu deren Herstellung gemäß Anspruch 9. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung sowie den Figuren.

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Metall-Keramik-Substrat als Träger für elektrische Bauteile, insbesondere in Form einer Leiterplatte, vorgesehen, umfassend:

- ein Keramikelement und
- mindestens eine Metallschicht, wobei sich die mindestens eine Metallschicht und das Keramikelement entlang einer Haupterstreckungsebene erstrecken und entlang einer senkrecht

zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Stapelrichtung übereinander angeordnet sind,

wobei im gefertigten Metall-Keramik-Substrat eine Bindungsschicht zwischen der mindestens einen Metallschicht und dem Keramikelement ausgebildet ist, wobei eine Haftvermittlerschicht der Bindungsschicht einen Flächenwiderstand aufweist, der größer ist als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 10 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq, und wobei im Keramikelement eine Durchkontaktierung ausgebildet ist.

[0007] Im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik vorgesehenen Metall-Keramik-Substraten, weist das erfindungsgemäße Metall-Keramik-Substrat einen Flächenwiderstand auf, der vergleichsweise groß ist. Dieser ist zurückzuführen auf bestimmte Herstellungsverfahren, bei denen - insbesondere unter Verwendung einer separaten und vergleichsweise dünnen Aktivmetallschicht - eine Bindung der mindestens einen Metallschicht an das Keramikelement genutzt wird. Die mindestens eine Metallschicht kann dabei eine Bauteilmetallisierung, einer Rückseitenmetallisierung und/oder eine Zwischenmetallisierung des Metall-Keramik-Substrats sein. Es hat sich dabei herausgestellt, dass es in vorteilhafter Weise möglich ist, durch das gewählte Herstellungsverfahren die Durchkontaktierung zeitgleich mit der Anbindung zwischen der mindestens einen Metallschicht und dem Keramikelement zu realisieren, sodass kein zusätzlicher aufwendiger Arbeitsschritt erforderlich ist. Am gefertigten Metall-Keramik-Substrat schlägt sich das Herstellungsverfahren durch den erzeugten Flächenwiderstand nieder.

[0008] Die Durchkontaktierung ist dabei vorzugsweise in eine Aussparung im Keramikelement eingelassen bzw. füllt die Aussparung zumindest teilweise aus. Die Aussparung reicht dabei vorzugsweise von der Oberseite des Keramikelements zu der Unterseite des Keramikelements, wobei die Bauteilmetallisierung an die Oberseite und die Rückseitenmetallisierung an die Unterseite des Keramikelements angebunden ist. Bevorzugt ist die Bindungsschicht ebenfalls in einer Aussparung des Keramikelements ausgebildet bzw. die Bindungsschicht erstreckt sich in eine Aussparung des Keramikelements. Innerhalb der Aussparung ist im gefertigten Zustand die Durchkontaktierung ausgebildet.

[0009] Dabei wird durch den Anbindungsprozess eine verwendete Aktivmetallschicht zur Bindungsschicht bzw. ein Teil der Bindungsschicht. Zusammen mit weiteren Parametern, wie beispielsweise der Dicke der Bindungsschicht, der Reinheit der aufgetragenen Aktivmetallschicht und/oder der Rauheit des Keramikelements, trägt dies zu einem entsprechend ausgebildeten Flächenwiderstand bei. Dabei

ist es zur Bestimmung des Flächenwiderstands vorgesehen, dass am gefertigten Trägersubstrat zunächst die mindestens eine Metallschicht und ggf. eine Lotbasisschicht, beispielsweise durch Ätzen, wieder entfernt werden. Mittels einer Vier-Punkt Messung wird dann an der Oberseite bzw. Unterseite des von der mindestens einen Metallschicht und der Lotbasisschicht befreiten Träger-substrats ein Flächenwiderstand gemessen. Insbesondere ist unter dem Flächenwiderstand einer Materialprobe als dessen Widerstand bezogen auf einen quadratischen Oberflächenbereich zu verstehen. Es ist hierbei üblich den Oberflächenwiderstand mit der Einheit Ohm/sq(square) zu kennzeichnen. Die Physikalische Einheit des Flächenwiderstandes ist Ohm.

[0010] Vorzugsweise ist das Trägersubstrat als Leiterplatte vorgesehen, bei der im gefertigten Zustand die mindestens eine Metallschicht, die an das Keramikelement angebunden ist, strukturiert ist. Beispielsweise ist es hierzu vorgesehen, dass nach dem Anbindungsschritt auch eine Strukturierung, beispielsweise durch Lasern, Ätzen und/oder eine mechanische Bearbeitung, vorgenommen wird, mit der Leiterbahnen und/oder Anschlüsse für elektrische oder elektronische Bauteile realisiert werden. Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass an einem gefertigten Metall-Keramik-Substrat an dem Keramikelement, an dem der Metallschicht gegenüberliegenden Seite, eine weitere Metallschicht, insbesondere eine Rückseitenmetallisierung und/oder ein Kühlkörper vorgesehen ist. Dabei dient die Rückseitenmetallisierung vorzugsweise dazu, einer Durchbiegung entgegenzuwirken und der Kühlkörper dient einem wirkungsvollen Abführen von Wärme, die im Betrieb von elektrischen bzw. elektronischen Bauteilen ausgeht, die an die Leiterplatte, bzw. das Metall-Keramik-Substrat angebunden sind.

[0011] Als Materialien für die mindestens eine Metallschicht und/oder eine weitere Metallschicht im Metall-Keramik-Substrat bzw. in der Durchkontaktierung sind Kupfer, Aluminium, Molybdän, Wolfram, Nickel und/oder deren Legierungen wie z. B. CuZr, AlSi oder AlMgSi, sowie Lamine wie CuW, CuMo, CuAl und/oder AlCu oder MMC (metal matrix composite), wie CuW, CuM oder AlSiC, vorstellbar. Weiterhin ist bevorzugt vorgesehen, dass die mindestens eine Metallschicht am gefertigten Metall-Keramik-Substrat, insbesondere als Bauteilmetallisierung, oberflächenmodifiziert ist. Als Oberflächenmodifikation ist beispielsweise eine Versiegelung mit einem Edelmetall, insbesondere Silber; und/oder Gold, oder (electroless) Nickel oder ENIG („electroless nickel immersion gold“) oder ein Kantenverguss an der Metallisierung zur Unterdrückung einer Rissbildung bzw. -weitung denkbar.

[0012] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass eine in Stapelrichtung bemessene Dicke der Bindungsschicht, insbesondere der Haftvermittlerschicht, gemittelt über mehrere Messpunkte innerhalb einer vorbestimmten Fläche oder in mehreren Flächen, die parallel zur Hauptstreckungsebene verläuft oder verlaufen, einen Wert annimmt, der kleiner als 20 µm, bevorzugt kleiner als 10 µm und besonders bevorzugt kleiner als 6 µm ist. Sofern vom mehreren Flächen gesprochen wird, ist insbesondere gemeint, dass die mindestens eine Metallschicht in möglichst gleich große Flächen unterteilt wird und in jeder dieser die mindestens eine Metallschicht unterteilenden Flächen mindestens ein Wert, bevorzugt mehrere Messwerte, für die Dicke erfasst werden. Die so an verschiedenen Stellen ermittelten Dicken werden arithmetisch gemittelt.

[0013] Insbesondere ist es vorgesehen, dass die Durchkontaktierung die Bindungsschicht und/oder eine weitere Bindungsschicht umfasst, wobei eine Haftvermittlerschicht der weiteren Bindungsschicht einen Flächenwiderstand aufweist, der größer als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 10 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq, ist. Mit anderen Worten: Bevorzugt erstreckt sich die Bindungsschicht mit dem vergleichsweise hohen Flächenwiderstand an einer Innenseite der Aussparung und bildet dadurch zumindest einen Teil der Durchkontaktierung und/oder die Bindungsschicht dient zur Anbindung von Metall zur Ausbildung der Durchkontaktierung. Sofern beispielsweise ein anderes Lotbasismaterial Verwendung für die Bildung der Durchkontaktierung dient, kann dabei eine von der Bindungsschicht verschiedene, weitere Bindungsschicht ausgebildet sein. Als vorteilhaft erweist sich dabei insbesondere, dass in einem gemeinsamen Verfahrensschritt beispielsweise das Aktivmetall auf Ober bzw. Unterseite des Keramikelements und die Seitenflächen der Aussparung aufgetragen werden kann. Mit anderen Worten: es ist nicht das Einbringen eines zusätzlichen Haftvermittlers erforderlich. Vorzugsweise erstreckt sich die Haftvermittlerschicht zur Bildung der Bindung der mindestens einen Metallschicht an das Keramikelement bis in die Aussparung, zur Ausbildung der Durchkontaktierung.

[0014] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass in einer parallel zur Hauptstreckungsebene verlaufenden Schnittansicht die Durchkontaktierung und/oder eine Aussparung im Keramikelement einen Querschnitt aufweist, dessen Form von einem Kreis abweicht. Es hat sich herausgestellt, dass es durch eine entsprechende Anpassung der Geometrie, in vorteilhafter Weise möglich ist, Einfluss zu nehmen auf die Temperaturwechselbeständigkeit der Substrate, insbesondere im Bereich der Aussparungen bzw. der Durchkontaktierungen. Insbesondere lässt sich hier eine Neigung zur Rissbildung reduzieren. Die Bereiche der Durchkontaktierungen unterliegen

dabei erhöhten Beanspruchungen bezüglich thermo-mechanischer Spannungen, wenn im Betrieb Wärme an der Bauteilseite erzeugt wird. Zur lokalen Entlastung können dabei entsprechende geometrische Formen beitragen. Dabei ist es vorstellbar, dass sternförmige, punktförmige, Labyrinth-ähnliche, bogenförmige, polygone, elliptische oder andere Querschnitte herangezogen werden, um Einfluss zu nehmen auf die Temperaturwechselbeständigkeit. Vorzugsweise umfasst der Bereich der Durchkontaktierung stegartige Teilabschnitte, die durch das Keramikelement ausgebildet sind. Insbesondere hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, abgerundete Eckbereiche in der Durchkontaktierung auszubilden, beispielsweise in Form eines Langlochs, das als Aussparung in das Keramikelement eingelassen ist. Die Aussparung lässt sich im Keramikelement, beispielsweise durch ein Stanzen oder Entfernen eines Teilbereichs im Grünling, d. h. vor dem Aushärten des Keramikelements, realisieren. Es ist aber auch vorstellbar, dass beispielsweise durch einen mechanischen, einen chemischen und/oder ein optischen Prozess ein Teilbereich des (gesinterten) Keramikelements wieder entfernt wird, beispielsweise mittels eines Laser- oder eines Ätz- oder eines Fräsvorgangs.

[0015] Weiterhin ist es vorstellbar, dass eine Anordnung von mehreren Durchkontaktierungen zu deren Parallelschaltung ausgebildet ist. Mit anderen Worten: Eine Anordnung von mehreren Durchkontaktierungen ersetzt die bisherige, großflächige Durchkontaktierung. Dazu ist es vorgesehen, dass beispielsweise mindestens 40 Durchkontaktierungen/cm², besonders bevorzugt mindestens 90 Durchkontaktierungen/cm² und besonders bevorzugt mindestens 140 Durchkontaktierungen/cm² ausgebildet sind, um eine entsprechende Anordnung zu bilden. Diese Anordnung erweist sich insbesondere deswegen als vorteilhaft für die Zuverlässigkeit, weil sich Risse aufgrund von thermischen Spannungen nur bis zur nächsten Durchkontaktierung fort-pflanzen können. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise auch die Zuverlässigkeit eines Durchkontaktierungsbereichs erhöhen, da ein Ausfall einer einzelnen Durchkontaktierung eventuell nicht dazu beiträgt, dass die Anforderung für den Betrieb des Metall-Keramik-Substrats nicht mehr geeignet wäre.

[0016] Die Anordnung von Durchkontaktierungen kann dabei wiederum einer geometrischen Vorgabe folgen oder willkürlich im Keramikelement in einem Teilabschnitt des Keramikelements ausgebildet sein. Mit anderen Worten: es können regelmäßige oder unregelmäßige Anordnungen vorgesehen sein. Insbesondere bildet die Anordnung von Durchkontaktierungen eine konvexe Hülle, d. h. eine Teilmenge, die die kleinste konvexe Menge enthält, die die Ausgangsmenge enthält. Beispielsweise wieder-

holt sich die konvexe Hülle mehrfach auf dem Metall-Keramik-Substrat. Es kann sich aber auch nur um eine einzelne konvexe Hülle handeln. Die durch die konvexe Hülle umschlossene Fläche wird dabei durch die Anordnung der Aussparung innerhalb der konvexen Hülle festgelegt und wird insbesondere durch die minimale Fläche derjenigen Form bestimmt, die alle Durchkontaktierungen der Anordnung umfasst. Außerdem lässt sich die Anordnung möglichst so gestalten, dass sie wiederum Einfluss nehmen kann auf die thermomechanische Wechselbeständigkeit des Gesamtsubstrats, d. h. des Metall-Keramik-Substrats. Vorzugsweise nimmt die Anordnung von Durchkontaktierungen eine Fläche, insbesondere in Form einer konvexen Hülle, von mehr als 4 mm² bevorzugt mehr als 9 mm² und besonders bevorzugt von mehr als 16 mm² ein.

[0017] Weiterhin ist es vorgesehen, dass eine Aussparung im Keramikelement eine Seitenfläche aufweist, die die Durchkontaktierung mindestens abschnittsweise oder vollständig umgibt, wobei die Seitenfläche entlang einer parallel zur Stapelrichtung verlaufenden Richtung, zumindest abschnittsweise gebogen und/oder zur Stapelrichtung geneigt verläuft. Es geht somit um die Seitenflächen innerhalb des Keramikelements und nicht um die Ober- und Unterseite des Keramikelements, die jeweils der Bauteil- und/oder der Rückseitenmetallisierung zugewandt ist bzw. nicht um die umlaufende Außenseite des Keramikelements. Diese Seitenflächen können gebogen sein oder beispielsweise einen Winkel zur Stapelrichtung ausbilden, der beispielsweise größer ist als 5°, bevorzugt größer als 10° und besonders bevorzugt größer als 20°. Insbesondere nimmt der Winkel einen Wert zwischen 0° und 45° an, bevorzugt zwischen 2° und 30° und besonders bevorzugt zwischen 5° und 15°. Dies vereinfacht insbesondere das Einpressen der Bauteilmetallisierung und Rückseitenmetallisierung im Rahmen des Anbindens mittels heißisostatischen Pressen. Außerdem wird durch einen entsprechend geneigten Verlauf die Auftragung des Aktivmetalls und/oder des Lotbasismaterials mittels eines gasphysikalischen Abscheidens vereinfacht, da dadurch der Zugang zu den Seitenflächen vereinfacht wird.

[0018] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass die Aussparung nur teilweise gefüllt ist, wobei ein Verhältnis eines mit einem leitenden Material gefüllten ersten Volumens der Aussparung zu einem durch die gesamte Aussparung begrenzten zweiten Volumens einen Wert zwischen 0,05 und 0,8, bevorzugt zwischen 0,055 und 0,5 und besonders bevorzugt zwischen 0,05 und 0,20 annimmt. Es hat sich herausgestellt, dass es sogar möglich ist mit einer vergleichsweise geringen Füllung eine Durchgangskontaktierung zu gewährleisten, die den Betriebsanforderungen des Metall-Keramik-Substrats genügt. Insbesondere ist es möglich, dass die Durchkontak-

tierung ausschließlich durch die Aktivmetallschicht und die Lotbasisschicht, die dann im Bindungsverfahren zur Bindungsschicht werden, ausgebildet wird. In diesem Fall ist das Verhältnis des ersten Volumens zum zweiten Volumen vorzugsweise kleiner als 0,3, bevorzugt kleiner als 0,2 und besonders bevorzugt kleiner als 0,15. Ferner ist es vorgesehen, dass die Durchkontaktierung im gefertigten Metall-Keramik-Substrat eine Porosität aufweist, deren Anteil, d. h. die Summe der Volumen der einzelnen Poren, zum Gesamtvolumen der Durchkontaktierung einen Wert annimmt, der kleiner ist als 0,3, bevorzugt kleiner als 0,1 und besonders bevorzugt kleiner als 0,01. Beispielsweise nimmt der Anteil der Porosität zum Gesamtvolumen der Durchkontaktierung einen Wert zwischen 0 und 0,2, bevorzugt zwischen 0 und 0,05 und besonders bevorzugt zwischen 0 und 0,02 an. Insbesondere ist unter Porosität der Anteil an Poren in der ehemals schmelzflüssigen Phase, die die Innenseite der Aussparung benetzt, zu verstehen. Durch die vergleichsweise geringe Porosität werden eine gleichmäßigere Leitfähigkeit und eine verbesserte Anbindung an die Innenseite der Aussparung ermöglicht. Sofern zur Bildung der Bindungsschicht neben einer Aktivmetallschicht eine Lotbasisschicht vorgesehen ist, umfasst die Lotbasisschicht vorzugsweise eine Ag oder Cu-Legierung. Dadurch wird im Fügeverfahren ein Lotbasismaterial mit einem geringen spezifischen Widerstand verwendet, wodurch ein geringer Widerstand in der hergestellten Durchkontaktierung bedingt wird.

[0019] Weiterhin ist es vorstellbar, dass die Durchkontaktierung eine andere Materialzusammensetzung aufweist als die Bindungsschicht zwischen der Bauteilmetallisierung und/oder Rückseitenmetallisierung. Beispielsweise lässt sich ein anderes Lotbasismaterial für die Durchkontaktierung und die Anbindung der Metallschicht verwenden. Hierzu wird das mit der Aussparung versehene Keramikelement beispielsweise in eine Metallschmelze aus Cu, In und/oder Al eingetaucht. Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass ein elektrischer Widerstand einer Durchkontaktierung oder mehrerer, vorzugsweise parallel geschalteter, Durchkontaktierungen einen Wert zwischen 10 μOhm und 10 mOhm, bevorzugt zwischen 100 μOhm und 2 mOhm und besonders bevorzugt zwischen 250 μOhm und 1 mOhm annimmt. Weiterhin ist es vorzugsweise vorgesehen, dass der auf die konvexe Hülle bezogene Flächennormierte elektrische Leitwert einer Durchkontaktierung oder Matrix mehrerer Durchkontaktierungen bzw. der Anordnung von Durchkontaktierungen einen Wert von $>50 \text{ kS/cm}^2$, bevorzugt $>150 \text{ kS/cm}^2$ und besonders bevorzugt $>300 \text{ kS/cm}^2$ annimmt.

[0020] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass das leitende Material der Durchkontaktierung durch die Metallschicht gebildet wird, die insbesondere min-

destens teilweise in die Aussparung eingeformt ist. Dies tritt insbesondere bei der Herstellung der Durchkontaktierung im Rahmen eines heißisostatischen Pressens auf, bei dem aufgrund des hohen Drucks die Bauteilmetallisierung und/oder Rückseitenmetallisierung in die Aussparung hineingedrängt wird. In diesem Fall bildet sich eine Wölbung an der Außenseite der Bauteilmetallisierung und/oder Rückseitenmetallisierung aus, insbesondere an der dem Keramikelement abgewandten Oberflächenseite. Dabei wird die Aussparung im Keramikelement vorzugsweise vollständig gefüllt. Durch den großen Leitungsquerschnitt lassen sich dadurch vergleichsweise geringe elektrische Widerstände für die Durchkontaktierung realisieren. Außerdem wird die Durchkontaktierung durch die Bauteilmetallisierung bzw. die Rückseitenmetallisierung gebildet, die durch Material und Reinheit einen geringen spezifischen Widerstand aufweisen.

[0021] Insbesondere ist es vorgesehen, dass die Durchkontaktierung als eine die Seitenfläche (SF) der Aussparung bedeckende Durchgangsmetallisierung ausgebildet ist, deren Innendurchmesser einen Wert zwischen 0,1 und 2 mm, bevorzugt zwischen 0,2 und 1 mm und besonders bevorzugt zwischen 0,3 und 0,6 mm annimmt. Damit wird ein vergleichsweise großes Freivolumen in der Durchkontaktierung realisiert. Vorzugsweise wird dabei die Durchkontaktierung durch die Bindungsschicht und/oder die weitere Bindungsschicht gebildet, insbesondere ausschließlich aus der Bindungsschicht und/oder der weiteren Bindungsschicht.

[0022] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass eine von einem leitenden Material bedeckter Flächenanteil der Seitenflächen, die die Aussparung begrenzen, zu der Gesamtfläche der Seitenflächen, die die Aussparung begrenzen, einen Wert annimmt, der größer ist als 0,8, bevorzugt größer als 0,9 und besonders bevorzugt größer als 0,95. Es bildet sich somit insbesondere an der Innenseite der Aussparung eine leitende Schicht (beispielsweise durch die Bindungsschicht, die auch zur Anbindung der Metallschicht an das Keramikelement vorgesehen ist) aus, die dazu beiträgt, dass die Durchkontaktierung eine leitende Verbindung zwischen Oberseite und Unterseite des Keramikelements bildet. Beispielsweise sieht die Durchkontaktierung im Zentrum ein Leervolumen vor, das umgeben wird von der Innenbeschichtung der Aussparung zur Ausbildung der Durchkontaktierung.

[0023] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Metall-Keramik-Substrats, dabei lassen sich die Vorteile und Eigenschaften des Metall-Keramik-Substrats analog übertragen auf das Verfahren zu dessen Herstellung und andersrum. Insbesondere ist es vorgesehen, dass

die Durchkontaktierung zeitgleich erzeugt wird mit der Anbindung der Bauteilmetallisierung und/oder Rückseitenmetallisierung an das Keramikelement. Vorzugsweise ist es dabei vorgesehen, dass die Anbindung des Keramikelements an die Bauteilmetallisierung und/oder Rückseitenmetallisierung im Rahmen eines heißisostatischen Pressens und/oder unter Verwendung eines Lotsystems mit einer separaten Aktivmetallschicht erfolgt. Insbesondere ist es vorgesehen, dass die Bildung der Durchkontaktierung ohne separates Metallelement erfolgt, das im gefertigten Zustand die Aussparung füllen würde. Mit anderen Worten: Beim Herstellen der Durchkontaktierung werden nur Metallschichten verwendet, die an Oberseite und/oder Unterseite des Keramikelements angebunden werden.

[0024] Insbesondere wird ein Keramikelement mit einer Aussparung bereitgestellt, in der die Durchkontaktierung realisiert wird, vorzugsweise zeitgleich bzw. zeitlich überlappend mit dem Anbinden der mindestens einen Metallschicht an das Keramikelement. Die Aktivmetallschicht weist dabei Aktivmetall mit einem Anteil von mehr als 15 Gew.-%, bevorzugt mehr als 40 Gew.-% und besonders bevorzugt mehr als 70 Gew.-% auf.

[0025] Das Aktivmetall wird zur Ausbildung der Aktivmetallschicht bevorzugt mittels eines gasphysikalischen oder chemischen Verfahrens, beispielsweise einem PVD, CVD oder einem PECVD-Verfahren, aufgetragen. Vorstellbar ist auch ein galvanisches, ein stromloses und/oder ein thermisches Auftragen bzw. ein Auftragen mittels Kaltgas-spritzen.

[0026] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass die Seitenflächen der Aussparung mit einer Aktivmetallschicht zu mindestens abschnittsweise bedeckt wird. Dadurch ist es in vorteilhafter Weise möglich, eine möglichst homogene und vergleichsweise dünne Bindungsschicht, bzw. Aktivmetallschicht bereitzustellen, aus der wiederum im Rahmen des Anbindungsverfahrens die entsprechende Bindungsschicht mit den Flächenwiderständen erzeugt wird, die größer sind als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 10 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq.

[0027] Beispielsweise ist es vorgesehen, dass ein Verfahren zur Herstellung eines Metall-Keramik-Substrats vorgesehen ist, umfassend:

- Bereitstellen einer Lötsschicht, insbesondere in Form mindestens einer Lötfolie bzw. Hartlotfolie,
- Beschichten des Keramikelements, insbesondere einer Innenseite einer Aussparung des Keramikelements, und/oder der mindestens einen Metallschicht und/oder der mindestens

einen Lötsschicht mit mindestens einer Aktivmetallschicht,

- Anordnen der mindestens einen Lötsschicht zwischen dem Keramikelement und der mindestens einen Metallschicht entlang einer Stapelrichtung unter Ausbildung eines Lotsystems, das die mindestens eine Lötsschicht und die mindestens eine Aktivmetallschicht umfasst, wobei ein Lotmaterial der mindestens einen Lötsschicht vorzugsweise frei von einem schmelzpunktniedrigenden Material bzw. von einem phosphorfreien Material ist, und

- Anbinden der mindestens einen Metallschicht an die mindestens eine Keramikschiicht über das Lotsystem mittels eines Aktivlotverfahrens.

[0028] Insbesondere ist dabei ein mehrschichtiges Lotsystem aus mindestens einer Lötsschicht, vorzugsweise frei von schmelzpunktniedrigenden Elementen, besonders bevorzugt aus einer phosphorfreien Lötsschicht, und mindestens einer Aktivmetallschicht, vorgesehen. Die Separation der mindestens einen Aktivmetallschicht und der mindestens einen Lötsschicht erweist sich insbesondere deswegen als vorteilhaft, weil dadurch vergleichsweise dünne Lötsschichten realisierbar sind, insbesondere wenn es sich bei der Lötsschicht um eine Folie handelt. Für aktivmetallhaltige Lötmaterialien müssen andernfalls vergleichsweise große Lötsschichtdicken wegen der spröden intermetallischen Phasen bzw. des hohen E-Moduls und hoher Streckgrenze der gängigen Aktivmetalle und deren intermetallischen Phasen, die die Umformung der Löt-paste bzw. Lötsschicht behindern, realisiert werden, wodurch die minimale Schichtdicke durch die Fertigungseigenschaften des aktivmetallhaltigen Lötmaterials begrenzt wird. Entsprechend bestimmt für aktivmetallhaltige Lötsschichten nicht die für das Fügeverfahren erforderliche Mindestdicke die minimale Lötsschichtdicke der Lötsschicht, sondern die für die technisch realisierbare minimale Schichtdicke der Lötsschicht bestimmt die minimale Lötsschichtdicke der Lötsschicht. Dadurch ist diese dickere, aktivmetallhaltige Lötsschicht teurer als dünne Schichten. Unter phosphorfrei versteht der Fachmann insbesondere, dass der Anteil an Phosphor in der Lötsschicht kleiner ist als 150 ppm, kleiner als 100 ppm und besonders bevorzugt kleiner als 50 ppm.

[0029] Vorzugsweise umfasst die Lötsschicht, insbesondere die phosphorfreie Lötsschicht, mehrere Materialien zusätzlich zu dem reinen Metall. Beispielsweise ist Indium ein Bestandteil des verwendeten Lotmaterials in der Lötsschicht.

[0030] Weiterhin ist es vorstellbar, dass das Lotmaterial zur Ausbildung der Lötsschicht durch ein physikalisches und/oder chemisches Gasphasenabscheiden und/oder galvanisch auf die Aktivmetallschicht

und/oder die mindestens eine Metallschicht aufgetragen wird. Dadurch ist es in vorteilhafter Weise möglich, vergleichsweise dünne Lotschichten im Lötssystem, insbesondere in einer homogenen Verteilung, zu realisieren.

[0031] Beispielsweise ist bei der Herstellung des Metall-Keramik-Substrats, insbesondere des Metall-Keramik-Substrats, ein Verfahren vorgesehen, umfassend:

- Bereitstellen eines Keramikelements und einer Metalllage,
- Bereitstellen eines gasdichten Behälters, der das Keramikelement umschließt, wobei der Behälter vorzugsweise aus der Metalllage geformt ist oder die Metalllage umfasst,
- Ausbilden des Metall-Keramik-Substrats durch ein Anbinden der Metalllage an das Keramikelement mittels heißisostatischen Pressen,

wobei zum Ausbilden des Metall-Keramik-Substrats zwischen dem der Metalllage und dem Keramikelement mindestens abschnittsweise eine Aktivmetallschicht

oder eine ein Aktivmetall umfassende Kontaktschicht, zur Unterstützung des Anbindens der Metalllage an das Keramikelement, angeordnet wird. Vorzugsweise wird auf der Innenseite der Aussparung ebenfalls die Aktivmetallschicht oder eine ein Aktivmetall umfassende Kontaktschicht ausgebildet. Der Behälter wird dabei vorzugsweise als Metallbehälter aus einer Metalllage und/oder einer weiteren Metalllage gebildet. Alternativ ist es auch vorstellbar, dass ein Glasbehälter verwendet wird.

[0032] Beim heißisostatischen Pressen ist es insbesondere vorgesehen, dass das Bonden durch Erhitzen unter Druck erfolgt, bei dem die erste und/oder zweite Metalllage des Metallbehälters, insbesondere die spätere Metallschicht des Metall-Keramik-Substrats und eine etwaige dort auftretende eutektische Schicht nicht in die Schmelzphase übertritt. In entsprechender Weise sind beim heißisostatischen Pressen geringere Temperaturen als bei einem Direktmetallanbindungsverfahren, insbesondere einem DCB-Verfahren, erforderlich.

[0033] Im Vergleich zu der Anbindung einer Metallschicht an eine Keramikschiicht mittels eines Lotmaterials, bei dem üblicherweise Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur der mindestens einen Metallschicht verwendet werden, kann bei der vorliegenden Vorgehensweise in vorteilhafter Weise auf ein Lotbasismaterial verzichtet werden und es wird lediglich ein Aktivmetall benötigt. Die Verwendung bzw. die Nutzung des Drucks beim heißisostatischen Pressen erweist sich dabei zudem als vorteilhaft, weil dadurch Lufteinschlüsse bzw. Hohlräume zwischen der ersten Metalllage und/oder der zweiten Metall-

lage einerseits und dem Keramikelement andererseits reduziert werden können, wodurch die Ausbildung von Lunkern in ihrer Häufigkeit im gebildeten bzw. gefertigten Metall-Keramik-Substrat reduziert oder gar vermieden werden kann. Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Qualität der Bindung zwischen der Metallschicht bzw. der ersten und/oder zweiten Metalllage des Metallbehälters und dem Keramikelement aus. Darüber hinaus ist es in vorteilhafter Weise möglich, das „second etching“ zu vereinfachen und Lotreste sowie eine Silbermigration zu vermeiden.

[0034] Vorstellbar ist es auch, dass beim heißisostatischen Pressen ein zusätzliches Lotmaterial zwischen das Keramikelement und die mindestens eine Metallschicht eingebracht wird, wobei eine Schmelztemperatur des zusätzlichen Lotmaterials kleiner sein kann als die Temperatur, bei der das heißisostatische Pressen durchgeführt wird, d. h. kleiner als die Schmelztemperatur der mindestens einen Metallschicht.

[0035] Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass bei einem heißisostatischen Pressen der Metallbehälter in einer Heiz- und Druckvorrichtung einem Gasdruck zwischen 100 und 2000 bar, bevorzugt zwischen 150 und 1200 bar und besonders bevorzugt zwischen 300 und 1000 bar und einer Prozesstemperatur von 300 °C bis zu einer Schmelztemperatur der mindestens einen Metallschicht, insbesondere bis zu einer Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur, ausgesetzt wird. Es hat sich in vorteilhafter Weise herausgestellt, dass es so möglich ist, eine Metallschicht, d.h. ein erste und/oder zweite Metalllage des Metallbehälters, an das Keramikelement anzubinden, ohne die erforderlichen Temperaturen eines Direktmetallanbindungsverfahrens, beispielsweise eines DCB- oder einem DAB-Verfahrens, und/oder ohne ein Lotbasismaterial, das beim Aktivlöten verwendet wird. Darüber hinaus gestattet das Nutzen bzw. die Verwendung eines entsprechenden Gasdrucks die Möglichkeit, möglichst lunkerfrei, d. h. ohne Gaseinschlüsse zwischen Metallschicht und Keramikelement ein Metall-Keramik-Substrat zu fertigen. Insbesondere finden Prozessparameter Verwendung, die in der DE 2013 113 734 A1 erwähnt werden und auf die hiermit explizit Bezug genommen wird.

[0036] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Gegenstands mit Bezug auf die beigefügten Figuren. Einzelne Merkmale der einzelnen Ausführungsform können dabei im Rahmen der Erfindung miteinander kombiniert werden.

[0037] Es zeigt:

Fig. 1 ein Metall-Keramik-Substrat mit einer Durchkontaktierung gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 2 ein Metall-Keramik-Substrat gemäß einer ersten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einer Schnittansicht

Fig. 3 ein Metall-Keramik-Substrat gemäß einer zweiten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einer Schnittansicht

Fig. 4a bis Fig. 4e Querschnittsflächen von Aussparungen im Keramikelement,

Fig. 5a bis Fig. 5g Seitenflächen der Aussparung im Keramikelement und

Fig. 6a bis Fig. 6c Anordnungen von Durchkontaktierungen

[0038] In **Fig. 1** ist schematisch ein Metall-Keramik-Substrat 1 gemäß dem Stand der Technik dargestellt. Bei solch einem Metall-Keramik-Substrat 1 handelt es sich vorzugsweise um einen Träger für elektrische Bauteile. Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass das Metall-Keramik-Substrat 1 ein Keramikelement 30 und eine Bauteilmetallisierung 10 aufweist, wobei sich das Keramikelement 30 und die Bauteilmetallisierung 10 entlang einer Haupterstreckungsebene HSE erstrecken. Dabei ist die Bauteilmetallisierung 10 an dem Keramikelement 30 angebunden, wobei die Bauteilmetallisierung 10 und das Keramikelement 30 in einer senkrecht zur Haupterstreckungsebene HSE verlaufenden Stapelrichtung S übereinander angeordnet sind. Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass die Bauteilmetallisierung 10 eine Mehrzahl an Metallabschnitten, beispielsweise einen ersten Metallabschnitt 11 und einen zweiten Metallabschnitt 12 aufweist, die beispielsweise elektrisch isoliert voneinander und nebeneinander entlang einer parallel zur Haupterstreckungsebene HSE verlaufenden Richtung angeordnet sind.

[0039] Insbesondere ist es im Stand der Technik üblich, zunächst eine Anbindung der Bauteilmetallisierung 10 an das Keramikelement 30 vorzunehmen, insbesondere mittels eines Direktmetallanbindungsverfahrens und/oder eines Aktivlötverfahrens bzw. AMB-Verfahrens und/oder ein ADB-Verfahren und/oder ein heißisostatisches Pressen. Solche Anbindungsverfahren sind Hochtemperaturverfahren, bei denen die Anordnung aus Keramikelement 30 und der Bauteilmetallisierung 10 einer erhöhten Temperatur ausgesetzt werden, insbesondere Temperaturen oberhalb von 500 °C. Nach dem Anbindungsprozess erfolgt anschließend, beispielsweise mittels eines Ätzverfahrens, die Strukturierung, um voneinander elektrisch isolierte Metallabschnitte, insbesondere einen ersten Metallabschnitt 11 und einen zweiten Metallabschnitt 12 zu realisieren, die als Leiterbahn und/oder Anschlussflächen, sogenannte

Pads, für elektrische Schaltkreise genutzt werden können.

[0040] Auf der der Bauteilmetallisierung 10 gegenüberliegenden Seite des Keramikelements 30 ist vorzugsweise eine Rückseitenmetallisierung 20 angebunden, die insbesondere zeitgleich, d. h. in einem gemeinsamen Arbeitsschritt, mit der Bauteilmetallisierung 10 an das Keramikelement 30 angebunden wird. Alternativ werden die die Bauteilmetallisierung 10 und die Rückseitenmetallisierung nacheinander angebunden. Eine solche Rückseitenmetallisierung 20 dient insbesondere der Kompensation von thermomechanischen Spannungen in dem Metall-Keramik-Substrat 1, die aufgrund der unterschiedlichen thermomechanischen Ausdehnungskoeffizienten der Bauteilmetallisierung 10 und dem Keramikelement 30 veranlasst werden.

[0041] Dabei ist es vorgesehen, dass die Bauteilmetallisierung 10 mindestens einen ersten Metallabschnitt 11 und einen zweiten Metallabschnitt 12 aufweist. Der erste Metallabschnitt 11 und der zweite Metallabschnitt 12 sind nach dem Strukturieren voneinander getrennt, um entsprechende Leiterbahnen und/oder Anschlussflächen zu bilden, die untereinander elektrisch isoliert sind. Hierzu wird eine Strukturierung in die Bauteilmetallisierung 10 eingelassen, beispielsweise durch ein chemisches Verfahren und/oder ein mechanisches Verfahren und/oder ein optisches Verfahren, wobei eine für die Strukturierung notwendige Aussparung in der Bauteilmetallisierung 10 mindestens bis zum Keramikelement 30 reicht, um für die nötige elektrische Isolation zu sorgen. Solche Isolationsabschnitte sind insbesondere grabenförmig in der Bauteilmetallisierung 10 ausgebildet und werden umgangssprachlich auch Isolationsgräben genannt.

[0042] Um für die gewünschte Symmetrie zwischen einer Bauteilseite und einer Rückseite des Metall-Keramik-Substrats 1 zu sorgen, wodurch entsprechende thermomechanische Spannungen, die im Metall-Keramik-Substrat 1 auftreten, einander kompensieren können, ist es vorgesehen, dass die Rückseitenmetallisierung 20 und die Bauteilmetallisierung 10 im Wesentlichen eine vergleichbare Dicke aufweisen. Die Dicken werden dabei entlang einer der Stapelrichtung S folgenden Richtung gemessen.

[0043] Bei derartigen Metall-Keramik-Substraten 1, ist es beispielsweise auch üblich, Durchkontaktierung 15 im Keramikelement 30 vorzusehen, damit die Bauteilmetallisierung 10 mit der Rückseitenmetallisierung 20 in elektrischen Kontakt stehen kann. Dadurch kann beispielsweise auch die Rückseitenmetallisierung 20 zur Führung eines Stroms genutzt werden, insbesondere um eventuelle parasitäre Induktionseffekte zu kompensieren. Typischerweise werden hierzu Ausnehmungen, beispielsweise

durch Laserlicht oder durch Bohren, im Keramikelement 30 eingelassen, in die wiederum ein vorzugsweise zylinderförmiges Metallstück eingelassen wird, das wiederum angebunden wird an Seitenflächen SF des Keramikelements 30 im Bereich der Aussparung, die in das Keramikelement 30 eingelassen wurde.

[0044] Im Gegensatz zum Stand der Technik ist es vorliegend vorgesehen, die Ausbildung der Durchkontaktierung 15 mit bestimmten Herstellungsverfahren zu verknüpfen, mit der die Bauteilmetallisierung 10 bzw. die Rückseitenmetallisierung 20 an das Keramikelement 30 angebunden wird. Insbesondere werden solche Anbindungsverfahren herangezogen, die dazu führen, dass zwischen der Bauteilmetallisierung 10 und der Rückseitenmetallisierung 20 auf der einen Seite und dem Keramikelement 30 auf der anderen Seite, eine Bindungsschicht 12 mit einem Flächenwiderstand ausgebildet wird, der größer ist als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 15 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq. Beispielsweise handelt es sich dabei um Anbindungsmethoden, bei denen eine separate Aktivmetallschicht zwischen der Bauteilmetallisierung 10 bzw. der Rückseitenmetallisierung 20, und dem Keramikelement 30 angeordnet wird. Durch ein heißisostatisches Pressen oder unter Verwendung eines Lotbasismaterials, das zusätzlich zu der separaten Aktivmetallschicht herangezogen wird, ist es dann möglich ein Anbindungsverfahren durchzuführen, das, unter Voraussetzung entsprechender Rauigkeitswerte für die Oberfläche des Keramikelements und/oder Reinheiten für die Aktivmetallschicht, zu den gewünschten Flächenwiderständen führt. Es hat sich dabei herausgestellt, dass gerade die Verwendung solcher Verfahren dazu führt, dass ein aufwendiges Einsetzen eines Metallstückes und einem meist mehrstufigen Anbindungsprozess nicht länger erforderlich ist, um eine Durchkontaktierung 15 zu realisieren, die den im Betrieb erforderlichen Anforderungen standhält, d. h. einen sinnvollen elektrischen Widerstand bereitstellt und eine ausreichende Temperaturwechselbeständigkeit.

[0045] In Fig. 2 ist schematisch und beispielhaft ein Metall-Keramik-Substrat 1 mit Durchkontaktierung 15 nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt. Insbesondere handelt es sich um ein Ausführungsbeispiel, bei dem eine Bindungsschicht 12 zwischen der Bauteilmetallisierung 10 bzw. Rückseitenmetallisierung 20, und dem Keramikelement 30 dadurch erzeugt wird, dass das Keramikelement 30 mit einer Aktivmetallschicht 13 versehen wird und zwischen anzubindender Bauteilmetallisierung 10 bzw. Rückseitenmetallisierung 20 und der Aktivmetallschicht 13 eine Lotbasischicht 14 angeordnet wird. Die Aktivmetallschicht 13 weist dabei vorzugsweise mehr als 15 Gew.-%, besonders bevorzugt mehr als 20 Gew.-% und

besonders bevorzugt mehr als 60 Gew.-% Aktivmetall auf und ist somit nicht als aktivmetallhaltige Lotschicht zu verstehen. Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Aktivmetallschicht 13 durch ein gasphysikalisches Abscheiden auf das Keramikelement 30, insbesondere auch auf die Seitenflächen SF, die die Aussparungen im Keramikelement 30 begrenzen, aufgetragen wird. Dadurch ist es möglich, eine möglichst homogen verteilte und vergleichsweise dünn aufgetragene Aktivmetallschicht 13 zu realisieren, insbesondere auch im Bereich der Seitenflächen 15 der Aussparungen. Die Lotbasischicht 14 kann ebenfalls durch ein gasphysikalisches Abscheiden und/oder durch ein Tauchverfahren und/oder durch ein Siebdruckverfahren und/oder ein anderes Abscheideverfahren auf die Aktivmetallschicht aufgetragen werden. Denkbar ist auch, dass die Aktivmetallschicht 13 und/oder die Lotbasischicht 14 als Folie aufgetragen werden oder als solche bereitgestellt werden. Insbesondere hat sich herausgestellt, dass durch das entsprechende Anbindungsverfahren eine Durchkontaktierung 15 realisiert wird, bei der die Aussparungen ein vergleichsweise großes Freivolumen aufweist.

[0046] Insbesondere hat es sich herausgestellt, dass es möglich ist eine Durchkontaktierung 15 durch diese Verfahren zu realisieren, bei dem ein von einem leitfähigen Material gefülltes erstes Volumen zu einem zweiten Volumen der gesamten Aussparungen einen Wert annimmt, der kleiner ist als 0,4, bevorzugt kleiner als 0,3 und besonders bevorzugt kleiner als 0,2. Dadurch ist es in vorteilhafter Weise möglich, eine ausreichende Durchkontaktierung 15 zu realisieren, die den Erfordernissen zur Ausbildung einer den Betriebsbedingungen nachkommenden Durchkontaktierung 15 nachkommt.

[0047] In Fig. 3 ist ein Metall-Keramik-Substrat 1 mit einer Durchkontaktierung 15 gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt. Insbesondere ist es vorgesehen, dass die hier dargestellte Durchkontaktierung 15 Resultat ist der Ausbildung eines Anbindungsverfahrens von einer Bauteilmetallisierung 10 und/oder einer Rückseitenmetallisierung 20 an das Keramikelement 30 mittels eines heißisostatischen Pressen. Hierfür ist es vorgesehen, dass eine Aktivmetallschicht 13 zwischen anzubindender Bauteilmetallisierung 10 bzw. Rückseitenmetallisierung 20 und Keramikelement 30 angeordnet wird. Durch das heißisostatische Pressen, insbesondere den hierbei aufgewandten und auf das Metall-Keramik-Substrat 1 wirkenden Druck, wird dann ein Teil der Bauteilmetallisierung 10 bzw. der Rückseitenmetallisierung 20 in die ausgebildete Aussparung hineingedrückt, insbesondere derart, dass Bauteilmetallisierung 10 und Rückseitenmetallisierung 20 miteinander in Kontakt geraten. Dadurch wird ein elektrischer Kontakt zwischen Bauteilmetallisierung 10 und Rückseitenmetallisierung

20 realisiert. Auch hier ist es nicht erforderlich, dass ein zusätzlicher Arbeitsschritt eingepflegt wird, um die Durchkontaktierung 15 zu realisieren. Am ausgebildeten Metall-Keramik-Substrat 1 bildet sich dabei an der außenliegenden Oberflächenseite der Bauteilmetallisierung 10 bzw. der Rückseitenmetallisierung 20, ein dellenförmiger Rücksprung aus, der beispielsweise dazu verwendet werden kann, die Lokalisierung einer Durchkontaktierung 15 in einem hergestellten Metall-Keramik-Substrat 1 einfach zu finden. Beispielsweise kann auch ein solcher Rücksprung oder Delle zur Identifikation der Position des Metall-Keramik-Substrats 1 im Rahmen des Fertigungsverfahrens herangezogen werden. Schließlich handelt es sich hierbei um ein visuell erkennbares Kennzeichen an der Außenseite des Metall-Keramik-Substrats 1.

[0048] In den **Fig. 4a** bis **Fig. 4e** sind Ausführungsbeispiele von Formen für die Aussparungen dargestellt, die in das Keramikelement 20 eingelassen sein können und in denen die Durchkontaktierung 15 realisiert ist. Dabei handelt es sich insbesondere um Querschnittsgeometrien, die sich entlang einer parallel zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Ebene ausbilden. Neben dem üblichen kreisförmigen Querschnitt, wie er beispielsweise in **Fig. 4a** gezeigt ist, ist es beispielsweise vorstellbar, in das Keramikelement 20 auch einen sternförmigen Verlauf für die Aussparungen einzulassen (siehe **Fig. 4b**). Grundsätzlich sind auch jegliche polygonen Ausführungsformen der Querschnitte denkbar, wie es die **Fig. 4c** andeutet. Hierzu gehören quadratische, rechteckige, sechseckige, dreieckige Querschnitte. **Fig. 4d** deutet darauf hin, dass insbesondere abgerundete Geometrien möglich sind, bei denen beispielsweise Seitenflächen SF in der Aussparung vermieden werden, die unter einem Winkel aufeinandertreffen. Insbesondere erweist sich die Anpassung der Geometrie einer Durchkontaktierung 15 als vorteilhaft für die Temperaturwechselbeständigkeit, da auf diese Weise Entlastung für andernfalls auftretende thermomechanische Spannungen verhindert werden können. Vorstellbar ist auch, dass die Aussparung als System aus mehreren geometrischen Formen ausgebildet ist. Beispielsweise zeigt **Fig. 4e** die Ausbildung eines Aussparungskomplexes, bei dem mehrere bogenförmige Abschnitte, bzw. Bogensegmentabschnitte, labyrinth-artig zueinander angeordnet sind. Vorzugsweise sind mindestens ein erster und ein zweiter bogenförmiger Abschnitt zueinander um einen Winkel zwischen 80 und 120°, vorzugsweise um etwa 90°, versetzt. Beispielsweise ist es vorgesehen, dass ein entsprechender Aussparungskomplex stegartige Verbindungselemente vorsieht, die innerhalb des Aussparungskomplexes ausgebildet sind.

[0049] Weiterhin ist es vorstellbar, dass die Geometrie der Aussparungen nicht vollständig mit Metall

oder einem leitfähigen Material zur Ausbildung der Durchkontaktierung 15 gefüllt ist. Es ist beispielsweise vorstellbar, dass das leitende Material innerhalb der Aussparung zur Ausbildung der Durchkontaktierung 15 eine andere Geometrie aufweist, als die Querschnittsgeometrie, die die Aussparung in einer parallel zur Haupterstreckungsebene HSE verlaufenden Ebene aufweist.

[0050] In den **Fig. 5a** sind Formen bzw. Verläufe für Seitenflächen SF der Aussparung im Keramikelement 30 dargestellt. In **Fig. 5a** ist die Aussparung im Wesentlichen zylinderförmig, sodass Seitenflächen SF ausgebildet sind, die im Wesentlichen senkrecht zur Haupterstreckungsebene HSE verlaufen bzw. parallel zur Stapelrichtung S. In **Fig. 5b** ist ein Ausführungsbeispiel vorgesehen, bei dem die Seitenflächen SF abgerundet sind. Dabei können die Seitenflächen SF konkav oder konvex ausgebildet sein. Es ist auch vorstellbar, dass eine Aussparung sowohl eine konvexe als auch eine konkave Seitenfläche SF vorsieht. Beispielsweise erweist sich eine Ausgestaltung mit der konvexen Wölbung aus **Fig. 5b** als besonders vorteilhaft für die Herstellung der Durchkontaktierung im Rahmen des heißisostatischen Pressens, da dadurch das Hineindrängen der Bauteilmetallisierung 10 in die Aussparung während des Pressvorgangs vereinfacht wird.

[0051] Grundsätzlich ist allerdings auch jegliche geschwungene Geometrie der Seitenflächen SF der Aussparungen vorstellbar, wie beispielsweise **Fig. 5d** zeigt. Besonders bevorzugt ist eine kegelförmige bzw. kegelstumpfförmige, Ausführung, wie sie beispielsweise in **Fig. 5e** gezeigt wird, insbesondere für die Ausbildung im Rahmen eines heißisostatischen Pressens. Dabei führt insbesondere die Ausbildung mit einem einfach kegelstumpfförmigen Verlauf dazu, dass die Metallisierung auf der offenen Seite beim heißisostatischen Pressen weiter in die Aussparung hereingedrückt wird als die Metallschicht auf der gegenüberliegenden Seite, sodass eine Asymmetrie bezüglich des Anteils der Metallisierung, der von der Bauteilmetallisierung bzw. der Rückseitenmetallisierung für die Durchkontaktierung bereitgestellt wird, erzeugt bzw. bewirkt wird. Im Gegensatz dazu, ist es in **Fig. 5g** vorgesehen, dass zwei kegelstumpfförmige Verläufe vorgesehen sind, d. h. ein doppelkegelstumpfförmiger Verlauf, der es insbesondere zulässt, dass von beiden Seiten im gleichen Maß Metall in die Aussparung zur Ausbildung der Durchkontaktierung 15 hineingepresst werden kann. In **Fig. 5f** wird ein Ausführungsbeispiel gezeigt, bei dem die Seitenflächen SF so ausgerichtet sind, dass jeweils an Ober- und Unterseite des Keramikelement 30 der kleinste Durchmesser der Aussparung, bemessen in einer parallel zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Ebene, ausgebildet ist.

[0052] In den **Fig. 6a** bis **Fig. 6c** sind Anordnungen von Durchkontaktierungen 15 dargestellt. Insbesondere ist es vorstellbar, dass statt einer Durchkontaktierung 15 eine Anordnung von vergleichsweise vielen kleinen Aussparungen mit entsprechend eingelassener Durchkontaktierung 15 realisiert wird. Insbesondere ist es vorgesehen, dass mindestens 40 Aussparungen/cm², bevorzugt mindestens 90 Aussparungen /cm², besonders bevorzugt mehr als 140 Aussparungen/cm² vorgesehen sind für eine solche Anordnung. Im in **Fig. 6a** dargestellten Beispiel handelt es sich um eine Anordnung, die im Wesentlichen rechteckförmig ist. Die in **Fig. 6b** dargestellten Dreiecke formen eine quadratförmige Fläche. Die in **Fig. 6c** dargestellten Langlöcher bilden zusammen eine dreieckige Fläche als Anordnung.

Bezugszeichenliste

| | |
|-----|--------------------------|
| 1 | Metall-Keramik-Substrat |
| 10 | Bauteilmetallisierung |
| 12 | Bindungsschicht |
| 13 | Aktivmetallschicht |
| 14 | Lotbasisschicht |
| 15 | Durchkontaktierung |
| 20 | Rückseitenmetallisierung |
| 30 | Keramikelement |
| SF | Seitenfläche |
| S | Stapelrichtung |
| HSE | Haupterstreckungsebene |

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102013104739 A1 [0002]
- DE 19927046 B4 [0002]
- DE 102009033029 A1 [0002]
- DE 2013113734 A1 [0035]

Patentansprüche

1. Metall-Keramik-Substrat (1) als Träger für elektrische Bauteile, insbesondere in Form einer Leiterplatte, umfassend:

- ein Keramikelement (30) und
- mindestens eine Metallschicht (10, 20), wobei sich die mindestens eine Metallschicht (10) und das Keramikelement (30) entlang einer Hauptstreckungsebene (HSE) erstrecken und entlang einer senkrecht zur Hauptstreckungsebene (HSE) verlaufenden Stapelrichtung (S) übereinander angeordnet sind,

wobei im gefertigten Metall-Keramik-Substrat (1) eine Bindungsschicht (12) zwischen der mindestens einen Metallschicht (10, 20) und dem Keramikelement (30) ausgebildet ist,

wobei eine Haftvermittlerschicht der Bindungsschicht (12) einen Flächenwiderstand aufweist, der größer als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 10 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq, ist und

wobei im Keramikelement (30) eine Durchkontaktierung (15) ausgebildet ist.

2. Metall-Keramik-Substrat gemäß Anspruch 1, wobei die Durchkontaktierung (15) die Bindungsschicht (12) und/oder eine weitere Bindungsschicht (12) umfasst, wobei eine Haftvermittlerschicht der weiteren Bindungsschicht einen Flächenwiderstand aufweist, der größer als 5 Ohm/sq, bevorzugt größer als 10 Ohm/sq und besonders bevorzugt größer als 20 Ohm/sq, ist.

3. Metall-Keramik-Substrat (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in einer parallel zur Hauptstreckungsebene (HSE) verlaufenden Schnittansicht die Durchkontaktierung (15) und/oder eine Aussparung im Keramikelement (30) einen Querschnitt aufweist, dessen Form von einem Kreis abweicht.

4. Metall-Keramik-Substrat (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Anordnung von mehreren Durchkontaktierungen (15) zu deren Parallelschaltung ausgebildet ist.

5. Metall-Keramik-Substrat (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine für die Durchkontaktierung (15) vorgesehene Aussparung im Keramikelement (30) eine Seitenfläche (SF) aufweist, die die Durchkontaktierung (15) zumindest abschnittsweise umgibt, wobei die Seitenfläche (SF) entlang einer parallel zur Stapelrichtung (S) verlaufenden Richtung zumindest abschnittsweise gebogen und/oder zur Stapelrichtung (S) geneigt verläuft.

6. Metall-Keramik-Substrat (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Aussparung nur teilweise gefüllt ist, wobei ein Verhältnis eines

mit einem leitenden Material gefüllten ersten Volumens zu einem durch die Aussparung begrenzten zweiten Volumens einen Wert zwischen 0,05 und 0,8, bevorzugt zwischen 0,05 und 0,50 annimmt und besonders bevorzugt zwischen 0,05 und 0,2 annimmt.

7. Metall-Keramik-Substrat (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das leitende Material der Durchkontaktierung (15) zumindest teilweise, vorzugsweise zumindest zur Hälfte, durch die mindestens eine Metallschicht (10, 20) gebildet wird, die insbesondere zumindest teilweise in die Aussparung hineingeformt ist.

8. Metall-Keramik-Substrat (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Durchkontaktierung (15) als eine die Seitenfläche (SF) der Aussparung bedeckenden Durchgangsmetallisierung ausgebildet ist, deren Innendurchmesser einen Wert zwischen 0,1 und 2 mm, bevorzugt zwischen 0,2 und 1 mm und besonders bevorzugt zwischen 0,3 und 0,6 mm annimmt.

9. Verfahren zur Herstellung eines Metall-Keramik-Substrats (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei die Seitenfläche (SF) der Aussparung mit einer Aktivmetallschicht zumindest abschnittsweise bedeckt wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

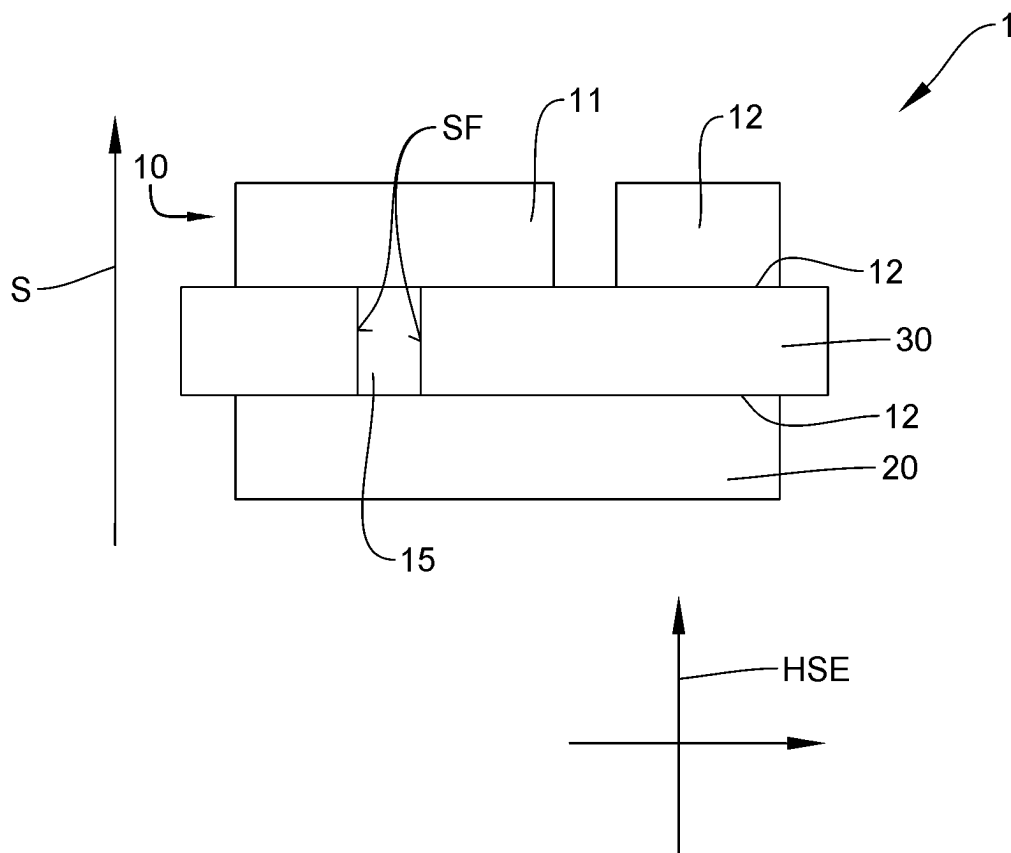


FIG. 1

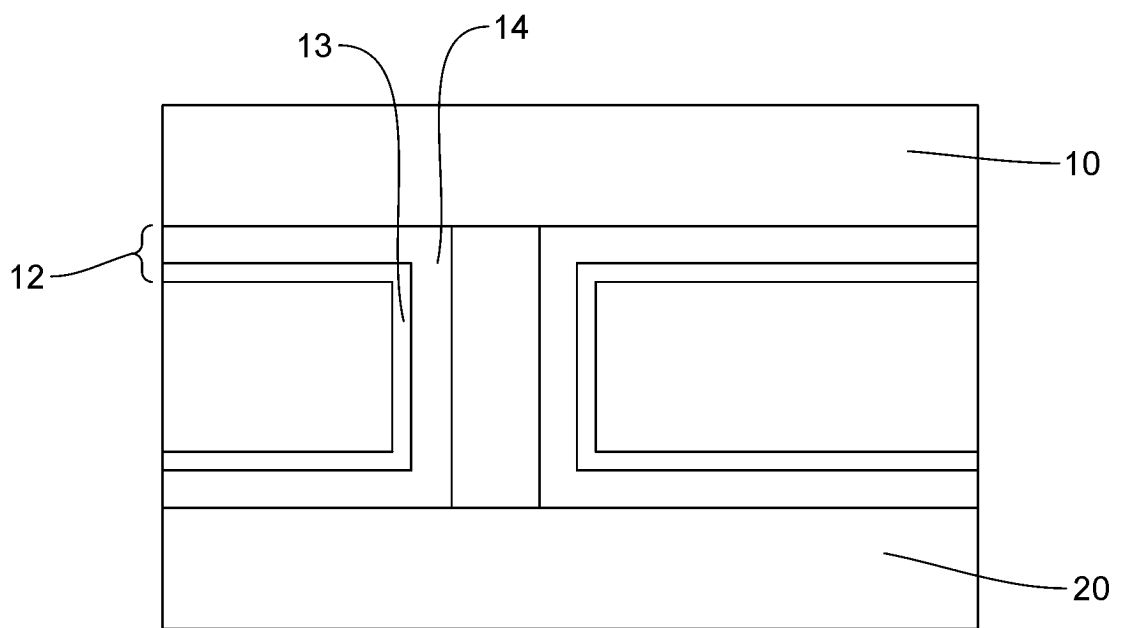


FIG. 2

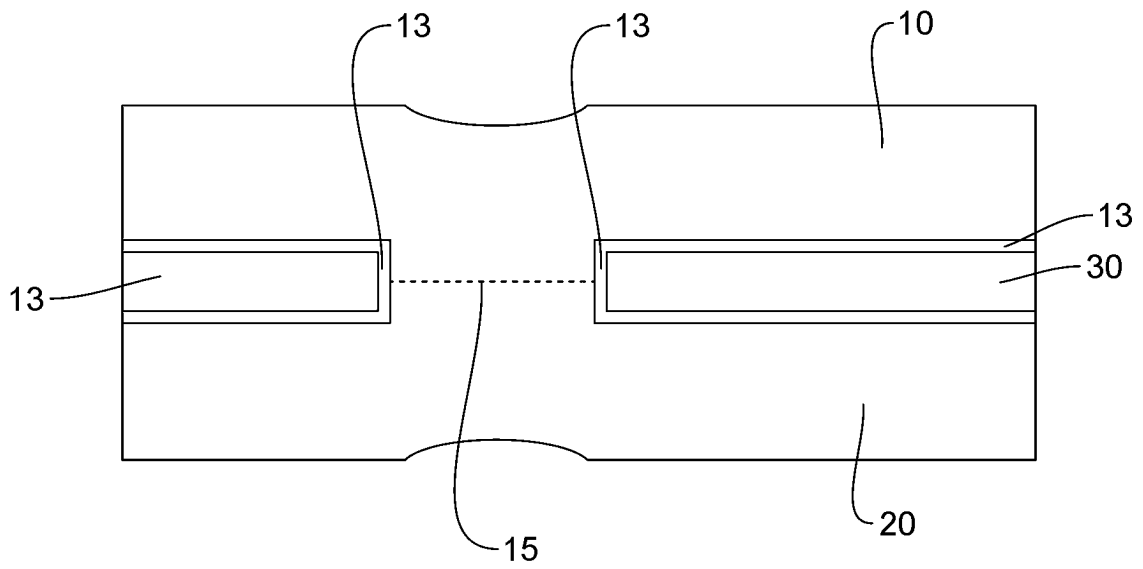


FIG. 3



FIG. 4A



FIG. 4B

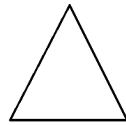
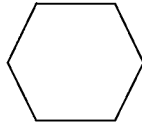


FIG. 4C

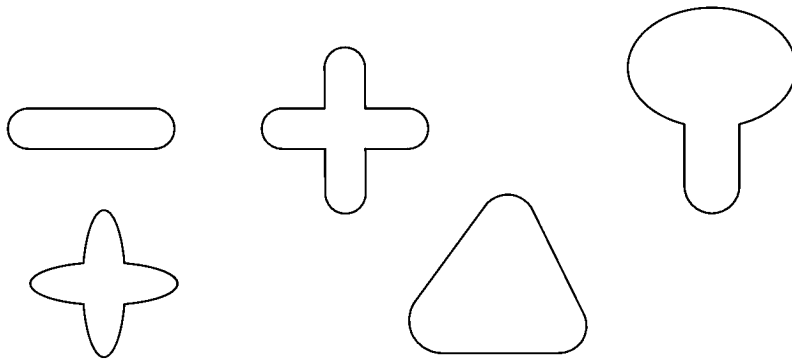


FIG. 4D

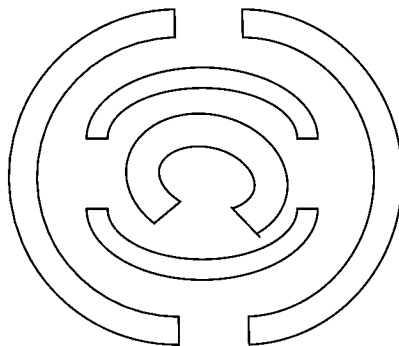


FIG. 4E

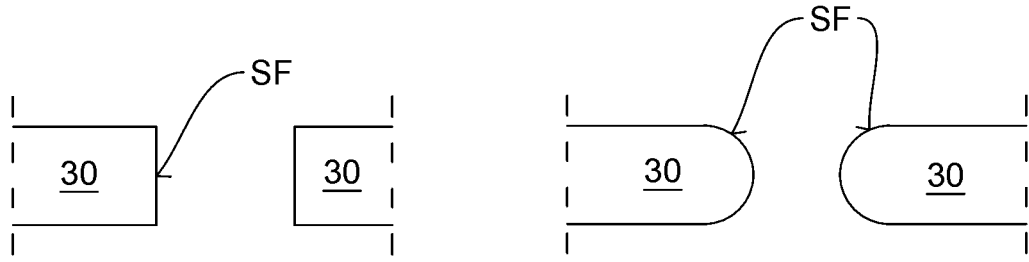


FIG. 5A

FIG. 5B

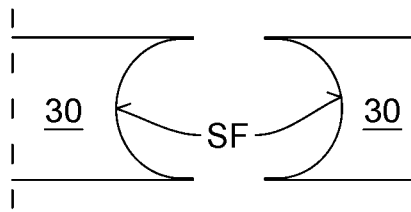


FIG. 5C

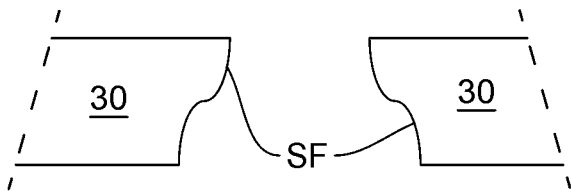


FIG. 5D

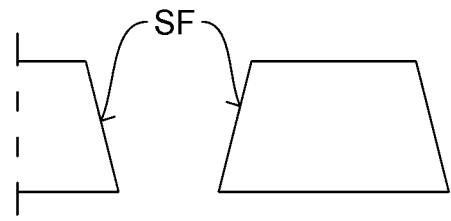


FIG. 5E

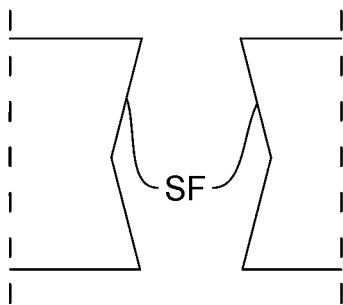


FIG. 5F

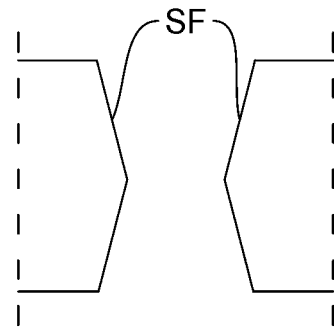


FIG. 5G

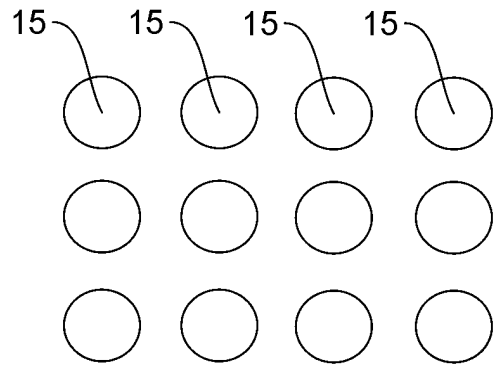


FIG. 6A

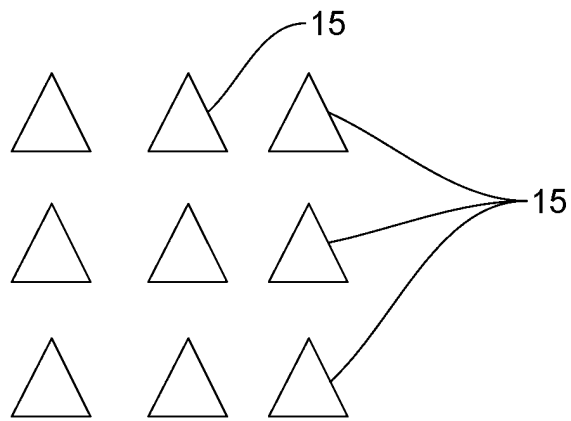


FIG. 6B

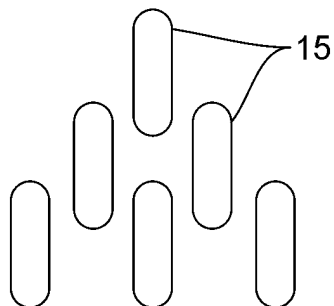


FIG. 6C