

(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
8. Dezember 2016 (08.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/193316 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B28B 1/00 (2006.01) *H05K 3/46* (2006.01)
H01L 23/00 (2006.01) *B32B 18/00* (2006.01)
H01L 21/00 (2006.01) *H05K 1/03* (2006.01)
H05K 3/00 (2006.01) *B29C 67/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/062401

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juni 2016 (01.06.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 108 646.8 1. Juni 2015 (01.06.2015) DE

(71) Anmelder: **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, VERTRETEN DURCH DEN BUNDESMINISTER FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, DIESER VERTRETEN DURCH DEN PRÄSIDENTEN DER BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM)** [DE/DE]; Unter den Eichen 87, 12205 Berlin (DE). **FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG** [DE/DE]; Schlossplatz 4, 91054 Erlangen (DE).

(72) Erfinder: **GÜNSTER, Jens**; Mörchinger Str. 18d, 14169 Berlin (DE). **RABE, Torsten**; Straße 41 Nr. 28a, 13125 Berlin (DE). **ROOSEN, Andreas**; Jordanweg 9, 91054 Erlangen (DE).

(74) Anwalt: **ZIMMERMANN & PARTNER PATENTANWÄLTE MBB**; Josephspitalstr. 15, 80331 München (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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING CERAMIC MULTILAYER CIRCUIT CARRIERS USING A SLIP-BASED ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG KERAMISCHER MULTILAGEN-SCHALTUNGSTRÄGER AUF BASIS EINER SCHLICKERBASIERTEN ADDITIVEN FERTIGUNG

(57) **Abstract:** Disclosed is an additive manufacturing process for a ceramic circuit carrier comprising a multilayer structure, said process involving: a) providing a ceramic slip; b) forming a slip layer by blade-coating a support with the ceramic slip; c) drying the slip layer; d) creating at least one horizontal and/or vertical conductor path in at least some areas; e) repeating steps b) to d) using the dried slip layer as a support; f) obtaining a green body comprising a multilayer structure; g) subjecting the green body to a thermal treatment.

(57) **Zusammenfassung:** Additives Fertigungsverfahren für einen keramischen Schaltungsträger umfassend eine Mehrlagenstruktur, umfassend: a) Bereitstellen eines keramischen Schlickers; b) Ausbilden einer Schlickerschicht durch Aufrakeln des keramischen Schlickers auf eine Unterlage; c) Trocknen der Schlickerschicht; d) Zumindest abschnittsweise Erzeugen zumindest einer horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn; e) Wiederholen der Schritte b) bis d), wobei die getrocknete Schlickerschicht als Unterlage dient; f) Erhalten eines Grünkörpers, umfassend eine Mehrlagenstruktur; g) thermisches Behandeln des Grünkörpers.



WO 2016/193316 A1

Verfahren zur Herstellung keramischer Multilagen-Schaltungsträger auf Basis einer schlickerbasierten additiven Fertigung

[0001] Die vorliegende Erfindung liegt auf dem Gebiet der additiven Fertigungsverfahren und betrifft insbesondere die Herstellung von Verdrahtungs- und Schaltungsträgern auf der Basis von keramischen Massen.

[0002] Der Begriff Verdrahtungsträger kennzeichnet einen mechanischen Träger, auf dem Leitungsstrukturen zur Verdrahtung elektronischer Bauelemente aufgebracht sind. Neben der elektrischen Verbindung dienen derartige Verdrahtungsträger einer mechanischen Stützung und können Funktionen einer Wärmeabführung, einer elektromagnetischen Schirmung, einer optische Kopplung und insgesamt, als Schaltungsträger, der Integration verschiedener Bauelemente in einer Baugruppe dienen.

[0003] Alternativ zur Leiterplatte haben sich keramische Multilayer, z.B. sogenannte LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics), zur Verwendung als Verdrahtungsträger für elektronische Baugruppen etabliert. LTCC soll hier nur stellvertretend für eine Multilagentechnik stehen und wird beispielhaft für vergleichbare Technologien, wie z.B. HTCC (High Temperature Cofired Ceramics) oder Hybridtechnik genannt. LTCC-Werkstoffe können bei relativ niedrigen Temperaturen um 900 °C dichtgesintert werden. Üblicherweise handelt es sich bei diesen Werkstoffen um Glas-Keramik-Komposite, deren dielektrische, mechanische und thermische Eigenschaften durch eine Variation der Zusammensetzung und des Volumenanteil von Glas- und Keramik-Ausgangskomponenten, sowie durch Kristallisation und Phasenneubildung während des Sinterprozesses maßgeschneidert werden können. Dabei bestimmt das Einsatzgebiet der resultierenden Baugruppe, beispielsweise im Bereich der Mikroelektronik, der Leistungselektronik, für Anwendungen im Hochtemperaturbereich, oder für Anwendungen bei extremen Drücken oder Beschleunigungen die jeweiligen Parametervorgaben.

[0004] Nachfolgend sind in Tabelle 1 ein typischer LTCC-Versatz und in Tabelle 2 ein typischer HTCC-Versatz angegeben.

Tabelle 1: Typische Schlickerzusammensetzung eines Schlickers für LTCC-Anwendungen

Schlickerkomponente	Beschreibung	Gewichtsanteil [Gew.%]
Keramischer Füller	37 Gew.% Al_2O_3 63 Gew.% Glas (Mischung aus SiO_2 , B_2O_3 , K_2O , Al_2O_3 , Na_2O und MgO)	65,00
Lösemittel	Wasser	25,00
Organik	Dispergator, Binder, Plastifizierer	10,00

Tabelle 2: Typische Schlickerzusammensetzung eines Schlickers für HTCC-Anwendungen

Schlickerkomponente	Beschreibung	Gewichtsanteil [Gew.%]
Keramischer Füller	96 Gew.% Al_2O_3 4 Gew.% Mischung aus SiO_2 , MgO und CaO	65,00
Lösemittel	Wasser	25,00
Organik	Dispergator, Binder, Plastifizierer	10,00

[0005] LTCC-Versätze werden üblicherweise zu Schlickern aufbereitet und in dünnen Schichten von 50 bis ca. 500 Mikrometern Dicke im Foliengussverfahren zu keramischen Folien verarbeitet. In der Multilagentechnologie stellen keramische (Grün-)Folien ein Halbzeug zur weiteren Verarbeitung zu einer LTCC-Komponente dar. Zu den Bearbeitungsschritten dieser Folien gehören das Stanzen und Füllen von (künftigen) Durchkontaktierungen, sogenannten VIAs (Vertical Interconnect Access) zur vertikalen Durchkontaktierung elektrischer Leiterzüge, das Bedrucken mit leitfähigen Tinten oder Pasten, z. B. mittels Sieb- oder Tintenstrahldruck, das Stapeln und das Laminieren. Um den keramischen Folien für die genannten Bearbeitungsschritte das nötige Verarbeitungsverhalten zu geben, enthalten sie typischerweise 20 bis 50 Vol.-% organische Additive. Im Sinterprozess, der die LTCC-Fertigung abschließt, müssen die organischen Anteile der Folien ausgebrannt und die Grünfolien zur eigentlichen Keramik verdichtet werden. Der

Laminier-Schritt umfasst das Zusammenfügen der einzelnen Folienlagen zu einem stabilen funktionsfähigen keramischen Multilagenkörper. Das Laminieren kann unter hohen und niedrigen Drücken erfolgen, wobei beispielsweise Thermokompression oder Klebeverfahren zum Einsatz kommen.

[0006] Vor diesem Hintergrund wird ein additives Fertigungsverfahren für einen keramischen Schaltungsträger nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung nach Anspruch 26 vorgeschlagen. Weitere Ausführungsformen, Modifikationen und Verbesserungen ergeben sich anhand der folgenden Beschreibung und der beigefügten Ansprüche.

[0007] Gemäß einem ersten Aspekt wird ein additives Fertigungsverfahren für einen Schaltungsträger, umfassend eine keramische Mehrlagenstruktur vorgeschlagen, das die folgenden Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen eines keramischen Schlickers;
- b) Ausbilden einer Schlickerschicht durch Aufrakeln des keramischen Schlickers auf eine Unterlage;
- c) Trocknen der Schlickerschicht;
- d) Zumindest abschnittsweises Erzeugen einer zumindest horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn;
- e) Wiederholen der Schritte b) bis d), wobei die getrocknete Schlickerschicht als Unterlage dient;
- f) Erhalten eines Grünkörpers, umfassend eine Mehrlagenstruktur;
- g) thermisches Behandeln des Grünkörpers, bzw. des die Mehrlagenstruktur umfassenden Bauteils.

[0008] Dabei kann das Wiederholen der Schritte b) bis d) auch teilweise ein oder mehrmals erfolgen. Vorteile erwachsen aus der möglichen Variation von horizontalen und vertikalen Abständen benachbarter Leiterzüge zueinander und der daraus resultierenden einstellbar hohen Integrationsdichte. Wesentliche Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich aus der typischerweise geringen Schichtdicke einer gerakelten Schicht. Bevorzugte Schichtdicken der gerakelten Schicht (nach dem Trocknen) liegen im Bereich von 1 μm bis 200 μm . Bevorzugt liegt die Schichtdicke einer gerakelten Schlickerschicht zwischen 5 und

100 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 100 μm . Bei Bedarf kann die Dicke einer gerakelten Schicht jedoch auch 200 μm überschreiten, beispielsweise 250 μm , 300 μm oder 500 μm betragen. Hierbei dient die thermische Behandlung des Grünkörpers, bzw. des die Mehrlagenstruktur umfassenden Bauteils zur Entfernung der organischen Additive (Binderausbrand) sowie der anschließenden Verdichtung bzw. Sinterung des Bauteils zum keramischen Mehrlagensystem. Das Entbindern und die anschließende Sinterung bzw. Verdichtung werden typischerweise in einem Prozess durchgeführt.

[0009] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das vorgeschlagene Verfahren weiterhin:

- h) schichtweise zumindest lokales, d.h. zumindest abschnittsweises, Konsolidieren bzw. Verfestigen der grünen keramischen Mehrlagenstruktur.

Hierbei wird der Grünkörper, umfassend die Mehrlagenstruktur zu einem 3D-Bauteil verfestigt, indem die Pulverpartikeln der gerakelten Schicht miteinander und mit Partikeln der darunter liegenden, zuvor gerakelten Schicht zu einer festen Struktur verbunden werden.

[0010] Dieses lokale Konsolidieren oder abschnittsweises Verfestigen ersetzt das in der traditionellen LTCC-Technik erfolgende Stanzen, da es letztlich die Konturen des fertigen Bauteils definiert. Vorteile betreffen eine gesteigerte Ausbeute (größeren Nutzen) bzw. verminderten Abfall. Aus dem schichtweisen Konsolidieren aufeinanderfolgender Schichten ergibt sich die komplexe Geometrie des fertigen Bauteils. Beispielsweise kann mit dem lokalen Konsolidieren, d.h. dem lokalen Verbinden der Pulverpartikel einer Schicht, z.B. mittels gezieltem Binderauftrag, Laserenergieeintrag oder photolithographisch, eine innere und/oder eine äußere Kontur des Grünkörpers definiert werden. Nach dem Aufbauprozess wird der Grünkörper bzw. das Bauteil aus dem überschüssigen, nicht konsolidierten Material der Schichten herausgelöst und durch einen Sinterschritt wird der erhaltene Grünkörper abschließend dichtgesintert. Im Ergebnis liegen eine oder mehrere Multilagenstrukturen mit komplexer innerer und äußerer Geometrie vor.

[0011] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das schichtweise lokale Konsolidieren und/oder Verfestigen ein zumindest abschnittsweises Aufbringen eines Binders auf der grünen keramischen Mehrlagenstruktur.

[0012] Der Binder kann mittels Tintenstrahldruck aufgebracht werden. Vorteile ergeben sich aus der Möglichkeit einer präzisen Linienführung und damit einer exakten Konturierung des erhaltenen Grünkörpers. Material, welches nicht durch Aufbringen eines Binders verfestigt wurde, kann durch ein Lösungsmittel z.B. Wasser aufgelöst und entfernt werden.

[0013] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das schichtweise lokale Konsolidieren ein zumindest abschnittsweises Lasersintern der grünen keramischen Mehrlagenstruktur.

[0014] Insbesondere kann mittels gepulst applizierter oder kontinuierlicher Laserstrahlung eine exakte Konturierung des Grünkörpers erzielt werden. Die hohe Festigkeit der äußeren Kontur erhaltener Grünkörper und deren gute Haftung zur Unterlage ermöglicht das zerstörungsfreie Entfernen der nichtverfestigten Anteile des Schlickerbetts außerhalb der Grünkörper vor dem Sintern. Material, welches nicht durch Einbringen von Laserenergie verfestigt wurde, kann durch ein Lösungsmittel z.B. Wasser aufgelöst und entfernt werden. Im Falle, dass mehrere Bauteile gleichzeitig aufgebaut werden, werden diese durch das Auflösen des nicht verfestigten Materials voneinander getrennt. Ein Vereinzeln der Bauteile kann auch zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, wobei hierzu Perforierungen als Sollbruchstellen eingebracht werden können oder gesägt werden kann.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der keramische Schlicker Wasser und/oder ein organisches Lösungsmittel.

[0016] Vorteilhaft können im vorgeschlagenen Verfahren kommerziell erhältliche keramische Schlicker mit geringem Binderanteil oder ohne Binder verwendet werden. Das Absenken des Binderanteils vermindert gleichzeitig den sonst für einen Entbinderungsschritt erforderlichen Zeit- und Kostenaufwand.

[0017] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während ggf. notwendigen Binderausbrandprozesses und während eines nachfolgenden bzw. abschließenden Sinterprozesses aus anorganischen Bestandteilen des keramischen Schlickers ein Werkstoff synthetisiert, z.B. ein LTCC-Werkstoff, und eine Struktur erhalten, die als Bestandteil eines Sensors oder eines Aktuators oder als ein Mehrschicht-Verdrahtungsträger geeignet ist. Ein typisches Beispiel für den erhaltenen LTCC-Werkstoff ist eine Glaskeramik.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das vorgeschlagenen Verfahren weiterhin:

- i) Ausbilden in der Mehrlagenstruktur zumindest einer Lage, die sich hinsichtlich einer dielektrischen, einer ferroelektrischen, einer magnetischen und/oder einer piezoelektrischen Eigenschaft und/oder anderer physikalisch-chemischer Eigenschaften von einer benachbarten Lage der Mehrlagenstruktur unterscheidet.

[0019] Mit anderen Worten ausgedrückt, wird in der Mehrlagenstruktur zumindest eine Lage, bzw. Funktionsschicht ausgebildet, die in Hinsicht auf eine dielektrische, eine ferroelektrische, eine magnetische und/oder eine piezoelektrische Eigenschaft und/oder in Hinsicht auf eine andere physikalisch-chemische Eigenschaft spezifisch definiert ist. Die besagte Lage, bzw. Funktionsschicht, unterscheidet sich mithin in zumindest einer der angeführten definierten Eigenschaften von einer unmittelbar benachbarten Funktionsschicht bzw. Lage der Mehrlagenstruktur, mit der sie zumindest abschnittsweise in formschlüssigem und/oder kraftschlüssigem Kontakt steht. Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich mit der geringen Dicke (Schichtdicke) der Lagen der Mehrlagenstruktur. Sie erlauben es, die Integrationsdichte funktionaler Strukturen in dem letztlich erhaltenen Schaltungsträger zu steigern. Hierbei sind Dicken einer Lage im Bereich von 1 μm bis 200 μm vorgesehen. Bevorzugt liegt die Dicke einer Lage zwischen 5 und 100 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 100 μm . Bei Bedarf kann die Dicke einer Lage jedoch auch 200 μm überschreiten, beispielsweise 250 μm , 300 μm oder 500 μm betragen. Damit können z.B. nicht nur passive, sondern auch aktive elektronische und/oder optoelektronische und/oder piezoelektronische Komponenten und/oder andere Funktionalitäten realisiert werden. Beispielsweise ermöglicht die gezielte Anordnung von Funktionsschichten unterschiedlicher dielektrischer Eigenschaften (bzw. lateral und/oder vertikal strukturierten Lagen) in der Mehrlagenstruktur eine gezielte Wechselwirkung mit einem externen elektromagnetischen Feld und/oder mit einem Signal, das in die Schicht, in einen Abschnitt der Schicht, oder in mehrere Schichten oder Abschnitte mehrerer Schichten eingekoppelt wird. Typische Signale umfassen eine über eine Zeiteinheit messbare Änderung einer physikalischen Größe. Durch exakte Einstellung der physikalischen Eigenschaften des Schichtmaterials kann die Mehrlagenstruktur beispielsweise gezielt angepasst werden als Schaltungsträger für Anwendungen in der Mikroelektronik, in der Leistungselektronik, in der Nachrichtentechnik, beispielsweise in der Hochfrequenztechnik, in der Mikrosystemtechnik. Allgemein wird eine Anpassung an einen jeweils gewünschten Wellenlängenbereich des gesamten elektromagnetischen Spektrums ermöglicht.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der keramische Schlicker eine HTCC-Zusammensetzung.

[0021] Ein gemäß dem erhaltenen Verfahren erhaltener Grünkörper kann prinzipiell unter verschiedenen Bedingungen gesintert werden. Ein HTCC-Versatz sintert erst bei hohen Temperaturen, beispielsweise im Bereich von 1600 bis 1800 $^{\circ}\text{C}$, und eignet sich ebenso zur Herstellung des keramischen Schlickers und der Verwendung dieses Schlickers gemäß dem hier vorgeschlagenen additiven Verfahren. Der resultierende Sinterkörper weist aufgrund der anderen Werkstoffqualität andere Eigenschaften als ein LTCC-Werkstoff auf. Beide sind aber in einem chemisch aggressiven Milieu inert und formstabil.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst ein Bindergehalt des keramischen Schlickers einen Anteil zwischen 0 und 10 Gew.-%, zwischen 1 und 8 Gew.-%, oder zwischen 2,5 und 7 Gew.-%.

[0023] Vorteile eines geringen Anteils organischen Binders, insbesondere eines Anteils unterhalb von 2,5 Gewichts-% ergeben sich aus der hohen erreichbaren Dichte des erzeugten Grünkörpers, die weniger als 45 %, bevorzugt weniger als 40% von der theoretischen Dichte abweicht. Dabei wird unter der theoretischen Dichte, die Dichte eines nichtporösen Festkörpers, umfassend das LTCC-Material verstanden. Desweiteren bedingt der geringere Binderanteil Vorteile, z.B. hinsichtlich verkürzter Prozesszeit und geringerer Kosten, beim Binderausbrand bzw. beim Entbindern.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist eine Höhe der Schlickerschicht durch Einstellen einer Rakelhöhe einstellbar.

[0025] Vorteile dieser Ausführungsform bestehen in der definierten und über die gesamte Ausdehnung der gerakelten Schicht gleichmäßig konstanten Dicke. Gemäß einer Weiterbildung kann die Rakelhöhe während eines Schlickerauftrages periodisch, kontinuierlich und/oder abrupt geändert werden. Vorteilhaft kann so eine gewellte, eine zunehmend dünnere bzw. zunehmend dickere oder eine abgestufte Schicht erzeugt werden. Vorteile ergeben sich durch eine erweiterte Vielfalt erzeugbarer 3D-Strukturen.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Trocknen ein Beheizen der aufgetragenen Schicht, insbesondere ein Beheizen der Unterlage; eine aktive Konvektion, insbesondere ein Belüften mit einem Gebläse; und/oder ein Exponieren gegenüber einer IR-Strahlung. Somit erfolgt das Trocknen im Prozess, am Ort des Schichtauftrages und nicht in einem gesonderten Aggregat, was ein Umsetzen des Schichtstapels erforderlich machen würde.

[0027] Vorteilhaft kann durch die Wahl des Trocknungsverfahrens ein gleichmäßiges Trocknen und eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit erreicht werden und andererseits verhindert werden, dass sich Trockenrisse ausbilden. Vorteilhaft ist ferner, dass durch den Auftrag der nassen Schlickerschicht auf die bereits abgelegten Schichten eine Beschleunigung der Trocknung durch den Saugeffekt der darunterliegenden Schichten erfolgt. Da die Trocknung am gleichen Ort wie die Schichtauftrag erfolgt, ist auch kein gesondertes Aggregat notwendig und damit entfällt auch ein Umsetzen der Bauteile.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Erzeugen der vertikal verlaufenden Leiterbahn ein abschnittsweises Abtragen der getrockneten Schlickerschicht.

Durch Abtragen von keramischem Material wird so eine Ausnehmung in der getrockneten Schlickerschicht erzeugt. Diese Ausnehmung kann anschließend, beispielsweise, mit einer Metallisierungspaste gefüllt werden. Gemäß einer Variante kann auch eine Opfermasse eingebracht werden, die vorübergehend die Funktion eines Stützmaterials erfüllt, jedoch später ausgebrannt wird und dabei einen Hohlraum zurücklässt.

[0029] Vorteilhaft werden elektrisch leitfähige Strukturen unmittelbar neben Isolator-Strukturen erzeugt, sodass einerseits eine hohe Integrationsdichte und andererseits ein geringer Zeitaufwand für die Fertigung erreichbar sind.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Abtragen mit einem Laser, insbesondere mit einem Excimer-Laser oder mit einem gepulsten Laser einer Wellenlänge von 1 μm bei ausreichend hoher Intensität. Eine ausreichend hohe Intensität ist eine solche, bei der das Schichtmaterial am Wirkort des Lasers aus der Schicht entfernt wird, z.B. durch Verdampfen und Abführen mit einer umgebenden Atmosphäre.

[0031] Vorteilhaft sind bereits kommerziell erhältliche leistungsfähige Laserdioden geeignet, die zum Materialabtrag erforderliche Energie einzukoppeln.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Erzeugen der vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Drucken einer Metallisierungspaste auf der getrockneten Schlickerschicht. Der Druck erfolgt dabei so präzise, dass eine bestimmte Höhe der Druckschicht erzielt wird. Die Konturen des Druckbildes sind scharf. Beispielsweise ist mit dem Drucken vorteilhaft eine laterale Auflösung von mehr als 400 dpi (dot per inch) erzielbar. Gemäß typischen Ausführungsformen wird eine Auflösung von 720 dpi erzielt. Insbesondere wird eine Auflösung bis einschließlich 600 dpi zuverlässig erzielt. Wahlweise können auch mehrere Druck-Schritte aufeinanderfolgend ausgeführt werden, bis die gewünschte Höhe der gedruckten Struktur erzielt ist. An das Drucken kann sich ein Ausbilden einer (weiteren) Schlickerschicht durch Aufrakeln von keramischem Schlicker anschließen, sodass ein Zwischenraum zwischen mit Metallisierungspaste bedruckten Abschnitten durch Keramischlicker aufgefüllt wird.

[0033] Vorteile umfassen beispielsweise einen verringerten Fertigungsaufwand, bzw. eine kurze Herstellungsdauer.

[0034] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Oberfläche des Druckbildes der gedruckten Metallisierungspaste vor dem Auffüllen des Zwischenraumes zwischen bedruckten Abschnitten oder zwischen einzelnen Abschnitten derselben hydrophobiert.

[0035] Dadurch kann lokal die Benetzung mit dem im nächsten Arbeitsschritt applizierten Schlicker vermieden werden. Der Zeit- und Arbeitsaufwand zum Freistellen von Anschlussflächen kann minimiert werden.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine während des Ausbildens der Schlickerschicht verunreinigte Oberfläche einer zuvor gedruckten Schicht bzw. einer vertikal verlaufenden Leiterbahn vor einem anschließenden Verfahrensschritt freigestellt.

[0037] Als Oberfläche wird hier diejenige Fläche verstanden, die in einer Ebene mit der anschließend aufgebracht Schlickerschicht liegt. Im Fall der Oberfläche einer vertikal verlaufenden Leiterbahn ermöglicht das, einen fehlerfreien elektrischen Kontakt benachbarter Schichten herzustellen. Beispielsweise verbindet ein zuvor ausgebildetes VIA zuverlässig in unterschiedlichen Schichten zueinander benachbarte Leiterzüge.

[0038] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt das beschriebene Freistellen mit Hilfe eines Laserstrahls.

[0039] Vorteile umfassen die Schnelligkeit einer mittels Laser bereits innerhalb von Sekundenbruchteilen erreichbaren Oberflächenreinigung.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Erzeugen der horizontal verlaufenden und/oder der vertikal verlaufenden Leiterbahn mittels eines Druckverfahrens oder einer anderen Additivtechnik. Beispielsweise erfolgt das beschriebene Erzeugen mittels Tintenstrahldruck, Siebdruck, Schablonendruck oder Robocasting (direct ink writing). Dabei wird die Leiterbahn bevorzugt auf einer zuvor getrockneten Schlickerschicht aufgebracht. Dieses Aufbringen kann einmal oder mehrmals wiederholt an ein und demselben Abschnitt der Schlickerschicht erfolgen. Hierbei können auch verschiedene Druckverfahren miteinander kombiniert werden. Beispielsweise kann ein erstes Druckverfahren von einem zweiten Druckverfahren gefolgt werden. Zwei oder mehrere Druckverfahren bzw. Additivtechniken können ebenso alternierend eingesetzt werden. Hierbei können auch jeweils unterschiedlich zusammengesetzte Flüssigkeiten, Dispersionen, z.B. Tinten, oder Pasten aufgetragen werden.

[0041] Das ermöglicht einerseits die Anwendung der für die LTCC-Technologie geltenden oder etablierten Designregeln und eröffnet die Möglichkeit, die Zusammensetzung der mit dem Sintern erzeugten Funktionsstruktur hinsichtlich einer gewünschten physikalischen Eigenschaft präzise zu steuern.

[0042] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Erzeugen der horizontal oder vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Einstellen einer rheologischen Eigenschaft eines

Druckmediums. Beispiele für Druckmedien sind z.B. Lösungen, Partikeldispersionen, Drucktinten, Druckpasten, Siebdruckpaste. Das beschriebene Erzeugen kann ein Einstellen einer Benetzungseigenschaft des Druckmediums umfassen. Typischerweise umfasst die Drucktinte oder die Paste metallische Partikel oder metallisierte Partikel, sodass das Eindringen der metallischen bzw. metallisierten Partikel in die getrocknete Schlickerschicht definiert erfolgt. Metallische Partikel sind hierbei beispielsweise metallische Nanopartikel (Metall-Cluster) und/oder metallische Mikropartikel. Typische rheologische Eigenschaften der verwendeten Drucktinten z.B. für den Inkjetdruck sind Newton'sches Fließverhalten mit Viskositäten von 2 bis 30 mPa sec. Die Siebdruckpasten weisen typischerweise ein scherverdünnendes Fließverhalten mit gezielter Thixotropie mit Viskositäten zwischen 3 und 20 Pa sec bei Scherraten von 100 1/sec bzw. zwischen 10 und 60 Pa sec bei 20 1/s auf; typischerweise werden Viskositäten zwischen 12 und 40 Pa sec bei Scherraten von 20 1/sec verwendet. Hierbei beziehen sich die angegebenen Viskositätswerte beziehen jeweils auf eine Temperatur von 24 °C.

[0043] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich aus der breiten Palette von Parametern, über die das rheologische Verhalten steuerbar ist: Aus Wechselwirkungen zwischen dem verwendeten Lösungsmittel und den verwendeten Additiven ergibt sich das rheologische Verhalten der jeweiligen Paste. Insbesondere bestimmen die Menge an Lösemittel sowie die Konzentration, Form, Größe und Oberflächenchemie (funktionelle Gruppen bzw. Ladung / Zeta-Potential) der in der Paste enthaltenen Partikel, sowie die Konzentration und das Molekulargewicht und die Zahl und Art der funktionellen Gruppen der organischen Additive die Viskosität. Im Ergebnis können die metallischen bzw. metallisierten Partikel in der getrockneten Schlickerschicht eine definierte Eindringtiefe erreichen, die über die Dicke einer Schicht hinausgeht.

[0044] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Erzeugen der horizontal oder vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Auswählen einer Größe metallischer Partikel in der Drucktinte und/oder in der Siebdruckpaste und/oder in dem Druckmedium, sodass ein Steuern eines Eindringens der metallischen Partikel in die getrocknete Schlickerschicht ermöglicht wird.

[0045] Vorteilhaft kann so die Kontur einer Leiterbahn exakt kontrolliert werden. Daraus ergibt sich auch die Möglichkeit, die elektrische Leitfähigkeit der Leiterbahn zu gewährleisten. Bevorzugte Metallpartikel haben eine Größe von 5 nm bis 5 µm, typischerweise von 25 nm bis 1 µm.

[0046] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Steuern ein Verhindern des Eindringens der metallischen Partikel, ein teilweises Durchdringen einer getrockneten

Schlickerschicht mit den metallischen Partikeln oder ein vollständiges Durchdringen einer getrockneten Schlickerschicht mit den metallischen Partikeln, sodass über das Einstellen von Eigenschaften der Tinte bzw. der Paste ein Abgrenzen einer elektrisch leitenden Schicht gegenüber einer elektrisch nicht leitenden Schlickerschicht und/oder ein vertikales Durchkontaktieren durch eine getrocknete Schlickerschicht hindurch ermöglicht wird.

[0047] Vorteile dieser Ausführungsform erwachsen aus der gesteigerten Integrationsdichte funktionaler Elemente. Die erreichten Strukturbreiten hängen von der Dicke der trockenen Schlickerschicht und ihrer Porenstruktur ab. Sie liegen typischerweise zwischen 50 μm line /50 μm space und 500 /500 μm (line/space), bevorzugt zwischen 50 / 50 μm und 250/ 250 μm (lines/spaces).

[0048] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Erzeugen der horizontal oder vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Erzeugen einer Opferschicht. Eine derartige Opferschicht kann durch Aufbringen einer Opferpaste erfolgen. Die Opferpaste hinterlässt nach einem Ausbrennen und/oder Sintern einen Hohlraum.

[0049] Derartige Hohlräume können beispielsweise Bestandteil eines Kühlsystems sein und zur Wärmeabführung dienen. Ebenso können für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik Fluidik-Kanäle von Interesse für praktische Anwendungen sein (Sensoren, Aktoren, Hydraulik-Komponenten). Beispielsweise kann die Opferpaste einen organischen Binder und/oder elementaren Kohlenstoff umfassen. Beispielsweise kann die Opferpaste Graphit, Stärke und/oder Ruß umfassen, die bei einer thermischen Behandlung unter oxidierender Atmosphäre zum Sintern des Bauteils ausbrennen. Die genannten Opfermaterialien sind hinreichend kostengünstig, lassen sich gut verarbeiten und auf eine zum Keramikslicker vergleichbare Konsistenz einstellen, sodass ein zügiger Prozessablauf gewährleistet ist.

[0050] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der erhaltene Hohlraum mit einer temporär flüssigen Phase oder einem temporär flüssigen Gemisch gefüllt. Die Flüssigkeit kann z.B. eine polymerisationsfähigen Mischung, ein geschmolzenes Metall, eine Polymerschmelze, eine Glasschmelze, eine Partikel-Dispersion, eine Partikel-Paste oder eine Lösung sein, die beim Trocknen einen festen Rückstand – vorzugsweise in Form eines festen Films – zurücklässt.

[0051] Vorteile ergeben sich beispielsweise, wenn die Flüssigkeit ein geschmolzenes Metall ist. So können zuverlässig VIAs erzeugt werden. Das Befüllen kann in einer kontrollierten Atmosphäre (beispielsweise unter Ausschluss von Sauerstoff) oder unter reduziertem Druck erfolgen.

[0052] Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Ausbilden einer Schlickerschicht, insbesondere das Erzeugen einer zweiten Schlickerschicht auf einer vorausgehenden ersten Schlickerschicht mit einer um 90° gedrehten Arbeitsrichtung einer Rakel.

[0053] Dadurch kann erreicht werden, dass aufeinanderfolgende Schlickerschichten alternierend um 90° gedreht aufgerakelt sind. Das vergrößert die Gestaltungsfreiheit funktionaler Strukturen und erleichtert das vollständige Verfüllen etwaiger – in vorausgehenden Schritten erzeugter – Hinterschnidungen. Vorteile dieser Ausführungsform bestehen in einer gesteigerten Formtreue und einem Minimieren von Schwindungsunterschieden in Längs- und Querrichtung zur Auftragsebene.

[0054] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Unterlage ein über konventionelle Folien- und Multilayertechnologie hergestelltes grünes oder gesintertes Laminat.

[0055] Vorteile dieser Ausführungsform erwachsen aus einer gesteigerten Integrationsdichte, beispielsweise für die Mikrosystemtechnologie (MEMS) oder die Mikroelektronik durch Nutzung bestimmter Eigenschaften des grünen oder des gesinterten Substrates.

[0056] Gemäß einem weiteren Aspekt wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, die einen keramischen Schaltungsträger umfasst, welcher nach einem der vorstehend beschriebenen und nachfolgend weiter erläuterten Ausführungsformen herstellbar ist. Die Vorrichtung umfasst einen glaskeramischen Grundkörper und zumindest eine, bevorzugt mehr als zwei darin verlaufende metallische Leiterbahnen, die im Wesentlichen horizontal zu einer Grundfläche der Vorrichtung ausgerichtet sind. In unterschiedlichen, typischerweise parallel zueinander angeordneten, Ebenen verlaufende elektrisch leitfähige Leiterbahnen sind teilweise miteinander durch im Wesentlichen vertikal zur betreffenden Ebene der Leiterbahn verlaufende elektrisch leitfähige Strukturen (VIAs) verbunden. Der Schaltungsträger weist typischerweise zumindest zwei Anschlussstrukturen zur elektrischen Kontaktierung der Verdrahtungsstruktur des keramischen Schaltungsträgers zu einer Peripherie auf. Zusätzlich kann die Vorrichtung einen oder mehrere unabhängige oder miteinander verbundene Hohlräume oder Kanäle, einen oder mehrere optische Wellenleiter, eine oder mehrere Funktionsschicht(en) oder einen oder mehrere Abschnitt(e) umfassen, wobei sich die Funktionsschicht bzw. der Abschnitt durch eine von der Glaskeramik des Grundkörpers abweichende physikalische Eigenschaft unterscheidet. Die Glaskeramik des Grundkörpers kann eine im Wesentlichen schichtweise unterschiedliche Werkstoffeigenschaft, z.B. unterschiedliche Kristallinität, stoffliche Zusammensetzung, Härte, Dielektrizitätskonstante, oder andere physikalische Eigenschaft aufweisen.

[0057] Vorteile ergeben sich beispielsweise aus der hohen Funktionsdichte des keramischen Schaltungsträgers bei Verringerung seines Stückpreises gegenüber bekannten LTCC- Schaltungsträgern.

[0058] Gemäß einem weiteren Aspekt wird die Verwendung einer Rakel für die Herstellung einer schichtweise und unter Verwendung von Keramikschlicker hergestellten komplexen Mehrlagenstruktur vorgeschlagen, wobei die komplexe Mehrlagenstruktur nach einem Sintern und gegebenenfalls einem vorgeschalteten Binderausbrand und gegebenenfalls einem anschließenden Vereinzeln oder Trennen des erhaltenen Nutzens einen keramischen Schaltungsträger ergibt. Hierbei ist die Verwendung der Rakel zur Herstellung einer grünen Keramikfolie ausdrücklich ausgenommen. Gemäß einer Weiterbildung kann – entsprechend der vorstehend beschriebenen Ausführungsform – eine zuvor durch Stapeln grüner Keramikfolien hergestellte primäre Mehrlagenstruktur durchaus als Unterlage für eine mittels Rakel aufgebrachte Schlickerschicht und die Herstellung der komplexen Mehrlagenstruktur dienen. Typischerweise ist während der Verwendung der Rakel für die Herstellung der komplexen Mehrlagenstruktur ein geringster Abstand zwischen der Rakel und Unterlage überwiegend von Keramikschlicker ausgefüllt.

[0059] Die Verwendung der Rakel im Herstellungsprozess des Schaltungsträgers wird typischerweise durch die Verwendung eines Druckkopfes und/oder eines Lasers ergänzt, ohne dass dazu das mit Hilfe der Rakel ausgebildete Schlickerbett bewegt oder in ein anderes Aggregat umgesetzt wird. Mit Hilfe des Druckkopfes werden, wie weiter oben beschrieben, lokal begrenzt elektrisch leitfähige Abschnitte (Leiterbahnen) und/oder Schichten (zumindest abschnittsweise) aufgebracht. Diese Abschnitte unterscheiden sich hinsichtlich einer Partikeleigenschaft, z.B. einer Dielektizitätskonstante, einer elektrischen Leitfähigkeit, einer magnetischen, insbesondere einer ferroelektrischen Eigenschaft oder einer piezoelektrischen Eigenschaft der Partikel. Die unter Verwendung der Rakel, des Druckkopfes und/oder des Lasers erzeugte Mehrlagenstruktur wird entbindert und gesintert und die dabei erhaltene Vielzahl von Schaltungsträgern vereinzelt. Dem Vereinzeln kann sich ein Schleifen, eine Oberflächenbehandlung (Plasma, Polieren) und/oder eine weitere thermische Behandlung anschließen.

[0060] Die Vorteile dieses Aspekts entsprechen den zuvor für die Herstellung des Schaltungsträgers mittels schichtweisen Schlickerauftrags bereits benannten Vorteilen.

[0061] Die beschriebenen Ausführungsformen können beliebig miteinander kombiniert werden.

[0062] Die Darstellung von keramischen Körpern mittels Laminieren keramischer Folien wird auch in der additiven Fertigung von komplex geformten keramischen Körpern eingesetzt. Im Allgemeinen arbeiten die hierbei eingesetzten additiven Fertigungsverfahren schichtweise. Dabei wird ein Prototyp im Rechner entworfen, virtuell in Schichten zerlegt und diese dann gemäß etablierten Steuer-Algorithmen z.B. im Pulverbett oder mittels laminiertes Schichten sukzessive aufgebaut. Das sogenannte Laminated-Object-Manufacturing (LOM) wurde ursprünglich für die lagenweise Herstellung von Komponenten aus Papier oder Kunststoff entwickelt. Ein Laser schneidet aus einzelnen Lagen die entsprechenden Bauteilschichten, die unter Verwendung von Klebern zum Werkstück laminiert werden. Von Griffin et al. [1] wird am Beispiel von Al_2O_3 das LOM-Verfahren beschrieben, bei dem mit Hilfe eines Lasers keramische Grünfolien geschnitten werden, die ihrerseits nach dem Foliengießverfahren (Doctor-Blade-Verfahren) hergestellt sind. Beim LOM-Verfahren müssen keramische Folien allerdings zunächst als Halbzeug dargestellt werden, bevor sie zu einem Bauteil gestapelt werden können. Somit würde das LOM-Verfahren keine wesentlichen Vorteile gegenüber der Multilagentechnologie zum Aufbau von Verdrahtungsträgern bieten.

[0063] Jedoch werden zum Aufbau von Multilagenkeramik keine dem additiven Fertigen angelehnte Verfahren zum Stapeln von Pulverschichten genutzt, wie das Auftragen von Schichten über Suspensionen (für Keramik auch Schlicker genannt) und das schichtweise Bedrucken der getrockneten Schichten.

[0064] Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Verfahren, in dem Pulverschichten einer definierten Dicke als Suspension sukzessive aufgebracht und getrocknet werden. Die Packungsdichte der keramischen Partikel in einer derart dargestellten Schicht ist ähnlich hoch wie in einer konventionell hergestellten keramischen Grünfolie zum Aufbau von LTCC-Strukturen, jedoch ist der Anteil an organischen Additiven kleiner als 10 Vol.-%. Nach dem Aufbringen einer Schicht wird diese getrocknet und ohne das für Folien erforderliche Umsetzen werden elektrische Leiterbahnen über einen Druckprozess direkt auf die Schicht aufgedruckt. So erzielbare Leiterzüge werden typischerweise zumindest abschnittsweise von einer neuen Schlickerschicht bedeckt. Auf einer außen liegenden Schicht können einzelne Abschnitte elektrisch leitfähiger Schichten, insbesondere zur Verwendung als Anschlussstrukturen, freigelassen werden. Ein Laminieren der einzelnen Schichten wie bei der Grünfolienbasierten Mehrlagentechnologie oder dem LOM-Verfahren entfällt bei diesem Prozess.

[0065] Gemäß dem hier vorgeschlagenen Verfahren werden nachfolgend spezielle Lösungen zur Durchkontaktierung durch Schichten hindurch vorgeschlagen. So können z.B. Mehrlagenverdrahtungsträger und ggf. passive elektronische Komponenten aufgebaut werden. Dabei können beliebige pulverförmige Materialien (Dielektrika, Ferroelektrika,

Ferrimagnetika, Leiter, Widerstände, etc.) in Schlickerform als Schicht oder als beliebige Pasten (Leiter, Widerstände, Ferroelektrika, etc.) aus einem Druckkopf in der jeweils gewünschten Struktur aufgebracht werden. Nach einem ggf. erforderlichen Binderausbrand wird abschließend der gesamte Schichtverbund mittels Co-Sinterung verdichtet.

[0066] Mit dem hier beschriebenen Verfahren soll das Stapeln kompakter Pulverschichten mittels eines keramischen Schlickers, wie im LSD-Verfahren (US 6,827,988 B2) beschrieben, so erweitert werden, dass alternativ zur etablierten Multilayer-Technologie komplexe dreidimensionale Strukturen gefertigt werden können. Hierbei wird unter einer kompakten Pulverschicht eine Schicht, umfassend ein Pulver verstanden, deren Packungsdichte oberhalb von 60% der theoretischen Dichte des das Pulver ausbildenden Materials liegt. Das vorgeschlagene Verfahren erlaubt den kombinierten Aufbau von komplexen 3D-Strukturen und integrierten Schaltungen bzw. funktionellen Strukturen, wobei auf die Darstellung von keramischen Folien als Halbzeug verzichtet werden kann. Das ermöglicht eine deutliche Reduktion des Anteils verwendeter organischer Additive. Weiter können in einer einzigen Fertigungsanlage Schichten aufgetragen, bedruckt, durchkontaktiert und gestapelt werden. Für die konventionelle Multilayerfertigung werden mehrere separate Anlagen benötigt, u. a. eine Foliengießanlage, eine Stanze, ein Siebdrucker, ein Via-Filler und eine Laminierpresse.

[0067] Im Gegensatz zu bisherigen LTCC-Produktionsverfahren bietet das hier beschriebene Verfahren somit ab Losgröße 1 volle geometrische Freiheit und eine hohe Flexibilität bei der Individualisierung von Komponenten bei gleichzeitiger dreidimensionaler Vernetzung der Leiterbahnebenen.

[0068] In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an die Fertigungsindustrie, insbesondere im Bereich der Entwicklung und der Prototypenherstellung stark gewandelt. Die zunehmende Anzahl an Produktvarianten führt bei größerer Komplexität der Bauteile zur ständigen Steigerung des Bedarfs an Prototypen. Unter den Leitbegriffen „Rapid Prototyping“, „Rapid Manufacturing“ und „Additive Manufacturing“ sind eine Vielzahl neuartiger Technologien entstanden, mit deren Hilfe sich der Anspruch an flexiblere Fertigung realisieren lässt.

[0069] Die wesentlichen Merkmale dieser Verfahren sind die Erstellung von Prozesssteuerdaten aus CAD-Geometriedaten und die anschließende Steuerung von Bearbeitungseinrichtungen. Alle diesen Verfahren sind durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet [1 - 4]:

1. Die Formgebung geschieht nicht durch Materialabtrag (subtraktiv), sondern durch Zugabe von Material (additiv), oder durch den Phasenübergang eines Materials von flüssig nach fest, bzw. erfolgt eine lokale Verfestigung eines pulverförmigen Ausgangsmaterials.
2. Alle Verfahren bauen Teilgeometrien auf der Basis von CAD-Daten aus Schichten endlicher Dicke auf, die durch einen Prozess, der das virtuelle Modell des Bauteils in einzelne Schichten jeweils konstanter Dicke zerlegt, realisiert werden.

[0070] Die heute zur Verfügung stehenden Verfahren unterscheiden sich im Ausgangszustand der Materialien (fest, flüssig, gasförmig) bei der Schichtenaddition bzw. dem Bauprozess. Es gibt eine Vielzahl von Verfahren, die als Ausgangsmaterial ein festes pulverförmiges Material einsetzen, wobei bei der Verwendung trockener rieselfähiger Pulver (die zumeist in granulierter Form eingesetzt werden) für den Schichtauftrag Schichten mit nur geringer Packungsdichte der Pulverpartikel erreichbar sind. Die Packungsdichte liegt dabei typischerweise zwischen 30 und 50% der theoretische Dichte (TD).

[0071] In einer Mitteilung der Werkstoffzentrum Rheinbach GmbH wird die Verwendung einer additiven Fertigungstechnologie für den Aufbau von Multilagenkeramik für elektrische Schaltungen mittels Tintenstrahldruck metallisch leitfähiger Tinten und einer keramischen Pulverbett-Struktur beschrieben [5]. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist die Darstellung der Pulverschichten mittels Aufbringung eines trockenen rieselfähigen Pulvers. Die Packungsdichte der Pulverpartikel in den einzelnen Pulverschichten und im Pulverbett erreicht hierbei typischerweise nur zwischen 30 und 45% der theoretischen Dichte. Bedingt durch diese geringe Dichte kann zwar eine Tinte aus metallischen Partikeln zum Aufbau von 3D strukturierten Leiterbahnen eingesetzt werden, jedoch dringt diese Tinte in einer Tiefe in das Pulver ein, die die Dicke der aufgetragenen Pulverschichten übersteigt und macht somit ganze Volumenbereiche des Pulvers leitfähig. Die erhaltenen Leiterbahnen bestehen aus einem Netzwerk feiner leitfähiger Strukturen, die die keramischen Pulverpartikel umspannen und nicht aus einer kompakten Schicht leitfähiger Partikel. Somit lassen sich die leitfähigen Strukturen nur ungenau strukturieren. Außerdem ist ihre Leitfähigkeit nicht vergleichbar mit der von mittels Siebdruck erzeugten Leiterbahnen einer LTCC Struktur. Daraus ergibt sich, dass die hohe Integrationsdichte elektronischer Bauteile, wie sie z.B. für LTCC-Schaltungen typisch ist, mit diesem Verfahren nicht erreichbar ist. Insbesondere für leistungselektronische Bauteile ist dies ein gravierender Nachteil.

[0072] Die Nachteile bisheriger Verfahren ergeben sich vor allem daraus, dass andere zur Darstellung von Multilagenkeramik, z.B. nach der LTCC-Technologie benutzte Verfahren auf der Verwendung einer keramischen Folie als Halbzeug basieren. In der keramischen Folie

werden Pulverpartikel der für die LTCC-Fertigung verwendeten glaskeramischen oder glasigen und keramischen Partikel über einen hohen Anteil an organischem Binder derart miteinander verbunden, dass eine flexible handhabbare Folie entsteht. Der Binderanteil hat außerdem die Aufgabe, die Folie mittels Thermokompression laminierbar zu machen. Der Organik-Anteil der Folie beträgt typischerweise mehr als 25 bis 40 Vol.-%. Nach den bekannten Prozessschritten der LTCC-Fertigung, Stanzen, Drucken, Folienstapeln, Laminieren etc., entsteht ein bis zu mehreren Millimetern dickes und bis zu mehreren 100 cm² großes Laminat, das in einem zeitintensiven Entbinderungsprozess zunächst von dem organischen Anteil befreit und schließlich gesintert wird. Vorteilhaft entfällt mit dem hier vorgeschlagenen Rakelverfahren bei Verzicht auf organischen Binder ein Entbinderungsprozess vollständig. Ferner entfällt das Laminieren vollständig.

[0073] Damit können die Nachteile der LTCC-Technologie, insbesondere die durch hohe Binder-Anteile verursachten (Material-)Kosten des Binders und (Energie-)Kosten des Entbinderungsprozesses gemäß der vorgeschlagenen additiven Technologie überwunden werden.

[0074] Das vorstehend erwähnte Verfahren [5] auf Basis trockener Pulverschichten ähnelt dem 3D-Drucken: Durch die geringe Packungsdichte loser Pulverschüttungen (Pulverbett), die in der Regel unterhalb von 40% der theoretischen Dichte liegt, ergibt sich eine offenporige Struktur, die - wie erläutert - das präzise Einbringen einer leitfähigen Tinte oder Paste nicht erlaubt. Weiter tritt unweigerlich eine Vermischung von leitfähiger Tinte oder Paste mit den Pulverpartikeln im Pulverbett auf. Beide Effekte stehen dem örtlich präzisen Aufbringen von hochleitfähigen Strukturen mit geringem ohmschem Widerstand entgegen.

[0075] Bisher bekannte 3D-Drucktechniken führen jedoch wegen der geringen Schüttdichte keramischer Pulver zu Grünkörpern geringer Dichte, aus denen sich mittels Sintern in der Regel keine dichten Keramiken generieren lassen. Mit glasig-kristallinen Werkstoffsystemen ist zwar eine Verdichtung zu fast 100 % der theoretischen Dichte über das Erzeugen einer Schmelzphase des glasigen Werkstoffs möglich, jedoch treten beim Sintern derartiger Werkstoffsysteme typischerweise auf Grund der hohen Schwindungen erhebliche Deformationen des Bauteils auf.

[0076] Bei der Verwendung trockener Pulver verursachen herumfliegende Pulverpartikel der losen Pulverschicht beim 3D-Drucken immer wieder Verunreinigungen des Druckkopfs und verkleben die Druckdüsen. Die Verwendung feinsten keramischer Pulver (kleiner 10 µm Partikelgröße), die z.B. zur Steigerung der Sinteraktivität oder zur Ausbildung eines besonders feinkristallinen Gefüges des keramischen Bauteils wünschenswert sind, ist deshalb

in aller Regel mit bisher bekannten Verfahren nicht möglich. Bisher werden zum Aufbau von Multilagenkeramik mittels additiver Fertigung keine Suspensionen (Schlicker) eingesetzt. Jedoch kann über die Verwendung von Suspensionen zum Schichtauftrag eine hohe Gründichte der Schichten erreicht werden. Bevorzugte Schichten können zu keramischen Körpern mit einer Dichte größer 95% der theoretischer Dichte gesintert werden.

[0077] Das vorgeschlagene Verfahren gestattet es, je nach Erfordernis, sowohl ohne als auch mit Binder zu arbeiten. Der Bindergehalt kann in weiten Grenzen variiert bzw. optimiert werden. Diese Flexibilität bzgl. des Bindergehalts rührt insbesondere daher, dass im Gegensatz zur konventionellen Technologie zum Aufbau von Multilagen-Komponenten die Aufgabe des Binders entfällt, die Thermokompression zu ermöglichen. Der Laminationsschritt entfällt durch das direkte Aufrakeln (Aufziehen einer Schicht als Suspension) eines nassen Schlickers auf eine oder mehrere zuvor bereits aufgetragene und getrocknete Schichten, wodurch eine ausgezeichnete Verbindung nach dem Sintern erreicht wird. Die Güte des erreichten Verbundes ist besser als bei Laminationsverfahren und führt deshalb zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit einer Delamination beim Sintern. Bei jedem Beschichtungsschritt ist die Rakelhöhe verstellbar, womit in jedem Aufrakelschritt (Schichtaufbauschnitt) unterschiedliche Schichtdicken aufgebracht werden können, was mit konventioneller Technologie zur Darstellung von LTCC die Verfügbarkeit von Grünfolien unterschiedlicher Dicke bedeutet. Das Vorhalten von Grünfolien unterschiedlicher Dicke ist aufwendig und kostenintensiv, sodass das vorgeschlagene Verfahren Kostenvorteile bietet.

[0078] Das hier beschriebene additive Fertigungsverfahren erlaubt den kombinierten Aufbau von komplexen 3D-Strukturen mit integrierten Leiterbahnen bzw. funktionellen Strukturen. Dadurch können z.B. Mehrlagen-Schaltungsträger (LTCC) und andere elektronische Bauteile durch den schichtweisen Aufbau von dielektrischen Schichten und leitenden Strukturen erhalten werden. Dabei können beliebige pulverförmige Materialien (Dielektrika, Ferroelektrika, Ferrimagnetika, Leiter, Widerstände, etc.) in Schlickerform als Schicht aufgebracht werden, ohne vorher entsprechende Grünfolien aufwendig herstellen zu müssen. Danach schließt sich jeweils ein Trocknungsschritt an. Anschließend können beliebige Pasten (Leiter, Widerstände, Ferroelektrika, etc.) z.B. aus einem Druckkopf oder mittels Siebdruck in beliebiger Struktur aufgebracht werden.

[0079] Wesentliche Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens sind:

- gleichzeitiger Aufbau von 3D-Strukturen und inneren funktionellen Strukturen;
- keine Herstellung von Grünfolien erforderlich, deshalb völliger Verzicht auf Organik-Zusatz möglich;

- keine Lamination über Thermokompression oder andere Verfahren erforderlich;
- geringe oder keine Bindermenge;
- problemloser Einsatz wasserbasierter Systeme;
- sehr flexible einsetzbar für Einzelstücke und Kleinserien.

[0080] Im Gegensatz zu dem unter [5] beschriebenen Verfahren werden zum Schichtauftrag Suspensionen und nicht lose rieselfähige Pulver verwendet. Beim Einsatz keramischer Suspensionen zur Herstellung von Grünsichten entfällt die Problematik einer Verunreinigung des Druckkopfes durch umherfliegende Keramikpartikel. Weiter entfällt die Problematik, dass sehr feine Partikel eine geringe Fließfähigkeit im trocknen Zustand besitzen und daher ab einer bestimmten minimalen Größe nicht mehr zum Schichtauftrag geeignet sind oder granuliert werden müssen. Da fließfähige Granulate um ein vielfaches größer sind als die Pulverpartikel, ist die Erzeugung von Schichtdicken unterhalb 30µm mit trockenen Pulvern nicht mehr möglich. Feine Partikel sind jedoch von Vorteil z.B. beim Einstellen einer bestimmten Oberflächenqualität, einer bestimmten Sinterfähigkeit oder bei der Einstellung bestimmter besonders feinkristalliner Gefüge in dem Keramikbauteil.

[0081] Durch die Möglichkeit, Schlicker mit geringem Anteil an organischem Binder zum Aufbau von Schichten und letztlich 3D-Strukturen mit integrierten elektrischen Leiterbahnen, wie z.B. LTCC-Strukturen, zu verwenden, ist das vorgeschlagene Verfahren besonders kostengünstig. Es entfällt die aufwendige Herstellung von Grünfolien (Schlickerherstellung, Gießen auf Gießband mit speziellem Gießschuh und Trägerfolie, Trocknen, Zuschneiden). Die hohe Packungsdichte und somit Festigkeit der mittels Schlicker aufgetragenen Schichten erlaubt den Einsatz für die Massenfertigung besonders kostengünstiger Siebdrucktechnologien zum Aufbringen elektrisch leitender Pasten.

[0082] Kennzeichnend für das vorgeschlagene Verfahren ist das lokale Aufdrucken einer leitfähigen Tinte oder einer leitfähigen Paste mit Hilfe eines Druckkopfes oder mittels Siebdruck auf eine Grünsicht, bevor eine neue Schlicker-Schicht aufgebracht wird. Im Gegensatz zu dem unter [5] beschriebenen Verfahren ist die Anwendung der für die Massenfertigung von LTCC-Bauteilen vorteilhaften Siebdrucktechnologie zum Aufbringen von leitfähigen Pasten anwendbar. Aufgrund der hohen Viskosität von Siebdruckpasten einerseits und der hohen Packungsdichte der mittels Schlicker aufgetragenen Pulverschichten andererseits durchdringt die leitfähige Paste die Grünsichten typischerweise nicht. Das ist darauf zurückzuführen, dass die in der Paste enthaltenen Partikel aufgrund ihrer Größe nicht in die poröse Struktur der grünen Schicht eindringen können. Neben einer derartigen

mechanischen Steuerung der Eindringtiefe kann die Eindringtiefe auch oder zusätzlich über die Benetzung, z.B. hydrophobe bzw. hydrophile Eigenschaften der Schicht oder eines mittels Drucktechnologie lokal aufgetragenen Konditionierungsmittels gesteuert werden.

[0083] Eine Durchdringung einer zuletzt aufgetragenen Schicht ist für eine Durchkontaktierung von Leiterbahnen von einer Schicht zur anderen nutzbar. Das Einbringen von lokalen Durchkontaktierungen, sogenannten VIAs (Vertical Interconnect Access), in die einzelnen Schichten ist notwendig, um einzelne Leiterbahnebenen miteinander zu verbinden. Zum Einbringen von VIAs kommen grundsätzlich vier Verfahren in Betracht:

1. Drucken möglichst dünnflüssiger Metallisierungstinten z.B. mittels Druckkopf in ein möglichst dichtes Pulverbett ohne oder mit wenig Binderanteil (optimierter Binderanteil); dadurch Einsaugen der Tinte bzw. Paste in das Pulverbett durch Kapillarkräfte. Die Eindringtiefe soll über die Kapillarität und Durchströmbarkeit der Pulverschüttung (Partikelgröße, Partikelgrößenverteilung, Pulvermischungen, Porosität, etc.) als auch über die Viskosität der Paste und insbesondere deren Partikelgröße gesteuert werden, ggf. auch über hydrophobe/hydrophile Eigenschaften. Beim Drucken von Leiterbahnen werden partikelgefüllte Pasten eingesetzt, deren Eigenschaften ein Einsaugen verhindern.
2. In die getrockneten Schichten werden Löcher mittels Laserstrahlung gebohrt (Integration des Lasers in RPT-Gerät notwendig), die anschließend mit Hilfe eines Druckkopfes mit Metallisierungspaste aufgefüllt werden. RPT steht hierbei für Rapid Prototyping.
3. Drucken der metallischen VIA-Füllung in definierter Höhe, Trocknen. Anschließend erfolgt Aufrakeln des Schlickers für eine neue Schicht und hierbei Auffüllen der Nicht-VIA-Fläche bzw. Überrakeln der VIAs unter Berücksichtigung der Trocknungsschwindigkeit der gerakelten Schicht, damit die VIA-Oberflächen nach dem Trocknen als Kontakte, bzw. als Anschlussflächen, freiliegen. Zum Freilegen erfolgt ggf. ein Einstellen hydrophober Oberflächen der VIAs um eine Nichtbenetzung durch die nachfolgend aufgerakelte Schicht zu bewirken. Ebenso kann eine Anschlussfläche mittels Materialabtrag durch Laserstrahlung freigelegt werden.
4. Auftrag von VIAs und Leiterbahnen als reine Binder- bzw. Kohlenstoffpaste über einen Druckkopf; beim Sintern brennt die Paste vollständig aus. Dann Auffüllen der Hohlräume durch Imprägnieren unter Vakuum mit einem kostengünstigen, aufgeschmolzenen Metall als Leiter [6].

[0084] Da die Schichten nicht mehr gesondert gehandhabt bzw. bearbeitet werden, sondern nach ihrer Herstellung auf der Arbeitsbühne / dem Tisch – hier auch als Unterlage bezeichnet – verbleiben, kann auf den Binder vollständig oder fast vollständig verzichtet werden. Dies hat den Vorteil, dass die Trocknung schneller abläuft und keine Bindergradienten in der Schicht entstehen, was wiederum zu weniger Schäden und Verzug während des Binderausbrandes und Sinterns führt.

[0085] Das Verfahren erlaubt den Einsatz wasserbasierter Schlicker mit einem dazu passendem (hydrophilen) Bindersystem. Beim Foliengießen führt das Arbeiten mit wasserbasierten Systemen aufgrund der hohen Oberflächenspannung des Wassers zu einer erhöhten Neigung zur Rissbildung beim Trocknen. Bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren treten weniger Trocknungsprobleme auf, da der Schlicker auf eine poröse Schicht aufgerakelt wird, was zum Abzug der Feuchte in die unteren Schichten durch Kapillarkräfte führt. Vorteilhaft erfolgt die Trocknung mithin nicht allein durch ein Abdampfen an der Oberfläche der jeweiligen Schicht. Auf getrockneten, wasserbasierten Schichten besteht die Möglichkeit Pasten und/oder Tinten auf Basis organischer Lösemittel zur Einstellung eines hydrophoben Verhaltens zu nutzen. Ansonsten ist auch der Siebdruck von Tinten möglich. Dies ist ein weiterer Vorteil des Verfahrens, da beim Drucken aus einer Düse die Forderung nach einer langen Verarbeitbarkeit der Paste auf dem Sieb entfällt, was den Einsatz von Wasser als Lösungsmittel beim Siebdruck ausschließt.

[0086] Zur Reduzierung einer anisotropen Schwindung werden in der Mehrlagenteknik die Folien alternierend um 90° gedreht gestapelt und laminiert. Aus dem gleichen Grund werden deshalb die Schichten alternierend um 90° gedreht aufgerakelt. Dies kann am einfachsten durch schrittweise Rotation des RPT-Tisches erreicht werden.

[0087] Die Kombination des pulverbasierten RPT-Verfahrens (3D-Druck) entsprechend der Veröffentlichung von W. Kollenberg [5] führt zu gröberen Leiterbahnstrukturen, wohingegen das hier vorgeschlagene Verfahren zu Leiterbahndichten vergleichbar zu jenen der konventionellen LTCC Technologie führt (geringere Lines & Spaces, dünnere Lagen als im Vergleich zur Veröffentlichung von W. Kollenberg [5]). Im Vergleich zur Grünfolien-basierten Mehrlagenteknik können beim Einsatz eines Tintenstrahl-Druckers auch geringere Lines & Spaces erreicht werden.

[0088] Das hier beschriebene additive Fertigungsverfahren erlaubt den kombinierten Aufbau von komplexen 3D-Strukturen und integrierten Schaltungen bzw. funktionellen Strukturen in einer Anlage ohne keramische Grünfolien als Halbzeug herstellen zu müssen.

[0089] Mit dem additiven Fertigungsverfahren erreichbare Vorteile umfassen beispielsweise:

- gleichzeitiger Aufbau von 3D-Strukturen und inneren 3D-vernetzten funktionellen Strukturen;
- keine Herstellung von Grünfolien;
- keine Lamination über Thermokompression;
- geringe oder keine Bindermenge;
- Einsatz wasserbasierter Systeme;
- sehr flexibel einsetzbar für Einzelstücke und Kleinserien.

[0090] Durch die Möglichkeit, Schlicker mit geringem Anteil an organischem Binder zum Aufbau von Schichten und letztlich 3D-Strukturen mit integrierten elektrischen Schaltkreisen, wie z.B. LTCC-Strukturen, verwenden zu können, ist das Verfahren besonders kostengünstig.

[0091] Die hohe Packungsdichte und somit Festigkeit der mittels Schlicker aufgetragenen Schichten erlaubt für die Massenfertigung den Einsatz besonders kostengünstiger Siebdrucktechnologien zum Aufbringen elektrisch leitender Pasten.

[0092] Die vorliegende Erfindung wurde anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Diese Ausführungsbeispiele sollten keinesfalls als einschränkend für die vorliegende Erfindung verstanden werden. Die nachfolgenden Ansprüche stellen einen ersten, nicht bindenden Versuch dar, die Erfindung allgemein zu definieren.

Zitierte Literatur:

- [1] Griffin, C., Daufenbach, J.D., McMillin, S. (1994): Desktop Manufacturing: LOM vs. Pressing. Am. Ceram. Soc. Bull. 73 (8), 109-113;
- [2] Jensen, K. (1993): State-of-the Art of Different Available and Coming RP-Systems. Proceedings of „2nd Scandinavian Rapid Prototyping Conference, Exhibition and Course“, Aarhus, Dänemark, 4-6 October, 1993;
- [3] Sheng, X., Tucholke, U. (1991): On Triangulating Surface Model for SLA. Proceedings of the 2nd International Conference on Rapid Prototyping, Dayton, Ohio, USA, June 23-26, 1991, 236-245;
- [4] Melcher, R.R. (2009) Rapid Prototyping von Keramiken durch 3D-Drucken; Dissertation, Universität Erlangen/Nürnberg;
- [5] Kollenberg, W. (2013): WZR ceramic solutions: Vorstoß in die dritte Dimension; Keramische Zeitschrift 6, 342.
- [6] Moulson, A.J.; Herbert, J.M. (1990): Electroceramics: Materials Properties Applications; Chapman and Hall, London, 1990

Ansprüche

1. Additives Fertigungsverfahren für einen keramischen Schaltungsträger umfassend eine Mehrlagenstruktur, umfassend:
 - a) Bereitstellen eines keramischen Schlickers;
 - b) Ausbilden einer Schlickerschicht durch Aufrakeln des keramischen Schlickers auf eine Unterlage;
 - c) Trocknen der Schlickerschicht;
 - d) Zumindest abschnittsweises Erzeugen zumindest einer horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn;
 - e) Wiederholen der Schritte b) bis d), wobei die getrocknete Schlickerschicht als Unterlage dient;
 - f) Erhalten eines Grünkörpers, umfassend eine Mehrlagenstruktur;
 - g) thermisches Behandeln des Grünkörpers.

2. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 1 weiterhin umfassend:
 - h) schichtweise zumindest abschnittsweises Konsolidieren des Grünkörpers.

3. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 2, wobei das schichtweise lokale Konsolidieren ein zumindest abschnittsweises Aufbringen eines Binders auf der grünen keramischen Mehrlagenstruktur umfasst.

4. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 2, wobei das schichtweise lokale Konsolidieren ein zumindest abschnittsweises Lasersintern einer grünen keramischen Mehrlagenstruktur umfasst.

5. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der keramische Schlicker Wasser und/oder ein organisches Lösungsmittel umfasst.
6. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei während eines optionalen Binderausbrandprozesses und während eines Sinterns aus einer oder mehreren anorganischen Komponenten des keramischen Schlickers eine Struktur erhalten wird, umfassend einen LTCC-Werkstoff.
7. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend:
 - i) Ausbilden in der Mehrlagenstruktur zumindest einer Lage, die sich hinsichtlich einer dielektrischen, einer ferroelektrischen, einer magnetischen und/oder einer piezoelektrischen Eigenschaft von einer benachbarten Lage der Mehrlagenstruktur unterscheidet.
8. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der keramische Schlicker eine HTCC-Zusammensetzung umfasst.
9. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein Bindergehalt des keramischen Schlickers einen Anteil umfasst:
 - zwischen 0 und 10 Gew.-%, vorzugsweise
 - zwischen 1 und 8 Gew.-%, oder
 - zwischen 2,5 und 7 Gew.-%.
10. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Höhe der Schlickerschicht durch Einstellen einer Rakelhöhe eingestellt wird und die Höhe benachbarter Schichten unterschiedlich ist.
11. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Trocknen ein Beheizen, eine aktive Konvektion und/oder ein Exponieren gegenüber einer IR-Strahlung ohne ein Umsetzen der aufgetragenen Schicht in ein anderes Aggregat umfasst.

12. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der vertikal verlaufenden Leiterbahn ein abschnittsweises Abtragen der getrockneten Schlickerschicht in Form einer Ausnehmung und ein Füllen der Ausnehmung mit einer Metallisierungspaste umfasst.
13. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 12 dadurch gekennzeichnet, dass das Abtragen mit einem Laser erfolgt.
14. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Drucken einer Metallisierungspaste mit einer definierten Höhe auf der getrockneten Schlickerschicht umfasst und ein daran anschließendes Ausbilden einer Schlickerschicht durch Aufrakeln von keramischem Schlicker ein Auffüllen eines Zwischenraumes zwischen mit Metallisierungspaste bedruckten Abschnitten umfasst.
15. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 14, wobei eine Oberfläche der gedruckten Metallisierungspaste vor dem Auffüllen des Zwischenraumes hydrophobiert wird.
16. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 1 und 14, wobei eine während des Ausbildens der Schlickerschicht verunreinigte Oberfläche einer vertikal verlaufenden Leiterbahn vor einem anschließenden Verfahrensschritt freigestellt wird.
17. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 16, wobei das Freistellen mit Hilfe eines Laserstrahls erfolgt.
18. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn mittels Tintenstrahldruck und/oder mittels Siebdruck und/oder mittels Robocasting erfolgt.
19. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Einstellen einer

- rheologischen Eigenschaft und/oder einer Benetzungseigenschaft eines Druckmediums umfasst.
20. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Auswählen einer Größe metallischer Partikel in einer Drucktinte und/oder in einer Siebdruckpaste umfasst, sodass ein Steuern eines Eindringens der metallischen Partikel in die getrocknete Schlickerschicht ermöglicht wird.
 21. Additives Fertigungsverfahren nach einem der Ansprüche 19 oder 20, wobei das Steuern ein Nichteindringen der metallischen Partikel, ein teilweises Durchdringen einer getrockneten Schlickerschicht mit den metallischen Partikeln oder ein vollständiges Durchdringen einer getrockneten Schlickerschicht mit den metallischen Partikeln umfasst.
 22. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen der horizontal und/oder vertikal verlaufenden Leiterbahn ein Aufbringen einer Opferpaste umfasst, wobei die Opferpaste nach einem Ausbrennen und/oder Sintern einen Hohlraum hinterlässt.
 23. Additives Fertigungsverfahren nach Anspruch 22, weiter umfassend
 - k) Füllen des Hohlraumes mit einer verfestigbaren Flüssigkeit, ausgewählt unter einer polymerisationsfähigen Mischung, einem geschmolzenen Metall, einer Glasschmelze, oder einer Polymerschmelze.
 24. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Ausbilden einer zweiten Schlickerschicht mit einer um 90° gedrehten Arbeitsrichtung einer Rakel erfolgt.
 25. Additives Fertigungsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Unterlage ein über eine folienbasierte Multilayertechnologie hergestelltes grünes oder gesintertes Laminat ist.

26. Vorrichtung, umfassend einen keramischen Schaltungsträger, herstellbar nach einem der Ansprüche 1 bis 25.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/062401

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B28B1/00 H01L23/00 H01L21/00 H05K3/00 H05K3/46
 B32B18/00 H05K1/03 B29C67/00
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B28B H01L H05K C04B B32B B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	THOMAS MÜHLER ET AL: "Slurry-Based Additive Manufacturing of Ceramics", INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED CERAMIC TECHNOLOGY, vol. 12, no. 1, 8 January 2015 (2015-01-08), pages 18-25, XP055295526, US	4
A	ISSN: 1546-542X, DOI: 10.1111/ijac.12113 the whole document und insbesondere figure 2 page 20, column 2, line 7 - page 21, column 1, line 43 page 21, column 2, line 21 - page 22, column 2, line 5 page 25, paragraph Conclusions ----- -/--	1,2, 5-11,25

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 22 August 2016	Date of mailing of the international search report 30/08/2016
--	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Buffet, Noemie
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/062401

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/164078 A2 (BAM BUNDESANSTALT MATFORSCHUNG [DE]; GUENSTER JENS [DE]; GOMES CYNTHIA) 6 December 2012 (2012-12-06) page 2, paragraph 6. claims 2, 3, 12 page 15, paragraph 1. page 16, paragraph 6. page 19, paragraph 3. -----	1-3, 5-11,25
X	WO 2013/030064 A1 (SWEREA IVF AB [SE]; AAKLINT THORBJOERN [SE]; CARLSTROEM ELIS [SE]; JOH) 7 March 2013 (2013-03-07)	1-3,5-26
Y	claims 1, 3, 5, 7 figure 4 page 4, lines 12-13 page 7, lines 10, 22-24 page 8, lines 4-8, 20-22, 24-25 page 9, lines 25-26 -----	4
X	EP 0 525 497 A1 (DU PONT [US]) 3 February 1993 (1993-02-03)	26
A	claims 1, 3 -----	6,12,13, 18
X	POLSAKIEWICZ ET AL: "LTCC-Based Packaging by Functionalized 3D-Printing", DDMC (DIRECT DIGITAL MANUFACTURING CONFERENCE),, 12 March 2014 (2014-03-12), pages 259-263, XP008181209, -----	26
A	abstract paragraph [2.2_Materials_Selection] paragraph [4_Conclusions] figure 4 -----	6,7,18, 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/062401

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2012164078 A2	06-12-2012	CN 103702811 A	02-04-2014
		EP 2714354 A2	09-04-2014
		JP 2014522331 A	04-09-2014
		KR 20140048895 A	24-04-2014
		US 2014227123 A1	14-08-2014
		WO 2012164078 A2	06-12-2012
WO 2013030064 A1	07-03-2013	CA 2846461 A1	07-03-2013
		CN 103826830 A	28-05-2014
		EA 201400272 A1	30-06-2014
		EP 2747986 A1	02-07-2014
		ES 2567076 T3	19-04-2016
		JP 2014529523 A	13-11-2014
		KR 20140069021 A	09-06-2014
		SE 1100624 A1	27-02-2013
		US 2015306664 A1	29-10-2015
		WO 2013030064 A1	07-03-2013
EP 0525497 A1	03-02-1993	CN 1069157 A	17-02-1993
		EP 0525497 A1	03-02-1993
		JP H05211398 A	20-08-1993
		US 5293025 A	08-03-1994

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B28B1/00 H01L23/00 B32B18/00 H05K1/03	H01L21/00 H05K3/00 B29C67/00 H05K3/46
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B28B H01L H05K C04B B32B B29C		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y A	THOMAS MÜHLER ET AL: "Slurry-Based Additive Manufacturing of Ceramics", INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED CERAMIC TECHNOLOGY, Bd. 12, Nr. 1, 8. Januar 2015 (2015-01-08), Seiten 18-25, XP055295526, US ISSN: 1546-542X, DOI: 10.1111/ijac.12113 das ganze Dokument und insbesondere Abbildung 2 Seite 20, Spalte 2, Zeile 7 - Seite 21, Spalte 1, Zeile 43 Seite 21, Spalte 2, Zeile 21 - Seite 22, Spalte 2, Zeile 5 Seite 25, Absatz Conclusions ----- -/--	4 1,2, 5-11,25
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
22. August 2016		30/08/2016
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Buffet, Noemie

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2012/164078 A2 (BAM BUNDESANSTALT MATFORSCHUNG [DE]; GUENSTER JENS [DE]; GOMES CYNTHIA) 6. Dezember 2012 (2012-12-06) Seite 2, Absatz 6. Ansprüche 2, 3, 12 Seite 15, Absatz 1. Seite 16, Absatz 6. Seite 19, Absatz 3. -----	1-3, 5-11,25
X	WO 2013/030064 A1 (SWEREA IVF AB [SE]; AAKLINT THORBJOERN [SE]; CARLSTROEM ELIS [SE]; JOH) 7. März 2013 (2013-03-07)	1-3,5-26
Y	Ansprüche 1, 3, 5, 7 Abbildung 4 Seite 4, Zeilen 12-13 Seite 7, Zeilen 10, 22-24 Seite 8, Zeilen 4-8, 20-22, 24-25 Seite 9, Zeilen 25-26 -----	4
X	EP 0 525 497 A1 (DU PONT [US]) 3. Februar 1993 (1993-02-03)	26
A	Ansprüche 1, 3 -----	6,12,13, 18
X	POLSAKIEWICZ ET AL: "LTCC-Based Packaging by Functionalized 3D-Printing", DDMC (DIRECT DIGITAL MANUFACTURING CONFERENCE),, 12. März 2014 (2014-03-12), Seiten 259-263, XP008181209, -----	26
A	Zusammenfassung Absatz [2.2 Materials Selection] Absatz [4 Conclusions] Abbildung 4 -----	6,7,18, 19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/062401

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2012164078 A2	06-12-2012	CN 103702811 A	02-04-2014
		EP 2714354 A2	09-04-2014
		JP 2014522331 A	04-09-2014
		KR 20140048895 A	24-04-2014
		US 2014227123 A1	14-08-2014
		WO 2012164078 A2	06-12-2012

WO 2013030064 A1	07-03-2013	CA 2846461 A1	07-03-2013
		CN 103826830 A	28-05-2014
		EA 201400272 A1	30-06-2014
		EP 2747986 A1	02-07-2014
		ES 2567076 T3	19-04-2016
		JP 2014529523 A	13-11-2014
		KR 20140069021 A	09-06-2014
		SE 1100624 A1	27-02-2013
		US 2015306664 A1	29-10-2015
WO 2013030064 A1	07-03-2013		

EP 0525497 A1	03-02-1993	CN 1069157 A	17-02-1993
		EP 0525497 A1	03-02-1993
		JP H05211398 A	20-08-1993
		US 5293025 A	08-03-1994
