

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-531036

(P2012-531036A)

(43) 公表日 平成24年12月6日(2012.12.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 41/24 (2006.01)	HO 1 L 41/22 A	5 D 0 1 9
HO 1 L 41/187 (2006.01)	HO 1 L 41/18 1 O 1 D	
HO 1 L 41/08 (2006.01)	HO 1 L 41/18 1 O 1 C	
HO 1 L 41/22 (2006.01)	HO 1 L 41/18 1 O 1 B	
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/08 H	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2012-516070 (P2012-516070)  
 (86) (22) 出願日 平成22年6月21日 (2010. 6. 21)  
 (85) 翻訳文提出日 平成24年1月30日 (2012. 1. 30)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2010/001778  
 (87) 国際公開番号 W02010/147675  
 (87) 国際公開日 平成22年12月23日 (2010. 12. 23)  
 (31) 優先権主張番号 61/218, 690  
 (32) 優先日 平成21年6月19日 (2009. 6. 19)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 508264586  
 ソナベーション, インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 フロリダ 33418,  
 パーム ビーチ ガーデنز, ハイア  
 ット ドライブ 357  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策  
 (74) 代理人 100062409  
 弁理士 安村 高明  
 (74) 代理人 100113413  
 弁理士 森下 夏樹  
 (72) 発明者 リウフ, デ  
 アメリカ合衆国 フロリダ 33414,  
 ウェリントン, ウィスパリング ウィ  
 ロー ドライブ 15385  
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電性セラミック本体を製造する方法

(57) 【要約】

本発明は、圧電性セラミック本体およびこれに由来するデバイスを製造するための方法に関する。上記方法は、圧電性セラミック粉末と、ポリマー結合剤および界面活性剤とを混合して、スリップ混合物を形成する工程、上記スリップ混合物を型にとる工程、および上記スリップ混合物を上記型の中で硬化させて、未焼結本体を形成する工程、上記未焼結本体に刻み目を入れて、ミクロンサイズのセラミック要素および間隙のアレイを有する刻み目を入れた未焼結本体を形成する工程、ならびに上記刻み目を入れた未焼結本体を焼結して、焼結されたセラミック本体を形成する工程を包含する。上記焼結されたセラミック本体は、圧電性セラミック - ポリマー複合材を形成するためにポリマー材料中に覆われるようにさらに加工処理され得る。上記圧電性セラミック - ポリマー複合材は、デバイス（例えば、音響変換器およびセンサ）を形成するためにさらに加工処理され得る。

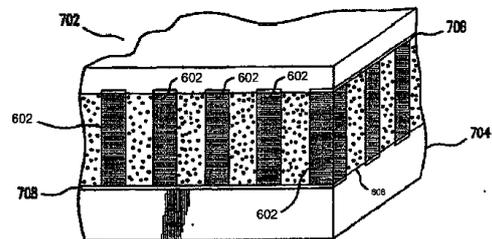


FIG. 7

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

圧電性セラミック本体を製造するための方法であって、該方法は、

(a) セラミック粉末、ポリマー結合剤および界面活性剤を混合して、重量による固体負荷を有するスリップ混合物を形成する工程；

(b) 該スリップ混合物を型にとる工程；

(c) 該スリップ混合物を該型の中で硬化させて、未焼結本体を形成する工程；

(d) 該未焼結本体を該型から外す工程；

(e) 該未焼結本体に刻み目を入れて、複数のミクロンサイズのセラミック要素および間隙を含むアレイを有する刻み目を入れた未焼結本体を形成する工程；ならびに

(f) 該刻み目を入れた未焼結本体を焼結して、密度を高めた焼結された本体を形成する工程、

を包含する、方法。

**【請求項 2】**

前記セラミック粉末は、重量%で、前記スリップ混合物のうちの少なくとも90%を構成する、請求項1に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記セラミック粉末は、体積%で、前記スリップ混合物のうちの少なくとも95%を構成する、請求項1に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記セラミック粉末をすりつぶす工程をさらに包含し、ここで該セラミック粉末は、0.2 μm ~ 1.6 μmの粒度範囲を有する、請求項1に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記セラミック粉末は、圧電性セラミック粉末もしくは電歪性セラミック粉末である、請求項1に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記圧電性セラミック粉末は、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、チタン酸ニオブ鉛(PNT)、チタン酸ニオブスカンジウム鉛(PSNT)、(PMN)、チタン酸鉛、およびチタン酸バリウムからなる群より選択される、請求項2に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記ポリマー結合剤は、エポキシポリマーである、請求項1に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記エポキシポリマーは、2成分エポキシ樹脂である、請求項7に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記スリップは、分散剤をさらに含む、請求項1に記載の方法。

**【請求項 10】**

前記硬化する工程は、前記スリップ混合物を、100 ~ 140 の温度へと、前記未焼結本体を形成するに十分な時間にわたって前記型の中で硬化させる工程を包含する、請求項1に記載の方法。

**【請求項 11】**

前記刻み目を入れる工程は、前記未焼結本体を、ダイシング機でダイス加工する工程を包含する、請求項1に記載の方法。

**【請求項 12】**

前記ミクロンサイズのセラミック要素は、高さ150 μm ~ 325 μm、幅35 μm ~ 65 μm、および要素間間隙25 μm ~ 50 μmの寸法を有する、請求項1に記載の方法。

**【請求項 13】**

前記ポリマー結合剤を、前記刻み目を入れた未焼結本体から除去するための素焼き処理をさらに包含し、ここで該刻み目を入れた未焼結本体は、該結合剤を焼き尽くすために、十分な温度へと、十分な時間にわたって加熱される、請求項1に記載の方法。

**【請求項 14】**

10

20

30

40

50

前記素焼き処理は、前記刻み目を入れた未焼結本体を、60 ~ 750 の間の温度へと加熱する工程を、さらに包含する、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記焼結する工程は、前記本体を、1000 ~ 1100 の間の温度へと、1時間~2時間の間の時間にわたって加熱する工程を、さらに包含する、請求項1に記載の方法。

【請求項16】

前記焼結する工程は、前記本体を、前記焼結されたセラミック本体を、理論的密度の少なくとも95%へと密度を高めるのに十分な温度へと十分な時間にわたって加熱する工程を、さらに包含する、請求項1に記載の方法。

【請求項17】

前記焼結したセラミック本体をポリマー材料中に覆って、前記間隙を満たし、セラミック-ポリマー複合材を形成する工程を、さらに包含する、請求項1に記載の方法。

【請求項18】

デバイスのための圧電性セラミック複合材を製造するための方法であって、該方法は、  
(a) 圧電性セラミック粉末、有機結合剤、および界面活性剤を混合して、スリップを形成する工程であって、ここで該スリップは、少なくとも90重量%の固体負荷を有する、工程；

(b) 該スリップを型にとって、未焼結本体を形成する工程；

(c) 該未焼結本体を該型から外す工程；

(d) 該未焼結本体に刻み目を入れて、ミクロンサイズのセラミック要素および間隙の  
アレイを有する刻み目を入れた未焼結本体を形成する工程；

(e) 該刻み目を入れた未焼結本体を素焼きして、該ポリマー結合剤を焼き尽くす工程；

(f) 該刻み目を入れた未焼結本体を焼結して、焼結されたセラミック本体を形成する工程；ならびに

(g) 該焼結されたセラミック本体をポリマー材料中に覆って、セラミック-ポリマー複合材を形成する工程、  
を包含する、方法。

【請求項19】

前記セラミック粉末をすりつぶす工程をさらに包含し、ここで該セラミック粉末は、0 . 2 μm ~ 1 . 6 μmの粒度範囲を有する、請求項18に記載の方法。

【請求項20】

前記圧電性セラミック粉末は、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)、チタン酸ニオブ鉛(PNT)、チタン酸ニオブスカンジウム鉛(PSNT)、(PMN)、チタン酸鉛、およびチタン酸バリウムからなる群より選択される、請求項19に記載の方法。

【請求項21】

前記ポリマー結合剤は、2成分エポキシ樹脂である、請求項18に記載の方法。

【請求項22】

前記スリップは、分散剤をさらに含む、請求項18に記載の方法。

【請求項23】

前記硬化工程は、110 ~ 130 の温度で、12 ~ 24時間の間の時間にわたって前記スリップ混合物を前記型の中で硬化させて、前記未焼結本体を形成する工程を包含する、請求項18に記載の方法。

【請求項24】

前記ミクロンサイズのセラミック要素は、高さ200 μm ~ 300 μm、幅50 μm ~ 65 μm、および要素間間隙20 μm ~ 35 μmの寸法を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項25】

前記素焼き工程は、130 ~ 750 の間の温度へと、60時間~68時間の間の時間にわたって前記刻み目を入れた未焼結本体を加熱する工程を、さらに包含する、請求項18に記載の方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 26】

前記焼結する工程は、1000 ~ 1100 の間の温度に、1時間 ~ 2時間の間の時間にわたって、前記本体を加熱する工程を、さらに包含する、請求項18に記載の方法。

## 【請求項 27】

前記焼結する工程は、前記本体を、理論的密度の97% ~ 99%へと前記焼結されたセラミック本体の密度を高めるために十分な温度へと十分な時間にわたって加熱する工程を、さらに包含する、請求項18に記載の方法。

## 【請求項 28】

前記複合材を機械加工して、前記焼結されたセラミック本体の少なくとも1つの表面を曝す工程を、さらに包含する、請求項18に記載の方法。

10

## 【請求項 29】

前記複合材への接触を形成して、前記焼結されたセラミック本体への電気的接続性を提供する工程を、さらに包含する、請求項28に記載の方法。

## 【請求項 30】

前記焼結されたセラミック本体を電気的成分とともに位置決めして、デバイスを形成する工程を包含する、請求項29に記載の方法。

## 【請求項 31】

1 - 3 複合材製造プロセスであって、該プロセスは、

(a) 未焼結タイルを基材として提供する工程；および

(b) 構造化プロセスを使用して、該未焼結タイルに基づいて、所定の幾何的配置を含む要素のマトリクスを作り出す工程、

20

を包含する、プロセス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

(発明の背景)

(発明の分野)

本発明は、デバイス(例えば、変換器およびセンサ)のための圧電性セラミック複合材を製造するための方法に関する。より具体的には、本発明は、圧電性セラミック - ポリマー複合材のための圧電性セラミック本体を製造するための方法に関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

(背景技術)

圧電性複合材が、超音波画像化、生物測定学、および非破壊試験(NDT)のための音響変換器において、頻度を増大しつつ、使用されてきた。代表的には、このような変換器における上記音響作動要素は、圧電性セラミック材料から作製される。しかし、大きなアレイの音響変換器に関する市場需要は、上記圧電性複合材の製造に關与する高コストによって阻害されてきた。上記高コストは、上記変換器のためのセラミック本体を製造することに関連する製造プロセスの困難性に主に起因する。

## 【0003】

40

変換器のための圧電性複合材を製造するための最も一般的な製造法は、ダイス加工および充填(dice and fill)(D&F)法である。上記D&F法において、ウェハ鋸歯(wafer saw)は、筋を全て貫通して切断することなく(すなわち、連続した材料基部を残す)、矩形もしくは斜方形の形状にした切り溝のグリッドを、焼結された圧電性セラミック本体に刻むために使用される。次いで、上記切り溝には、ポリマーが充填される(封じ込め(encapsulation)として公知のプロセス)。この方法は、ポリマー充填剤によって囲まれるセラミック柱状物のマトリクスを生成する。変換器もしくはセンサを製造するためのさらなる加工処置は、上記セラミック本体の任意の溝を付けていないセクションをすりつぶし、曝されたセラミックの表面を電気めっきし、型(shape)およびポーリング(polishing)へと機械加工することによって続く

50

。

## 【0004】

しかし、上記D & F法は、いくつかの制限を有する。1つのこのような制限は、上記D & F法が、上記変換器の頻度および関連づけられた柱のピッチ (pillar pitch) に依存して、1平方インチあたり約\$100 ~ \$200かかることである。さらに、上記圧電性の焼結したセラミック本体の硬度に起因して、上記加工処理時間は、時間がかかり；約3mm/秒 ~ 5mm/秒の速度でダイス加工し得るに過ぎない。さらに、ダイス加工は、上記セラミック本体に溝を付ける (刻み目を入れる) ために、薄いダイヤモンドコーティングした刃を利用する。上記刃は高価であり、短い使用寿命を有し、変化しがたい。

10

## 【0005】

従って、必要とされるのは、大きなアレイの音響変換器およびセンサのために圧電性複合材を製造するための圧電性セラミック本体を信頼性高く製造するためのより効率的かつ低コストの方法である。また、収縮制御を改善し、歪み (warp age) を低下させるための方法および/もしくはシステムが必要とされる。収縮の制御は、変換器およびセンサの製造のための焼結されたセラミック本体のより効率的な加工処理を可能にする。

## 【発明の概要】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

(発明の簡単な要旨)

本発明は、圧電性複合材を製造するための改善された方法を提供する。一実施形態において、本発明は、圧電性セラミック本体を製造するための方法を包含し、上記方法は、セラミック粉末、ポリマー結合剤および界面活性剤を混合して、重量による固体負荷を有する (with a solids loading by weight) スリップ混合物を形成する工程；上記スリップ混合物を型にとる (cast into a mold) 工程；上記スリップ混合物を上記型の中で硬化させて、未焼結本体 (green body) を形成する工程、上記未焼結本体を上記型から外す工程；上記未焼結本体に刻み目を入れて、複数のミクロンサイズにセラミック要素および間隙を含むアレイを有する刻み目を入れた未焼結本体を形成する工程；ならびに上記刻み目を入れた未焼結本体を焼結させて、密度を高めた焼結された本体を形成する工程を包含する。

20

30

## 【0007】

本発明の別の局面によれば、上記焼結されたセラミック本体は、上記刻み目を入れたセラミック本体をポリマー材料中に封じ込めることによって、圧電性セラミック - ポリマー複合材を形成するためにさらに加工処理される。

## 【0008】

別に実施形態において、本発明は、圧電性複合材を製造するための方法を包含し、上記方法は、圧電性セラミック粉末、有機結合剤、および界面活性剤を混合して、スリップを形成する工程であって、ここで上記スリップは、少なくとも90重量%の固体負荷を有する、工程；上記スリップを型にとって、未焼結本体を形成する工程；上記未焼結本体を上記型から外す工程；上記未焼結本体に刻み目を入れて、ミクロンサイズのセラミック要素および間隙のアレイを有する刻み目を入れた未焼結本体を形成する工程；上記刻み目を入れた未焼結本体を素焼きして、上記ポリマー結合剤を焼き尽くす工程；上記刻み目を入れた未焼結本体を焼結して、焼結されたセラミック本体を形成する工程；ならびに上記焼結されたセラミック本体をポリマー材料中に覆って (encase)、圧電性セラミック - ポリマー複合材を形成する工程を包含する。

40

## 【0009】

本発明の別の局面によれば、上記圧電性複合材は、デバイス (例えば、音響変換器もしくはセンサ) を形成するために、さらに加工処理される。

## 【0010】

代替の実施形態において、本発明は、網状の (net-shaped) 圧電性複合材を

50

製造するための方法を包含し、上記方法は、圧電性セラミック粉末、有機結合剤、および界面活性剤、ならびに必要に応じた分散剤を混合して、スリップ混合物を形成する工程であって、ここで上記スリップは、少なくとも90重量%の固体負荷を有する、工程；上記スリップを型に射出して、ミクロンサイズのセラミック要素および間隙のアレイを有する網状の未焼結本体を形成する工程；上記未焼結本体を上記型から外す工程；上記未焼結本体を素焼きして、上記結合剤を焼き尽くす工程；上記未焼結本体を焼結して、焼結されたセラミック本体を形成する工程；ならびに上記焼結されたセラミック本体をポリマー材料中に覆って、圧電性セラミック-ポリマー複合材を形成する工程を包含する。

【0011】

本発明のさらなる実施形態、特徴、および利点、ならびに本発明の種々の実施形態の構造および操作は、添付の図面を参照して、以下に記載される。

10

【0012】

前述の一般的説明および以下の詳細な説明はともに、例示的および説明的であるに過ぎず、特許請求される本発明を限定するものではないことが理解されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0013】

添付の図面は、本明細書に参考として援用され、本明細書の一部を構成し、圧電性セラミック本体を製造するためのキャスト（cast）およびダイス加工法、およびより具体的には、変換器およびセンサのための圧電性セラミック複合材を製造するための方法を図示する。説明とともに、図面は、本明細書に記載される圧電性セラミック本体を製造するためのキャストおよびダイス加工法の原理を説明するのにさらに役立ち、それによって、当業者が上記製造のためのキャストおよびダイス加工法に従って、圧電性セラミック本体を作製および使用することを可能にする。

20

【図1】図1は、本発明の一実施形態に従って、焼結されたセラミック本体を製造するための例示的工程を示すフローチャートを示す。

【図2】図2は、本発明の一実施形態に従って、スリップ混合物の模式図を示す。

【図3A】図3Aは、本発明の一実施形態に従って、型から外された円状の未焼結本体の実例を示す。

【図3B】図3Bは、本発明の一実施形態に従って、型から外された矩形の未焼結本体の実例を示す。

30

【図4】図4は、本発明の一実施形態に従って、複数のミクロンサイズのセラミック要素と切り溝（要素間の間隙）のアレイの実例を示す。

【図5】図5は、本発明の一実施形態に従って、焼結されたセラミック本体をさらに加工処理するための例示的工程を示すフローチャートを示す。

【図6】図6は、本発明の一実施形態に従って、上記要素間のポリマー充填剤材料を有するセラミック要素の列の実例を示す。

【図7】図7は、本発明の一実施形態に従って、センサアレイの実例を示す。

【図8】図8は、本発明の一実施形態に従って、網状の焼結されたセラミック本体を製造するための例示的工程を示すフローチャートを示す。

【図9A】図9Aは、網状のセラミック本体において均一な円状のミクロンサイズのセラミック要素を有するアレイの実例を示す。

40

【図9B】図9Bは、網状のセラミック本体において均一な矩形のミクロンサイズのセラミック要素を有するアレイの実例を示す。

【図9C】図9Cは、網状のセラミック本体において種々のサイズの円状のミクロンサイズのセラミック要素を有するアレイの実例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0014】

（発明の詳細な説明）

添付の図面を参照しながら、本発明の実施形態に対する参照がここで詳細になされる。ここで類似の参照番号は、類似の要素を示す。

50

## 【0015】

「スリップ混合物」は、成形されて、成形されたスリップ混合物を形成し得るセラミック粉末を含む組成物に言及するために、本明細書で使用される。「未焼結本体」は、上記スリップ混合物の成形および硬化から生じる成形された物品を意味するために、本明細書で使用される。「刻み目を入れた未焼結本体」は、未焼結本体に刻み目を入れる/ダイス加工して、複数のセラミック要素のアレイを形成することからの生成物に言及するために、本明細書で使用される。「焼結されたセラミック本体」は、未焼結本体を焼結することからの生成物に言及するために使用される。

## 【0016】

一実施形態において、本発明は、セラミック本体を製造するための方法に関し、上記方法は、セラミック粉末、ポリマー結合剤、および界面活性剤を混合して、スリップ混合物を形成する工程；上記スリップを型にとり、硬化させて、セラミックの未焼結本体を形成する工程；上記未焼結本体を上記型から外す工程；上記未焼結本体に刻み目を入れ（ダイス加工し）て、上記要素の間に、ミクロンサイズのセラミック要素（柱状物）およびミクロンサイズの切れ目（gap）/間隙のアレイを形成する工程；ならびに上記刻み目を入れた未焼結本体を焼結して、焼結したセラミック本体を形成する工程、を包含する。

10

## 【0017】

例えば、図1は、焼結されたセラミック本体を生成するための例示的工程を示すフローチャート100の実例である。工程102において、セラミック粉末、ポリマー結合剤、界面活性剤および必要に応じて、分散剤は、スリップ混合物を形成するために混合される。別の実施形態において、上記セラミック粉末は、上記スリップを形成して、好ましい特定の粒度および/もしくはサイズ分布を有する前に、必要に応じて、粉砕され得る（すりつぶし媒体ですりつぶされ得る）。

20

## 【0018】

工程104において、上記スリップ混合物は、型にとられ、上記型の中で硬化され（工程106）て、未焼結本体を形成する。工程108において、上記未焼結本体は、上記型から外され（すなわち、除去され）、工程110における上記要素の間でミクロンサイズの間隙（切り溝）を有するミクロンサイズのセラミック要素のアレイを形成するために刻み目を入れられるか、もしくはダイス加工され得る。工程112において、上記刻み目を入れた未焼結本体は、上記結合剤を燃やし尽くすために加熱され（焼結され）、焼結されたセラミック本体を形成するために上記本体の密度が高められる。

30

## 【0019】

本発明の別の実施形態において、上記焼結されたセラミック本体は、さらに加工処理されて、上記焼結されたセラミック本体をポリマー材料中に覆うことによって、圧電性複合材を形成し得る。さらなる実施形態において、上記圧電性複合材は、デバイス（例えば、変換器もしくはセンサ）を形成するために加工処理され得る。

## 【0020】

図2は、スリップ混合物202の模式図200の実例である。スリップ混合物202は、セラミック粉末204、ポリマー結合剤206、界面活性剤208、および必要に応じて、分散剤210を含む。

40

## 【0021】

本発明において使用するための上記セラミック粉末は、任意の圧電性セラミック粉末もしくは電歪性セラミック粉末であり得る。このような材料は、当該分野で周知であり、市販されている。具体例としては、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、ジルコン酸鉛、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）、チタン酸ニオブ鉛（lead niobium titanate）（PNT）、チタン酸ニオブスカンジウム鉛（lead scandium niobium titanate）、および当業者に公知の任意の他の適切な圧電性セラミック粉末もしくは電歪性セラミック粉末が挙げられるが、これらに限定されない。本発明における使用に好ましい材料は、PZTである。

## 【0022】

50

上記市販のセラミック粉末は、必要に応じて、所望の形態（例えば、規定される粒度および/もしくはサイズ分布を有する形態）にさらに加工処理され得る。上記粒度およびサイズ分布の制御は、上記焼結されたセラミック本体の収縮を制御するために重要である。上記セラミック粉末の、所望の粒度およびサイズ分布へのすりつぶしは、収縮制御を改善して、上記セラミック本体の割れを回避し、また、スリップ混合物202における高い固体負荷を有することによって、上記未焼結本体の密度を増大させることを可能にする。上記未焼結本体の密度の増大は、ダイス加工するための改善された機械的強度を提供し、硬化および焼結の間に、収縮量の低下をもたらす。

【0023】

好ましい実施形態において、上記セラミック粉末は、 $0.2\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$ の範囲に及ぶ粒度を有する。好ましい実施形態において、例示的な粒度分布は、表1に示される：  
表1：好ましい粒度分布

【0024】

【表1】

D 10	$0.2\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$
D 50	$0.7\mu\text{m} \sim .9\mu\text{m}$
D 90	$1.3\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$

上記セラミック粉末は、その所望の粒度/正味のサイズ分布へと、もしくは代わりに、上記セラミック粉末および他の材料を含む混合物としてすりつぶされるかもしくは剪断され得る。例えば、上記セラミック粉末は、上記所望の粒度および/もしくはサイズ分布を生成するために、すりつぶし媒体ですりつぶされ得る。上記セラミック粉末の汚染は、防止されるべきである。汚染を避けるための好ましいすりつぶし媒体は、ジルコニアもしくはジルコニアである。他の適切なすりつぶし媒体としては、アルミナ、ステンレス鋼、もしくは上記セラミック粉末の汚染を $0.02\%$ 不純物より低く制限する任意の他の適切なすりつぶし媒体が挙げられる。好ましい実施形態において、セラミック粉末204は、ジルコニアすりつぶし媒体で5時間にわたってすりつぶされて、上記好ましい粒度および好ましい粒度分布を得る。

【0025】

スリップ混合物202中のセラミック粉末の量は、上記スリップ混合物、上記未焼結本体、および上記焼結されたセラミック本体の所望の最終特性に依存して、変動し得る。上記スリップにおけるセラミック粉末の量の増大は、上記焼結収縮を低下させ、得られる焼結されたセラミック本体の密度を増大させ得る。より密な本体は、より良好な物理的および機械的特性（例えば、機械的強度）を有する。しかし、上記スリップの加工処理性は、セラミック粉末の上記体積および/もしくは重量画分が増大するにつれて、不都合に影響を受け得る。具体的には、上記スリップは、より粉末状になりかつ流動性は乏しくなる。

【0026】

しかし、本発明のスリップ混合物は、セラミック粉末の高い体積%（vol.%）および/もしくは重量%（wt.%）を含み、上記スリップを流動性にするために過剰な液体もしくは溶媒を使用することなく、密なセラミック本体を生じる。スリップ混合物202におけるセラミック粉末204の上記高い固体負荷は、収縮を低下させ、上記密度を増大させ、よって、未焼結本体が得られ、これは、上記型と実質的に同じサイズおよび形状である（すなわち、上記硬化工程の間に無視できる程度の収縮がある）。例えば、上記スリップ202は、スリップ混合物202が、約85~98重量%セラミック粉末を含み得るように、高い固体負荷を有する。好ましい実施形態において、上記スリップは、約90重量%セラミック粉末を含む。あるいは、スリップ混合物202は、約98体積%セラミック粉末を含む。

【0027】

10

20

30

40

50

本発明のスリップ混合物202は、低い重量%のポリマー結合剤を含む。例えば、上記スリップは、1~10重量%ポリマー結合剤を含み得る。好ましい実施形態において、上記スリップは、約9.8重量%ポリマー結合剤、界面活性剤、および必要に応じた分散剤を含む。

#### 【0028】

本発明における使用のためのポリマーとしては、上記セラミック粉末を結合し、かつ流れ得る(flowable)、流動可能である(pourable)、もしくは射出可能であるように十分低い粘性を有するスリップ混合物を形成する任意のポリマーが挙げられる。好ましくは、上記ポリマーは、25において400cPより小さな粘性を有する。用語「ポリマー」は、ポリマー前駆物質、プレポリマー、および架橋剤と混合された架橋されていないポリマーが挙げられる。一例において、上記ポリマーは、熱硬化性ポリマーである。ポリマーの特定の例としては、ポリエステル、ポリウレタン、シリコンラバーおよびエポキシポリマーが挙げられるが、これらに限定されない。好ましいポリマーは、低粘性エポキシポリマー樹脂である。代表的な結合剤(例えば、ポリビニルアルコール(PVA)およびポリビニルブチラール(PVB))とは異なって、エポキシポリマー樹脂は、上記未焼結本体が、破壊なしに、刻み目を入れ/ダイス加工され得るように、十分な機械的強度を提供する。しかし、エポキシポリマーは、それほど容易には焼き尽くされない。結合剤が焼き尽くされる間の温度の制御は、上記未焼結本体の歪みもしくは割けを引き起こさない一方で、上記結合剤全てを除去するために重要である。本発明の一実施形態において、2~3日の期間にわたるゆっくりとした素焼き処理は、上記エポキシポリマー樹脂をより容易に除去するために使用される。

10

20

#### 【0029】

語句「エポキシポリマー」は、硬化されていないエポキシ前駆物質、混合されたエポキシ前駆物質および仕上げられた、硬化された、もしくは架橋されたエポキシポリマーをいうために本明細書において使用される。本発明において使用するのに適したエポキシポリマーの例としては、2成分エポキシ前駆物質、3成分エポキシ前駆物質、もしくは3種を超える成分を有するエポキシ前駆物質が挙げられるが、これらに限定されない。2成分エポキシ前駆物質の一例としては、2種以上のアミン官能基を有する前駆物質および2種以上のエポキシド官能基を有する別の成分が挙げられるが、これらに限定されない。エポキシ樹脂は、当業者に周知である。エポキシポリマーの具体例としては、D.E.R.300および600シリーズのエポキシ樹脂(Dow Chemicals, Inc.から市販される)および第1の成分RBC-3200 Aエポキシ樹脂および第2の硬化剤成分RBC-3200 A120(RBC Industries, Inc.から市販される)もしくはEpo-Tek 301-2(Epoxy Technology, Inc.から市販される)から生じるポリマーが挙げられる。好ましい実施形態において、2成分エポキシ樹脂は、結合剤206として使用される。上記エポキシ樹脂の制限された貯蔵寿命が原因で、上記2成分は、25~40の温度で5分にわたって、スリップ混合物202を調製する前にわずか30分~2時間にわたって混合される。

30

#### 【0030】

好ましくは、使用される熱硬化性ポリマー(例えば、エポキシポリマー)の硬化(cure or set)時間は、上記熱硬化性ポリマーが硬化する前に、上記スリップ混合物を混合し、上記型へとることを可能にするに十分長い。例えば、上記硬化時間は、約10分~約48時間、好ましくは、約1時間~約3時間である。

40

#### 【0031】

セラミック製造における界面活性剤および分散剤の使用は、当業者に周知である。分散剤および界面活性剤、ならびに必要に応じて他の添加剤は、上記スリップ混合物の安定性、湿潤性、流れやすさ、粘性、および他の特性を制御するために使用される。有機ポリマーと適合性である任意の界面活性剤が、使用され得る。好ましくは、上記界面活性剤は、上記ポリマーの表面張力を低下させ、上記スリップ混合物を安定化させ得、そして/または上記スリップ混合物の形成および成形を容易にし得る。本発明における使用のための界

50

面活性剤の具体例としては、Dow Corning 57界面活性剤、Fluorad<sup>TM</sup> FC-4430界面活性剤、Fluorad<sup>TM</sup> FC-4432界面活性剤、Surfonic PE-1198界面活性剤およびKEN-REACT(登録商標)KR-55界面活性剤が挙げられるが、これらに限定されない。

#### 【0032】

上記セラミック粉末の、上記スリップ混合物への分散を容易にし得、そして/または上記スリップ混合物の形成および成形を容易にし得る任意の分散剤は、本発明において使用され得る。本発明における使用に適した分散剤の具体例としては、DYSPERBYK(登録商標) 110分散剤およびDequest 2010分散剤が挙げられるが、これらに限定されない。

10

#### 【0033】

形成時に、本発明のスリップ混合物202は、高い体積%および/もしくは重量%のセラミック粉末を含み、好ましくは、過剰な液体を含まず、溶媒を含まない。本発明のスリップ混合物は、スリップを型に取るために十分低い粘性を有し、流動性がありかつ流れ得る。スリップ混合物202は、2000cP~3000cPの粘性を有するべきである。上記スリップ混合物は、上記スリップを硬化するためにエバポレーションを必要とする過剰な溶媒も液体も、ほとんどもしくは全く含まないので、本発明のスリップ混合物は、上記型の中で硬化する際に、ほとんど~実質的に収縮を有さない。

#### 【0034】

工程102において、スリップ混合物202は、セラミック粉末204、結合剤206、界面活性剤208および必要に応じた分散剤210を合わせ、関連分野の当業者に公知の任意の方法を使用して混合することによって、調製される。例えば、スリップ混合物202は、ミリングミキサー、シェーカーミキサー、剪断ミキサー、動力学的剪断ミキサーを使用して混合され得る。上記混合物は、必要に応じて、上記スリップ混合物中の任意の捕捉されたガスを除去するために、混合する間に真空下で保持される。例えば、上記スリップ混合物は、真空下で、動力学的剪断ミキサーの中に入れられ得、その中で混合され得る。上記混合物は、ほとんど~全く凝集なしに、完全に混合されたスリップ混合物を生成するために十分な時間にわたって混合され、上記混合物は、上記混合物が硬化し、上記ポリマー結合剤が硬化する(harden)前に、停止される。好ましくは、上記スリップ混合物は、室温で400rpmにおいて約5分~1時間の時間にわたって、真空下で混合される。

20

30

#### 【0035】

必要に応じて、一実施形態において、上記スリップ混合物は、型にとる前に脱気される。好ましい実施形態において、上記スリップ混合物は、 $5 \times 10^{-1}$ トルにおいて10分間にわたって真空チャンバ中で脱気される。

#### 【0036】

工程104において、スリップ混合物202は、型にとられる。当業者に公知の任意の方法は、上記スリップを上記型(例えば、スリップキャスト型および射出型)もしくはセラミック本体を形成するための任意の他の適切な技術に移すために使用され得る。

#### 【0037】

上記型は、任意の適切な幾何的形状のものであり得る。上記型は、圧電性複合材のためのセラミック本体のために、円形、直方形、もしくは任意の他の適切な外形であり得る。好ましい実施形態において、上記型は、約2インチ~約4インチの直径範囲を有する形状の円形であり、約2.5mm~3mmの厚みを有する未焼結本体を形成するために十分な深さがある。別の実施形態において、上記型は、幅および長さが0.25インチ~12インチの寸法を有する未焼結本体を形成するために直方形であり得る。

40

#### 【0038】

工程106において、スリップ混合物202は、上記型の中で硬化されて(set cured)、未焼結本体を形成する。一実施形態において、上記型の中の上記スリップは、上記未焼結本体を硬化(setting/curing)させて形成する前に、必

50

要に応じて、脱気され得る。上記型の中のスリップ202は、上記未焼結本体中の空気ポケット（空隙）を低下／回避するために脱気される。上記スリップおよび型は、30分～1時間の範囲に及ぶ時間にわたって、 $1.2 \times 10^{-1}$ トルにおいて、真空チャンバ中にあり得る。工程108において、上記スリップは、上記スリップが、図3Aおよび図3Bにおいて認められるように、上記型から外すのに十分硬いが、脆くない未焼結本体300を形成するように、十分な温度で十分な時間にわたって、硬化される（set/cure）べきである。上記未焼結本体300は、未焼結本体300を割ることなく、刻み目が入られる（ダイス加工される）ように十分な機械的強度を有するべきである。好ましい実施形態において、上記スリップは、120のオープン中で、約24時間にわたって硬化させることによって、上記型の中で硬化させられる。

10

#### 【0039】

工程110において、上記未焼結本体は、刻み目を入れられて（もしくはダイス加工されて）、上記要素の間のマイクロサイズの切れ目／間隙を有する複数のマイクロサイズのセラミック要素（柱状物）のレイを有する刻み目を入れた未焼結本体を形成する。一実施形態において、上記未焼結本体は、必要に応じて、ダイス加工する前に、一様の厚みへとすりつぶされ得る。上記未焼結本体は、当業者に公知の任意の適切なダイス加工法を使用して、刻み目を入れられ得る／ダイス加工され得る。例えば、上記未焼結本体は、従来の配向において従来のダイス加工機械を使用して、ダイス加工され得る。一実施形態において、未焼結本体300は、ウェハ鋸歯を備えるダイス加工機械によって、ダイス加工される。

20

#### 【0040】

未焼結本体をダイス加工する1つの利点は、上記未焼結本体が、焼結されたセラミック本体の従来のダイス加工より25倍～50倍速い速度で、ダイス加工され得ることである。例えば、代表的なダイス加工および充填法において、上記焼結されたセラミック本体は、 $3 \mu\text{m}/\text{秒} \sim 5 \mu\text{m}/\text{秒}$ の速度でダイス加工され得る。対照的に、本発明において、上記未焼結本体は、 $150 \mu\text{m}/\text{秒} \sim 300 \mu\text{m}/\text{秒}$ の速度でダイス加工され得る。このより速い速度は、デバイス（例えば、変換器もしくはセンサ）のための圧電性複合材のためのセラミック本体を製造するための時間およびコストを実質的に低下させる。例えば、本発明に従って製造される変換器もしくはセンサは、伝統的なダイス加工法に関してセラミック柱状物あたり25セントのコストと比較して、製造するのにセラミック要素／柱状物あたり約2.2セントのコストである。さらに、未焼結本体のダイス加工は、上記ダイス加工機械の刃に対してそれほど破壊的ではなく、上記刃の有効寿命の使用を長くする。

30

#### 【0041】

図4に認められるように、上記未焼結本体は、刻み目を入れられ（ダイス加工され）て、基部406によって支持された切り溝（柱状物間間隙）404によって隔てられた複数のセラミック要素（柱状物）402を含むレイを有する刻み目を入れた未焼結本体400を形成する。一実施形態において、セラミック要素402は、高さ $150 \mu\text{m} \sim 325 \mu\text{m}$ 、幅 $35 \mu\text{m} \sim 65 \mu\text{m}$ 、 $25 \mu\text{m}$ 未満の切り溝402のサイズの範囲であり得る。好ましい実施形態において、セラミック要素402は、高さ $250 \mu\text{m}$ 、幅 $60 \mu\text{m}$ 、および $20 \mu\text{m}$ の切り溝404を有する。

40

#### 【0042】

工程112において、ダイス加工された未焼結本体400は、焼結されて、焼結されたセラミック本体を形成する。上記焼結する工程の間に、上記焼結されたセラミック本体が、効率的かつ効果的にさらに加工処理され得るように、収縮および歪みを制御することは重要である。例えば、焼結する工程の間に存在する空間的な温度勾配は、上記切り溝のサイズが、上記セラミック本体にわたって変動するように、不均一な収縮を引き起こし得る。さらに、歪みは、刻み目を入れた未焼結本体400の末端が、焼結の間に丸くなって、その結果、その基部406が、もはや平らな表面でなくするように起こり得る。加熱相および冷却相の間の温度分布の制御は、収縮および歪みを制御するのに重要である。また、上記スリップ混合物において高い固体負荷を有すると、収縮の制御が補助される。

50

## 【 0 0 4 3 】

一実施形態において、ダイス加工された未焼結本体 4 0 0 は、別個の素焼き処理を受けて、焼結前に上記ポリマー結合剤を除去する（焼き尽くす）。ダイス加工された未焼結本体 4 0 0 は、上記ポリマー結合剤を焼き尽くすに十分な温度で十分な時間にわたって窯の中で加熱される。上記素焼き処理の間の温度を制御することは、上記未焼結本体を割れたりしないようにしながら、上記未焼結本体中の上記ポリマーの全てを焼き尽くすために重要である。例示に拠れば、上記ダイス加工された未焼結本体は、3 0 0 ~ 7 5 0 の範囲に及ぶ温度へと加熱される。ダイス加工された未焼結本体 4 0 0 は、冷却前に、6 4 時間の期間にわたって、最高温度 7 5 0 まで、ゆっくりとした素焼き処理を受ける。ダイス加工された未焼結本体 4 0 0 は、冷却する前に、7 5 0 において 2 時間にわたって均熱（保持）される。上記ゆっくりとした素焼きは、上記ダイス加工されたセラミック本体を変形させる / ゆがめることなく、上記結合剤を除去することを可能にする。

10

## 【 0 0 4 4 】

工程 1 1 2 において、上記セラミック本体は、密度を高めた、焼結されたセラミック本体を形成するためにさらに加熱（焼結）される。一実施形態において、上記結合剤が除去された本体は、理論的密度の 9 7 ~ 9 9 % へと上記本体の密度を高めるために十分な温度で十分な時間にわたって焼結される。上記本体は、約 7 5 0 ~ 1 1 0 0 の温度で加熱される。好ましい実施形態において、上記セラミック本体は、1 0 6 0 の最高温度まで、4 8 時間にわたって加熱され、1 . 5 時間にわたって最高温度で均熱（保持）される。

20

## 【 0 0 4 5 】

焼結する工程 1 1 2 の間の別の実施形態において、上記セラミック本体は、収縮を制御するために類似の膨張率を有する支持プレート上に持ち上げられ、上記セラミック本体の上下のより均一な温度勾配を達成するために、窯の中に入れられる。上記セラミック本体を持ち上げると、上記セラミック本体の上下の空気流が許容される。例えば、上記セラミック本体は、P Z T プレート上に配置され得、次いで、焼結する工程 1 1 2 を受けるために、窯の中に入れられ得る。別の実施形態において、上記セラミック本体および P Z T 支持プレートは、アルミニウムるつぼの中に入れられ得、窯の中に入れられ得る。上記アルミニウムるつぼは、必要に応じて、P Z T 粉末もまた含み得る。上記 P Z T 粉末は、鉛損失（lead loss）を制御するために使用され、これは、上記セラミック本体全体を通して一定のセラミック材料特性を達成するために優れている。上記セラミック本体を平衡状態の鉛環境（equilibrium lead atmosphere）の中に置くことによって、鉛損失は、低下 / 回避される。

30

## 【 0 0 4 6 】

上記得られた、焼結されたセラミック本体は、多くの任意選択的工程においてさらに加工処理され得る。図 5 は、上記焼結されたセラミック本体をさらに加工処理して、そこから圧電性複合材およびデバイスを製造するための例示的工程を示すフローチャート 5 0 0 の実例である。一実施形態において、上記焼結されたセラミック本体は、工程 5 0 2 に示されるように、複合材を形成するためにポリマー中に覆われ得る / 封じ込められ得る。図 6 に示されるように、切り溝 6 0 4（上記柱状物間の間隙）は、ポリマー充填剤 6 0 8 で充填されて、任意の剪断波を抑制し、機械的特徴が改善された複合材 6 0 0 を与える。仕上げされたデバイスの感度を最適化するために、高い音響減衰および絶縁を提供するポリマー充填剤が使用されるべきであるか、または当業者に公知の任意の他の適切なポリマー充填剤材料が使用されるべきである。

40

## 【 0 0 4 7 】

別の実施形態において、圧電性複合材 6 0 0 は、さらに加工処理され得る。工程 5 0 4 において、圧電性複合材 6 0 0 は、上記複合材中の上記焼結されたセラミック本体の少なくとも 1 つの表面を曝すために、機械加工される。工程 5 0 6 において、上記焼結されたセラミック柱状物に電氣的接続を提供するために、上記複合材に対する接触が形成される。工程 5 0 8 において、上記焼結されたセラミックは、電氣的成分とともに位置決めされ

50

て ( a d d r e s s )、デバイスを形成する。上記マイクロサイズのセラミック要素は、金属被覆され得、デバイス（例えば、音響変換器もしくは生物測定データおよび他のタイプの情報（例えば、医学的情報）を得るためのセンサ）を形成するために位置決めされ得る。次いで、上記デバイスは、適切な時間にわたって適切な温度で、適切な電圧を印加することによって角を切り取られる ( p o l l )。上記パラメータ値は、使用されるセラミック材料のタイプおよび加工処理されている上記圧電性複合材の厚みに起因して変動する。

#### 【 0 0 4 8 】

図 7 は、本発明の一実施形態に従って製造されたデバイス 7 0 0 を図示する。デバイス 7 0 0 は、セラミック柱状物 6 0 2 の 2 次元アレイを含む多層構造である。伝導体 7 0 6 および 7 0 8 は、セラミック柱状物 6 0 2 の各々に接続される。各セラミック柱状物 6 0 2 の一方の端に接続された伝導体 7 0 6 は、柱状物 6 0 2 のもう一方の端に接続された伝導体 7 0 8 に対して直交して配向される。シールド層 7 0 2 は、デバイス 7 0 0 の一方の側面に付加されて、保護コーティングを提供し得る。ここで指状突起が、デバイス 7 0 0 の付近に配置され得る。支持 7 0 4 は、デバイス 7 0 0 の反対の端に取り付けられ得る。

#### 【 0 0 4 9 】

代替の実施形態において、スリップ混合物 2 0 2 は、網状未焼結本体を形成するために、複数のマイクロサイズのセラミック要素および間隙を含むアレイを有する精密型の中に射出されて、上記未焼結本体をダイス加工する必要性を排除し得る。図 8 は、網状の未焼結本体の生成するための例示的工程を示すフローチャート 8 0 0 の実例である。「網状の」は、本発明の未焼結本体が、上記型の中で硬化されると、高品質のマイクロサイズのセラミック要素を有し、高品質のマイクロサイズのセラミック要素を達成するために、さらなる機械加工もしくは加工処理が必要ないことを意味するために、本明細書で使用される。本発明のスリップ混合物は、硬化の際に実質的に歪みを有さないもので、スリップ混合物 2 0 2 は、網状の未焼結本体へと成形され得る。語句「実質的に歪みがない」とは、上記成形されたスリップ混合物の平坦な表面が、硬化 ( s e t t i n g / c u r i n g ) して、上記未焼結本体を形成する際に、平坦なままであり、上記未焼結本体の表面が滑らかでありかつ上記セラミック粉末の粒度よりおおそ大きな欠損が実質的にないことを意味するために、本明細書で使用される。欠損としては、孔、気泡、および割れなどが挙げられるが、これらに限定されない。従って、上記スリップ混合物は、高品質のマイクロサイズのセラミック要素を有する網状の未焼結本体に成形され得、上記未焼結本体は、全体として大きな寸法を有し得る。

#### 【 0 0 5 0 】

さらに、上記網状の未焼結本体は、広い範囲の幾何的外形で作製され得る。例えば、上記網状の未焼結本体の上記マイクロサイズのセラミック要素は、サイズが均一であってもよいし、サイズが変動してもよく、形状が均一であってもよいし、形状が変動してもよい。例示に拠れば、上記網状の未焼結本体の上記マイクロサイズのセラミック要素は、形状が円形、直方形および矩形であり得る。上記網状の未焼結本体はまた、1種以上の寸法サイズのマイクロサイズのセラミック要素を含み得る。図 9 A、9 B、および 9 C は、本発明の一実施形態に従って生成され得る、マイクロサイズのセラミック要素の幾何的外形および配置のいくつかの例を図示する。

#### 【 0 0 5 1 】

工程 8 0 4 において、スリップ混合物 2 0 2 は、型の中に射出され、工程 8 0 6 において硬化されて、複数のマイクロサイズのセラミック要素および間隙を含むアレイを有する網状の未焼結本体を形成する。スリップ混合物 2 0 2 は、上記スリップ混合物を型の中へ射出するかもしくは移すために、当業者に公知の任意の方法を使用して、型へ射出され得る。例示に拠れば、スリップ混合物 2 0 2 は、圧力を利用して、型へ射出され得る。工程 8 0 4 において使用するための圧力は、上記スリップ混合物を上記型の中へ射出し得る任意の圧力を含む。一実施形態において、約 2 0 ~ 4 0 の温度で約 5 p . s . i . ~ 1 0 0 p . s . i . の圧力が使用される。好ましい実施形態において、スリップ 2 0 2 は、

10

20

30

40

50

60 p . s . i . ~ 70 p . s . i . の範囲に及ぶ圧力で、型の中へ射出される。

【0052】

上記スリップ混合物を成形し、硬化させて、網状の未焼結本体を形成するために使用される型は、ミクロンサイズの構造的要素を形成し、損傷することなく外し得る任意の型であり得る。型として使用するための材料の例としては、プラスチックおよびゴムが挙げられるが、これらに限定されない。材料の具体例としては、低デュロメーター（約40A未満の硬度）の熱硬化性ポリウレタンおよびシリコンが挙げられるが、これらに限定されない。好ましい実施形態において、上記型は、室温加硫（RTV）シリコンから作製される。

【0053】

工程806において、スリップ混合物202は、上記型の中で硬化されて、上記ミクロンサイズのセラミック要素に対して損傷を引き起こすことなく、上記型から上記未焼結本体を外し得るよう十分な時間にわたって十分な温度で、複数のミクロンサイズのセラミック要素および間隙を含むアレイを有する網状の未焼結本体を形成する。当業者に公知の任意の方法は、上記スリップ混合物を硬化するために使用され得る。好ましい実施形態において、スリップ混合物202は、18時間~36時間の範囲に及ぶ期間にわたって、室温で、型の中で硬化する（set/cure）。

【0054】

工程808において、上記網状の未焼結本体は、上記型から外される。当業者に公知の任意の外す方法は、上記網状の未焼結本体を上記型から外すために使用され得る。方法の例としては、上記型を上記未焼結本体から剥離することもしくは持ち上げることが挙げられるが、これらに限定されない。好ましくは、上記分離は、上記ミクロンサイズのセラミック要素が、外す間にほとんどもしくは全く損傷されないように、行われる。必要に応じて、離型剤（mold release or release agent）は、損傷なく、上記型から上記網状の未焼結本体を外すのを助けるために使用され得る。上記離型剤は、スリップ混合物202を上記型へ射出する前に、上記型に直接適用され得る。

【0055】

上記網状の未焼結本体を上記型から外した後、上記のように焼結する前に、上記未焼結本体は、類似の素焼き処理を受けて、上記ポリマー結合剤を除去し得る（焼き尽くし得る）。工程812において、上記網状の未焼結本体は、同様に焼結されて、密度を高めた、焼結された網状のセラミック本体を形成し得る。

【0056】

得られた、焼結された網状のセラミック本体は、図5において図示されるように、および圧電性複合材およびこれからデバイスを製造するために上記に記載されるように、さらに加工処理され得る。

【0057】

本発明の種々の実施形態が上記に記載されてきたが、それらは例示によって示されたに過ぎず、限定ではないことが理解されるべきである。形態および詳細における種々の変更が、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく行われ得ることは、関連分野の当業者に明らかである。従って、本発明の外延および範囲は、上記の例示の実施形態のいずれかによって限定されるべきではなく、以下の特許請求の範囲およびそれらの等価物に従って定義されるべきである。本明細書で議論される全ての特許および刊行物は、それらの全体が本明細書に参考として援用される。

10

20

30

40

【 図 1 】

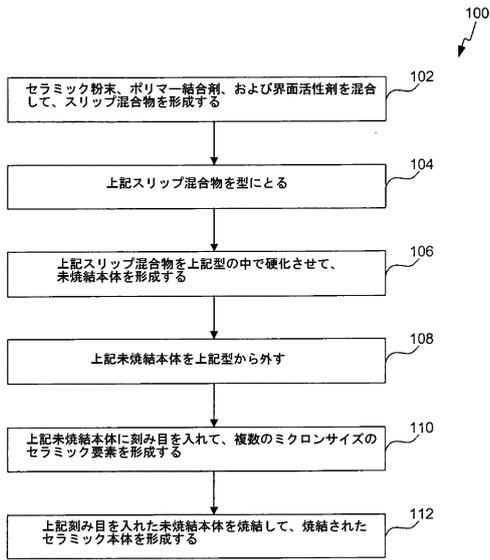


FIG. 1

【 図 2 】

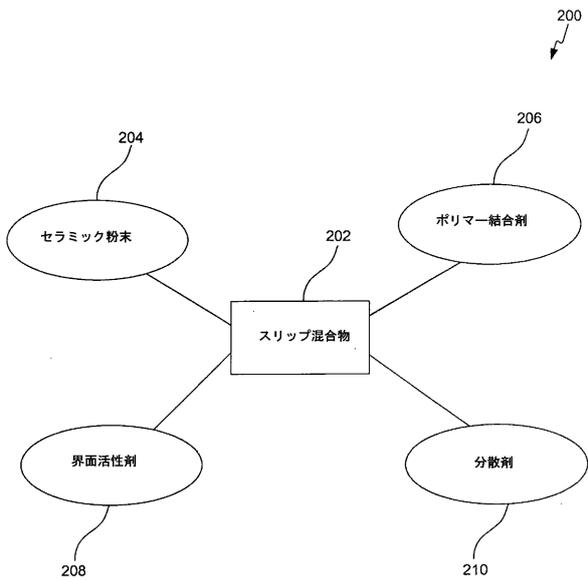


FIG. 2

【 図 3 A 】

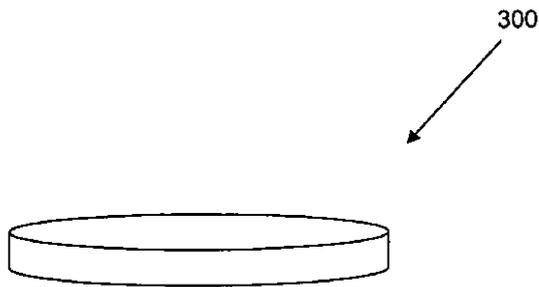


FIG. 3A

【 図 4 】

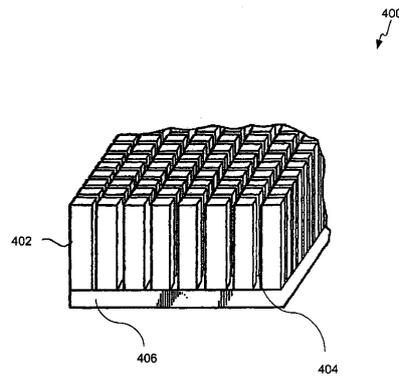


FIG. 4

【 図 3 B 】

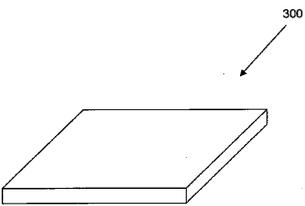


FIG. 3B

【 図 5 】

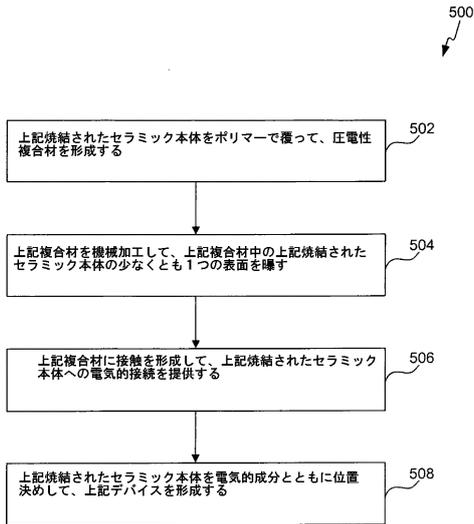


FIG. 5

【 図 6 】

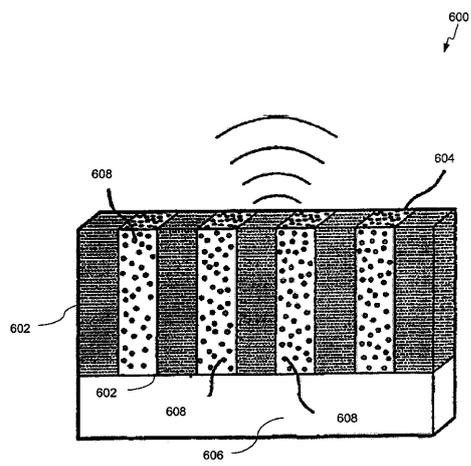


FIG. 6

【 図 7 】

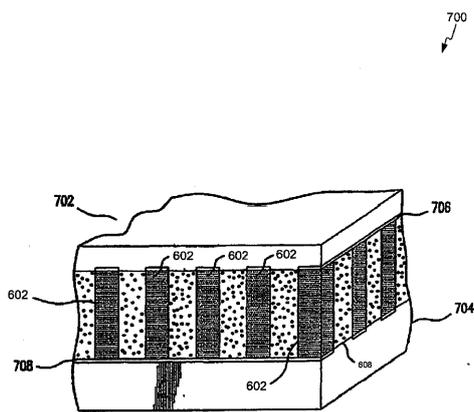


FIG. 7

【 図 8 】

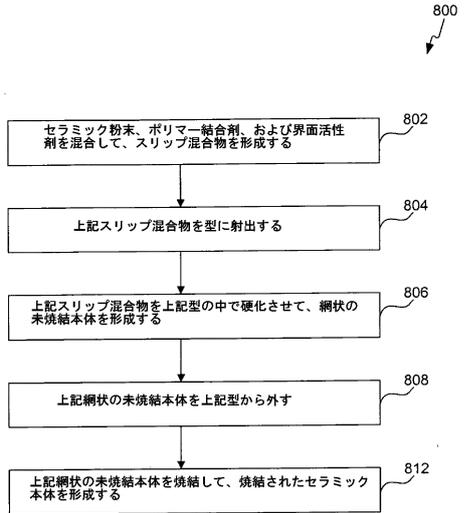


FIG. 8

【 図 9 A 】

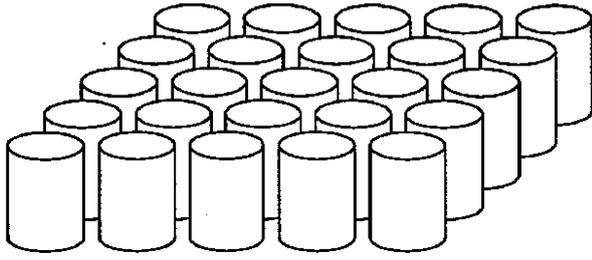


FIG. 9A

【 図 9 C 】

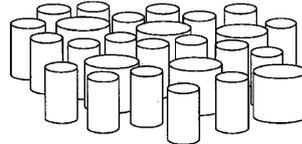


FIG. 9C

【 図 9 B 】

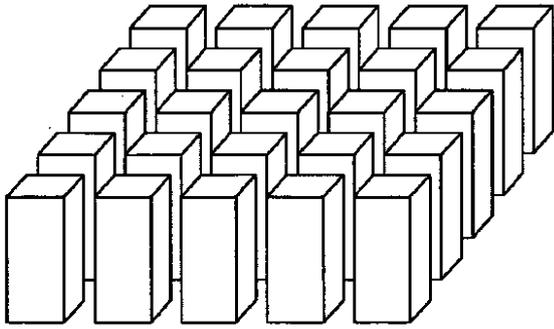


FIG. 9B

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 10/01778
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(8) - H01L 41/22; H04R 17/00 (2010.01) USPC - 29/25.35 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) USPC - 29/25.35 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC - 29/25.35, 25.41, 25.42, 264/269, 271.1, 271.11, 614; 310/311, 313R, 363, 364 (keyword limited - see below) Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PubWEST(PGPB,USPT,EPAB,JPAB); Google Scholar Search terms used: piezoelectric, electrostrictive, ceramic, binder, green, mold, cure, set, cut, dice, sinter, weight, volume, percent, micron, array, matrix, powder, surfactant, dispersant, mill, grind, burnout, electrode, address, theoretical density		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X - Y	US 5,340,510 A (BOWEN) 23 August 1994 (23.08.1994) entire document, especially; para [0023]-[0042]	31 ----- 1-30
Y	US 2005/0203231 A1 (HALPERT et al.) 15 September 2005 (15.09.2005) entire document, especially; col 2, ln 24 - col 6, ln 58	1-30
Y	US 2005/0156362 A1 (ARNOLD et al.) 21 July 2005 (21.07.2005) entire document, especially; para [0091]	30
A	US 2007/0038111 A1 (REHRIG et al.) 15 February 2007 (15.02.2007) entire document	1-31
A	US 2001/0050514 A1 (GURURAJA) 13 December 2001 (13.12.2001) entire document	1-31
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* 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 04 September 2010 (04.09.2010)		Date of mailing of the international search report <div style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">15 SEP 2010</div>
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

## フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
<b>H 0 4 R 31/00 (2006.01)</b>	H 0 1 L 41/22	Z
	H 0 1 L 41/08	J
	H 0 4 R 31/00	3 3 0

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 レジニア, ルイス  
 アメリカ合衆国 フロリダ 33418, パーム ビーチ ガーデنز, ハイアット ドライブ 357  
 Fターム(参考) 5D019 AA26 FF04 HH01