

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成24年9月20日(2012.9.20)

【公表番号】特表2010-517311(P2010-517311A)

【公表日】平成22年5月20日(2010.5.20)

【年通号数】公開・登録公報2010-020

【出願番号】特願2009-547627(P2009-547627)

【国際特許分類】

H 01 L 41/22 (2006.01)

H 01 L 41/083 (2006.01)

【F I】

H 01 L 41/22 Z

H 01 L 41/08 S

【誤訳訂正書】

【提出日】平成24年7月31日(2012.7.31)

【誤訳訂正1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧電セラミック多層アクチュエータを製造するための方法において、

a) 多層バー(10)の積層方向(S)で、複数の圧電セラミック層(30)と複数の電極(20)の交互配置された構成からなる素地としての多層バー(10)を形成し、その際には前記多層バー(10)の積層方向(S)に垂直な方向での奥行き(T)は1つの多層アクチュエータの奥行きに相応させ、前記多層バー(10)の積層方向(S)に垂直な方向での幅(B)は複数の多層アクチュエータの幅に相応させ、さらに前記複数の電極(20)は前記多層バー(10)の全奥行き(T)に亘って延在させ、さらに前記複数の電極(20)は、前記多層バー(10)の対向する端面(15)において開始部分から交互に若しくは1つおきに多層バー(10)の幅(B)全体には延在しないように構成するステップと、

b) 対向する補助電極(25)を、多層バー(10)の幅(B)だけ離間された前記端面(15)に配設し、それによって積層方向(S)で電極(20)1つ分ずらされている対向する補助電極(25)を用いて、それぞれ1つおきの電極(20)を電気的に駆動制御可能にするステップと、

c) 前記多層バー(10)の奥行き(T)方向に平行な方向で、1つおきの電極(20)の側面(22;24)に電気化学的なセットバック、特にエッティングを施し、それによつて前記多層バー(10)の対向する広幅側(12)においてそれぞれ1つおきの電極(20)の側面(22;24)が当該多層バー(10)内へセットバックされ、このセットバックされた電極(20)側面(22;24)が多層バー(10)の対向する広幅側(12)において積層方向(S)で圧電層(30)1つ分だけ相互に離間されるステップと、

d) 前記セットバックされた電極(20)の側面(22;24)に電気的な絶縁層をコーティングし、前記多層バー(10)の対向する広幅側(12)において積層方向(S)に対し平行な方向でそれぞれ複数の外部電極を被着させるステップと、

e) 当該多層バー(10)の奥行き(T)方向に平行な方向、積層方向(S)で前記多層バー(10)を焼結し複数の圧電セラミック多層アクチュエータに分離させるステップとを有し、

前記セットバックされた電極(20)側面(22;24)がそれぞれ凹部(40)内に設けられ、該凹部(40)はセラミック若しくはガラス状のスリップキャスティングからなる電気的な絶縁層によるコーティングのために充填され焼成されたようにしたことを特徴とする製造方法。

【請求項2】

前記複数の外部電極は、多層バー(10)の対向する広幅側(12)に印刷される、請求項1記載の製造方法。

【請求項3】

前記補助電極(25)を備えた端面(15)は、圧電的に不活性な領域(5)が多層バー(10)内に何も残らないように分離される、請求項1または2記載の製造方法。

【誤訳訂正2】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】圧電セラミック多層アクチュエータ及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電セラミック多層アクチュエータ及びその製造方法に関するもの。

【背景技術】

【0002】

圧電セラミックスに適した結晶構造では、電界形成の際の圧電効果に基づいて、その内部に膨張又は収縮が生じ得る。このような長さ変化はほぼ、制御される電気信号に関する遅延なしで発生し、さらに正確に制御可能である。それ故に圧電多層アクチュエータは制御素子として用いられている。

【0003】

しかしながらそのような多層アクチュエータにおいて制御すべき電界は数kV/mmの範囲にあるので、多層アクチュエータの実際の使用においては中程度のほどよい駆動制御電圧が望まれている。そのため圧電セラミック多層アクチュエータは100μmの範囲の層厚さで製造される。典型的な製造方法にはスリップキャスティング手法(slip casting)やドライプレス(dry pressing)手法がある。個々のセラミック層は金属化され、上下に積層される。それにより2つのセラミック層の間に設けられた逆極性の内部電極が圧電効果を生ぜしめる。圧電セラミック多層アクチュエータの積層方向ないしは長手軸に対して平行な外部金属化層を介して全ての内部電極が同じ電位の全ての内部電極が電気的に駆動される。それぞれ逆電位の内部電極を短絡させないようにするために、これらがそれぞれ逆電位の内部電極の外側金属化部の領域において、他の電極に対してずらして配置する必要がある。デザイン要素のために、圧電不活性領域が圧電セラミック多層アクチュエータ内部のこのような層構造によって生じる。圧電セラミック多層アクチュエータは圧電活性領域においてのみその長さが膨張若しくは収縮し、この領域内では異なる電位の内部電極が直接上下に配置されているので、圧電不活性領域への移行領域においては多層アクチュエータ内部で機械的緊張が発生する。この機械的な緊張は、多層アクチュエータの層構造においてクラック(ひび割れ)を形成する。このことは外側金属化部と個々の電極との電気的なコンタクトに影響を及ぼし、場合によっては当該多層アクチュエータ全体の故障につながりかねない。前述したクラック形成の問題は、フルアクティブな圧電多層アクチュエータの使用によって低減される。このようなフルアクティブな圧電多層アクチュエータにおいては、圧電不活性領域ないし不動態領域は存在しない。なぜなら両電位の内部電極が多層アクチュエータの全断面に亘って全ての側でその縁部まで延在しているからである。

【0004】

E P 1 2 0 6 8 0 4 B 1 明細書では、圧電多層アクチュエータのための製造方法が開示されている。ここでは個々多層構造部に同じ電位の電極の側面に導電性の材料が析出されている。この材料はブリッジを形成しており、このブリッジは当該ブリッジ間に配設される電極の側面の絶縁の後で互いに電気的に接続される。

【0005】

D E 4 2 2 4 2 8 4 A 1 明細書には、圧電セラミック多層アクチュエータを製造する前段階としての多層バーの製造と、それに続くその焼結が開示されている。この種のバーは、後の多層アクチュエータに関するその積層方向に対して垂直方向の奥行きと水平方向での長さを有している。積層方向に対して垂直方向のその幅は、後の圧電セラミック多層アクチュエータの幅の数倍である。焼結後は個々の圧電セラミック多層アクチュエータの電極構造部が多層バーにおいて連帯的に形成され、それに続いて個々の多層アクチュエータへ分割される。電極構造部の製造に対してはそれぞれ第2電極の側面毎に導電性材料が析出される。この介在領域（すなわちセラミックと電極の）は、エッチングによって若しくは機械的な除去によって焼結多層バー内へセットバックされる。この過程は複雑で時間がかかる。なぜなら焼結される多層バーが機械的及び化学的作用に対する抵抗を有しているからである。それに続いてセットバックされた領域には絶縁層が被着され、後の多層アクチュエータ毎に外部電極が形成される。最終的に焼結された多層バーは個々の圧電セラミック多層アクチュエータに分割される。

【0006】

U S 5 , 5 6 8 , 6 7 9 明細書並びに W O 2 0 0 5 / 0 7 5 1 1 3 A 1 明細書にも、既に焼結された多層体において構造化される外部電極を形成する手法が記載されている。同じ電位の各内部電極には電気化学的に絶縁材料が析出されており、それによってこれらの電極の側面は外方に向けて絶縁される。それに続いて外側には、別の電位の電極のまだ露出している側面につながる導電性材料が被着される。最後に、構造化された電極を備えた焼結された多層バーが個々の圧電セラミック多層アクチュエータに分割される。

【0007】

本発明の課題は、従来技法よりも少ない手間とコストで実施可能な、圧電セラミック多層アクチュエータの製造方法を提供することである。また本発明のさらなる課題は、相応に安価に製造できる圧電セラミック多層アクチュエータを提供することでもある。

【0008】

前記課題は、独立請求項に記載の本発明による方法、並びに独立請求項に記載の本発明による圧電セラミック多層アクチュエータによって解決される。本発明の有利な構成例及び改善例は以下の明細書、図面並びに特許請求の範囲に記載される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】A , B は多層バーの種々の実施形態を表した図

【図2】多層バーの拡大断面図

【図3】電気化学的析出プロセスの方法ステップにおける多層バーの断面を拡大して示した図

【図4】エッチングプロセスによる多層バーの断面を示した図

【図5】鋸引き、研磨等の処理方法を用いた除去過程を説明するための多層バーの断面拡大図

【図6】図5のラインA - Aに沿った断面図

【図7】電極の側面に平行でない除去過程を説明するための多層バーの断面拡大図

【図8】図7のラインA - Aに沿った断面図

【図9】図7のラインにB - Bに沿った断面図

【図10】図7のラインC - Cに沿った断面図

【図11】本発明の製造方法における種々の方法経過を概略的に表したフローチャート

【0010】

発明を実施するための形態

本発明による製造方法の第1実施例によれば、以下のステップを有している。すなわち、多層バーの積層方向で、複数の圧電セラミック層と複数の電極の交互に配置された構成からなる素地としての多層バーを形成し、それによって前記積層方向に対して垂直方向の多層バーの奥行きは1つの多層アクチュエータの奥行きに相応させ、前記積層方向に対して垂直方向の多層バーの幅は複数の多層アクチュエータの幅に相応させ、さらに前記複数の電極は前記多層バーの奥行き全体に亘って延在させ、さらに前記複数の電極は、前記多層バーの対向する端面において始めから交互に若しくは1つおきに多層バーの幅全体には延在しないようにさせるステップと、対向する補助電極を、多層バーの幅だけ離間された前記端面に配設し、それによって積層方向で電極1つ分ずらされている対向する補助電極を用いて、それぞれ1つおきの電極を駆動制御可能にするステップと、前記多層バーの奥行きに平行な方向で、1つおきの電極の側面に電気化学的なセットバック、特にエッティングを施し、それによって前記多層バーの対向する広幅側においてそれぞれ1つおきの電極が当該多層バー内へセットバックされ、さらにこのセットバックされた電極側面が積層方向で多層バーの対向する広幅側にて圧電層1つ分だけ互いに離間されるステップと、前記電極のセットバックされた側面に電気的な絶縁層をコーティングし、積層方向に対して平行な方向で多層バーの対向する広幅側にそれぞれ複数の外部電極を被着させるステップと、当該多層バーの奥行きに平行な方向と積層方向で前記多層バーを焼結し複数の圧電セラミック多層アクチュエータに分離させるステップとを有している。

【0011】

フルアクティブな圧電セラミック多層アクチュエータの製造の手間とコストを低減するために、多層バーにおける製造ステップの大半がグリーンの状態、すなわち素地の状態で行われる。このバーは、また焼結されていないセラミック構造のために僅かな手間と僅かなコストで処理することが可能である。さらにこの補助電極を有する多層バーは、幅の分だけ離間したその端面において、複数の圧電セラミック多層アクチュエータを同時に製造することを可能にしている。その際には当該の多層バーが製造方法の最終段階において個々の多層アクチュエータに分離される。

【0012】

多層バーの外側において構造化された電極を製造するために、まずそれぞれ第2の電極の側面がエッティングによって多層バー内へセットバックされるか場合によっては凹部が設けられる。そのように形成された凹み(この中にそれぞれ第2の電極の側面が配設される)は、焼成後に電気的に絶縁される材料のスリップキャスティングによって充填される。これらの材料は例えばガラスやセラミックである。エッティングやそれに続くスリップキャスティングによる電気的な絶縁に基づいて電気的に接続されるそれぞれ第2の電極の側面が凹部外側に露出されて配置され、それによって例えば外側金属化部の印刷の際に相互に電気的に接続されるようにしている。

【0013】

本発明による別の製造方法によれば、前述した電気化学的セットバックの代わりに、1つおきの電極のそれぞれ1つの側面における導電性材料の電気化学的析出が行われ、それによって前記多層バーの対向する広幅側においてそれぞれ1つおきの電極側面が当該多層バーから突出し、該突出した電極側面は積層方向で多層バーの対向する広幅側にて圧電層1つ分だけ互いに離間し、当該の突出した電極側面の間で複数の凹部が形成される。

【0014】

前述したような同様の方式でこの凹部は焼成後に電気的に絶縁性となる材料のスリップキャスティングによって充填される。そのため電気化学的析出によって高められた、多層バーの電極の側面のみがその広幅側において露出する。またこの方法過程のもとでは多層バーの簡単化された処理の利点並びにこれらの多層バーを用いた複数の多層アクチュエータの同時製造が用いられる。さらに有利には、凹部内に設けられる電気的に絶縁すべき電極の側面がスリップキャスティングによって効果的に絶縁可能である。そのうえさらにスリップキャスティングの焼成が多層バーの焼結と組合せて行われる。これは当該製造方法のさらなる最適化を達成するためのものである。

【0015】

本発明による製造方法のさらに別の代替例によれば、以下の方法ステップが実施される。すなわち、多層バーの積層方向で、複数の圧電セラミック層と複数の電極の交互に配置された構成からなる素地としての多層バーを形成し、それによって前記積層方向に対して垂直方向の多層バーの奥行きは1つの多層アクチュエータの奥行きに相応させ、前記積層方向に対して垂直方向の多層バーの幅は複数の多層アクチュエータの幅に相応させ、さらに前記複数の電極は前記多層バーの全奥行きと幅に亘って延在させるか、または積層方向において複数の圧電セラミック層と複数の電極の交互に配置された構成からなる圧電的にフルアクティブなスタッカートを形成するステップと、前記多層バーの奥行き方向に平行する方向で1つおきの電極のそれぞれ1つの側面を、鋸引き処理、研磨処理、レーザー処理、浸食処理及び／又は成形処理によって除去し、それによって前記多層バーの対向する広幅側においてそれぞれ1つおきの電極が当該多層バー内へセットバックされ、さらにこのセットバックされた電極側面が積層方向で多層バーの対向する広幅側にて圧電層1つ分だけ互いに離間されるステップと、前記電極のセットバックされた側面に電気的な絶縁層をコーティングし、積層方向に対して平行な方向で多層バーの対向する広幅側にそれぞれ複数の外部電極を被着させるステップと、当該多層バーの奥行きに平行な方向と積層方向で前記多層バーを焼結し複数の圧電セラミック多層アクチュエータに分離させるステップが実施される。

【0016】

以下では本発明を図面に基づき詳細に説明する。

【実施例】**【0017】**

圧電セラミック多層アクチュエータを製造するために、まず圧電セラミックのグリーンフィルム（素地）が注型される。それに続いてこのグリーンフィルムには電極材料が印刷される。この電極材料は例えば銀・パラジウム合金からなる。これらの面は後の内部電極20を形成する。さらに印刷されたこれらのグリーンフィルムは積層方向（スタッカート方向）Sで1つのスタッカートを形成すべく上下に積層される。有利には2つの印刷済みグリーンフィルムの間に未印刷のグリーンフィルムが配置される。これは後の多層アクチュエータ内部において電気的な短絡の危険性を低減させるためである。

【0018】

グリーンフィルムが積層処理された後ではこれらが1つのブロックとして存在する。このブロックの幅及び奥行きは、後の1つの多層アクチュエータの幅及び奥行きの数倍分に相応する。素地の状態ではこのブロックは化学的、機械的又はそれ以外の方式で処理するのに十分に安定している。さらにブロックの構造は、焼結された状態よりも抵抗が少なく、そのため少ないコストでブロックの処理が実施できる。

【0019】

素地の状態のブロック（図示せず）は、例えば鋸引きによって複数の多層バー10に分割される。この多層バー10は素地体（グリーンボディ）として、積層方向Sで複数の圧電セラミック層30と複数の電極20の交互配置からなる構成を含んでいる。積層方向Sに対して垂直方向の多層バー10の奥行きTは、製造後の1つの多層アクチュエータの奥行きに相応し、積層方向Sに対して垂直な方向の多層バー10の幅Bは製造後の複数の多層アクチュエータの幅に相応している（図1A、B参照）。多層バー10の電極20は多層バー10の全奥行きTに亘って延在している。

【0020】

1つの実施形態によれば（図1A参照）、多層バー10の高さHは、後の焼結された状態の多層アクチュエータの高さにほぼ相応している。さらなる処理ステップと焼結の後では（下方参照）、多層バー10が分離ステップによってその積層方向Sに平行な方向で個々の多層アクチュエータに分割される（図1A中の波線参照）。さらに別の実施形態によれば（図1B）、焼結処理された多層バー10が積層方向Sに対して平行及び垂直方向で切断によって波線に沿って分割される。素地状態における多層バー10を用いることによ

って、同時に多数の多層アクチュエータを製造することができる。それに対してはさらに製造方法の枠内で素地状態の容易な処理が有効利用される。

【0021】

素地状態の多層バー10は前述したような積層方向Sでそれぞれ交互に配置された圧電セラミック層30と電極20を含んでいる。電極20の側面22, 24はそれぞれ多層バー10の広幅側12の表面まで届く。この多層バー10はその対向する端面側15にそれぞれ1つの補助電極25を含んでいる。1つおきの電極20は補助電極25のところから始まって対向する補助電極25の前で終端している。それ故に電極20は多層バー10の幅B全体に亘っては延在していない。側面22若しくは24を有する1つおきの電極20は、それによって補助電極25の使用に基づいて一緒に電気的駆動が可能である。このような構成から多層バー10の端面15に当接する圧電的に不活性な領域5も複数生じる。これらは多層アクチュエータの製造において失われた領域とみなされる。なぜならそれは製造方法の終了後はさらなる使用には供されないからである。

【0022】

多層バー10を素地の状態で供給した後、すなわち、多層バーを製造するステップS1と補助電極を配設するステップS2の終了した後では、有利には広幅側12が不動体化層で絶縁される。不動体化層を被着した後は多層バー10が電解槽で電気化学的に処理を施される(図2参照)。ここでは不動体化層なしの多層バーを処理することも考えられる。そのようなケースでは多層バーの1つの広幅側12だけを電気化学的に処理すべく電解槽52に浸らせる(図2)。

【0023】

図2に示されている電気めっき槽を用いることによって多層バー10が電気化学的に処理され、そこでは電極20の側面22; 24に導電材料がコーティングされる。この材料としては金、銀・パラジウム合金などや後の熱処理に耐えられるその他の材料、合金などが挙げられる。

【0024】

電気めっき槽は電圧源50を介して電気めっき槽電極54と補助電極25の1つとの間で電気的な直流電圧を印加するために電解質52と電気めっき槽電極54を含んでいる。直流電圧源50は補助電極25の1つにしか接続されていない。そのため広幅側12において側面22のみが電気的絶縁材料をコーティングされる。このコーティングの間は電解質52から金属イオンが電界中を電極方向20に遷移し、側面22において析出される。この析出過程の終了後は不動体化層が除去され、対向する広幅側12に被着されるか又は対向する広幅側12が電気めっき槽に浸漬される。別の補助電極25が直流電圧源50と接続されることにより、対向する広幅側12においては電極20の側面24のみが導電材料をコーティングされる。

【0025】

それ故に対向する広幅側12においてコーティングされる側面22, 24は、図3に示されているようにそれぞれ圧電層30の1つ分だけ相互に離間される。それと共に電極20の側面22または24における電気化学的に析出される導電材料は、凹部40も含んでおり、この凹部内にそれぞれ1つの電極20が配設されている。

【0026】

さらに別の製造方法代替例によれば、図3に示されているものと類似の凹部構造が電界エッチングS4によって形成される。この目的のために多層バー10は広幅側12のみか若しくは事前に不動体化された広幅側12が完全にエッチング槽に浸漬される。このエッチング槽は有利には通常の電解液、例えば水酸化、塩化ナトリウム水溶液、硝酸ナトリウム水溶液などを含んでいる。その後で1つの補助電極25のみを介して電気的な直流電圧が電極20の側面22に印加される。それ故に電極20の側面22のみが電気化学的に除去される。その後で対向する広幅側12はエッチング槽に浸漬され、他の補助電極25が電気的に駆動される。それにより電極20の側面24が除去される。ここではまた対向する広幅側12に不動体化層を設け、別の補助電極25を電気的に駆動することも考えられ

る。このエッティング手法によれば、側面 24 がエッティング除去されるかないしはセットバックされる。それにより両方の広幅側 12 において電極 20 のそれぞれエッティングされない側面 22 ないし 24 の間に複数の凹部 40 が形成される。側面 22, 24 は層 30 の圧電性の側面に比べて小さいので、それらは少ないコストでエッティングでき、それによって奥行き T の方向に平行な方向で多層バー 10 内部へセットバック（後退）される。

【0027】

先行する製造ステップに依存することなく広幅側 12 で 1つおきの電極 20 を電気的に絶縁するために（これによって外部金属化層が印刷され得るようになる（図 11 のステップ S7））、凹部 40 がスリップで充填される。このスリップが凹部 40 を充填する限り（図 3 及び図 4 参照）、それぞれの凹部 40 内へ配設される電極 20 が（図示されていない）層によってカバーされる。前記スリップは有利にはセラミック粉末若しくはガラス状粉末であってもよい。それにより当該スリップの乾燥後に凹部 40 内で電極 20 に亘って電気的な絶縁層が形成される。多層バー 10 の焼結過程 S8 の期間中は凹部 40 内のスリップも硬化するので、抵抗性の層が新たな熱処理なしで形成され得る。

【0028】

また有利には多層バー 10 を先に焼結処理した後で電気化学的な処理を施すこと、つまり既述したように凹部構造を形成するために導電材料を析出したり電極 20 の側面をセットバックさせることも可能である。その後で凹部 40 にスリップが充填され、この充填されたスリップが調整された熱処理を施されることによって硬化される。その後外部金属化層の被着と多層バーの個々の多層アクチュエータへの分離が行われる。

【0029】

前記焼結過程 S8 の前には、多層バー 10 が個々の多層アクチュエータへ分割される領域において外部金属化層が印刷される（S7）。この外部金属化層の印刷は例えばスクリーン印刷やそれに類似の手法によって行われてもよい。それに続いて当該の外部金属化層を備えた多層バー 10 が焼結され、図 1A, B における波線に沿って個々の多層アクチュエータへの個別化される。この個別化においては不活性領域 5 が当接する補助電極 25 と共に分離される。有利にはこのステップ S7 の個別化ないし分離は、焼結過程 S8 の前後で実施される。例えばこの個別化が焼結過程 S8 の前に行われる場合には、多層バー 10 の構造がまだそれほど硬化なものではないので、それによって少ないコストで個別化が実施できる。

【0030】

本発明による製造方法のさらに別の代替例によれば、前述した凹部構造が図 5 から図 10 に示されているように電極 20 の側面 22, 24 の除去ステップ S5 によって形成される。前記方法ステップ S5 を伴う製造手法では、補助電極 25 を備えた多層バー 10 / スタックや圧電的不活性領域 5 も、不動体化層も不要である。それ故にここでは前述してきたフルアクティブな圧電層構造の製造手法に比べてはるかに簡単な処理が可能となる。

【0031】

図 5 の断面図に示されているように素地状態の多層バー 10 の広幅側 12 で電極面 22 の除去が行われる。この除去は研磨、鋸引き、レーザー、浸食及び／又はプレス等の処理を用いて多層バー 10 の奥行き方向 T で行われる。前記除去過程 S5 の第 1 の代替実施例によれば、広幅側 12 において 1つおきの電極 20 の側面 22 がその経過方向に対して平行な方向で除去される（図 5, 6 参照）。ここで除去方向 60 は側面 22 に平行に配向されている。この処理に基づいて側面 22 は奥行き（T）方向で多層バー 10 内へセットバックされ、そのようにして凹部 40 が形成される。より分かり易くするために図 6 には図 5 のライン A-A に沿った断面図が示されている。

【0032】

前記過程は多層バー 10 の両方の広幅側 12 において実施される。これはその後の凹部をスリップを用いて絶縁し、外部金属化層を被着させ、焼結過程 S8 を実施するためである（前記説明参照）。

【0033】

別の代替実施例によれば、除去方向 60 が電極 20 の側面 22；24 の経過方向に対し平行でない方向に配向される（図 7 参照）。このことは、側面 22；24 の一部の領域だけを除去すればよいので、製造コストの低減につながる。図 7 のライン A-A に沿った断面図によれば、このような電極 20 の側面 22；24 の経過方向に平行でない方向での除去過程によっても既述したような凹部構造が形成される（図 8 参照）。これらの凹部 40 はこのケースにおいては空間的にみて図 7 のライン B-B やライン C-C に沿った断面図（図 9 ないし図 10）からわかるように側面 22，24 の一部領域に接している。このような電極 20 の側面 22；24 の経過方向に対して傾斜方向の除去過程においては側面 22；24 が確実に析出され一部領域において除去される。この手法によれば、前記の平行な除去に比べてそれぞれ1つおきの電極 20 を多層バー 10 内へセットバックさせ、引き続き絶縁処理を施すための装置の調整費コストが少なくて済む。

【0034】

多層バー 10 の両側面 12 における凹部構造の形成後には、同じ方法ステップないし代替的方法ステップが前述してきた説明のように実施される。

【0035】

またここでは多層バー 10 をまず焼結した後で、前述したような除去過程を実施して凹部構造を形成することも考えられる。その後は、凹部 40 内に設けられた電極の側面 22；24 がそれぞれスリップを用いることによって電気的に絶縁され、このスリップが熱処理によって硬化される。

【0036】

別の代替例によれば、除去過程が多層バーにおいてではなく、後の多層アクチュエータのスタック（図示せず）において実施され得る。もしもこのスタックが素地の状態で存在するならば、除去によって形成された凹部構造内のスリップの熱処理を当該スタックの焼結処理に結合させることができる。前記スタックが焼結処理された状態で存在するならば、除去過程と凹部構造内へのスリップ被着過程の後で当該スリップの硬化のために熱処理が実施される。