

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4930410号
(P4930410)

(45) 発行日 平成24年5月16日(2012.5.16)

(24) 登録日 平成24年2月24日(2012.2.24)

(51) Int.Cl.	F I	
HO 1 L 41/083 (2006.01)	HO 1 L 41/08	S
HO 1 L 41/22 (2006.01)	HO 1 L 41/08	Q
HO 1 L 41/24 (2006.01)	HO 1 L 41/22	Z
HO 1 L 41/187 (2006.01)	HO 1 L 41/22	A
FO 2 M 51/00 (2006.01)	HO 1 L 41/18	1 O 1 D
請求項の数 9 (全 17 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2008-42112(P2008-42112)
 (22) 出願日 平成20年2月22日(2008.2.22)
 (65) 公開番号 特開2008-244458(P2008-244458A)
 (43) 公開日 平成20年10月9日(2008.10.9)
 審査請求日 平成20年7月11日(2008.7.11)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-46071(P2007-46071)
 (32) 優先日 平成19年2月26日(2007.2.26)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 (74) 代理人 100079142
 弁理士 高橋 祥泰
 (74) 代理人 100110700
 弁理士 岩倉 民芳
 (72) 発明者 村井 敦司
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内
 (72) 発明者 鈴木 聡司
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の圧電セラミック層と複数の内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の側面に形成された一対の側面電極とを有する積層型圧電素子において、

上記内部電極層は、いずれか一方の上記側面電極に電氣的に接続しており、

上記セラミック積層体は、該セラミック積層体の側面から内方に凹むスリット状の領域に、上記圧電セラミック層よりも形状を容易に変化し得る応力緩和部を有し、

該応力緩和部を挟んで隣り合う2つの上記内部電極層は、いずれも正極側の上記側面電極に電氣的に接続されていることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項2】

請求項1において、上記応力緩和部は、上記セラミック積層体の側面から内方に凹んだスリット状の溝部であることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項3】

請求項1又は2において、上記積層型圧電素子は、複数の上記圧電セラミック層と複数の上記内部電極層とを一体的に焼成してなることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項4】

請求項1又は2において、上記積層型圧電素子は、接着剤により複数の上記セラミック積層体を積層方向に接合してなることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項5】

請求項 4 において、上記応力緩和部は、上記セラミック積層体同士を接着剤を介して接合する際に、上記セラミック積層体の外周部付近に接着剤を塗布しない非接着部を配設することにより形成してあることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項において、上記応力緩和部は、焼成時に消失する消失材料を用いて形成してあることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項において、上記応力緩和部は、スリット状の上記領域を上記積層型圧電素子の分極又は駆動時に亀裂が生じる材料によって形成し、上記積層型圧電素子の分極又は駆動時に亀裂を生じさせて形成してあることを特徴とする積層型圧電素子

10

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項において、上記積層型圧電素子の積層方向の最も外側に位置する 2 つの上記内部電極層は、いずれも正極側の上記側面電極に電氣的に接続されていることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項において、上記積層型圧電素子は、燃料噴射弁に用いられることを特徴とする積層型圧電素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、複数の圧電セラミック層と複数の内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の側面に形成された一对の側面電極とを有し、上記セラミック積層体の側面から内方に凹んだスリット状の領域に応力緩和部が形成された積層型圧電素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、燃料噴射弁の駆動源等には、積層型圧電素子が用いられている。積層型圧電素子は、例えば内部電極と圧電セラミックとが交互に多数枚積層されたセラミック積層体に、上記内部電極と交互に電氣的に接続される一对の外部電極を接合してなる。

30

上記積層型圧電素子は、特に燃料噴射弁等の用途においては、過酷な条件の下で長期間に渡って使用される。そのため、例えば、側面の電氣的な絶縁性を向上させるため、内部電極層の端部の一部を内方に控えた電極控え部を有するセラミック積層体が広く採用されている。

ところが、絶縁性を向上させるために上記のごとく電極控え部を形成すると、上記セラミック積層体において、電圧を印加したときに、変形する部分と変形し難い部分とが生じ、その境界部分に応力集中が起こって素子にクラックが発生するおそれがあった。

【0003】

応力集中によるクラックの発生を回避するために、セラミック積層体の側面に、積層方向に対して所定の間隔で形成された溝部（応力緩和部）を有する積層型圧電素子が開発されている（特許文献 1 参照）。

40

しかし、応力緩和部を形成した場合においても、該応力緩和部に電圧が印加されたときに、応力緩和部の先端からクラックが発生するおそれがあった。これを回避するためには、応力緩和部（溝部）における積層方向に対して垂直な方向の深さを内部電極の電極控え部の距離よりも大きくする必要があった。ところが、このような構成にすると、応力緩和部（溝部）に大きな電圧が印加されたときに、溝部に放電が起こり、ショートしてしまうおそれがあった。即ち、絶縁性を十分に確保できず、積層型圧電素子としての寿命が短くなるという問題があった。

【0004】

また、応力緩和部を挟む内部電極を同一極とした積層型圧電素子が開発されている（特

50

許文献2参照)。かかる従来の積層型圧電素子においては、応力緩和部を挟む内部電極を同一極とすることにより、これらに挟まれる圧電セラミック層を圧電不活性層とし、積層型圧電素子が伸縮したときに上記圧電不活性層に応力を集中させることができる。その結果、万一クラックが生じることがあっても、応力緩和部に選択的(優先的に)クラックが入り、積層体の圧電活性層にクラックが生じることを防止し、耐久性を向上できると考えられていた。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記のように応力緩和部を挟む2つの内部電極を同一極にすると、応力緩和部に選択的(優先的に)クラックが入りやすくなる。よって積層型圧電素子の圧電活性層にクラックが生じることを確実に防止でき、耐久性を向上できる。

10

しかしながら、実際には、応力緩和部にクラックが生じていない状態であっても、十分な絶縁性を得ることはできず、依然として絶縁抵抗が低下してショートが発生してしまうという問題があった。

【0006】

【特許文献1】特開昭62-271478号公報

【特許文献2】特開2006-216850号公報

【0007】

本発明はかかる従来の問題点に鑑みてなされたものであって、より確実に絶縁抵抗の低下を防止し、耐久性に優れた積層型圧電素子を提供しようとするものである。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、複数の圧電セラミック層と複数の内部電極層とを交互に積層してなるセラミック積層体と、該セラミック積層体の側面に形成された一対の側面電極とを有する積層型圧電素子において、

上記内部電極層は、いずれか一方の上記側面電極に電氣的に接続しており、

上記セラミック積層体は、該セラミック積層体の側面から内方に凹むスリット状の領域に、上記圧電セラミック層よりも形状を容易に変化し得る応力緩和部を有し、

該応力緩和部を挟んで隣り合う2つの上記内部電極層は、いずれも正極側の上記側面電極に電氣的に接続されていることを特徴とする積層型圧電素子にある(請求項1)。

30

【0009】

本発明において最も注目すべき点は、上記応力緩和部を挟んで隣り合う2つの内部電極層がいずれも正極側の上記側面電極に電氣的に接続されていることにある。

即ち、本願発明者らは、積層型圧電素子に溝部等の応力緩和部を形成する際の不具合に関して鋭意研究した結果、上記応力緩和部に隣接する負極層と該負極層に隣接する正極層に挟まれる圧電セラミック層が最も早く絶縁抵抗が低下することを発見するに至った。

この詳細に関して説明するために、まず、一般的な積層型圧電素子の絶縁抵抗低下について説明する。

一般に、積層型圧電素子に高温で高電界を印加し続けると、負極側から低抵抗領域が広がっていく現象が現れる。この原因は、例えば積層型圧電素子を一体焼成により作製した場合において、この一体焼成時に圧電セラミック層へ拡散したイオン状態で存在する導電性金属イオンが、マイナス電極から放出される電子により金属化されることによるものである。上記現象により、正極層と負極層との間の積層方向の電界強度分布が均一ではなくなってしまう。つまり、低抵抗領域の電界強度が低下し、相対的に低抵抗領域以外の電界強度が上昇する。したがって、この電界強度の上昇が絶縁抵抗の劣化を加速させてしまうことになる。また、上記低抵抗領域の広がりや、水分の存在により加速される。

40

具体的には、例えば、一体焼成時に、AgPd電極等からなる内部電極層からPZT等からなる圧電セラミック層へ拡散したAg⁺イオンが駆動時に負極層から放出される電子により金属化されることにより低抵抗領域を形成し、さらにこの低抵抗領域が正極層側へ

50

向かって成長するという現象が起こる ($Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$ 金属)。

特に、応力緩和部を有する積層型圧電素子の場合、応力緩和部は水分が存在する外部に通ずる通路となりうるため、応力緩和部に最も隣接する負極層は特に低抵抗領域の広がり現象が顕著となる。

従って、応力緩和部に隣接する負極層と該負極層に隣接する正極層に挟まれる圧電セラミック層が最も早く絶縁抵抗が低下する。即ち、絶縁抵抗の低下は、上記応力緩和部を挟んで隣り合う2つの内部電極層のうち少なくとも一方が負極である場合に起こり易い。そして、該負極側の上記内部電極層と、これに近隣する正極側の上記内部電極層との間で絶縁抵抗の低下が起こり、ショート等の不具合が発生し易くなると考えられる。

即ち、絶縁抵抗の低下は、上記応力緩和部を挟んで隣り合う2つの内部電極層のうち少なくとも一方が負極である場合に起こり易い。そして、該負極側の上記内部電極層と、これに近隣の正極側の上記内部電極層との間で絶縁抵抗の低下が起こり、ショート等の不具合が発生し易くなると考えられる。

【0010】

本発明のように、上記応力緩和部を挟んで隣り合う2つの内部電極層をいずれも正極とすると、絶縁抵抗の低下の原因となる上記応力緩和部を挟む負極側の内部電極層が存在しなくなる。そのため、絶縁抵抗の低下をより確実に防止し、上記積層型圧電素子の耐久性を向上させることができる。

なお、上述の正極層及び負極層とは、それぞれ正極側及び負極側の上記側面電極に電気的に接続する上記内部電極層のことである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

次に、本発明の好ましい実施の形態について説明する。

本発明の積層型圧電素子は、上記セラミック積層体と、該セラミック積層体の側面に形成された一对の側面電極とを有する。

上記セラミック積層体は、上記圧電セラミック層と内部電極層とを交互に複数積層してなる。また、上記セラミック積層体は、該セラミック積層体の側面から内方に凹むスリット状の領域に応力緩和部を有する。

【0012】

上記応力緩和部は、上記セラミック積層体において、上記圧電セラミックスを構成する結晶粒子が積層方向に分離され、上記圧電セラミック層よりも形状を容易に変化し得る部分である。

上記応力緩和部は、上記セラミック積層体の積層方向に累積する応力を緩和することができる。積層数が少ないと上記応力緩和部による応力緩和効果が小さくなってしまふ。そのため、上記セラミック積層体は、20層以上の内部電極層を有することが好ましい。また、同様の理由から、上記応力緩和部を形成する積層方向の間隔は、内部電極層10層以上50層以下であることが好ましい。上記応力緩和部が内部電極層10層未満の間隔で形成されている場合、又は内部電極層50層を超える間隔で形成されている場合には、上記応力緩和部による応力緩和効果が十分に得られなくなるおそれがある。

【0013】

上記応力緩和部は、具体的には、例えばスリット状の空間(溝部)、スリット状の空間に上記圧電セラミック層よりもヤング率の低い樹脂等の材料で充填した構造、上記圧電セラミック層と同一材料をポーラス状に形成したスリット状の脆弱層、上記圧電セラミック層とは異なるチタン酸鉛等の材料で形成したスリット状の脆弱層、又は分極や作動により意図的に発生させたクラック状のスリット等で形成することができる。

【0014】

好ましくは、上記応力緩和部は、上記セラミック積層体の側面から内方に凹んだスリット状の溝部であることがよい(請求項2)。

この場合には、比較的簡単に上記応力緩和部を形成することができる。

【0015】

上記応力緩和部は、上記セラミック積層体の側面に形成される。上記応力緩和部は、例えば上記側面電極が形成される側の側面に部分的に形成することもできる。この場合には、上記セラミック積層体の側面を挟む一对の応力緩和部を形成することが好ましい。また、上記応力緩和部は、上記セラミック積層体の外周面全周に渡って周方向に設けることもできる。

【0016】

上記積層型圧電素子は、複数の上記圧電セラミック層と複数の上記内部電極層とを一体的に焼成してなることが好ましい（請求項3）。

この場合には、例えば後述の積層体を接着剤によって接合して作製した積層型圧電素子に比べて、変位量を向上させることができる。また、より簡単に積層型圧電素子を作製することができる。

10

【0017】

また、上記積層型圧電素子は、接着剤により複数の上記セラミック積層体を積層方向に接合してなることが好ましい（請求項4）。

この場合には、例えば図20及び図21に示すごとく、比較的積層数の多い積層型圧電素子1を、積層数の少ないセラミック積層体15を複数接合することにより作製することができる。そのため、作製時に脱脂や焼成を簡単に行うことができ、変位等の特性にばらつきが少ない積層型圧電素子を簡単に作製することができる。

【0018】

上記応力緩和部は、上記セラミック積層体同士を接着剤を介して接合する際に、上記セラミック積層体の外周部付近に接着剤を塗布しない非接着部を配設することにより形成してあることが好ましい（請求項5）。

20

この場合には、簡単に応力緩和部を形成することができる。

即ち、図20及び図21に示すごとく、接着剤155によって2つ以上のセラミック積層体15を接合面151で接合して積層型圧電素子1を作製する場合に、積層体15における接合面151の中央部分に接着剤155を塗布し、積層体15における接合面151の外周部付近には接着剤を塗布しない非接着部157を配設する。このようにして、セラミック積層体15を接合すると接着材層155の周囲に、非接着部によりスリット状の溝部（応力緩和部）12を簡単に形成することができる。そして、この場合においても、上記非接着部からなる上記応力緩和部を挟んで隣り合う2つの上記内部電極層を、いずれも正極側の上記側面電極に電氣的に接続することにより、絶縁抵抗の低下を防止し、耐久性に優れるという本発明の作用効果を十分に発揮することができる。

30

【0019】

また、上記応力緩和部は、焼成時に消失する消失材料を用いて形成してあることが好ましい（請求項6）。

この場合には、焼成時に上記消失材料を消失させて上記応力緩和部を容易に形成することができる。

【0020】

上記消失材料としては、例えばパウダー状のカーボン粒子、樹脂粒子、又は、パウダー状の有機物粒子等を炭化させてなる炭化有機物粒子を用いることができる。

40

特に、上記消失材料として上記カーボン粒子を用いた場合には、熱による形状変化が少ないという上記カーボン粒子の特性を生かして、形状精度良く上記応力緩和部を形成することができる。

【0021】

一方、上記消失材料として上記炭化有機物粒子を用いた場合には、上記応力緩和部を形成するためのコストを抑制することができる。

なお、上記有機物粒子としては、例えば、大豆や、トウモロコシを粉碎してなる粒子や、樹脂材料を粉碎してなる粒子等がある。

なお、炭化有機物粒子とは、上記有機物粒子が含有する水分の一部を除去することにより、ある程度炭化させて、流動性及び分散性が良好な微粒子の状態となった粒子をいう。

50

【 0 0 2 2 】

また、上記応力緩和部は、スリット状の上記領域を上記積層型圧電素子の分極又は駆動時に亀裂が生じる材料によって形成し、上記積層型圧電素子の分極又は駆動時に亀裂を生じさせて形成してあることが好ましい（請求項7）。

この場合にも、比較的簡単に上記応力緩和部を形成することができる。

【 0 0 2 3 】

上記積層型圧電素子の積層方向の最も外側に位置する2つの内部電極層は、いずれも正極側の上記側面電極に電氣的に接続されていることが好ましい（請求項8）。

この場合には、上記積層型圧電素子の耐久性をさらに向上させることができる。

上記積層型圧電素子が、一体焼成型の1つのセラミック積層体を有する場合には、該セラミック積層体の最も外側に位置する2つの内部電極層が正極側の側面電極に接続されていることが好ましい。また、上記積層型圧電素子は、複数のセラミック積層体を接着剤にて接合してなる場合には、接合後のセラミック積層体において、最も外側に位置する2つの内部電極層が正極側の側面電極に接続されていることが好ましい。

10

【 0 0 2 4 】

また、上記積層型圧電素子は、燃料噴射弁に用いられることが好ましい（請求項9）。

この場合には、過酷な条件下においても、長期間に渡って絶縁抵抗が低下することなく、安定して作動することができるという本発明の積層型圧電素子の作用効果をより顕著に発揮することができる。

【 実施例 】

20

【 0 0 2 5 】

（実施例1）

次に、本発明の実施例にかかる積層型圧電素子について、図1～図20を用いて説明する。

図1及び図2に示すごとく、本例の積層型圧電素子1は、複数の圧電セラミック層11と複数の内部電極層13、14とを交互に積層してなるセラミック積層体15と、その側面に形成された一対の側面電極17、18とを有する。内部電極層13、14は、いずれか一方の側面電極17、18に電氣的に接続している。

【 0 0 2 6 】

セラミック積層体15は、その側面から内方に凹むスリット状の領域に、圧電セラミック層11よりも形状を容易に変化し得る応力緩和部12を有する。そして、応力緩和部12を挟んで隣り合う2つの内部電極層121、122は、いずれも正極側の側面電極17に電氣的に接続されている。その他の内部電極層13、14は、交互に異なる側面電極17、18に電氣的に接続されている。

30

本例において、応力緩和部12は、セラミック積層体15の側面から内方に凹んだスリット状の溝部（空間）であり、セラミック積層体15の外周面全周に渡って周方向に形成されている。

【 0 0 2 7 】

次に、本例の積層型圧電素子の製造方法につき、図1～図9を用いて説明する。

本例においては、グリーンシート作製工程、電極印刷工程、消失スリット印刷工程、圧着工程、積層体切断工程、及び焼成工程を行うことにより、積層型圧電素子を作製する。

40

以下、製造方法を各工程ごとに説明する。

【 0 0 2 8 】

< グリーンシート作製工程 >

まず、圧電材料となるジルコン酸チタン酸鉛（PZT）等のセラミック原料粉末を準備した。具体的には、出発原料として Pb_3O_4 、 $SrCO_3$ 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 Y_2O_3 、及び Nb_2O_5 を準備し、これらの出発原料を目的組成 $PbZrO_3 - PbTiO_3 - Pb(Y_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ となるような化学量論比で秤量し、湿式混合し、温度850で5時間仮焼した。次に、仮焼粉をパールミルにより湿式粉碎した。この仮焼粉粉碎物（粒径（D50値）： $0.7 \pm 0.05 \mu m$ ）を乾燥した後、溶剤、バインダ、可塑剤、分散剤等を加

50

えてボールミルにより混合し、得られたスラリーを真空装置内で攪拌機により攪拌しながら真空脱泡、粘度調整をした。

【 0 0 2 9 】

そして、ドクターブレード法により、上記スラリーをキャリアフィルム上に塗布し、厚さ 80 μm の長尺のグリーンシートを成形した。このグリーンシートを所定の大きさに切断して、幅広のグリーンシート 1 1 0 (図 3 ~ 図 5) を作製した。

なお、グリーンシートの成形方法としては、本例で用いたドクターブレード法のほか、押出成形法やその他種々の方法を採用することができる。

【 0 0 3 0 】

< 電極印刷工程 >

次に、図 3 及び図 4 に示すごとく、グリーンシート 1 1 0 上に内部電極層となる電極材料 1 3 0、1 4 0 を印刷し、第 1 電極印刷シート 3 1 及び第 2 電極印刷シート 3 2 の 2 種類のシートを形成した。

以下に、電極印刷シート 3 1、3 2 の形成についてさらに説明する。

【 0 0 3 1 】

第 1 電極印刷シート 3 1 の形成に当たっては、図 3 に示すごとく、グリーンシート 1 1 0 上の印刷領域 4 1 において、最終的に内部電極層 1 3 となる部分に電極材料 1 3 0 を印刷した。これにより、第 1 電極印刷シート 3 1 を形成した。

【 0 0 3 2 】

また、第 2 電極印刷シート 3 2 の形成に当たっては、第 1 電極印刷シートと同様に、図 4 に示すごとく、グリーンシート 1 1 0 上の印刷領域 4 1 において、内部電極層 1 4 となる部分に電極材料 1 4 0 を印刷した。これにより、第 2 電極印刷シート 3 2 を形成した。

第 1 電極印刷シート 3 1 及び第 2 電極印刷シート 3 2 においては、グリーンシート 1 1 0 上に形成された電極材料 1 3 0、1 4 0 がそれぞれ異なる側面に露出している。

なお、本例では、電極材料 1 3 0、1 4 0 として、ペースト状の Ag / Pd 合金を用いた。また、上記以外にも、Ag、Pd、Cu、Ni 等の単体、Cu / Ni 等の合金を用いることができる。

【 0 0 3 3 】

< 消失スリット印刷工程 >

また、本例では、製造しようとする積層型圧電素子 1 のセラミック積層体 1 5 の側面にスリット部 1 2 (図 1 及び図 2 参照) を設けるため、図 5 に示すごとく、消失スリット印刷シート 3 3 を形成する消失スリット印刷工程を行った。

同図に示すごとく、上記のグリーンシート 1 1 0 上の印刷領域 4 1 において、最終的にスリット部 1 2 となる部分に焼成によって消失する消失材料よりなる消失スリット層 1 2 0 を印刷した。これにより、消失スリット印刷シート 3 3 を形成した。

【 0 0 3 4 】

なお、本例では、消失スリット層 1 2 0 を構成する消失材料として、熱変形が小さく、焼成工程によって形成される溝の形状精度を高く維持し得るカーボン粒子よりなる材料を用いた。また、カーボン粒子以外にも、炭化させたパウダー状の炭化有機物粒子を用いることもできる。この炭化有機物粒子は、パウダー状の有機物粒子を炭化して得ることができるほか、炭化させた有機物を粉砕して得ることもできる。さらに、上記有機物としては、樹脂等の高分子材料や、コーン、大豆、小麦粉等の穀物を用いることができる。この場合には、製造コストを抑制することができる。

【 0 0 3 5 】

また、電極印刷工程及び消失スリット印刷工程では、図 3 ~ 図 5 に示すごとく、後工程のユニット切断工程において切断される部分を避けるように間隙 4 2 を空けて、電極材料 1 3 0、1 4 0、及び消失スリット層 1 2 0 の印刷を行う。つまり、グリーンシート 1 1 0 上の隣接する印刷領域 4 1 の間に間隙 4 2 を設けて印刷を行う。

【 0 0 3 6 】

< 圧着工程 >

10

20

30

40

50

次に、図 6 に示すごとく、形成した第 1 電極印刷シート 3 1、第 2 電極印刷シート 3 2、及び消失スリット印刷シート 3 3 を所定の順序で各印刷領域 4 1 を積層方向に揃えて積層した。このとき、第 1 電極印刷シート 3 1 及び第 2 電極印刷シート 3 2 を交互に積層し、上記スリット部を形成したい位置に消失スリット印刷シート 3 3 を挿入して積層した。具体的には、本例においては、第 1 電極印刷シート 3 1 と第 2 電極印刷シート 3 2 との積層構造 1 1 層毎に消失スリット印刷シート 3 3 を積層し、第 1 電極印刷シート 3 1 及び第 2 電極印刷シート 3 2 とが合計で 5 9 枚となるように積層した。

このとき、第 1 電極印刷シート 3 1 と第 2 電極印刷シート 3 2 とは電極材料 1 3 0 と電極材料 1 4 0 とが交互に印刷領域の対向する端面に露出するように積層した。ただし、消失スリット印刷シート 3 3 を挟む 2 つの電極印刷シートとしては、電極材料の形成パターンが同じ印刷シート（第 1 電極印刷シート 3 1）を用いた。すなわち、図 6 に示すごとく、消失スリット印刷シート 3 3 の上下には、後述の切断工程後に印刷形成された電極材料 1 3 0 が同じ側面に露出するような向きで第 1 電極印刷シート 3 1 を配置した。

また、積層するシートの上端には、印刷を施していないグリーンシート 1 1 0 を積層した。

そして、このようにして積層したシートを 1 0 0 で加熱すると共に積層方向に 5 0 M Pa で加圧し、予備積層体 1 0 0 を形成した。なお、図 6 においては、図面作成の便宜のため、実際の積層数を省略した形式で予備積層体 1 0 0 を示してある。

【 0 0 3 7 】

< 積層体切断工程 >

次に、図 7 ~ 図 9 に示すごとく、形成した予備積層体 1 0 0 を切断位置 4 3 に沿って積層方向に切断し、中間積層体 1 0 を形成した。

なお、予備積層体 1 0 0 の切断は、各中間積層体 1 0 ごとに切断してもよいし、複数の中間積層体 1 0 を含んで切断してもよい。本例においては、各中間積層体 1 0 ごとに切断し、各電極材料 1 3 0、1 4 0 及び消失スリット層 1 2 0 が中間積層体 1 0 の側面に露出するように切断を行った。

なお、図 8 及び図 9 においては、図面作成の便宜のため、実際の積層数を省略した形式で予備積層体 1 0 0 及び中間積層体 1 0 を示してある。

【 0 0 3 8 】

< 焼成工程 >

次に、中間積層体 1 0 のグリーンシート 1 1 0 に含有されているバインダ樹脂を 9 0 % 以上加熱除去した（脱脂）。加熱は、8 0 時間かけて徐々に 5 0 0 まで昇温し、5 時間保持することにより行った。

次に、脱脂した中間積層体 1 0 を焼成した。焼成は、温度 1 0 5 0 まで 1 2 時間かけて徐々に昇温させ、2 時間保持後、徐々に冷却することにより行った。

このようにして、図 1 及び図 2 に示すごとく、消失スリット層 1 2 0 が消失して形成されたスリット状の応力緩和部 1 2 を有するセラミック積層体 1 5 が作製される。応力緩和部 1 2 は、セラミック積層体 1 5 の側面全周に渡ってスリット状の空間を設けてなる。また、同図に示すごとく、作製されたセラミック積層体 1 0 は、グリーンシート 1 1 0 が焼結してなる圧電セラミック層 1 1 と電極材料 1 3 0、1 4 0 により形成された内部電極層 1 3、1 4 とを交互に積層してなる。

【 0 0 3 9 】

そして、焼成後、全面研磨を行って縦 6 mm × 横 6 mm × 高さ 4 . 4 mm のセラミック積層体 1 5 を作製し、さらに、セラミック積層体 1 5 の両側面を挟むように、側面電極 1 7、1 8 を焼き付けた。このとき、各内部電極層 1 3、1 4 は、それぞれ交互に異なる側面の側面電極 1 7、1 8 に電氣的に接続され、応力緩和部 1 2 を挟む 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 は、同じ側の側面電極 1 7 に電氣的に接続される。そして、本例においては、応力緩和部 1 2 を挟む 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 3 が接続されている側の側面電極 1 7 を正極とした。

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

以上のようにして、図 1 及び図 2 に示すごとく、複数の圧電セラミック層 1 1 と複数の内部電極層 1 3、1 4 とを交互に積層してなるセラミック積層体 1 5 と、その側面に形成されたスリット状の応力緩和部 1 2 と、セラミック積層体 1 5 の側面に形成された一対の側面電極 1 7、1 8 とを有する積層型圧電素子 1 を作製した。

なお、図 1 及び図 2 においては、図面作成の便宜のため、実際の積層数を省略した形式でセラミック積層体 1 5 を示してある。さらに図 2 においては、側面電極を省略して積層型圧電素子 1 を示してある。

【 0 0 4 1 】

本例においては、上記の製造方法により、スリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも正極側の側面電極に電氣的に接続され、かつ、積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 3 がいずれも正極側の側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した（図 1 0 参照）。これを試料 E 1 とする。

10

また、試料 E 1 の比較用として、スリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも負極側の側面電極に電氣的に接続され、かつ、試料 E 1 と同様に、積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 3 がいずれも正極側の側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した（図 1 1 参照）。これを試料 C a 1 とする。

また、試料 E 1 の比較用としてスリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続され、かつ、試料 E 1 と同様に積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層がいずれも正極側の側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子を作製した（図 1 2 参照）。これを試料 C b 1 とする。

20

【 0 0 4 2 】

また、本例においは、上記と同様の製造方法により、スリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも正極側の側面電極に電氣的に接続され、かつ、積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 4 がいずれも負極側の側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した（図 1 3 参照）。これを試料 E 2 とする。

また、試料 E 2 の比較用として、スリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも負極側の側面電極に電氣的に接続され、かつ、試料 E 2 と同様に、積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 4 がいずれも負極側の側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した（図 1 4 参照）。これを試料 C a 2 とする。

30

また、試料 E 2 の比較用としてスリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続され、かつ、試料 E 2 と同様に積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 4 がいずれも負極側の側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子を作製した（図 1 5 参照）。これを試料 C b 2 とする。

【 0 0 4 3 】

さらに、本例においは、上記の製造方法により、スリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも正極側の側面電極に電氣的に接続され、かつ、積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 3、1 4 がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した（図 1 6 参照）。これを試料 E 3 とする。

40

また、試料 E 3 の比較用として、スリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも負極側の側面電極に電氣的に接続され、かつ、試料 E 3 と同様に、積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 3、1 4 がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した（図 1 7 参照）。これを試料 C a 3 とする。

また、試料 E 3 の比較用としてスリット状の溝部（応力緩和部）1 2 を挟む隣り合う 2

50

つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続され、かつ、試料 E 3 と同様に積層方向の最も外側にある 2 つの内部電極層 1 3、1 4 がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続された積層型圧電素子 1 を作製した (図 1 8 参照)。これを試料 C b 3 とする。

なお、図 1 0 ~ 図 1 8 においては、図面作成の便宜のため、外部電極及び実際の積層数を省略した形式で積層型圧電素子 1 を示してある。

【 0 0 4 4 】

次に、上記のようにして作製した積層型圧電素子 (試料 E 1 ~ 試料 E 3、試料 C a 1 ~ 試料 C a 3、及び試料 C b 1 ~ 試料 C b 3) について下記の耐久性試験を行った。

「耐久性試験」

温度 2 0 0 の条件下で、各試料の積層型圧電素子に 3 . 1 k V / m m の電界を印加してこれを駆動させた。次いで、各試料を、既知の抵抗値をとる抵抗 R に直列につないで回路を構築した。そして、各試料に電界を印加しながら、抵抗 R にかかる電圧 (漏れ電流値) をデジタルメータで読み取った。算出される素子 (試料) の絶縁抵抗が 1 0 M を下回った場合を素子の寿命とし、そのときの時間を計測した。耐久性試験は、各試料をそれぞれ 5 サンプルずつ用いてを行った。

その結果を図 1 9 に示す。なお、図 1 9 においては、横軸に電界を印加してからの経過時間を取り、絶縁抵抗が 1 0 M を下回ったときの時間を x 印で示してある。

【 0 0 4 5 】

図 1 9 より知られるごとく、応力緩和部 1 2 を挟んで隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも正極側の側面電極に接続された試料 E 1 ~ 試料 E 3 の積層型圧電素子 1 (図 1 0、図 1 3、図 1 6 参照) は、少なくとも 6 0 0 時間を超える優れた耐久性を示した。

これらの中でも特に、試料 E 1 のようにセラミック積層体の積層方向における最も外側に位置する 2 つの内部電極層 1 3 がいずれも正極側の側面電極に接続されている場合 (図 1 0 参照) には、2 0 0 0 h という非常に長い時間作動させても絶縁抵抗が 1 0 M を下回るサンプルは 5 サンプル中 1 つもなかった。

また、試料 E 2 のようにセラミック積層体の積層方向における最も外側に位置する 2 つの内部電極層 1 4 がいずれも負極側の側面電極に接続されている場合 (図 1 3 参照) には、少なくとも 6 0 0 h を超える十分に優れた耐久性を示し、1 1 0 0 h を超える高い耐久性を占めすものもあった。

また、試料 E 3 のようにセラミック積層体の積層方向における最も外側に位置する 2 つの内部電極層 1 3、1 4 がそれぞれ異なる側面電極に電氣的に接続されている場合 (図 1 6 参照) にも、少なくとも 7 0 0 h を超える十分に優れた耐久性を示し、約 1 1 0 0 h に達する耐久性に非常に優れたものもあった。

【 0 0 4 6 】

これに対し、図 1 1、図 1 4、及び図 1 7 に示すごとく、応力緩和部 1 2 を挟んで隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がいずれも負極側の側面電極に接続された積層型圧電素子 1 (試料 C a 1 ~ 試料 C a 3)、及び図 1 2、図 1 5、及び図 1 8 に示すごとく、応力緩和部 1 2 を挟んで隣り合う 2 つの内部電極層 1 2 1、1 2 2 がそれぞれ異なる側面電極に接続された積層型圧電素子 1 (試料 C b 1 ~ 試料 C b 3) においては、最大でも 4 5 0 h 程度の駆動で絶縁抵抗が 1 0 M を下回っており、耐久性が不十分であることがわかる。

【 0 0 4 7 】

以上のように、本例によれば、より確実に絶縁抵抗の低下を防止し、耐久性に優れた積層型圧電素子 (試料 E 1 ~ 試料 E 3) を作製することができる。

なお、本例においては、焼成時に消失する消失材料を用いて上記応力緩和部を形成したが、消失材料の代わりに、分極又は駆動時に亀裂が生じる材料 (亀裂材料) 等を用いて応力緩和部を形成することもできる。

【 0 0 4 8 】

10

20

30

40

50

また、本発明においては、内部電極部 131、141 及び控え部 135、145 と、スリット層 12 とを図 22 に示す組み合わせのパターンで形成した。本発明はこのパターンに限定されるものではない。セラミック積層体は、該セラミック積層体を積層方向に透視した場合に、すべての内部電極部が重合する領域である重合部と、少なくとも一部の内部電極部しか重合しない、あるいは全く重合しない領域である非重合部とを有するが、応力緩和部は、上記非重合部 19 に形成することができる。

内部電極部 131、141 とスリット層 12 との組み合わせパターンを図 23 (a) ~ (c) に示す。いずれのパターンで形成しても、本発明の効果は十分に発揮される。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図 1】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子の構造を示す説明図。

【図 2】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（セラミック積層体）の断面図。

【図 3】実施例 1 にかかる、第 1 電極印刷シートを形成する工程を示す説明図。

【図 4】実施例 1 にかかる、第 2 電極印刷シートを形成する工程を示す説明図。

【図 5】実施例 1 にかかる、消失スリット印刷シートを形成する工程を示す説明図。

【図 6】実施例 1 にかかる、電極印刷シート及び消失スリット印刷シートを積層する工程を示す説明図。

【図 7】実施例 1 にかかる、予備積層体の上面図。

【図 8】図 5 の A - A 断面を示す断面図。

【図 9】実施例 1 にかかる、中間積層体の断面構造を示す説明図。

【図 10】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 E 1）の断面構造の概略図。

【図 11】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 Ca 1）の断面構造の概略図。

【図 12】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 Cb 1）の断面構造の概略図。

【図 13】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 E 2）の断面構造の概略図。

【図 14】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 Ca 2）の断面構造の概略図。

【図 15】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 Cb 2）の断面構造の概略図。

【図 16】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 E 3）の断面構造の概略図。

【図 17】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 Ca 3）の断面構造の概略図。

【図 18】実施例 1 にかかる、積層型圧電素子（試料 Cb 3）の断面構造の概略図。

【図 19】実施例 1 において作製した 9 種類の積層型圧電素子の耐久性を示す説明図。

【図 20】セラミック積層体を接合して積層型圧電素子を作製する様子を示す説明図。

【図 21】セラミック積層体を接合してなる積層型圧電素子の断面構造を示す説明図。

【図 22】実施例 1 にかかる、内部電極部とスリット層との形成パターンを示すセラミック積層体の展開説明図。

【図 23】実施例 1 にかかる、内部電極部とスリット層との形成パターンのバリエーション (a) ~ (c) を示す説明図。

【符号の説明】

【0050】

1 積層型圧電素子

11 圧電セラミック層

12 応力緩和部

13 内部電極層

14 内部電極層

15 セラミック積層体

17 側面電極

18 側面電極

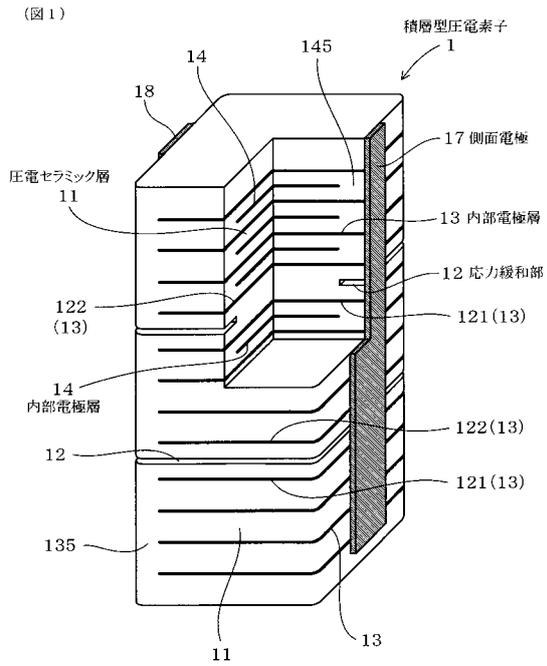
10

20

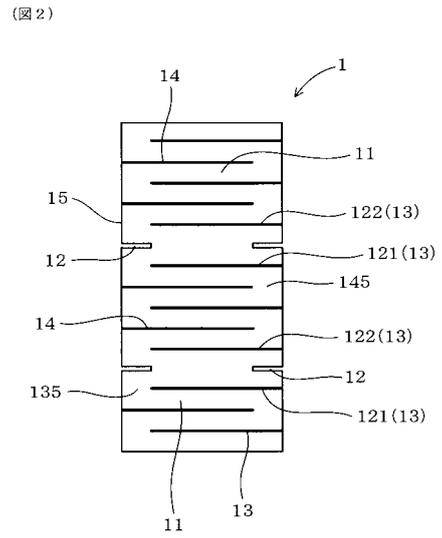
30

40

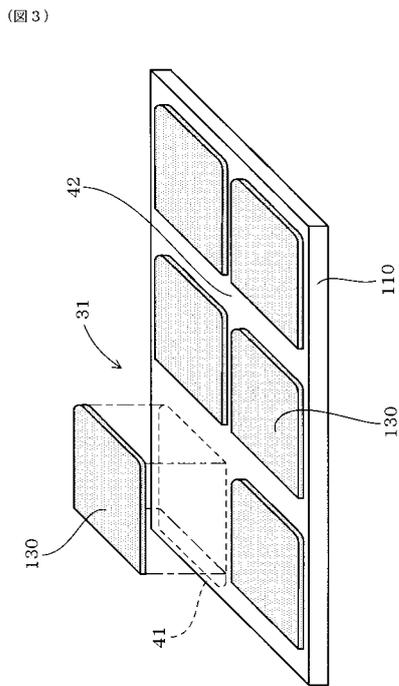
【図1】



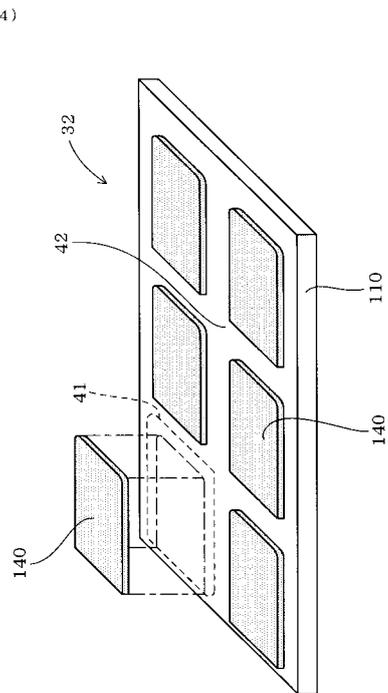
【図2】



【図3】

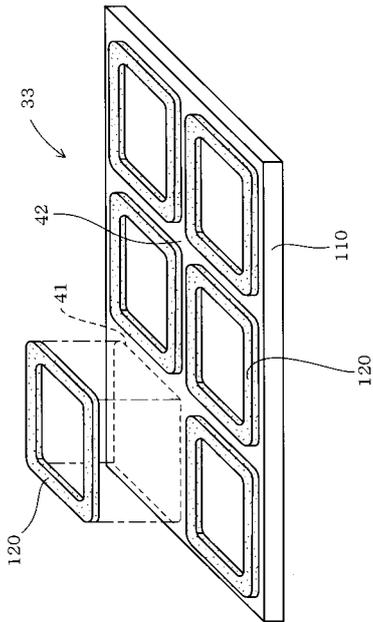


【図4】



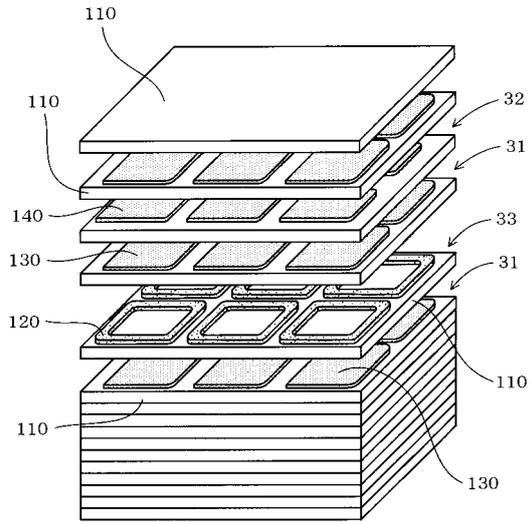
【 図 5 】

(图5)



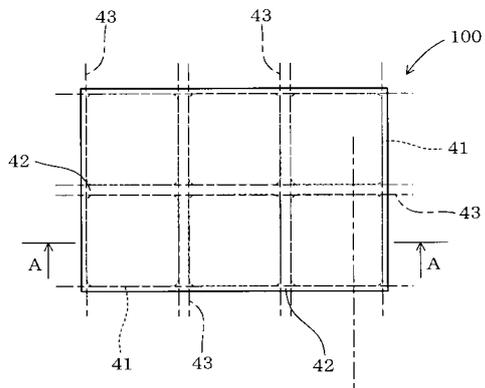
【 图 6 】

(图6)



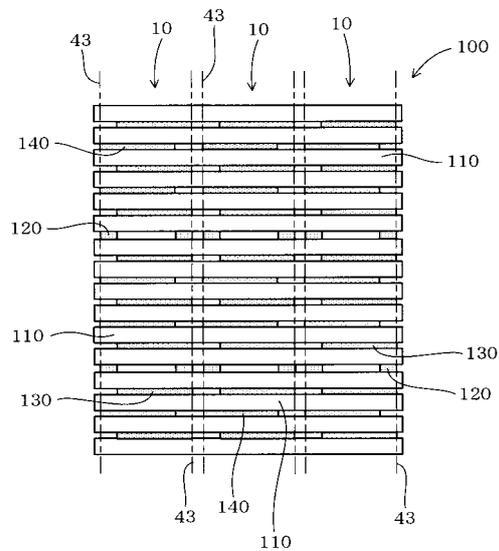
【 图 7 】

(图7)

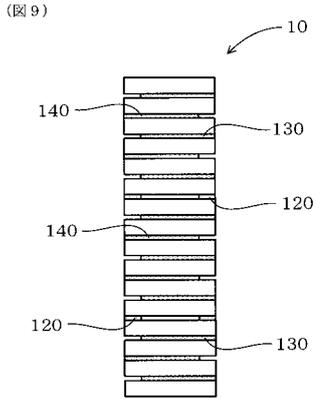


【 图 8 】

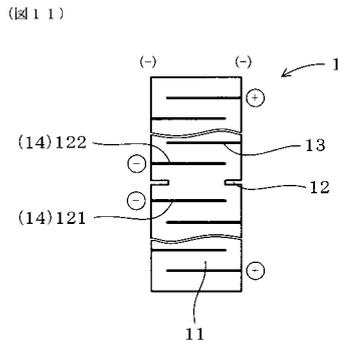
(图8)



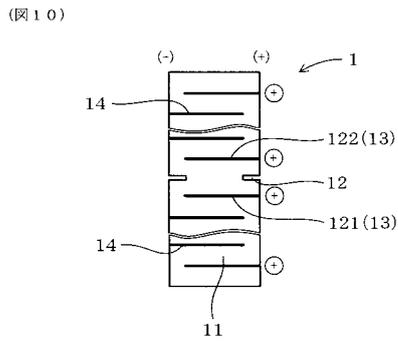
【図9】



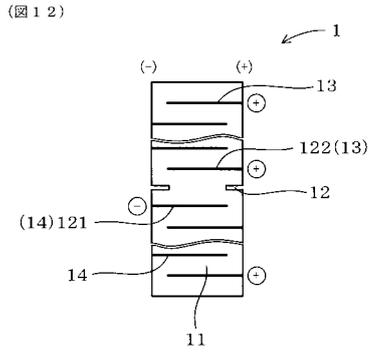
【図11】



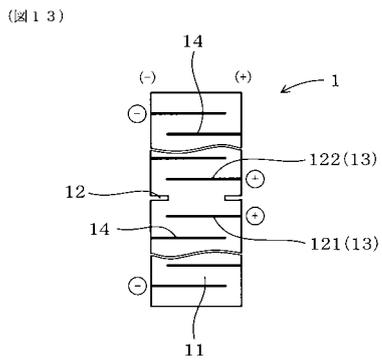
【図10】



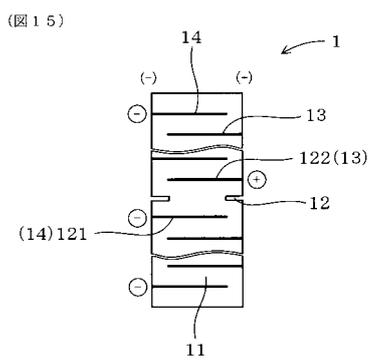
【図12】



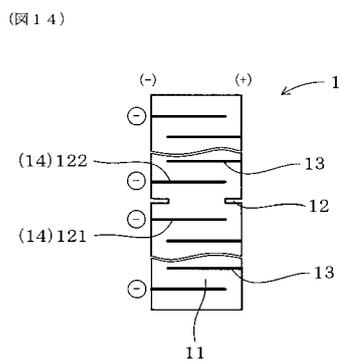
【図13】



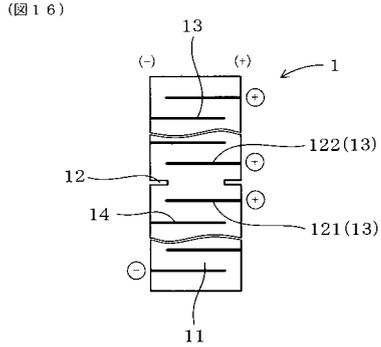
【図15】



【図14】

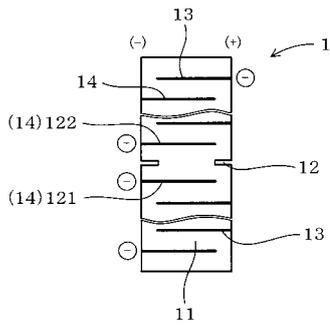


【図16】



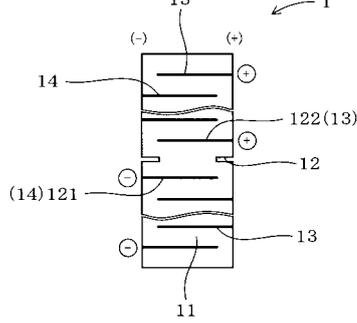
【図17】

(図17)



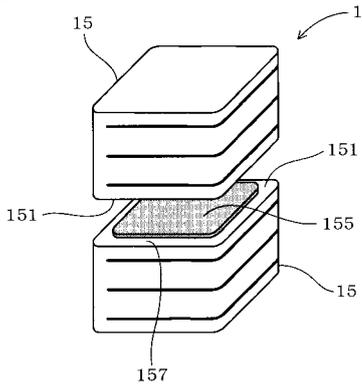
【図18】

(図18)



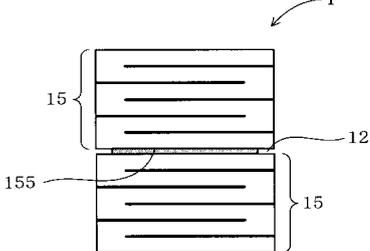
【図20】

(図20)



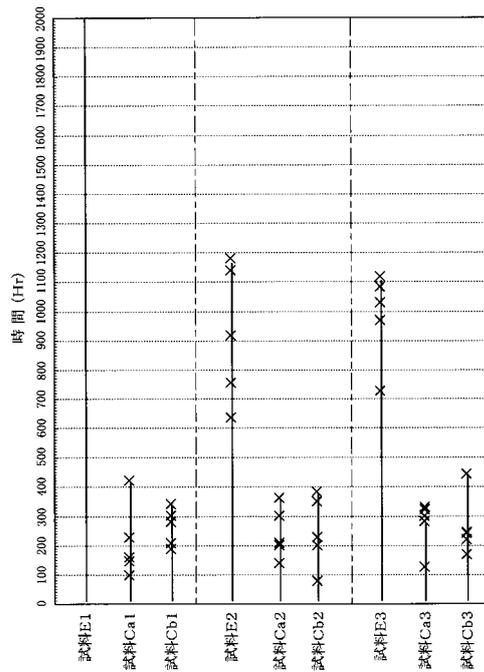
【図21】

(図21)



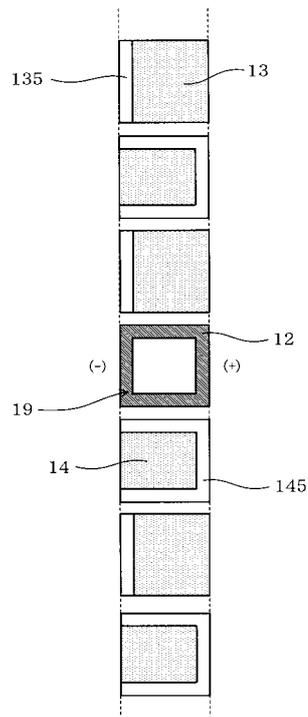
【図19】

(図19)



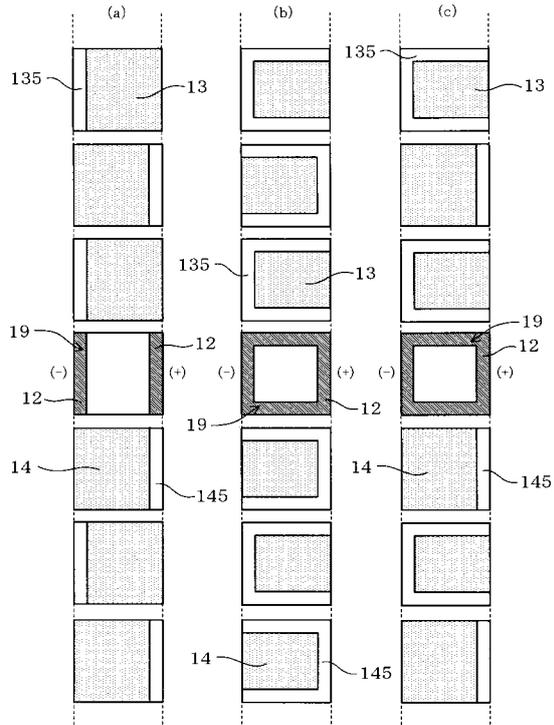
【図22】

(図22)



【 2 3 】

(图 2 3)



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 0 2 M 51/06 (2006.01) F 0 2 M 51/00 E
F 0 2 M 51/06 N

(72)発明者 長屋 年厚
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

審査官 河合 俊英

(56)参考文献 特開2006-216850(JP,A)
特開2006-351602(JP,A)
特開平04-139884(JP,A)
特開平04-139885(JP,A)
国際公開第2006/087871(WO,A1)
特開平11-186625(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 4 1 / 0 8 3
F 0 2 M 5 1 / 0 0
F 0 2 M 5 1 / 0 6
H 0 1 L 4 1 / 1 8 7
H 0 1 L 4 1 / 2 2
H 0 1 L 4 1 / 2 4