

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6043548号
(P6043548)

(45) 発行日 平成28年12月14日(2016.12.14)

(24) 登録日 平成28年11月18日(2016.11.18)

(51) Int.CI.

H01G 4/33 (2006.01)

F 1

H01G 4/06 102

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-191162 (P2012-191162)
 (22) 出願日 平成24年8月31日 (2012.8.31)
 (65) 公開番号 特開2014-49600 (P2014-49600A)
 (43) 公開日 平成26年3月17日 (2014.3.17)
 審査請求日 平成27年6月22日 (2015.6.22)

(73) 特許権者 000204284
 太陽誘電株式会社
 東京都台東区上野6丁目16番20号
 (74) 代理人 100104215
 弁理士 大森 純一
 (74) 代理人 100117330
 弁理士 折居 章
 (74) 代理人 100123733
 弁理士 山田 大樹
 (74) 代理人 100168181
 弁理士 中村 哲平
 (74) 代理人 100168745
 弁理士 金子 彩子
 (74) 代理人 100170346
 弁理士 吉田 望

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】コンデンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の面と、前記第1の面と反対側の第2の面と、前記第1の面と前記第2面に連通する複数の貫通孔とを備える誘電体層であって、前記複数の貫通孔は第1の貫通孔と第2の貫通孔とを含み、前記第1の貫通孔は第1の孔径を有する第1の孔径部と前記第2の面側において前記第1の孔径より小さい第2の孔径を有する第2の孔径部とを有する、誘電体層と、

前記第1の面に配設された第1の外部電極層と、

前記第2の面に配設された第2の外部電極層と、

前記第1の貫通孔内に形成され、前記第1の外部電極層に接続し、先端が前記第2の孔径部に位置して前記第2の外部電極層と離間する第1の内部電極と、

前記第2の貫通孔内に形成され、前記第2の外部電極層に接続し、前記第1の外部電極層と離間する第2の内部電極と

を具備するコンデンサ。

【請求項 2】

請求項1に記載のコンデンサであって、

前記第2の貫通孔は、第3の孔径を有する第3の孔径部と、前記第1の面側において前記第3の孔径より小さい第4の孔径を有する第4の孔径部とを有し、

前記第2の内部電極は、先端が前記第4の孔径部に位置する

コンデンサ。

10

20

【請求項 3】

請求項 2 に記載のコンデンサであって、

前記第 1 の貫通孔は、前記第 1 の孔径部と前記第 2 の孔径部の間において、前記第 1 の孔径より小さく前記第 2 の孔径より大きい第 5 の孔径を有する第 5 の孔径部をさらに有し、

前記第 2 の貫通孔は、前記第 3 の孔径部と前記第 4 の孔径部の間において、前記第 3 の孔径より小さく前記第 4 の孔径より大きい第 6 の孔径を有する第 6 の孔径部をさらに有する

コンデンサ。

【請求項 4】

10

請求項 1 に記載のコンデンサであって、

前記誘電体層は、陽極酸化作用によって貫通孔を生じる材料からなる
コンデンサ。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のコンデンサであって、

前記誘電体層は、酸化アルミニウムからなる
コンデンサ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

20

本発明は、ポーラスコンデンサに関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、新しいタイプのコンデンサとしてポーラスコンデンサが開発されている。ポーラスコンデンサは、アルミニウム等の金属表面に形成される金属酸化物がポーラス（細孔の貫通孔）構造を形成する性質を利用してポーラス内に内部電極を形成し、金属酸化物を誘電体としてコンデンサとしたものである。

【0003】

誘電体の表面及び裏面にはそれぞれ導電体が積層され、ポーラス内に形成される内部電極は表面の導電体と裏面の導電体のいずれか一方に接続される。内部電極と接続されない側の導電体の間は、空隙又は絶縁性材料によって絶縁される。これにより内部電極は、誘電体を介して対向する対向電極として機能する。

【0004】

30

例えば、特許文献 1 及び特許文献 2 には、このような構成を有するポーラスコンデンサが開示されている。いずれの特許文献においても、ポーラス内に内部電極が形成され、内部電極の一端は一方の導電体に接続され、他端は他方の導電体と絶縁されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】****【特許文献 1】特許 4493686 号公報**

40

【特許文献 2】特開 2009-76850 号公報**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

ここで、上記のような構成を有するポーラスコンデンサにおいては、対向する内部電極間の絶縁性能によってコンデンサの絶縁破壊耐圧が左右される。上述のように内部電極は誘電体のポーラス内に形成されているが、内部電極を隔てる誘電体層を厚くすれば、コンデンサの絶縁破壊耐圧を向上させることが可能である。しかしながら、内部電極を隔てる誘電体層を厚くすると、内部電極の対向距離が増大し、コンデンサとしての容量が減少する。即ち、ポーラスコンデンサの絶縁破壊耐圧の向上と容量の維持は共に実現することが

50

困難である。

【0007】

以上のような事情に鑑み、本発明の目的は、絶縁破壊耐性の向上と容量の維持が共に可能なポーラスコンデンサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するため、本発明の一形態に係るコンデンサは、誘電体層と、第1の外部電極層と、第2の外部電極層と、第1の内部電極と、第2の内部電極とを具備する。

上記誘電体層は、第1の面と、上記第1の面と反対側の第2の面と、上記第1の面と上記第2面に連通する複数の貫通孔とを備える誘電体層であって、上記複数の貫通孔は第1の貫通孔と第2の貫通孔とを含み、上記第1の貫通孔は第1の孔径を有する第1の孔径部と上記第2の面側において上記第1の孔径より小さい第2の孔径を有する第2の孔径部とを有する。

上記第1の外部電極層は、上記第1の面に配設されている。

上記第2の外部電極層は、上記第2の面に配設されている。

上記第1の内部電極は、上記第1の貫通孔内に形成され、上記第1の外部電極層に接続し、先端が前記第2の孔径部に位置して上記第2の外部電極層と離間する。

上記第2の内部電極は、上記第2の貫通孔内に形成され、上記第2の外部電極層に接続し、上記第1の外部電極層と離間する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施形態に係るコンデンサの斜視図である。

【図2】同コンデンサの断面図である。

【図3】同コンデンサの誘電体層の斜視図である。

【図4】同コンデンサの誘電体層の断面図である。

【図5】同コンデンサの誘電体層の拡大断面図である。

【図6】同コンデンサの拡大断面図である。

【図7】同コンデンサの製造プロセスを示す模式図である。

【図8】同コンデンサの製造プロセスを示す模式図である。

【図9】同コンデンサの製造プロセスを示す模式図である。

【図10】同コンデンサの製造プロセスを示す模式図である。

【図11】同コンデンサの製造プロセスを示す模式図である。

【図12】同コンデンサの製造プロセスを示す模式図である。

【図13】本発明の実施形態の変形例に係るコンデンサの断面図である。

【図14】本発明の実施形態の別の変形例に係るコンデンサの断面図である。

【図15】同コンデンサの誘電体層の拡大断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明の一実施形態に係るコンデンサは、誘電体層と、第1の外部電極層と、第2の外部電極層と、第1の内部電極と、第2の内部電極とを具備する。

上記誘電体層は、第1の面と、上記第1の面と反対側の第2の面と、上記第1の面と上記第2面に連通する複数の貫通孔とを備える誘電体層であって、上記複数の貫通孔は第1の貫通孔と第2の貫通孔とを含み、上記第1の貫通孔は第1の孔径を有する第1の孔径部と上記第2の面側において上記第1の孔径より小さい第2の孔径を有する第2の孔径部とを有する。

上記第1の外部電極層は、上記第1の面に配設されている。

上記第2の外部電極層は、上記第2の面に配設されている。

上記第1の内部電極は、上記第1の貫通孔内に形成され、上記第1の外部電極層に接続し、先端が上記第2の孔径部に位置して上記第2の外部電極層と離間する。

上記第2の内部電極は、上記第2の貫通孔内に形成され、上記第2の外部電極層に接続

10

20

30

40

50

し、上記第1の外部電極層と離間する。

【0011】

ポーラスコンデンサに電圧を印加していくと内部電極の先端部には電界が集中するため、内部電極の先端部が起点となって、対向する内部電極との間で絶縁耐圧が破壊する。上記の構成によれば、第1の貫通孔は小径となる第2の孔径部をもち、第1の内部電極の先端が第2の孔径部に位置するので、対向する内部電極に対して誘電体層の厚さが厚くなるため、絶縁性が良好となる。一方で、第1の貫通孔は第1の面側が大径であるため、第1の内部電極と対向する第2の内部電極の間の距離は小さく、コンデンサ容量の減少はそれほど生じない。このように、本実施形態に係るコンデンサにおいては、絶縁破壊耐圧の向上とコンデンサ容量の維持を同時に実現することが可能に構成されている。

10

【0012】

上記第2の貫通孔は、第3の孔径を有する第3の孔径部と、上記第1の面側において上記第3の孔径より小さい第4の孔径を有する第4の孔径部とを有し、

上記第2の内部電極は先端が上記第4の孔径部に位置してもよい。

【0013】

この構成によれば、第1の貫通孔と同様に、第2の貫通孔の孔径を均一とせず、第2の面側の孔径を第1の面側の孔径より大きくすることによって絶縁破壊耐圧の向上とコンデンサ容量の維持を同時に実現することが可能に構成されている。第2の貫通孔内に形成される第2の内部電極は、第2の外部電極層に接続され、第1の外部電極層と離間されるため、孔径の大小関係は、第1の貫通孔とは反対になっている。

20

【0014】

上記第1の貫通孔は、上記第1の孔径部と上記第2の孔径部の間において、上記第1の孔径より小さく上記第2の孔径より大きい第5の孔径を有する第5の孔径部をさらに有し、

上記第2の貫通孔は、上記第3の孔径部と上記第4の孔径部の間において、上記第3の孔径より小さく上記第4の孔径より大きい第6の孔径を有する第6の孔径部をさらに有してもよい。

【0015】

上述のように、第1の貫通孔は、内部に形成される第1の内部電極が絶縁される第2の外部電極層側が小径に形成されており、絶縁性が向上する。しかしながら、絶縁破壊の起点となる部位が第1内部電極の先端付近から段差コーナー部（孔径の段差）に移行して絶縁性が充分に向上しないことがある。ここで、第1の貫通孔に第1の孔径部と第2の孔径部の中間の孔径（第5の孔径）を有する第5の孔径部を設けることによって、段差コーナー部の電界集中を分散させ、該部を起点とした絶縁破壊を防止することが可能である。すなわち内部電極間の絶縁破壊耐圧をさらに向上させることができる。第2の貫通孔についても同様に、第6の孔径を有する第6の孔径部を設けることによって、第2の内部電極の段差コーナー部での絶縁破壊を防止することが可能である。即ち、上記構成によれば、コンデンサ容量を維持しつつ、絶縁破壊耐圧をさらに向上させることができると可能である。加えて、第1の貫通孔及び第2の貫通孔はさらに多段階の孔径部を有するものとすることが可能であり、要求されるコンデンサ容量と絶縁破壊耐圧のバランスによって孔径の段数を決定することが可能である。

30

【0016】

上記誘電体層は、陽極酸化作用によって細孔を生じる材料からなるものであってもよい。

【0017】

この構成によれば、当該材料の陽極酸化作用、すなわち自己組織化作用によって形成される細孔（ポーラス貫通孔）を、第1の貫通孔及び第2の貫通孔として利用することが可能である。

【0018】

上記誘電体層は、酸化アルミニウムからなるものであってもよい。

40

50

【0019】

酸化アルミニウム (Al_2O_3) は、陽極酸化することによって自己組織化作用により細孔を生じ、かつ誘電性材料であるため、誘電体層の材料に好適である。

【0020】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態を説明する。

【0021】

(コンデンサの構成)

図1は本発明の一実施形態に係るコンデンサ100を示す斜視図であり、図2はコンデンサ100の断面図である。これらの図に示すように、コンデンサ100は、誘電体層101、第1外部電極層102、第2外部電極層103、第1内部電極104及び第2内部電極105を有する。
10

【0022】

第1外部電極層102、誘電体層101及び第2外部電極層103はこの順で積層され、即ち誘電体層101は、第1外部電極層102及び第2外部電極層103によって挟まれている。第1内部電極104及び第2内部電極105は、図2に示すように誘電体層101に形成された貫通孔の内部に形成されている。なお、コンデンサ100には、ここに示す以外の構成、例えば、第1外部電極層102及び第2外部電極層103にそれぞれ接続された配線等が設けられていてもよい。

【0023】

誘電体層101は、コンデンサ100の誘電体として機能する層である。誘電体層101は、後述する貫通孔(ポーラス)を形成することが可能な誘電性材料からなるものとすることことができ、特に陽極酸化されると自己組織化作用によってポーラスを生じる材料が好適である。このような材料としては、酸化アルミニウム (Al_2O_3) を挙げることができる。また、この他に誘電体層101は、弁金属 (Al 、 Ta 、 Nb 、 Ti 、 Zr 、 Hf 、 Zn 、 W 、 Sb) の酸化物からなるものとすることが可能である。誘電体層101の厚みは特に限定されないが、例えば数 μm ~ 数百 μm とすることができます。
20

【0024】

図3は、誘電体層101を示す斜視図である。同図に示すように、誘電体層101には、それぞれ複数の第1貫通孔101aと第2貫通孔101bが形成されている。誘電体層101の層面方向に平行な表面を第1の面101cとし、その反対側の面を第2の面101dとすると、第1貫通孔101a及び第2貫通孔101bは第1の面101c及び第2の面101dに垂直な方向(誘電体層101の厚み方向)に沿って形成され、第1の面101c及び第2の面101dに連通するように形成されている。なお、図3等に示す第1貫通孔101a及び第2貫通孔101bの数や大きさは便宜的なものであり、実際のものはより小さく、多数である。
30

【0025】

図4は、誘電体層101の断面図であり、図5は図4の拡大図である。これらの図に示すように、第1貫通孔101aは、孔径が異なる二つの部分、孔径d1を有する第1孔径部101eと、孔径d2を有する第2孔径部101fから構成されている。孔径d2は孔径d1より小さい孔径である。第1貫通孔101aにおいて、第1孔径部101eは第1の面101c側に形成され、第2孔径部101fは第2の面101d側に形成されている。第1孔径部101eと第2孔径部101fの割合(長さ比)は特に限定されないが、図5に示すように第1孔径部101eが大部分を占めるものが好適である。
40

【0026】

また、図4及び図5に示すように、第2貫通孔101bも、孔径が異なる二つの部分、孔径d3を有する第3孔径部101gと、孔径d4を有する第4孔径部101hから構成されている。孔径d4は孔径d3より小さい孔径である。第2貫通孔101bにおいて、第3孔径部101gは第2の面101d側に形成され、第4孔径部101hは第1の面101c側に形成されている。第3孔径部101gと第4孔径部101hの割合(長さ比)は特に限定されないが、図5に示すように第3孔径部101gが大部分を占めるものが好
50

適である。

【0027】

各孔径 $d_1 \sim d_4$ の関係については、上述のように孔径 d_1 が孔径 d_2 より大きく、孔径 d_3 が孔径 d_4 より大きければよい。孔径 d_1 と孔径 d_3 は同一でもよく、異なってもよい。同様に孔径 d_2 と孔径 d_4 も同一でもよく、異なってもよい。なお、後述する誘電体層 101 の形成方法に従えば、孔径 d_1 と孔径 d_3 、孔径 d_2 と孔径 d_4 はそれぞれほぼ同等となる。

【0028】

第1貫通孔 101a 及び第2貫通孔 101b の孔形状(断面形状)は、上述した孔径 $d_1 \sim d_4$ の大小関係を満たす限り特に限定されず、円形や橢円形、不規則な形状であってもよい。孔径 $d_1 \sim d_4$ の大きさは、例えば数十nm ~ 数百nm 程度とすることができる。また、隣接する第1貫通孔 101a と第2貫通孔 101b の間隔は、例えば数十nm ~ 数百nm 程度とすることができる。

10

【0029】

図2に示すように、第1貫通孔 101a 内には第1内部電極 104 が、第2貫通孔 101b 内には第2内部電極 105 がそれぞれ形成される。したがって、第1貫通孔 101a と第2貫通孔 101b の配列は第1内部電極 104 と第2内部電極 105 の配列に等しい。図4には、第1貫通孔 101a と第2貫通孔 101b は交互に配列されているように示されているが、ランダムに配列されていてもよい。第1貫通孔 101a と第2貫通孔 101b の数的割合は同数でなくてもよいが、同数に近い方が、第1内部電極 104 と第2内部電極 105 の数が同数に近くなり、コンデンサ 100 の容量が大きくなるため、好適である。

20

【0030】

第1外部電極層 102 は図2に示すように、誘電体層 101 の第1の面 101c 上に配設されている。第1外部電極層 102 は導電性材料、例えば、Cu、Ni、Cr、Ag、Pd、Fe、Sn、Pb、Pt、Ir、Rh、Ru、Al、Ti 等の純金属やこれらの合金であるものとすることができます。第1外部電極層 102 の厚さは例えば数十nm ~ 数μm であるものとすることができます。また、第1外部電極層 102 は、複数層の導電性材料が積層されるように配設されたものとすることも可能である。

30

【0031】

第2外部電極層 103 は図2に示すように、誘電体層 101 の第2の面 101d 上に配設されている。第2外部電極層 103 は、第1外部電極層 102 と同様の導電性材料からなるものとすることができます、その厚さは例えば数nm ~ 数μm であるものとすることができます。第2外部電極層 103 の構成材料は第1外部電極層 102 の構成材料と同一でもよく異なっていてもよい。また、第2外部電極層 103 も、複数層の導電性材料が積層されるように配設されたものとすることが可能である。

【0032】

第1内部電極 104 は、コンデンサ 100 の一方の対向電極として機能する。図2に示すように第1内部電極 104 は、第1貫通孔 101a に形成され、第1外部電極層 102 に接続されている。図6は、第1内部電極 104 及び第2内部電極 105 の形状を示す拡大図である。同図に示すように第1内部電極 104 は、第1貫通孔 101a の形状(2段階の孔径)にしたがって、2段階の径(電極径)を有し、第1外部電極層 102 から、第1貫通孔 101a の第1孔径部 101e を介して第2孔径部 101f の途中まで形成されている。即ち、第1内部電極 104 は、一端が第1外部電極層 102 に接続され、他端すなわちその先端は第2孔径部 101f 内に位置して第2外部電極層 103 と離間している。第1内部電極 104 と第2外部電極層 103 の間は空間とすることができます、またこの間に絶縁体を配置することも可能である。

40

【0033】

第1内部電極 104 は、導電性材料、例えば Cu、Ni、Co、Cr、Ag、Au、Pd、Fe、Sn、Pb、Pt 等の純金属やこれらの合金からなるものとすることができます。

50

ある。

【0034】

第2内部電極105は、コンデンサ100の他方の対向電極として機能する。図2に示すように第2内部電極105は、第2貫通孔101bに形成され、第2外部電極層103に接続されている。図6に示すように第2内部電極105は、第2貫通孔101bの形状(2段階の孔径)にしたがって、2段階の径(電極径)を有し、第2外部電極層103から、第2貫通孔101bの第3孔径部101gを介して第4孔径部101hの途中まで形成されている。即ち、第2内部電極105は、一端が第2外部電極層103に接続され、他端すなわちその先端は第4孔径部101h内に位置して第1外部電極層102と離間している。第2内部電極105と第1外部電極層102の間は空間とすることができる、またこの間に絶縁体を配置することも可能である。 10

【0035】

第2内部電極105は、第1内部電極104と同様に導電性材料、例えばCu、Ni、Co、Cr、Ag、Au、Pd、Fe、Sn、Pb、Pt等の純金属やこれらの合金からなるものとすることが可能である。なお、第2内部電極105の材料は、第1内部電極104の材料と同一でもよく、異なってもよい。

【0036】

(コンデンサの効果)

コンデンサ100は以上のような構成を有する。図2に示すように、第1内部電極104と第2内部電極105が誘電体層101を介して互いに対向しており、これによりコンデンサが構成されている。第1内部電極104は第1外部電極層102に導通しており、第1外部電極層102を介して外部と接続される。第2内部電極105は第2外部電極層103に導通しており、第2外部電極層103を介して外部と接続される。 20

【0037】

上述のように第1内部電極104と第2外部電極層103の間は絶縁されているが、第1内部電極104の先端に電界が集中する。このため、第1内部電極104と第2内部電極105の間の絶縁性は、第1内部電極104の先端を囲む誘電体層101の厚さ(壁厚)によって左右される。なお第1内部電極104と第2外部電極層103との間には空間(または絶縁体)が存在するため、容易に十分な絶縁性を確保することができる。ここで、本実施形態においては、第1内部電極104の先端近傍は第2孔径部101f内に形成され(図6参照)、厚い誘電体層101の壁に囲まれているため、第1内部電極104と第2内部電極105の間の絶縁性が向上している。 30

【0038】

一方、第1内部電極104の大部分は、第1孔径部101e内に形成されている。一般的に、コンデンサは、誘電体によって隔てられる対向電極間の距離が小さい方が容量が大きくなる。ここで、第1内部電極104の大部分と対向する第2内部電極105の間は、薄い誘電体層101の壁によって隔てられているため、コンデンサ100の容量は維持される。

【0039】

仮に、第1孔径部101eの孔径d1が第2孔径部101fの孔径d2と同一であり、即ち第1貫通孔101aが単一の孔径を有する場合には、対向電極間の距離が大きくなり、絶縁性が向上する替わりにコンデンサ容量が低下することになる。これに対し、本実施形態に係る誘電体層101では、電極先端部近傍だけに限定して対向電極間の距離が大きくなっているので、コンデンサ容量の低下がほとんど生じない。 40

【0040】

このように、本実施形態に係る第1貫通孔101aにおいては、第2孔径部101fと第1孔径部101eが形成されていることにより、第1内部電極104と第2内部電極105の間の絶縁性の向上と、コンデンサ100の容量の維持を共に実現することが可能である。

【0041】

第2内部電極105の場合も同様である。即ち、第2内部電極105と第1内部電極104の間は絶縁されているが、第2内部電極105の先端に電界が集中する。このため、第2内部電極105と第1内部電極104の間の絶縁性は、第2内部電極105の先端を囲む誘電体層101の厚さ（壁厚）によって左右される。ここで、本実施形態においては、第2内部電極105の先端は第4孔径部101h内に形成され（図6参照）、厚い誘電体層101の壁に囲まれているため、第2内部電極105と第1内部電極104の間の絶縁性が向上している。

【0042】

一方、第2内部電極105の大部分は、第3孔径部101g内に形成されている。これにより、第2内部電極105の大部分と対向する第1内部電極104の間は、薄い誘電体層101の壁によって隔てられているため、コンデンサ100の容量は維持される。このように、本実施形態に係る第2貫通孔101bにおいても、第4孔径部101hと第3孔径部101gが形成されていることにより、第2内部電極105と第1内部電極104の間の絶縁性の向上と、コンデンサ100の容量の維持を共に実現することが可能である。

【0043】

以上のように、本実施形態に係るコンデンサ100においては、誘電体層101にそれぞれ2段階の孔径を有する第1貫通孔101aと第2貫通孔101bが形成されていることにより、コンデンサ容量の維持と絶縁破壊耐圧の向上を同時に実現することが可能である。具体的には、本実施形態の構成を採用しないコンデンサ（貫通孔の孔径が均一）の絶縁破壊耐圧は10～15Vであったが、本実施形態に係る構成を有するコンデンサ（大孔径の孔径部で前記孔径が同一となるコンデンサ）では絶縁破壊耐圧が20～25Vに改善した実験結果が得られている。一方、本実施形態のコンデンサ容量値は2.3%の低下しかみられなかった。なお結果データはN=50の平均値を採用した。

【0044】

（コンデンサの製造方法）

上述したコンデンサ100の製造方法について説明する。なお、以下に示す製造方法は一例であり、コンデンサ100は、以下に示す製造方法とは異なる製造方法によって製造することも可能である。図7乃至12は、コンデンサ100の製造プロセスを示す模式図である。

【0045】

図7（a）は、誘電体層101の元となる基材301を示す。誘電体層101を金属酸化物（例えば酸化アルミニウム）からなるものとする場合、基材301はその酸化前の金属（例えばアルミニウム）である。

【0046】

図7（b）に示すように、例えば15～20に調整されたシュウ酸（0.1mol/l）溶液中で基材301を陽極として電圧を印加すると、基材301が酸化（陽極酸化）され、基材酸化物302が形成される。この際、基材酸化物302の自己組織化作用によって、基材酸化物302に孔Hが形成される。孔Hは酸化の進行方向、即ち基材301の厚み方向に向かって成長する。なお、孔Hの孔径が上述した孔径d1及び孔径d3（図5参照）に相当する。

【0047】

なお、陽極酸化の前に基材301に規則的なピット（凹部）を形成しておき、このピットを基点として孔Hを成長させてもよい。ピットの配置により貫通孔（第1貫通孔101a及び第2貫通孔101b）の配列を制御することが可能となるからである。ピットは、例えば基材301にモールド（型）を押圧することによって形成することが可能である。

【0048】

所定時間経過後、基材301に印加されている電圧を増加させる。自己組織化によって形成される孔Hのピッチは、印加電圧の大きさによって決定されるため、孔Hのピッチが拡大するように自己組織化が進行する。これにより、図7（c）に示すように一部の孔Hについて孔の形成が継続すると共に、孔径が拡大する。一方で、孔Hのピッチが拡大した

10

20

30

40

50

ことによって、他の孔Hについては孔の形成が停止する。以下、孔の形成が停止した孔Hを孔H1とし、孔の形成が継続した（拡大した）孔Hを孔H2とする。

【0049】

陽極酸化の条件は適宜設定可能であり、例えば、図7（b）に示す1段階目の陽極酸化の印加電圧は数V～数100V、処理時間は数分～数日に設定することができる。図7（c）に示す2段階目の陽極酸化の印加電圧では、電圧値を1段階目の数倍とし、処理時間は数分～数十分に設定することができる。

【0050】

例えば、1段階目の印加電圧を40Vとすることにより孔径が100nmの孔Hが形成され、2段階目の印加電圧を80Vとすることにより孔H2の孔径が200nmに拡大される。2段階目の電圧値を上述した範囲内とすることにより、孔H1と孔H2の数を概ね同等とすることが可能である。また、2段階目の電圧印加の処理時間を上述の範囲内とすることにより、孔H2のピッチ変換が十分に完了しつつ、2段階目の電圧印加によって底部に形成される基材酸化物302の厚さを小さくすることができる。2段階目の電圧印加で形成される基材酸化物302は、後の工程で除去されるため、できるだけ薄いことが好みしい。

10

【0051】

続いて、図8（a）に示すように、酸化されていない基材301を除去する。基材301の除去は、例えばウェットエッティングによってすることができる。以降、基材酸化物302の孔H1及び孔H2が形成された側の面を表面302aとし、その反対側の面を裏面302bとする。

20

【0052】

続いて、図8（b）に示すように基材酸化物302を裏面302b側から所定の厚さで除去する。これは反応性イオンエッティング（RIE：Reactive Ion Etching）によってすることができる。この際、孔H2が裏面302bに連通し、孔H1は裏面302bに連通しない程度の厚さで、基材酸化物302を除去する。

【0053】

続いて、図8（c）に示すように、表面302aに導電性材料からなる第1導体層303を成膜する。第1導体層303は、スパッタ法、真空蒸着法等、任意の方法によって成膜することができる。

30

【0054】

続いて、図9（a）に示すように、孔H2内に導電性材料からなる第1内部導体部分304を埋め込む。第1内部導体部分304は、第1導体層303をシード層として基材酸化物302に電解めっきを施すことによって埋め込むことが可能である。孔H1にはめっき液が侵入しないため、孔H1内には第1内部導体部分304は形成されない。

【0055】

続いて、図9（b）に示すように、基材酸化物302を膨張させる。基材酸化物302を、沸騰水蒸気中に数秒から数分程度曝すことによって膨張させることができる。これにより、孔H2の孔径が、孔径d3から孔径d4に減少する（図5参照）。なお、孔H2において、既に第1内部導体部分304が埋め込まれる部分は、第1内部導体部分304が存在することによって孔径が減少せず、孔径d3のままでなる。

40

【0056】

続いて、図9（c）に示すように孔H2内に導電性材料からなる第2内部導体部分305を埋め込む。第2内部導体部分305は、第1導体層303をシード層として基材酸化物302に電解めっきを施すことによって埋め込むことが可能である。上述のように孔H2は孔径が減少しているため、第2内部導体部分305の径は第1内部導体部分304の径より小さくなる。第2内部導体部分305は、孔H2において孔径d4の部分の途中まで形成する。以下、第1内部導体部分304と第2内部導体部分305を合わせて第1内部導体306とする。

【0057】

50

続いて、図 10 (a) に示すように、第 1 導体層 303 を除去する。第 1 導体層 303 の除去は、ウェットエッティング法、ドライエッティング法、イオンミリング法、C M P (Chemical Mechanical Polishing) 法等によってすることができる。

【 0 0 5 8 】

続いて、図 10 (b) に示すように基材酸化物 302 を裏面 302b から所定の厚さで、再度除去する。これは、反応性イオンエッティングによってすることができる。この際、孔 H1 が裏面 302b に連通し、第 1 内部導体 306 が裏面 302b に露出しない程度の厚さで、基材酸化物 302 を除去する。

【 0 0 5 9 】

ここで、孔 H2 において第 1 内部導体 306 が形成されていない空隙はそのままでもよく、絶縁体を封入してもよい。絶縁体は基材酸化物 302 と同様の金属酸化物、電着可能な樹脂材料（例えばポリイミド、エポキシ、アクリル等）、SiO 等とすることができる。空隙の厚さは、コンデンサ 100 の素子容量、絶縁破壊耐圧等に応じて設定することができ、例えば数十 nm から数十 μ m とすることができます。

10

【 0 0 6 0 】

続いて、図 10 (c) に示すように、裏面 302b に導電性材料からなる第 2 導体層 307 を成膜する。第 2 導体層 307 は、スパッタ法、真空蒸着法等、任意の方法によって成膜することが可能である。

【 0 0 6 1 】

続いて、図 11 (a) に示すように、孔 H1 内に導電性材料からなる第 3 内部導体部分 308 を埋め込む。第 3 内部導体部分 308 は、第 2 導体層 307 をシード層として基材酸化物 302 に電解めっきを施すことによって埋め込むことが可能である。なお、第 1 内部導体 306 は第 2 導体層 307 と離間し、絶縁されているため、電解めっきを受けない。

20

【 0 0 6 2 】

続いて、図 11 (b) に示すように、再度基材酸化物 302 を膨張させる。基材酸化物 302 を、沸騰水蒸気中に数秒から数分程度曝すことによって膨張させることができ。これにより、孔 H1 の孔径が、孔径 d1 から孔径 d2 に減少する（図 5 参照）。なお、孔 H1 において、既に第 3 内部導体部分 308 が埋め込まれる領域は、第 3 内部導体部分 308 が存在することによって孔径が減少せず、孔径 d1 のままとなる。

30

【 0 0 6 3 】

続いて、図 11 (c) に示すように孔 H1 内に導電性材料からなる第 4 内部導体部分 309 を埋め込む。第 4 内部導体部分 309 は、第 2 導体層 307 をシード層として基材酸化物 302 に電解めっきを施すことによって埋め込むことが可能である。上述のように孔 H1 は孔径が減少しているため、第 4 内部導体部分 309 の径は第 3 内部導体部分 308 の径より小さくなる。第 4 内部導体部分 309 は、孔 H1 において孔径 d2 の部分の途中まで形成する。以下、第 3 内部導体部分 308 と第 4 内部導体部分 309 を合わせて第 2 内部導体 310 とする。

【 0 0 6 4 】

ここで、孔 H1 において第 2 内部導体 310 が形成されていない空隙はそのままでもよく、絶縁体を封入してもよい。絶縁体は基材酸化物 302 と同様の金属酸化物、電着可能な樹脂材料（例えばポリイミド、エポキシ、アクリル等）、SiO 等とすることができる。空隙の厚さは、コンデンサ 100 の素子容量、絶縁破壊耐圧等に応じて設定することができ、例えば数十 nm から数十 μ m とすることができます。

40

【 0 0 6 5 】

続いて、図 12 に示すように、表面 302a に導電性材料からなる第 3 導体層 311 を成膜する。第 3 導体層 311 は、スパッタ法、真空蒸着法等、任意の方法によって第 1 内部導体 306 と導通するように成膜することが可能である。

【 0 0 6 6 】

以上のようにして、図 2 に示すコンデンサ 100 を製造することができます。なお、

50

基材酸化物 302 は誘電体層 101 に、第 2 導体層 307 は第 1 外部電極層 102 に、第 3 導体層 311 は第 2 外部電極層 103 にそれぞれ対応する。同様に第 1 内部導体 306 は第 2 内部電極 105 に、第 2 内部導体 310 は第 1 内部電極 104 にそれぞれ対応する。

【0067】

(コンデンサの変形例)

図 13 は、本実施形態の変形例に係るコンデンサ 100 を示す模式図である。同図に示すように、変形例に係るコンデンサ 100 の誘電体層 101 において、第 1 貫通孔 101a は、上記実施形態と同様に、大孔径の孔径部と小孔径の孔径部を有するものとすることができる。一方で、第 2 貫通孔 101b は、上記実施形態と異なり、ほぼ均一な孔径を有するように形成されている。

【0068】

このような構成によっても、コンデンサ 100 の容量を維持しつつ、少なくとも第 1 内部電極 104 と第 2 内部電極 104 の絶縁性を向上させることが可能である。

【0069】

このようなコンデンサ 100 は、上述した製造方法と類似の製造方法によって製造することが可能である。具体的には図 11 (b) (c) のプロセスをおこなわずに、上述した製造方法において 2 回ずつ実施した、基材酸化物 302 を膨張させる工程と内部導体を埋め込む工程を 1 回ずつとすればよい。

【0070】

図 14 は、本実施形態の別の変形例に係るコンデンサ 100 を示す模式図である。図 15 は、同コンデンサ 100 の誘電体層 101 の拡大図である。これらの図に示すように、第 1 貫通孔 101a は、第 1 孔径部 101e 及び第 2 孔径部 101f に加え、第 5 孔径部 101i を有する。第 5 孔径部 101i は、第 1 孔径部 101e と第 2 孔径部 101f の間に形成され、第 5 孔径部 101i の孔径 d5 は、第 1 孔径部 101e の孔径 d1 より小さく、第 2 孔径部 101f の孔径 d2 より大きい。

【0071】

第 2 貫通孔 101b も同様に、第 3 孔径部 101g 及び第 4 孔径部 101h に加え、第 6 孔径部 101j を有する。第 6 孔径部 101j は、第 3 孔径部 101g と第 4 孔径部 101h の間に形成され、第 6 孔径部 101j の孔径 d6 は、第 3 孔径部 101g の孔径 d3 より小さく、第 4 孔径部 101h の孔径 d4 より大きい。

【0072】

第 1 内部電極 104 は図 14 に示すように、第 1 貫通孔 101a の形状に応じて形成され、第 1 外部電極層 102 から、第 1 孔径部 101e 及び第 5 孔径部 101i を介して第 2 孔径部 101f の途中まで形成されている(図 15 参照)。第 2 内部電極 105 も図 14 に示すように、第 2 貫通孔 101b の形状に応じて形成され、第 2 外部電極層 103 から、第 3 孔径部 101g 及び第 6 孔径部 101j を介して第 4 孔径部 101h の途中まで形成されている(図 15 参照)。

【0073】

上記実施形態のように、第 1 貫通孔 101a に第 2 孔径部 101f と第 5 孔径部 101i を設けたことにより、段差コーナー部(孔径の段差)が 2 力所となって該部への電界集中は分散される。したがって第 1 内部電極 104 の段差コーナー部を起点とした絶縁破壊を防止することができる。こうして第 1 内部電極 104 と第 2 内部電極 105 の間の絶縁性がさらに向かう。

【0074】

第 2 貫通孔 101b についても同様に、第 2 貫通孔 101b に第 4 孔径部 101h および第 6 孔径部 101j を設けたことにより、段差コーナー部への電界集中をさらに分散させることができるので、第 2 内部電極 105 と第 1 内部電極 104 の絶縁性がさらに向かう。

【0075】

10

20

30

40

50

即ち、この変形例に係るコンデンサ100においては、コンデンサ容量を維持しつつ、絶縁破壊耐圧をさらに向上させることが可能である。また、第1貫通孔101a及び第2貫通孔101bの孔径はそれぞれ3段階としたがこれに限られず、さらに多段階の孔径部を有するものとすることが可能であり、要求されるコンデンサ容量と絶縁破壊耐圧のバランスによって決定することが可能である。

【0076】

このような構成を有するコンデンサ100は、上述した製造方法と類似の製造方法によって製造することが可能である。即ち基材酸化物302を膨張させる工程と内部導体を埋め込む工程を、目的の孔径の段数に合わせて複数回実施すればよい。

【0077】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

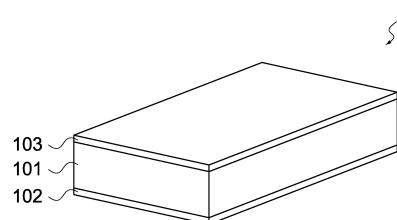
【符号の説明】

【0078】

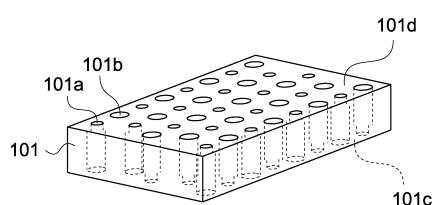
- 100 ... コンデンサ
- 101 ... 誘電体層
- 101a ... 第1貫通孔
- 101b ... 第2貫通孔
- 101c ... 第1の面
- 101d ... 第2の面
- 102 ... 第1外部電極層
- 103 ... 第2外部電極層
- 104 ... 第1内部電極
- 105 ... 第2内部電極

【図1】

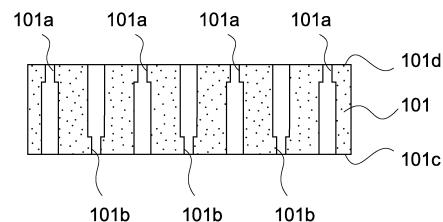
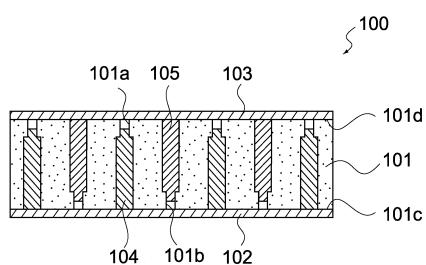
【図3】



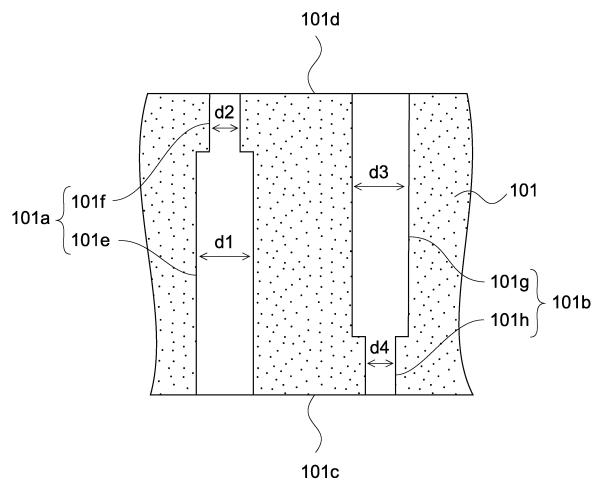
【図2】



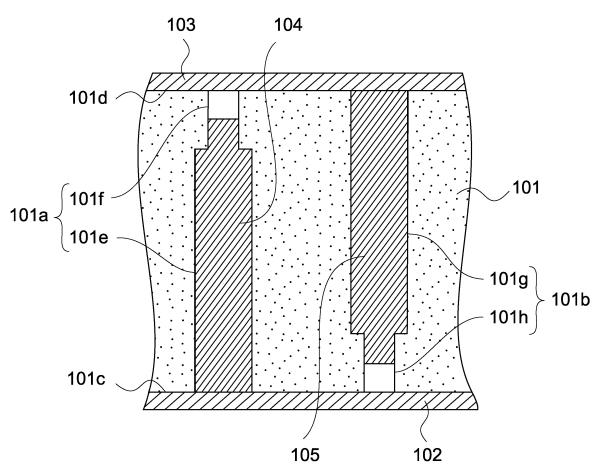
【図3】



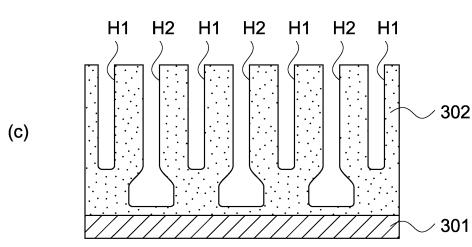
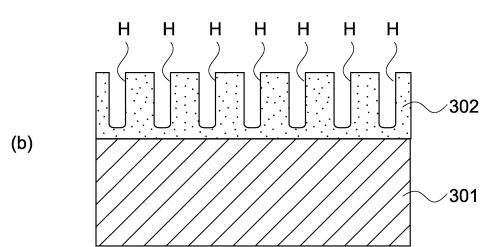
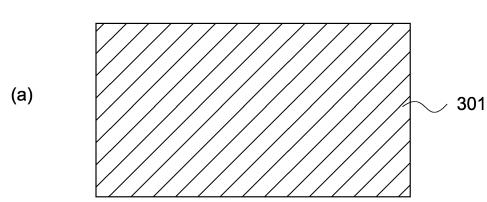
【図5】



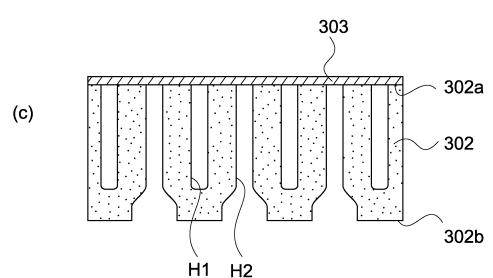
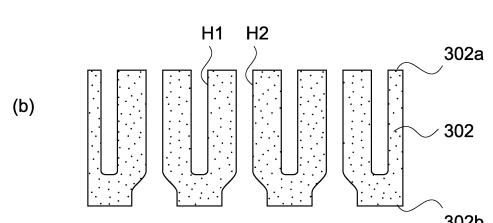
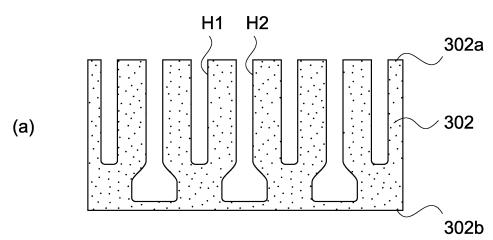
【図6】



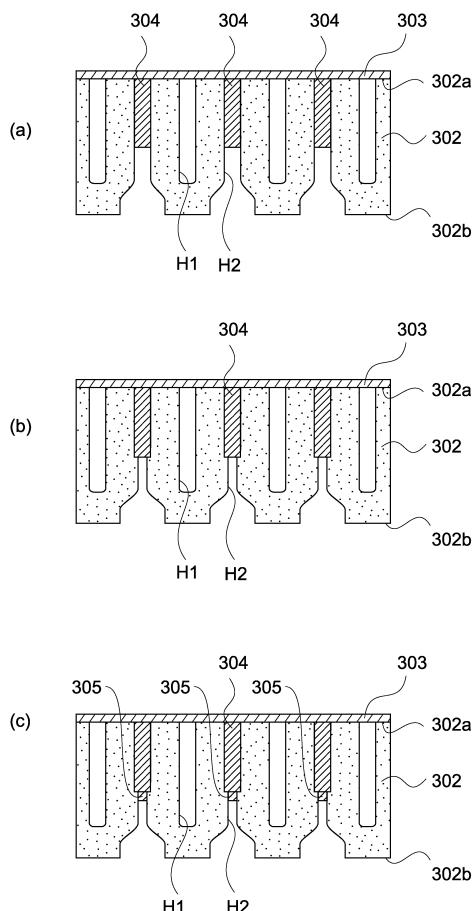
【図7】



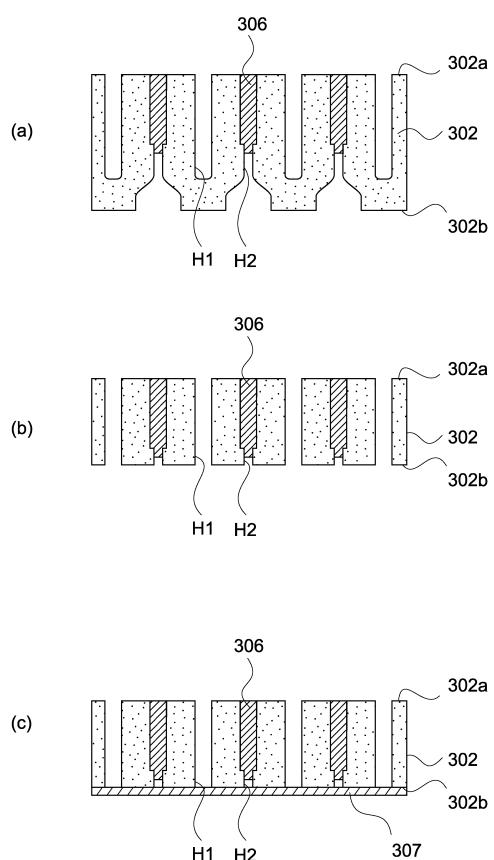
【図8】



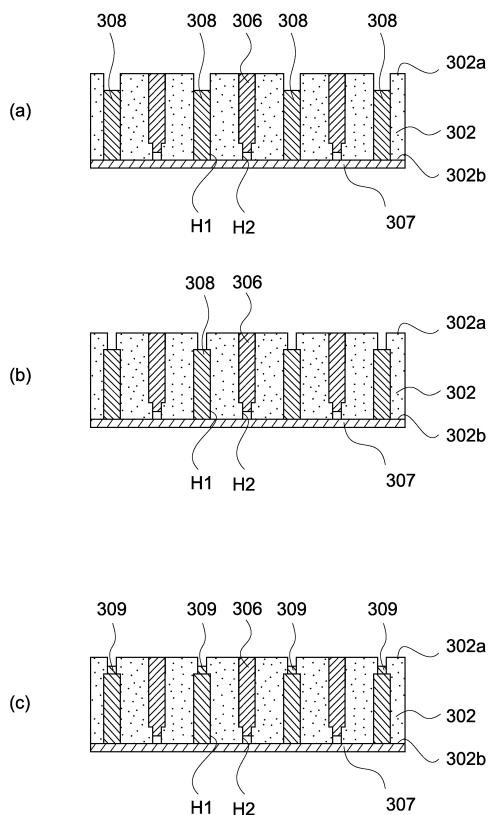
【図9】



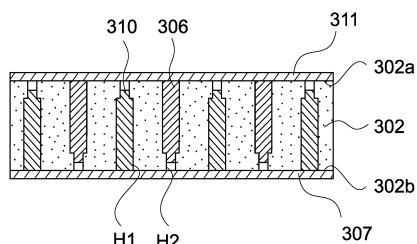
【図10】



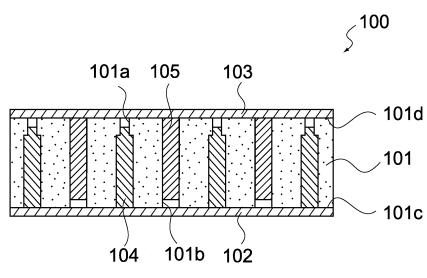
【図11】



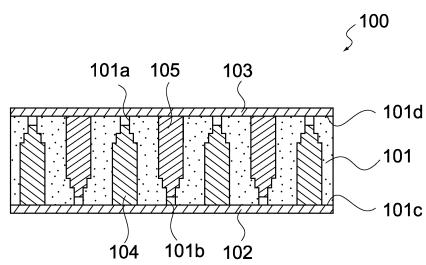
【図12】



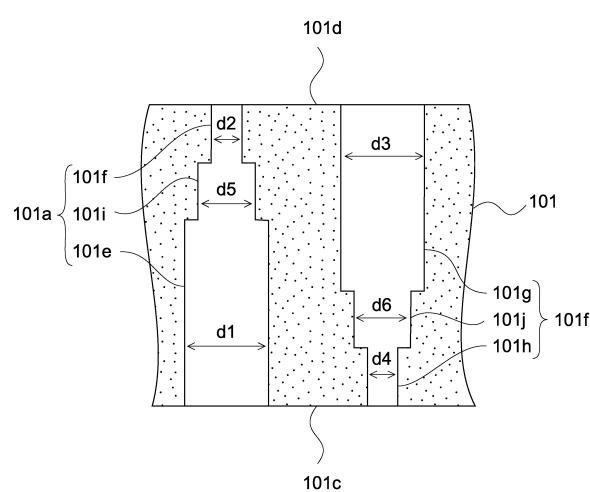
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(74)代理人 100176131

弁理士 金山 慎太郎

(72)発明者 増田 秀俊

東京都台東区上野6丁目16番20号 太陽誘電株式会社内

審査官 多田 幸司

(56)参考文献 特開2013-102103 (JP, A)

特開2009-054980 (JP, A)

特開2009-049212 (JP, A)

米国特許出願公開第2009/0086404 (US, A1)

特開2009-88034 (JP, A)

特開2004-296709 (JP, A)

特開2012-114121 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01G 4/33

H01G 4/30

H01G 4/12