

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-72184
(P2020-72184A)

(43) 公開日 令和2年5月7日(2020.5.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/3205 (2006.01)	HO 1 L 21/88 J	5 F O 3 3
HO 1 L 21/768 (2006.01)	HO 1 L 21/90 N	
HO 1 L 23/522 (2006.01)	HO 1 L 21/90 S	
HO 1 L 23/532 (2006.01)	HO 1 L 23/14 S	
HO 1 L 23/14 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-205406 (P2018-205406)
(22) 出願日 平成30年10月31日 (2018.10.31)

(71) 出願人 504203572
国立大学法人茨城大学
茨城県水戸市文京二丁目1番1号
(74) 代理人 100097113
弁理士 堀 城之
(74) 代理人 100162363
弁理士 前島 幸彦
(74) 代理人 100194283
弁理士 村上 大勇
(72) 発明者 篠嶋 妥
茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号
国立大学法人茨城大学 工学部内
(72) 発明者 ヤズダン ザーレ
茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号
国立大学法人茨城大学 工学部内
最終頁に続く

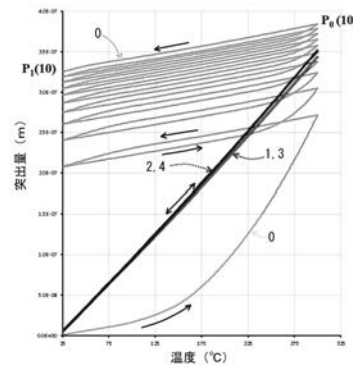
(54) 【発明の名称】 配線構造

(57) 【要約】

【課題】シリコン基板中に配線層が埋め込まれて構成された配線構造において、熱サイクルの際の配線層が塑性変形して突出することを抑制する。

【解決手段】このためには、熱サイクルに際しての配線層に加わる最大応力を小さくして配線層の塑性変形の抑制をするようにバリア層を設定することが有効である。具体的には、バリア層としてヤング率の小さな材料を用いることが好ましい。このような材料として、有機材料がある。図6は、バリア層をこの有機材料(厚さ0.5 μm)の単層構造とした場合(1)、ならびに有機材料層の内側もしくは外側あるいは両側に硬質膜を配置して多層構造とした場合(2~4)と、Tiで構成されたバリア層を用いた場合(0)における、温度サイクル(1サイクル)を印加した場合の温度と配線層の突出量の関係を計算した結果である。この結果より、この有機材料をバリア層として用いた場合には、配線層の塑性変形が抑制されるために、熱サイクル印加後の突出量P₁をほぼ零とすることができる。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコン (S i) を主成分とし、孔部が形成された基板と、
前記孔部の中に埋め込まれて形成され、銅 (C u) を主成分として構成された配線層と

、
前記孔部の深さ方向に沿った内面と前記配線層との間に形成され、ヤング率が 1 G P a 以下、かつポアソン比が 0 . 4 0 以下である軟質バリア層と、
を具備することを特徴とする配線構造。

【請求項 2】

前記軟質バリア層のヤング率が 1 0 0 M P a 以下とされたことを特徴とする請求項 1 に記載の配線構造。 10

【請求項 3】

前記軟質バリア層の熱膨張係数が $1 \times 10^{-5} / K$ 以下とされたことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の配線構造。

【請求項 4】

前記軟質バリア層は有機材料で構成されたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の配線構造。

【請求項 5】

前記軟質バリア層は空孔を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 までのいずれか 1 項に記載の配線構造。 20

【請求項 6】

前記内面と前記軟質バリア層との間、前記配線層と前記軟質バリア層との間の少なくともいずれかに、ヤング率が前記軟質バリア層よりも大きな硬質バリア層を具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 までのいずれか 1 項に記載の配線構造。

【請求項 7】

前記硬質バリア層は金属材料で構成されたことを特徴とする請求項 6 に記載の配線構造。

【請求項 8】

前記孔部は前記基板を貫通しないように形成され、

前記孔部の底面と前記配線層との間に前記軟質バリア層を具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 までのいずれか 1 項に記載の配線構造。 30

【請求項 9】

前記孔部は前記基板を貫通しないように形成され、

前記孔部の底面と前記配線層との間に前記硬質バリア層を具備することを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の配線構造。

【請求項 10】

前記孔部は前記基板を貫通して形成され、

前記配線層は、前記基板の両主面の間の電氣的接続に使用されることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 までのいずれか 1 項に記載の配線構造。

【発明の詳細な説明】 40

【技術分野】

【0001】

本発明は、シリコンで構成された基板中に形成された孔部に、銅を主成分として構成された配線層が埋め込まれた構成を具備する配線構造に関する。

【背景技術】

【0002】

集積回路では、シリコン基板の表面において形成された半導体素子 (トランジスタ等) 同士を電氣的に接続するための微細な配線が多く形成されている。一方、近年では、これとは異なり、シリコン基板を貫通しその厚さ方向の電流の経路となるシリコン貫通電極 (T S V : T r o u g h S i l i c o n V i a) も用いられている。 T S V により、 T 50

S Vが形成されたシリコン基板の表面側と裏面側の素子やチップを電氣的に接続することができる。

【0003】

一般的に、TSVは、シリコン基板中に形成された貫通孔中に導電性の材料で構成された配線層がめっき等の方法によって埋め込まれて形成される。この配線層を構成する材料としては、電気抵抗率が低い銅が主に用いられる。また、銅のシリコン基板への拡散を防止するため、あるいはこの配線層とシリコン基板との間の絶縁性を確保するために、銅で形成された配線層と貫通孔の内面との間には、配線層とは異なる材料で構成されたバリア層が形成される。TSVの大きさ（例えば貫通孔の内径）は、一般的な集積回路上の配線のサイズと比べると大きく、その製造方法や構成はTSV特有のものが用いられ、その製造方法、具体的構成については、例えば特許文献1に記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2014-138118号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一般的に、TSVは、例えばシリコン基板の表面と配線層の表面とが同一平面上にある、あるいはシリコン基板の表面からの配線層の突出量がある小さな値に制御されるように製造され、この状態で、この配線層がシリコン基板の表面側、裏面側でそれぞれ他の配線と接続される。

20

【0006】

ここで、シリコン基板を構成するシリコン(Si)の熱膨張係数は例えば 4×10^{-6} / K程度であるのに対して、TSVの配線層を主として構成する銅(Cu)の熱膨張係数は例えば 15×10^{-6} / K程度であり、これらの値は大きく異なる。このため、TSVに熱サイクルが加わった場合には、高温時に配線層がシリコン基板よりも大きく膨張した後低温で収縮する。この際、高温から低温となる際に配線層がシリコン基板の表面から突出した状態に塑性変形する、あるいはその突出量が大きくなるように塑性変形する場合があった。更に、TSVを形成する際には、銅の粒径制御等のために熱処理が行われるため、上記のような状況は、TSVの製造後だけでなく、TSVの製造工程の途中にも発生した。

30

【0007】

このように、TSVにおいて、配線層がシリコン基板の表面から突出した場合、あるいは、この突出量が大きくなるように変化した場合には、シリコン基板の表面側と裏面側の配線との間のこの配線層を介した接続が不良となる場合があった。更に、このようにシリコン基板を貫通する配線層を具備する場合だけでなく、シリコン基板を貫通はしないが同様にシリコン基板の厚さ方向に埋め込まれて形成された配線層においても、同様であった。このため、シリコン基板中に配線層が埋め込まれて構成された配線構造において、熱サイクルの際に配線層が塑性変形して突出することを抑制することが望まれた。

40

【0008】

本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、上記問題点を解決する発明を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の配線構造は、シリコン(Si)を主成分とし、孔部が形成された基板と、前記孔部の中に埋め込まれて形成され、銅(Cu)を主成分として構成された配線層と、前記孔部の深さ方向に沿った内面と前記配線層との間に形成され、ヤング率が1GPa以下、かつポアソン比が0.40以下である軟質バリア層と、を具備することを特徴とする。

50

本発明の配線構造において、前記軟質バリア層のヤング率が 100MPa 以下とされたことを特徴とする。

本発明の配線構造は、前記軟質バリア層の熱膨張係数が $1 \times 10^{-5} / \text{K}$ 以下とされたことを特徴とする。

本発明の配線構造において、前記軟質バリア層は有機材料で構成されたことを特徴とする。

本発明の配線構造において、前記軟質バリア層は空孔を有することを特徴とする。

本発明の配線構造は、前記内面と前記軟質バリア層との間、前記配線層と前記軟質バリア層との間の少なくともいずれかに、ヤング率が前記軟質バリア層よりも大きな硬質バリア層を具備することを特徴とする。

10

本発明の配線構造において、前記硬質バリア層は金属材料で構成されたことを特徴とする。

本発明の配線構造において、前記孔部は前記基板を貫通しないように形成され、前記孔部の底面と前記配線層との間に前記軟質バリア層を具備することを特徴とする。

本発明の配線構造において、前記孔部は前記基板を貫通しないように形成され、前記孔部の底面と前記配線層との間に前記硬質バリア層を具備することを特徴とする。

本発明の配線構造において、前記孔部は前記基板を貫通して形成され、前記配線層は、前記基板の両主面の間の電氣的接続に使用されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

20

本発明は以上のように構成されているので、シリコン基板中に配線層が埋め込まれて構成された配線構造において、熱サイクルの際に配線層が塑性変形して突出することを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】計算において想定された配線構造の基本的構成を示す平面図（上）、断面図（下）である。

【図2】熱サイクルが印加された場合における配線層の突出量の変化を模式的に示す図である。

【図3】計算において用いられた各種材料の物性値である。

30

【図4】従来の配線構造の熱サイクル（1サイクル）に際しての配線層の突出量の変化を算出した結果である。

【図5】従来の配線構造の熱サイクル（10サイクル）に際しての配線層の突出量の変化を算出した結果である。

【図6】本発明の実施の形態に係るバリア層（単層構造、多層構造）を用いた配線構造と従来の配線構造の、熱サイクルに際しての配線層の突出量の変化を比較した図である。

【図7】本発明の実施の形態に係るバリア層（単層構造、多層構造）を用いた配線構造と従来の配線構造における高温時の配線層の突出量 P_0 の印加熱サイクル数依存性を示す図である。

【図8】本発明の実施の形態に係るバリア層（単層構造、多層構造）を用いた配線構造と従来の配線構造における室温時の配線層の突出量 P_1 の印加熱サイクル数依存性を示す図である。

40

【図9】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のポアソン比依存性をヤング率毎に算出した結果（熱膨張係数 = $1 \times 10^{-6} / \text{K}$ の場合）である。

【図10】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のポアソン比依存性をヤング率毎に算出した結果（熱膨張係数 = $5 \times 10^{-6} / \text{K}$ の場合）である。

【図11】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のポアソン比依存性をヤング率毎に算出した結果（熱膨張係数 = $1 \times 10^{-5} / \text{K}$ の場合）である。

【図12】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のポアソン比依存性をヤング率毎に算出した結果（熱膨張係数 = $5 \times 10^{-5} / \text{K}$ の場合）である。

50

【図13】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のポアソン比依存性をヤング率毎に算出した結果 (熱膨張係数 = $1 \times 10^{-4} / K$ の場合) である。

【図14】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のポアソン比依存性をヤング率毎に算出した結果 (熱膨張係数 = $3.3 \times 10^{-4} / K$ の場合) である。

【図15】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のヤング率依存性を熱膨張係数毎に算出した結果 (ポアソン比 = 0.34 の場合) である。

【図16】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) の熱膨張係数依存性をヤング率毎に算出した結果 (ポアソン比 = 0.34 の場合) である。

【図17】配線層の突出量 P_0 (a)、 P_1 (b) のヤング率、熱膨張係数 (CTE) 依存性を算出した結果 (ポアソン比 = 0.34 の場合) の3次元プロットである。

【図18】単層構造の軟質バリア層を用いる場合の配線構造の第1の例である。

【図19】多層構造 (第2の例: 2層構造) のバリア層を用いる場合の配線構造の例である。

【図20】多層構造 (第3の例: 2層構造) のバリア層を用いる場合の配線構造の例である。

【図21】多層構造 (第4の例: 3層構造) のバリア層を用いる場合の配線構造の例である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の実施の形態に係る配線構造について説明する。この配線構造においては、配線層とシリコン基板との間に設けられるバリア層、特にその物性値の設定に特徴を有する。この配線構造の構造を示す平面図 (上) 及びその中心軸に沿った断面図 (下) である。この配線構造においては、シリコン (Si) で構成された基板 (シリコン基板) 10 中に形成された孔部 10A 中に、薄いバリア層 20 を介して、銅 (Cu) で構成された配線層 30 が埋め込まれている。図1に示された構成自身は、周知の配線構造と同様である。この構造は、例えば、周知のように、基板 10 に孔部 10A を形成した後で、バリア層 20 を構成する材料、配線層 30 を構成する材料 (銅) を連続して成膜した後で、CMP (化学機械研磨) 等を行うことによって、製造することができる。この場合、図1における断面図 (下側) に示されるように、基板 10 の表面 (上面) と配線層 30 の表面 (上面) とが同一平面上にある形態とすることができる。実際には配線層 30 は図1の構造の上面側に設けられた他の配線 (図示せず) と接するように形成され、図1の状態での接触が行われるように構成される。ただし、これらが完全に同一平面上にある必要はなく、実際には配線層 30 の基板 10 の表面からの突出量が予め定まった一定値以下であればよい。

【0013】

ここで、基板 10 を構成する Si の熱膨張係数は $4 \times 10^{-6} / K$ 程度であるのに対して、配線層 30 を構成する Cu の熱膨張係数は $15 \times 10^{-6} / K$ 程度であり、これらの値は大きく異なる。このため、図1の配線構造に熱サイクル (低温 高温 低温) を印加した際の状況を図2に模式的に示す。ここで、図2 (d) は、時間経過に対する温度変化の状況を模式的に示す図であり、この中における A、B、C の時点の状況が図2 (a) ~ (c) にそれぞれ模式的に示されている。図2 (a) ~ (c) は図1下側に対応する図であり、ここでは、バリア層 20 の記載は省略されている。

【0014】

まず、初期状態である図2 (a) (図2 (d) における A) においては、図1下側に示されるように、配線層 30 と基板 10 の表面は同一平面を構成している (配線層 30 の突出量が零である) ものとする。この状態で温度が上昇した図2 (b) (図2 (d) における B) においては、上記のように配線層 30 の熱膨張率が基板 10 の熱膨張率よりも大きいために、配線層 30 が基板 10 の表面から大きく突出する (突出量 P_0)。その後、温度が低下した場合には、配線層 30 は図2 (b) の状態から収縮をするためにこの突出量は減少する。バリア層 20 が存在せず配線層 30 の外側が自由な表面となっている場合には、配線層 30 の膨張、収縮は弾性変形の範囲で行われるため、温度が再び室温となった

10

20

30

40

50

場合（図2（d）におけるC）には、図2（a）の状態、すなわち、配線層30の突出量は零となる。

【0015】

しかしながら、図1の構造においては、配線層30の膨張、収縮の際には、その外側の構造（材料）の影響を受ける。特に、この膨張の際に、配線層30はバリア層20の存在により応力を受け、この応力が銅（配線層30を構成する材料）の降伏応力を超えた場合には、配線層30が塑性変形をする。このように配線層30がバリア層20の存在により熱サイクルに際して塑性変形をする場合には、再び低温となった図2（d）におけるCの状態では図2（c）に示されたように、一般的には配線層30の突出量 P_1 は零とはならない。

10

【0016】

図2においては、低温 高温 低温の熱サイクルが1回のみである場合について示されたが、このような熱サイクルが複数回印加される場合には、配線層30が突出した図2（c）の状態が次の熱サイクルに際しての初期状態となるため、図2（c）における配線層30の突出量 P_1 が熱サイクルの印加回数に応じて累積され、増大する。実際にこの配線構造が使用された半導体装置の使用時においてこのような熱サイクルが印加されることもあるが、それ以前の段階の製造時において使用された各種の熱処理工程がこのような熱サイクルとなる場合もある。

【0017】

このため、配線の接続の信頼性を高めるためには、特に図2（c）の状態における突出量 P_1 を零に近づける（図2（a）の状態に近づける）ことが必要である。以下に、このような熱サイクルに際しての配線層30の突出量と、バリア層20の物性値の関係について有限要素法（FEM）によって調べた結果について説明する。ここで、基板10を構成する材料はSi、配線層30を構成する材料はCuでそれぞれ固定し、これらに対応した物性値が用いられた。

20

【0018】

図3は、上記の構造における各構成要素を構成する材料と、各材料において想定された物性値を示す表である。この計算で用いられた物性値としては、密度、比熱、ヤング率、ポアソン比、熱膨張係数、熱伝導率、降伏強度、接線弾性係数がある。この表において、一つの項目で複数の値が記載されているもの（銅の比熱等）においては、温度（単位）毎の値が温度（左側に記載）と共に右側に記載されている。表におけるreferenceは、<http://www.azom.com>に基づいた値であることを意味し、NAは該当物質が塑性変形しない（弾性変形のみが可能である）ことを意味する。また、計算において、図1の円筒形状の基板10における厚さ $T = 200 \mu\text{m}$ 、直径 $D_1 = 100 \mu\text{m}$ （円筒径）、円筒形状の配線層30において $H = 100 \mu\text{m}$ 、 $D_2 = 20 \mu\text{m}$ とされた。また、この計算において想定される熱サイクルは、図2（d）におけるA、Cの温度を室温（25）、Bの温度（高温）を300とした。

30

【0019】

シリコンの集積回路等において、一般的には配線に対するバリア層として、チタン（Ti）、タンゲステン（W）、ジルコニウム（Zr）の金属材料やこれらの合金が広く用いられている。図4は、上記の条件において、バリア層20として厚さ $3 \mu\text{m}$ のチタンが用いられた場合における、上記の温度サイクル（1サイクル）を印加した場合の温度と配線層30の突出量の関係を計算した結果である。この特性において、突出量の初期値（初めの室温時における値）は零であり、温度が最大（300）となる点の突出量が図2（b）における P_0 であり、再び温度が室温となった点の突出量が図2（c）における P_1 である。突出量の時間経過は図中矢印で示されている。 P_1 が零とならない、あるいは突出量にヒステリシス特性があるのは、温度上昇に伴う配線層30の膨張時に配線層30に加わった応力が銅の降伏強度を超えたために、配線層30が塑性変形したためである。この結果においては、 $P_0 = 0.27 \mu\text{m}$ 、 $P_1 = 0.208 \mu\text{m}$ となる。

40

【0020】

50

また、図5は、この熱サイクルを10回連続して印加した場合における突出量の変化を同様に示す。この場合においては、熱サイクル印加前の突出量（初期値）が零であるが、上記のように1サイクル後の突出量 $P_1 > 0$ となった状態が次のサイクル印加の初期値に対応するため、Nサイクル印加後の P_0 、 P_1 をそれぞれ $P_0(N)$ 、 $P_1(N)$ とすると、 $P_0(1) < P_0(2) < \dots < P_0(10)$ 、 $P_1(1) < P_1(2) < \dots < P_1(10)$ となり、単純な積算とはならないものの、印加された熱サイクルのサイクル数に応じて P_0 、 P_1 は増大する。この結果においては、 $P_0(10) = 0.38 \mu\text{m}$ 、 $P_1(10) = 0.325 \mu\text{m}$ となり、1サイクルの結果（図4）よりも大きくなる。 P_0 、 P_1 を共に小さくする（零に近づける）ことが好ましいが、例えば図5の結果より、1回の温度サイクル後の P_1 を低減することによって、複数回の温度サイクル印加後あるいは印加途中での突出量を低減できることは明らかである。このため、1回の熱サイクル印加後の突出量 P_1 を低減することが特に重要である。配線層30の塑性変形に起因して発生する突出量 P_1 は、バリア層20の設定によって低減することが可能である。このため、本願発明の目的は、特に P_1 を小さくする（零に近づける）ことである。

【0021】

このためには、熱サイクルに際しての配線層30に加わる最大応力を小さくし、配線層30の塑性変形の抑制をするようにバリア層20を設定することが有効である。具体的には、バリア層20としてヤング率の小さな材料を用いることが好ましい。このような材料として、図3中に示された有機材料がある。具体的には、ここで示されたような特性をもつ有機材料としては、パワー半導体素子の封止材料（製品名：ナノテクレジンKA-100、（株）ADEKA製）がある。

【0022】

以下に、このようなヤング率の小さな材料で構成されたバリア層（軟質バリア層）を用いた場合について、同様の計算を行った結果について説明する。ここで、このように軟質バリア層を用いる場合の形態として、第1の例（1）として図1におけるバリア層20をこの軟質バリア層単体で構成する場合と、バリア層20を軟質バリア層を含む多層構造とした場合がある。多層構造とする場合においては、第2の例（2）となる、図1における径方向内側に金属で構成された硬質バリア層、外側に軟質バリア層を設けた2層構造とした場合と、第3の例（3）となる、図1における径方向内側に軟質バリア層、外側に硬質バリア層を設けた2層構造とした場合と、第4の例（4）となる、軟質バリア層の内側と外側にそれぞれ硬質バリア層を設けた3層構造とした場合がある。

【0023】

ここで、軟質バリア層としては、上記の有機材料（厚さ $0.5 \mu\text{m}$ ）を用い、（2）における内側の硬質バリア層は厚さ $1 \mu\text{m}$ のAl、（3）における外側の硬質バリア層は厚さ $1 \mu\text{m}$ のタンゲステン（W）、（4）における内側の硬質バリア層は厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のAl、外側の硬質バリア層は厚さ $0.5 \mu\text{m}$ のWとした。図6は、このように軟質バリア層を用いた場合（（1）～（4））における図4に対応した計算結果を示す。ここで、バリア層20としてTi単層を用いた場合の10サイクル印加の場合の図5の結果も図6において（0）として示されている。（1）～（4）の結果は1サイクルのみについて示されているが、後述するように、これらの特性は実際には複数サイクルにおいてもほぼ重複する。

【0024】

この結果より、少なくとも部分的に軟質バリア層が用いられた（1）～（4）の場合には、いずれもTi単層のバリア層20が用いられた（0）の特性とは異なり、突出量にヒステリシス特性が見られないために、 P_1 が無視できる程度に小さくなる。また、図6においては、（1）（3）の結果、（2）（4）の結果にはそれぞれ有意差がなく、かつ（1）（3）の結果と（2）（4）の結果の差異も小さい。すなわち、軟質バリア層を用いることによるこうした特性は、その形態によらず主に軟質バリア層のみによって定まる。図6においてはいずれも（1）～（4）は1サイクルの結果が示されているが、 P_1 はほぼ零となるため、複数サイクルを印加した場合でも P_1 はほぼ零となり、 P_0 はほぼ一定

10

20

30

40

50

値となる。

【0025】

上記の突出量 P_0 、 P_1 の印加サイクル数依存性を上記の(0)～(4)毎に示した結果が図7(P_0)、図8(P_1)である。図8より、軟質バリア層が用いられた上記の(1)～(4)の場合には、印加サイクル数によらずに P_1 をほぼ零とすることができる。また、図7より、(1)～(4)の場合には、印加サイクル数が小さな場合には(0)と比べて P_0 は大きくなるものの、印加サイクル数が大きな場合には、 P_0 を(0)の場合よりも小さくすることもできる。すなわち、軟質バリア層を用いることは、印加サイクル数が多い場合には P_0 を小さくすることにも寄与する。

【0026】

以上の結果は、図3に示された各材料の物性値を用いた有限要素法によって得られた。次に、具体的な材料についての比較ではなく、単層構造のバリア層20における物性値の上記の特性に対する依存性について、上記と同様の手法により調べた。ここで着目した物性値は、図3の項目の中で上記の特性(配線層30の突出量)に特に大きな影響を与える量として、バリア層20のヤング率、ポアソン比、熱膨張係数である。図9(a)は突出量 P_0 、図9(b)は突出量 P_1 のポアソン比依存性を、熱膨張係数を $1 \times 10^{-6} / K$ とした場合にヤング率毎に算出した結果であり、図10(a)、図10(b)は熱膨張係数を $5 \times 10^{-6} / K$ とした場合、図11(a)、図11(b)は熱膨張係数を $1 \times 10^{-5} / K$ とした場合、図12(a)、図12(b)は熱膨張係数を $5 \times 10^{-5} / K$ とした場合、図13(a)、図13(b)は熱膨張係数を $1 \times 10^{-4} / K$ とした場合、図14(a)、図14(b)は熱膨張係数を $3.3 \times 10^{-4} / K$ とした場合の同様の結果である。これらの図においては、グラフ中の各特性に付記された数字がヤング率である。

【0027】

図15(a)、図15(b)は、図9～14の結果において、ポアソン比を0.34と固定して、突出量 P_0 、 P_1 のヤング率依存性を熱膨張係数毎に示した結果である。この図においては、グラフ中の各特性に付記された数字が熱膨張係数(1/K)である。図16(a)、図16(b)は、図9～14の結果において、ポアソン比を0.34と固定して、 P_0 、 P_1 の熱膨張係数依存性をヤング率毎に示した結果である。この図においては、グラフ中の各特性に付記された数字がヤング率である。図17(a)、図17(b)は、図15(a)と図16(a)、図15(b)と図16(b)の結果を3次元プロットした結果である。

【0028】

これらの結果より、 P_1 を小さくするためには、熱膨張係数によらず、ヤング率、ポアソン比は小さいことが好ましい。特に、どの結果を見ても、ヤング率が10GPaと1GPaの間の差異は大きいため、ヤング率を1GPa以下とすることが特に好ましい。また特に図16、17より、 P_0 、 P_1 は熱膨張係数が大きな場合に顕著であるものの、ヤング率を100MPa以下とすることにより、熱膨張係数によらずに P_1 、更には P_0 も小さくすることができる。このため、特に好ましいのは、ヤング率が100MPa以下、ポアソン比が0.40以下の範囲である。また、図16より、 P_1 、更には P_0 も小さくするためには、バリア層20の熱膨張係数は小さいことが好ましく、特に熱膨張係数を $1 \times 10^{-5} / K$ 以下とすることが好ましい。

【0029】

図3に示されるように、通常の配線材料でバリア層として用いられる金属材料(チタン、タングステン等)のヤング率は10GPa以上と大きい。これに対して、前記の有機材料のヤング率は上記のように低いため、特にこれをバリア層20あるいは軟質バリア層として好ましく用いることができる。

【0030】

また、バリア層20を構成する材料の微細構造によって、同様のヤング率、ポアソン比等を実現し、これを軟質バリア層とすることもできる。例えば、緻密な状態では高いヤング率を有する材料を、微細な空孔を多数有する形態(多孔質)の薄膜として成膜すること

10

20

30

40

50

によって、実質的に上記のような低いヤング率、ポアソン比を実現することができる。これによって、上記のような有機材料以外の材料を用いた軟質バリア層を実現することができる。

【0031】

このようなヤング率が小さなバリア層20（軟質バリア層）を使用する際の形態は、配線層の基板中における形態に応じて設定することができる。まず、バリア層20を上記のような軟質バリア層からなる単層構造とした場合の形態の代表的な例の断面構造を図18（a）～（c）に示す。図18（a）、図18（b）においては、孔部10Aは基板10を貫通せず、図18（c）においては、孔部10Aは基板10を貫通する。図1に示された通り、図6等の特性は、図18（a）の形態を仮定して算出された。しかしながら、上記のような配線層30の塑性変形に本質的に影響を及ぼすのは、配線層30とその側面における孔部10Aの内面との間のバリア層20である。このため、この部分に上記のバリア層20が形成された他の形態として、図18（b）のように、配線層30の底面側にはバリア層20を設けない構造をとることができる。また、TSVとして上記の配線構造を用いる場合には、孔部10Aを基板10を貫通するように形成し、孔部10Aの内面（側面）に上記のバリア層20を形成した図18（c）の構造をとることもできる。

10

【0032】

また、図6に示されたように、バリア層20として多層構造（2層以上）を用いた場合において、上記の効果はこの中に上記のようなヤング率の低い軟質バリア層を含ませれば得られる。この場合には、多層構造における軟質バリア層以外の層を、ヤング率の大きな材料で構成してもよい。これらの層（硬質バリア層）を構成する材料は、目的に応じて適宜設定することができる。例えば、軟質バリア層と配線層30又は基板10との間の密着性を向上させるための介在層として、あるいは配線層30周囲の絶縁耐圧確保のために絶縁層として、この硬質バリア層を用いることができる。

20

【0033】

図19～図21は、このようにバリア層20を多層構造とした場合における形態の例を図18と同様に示す。図19、図20においては、バリア層20が2層構造とされ、上記のヤング率が低いバリア層（軟質バリア層201）の内側（図19）又は外側（図20）に金属等のヤング率の高い材料で構成された層（硬質バリア層：内側バリア層203、外側バリア層202）が設けられている。

30

【0034】

図19には、バリア層20が前記の軟質バリア層201と内側バリア層（硬質バリア層）203の2層構造とされ、図19（a）においては軟質バリア層201と内側バリア層203が孔部10A中で一様に成膜され、図19（b）、（c）においては、それぞれ孔部10Aの底面側で軟質バリア層201、内側バリア層203が形成されない形態とされている。図19（d）においては、孔部10Aの底面側で軟質バリア層201、内側バリア層203が共に形成されていない。図19（e）は、図18（c）と同様に、TSVに対応した構造を示す。

【0035】

図20には、バリア層20が前記の軟質バリア層201と外側バリア層（硬質バリア層）202の2層構造とされ、図20（a）においては軟質バリア層201と外側バリア層202が孔部10A中で一様に成膜され、図20（b）、（c）においては、それぞれ孔部10Aの底面側で外側バリア層202、軟質バリア層201が形成されない形態とされている。図20（d）においては、孔部10Aの底面側で軟質バリア層201、外側バリア層202が共に形成されていない。図20（e）は、図18（c）と同様に、TSVに対応した構造を示す。

40

【0036】

図21には、バリア層20が前記の軟質バリア層201、外側バリア層（硬質バリア層）202、内側バリア層（硬質バリア層）203からなる3層構造とされ、図21（a）においては軟質バリア層201、外側バリア層202、内側バリア層203が全て孔部1

50

0 A 中で一様に成膜され、図 2 1 (b)、(c)、(d) においては、それぞれ孔部 1 0 A の底面側で外側バリア層 2 0 2、軟質バリア層 2 0 1、内側バリア層 2 0 3 が形成されない形態とされている。図 2 1 (e) においては孔部 1 0 A の底面側で軟質バリア層 2 0 1 及び内側バリア層 2 0 3 が、図 2 1 (f) においては孔部 1 0 A の底面側で外側バリア層 2 0 2 及び内側バリア層 2 0 3 が、図 2 1 (g) においては孔部 1 0 A の底面側で外側バリア層 2 0 2 及び軟質バリア層 2 0 1 が、それぞれ形成されていない形態とされている。図 2 1 (h) においては、孔部 1 0 A の底面側で軟質バリア層 2 0 1、外側バリア層 2 0 2、内側バリア層 2 0 3 が全て形成されていない。図 2 1 (i) は、図 1 8 (c) と同様に、T S V に対応した構造を示す。

【 0 0 3 7 】

前記のように、軟質バリア層 2 0 1 は、C u で構成された配線層 3 0 と S i で構成された孔部 1 0 A 内の内面との間に存在すれば効果を奏するため、程度の違いは存在するものの、図 1 9 ~ 2 1 の全ての全ての構造において効果を奏する。この際、配線構造の目的や配線層 3 0 の他の配線への接続等の状況に応じて、いずれかの構造を用いることができる。この際、外側バリア層 2 0 2、内側バリア層 2 0 3 を構成する材料としては、ヤング率等によらず、金属や絶縁体を用いることができる。

【 0 0 3 8 】

なお、図 1 8 ~ 2 1 に示された構造においては、配線層 3 0 の側面と孔部 1 0 A の内面の間の深さ方向の全域にわたり軟質バリア層 2 0 1 が形成されているものとした。しかしながら、その効果は小さくなるものの、深さ方向の一部においてのみ軟質バリア層 2 0 1 を設けてもよい。また、図 1 においては、孔部 1 0 A 及び配線層 3 0 の平面形状が円形であるものとした。しかしながら、この形状は任意であり、シリコンで構成された基板中の孔部に埋め込まれた配線層が用いられる限りにおいて、同様に上記のバリア層（軟質バリア層）を用いることができる。

【 0 0 3 9 】

また、上記の例では、配線層 3 0 は銅（C u）で構成されるものとした。しかしながら、配線層 3 0 が純銅で構成されず銅を主成分とする銅合金で構成された場合であっても、その物性が銅と大差のない場合には、上記の構成が同様に有効であることは明らかである。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 0 】

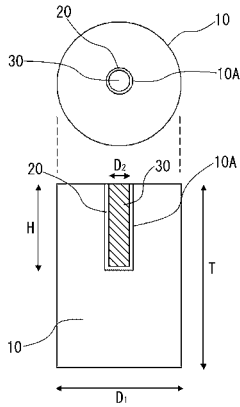
- 1 0 基板（シリコン基板）
- 1 0 A 孔部
- 2 0 バリア層
- 3 0 配線層
- 2 0 1 軟質バリア層
- 2 0 2 外側バリア層（硬質バリア層）
- 2 0 3 内側バリア層（硬質バリア層）

10

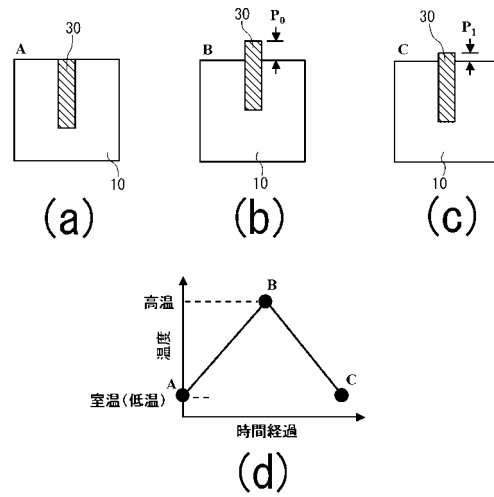
20

30

【図 1】



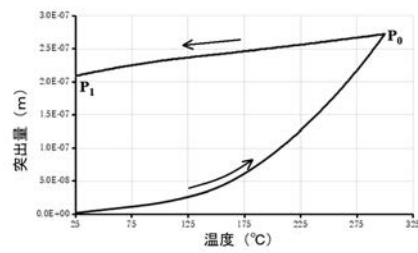
【図 2】



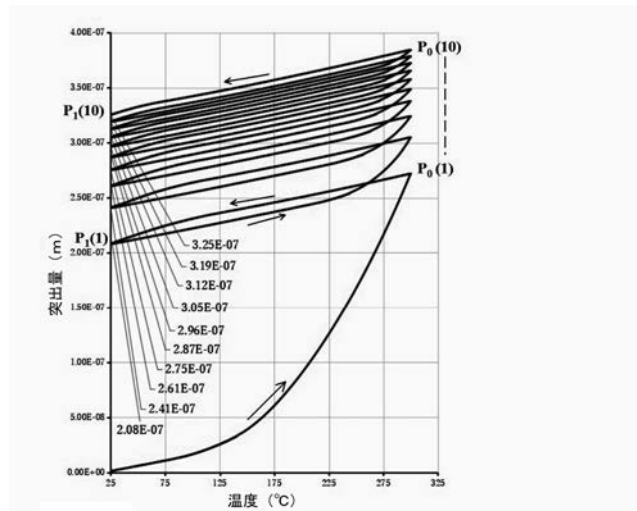
【図 3】

材料	密度 (kg/m ³)	比熱 (J/kg·K)	ヤング率 (Pa)	ポアソン比	熱膨張係数 (1/K)	熱伝導率 (W/m·K)	降伏強度 (Pa)	接納弾性係数 (Pa)	
シリコン	2300	7 377.3	1.30E+11	0.28	4.15E-06	100	NA	NA	
		27 383.2							
銅	8900	77 388.5	1.28E+11	0.34	reference	393	7.00E+07	6.40E+08	
		127 392.8							
		227 400.3							
		327 407.1							
		427 414.6							
チタン	4506	540	8.00E+10	0.36	reference	190	1.81E+08	2.32E+08	
									20 1.10E+11
									100 1.01E+11
									200 9.20E+10
									300 8.50E+10
アルミニウム	2770	963	7.20E+10	0.33	2.27E-05	156	5.90E+07	8.40E+07	
									25 7.20E+10
									500 4.80E+10
									134 4.00E+11
									1200 7.00E+05
タンダステン	19300	134	4.00E+11	0.28	0	4.40E-06	NA	NA	
有機材料	965	1200	7.00E+05	0.47	25	5.30E-04	0.2	NA	

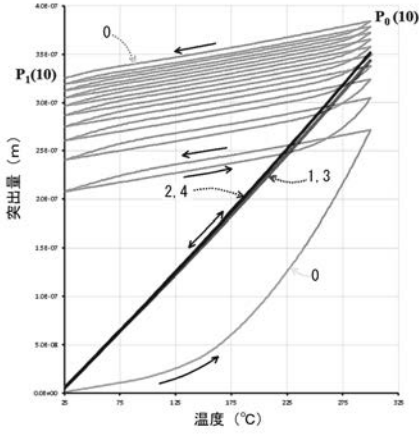
【図 4】



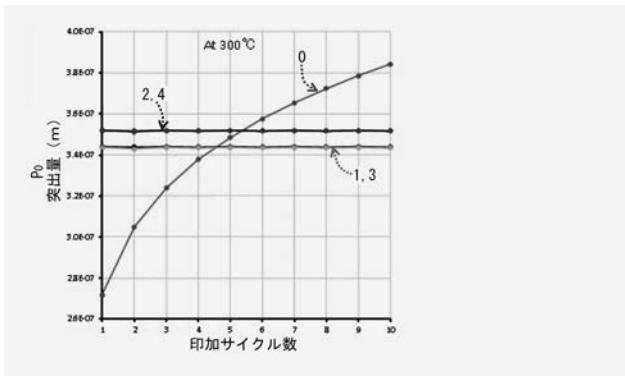
【図 5】



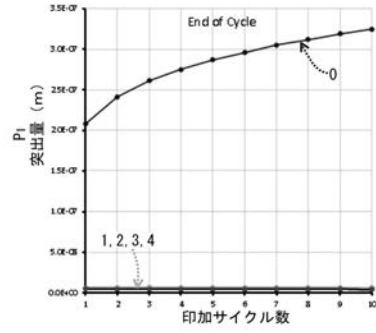
【 図 6 】



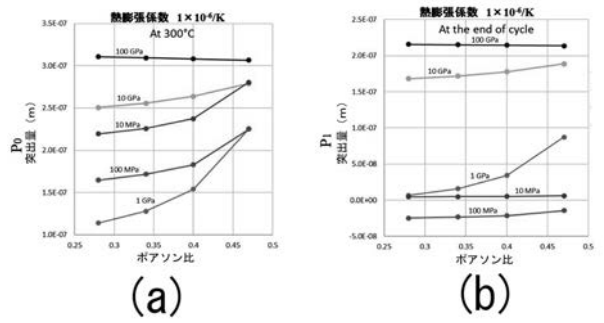
【 図 7 】



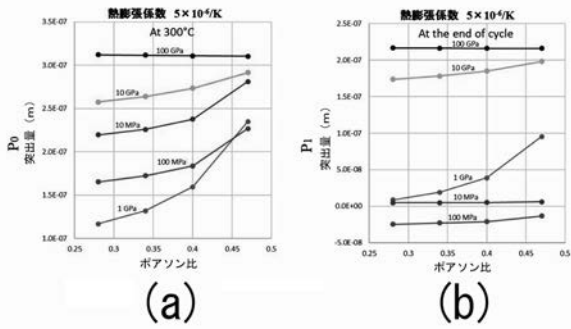
【 図 8 】



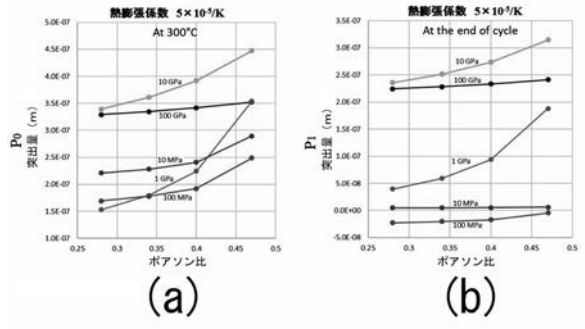
【 図 9 】



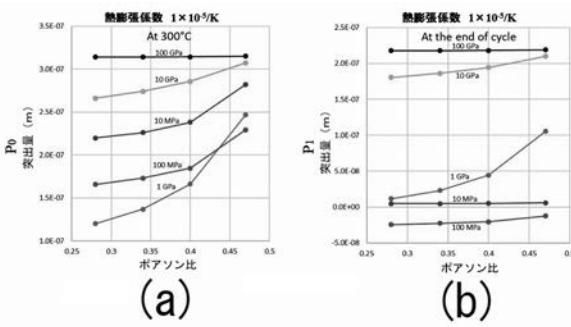
【 図 1 0 】



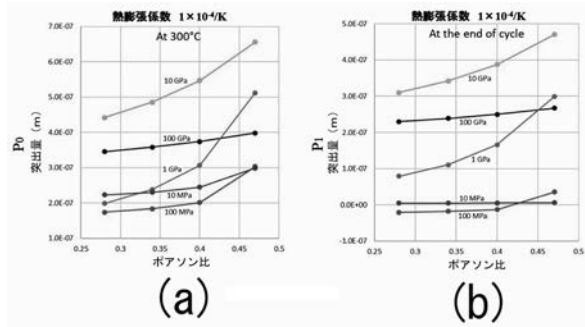
【 図 1 2 】



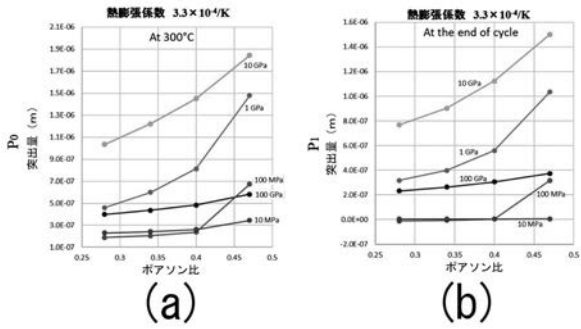
【 図 1 1 】



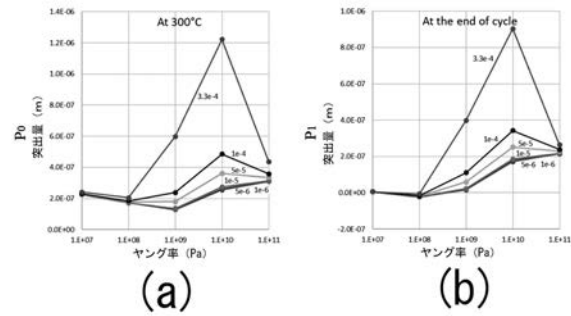
【 図 1 3 】



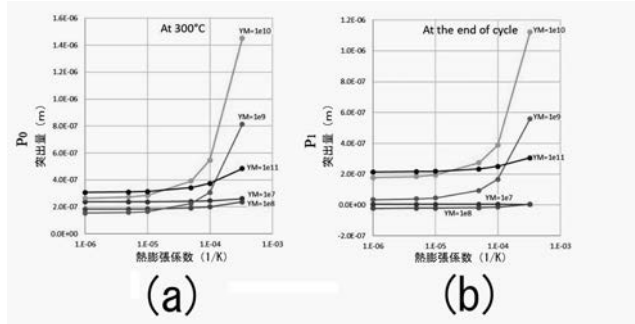
【 図 1 4 】



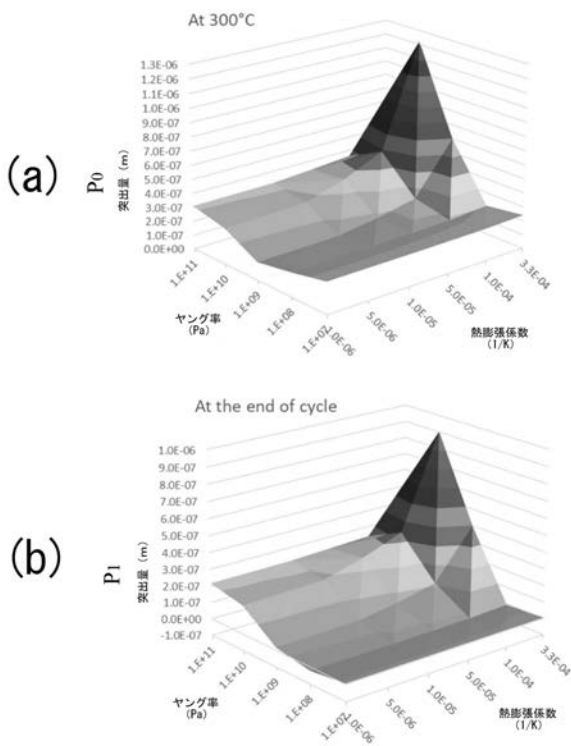
【 図 1 5 】



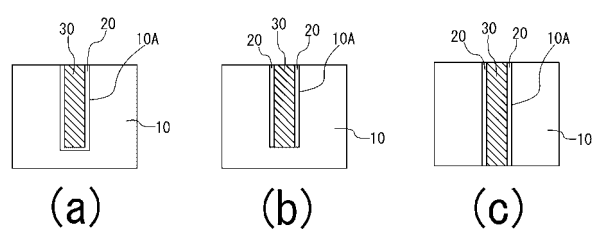
【 図 1 6 】



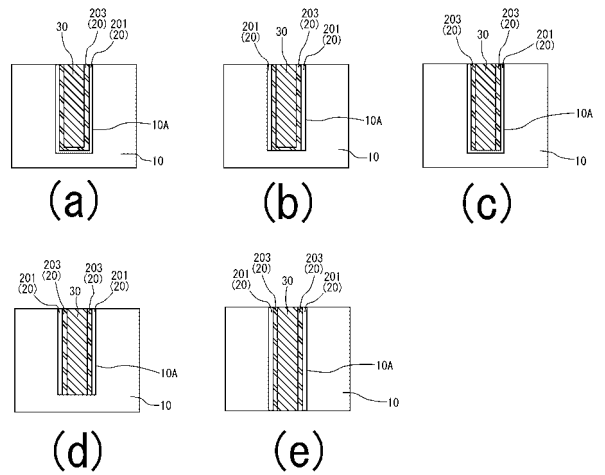
【 図 1 7 】



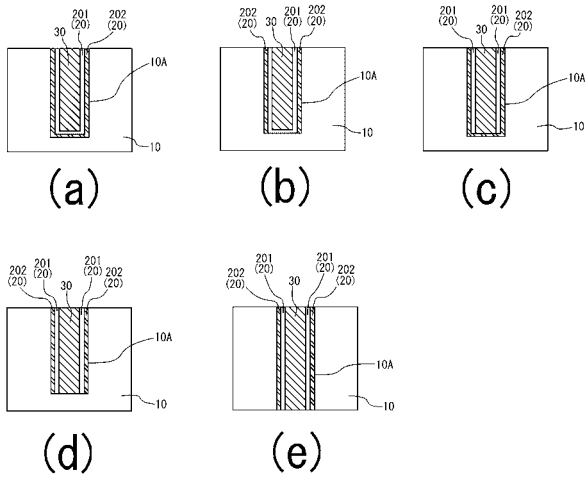
【 図 1 8 】



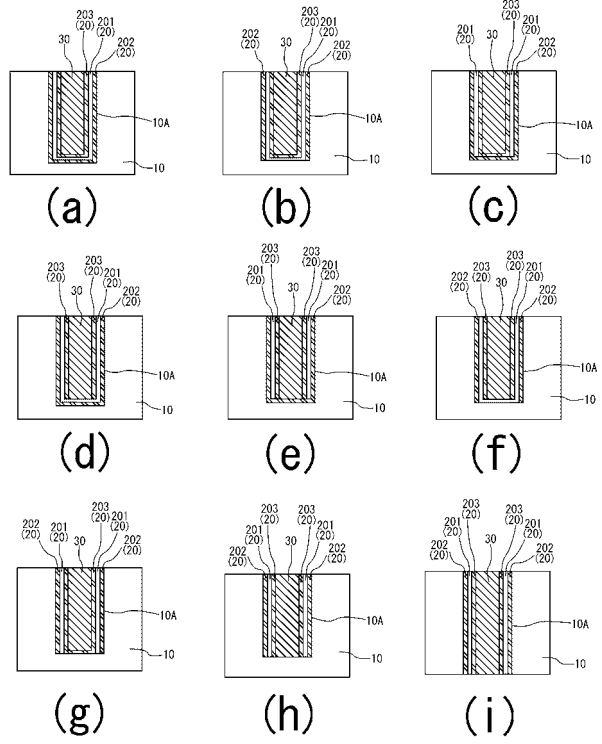
【 図 1 9 】



【 図 20 】



【 図 21 】



フロントページの続き

(72)発明者 大貫 仁

茨城県日立市久慈町1 - 6 - 1

Fターム(参考) 5F033 JJ08 JJ11 JJ19 MM01 MM30 NN06 NN07 PP27 PP28 QQ48
TT07 WW00 XX19