

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7589807号
(P7589807)

(45)発行日 令和6年11月26日(2024.11.26)

(24)登録日 令和6年11月18日(2024.11.18)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 23/12 (2006.01)	H 0 1 L 23/12 J
H 0 1 L 23/13 (2006.01)	H 0 1 L 23/12 C
H 0 1 L 23/36 (2006.01)	H 0 1 L 23/36 C

請求項の数 37 (全42頁)

(21)出願番号	特願2023-517029(P2023-517029)	(73)特許権者	000005234 富士電機株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(86)(22)出願日	令和3年11月1日(2021.11.1)	(74)代理人	110002918 弁理士法人扶桑国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/040282	(72)発明者	高橋 聖一 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2022/230220	(72)発明者	下田 将義 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
(87)国際公開日	令和4年11月3日(2022.11.3)	(72)発明者	磯崎 誠 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
審査請求日	令和5年4月7日(2023.4.7)	審査官	金田 孝之
(31)優先権主張番号	特願2021-75538(P2021-75538)		
(32)優先日	令和3年4月28日(2021.4.28)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体チップと、
接合部材と、
板状であっておもて面と前記おもて面の反対側の裏面とを備え、前記半導体チップが前記おもて面に前記接合部材を介して接合される積層基板と、
を備え、
前記積層基板は、
板状であって第1主面と前記第1主面の反対側の第2主面とを備え、複数のセラミックス粒子を備えるセラミックス板と、
前記第1主面に接合され、銅を含む高電位金属層と、
前記第2主面に接合され、銅を含み、前記第1主面より電位が低い低電位金属層と、
前記第2主面及び前記低電位金属層の間に形成され、マグネシウム、マンガンの少なくともいずれかを具備し、前記第2主面及び前記低電位金属層との界面の一部に形成されている第1酸化物を含む中間層と、
を有する半導体装置。

【請求項2】

前記第1酸化物は、前記第2主面及び前記低電位金属層の両方に接している、
請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】

前記第 1 主面は、前記積層基板のおもて面側であり、
前記第 2 主面は、前記積層基板の裏面側であり、
前記半導体チップは、前記高電位金属層に電氣的に接続されている、
請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 4】

前記第 1 主面は、前記積層基板の裏面側であり、
前記第 2 主面は、前記積層基板のおもて面側であり、
前記半導体チップは、前記低電位金属層に電氣的に接続されている、
請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記セラミックス板及び前記中間層は、酸化物換算でマグネシウムを 0.1 wt % 以上、
1.5 wt % 以下、または、
酸化物換算でマンガンを 0.01 wt % 以上、0.15 wt % 以下、
の少なくとも一方を含んでいる、
請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の半導体装置。

10

【請求項 6】

前記中間層は、前記セラミックス板と前記低電位金属層との接合面の 10 % 以上、80 % 以下を覆っている、
請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 7】

前記複数のセラミックス粒子及び前記第 1 酸化物は、それぞれ、前記セラミックス板と前記低電位金属層との前記接合面に配置され、前記接合面において、前記第 1 酸化物は、さらに、前記第 2 主面側の前記複数のセラミックス粒子の間に配置されている、
請求項 6 に記載の半導体装置。

20

【請求項 8】

前記第 1 酸化物は、前記中間層において前記第 2 主面側に多く形成されている、
請求項 7 に記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記第 1 酸化物は、さらに、アルミニウムを具備する酸化物を含んでいる、
請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の半導体装置。

30

【請求項 10】

前記第 1 酸化物は、MgO、MnO、(Mg, Mn)O、(Mg, Mn)Mn₂O₄ のいずれかを含んでいる、
請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 11】

前記第 1 酸化物は、アルミニウムを具備するスピネル結晶系を含んでいる、
請求項 9 に記載の半導体装置。

【請求項 12】

前記セラミックス板は、さらに、前記複数のセラミックス粒子の粒界及び三重点の少なくともいずれかにシリコンを具備する第 2 酸化物を含んでいる、
請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の半導体装置。

40

【請求項 13】

前記セラミックス板における前記シリコンの含有量は、酸化物換算で 0.01 wt % 以上、3.0 wt % 以下である、
請求項 12 に記載の半導体装置。

【請求項 14】

前記セラミックス板における前記シリコンの含有量は、酸化物換算で 1.0 wt % 以上、3.0 wt % 以下である、
請求項 12 に記載の半導体装置。

【請求項 15】

50

前記積層基板は、前記マグネシウムを具備する酸化物を含んでおり、酸化マグネシウム (MgO) 換算したマグネシウムを、酸化シリコン (SiO_2) 換算した前記シリコンの含有量に対して、 $10wt\%$ 以上、 $50wt\%$ 以下、または、

前記マンガンを具備する酸化物を含んでおり、酸化マンガン (MnO) 換算したマンガンを、酸化シリコン (SiO_2) 換算した前記シリコンの含有量に対して、 $1.0wt\%$ 以上、 $5.0wt\%$ 以下、

の少なくともいずれか一方を含む、

請求項 1 2 乃至 1 4 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 1 6】

前記セラミックス板は、さらに、前記複数のセラミックス粒子の粒界及び三重点の少なくともいずれかに酸化ナトリウムを含む前記第 2 酸化物を含み、

前記セラミックス板における、前記酸化ナトリウムの含有量は、酸化物換算で $0.001wt\%$ 以上、 $0.2wt\%$ 以下である、

請求項 1 2 乃至 1 4 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 1 7】

前記複数のセラミックス粒子は、酸化アルミニウムを含んでいる、

請求項 1 乃至 1 6 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 1 8】

前記セラミックス板に対する前記酸化アルミニウムの含有量は、 $90wt\%$ 以上、 $99wt\%$ 以下である、

請求項 1 7 に記載の半導体装置。

【請求項 1 9】

前記セラミックス板は、さらに、前記複数のセラミックス粒子の粒界及び三重点の少なくともいずれかにジルコニウムを具備する酸化物を含んでいる、

請求項 1 7 または 1 8 に記載の半導体装置。

【請求項 2 0】

前記セラミックス板は、さらに、前記複数のセラミックス粒子の粒界及び三重点の少なくともいずれかにジルコニウムを具備する酸化物及びイットリウムを具備する酸化物を含んでいる、

請求項 1 7 または 1 8 に記載の半導体装置。

【請求項 2 1】

前記セラミックス板に対する前記ジルコニウムを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算で $5.0wt\%$ 以上、 $20.0wt\%$ 以下である、

請求項 1 9 または 2 0 に記載の半導体装置。

【請求項 2 2】

前記ジルコニウムを具備する酸化物及び前記イットリウムを具備する酸化物は、酸化ジルコニウム (ZrO_2) に換算したジルコニウムに対して、酸化イットリウム (Y_2O_3) に換算したイットリウムが、 $2.5mol\%$ 以上、 $3.5mol\%$ 以下含まれている、

請求項 2 0 に記載の半導体装置。

【請求項 2 3】

前記積層基板は、マグネシウムを具備する酸化物を含んでおり、酸化マグネシウム (MgO) 換算したマグネシウムを、酸化ジルコニウム (ZrO_2) 換算したジルコニウムに対して、 $2.0wt\%$ 以上、 $20.0wt\%$ 以下を含む、

請求項 1 9 乃至 2 2 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 2 4】

前記積層基板は、マンガンを具備する酸化物を含んでおり、酸化マンガン (MnO) 換算したマンガンを、酸化ジルコニウム (ZrO_2) 換算したジルコニウムに対して、 $0.05wt\%$ 以上、 $2.0wt\%$ 以下を含む、

請求項 1 9 乃至 2 3 のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項 2 5】

10

20

30

40

50

前記半導体チップは、第1半導体チップ及び第2半導体チップを含み、
前記高電位金属層は、
正極端子が接続される正極金属層と、
前記第1半導体チップが接合されるチップ金属層と、
前記第2半導体チップが接合され、出力端子が接続される出力金属層と、
負極端子が接続される負極金属層と、
を含み、
前記第2主面の前記正極金属層に対向する領域に前記中間層が含まれている、
請求項3に記載の半導体装置。

【請求項26】

前記第2主面の前記チップ金属層に対向する領域に、さらに、前記中間層が含まれている、
請求項25に記載の半導体装置。

【請求項27】

前記半導体チップは、第1半導体チップ及び第2半導体チップを含み、
前記低電位金属層は、
正極端子が接続される正極金属層と、
前記第1半導体チップが接合されるチップ金属層と、
前記第2半導体チップが接合され、出力端子が接続される出力金属層と、
負極端子が接続される負極金属層と、
を含み、
前記第2主面の前記負極金属層に対向する領域に前記中間層が含まれている、
請求項4に記載の半導体装置。

【請求項28】

前記第2主面の前記出力金属層に対向する領域に、さらに、前記中間層が含まれている、
請求項27に記載の半導体装置。

【請求項29】

前記第1主面は、前記積層基板のおもて面側であり、
前記第2主面は、前記積層基板の裏面側であって、前記低電位金属層が浮遊電位であり、
前記半導体チップは、前記高電位金属層に電氣的に接続されている、
請求項1または2に記載の半導体装置。

【請求項30】

前記半導体チップは、第1半導体チップ及び第2半導体チップを含み、
前記高電位金属層は、
正極端子が接続される正極金属層と、
前記第1半導体チップが接合されるチップ金属層と、
前記第2半導体チップが接合され、出力端子が接続される出力金属層と、
負極端子が接続される負極金属層と、
を含み、
前記第1主面の前記負極金属層に対向する領域に前記中間層が含まれている、
請求項29に記載の半導体装置。

【請求項31】

前記第2主面の前記正極金属層及び前記チップ金属層に対向する領域に、さらに、前記中間層が含まれている、
請求項30に記載の半導体装置。

【請求項32】

第1半導体チップ及び第2半導体チップと、
接合部材と、
板状であっておもて面と前記おもて面の反対側の裏面とを備え、前記第1半導体チップ
及び前記第2半導体チップが前記おもて面に前記接合部材を介して接合される積層基板と、

10

20

30

40

50

を備え、
 前記積層基板は、
 板状であって第1主面と前記第1主面の反対側の第2主面とを備え、複数のセラミックス粒子を備えるセラミックス板と、
 前記第1主面に接合され、銅を含む第1金属層と、
 前記第2主面に接合され、銅を含む第2金属層と、
 マグネシウム、マンガンの少なくともいずれかを具備する第1酸化物を含む中間層と、
 を有し、
 前記第1金属層は
 正極端子が接続される正極金属層と、
 前記第1半導体チップが接合されるチップ金属層と、
 前記第2半導体チップが接合され、出力端子が接続される出力金属層と、
 負極端子が接続される負極金属層と、
 を含み、
 前記中間層は、前記第2主面の前記正極金属層及び前記チップ金属層にそれぞれ対向する領域の一部と、前記第1主面の前記負極金属層に対向する領域に含まれている、
 半導体装置。

10

【請求項33】

前記中間層は、さらに、前記第2主面の前記出力金属層に対向する領域と、前記第1主面の前記出力金属層に対向する領域とに含まれている、
 請求項32に記載の半導体装置。

20

【請求項34】

半導体チップと、
 接合部材と、
 板状であっておもて面と前記おもて面の反対側の裏面とを備え、前記半導体チップが前記おもて面に前記接合部材を介して配置される積層基板と、
 を備え、
 前記積層基板は、
 セラミックス粒子を含むセラミックス板と
 前記セラミックス板の主面に接合される金属層と、
 前記主面及び前記金属層の間の一部に形成された、マンガンを含んだ第1酸化物を含む中間層と、
 を有する半導体装置。

30

【請求項35】

前記セラミックス板は、さらに、複数の前記セラミックス粒子の粒界及び三重点の少なくともいずれかにシリコンを具備する第2酸化物を含んでおり、
 酸化マンガン換算したマンガンの含有量は、酸化シリコン換算したシリコンの含有量に対して、1.0wt%以上、5.0wt%以下である、
 請求項34に記載の半導体装置。

【請求項36】

前記セラミックス板は、さらに、複数の前記セラミックス粒子の粒界及び三重点の少なくともいずれかにシリコンを具備する第2酸化物を含んでおり、
 酸化マンガン換算したマンガンの含有量は、酸化ジルコニウム換算したジルコニウムの含有量に対して、0.05wt%以上、2wt%以下である、
 請求項34に記載の半導体装置。

40

【請求項37】

前記第1酸化物は、さらに、マグネシウムを含み、
 前記セラミックス板及び前記中間層は、酸化物換算でマグネシウムを0.1wt%以上、1.5wt%以下、及び、
 酸化物換算でマンガンを含み、0.01wt%以上、0.15wt%以下、

50

の少なくとも一方を含んでいる、
請求項 3 4 に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体装置は、パワーデバイスを含み、電力変換装置として用いられる。パワーデバイスは、例えば、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)、パワー MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) である。半導体装置は、パワーデバイスを含む半導体チップとセラミックス積層基板とを含む。セラミックス積層基板は、セラミックス板とセラミックス板のおもて面に形成され、回路パターンを構成する複数の金属層とセラミックス板の裏面に形成された金属層とを含んでいる。回路パターンには、半導体チップ、リードフレーム等が接合されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2017 - 147327 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

このような半導体装置では、半導体チップが駆動すると半導体チップが発熱し、半導体チップ直下は加熱される。さらに、半導体装置ではリードフレームに大電圧が印加されるため、リードフレーム直下のセラミックス板のおもて面と裏面との間の金属層に大電圧が印加される。この状況が続くと、セラミックス板と金属層との接合性が低下してしまうおそれがある。このようにしてセラミックス積層基板が劣化すると、半導体装置の故障の原因となりえ、半導体装置の信頼性が低下する可能性がある。

【0005】

本発明は、このような点に鑑みてなされたものであり、セラミックス積層基板の劣化が防止された半導体装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一観点によれば、半導体チップと、接合部材と、板状であっておもて面と前記おもて面の反対側の裏面とを備え、前記半導体チップが前記おもて面に前記接合部材を介して接合される積層基板と、を備え、前記積層基板は、板状であって第 1 主面と前記第 1 主面の反対側の第 2 主面とを備え、複数のセラミックス粒子を備えるセラミックス板と、前記第 1 主面に接合され、銅を含む高電位金属層と、前記第 2 主面に接合され、銅を含み、前記第 1 主面より電位が低い低電位金属層と、前記第 2 主面及び前記低電位金属層の間に形成され、マグネシウム、マンガンの少なくともいずれかを具備し、前記第 2 主面及び前記低電位金属層との界面の一部に形成されている第 1 酸化物を含む中間層と、を有する半導体装置が提供される。

40

【発明の効果】

【0007】

開示の技術によれば、セラミックス積層基板の劣化を防止して、半導体装置の信頼性の低下を抑制することができる。

【0008】

本発明の上記及び他の目的、特徴及び利点は本発明の例として好ましい実施の形態を表す添付の図面と関連した以下の説明により明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 0 9 】

【図 1】第 1 の実施の形態の半導体装置の平面図である。

【図 2】第 1 の実施の形態の半導体装置の側面図である。

【図 3】第 1 の実施の形態の半導体装置で実現される機能を表す等価回路である。

【図 4】第 1 の実施の形態の半導体装置に含まれるセラミックス積層基板の製造方法を示すフローチャートである。

【図 5】比較例 1 のセラミックス積層基板の断面模式図である。

【図 6】比較例 1 のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 7】第 1 の実施の形態（実施例 1 - 1）のセラミックス積層基板の断面模式図である。

【図 8】第 1 の実施の形態（実施例 1 - 1）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。 10

【図 9】第 1 の実施の形態（実施例 1 - 2）のセラミックス積層基板の断面模式図である。

【図 10】第 1 の実施の形態（実施例 1 - 2）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 11】第 1 の実施の形態（実施例 1 - 3）のセラミックス積層基板の断面模式図である。

【図 12】第 1 の実施の形態（実施例 1 - 3）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 13】第 1 の実施の形態のセラミックス積層基板の試験結果のまとめの表である。

【図 14】比較例 2 のセラミックス積層基板の断面模式図である。 20

【図 15】比較例 2 のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 16】第 2 の実施の形態（実施例 2 - 1）のセラミックス積層基板の断面模式図である。

【図 17】第 2 の実施の形態（実施例 2 - 1）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 18】第 2 の実施の形態（実施例 2 - 2）のセラミックス積層基板の断面模式図である。

【図 19】第 2 の実施の形態（実施例 2 - 2）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 20】第 2 の実施の形態（実施例 2 - 3）のセラミックス積層基板の断面模式図である。 30

【図 21】第 2 の実施の形態（実施例 2 - 3）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。

【図 22】第 3 の実施の形態のセラミックス積層基板（裏面金属層が低電位）の中間層を要する領域を説明するための図である。

【図 23】第 3 の実施の形態のセラミックス積層基板（裏面金属層が高電位）の中間層を要する領域を説明するための図である。

【図 24】第 3 の実施の形態のセラミックス積層基板（裏面金属層が浮遊電位）の中間層を要する領域を説明するための図である。

【図 25】第 3 の実施の形態のセラミックス積層基板の中間層を要する領域を説明するための図である。 40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、図面を参照して、実施の形態について説明する。なお、以下の説明において、「おもて面」及び「上面」とは、図の半導体装置 1 において、上側（+Z 方向）を向いた X-Y 面を表す。同様に、「上」とは、図の半導体装置 1 において、上側（+Z 方向）の方向を表す。「裏面」及び「下面」とは、図の半導体装置 1 において、下側（-Z 方向）を向いた X-Y 面を表す。同様に、「下」とは、図の半導体装置 1 において、下側（-Z 方向）の方向を表す。必要に応じて他の図面でも同様の方向性を意味する。「おもて面」、「上面」、「上」、「裏面」、「下面」、「下」、「側面」は、相対的な位置関係を特定 50

する便宜的な表現に過ぎず、本発明の技術的思想を限定するものではない。例えば、「上」及び「下」は、必ずしも地面に対する鉛直方向を意味しない。つまり、「上」及び「下」の方向は、重力方向に限定されない。また、以下の説明において「主成分」とは、80 vol%以上含む場合を表す。

【0011】

また、以下の説明において含有量を「酸化物換算」として表す場合がある。「酸化物換算」とは、組成分析で確認された各金属元素をそれぞれの酸化物として換算して算出したものである。例えば、組成分析で確認されたアルミニウム、シリコン、ナトリウム、マグネシウム、マンガン、ジルコニウム、イットリウム等の全ての元素を、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化シリコン (SiO_2)、酸化ナトリウム (Na_2O)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化マンガン (MnO)、酸化ジルコニウム (ZrO_2)、酸化イットリウム (Y_2O_3) 等の酸化物で換算し、酸化物換算した重量の総和に対する、それぞれの酸化物としての重量の割合を表したものである。なお、組成分析の方法は、例えば、XRF (蛍光X線分析) 法、ICP (高周波誘導結合プラズマ) 発光分析法、EPMA (電子線マイクロアナライザ) 法、EDX (エネルギー分散型X線分光法) 法が挙げられる。

10

【0012】

また、以下の説明において、元素あるいは化合物を「含まない」、「確認されない」あるいは「形成されていない」は、上記の組成分析における測定限界以下であることを指す。例えば、マンガン及びマグネシウムであれば、酸化物換算で0.01 wt%未満の場合を指す。例えば、ナトリウムであれば、酸化物換算で0.001 wt%未満を指す。

20

【0013】

[第1の実施の形態]

(半導体装置の構成)

第1の実施の形態の半導体装置について、図1～図3を用いて説明する。図1は、第1の実施の形態の半導体装置の平面図であり、図2は、第1の実施の形態の半導体装置の側面図である。図3は、第1の実施の形態の半導体装置で実現される機能を表す等価回路である。なお、図1は、封止部材の記載は省略している。図2は、図1の半導体装置1を+X方向に見た側面図である。

【0014】

半導体装置1は、少なくとも、セラミックス積層基板10と半導体チップ60a, 60b, 65a, 65bと外部接続端子71～75とを含んでいる。さらに、ケース90と封止部材91 (図2を参照) とを含んでいてよい。半導体装置1は、外部接続端子71～75がおもて面から上方 (+Z方向) に延伸している。

30

【0015】

セラミックス積層基板10は、セラミックス板20と、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30a～30fと、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40と、を有している。なお、以下では、金属層30a～30fを総称して、金属層30とすることができる。

【0016】

セラミックス板20は、絶縁性であって、熱伝導性のよいセラミックスを主成分として構成されている。このようなセラミックスは、例えば、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、または、酸化ジルコニウム (ZrO_2) を主成分とする材料により構成されてよい。ここでは、セラミックスは、酸化アルミニウム (Al_2O_3) を主成分とする。なお、第2の実施の形態では、さらに、酸化ジルコニウム (ZrO_2) を含んでいる。当該セラミックスは、セラミックス粒子を主に含んでいる。セラミックス粒子は、酸化アルミニウム (Al_2O_3) を主成分とする材料により構成されてよい。また、セラミックス板20は、セラミックス粒子の粒界並びに3重点に形成される粒界材料も含んでもよい。このような粒界材料は、例えば、シリコンを具備する酸化物 (第2酸化物) を含んでよい。また、セラミックス板20は、平面視で矩形状である。さらに、角部がR面取りや、C面取りされていてよい。セラミックス板20の厚さは、0.1 mm以上、1.0 mm以下であって

40

50

、例えば、0.3 mm程度である。セラミックス板20の詳細については後述する。

【0017】

セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30は、導電性に優れた金属を主成分として構成されている。このような金属は、例えば、銅、アルミニウム、または、少なくともこれらの一種を含む合金が挙げられる。ここで用いられる金属層30は、銅を主成分として構成されている。金属層30の表面に対して、耐食性を向上させるために、めっき処理を行ってもよい。この際、用いられるめっき材は、例えば、ニッケル、ニッケル-リン合金、ニッケル-ボロン合金が挙げられる。金属層30は、セラミックス板20のおもて面に複数形成されている。例えば、第1の実施の形態では、複数の金属層30a~30fがセラミックス板20のおもて面に形成されている。以下では、金属層30a~30fを区別しない場合には、金属層30と表すことがある。金属層30は、半導体チップ60a, 60b, 65a, 65bと電気的に接続されている。金属層30は、半導体チップ60a, 60b, 65a, 65b並びに外部接続端子71~75がはんだ等の接合部材35を介して接合されていてよい。それぞれの金属層30は、多角形であってよい。さらに、角部がR面取りや、C面取りされていてよい。複数の金属層30は、セラミックス板20の内側に形成されている。金属層30の厚さは、それぞれ、0.1 mm以上、0.5 mm以下であって、0.3 mm程度であってよい。

10

【0018】

セラミックス板20の裏面に形成された金属層40は、熱伝導性に優れた金属を主成分として構成されている。このような金属は、例えば、銅、アルミニウム、または、少なくともこれらの一種を含む合金であってよい。ここで用いられる金属層40は、銅を主成分として構成されている。金属層40の表面に対して、耐食性を向上させるために、めっき処理を行ってもよい。この際、用いられるめっき材は、例えば、ニッケル、ニッケル-リン合金、ニッケル-ボロン合金が挙げられる。金属層40は、セラミックス板20の裏面に、金属層30に対応して形成されている。すなわち、金属層40は、平面視で、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30a~30fを含む。金属層40は、放熱部材92に、はんだ、ろう材、放熱ペースト等を介して接続されていてよい。セラミックス積層基板10は、半導体チップ60a, 60b, 65a, 65bで発生した熱を金属層30、セラミックス板20、金属層40を介して、外側の放熱部材92に伝熱させることができる。したがって、半導体装置1の運転時は、セラミックス板20が加熱されている。また、金属層40は、平面視で矩形形状である。さらに、角部がR面取りや、C面取りされていてよい。金属層40は、セラミックス板20の内側に形成されている。そして、金属層30に対向する領域を覆って形成されている。金属層40の厚さは、0.1 mm以上、0.5 mm以下であって、0.3 mm程度であってよい。

20

30

【0019】

また、セラミックス板20及び金属層30, 40の間には中間層50a, 50bが形成されている。中間層50a, 50bは、マグネシウム、マンガンの少なくともいずれかを含んだ酸化物(第1酸化物)を含んでいる。当該酸化物は、例えば、酸化マグネシウム(MgO)、酸化マンガン(MnO)、(Mg, Mn)O、(Mg, Mn)Mn₂O₄であってよい。これらの酸化物は、中間層50a, 50bにおいて、セラミックス板20のおもて面側及び裏面側に多く含まれている。

40

【0020】

また、中間層50a, 50bに含まれる酸化物は、これらに加えて、アルミニウムを含んでよい。このような酸化物は、アルミニウムを具備するスピネル結晶系を含んでよい。スピネル結晶系は、例えば、MgAl₂O₄、MnAl₂O₄、(Mg, Mn)Al₂O₄、(Mg, Mn)(Al, Mn)₂O₄が挙げられる。なお、セラミックス積層基板10は、中間層50aまたは中間層50bの少なくともいずれか一方を含んでいけばよい。

【0021】

このような構成を有するセラミックス積層基板10として、例えば、DCB(Direct Copper Bonding)基板、AMB(Active Metal Brazed)基板を用いてよい。なお、セ

50

ラミックス積層基板 10 の製造方法並びに詳細については、後述する。

【0022】

半導体チップ 60a, 60b, 65a, 65b は、シリコンまたは炭化シリコンを主成分として構成されている。半導体チップ 60a, 60b は、スイッチング素子である。スイッチング素子は、例えば、IGBT、パワーMOSFET である。このような半導体チップ 60a, 60b は、裏面に入力電極（主電極）としてドレイン電極またはコレクタ電極を備えている。また、半導体チップ 60a, 60b は、おもて面に、制御電極 61a, 61b としてゲート電極及び出力電極 62a, 62b（主電極）としてソース電極またはエミッタ電極をそれぞれ備えている。上記の半導体チップ 60a, 60b は、その裏面側が金属層 30b, 30c 上にはんだ（図示を省略）により接合されている。

10

【0023】

半導体チップ 65a, 65b は、ダイオード素子である。ダイオード素子は、例えば、SBD (Schottky Barrier Diode)、PIN (P-intrinsic-N) ダイオード等の FWD (Free Wheeling Diode) である。このような半導体チップ 65a, 65b は、裏面に入力電極（主電極）としてカソード電極を、おもて面に入力電極 66a, 66b（主電極）として、アノード電極をそれぞれ備えている。上記の半導体チップ 65a, 65b は、その裏面側が金属層 30b, 30c 上に、既述のはんだ（図示を省略）により接合されている。なお、半導体チップ 60a, 60b, 65a, 65b は、スイッチング素子及びダイオード素子を一つの半導体チップとした RC (Reverse Conductive) - IGBT 素子、RB (Reverse Blocking) - IGBT 素子であってもよい。

20

【0024】

半導体チップ 60a, 60b, 65a, 65b と金属層 30b, 30c とを接合する接合部材 35 は、はんだであってよい。はんだは、鉛フリーはんだが用いられる。鉛フリーはんだは、例えば、錫、銀、銅、亜鉛、アンチモン、インジウム、ビスマスの少なくとも 2 つを含む合金を主成分とする。さらに、はんだには、添加物が含まれてもよい。接合部材 35 は、はんだに替わり、金属焼結体を用いてもよい。金属焼結体の材料は、銀または銀合金を主成分とする。また、このようなはんだ及び金属焼結体は、半導体チップ 60a, 60b と金属層 30b, 30c との接合に限らず、後述する外部接続端子 71 ~ 75 の金属層 30a, 30e, 30c, 30f, 30d に対する接合にも用いてもよい。

【0025】

外部接続端子 71 ~ 75 は、それぞれ板状、角柱状、円筒状のいずれかを成している。本実施の形態では、角柱状である場合を例示している。外部接続端子 71 ~ 75 は、それぞれの一端部がセラミックス積層基板 10 の金属層 30a, 30e, 30c, 30f, 30d に電気的かつ機械的に接合されている。また、それぞれの他端部が封止部材 91 から延出している。他端部は、図示しない外部機器に接続されてよい。

30

【0026】

外部接続端子 71 ~ 75 は、導電性に優れた金属を主成分として構成されている。このような金属は、例えば、アルミニウム、銅、鉄、ニッケル、または、少なくともこれら的一种を含む合金が挙げられる。外部接続端子 71 ~ 75 の表面に対しても、耐食性を向上させるために、めっき処理を行ってもよい。この際、用いられるめっき材は、例えば、ニッケル、ニッケル - リン合金、ニッケル - ボロン合金が挙げられる。また、外部接続端子 71 ~ 75 と金属層 30a, 30e, 30c, 30f, 30d との接合は、半導体チップ 60a, 60b, 65a, 65b の接合同様にはんだ並びに金属焼結体を用いてよい。また、外部接続端子 71 ~ 75 と金属層 30a, 30e, 30c, 30f, 30d との接合は、超音波、レーザを用いて直接接合してもよい。

40

【0027】

ボンディングワイヤ 80a ~ 80e は、導電性に優れた金属を主成分としている。このような金属は、アルミニウム、銅、または、少なくともこれら的一种を含む合金により構成されている。ボンディングワイヤ 80a は、金属層 30a, 30b 間を機械的かつ電気的に接続している。ボンディングワイヤ 80d は、金属層 30e 及び半導体チップ 60a

50

の制御電極 6 1 a を機械的かつ電氣的に接続している。ボンディングワイヤ 8 0 b は、半導体チップ 6 0 a の出力電極 6 2 a と半導体チップ 6 5 a の入力電極 6 6 a と金属層 3 0 c とを機械的かつ電氣的に接続している。ボンディングワイヤ 8 0 e は、金属層 3 0 f 及び半導体チップ 6 0 b の制御電極 6 1 b を機械的かつ電氣的に接続している。ボンディングワイヤ 8 0 c は、半導体チップ 6 0 b の出力電極 6 2 b と半導体チップ 6 5 b の入力電極 6 6 b と金属層 3 0 d とを機械的かつ電氣的に接続している。なお、制御用のボンディングワイヤ 8 0 d , 8 0 e の径は、例えば、2 5 μ m 以上、4 0 0 μ m 以下であり、主電流用のボンディングワイヤ 8 0 a ~ 8 0 c の径は、2 5 0 μ m 以上、6 0 0 μ m 以下である。

【 0 0 2 8 】

ケース 9 0 は、セラミックス積層基板 1 0 のおもて面の金属層 3 0、半導体チップ 6 0 a , 6 0 b , 6 5 a , 6 5 b と外部接続端子 7 1 ~ 7 5 の一端部を収納する。外部接続端子 7 1 ~ 7 5 の他端部がケースのおもて面から上方 (+ Z 方向) に延伸してもよい。ケース 9 0 は、樹脂により構成されている。このような樹脂は、熱可塑性樹脂を主成分として構成されている。熱可塑性樹脂は、例えば、ポリフェニレンサルファイド樹脂、ポリブチレンテレフタレート樹脂、ポリブチレンサクシネート樹脂、ポリアミド樹脂、または、アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂である。

【 0 0 2 9 】

封止部材 9 1 は、ケース 9 0 の内側を封止してよい。つまり、封止部材 9 1 は、セラミックス積層基板 1 0 のおもて面の金属層 3 0、半導体チップ 6 0 a , 6 0 b , 6 5 a , 6 5 b と外部接続端子 7 1 ~ 7 5 の一端部とを封止する。封止部材 9 1 は、例えば、熱硬化性樹脂と熱硬化性樹脂に含有される充填剤とを含んでいる。熱硬化性樹脂は、例えば、エポキシ樹脂、フェノール樹脂またはマレイミド樹脂である。このような封止部材の一例として、充填剤が含有されたエポキシ樹脂がある。充填剤は、無機物が用いられる。無機物の例として、酸化シリコン、酸化アルミニウム、窒化ホウ素または窒化アルミニウムがある。封止部材 9 1 は、既述の材料に加えて、シリコーンゲルでもよい。

【 0 0 3 0 】

また、図 3 に示されるように、半導体装置 1 は、上アーム部 A 及び下アーム部 B を含むハーフブリッジ回路を構成する。接続点 P は、外部電源 (図示を省略) の正極に接続される。接続点 P と半導体チップ 6 0 a のコレクタ電極の接続点 C 1 とが配線 8 1 で接続される。接続点 M は負荷 (図示を省略) に接続される。接続点 M と、半導体チップ 6 0 a のエミッタ電極及び半導体チップ 6 0 b のコレクタ電極の接続点 E 1 C 2 とが配線 8 3 で接続される。接続点 N は、外部電源 (図示を省略) の負極に接続される。接続点 N と半導体チップ 6 0 b のエミッタ電極の接続点 E 2 とが配線 8 5 で接続される。ここで、半導体装置 1 の運転時に、接続点 P は、接続点 M より高電位になる。そのため、配線 8 1 は、配線 8 3 より高電位である。また、接続点 M は、接続点 N より高電位である。そのため、配線 8 3 は、配線 8 5 より高電位である。配線 8 1 の電位は、配線 8 3 より 2 5 0 V 以上、1 0 0 0 V 未満高くてもよい。また、配線 8 3 の電位は、配線 8 5 の電位より 2 5 0 V 以上、1 0 0 0 V 未満高くてもよい。

【 0 0 3 1 】

接続点 G 1 , G 2 は、制御電源 (図示を省略) に接続される。接続点 G 1 は、配線 8 2 で半導体チップ 6 0 a の制御電極 6 1 a (図 3 では図示を省略、図 1 を参照) に接続される。接続点 G 2 は、配線 8 4 で半導体チップ 6 0 b の制御電極 6 1 b (図 3 では図示を省略、図 1 を参照) に接続される。

【 0 0 3 2 】

半導体装置 1 の上アーム部 A は、セラミックス積層基板 1 0 の金属層 3 0 a , 3 0 b , 3 0 e、半導体チップ 6 0 a , 6 5 a、外部接続端子 7 1 , 7 3 , 7 2 並びにこれらを接続するボンディングワイヤ 8 0 a , 8 0 b , 8 0 d を含む。半導体装置 1 の下アーム部 B は、セラミックス積層基板 1 0 の金属層 3 0 d , 3 0 c , 3 0 f、半導体チップ 6 0 b , 6 5 b、外部接続端子 7 5 , 7 3 , 7 4 並びにこれらを接続するボンディングワイヤ 8 0

10

20

30

40

50

c, 80eを含む。また、金属層30b, 30cがボンディングワイヤ80bで電氣的に接続されることで、上アーム部Aと下アーム部Bとが接続される。こうすることで、半導体装置1は、上アーム部A及び下アーム部Bを含むハーフブリッジ回路として機能させることができる。

【0033】

配線81は、P端子(正極)である外部接続端子71、外部接続端子71が接続される金属層30a、半導体チップ60a, 65aが配置される金属層30b、及び、金属層30aと金属層30bとを接続するボンディングワイヤ80aを含む。また、配線83は、M端子である外部接続端子73、外部接続端子73及び半導体チップ60b, 65bが配置される金属層30c、及び、金属層30cと半導体チップ60a, 65aとを接続するボンディングワイヤ80bを含む。また、配線85は、N端子(負極)である外部接続端子75、外部接続端子75が配置される金属層30d、及び、金属層30dと半導体チップ60b, 65bを接続するボンディングワイヤ80cを含む。

10

【0034】

したがって、半導体装置1の運転時では、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40がN端子と同電位になるように接地された場合、配線81, 83に対応する金属層30a, 30b, 30cに対して、金属層40が低電位となる。つまり、この場合、低電位の金属層は、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40であり、高電位の金属層は、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30a, 30b, 30cである。例えば、金属層40は、金属層30a, 30bに対して、500V以上、2000V未満、電位が低くなる。また、金属層40は、金属層30cに対して、250V以上、1000V未満、電位が低くなる。

20

【0035】

また、半導体装置1の運転時では、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40が、M端子と同電位になるように接地された場合、または、接地されずに浮遊の場合、配線81に対応する金属層30a, 30bに対して、金属層40が低電位となる。つまり、この場合、低電位の金属層は、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40であり、高電位金属層は、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30a, 30bである。例えば、金属層40は、金属層30a, 30bに対して、250V以上、1000V未満、電位が低くなる。また、金属層40に対して、配線85に対応する金属層30dが低電位となる。つまり、この場合、低電位の金属層は、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30dであり、高電位の金属層は、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40である。例えば、金属層30dは、金属層40に対して、250V以上、1000V未満、電位が低くなる。

30

【0036】

(半導体装置の製造方法)

次に、半導体装置1に含まれるセラミックス積層基板10の製造方法について、図4を用いて説明する。図4は、第1の実施の形態の半導体装置に含まれるセラミックス積層基板の製造方法を示すフローチャートである。セラミックス積層基板10を製造するにあたり、まず、セラミックス板並びに金属箔を作成する(ステップS1a, S1b)。なお、このステップS1a, S1bはどちらを先に行ってもよい。

40

【0037】

セラミックス板の作成について説明する(ステップS1a)。まず、酸化アルミニウム(Al_2O_3)の粉末に酸化シリコン(SiO_2)の粉末を添加し、バインダー等と共に攪拌して板状に成形する。板状に成形された成形物の表面に酸化マグネシウム(MgO)の粉末を塗工し、所定の温度で、所定時間、焼成する。このようにして焼成されて形成されたセラミックス板はセラミックス粒子として酸化アルミニウムを含み、セラミックス粒子の粒界並びに3重点にシリコンを具備する酸化物(第2酸化物)を含み、そして、表面には、マグネシウムを具備する酸化物が形成される。また、セラミックス粒子の粒界並びに3重点にマグネシウムを具備する酸化物が形成されていてもよい。なお、この際の酸化マ

50

グネシウム粉末による塗工は省略してもよい。セラミックス粒子の平均粒径は、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上、 $25\ \mu\text{m}$ 以下である。より好ましくは、 $1\ \mu\text{m}$ 以上、 $10\ \mu\text{m}$ 以下である。

【0038】

セラミックス板20では、酸化アルミニウムの含有量が、酸化物換算で全体の90wt%以上、99wt%以下であり、より好ましくは、92wt%以上、98wt%以下である。また、セラミックス板20に対して、シリコンを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して、酸化シリコン(SiO_2)換算で、0.01wt%以上、3.0wt%以下であり、より好ましくは、1.0wt%以上、3.0wt%以下である。シリコンを具備する酸化物の含有量が少なすぎるとセラミックス板に空隙が多く残り、割れやすくなる。また、多すぎると半導体装置1の運転時にセラミックス板中のイオンの伝導が多くなり、絶縁性の低下や銅箔の接合性の低下が起きやすくなる。

10

【0039】

また、このようなセラミックス板20は、セラミックス粒子、マグネシウムを具備する酸化物、シリコンを具備する酸化物以外にも、製造に用いられる様々な材料を含む。このような材料の一例として、ナトリウムを具備する酸化物がある。例えば、酸化ナトリウム(Na_2O)がある。セラミックス板20に対して、ナトリウムを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して、酸化ナトリウム(Na_2O)換算で、0.001wt%以上、0.2wt%以下であり、より好ましくは、0.002wt%以上、0.2wt%以下である。ナトリウムを具備する酸化物の含有量が少なすぎると、セラミックス原料粉末の精製が困難になる。また、多すぎると、アルミナ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$)が形成され、絶縁性の低下や強度の低下が起きやすくなる。セラミックス板20では、好ましくは、アルミナを含まない。

20

【0040】

金属箔の作成について説明する(ステップS1b)。銅を主成分とする金属箔を準備し、その表面を酸化する。これにより、金属箔の表面には $10\ \text{nm}$ 以上、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の酸化銅(Cu_xO)の皮膜が形成される。また、この酸化工程では、湿式酸化法または乾式酸化法を行ってもよい。湿式酸化法では、例えば、マンガ含有溶液中に銅を主成分とする金属箔を浸漬させて酸化させることができる。マンガ含有溶液を用いた湿式酸化法により、金属箔の表面に酸化銅が形成されると共に、マンガを具備する酸化物も形成される。また、乾式酸化法では、例えば、大気または酸素ガス雰囲気中で銅を主成分とする金属箔を加熱する。これにより、乾式酸化法では、金属箔の表面の殆どに酸化銅が形成され、マンガを含めて他の金属は形成されていない。

30

【0041】

次いで、ステップS1aで形成されたセラミックス板のおもて面及び裏面にステップS1bで形成された金属箔を接合する(ステップS2)。すなわち、ステップS1aで形成されたセラミックス板のおもて面及び裏面にステップS1bで形成された金属箔を重ね合わせて、所定の温度、所定時間、熱処理を行う。なお、この際、セラミックス板のおもて面及び裏面に形成される金属層は、湿式酸化法または乾式酸化法のいずれかで作成された金属箔が用いられる。すなわち、湿式酸化法で作成された金属箔をセラミックス板のおもて面及び裏面にそれぞれ重ね合わせる。乾式酸化法で作成された金属箔をセラミックス板20のおもて面及び裏面にそれぞれ重ね合わせる。

40

【0042】

このように重ね合わせて熱処理を行うと、セラミックス板と金属層との接触界面には、酸化銅(Cu_xO)が形成されている。また、セラミックス板と金属層との接触界面には、所定の方法により、マグネシウム、マンガの少なくともいずれかを具備する酸化物を含む中間層50a、50bを形成することができる。所定の方法とは、セラミックス板の焼成時に酸化マグネシウムを塗工すること、あるいは、金属層がマンガ含有溶液を用いた湿式酸化法で形成されることの少なくともいずれかであってよい。

【0043】

後述する実施例1-1のセラミックス積層基板10は、セラミックス板20の焼成時に

50

酸化マグネシウムを塗工したものである。このため、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 との接触界面に、第 1 酸化物としてマグネシウムを具備する酸化物を含む中間層 50 a, 50 b が形成されている。

【0044】

後述する実施例 1 - 2 のセラミックス積層基板 10 は、セラミックス板 20 の焼成時に酸化マグネシウムの塗工、及び、金属層 30, 40 がマンガン含有溶液を用いた湿式酸化法により形成されることを行ったものである。このため、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 との接触界面に、第 1 酸化物としてマグネシウム及びマンガンの両方を具備する酸化物を含む中間層 50 a, 50 b が形成されている。

【0045】

後述する実施例 1 - 3 のセラミックス積層基板 10 は、セラミックス板 20 の焼成時に金属層 30, 40 がマンガン含有溶液を用いた湿式酸化法で形成されることを行ったものである。このため、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 との接触界面に、第 1 酸化物としてマンガンを具備する酸化物を含む中間層 50 a, 50 b が形成されている。これにより、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 とが好適に接合される。

【0046】

次いで、ステップ S 2 でセラミックス板に形成された金属層に対してエッチングを行う（ステップ S 3）。すなわち、セラミックス板のおもて面に形成された金属層を所定の形状にエッチングすることで、金属層 30 a ~ 30 f が形成される。また、セラミックス板の裏面に形成された金属層をエッチングすることで、金属層 40 が形成される。なお、金属層 30 a ~ 30 f の表面、及び、金属層 40 の表面には、酸化銅 (Cu_xO) の皮膜が形成されていなくてよい。酸化銅 (Cu_xO) の被膜は、接合時（ステップ S 2）に還元雰囲気中で熱処理することや、接合あるいはエッチング後に表面研磨することで、取り除くことができる。セラミックス板 20 の厚さは、0.32 mm 程度である。金属層 30, 40 の厚さは、0.3 mm 程度である。

【0047】

以上により、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 との間に中間層 50 a, 50 b が含まれるセラミックス積層基板 10 が製造される。このようなセラミックス積層基板 10 では、中間層 50 a, 50 b により金属層 30, 40 とセラミックス板 20 との接合性の低下が抑制される。なお、ステップ S 1 a において、酸化マグネシウムの粉末の塗工を行った場合、セラミックス積層基板 10 では、セラミックス板 20 と中間層 50 a, 50 b におけるマグネシウムを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して酸化マグネシウム (MgO) 換算で、0.1 wt% 以上、1.5 wt% 以下である。さらに、この場合、酸化マグネシウム (MgO) 換算したマグネシウムの含有量は、酸化シリコン (SiO_2) 換算したシリコンの含有量に対して、10 wt% 以上、50 wt% 以下である。ステップ S 1 a において、酸化マグネシウムの粉末の塗工を行わなかった場合、セラミックス積層基板 10 では、マグネシウムは含まれない（測定下限の 0.01 wt% 未満である）。また、ステップ S 1 b において、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法を行った場合、セラミックス積層基板 10 では、セラミックス板 20 と中間層 50 a, 50 b におけるマンガンを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して酸化マンガン (MnO) 換算で、0.01 wt% 以上、0.15 wt% 以下である。さらに、この場合、酸化マンガン (MnO) 換算したマンガンの含有量は、酸化シリコン (SiO_2) 換算したシリコンの含有量に対して、1.0 wt% 以上、5.0 wt% 以下である。ステップ S 1 b において、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法を行わなかった場合、セラミックス積層基板 10 では、マンガンは含まれない（測定下限の 0.01 wt% 未満である）。

【0048】

後述する実施例 1 - 1 のセラミックス積層基板 10 は、酸化マグネシウムの粉末の塗工を行い、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法を行わなかった場合である。この場合、セラミックス積層基板 10 は、マグネシウムを具備する酸化物を含み、マンガンを具備する酸化物を含まない。後述する実施例 1 - 2 のセラミックス積層基板は、酸化マグネシウム

10

20

30

40

50

の粉末の塗工、及び、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法の両方を行った場合である。したがって、セラミックス積層基板 100 では、マグネシウムを具備する酸化物、及び、マンガンを具備する酸化物を共に含む。後述する実施例 1 - 3 のセラミックス積層基板 100 は、酸化マグネシウムの粉末の塗工を行わず、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法を行った場合である。したがって、セラミックス積層基板 100 では、マグネシウムを具備する酸化物を含まず、マンガンを具備する酸化物を含む。なお、後述する比較例のセラミックス積層基板 100 は、酸化マグネシウムの粉末の塗工、及び、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法の両方を行わなかった場合である。したがって、セラミックス積層基板 100 では、マグネシウムを具備する酸化物、及び、マンガンを具備する酸化物を共に含まない。

【0049】

10

(比較例 1 のセラミックス積層基板)

以下では、中間層 50a, 50b による金属層 30, 40 の接合性低下の抑制を説明するにあたり、まず、比較例 1 として、中間層 50a, 50b を含まないセラミックス積層基板について、図 5 及び図 6 並びに図 13 を用いて説明する。図 5 は、比較例 1 のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図 6 は、比較例 1 のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。図 13 は、セラミックス積層基板の試験結果のまとめの表である。なお、図 5 は、図 2 における破線で囲った範囲におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図 6 では、図 5 において、高温下で金属層 30, 40 の間に高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。また、図 13 は、比較例 1 と共に、以後に説明する、実施例 1 - 1 ~ 1 - 3 における試験結果も併せて示している。

20

【0050】

比較例 1 のセラミックス積層基板に含まれるセラミックス板 120 は、図 4 のステップ S1a において酸化マグネシウムの塗工を行わずに作成されたものである。このセラミックス板は、酸化アルミニウムを主成分とし、その他に、シリコンを具備する酸化物並びにナトリウムを具備する酸化物を含んでいる。また、比較例 1 のセラミックス積層基板に含まれる金属層は、図 4 のステップ S1b の乾式酸化法により作成されたものである。このようなセラミックス板と金属層とを図 4 のステップ S2, S3 の工程を経て、比較例 1 のセラミックス積層基板 100 が製造される。セラミックス積層基板 100 は、マグネシウム及びマンガンを含まない。すなわち、このようにして製造されたセラミックス積層基板 100 は、マグネシウム、マンガンの少なくともいずれかを具備する酸化物を含む中間層 50a, 50b が形成されていない。

30

【0051】

このようにして製造されたセラミックス積層基板 100 は、図 5 に示されるように、金属層 40、セラミックス板 120、金属層 30 が下から順に積層されて構成されている。セラミックス板 120 は、少なくとも、酸化アルミニウム $21 (Al_2O_3)$ 粒子と、その粒界及び重点にシリコンを具備する酸化物 $22 (Si-O)$ と酸化ナトリウム $23 (Na_2O)$ を含んでいる。また、金属層 30, 40 は、銅 (Cu) を主成分として、酸素を含まずに構成されている。金属層 30, 40 及びセラミックス板 120 の境界には、銅を具備する酸化物 $31, 41 (Cu-O)$ がそれぞれ形成されている。

【0052】

40

このようなセラミックス積層基板 100 に対する引きはがし強さの評価試験の結果について説明する。引きはがし強さの評価試験とは、信頼性試験の前後におけるセラミックス積層基板 100 のセラミックス板 120 に対する金属層 30, 40 の引きはがし強さを測定する。次いで、測定結果からセラミックス板 120 に対する金属層 30, 40 の接合強度を評価する試験である。なお、引きはがし強さの値は、40 箇所における測定値の平均値で求めた。

【0053】

まず、信頼性試験は、高温環境下においてハーフブリッジ回路を所定のオン、オフパターンで所定時間、連続運転する。なお、ここでは、セラミックス板 120 の裏面に形成された金属層 40 が N 端子と同電位になるように接地した。そのため、セラミックス板 12

50

0のおもて面に形成された金属層30が高電位の金属層、裏面に形成された金属層40が低電位の金属層である。このような連続運転をセラミックス積層基板100のおもて面に行う。

【0054】

引きはがし強さの測定は以下のように行われる。セラミックス積層基板100において、金属層30,40の一部に所定の幅を有する短冊形のパターンを加工し、短冊形の金属層30,40の一端をセラミックス板120から剥がし、剥がした一端をセラミックス積層基板100の主面に対して垂直方向に一定の速さで所定の長さ以上、引っ張って剥がす。この引っ張る際の荷重を測定する。

【0055】

信頼性試験の前後におけるセラミックス積層基板100に含まれる金属層30,40の引きはがし強さの変化により評価を行う。信頼性試験前の引きはがし強さに対して、信頼性試験後の引きはがし強さが95%以上であれば、「Excellent(優)」、95%未満、90%以上であれば、「Very Good(良)」、90%未満、60%以上であれば、「Good(可)」、60%未満であれば、「Not Good(不可)」と評価する(図13を参照)。なお、図13は、実施例1-1~1-3及び比較例1に対して、当該評価に用いられたセラミックス板、金属層、中間層並びに試験結果を示している。

【0056】

比較例1に対する評価結果は、図13(最右欄)に示されるように、セラミックス積層基板100のおもて面で「Excellent」であるものの、裏面で「Not Good」となっている。すなわち、セラミックス積層基板100は信頼性試験により、金属層40がセラミックス板120の裏面に対する接合力が低下してしまった状態になっている。この理由は現時点では未だ十分に解明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

【0057】

信頼性試験後のセラミックス積層基板100は図6に示されるような組成となる。高温下で金属層30,40に高電位(正極)及び低電位(負極)の電圧が印加されることで、酸化ナトリウム23(図5を参照)が、ナトリウムイオン24(Na^+)と酸素イオン25(O^{2-})に分離する。ナトリウムイオン24は、酸化アルミニウム21の粒界のシリコンを具備する酸化物22を通過して、負極である低電位の金属層40側に移動する。また、酸素イオン25は、酸化アルミニウム21の粒界のシリコンを具備する酸化物22を通過して、正極である高電位の金属層30側に移動する。

【0058】

正極に移動した酸素イオン25は、金属層30に含まれる銅と反応して、銅を具備する酸化物31を形成する。正極では、銅を具備する酸化物31が増加して、酸化アルミニウム21及びシリコンを具備する酸化物22のそれぞれに対する接合力が向上する。

【0059】

他方、負極に移動したナトリウムイオン24は、銅を具備する酸化物41(図5を参照)と反応して、酸化銅を還元し、ナトリウムイオン24と反応した負極の銅を具備する酸化物41はCuとなり、金属層40に含まれる。また、ナトリウムイオン24は酸化されて、酸化ナトリウムになる。このように、酸化アルミニウム21及びシリコンを具備する酸化物22のそれぞれに対して接合力が大きい銅を具備する酸化物41が減少する。また、負極の金属層40の境界近傍のセラミックス板120において、ナトリウムイオン(酸化ナトリウム23)の濃度が増加して、酸化アルミニウム21の粒子の離脱が生じやすくなる。このため、セラミックス板120に対する金属層40の接合強度が低下してしまう。

【0060】

このようなセラミックス積層基板100を、半導体装置1のセラミックス積層基板10に代えて適用する場合、金属層40を接地すると、金属層40が低電位(基準電位)となり、金属層30aが高電位、また、金属層30cが中間電位となる。このため、金属層30a,30c(特に高電位の金属層30)に対向する金属層40の部分にて接合性が低下

10

20

30

40

50

する。

【0061】

なお、金属層40を接地せずに浮遊電位としてもよく、または、金属層40を中間点接地（金属層30cと同電位となるように接地）してもよい。これらの場合、上アーム部のコレクタ側の金属層30a, 30bが高電位となり、金属層40が低電位となる。このため、金属層30a, 30bに対向する金属層40の部分の接合性が低下してしまう。他方、下アーム部のエミッタ側の金属層30dは低電位となり、金属層30dに対向する金属層40が高電位となり、金属層30dの接合性が低下してしまう。

【0062】

また、以下では、酸化アルミニウムを主成分とするセラミックス板20を含むセラミックス積層基板10において、中間層50a, 50bに応じた実施例1-1~1-3について説明する。

【0063】

（実施例1-1のセラミックス積層基板）

次に、中間層50a, 50bを含むセラミックス積層基板10について、図7及び図8並びに図13を用いて説明する。図7は、第1の実施の形態（実施例1-1）のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図8は、第1の実施の形態（実施例1-1）のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図7は、図2における破線で囲った範囲におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図8では、図2において、高温下で金属層30, 40の間に高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

【0064】

実施例1-1のセラミックス積層基板10は、図7に示されるように、金属層40、中間層50b、セラミックス板20、中間層50a、金属層30が下から順に積層されて構成されている。

【0065】

セラミックス板20は、図4のステップS1aにおいて酸化マグネシウムの粉末を塗工して製造されたものである。また、金属層30, 40は、図4のステップS1bにおいて乾式酸化法により製造されたものである。セラミックス板20は、第2酸化物として、酸化アルミニウム21の粒子の間（粒界及び3重点）にシリコンを具備する酸化物22と酸化ナトリウム23とを含む。さらに、酸化マグネシウムを含んでよい。

【0066】

また、中間層50a, 50bは、第1酸化物として、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51b (Mg-O)をそれぞれ含んでいる。マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bは、中間層50a, 50bにおいて、セラミックス板20のおもて面側、裏面側にそれぞれ多く形成されている。さらに、金属層30, 40及びセラミックス板20の境界、並びに、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bと金属層30, 40とセラミックス板20との境界に銅を具備する酸化物31, 41がそれぞれ形成されている。

【0067】

（信頼性試験前の）セラミックス積層基板10では、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bが多すぎると、セラミックス板20と金属層30, 40との接合強度が低下してしまう。このため、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bを含む中間層50a, 50bは、セラミックス板20と金属層30, 40との接合面に対して、10%以上、80%以下を覆うように形成されることが好ましく、20%以上、50%以下であることがより好ましい。

【0068】

このようなセラミックス積層基板10に対しても引きはがし強さの評価試験を行った。実施例1-1に対する評価結果は、図13に示されるように、セラミックス積層基板10のおもて面で「Excellent」、裏面で「Good」となっている。すなわち、セラミックス積層基板10は信頼性試験を行っても、比較例1と比べて、金属層40のセラ

10

20

30

40

50

ミックス板 20 の裏面に対する接合力が幾分改善され、接合性の低下が抑制されている。この理由は現時点では未だ十分に解明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

【0069】

信頼性試験後のセラミックス積層基板 10 は図 8 に示されるような組成となる。高温下で、金属層 30, 40 に高電位（正極）及び低電位（負極）の電圧が印加されることで、酸化ナトリウム 23（図 7 を参照）が、ナトリウムイオン 24 (Na^+) と酸素イオン 25 (O^{2-}) に分離する。ナトリウムイオン 24 は、酸化アルミニウム 21 の粒界及び 3 重点のシリコンを具備する酸化物 22 を通過して、負極である低電位の金属層 40 側に移動する。また、酸素イオン 25 は、酸化アルミニウム 21 の粒界及び 3 重点のシリコンを具備する酸化物 22 を通過して、正極である高電位の金属層 30 側に移動する。

10

【0070】

正極に移動した酸素イオン 25 は、金属層 30 の銅と反応して、銅を具備する酸化物 31 を形成する。このように、正極では、銅を具備する酸化物 31 が増加して、酸化アルミニウム 21 及びシリコンを具備する酸化物 22 のそれぞれに対して接合力が向上する。

【0071】

他方、負極に移動したナトリウムイオン 24 は、マグネシウムを具備する酸化物 51 b が存在しない箇所では、銅を具備する酸化物 41（図 7 を参照）と反応して、酸化銅を還元して、ナトリウムイオン 24 と反応した負極の銅を具備する酸化物 41 は Cu となり、金属層 40 に含まれる。また、ナトリウムイオン 24 は酸化されて、酸化ナトリウムになる。このように、酸化アルミニウム 21 及びシリコンを具備する酸化物 22 のそれぞれに対して接合力が大きい銅を具備する酸化物 41 が減少する。また、負極の金属層 40 の境界近傍のセラミックス板 20 において、ナトリウムイオン（酸化ナトリウム 23）の濃度が増加して、酸化アルミニウム 21 の粒子の離脱が生じやすくなる。

20

【0072】

ところが、セラミックス積層基板 10 は、比較例 1 と異なり、酸化マグネシウム 26 が中間層 50 a, 50 b に配置されている。そのため、ナトリウムイオン 24 が銅を具備する酸化物 41 と反応することをブロックする。したがって、マグネシウムを具備する酸化物 51 b が形成されている箇所には、銅を具備する酸化物 41 が Cu になることなく存在する。また、酸化マグネシウム 26 が酸化アルミニウム 21 の粒界及び 3 重点に存在している。そのため、粒界のシリコンを具備する酸化物 22 の一部の移動ルートが遮断され、一部のナトリウムイオン 24 の移動が遮断される。したがって、ナトリウムイオン 24 と銅を具備する酸化物 41 との反応が抑制される。したがって、この箇所においては、セラミックス板 20 と金属層 40 との接合強度が維持される。

30

【0073】

以上により、実施例 1 - 1 のセラミックス積層基板 10 は、比較例 1 の場合と比較すると、セラミックス板 20 から金属層 40 の接合強度の低下が抑制されて、セラミックス板 20 に対する金属層 40 の接合強度が向上する。

【0074】

比較例 1 によれば、中間層 50 a, 50 b が無くてもセラミックス板 120 のおもて面（高電位側）の金属層 30 の接合強度はある程度維持することができ、セラミックス板 120 の裏面（低電位側）にて金属層 40 の接合性の低下が生じる。第 1 の実施の形態のセラミックス積層基板 10 のセラミックス板 20 の裏面（低電位側）と金属層 40 との間の中間層 50 b により金属層 40 の接合性の低下が抑制される。したがって、セラミックス積層基板 10 では、少なくとも、セラミックス板 20 の裏面（低電位側）と金属層 40 との間に中間層 50 b があれば、金属層 40 の接合性の低下が抑制されて、セラミックス積層基板 10 の劣化を防止することができる。

40

【0075】

上記の半導体装置 1 は、半導体チップ 60 a, 60 b, 65 a, 65 b と、接合部材 35 と、板状であっておもて面とおもて面の反対側の裏面とを備え、半導体チップ 60 a,

50

60b, 65a, 65bがおもて面に接合部材35を介して接合されるセラミックス積層基板10と、を備える。セラミックス積層基板10は、セラミックス板20と、金属層30, 40と、中間層50bとを有する。セラミックス板20は、板状であって第1主面(第1の実施の形態ではおもて面)と第1主面の反対側の第2主面(第1の実施の形態では裏面)とを備え、セラミックス粒子を備える。金属層30は、高電位の電圧が印加され、セラミックス板20の第1主面に接合され、銅を含む。金属層40は、低電位の電圧が印加され、セラミックス板20の第2主面に接合され、銅を含む。中間層50bは、セラミックス板20の第2主面及び低電位の金属層40の間に形成され、マグネシウムを具備する酸化物51bを含む。セラミックス積層基板10は、セラミックス板20と低電位の金属層40との間に含まれるマグネシウムを具備する酸化物51bにより、高温下で高電圧が印加されても、セラミックス板20に対して金属層40の接合性の低下が抑制される。このため、セラミックス積層基板10の劣化を防止して、半導体装置1の信頼性の低下を抑制することができる。

10

【0076】

なお、第1, 第2の実施の形態では、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40がN端子と同電位になるように接地された場合、高電位の金属層は、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30a, 30b, 30cである。低電位の金属層は、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40である。

【0077】

また、第1, 第2の実施の形態では、セラミックス板20の裏面に形成された金属層40が、M端子と同電位になるように接地された場合、または、接地されずに浮遊の場合、高電位の金属層は、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30a, 30bであり、低電位の金属層は、セラミックス板20の裏面に形成され、金属層30a, 30bに対向する金属層40である。また、この場合、低電位の金属層は、セラミックス板20のおもて面に形成された金属層30dであり、高電位の金属層は、セラミックス板20の裏面に形成され、金属層30dに対向する金属層40である。

20

【0078】

なお、半導体装置1の駆動時または停止時における、セラミックス板20の金属層30並びに金属層40の間の電位に応じて中間層が必要とされる領域(位置)については第3の実施の形態で説明する。

30

【0079】

なお、本実施の形態では、中間層50a, 50bにマグネシウムを具備する酸化物を形成する方法について、セラミックス板作成工程(ステップS1a)において、板状成形物の表面に酸化マグネシウムの粉末を塗工し、所定の温度で、所定時間、焼成することを説明した。これに限らず、セラミックス板作成工程(ステップS1a)において、板状成形物の表面にマンガンを具備する溶液を塗工して、焼成してもよい。セラミックス板作成工程(ステップS1a)並びに金属箔作成工程(ステップS1b)時に、セラミックス板あるいは金属箔にスパッタリングまたは蒸着でマグネシウム、あるいはマグネシウムを具備する酸化物を形成することでも、中間層50a, 50bにマグネシウムを具備する酸化物を形成することができる。

40

【0080】

また、本実施の形態では、中間層50a, 50bにマンガンを具備する酸化物を形成する方法について、金属箔作成工程(ステップS1b)において、マンガン含有溶液中に金属箔を浸漬させて酸化させることを説明した。これに限らず、セラミックス板作成工程(ステップS1a)において、板状成形物の表面にマンガンを具備する粉末あるいは溶液を塗工して、焼成してもよい。セラミックス板作成工程(ステップS1a)や金属箔作成工程(ステップS1b)時に、セラミックス板あるいは金属箔にスパッタリングや蒸着でマンガン、あるいはマンガンを具備する酸化物を形成することでも、中間層50a, 50bにマンガンを具備する酸化物を形成することができる。

【0081】

50

(実施例 1 - 2 のセラミックス積層基板)

実施例 1 - 2 の形態では、セラミックス積層基板 1 0 のセラミックス板 2 0 が図 4 のステップ S 1 a で酸化マグネシウムの粉末を塗工して製造され、金属層 3 0 , 4 0 が湿式酸化法により製造された場合について、図 9 及び図 1 0 並びに図 1 3 を用いて説明する。図 9 は、第 1 の実施の形態 (実施例 1 - 2) のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図 1 0 は、第 1 の実施の形態 (実施例 1 - 2) のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図 9 は、図 2 における破線で囲った範囲に対応する箇所におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図 1 0 では、図 2 において、金属層 3 0 , 4 0 の間に高温下で高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

【 0 0 8 2 】

実施例 1 - 2 のセラミックス積層基板 1 0 は、図 9 に示されるように、金属層 4 0 、中間層 5 0 b 、セラミックス板 2 0 、中間層 5 0 a 、金属層 3 0 が下から順に積層されて構成されている。

【 0 0 8 3 】

セラミックス板 2 0 は、実施例 1 - 1 と同様に、図 4 のステップ S 1 a において酸化マグネシウムの粉末を塗工して製造されたものである。一方で、金属層 3 0 , 4 0 は、実施例 1 - 1 と異なり、図 4 のステップ S 1 b において湿式酸化法により製造されたものである。セラミックス板 2 0 は、第 2 酸化物として、酸化アルミニウム 2 1 の粒子の間 (粒界及び 3 重点) にシリコンを具備する酸化物 2 2 と酸化ナトリウム 2 3 とを含む。さらに、酸化マグネシウムを含んでよい。

【 0 0 8 4 】

また、金属層 3 0 , 4 0 は、銅を主成分として構成されている。中間層 5 0 a , 5 0 b は、第 1 酸化物として、マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b (M g - M n - O) をそれぞれ含んでいる。マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b は、中間層 5 0 a , 5 0 b において、セラミックス板 2 0 のおもて面側、裏面側にそれぞれ多く形成されている。さらに、金属層 3 0 , 4 0 とセラミックス板 2 0 とマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b の境界に銅を具備する酸化物 3 1 , 4 1 がそれぞれ形成されている。

【 0 0 8 5 】

実施例 1 - 1 において、(信頼性試験前の)セラミックス積層基板 1 0 では、中間層 5 0 a , 5 0 b の覆う範囲を制限して、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合強度を高くすることができなかつた。実施例 1 - 2 では、マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b を含む中間層 5 0 a , 5 0 b を広く形成することができる。これにより、実施例 1 - 1 よりも、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合強度を高くすることができる。このような中間層 5 0 a , 5 0 b は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合面に対して、2 0 % 以上、8 0 % 以下を覆うように形成されることが好ましい。

【 0 0 8 6 】

このようなセラミックス積層基板 1 0 に対しても引きはがし強さの評価試験を行った。実施例 1 - 2 に対する評価結果は、図 1 3 に示されるように、セラミックス積層基板 1 0 のおもて面及び裏面で「E x c e l l e n t」となっている。すなわち、セラミックス積層基板 1 0 は信頼性試験を行っても、実施例 1 - 1 と比べて、金属層 4 0 がセラミックス板 2 0 の裏面に対する接合力が改善され、接合性の低下が抑制されている。この理由は現時点では未だ十分に解明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

【 0 0 8 7 】

信頼性試験後のセラミックス積層基板 1 0 は図 1 0 に示されるような組成となる。高温下で、金属層 3 0 , 4 0 に高電位 (正極) 及び低電位 (負極) の電圧が印加されることで、酸化ナトリウム 2 3 (図 9 を参照) が、ナトリウムイオン 2 4 と酸素イオン 2 5 に分離する。ナトリウムイオン 2 4 は、酸化アルミニウム 2 1 の粒界及び 3 重点のシリコンを具

10

20

30

40

50

備する酸化物 2 2 を通過して、負極である低電位の金属層 4 0 側に移動する。また、酸素イオン 2 5 は、酸化アルミニウム 2 1 の粒界のシリコンを具備する酸化物 2 2 を通過して、正極である高電位の金属層 3 0 側に移動する。

【 0 0 8 8 】

正極に移動した酸素イオン 2 5 は、金属層 3 0 の銅と反応して、銅を具備する酸化物 3 1 を形成する。このように、正極では、銅を具備する酸化物 3 1 が増加して、酸化アルミニウム 2 1 及びシリコンを具備する酸化物 2 2 のそれぞれに対して接合力が向上する。

【 0 0 8 9 】

ところで、実施例 1 - 2 では、セラミックス積層基板 1 0 では、酸化マグネシウム 2 6 が酸化アルミニウム 2 1 の粒界及び 3 重点に配置されている。さらに、負極の酸化アルミニウム 2 1 と低電位の金属層 4 0 との境界及び 3 重点でマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 b が形成されている。特に、実施例 1 - 1 のマグネシウムを具備する酸化物 5 1 b よりも、マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 b が形成されている領域が広い。このため、負極に移動したナトリウムイオン 2 4 は、マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 b に移動を遮断される。したがって、実施例 1 - 1 の場合よりも、ナトリウムイオン 2 4 と銅を具備する酸化物 4 1 との反応がより阻害されるようになる。このため、酸化アルミニウム 2 1 と金属層 4 0 とマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 b との境界に銅を具備する酸化物 4 1 が Cu になることなく存在する。したがって、実施例 1 - 1 よりも、セラミックス板 2 0 と金属層 4 0 との接合強度が維持される。

【 0 0 9 0 】

以上により、実施例 1 - 2 のセラミックス積層基板 1 0 は、実施例 1 - 1 の場合と比較すると、セラミックス板 2 0 から金属層 4 0 の接合強度の低下が抑制されて、セラミックス板 2 0 に対する金属層 4 0 の接合強度が向上する。

【 0 0 9 1 】

(実施例 1 - 3 のセラミックス積層基板)

実施例 1 - 3 では、セラミックス積層基板 1 0 のセラミックス板 2 0 が図 4 のステップ S 1 a で酸化マグネシウムの粉末を塗工せずに製造され、金属層 3 0 , 4 0 が湿式酸化法により製造された場合について、図 1 1 及び図 1 2 並びに図 1 3 を用いて説明する。図 1 1 は、第 1 の実施の形態 (実施例 1 - 3) のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図 1 2 は、第 1 の実施の形態 (実施例 1 - 3) のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図 1 1 は、図 2 における破線で囲った範囲におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図 1 2 では、図 2 において、金属層 3 0 , 4 0 の間に高温下で高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

【 0 0 9 2 】

実施例 1 - 3 のセラミックス積層基板 1 0 は、図 1 1 に示されるように、金属層 4 0 、中間層 5 0 b 、セラミックス板 2 0 、中間層 5 0 a 、金属層 3 0 が下から順に積層されて構成されている。

【 0 0 9 3 】

セラミックス板 2 0 は、実施例 1 - 1 及び実施例 1 - 2 と異なり、図 4 のステップ S 1 a において酸化マグネシウムの粉末の塗工を行わずに製造されたものである。また、金属層 3 0 , 4 0 は、実施例 1 - 2 と同様、図 4 のステップ S 1 b において湿式酸化法により製造されたものである。セラミックス板 2 0 は、第 2 酸化物として、酸化アルミニウム 2 1 の粒子の間 (粒界及び 3 重点) にシリコンを具備する酸化物 2 2 と酸化ナトリウム 2 3 とを含む。

【 0 0 9 4 】

また、金属層 3 0 , 4 0 は、銅を主成分として構成されている。中間層 5 0 a , 5 0 b は、第 1 酸化物として、マンガンを具備する酸化物 5 3 a , 5 3 b (Mn - O) をそれぞれ含んでいる。マンガンを具備する酸化物 5 3 a , 5 3 b は、中間層 5 0 a , 5 0 b において、セラミックス板 2 0 のおもて面側、裏面側にそれぞれ多く形成されている。さらに、金属層 3 0 , 4 0 とセラミックス板 2 0 とマンガンを具備する酸化物 5 3 a , 5 3 b の

境界に銅を具備する酸化物である銅を具備する酸化物 3 1 , 4 1 がそれぞれ形成されている。

【 0 0 9 5 】

(信頼性試験前の) セラミックス積層基板 1 0 では、マンガンを具備する酸化物 5 3 a , 5 3 b が多すぎると、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合強度が低下してしまう。このため、マンガンを具備する酸化物 5 3 a , 5 3 b を含む中間層 5 0 a , 5 0 b は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合面に対して、1 0 % 以上、8 0 % 以下を覆うように形成されることが好ましく、2 0 % 以上、5 0 % 以下であることがより好ましい。

【 0 0 9 6 】

このようなセラミックス積層基板 1 0 に対しても引きはがし強さの評価試験を行った。実施例 1 - 3 に対する評価結果は、図 1 3 に示されるように、セラミックス積層基板 1 0 のおもて面で「Excellent」、裏面で「Very Good」となっている。すなわち、セラミックス積層基板 1 0 は信頼性試験を行っても、実施例 1 - 1 と比べて、金属層 4 0 のセラミックス板 2 0 の裏面に対する接合力が幾分改善され、接合性の低下が抑制されている。この理由は現時点では未だ十分に説明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

【 0 0 9 7 】

信頼性試験後のセラミックス積層基板 1 0 は図 1 2 に示されるような組成となる。高温下で、金属層 3 0 , 4 0 に高電位 (正極) 及び低電位 (負極) の電圧が印加されることで、酸化ナトリウム 2 3 (図 1 1 を参照) が、ナトリウムイオン 2 4 と酸素イオン 2 5 に分離する。ナトリウムイオン 2 4 は、酸化アルミニウム 2 1 の粒界及び 3 重点のシリコンを具備する酸化物 2 2 を通過して、負極である低電位の金属層 4 0 側に移動する。また、酸素イオン 2 5 は、酸化アルミニウム 2 1 の粒界のシリコンを具備する酸化物 2 2 を通過して、正極である高電位の金属層 3 0 側に移動する。

【 0 0 9 8 】

正極に移動した酸素イオン 2 5 は、金属層 3 0 の銅と反応して、銅を具備する酸化物 3 1 を形成する。このように、正極では、銅を具備する酸化物 3 1 が増加して、酸化アルミニウム 2 1 及びシリコンを具備する酸化物 2 2 のそれぞれに対して接合力が向上する。

【 0 0 9 9 】

他方、負極に移動したナトリウムイオン 2 4 は、マンガンを具備する酸化物 5 3 b が存在しない箇所では、銅を具備する酸化物 4 1 (図 1 1 を参照) と反応して、酸化銅を還元して、ナトリウムイオン 2 4 と反応した負極の銅を具備する酸化物 4 1 は Cu となり、金属層 4 0 に含まれる。また、ナトリウムイオン 2 4 は酸化されて、酸化ナトリウムになる。このように、酸化アルミニウム 2 1 及びシリコンを具備する酸化物 2 2 のそれぞれに対して接合力が大きい銅を具備する酸化物 4 1 が減少する。また、負極の金属層 4 0 の境界近傍のシリコンを具備する酸化物 2 2 の粒界及び 3 重点において、ナトリウムイオン (酸化ナトリウム 2 3) の濃度が増加して、酸化アルミニウム 2 1 の粒子の離脱が生じやすくなる。

【 0 1 0 0 】

ところが、実施例 1 - 3 のセラミックス積層基板 1 0 は、酸化マンガン 2 7 が中間層 5 0 a , 5 0 b に配置されている。そのため、ナトリウムイオン 2 4 が銅を具備する酸化物 4 1 と反応することをブロックする。したがって、マンガンを具備する酸化物 5 3 b が形成されている箇所には、銅を具備する酸化物 4 1 が Cu になることなく存在する。また、酸化マンガン 2 7 が酸化アルミニウム 2 1 の粒界及び 3 重点に配置されている。そのため、粒界のシリコンを具備する酸化物 2 2 の一部の移動ルートが遮断され、一部のナトリウムイオン 2 4 の移動が遮断される。したがって、ナトリウムイオン 2 4 と銅を具備する酸化物 4 1 との反応が抑制される。したがって、この箇所においては、セラミックス板 2 0 と金属層 4 0 との接合強度が維持される。また、この際の接合強度は、実施例 1 - 1 よりも大きいことが考えられる。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 1 】

以上により、実施例 1 - 3 のセラミックス積層基板 1 0 は、実施例 1 - 1 の場合と比較すると、セラミックス板 2 0 から金属層 4 0 の接合強度の低下が抑制されて、セラミックス板 2 0 に対する金属層 4 0 の接合強度が向上する。

【 0 1 0 2 】

[第 2 の実施の形態]

第 2 の実施の形態のセラミックス積層基板 1 0 に含まれるセラミックス板 2 0 は、第 1 の実施の形態のセラミックス板 2 0 に対して、さらに、酸化ジルコニウム (ZrO_2) が含まれている。なお、第 2 の実施の形態でも、第 1 の実施の形態の半導体装置 1 (図 1 及び図 2) に基づいて説明する。

10

【 0 1 0 3 】

(半導体装置の製造方法)

第 2 の実施の形態のセラミックス積層基板 1 0 もまた、第 1 の実施の形態の図 4 の製造方法のフローチャートに沿って製造される。第 2 の実施の形態でも、セラミックス積層基板 1 0 を製造するにあたり、まず、セラミックス板並びに金属箔を作成する (ステップ S 1 a , S 1 b) 。なお、このステップ S 1 a , S 1 b はどちらを先に行ってもよい。

【 0 1 0 4 】

セラミックス板の作成について説明する (ステップ S 1 a) 。まず、酸化アルミニウム (Al_2O_3) の粉末に酸化シリコン (SiO_2) の粉末と共に、酸化ジルコニウム (ZrO_2) の粉末を添加し、バインダー等と共に攪拌して板状に成形する。板状に成形された成形物の表面に酸化マグネシウム (MgO) の粉末を塗工し、所定の温度で、所定時間、焼成する。このようにして焼成されて形成されたセラミックス板はセラミックス粒子として酸化アルミニウムを含み、セラミックス粒子の粒界並びに 3 重点にジルコニウムを具備する酸化物及びシリコンを具備する酸化物 (第 2 酸化物) を含み、そして、表面には、マグネシウムを具備する酸化物が形成される。また、セラミックス粒子の粒界並びに 3 重点にマグネシウムを具備する酸化物が形成されていてもよい。ジルコニウムを具備する酸化物があることで、ジルコニウムを具備する酸化物がない場合に比べて抗折強度を高めることができる。

20

【 0 1 0 5 】

第 2 の実施の形態のセラミックス板 2 0 を製造するには、酸化ジルコニウム (ZrO_2) 粉末に加えて、酸化イットリウム (Y_2O_3) 、酸化マグネシウム (MgO) 、あるいは、酸化カルシウム (CaO) の粉末を添加してよい。または、酸化ジルコニウム (ZrO_2) 粉末に替わり部分安定化ジルコニアの粉末を添加してもよい。こうすることで、セラミックス板 2 0 はセラミックス粒子として酸化アルミニウムを含み、セラミックス粒子の粒界並びに 3 重点に部分安定化ジルコニアとシリコンを具備する酸化物 (第 2 酸化物) とを含む。この場合の部分安定化ジルコニアは、好ましくは、酸化ジルコニウム (ZrO_2) に換算した ジルコニウム に対して、酸化イットリウム (Y_2O_3) に換算したイットリウムが、 2 . 5 m o l % 以上、 3 . 5 m o l % 以下含まれている。こうすることで、酸化ジルコニウムだけの場合に比べて、さらに抗折強度を高めることができる。また、セラミックス粒子の平均粒径は、 0 . 5 μm 以上、 2 5 μm 以下である。より好ましくは、 1 μm 以上、 1 0 μm 以下である。

30

40

【 0 1 0 6 】

セラミックス板 2 0 では、酸化アルミニウムの含有量が、酸化物換算で全体の 8 0 w t % 以上、 9 5 w t % 以下であり、より好ましくは、 8 4 w t % 以上、 9 2 w t % 以下である。また、ジルコニウムを具備する酸化物の含有量が、酸化物換算した全体量に対して、酸化ジルコニウム (ZrO_2) 換算で、全体の 5 . 0 w t % 以上、 2 0 . 0 w t % 以下であり、より好ましくは、 8 w t % 以上、 1 6 w t % 以下含まれている。また、セラミックス板 2 0 に対して、シリコンを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して、酸化シリコン (SiO_2) 換算で、 0 . 0 1 w t % 以上、 3 . 0 w t % 以下であり、より好ましくは、 1 . 0 w t % 以上、 3 . 0 w t % 以下である。シリコンを具備する酸化

50

物の含有量が少なすぎるとセラミックス板に空隙が多く残り、割れやすくなる。また、多すぎるとセラミックス板の熱伝導性が低下し、放熱性が悪くなる。

【0107】

また、第2の実施の形態のセラミックス板20でも、セラミックス粒子、マグネシウムを具備する酸化物、シリコンを具備する酸化物、ジルコニウムを具備する酸化物以外にも、製造に用いられる様々な材料を含む。このような材料の一例として、ナトリウムを具備する酸化物がある。例えば、酸化ナトリウムがある。セラミックス板20に対して、ナトリウムを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して、酸化ナトリウム(Na_2O)換算で、0.001wt%以上、0.2wt%以下であり、より好ましくは、0.002wt%以上、0.2wt%以下である。ナトリウムを具備する酸化物の含有量が少なすぎると、セラミックス原料粉末の精製が困難になる。また、多すぎると、アルミナが形成され、絶縁性の低下や強度の低下が起きやすくなる。セラミックス板20では、好ましくは、アルミナを含まない。

10

【0108】

ステップS1bの金属箔の作成は第1の実施の形態と同様に実施される。また、ステップS2以降の製造方法は、第2の実施の形態のステップS1aで作成されたセラミックス板を用いて第1の実施の形態と同様に実施される。

【0109】

以上により、セラミックス板20と金属層30,40との間に中間層50a,50bが含まれるセラミックス積層基板10が製造される。このようなセラミックス積層基板10では、中間層50a,50bにより金属層30,40とセラミックス板20との接合性の低下が抑制される。なお、第2の実施の形態のステップS1aにおいて、酸化マグネシウムの粉末の塗工を行った場合、セラミックス積層基板10では、セラミックス板20と中間層50a,50bにおけるマグネシウムを具備する酸化物の含有量は、酸化物換算した全体量に対して酸化マグネシウム(MgO)換算で、0.1wt%以上、1.5wt%以下である。さらに、この場合、酸化マグネシウム(MgO)換算したマグネシウムの含有量は、酸化ジルコニウム(ZrO_2)換算したジルコニウムの含有量に対して、2.0wt%以上、20.0wt%以下であり、より好ましくは、7.5wt%以上、15wt%以下である。第2の実施の形態のステップS1aにおいて、酸化マグネシウムの粉末の塗工を行わなかった場合、セラミックス積層基板10では、マグネシウムは含まれない(測定下限の0.01wt%未満である)。また、ステップS1bにおいて、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法を行った場合、セラミックス積層基板10では、セラミックス板20と中間層50a,50bにおける酸化マンガンの含有量は、0.01wt%以上、0.15wt%以下である。さらに、この場合、酸化マンガン換算したマンガンの含有量は、酸化ジルコニウム換算したジルコニウムの含有量に対して、0.05wt%以上、2wt%以下であり、より好ましくは、0.2wt%以上、0.8wt%以下である。ステップS1bにおいて、マンガン含有溶液を用いた湿式酸化法を行わなかった場合、セラミックス積層基板10では、マンガンの含有は確認されず、測定下限の0.01wt%未満である。

20

30

【0110】

また、第2の実施の形態でも、これに限らず、セラミックス板作成(ステップS1a)並びに金属箔作成(ステップS1b)時に、セラミックス板あるいは金属箔にスパッタリングまたは蒸着でマグネシウム、あるいはマグネシウムを具備する酸化物を形成することでも、中間層50a,50bにマグネシウムを具備する酸化物を形成することができる。セラミックス板作成工程(ステップS1a)において、板状成形物の表面にマグネシウム、あるいはマグネシウムを具備する粉末あるいは溶液を塗工して、焼成してもよい。

40

【0111】

なお、以下では、酸化アルミニウム及び酸化ジルコニウムを主成分とするセラミックス板を含むセラミックス積層基板10において、中間層50a,50bに応じた実施例2-1~2-3について説明する。なお、第2の実施の形態でも、第1の実施の形態と同様の

50

信頼性試験を行う。

【0112】

(比較例2のセラミックス積層基板)

以下では、第2の実施の形態のセラミックス板20に対して、中間層50a, 50bによる金属層30, 40の接合性低下の抑制を説明するにあたり、まず、比較例2として、中間層50a, 50bを含まないセラミックス積層基板10について、図14及び図15を用いて説明する。図14は、比較例2のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図15は、比較例2のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図14は、図2における破線で囲った範囲におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図15では、図2において、高温下で金属層30, 40の間に高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

10

【0113】

比較例2のセラミックス板120は、図4のステップS1a(第2の実施の形態)において酸化マグネシウムの粉末の塗工を行わずに製造されたものである。また、金属層30, 40は、図4のステップS1bにおいて乾式酸化法により製造されたものである。

【0114】

このようにして製造されたセラミックス積層基板100は、図14に示されるように、金属層40、セラミックス板120、金属層30が下から順に積層されて構成されている。セラミックス板120は、第2酸化物として、酸化アルミニウム21の粒子の間(粒界及び3重点)にシリコンを具備する酸化物22と酸化ジルコニウム28とを含む。さらに、酸化ナトリウム23を含んでよい。なお、酸化ジルコニウム28に替わって、ジルコニウムを具備する酸化物であってよく、例えば、部分安定化ジルコニアであってよい。また、金属層30, 40は、第1の実施の形態と同様に、銅を主成分として構成されている。

20

【0115】

比較例のセラミックス積層基板100は、マグネシウム及びマンガンを含まない。すなわち、このようにして製造されたセラミックス積層基板100は、マグネシウム、マンガンの少なくともいずれかを具備する酸化物を含む中間層50a, 50bが形成されていない。

【0116】

このようなセラミックス積層基板100に対してもまた第1の実施の形態と同様の引きはがし強さの評価試験を行った。評価結果は、セラミックス板のおもて面および裏面において、共に「Not Good」であった(表の図示は省略)。この理由は現時点では未だ十分に解明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

30

【0117】

図15に示すように、比較例2のセラミックス積層基板100は、高温下で、金属層30, 40に高電位(正極)及び低電位(負極)の電圧が印加される。これにより、負極側の金属層40とセラミックス板120の酸化ジルコニウム28との境界に形成されている銅を具備する酸化物41(Cu-O)が還元される。例えば、 $CuO + 2e^-$ (電子) $\rightarrow Cu + O^{2-}$ の反応が生じる。そのため、負極側では、銅を具備する酸化物41が減少して、金属層40とセラミックス板120の接合力が低下する。そして、銅を具備する酸化物41(Cu-O)の還元により生成された酸素イオン25は、酸化アルミニウム21の粒界及び3重点の酸化ジルコニウム28を通過して、正極である高電位の金属層30側に移動する。正極に移動した酸素イオン25は、金属層30の銅と反応して、銅を具備する酸化物31を成長させる。例えば、 $Cu + O^{2-} \rightarrow CuO + 2e^-$ (電子)の反応が生じる。そのため、正極では、銅を具備する酸化物31が過剰に増加して、金属層30とセラミックス板120の接合力が低下する。

40

【0118】

第2の実施の形態における比較例2のセラミックス積層基板100のセラミックス板120では、既述の通り、酸素イオンの移動が酸化ジルコニウムにより促進される。このた

50

め、負極側で還元が進み、正極側では酸化が進むことになる。したがって、第1の実施の形態における比較例1よりもさらにセラミックス板120に対する金属層30, 40の接合強度が低下してしまう。

【0119】

(実施例2-1のセラミックス積層基板)

次に、中間層50a, 50bを含むセラミックス積層基板10について、図16及び図17を用いて説明する。なお、実施例2-1は、実施例1-1に対応している。図16は、第2の実施の形態(実施例2-1)のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図17は、第2の実施の形態(実施例2-1)のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図16は、図2における破線で囲った範囲におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図17では、図2において、高温下で金属層30, 40の間に高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

10

【0120】

実施例2-1のセラミックス積層基板10は、図16に示されるように、金属層40、中間層50b、セラミックス板20、中間層50a、金属層30が下から順に積層されて構成されている。

【0121】

セラミックス板20は、図4のステップS1a(第2の実施の形態)において酸化マグネシウムの粉末を塗工して製造されたものである。また、金属層30, 40は、図4のステップS1bにおいて乾式酸化法により製造されたものである。

20

【0122】

セラミックス板20は、第2酸化物として、酸化アルミニウム21の粒子の間(粒界及び3重点)にシリコンを具備する酸化物22と酸化ジルコニウム28を含む。さらに、酸化ナトリウム23や酸化マグネシウムを含んでよい。なお、酸化ジルコニウム28に替わって、ジルコニウムを具備する酸化物であってよく、例えば、部分安定化ジルコニアであってよい。

【0123】

また、金属層30, 40は、第1の実施の形態と同様に、銅を主成分として構成されている。中間層50a, 50bは、第1酸化物として、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bをそれぞれ含んでいる。マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bは、中間層50a, 50bにおいて、セラミックス板20のおもて面側、裏面側にそれぞれ多く形成されている。さらに、金属層30, 40及びセラミックス板20の境界、並びに、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bと金属層30, 40とセラミックス板20との境界に銅を具備する酸化物31, 41がそれぞれ形成されている。

30

【0124】

(信頼性試験前の)セラミックス積層基板10では、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bが多すぎると、セラミックス板20と金属層30, 40との接合強度が低下してしまう。このため、マグネシウムを具備する酸化物51a, 51bを含む中間層50a, 50bは、セラミックス板20と金属層30, 40との接合面に対して、10%以上、80%以下を覆うように形成されることが好ましく、20%以上、50%以下であることがより好ましい。

40

【0125】

このようなセラミックス積層基板10に対しても引きはがし強さの評価試験を行った。実施例2-1に対する評価結果は、セラミックス積層基板10のおもて面で「Good」、裏面で「Good」であった。すなわち、セラミックス積層基板10は、金属層30, 40のセラミックス板20に対する接合力が比較例と比べて幾分改善され、接合性の低下が抑制されている。この理由は現時点では未だ十分に解明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

【0126】

図17に示すように、実施例2-1のセラミックス積層基板10は、高温下で、金属層

50

30, 40に高電位(正極)及び低電位(負極)の電圧が印加されている。マグネシウムを具備する酸化物51bを含む中間層50bが存在しない箇所では、負極側の金属層40とセラミックス板20の酸化ジルコニウム28との境界において銅を具備する酸化物41(Cu-O)が還元される。ところが、セラミックス積層基板10は、比較例2と異なり、負極側にマグネシウムを具備する酸化物51bを含む中間層50bが配置されている。そのため、負極側において、中間層50bが形成された部分では、酸化ジルコニウム28と銅を具備する酸化物41(Cu-O)とが直接接触せず、銅を具備する酸化物41の還元が抑制される。つまり、中間層50bが銅を具備する酸化物41の還元をブロックする。したがって、中間層50bが形成されている箇所には、銅を具備する酸化物41が銅になることなく存在する。また、負極における還元が抑制されるため、酸素イオンの発生が

10

【0127】

また、酸化マグネシウム26は、粒界及び3重点に存在していてもよい。こうすることで、粒界での酸素イオンの移動ルートが一部遮断される。これによっても、正極及び負極における酸化還元の反応が抑制される。また、セラミックス積層基板10は、正極側にマグネシウムを具備する酸化物51aを含む中間層50aが形成されていてもよい。こうすることで、正極側において、中間層50bが形成された部分では、酸化ジルコニウム28と銅を具備する酸化物31(Cu-O)とが直接接触せず、金属層30の酸化が抑制される。つまり、中間層50aが金属層30の酸化をブロックする。こうすることで、金属層30, 40のセラミックス板20に対する接合力がさらに改善され、接合性の低下が抑制されている。

20

【0128】

以上により、実施例2-1のセラミックス積層基板10は、実施例1-1と同様に、セラミックス板20から金属層40の接合強度の低下が抑制されて、セラミックス板20に対する金属層40の接合強度が向上する。実施例2-1もまた、実施例1-1と同様に、セラミックス積層基板10では、少なくとも、セラミックス板20の裏面(低電位側)と金属層40との間に中間層50bがあれば、金属層40の接合性の低下が抑制されて、セラミックス積層基板10の劣化を防止することができる。

30

【0129】

(実施例2-2のセラミックス積層基板)

実施例2-2では、セラミックス積層基板10のセラミックス板20が図4のステップS1a(第2の実施の形態)で酸化マグネシウムの粉末を塗工して製造され、金属層30, 40が湿式酸化法により製造された場合について、図18及び図19を用いて説明する。図18は、第2の実施の形態(実施例2-2)のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図19は、第2の実施の形態(実施例2-2)のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図18は、図2における破線で囲った範囲に対応する箇所におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図19では、図2において、金属層30, 40の間に高温下で高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

40

【0130】

実施例2-2のセラミックス積層基板10は、図18に示されるように、金属層40、中間層50b、セラミックス板20、中間層50a、金属層30が下から順に積層されて構成されている。

【0131】

セラミックス板20は、実施例2-1と同様に図4のステップS1a(第2の実施の形態)において酸化マグネシウムの粉末を塗工して製造されたものである。また、金属層30, 40は、実施例2-1と異なり、図4のステップS1bにおいて湿式酸化法により製造されたものである。

50

【 0 1 3 2 】

セラミックス板 2 0 は、第 2 酸化物として、酸化アルミニウム 2 1 の粒子の間（粒界及び 3 重点）にシリコンを具備する酸化物 2 2 と酸化ジルコニウム 2 8 を含む。さらに、酸化ナトリウム 2 3 や酸化マグネシウムを含んでよい。なお、酸化ジルコニウム 2 8 に替わって、ジルコニウムを具備する酸化物であってよく、例えば、部分安定化ジルコニアであってよい。

【 0 1 3 3 】

また、金属層 3 0 , 4 0 は、銅を主成分として構成されている。中間層 5 0 a , 5 0 b は、実施例 1 - 2 と同様に、第 1 酸化物として、マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b をそれぞれ含んでいる。マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b は、中間層 5 0 a , 5 0 b において、セラミックス板 2 0 のおもて面側、裏面側にそれぞれ多く形成されている。さらに、金属層 3 0 , 4 0 とセラミックス板 2 0 とマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b の境界に銅を具備する酸化物 3 1 , 4 1 がそれぞれ形成されている。

10

【 0 1 3 4 】

実施例 2 - 1 において、（信頼性試験前の）セラミックス積層基板 1 0 では、中間層 5 0 a , 5 0 b の覆う範囲を制限して、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合強度を高くすることができなかつた。実施例 2 - 2 では、マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 a , 5 2 b を含む中間層 5 0 a , 5 0 b を広く形成することができる。これにより、実施例 2 - 1 よりも、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合強度を高くすることができる。このような中間層 5 0 a , 5 0 b は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 , 4 0 との接合面に対して、2 0 % 以上、8 0 % 以下を覆うように形成されることが好ましい。

20

【 0 1 3 5 】

このようなセラミックス積層基板 1 0 に対しても引きはがし強さの評価試験を行った。実施例 2 - 2 に対する評価結果は、セラミックス積層基板 1 0 のおもて面で「E x c e l l e n t」、裏面で「E x c e l l e n t」であった。すなわち、セラミックス積層基板 1 0 は、金属層 3 0 , 4 0 のセラミックス板 2 0 に対する接合力の低下が比較例に比べて、大幅に抑制されている。さらに、実施例 2 - 1 よりも、金属層 3 0 , 4 0 のセラミックス板 2 0 に対する接合力の低下が抑制されている。この理由は現時点では未だ十分に解明されておらず、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

30

【 0 1 3 6 】

図 1 9 に示すように、実施例 2 - 2 のセラミックス積層基板 1 0 は、高温下で、金属層 3 0 , 4 0 に高電位（正極）及び低電位（負極）の電圧が印加されている。セラミックス積層基板 1 0 は、負極側にマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 b を含む中間層 5 0 b が配置されている。そのため、負極側において、中間層 5 0 b が形成された部分では、酸化ジルコニウム 2 8 と銅を具備する酸化物 4 1 (C u - O) とが直接接触せず、銅を具備する酸化物 4 1 の還元が抑制される。つまり、中間層 5 0 b が銅を具備する酸化物 4 1 の還元をブロックする。したがって、中間層 5 0 b が形成されている箇所には、銅を具備する酸化物 4 1 が銅になることなく存在する。また、負極における還元が抑制されるため、酸素イオンの発生が少なく、正極側においても金属層 3 0 とセラミックス板 2 0 との境界において銅が過剰に酸化されることが抑制される。したがって、負極側にマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 5 2 b を含む中間層 5 0 b が形成されていることで、比較例 2 と比べて、金属層 3 0 , 4 0 のセラミックス板 2 0 に対する接合力が大幅に改善され、接合性の低下が抑制されている。さらに、実施例 2 - 1 及び後述する実施例 2 - 3 よりも、還元をブロックするため、実施例 2 - 1 , 2 - 3 よりも、金属層 3 0 , 4 0 のセラミックス板 2 0 に対する接合力の低下が抑制されていると考えられる。

40

【 0 1 3 7 】

また、酸化マグネシウム 2 6 が粒界及び 3 重点に存在していてもよい。こうすることで

50

、粒界での酸素イオンの移動ルートが一部遮断される。これによっても、正極及び負極における酸化還元反応が抑制される。また、セラミックス積層基板 10 は、正極側にマグネシウム及びマンガンを具備する酸化物 52a を含む中間層 50a が形成されていてもよい。こうすることで、正極側において、中間層 50a が形成された部分では、酸化ジルコニウム 28 と銅を具備する酸化物 31 (Cu-O) とが直接接触せず、金属層 30 の酸化が抑制される。つまり、中間層 50a が金属層 30 の酸化をブロックする。こうすることで、金属層 30, 40 のセラミックス板 20 に対する接合力がさらに改善され、接合性の低下が抑制されている。

【0138】

以上により、実施例 2-2 のセラミックス積層基板 10 は、実施例 2-1 及び後述す実施例 2-3 の場合と比較すると、セラミックス板 20 から金属層 40 の接合強度の低下がさらに抑制されて、セラミックス板 20 に対する金属層 40 の接合強度が向上する。

10

【0139】

(実施例 2-3 のセラミックス積層基板)

実施例 2-3 では、セラミックス積層基板 10 のセラミックス板 20 が図 4 のステップ S1a (第 2 の実施の形態) で酸化マグネシウムの粉末を塗工せずに製造され、金属層 30, 40 が湿式酸化法により製造された場合について、図 20 及び図 21 を用いて説明する。図 20 は、第 2 の実施の形態 (実施例 2-3) のセラミックス積層基板の断面模式図であり、図 21 は、第 2 の実施の形態 (実施例 2-3) のセラミックス積層基板の高温下高電圧時の断面模式図である。なお、図 20 は、図 2 における破線で囲った範囲におけるミクロ状態を模式的に示している。また、図 21 では、図 2 において、金属層 30, 40 の間に高温下で高電圧を印加した際のミクロ状態を模式的に示している。

20

【0140】

実施例 2-3 のセラミックス積層基板 10 は、図 20 に示されるように、金属層 40、中間層 50b、セラミックス板 20、中間層 50a、金属層 30 が下から順に積層されて構成されている。

【0141】

セラミックス板 20 は、実施例 2-1, 2-2 と異なり、図 4 のステップ S1a (第 2 の実施の形態) において酸化マグネシウムの粉末の塗工を行わずに製造されたものである。また、金属層 30, 40 は、実施例 2-2 と同様に図 4 のステップ S1b において湿式酸化法により製造されたものである。

30

【0142】

セラミックス板 20 は、第 2 酸化物として、酸化アルミニウム 21 の粒子の間 (粒界及び 3 重点) にシリコンを具備する酸化物 22 と酸化ジルコニウム 28 とを含む。さらに、酸化ナトリウム 23 を含んでよい。なお、酸化ジルコニウム 28 に替わって、ジルコニウムを具備する酸化物であってよく、例えば、部分安定化ジルコニアであってよい。

【0143】

また、金属層 30, 40 は、銅を主成分として構成されている。中間層 50a, 50b は、第 1 酸化物として、マンガンを具備する酸化物 53a, 53b をそれぞれ含んでいる。マンガンを具備する酸化物 53a, 53b は、中間層 50a, 50b において、セラミックス板 20 のおもて面側、裏面側にそれぞれ多く形成されている。さらに、金属層 30, 40 とセラミックス板 20 とマンガンを具備する酸化物 53a, 53b の境界に銅を具備する酸化物 31, 41 がそれぞれ形成されている。

40

【0144】

(信頼性試験前の) セラミックス積層基板 10 では、マンガンを具備する酸化物 53a, 53b が多すぎると、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 との接合強度が低下してしまう。このため、マンガンを具備する酸化物 53a, 53b を含む中間層 50a, 50b は、セラミックス板 20 と金属層 30, 40 との接合面に対して、10% 以上、80% 以下を覆うように形成されることが好ましく、20% 以上、50% 以下であることがより好ましい。

50

【 0 1 4 5 】

このようなセラミックス積層基板 10 に対しても引きはがし強さの評価試験を行った。実施例 2 - 2 に対する評価結果は、セラミックス積層基板 10 のおもて面で「Excellent」、裏面で「Very Good」であった。すなわち、セラミックス積層基板 10 は、金属層 30, 40 のセラミックス板 20 に対する接合力の低下が比較例 2 に比べて、抑制されている。さらに、実施例 2 - 1 よりも、金属層 30, 40 のセラミックス板 20 に対する接合力の低下が抑制されている。この理由は現時点では未だ十分に説明されており、また、理論に拘束されるわけではないが、以下のように考えることができる。

【 0 1 4 6 】

図 21 に示すように、実施例 2 - 3 のセラミックス積層基板 10 は、高温下で、金属層 30, 40 に高電位（正極）及び低電位（負極）の電圧が印加されている。セラミックス積層基板 10 は、負極側にマンガンを具備する酸化物 53b を含む中間層 50b が配置されている。そのため、負極側において、中間層 50b が形成された部分では、酸化ジルコニウム 28 と銅を具備する酸化物 41 (Cu-O) とが直接接触せず、銅を具備する酸化物 41 の還元が抑制される。つまり、中間層 50b が銅を具備する酸化物 41 の還元をブロックする。したがって、中間層 50b が形成されている箇所には、銅を具備する酸化物 41 が銅になることなく存在する。また、負極における還元が抑制されるため、酸素イオンの発生が少なく、正極側においても金属層 30 とセラミックス板 20 との境界において銅が過剰に酸化されることが抑制される。したがって、負極側にマンガンを具備する酸化物 53b を含む中間層 50b が形成されていることで、比較例 2 と比べて、金属層 30, 40 のセラミックス板 20 に対する接合力が改善され、接合性の低下が抑制されている。さらに、実施例 2 - 1 よりも、還元をブロックするため、実施例 2 - 1 よりも、金属層 30, 40 のセラミックス板 20 に対する接合力の低下が抑制されていると考えられる。

【 0 1 4 7 】

また、セラミックス積層基板 10 は、正極側にマンガンを具備する酸化物 53a を含む中間層 50a が形成されていてよい。こうすることで、正極側において、中間層 50b が形成された部分では、酸化ジルコニウム 28 と銅を具備する酸化物 31 (Cu-O) とが直接接触せず、金属層 30 の酸化が抑制される。つまり、中間層 50a が金属層 30 の酸化をブロックする。こうすることで、金属層 30, 40 のセラミックス板 20 に対する接合力がさらに改善され、接合性の低下が抑制されている。

【 0 1 4 8 】

以上により、実施例 2 - 3 のセラミックス積層基板 10 は、実施例 2 - 1 の場合と比較すると、セラミックス板 20 から金属層 40 の接合強度の低下がさらに抑制されて、セラミックス板 20 に対する金属層 40 の接合強度が向上する。

【 0 1 4 9 】

[第 3 の実施の形態]

第 1, 第 2 の実施の形態で説明したように、セラミックス積層基板 10 において、金属層 30, 40 の一方が高電位であって、金属層 30, 40 の他方が低電位である場合、少なくとも、低電位の金属層とセラミックス板 20 との間に中間層が形成される。これにより、セラミックス板 20 に対する（中間層が形成された）金属層の剥離が抑制される。

【 0 1 5 0 】

第 3 の実施の形態では、図 1 ~ 図 3 に示した半導体装置 1 において、半導体装置 1 の運転時並びに停止時のセラミックス積層基板 10 の金属層 30, 40 に生じる電位差に基づいて、中間層が必要とされる領域について説明する。

【 0 1 5 1 】

まず、半導体装置 1 の停止時について説明する。半導体装置 1 の停止時は、半導体チップ 60a, 60b の制御電極 61a, 61b に入力される制御信号がそれぞれオフである。したがって、セラミックス積層基板 10 において、金属層 30a, 30b が高電位であって、金属層 30d が低電位である。この際の上アーム部 A 及び下アーム部 B をそれぞれ停止状態と呼ぶ。また、この半導体装置 1 の停止時は、後述する図 22 (A), 23 (A

10

20

30

40

50

), 24 (A) にそれぞれ対応する。

【0152】

半導体装置1の駆動時について説明する。半導体装置1の駆動時は、半導体チップ60aの制御電極61aに入力される制御信号がオンであって、半導体チップ60bの制御電極61bに入力される制御信号がオフである。したがって、セラミックス積層基板10において、金属層30a, 30b, 30cが高電位であって、金属層30dが低電位である。この際の上アーム部Aを駆動状態、下アーム部Bを停止状態と呼ぶ。また、この半導体装置1の駆動時は、後述する図22(B), 23(B), 24(B)の場合にそれぞれ対応する。

【0153】

また、半導体装置1の別の駆動時は、半導体チップ60aの制御電極61aに入力される制御信号がオフであって、半導体チップ60bの制御電極61bに入力される制御信号がオンである。したがって、セラミックス積層基板10において、金属層30a, 30bが高電位であり、金属層30c, 30dが低電位である。この際の上アーム部Aを停止状態、下アーム部Bを駆動状態と呼ぶ。また、この半導体装置1の駆動時は、後述する図22(C), 23(C), 24(C)の場合にそれぞれ対応する。

【0154】

次に、セラミックス積層基板10の金属層30, 40の電位ごとに中間層を要する領域について、図22~図25を用いて説明する。図22は、第3の実施の形態のセラミックス積層基板(裏面金属層が低電位)の中間層を要する領域を説明するための図である。図23は、第3の実施の形態のセラミックス積層基板(裏面金属層が高電位)の中間層を要する領域を説明するための図である。図24は、第3の実施の形態のセラミックス積層基板(裏面金属層が浮遊電位)の中間層を要する領域を説明するための図である。図25は、第3の実施の形態のセラミックス積層基板の中間層を要する領域を説明するための図である。

【0155】

なお、図22~図24は、図2のセラミックス積層基板10、半導体チップ60a, 60b、外部接続端子71~75を簡略して図示している。説明に必要な構成部品のみには符号を付している。図22(A), 23(A), 24(A)は、上アーム部A及び下アーム部Bが停止状態である場合に対応している。図22(B), 23(B), 24(B)は、上アーム部Aが駆動状態、下アーム部Bが停止状態である場合に対応している。図22(C), 23(C), 24(C)は、上アーム部Aが停止状態、下アーム部Bが駆動状態である場合に対応している。図22(D), 23(D), 24(D)は、中間層の形成領域をそれぞれ示している。

【0156】

図22により、セラミックス積層基板10において裏面金属層である金属層40が低電位である場合について説明する。この際、上アーム部A及び下アーム部Bが停止状態である場合は、図22(A)に示されるように、金属層30a, 30bが高電位となり、金属層30dが低電位となる。なお、金属層30cは、浮遊電位となる。セラミックス板20において高電位の金属層30a, 30b及び低電位の金属層40の間(破線で示されるP1, P2領域)に電位差が生じる。このため、P1領域のセラミックス板20と金属層30aに対向する金属層40の領域との間で金属層40の剥離が生じることが考えられる。また、P2領域のセラミックス板20と金属層30bに対向する金属層40の領域との間で金属層40の剥離が生じることが考えられる。

【0157】

次いで、上アーム部Aが駆動状態、下アーム部Bが停止状態である場合は、図22(B)に示されるように、金属層30a, 30b, 30cが高電位となり、金属層30dが低電位となる。セラミックス板20において高電位の金属層30a, 30b, 30c及び低電位の金属層40の間(破線で示されるP1~P3領域)に電位差が生じる。このため、P1領域のセラミックス板20と金属層30aに対向する金属層40の領域との間で金属

10

20

30

40

50

層 4 0 の剥離が生じることが考えられる。P 2 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 b に対向する金属層 4 0 の領域との間で金属層 4 0 の剥離が生じることが考えられる。P 3 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 c に対向する金属層 4 0 の領域との間で金属層 4 0 の剥離が生じることが考えられる。

【 0 1 5 8 】

次いで、上アーム部 A が停止状態、下アーム部 B が駆動状態である場合は、図 2 2 (C) に示されるように、金属層 3 0 a , 3 0 b が高電位となり、金属層 3 0 c , 3 0 d が低電位となる。セラミックス板 2 0 において高電位の金属層 3 0 a , 3 0 b 及び低電位の金属層 4 0 の間 (破線で示される P 1 , P 2 領域) に電位差が生じる。このため、P 1 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 a に対向する金属層 4 0 の領域との間で金属層 4 0 の剥離が生じることが考えられる。また、P 2 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 b に対向する金属層 4 0 の領域との間で金属層 4 0 の剥離が生じることが考えられる。

10

【 0 1 5 9 】

上記の図 2 2 (A) ~ 図 2 2 (C) において、半導体装置 1 の停止時及び駆動時に生じる電位差に基づき、図 2 2 (D) に示される L 1 ~ L 3 領域に中間層を形成することを要する。L 1 領域は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 a に対向する金属層 4 0 の領域との境界である。L 2 領域は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 b に対向する金属層 4 0 の領域との境界である。L 3 領域は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 c に対向する金属層 4 0 の領域との境界である。特に、図 2 2 (A) ~ 図 2 2 (C) によれば、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 a , 3 0 b に対向する金属層 4 0 の領域との間に電位差が発生する頻度が高いことが考えられる。このため、少なくとも、L 1 , L 2 領域に中間層を形成することを要する。

20

【 0 1 6 0 】

図 2 3 により、セラミックス積層基板 1 0 において裏面金属層である金属層 4 0 が高電位である場合について説明する。この際、上アーム部 A 及び下アーム部 B が停止状態である場合は、図 2 3 (A) に示されるように、金属層 3 0 a , 3 0 b が高電位となり、金属層 3 0 d が低電位となる。なお、金属層 3 0 c は、浮遊電位となる。セラミックス板 2 0 において低電位の金属層 3 0 d 及び高電位の金属層 4 0 の間 (破線で示される P 4 領域) に電位差が生じる。このため、P 4 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 d との間で金属層 3 0 d の剥離が生じることが考えられる。

30

【 0 1 6 1 】

次いで、上アーム部 A が駆動状態、下アーム部 B が停止状態である場合は、図 2 3 (B) に示されるように、金属層 3 0 a , 3 0 b , 3 0 c が高電位となり、金属層 3 0 d が低電位となる。セラミックス板 2 0 において低電位の金属層 3 0 d 及び高電位の金属層 4 0 の間 (破線で示される P 4 領域) に電位差が生じる。このため、P 4 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 d との間で金属層 3 0 d の剥離が生じることが考えられる。

【 0 1 6 2 】

次いで、上アーム部 A が停止状態、下アーム部 B が駆動状態である場合は、図 2 3 (C) に示されるように、金属層 3 0 a , 3 0 b が高電位となり、金属層 3 0 c , 3 0 d が低電位となる。セラミックス板 2 0 において低電位の金属層 3 0 c , 3 0 d 及び高電位の金属層 4 0 の間 (破線で示される P 3 , P 4 領域) に電位差が生じる。このため、P 3 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 c との間で金属層 3 0 c の剥離が生じることが考えられる。また、P 4 領域のセラミックス板 2 0 と金属層 3 0 d との間で金属層 3 0 d の剥離が生じることが考えられる。

40

【 0 1 6 3 】

上記の図 2 3 (A) ~ 図 2 3 (C) において、半導体装置 1 の停止時及び駆動時に生じる電位差に基づき、図 2 3 (D) に示される L 4 , L 5 領域に中間層を形成することを要する。L 4 領域は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 c との境界である。L 5 領域は、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 d との境界である。特に、図 2 3 (A) ~ 図 2 3 (C) によれば、セラミックス板 2 0 と金属層 3 0 d との間に電位差が発生する頻度が高いことが

50

考えられる。このため、少なくとも、L5領域に中間層を形成することを要する。

【0164】

図24により、セラミックス積層基板10において裏面金属層である金属層40が浮遊電位である場合について説明する。すなわち、半導体装置1が駆動していない場合には、金属層40に何も電位が印加されていない場合である。この際、上アーム部A及び下アーム部Bが停止状態である場合は、図24(A)に示されるように、金属層30a, 30bが高電位となり、金属層30dが低電位となる。この時、裏面金属層である金属層40は、おもて面の電位の面積比に応じた電位となる。本実施の形態では、高電位の面積が低電位の面積に比べて大きくなる(図1参照)。そのため、金属層40は、低電位よりも高電位に近い電位となる。したがって、セラミックス板20において低電位の金属層30dと金属層40の間(破線で示されるP4領域)に電位差が生じる。このため、P4領域のセラミックス板20と金属層30dとの間で金属層30dの剥離が生じることが考えられる。

10

【0165】

次いで、上アーム部Aが駆動状態、下アーム部Bが停止状態である場合は、図24(B)に示されるように、金属層30a, 30b, 30cが高電位となり、金属層30dが低電位となる。この時、裏面金属層である金属層40は、おもて面の電位の面積比に応じた電位となる。本実施の形態では、高電位の面積が低電位の面積に比べて非常に大きくなる(図1参照)。そのため、金属層40は、高電位とほぼ同等の電位となる。したがって、金属層40は、金属層30a, 30b, 30cとほぼ同等の電位となる。セラミックス板20において低電位の金属層30dと高電位の金属層40の間(破線で示されるP4領域)に電位差が生じる。このため、P4領域のセラミックス板20と金属層30dとの間で金属層30dの剥離が生じることが考えられる。

20

【0166】

次いで、上アーム部Aが停止状態、下アーム部Bが駆動状態である場合は、図24(C)に示されるように、金属層30a, 30bが高電位となり、金属層30c, 30dが低電位となる。この時、裏面金属層である金属層40は、おもて面の電位の面積比に応じた電位となる。本実施の形態では、高電位の面積と低電位の面積がほぼ同じになる(図1参照)。そのため、金属層40は、高電位と低電位のほぼ中間の電位となる。セラミックス板20において高電位の金属層30a, 30bと金属層40との間(破線で示されるP1, P2領域)に、高電位と低電位との差の半分の電位差が生じる。また、低電位の金属層30c, 30dと金属層40との間(破線で示されるP3, P4領域)に、高電位と低電位との差の半分の電位差が生じる。このため、P1, P2領域のセラミックス板20と金属層40との間で剥離が生じることが考えられる。また、P3, P4領域のセラミックス板20と金属層30c, 30dとの間で剥離が生じることが考えられる。

30

【0167】

上記の図24(A)~図24(C)において、半導体装置1の停止時及び駆動時に生じる電位差に基づき、図24(D)に示されるL1, L2領域及びL5領域に中間層を形成することを要する。L1領域は、セラミックス板20と金属層30aに対向する金属層40の領域との境界である。L2領域は、セラミックス板20と金属層30bに対向する金属層40の領域との境界である。L5領域は、セラミックス板20と金属層30dとの境界である。特に、図24(A)~図24(C)によれば、セラミックス板20と金属層30dとの間に電位差が発生する頻度が高いことが考えられる。このため、少なくとも、L5領域に中間層を形成することを要する。

40

【0168】

上記の図22(D)、図23(D)、図24(D)を踏まえると、セラミックス積層基板10は、図25に示されるように、破線で示されるL1領域~L5領域に、中間層を形成することを要する。L1領域は、セラミックス板20と金属層30aに対向する金属層40の領域との境界である。L2領域は、セラミックス板20と金属層30bに対向する金属層40の領域との境界である。L3領域は、セラミックス板20と金属層30cに対向する金属層40の領域との境界である。L4領域は、セラミックス板20と金属層30

50

cとの境界である。L5領域は、セラミックス板20と金属層30dとの境界である。また、図22～図24の電位差が発生する頻度を鑑みると、少なくとも、L1領域、L2領域及びL5領域に中間層を形成することを要する。

【0169】

他方、セラミックス板20と金属層30a, 30bとの境界には中間層は無くてもよい。また、セラミックス板20と金属層30dと対向する金属層40の領域との境界にも中間層は無くともよい。

【0170】

上記については単に本発明の原理を示すものである。さらに、多数の変形、変更が当業者にとって可能であり、本発明は上記に示し、説明した正確な構成及び応用例に限定されるものではなく、対応するすべての変形例及び均等物は、添付の請求項及びその均等物による本発明の範囲とみなされる。例えば、セラミックス板20は、絶縁性であって、熱伝導性のよいセラミックスを主成分として構成されていればよい。このようなセラミックスは、酸化アルミニウムや酸化ジルコニウムに限らない。例えば、窒化アルミニウム(A1N)や窒化珪素(Si₃N₄)を主成分としてもよい。さらに、このような窒化アルミニウムや窒化珪素に、酸化ジルコニウムが加えられていてもよい。また、セラミックス板20は、セラミックス粒子の粒界並びに3重点に形成される粒界材料も含んでもよい。このような粒界材料は、例えば、アルミニウムやシリコンを具備する酸化物(第2酸化物)を含んでよい。

【符号の説明】

【0171】

1 半導体装置

10 セラミックス積層基板

20 セラミックス板

21 酸化アルミニウム

22 シリコンを具備する酸化物

23 酸化ナトリウム

24 ナトリウムイオン

25 酸素イオン

26 酸化マグネシウム

27 酸化マンガン

30, 30a～30f 金属層 (高電位金属層)

35 接合部材

31, 41 銅を具備する酸化物

40 金属層 (低電位金属層)

50a, 50b 中間層

51a, 51b マグネシウムを具備する酸化物

52a, 52b マグネシウム及びマンガンを具備する酸化物

53a, 53b マンガンを具備する酸化物

60a, 60b, 65a, 65b 半導体チップ

61a, 61b 制御電極

62a, 62b 出力電極

66a, 66b 入力電極

71～75 外部接続端子

80a～80e ボンディングワイヤ

81～85 配線

90 ケース

91 封止部材

92 放熱部材

10

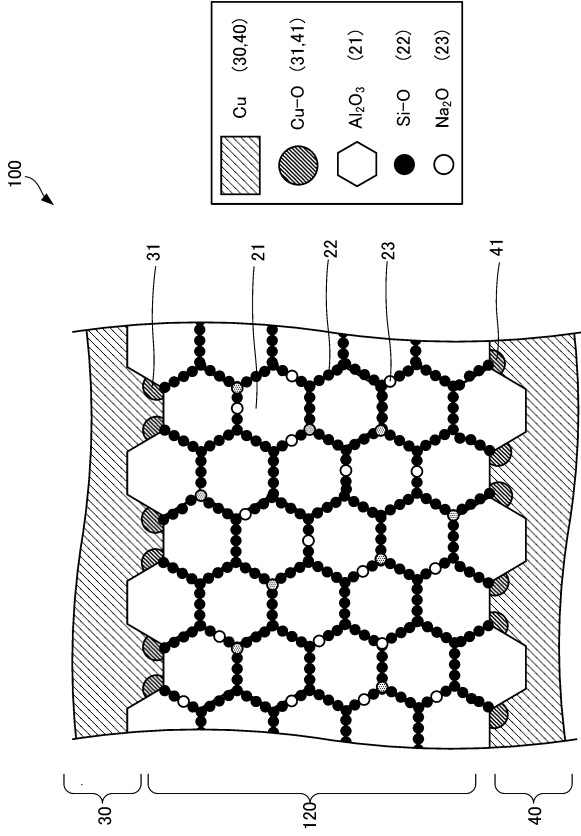
20

30

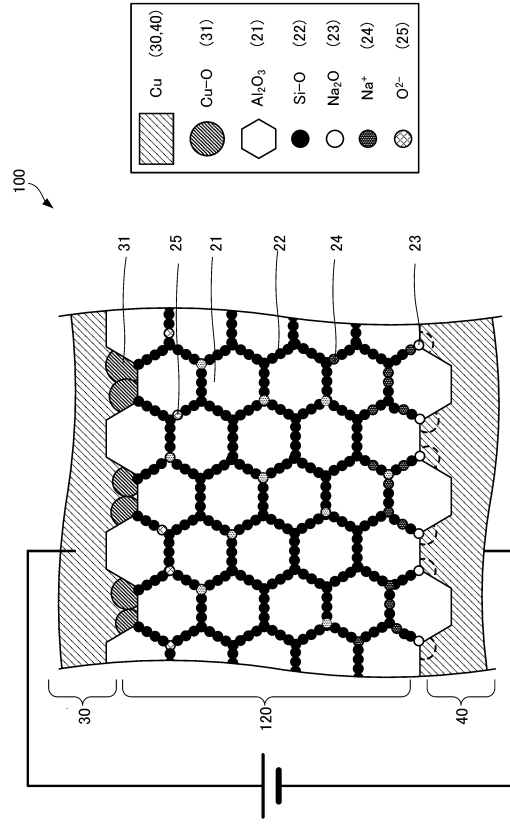
40

50

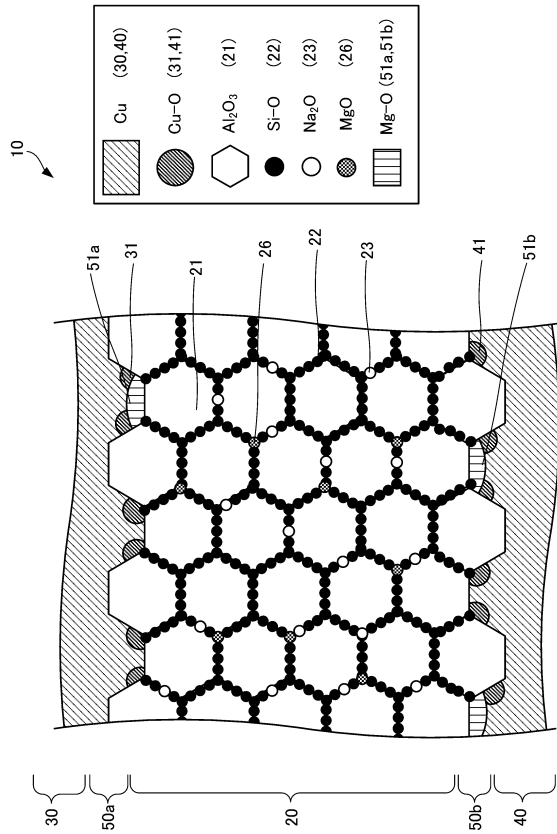
【 図 5 】



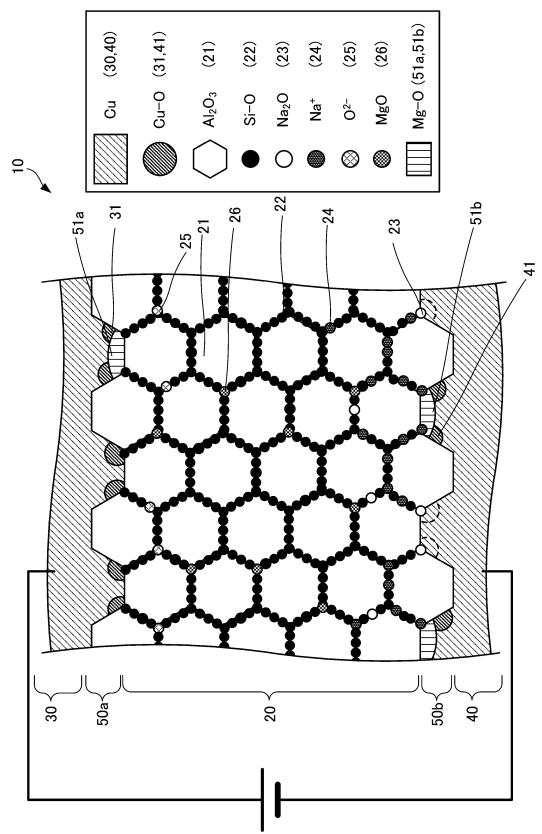
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



10

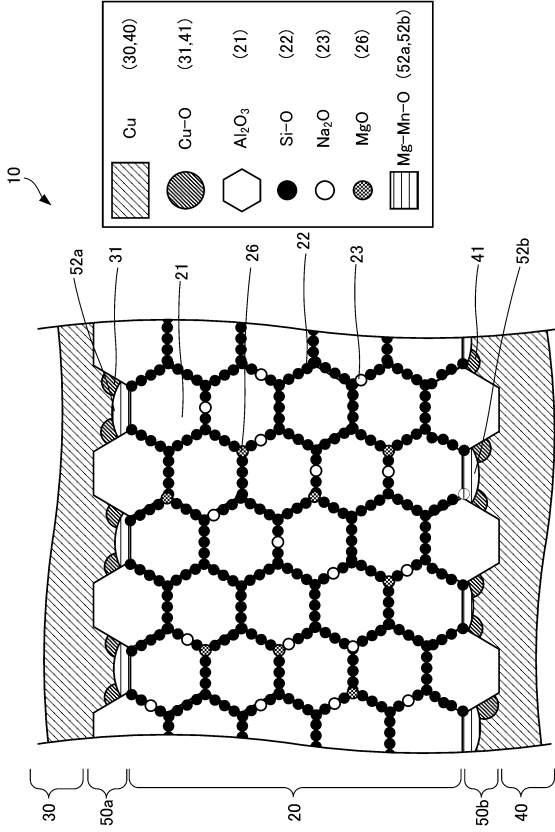
20

30

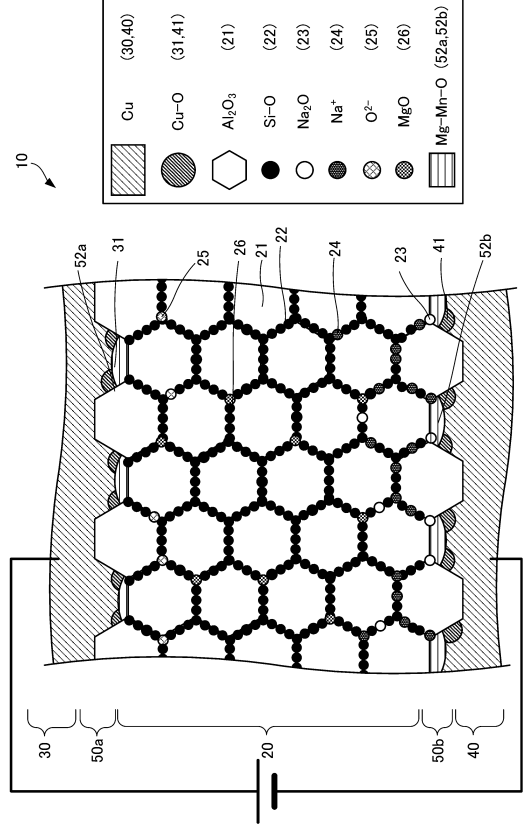
40

50

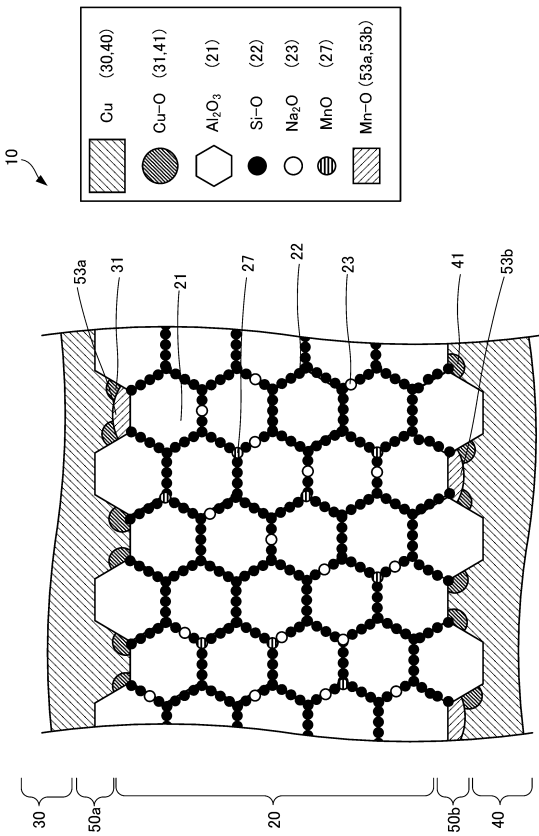
【図 9】



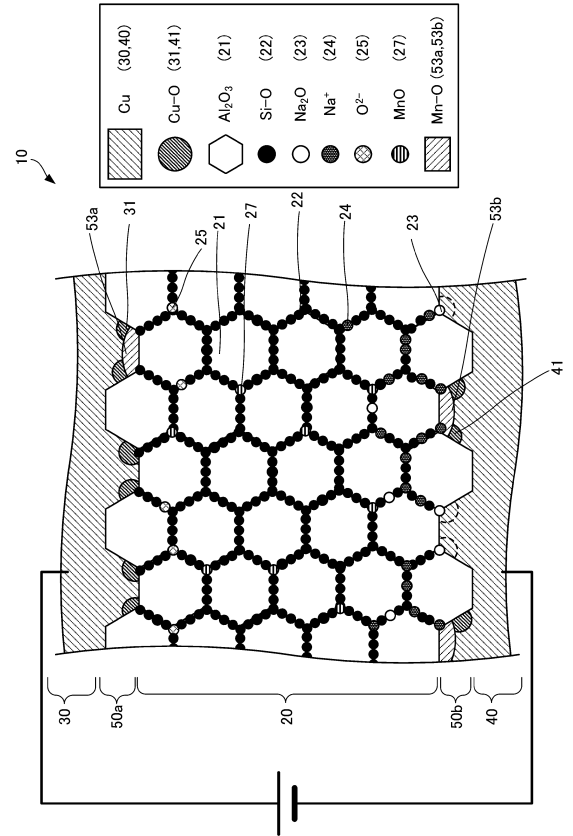
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

20

30

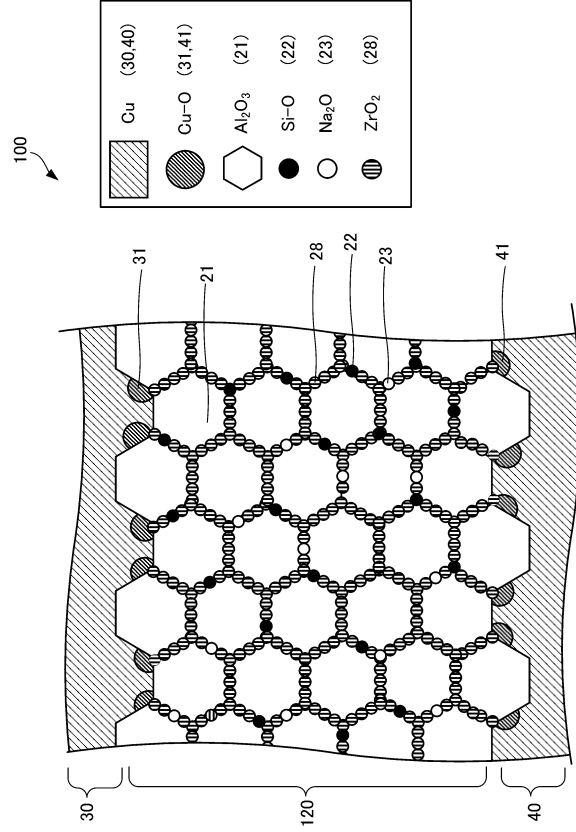
40

50

【図 1 3】

第1の実施の形態						
セラミックス板	実施例1-1	実施例1-2	実施例1-3	比較例1		
金属層	MgO塗工有		MgO塗工無			
	乾式酸化法		湿式酸化法		乾式酸化法	
中間層	Mg-O		Mg-Mn-O		Mn-O	
	おもて面 (高単位金属層)	表面 (低単位金属層)	おもて面 (高単位金属層)	表面 (低単位金属層)	おもて面 (高単位金属層)	表面 (低単位金属層)
試験結果	Excellent	Good	Excellent	Excellent	Very Good	Excellent
	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Not Good

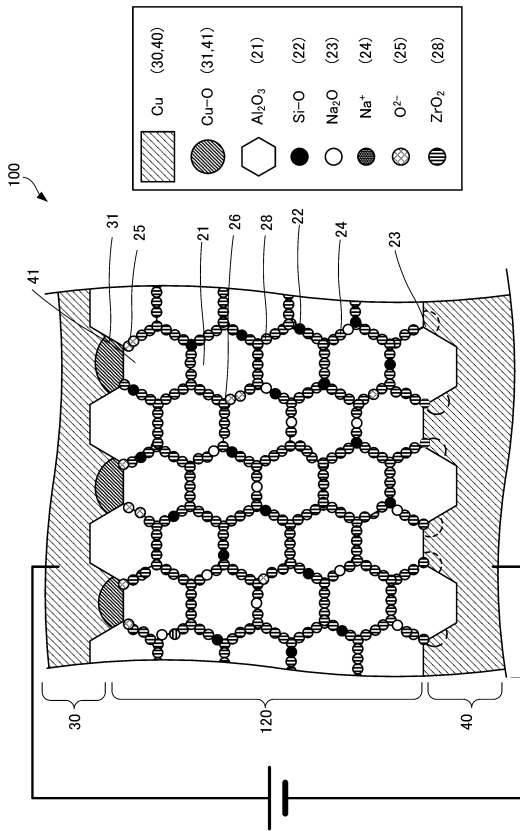
【図 1 4】



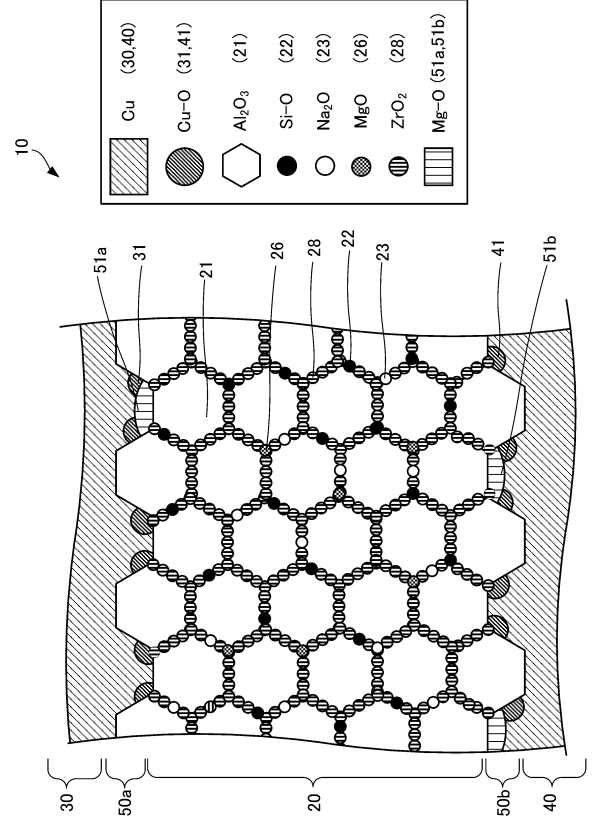
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

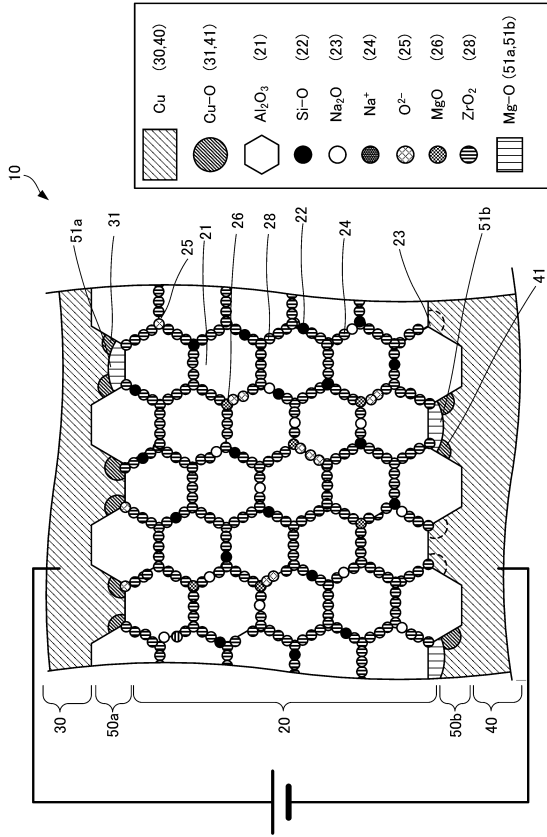


30

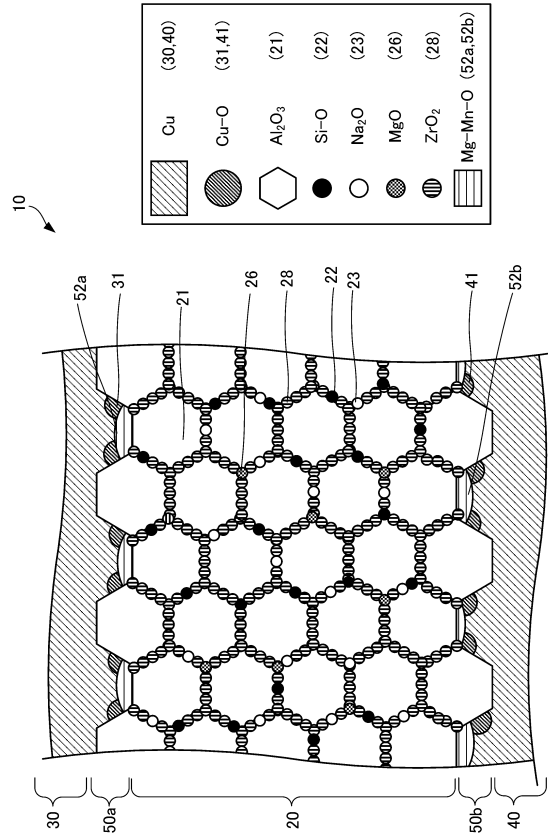
40

50

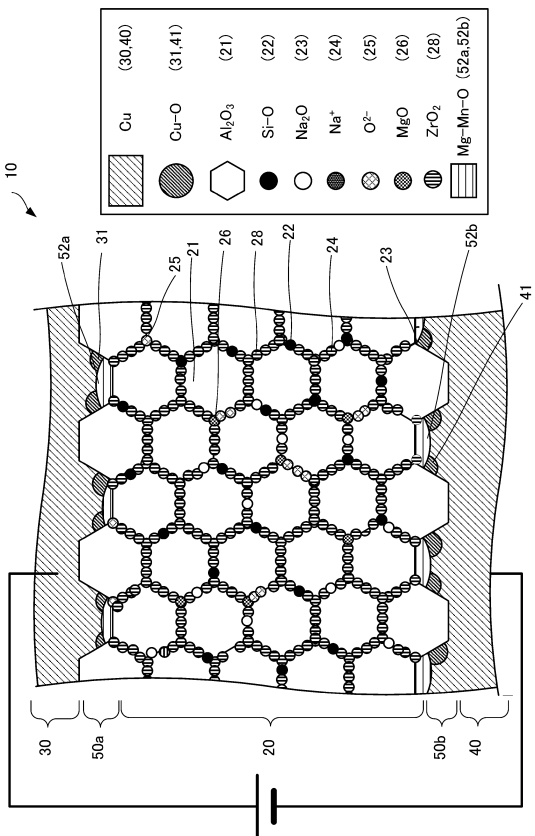
【図 17】



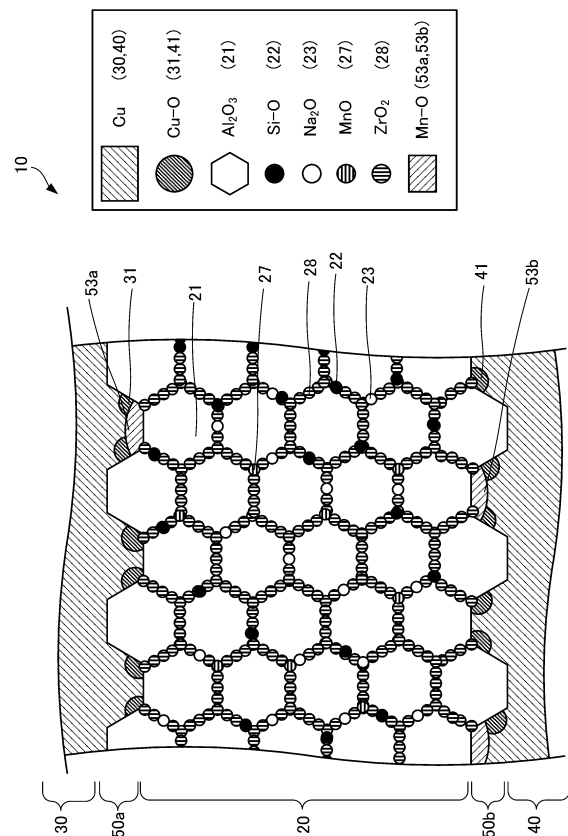
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

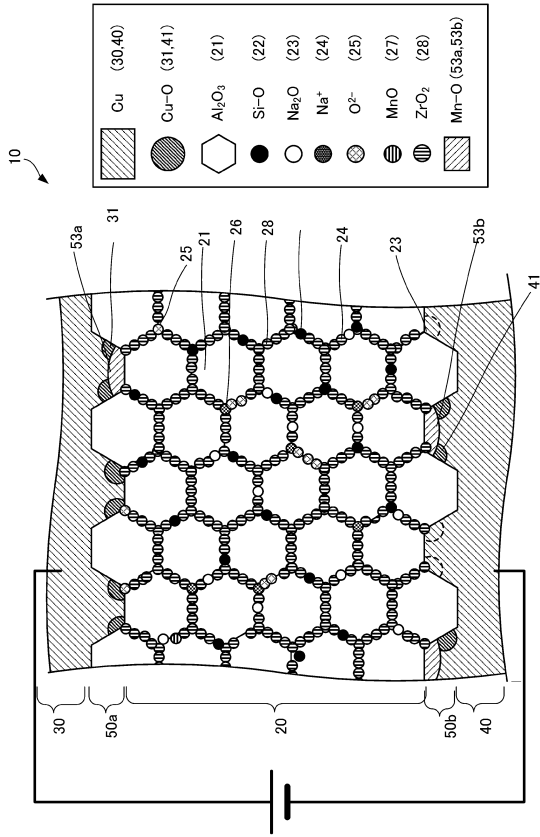
20

30

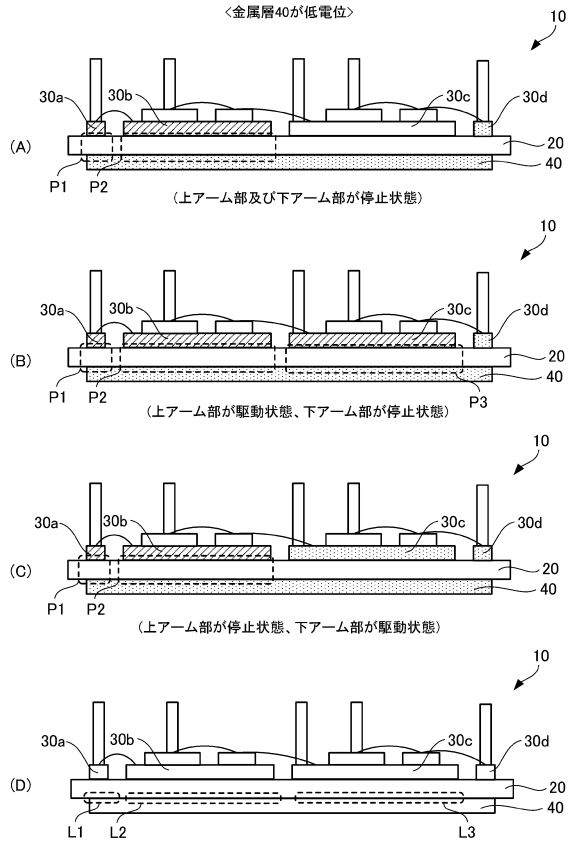
40

50

【図 2 1】



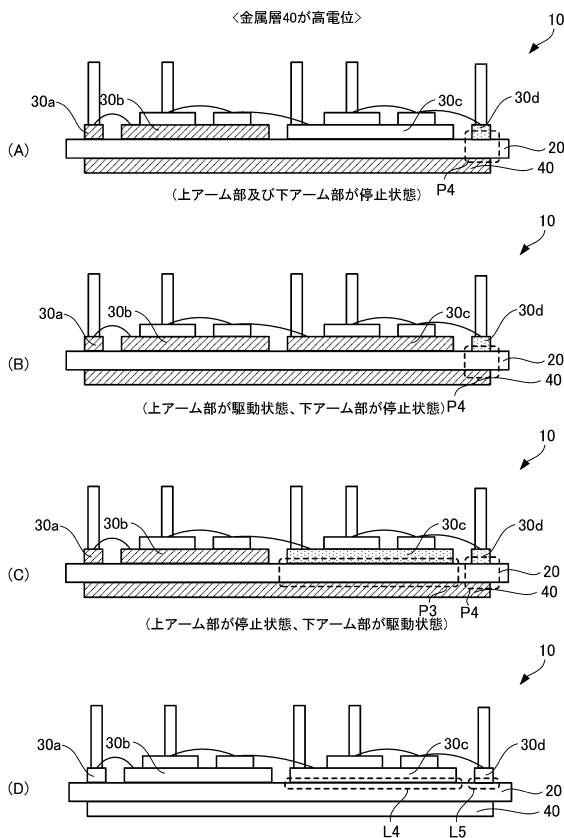
【図 2 2】



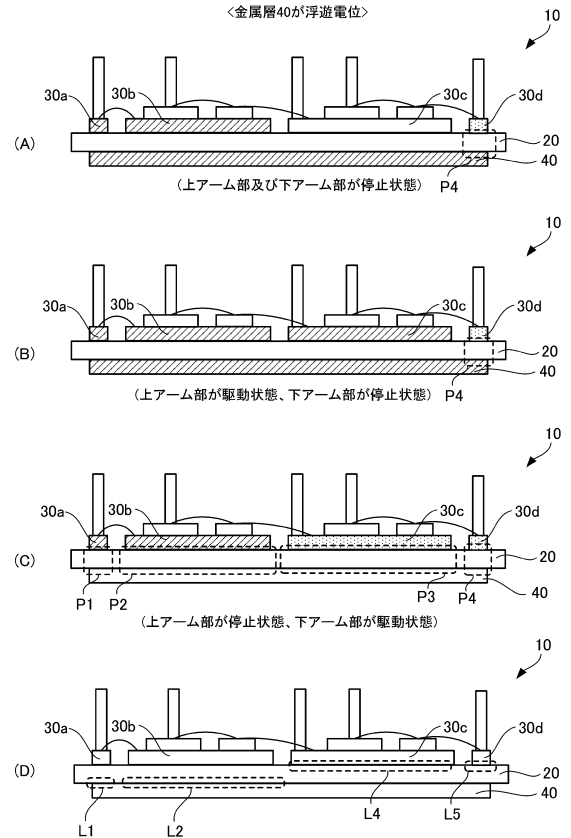
10

20

【図 2 3】



【図 2 4】

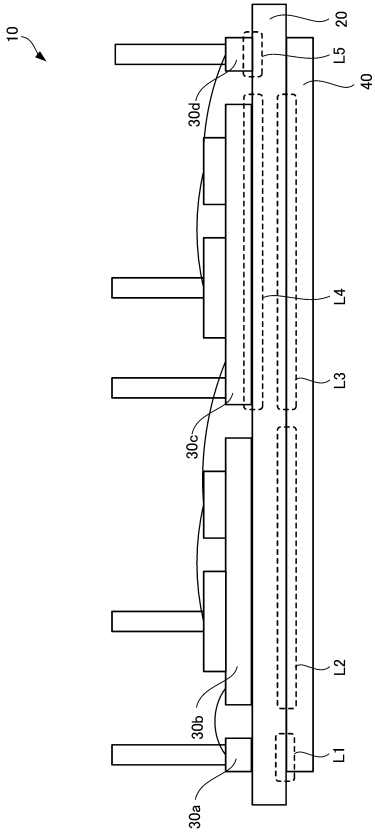


30

40

50

【 2 5 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 2 1 - 0 4 4 4 5 2 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 3 1 3 2 5 (J P , A)
特開 2 0 2 0 - 0 0 7 2 2 5 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 2 7 4 3 2 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 3 / 0 0 8 9 1 9 (W O , A 1)
国際公開第 2 0 2 0 / 1 1 5 8 6 8 (W O , A 1)
特開 2 0 1 5 - 0 8 6 0 8 5 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 0 3 0 2 8 0 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 3 / 1 2 - 2 3 / 1 3
H 0 1 L 2 3 / 3 6