

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6435860号  
(P6435860)

(45) 発行日 平成30年12月19日 (2018. 12. 19)

(24) 登録日 平成30年11月22日 (2018. 11. 22)

(51) Int. Cl.	F I	
H O 1 L 23/32 (2006. 01)	H O 1 L 23/32	D
H O 1 L 23/12 (2006. 01)	H O 1 L 23/12	N
H O 1 L 23/14 (2006. 01)	H O 1 L 23/14	R
H O 5 K 3/46 (2006. 01)	H O 5 K 3/46	N
	H O 5 K 3/46	T

請求項の数 22 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2014-544625 (P2014-544625)	(73) 特許権者 000002897 大日本印刷株式会社 東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号
(86) (22) 出願日 平成25年11月5日 (2013. 11. 5)	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2013/079910	(74) 代理人 110000408 特許業務法人高橋・林アンドパートナーズ
(87) 国際公開番号 W02014/069662	(72) 発明者 工藤 寛 東京都新宿区市谷加賀町一丁目一番一号
(87) 国際公開日 平成26年5月8日 (2014. 5. 8)	大日本印刷株式会社 内
審査請求日 平成28年11月7日 (2016. 11. 7)	(72) 発明者 高野 貴正 東京都新宿区市谷加賀町一丁目一番一号
(31) 優先権主張番号 特願2012-243593 (P2012-243593)	大日本印刷株式会社内
(32) 優先日 平成24年11月5日 (2012. 11. 5)	
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	審査官 高橋 宣博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 配線構造体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の配線と、  
第 2 の配線と、  
前記第 2 の配線と前記第 1 の配線との間に設けられ、前記第 2 の配線の表面のうち少なくとも前記第 1 の配線の側の面を覆う無機材料膜と、前記無機材料膜を覆う第 1 の有機樹脂材料膜と、前記第 1 の有機樹脂材料膜上に設けられた第 2 の有機樹脂材料膜を含む第 1 の絶縁膜と、  
前記第 2 の配線と前記第 1 の配線との間に設けられ、前記第 1 の有機材料絶縁膜と前記第 2 の有機材料絶縁膜との間に設けられた第 3 の配線と、  
前記第 1 の配線と前記第 2 の配線とが重畳する領域の前記第 1 の絶縁膜を上下に貫通するビア接続孔に設けられたビア接続部と、  
を備え、  
前記ビア接続部は、前記ビア接続孔の底部に露出する前記第 2 の配線の前記第 1 の配線側の面上と前記ビア接続孔の内壁上とに配置された第 1 のバリア導電層を有する、  
多層配線構造体。

【請求項 2】

前記無機材料膜は、前記第 2 の配線の前記ビア接続部に重畳する領域を除く前記第 2 の配線の上面全面と、前記第 2 の配線の側面全面とを直接覆い、S i N 又は S i C から構成された第 1 の無機材料膜、及び前記第 1 の無機材料膜の全面を覆い、S i O<sub>2</sub>、S i O C

又はSiOFから構成された第2の無機材料膜からなる、請求項1に記載の多層配線構造体。

【請求項3】

前記第1の無機材料膜の厚さは、前記第2の無機材料膜の厚さよりも薄い、請求項2に記載の多層配線構造体。

【請求項4】

前記無機材料膜の前記ビア接続孔の内壁側の端部は、前記第1のバリア導電層に接触する、請求項1に記載の多層配線構造体。

【請求項5】

前記第1の有機樹脂材料膜及び前記第2の有機樹脂材料膜を構成する材料の誘電率の値は、前記無機材料膜を構成する材料の誘電率の値よりも小さい請求項1に記載の多層配線構造体。

10

【請求項6】

前記第1の配線と前記第2の配線とが重畳する領域において、前記無機材料膜と前記第1の有機樹脂材料膜との膜厚の合計に対して前記無機材料膜の割合が20%以上80%以下である請求項1に記載の多層配線構造体。

【請求項7】

前記第1のバリア導電層の材料は高融点金属またはその化合物を含む請求項1に記載の多層配線構造体。

【請求項8】

20

前記ビア接続部は、前記第1の配線、前記第2の配線、及び前記第3の配線が重畳する領域に設けられる、請求項1に記載の多層配線構造体。

【請求項9】

前記ビア接続孔は、

第2の有機樹脂材料膜に設けられ、前記第3の配線の前記第1の配線側の面を露出する第1のビア接続孔と、

前記第1の有機樹脂材料膜及び前記無機材料膜に設けられ、前記第2の配線の前記第3の配線側の面を露出する第2のビア接続孔と、を有し、

前記ビア接続部は、

前記第1のビア接続孔に設けられ、前記第1の配線と前記第3の配線とを接続する第1のビア接続部と、

30

前記第2のビア接続孔に設けられ、前記第3の配線と前記第2の配線とを接続する第2のビア接続部と、を有し、

前記第1のビア接続部は、前記第1のビア接続孔の底部に露出する前記第3の配線の前記第1の配線側の面に配置された第2のバリア導電層が配置されている請求項8に記載の多層配線構造体。

【請求項10】

前記第1の配線の表面のうち前記第2の配線の側とは反対側の面の少なくとも一部を覆う無機材料膜を含む第2の絶縁膜をさらに備える、請求項1乃至9の何れか一項に記載の多層配線構造体。

40

【請求項11】

前記第2の絶縁膜に含まれる無機材料膜は、前記第1の配線の上面の少なくとも一部と、前記第1の配線の側面全面とを直接覆い、SiN又はSiCから構成された第3の無機材料膜、及び前記第3の無機材料膜の全面を覆い、SiO<sub>2</sub>、SiOC又はSiOFから構成された第4の無機材料膜からなる、請求項10に記載の多層配線構造体。

【請求項12】

前記第3の配線と同層に設けられた第4の配線と、

前記第4の配線上に設けられた第5の配線と、

をさらに備え、

前記第4の配線と前記第5の配線との間には、他の配線が配置されていない請求項1に

50

記載の多層配線構造体。

【請求項 1 3】

前記ビア接続孔は、 $0.5\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$ の孔径を有し、

前記ビア接続孔の高さは、 $5\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$ である、請求項 1 乃至 1 2 の何れか一項に記載の多層配線構造体。

【請求項 1 4】

第 1 の配線と、

第 2 の配線と、

前記第 2 の配線と前記第 1 の配線との間に設けられ、前記第 2 の配線の表面のうち少なくとも前記第 1 の配線の側の面を覆い、前記第 2 の配線の側面と接する第 1 の有機樹脂材料膜と、

10

前記第 2 の配線と前記第 1 の配線との間に設けられ、前記第 1 の有機樹脂材料膜上に設けられた第 3 の配線と、

前記第 1 の配線と前記第 1 の有機樹脂材料膜との間に設けられ、前記第 3 の配線の表面のうち少なくとも前記第 1 の配線の側の面を覆う無機材料膜と、前記無機材料膜を覆う第 2 の有機樹脂材料膜とを含む絶縁膜と、

前記第 1 の配線と第 3 の配線とが重畳する領域の前記絶縁膜を上下に貫通するビア接続孔に設けられた第 1 のビア接続部と、

前記第 3 の配線と第 2 の配線とが重畳する領域の前記第 1 の有機樹脂材料膜を上下に貫通するビア接続孔に設けられた第 2 のビア接続部と、

20

を備え、

前記第 1 のビア接続部は、前記第 1 のビア接続孔の底部に露出する前記第 3 の配線上と前記第 1 のビア接続孔の内壁上とに配置されたバリア導電層を有する、多層配線構造体。

【請求項 1 5】

前記無機材料膜は、前記第 3 の配線の前記ビア接続部に重畳する領域を除く前記第 3 の配線の上面全面と、前記第 3 の配線の側面全面とを直接覆い、 $\text{SiN}$ 又は $\text{SiC}$ から構成された第 1 の無機材料膜、及び前記第 1 の無機材料膜の全面を覆い、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiOC}$ 又は $\text{SiOF}$ から構成された第 2 の無機材料膜からなる、請求項 1 4 に記載の多層配線構造体。

【請求項 1 6】

30

前記第 1 の無機材料膜の厚さは、前記第 2 の無機材料膜の厚さよりも薄い、請求項 1 5 に記載の多層配線構造体。

【請求項 1 7】

前記無機材料膜の前記第 1 のビア接続孔の内壁側の端部は、前記バリア導電層に接触する、請求項 1 4 に記載の多層配線構造体。

【請求項 1 8】

前記第 1 の有機樹脂材料膜及び前記第 2 の有機樹脂材料膜を構成する材料の誘電率の値は、前記無機材料膜を構成する材料の誘電率の値よりも小さい、請求項 1 4 に記載の多層配線構造体。

【請求項 1 9】

40

前記第 1 の配線と前記第 3 の配線とが重畳する領域において、前記無機材料膜と前記第 2 の有機樹脂材料膜との膜厚の合計に対して前記無機材料膜の割合が 20 % 以上 80 % 以下である、請求項 1 4 に記載の多層配線構造体。

【請求項 2 0】

前記バリア導電層の材料は高融点金属またはその化合物を含む、請求項 1 4 に記載の多層配線構造体。

【請求項 2 1】

前記第 2 の配線と同層に設けられた第 4 の配線と、

前記第 4 の配線上に設けられた第 5 の配線と、

をさらに備え、

50

前記第4の配線と前記第5の配線との間には、他の配線が配置されていない、請求項14に記載の多層配線構造体。

【請求項22】

前記ビア接続孔は、 $0.5\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ の孔径を有し、

前記ビア接続孔の高さは、 $5\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ である、請求項14乃至21の何れか一項に記載の多層配線構造体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多層配線構造体及びその製造方法に関する。特に、Cu配線が絶縁層を介して多層化された多層配線構造体及びその製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

複数の層に複数の配線が配置され、異なる層に配置された複数の配線を接続するための接続孔が設けられた多層配線構造体が知られている（例えば、特許文献1参照。）。このような多層配線構造体においては、層と層との間の絶縁材料として、ポリイミドなどの有機樹脂材料が用いられる場合が多い。有機樹脂材料の誘電率は一般的に小さな値であり、配線を伝達する信号の遅延が生じにくいからである。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0003】

【特許文献1】特開2000-150519号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、有機樹脂材料の熱膨張率は配線の材料である銅などの熱膨張率よりも大きい。このため、配線構造体に熱サイクル試験を施したり高温の環境で使用したりすると、樹脂材料の熱膨張率と配線の熱膨張率との差により、接続孔の底部などで断線が起こりやすくなる。

【0005】

30

すなわち、有機樹脂の熱膨張率（線膨張率）は $50 \sim 100 \text{E} - 6 / \text{K}$ であるのに対し、配線材として銅（Cu）を用いる場合には、配線材の熱膨張率（線膨張率）は $17 \text{E} - 6 / \text{K}$ である。このように、有機樹脂の熱膨張率が配線材の熱膨張率が数倍大きく、配線層の形成工程において例えば200 を超える雰囲気中に曝された場合、接続孔の銅に引っ張り応力が発生することとなる。なお、引っ張り応力は有機樹脂の熱膨張が有機樹脂の上下の配線の間の距離を引き離す方向に作用するために発生する。

【0006】

このため、この引っ張り応力を緩和しようとして接続孔内の銅が移動しようとし、接続孔の底部にボイドが形成されることとなる。このボイドにより、上下の配線の間の電気的な接続不良が生じる。

40

【0007】

また、このようなボイドの発生以外にも、接続孔の底部及び側面を覆うバリア導電層と有機樹脂の密着力が低いので、バリア導電層の変形や有機樹脂からの剥離も発生する。

【0008】

一般にプリント基板やインターポザーなどの多層配線構造は、 $-25$  から  $125$  までの温度の変化サイクルが発生する環境下で使用されることが想定されている。このような環境における温度の変化サイクルも接続孔内の銅に対して強い引っ張り応力を発生させ、上記と同様に接続不良が発生する。

【0009】

また、近年においてはLSIの微細化及び高集積化が進むとともに、プリント基板やイ

50

ンターポーザーへのＬＳＩチップの実装が増える傾向にある。したがって、多層配線構造に対して配線層の高密度化の要求が一層高まっている。

【００１０】

このような高密度化を実現するためには、配線の幅、配線の間隔及び接続孔のサイズを縮小し、さらに、接続銅の上部にさらに接続孔を重ねるスタックトビアと呼ばれる構造が必要となる。このため、接続孔内の銅の引っ張り応力をさらに増大させ、接続の不良率の発生が高まり、信頼性を低下させる原因となっている。

【００１１】

そこで、本発明は、接続孔の底部などでの断線を低減させる多層配線構造体などを提供することをその目的の一つとする。

10

【００１２】

また、接続孔の高さを小さくすることにより、引っ張り応力を若干小さくすることができる。しかし、このことは上下配線層の距離が小さくなるので、寄生容量の増大、クロストーク及び信号伝搬遅延が生じる。このため、プリント基板やインターポーザー上に実装されるＬＳＩの性能を十分発揮させることが困難となる。

【００１３】

そこで、本発明は、上下配線層の距離が小さくなっても寄生容量の増大、クロストーク及び信号伝搬遅延を従来の多層配線構造体よりも抑制することができる多層配線構造体などを提供することを別の目的とする。

【００１４】

20

また、接続孔の高さが小さくなると、電解メッキにより接続孔内に銅を充填させるときに、電解メッキ溶液中の添加剤（レベラー）の効果が小さくなるため、十分な銅の充填ができなくなる。このため、接続孔内にボイドが形成され、接続孔底部のボイドの形成と同様に信頼性を低下させる原因となる。

【００１５】

そこで、本発明は、接続孔内にボイドが発生するのを抑制した多層配線構造体などを提供することを別の目的とする。

【００１６】

また、銅配線間の絶縁膜として有機樹脂材料膜を用いる場合、従来の多層配線構造体においては、銅配線の底部を除いて銅配線の外周が有機樹脂材料膜と直接接していた。このため、熱処理が加わると銅原子が周囲の有機樹脂材料膜に熱拡散する。また、隣接する配線間に生ずる電界によっても銅原子がイオン化し拡散する。このような拡散により、配線間の距離が小さくなると、配線間におけるショートや有機樹脂絶縁膜の絶縁破壊が発生しやすくなるという課題もある。

30

【００１７】

また、ＬＳＩの構成においては、Ｃｕ配線の形成にはダマシン法が用いられている。ダマシン法においては、Ｃｕ原子の拡散を抑制するために、Ｃｕ配線の側面と底部にバリアメタルを配置している。しかしながら、バリアメタルの材料として用いられるＴｉやＴａを含む材料は電気抵抗が高い。このため、配線幅に対してバリアメタルの厚さが厚いほど配線の抵抗が増加してしまう課題もある。

40

【課題を解決するための手段】

【００１８】

本発明の一実施形態として、基材と、下層Ｃｕ配線と、上層Ｃｕ配線と、ビア接続部とを備える多層配線構造体を提供する。前記下層Ｃｕ配線は、基材の上に配置される。前記上層Ｃｕ配線は、前記下層Ｃｕ配線上に位置する無機材料膜と前記無機材料膜上に位置する有機樹脂材料膜とを含む絶縁層上に配置される。前記ビア接続部は、前記下層Ｃｕ配線と前記上層Ｃｕ配線とが重畳する領域の前記絶縁層を上下に貫通するビア接続孔に配置される。また、前記ビア接続部は、前記ビア接続孔の底部に露出する前記下層Ｃｕ配線上と前記ビア接続孔の内壁上とに配置されたバリア導電層を有する。また、前記有機樹脂材料膜を構成する材料の誘電率の値は、前記無機材料膜を構成する材料の誘電率の値よりも小

50

さい。

【 0 0 1 9 】

また、本発明の一実施形態として、複数の層が積層して形成される多層配線構造体を提供する。前記複数の層は、隣接する第 1 の層および第 2 の層を含む。前記第 1 の層は、第 1 の Cu 配線を有する。前記第 2 の層は、第 2 の Cu 配線と、絶縁膜と、ビア接続部と、を備える。前記絶縁膜は、前記第 2 の Cu 配線と前記第 1 の Cu 配線との間に配置される。前記ビア接続部は、前記第 1 の Cu 配線と前記第 2 の Cu 配線とが重畳する領域の前記絶縁層を上下に貫通するビア接続孔に配置される。前記絶縁膜は、前記第 2 の Cu 配線の表面のうちすくなくとも前記第 1 の Cu 配線の側の面を覆う無機材料膜と、前記無機材料膜を覆う有機樹脂材料膜と、を備える。前記ビア接続部は、前記ビア接続孔の底部に露出する前記第 2 の Cu 配線上と前記ビア接続孔の内壁上とに配置されたバリア導電層を有する。また、前記有機樹脂材料膜を構成する材料の誘電率の値は、前記無機材料膜を構成する材料の誘電率の値よりも小さい。

10

【 0 0 2 0 】

また、本発明の一実施形態として、基材上に下層 Cu 配線を形成し、前記下層 Cu 配線上に無機材料膜を形成し、前記無機材料膜上に有機樹脂材料膜を成膜して、前記無機材料膜と前記有機樹脂材料膜とを含む絶縁層を形成し、前記絶縁層を前記下層 Cu 配線に達するように開口させてビア接続孔を形成し、前記ビア接続孔の底部および内壁にバリア導電層を形成し、前記ビア接続部に Cu を充填してビア接続部を形成し、前記ビア接続部上に上層 Cu 配線を形成することを含み、前記有機樹脂材料膜を構成する材料の誘電率の値は、前記無機材料膜を構成する材料の誘電率の値よりも小さい、多層配線構造体の製造方法が提供される。

20

【 0 0 2 1 】

このような多層配線構造体及び多層配線構造体の製造方法によれば、上層基材に占める有機樹脂材料膜の割合を減少させることができる。これにより、有機樹脂材料膜と Cu との熱膨張率の差によりビア接続孔の底部などにボイドなどが発生し、上層 Cu 配線または第 1 の配線と下層 Cu 配線または第 2 の配線との断線の発生を低減させることができる。また、Cu 配線間の配線容量の増大を抑制することができる。

【 0 0 2 2 】

また、本発明の上記一実施形態において、無機絶縁膜の、前記ビア接続孔の内壁側の端部がバリア導電層に接触する構成となってもよい。

30

【 0 0 2 3 】

この構成により、ビア接続孔の底部などにボイドが発生することを抑制することができる。

【 0 0 2 4 】

また、本発明の上記一実施形態において、無機絶縁膜は、下層 Cu 配線または第 2 の配線の上面及び側面を覆うように形成されている構成となってもよい。なお、第 2 の配線の上面とは、第 2 の配線の表面のうち第 1 の配線の側の面をいう。

【 0 0 2 5 】

この構成により、下層 Cu 配線または第 2 の配線からの Cu 原子や Cu イオンの拡散を抑制することができる。この効果は、無機絶縁膜として窒化珪素膜を用いることにより顕著となる。窒化珪素は Cu の拡散を制御する効果が大きいからである。また、下層 Cu 配線または第 2 の配線の側面にバリアメタルを配置する必要がないので、下層 Cu 配線または第 2 の配線の幅が小さくなるにしたがって増加する抵抗値の上昇を低減することができる。

40

【 0 0 2 6 】

また、本発明の上記一実施形態において、無機材料膜と有機樹脂材料膜との膜厚の合計に対する無機材料膜の割合を 20 % 以上 80 % 以下とするのが好ましい。

【 0 0 2 7 】

無機材料膜の割合をこのようにすることにより、さらに効果的に上層 Cu 配線または第

50

１の配線と下層Ｃｕ配線または第２の配線との断線を防止できる上に、一般的に有機樹脂材料膜の誘電率は無機材料膜の誘電率よりも低いので、上層Ｃｕ配線または第１の配線と下層Ｃｕ配線または第２の配線との間の配線容量を減少させることができ、配線が伝達する信号の遅延を抑制することができる。

【００２８】

また、本発明の上記一実施形態において、無機材料膜は珪素を含み、バリア導電層の材料は高融点金属またはその化合物を含むことが好ましい。さらに、無機材料膜とバリアメタル層とが接触していることが好ましい。

【００２９】

珪素を含む無機材料膜と高融点金属またはその化合物を含む材料とは良好な密着性を有するので、さらに効果的に上層Ｃｕ配線または第１の配線と下層Ｃｕ配線または第２の配線との断線を防止できる。

【発明の効果】

【００３０】

本発明の一実施形態によれば、接続孔の底部などでの断線の発生を抑制する多層配線構造体などを提供することができる。また、本発明の一実施形態によれば、配線間の配線容量の増大を抑制する多層配線構造体などを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００３１】

【図１】本発明の一実施形態に係る配線構造体の接続孔を含む断面図である。

【図２Ａ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図２Ｂ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図２Ｃ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図３】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図４】本発明の一実施形態に係る配線構造体を用いてＬＳＩチップを配置した構造の一例図である。

【図５Ａ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図５Ｂ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図５Ｃ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図５Ｄ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図５Ｅ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図５Ｆ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図６】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図７】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図８】本発明の一実施形態に係る配線構造体を用いてＬＳＩチップを配置した構造の一例図である。

【図９Ａ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図９Ｂ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図９Ｃ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図９Ｄ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図９Ｅ】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造過程を示す図である。

【図１０】本発明の一実施形態に係る配線構造体の断面の一例を示す図である。

【図１１】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造における不良の発生割合を示すグラフである。

【図１２】本発明の一実施形態に係る配線構造体の製造における不良の発生割合を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【００３２】

以下に、本発明を実施するための形態について、実施形態として説明を行う。なお、本発明は、これらの実施形態に限定されることはなく、これらの実施形態を必要に応じて変

10

20

30

40

50

形して実施することができる。なお、図面において、幅、長さ、厚さなどは誇張する場合があり、本発明を実施する場合と異なっている場合がある。また、以下の説明における成膜時の膜厚、材料、条件などは例示であり、必要に応じて変更して実施することができる。

#### 【0033】

##### (実施形態1)

図1は、本発明の一実施形態に係る配線構造体の断面図を示す。図1においては、第1層(下層)の配線と第2層(上層)の配線とを接続するための接続孔の断面も含まれている。接続孔は、第1層の配線と第2層の配線とが重畳する領域に配置される。なお、接続孔に配置される第2層の配線の部分をビア接続部という場合がある。

10

#### 【0034】

図1において、基材(基板)101上に配線材料102が配置される。基材101の材料には特に制限はないが、例えば、シリコンなどの半導体、ガラスなどを挙げることができる。基材101がシリコン基板である場合には、シリコン基板上に絶縁膜として酸化珪素膜が形成しておくことが好ましい。基材101の厚さには特に制限はないが、例えば、300 $\mu$ m以上1000 $\mu$ m以下の範囲で設定することができる。基材101の下にサポート基板を使用すれば(図示せず)、10 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下の厚さの基材を使用することもできる。また、基材101が層構造を有しその中の一層又は複数の層に配線が既に形成されていてもよい。

#### 【0035】

配線材料102は、第1層の配線を構成する。配線材料102には、Au、Al、Cuなどの導電性を有する材料が用いられる。なかでも導電性が高く、かつ材料コストの低いCuを用いることが好ましい。配線材料102の厚さには特に制限はないが、例えば、4 $\mu$ m程度である。基材101と配線材料102の間にバリアメタル103が配置されているのが好ましい。これにより、配線材料102を構成する金属が基材101側へ拡散することが防止される。バリアメタル103には、高融点金属またはその化合物を用いることができる。高融点金属またはその化合物は、有機樹脂材料膜を構成する有機絶縁材料を熱硬化する温度よりも融点が高い材料であって、その融点が1500以上である。高融点金属またはその化合物として、例えば、バリアメタル103には、Ti、TiNあるいはTa、TaNなどの材料が用いることができる。

20

30

#### 【0036】

基材101の上面並びに配線材料102の上面及び側面には、無機材料膜が配置される。無機材料膜は、第1層の配線と第2層の配線との接続孔以外における絶縁膜を構成する。無機材料膜は、単層ないし複数層により構成される。好ましくは、無機材料膜は、異種材料の無機材料膜を複数積層することにより構成することが好ましい。図1では、無機材料膜は、第1の無機材料膜104と、第1の無機材料膜104の上に成膜された第2の無機材料膜105と、により構成される。

#### 【0037】

第1の無機材料膜104は、例えば、窒化珪素により形成される膜であり、プラズマCVD法により成膜される。第2の無機材料膜105は、例えば、酸化珪素により形成される膜であり、プラズマCVD法により成膜される。配線材料102の上面及び側面が窒化珪素膜により覆われることにより、配線材料102の原子や分子、イオンの拡散を防ぐことができる。また、配線材料102の下面にはバリアメタル103が配置されているので、バリアメタル103によっても配線材料102の原子や分子、イオンの拡散を防ぐことができる。第1の無機材料膜と第2の無機材料膜の厚さは、所望の絶縁性が得られる程度で適宜選択可能である。第1の無機材料膜104の厚さは0.1 $\mu$ mであり第2の無機材料膜105の厚さは2 $\mu$ mとしてもよい。

40

#### 【0038】

第2の無機材料膜105の上には、有機絶縁材料を用いる有機樹脂材料膜106が配置される。有機材料膜106は、第1層の配線と第2層の配線との接続孔以外における絶縁

50



膜を構成する。有機樹脂材料膜 106 の材料としては、例えばポリイミドを用いることができる。ポリイミドなどの有機材料は誘電率がプラズマ CVD で成膜される P - SiN 膜や P - SiO<sub>2</sub> 膜の無機材料よりも小さいので、複数の層に配置される複数の配線材料の間の配線容量を小さくし、配線材料を伝達する信号の遅延量を小さくすることができる。有機樹脂材料膜 106 の厚さは所望の絶縁性が得られる程度で適宜選択可能である。好ましくは、配線材料 102 の上方に配置される第 2 の無機材料膜 105 の上において、第 1 の無機材料膜 104、第 2 の無機材料膜 105、有機材料膜 106 及び有機樹脂材料膜 106 のそれぞれの厚さの合計の 20% 以上 80% 以下となるように有機樹脂材料膜 106 の厚さを調整すると、微細化と周囲の熱膨張の緩衝性を両立することができる。無機材料の誘電率が一般的に有機樹脂材料の誘電率よりも大きいので、20% を下回ると微細化による寄生容量の増大を招くからである。また、有機材料の熱膨張率が配線材料の熱膨張率よりも大きいので、80% を上回ると、熱膨張によるボイドの発生の割合が高まるからである。例えば、P - SiO<sub>2</sub> 膜の熱膨張率（線膨張率）は、 $0.5 \sim 2 \times 10^{-6} / K$  であり、有機樹脂膜の 10 分の 1 から 100 分の 1 程度である。

10

#### 【0039】

第 1 の有機材料膜 106 を構成する材料の誘電率は、第 1 の無機材料膜 104 を構成する材料の誘電率および第 2 の無機材料膜 105 を構成する材料の誘電率のいずれよりも小さくなっているのが好ましい。これにより、配線材料の間の配線容量の増大を抑制することができる。また、第 1 の無機材料膜 104 を構成する材料の誘電率と第 2 の無機材料膜 105 を構成する材料の誘電率の関係は、両者が等しくても、前者が後者よりも大きくても、あるいは、前者が後者よりも小さくてもよい。

20

#### 【0040】

具体的な材料の誘電率の値を述べると次のようになる。第 1 の有機材料膜 106 を構成する材料としてポリイミドを用いる場合には、ポリイミドの誘電率は、3.5 以下となるのが好ましい。これは、第 1 の無機材料膜 104 を構成する材料の一例である P - SiN の誘電率は通常 7.0 であり、第 2 の無機材料膜 105 を構成する材料の一例である P - SiO<sub>2</sub> の誘電率は通常 4.1 であるからである。また、第 1 の無機材料膜 104 を構成する材料として、P - SiN を用い、第 2 の無機材料膜 105 を構成する材料として、P - SiO<sub>2</sub> を用いる場合には、第 1 の無機材料膜 104 を構成する材料の誘電率は、第 2 の無機材料膜 105 を構成する材料の誘電率よりも大きくなる。したがって、この場合には、配線容量の増大を抑制する観点からは、第 1 の無機材料膜 104 の膜厚は小さいのが好ましく、例えば第 2 の無機材料膜 105 の膜厚よりも小さくするのが好ましい。

30

#### 【0041】

第 1 の無機材料膜 104 として P - SiN 膜を用い、第 2 の無機材料膜 105 として P - SiO<sub>2</sub> 膜を用い、有機樹脂材料膜 106 としてポリイミド膜を用いる場合には、それぞれの膜の厚さは、例えば、 $0.1 \mu m$ 、 $2.0 \mu m$  及び  $8.0 \mu m$ （配線上の厚さ）とすることができる。したがって、この場合には P - SiO<sub>2</sub> 膜の厚さはポリイミド膜の厚さの 25% となる。なお、ポリイミドは硬化のための熱処理により 15% 前後の熱収縮をするので、ポリイミドを塗布する際には、このような熱収縮を考慮し、配線上で  $9.4 \mu m$  の厚さとする。また、配線材料 102 の厚さは  $4.0 \mu m$  とすることができるので、この場合は、全厚は  $13.4 \mu m$  となる。なお、第 1 の無機材料膜 104、第 2 の無機材料膜 105 は配線上と配線以外の部分で厚さが同じであるので、第 1 の無機材料膜 104、第 2 の無機材料膜 105 は無視することができる。

40

#### 【0042】

第 1 層の配線と第 2 層の配線とを接続するために接続孔の部分においては、有機樹脂材料膜 106、第 2 の無機材料膜 105 及び第 1 の無機材料膜 104 に、底部が配線材料 102 に達するピア接続孔が形成され、その底面及び側面にバリア導電層としてのバリアメタル膜 107 が形成され、バリアメタル膜 107 の上に配線材料 108 が配置される。バリアメタル膜 107 の材料は高融点金属またはその化合物を用いることができる。例えば、バリアメタル 103 には、Ti、TiN あるいは Ta、Ta<sub>2</sub>N などの材料が用いること

50

ができる。配線材料 108 は上層の第 2 層における配線を構成する。すなわち、配線材料 108 は、配線材料 102 が配置される層とは別の層に配置される配線を構成する。

【0043】

なお、ポリイミド膜はスピンコートやフィルムの貼り付けなどを用いることにより成膜できる。しかし、膜の厚さには限界がある。例えば、スピンコートやフィルムの貼り付けを用いる場合には約  $20\ \mu\text{m}$  が限界である。一方、 $\text{P-SiO}_2$  膜の成膜において膜の厚さには事実上制限がない。そこで、接続孔の高さが不足する場合には、 $\text{P-SiO}_2$  膜の厚さにより、接続孔の高さを調整することができる。これにより、下層の配線と上層の配線との間の配線容量やインピーダンスの整合を図ることができる。

【0044】

また、シリコンウェハーを基板 101 として用いる場合には、有機樹脂や Cu 配線は引っ張り応力を有するので、ウェハーが反ってしまう場合がある。この反りは配線層数が増えるにつれ大きくなるので、露光装置やプラズマ CVD 装置で処理に適さなくなる場合がある。また、ウェハーからインターポーザーを切り出し、チップ化した場合でもこの反りは残るため、チップ同士の積層やマザーボードへの接合において不良が生ずる場合がある。しかし、この問題は、 $\text{P-SiO}_2$  膜に圧縮応力を持たせることにより、有機樹脂や Cu 配線の有する引っ張り応力とバランスを図ることができる。

【0045】

上述のように有機樹脂膜よりも熱膨張率の小さい  $\text{P-SiO}_2$  膜を有機樹脂材料膜 106 の下に配置することにより、接続孔内に Cu を用いる場合の引っ張り応力を低減することができる。例えば、上層の配線と下層の配線との距離、すなわち、接続孔の高さ、を  $10\ \mu\text{m}$  とし、この  $10\ \mu\text{m}$  の距離間に  $2\ \mu\text{m}$  の厚さの  $\text{P-SiO}_2$  膜を形成し、残りの約  $8\ \mu\text{m}$  を有機樹脂材料膜とする。このときの引っ張り応力は、 $10\ \mu\text{m}$  の距離間の全てを有機樹脂材料膜とした場合よりも 20% 低減する。

【0046】

この数値は単純に熱膨張率の差から算出される値であるが、接続孔の側面に形成されるバリアメタル膜 107 の Ti や Ta を含む材料と  $\text{P-SiO}_2$  との強い密着力 ( $800\ \text{N/m}$  以上となる。一方、バリアメタル層 107 の材料とポリイミドとの密着力は  $300\ \text{N/m}$  以下である。) 及び  $\text{P-SiO}_2$  の高い弾性率 ( $40\ \text{GPa}$  以上となる。一方、ポリイミドの弾性率は  $3\sim7\ \text{GPa}$  である。) の作用を加えると引っ張り応力はさらに低下する。このため、配線の形成工程で、高温処理により配線が配置される層でポリイミドが熱膨張による弾性変形を起こそうとしても、ポリイミドの上下に配置される  $\text{P-SiO}_2$  の弾性率が高いので、容易に変形することができない。このことが、接続孔内における引っ張り応力をさらに小さくしている。

【0047】

配線材料 108 の上面及び側面は、配線材料 102 と同様に、無機材料膜により覆われる。例えば、配線材料 108 の上面及び側面に第 1 の無機材料膜 109 が配置され、第 1 の無機材料膜 109 の上に第 2 の無機材料膜 110 が配置される。また、第 2 の無機材料膜 110 の上に有機樹脂材料膜 111 が配置される。

【0048】

配線材料 108 のバリアメタルと接していない部分及び配線材料 102 のそれぞれの上面及び側面をプラズマ窒化膜 ( $\text{P-SiN}$  膜) により覆うことにより、配線材料 108、102 の原子や分子、イオンが熱などにより、有機樹脂材料膜 106、111 内に拡散することを防止することができる。また、接続孔の底面及び側面のバリアメタル膜 107 によっても、配線材料 108 の原子や分子、イオンが熱などにより、有機樹脂材料膜 106 内に拡散することを防止することができる。

【0049】

また、第 2 の無機材料膜 105 の材料として酸化珪素を用いることにより、接続孔の内面に配置されるバリアメタルとの密着性が高まり、断線を抑制することができる。この場合、第 2 の無機材料膜 105 を第 1 の無機材料膜 104 より厚くすることにより、バリア

10

20

30

40

50

メタルとの密着性をより高めることができる。また、第1の無機材料膜104としてP-SiN膜を用いる場合には、第1の無機材料膜104と同程度の厚さとすることにより、さらにバリアメタルとの密着性をより高めることができる。

【0050】

また、配線材料108、102により構成される上層配線および下層配線の側面をバリアメタルで覆う必要がない。バリアメタルは一般的にCuなどの配線材料よりも抵抗値が高く、バリアメタルを多く用いると配線の抵抗値が増加する。したがって、本実施形態においては、配線材料108、102が構成する配線の側面をバリアメタルで覆う必要がないので、配線の抵抗値の増加を抑制することができる。

【0051】

例えば、配線の幅が1 $\mu$ mである場合、0.1 $\mu$ mのバリアメタルにより配線の側面に配置すると、配線断面積のうちバリアメタルが占める面積は20%となるので、バリアメタルを配置しない場合に比べて配線抵抗が20%増加する。このような配線抵抗の増加は配線幅が小さくなるにつれて増大することになる。

【0052】

バリアメタルを薄くすれば、このような配線抵抗の増大を回避できると考えられる。しかしながら、バリアメタルを薄くすると、バリアメタルの周囲の絶縁膜から拡散する酸素によってバリアメタルが厚さ方向に対して酸化し、バリア性能が低下する。一方、P-SiNは酸素に対して安定であるので、本実施形態のように、配線の側面をP-SiNにより覆うことによる劣化は生じない。したがって、本実施形態によれば、配線抵抗の増大を抑制することができ、配線が微細化し配線幅が小さくなっても配線抵抗の増加を抑制することができる。

【0053】

図2A、図2B、図2C及び図3を参照し、本実施形態に係る配線構造体の製造過程を説明する。

【0054】

まず、図2A(a)に示すように、基材101の部分のうち配線材料102が配置される部分にバリアメタル103を配置し、配線材料102を例えば4 $\mu$ mの厚さとなるように電解メッキにより配置する。そして、0.1 $\mu$ m厚の第1の無機材料膜104及び2.0 $\mu$ m厚の第2の無機材料膜105を順に形成する。

【0055】

次に、図2A(b)に示すように、有機樹脂材料膜106となる感光性のポリイミドなどの有機樹脂材料を例えば15 $\mu$ mの厚さとなるようにスピンコート法などを用いて第2の無機材料膜105の上に塗布して成膜し、リソグラフィーによる開口により開口106aを設ける。開口106aはビア接続孔の一部となる。

【0056】

開口106aを設けた後に、有機樹脂材料膜106を熱硬化させる。熱硬化させると、図3に示すように配線材料102の存在と有機樹脂材料の熱収縮により、配線材料102の上部部分106bが凸形状となる場合がある。このような場合には、フライカッターなどを用いて上面を平坦化させる。あるいは、このような凸形状を避けるために、熱収縮率の小さな有機樹脂材料を用いることもできる。

【0057】

次に、図2A(d)に示すように有機樹脂材料膜106をマスクとして用いて第2の無機材料膜105及び第1の無機材料膜104を貫通し、配線材料102にその底部が到達するビア接続孔をエッチングにより形成する。また、これにより、ビア接続孔は、有機樹脂材料膜106、第2の無機材料膜105及び第1の無機材料膜104により構成される絶縁膜を上限に貫通することになる。なお、ビア接続孔を配置する位置以外には、開口106aを設ける必要はない。なお、ポリイミドの感光の解像度の限界は、0.5 $\mu$ mであるので、ビア接続孔の直径の最小値は0.5 $\mu$ mとなると考えられる。

【0058】

次に、図 2 B ( e ) に示すように、開口 1 0 6 a の内面を含む有機樹脂材料膜 1 0 6 の上面にバリアメタル膜 1 0 7 を配置し、C u 膜 1 0 8 a をその上に配置する。このとき、バリアメタル膜 1 0 7 と第 2 の無機材料膜 1 0 5 とを接触させるのが好ましい。バリアメタル膜 1 0 7 と第 2 の無機材料膜 1 0 5 との密着性が高ければ、断線を抑制することができるからである。

【 0 0 5 9 】

次に、C u 膜 1 0 8 a 上にフォトレジストを塗布し、露光及び現像することにより、図 2 B ( f ) に示すように配線パターン 1 0 8 b を形成する。

【 0 0 6 0 】

次に、電解メッキを用いて、配線パターン 1 0 8 b により覆われていない C u 膜 1 0 8 a の部分に C u を成長させ、図 2 B ( g ) に示すように、ビア接続孔と配線パターン 1 0 8 b に C u を配線材料 1 0 8 として充填し、ビア接続孔内にビア接続部を形成し、さらにビア接続部の上に上層の配線を形成する。

【 0 0 6 1 】

次に、配線パターン 1 0 8 b を除去し、酸性の水溶液などを用いて露出した C u 膜 1 0 8 a の部分とその下のバリアメタル膜 1 0 7 の部分を除去し、図 2 C ( h ) の構成を得る。

【 0 0 6 2 】

その後、図 2 C ( i ) に示すように、第 1 の無機材料膜 1 0 9 を有機樹脂材料膜 1 0 6 及び配線材料 1 0 8 を覆うように形成し、図 2 C ( j ) に示すように、さらに第 2 の無機材料膜 1 1 0 を形成する。

【 0 0 6 3 】

配線材料 1 0 8 が形成する配線の上層にさらに配線を形成する場合には、配線材料 1 0 8 を配線材料 1 0 2 とみなし、第 1 の無機材料膜 1 0 9 を第 1 の無機材料膜 1 0 4 とみなし、第 2 の無機材料膜 1 1 0 を第 2 の無機材料膜 1 0 5 とみなして、図 2 A ( a ) 以降の処理を再度繰り返し行う。

【 0 0 6 4 】

本実施形態においては、配線材料 1 0 2 などの側面をバリアメタルで覆う必要がないので、配線の抵抗値の増加を抑制することができる。また、配線材料 1 0 2 などの側面を第 1 の無機材料膜 1 0 4 により覆うことにより、配線材料 1 0 2 を構成する原子などが拡散することを抑制することができる。また、接続孔の内面に形成されるバリアメタルと無機材料膜 (例えば、P - S i O<sub>2</sub>膜) との密着性が良い場合には、有機樹脂材料膜 1 0 6 の熱膨張による接続孔における断線の発生を抑制することができる。また、有機樹脂材料膜 1 0 6 の材料として感光性の材料を用いることにより、開口 1 0 6 a を有機樹脂材料膜 1 0 6 に形成して、第 1 の無機材料膜 1 0 4 及び第 2 の無機材料膜 1 0 5 に開口を形成するマスクとして使用することができ、工程が簡略化できる。

【 0 0 6 5 】

上述したように、ビア接続孔の直径の最小値は 0 . 5  $\mu$  m となると考えられ配線幅の最小値は 0 . 5  $\mu$  m と小さな値となる。本実施形態では、配線の側面にバリアメタルで覆う必要がないので、配線幅が 0 . 5  $\mu$  m となっても、配線抵抗の増大を抑制することができる。

【 0 0 6 6 】

( 実施形態 2 )

図 4 は、本発明の実施形態 2 に係る配線構造体を用いた L S I チップの配置の一例を示す。これは、いわゆる 2 . 5 次元実装と呼ばれる配置の一例である。

【 0 0 6 7 】

図 4 において、インターポザー 4 0 1 が本実施形態に係る多層配線構造体である。インターポザー 4 0 1 の上に、C P U ( C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t ) や A S I C ( A p p l i c a t i o n S p e c i f i c I n t e g r a t e d C i r c u i t ) などのロジック L S I 4 0 2 と、D R M やフラッシュメモリーなどのメ

10

20

30

40

50

モリー L S I 4 0 3、4 0 4、4 0 5、4 0 6 と、が配置され、これらがインターポージャー 4 0 1 内の配線を介して接続される。この構成により、メモリー L S I 4 0 3、4 0 4、4 0 5、4 0 6 及びロジック L S I 4 0 2 間で、信号線、電源線及びグランド線が短距離で接続することができる。このため、全体として高速処理が可能である。

【 0 0 6 8 】

本実施形態に係るインターポージャー 4 0 1 としての配線構造体の製造工程について、図 5 A、図 5 B、図 5 C 及び図 5 D を参照しながら、説明を行う。

【 0 0 6 9 】

図 5 A ( a ) に示すように、シリコン基板などの基板 5 0 1 上に、プラズマ C V D を用いて、膜厚が  $3 \mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  膜 ( P -  $\text{SiO}_2$  膜 ) 5 0 2 を形成する。次に、スパッタリングにより、膜厚が  $0.1 \mu\text{m}$  の T i 膜 5 0 3 と、膜厚が  $0.3 \mu\text{m}$  の C u 膜 5 0 4 a を成膜する。T i 膜 5 0 3 は、基板 5 0 1 に C u が拡散しないようにするためのバリアメタル膜としての役割を果たす。また、C u 膜 5 0 4 a は、電解メッキにより C u を成長させるためのシードとしての役割を果たす。なお、ここでは、T i 以外のバリアメタルの材料として、T i N や高融点金属の T a などを用いることも可能である。

【 0 0 7 0 】

次に、図 5 A ( b ) に示すように、C u 膜 5 0 4 a の上にフォトレジストを塗布した後に、露光及び現像を行うことにより配線パターン 5 0 5 を形成する。その後、電解メッキを用いて配線パターン 5 0 5 より露出している C u 膜 5 0 4 a 上に膜厚が  $4.4 \mu\text{m}$  となるように C u 膜 5 0 4 を成長させる。なお、本実施形態では、ここでの C u は第 1 層の配線材料として用いられ、配線の厚さの設計寸法値は  $4.0 \mu\text{m}$  としている。

【 0 0 7 1 】

次に、C u を成長させた後に配線パターン 5 0 5 を形成するフォトレジストを有機溶媒により除去し、図 5 A ( c ) の構造を得る。なお、フォトレジストの除去には、有機溶媒を用いる代わりに、酸素プラズマによるアッシングを用いることもできる。

【 0 0 7 2 】

次に、図 5 A ( d ) に示すように、配線パターン 5 0 5 により覆われていた C u 膜 5 0 4 a の部分及び T i 膜 5 0 3 の部分を、酸性の水溶液によって除去し、第 1 層における C u 配線 5 0 4 b を形成する。配線パターン 5 0 5 により覆われていた部分の C u 膜 5 0 4 a の除去により、膜厚が  $4.4 \mu\text{m}$  であった C u 膜 5 0 4 の膜厚は約  $4.0 \mu\text{m}$  に減少し、設計寸法値を達成することができる。なお、酸性の水溶液を用いて C u 膜 5 0 4 a 及び T i 膜 5 0 3 を除去する代わりに、イオンミリングを用いることもできる。

【 0 0 7 3 】

酸性の水溶液を用いる場合には、図 6 に示すようにアンダーカット 6 0 1 が大きくなり、特に配線の幅が  $5 \mu\text{m}$  以下になると、C u 配線 5 0 4 b と下地の基板との間での十分な密着性が取れなくなり、C u 配線が自身の応力などによって剥離してしまうことがある。一方、イオンミリングを用いる場合には、このようなアンダーカットが起こり難いので、微細な配線形成が可能となる。

【 0 0 7 4 】

次に、図 5 A ( e ) に示すように、第 1 層における C u 配線 5 0 4 b の上に、プラズマ C V D により、膜厚が  $0.1 \mu\text{m}$  の P - S i N 膜 5 0 6 を成膜し、次に膜厚が  $2 \mu\text{m}$  の P -  $\text{SiO}_2$  膜 5 0 7 を成膜する。P - S i N 膜 5 0 6 の成膜には、 $\text{SiH}_4$  を S i 源とし、 $\text{NH}_3$  を窒素源として使用することができる。また、P -  $\text{SiO}_2$  膜 5 0 7 の成膜には、 $\text{SiH}_4$  を S i 源とし、 $\text{N}_2\text{O}$  を酸素源とすることができる。また、S i 源としてテトラエトキシシラン ( T E O S ) を用いることができる。また、酸素源として、 $\text{O}_2$  を用いることもできる。なお、図 2 A ( a ) に示す構造が図 5 A ( e ) の構造に含まれていると考えることができる。

【 0 0 7 5 】

P -  $\text{SiO}_2$  は、基板 5 0 1 となるウェハーの反りを抑制する点で、膜応力を  $-100 \sim -300 \text{ Mpa}$  の圧縮応力に調整することが好ましい。特に膜応力は  $-200 \text{ Mpa}$  に

10

20

30

40

50

調整することが好ましい。

【0076】

なお、第1層におけるCu配線504bの表面に酸化銅が存在すると、P-SiNとCuとの密着力が低下するのでP-SiN膜506の成膜前に配線504bを希硫酸などで洗浄するのが好ましい。さらに、P-SiN膜506の成膜前に同一チャンバー内でCu配線504bの表面をNH<sub>3</sub>プラズマに晒して酸化銅の除去を行うこともできる。

【0077】

P-SiN膜506は、Cu配線504bのCu原子やCu分子、CuイオンがCu配線504bの側面および上面からP-SiO<sub>2</sub>膜507に熱拡散するのを防止し、さらに、隣接する配線間の電界に起因する拡散を防止するバリア絶縁膜としての役割を果たす。P-SiNをバリア絶縁膜として用いる代わりに、SiC（酸素を数%から10%含んでいてもよい）を用いることができる。SiC膜もプラズマCVDにより成膜することが可能であり、Cu配線504bのCu原子やCu分子、Cuイオンの拡散を防止する効果がある。

10

【0078】

また、P-SiO<sub>2</sub>膜507を成膜する代わりに、SiOC、SiOFなどにより成膜を行ってもよい。SiOCやSiOFの膜もプラズマCVDにより成膜することができる。さらにSiOCやSiOFはP-SiO<sub>2</sub>よりも誘電率が小さく、隣接する配線間の配線容量の低減を行うことができる。

【0079】

20

次に、P-SiO<sub>2</sub>膜507の上にスピンコートによりポリイミドを、配線上で厚さが9.4μmとなるように塗布する。ポリイミドの代わりに、ビスベンゾシクロブテンを塗布することができる。また、非感光性の樹脂を用いることも可能である。ただし、非感光性の樹脂を用いる場合には、さらに感光性の樹脂を塗布しリソグラフィーによりパターンニングを行う必要がある。このため、非感光性の樹脂を用いると工程が増加する場合がある。以下では、感光性ポリイミドを塗布して説明を行う。

【0080】

感光性ポリイミド508を塗布した場合には、フォトリソマスクを用いて露光を行った後に現像を行い、図5B(f)に示すように、Cu配線504bの上方の必要な位置に開口パターン508aを形成する。ただし、「必要な位置」とは、Cu配線504bをそれよりも上の層に形成される配線と接続する必要がある位置である。なお、図2A(c)に示す構造が図5B(f)に含まれていると考えることができる。

30

【0081】

開口パターン508aの形成後に塗布したポリイミドを硬化させるために、250の温度で一時間の間、N<sub>2</sub>雰囲気下で熱硬化処理を行う。なお、温度は、250に限定されることはなく、一般的にはポリイミドのガラス転移温度以下に設定するのが好ましい。ガラス転移温度以上の温度で硬化させると、開口508aの形状が変形してしまい、設計寸法よりも開口径が大きくなるなどの問題が発生するからである。例えば、ポリイミドのガラス転移温度が280であれば、上述のように250とする。なお、熱硬化の処理に限らず、後の工程の処理は、ポリイミドのガラス転移温度を越えないようにして、行うのが好ましい。

40

【0082】

なお、ポリイミドを熱硬化させると、Cu配線504bによる凹凸のため、開口508a以外の感光性ポリイミド508の表面に、図7に示すような段差508aが生じることがある。このような段差に何ら処置を施さなければ、さらに配線を複数の層に配置するにしたがって大きくなり、パターン露光時のフォーカスズレを引き起こす。このため、設計寸法に基づく配線パターンの形成が困難となり、所望の接触抵抗が得られなかったり、隣接する配線が接続し、ショートを引き起こしたりする。このような段差を低減させるためには、熱収縮率の小さな（好ましくは15%以下）ポリイミドを使用するのが好ましい。また、高精度にポリイミドの表面の凹凸を除去するには、フライカッターを用いることも

50

できる。また、Chemical Mechanical Polishing (CMP)による凹凸の除去も可能である。

【0083】

次に、感光性ポリイミド508をマスクとして使用し、プラズマエッチングにより、開口508aの底に位置するP-SiO<sub>2</sub>膜507をエッチングする。エッチングガスとしては、CF<sub>4</sub>(流量20sccm)とH<sub>2</sub>(流量5sccm)との混合ガスを用いることができる。混合ガスの流量比を変化させることにより、硬化した感光性ポリイミド508とP-SiO<sub>2</sub>膜507とのそれぞれに対するエッチング速度を変化させることが可能である。そこで、P-SiO<sub>2</sub>膜507に対するエッチング速度が大きくなり、感光性ポリイミド508に対するエッチング速度が小さくなるようにするのが好ましい。一般的に、ポリイミドのエッチング速度に対するP-SiO<sub>2</sub>のエッチング速度の比は、約5であり、P-SiNのエッチング速度に対するP-SiO<sub>2</sub>のエッチング速度の比は、約8となる。なお、エッチングガスは、上述したものに限らず、CF<sub>4</sub>の代わりにCHF<sub>3</sub>やCHF<sub>2</sub>を用いることができる。

10

【0084】

P-SiO<sub>2</sub>層507をエッチングした後、エッチングガスをCF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>との混合ガスに代えて、P-SiN層506をエッチングする。このとき、例えば、CF<sub>4</sub>を20sccmの流量とし、O<sub>2</sub>を2sccmの流量とすることができる。ポリイミドのエッチング速度に対するP-SiNのエッチング速度の比は、約2とすることができる。

【0085】

P-SiN層506のエッチングによって、第1層のCu配線504bと、以後の工程により形成される第2層のCu配線とを電氣的に接続する第1の接続孔が形成される。この第1の接続孔の形成の直後には、第1の接続孔の側壁や底部にSiやFを含む炭素化合物が付着している。この炭素化合物を除去するために、有機溶剤で洗浄を行う。また、第1の接続孔の底部において露出しているCu表面はプラズマエッチングによって酸化している。この酸化による酸化物を除去するために、希硫酸による洗浄を行う。

20

【0086】

P-SiO<sub>2</sub>層507とP-SiN層506に対するプラズマエッチングにより、感光性ポリイミド508の表面はプラズマダメージを受け、ポリイミドが本来有する耐熱性が損なわれている場合がある。この場合には、例えば250の温度にて30分間の熱処理を行い、プラズマダメージを受けた表面を除去することができる。なお、250の温度は、ポリイミドのガラス転移温度以下の温度の一例である。

30

【0087】

以上の処理の結果として、図5B(g)に示す構造を得る。なお、図2A(d)に示す構造が図5B(g)に含まれていると考えることができる。

【0088】

次に、図5B(g)の構造に対して、スパッタリングにより、膜厚が0.1μmのTi膜と膜厚が0.3μmのCu膜509を成膜する。Ti膜は、上述したのと同様に、Cu膜509のCu原子やCu分子、Cuイオンが拡散しないようにするバリアメタルとして機能する。また、Cu膜509は、以後の電解メッキでCuを成長させるためのシードとして機能する。

40

【0089】

図5B(h)に示すように、Cu膜509の上にフォトレジストを塗布した後、露光及び現像を行い、配線パターン510を形成する。この後、電解メッキを用いて、配線パターン510から露出しているCu膜509上にCu膜511を成長させる。なお、最終的なCu膜511の第1の接続孔の上部からの厚さ(すなわち、第2層のCu配線の厚さ)が4.0μmであるとする、ここでは、Cu膜511を第1の接続孔の上部から4.4μmの厚さにするのが好ましい。

【0090】

次に、図5C(i)に示すように、Cu膜511を成長させた後、配線パターン510を形成するフォトレジストをたとえば有機溶媒によって除去する。上述したように、酸素

50

プラズマによるアッシングによってフォトリジストを除去することもできる。なお、図 2 C ( h ) に示す構造が図 5 C ( i ) に含まれていると考えることができる。

【 0 0 9 1 】

次に、例えば酸性の水溶液によって、露出している Cu 膜 5 0 9 の部分とその下の Ti 膜の部分とを除去し、第 2 層の Cu 配線 5 1 1 を形成する。また、この工程により、Cu 膜 5 1 1 の厚さが減少し、設計寸法値を達成することができる。なお、酸性の水溶液の代わりにイオンミリングを用いることができる。

【 0 0 9 2 】

以上のより、第 1 層の Cu 配線 5 0 4 b と第 2 層の Cu 配線 5 1 1 とが第 1 の接続孔に形成されたピア接続部を介して接続されることによる。

10

【 0 0 9 3 】

さらに第 3 層の Cu 配線を形成し、第 2 層の Cu 配線 5 1 1 と接続する工程について説明する。

【 0 0 9 4 】

図 5 C ( j ) に示すように、Cu 配線 5 1 1 の上にプラズマ CVD によって膜厚が 0 . 1  $\mu\text{m}$  の P - Si N 膜 5 1 2 を成膜し、膜厚が 2  $\mu\text{m}$  の P - Si O<sub>2</sub> 膜 5 1 3 を成膜する。反応系は、P - Si N 膜 5 0 6 を成膜したときと同じである。また、ポリイミドのガラス転移温度を考慮して、成膜するときの温度は例えば 2 5 0 とするのが好ましい。ポリイミドのガラス転移温度を超える温度で成膜を行うとポリイミドの熱膨張が大きくなり、P - Si N や P - Si O<sub>2</sub> との熱膨張率の差により、感光性ポリイミド 5 0 8 に皺が発生したり、P - Si N 膜 5 1 2 又は P - Si O<sub>2</sub> 膜 5 1 3 にクラックが発生したりする場合がある。なお、図 2 ( j ) に示す構造が図 5 C ( j ) に含まれていると考えることができる。

20

【 0 0 9 5 】

また、第 2 層の Cu 配線 5 1 1 の表面に存在する酸化銅を除去するために、P - Si N 膜 5 1 2 の成膜前に第 2 層の Cu 配線 5 1 1 を希硫酸で洗浄する。また、P - Si N 膜 5 1 2 の成膜前に同一チャンバー内において、Cu 配線 5 1 1 の表面を NH<sub>3</sub> プラズマに晒し、酸化銅の除去を行ってもよい。なお、過度の NH<sub>3</sub> プラズマに晒すと、感光性ポリイミド 5 0 8 のイミド結合を破壊するので、晒す時間の長さは、3 0 秒以下にするのが好ましく、例えば 2 0 秒とする。

30

【 0 0 9 6 】

P - Si N 膜 5 1 2 の成膜が、第 1 層の Cu 配線 5 0 4 b 上における P - Si N 膜 5 0 6 の成膜時と異なるのは、下地が P - Si O<sub>2</sub> ではなく、感光性ポリイミド 5 0 8 となる点である。感光性ポリイミド 5 0 8 は、Cu 膜 5 0 9 やその下の Ti 膜の除去をする際に酸性の水溶液に曝された場合には、多くの水分を含む状態にある。また、Cu 膜 5 0 9 やその下の Ti 膜の除去後も感光性ポリイミド 5 0 8 は大気中の水分を吸収している。一般に、ポリイミドが水分を含む状態下でその上に P - Si N 膜を成膜すると、ポリイミドに含まれる水分が気化し、P - Si N 膜などを押し上げ、剥がれてしまうことがある。これを防ぐためには、NH<sub>3</sub> プラズマ処理前に同一のチャンバー内で基板 5 0 1 を加熱し、感光性ポリイミド 5 0 8 に含まれる水分を除去することが好ましい。例えば、プラズマ CVD 装置の基板温度を 2 5 0 として、3 分間の脱ガス処理を行ってから、NH<sub>3</sub> プラズマ処理を行う。

40

【 0 0 9 7 】

次に、P - Si O<sub>2</sub> 膜 5 1 3 上にスピコートにより、感光性のポリイミドを膜厚が Cu 配線上で 9 . 4  $\mu\text{m}$  となるように塗布する。上述のように、ポリイミドの代わりに、ビスベンゾシクロブテンなどの感光性樹脂を用いることもできる。また、非感光性の樹脂も用いることもできる。この場合には、非感光性の樹脂を塗布した後に感光性の樹脂を塗布し、リソグラフィーによりパターンニングする。

【 0 0 9 8 】

次に、塗布した感光性ポリイミドをフォトマスクにより露光し、現像を行うことにより

50



、第2層のCu配線511の上の必要な位置に開口パターン514aを形成する。この形成の後、ポリイミドを硬化させるために、250の温度で1時間の間、N<sub>2</sub>雰囲気下で熱硬化処理を行う。そして、開口パターン514aをマスクとして用いてP-SiO<sub>2</sub>膜513とP-SiN膜512とに対してエッチングを行い、第2の接続孔514a、513a、512aを有する図5C(k)の構造を得る。なお、図2A(d)に示す構造が図5C(k)に示す構造に含まれていると考えることができる。

【0099】

続いて、上述したのと同様の工程により、第2の接続孔514a、513a、512aの内面と開口パターン514aの上面にバリアメタルを形成した後、第3層のCu配線を形成する。

10

【0100】

また、同様の工程を繰り返すことにより、例えば、図5D(1)に示すように、第1層から第5層のCu配線を有する配線構造体を得られる。なお、図2A(d)に示す構造が図5C(1)に示す構造に含まれていると考えることができる。

【0101】

なお、図5D(1)に示す断面において、第2層および第4層の偶数番目の層に上下の層のCu配線と接続されないCu配線が配置されている。このように接続されないCu配線の層を隣接せずに別の層を介在させることにより、Cu配線の間の配線容量を制御することができる。なお、本願発明は図5D(1)に示す断面に限定されることはなく、このようなCu配線は任意の層に配置してもよい。

20

【0102】

なお、ポリイミドの熱硬化温度を上層ほど低くすることにより、下層のポリイミドへの熱負担が小さくなり、ポリイミド、P-SiN膜、P-SiO<sub>2</sub>膜、Cu配線の熱応力や熱膨張に起因する剥がれや配線の断線が発生しにくくなる。また、層数が多いときには、熱硬化温度を上層になるに従って低下させ、また、プラズマ成膜などの温度もこれに伴って低下させることが好ましい。

【0103】

なお、図5D(1)において、例えば第3層を第1の層、第2層を第2の層とし、第1の層のCu配線を第1のCu配線とする。第2層のCu配線を第2のCu配線とする。この場合、第1無機材料膜(例えばP-SiN膜)は、第2のCu配線の表面のうち第1の層の側の面および側面を覆っている。

30

【0104】

また、図5D(1)に示す配線構造体においては、各層に無機材料膜であるP-SiN膜およびP-SiO<sub>2</sub>膜を配置がされている。しかし、本願発明はこの形態に限定されるものではなく、P-SiN膜およびP-SiO<sub>2</sub>膜が配置されていない層が配線構造体に含まれていてもよい。

【0105】

例えば、図5E(m)は、図5C(i)と同じであり、第1層のCu配線504bと第2層のCu配線511とが第1の接続に形成されたビア接続部を介して接続された構造が得られている状態を示す。

40

【0106】

図5C(m)の構造が得られると、図5C(j)に示すような構造を得るためにP-SiN膜およびP-SiO<sub>2</sub>膜を成膜せずに、感光性のポリイミドを膜厚が例えば、Cu配線上で9.4μmとなるように塗布し、塗布したポリイミドをフォトリソにより露光し、現像を行い第2層のCu配線511の上の必要な開口パターン514aを形成し、ポリイミドを硬化させ、図5E(n)に示す構造を得ることもできる。図5E(n)と図5C(k)とを比較すると、図5C(k)においては第2層のCu配線511の開口514aを除く部分が第1の無機材料膜512および第2の無機材料膜513により覆われているのに対し、図5E(n)においては、第1の無機材料膜512および第2の無機材料膜513が無く、第2層のCu配線511は第1の無機材料膜および第2の無機材料膜に覆わ

50

れていない。

【 0 1 0 7 】

第 3 層の C u 配線、第 4 層の C u 配線、第 5 層の C u 配線については、有機樹脂材料膜の開口を除く部分を第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜に覆うようにすることにより、図 5 F の配線構造体を得ることができる。図 5 F ( p ) と図 5 D ( 1 ) とを比較すると、図 5 D ( 1 ) においては、第 2 層の C u 配線の開口を除く部分が第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜により覆われているのに対し、図 5 F ( p ) においては、第 2 層の C u 配線は第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜に覆われていない。このため、第 2 層の C u 配線は、第 1 層の有機樹脂材料膜と第 2 層の有機材料膜との間に配置されていると言える。

10

【 0 1 0 8 】

また、第 2 層の C u 配線のうち、第 1 層の C u 配線と第 3 層の C u 配線との間に配置されている C u 配線により、第 1 層の C u 配線と第 3 層の C u 配線とを接続するためのビア接続部は、第 2 層に属する上部部分と第 1 層に属する下部部分とに分けられる。言い換えると、第 1 層の C u 配線と第 3 層の C u 配線との間に配置されている C u 配線の一部に上部部分が配置され、第 1 層の C u 配線と第 3 層の C u 配線との間に配置されている C u 配線の一部に下部部分が配置されている。また、上部部分と第 1 層の C u 配線と第 3 層の C u 配線との間に配置されている C u 配線の間、言い換えると、上部部分の底部には、バリア導電材料が配置されている。

【 0 1 0 9 】

20

第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜に覆われていない C u 配線は、第 2 層に配置が限定されるものではなく、任意の層に配置することが可能である。また、連続する層において第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜に覆われていない C u 配線を配置することもできる。

【 0 1 1 0 】

このように第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜に覆われていない C u 配線を配置することにより、第 1 の無機材料膜および第 2 の無機材料膜の工程を省略することができ、工程数の削減が行える。また、有機樹脂材料膜の厚さを制御することができ、基板 5 0 1 の反りを制御したり、配線間のインピーダンスのマッチングを行ったりすることができる。

30

【 0 1 1 1 】

特に、図 5 D ( 1 ) および図 5 F ( p ) に示されるように、第 2 層に示される 4 つの C u 配線のうち、左から 2 番目および 3 番目に位置する C u 配線と、第 4 層に示される 4 つの C u 配線のうち、左から 2 番目および 3 番目に位置する C u 配線と、の間には、絶縁膜のみが存在し、他の C u 配線が配置されていない。このように、或る層に配置される C u 配線とその上の層に配置される C u 配線の間、或る層とその上の層との間の層に C u 配線を配置しないことにより、或る層に配置される C u 配線とその上の層に配置される C u 配線とのインピーダンスマッチングを行うことができる。特に、或る層とその上の層との間の層の数は、1 層でもよいし、2 層以上であってもよい。また、或る層に配置される C u 配線とその上の層に配置される C u 配線との間には、有機絶縁膜のみを配置することもできるし、任意の数の無機絶縁膜を配置することができる。このように構成することにより、或る層に配置される C u 配線とその上の層に配置される C u 配線とのインピーダンスマッチングを行い、伝送特性を向上させることができる。

40

【 0 1 1 2 】

( 実施形態 3 )

図 8 ( a ) は、本発明の実施形態 3 に係る配線構造体を用いた L S I チップの配置を示す。これは、いわゆる 3 次元実装と呼ばれる配置の一例である。

【 0 1 1 3 】

図 8 ( a ) において、マザーボード 8 0 1 の上に C P U 8 0 3 がインターポージャー 8 0 2 を介して配置されている。C P U 8 0 3 の上に A S I C 8 0 5 がインターポージャー 8 0

50

4を介して配置されている。また、A S I C 8 0 5の上に、インターポザー8 0 6を介してD R A Mが配置され、別のインターポザー8 0 7を介して別のD R A Mが配置され、さらに別のインターポザー8 0 8を介してD R A M 8 0 9が配置されている。インターポザー8 0 2、8 0 4、8 0 6、8 0 7及び8 0 8には、上下両面に本実施形態に係る配線構造体が配置され、各L S Iとパンプ接合がされる。

【0114】

このような3次元実装により、インターポザー中のC u配線を介して各L S Iの信号線、電源線及びグランド線が結線される。3次元実装は、2.5次元実装に比べて、結線される配線の長さが短くなり、より高速な情報処理に適している。

【0115】

図9(b)は、インターポザーの一例として、S iインターポザーの断面を示す。S iインターポザーは、厚さが300  $\mu$ mのS i基板を貫通する複数のビア中に電解メッキによりC uを埋め込んだ構造となっている。例えば、それぞれのビアの径は10  $\mu$ mであり、ビアの配置ピッチは40  $\mu$ mとすることができる。本実施形態では、1  $\mu$ m以下の幅を有する配線と、スタックトビア形成が可能であるので、このような小さなピッチのビアを有するインターポザー上にも配線層を高密度で積層することができる。

【0116】

なお、S iインターポザーのC uとS i基板とを絶縁するために、図8(b)に示すように、ビアの内側には、P - S i O<sub>2</sub>膜814とP - S i N膜815とがこの順に成膜され、その内側にC u 813が埋め込まれている。また、それぞれの膜厚は、例えば、P - S i O<sub>2</sub>膜814の厚さは0.5  $\mu$ m、P - S i N膜815の厚さは0.1  $\mu$ mである。また、S iインターポザーの上下面にも、P - S i N膜814とP - S i O<sub>2</sub>膜815とが成膜されている。

【0117】

図9A(a)に示すように、S iインターポザー811の上下面に、スパッタリングにより、膜厚が0.1  $\mu$ mのT i膜821と膜厚が0.3  $\mu$ mのC u膜822aを成膜する。T i膜821は、C uがS i基板中に拡散しないためのバリアメタルの役割を果たす。また、C u膜822aは、以後の電解メッキによりC u層を成長させるためのシードの機能を有する。

【0118】

次に、図9A(b)に示すように、C u膜822aにフォトリソを塗布し、感光及び現像により配線パターン823を形成する。この後、電解メッキを用いて露出しているC u膜822aに電解メッキにより、膜厚が2.2  $\mu$ mのC u層822を成長させる。なお、この場合のC u層822により形成される第1層のC u配線の厚さの設計寸法値は2.0  $\mu$ mとしている。

【0119】

C u層822を成長させた後、配線パターン823を形成するフォトリソを例えば有機溶媒により除去し、図9A(c)の構造を得る。上述したように、有機溶媒の代わりに酸素プラズマによるアッシングを用いることができる。

【0120】

次に、図9A(d)に示すように、酸性の水溶液によって、露出しているC u膜822aの部分とT i膜821の部分とを除去し、C u層822により第1層のC u配線を形成する。露出しているC u膜822aの除去により、C u層822の膜厚は設計寸法の2.0  $\mu$ mに減少させることができる。また、イオンミリングによっても、露出しているC u膜822aの部分とT i膜821の部分とを除去することができる。

【0121】

次に図9A(e)に示すように、第1層のC u配線上にプラズマC V Dにより、膜厚が0.1  $\mu$ mのP - S i N膜824を成膜し、次に膜厚が1  $\mu$ mのP - S i O<sub>2</sub>膜825を形成する。なお、図2A(a)に示す構造が図9A(e)に含まれていると考えることができる。第1層のC u配線の側面にP - S i N膜824、P - S i O<sub>2</sub>膜が形成されるの

10

20

30

40

50

で、平面視上隣接する第1の層のCu配線間の間隔を小さくすることができる。

【0122】

なお、第1層のCu配線密度や配線パターンがインターポザー811の上下面で異なる場合には、配線の残留ストレスが両面で異なり、インターポザー811が一方に反ることがある。この場合には、一方の面のP-SiO<sub>2</sub>膜の厚さを変えるか、膜ストレスを変えることにより、反りを制御できる。例えば、P-SiO<sub>2</sub>膜825の膜ストレスを-200Mpaに調整することができる。

【0123】

次に、第1層のCu配線の表面に存在する酸化銅を実施形態2と同様に除去する。

【0124】

次に、インターポザー811の上面のP-SiO<sub>2</sub>膜825の上に、スピコートにより感光性のポリイミドを厚さがCu配線上で4.7μmとなるように塗布する。実施形態2のようにポリイミド以外の樹脂を用いることができる。

【0125】

塗布したポリイミドをフォトリソにより露光し、現像を行うことにより、インターポザー811の上面側に、第1層のCu配線の上方の必要な位置に開口826aを有するパターン826を形成する。

【0126】

同様に、インターポザー811の下面にも、開口826aを有するパターン826を形成する。

【0127】

その後、ポリイミドを上述の実施形態と同様に硬化させ、図9B(f)の構造を得る。なお、図2A(c)に示す構造が図9B(f)に含まれていると考えることができる。

【0128】

次に、インターポザー811の上面のパターン826をマスクとして使用し、プラズマエッチングにより、P-SiO<sub>2</sub>膜825、P-SiN膜824をエッチングし、第1の接続孔826a、825a、824aを形成する。同様にインターポザー811の下面にも第1の接続孔826a、825a、824aを形成する。この結果、図9B(g)の構造を得る。なお、図2A(d)に示す構造が図9B(g)に含まれていると考えることができる。

【0129】

その後、第1の接続孔の側壁や底部に付着したSiやFを含む炭素化合物を除去し、酸化したCu表面を除去し、プラズマエッチングによりダメージを受けたポリイミドを回復させるために熱処理を行うことは実施形態2と同様である。

【0130】

次に、スパッタリングにより、インターポザー811の上面側に膜厚が0.1μmとなるTi膜と膜厚が0.3μmとなるCu膜827とを成膜する。インターポザー811の下面側にも同様のTi膜とCu膜827とを成膜する。その後、インターポザー811の上面側のCu膜827にフォトリソを塗布し、露光及び現像により配線パターン828を形成する。同様にインターポザー811の下面側にも配線パターン828を形成する。そして、電解メッキを用いて露出しているCu膜827上に2.2μmの厚さのCu層829を成長させ、図9C(h)の構造を得る。なお、Cu配線の設計寸法値は例えば2.0μmとする。

【0131】

次に、上述の実施形態と同様の方法により、配線パターン828を形成するフォトリソを除去し、露出しているCu膜827、Ti膜を除去し、図9C(i)の構造を得る。露出しているCu膜827の除去により、Cu層829の膜厚を設計寸法値とすることができる。これにより、図9C(i)に示すように、Cu層829により第2層の配線層が形成され、第1層の配線層と接続する。なお、図2C(h)に示す構造が図9C(i)に含まれていると考えることができる。

10

20

30

40

50

## 【0132】

次に、図9D(j)に示すように、インターポザー811の上面側及び下面側に、プラズマCVDによって膜厚が $0.1\mu\text{m}$ のP-SiN膜830を成膜し、その上に膜厚が $1\mu\text{m}$ のP-SiO<sub>2</sub>膜831を成膜する。反応系は、P-SiN膜824及びP-SiO<sub>2</sub>膜825を成膜したときと同様であり、成膜温度もポリイミドのガラス転移温度を越えないようにする。なお、図2A(a)に示す構造が図9D(j)に含まれていると考えることができる。

## 【0133】

成膜の前に、第2層のCu配線の表面から酸化銅を除去するためにCu配線を洗浄すること、また、ポリイミド826から水分を除去することなどは、実施形態2と同様である。

10

## 【0134】

次に、インターポザー811の上面側に膜厚が $4.7\mu\text{m}$ となるように感光性のポリイミドなどを塗布し、露光及び現像により、第2層のCu配線の必要な位置に開口832を有するパターン831を形成する。同様にして、インターポザー811の下面側にもパターン831を形成する。その後、実施形態2のようにポリイミドを硬化させ、ポリイミドをマスクとして用いて、P-SiO<sub>2</sub>膜831及びP-SiN膜830をエッチングし、第二の接続孔832を有する図9D(k)に示す構造を得る。なお、図2A(d)に示す構造が図9D(k)に含まれていると考えることができる。

20

## 【0135】

第2の接続孔832の底部に第2層のCu配線829を露出させた後は、同様の工程を繰り返し、第3層のCu配線を形成し、同様に図9E(l)に示すように、第4層のCu配線、第5層のCu配線を形成することができる。なお、図2A(d)に示す構造が図9E(l)の第五の配線層に含まれていると考えることができる。

## 【0136】

ポリイミドの熱硬化温度を上層ほど低くすることにより、下層のポリイミドへの熱負担が小さくなり、ポリイミド、P-SiN膜、P-SiO<sub>2</sub>膜、Cu配線の熱応力や熱膨張に起因する剥がれや配線の断線が発生しにくくなることや、また、層数が多いときには、熱硬化温度を上層になるに従って低下させ、また、プラズマ成膜などの温度もこれに伴って低下させることが好ましいことも実施形態2と同様である。

30

## 【0137】

また、本実施形態では、インターポザー811の両面に同じ層数のCu配線を形成したが、必要に応じて、インターポザー811の上面、下面とで層数を異なるようにすることもできる。

## 【0138】

なお、本実施形態において、実施形態2において説明したように、Cu配線が第1の無機材料膜および第2の無機材料膜に覆われていない層があってもよい。また、上下の層のCu配線と接続されてないCu配線を隣接する層に配置せずに別の層を介在させてもよい。

## 【0139】

(実施例)

図11は、実施例3にて説明した工程により配線構造体を作成したSiインターポザーについて、熱サイクル試験を実施したときの不良率を示すグラフである。この熱サイクル試験においては、Siインターポザーの上面及び下面のそれぞれに、ビア接続部を介した4層からなるスタックビアチェーン(チェーン数:1000)を用いた。 $-25$  から  $125$  の温度サイクルを3000回繰り返し、チェーン抵抗が20%以上上昇したとき、その配線構造体は不良である判定した。

40

## 【0140】

測定サンプルは、接続孔の径を $0.5\mu\text{m}$ と $20\mu\text{m}$ の2種とした。接続孔の径 $0.5\mu\text{m}$ はポリイミドの露光及び現像における、解像限界である。 $20\mu\text{m}$ 径は微細化のメリ

50

ットがある最大径である。接続孔において P - S i O<sub>2</sub> の膜厚の割合を変化させた。P - S i O<sub>2</sub> の膜厚比は、P - S i N の膜厚 ( 0 . 1 μ m で固定 ) を含んで比率を算出した。

【 0 1 4 1 】

ここに、P - S i O<sub>2</sub> の膜厚比とは、[ P - S i O<sub>2</sub> の膜厚 / ( P - S i O<sub>2</sub> の膜厚 + ポリイミドの膜厚 ) ] により算出される。すなわち、図 1 0 を参照すると、第 1 層の配線 1 0 0 3 の上端から第 2 層の配線 1 0 0 8 の下のバリアメタルの下端までの距離、すなわち、接続孔の高さ、を X とし、第 1 層の配線 1 0 0 3 の上端と第 2 層の配線 1 0 0 8 の下のバリアメタルの下端との間における P - S i O<sub>2</sub> の膜厚を Y とした場合の、Y / X として算出される値である。すなわち、Y / X は、接続孔の高さ ( 接続孔が絶縁層を貫通する長さ ) に対する P - S i O<sub>2</sub> の割合である。

10

【 0 1 4 2 】

図 1 1 に示すように、Y / X が増加するに従って不良率が低下した。接続孔径が 2 0 μ m のとき、Y / X が 2 0 % で不良率が 0 % となった。接続孔径が 0 . 5 μ m のとき、Y / X が 3 0 % で不良率が 0 % となった。この結果から、接続孔における P - S i O<sub>2</sub> の膜厚比は 2 0 % 以上が好ましく、より好ましくは 3 0 % 以上が好ましいといえる。厳密には Y / X には P - S i N の膜厚を含んで算出されるので、S i を含有した無機材料膜の膜厚が 2 0 % 以上となることが好ましいともいえる。ただし、P - S i O<sub>2</sub> の膜厚比が大きくなると、上下の配線容量が増大し、また、インピーダンス整合が取り難くなるので、上限としては 8 0 % 以下となることが好ましい。

【 0 1 4 3 】

20

図 1 2 は実施例 3 にて説明した工程により配線構造体を作成した S i インターポーザーについて、上記の熱サイクル試験を実施したときの不良率を示したものである。測定サンプルは、接続孔の径を 0 . 5 μ m と 2 0 μ m の 2 種とし、接続孔の高さを約 5 ~ 2 0 μ m の範囲で変化させた。接続孔径 0 . 5 μ m のとき、接続孔の高さに対する P - S i O<sub>2</sub> の膜厚比 ( P - S i N の膜厚 0 . 1 μ m を含む ) Y / X を 2 0 % と 3 0 % とした。また、接続孔径 2 0 μ m のとき、接続孔の高さに対する P - S i O<sub>2</sub> の膜厚比 ( P - S i N の膜厚 0 . 1 μ m を含む ) を 1 0 % と 2 0 % とした。

【 0 1 4 4 】

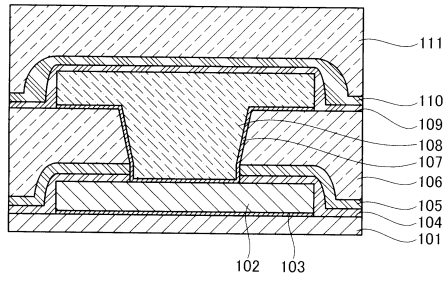
接続孔の径が 0 . 5 μ m 、膜厚比が 2 0 % のとき、不良率は接続孔の高さに依存せず約 1 8 % であった。膜厚比を 3 0 % に増やすと、いずれの接続孔の高さでも不良率は 0 % となった。また、接続孔の径が 2 0 μ m 、膜厚比 1 0 % のとき、不良率は接続孔の高さに依存せず約 1 5 % であった。膜厚比を 2 0 % に増やすと、いずれの接続孔高さでも不良率は 0 % となった。

30

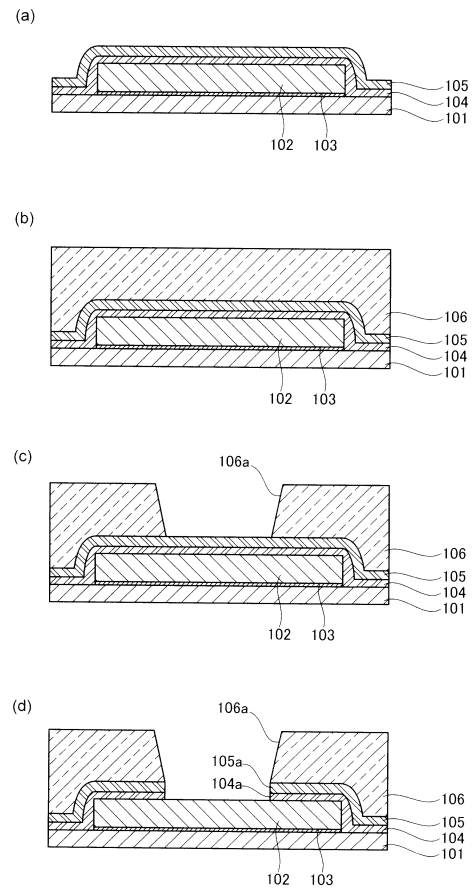
【 0 1 4 5 】

以上の結果から、接続孔径が 0 . 5 μ m 以上 2 0 μ m 以下の範囲では、接続孔の高さは不良率には影響しないことが分かった。接続孔の高さが変化しても P - S i O の膜厚比が同じであれば、P - S i O の高い弾性率によってポリイミドの熱膨張が抑制される。また、P - S i O とバリアメタルの強い密着力も接続孔内の C u の引っ張り応力を軽減し、ビア接続孔の下部におけるボイド形成を抑制して不良率を低下させていると考えられる。

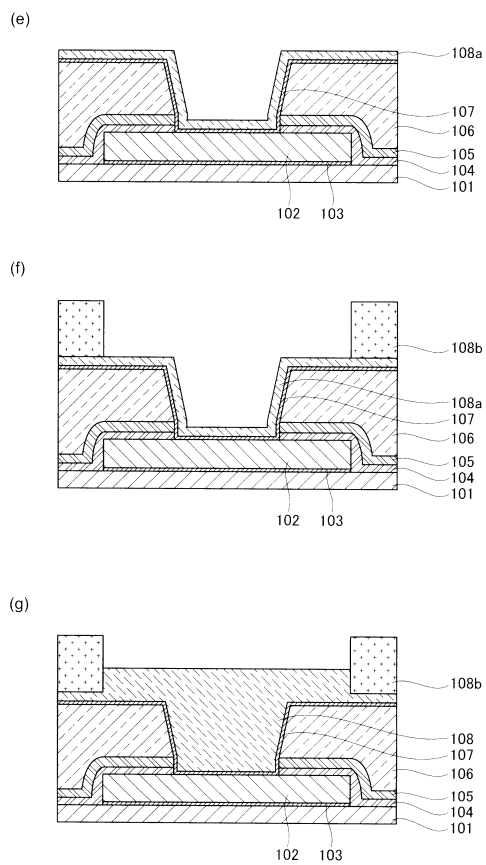
【図 1】



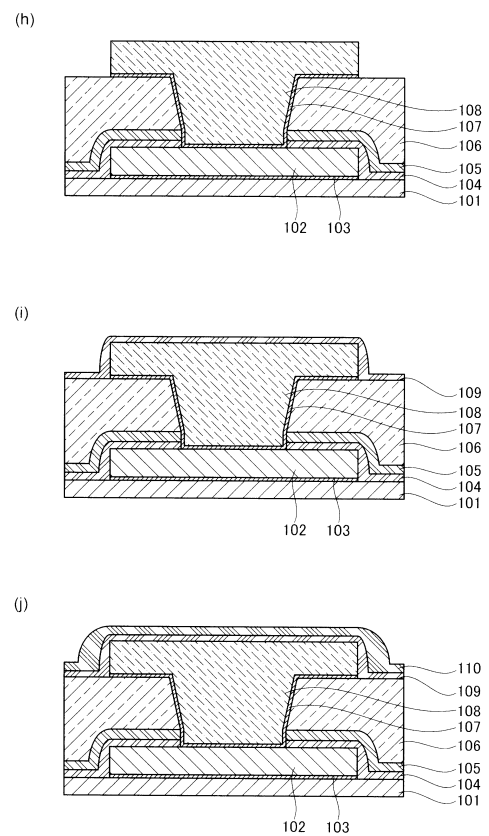
【図 2 A】



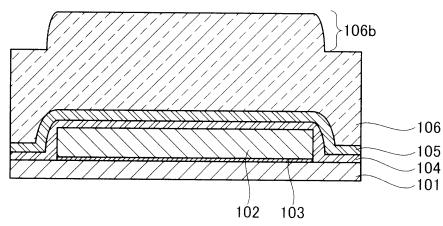
【図 2 B】



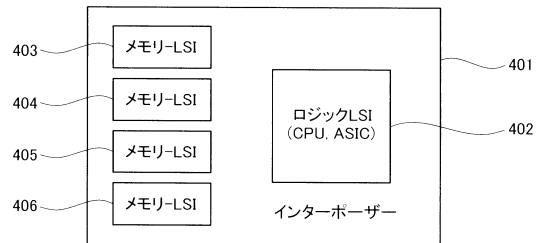
【図 2 C】



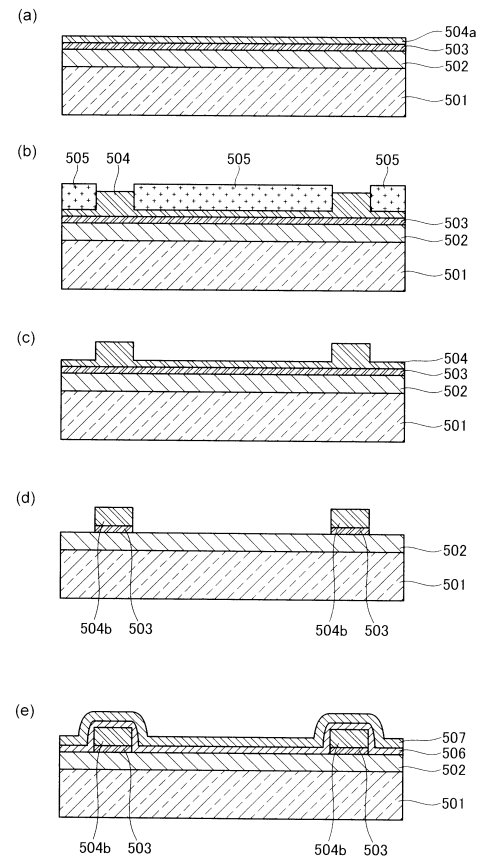
【図 3】



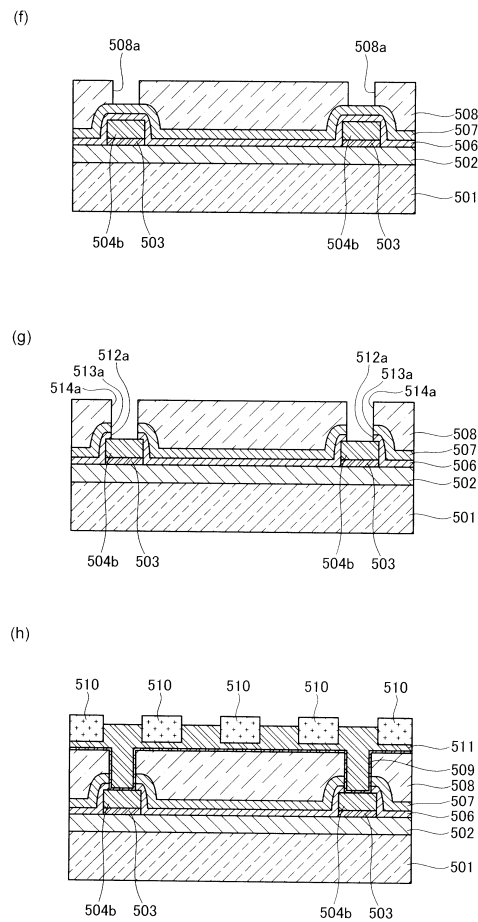
【図 4】



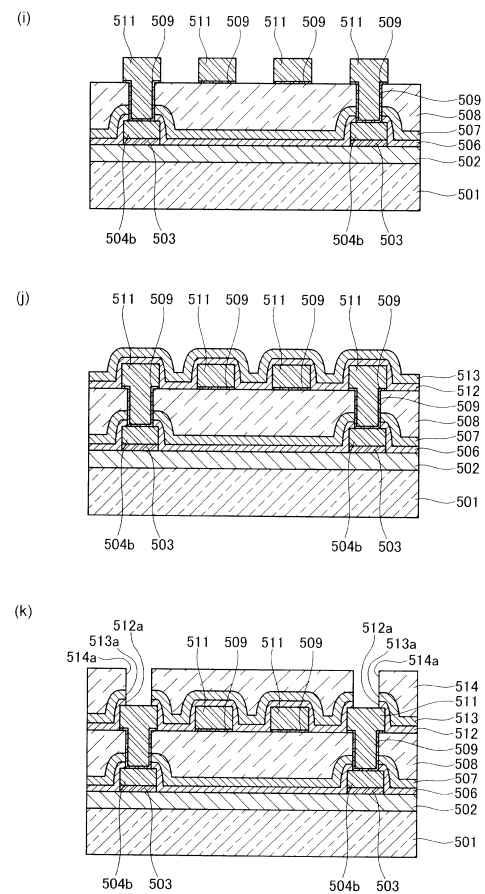
【図 5 A】



【図 5 B】

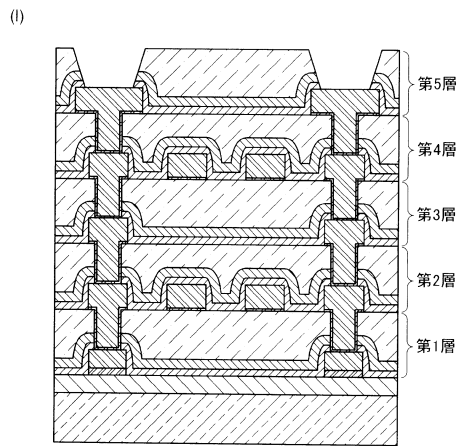


【図 5 C】

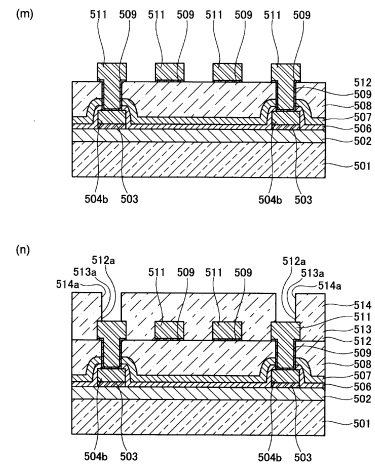




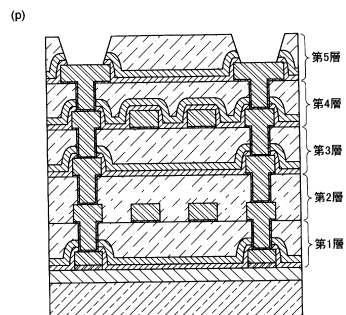
【図 5 D】



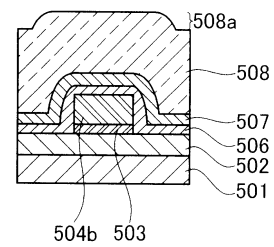
【図 5 E】



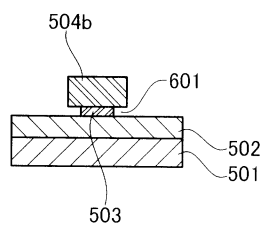
【図 5 F】



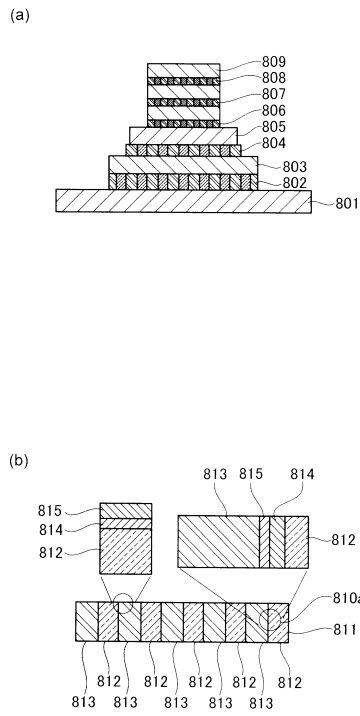
【図 7】



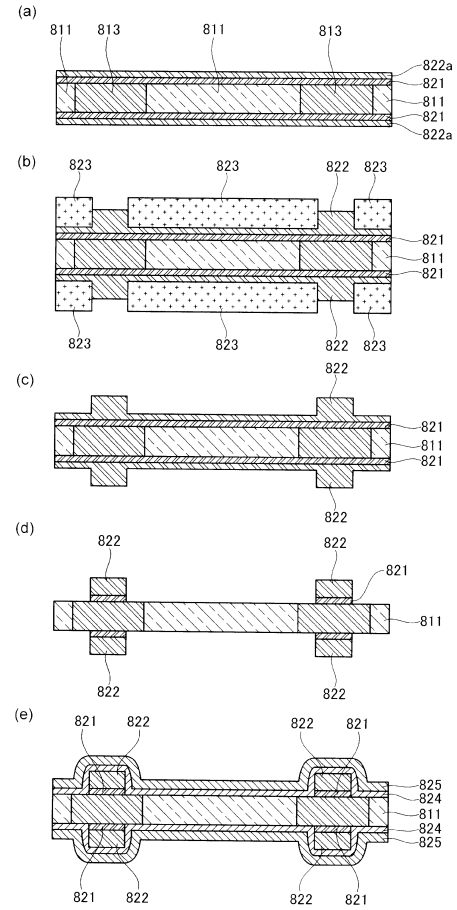
【図 6】



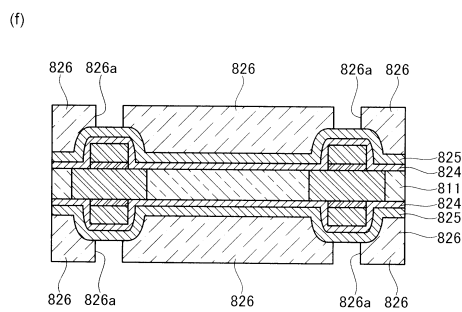
【図 8】



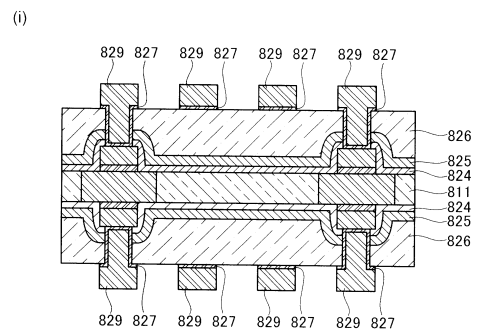
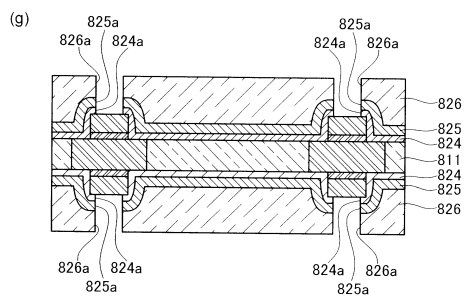
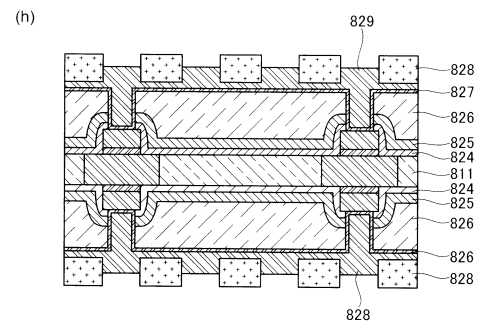
【図 9 A】



【図 9 B】

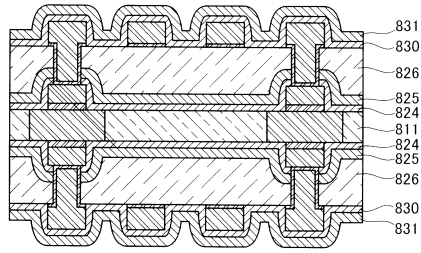


【図 9 C】



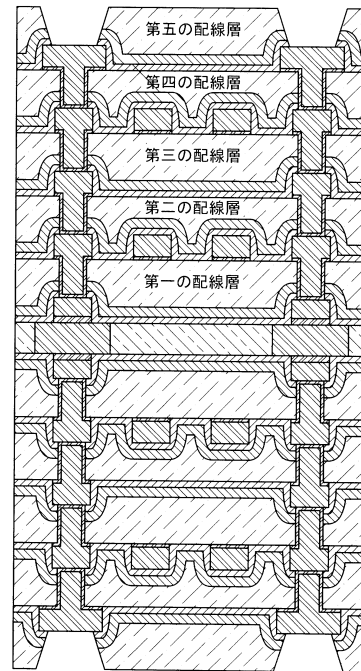
【図 9 D】

(j)

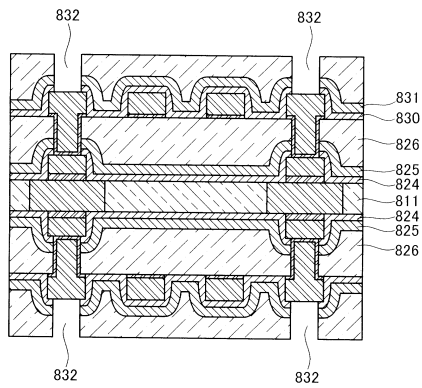


【図 9 E】

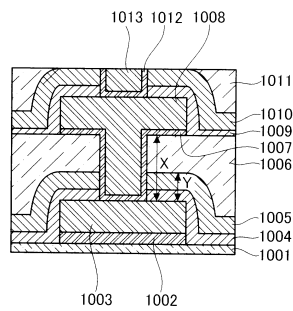
(l)



(k)

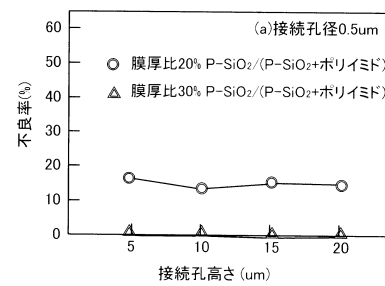


【図 10】

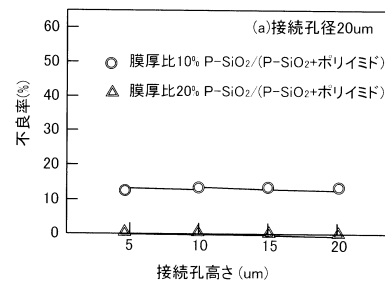


【図 12】

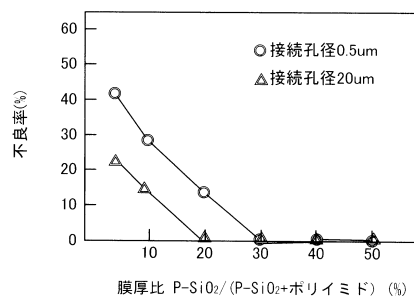
(a)



(b)



【図 11】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 3 3 2 1 0 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 3 2 4 3 0 1 ( J P , A )  
特開 2 0 1 2 - 1 1 4 4 0 0 ( J P , A )  
国際公開第 0 0 / 0 4 4 0 4 3 ( W O , A 1 )  
特開 2 0 0 1 - 2 1 0 8 3 3 ( J P , A )  
米国特許第 0 6 2 9 1 3 3 1 ( U S , B 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 1 7 5 0 2 3 ( U S , A 1 )  
特開平 1 1 - 1 6 8 1 4 1 ( J P , A )  
特開平 0 2 - 1 2 5 4 4 7 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 3 5 4 6 3 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 2 1 6 2 6 4 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 0 1 6 5 0 2 ( J P , A )  
特開 2 0 0 5 - 1 8 3 7 6 6 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 1 5 3 1 2 6 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 0 9 / 0 8 4 3 0 1 ( W O , A 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L	2 3 / 3 2
H 0 1 L	2 3 / 1 2
H 0 1 L	2 3 / 1 4
H 0 5 K	3 / 4 6