

明 細 書

発明の名称：

ガラス基板、多層配線基板、およびガラス基板の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、ガラス基板、多層配線基板、およびガラス基板の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、回路基板を積層した三次元実装技術が用いられている。このような実装技術においては、回路基板に貫通電極を形成することが行われる。貫通電極は、絶縁体で構成された基板に貫通孔を形成し、この貫通孔に導電体を配置することによって形成される。回路基板の高集積化に伴い、貫通孔についても更なる微細化が必要となる。

[0003] 例えば、特許文献1は、板状ガラスにエキシマレーザ光を照射して複数の貫通孔を有するガラス基板を提供する技術を開示している。特許文献2は、UVレーザビームによってガラス品の前面を照射する工程を含む、ガラスに孔の高密度アレイを作製する方法を開示する。また、特許文献3は、貫通孔を含む基板と、前記貫通孔の内側面に沿って配置された導電体と、を備え、前記貫通孔は、前記第1面から前記第2面までの区間のうち前記第1面から6.25%、18.75%、31.25%、43.75%、56.25%、68.75%、81.25%、93.75%の距離の位置における前記貫通孔の中心軸に対する内側面の傾斜角度（前記第1面側が拡がる角度を正の傾斜角度とする）の合計値が、8.0°以上である条件を満たす貫通孔の形状を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2010/087483号

特許文献2：特表2014-501686号公報

特許文献3：特許第6809511号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1から3に記載された内容で貫通孔は、貫通孔の側面粗さによる、貫通電極の伝送特性への影響については、検討されていない。このため、特許文献1から3に記載された貫通孔の側面は、側面の分散粗さは1,000nm以上となり、PV (Peak to Valley) は1,500nm以上となっている。このため、特に、5Gに用いられる周波数帯の内、サブ6GHz帯といった高周波数帯では、貫通孔側面の粗さが原因となり、貫通電極の伝送特性を十分良好に保つことが難しい。

[0006] そこで、本発明では、良好な伝送特性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記の課題を解決するため、代表的な本発明のガラス基板の一つは、第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えており、前記貫通孔の側面は、分散粗さが1,000nm以下かつ凹凸巾が1,500nm以下である。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、良好な伝送特性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を提供することが可能となる。

上記した以外の課題、構成および効果は、以下の発明を実施するための形態における説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1] 図1は、円錐台形状の貫通孔の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。

[図2]図2は、X形状の貫通孔の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。

[図3]図3は、貫通孔の側面粗さの測定方法を示す図である。

[図4]図4は、円錐台形状の貫通孔の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。

[図5]図5は、第一実施形態における実施例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図6]図6は、第一実施形態における実施例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図7]図7は、第一実施形態における実施例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図8]図8は、第一実施形態における比較例1の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図9]図9は、第一実施形態における比較例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図10]図10は、第一実施形態における比較例2の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図11]図11は、第一実施形態における比較例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図12]図12は、第一実施形態における比較例3の貫通孔の形状を示す図である。

[図13]図13は、第一実施形態における比較例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図14]図14は、第一実施形態における、実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較例1の貫通電極の伝送特性を示す図である。

[図15A]図15Aは、第一実施形態における各実施例および各比較例の貫通孔の断面のSEM画像である。

[図15B]図15Bは、第一実施形態における各実施例の貫通孔の稜線を説明す

る図である。

[図16]図16は、第一実施形態に係る多層配線基板の構造の一例を示す図である。

[図17]図17は、第一実施形態に係る多層配線基板の構成の他の例を示す図である。

[図18]図18は、ガラス基板を第一支持体に張り合わせる工程を示す図である。

[図19]図19は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。

[図20]図20は、第一配線層を形成する工程を示す図である。

[図21]図21は、第二支持体を接着する工程を示す図である。

[図22]図22は、第一支持体を剥離する工程を示す図である。

[図23]図23は、貫通孔を形成する工程を示す図である。

[図24]図24は、貫通電極を形成する工程を示す図である。

[図25]図25は、絶縁樹脂層を形成する工程を示す図である。

[図26]図26は、第二支持体および第二接着層を剥離する工程を示す図である。

[図27]図27は、第一配線層および第二配線層を形成する工程を示す図である。

[図28]図28は、第二実施形態における多層配線基板の構成の一例を示す図である。

[図29]図29は、第二実施形態における多層配線基板の構成の他の例を示す図である。

[図30]図30は、ガラス基板を準備する工程を示す図である。

[図31]図31は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。

[図32]図32は、貫通孔を形成する工程を示す図である。

[図33]図33は、貫通孔に貫通電極を形成する工程を示す図である。

[図34]図34は、第一配線層および第二配線層を形成する工程を示す図である。

[図35]図35は、第二実施形態における実施例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図36]図36は、第二実施形態における実施例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図37]図37は、第二実施形態における実施例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図38]図38は、第二実施形態における比較例1の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図39]図39は、第二実施形態における比較例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図40]図40は、第二実施形態における比較例2の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図41]図41は、第二実施形態における比較例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図42]図42は、第二実施形態における比較例3の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図43]図43は、第二実施形態における比較例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図44]図44は、第一実施形態における、実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較例1の貫通電極の伝送特性を示す図である。

[図45]図45は、半導体装置とBGA基板のインターポーザ基板として、多層配線基板を用いる場合を示す図である。

[図46]図46は、図45の場合の断面を示す図である。

[図47]図47は、通信用の電子デバイスに多層配線基板および半導体装置が用いられる場合を示す図である。

[図48]図48は、図47の場合の断面を示す図である。

[図49]図49は、円錐台形状の貫通孔の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。

[図50]図50は、貫通孔の側面粗さの測定方法を示す図である。

[図51]図51は、第一実施形態（付記1）における実施例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図52]図52は、第一実施形態（付記1）における実施例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図53]図53は、第一実施形態（付記1）における実施例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図54]図54は、第一実施形態（付記1）における比較例1の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図55]図55は、第一実施形態（付記1）における比較例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図56]図56は、第一実施形態（付記1）における比較例2の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図57]図57は、第一実施形態（付記1）における比較例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図58]図58は、第一実施形態（付記1）における比較例3の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図59]図59は、第一実施形態（付記1）における比較例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図60A]図60Aは、表4をグラフにして示す図である。

[図60B]図60Bは、貫通電極を形成した場合を示す模式的に示す図である。

[図61A]図61Aは、第一実施形態（付記1）における各実施例および各比較例の貫通孔の断面のSEM画像を示す図である。

[図61B]図61Bは、第一実施形態（付記1）における各実施例の貫通孔の稜線を説明する図である。

[図61C]図61Cは、第一実施形態（付記1）における貫通孔に貫通電極を形成した場合を示す図である。

[図62]図62は、実施形態における実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較

例 1 の貫通電極の伝送特性を示す図である。

[図63]図 6 3 は、第一実施形態（付記 1）に係る多層配線基板 1 の構成の一例を示す図である。

[図64]図 6 4 は、第一実施形態（付記 1）に係る多層配線基板 1 の構成の他の例を示す図である。

[図65]図 6 5 は、ガラス基板を第一支持体に張り合わせる工程を示す図である。

[図66]図 6 6 は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。

[図67]図 6 7 は、第一配線層を形成する工程を示す図である。

[図68]図 6 8 は、第二支持体を接着する工程を示す図である。

[図69]図 6 9 は、第一支持体を剥離する工程を示す図である。

[図70]図 7 0 は、貫通孔を形成する工程を示す図である。

[図71]図 7 1 は、貫通電極を形成する工程を示す図である。

[図72]図 7 2 は、絶縁樹脂層を形成する工程を示す図である。

[図73]図 7 3 は、第二支持体および第二接着層を剥離する工程を示す図である。

[図74]図 7 4 は、第一配線層および第二配線層を形成する工程を示す図である。

[図75]図 7 5 は、半導体素子と BGA 基板のインターポーザ基板として、多層配線基板を用いる場合を示す図である。

[図76]図 7 6 は、図 7 5 の場合の断面を示す図である。

[図77]図 7 7 は、通信用の電子デバイスに多層配線基板および半導体素子が用いられる場合を示す図である。

[図78]図 7 8 は、図 7 7 の場合の断面を示す図である。

[図79]図 7 9 は、本開示において形成される貫通孔および貫通電極の特徴を説明する図である。

[図80]図 8 0 は、円錐台形状の貫通孔の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。

[図81]図 8 1 は、貫通孔の側面粗さの測定方法を示す図である。

[図82]図 8 2 は、第一実施形態（付記 2）における実施例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図83]図 8 3 は、第一実施形態（付記 2）における実施例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図84]図 8 4 は、第一実施形態（付記 2）における実施例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図85]図 8 5 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 1 の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図86]図 8 6 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図87]図 8 7 は、第一実施形態に（付記 2）における比較例 2 の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図88]図 8 8 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図89]図 8 9 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 3 の貫通孔の断面形状を示す図である。

[図90]図 9 0 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図91]図 9 1 は、応用例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図92]図 9 2 は、応用例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図93]図 9 3 は、応用例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[図94A]図 9 4 A は、表 1 9 をグラフにして示す図である。

[図94B]図 9 4 B は、貫通電極を形成した場合を示す模式的に示す図である。

[図94C]図 9 4 C は、本開示において形成される貫通孔および貫通電極の特徴を説明する図である。

[図95A]図 9 5 A は、第一実施形態（付記 2）における各実施例および各比較例の貫通孔の典型的な断面形状の S E M 画像を示す図である。

[図95B]図95Bは、第一実施形態（付記2）における各実施例および各比較例の貫通孔の断面のSEM画像を示す図である。

[図95C]図95Cは、第一実施形態（付記2）における各実施例の貫通孔の稜線を説明する図である。

[図95D]図95Dは、第一実施形態（付記2）における貫通孔に貫通電極を形成した場合を示す図である。

[図96]図96は、第一実施形態（付記2）における実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較例1の貫通電極の伝送特性を示す図である。

[図97]図97は、第一実施形態（付記2）における多層配線基板の構成の一例を示す図である。

[図98]図98は、第一実施形態（付記2）における多層配線基板の構成の他の例を示す図である。

[図99]図99は、ガラス基板を第一支持体に張り合わせる工程を示す図である。

[図100]図100は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。

[図101]図101は、第一配線層を形成する工程を示す図である。

[図102]図102は、第二支持体を接着する工程を示す図である。

[図103]図103は、第一支持体を剥離する工程を示す図である。

[図104]図104は、貫通孔を形成する工程を示す図である。

[図105]図105は、貫通電極を形成する工程を示す図である。

[図106]図106は、絶縁樹脂層を形成する工程を示す図である。

[図107]図107は、第二支持体および第二接着層を剥離する工程を示す図である。

[図108]図108は、第一配線層および第二配線層を形成する工程を示す図である。

[図109]図109は、半導体素子とBGA基板のインターポーザ基板として、多層配線基板を用いる場合を示す図である。

[図110]図110は、図109の場合の断面を示す図である。

[図111]図1 1 1は、通信用の電子デバイスに多層配線基板および半導体素子が用いられる場合を示す図である。

[図112]図1 1 2は、図1 1 1の場合の断面を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に示す実施形態及び実施例は本発明の実施形態の一例であって、本発明はこれらの実施形態及び実施例に限定して解釈されるものではない。なお、本発明の実施形態で参照する図面において、同一部には同一の符号または類似の符号（数字の後にA、B等を付しただけの符号）を付し、その繰り返しの説明は省略する場合がある。また、図面の寸法、比率の説明は、説明や表記の都合上実際の比率と異なったり、構成の一部から省略されたりする場合がある。

[0011] 図面において示す各構成要素の位置、大きさ、形状、範囲なども、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、範囲などを表していない場合がある。このため、本発明は、必ずしも、図面に開示された位置、大きさ、形状、範囲などに限定されない。

[0012] なお、本開示において、「面」とは、板状部材の面のみならず、板状部材に含まれる層について、板状部材の面と略平行な層の界面も指すことがある。また、「上面」、「下面」とは、板状部材や板状部材に含まれる層を図示した場合の、図面上の上方又は下方に示される面を意味する。なお、「上面」、「下面」については、「第一面」、「第二面」と称することもある。

[0013] また、「側面」とは、板状部材や板状部材に含まれる層における面や層の厚みの部分を意味する。さらに、面の一部及び側面を合わせて「端部」ということがある。

また、「貫通孔の側面」とは、物体に設けられた貫通孔について、貫通孔を形成している物体上の界面を意味する。

また、「上方」とは、板状部材又は層を水平に載置した場合の垂直上方の方向を意味する。さらに、「上方」及びこれと反対の「下方」については、

これらを「Z軸プラス方向」、「Z軸マイナス方向」ということがあり、水平方向については、「X軸方向」、「Y軸方向」ということがある。

[0014] さらに、Z軸方向の距離を「高さ」と称し、X軸方向とY軸方向で規定されるXY平面上の距離を「幅」と称する。また、層状の物体に対して高さを言う場合、「厚み」とも称する。

また、「ガラス基板に設けた貫通電極」とは、ガラス基板を多層配線基板の一部として用いる場合に、ガラス基板の第1面及び第二面を電氣的に導通するために設けた導電経路を意味し、必ずしも、ガラス基板を単一の導電材料で完全に貫通している必要はない。第1面からの導電通路と第二面からの導電通路が接続されていれば、貫通電極に含まれる。さらに、貫通電極の形態は、貫通孔（有底のものも、完全な貫通のものも、いずれの形態をも含む）を導電材料で埋め込んだフィルド型でもよいし、貫通孔の側壁部分のみを導電材料で覆ったコンフォーマルのいずれをも含む。

[0015] また、「平面形状」、「平面視」とは、上方から面又は層を視認した場合の形状を意味する。さらに、「断面形状」、「断面視」とは、板状部材又は層を特定の方向で切断した場合の水平方向から視認した場合の形状を意味する。

さらに、「中心部」とは、面又は層の周辺部ではない中心部を意味する。そして、「中心方向」とは、面又は層の周辺部から面又は層の平面形状における中心に向かう方向を意味する。

[0016] <測定方法>

本発明の第一実施形態、第二実施形態に係るガラス基板に設けた貫通孔の形状を説明するために、まず、貫通孔12の傾斜角度の測定方法、側面粗さの測定方法を以下に示す。

[0017] ここで、ガラス基板貫通孔の側壁の位置による傾斜角を測定し、その値を記述するにあたっての注意点を示す。

貫通孔における特定の位置を、ガラス基板の片面からの深さ方向の位置で指定した場合、その位置での側面の角度は、その位置での側面表面の形状を

どの程度のスケールにて観察するかに大きく依存する。

つまり、ガラス基板の貫通孔全体を俯瞰するようなスケールにて、側壁のある位置での側壁の傾斜角を観察した場合と、測定点付近の側壁を拡大し、その位置での側壁の微小な凹凸が明瞭となり、角度を指定した点が、その凹凸のどこに相当するかを厳密に判定して、その位置での接線の傾斜角をもって、目的の角度とする場合とでは、結果が大きく異なる可能性がある。

本開示におけるガラス基板貫通孔の傾斜角とは、前者にあたるものであり、側面表面の凹凸に過度に影響されることなく、貫通孔全体を俯瞰的に見た場合の傾向を反映した傾斜角を意味する。

測定法の一例として、貫通孔全体が俯瞰でき、かつ、側面の表面の微細な凹凸が目視できないスケール、解像度での断面写真において、測定点およびその近傍での傾斜の傾向をできるだけ反映するように測定点における接線を設定することが挙げられる。

[0018]（貫通孔の傾斜角度の測定方法（円錐台形状））

まず、図1に本発明の第一実施形態で得られる貫通孔12の形状を説明している。図1は、円錐台形状の貫通孔12の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。図1に示される貫通孔12の断面は、貫通孔12を第一面101側より、ガラス基板の厚さ方向においてスクライブにて切断（裁断）して断面（裁断面）を出し、SEM（Scanning Electron Microscope：走査電子顕微鏡）によって観察されたSEM画像を画像解析ソフトを使用して解析したものである。図1において、パターン模様で示した箇所がガラス基板10を示している。図1に示す貫通孔12の形状は円錐台形状をしており、貫通孔12は第二面102側に貫通孔の径が極小となる極小値を持つ。なお、図1に示される目盛り5%、10%、・・・95%は、ガラス基板10の第一面101から第二面102までの長さを割合で示している。

ガラス基板10の第二面102側の開口部の中心部に、第二面102と垂直になるように中心線TCを引く。次に、矢印に示されるように中心線TCを貫通孔12の両側のいずれか一方に向かって平行移動させ、平行移動させ

た中心線TCが貫通孔12の径が極小値を取る点と接触させ、接触させた点を基準点RPとする。そして、基準点RPから5%から95%のそれぞれの目盛り位置の高さの断面の位置に接線ssを引き、接線ssの傾斜角度を測定し、その傾斜角度を、5%から95%のそれぞれの断面の位置における傾斜角度であるとする。なお、傾斜角度は、貫通孔12の径が上方に向けて広がる方向を正とする。

[0019] 上述のように、第一実施形態においては、傾斜角度の測定方法は、(1) 貫通孔12の中心線を作成する、(2) 中心線を開口部が極小値となる位置に水平移動し基準点を作成する、(3) 基準点から貫通孔の特定の位置に接線を引き角度を測定する、という手順(1)から(3)を含む。特に(2) 基準点を作成する手順を用いることにより、貫通孔全体を俯瞰するようなスケールでかつ側壁の微細な凹凸の影響を受けない信頼性の高い測定を行うことができる。

[0020] なお、具体的な傾斜角度測定では、貫通孔12を第一面101側より、スクライブおよび精密ブレイカーを使用し、貫通孔12を中央部で割断(裁断)して、貫通孔12の断面を表出させる。割断の方法としては、例えば3点曲げを適用することができる。その後、表出した断面についてSEM観察を実施し、断面のSEM画像を画像解析することによって、貫通孔12の角度測定を実施している。

[0021] (貫通孔の傾斜角度の測定方法(X形状))

次に、図2を参照して、本発明の第二実施形態で得られる貫通孔12の形状における傾斜角度の測定方法について説明する。

図2は、高さ方向の中央部がくびれた砂時計形状(以下、「X形状」ともいう。)の貫通孔12の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。図2に示される貫通孔12の断面は、貫通孔12を第一面101側からスクライブにて割断して断面を表出させ、SEM(Scanning Electron Microscope: 走査電子顕微鏡)によって観察されたSEM画像を画像解析したものである。図2(a)および図2(b)において、貫通孔12の中心を通過する面

で断面とした様子を示しており、図1と同様に、パターン模様で示した箇所がガラス基板10を示している。また、図2(a)および(b)に示される目盛り5%、10%、・・・95%は、ガラス基板10の第一面101から第二面102までの長さを割合で示している。

[0022] 図2に示す貫通孔12の形状は、目盛り50%の位置でほぼ上下対称の構造を持つ。貫通孔12の側面の傾斜角度の測定方法について、第一面101からの距離が5%から50%までの区間に関しては、図2(a)に示されるように、ガラス基板10の第一面101側の開口部の中心部に、第一面101と垂直になるように中心線TCを引く。次に、矢印に示されるように中心線TCを貫通孔12の両側に向かって平行移動させ、貫通孔12の径が極小値をとる点と接触させ、接触した点を基準点RPとする。そして、基準点RPから5%から50%のそれぞれの目盛りの位置の高さの断面の位置を結ぶ直線である接線ssを引き、接線ssの傾斜角度を測定し、その傾斜角度を、5%から50%のそれぞれの断面の位置における傾斜角度であるとする。傾斜角度は、貫通孔12の径が上方または下方に向けて広がる方向を正とする。

[0023] 同様に、第一面101からの距離が50%から95%までの区間に関しては、図2(b)に示されるように、ガラス基板10の第二面102側の開口部において、開口部の中心部に第二面102と垂直になるように中心線TCを引く。次に、矢印に示されるように中心線TCを貫通孔12の両側のいずれか一方に向かって平行移動させ、貫通孔12の径が極小値を取る点と接触させ、接触した点を基準点RPとする。そして、基準点RPから50%から95%それぞれの目盛りの位置の高さの断面の位置に接線ssを引き、接線ssの傾斜角度を測定する。平行移動した中心線TCから接線ssに向かう方向は、図2(a)においては5%から50%の区間の場合は紙面を見て右回りを正とした。一方、図2(b)においては50%から95%までの領域では平行移動した中心線TCから接線ssに向かう方向は紙面を見て左回りであるため、傾斜角度は負の値で表示することとする。

[0024] (側面粗さの計測方法)

続いて、貫通孔 1 2 の側面粗さの測定方法について説明する。貫通孔 1 2 の側面粗さに測定については、側面角度の測定と同様に貫通孔 1 2 の断面を S E M によって観察し、観察された S E M 画像を画像解析ソフトを使用して解析する。貫通孔の側面粗さを計測するためには、通常は、貫通孔の第一面 1 0 1 から第二面 1 0 2 に至る範囲を測定範囲とする。ただし、仮に、貫通孔に凹凸が存在している場合には、当該凹凸部を除いた範囲を2つ以上の測定範囲として設定し、それらの測定範囲の結果を平均して側面粗さとする。また、側面粗さの算出に当たっては、同じ条件で作成した貫通孔 5 つ (サンプル数 $n = 5$) について、同様の測定を行い、これらの平均値を当該条件で作成した貫通孔の側面粗さとして規定する。

図 3 は、貫通孔の側面粗さの測定方法を示す図である。図 3 (a) は、貫通孔 1 2 の断面の S E M 画像を示す。図 3 (b) は、貫通孔 1 2 の断面を観察した S E M 画像より、貫通孔 1 2 の側面の輪郭を抽出した図を示す。抽出された輪郭データより平均分散粗さおよび凹凸巾の測定を実施する。図 3 (c) は、平均分散粗さの計算式および凹凸巾を模式的に示す図である。図 3 (b) において抽出された輪郭データに関し、第一面 1 0 1 を基準として設定した設定領域 L において、輪郭の粗さを示す粗さ曲線 $f(x)$ を測定する。平均分散粗さ (以下、単に「分散粗さ」ともいう。) $R a$ は、式 (1) に示されるように、粗さ曲線 $f(x)$ の絶対値を 2 乗したものを、設定領域 L にわたって積分したうえで設定領域 L の長さで割ったものである。また、ラフネス幅 (以下、「凹凸巾」ともいう。) a は、粗さ曲線 $f(x)$ のうち、粗さの最大値を示すピーク部と粗さの最小値を示すボトム部との差である。

なお、一つ貫通孔において、複数の粗さ曲線 $f(x)$ が設定された場合には、それらから算出された粗さの値の平均値によって当該貫通孔の平均粗さを算出することとなる。

[0025] (伝送特性の測定方法)

伝送特性の測定には、入力波に対する伝搬波の度合いの周波数依存性を示

すSパラメータ（S21）を用いる。S21は電力比（透過波電力／入力波電力）の対数で表され、絶対値が小さいほうが伝送損失が小さいことを示す。

Sパラメータ（S21）の測定にはネットワークアナライザを用いた。測定サンプルとしては、ガラス基板に形成した貫通電極11の周辺を導体で囲み、導体を接地した状態としたものを作製し、これによって、貫通電極11の第一面101側から第二面102側の間におけるS21を測定した。

[0026] <第一実施形態に係る実施例及び比較例>

次に、図4を用いて、第一実施形態での貫通孔12に形状について説明する。図4は、円錐台形状の貫通孔12の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。第一実施形態では、後述する図23に示されるように、レーザ改質部65が形成されたガラス基板10に対して、ガラス基板10の第一面101側からエッチングが行われる。このため、形成された貫通孔12は、第一面101から第二面102に向かって径が窄まる円錐台形状を有する。貫通孔12の側面の傾斜角度は、ガラス基板10に対するレーザ加工条件、エッチング条件によって変化する。

本発明の各実施例では、表1に示すパルス幅およびショット数の照射条件によってガラス基板にレーザ加工を行い、その後のエッチングにより貫通孔12を形成している。第一実施形態における実施例1においてはパルス幅が5psかつショット数が1、実施例2においてはパルス幅が15psかつショット数が1、実施例3においてはパルス幅が25psかつショット数が1である。

また、比較例は、第一実施形態に示した製造方法とレーザ加工方法を変更して作成した貫通孔である。つまり、比較例1においてはパルス幅が30psかつショット数が1、比較例2においてはパルス幅が30nsかつショット数が50、比較例3においてはパルス幅が50μsかつショット数が5であるものを用いている。

なお、各実施例および各比較例のいずれについても、ガラス基板10の第

二面 1 0 2 側の開口径は平均 8 0 μ m であり、この場合、計測値の平均値に標準偏差の 3 倍を加えた値である 3 σ は 4 . 5 μ m 以下であった。また、形成されたレーザ改質部 6 5 の第二面 1 0 2 における開口径について、開口径の最大値 φ_{M a x} と最小値 φ_{M i n} の差は 1 0 μ m 以下であった。

[0027] [表1]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
パルス幅	5ps	15ps	25ps	30ps	30ns	50us
ショット数	1	1	1	1	50	5

[0028] (貫通孔の傾斜角度)

以下、図 5 から図 1 3 を参照して、第一の実施形態における各実施例、比較例の貫通孔の形状、特性形状を説明する。

図 5 は、第一実施形態における実施例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 6 は、第一実施形態における実施例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 7 は、第一実施形態における実施例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 8 は、第一実施形態における比較例 1 の貫通孔の断面形状を示す図である。

図 9 は、第一実施形態における比較例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 1 0 は、第一実施形態における比較例 2 の貫通孔の断面形状を示す図である。

図 1 1 は、第一実施形態における比較例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 1 2 は、第一実施形態における比較例 3 の貫通孔の形状を示す図である。

図 1 3 は、第一実施形態における比較例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[0029] (傾斜角度)

表 2 は、第一実施形態における各実施例および各比較例における貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度を測定した結果を表形式に取りまとめたものである。第一実施形態における各実施例では、貫通孔 1 2 の 5 % から 9 5 % のそれぞれの断面の位置における傾斜角度がほぼ一定となる。第一実施形態における各比較例では、5 % から 9 5 % の各位置で側面の傾斜角度がばらつくことがわかる。

[0030] [表2]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
5%	14.1	9.8	8.1	8.3	10.4	19.6
10%	14.9	9.5	8.5	8.9	9.4	5.1
20%	13.8	9.1	8.3	7.1	8.5	3.4
30%	14.5	9.6	7.7	8.5	7.4	3.1
40%	14.3	8.9	8.6	8.3	9.5	2.4
50%	14.1	10.1	8.1	6.5	9.3	3.7
60%	14.7	9.4	8.2	5.7	2.5	8.5
70%	14.3	9.2	8.9	8.6	8.2	7.6
80%	14.6	9.7	8.5	3.4	3.5	8.7
90%	14.2	9.5	8.4	4.5	2.1	9.4
95%	14.4	9.6	7.8	6.3	3.1	9.2

単位:°

[0031] (平均分散粗さおよび凹凸巾)

次に、表 3 を用いて第一実施形態における各実施例および各比較例に関し、貫通孔 1 2 の側面の平均分散粗さおよび凹凸巾について説明する。表 3 に示されるように、第一実施形態の各実施例では、ガラス基板の厚さ方向における貫通孔 1 2 の裁断面における側面形状の分散粗さが 1 , 0 0 0 n m 以下かつ凹凸巾が 1 , 5 0 0 n m 以下となる。各比較例では、分散粗さが 1 , 5 0 0 n m 以上かつ凹凸巾が 1 , 5 0 0 n m 以上となり、貫通孔側面の粗さに差があることが確認されている。

[0032] [表3]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
分散粗さ	31.6nm	563.6nm	994.5nm	1587.6nm	1685.3nm	1789.5nm
凹凸巾	354.6nm	1083.1nm	1294.5nm	1659.1nm	1689.1nm	1985.4nm

[0033] (伝送特性)

続いて、図 1 4 を用いて、第一実施形態における各実施例および各比較例

の貫通電極の伝送特性について説明する。図14は、第一実施形態における、実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較例1の貫通電極の伝送特性を示す図である。図14において、伝送特性としては、伝送損失S21を測定した結果を示している。なお、実施例1から3は伝送特性が同じ傾向を示したため、代表して実施例1を示している。また、比較例1から3についても伝送特性がほとんど同じ傾向を示したので、代表して比較例1を示している。

なお、貫通孔に電極を形成するためのシード層の形成およびめっき処理等の形成条件は、実施例および比較例のいずれも共通とした。図14に示されるように、いずれの周波数領域においても、実施例の伝送損失のほうが比較例の伝送損失よりも小さいことが示される。したがって、貫通孔の側面については、分散粗さ、凹凸巾の値が小さいほど、貫通孔に形成される貫通電極における損失が小さくなり、伝送特性が良いことが分かる。

[0034] (ガラス基板の厚みを変更した場合の伝送特性)

また、各実施例および各比較例について、ガラス基板10の厚みを変更した場合の伝送特性S21についても測定した。この結果を表4に示す。表4に示されるように、ガラス基板10の厚みを100 μm 、150 μm 、200 μm に設定したうえで、各実施例および各比較例に基づく条件で貫通孔及び貫通電極を作成し、伝送特性を計測した。表4に示されるように、第一実施形態における各実施例では、各比較例に比べ伝送特性S21が良好な値を示していることが確認される。

なお、表4に示す伝送特性は、単一の貫通電極の伝送特性となっており、複数個の貫通電極を必要とする多層配線基板では、単一貫通電極の伝送特性の向上が大きな性能向上につながる。第一実施形態に係る各実施例を使用することで、既存技術と比較し、高周波数帯での貫通電極の良好な伝送特性を実現した多層配線基板を得ることが可能となる。

[0035]

[表4]

同被数	ガラス厚	実施例1		実施例2		実施例3		比較例1		比較例2		比較例3	
		測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定
5GHz	100um	0.0079	良好	0.0082	良好	0.0087	良好	0.0090	良好	0.0090	良好	0.0090	良好
	150um	-0.0083	良好	-0.0087	良好	-0.0091	良好	-0.0098	-	-0.0099	-	-0.0099	-
	200um	-0.0091	良好	-0.0101	良好	-0.0106	良好	-0.0111	-	-0.0112	-	-0.0112	-
10GHz	100um	-0.0140	良好	-0.0148	良好	-0.0151	良好	-0.0157	-	-0.0157	-	-0.0157	-
	150um	0.0143	良好	0.0156	良好	0.0165	良好	0.0169	良好	0.0170	良好	0.0170	良好
	200um	-0.0161	良好	-0.0189	良好	-0.0189	良好	-0.0193	-	-0.0194	-	-0.0194	-
20GHz	100um	0.0293	良好	0.0302	良好	0.0309	良好	0.0314	良好	0.0314	良好	0.0314	良好
	150um	-0.0288	良好	-0.0298	良好	-0.0315	良好	-0.0321	-	-0.0321	-	-0.0321	-
	200um	-0.0312	良好	-0.0379	良好	-0.0352	良好	-0.0357	-	-0.0358	-	-0.0358	-
28GHz	100um	-0.0442	良好	-0.0456	良好	-0.0463	良好	-0.0469	-	-0.0469	-	-0.0469	-
	150um	0.0441	良好	0.0450	良好	0.0468	良好	0.0471	良好	0.0471	良好	0.0471	良好
	200um	-0.0486	良好	-0.0535	良好	-0.0537	良好	-0.0542	-	-0.0544	-	-0.0544	-
56GHz	100um	0.0851	良好	0.0914	良好	0.1040	良好	0.1337	良好	0.1457	良好	0.1517	良好
	150um	-0.0976	良好	-0.1013	良好	-0.1160	良好	-0.1537	-	-0.1875	-	-0.1915	-
	200um	0.1094	良好	0.1213	良好	0.1340	良好	0.1854	良好	0.1984	良好	0.2184	良好
84GHz	100um	-0.1891	良好	-0.2014	良好	-0.2114	良好	-0.2527	-	-0.2727	-	-0.2827	-
	150um	0.2094	良好	0.2212	良好	0.2114	良好	0.2827	良好	0.3127	良好	0.3193	良好
	200um	-0.2114	良好	-0.2421	良好	-0.2114	良好	-0.3027	-	-0.3374	-	-0.3474	-

- [0036] (断面形状)
- 次に、貫通孔12の側面形状について説明する。図15Aは、第一実施形態の各実施例および並びに比較例に関し貫通孔の側面を説明する図である。図15Aは、第一実施形態における各実施例および各比較例の貫通孔の断面のSEM画像を示す図である。
- [0037] SEM画像は、ガラス基板の厚さ方向における貫通孔の裁断面を撮影したものである。図15Aに示されるSEM画像は、倍率は1000倍である（スケールの1目盛りは5μmである）。
- SEM画像において、コントラストが高く白色に見える箇所は、試料表面の傾斜面の角度が切り替わり、傾斜面の稜線となっている領域である。このため、白線で見える箇所は、試料表面の粗さのピークまたはボトムを示す箇所であり、これらの貫通孔の側面に形成されている稜線の存在状況や配置の程度によって、貫通電極の伝送特性に影響を与える貫通孔の側面の粗さを把握することができる。
- [0038] 図15Aに示す第一実施形態の各実施例では、ガラス基板10の第一面101と平行な方向や略平行な方向に延びる白線の稜線が現れて複数視認でき、帯状の縞模様が形成されている。
- ここで、図15Bを参照して、貫通孔の断面の稜線について説明する。図15Bは、第一実施形態における各実施例の貫通孔の稜線を説明する図である。図15B(a)は図15Aの実施例3を拡大して示す図である。また、

図15B(b)は、SEM画像において観察される貫通孔について、側面および断面の稜線を実線で示す図である。

図15B(b)に示される例では、略平行な稜線のうち、稜線の間隔がもっとも広くなる場合は、稜線R11と稜線R12の間である。図15B(b)に示される例では、第一面101と垂直な方向の側面上の稜線の間隔はRs以下である。図15B(a)に示されるように、実施例3においては、稜線の間隔は、15.5 μm 以下である。

同様の手法で、稜線の状況を観察すると、実施例1においては、第一面101と垂直な方向における稜線と稜線の間隔は、2 μm 以上3 μm 以下の範囲である。また、実施例2においては、ガラス基板10の第一面101と垂直な方向における稜線と稜線の間隔は、5 μm 以上6 μm 以下の範囲である。

[0039] また、図15Aから明らかなように、第一実施形態における実施例3から1に変化するにつれて、つまり、貫通孔の側面の平滑度である分散粗さが小さくなるにつれて、貫通孔12の側面において、ガラス基板10の第一面101に平行な方向に延びる稜線として視認できる白線が緻密になり、稜線と稜線との間隔が狭くなる。これとは反対に、分散粗さが大きくなるほど（すなわち、実施例1から実施例3に変化し、更に、比較例1から3に変化するにつれて、稜線と稜線との間隔が大きくなるとともに、第一面101と平行ではない方向に延びる稜線も増えてくる。そして、更には、第一面101と垂直な方向に延びる稜線や第一面101と平行な方向と垂直な方向との間の方向（以下、「斜方向」ともいう。）に延びる稜線の発生頻度が多くなる）ことが解る。これらは、分散粗さが小さくなるほど、垂直方向に延びる稜線および斜方向に延びる稜線の割合が少なくなることを示している。例えば、実施例2においては、平均分散粗さが500 nmであって、凹凸巾が980 nmの場合、第一面101に平行な方向と第一面101と垂直な方向の間の方向（つまり斜方向）に延びる白線が視認可能になる。

[0040] 一方、第一実施形態における比較例1から3のように貫通孔の側面が粗く

なる（平均分散粗さ 1, 000 nm より大きくかつ凹凸巾 1, 500 nm より大きい）場合、ガラス基板 10 の第一面 101 に垂直な方向に、または第一面 101 と垂直な方向と第一面 101 に平行な方向の間の方向に、延びる白線の割合が増えてくる。すなわち、斜方向において、稜線が複数視認可能になる。このような貫通孔 12 側面の平滑性（粗さ）が SEM 画像に表れ、また、貫通電極の伝送特性に影響することがわかる。

なお、伝送特性の観点から、実施例 1 から 3 に示される貫通電極が比較例 1 から 3 に示される貫通電極よりも良好な結果が得られている。実施例の中で比較すると、実施例 1 が最も好ましく、実施例 2、実施例 3 の順に良好であるといえることができる。

[0041] <第一実施形態に係る多層配線基板の構成>

図 16 は、第一実施形態に係る多層配線基板の構成の一例を示す図である。また、図 17 は、第一実施形態に係る多層配線基板の構成の他の例を示す図である。多層配線基板 1 は、ガラス基板 10、第一配線層 21、および第二配線層 22 を含む。ガラス基板 10 の第一面 101 側には第一配線層 21、ガラス基板 10 の第二面 102 側には第二配線層 22 が配置されている。ガラス基板 10 は、第一面 101 側から第二面 102 側まで貫通する貫通孔 12 を備える。貫通電極 11 は、貫通孔 12 の側面に沿って形成された導電体によって構成される。貫通電極 11 は第一配線層 21 の一部と第二配線層 22 の一部とを電気的に接続する。第一配線層 21 および第二配線層 22 は絶縁樹脂層 25 を含んでいる。

また、第一配線層 21 および第二配線層 22 は複数の層が積層された構成でもよく、その層数は必要に応じて設定してよい。貫通電極 11 は、第一配線層 21 と第二配線層 22 の間に電気的な接続を確立するための電極である。導通電極 31 は、多層配線基板 1 において基板の厚さ方向に導通を確保するための電極である。また、半導体素子用接合パッド 50 は、多層配線基板 1 に搭載する半導体回路を接続するための部材である。基板用接合パッド 54 は、多層配線基板 1 と他の基板または他の半導体素子とを接合するための

部材である。

なお、貫通電極は、ガラス基板 10 の第一面 101 側から第二面 102 側を電氣的に接続が可能であれば、図 16 に示すように貫通孔 12 の側面のみ導電体を配置してもよいし、図 17 に示すように貫通孔 12 に導電体を埋め込んでも構わない。

[0042] なお、図 16 および図 17 において、貫通孔 12 の形状は詳細を省略して示している。図 18 から図 27 においても同様に省略してある。

[0043] また、多層配線基板 1 の厚みは、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以上かつ $400\mu\text{m}$ 以下の範囲である。

[0044] <第一実施形態における多層配線基板の製造方法>

第一実施形態における多層配線基板 1 の製造方法について、図 18 から図 27 を用いて説明する。まず、ガラス基板 10 に貫通孔 12 を形成する工程について説明する。

[0045] [第一支持体の接着工程]

図 18 は、ガラス基板 10 を第一支持体 62 に張り合わせる工程を示す図である。ガラス基板 10 の厚みは、エッチング後の厚みを考慮したうえで、用途に応じて適宜設定することができる。

[0046] ここで、ガラス基板 10 の厚みは、貫通孔を形成するためのエッチング工程の後のガラス基板 10 の厚みを考慮したうえで、用途に応じて適宜設定することができる。

ガラス基板 10 としては、例えば SiO_2 比率が 55 質量%以上 81 質量%以下の範囲である無アルカリガラスを用いることができる。ガラス基板 10 の SiO_2 比率が 81 質量%より大きい場合、エッチングの加工速度が低下し、貫通孔 12 の側面の角度の平坦性が低下し、後述する貫通電極 11 の形成時に付き回り不良が発生してしまうことがある。また、 SiO_2 比率が 55 質量%より小さい場合、ガラス中にアルカリ金属が含まれる可能性が高くなり、電子デバイス搭載後の多層配線基板の信頼性に影響する。

[0047] 図 18 に示されるように、第一接着層 61 において、ガラス基板 10 と第

一支持体 6 2 が貼り合わされており、ガラス基板 1 0、第一接着層 6 1、第一支持体 6 2 を含む積層構造体 6 3 が形成される。

[0048] なお、ガラス基板 1 0 と第一支持体 6 2 は、第一接着層 6 1 によって仮固定されている。

ガラス基板 1 0 に第一支持体を貼り合わせるためには、例えば、ラミネーター、真空加圧プレス、減圧貼り合わせ機等を使用することができる。

[0049] 第一支持体 6 2 は、例えば、ガラス基板 1 0 と同一の材料であることが望ましい。ガラス基板 1 0 の SiO_2 比率が 55 質量%以上 81 質量%以下の範囲である無アルカリガラスである場合、第一支持体 6 2 も無アルカリガラスであることが望ましい。また第一支持体 6 2 の厚みについては、ガラス基板 1 0 の厚みに応じて、適宜設定することができる。ただし、製造工程中に搬送可能な厚みであることが望ましく、支持体の厚みは、例えば $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1,500\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲とする。

[0050] [レーザ改質工程]

続いて、図 1 9 は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。ガラス基板 1 0 の貫通孔形成予定部にレーザを照射することによって、ガラス基板 1 0 にレーザ改質部 6 5 が形成される。レーザ改質部 6 5 は、ガラス基板 1 0 に対し $\Phi 3\text{ }\mu\text{m}$ 以下の形状で形成されており、ガラス基板 1 0 の厚み方向に連続的に形成される。この時、レーザ改質部 6 5 の周辺（以下、「レーザ照射周辺部」ともいう。）には、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の微小なクラック（以下、「マイクロクラック」ともいう。）が発生していないことが望ましい。レーザ改質部 6 5 の周辺に $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上のマイクロクラックが発生すると、エッチング加工後の貫通孔 1 2 の側面の分散粗さが 1000 nm 以上となり、凹凸巾も 1500 nm 以上となる。この結果、平滑な側面の貫通孔 1 2 を得ることが困難となる。

また、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上のマイクロクラックが発生した場合、後述するように、エッチング後の貫通孔 1 2 の側面では、SEM 画像において、ガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 平行な方向に延びる稜線以外にも、第一面 1 0 1 と垂直な

方向に延びる稜線および、第一面101に平行な方向と第一面101と垂直な方向の間の方向に延びる稜線を視認可能になる。

[0051] レーザ改質部65の加工については、例えば、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザを用い、且つレーザ発振波長は1064nm、532nm、または355nmのうちのいずれかの波長を使用することが好ましい。レーザのパルス幅が25ピコ秒以上ではレーザ改質部65の周辺に5 μ m以上のマイクロクラックが発生し易くなることから、レーザパルス幅は25ピコ秒以下であることが望ましい。また、複数回のパルス照射による加工を行うとマイクロクラックが発生し易くなることから、1パルスでレーザ改質部65を形成することが望ましい。レーザ改質部65の周辺に5 μ m以上のマイクロクラックが発生しない条件であれば、レーザ発振波長およびレーザ出力は、ガラス基板10の厚みに応じて、適宜設定して構わない。すなわち、レーザ改質工程（第1の工程）において、ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射し、レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが5 μ mである、ということもできる。

[0052] [第一配線層の形成]

続いて、図20は、第一配線層21を形成する工程を示す図である。図20に示されるように、積層構造体63のガラス基板10上の第一面101に導電層と絶縁樹脂層からなる第一配線層21の形成を行う。ここでは、ガラス基板10上には耐フッ酸金属層を含むシード層を形成した後に、セミアディティブ（SAP）工法で第一面101に貫通電極接続部41（または貫通電極間の配線）を形成する。不要となったシード層を除去した後に、絶縁樹脂層25を形成する。

[0053] なお、シード層の形成について、ガラス基板10上の耐フッ酸金属層は、クロム、ニッケル、または双方を含む合金層であり、スパッタ処理にて10nm以上1,000nm以下の範囲で形成することができる。その後、耐フッ酸金属上に導電金属皮膜を所望の厚みで形成する。導電金属皮膜は、例えば、Cu、Ni、Al、Ti、Cr、Mo、W、Ta、Au、Ir、Ru、

Pd、Pt、AlSi、AlSiCu、AlCu、NiFe、ITO、IZO、AZO、ZnO、PZT、TiN、Cu₃N₄から適宜設定することができる。

[0054] セミアディティブ工法においては、めっきによる配線パターンを形成するために、フォトリソグレイドを使用して所望のパターンを形成する。一般的には、ドライフィルムレジストを用いるが、液体のレジストを使用しても構わない。所望のパターンを露光、現像しパターン形成した後に、電解めっきにてめっき被膜を形成し、不要となったレジストを剥離し、シード層をエッチングすることで配線形成を行うことができる。

[0055] [絶縁樹脂層]

次に絶縁樹脂層25の形成について、絶縁樹脂層25は熱硬化性樹脂であり、その材料は、エポキシ系樹脂、ポリイミド系樹脂、ポリアミド系樹脂の少なくとも一つを含み、かつシリカSiO₂フィラーを含む材料である。絶縁樹脂層25の材料は、必要に応じて適宜選択することができる。但し、感光性絶縁樹脂材料を用いる場合は、フォトリソグラフィ性を確保するためにシリカSiO₂フィラーの充填が困難となるため、感光性絶縁樹脂材料も使用可能であるが、熱硬化性樹脂を用いる方がより好ましい。

[0056] [第二支持体の接着工程]

次に、図21は、第二支持体を接着する工程を示す図である。図21に示されるように、積層構造体63の第一配線層21上に第二接着層71を形成し、第二接着層71上に第二支持体70を配置し接着する。

第二支持体70については、例えばガラスを用いることができ、ガラス基板10と同一の材料であることが望ましい。ガラス基板10が無アルカリガラスである場合、第二支持体70も無アルカリガラスであることが望ましい。また第二支持体70の厚みについては、ガラス基板10の厚みに応じて、適宜設定することができる。ただし、搬送可能な厚みであることが望ましく、その範囲は300μm以上1,500μm以下の範囲である。

[0057] [剥離工程]

次に、図 2 2 は、第一支持体を剥離する工程を示す図である。図 2 2 に示されるように、ガラス基板 1 0 と第一支持体 6 2 を第一接着層 6 1 において剥離する。

[0058] [貫通孔の形成]

続いて、図 2 3 は、貫通孔 1 2 を形成する工程を示す図である。

[0059] [エッチング工程]

レーザ改質部 6 5 が形成されたガラス基板 1 0 に対し、所定のエッチング液でエッチング処理を施すことで貫通孔 1 2 が形成される。また、同時に、ガラス基板 1 0 の第二面もエッチングされ、ガラス基板 1 0 の厚さが減少することとなる。エッチングはガラス基板 1 0 の第二面 1 0 2 側から行われる。このため、第一実施形態の貫通孔 1 2 は、第二面 1 0 2 側から第一面 1 0 1 側に向かうにつれて径が窄まる円錐台形状を有する。

[0060] [エッチング液]

エッチング液は、フッ酸を 0. 2 質量%以上 2 0. 0 質量%以下の範囲とし、硝酸を 4. 0 質量%以上 2 5. 0 質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を 0. 5 質量%以上 1 1. 0 質量%以下の範囲として含有するものが用いられる。フッ酸および硝酸以外の無機酸としては、例えば、塩酸、硫酸、リン酸、スルファミン酸等が挙げられ、ガラス基板 1 0 中に含まれるケイ素以外の成分の種類に応じて、少なくとも 1 つの無機酸を含有させる。望ましくは、塩酸および硫酸を含有させたエッチング液であり、ガラス基板 1 0 に対するエッチングレートとしては、0. 1 $\mu\text{m}/\text{分}$ 以上 1 0 $\mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲になるように適宜調整される。ガラス基板 1 0 に対するエッチングレートは、望ましくは 0. 2 5 $\mu\text{m}/\text{分}$ 以上 4 $\mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲であり、より望ましくは 0. 2 5 $\mu\text{m}/\text{分}$ 以上 0. 5 $\mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲である。エッチング温度としては、特に限定されず、適宜調整することができるが、例えば 1 0 $^{\circ}\text{C}$ 以上 3 0 $^{\circ}\text{C}$ 以下の範囲となる。

[0061] なお、エッチングによる貫通孔 1 2 の形成工程では、フッ酸の濃度を下げて複数回のエッチングを行うようにしてもよい。例えば、初回でのエッチン

グ処理はガラス基板 10 に対するエッチングレートを $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $10\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とし、二回目のエッチング処理をガラス基板 10 に対するエッチングレートを $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とし、その後、三回目のエッチング処理をガラス基板 10 に対するエッチングレートを $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とすることが挙げられる。エッチングの処理回数については、貫通孔の側面の粗さが所望の範囲になるように適宜処理回数を設定してよい。

[0062] [貫通電極の形成]

次に、図 24 を参照して、貫通電極 11 の形成工程について説明する。図 24 は、貫通電極 11 を形成する工程を示す図である。

[0063] 貫通孔 12 が形成されたガラス基板 10 に対し、第二面 102 から、電解めっき処理のための金属層を形成する。金属層については、電解めっき処理のシード層として機能する金属であればよく、例えば、Cu、Ti、Cr、W、Ni 等を含む金属である。金属層には上記金属のうち少なくとも 1 つが用いられ、また金属層の最表面に Cu 層が形成されていることが望ましい。Ti、Cr、W、Ni については、Cu 層の下部のガラス基板 10 との密着層として使用されることが望ましい。金属層の厚みは、貫通孔 12 の側面を覆うことができる範囲に適宜設定される。形成方法としては、例えばスパッタリングを用いた蒸着による形成方法を採用することが可能である。

[0064] 続いて、上記金属層をシード層として用いる電解めっき処理によって、貫通電極 11 を形成する。貫通孔 12 内を選択的に成長させるために、ガラス基板 10 の第一面 101 および第二面 102 のうち貫通孔 12 以外の部分にレジスト等の絶縁体でマスクを形成しておき、電解めっき処理を行う。電解めっき処理に用いる材料については、例えば Cu を用いることが可能であり、他の金属としては、Au、Ag、Pt、Ni、Sn 等を含む金属を用いることも可能である。多層配線基板の用途に応じて、上記金属の導電体で貫通孔 12 内が充填されるように電解めっき処理を行っても構わない。

[0065] [絶縁樹脂層の形成]

また、図 2 5 を参照して、絶縁樹脂層 2 5 の形成工程について説明する。図 2 5 は、絶縁樹脂層を形成する工程を示す図である。貫通電極を形成するための電解めっき処理をした後は、レジスト等の絶縁体を除去し、ガラス基板 1 0 の第二面 1 0 2 に形成されたシード層とした金属膜を除去する。ガラス基板 1 0 に形成された複数の貫通電極 1 1 それぞれを電氣的に独立させた後に、図 2 5 に示されるように、第二面側に絶縁樹脂層 2 5 の形成を行う。

[0066] [第二支持体の剥離]

続いて、図 2 6 を参照して、第二支持体 7 0 および第二接着層 7 1 の剥離工程について説明する。図 2 6 は、第二支持体 7 0 および第二接着層 7 1 を剥離する工程を示す図である。図 2 6 に示されるように、第一配線層 2 1 の上方に形成された第二接着層 7 1 および第二支持体 7 0 を、第一面 1 0 1 側の第一配線層 2 1 と第二接着層 7 1 の界面より剥離する。これによって、図 2 6 に示されるように、第一面 1 0 1 側に第一配線層 2 1、第二面 1 0 2 側に第二配線層 2 2 が形成された状態のガラス基板 1 0 が得られる。

第二支持体 7 0 を第二配線層 2 2 から剥離するにあたっては、第二接着層 7 1 に使用した材料に応じて、UV 光の照射、加熱処理、物理剥離等から使用材料に応じた剥離方式を適宜選択することができる。また、第一配線層 2 1 と第二接着層 7 1 との接合面に、第二接着層 7 1 の残差が生じる場合、プラズマ洗浄、超音波洗浄、水洗、アルコールを使用した溶剤洗浄などを行ってもよい。

[0067] [第一配線層および第二配線層の形成]

続いて、図 2 7 を参照して、ガラス基板 1 0 に形成される第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の形成について説明する。図 2 7 は、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 を形成する工程を示す図である。貫通電極 1 1 が形成されたガラス基板 1 0 に対し、第一面 1 0 1 に第一配線層 2 1 を形成し、第二面 1 0 2 に第二配線層 2 2 を形成する。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の形成工程において、最初に、感光性のレジストまたはドライフィルムレジストによってパターンを有するマスクを形成した後に、電解めっき処理

によって配線を形成する。その後、物理密着処理、もしくは、化学的な密着処理を施した後に、絶縁樹脂層 2 5 を積層する。導通電極 3 1 については、レーザ加工等によって絶縁樹脂層 2 5 に孔を形成した後に、無電解めっき、もしくは、スパッタリングによる蒸着処理によって金属皮膜を形成する。上記金属皮膜にレジストを用いてパターンを有するマスクを形成し、電解めっきによって形成した孔に導電体を充填する。その後、マスクおよび余分の金属皮膜を除去する。上記工程は必要な層数に応じて複数回繰り返すことで、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 が形成される。なお、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 は多層配線基板 1 の反りを抑制するために、同じ層数であることが望ましい。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の層厚が異なる場合は、第一配線層 2 1 と第二配線層 2 2 に層数を変えても構わない。多層配線基板の用途に応じて、第一配線層 2 1 の層数および第二配線層 2 2 の層数は適宜設定してよい。

[0068] <第二実施形態における多層配線基板の構成>

図 2 8 は、第二実施形態における多層配線基板 1 の構成の一例を示す図である。また、図 2 9 は、第二実施形態における多層配線基板 1 の構成の他の例を示す図である。第二実施形態では、第一配線層 2 1 の貫通電極 1 1 の Z 軸方向上に導通電極 3 1 を配置しない点、及び、多層配線基板の製造工程において、支持体を用いないため、ガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 及び第二面 1 0 2 の両側からエッチング処理が行われ、貫通孔形状が X 形状となる点で、前述の第一実施形態と異なっている。

第二実施形態において、多層配線基板 1 は、ガラス基板 1 0、第一配線層 2 1、および第二配線層 2 2 を含む。ガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 側には第一配線層 2 1、ガラス基板 1 0 の第二面 1 0 2 側には第二配線層 2 2 が配置されている。ガラス基板 1 0 は、第一面 1 0 1 側から第二面 1 0 2 側まで貫通する貫通孔 1 2 を備える。貫通電極 1 1 は、貫通孔 1 2 の側面に沿って形成された導電体によって構成される。貫通電極 1 1 は第一配線層 2 1 の一部と第二配線層 2 2 の一部とを電氣的に接続する。第一配線層 2 1 および第

二配線層 2 2 は絶縁樹脂層 2 5 を含む。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 は複数の層が積層された構成でもよく、その層数は必要に応じて設定してよい。貫通電極 1 1 は、第一配線層 2 1 と第二配線層 2 2 の間に電気的な接続を確立するための電極である。導通電極 3 1 は、多層配線基板 1 において基板の厚さ方向に導通を確保するための電極である。また、半導体素子用接合パッド 5 0 は、多層配線基板 1 に搭載する半導体回路を接続するための部材である。基板用接合パッド 5 4 は、多層配線基板 1 と他の基板または他の半導体素子とを接合するための部材である。

なお、貫通電極は、ガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 側から第二面 1 0 2 側を電気的に接続が可能であれば、図 2 8 に示すように貫通孔 1 2 の側面のみに導電体を配置してもよいし、図 2 9 に示すように貫通孔 1 2 に導電体を埋め込んでも構わない。

[0069] なお、図 2 8 および図 2 9 において、貫通孔 1 2 の形状は詳細を省略して示している。図 3 0 から図 3 4 においても同様に省略してある。

[0070] また、多層配線基板 1 の厚みは、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以上 $400\mu\text{m}$ 以下の範囲である。

[0071] <第二実施形態における多層配線基板の製造方法>

続いて、多層配線基板 1 の製造方法について、図 3 0 から図 3 4 を用いて説明する。まず、ガラス基板 1 0 に貫通孔 1 2 を形成する工程について説明する。

[0072] [ガラス基板]

図 3 0 は、ガラス基板 1 0 を準備する工程を示す図である。ガラス基板 1 0 の厚みは、貫通孔を形成するためのエッチング工程の後のガラス基板 1 0 の厚みを考慮したうえで、用途に応じて適宜設定することができる。

ガラス基板 1 0 としては、例えば SiO_2 比率が 55 質量%以上 81 質量%以下の範囲である無アルカリガラスを用いることができる。ガラス基板 1 0 の SiO_2 比率が 81 質量%より大きい場合、エッチングの加工速度が低下し、貫通孔 1 2 の側面の角度の平坦性が低下し、後述する貫通電極 1 1 の形成

時に付き回り不良が発生してしまうことがある。また、 SiO_2 比率が55質量%より小さい場合、ガラス中にアルカリ金属が含まれる可能性が高くなり、電子デバイス搭載後の多層配線基板の信頼性に影響する。

[0073] [レーザ改質工程]

続いて、図31は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。ガラス基板10の貫通孔形成予定部にレーザを照射することによって、ガラス基板10にレーザ改質部65が形成される。レーザ改質部65は、ガラス基板10に対し $\Phi 3\mu\text{m}$ 以下の形状で形成されており、ガラス基板10の厚み方向に連続的に形成される。この時、レーザ改質部65の周辺以下、「レーザ照射周辺部」ともいう。)には、 $5\mu\text{m}$ 以上の微小なクラック(以下、「マイクロクラック」ともいう。)が発生していないことが望ましい。レーザ改質部65の周辺に $5\mu\text{m}$ 以上のマイクロクラックが発生すると、エッチング加工後の貫通孔12の側面の分散粗さが 1000nm 以上となり、凹凸巾も 1500nm 以上となる。この結果、平滑な側面の貫通孔12を得ることが困難となる。

また、 $5\mu\text{m}$ 以上のマイクロクラックが発生した場合、後述するように、エッチング後の貫通孔12の側面では、SEM画像において、ガラス基板10の第一面101平行な方向に延びる稜線以外にも、第一面101と垂直な方向に延びる稜線および、第一面101に平行な方向と第一面101と垂直な方向の間の方向に延びる稜線を視認可能になる。

[0074] レーザ改質部65の加工については、例えば、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザを用い、且つレーザ発振波長は 1064nm 、 532nm 、または 355nm のうちのいずれかの波長を使用することが好ましい。レーザのパルス幅が25ピコ秒以上ではレーザ改質部65の周辺に $5\mu\text{m}$ 以上のマイクロクラックが発生し易くなることから、レーザパルス幅は25ピコ秒以下であることが望ましい。また、複数回のパルス照射による加工を行うとマイクロクラックが発生し易くなることから、1パルスでレーザ改質部65を形成することが望ましい。レーザ改質部65の周辺に $5\mu\text{m}$ 以上のマイクロ

ラックが発生しない条件であれば、レーザ発振波長およびレーザ出力は、ガラス基板 10 の厚みに応じて、適宜設定して構わない。すなわち、レーザ改質工程（第 1 の工程）において、ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射し、レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが $5\ \mu\text{m}$ である、ということもできる。

[0075] [エッチング工程]

続いて、図 32 は、貫通孔を形成する工程を示す図である。エッチング工程（第 2 の工程）は、レーザ照射された前記ガラス基板をエッチングし、貫通孔を形成する工程である。レーザ改質部 65 が形成されたガラス基板 10 に対し、所定のエッチング液でエッチング処理を施すことで貫通孔 12 が形成される。また、同時に、ガラス基板 10 の第一面および第二面もエッチングされ、ガラス基板 10 の厚さが減少することとなる。エッチングを、ガラス基板 10 の第一面 101 および第二面 102 の両方から行なうと、第二実施形態の貫通孔 12 は、ほぼ上下対称の形状に加工される。

[0076] [エッチング液]

エッチング液は、フッ酸を 0.2 質量%以上 20.0 質量%以下の範囲とし、硝酸を 4.0 質量%以上 25.0 質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を 0.5 質量%以上 11.0 質量%以下の範囲として含有するものが用いられる。フッ酸および硝酸以外の無機酸としては、例えば、塩酸、硫酸、リン酸、スルファミン酸等が挙げられ、ガラス基板 10 中に含まれるケイ素以外の成分の種類に応じて、少なくとも 1 つの無機酸を含有させる。望ましくは、塩酸および硫酸を含有させたエッチング液であり、ガラス基板 10 に対するエッチングレートとしては、 $0.1\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $10\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲になるように適宜調整される。ガラス基板 10 に対するエッチングレートは、望ましくは $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲であり、より望ましくは $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲である。エッチング温度としては、特に限定されず、適宜調整することができるが、例えば 10°C 以上 30°C 以下の範囲となる。

[0077] なお、エッチングによる貫通孔 1 2 の形成工程では、フッ酸の濃度を下げ、複数回のエッチングを行うようにしてもよい。例えば、初回でのエッチング処理はガラス基板 1 0 に対するエッチングレートを $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $10\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とし、二回目のエッチング処理をガラス基板 1 0 に対するエッチングレートを $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とし、その後、三回目のエッチング処理をガラス基板 1 0 に対するエッチングレートを $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とすることが挙げられる。エッチングの処理回数については、貫通孔の側面の粗さが所望の範囲になるように適宜処理回数を設定してよい。

[0078] [貫通電極の形成]

続いて、図 3 3 は、貫通孔 1 2 に貫通電極 1 1 を形成する工程を示す図である。

[0079] 貫通孔 1 2 が形成されたガラス基板 1 0 に対し、第一面 1 0 1 および第二面 1 0 2 から、電解めっき処理のための金属層を形成する。金属層については、電解めっき処理のシード層として機能する金属であればよく、例えば、Cu、Ti、Cr、W、Ni 等を含む金属である。金属層には上記金属のうち少なくとも 1 つが用いられ、また金属層の最表面に Cu 層が形成されることが望ましい。Ti、Cr、W、Ni については、Cu 層の下部のガラス基板 1 0 との密着層として使用されることが望ましい。金属層の厚みは、貫通孔 1 2 の側面を覆うことができる範囲に適宜設定される。形成方法としては、例えばスパッタリングを用いた蒸着による形成方法を採用することが可能である。

[0080] 続いて、上記金属層をシード層として用いる電解めっき処理によって、貫通電極 1 1 を形成する。貫通孔 1 2 内を選択的に成長させるために、ガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 および第二面 1 0 2 のうち貫通孔 1 2 以外の部分にレジスト等の絶縁体でマスクを形成しておき、電解めっき処理を行う。電解めっき処理に用いる材料については、例えば Cu を用いることが可能であり、他の金属としては、Au、Ag、Pt、Ni、Sn 等を含む金属を用いる

ことも可能である。多層配線基板の用途に応じて、上記金属の導電体で貫通孔 1 2 内が充填されるように電解めっき処理を行っても構わない。

[0081] 電解めっき処理後は、レジスト等の絶縁体を除去し、またガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 および第二面 1 0 2 に形成された金属膜を除去し、ガラス基板 1 0 に形成された複数の貫通電極 1 1 それぞれを電氣的に独立させる。

[0082] [第一配線層および第二配線層の形成]

続いて、図 3 4 を参照して、ガラス基板 1 0 に形成される第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の形成について説明する。図 3 4 は、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 を形成する工程を示す図である。貫通電極 1 1 が形成されたガラス基板 1 0 に対し、第一面 1 0 1 に第一配線層 2 1 を形成し、第二面 1 0 2 に第二配線層 2 2 を形成する。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の形成工程において、最初に、感光性のレジストまたはドライフィルムレジストによってパターンを有するマスクを形成した後に、電解めっき処理によって配線を形成する。その後、物理密着処理、もしくは、化学的な密着処理を施した後に、絶縁樹脂層 2 5 を積層する。導通電極 3 1 については、レーザ加工等によって絶縁樹脂層 2 5 に孔を形成した後に、無電解めっき、もしくは、スパッタリングによる蒸着処理によって金属皮膜を形成する。上記金属皮膜にレジストを用いてパターンを有するマスクを形成し、電解めっきによって形成した孔に導電体を充填する。その後、マスクおよび余分の金属皮膜を除去する。上記工程は必要な層数に応じて複数回繰り返すことで、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 が形成される。なお、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 は多層配線基板 1 の反りを抑制するために、同じ層数であることが望ましい。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の層厚が異なる場合は、第一配線層 2 1 と第二配線層 2 2 に層数を変えても構わない。層配線基板の用途に応じて、第一配線層 2 1 の層数および第二配線層 2 2 の層数は適宜設定してよい。

[0083] [絶縁樹脂層]

絶縁樹脂層 2 5 は熱硬化性樹脂によって構成される。その材料は、例えば

、エポキシ系樹脂、ポリイミド系樹脂、ポリアミド系樹脂の少なくとも一つを含み、かつシリカ SiO_2 フィラーを含む材料であり、液状、もしくはフィルム状の材料である。液状樹脂の場合はスピンコート法、フィルム状樹脂の場合は真空ラミネーターそれぞれを用い、いずれの場合においても真空下で加熱・加圧を行って形成することができる。絶縁樹脂層 25 の材料は、必要に応じて適宜選択することができる。

[0084] <第二実施形態に係る実施例、比較例>

図 2 を用いて、第二実施形態における貫通孔 12 に形状について説明する。第二実施形態では、図 3 2 に示されるように、レーザ改質部 65 が形成されたガラス基板 10 に対して、第一面 101 および第二面 102 からエッチングを行う。このため、形成された貫通孔 12 は、第一面 101 と第二面 102 の間のほぼ中間にある位置に径が最も小さくなる極小点を有しており、上下対象な構造を持つようになる。貫通孔 12 の側面の傾斜角度は、ガラス基板 10 に対するレーザ加工条件、エッチング条件によって変化する。第二実施形態の各実施例では、表 5 に示すパルス幅およびショット数の照射条件でレーザ加工し、エッチングで貫通孔 12 を形成している。実施例 1 においてはパルス幅が 5 ps かつショット数が 1、実施例 2 においてはパルス幅が 15 ps かつショット数が 1、実施例 3 においてはパルス幅が 25 ps かつショット数が 1 である。

また、比較例は、第二実施形態に示した製造方法と同じ方法によって作成された貫通孔である。第二実施形態における比較例 1 においてはパルス幅が 30 ps かつショット数が 1、比較例 2 においてはパルス幅が 30 ns かつショット数が 100、比較例 3 においてはパルス幅が 50 μs かつショット数が 10 である。

なお、各実施例および各比較例のいずれについても、ガラス基板 10 の第一面 101 側の開口径が平均 80 μm であり、 3σ が 4.5 μm 以下であった。また、形成されたレーザ改質部 65 の第一面 101 側の開口径について、開口径の最大値 ϕ_{Max} と最小値 ϕ_{Min} の差は 5 μm 以下であった。

[0085] [表5]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
パルス幅	5ps	15ps	25ps	30ps	30ns	50us
ショット数	1	1	1	1	100	10

[0086] (貫通孔の傾斜角度)

以下、図35から図43を用いて、各実施例、比較例の貫通孔の形状、特性形状を説明する。

図35は、第二実施形態における実施例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図36は、第二実施形態における実施例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図37は、第二実施形態における実施例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図38は、第二実施形態における比較例1の貫通孔の断面形状を示す図である。

図39は、第二実施形態における比較例1の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図40は、第二実施形態における比較例2の貫通孔の断面形状を示す図である。

図41は、第二実施形態における比較例2の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図42は、第二実施形態における比較例3の貫通孔の断面形状を示す図である。

図43は、第二実施形態における比較例3の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[0087] 表6は、第二実施形態における各実施例および各比較例における貫通孔12の側面の傾斜角度を測定した結果を示す。第二実施形態に係る各実施例では、貫通孔12の側面角度が第一面101からの距離50％を起点にして、上下対称でほぼ一定となる。各比較例では、5％から95％の各位置で貫通

孔 1 2 の側面の傾斜角度がばらつくことがわかる。

[0088] [表6]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
5%	14.5	9.8	8.1	7.1	3.4	19.6
10%	14.3	10.3	8.4	8.5	4.6	5.1
20%	13.9	10.4	8.3	8.3	3.6	-3.4
30%	14.6	9.4	8.2	6.5	2.1	3.1
40%	14.8	10.1	8.9	5.7	9.5	-2.4
50%	0	0	0	0	0	3.7
60%	-14.1	-10.8	-8.4	-8.9	8.6	8.5
70%	14.6	10.6	8.6	4.7	3.5	7.6
80%	-13.6	-9.9	-7.9	-4.3	-3.1	8.7
90%	-14.2	-9.6	-8.3	-8.5	4.4	9.4
95%	-14.1	-10.6	-8.2	-7.4	3.5	9.2

単位:°

[0089] (平均分散粗さおよび凹凸巾)

次に、表 7 を用いて第二実施形態における各実施例および各比較例に関し貫通孔 1 2 の側面の平均分散粗さおよび凹凸巾について説明する。

表 7 は、第二実施形態における各実施例および各比較例における貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度を測定した結果を表形式に取りまとめたものである。

表 7 に示されるように、第二実施形態の各実施例では、分散粗さが 1, 0 0 0 n m 以下かつ凹凸巾が 1, 5 0 0 n m 以下となる。各比較例では、分散粗さが 1, 5 0 0 n m 以上かつ凹凸巾が 1, 5 0 0 n m 以上となり、貫通孔側面の粗さに差があることが確認されている。

[0090] [表7]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
分散粗さ	30.5nm	501.3nm	985.1nm	1623.5nm	1829.4nm	1789.5nm
凹凸巾	316.2nm	982.1nm	1323.5nm	1756.4nm	199.61nm	1985.4nm

[0091] (伝送特性)

続いて、図 4 4 を用いて、第二実施形態での各実施例、各比較例の貫通電極の伝送特性について説明する。図 4 4 は、第二実施形態における、実施例 1 の貫通電極の伝送特性と、比較例 1 の貫通電極の伝送特性を示す図である。図 4 4 において伝送特性としては、伝送損失 S 2 1 を測定した結果を示している。なお、実施例 1 から 3 は伝送特性が同じ傾向を示したため、代表して実施例 1 を示している。また、比較例 1 から 3 についても伝送特性がほと

んど同じ傾向を示したので、代表して比較例 1 を示している。電極を形成するためのシード層の形成およびめっき処理等の形成条件は、実施例および比較例のいずれも共通とした。図 4 4 に示されるように、いずれの周波数領域においても、実施例の伝送損失のほうが比較例の伝送損失よりも小さいことが示される。したがって、貫通孔の側面については、分散粗さ、凹凸巾の値が小さいほど、貫通孔に形成される貫通電極における損失が小さくなり、伝送特性が良いことが分かる。

[0092] また、各実施例および各比較例について、ガラス基板 1 0 の厚みを変更させた場合の伝送特性 S 2 1 についても測定した。この結果を表 8 に示す。表 8 に示されるように、ガラス基板 1 0 の厚みを 2 5 0 μm 、3 0 0 μm 、3 5 0 μm 、4 0 0 μm に設定したうえで、各実施例および各比較例にもとづく条件で貫通孔および貫通電極を作成し、伝送特性を計測した。表 8 に示されるように、第二実施形態における各実施例では、各比較例に比べ伝送特性 S 2 1 が良好な値を示していることが確認される。

なお、表 8 に示す伝送特性は、単一の貫通電極の伝送特性となっており、複数個の貫通電極を必要とする多層配線基板では、単一貫通電極の伝送特性の向上が大きな性能向上につながる。第一実施形態に係る各実施例を使用することによって、既存技術と比較し、高周波数帯での貫通電極の良好な伝送特性を実現した多層配線基板を得ることが可能となる。

なお、伝送特性の観点から、実施例 1 から 3 に示される貫通電極が比較例 1 から 3 に示される貫通電極よりも良好な結果が得られている。実施例の中で比較すると、実施例 1 が最も好ましく、実施例 2、実施例 3 の順に良好であるといえることができる。

[0093]

[表8]

周波数	実施例1			実施例2			実施例3			比較例1		比較例2		比較例3	
	ガラス厚	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定
5GHz	250um	-0.0071	良好	-0.0081	良好	-0.0091	良好	-0.0121	-	-0.0161	-	-0.0161	-	-0.0169	-
	300um	-0.0073	良好	-0.0082	良好	-0.0094	良好	-0.0141	-	-0.0181	-	-0.0181	-	-0.0199	-
	350um	-0.0076	良好	-0.0084	良好	-0.0095	良好	-0.0161	-	-0.0191	-	-0.0191	-	-0.0217	-
	400um	-0.0079	良好	-0.0086	良好	-0.0098	良好	-0.0181	-	-0.0211	-	-0.0211	-	-0.0239	-
10GHz	250um	-0.0121	良好	-0.0141	良好	-0.0161	良好	-0.0288	-	-0.0295	-	-0.0295	-	-0.0300	-
	300um	-0.0131	良好	-0.0144	良好	-0.0165	良好	-0.0298	-	-0.0320	-	-0.0320	-	-0.0328	-
	350um	-0.0136	良好	-0.0147	良好	-0.0169	良好	-0.0318	-	-0.0368	-	-0.0368	-	-0.0378	-
	400um	-0.0139	良好	-0.0149	良好	-0.0171	良好	-0.0328	-	-0.0388	-	-0.0388	-	-0.0398	-
20GHz	250um	-0.0261	良好	-0.0291	良好	-0.0312	良好	-0.0449	-	-0.0490	-	-0.0490	-	-0.0492	-
	300um	-0.0282	良好	-0.0322	良好	-0.0372	良好	-0.0485	-	-0.0549	-	-0.0549	-	-0.0559	-
	350um	-0.0323	良好	-0.0361	良好	-0.0431	良好	-0.0525	-	-0.0585	-	-0.0585	-	-0.0595	-
	400um	-0.0364	良好	-0.0389	良好	-0.0491	良好	-0.0562	-	-0.0612	-	-0.0612	-	-0.0615	-
28GHz	250um	-0.0416	良好	-0.0452	良好	-0.0486	良好	-0.0595	-	-0.0632	-	-0.0632	-	-0.0642	-
	300um	-0.0439	良好	-0.0486	良好	-0.0539	良好	-0.0645	-	-0.0685	-	-0.0685	-	-0.0695	-
	350um	-0.0489	良好	-0.0538	良好	-0.0579	良好	-0.0685	-	-0.0728	-	-0.0728	-	-0.0745	-
	400um	-0.0536	良好	-0.0581	良好	-0.0606	良好	-0.0725	-	-0.0745	-	-0.0745	-	-0.0777	-
56GHz	250um	-0.1013	良好	-0.1114	良好	-0.1343	良好	-0.1711	-	-0.1883	-	-0.1883	-	-0.1983	-
	300um	-0.1216	良好	-0.1515	良好	-0.1623	良好	-0.1898	-	-0.2186	-	-0.2186	-	-0.2228	-
	350um	-0.1430	良好	-0.1712	良好	-0.1999	良好	-0.2311	-	-0.2651	-	-0.2651	-	-0.2715	-
	400um	-0.1782	良好	-0.1973	良好	-0.2434	良好	-0.2509	-	-0.2909	-	-0.2909	-	-0.3109	-
84GHz	250um	-0.1996	良好	-0.2038	良好	-0.2179	良好	-0.2502	-	-0.2735	-	-0.2735	-	-0.2833	-
	300um	-0.2112	良好	-0.2231	良好	-0.2328	良好	-0.2815	-	-0.2985	-	-0.2985	-	-0.3299	-
	350um	-0.2451	良好	-0.2613	良好	-0.2763	良好	-0.3325	-	-0.3653	-	-0.3653	-	-0.3723	-
	400um	-0.2799	良好	-0.2985	良好	-0.3118	良好	-0.3763	-	-0.3945	-	-0.3945	-	-0.4095	-

[0094] <第三実施形態>

図45は、半導体素子100とBGA（Ball Grid Array：ボールグリッドアレイ）基板90のインターポーザ基板として、多層配線基板1を用いる場合を示す図である。図46は、図45の場合の断面を示す図である。また、図47は、通信用の電子デバイスに多層配線基板1および半導体素子100が用いられる場合を示す図である。図48は、図47の場合の断面を示す図である。電子デバイスとしては、層厚が800μm以下のものが用いられる。例えば、電子デバイスは、HBM（High Bandwidth Memory）対応のメモリが実装されたインターポーザ基板である。

上記電子デバイスは、貫通電極の伝送特性の影響によって、適応用途が限られており、本発明の多層配線基板を使用することで電子デバイスの高周波数帯領域での適応が可能となる。

[0095] <作用・効果>

以上、第一実施形態および第二実施形態のいずれの場合においても、分散粗さおよび凹凸巾に関して、比較例よりも実施例のほうが値が小さい貫通孔を形成することができた。このように貫通孔の側面を平滑にできるため、貫通孔に貫通電極を形成した場合、高周波帯域において高い伝送特性を備えている。このように、高い伝送特性を備えている貫通電極を形成することができる。

本発明の実施形態、並びに本発明の実施形態に係る製造方法、実施例によれば、貫通孔の側面を平滑に形成することで良好な伝送特性を実現可能であり、貫通電極の伝送特性を既存技術に対し向上させることが可能となる。本発明を使用することで、高周波帯で良好な伝送特性を備えた多層配線基板の提供が可能となる。

[0096] 本発明の範囲は、図示され記載された例示的な実施形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

さらに、本発明が目的とするものと均等な効果をもたらす全ての実施形態をも含むものである。

[0097] <他の実施形態>

本開示は次の態様も含む。

(態様1)

第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えるガラス基板であって、

前記ガラス基板の厚さ方向における前記貫通孔の裁断面における側面形状の

分散粗さが1,000nm以下かつ凹凸巾が1,500nm以下である、ことを特徴とするガラス基板。

(態様2)

態様1に記載のガラス基板であって、

前記分散粗さは、前記側面の輪郭データに基づいて粗さ曲線を抽出し、前記粗さ曲線に設定区間を設定し、前記設定区間において式1によって算出さ

れた算術平均粗さであり、

前記凹凸巾は、前記設定区間において、最も高い部分と最も低い部の間の差である、ガラス基板。

[数1]

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)|^{(2)} dx \cdots \text{式 1}$$

R a は算術平均粗さ

f (x) は粗さ曲線

L は設定区間の長さ

(態様3)

第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えるガラス基板であって、

前記ガラス基板の厚さ方向における前記貫通孔の裁断面の倍率1000倍のSEM画像において、前記貫通孔の側壁面内に、前記第一面と略平行な方向に延びる稜線が複数視認でき、前記第一面と垂直な方向における稜線と稜線の間隔が15.5 μm以下である、ガラス基板。

(態様4)

態様1から3のいずれか1つに記載のガラス基板であって、

前記ガラス基板のSiO₂比率は55質量%以上81質量%以下の範囲となる、ガラス基板。

(態様5)

態様1から4のいずれか1つに記載のガラス基板を含む多層配線基板であって、

前記多層配線基板に搭載される電子デバイスの層厚は800 μm以下であり、

前記多層配線基板の厚みは100 μm以上かつ400 μm以下となる、多層配線基板。

(態様6)

態様1から5のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射する第1の工程、
レーザ照射された前記ガラス基板をエッチングし、貫通孔を形成する第2
の工程

を有するガラス基板の製造方法。

(態様7)

態様6に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第1の工程において、照射されるレーザは、レーザ発振波長が1064nm、532nm、または355nmのうちのいずれかの波長でありかつパルス幅が25ピコ秒以下である、ガラス基板の製造方法。

(態様8)

態様6または7に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第1の工程において、前記レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが5μmである、ガラス基板の製造方法。

(態様9)

態様6から8のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第2の工程において、エッチングレートを変更した複数回のエッチングが行われる、ガラス基板の製造方法。

(態様10)

態様6から9のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第2の工程において、フッ酸を0.2質量%以上20.0質量%以下の範囲とし、硝酸を4.0質量%以上25.0質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を0.5質量%以上11.0質量%以下の範囲として含有するエッチング液が用いられる、ガラス基板の製造方法。

[0098] (付記1)

本開示の別の態様を以下に示す。

[0099] 本発明は、ガラス基板、多層配線基板、およびガラス基板の製造方法に関する。

<背景技術>

[0100] 近年、回路基板を積層した三次元実装技術が用いられている。このような実装技術においては、回路基板に貫通電極を形成することが行われる。貫通電極は、絶縁体で構成された基板に貫通孔を形成し、この貫通孔に導電体を配置することによって形成される。回路基板の高集積化に伴い、貫通孔についても更なる微細化が必要となる。

[0101] 例えば、特許文献1は、板状ガラスにエキシマレーザ光を照射して複数の貫通孔を有するガラス基板を提供する技術を開示している。特許文献2は、UVレーザビームによってガラス品の前面を照射する工程を含む、ガラスに孔の高密度アレイを作製する方法を開示する。また、特許文献3は、貫通孔を含む基板と、前記貫通孔の内側面に沿って配置された導電体と、を備え、前記貫通孔は、前記第1面から前記第2面までの区間のうち前記第1面から6.25%、18.75%、31.25%、43.75%、56.25%、68.75%、81.25%、93.75%の距離の位置における前記貫通孔の中心軸に対する内側面の傾斜角度（前記第1面側が拡がる角度を正の傾斜角度とする）の合計値が、8.0°以上である条件を満たす貫通孔の形状を開示する。特許文献4は、第1面13及び第1面の反対側に位置する第2面14を含むとともに貫通孔20が設けられた基板12と、基板の貫通孔に位置する貫通電極22と、を備える貫通電極基板を開示する。

<先行技術文献>

<特許文献>

[0102] <特許文献1>国際公開第2010/087483号

<特許文献2>特表2014-501686号公報

<特許文献3>特許第6809511号公報

<特許文献4>特許第6965589号公報

<発明の概要>

<発明が解決しようとする課題>

[0103] しかしながら、特許文献1から3に記載された内容で貫通孔は、貫通孔の側面粗さによる、貫通電極の伝送特性への影響については、検討されていない

い。このため、特許文献 1 から 3 に記載された側面は伝送特性から見た側面の平坦性が不十分であり、貫通孔側面の傾斜角度の均一性にも課題がある。

<0006>

また、貫通電極を形成するためには、特許文献 4 において開示されているように、スパッタリングにて金属層を形成した後に、無電解めっき処理を実施し、貫通孔の側面に電解めっき処理を行うための金属層を形成する必要がある。特許文献 4 において開示されるように、無電解めっき処理では、適応可能な金属に限られ、例えば Ni が選択される。Ni が磁性体材料であること、また、難エッチング金属であることから貫通穴に配線を形成した後の除去工程にて、配線層部に影響し配線が粗化されること、並びに配線下部へのアンダーカットの発生することから、貫通電極の伝送特性が課題となっている。上記内容より容易に貫通電極の形成可能な貫通孔を有するガラス基板が求められている。

[0104] そこで、本発明では、良好な伝送特性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を提供することを目的とする。

<課題を解決するための手段>

[0105] 上記の課題を解決するために、代表的な本発明のガラス基板の一つは、第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも 1 つの貫通孔を備えており、前記貫通孔の側面は、前記第一面から 5 % 以上 95 % 以下の区間の位置において、傾斜角度が 7 ° 以上 15 ° 以下の範囲となり、断面視において、前記貫通孔の側面を左側面および右側面とした場合、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が 1.0 ° 以下となる。

<発明の効果>

[0106] 本発明によれば、良好な伝送特性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を提供することが可能となる。

上記した以外の課題、構成および効果は、以下の発明を実施するための形

態における説明により明らかにされる。

＜発明を実施するための形態＞

[0107] 本発明の範囲は、図示され記載された例示的な実施形態及び実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、本開示における実施形態及び実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

また、ある実施形態及び実施例の構成の一部を他の実施形態及び実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態及び実施例の構成に他の実施形態及び実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施形態及び実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

さらに、本発明が目的とするものと均等な効果をもたらす全ての実施形態をも含むものである。

図面において示す各構成要素の位置、大きさ、形状、範囲なども、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、範囲などを表していない場合がある。このため、本発明は、必ずしも、図面に開示された位置、大きさ、形状、範囲などに限定されない。

[0108] なお、本開示において、「面」とは、板状部材の面のみならず、板状部材に含まれる層について、板状部材の面と略平行な層の界面も指すことがある。また、「上面」、「下面」とは、板状部材や板状部材に含まれる層を図示した場合の、図面上の上方又は下方に示される面を意味する。なお、「上面」、「下面」については、「第一面」、「第二面」と称することもある。

[0109] また、「側面」とは、板状部材や板状部材に含まれる層における面や層の厚みの部分を意味する。さらに、面の一部及び側面を合わせて「端部」ということがある。

また、「貫通孔の側面」とは、物体に設けられた貫通孔について、貫通孔を形成している物体上の界面を意味する。

また、「上方」とは、板状部材又は層を水平に載置した場合の垂直上方の方向を意味する。さらに、「上方」及びこれと反対の「下方」については、これらを「Z軸プラス方向」、「Z軸マイナス方向」ということがあり、水平方向については、「X軸方向」、「Y軸方向」ということがある。

[0110] さらに、Z軸方向の距離を「高さ」と称し、X軸方向とY軸方向で規定されるXY平面上の距離を「幅」と称する。また、層状の物体に対して高さを言う場合、「厚み」とも称する。

また、「ガラス基板に設けた貫通電極」とは、ガラス基板を多層配線基板の一部として用いる場合に、ガラス基板の第1面及び第二面を電氣的に導通するために設けた導電経路を意味し、必ずしも、ガラス基板を単一の導電材料で完全に貫通している必要はない。第1面からの導電通路と第二面からの導電通路が接続されていれば、貫通電極に含まれる。さらに、貫通電極の形態は、貫通孔（有底のものも、完全な貫通のものも、いずれの形態をも含む）を導電材料で埋め込んだフィールド型でもよいし、貫通孔の側壁部分のみを導電材料で覆ったコンフォーマルのいずれをも含む。

[0111] また、「平面形状」、「平面視」とは、上方から面又は層を視認した場合の形状を意味する。さらに、「断面形状」、「断面視」とは、板状部材又は層を特定の方向で切断した場合の水平方向から視認した場合の形状を意味する。

さらに、「中心部」とは、面又は層の周辺部ではない中心部を意味する。そして、「中心方向」とは、面又は層の周辺部から面又は層の平面形状における中心に向かう方向を意味する。

[0112] <測定方法>

本発明の第一実施形態（付記1）に係るガラス基板に設けた貫通孔の形状を説明するために、まず、貫通孔12の傾斜角度の測定方法、側面粗さの測定方法を以下に示す。

[0113] ここで、ガラス基板貫通孔の側壁の位置による傾斜角を測定し、その値を記述するにあたっての注意点を示す。

貫通孔における特定の位置を、ガラス基板の片面からの深さ方向の位置で指定した場合、その位置での側面の角度は、その位置での側面表面の形状をどの程度のスケールにて観察するかに大きく依存する。

つまり、ガラス基板の貫通孔全体を俯瞰するようなスケールにて、側壁のある位置での側壁の傾斜角を観察した場合と、測定点付近の側壁を拡大し、その位置での側壁の微小な凹凸が明瞭となり、角度を指定した点が、その凹凸のどこに相当するかを厳密に判定して、その位置での接線の傾斜角をもって、目的の角度とする場合とでは、結果が大きく異なる可能性がある。

本開示におけるガラス基板貫通孔の傾斜角とは、前者にあたるものであり、側面表面の凹凸に過度に影響されることなく、貫通孔全体を俯瞰的に見た場合の傾向を反映した傾斜角を意味する。

測定法の一例として、貫通孔全体が俯瞰でき、かつ、側面の表面の微細な凹凸が目視できないスケール、解像度での断面写真において、測定点およびその近傍での傾斜の傾向をできるだけ反映するように測定点における接線を設定することが挙げられる。

[0114] （貫通孔の傾斜角度の測定方法）

図４９に本発明の第一実施形態（付記１）で得られる貫通孔１２の形状を説明している。図４９は、円錐台形状の貫通孔１２の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。図４９に示される貫通孔１２の断面は、貫通孔１２を第一面１０１側より、ガラス基板の厚さ方向においてスクライブにて切断（裁断）して断面（裁断面）を出し、SEM（Scanning Electron Microscope：走査電子顕微鏡）によって観察されたSEM画像を画像解析ソフトを使用して解析したものである。図４９において、パターン模様で示した箇所がガラス基板１０を示している。図４９に示す貫通孔１２の形状は円錐台形状をしており、貫通孔１２は第一面側１０１に貫通孔の径が極小となる極小値を持つ。なお、図４９に示される目盛り５％、１０％、・・・９５％は、ガラス基板１０の第一面１０１から第二面１０２までの長さを割合で示している。

ガラス基板 10 の第一面側 101 の開口部の中心部に、第一面 101 と垂直になるように中心線 TC を引く。次に、矢印に示されるように中心線 TC を貫通孔 12 の両側のいずれか一方に向かって平行移動させ、平行移動させた中心線 TC が貫通孔 12 の径が極小値を取る点と接触させ、接触させた点を基準点 RP とする。そして、基準点 RP から 5 % から 100 % のそれぞれの目盛り位置の高さの断面の位置に接線 ss を引き、接線 ss の傾斜角度を測定し、その傾斜角度を、5 % から 95 % のそれぞれの断面の位置における傾斜角度であるとする。なお、傾斜角度は、貫通孔 12 の径が下方にむけて広がる方向を正とする。

[0115] 上述のように、第一実施形態（付記 1）においては、傾斜角度の測定方法は、（1）貫通孔 12 の中心線を作成する、（2）中心線を開口部が極小値となる位置に水平移動し基準点を作成する、（3）基準点から貫通孔の特定の位置に接線を引き角度を測定する、という手順（1）から（3）を含む。特に（2）基準点を作成する手順を用いることにより、貫通孔全体を俯瞰するようなスケールでかつ側壁の微細な凹凸の影響を受けない信頼性の高い測定を行うことができる。

[0116] なお、具体的な傾斜角度測定では、貫通孔 12 を第一面 101 側より、スクライブおよび精密ブレイカーを使用し、貫通孔 12 を中央部で割断（裁断）して、貫通孔 12 の断面を表出させる。割断の方法としては、例えば 3 点曲げを適用することができる。その後、表出した断面について SEM 観察を実施し、断面の SEM 画像を画像解析することによって、貫通孔 12 の角度測定を実施している。

[0117] （側面粗さの計測方法）

続いて、貫通孔 12 の側面粗さの測定方法について説明する。貫通孔 12 の側面粗さに測定については、側面角度の測定と同様に貫通孔 12 の断面を SEM によって観察し、観察された SEM 画像を画像解析ソフトを使用して解析する。貫通孔の側面粗さを計測するためには、通常は、貫通孔の第一面 101 から第二面 102 に至る範囲を測定範囲とする。ただし、仮に、貫通

孔に凹凸が存在している場合には、当該凹凸部を除いた範囲を2つ以上の測定範囲として設定し、それらの測定範囲の結果を平均して側面粗さとする。また、側面粗さの算出に当たっては、同じ条件で作成した貫通孔5つ（サンプル数 $n = 5$ ）について、同様の測定を行い、これらの平均値を当該条件で作成した貫通孔の側面粗さとして規定する。

図50は、貫通孔の側面粗さの測定方法を示す図である。図50（a）は、貫通孔12の断面のSEM画像を示す。図50（b）は、貫通孔12の断面を観察したSEM画像より、貫通孔12の側面の輪郭を抽出した図を示す。抽出された輪郭データより平均分散粗さおよび凹凸巾の測定を実施する。図50（c）は、平均分散粗さの計算式および凹凸巾を模式的に示す図である。図50（b）において抽出された輪郭データに関し、第一面101を基準として設定した設定領域Lにおいて、輪郭の粗さを示す粗さ曲線 $f(x)$ を測定する。平均分散粗さ（以下、単に「分散粗さ」ともいう。） Ra は、式（1）に示されるように、粗さ曲線 $f(x)$ の絶対値を2乗したものを、設定領域Lにわたって積分したうえで設定領域Lの長さで割ったものである。また、ラフネス幅（以下、「凹凸巾」ともいう。） a は、粗さ曲線 $f(x)$ のうち、粗さの最大値を示すピーク部と粗さの最小値を示すボトム部との差である。

なお、一つ貫通孔において、複数の粗さ曲線 $f(x)$ が設定された場合には、それらから算出された粗さの値の平均値によって当該貫通孔の平均粗さを算出することとなる。

[0118] （伝送特性の測定方法）

伝送特性の測定には、入力波に対する伝搬波の度合いの周波数依存性を示すSパラメータ（S21）を用いる。S21は電力比（透過波電力／入力波電力）の対数で表され、絶対値が小さいほうが伝送損失が小さいことを示す。

Sパラメータ（S21）の測定にはネットワークアナライザを用いた。測定サンプルとしては、ガラス基板に形成した貫通電極11の周辺を導体で囲

み、導体を接地した状態としたものを作製し、これによって、貫通電極 11 の第一面 101 側から第二面 102 側の間における S21 を測定した。

[0119] <第一実施形態（付記 1）に係る実施例および比較例>

第一実施形態（付記 1）における貫通孔 12 に実施形状について説明する。第一実施形態（付記 1）では、後述する図 70 に示されるように、レーザ改質部 65 が形成されたガラス基板 10 に対して、ガラス基板 10 の第二面 102 側からエッチングが行われる。このため、形成された貫通孔 12 は、第二面 102 から第一面 101 に向かって径が窄まる円錐台形状を有する。貫通孔 12 の側面の傾斜角度は、ガラス基板 10 に対するレーザ加工条件、エッチング条件によって変化する。

本発明の各実施例では、表 1 に示すパルス幅およびショット数の照射条件によってガラス基板にレーザ加工を行い、その後のエッチングにより貫通孔 12 を形成している。第一実施形態（付記 1）における実施例 1 においてはパルス幅が 5 ps かつショット数が 1、実施例 2 においてはパルス幅が 15 ps かつショット数が 1、実施例 3 においてはパルス幅が 25 ps かつショット数が 1 である。

また、比較例は、第一実施形態（付記 1）に示した製造方法とレーザ加工方法を変更して作成した貫通孔である。つまり、比較例 1 においてはパルス幅が 30 ps かつショット数が 1、比較例 2 においてはパルス幅が 30 ns かつショット数が 50、比較例 3 においてはパルス幅が 50 μ s かつショット数が 5 である。

なお、各実施例および各比較例のいずれについても、ガラス基板 10 の第二面 102 側の開口径は平均 80 μ m であり、この場合、計測値の平均値に標準偏差の 3 倍を加えた値である 3σ は 4.5 μ m 以下であった。また、形成されたレーザ改質部 65 の第二面 102 における開口径 ϕ について、開口径 ϕ の最大値 ϕ_{max} と最小値 ϕ_{min} の差は 10 μ m 以下であった。

[0120]

[表9]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
パルス幅	5ps	15ps	25ps	30ps	30ns	50us
ショット数	1	1	1	1	50	5

[0121] （貫通孔の傾斜角度）

以下を用いて、第一の実施形態（付記 1）における各実施例、比較例の貫通孔の形状、特性形状を説明する。

図 5 1 は、第一実施形態（付記 1）における実施例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 5 2 は、第一実施形態（付記 1）における実施例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 5 3 は、第一実施形態（付記 1）における実施例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 5 4 は、第一実施形態（付記 1）における比較例 1 となる貫通孔の断面形状を示す図である。

図 5 5 は、第一実施形態（付記 1）における比較例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 5 6 は、第一実施形態（付記 1）における比較例 2 の貫通孔の断面形状を示す図である。

図 5 7 は、第一実施形態（付記 1）における比較例 2 となる貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 5 8 は、第一実施形態（付記 1）における比較例 3 となる貫通孔の断面形状を示す図である。

図 5 9 は、第一実施形態（付記 1）における比較例 3 となる貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[0122] 表 1 0 は、各実施例および各比較例における貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度を測定した結果を表形式に取りまとめたものである。第一実施形態（付記 1）に係る各実施例では、貫通孔 1 2 に側面角度が 5 %から 9 5 %の位置までほぼ一定となる。各比較例では、5 %から 9 5 %の各位置で貫通孔 1 2 の側

面の傾斜角度がばらつくことがわかる。表 2 に示されるように、貫通孔の側面は、前記第一面から 5 % 以上 9 5 % 以下の区間の位置において、傾斜角度が 7 ° 以上 1 5 ° 以下の範囲となる。また、断面視において、前記貫通孔の側面を左側面および右側面とした場合、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が 1 . 0 ° 以下となる。

[0123] また、各実施例では、第二面（1 0 0 %）から 9 5 % 距離までの傾斜角度と 5 % から 9 5 % 距離の傾斜角度の間の差が + / - 1 . 0 ° 以下となる。第二面（1 0 0 %）から 9 5 % 距離までの傾斜角度は 7 ° 以上 1 5 ° 以下の範囲となり、また、5 % から 9 5 % 距離の傾斜角度は 7 ° 以上 1 5 ° 以下の範囲となる。

一方、各比較例では、第二面（1 0 0 %）から 9 5 % 距離までの傾斜角度と 5 % から 9 5 % 距離の傾斜角度の間の差が + / - 1 . 0 ° 以上となる。

このように、本発明の各実施例と比較例では、貫通孔の側面の傾斜角度が変化する傾向が大きく異なることがわかる。

[0124] [表10]

	実施例1		実施例2		実施例3		比較例1		比較例2		比較例3	
	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面
100%	14.3	14.5	10.1	10.1	7.9	8.4	9.8	10.5	12.5	13.4	21.5	22.1
95%	14.1	14.2	9.8	10.3	8.1	8.9	8.3	9.1	10.4	11.6	19.6	18.1
90%	14.9	14.3	9.5	9.1	8.5	8.1	8.9	9.1	9.4	3.2	5.1	2.1
80%	13.8	14.8	9.1	9.8	8.3	8.6	7.1	6.7	8.5	6.8	3.4	5.6
70%	14.5	13.4	9.6	9.7	7.7	8.9	8.5	5.9	7.4	5.5	3.1	1.1
60%	14.3	14.9	8.9	9.4	8.6	9.1	8.3	7.1	9.5	8.4	-2.4	2.3
50%	14.1	14.1	10.1	8.9	8.1	7.6	6.5	8.7	9.3	3.7	3.7	6.5
40%	14.7	13.9	9.4	9.3	8.1	8.2	5.7	4.5	2.5	2.6	8.5	2.5
30%	14.3	14.5	9.2	9.6	8.9	8.1	8.6	3.9	8.2	4.6	4.6	1.9
20%	14.6	14.2	9.7	9.5	8.5	7.8	3.4	8.1	3.5	8.1	8.7	6.8
10%	14.2	14.8	9.5	9.7	8.4	8.6	4.5	5.5	2.1	4.5	9.4	3.6
5%	14.4	14.5	9.6	9.8	7.4	8.5	6.3	4.3	3.1	6.1	9.2	8.6
平均	14.4	14.3	9.5	9.6	8.2	8.4	6.9	6.6	6.7	5.9	6.6	5.4
標準偏差	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	1.8	2.0	3.2	2.7	5.6	4.9

これらのことから、良好な伝送特性を得るためには、貫通孔の形状は、側面の傾斜角度について、第一面から 5 % 以上 9 5 % 以下の区間の位置において、傾斜角度が 7 ° 以上かつ 1 5 ° 以下の範囲であり、断面視において、前記貫通孔の側面を左側面および右側面とした場合、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が 1 . 0 ° 以下であることが望ましいことが分かる。

[0125] （平均分散粗さおよび凹凸巾）

次に、表 1 1 を用いて実施形態における各実施例および各比較例に関し、

貫通孔 1 2 の側面の平均分散粗さおよび凹凸巾について説明する。表 1 1 に示されるように、第一実施形態（付記 1）の各実施例では、分散粗さが 1, 0 0 0 n m 以下かつ凹凸巾が 1, 5 0 0 n m 以下となる。各比較例では、分散粗さが 1, 5 0 0 n m 以上かつ凹凸巾が 1, 5 0 0 n m 以上となり、貫通孔側面の粗さに差があることが確認されている。

[0126] [表11]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
分散粗さ	30.5nm	501.3nm	985.1nm	1623.5nm	1829.4nm	1789.5nm
凹凸巾	316.2nm	982.1nm	1323.5nm	1756.4nm	199.61nm	1985.4nm

[0127] （開口径）

表 1 2 および図 6 0 A を用いて、第一実施形態（付記 1）における貫通孔の第一面と第二面の開口径の関係性を説明する。表 1 2 は、実施例 1 の条件下でガラス基板 1 0 の厚さを 1 0 0 μ m から 2 0 0 μ m に変更した場合の貫通孔 1 2 の第一面 1 0 1 における開口部の径および第二面 1 0 2 における開口部の径を示す。図 6 0 A は、表 1 2 をグラフにして示す図である。実施形態によれば、第二面 1 0 2 の開口径に関わらず、第二面 1 0 2 の開口径と第一面 1 0 1 の開口径の関係性は、第一面側開口径 Φ 1 ／第二面側開口径 Φ 2 ≥ 0 . 4 となる。

[0128] [表12]

第二面開口径: Φ2	第一面開口径: Φ1	Φ1/Φ2
100.3	58.3	0.58
95.5	53.9	0.56
91.1	49.8	0.55
85.8	47.4	0.55
80.4	44.2	0.55
75.4	39.8	0.53
70.5	33.5	0.48
65.7	26.3	0.40

単位: μm

[0129] 次に表 1 3 に、第一実施形態（付記 1）における各実施例および各比較例の第一面開口径と第二面開口径を示す。表 1 3 には、第一実施形態（付記 1）における各実施例および各比較例において計測された、貫通孔 1 2 の第一面 1 0 1 側の開口径 Φ 1 と第二面 1 0 2 側の開口径 Φ 2 の典型的な値が示さ

れる。

[0130] [表13]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	比較例 1	比較例 2	比較例 3
第二面開口径Φ2	71.6	80.5	72.6	75.3	78.5	69.8
第一面開口径Φ1	33.2	60.7	46.1	54.6	45.6	57.1

単位「μm」

[0131] ここで、図 6 O B を参照して、開口径と伝送特性の関係を説明する。図 6 O B は、貫通電極 1 2 を形成した場合を示す模式的に示す図である。貫通孔 1 2 の開口径は、 $\Phi 1 / \Phi 2 \geq 0.4$ という関係に示されるように、 $\Phi 2$ にくらべて $\Phi 1$ を小さくすることができる。例えば、後述する通信用デバイスとして用いられる場合には貫通電極 1 1 を利用してコイルが形成されるところ、 $\Phi 1$ と $\Phi 2$ の関係からコイルの設計自由度を確保することが可能となる。また、パッド間の距離 $D p$ を確保できるため、コイルを含む回路を形成した場合に Q 値を小さくすることができ、伝送損失を抑制することが可能である。上記内容より、貫通電極の信号を安定化（信号損失の低減）が可能となる。

[0132] （断面形状）

次に、貫通孔 1 2 の側面形状について説明する。図 6 1 A から図 6 1 C は、第一実施形態（付記 1）の各実施例および比較例に関し貫通孔の側面を説明する図である。図 6 1 A から図 6 1 C は、第一実施形態（付記 1）における各実施例および各比較例の貫通孔の断面の S E M 画像を示す図である。

[0133] 図 6 1 A から図 6 1 C に示される S E M 画像は、ガラス基板の厚さ方向における貫通孔の裁断面を撮影したものであり、倍率は 1 0 0 0 倍である（S E M 画像に含まれるスケールの 1 目盛りは 5 μ m である）。

S E M 画像において、コントラストが高く白色に見える箇所は、試料表面の傾斜面の角度が切り替わり、傾斜面の稜線となっている領域である。このため、白線で見える箇所は、試料表面の粗さのピークまたはボトムを示す箇所であり、これらの貫通孔の側面に形成されている稜線の存在状況や配置の程度によって、貫通電極の伝送特性に影響を与える貫通孔の側面の粗さを把

握することができる。

[0134] 図61Aに示す第一実施形態（付記1）の各実施例では、ガラス基板10の第一面101に平行な方向や略平行な方向に延びる白線の稜線が現れ、帯状の縞模様が形成されている。

ここで、図61Bを参照して、貫通孔の断面の稜線について説明する。図61Bは、第一実施形態（付記1）における各実施例の貫通孔の稜線を説明する図である。図61B（a）は図61Aの実施例3を拡大して示す図である。また、図61B（b）は、SEM画像において観察される貫通孔について、側面および断面の稜線を実線で示す図である。

図61B（b）に示される例では、略平行な稜線のうち、稜線の間隔がもっとも広くなる場合は、稜線R11と稜線R12の間である。図61B（b）に示される例では、第一面101と垂直な方向の側面上の稜線の間隔はRs以下である。図61B（a）に示されるように、実施例3においては、稜線の間隔は、15.5 μm 以下である。

同様の手法で、稜線の状況を観察すると、実施例1においては、第一面101と垂直な方向における稜線と稜線の間隔は、2 μm 以上3 μm 以下の範囲である。また、実施例2においては、ガラス基板10の第一面101と垂直な方向における稜線と稜線の間隔は、5 μm 以上6 μm 以下の範囲である。

[0135] また、図61Aから明らかなように、第一実施形態（付記1）における実施例3から1に変化するにつれて、つまり、貫通孔の側面の平滑度である分散粗さが小さくなるにつれて、貫通孔12の側面において、ガラス基板10の第一面101に平行な方向に延びる稜線として視認できる白線が緻密になり、稜線と稜線の間隔が狭くなる。これとは反対に、分散粗さが大きくなるほど（すなわち、実施例1から実施例3に変化し、さらに、比較例1から3に変化するにつれて）、稜線と稜線との間隔が大きくなるとともに、第一面101と平行ではない方向に延びる稜線も増えてくる。そして、更には、第一面101と垂直な方向に延びる稜線や第一面101と平行な方向と垂直な

方向との間の方向（以下、「斜方向」ともいう。）に延びる稜線の発生頻度が多くなることが分かる。これらは、分散粗さが小さくなるほど、垂直方向に延びる稜線および斜方向に延びる稜線の割合が少なくなること示している。例えば、実施例2においては、平均分散粗さが500nmであって、凹凸巾が980nmの場合、第一面101に平行な方向と第一面101と垂直な方向の間の方向に延びる白線が視認可能になる。

[0136] 一方、実施形態における比較例1から3のように貫通孔の側面が粗くなる（分散平均粗さ1,000nmより大きくかつ凹凸巾1,500nmより大きい）場合、ガラス基板10の第一面101に垂直な方向に、または第一面101と垂直な方向と第一面101に平行な方向の間の方向に、延びる白線の割合が増えてくる。すなわち、斜方向において、稜線が複数視認可能になる。このような貫通孔12側面の平滑性（粗さ）がSEM画像に表れ、また、貫通電極の伝送特性に影響することがわかる。

[0137] また、図61Cは、第一実施形態（付記1）における貫通孔に貫通電極を形成した場合の断面のSEM画像を示す図である。ここに示されるように、矢印で差し示されて破線で囲まれた箇所は、端部が立つ形状を有している。言い換えると、貫通孔12の側面とガラス基板10の第二面102との間には、ゆるやかに変化する箇所がなく、断面視において角度が一変している。つまり、貫通孔12の側面とガラス基板10の第二面102とは、端部が立つ形状を有しており、1000倍のSEM画像において、側面と第二面の領域とが明確に識別できる形状となっている。

[0138] （伝送特性）

続いて、図62を用いて、第一実施形態（付記1）における各実施例および各比較例の貫通電極の伝送特性について説明する。図62は、実施形態における実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較例1の貫通電極の伝送特性を示す図である。図62では貫通電極における伝送特性として伝送損失S21を測定した結果を示す。なお、実施例1から3は伝送特性が同じ傾向を示したため、代表して実施例1を示している。また、比較例1から3についても

伝送特性がほとんど同じ傾向を示したので、代表して比較例 1 を示している。電極を形成するためのシード層の形成およびめっき処理等の形成条件は、実施例および比較例のいずれも共通とした。図 6 2 に示されるように、いずれの周波数領域においても、実施例の伝送損失のほうが比較例の伝送損失よりも小さいことが示される。したがって、貫通孔の側面については、分散粗さ、凹凸巾の値が小さいほど、貫通孔に形成される貫通電極における損失が小さくなり、伝送特性が良いことが分かる。

[0139] (ガラス基板の厚みを変更した場合の伝送特性)

また、各実施例および各比較例について、ガラス基板 10 の厚みを変更した場合の伝送特性 S 2 1 についても測定した。この結果を表 1 4 に示す。表 1 4 に示されるように、ガラス基板 10 の厚みを $100\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ に設定したうえで、各実施例および各比較例に基づく条件で貫通孔及び貫通電極を作成し、伝送特性を計測した。表 1 4 に示されるように、第一実施形態（付記 1）における各実施例では、各比較例に比べ伝送特性 S 2 1 が良好な値を示していることが確認される。

なお、各比較例に示される貫通電極の形成条件は、先行技術文献 4 に示された貫通電極の形成条件と同様である。先行技術文献 4 に記載されるように、Ni を含む電解めっき液を用いた無電解めっきの技術を用いて貫通電極を形成している。なお、メッキの厚みは各実施例および各比較例において共通である。

[0140] 表 1 4 に示す伝送特性は、単一の貫通電極の伝送特性となっており、複数個の貫通電極を必要とする多層配線基板では、単一貫通電極の伝送特性の向上が大きな性能向上につながる。第一実施形態（付記 1）に係る各実施例を使用することで、既存技術と比較し、高周波数帯での貫通電極の良好な伝送特性を実現した多層配線基板を得ることが可能となる。

なお、伝送特性の観点から、実施例 1 から 3 に示される貫通電極が比較例 1 から 3 に示される貫通電極よりも良好な結果が得られている。実施例の中で比較すると、実施例 1 が最も好ましく、実施例 2、実施例 3 の順に良好で

あるということができる。

[0141] [表14]

周波数	ガラス厚	実施例1		実施例2		実施例3		比較例1		比較例2		比較例3	
		測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定
5GHz	100um	0.0079	良好	0.0082	良好	0.0087	良好	0.0090	良好	0.0090	良好	0.0090	良好
	150um	-0.0083	良好	-0.0087	良好	-0.0094	良好	-0.0098	-	-0.0099	-	-0.0099	-
	200um	-0.0091	良好	-0.0101	良好	-0.0106	良好	-0.0111	-	-0.0112	-	-0.0112	-
10GHz	100um	-0.0140	良好	-0.0148	良好	-0.0154	良好	-0.0157	-	-0.0157	-	-0.0157	-
	150um	-0.0145	良好	-0.0156	良好	-0.0165	良好	-0.0169	-	-0.0170	-	-0.0170	-
	200um	-0.0161	良好	-0.0189	良好	-0.0189	良好	-0.0193	-	-0.0194	-	-0.0194	-
20GHz	100um	0.0293	良好	0.0302	良好	0.0309	良好	0.0311	良好	0.0311	良好	0.0314	良好
	150um	-0.0288	良好	-0.0298	良好	-0.0315	良好	-0.0321	-	-0.0321	-	-0.0321	-
	200um	-0.0312	良好	-0.0379	良好	-0.0352	良好	-0.0357	-	-0.0358	-	-0.0358	-
28GHz	100um	-0.0142	良好	-0.0156	良好	-0.0163	良好	-0.0169	-	-0.0169	-	-0.0169	-
	150um	0.0411	良好	0.0450	良好	0.0468	良好	0.0471	良好	0.0471	良好	0.0471	良好
	200um	-0.0486	良好	-0.0595	良好	-0.0537	良好	-0.0542	-	-0.0544	-	-0.0544	-
56GHz	100um	0.0851	良好	0.0914	良好	0.1040	良好	0.1337	良好	0.1457	良好	0.1517	良好
	150um	-0.0976	良好	-0.1013	良好	-0.1160	良好	-0.1537	-	-0.1875	-	-0.1915	-
	200um	0.1094	良好	0.1213	良好	0.1340	良好	0.1854	良好	0.1984	良好	0.2184	良好
84GHz	100um	-0.1891	良好	-0.2014	良好	-0.2114	良好	-0.2527	-	-0.2727	-	-0.2827	-
	150um	0.2004	良好	0.2212	良好	0.2114	良好	0.2827	良好	0.3127	良好	0.3193	良好
	200um	-0.2114	良好	-0.2421	良好	-0.2114	良好	-0.3027	-	-0.3374	-	-0.3474	-

[0142] <第一実施形態（付記1）に係る多層配線基板の構成>

図63は、第一実施形態（付記1）に係る多層配線基板1の構成の一例を示す図である。また、図64は、第一実施形態（付記1）に係る多層配線基板1の構成の他の例を示す図である。多層配線基板1は、ガラス基板10、第一配線層21、および第二配線層22を含む。ガラス基板10の第一面101側には第一配線層21、ガラス基板10の第二面102側には第二配線層22が配置されている。ガラス基板10は、第一面101側から第二面102側まで貫通する貫通孔12を備える。貫通電極11は、貫通孔12の側面に沿って形成された導電体によって構成される。貫通電極11は第一配線層21の一部と第二配線層22に一部とを電気的に接続する。第一配線層21および第二配線層22は絶縁樹脂層25を含む。第一配線層21および第二配線層22は複数の層が積層された構成でもよく、その層数は必要に応じて設定してよい。貫通電極11は、第一配線層21と第二配線層22の間に電気的な接続を確立するための電極である。導通電極31は、多層配線基板1において基板の厚さ方向に導通を確保するための電極である。また、半導体素子用接合パッド50は、多層配線基板1に搭載する半導体回路を接続するための部材である。基板用接合パッド54は、多層配線基板1と他の基板または他の半導体素子とを接合するための部材である。

なお、貫通電極は、ガラス基板10の第一面101側から第二面102側

を電氣的に接続が可能であれば、図 6 3 に示すように貫通孔 1 2 の側面のみ
に導電体を配置してもよいし、図 6 4 に示すように貫通孔 1 2 に導電体を埋
め込んでも構わない。

なお、第一実施形態（付記 1）では、第一配線層 2 1 の貫通電極 1 1 の Z
軸方向上に導通電極 3 1 配置することが可能となる。

[0143] なお、図 6 4 および図 6 4 において、貫通孔 1 2 の形状は詳細を省略して
示している。図 6 5 から図 7 4 においても同様に省略してある。

[0144] また、多層配線基板 1 の厚みは、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下
の範囲である。

[0145] <第一実施形態（付記 1）における多層配線基板の製造方法>

続いて、多層配線基板 1 の製造方法について、図 6 5 から図 7 4 を用いて
説明する。まず、ガラス基板 1 0 に貫通孔 1 2 を形成する工程について説明
する。

[0146] [第一支持体の接着工程]

図 6 5 は、ガラス基板 1 0 を第一支持体 6 2 に張り合わせる工程を示す図
である。ガラス基板 1 0 の厚みは、エッチング後の厚みを考慮したうえ、用
途に応じて適宜設定することができる。

[0147] 図 6 5 に示されるように、第一接着層 6 1 において、ガラス基板 1 0 と第
一支持体 6 2 が貼り合わされており、ガラス基板 1 0、第一接着層 6 1、第
一支持体 6 2 を含む積層構造体 6 3 が形成される。

[0148] なお、ガラス基板 1 0 と第一支持体 6 2 は、第一接着層 6 1 によって仮固
定されている。

ガラス基板 1 0 に第一支持体を貼り合わせるためには、例えば、ラミネー
ター、真空加圧プレス、減圧貼り合わせ機等を使用することができる。

[0149] 第一支持体 6 2 は、例えば、ガラス基板 1 0 と同一の材料であることが望
ましい。ガラス基板 1 0 の SiO_2 比率が 55 質量%以上 81 質量%以下の範
囲である無アルカリガラスである場合、第一支持体 6 2 も無アルカリガラス
であることが望ましい。また第一支持体 6 2 の厚みについては、ガラス基板

10の厚みに応じて、適宜設定することができる。ただし、製造工程中に搬送可能な厚みであることが望ましく、支持体の厚みは、例えば300 μm 以上1,500 μm 以下の範囲とする。

[0150] ガラス基板10については、例えばSiO₂比率が55質量%以上81質量%以下の範囲である無アルカリガラスを用いることができる。ガラス基板10のSiO₂比率が81質量%より大きい場合、エッチングの加工速度が低下し、貫通孔12の側面の角度の平坦性が低下し、後述する貫通電極11の形成時に付き回り不良が発生してしまう。また、SiO₂比率が55質量%より小さい場合、ガラス中にアルカリ金属が含まれる可能性が高くなり、電子デバイス搭載後の多層配線基板の信頼性に影響する。SiO₂比率が55質量%以上81質量%以下の無アルカリガラスであれば、適宜設定比率を設定して構わない。

[0151] [レーザ改質工程]

続いて、図66は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。ガラス基板10の貫通孔形成予定部にレーザを照射することによって、ガラス基板10にレーザ改質部65が形成される。レーザ改質部65は、ガラス基板10に対し Φ 3 μm 以下の形状で加工されており、ガラス基板10の厚み方向に連続的に形成される。この時、レーザ改質部65の周辺（以下、レーザ照射周辺部」ともいう。）には、5 μm 以上の微小なクラック（以下、「マイクロクラック」ともいう。）が発生していないことが望ましい。レーザ改質部65の周辺に10 μm 以上のマイクロクラックが発生すると、エッチング加工後の貫通孔12に側面で分散粗さが1000nm以上となり、凹凸巾も1500nm以上となる。この結果、平滑な側面の貫通孔12を得ることが困難となる。

また、5 μm 以上のマイクロクラックが発生した場合、後述するように、エッチング後の貫通孔12の側面では、SEM画像において、ガラス基板10の第一面101平行な方向に延びる稜線以外にも、第一面101と垂直な方向に延びる稜線および、第一面101に平行な方向と第一面101と垂直

な方向の間の方向に延びる稜線を視認可能になる。

[0152] レーザ改質部65の加工については、例えば、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザを用い、且つレーザ発振波長は1064nm、532nm、または355nmのうちのいずれかの波長を使用することが好ましい。レーザのパルス幅が25ピコ秒以上ではレーザ改質部65の周辺に5μm以上のマイクロクラックが発生し易くなることから、レーザパルス幅は25ピコ秒以下であることが望ましい。また、複数回のパルス照射による加工を行うとマイクロクラックが発生し易くなることから、1パルスでレーザ改質部65を形成することが望ましい。レーザ改質部65の周辺に5μm以上のマイクロクラックが発生しない条件であれば、レーザ発振波長およびレーザ出力は、ガラス基板10の厚みに応じて、適宜設定して構わない。すなわち、レーザ改質工程（第1の工程）において、ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射し、レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが5μmである、ということもできる。

[0153] [第一配線層の形成]

続いて、図67は、第一配線層21を形成する工程を示す図である。図67に示されるように、積層構造体63のガラス基板10上の第一面101に導電層と絶縁樹脂層からなる第一配線層21の形成を行う。ここでは、ガラス基板10上には耐フッ酸金属層を含むシード層を形成した後に、セミアデティブ（SAP）工法で第一面101に貫通電極接続部41（または貫通電極間の配線）を形成する。不要となったシード層を除去した後に、絶縁樹脂層25を形成する。

[0154] なお、シード層の形成について、ガラス基板10上の耐フッ酸金属層は、クロム、ニッケル、または双方を含む合金層であり、スパッタ処理にて10nm以上1,000nmの範囲で形成することができる。その後、耐フッ酸金属上に導電金属皮膜を所望の厚みで形成する。導電金属皮膜は、例えば、Cu、Ni、Al、Ti、Cr、Mo、W、Ta、Au、Ir、Ru、Pd、Pt、AlSi、AlSiCu、AlCu、NiFe、ITO、IZO、

A Z O、Z n O、P Z T、T i N、C u₃N₄から適宜設定することができる。

[0155] セミアディティブ工法においては、めっきによる配線パターンを形成するために、フォトリソグレイドを使用して所望のパターンを形成する。一般的には、ドライフィルムレジストを用いるが、液体のレジストを使用しても構わない。所望のパターンを露光、現像しパターン形成した後に、電解めっきにてめっき被膜を形成し、不要となったレジストを剥離し、シード層をエッチングすることで配線形成を行うことができる。

[0156] [絶縁樹脂層]

次に絶縁樹脂層 25 の形成について、絶縁樹脂層 25 は熱硬化性樹脂であり、その材料は、エポキシ系樹脂、ポリイミド系樹脂、ポリアミド系樹脂の少なくとも一つを含み、かつシリカ S i O₂ フィラーを含む材料である。絶縁樹脂層 25 の材料は、必要に応じて適宜選択することができる。但し、感光性絶縁樹脂材料を用いる場合は、フォトリソグラフィ性を確保するためにシリカ S i O₂ フィラーの充填が困難となるため、感光性絶縁樹脂材料も使用可能であるが、熱硬化樹脂を用いる方がより好ましい。

[0157] [第二支持体の接着工程]

次に、図 68 は、第二支持体を接着する工程を示す図である。図 68 に示されるように、積層構造体 63 の第一配線層 21 上に第二接着層 71 を形成し、第二接着層 71 上に第二支持体 70 を配置し接着する。

第二支持体 70 については、例えばガラスを用いることができ、ガラス基板 10 と同一の材料であることが望ましい。ガラス基板 10 が無アルカリガラスである場合、第二支持体 70 も無アルカリガラスであることが望ましい。また第二支持体 70 の厚みについては、ガラス基板 60 の厚みに応じて、適宜設定することができる。ただし、搬送可能な厚みであることが望ましく、その範囲は、300 μm 以上 1,500 μm 以下の範囲である。

[0158] [剥離工程]

次に、図 69 は、第一支持体を剥離する工程を示す図である。図 69 に示

されるように、ガラス基板 10 と第一支持体 62 を第一接着層 61 において剥離する。

[0159] [貫通孔の形成]

続いて、図 70 は、貫通孔 12 を形成する工程を示す図である。

[0160] [エッチング工程]

レーザ改質部 65 が形成されたガラス基板 10 に対し、所定のエッチング液でエッチング処理を施すことで貫通孔 12 が形成される。また、同時に、ガラス基板 10 の第二面もエッチングされ、ガラス基板 10 の厚さが減少することとなる。

[0161] [エッチング液]

エッチング液は、フッ酸を 0.2 質量%以上 20.0 質量%以下の範囲とし、硝酸を 4.0 質量%以上 25.0 質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を 0.5 質量%以上 11.0 質量%以下の範囲として含有するものが用いられる。フッ酸および硝酸以外の無機酸としては、例えば、塩酸、硫酸、リン酸、スルファミン酸等が挙げられ、ガラス基板 10 中に含まれるケイ素以外の成分の種類に応じて、少なくとも 1 つの無機酸を含有させる。望ましくは、塩酸および硫酸を含有させたエッチング液であり、ガラス基板 10 に対するエッチングレートとしては、 $0.1\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $10\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲になるように適宜調整される。ガラス基板 10 に対するエッチングレートは、望ましくは $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲であり、より望ましくは $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲である。エッチング温度としては、特に限定されず、適宜調整することができるが、例えば 10°C 以上 30°C 以下の範囲となる。

[0162] なお、エッチングによる貫通孔 12 の形成工程では、フッ酸の濃度を下げ、複数回のエッチングを行うようにしてもよい。例えば、初回でのエッチング処理はガラス基板 10 に対するエッチングレートを $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $10\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とし、二回目のエッチング処理をガラス基板 10 に対するエッチングレートを $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $4\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とし、その後

、三回目のエッチング処理をガラス基板 10 に対するエッチングレートが $0.25\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $0.5\ \mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲とすることが挙げられる。エッチングの処理回数については、貫通孔の側面の粗さが所望の範囲になるように適宜処理回数を設定してよい。

[0163] [貫通電極の形成]

次に、図 7 1 を参照して、貫通電極 11 の形成工程について説明する。図 7 1 は、貫通電極 11 を形成する工程を示す図である。

[0164] 貫通孔 12 が形成されたガラス基板 10 に対し、第二面 102 から、電解めっき処理のための金属層を形成する。金属層については、電解めっき処理のシード層として機能する金属であればよく、例えば、Cu、Ti、Cr、W、Ni 等を含む金属である。金属層には上記金属のうち少なくとも 1 つが用いられ、また金属層の最表面に Cu 層が形成されていることが望ましい。Ti、Cr、W、Ni については、Cu 層の下部のガラス基板 10 との密着層として使用されることが望ましい。金属層の厚みは、貫通孔 12 の側面を覆うことができる範囲に適宜設定される。形成方法としては、例えばスパッタリングを用いた蒸着による形成方法を採用することが可能である。

[0165] 続いて、上記金属層をシード層として用いる電解めっき処理によって、貫通電極 11 を形成する。貫通孔 12 内を選択的に成長させるために、ガラス基板 10 の第二面 102 において貫通孔 12 および貫通孔 12 の周りの所定の範囲にレジスト等の絶縁体でマスクを形成しておき、電解めっき処理を行う。電解めっき処理に用いる材料については、例えば Cu を用いることが可能であり、他の金属としては、Au、Ag、Pt、Ni、Sn 等を含む金属を用いることも可能である。多層配線基板の用途に応じて、上記金属の導電体で貫通孔 12 内が充填されるように電解めっき処理を行っても構わない。

[0166] [絶縁樹脂層の形成]

また、図 7 2 を参照して、絶縁樹脂層 25 の形成工程について説明する。図 7 2 は、絶縁樹脂層を形成する工程を示す図である。貫通電極を形成するための電解めっき処理をした後は、レジスト等の絶縁体を除去し、またガラ

ス基板 10 の第一面 101 および第二面 102 に形成された金属膜を除去し、ガラス基板 10 に形成された複数の貫通電極 11 それぞれを電氣的に独立させた後に、図 25 に示されるように、第二面側に絶縁樹脂層 25 の形成を行う。

[0167] [第二支持体の剥離]

続いて、図 73 を参照して、第二支持体 70 および第二接着層 71 の剥離工程について説明する。図 73 は、第二支持体 70 および第二接着層 71 を剥離する工程を示す図である。図 73 に示されるように、第一配線層 21 の上方に形成された第二接着層 71 および第二支持体 70 を、第一面 101 側の第一配線層 21 と第二接着層 71 の界面より剥離する。これによって、図 73 に示されるように、第一面 101 側に第一配線層 21、第二面 102 側に第二配線層 22 が形成された状態のガラス基板 10 が得られる。

第二支持体 70 を第二配線層 22 から剥離するにあたっては、第二接着層 71 に使用した材料に応じて、UV 光の照射、加熱処理、物理剥離等から使用材料に応じた剥離方式を適宜選択することができる。また、第一配線層 21 と第二接着層 71 との接合面に、第二接着層 71 の残差が生じる場合、プラズマ洗浄、超音波洗浄、水洗、アルコールを使用した溶剤洗浄などを行ってもよい。

[0168] [第一配線層および第二配線層の形成]

続いて、図 74 を参照して、ガラス基板 10 に形成される第一配線層 21 および第二配線層 22 の形成について説明する。図 74 は、第一配線層 21 および第二配線層 22 を形成する工程を示す図である。貫通電極 11 が形成されたガラス基板 10 に対し、第一面 101 に第一配線層 21 を形成し、第二面 102 に第二配線層 22 を形成する。第一配線層 21 および第二配線層 22 の形成工程においては、最初に、感光性のレジストまたはドライフィルムレジスト等によってパターンを有するマスクを形成した後に、電解めっき処理によって配線を形成する。その後、物理密着処理、もしくは、化学的な密着処理を施した後に、絶縁樹脂層 25 を積層する。導通電極 31 について

は、レーザ加工等によって絶縁樹脂層 2 5 に孔を形成した後に、無電解めっき、もしくは、スパッタリングによる蒸着処理によって金属皮膜を形成する。上記金属皮膜にレジストを用いてパターンを有するマスクを形成し、電解めっきによって形成した孔に導電体を充填する。その後、マスクおよび余分の金属皮膜を除去する。上記工程は必要な層数に応じて複数回繰り返すことで、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 が形成される。なお、第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 は多層配線基板 1 の反りを抑制するために、同じ層数であることが望ましい。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 の層厚が異なる場合は、第一配線層 2 1 と第二配線層 2 2 に層数を変えても構わない。多層配線基板に用途に応じて、第一配線層 2 1 の層数および第二配線層 2 2 の層数は適宜設定してよい。

[0169] <第二実施形態（付記 1）>

図 7 5 は、半導体素子 1 0 0 と B G A（Ball Grid Array：ボールグリッドアレイ）基板 9 0 のインターポーザ基板として、多層配線基板 1 を用いる場合を示す図である。図 7 6 は、図 7 5 の場合の断面を示す図である。また、図 7 7 は、通信用の電子デバイスに多層配線基板 1 および半導体素子 1 0 0 が用いられる場合を示す図である。図 7 8 は、図 7 7 の場合の断面を示す図である。電子デバイスとしては、層厚が 8 0 0 μm 以下のものが用いられる。また

上記電子デバイスは、貫通電極の伝送特性の影響によって、適応用途が限られており、本発明のガラス基板を使用することで電子デバイスの高周波数帯領域での適応が可能となる。

[0170]（本開示の貫通孔および貫通電極の特徴）

図 7 9 は、本開示において形成される貫通孔および貫通電極の特徴を説明する図である。図 7 9 は、例えば、図 7 4 の領域 R a を拡大して示す図である。図 7 9 に示されるように、貫通孔 1 2（または貫通電極 1 1）の直上に、導通電極 3 1 を形成することができる。これは、貫通孔 1 2 が所謂、有底形状であるためである。有底形状にすることで、貫通孔 1 2 上に直接に導通

電極 3 1 を形成することが可能となる。このため、電極全体としての伝送距離が短縮され、伝送特性の向上および貫通孔 1 2 の微細化が可能となる。

また、実施形態において説明したように、本開示における貫通孔 1 2 の側面には側面形状が変化する変曲点がなく、表面が滑らかである。したがって、貫通孔 1 2 にめっき処理を行う場合、均一な金属膜等を形成することができるため、貫通孔 1 2 側面において寄生容量の発生を抑制することができる。貫通孔 1 2 の形状は、変曲点を有する形状や、ガラス基板の第一面から第二面まで径がほとんど変化しない所謂ストレート形状とすることも可能であるが、伝送特性の観点からは、寄生容量の発生を抑制することができる本開示に示す形状が望ましい。

[0171] <作用・効果>

本開示において形成される貫通孔は、円錐台形状を有している。貫通孔 1 2 に貫通電極 1 1 を形成する場合、シード層となる金属層を形成するためにスパッタを行う場合、複数の金属のなかから選択することが可能である。特許文献 4 においては Ni が選択されるところ、本開示においては必ずしも Ni を用いなくとも貫通電極を形成することができるため、貫通電極を容易に形成することができる。

以上、本発明の実施形態、並びに本発明の実施形態に係る製造方法、実施例によれば、貫通孔の側面を平滑に形成することで可能であり、貫通電極の伝送特性を既存技術に対し向上させることが可能となる。本発明を使用することで、高周波帯で良好な伝送特性を備えた多層配線基板の提供が可能となる。

[0172] (他の実施態様)

本開示は次の態様も含む。

(態様 1 (付記 1))

第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも 1 つの貫通孔を備えるガラス基板であって、

前記貫通孔の側面は、前記第一面から 5 % 以上 9 5 % 以下の区間の位置に

において、傾斜角度が 7° 以上 15° 以下の範囲となり、

断面視において、前記貫通孔の側面を左側面および右側面とした場合、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が 1.0° 以下となる、ガラス基板。

(態様2 (付記1))

態様1に記載のガラス基板であって、

前記貫通孔の側面は、

前記第二面と距離95%の位置までの傾斜角度は 7° 以上 15° 以下の範囲となる、ガラス基板。

(態様3 (付記1))

態様1または2に記載のガラス基板であって、

第二面側の開口径 $\Phi 2$ と、第一面側の開口径 $\Phi 1$ の関係が、 $\Phi 1 / \Phi 2 \geq 0.4$ 以上となる、ガラス基板。

(態様4 (付記1))

態様1から3のいずれか1つに記載のガラス基板であって、

前記ガラス基板の厚さ方向における前記貫通孔の裁断面における側面形状の

分散粗さが $1,000\text{nm}$ 以下かつ凹凸巾が $1,500\text{nm}$ 以下である、ことを特徴とするガラス基板。

(態様5 (付記1))

態様1から4のいずれか1つに記載のガラス基板であって、

前記分散粗さは、前記側面の輪郭データに基づいて粗さ曲線を抽出し、前記粗さ曲線に設定区間を設定し、前記設定区間において式1によって算出された算術平均粗さであり、

前記凹凸巾は、前記設定区間において、最も高い部分と最も低い部の間の差である、ガラス基板。

[数2]

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)|^{(2)} dx \cdots \text{式 1}$$

Ra は算術平均粗さ
f (x) は粗さ曲線
L は設定区間の長さ

(態様6 (付記1))

態様1から5のいずれか1つに記載のガラス基板であって、
前記ガラス基板のSiO₂比率は55質量%以上81質量%以下の範囲となる、ガラス基板。

(態様7 (付記1))

態様1から6のいずれか1つに記載のガラス基板を含む多層配線基板であって、

前記多層配線基板に搭載される電子デバイスの層厚は800μm以下であり、

前記多層配線基板の厚みは100μm以上200μm以下の範囲となる、多層配線基板。

(態様8 (付記1))

態様1から7のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、
ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射する第1の工程、
レーザ照射された前記ガラス基板をエッチングし、貫通孔を形成する第2の工程

を有するガラス基板の製造方法。

(態様9 (付記1))

態様8に記載のガラス基板の製造方法であって、
前記ガラス基板の前記第一面には耐フッ酸金属膜が形成されており、
前記第2の工程において、前記ガラス基板の前記第二面からエッチングが行われる、ガラス基板の製造方法。

(態様10 (付記1))

態様8または9に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第1の工程において、照射されるレーザは、レーザ発振波長が1064 nm、532 nm、または355 nmのうちのいずれかの波長でありかつパルス幅が25ピコ秒以下である、ガラス基板の製造方法。

(態様11 (付記1))

態様8から10のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第1の工程において、前記レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが5 μ mである、ガラス基板の製造方法。

(態様12 (付記1))

態様8から11のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第2の工程において、エッチングレートを変更した複数回のエッチングが行われる、ガラス基板の製造方法。

(態様13 (付記1))

態様8から12のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第2の工程において、フッ酸を0.2質量%以上20.0質量%以下の範囲とし、硝酸を4.0質量%以上25.0質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を0.5質量%以上11.0質量%以下の範囲として含有するエッチング液が用いられる、ガラス基板の製造方法。

[0173] (付記2)

本開示のさらに別の態様を以下に示す。

[0174] 本発明は、ガラス基板、多層配線基板、およびガラス基板の製造方法に関する。

<背景技術>

[0175] 近年、回路基板を積層した三次元実装技術が用いられている。このような実装技術においては、回路基板に貫通電極を形成することが行われる。貫通電極は、絶縁体で構成された基板に貫通孔を形成し、この貫通孔に導電体を配置することによって形成される。回路基板の高集積化に伴い、貫通孔についても更なる微細化が必要となる。

[0176] 例えば、特許文献1は、板状ガラスにエキシマレーザ光を照射して複数の貫通孔を有するガラス基板を提供する技術を開示している。特許文献2は、UVレーザビームによってガラス品の前面を照射する工程を含む、ガラスに孔の高密度アレイを作製する方法を開示する。また、特許文献3は、貫通孔を含む基板と、前記貫通孔の内側面に沿って配置された導電体と、を備え、前記貫通孔は、前記第1面から前記第2面までの区間のうち前記第1面から6.25%、18.75%、31.25%、43.75%、56.25%、68.75%、81.25%、93.75%の距離の位置における前記貫通孔の中心軸に対する内側面の傾斜角度（前記第1面側が広がる角度を正の傾斜角度とする）の合計値が、8.0°以上である条件を満たす貫通孔の形状を開示する。

<先行技術文献>

<特許文献>

[0177] <特許文献1>国際公開第2010/087483号

<特許文献2>特表2014-501686号公報

<特許文献3>特許第6809511号公報

<発明の概要>

<発明が解決しようとする課題>

[0178] しかしながら、特許文献1から3に記載された内容で貫通孔は、貫通孔の側面粗さによる、貫通電極の伝送特性への影響については、検討されていない。このため、特許文献1から3に記載された貫通孔の側面は、側面の分散粗さは1,000nm以上となり、PV (Peak to Valley) は1,500nm以上となっている。このため、特に、5Gに用いられる周波数帯の内、サブ6GHz帯といった高周波数帯では、貫通孔側面の粗さが原因となり、貫通電極の伝送特性を十分良好に保つことが難しい。

[0179] また、ガラス基板上に配線層を形成し、これらを接続する貫通電極を形成した場合、ガラスのCTE (COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION、熱膨張率) と配線や貫通電極の材料となるCu等のCTEが異なるため、熱応力の影

響が懸念される。このため、デバイスの信頼性を評価するための信頼性試験の一つとして加速試験のTCT（Thermal Cycle Test）を実施される。

しかし、従来技術においては、熱応力に対する貫通電極の信頼性を高めるための貫通孔御形状について、十分に検討がされていないことから、貫通電極と配線層の界面で配線層が破断することが確認されている

[0180] そこで、本発明では、良好な伝送特性および高い信頼性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を提供することを目的とする。

＜課題を解決するための手段＞

[0181] 上記の課題を解決するために、代表的な本発明のガラス基板の一つは、第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えるガラス基板であって、前記貫通孔の側面は、前記第一面から距離0%以上10%未満の範囲において、側面の角度は4°以上7°以下の範囲となり、断面視において、前記貫通孔の側面を左側面および右側面とした場合、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が1.0°以下であり、前記第一面から距離10%以上100%以下の範囲において、側面の角度は-7°以上-15°以下の範囲となり、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が1.0°以下となる。

＜発明の効果＞

[0182] 本発明によれば、良好な伝送特性および高い信頼性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を提供することが可能となる。

上記した以外の課題、構成および効果は、以下の発明を実施するための形態における説明により明らかにされる。

＜発明を実施するための形態＞

[0183] 本発明の範囲は、図示され記載された例示的な実施形態及び実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、本開示における実施形態及び実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したも

のであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態及び実施例の構成の一部を他の実施形態及び実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施形態及び実施例の構成に他の実施形態及び実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施形態及び実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

さらに、本発明が目的とするものと均等な効果をもたらす全ての実施形態をも含むものである。

[0184] 図面において示す各構成要素の位置、大きさ、形状、範囲なども、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、範囲などを表していない場合がある。このため、本発明は、必ずしも、図面に開示された位置、大きさ、形状、範囲などに限定されない。

[0185] なお、本開示において、「面」とは、板状部材の面のみならず、板状部材に含まれる層について、板状部材の面と略平行な層の界面も指すことがある。また、「上面」、「下面」とは、板状部材や板状部材に含まれる層を図示した場合の、図面上の上方又は下方に示される面を意味する。なお、「上面」、「下面」については、「第一面」、「第二面」と称することもある。

[0186] また、「側面」とは、板状部材や板状部材に含まれる層における面や層の厚みの部分を意味する。さらに、面の一部及び側面を合わせて「端部」ということがある。

また、「貫通孔の側面」とは、物体に設けられた貫通孔について、貫通孔を形成している物体上の界面を意味する。

また、「上方」とは、板状部材又は層を水平に載置した場合の垂直上方の方向を意味する。さらに、「上方」及びこれと反対の「下方」については、これらを「Z軸プラス方向」、「Z軸マイナス方向」ということがあり、水平方向については、「X軸方向」、「Y軸方向」ということがある。

[0187] さらに、Z軸方向の距離を「高さ」と称し、X軸方向とY軸方向で規定されるXY平面上の距離を「幅」と称する。また、層状の物体に対して高さを

言う場合、「厚み」とも称する。

また、「ガラス基板に設けた貫通電極」とは、ガラス基板を多層配線基板の一部として用いる場合に、ガラス基板の第1面及び第二面を電氣的に導通するために設けた導電経路を意味し、必ずしも、ガラス基板を単一の導電材料で完全に貫通している必要はない。第1面からの導電通路と第二面からの導電通路が接続されていれば、貫通電極に含まれる。さらに、貫通電極の形態は、貫通孔（有底のものも、完全な貫通のものも、いずれの形態をも含む）を導電材料で埋め込んだフィルド型でもよいし、貫通孔の側壁部分のみを導電材料で覆ったコンフォーマルのいずれをも含む。

[0188] また、「平面形状」、「平面視」とは、上方から面又は層を視認した場合の形状を意味する。さらに、「断面形状」、「断面視」とは、板状部材又は層を特定の方向で切断した場合の水平方向から視認した場合の形状を意味する。

さらに、「中心部」とは、面又は層の周辺部ではない中心部を意味する。そして、「中心方向」とは、面又は層の周辺部から面又は層の平面形状における中心に向かう方向を意味する。

[0189] <測定方法>

本発明の第一実施形態（付記2）に係るガラス基板に設けた貫通孔の形状を説明するために、まず、貫通孔12の傾斜角度の測定方法、側面粗さの測定方法を以下に示す。

[0190] ここで、ガラス基板貫通孔の側壁の位置による傾斜角を測定し、その値を記述するにあたっての注意点を示す。

貫通孔における特定の位置を、ガラス基板の片面からの深さ方向の位置で指定した場合、その位置での側面の角度は、その位置での側面表面の形状をどの程度のスケールにて観察するか大きく依存する。

つまり、ガラス基板の貫通孔全体を俯瞰するようなスケールにて、側壁のある位置での側壁の傾斜角を観察した場合と、測定点付近の側壁を拡大し、その位置での側壁の微小な凹凸が明瞭となり、角度を指定した点が、その凹

凸のどこに相当するかを厳密に判定して、その位置での接線の傾斜角をもって、目的の角度とする場合とでは、結果が大きく異なる可能性がある。

本開示におけるガラス基板貫通孔の傾斜角とは、前者にあたるものであり、側面表面の凹凸に過度に影響されることなく、貫通孔全体を俯瞰的に見た場合の傾向を反映した傾斜角を意味する。

測定法の一例として、貫通孔全体が俯瞰でき、かつ、側面の表面の微細な凹凸が目視できないスケール、解像度での断面写真において、測定点およびその近傍での傾斜の傾向をできるだけ反映するように測定点における接線を設定することが挙げられる。

[0191] （貫通孔の傾斜角度の測定方法）

まず、図80に本発明の第一実施形態（付記2）で得られる貫通孔12の形状を説明している。図80は、円錐台形状の貫通孔12の断面および傾斜角度の測定方法を示す図である。図80に示される貫通孔12の断面は、貫通孔12を第一面101側より、ガラス基板の厚さ方向においてスクライブにて切断（裁断）して断面（裁断面）を出し、SEM（Scanning Electron Microscope：走査電子顕微鏡）によって観察されたSEM画像を画像解析ソフトを使用して解析したものである。図80において、パターン模様で示した箇所がガラス基板10を示している。図80に示す貫通孔12は、貫通孔12は第一面101と第二面102の間に貫通孔の径が極小となる極小値を持つ。極小値を持つ点を挟んで、第一面101側には円錐台形状が形成され、第二面102側にも円錐台形状が形成されている。なお、図80に示される目盛り5%、10%、・・・95%は、ガラス基板10の第一面101から第二面102までの長さを割合で示している。

ガラス基板10の第一面101側の貫通孔12の中心部に、第一面101と垂直になるように中心線TCを引く。次に、矢印に示されるように中心線TCを貫通孔12の両側のいずれか一方に向かって平行移動させ、平行移動させた中心線TCが貫通孔12の径が極小値を取る点と接触させ、接触させた点を基準点RPとする。そして、基準点RPから5%から100%のそれ

その目盛り位置の高さの断面の位置に接線 $s-s$ を引き、接線 $s-s$ の傾斜角度を測定し、その傾斜角度を、5 % から 95 % のそれぞれの断面の位置における傾斜角度であるとする。傾斜角度は、貫通孔 12 の径が上方に向けて広がる方向を正とする。

[0192] 上述のように、第一実施形態（付記 2）においては、傾斜角度の測定方法は、（1）貫通孔 12 の中心線を作成する、（2）中心線を開口部が極小値となる位置に水平移動し基準点を作成する、（3）基準点から貫通孔の特定の位置に接線を引き角度を測定する、という手順（1）から（3）を含む。特に（2）基準点を作成する手順を用いることにより、貫通孔全体を俯瞰するようなスケールでかつ側壁の微細な凹凸の影響を受けない信頼性の高い測定を行うことができる。

[0193] なお、具体的な傾斜角度測定では、貫通孔 12 を第一面 101 側より、スクライブおよび精密ブレイカーを使用し、貫通孔 12 を中央部で割断（裁断）して、貫通孔 12 の断面を表出させる。割断の方法としては、例えば 3 点曲げを適用することができる。その後、表出した断面について SEM 観察を実施し、断面の SEM 画像を画像解析することによって、貫通孔 12 の角度測定を実施している。

[0194] （側面粗さの計測方法）

続いて、貫通孔 12 の側面粗さの測定方法について説明する。貫通孔 12 の側面粗さに測定については、側面角度の測定と同様に貫通孔 12 の断面を SEM によって観察し、観察された SEM 画像を画像解析ソフトを使用して解析する。貫通孔の側面粗さを計測するためには、通常は、貫通孔の第一面 101 から第二面 102 に至る範囲を測定範囲とする。ただし、仮に、貫通孔に凹凸が存在している場合には、当該凹凸部を除いた範囲を 2 つ以上の測定範囲として設定し、それらの測定範囲の結果を平均して側面粗さとする。また、側面粗さの算出に当たっては、同じ条件で作成した貫通孔 5 つ（サンプル数 $n = 5$ ）について、同様の測定を行い、これらの平均値を当該条件で作成した貫通孔の側面粗さとして規定する。

図 8 1 は、貫通孔の側面粗さの測定方法を示す図である。図 8 1 に示す貫通孔 1 2 は、説明のため、一般的な形状のものを掲載している。図 8 1 (a) は、貫通孔 1 2 の断面の SEM 画像を示す。図 8 1 (b) は、貫通孔 1 2 の断面を観察した SEM 画像より、貫通孔 1 2 の側面の輪郭を抽出した図を示す。抽出された輪郭データより平均分散粗さおよび凹凸巾の測定を実施する。図 8 1 (c) は、平均分散粗さの計算式および凹凸巾を模式的に示す図である。図 8 1 (b) において抽出された輪郭データに関し、第一面 1 0 1 を基準として設定した設定領域 L において、輪郭の粗さを示す粗さ曲線 $f(x)$ を測定する。平均分散粗さ（以下、単に「分散粗さ」ともいう。） R_a は、式 (1) に示されるように、粗さ曲線 $f(x)$ の絶対値を 2 乗したものを、設定領域 L にわたって積分したうえで設定領域 L の長さで割ったものである。また、ラフネス幅（以下、「凹凸巾」ともいう。） a は、粗さ曲線 $f(x)$ のうち、粗さの最大値を示すピーク部と粗さの最小値を示すボトム部との差である。

なお、一つ貫通孔において、複数の粗さ曲線 $f(x)$ が設定された場合には、それらから算出された粗さの値の平均値によって当該貫通孔の平均粗さを算出することとなる。

[0195] (伝送特性の測定方法)

伝送特性の測定には、入力波に対する伝搬波の度合いの周波数依存性を示す S パラメータ (S_{21}) を用いる。 S_{21} は電力比 (透過波電力 / 入力波電力) の対数で表され、絶対値が小さいほうが伝送損失が小さいことを示す。

S パラメータ (S_{21}) の測定にはネットワークアナライザを用いた。測定サンプルとしては、ガラス基板に形成した貫通電極 1 1 の周辺を導体で囲み、導体を接地した状態としたものを作製し、これによって、貫通電極 1 1 の第一面 1 0 1 側から第二面 1 0 2 側の間における S_{21} を測定した。

[0196] <第一実施形態 (付記 2) に係る実施例および比較例>

第一実施形態 (付記 2) における貫通孔 1 2 に実施形状について説明する

。実施形態では、後述する図 1 0 4 に示されるように、レーザ改質部 6 5 が形成されたガラス基板 1 0 に対して、ガラス基板 1 0 の第二面 1 0 2 側からエッチングが行われる。このため、形成された貫通孔 1 2 は、第二面 1 0 2 から第一面 1 0 1 に向かって径が窄まる円錐台形状を有する。貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度は、ガラス基板 1 0 に対するレーザ加工条件、エッチング条件によって変化する。

本発明の各実施例では、表 1 5 に示すパルス幅およびショット数の照射条件によってガラス基板にレーザ加工を行い、その後のエッチングにより貫通孔 1 2 を形成している。第一実施形態（付記 2）における実施例 1 においてはパルス幅が 5 p s かつショット数が 1、実施例 2 においてはパルス幅が 1 5 p s かつショット数が 1、実施例 3 においてはパルス幅が 2 5 p s かつショット数が 1 である。

また、比較例は、第一実施形態（付記 2）に示した製造方法とレーザ加工方法を変更して作成した貫通孔である。つまり、比較例 1 においてはパルス幅が 3 0 p s かつショット数が 1、比較例 2 においてはパルス幅が 3 0 n s かつショット数が 5 0、比較例 3 においてはパルス幅が 5 0 μ s かつショット数が 5 である。

なお、各実施例および各比較例のいずれについても、ガラス基板 1 0 の第二面 1 0 2 側の開口径は平均 8 0 μ m であり、この場合、計測値の平均値に標準偏差の 3 倍を加えた値である 3 σ は 4 . 5 μ m 以下であった。また、形成されたレーザ改質部 6 5 の第二面 1 0 2 における開口径について、開口径の最大値 φ_{M a x} と最小値 φ_{M i n} の差は 1 0 μ m 以下であった。

[0197] [表15]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
パルス幅	5ps	15ps	25ps	30ps	30ns	50us
ショット数	1	1	1	1	50	5

[0198] （貫通孔の傾斜角度）

以下、図 8 2 から図 1 0 2 を参照して、第一実施形態（付記 2）における各実施例、比較例の貫通孔の形状、特性形状を説明する。

図 8 2 は、第一実施形態（付記 2）における実施例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 8 3 は、第一実施形態（付記 2）における実施例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 8 4 は、第一実施形態（付記 2）における実施例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 8 5 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 1 の貫通孔の断面形状を示す図である。

図 8 6 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 1 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 8 7 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 2 の貫通孔の断面形状を示す図である。

図 8 8 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

図 8 9 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 3 の貫通孔の断面形状を示す図である。

図 9 0 は、第一実施形態（付記 2）における比較例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。

[0199]（傾斜角度）

表 1 6 は、実施形態の各実施例および各比較例における貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度を測定した結果を表形式に取りまとめたものである。実施形態に係る各実施例では、貫通孔 1 2 に側面角度が第一面からの距離 0 % 以上 1 0 % 未満の範囲における値と、第一面からの距離 1 0 % 以上 9 5 % 以下の範囲における値との間に、差があることが確認されている。言い換えると、貫通孔 1 2 に側面角度が第一面からの距離 0 % 以上 1 0 % 未満の範囲においてほぼ一定であり（側面の角度は 4 ° 以上 7 ° 以下の範囲となり）、第一面からの距離 1 0 % 以上 9 5 % 以下の範囲においてほぼ一定となる側面の角度は 7 ° 以上 1 5 ° 以下の範囲となる）ことが確認される。また、第一面から

の距離 95%以上 100%以下の範囲における貫通孔 12 の側面の傾斜角度は、第一面からの距離 10%以上 95%以下の範囲における貫通孔 12 の側面の傾斜角度と同等の傾斜角度となり、2つの範囲における傾斜角度の差が 1.0° 以下となる。

各比較例では、距離 5%以上 95%以下の各位置で貫通孔 12 の側面の傾斜角度がばらつくことがわかる。本発明の各実施例と比較例では貫通孔の側面の傾斜角度の形状が大きく異なることがわかる。

[0200] [表16]

	実施例1		実施例2		実施例3		比較例1		比較例2		比較例3	
	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面
0%	6.9	6.6	5.5	5.4	4.1	4.4	-9.8	-10.5	-4.5	-6.1	-5.2	-7.1
5%	6.6	6.8	5.1	5.3	4.3	4.2	-8.3	-9.1	-3.1	-6.1	-9.2	-8.6
10%	-14.9	-14.3	-9.5	-9.1	-8.5	-8.1	-8.9	-9.1	-2.1	-4.5	-9.4	-3.6
20%	-13.8	-14.8	-9.1	-9.8	-8.3	-8.6	-7.1	-6.7	-3.5	-8.1	-8.7	-6.8
30%	-14.5	-13.4	-9.6	-9.7	-7.7	-8.9	-8.5	-5.9	-7.4	-5.5	-3.1	-1.1
40%	-14.3	-14.9	-8.9	-9.4	-8.6	-8.1	-8.3	-7.1	-9.5	-8.4	2.4	-2.3
50%	-14.1	-14.1	-10.1	-8.9	-8.1	-7.6	-6.5	-8.7	-9.3	-3.7	-3.7	-6.5
60%	-14.7	-13.9	-9.4	-9.3	-8.1	-8.2	-5.7	-4.5	-9.5	-8.4	2.4	-2.3
70%	-14.3	-14.5	-9.2	-9.6	-8.9	-8.1	-8.6	-3.9	-7.4	-5.5	-3.1	-1.1
80%	-14.6	-14.2	-9.7	-9.5	-8.5	-7.8	-3.4	-8.1	-8.5	-6.8	3.4	-3.6
90%	-14.2	-14.8	-9.5	-9.7	-8.4	-8.6	-4.5	-5.5	-9.4	3.2	-5.1	-2.1
95%	-14.4	-14.5	-9.6	-9.8	-8.4	-8.5	-6.3	-4.3	-10.4	-11.6	-19.6	-20.1
100%	-14.2	-14.2	-9.4	-9.2	-8.1	-7.8	-7.8	-8.4	-12.5	-13.4	-21.5	-22.1

[0201] (平均分散粗さおよび凹凸巾)

次に、表 17 を用いて第一実施形態（付記 2）における各実施例および各比較例に関し貫通孔 12 の側面の平均分散粗さおよび凹凸巾について説明する。表 17 に示されるように、第一各実施例では、ガラス基板の厚さ方向における貫通孔 12 の裁断面における側面形状の分散粗さが 1,000nm 以下かつ凹凸巾が 1,500nm 以下となる。各比較例では、分散粗さが 1,500nm 以上かつ凹凸巾が 1,500nm 以上となり、貫通孔側面の粗さに差があることが確認されている。

[0202] [表17]

	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
分散粗さ	30.5nm	501.3nm	985.1nm	1623.5nm	1829.4nm	1789.5nm
凹凸巾	316.2nm	982.1nm	1323.5nm	1756.4nm	199.61nm	1985.4nm

[0203] (応用例の傾斜角度)

続いて、図 9 1 から図 9 3 に本発明に係る第一実施形態（付記 2）の応用例として、貫通孔 12 の側面傾斜角度の変曲点を第一面からの距離 1%以上 5%以下の範囲に形成した結果を示す。図 9 1 は、応用例 1 の貫通孔の傾斜

角度の測定結果を示す図である。図 9 2 は、応用例 2 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。図 9 3 は、応用例 3 の貫通孔の傾斜角度の測定結果を示す図である。表 1 8 に各応用例での貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度を測定した結果を示す。なお、後述するように、エッチング加工については噴流を使用した浸漬処理が行われるところ、各応用例は、各比較例に比べて噴流の方向の切り替えを緩くして形成されている。パルス数およびショット数については、各応用例の条件は、各実施例の条件と同様とした。

各応用例では、貫通孔 1 2 に側面角度が第一面からの距離 0 %から 5 %の範囲においてほぼ一定であり、第一面からの距離 5 %から 9 5 %の範囲においてほぼ一定となることが確認された。また、第一面からの距離 9 5 %から 1 0 0 %の範囲における貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度は、第一面からの距離 1 0 %から 9 5 %までの範囲における貫通孔 1 2 の側面の傾斜角度と同等の傾斜角度となり、2 つの範囲における傾斜角度の差が 1 . 0 ° 以下となる。なお、貫通孔側面の粗さについては、実施例 1 から 3 と同様のレーザ加工条件およびエッチング液の組成を使用していることから、表 1 7 と同様の値、すなわち分散粗さが 1 0 0 0 n m 以下かつ凹凸巾が 1 5 0 0 n m 以下となる。

[0204] [表18]

	応用例1		応用例2		応用例3	
	左側面	右側面	左側面	右側面	左側面	右側面
0%	6.7	6.3	5.2	5.1	4.0	4.3
5%	-14.1	-14.2	-9.5	-10.1	-8.6	-8.5
10%	-14.2	-14.3	-9.9	-9.6	-8.8	-8.1
20%	-14.6	-14.3	-9.3	-9.4	-8.2	-8.7
30%	-13.9	-13.9	-9	-9.8	-8.3	-8.9
40%	-14.3	-14.1	-9.4	-9.8	-8.1	-8.5
50%	-14.7	-14.1	-9.7	-9.3	-8.3	-7.9
60%	-14.1	-13.7	-9.9	-9.9	-8.1	-8.2
70%	-13.8	-14.4	-9.6	-9.4	-8.9	-8.1
80%	-14.3	-14.6	-9.4	-9.6	-8.5	-8.3
90%	-14.0	-14.4	-9.8	-9.2	-8.4	-8.6
95%	-13.9	-14.1	-9.3	-9.5	-7.9	-8.5

[0205] (開口径)

表 1 9 および図 9 4 A を用いて、本発明の実施形態に係る貫通孔の第一面と第二面の開口径の関係性を説明する。表 1 9 は、実施例 1 の条件下でガラ

ス基板 10 の厚さを 100 μm から 200 μm に変更した場合の貫通孔 12 の第一面 101 における開口部の径および第二面 102 における開口部の径を示す。図 94 A は、表 19 をグラフにして示す図である。第一実施形態（付記 2）によれば、第二面 102 の開口径に関わらず、第二面 102 の開口径と第一面 101 の開口径の関係性は、第一面側開口径 Φ1 / 第二面側開口径 Φ2 ≥ 0.4 以上となる。

[0206] [表19]

第二面開口径: Φ2	第一面開口径: Φ1	Φ1/Φ2
100.3	58.3	0.58
95.5	53.9	0.56
91.1	49.8	0.55
85.8	47.4	0.55
80.4	44.2	0.55
75.4	39.8	0.53
70.5	33.5	0.48
65.7	26.3	0.40

単位:um

[0207] 次に表 20 に、第一実施形態（付記 2）における各実施例および各比較例の第一面開口径と第二面開口径を示す。表 20 には、第一実施形態（付記 2）における各実施例および各比較例において計測された、貫通孔 12 の第一面 101 側の開口径 Φ1 と第二面 102 側の開口径 Φ2 の典型的な値が示される。

[0208] [表20]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	比較例 1	比較例 2	比較例 3
第二面開口径 Φ2	71.6	80.5	72.6	75.3	78.5	69.8
第一面開口径 Φ1	33.2	60.7	46.1	54.6	45.6	57.1

単位「um」

[0209] ここで、図 94 B を参照して、開口径と伝送特性の関係を説明する。図 94 B は、貫通電極 12 を形成した場合を示す模式的に示す図である。貫通孔 12 の開口径は、Φ1 / Φ2 ≥ 0.4 という関係に示されるように、Φ2 にくらべて Φ1 を小さくすることができる。例えば、後述する通信用デバイスとして用いられる場合には貫通電極 11 を利用してコイルが形成されるところ、Φ1 と Φ2 の関係からコイルの設計自由度を確保することが可能となる。また、パッド間の距離 Dp を確保できるため、コイルを含む回路を形成し

た場合にQ値を小さくすることができ、伝送損失を抑制することが可能である。上記内容より、貫通電極の信号を安定化（信号損失の低減）が可能となる。

[0210] （本開示の貫通孔および貫通電極の特徴）

また、図94Cは、本開示において形成される貫通孔および貫通電極の特徴を説明する図である。図94Cは、例えば、図108の領域Raを拡大して示す図である。図94Cに示されるように、貫通孔12（または貫通電極11）の直上に、導通電極31を形成することができる。これは、貫通孔12が所謂、有底形状であるためである。有底形状にすることで、貫通孔12上に直接に導通電極31を形成することが可能となる。このため、電極全体としての伝送距離が短縮され、伝送特性の向上および貫通孔12の微細化が可能となる。

また、実施形態において説明したように、本開示における貫通孔12の側面には側面形状が変化する変曲点がなく、表面が滑らかである。したがって、貫通孔12にめっき処理を行う場合、均一な金属膜等を形成することができるため、貫通孔12側面において寄生容量の発生を抑制することができる。貫通孔12の形状は、変曲点を有する形状や、ガラス基板の第一面から第二面まで径がほとんど変化しない所謂ストレート形状とすることも可能であるが、伝送特性の観点からは、寄生容量の発生を抑制することができる本開示に示す形状が望ましい。

[0211] （断面形状）

次に、貫通孔12の側面形状について説明する。図95Aから図95Dは、各実施例および比較例に関し貫通孔の側面を説明する図である。図95Aは、第一実施形態（付記2）における各実施例および各比較例の貫通孔の典型的な断面形状のSEM画像を示す図である。

[0212] SEM画像は、ガラス基板の厚さ方向における貫通孔の裁断面を撮影したものである。図95Aから図95Dに示されるSEM画像は、倍率は1000倍である（スケールの1目盛りは5 μ mである）。

図95Aにおいては、第一実施形態（付記2）にかかるガラス基板の断面形状を観察しやすくするため、貫通孔12を樹脂材料を充填させている。第一面101から第二面102に向かうにつれて、側面の傾斜角度が変化する様子が分かる。

[0213] 図95Bは、第一実施形態（付記2）における各実施例および各比較例の貫通孔の断面形状のSEM画像を示す図である。図95Bにおいて、傾斜角度および断面形状は上述のものとは異なるが、パルス幅およびショット数の条件は各実施例および各比較例において説明したとおりである。SEM画像の見え方および貫通孔の断面の平滑さに関しては、共通の性質を有している。

SEM画像において、コントラストが高く白色に見える箇所は、試料表面の傾斜面の角度が切り替わり、傾斜面の稜線となっている領域である。このため、白線で見える箇所は、試料表面の粗さのピークまたはボトムを示す箇所であり、これらの貫通孔の側面に形成されている稜線の存在状況や配置の程度によって、貫通電極の伝送特性に影響を与える貫通孔の側面の粗さを把握することができる。

[0214] 図95Bに示す第一実施形態（付記2）の各実施例では、ガラス基板10の第一面101と平行な方向や略平行な方向に延びる白線の稜線が現れて複数視認でき、帯状の縞模様が形成されている。

ここで、図95Cを参照して、貫通孔の断面の稜線について説明する。図95Cは、第一実施形態（付記2）における各実施例の貫通孔の稜線を説明する図である。図95C(a)は図95Bの実施例3を拡大して示す図である。また、図95C(b)は、SEM画像において観察される貫通孔について、側面および断面の稜線を実線で示す図である。

図95C(b)に示される例では、略平行な稜線のうち、稜線の間隔がもっとも広くなる場合は、稜線R11と稜線R12の間である。図95C(b)に示される例では、第一面101と垂直な方向の側面上の稜線の間隔はRs以下である。図95C(a)に示されるように、実施例3においては、稜

線の間隔は、 $15.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

同様の手法で、稜線の状況を確認すると、実施例1においては、第一面101と垂直な方向における稜線と稜線の間隔は、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲である。また、実施例2においては、ガラス基板10の第一面101と垂直な方向における稜線と稜線の間隔は、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $6\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲である。

[0215] また、図95Bから明らかなように、第一実施形態（付記2）における実施例3から1に変化するにつれて、つまり、貫通孔の側面の平滑度である分散粗さが小さくなるにつれて、貫通孔12の側面において、ガラス基板10の第一面101に平行な方向に延びる稜線として認識できる白線が緻密になり、稜線と稜線の間隔が狭くなる。これとは反対に、分散粗さが大きくなるほど（すなわち、実施例1から実施例3に変化し、さらに、比較例1から比較例3に変化するにつれて、稜線と稜線との間隔が大きくなるとともに、第一面101と平行ではない方向に延びる稜線も増えてくる。そして、更には、第一面101と垂直な方向に延びる稜線や第一面101と平行な方向と垂直な方向との間の方向（以下、「斜方向」ともいう。）に延びる白線の発生頻度が多くなることが分かる。これらは、分散粗さが小さくなるほど、垂直方向に延びる稜線および斜方向に延びる稜線の割合が少なくなること示している。例えば、実施例2においては、平均分散粗さが 500 nm であって、凹凸巾が 980 nm の場合、第一面101に平行な方向と第一面101と垂直な方向の間の方向（つまり斜方向）に延びる白線が視認可能になる。

[0216] 一方、実施形態における比較例1から3のように貫通孔の側面が粗くなる（分散平均粗さ $1,000\text{ nm}$ より大きくかつ凹凸巾 $1,500\text{ nm}$ より大きい）場合、ガラス基板10の第一面101に垂直な方向に、または第一面101に垂直な方向と第一面101に平行な方向の間の斜方向に、延びる白線の割合が増えてくる。すなわち、斜方向において、稜線が複数視認可能になる。このような貫通孔12側面の平滑性（粗さ）がSEM画像に表れ、また、貫通電極の伝送特性に影響することがわかる。

[0217] なお、図95Dは、第一実施形態（付記2）における貫通孔に貫通電極を形成した場合の断面のSEM画像を示す図である。図95Dにおいて、傾斜角度および断面形状は上述のものとは異なるが、パルス幅およびショット数の条件は各実施例および各比較例において説明したとおりである。SEM画像の見え方および貫通孔の断面の平滑さに関しては、共通の性質を有している。

ここに示されるように、矢印で差し示されて破線で囲まれた箇所は、端部が立つ形状を有している。言い換えると、貫通孔12の側面とガラス基板10の第二面102との間には、ゆるやかに変化する箇所がなく、断面視において角度が一変している。つまり、貫通孔12の側面とガラス基板10の第二面102とは、端部が立つ形状を有しており、1000倍のSEM画像において、側面と第二面の領域とが明確に識別できる形状となっている。

[0218] （伝送特性）

続いて、図96を用いて、本発明の第一実施形態（付記2）での各実施例、各比較例の貫通電極の伝送特性について説明する。図96は、第一実施形態（付記2）における実施例1の貫通電極の伝送特性と、比較例1の貫通電極の伝送特性を示す図である。図96では貫通電極における伝送特性として伝送損失S21を測定した結果を示す。なお、実施例1から3は伝送特性が同じ傾向を示したため、代表して実施例1を示している。また、比較例1から3についても伝送特性がほとんど同じ傾向を示したので、代表して比較例1を示している。電極を形成するためのシード層の形成およびめっき処理等の形成条件は、実施例および比較例のいずれも共通とした。図96に示されるように、いずれの周波数領域においても、実施例の伝送損失のほうが比較例の伝送損失よりも小さいことが示される。したがって、貫通孔の側面については、分散粗さ、凹凸巾の値が小さいほど、貫通孔に形成される貫通電極における損失が小さくなり、伝送特性が良いことが分かる。

[0219] （ガラス基板の厚みを変更した場合の伝送特性）

また、各実施例および各比較例について、ガラス基板10の厚みを変更さ

せた場合の伝送特性 S 2 1 についても測定した。この結果を表 6 に示す。表 2 1 に示されるように、ガラス基板 1 0 の厚みを 1 0 0 μ m、1 5 0 μ m、2 0 0 μ m に設定したうえで、各実施例および各比較例に基づく条件で貫通孔及び貫通電極を作成し、の伝送特性を計測した。表 7 に示されるように、第一実施形態（付記 2）における各実施例では、各比較例に比べ伝送特性 S 2 1 が良好な値を示していることが確認される。

[0220] 表 2 1 に示す伝送特性は、単一の貫通電極の伝送特性となっており、複数の貫通電極を必要とする多層配線基板では、単一貫通電極の伝送特性の向上が大きな性能向上につながる。第一実施形態（付記 2）に係る各実施例を使用することで、既存技術と比較し、高周波数帯での貫通電極の良好な伝送特性を実現した多層配線基板を得ることが可能となる。

なお、伝送特性の観点から、実施例 1 から 3 に示される貫通電極が比較例 1 から 3 に示される貫通電極よりも良好な結果が得られている。実施例の中で比較すると、実施例 1 が最も好ましく、実施例 2、実施例 3 の順に良好であるといえることができる。

[0221] [表21]

周波数	ガラス厚	実施例1		実施例2		実施例3		比較例1		比較例2		比較例3	
		測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定
5GHz	100um	-0.0079	良好	-0.0082	良好	-0.0087	良好	-0.0090	-	-0.0090	-	-0.0090	-
	150um	-0.0083	良好	-0.0087	良好	-0.0094	良好	-0.0099	-	-0.0099	-	-0.0099	-
	200um	0.0091	良好	0.0101	良好	0.0106	良好	0.0111	-	0.0112	-	0.0112	-
	200um	-0.0140	良好	-0.0148	良好	-0.0154	良好	-0.0157	-	-0.0157	-	-0.0157	-
10GHz	100um	0.0145	良好	0.0156	良好	0.0165	良好	0.0169	-	0.0170	-	0.0170	-
	150um	-0.0161	良好	-0.0189	良好	-0.0189	良好	-0.0193	-	-0.0194	-	-0.0194	-
	200um	-0.0293	良好	-0.0302	良好	-0.0309	良好	-0.0314	-	-0.0314	-	-0.0314	-
	200um	-0.0288	良好	-0.0298	良好	-0.0315	良好	-0.0321	-	-0.0321	-	-0.0321	-
20GHz	100um	0.0312	良好	0.0319	良好	0.0352	良好	0.0357	-	0.0358	-	0.0358	-
	150um	-0.0412	良好	-0.0456	良好	-0.0463	良好	-0.0469	-	-0.0469	-	-0.0469	-
	200um	-0.0411	良好	-0.0450	良好	-0.0468	良好	-0.0471	-	-0.0471	-	-0.0471	-
	200um	-0.0486	良好	-0.0505	良好	-0.0537	良好	-0.0542	-	-0.0544	-	-0.0544	-
56GHz	100um	-0.0851	良好	-0.0914	良好	-0.1040	良好	-0.1337	-	-0.1457	-	-0.1517	-
	150um	-0.0976	良好	-0.1013	良好	-0.1160	良好	-0.1537	-	-0.1875	-	-0.1915	-
	200um	0.1094	良好	0.1213	良好	0.1340	良好	0.1854	-	0.1984	-	0.2184	-
	200um	0.1891	良好	0.2014	良好	0.2114	良好	0.2527	-	0.2727	-	0.2827	-
84GHz	100um	-0.2004	良好	-0.2212	良好	-0.2114	良好	-0.2827	-	-0.3127	-	-0.3193	-
	150um	-0.2114	良好	-0.2421	良好	-0.2114	良好	-0.3027	-	-0.3374	-	-0.3474	-
	200um	-0.2114	良好	-0.2421	良好	-0.2114	良好	-0.3027	-	-0.3374	-	-0.3474	-
	200um	-0.2114	良好	-0.2421	良好	-0.2114	良好	-0.3027	-	-0.3374	-	-0.3474	-

[0222] 表 2 2 および表 2 3 に T C T 試験（温度サイクル試験：Temperature Cycling Test）による信頼性評価結果を示す。信頼性試験条件は次の通りとなる。

- ・ 設定条件：下限温度 − 4 0 ° C / 3 0 分、上限温度 1 5 0 ° C / 3 0 分とした。
- ・ 試験装置 T S A − 4 3 E L （エスペック製）

- ・各サイクル数で貫通電極を含む配線経路を抵抗の上昇を測定。
- ・NG基準：サイクル後の抵抗値が初期状態の抵抗値の10倍を超える場合にNGと判定

[0223] 表22および表23に示すように、本発明の実施形態に係る各実施例では、各比較例と比べ高い信頼性が高くなることが示されている。

[0224] [表22]

	実施例1		実施例2		実施例3		比較例1		比較例2		比較例3	
	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定
50cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
100cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
200cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
300cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
400cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
500cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Passed	NG
600cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Failed	NG	Passed	NG
700cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Failed	NG	Passed	NG
800cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Failed	NG	Passed	NG
900cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Failed	NG	Failed	NG
1000cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Failed	NG	Failed	NG
1500cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好	Failed	NG	Failed	NG	Failed	NG

[0225] [表23]

	応用例1		応用例2		応用例3	
	測定値	判定	測定値	判定	測定値	判定
50cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
100cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
200cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
300cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
400cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
500cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
600cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
700cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
800cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
900cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
1000cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
1500cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好
2000cycle	Passed	良好	Passed	良好	Passed	良好

[0226] <第一実施形態（付記2）における多層配線基板の構成>

図97は、第一実施形態（付記2）における多層配線基板1の構成の一例を示す図である。また、図98は、第一実施形態（付記2）における多層配線基板1の構成の他の例を示す図である。多層配線基板1は、ガラス基板10、第一配線層21、および第二配線層22を含む。ガラス基板10の第一面101側には第一配線層21、ガラス基板10の第二面102側には第二配線層22が配置されている。ガラス基板10は、第一面101側から第二面102側まで貫通する貫通孔12を備える。貫通電極11は、貫通孔12の側面に沿って形成された導電体によって構成される。貫通電極11は第一配線層21の一部と第二配線層22の一部とを電気的に接続する。第一配線

層 2 1 および第二配線層 2 2 は絶縁樹脂層 2 5 を含む。第一配線層 2 1 および第二配線層 2 2 は複数の層が積層された構成でもよく、その層数は必要に応じて設定してよい。貫通電極 1 1 は、第一配線層 2 1 と第二配線層 2 2 の間に電気的な接続を確立するための電極である。導通電極 3 1 は、多層配線基板 1 において基板の厚さ方向に導通を確保するための電極である。また、半導体素子用接合パッド 5 0 は、多層配線基板 1 に搭載する半導体回路を接続するための部材である。基板用接合パッド 5 4 は、多層配線基板 1 と他の基板とを接合するための部材である。

なお、貫通電極は、ガラス基板 1 0 の第一面 1 0 1 側から第二面 1 0 2 側を電気的に接続が可能であれば、図 9 7 に示すように貫通孔 1 2 の側面のみで導電体を配置してもよいし、図 9 8 に示すように貫通孔 1 2 に導電体を埋め込んでも構わない。

第一実施形態（付記 2）では、第一配線層 2 1 の貫通電極 1 1 の Z 軸方向上に導通電極 3 1 を配置することが可能となる。

[0227] なお、図 9 7 および図 9 8 において、貫通孔 1 2 の形状は詳細を省略して示している。図 9 9 から図 1 0 8 においても同様に省略してある。

[0228] また、多層配線基板 1 の厚みは、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以上 $400\mu\text{m}$ 以下の範囲である。

[0229] <第一実施形態（付記 2）における多層配線基板の製造方法>

多層配線基板 1 の製造方法について、図 8 2 から図 9 1 を用いて説明する。まず、ガラス基板 1 0 に貫通孔 1 2 を形成する工程について説明する。

[0230] [第一支持体の接着工程]

図 9 9 「は、ガラス基板 1 0 を第一支持体 6 2 に張り合わせる工程を示す図である。

ガラス基板 1 0 の厚みは、エッチング後の厚みを考慮したうえで、用途に応じて適宜設定することができる。

[0231] 図 9 9 に示されるように、第一接着層 6 1 において、ガラス基板 1 0 に第一支持体 6 2 が貼り合わされており、ガラス基板 1 0、第一接着層 6 1、第

一支持体 62 を含む積層構造体 63 が形成される。

[0232] なお、ガラス基板 10 と第一支持体 62 は、第一接着層 61 によって仮固定されている。

ガラス基板 10 に第一支持体を貼り合わせるためには、例えば、ラミネーター、真空加圧プレス、減圧貼り合わせ機等を使用することができる。

[0233] 前記第一支持体 62 は、例えば、ガラス基板 10 と同一の材料であることが望ましい。ガラス基板 10 の SiO_2 比率が 55 質量%以上 81 質量%以下の範囲である無アルカリガラスである場合、第一支持体 62 も無アルカリガラスであることが望ましい。また第一支持体 62 の厚みについては、ガラス基板 10 の厚みに応じて、適宜設定することができる。ただし、製造工程中に搬送可能な厚みであることが望ましく、支持体の厚みは、例えば 300 μm 以上 1,500 μm 以下の範囲とする。

[0234] ガラス基板 10 については、例えば SiO_2 比率が 55 質量%以上 81 質量%以下の範囲である無アルカリガラスを用いることができる。ガラス基板 10 の SiO_2 比率が 81 質量%より大きい場合、エッチングの加工速度が低下し、貫通孔 12 の側面角度が低下し、後述する貫通電極 11 の形成時に付き回り不良が発生してしまう。また、 SiO_2 比率が 55 質量%より小さい場合、ガラス中にアルカリ金属が含まれる可能性が高くなり、電子デバイス搭載後の多層配線基板の信頼性に影響する。 SiO_2 比率 55 質量%以上 81 質量%以下の範囲である無アルカリガラスであれば、適宜設定比率を設定して構わない。

[0235] [レーザ改質工程]

続いて、図 100 は、レーザ改質部を形成する工程を示す図である。ガラス基板 10 にレーザ加工を実施することによって、ガラス基板 10 にレーザ改質部 65 が形成される。レーザ改質部 65 は、ガラス基板 10 に対し $\Phi 3 \mu\text{m}$ 以下の形状で加工されており、ガラス基板 10 の厚み方向に連続的に形成される。この時、レーザ改質部 65 の周辺には、5 μm 以上の微小なクラック（以下、「マイクロクラック」ともいう。）が発生していないことが望

ましい。レーザ改質部65の周辺に5 μ m以上のマイクロクラックが発生すると、エッチング加工後の貫通孔12に側面で分散粗さが1000nm以上かつ凹凸巾が1500nm以上となり、平滑な側面の貫通孔12を得ることが困難となる。また、5 μ m以上のマイクロクラックが発生した場合、後述するように、エッチング後の貫通孔12の側面ではガラス基板10の第一面101にと垂直な方向において、間隔をおいて変化する粗さが発生する。

[0236] レーザ改質部65の加工については、例えば、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザを用い、且つレーザ発振波長は1064nm、532nm、または355nmのうちのいずれかの波長を使用することが好ましい。レーザのパルス幅が25ピコ秒以上ではレーザ改質部65の周辺に5 μ m以上のマイクロクラックが発生し易くなることから、レーザパルス幅は25ピコ秒以下であることが望ましい。また、複数回のパルス照射による加工を行うとマイクロクラックが発生し易くなることから、1パルスでレーザ改質部65を形成することが望ましい。レーザ改質部65の周辺に5 μ m以上のマイクロクラックが発生しない条件であれば、レーザ発振波長およびレーザ出力は、ガラス基板10の厚みに応じて、適宜設定して構わない。すなわち、レーザ改質工程（第1の工程）において、ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射し、レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが5 μ mである、ということもできる。

[0237] [第一配線層の形成]

続いて、図101は、第一配線層21を形成する工程を示す図である。図101に示されるように、積層構造体63のガラス基板10上の第一面101に導電層と絶縁樹脂層からなる第一配線層21の形成を行う。ここでは、ガラス基板10上には耐フッ酸金属層を含むシード層を形成した後に、セミアディティブ（SAP）工法で第一面101に貫通電極接続部41（または貫通電極間の配線）を形成する。不要となったシード層を除去した後に、絶縁樹脂層25を形成する。

[0238] なお、シード層の形成について、ガラス基板10上の耐フッ酸金属層は、

クロム、ニッケル、または双方を含む合金層であり、スパッタ処理にて10 nm以上1,000 nmの範囲で形成することができる。その後、耐フッ酸金属上に導電金属皮膜を所望の厚みで形成する。導電金属皮膜は、例えば、Cu、Ni、Al、Ti、Cr、Mo、W、Ta、Au、Ir、Ru、Pd、Pt、AlSi、AlSiCu、AlCu、NiFe、ITO、IZO、AZO、ZnO、PZT、TiN、Cu₃N₄から適宜設定することができる。

[0239] セミアディティブ工法においては、めっきによる配線パターンを形成するために、フォトレジストを使用して所望のパターンを形成する。一般的には、ドライフィルムレジストを用いるが、液体のレジストを使用しても構わない。所望のパターンを露光、現像しパターン形成した後に、電解めっきにてめっき被膜を形成し、不要となったレジストを剥離し、シード層をエッチングすることで配線形成を行うことができる。

[0240] [絶縁樹脂層]

次に絶縁樹脂層25の形成について、絶縁樹脂層25は熱硬化性樹脂であり、その材料は、エポキシ系樹脂、ポリイミド系樹脂、ポリアミド系樹脂の少なくとも一つを含み、かつシリカSiO₂フィラーを含む材料である。絶縁樹脂層25の材料は、必要に応じて適宜選択することができる。但し、感光性絶縁樹脂材料を用いる場合は、フォトリソグラフィ性を確保するためにシリカSiO₂フィラーの充填が困難となるため、感光性絶縁樹脂材料も使用可能であるが、熱硬化性樹脂を用いる方がより好ましい。

[0241] [第二支持体の接着工程]

次に図102は、第二支持体を接着する工程を示す図である。図102に示されるように、積層構造体63の第一配線層21上に第二接着層71を形成し、第二接着層71上に第二支持体70を配置し接着する。

第二支持体70については、例えばガラスを用いることができ、ガラス基板10と同一の材料であることが望ましい。ガラス基板10が無アルカリガラスである場合、第二支持体70も無アルカリガラスであることが望ましい。

。また第二支持体 70 の厚みについては、ガラス基板 10 の厚みに応じて、適宜設定することができる。ただし、搬送可能な厚みであることが望ましく、その範囲は、 $300\mu\text{m}$ 以上 $1,500\mu\text{m}$ 以下の範囲である。

[0242] [剥離工程]

次に、図 103 は、第一支持体を剥離する工程を示す図である。図 103 に示されるように、ガラス基板 10 と第一支持体 62 を第一接着層 61 において剥離する。

[0243] [貫通孔の形成]

続いて、図 104 は、貫通孔 12 を形成する工程を示す図である。

[0244] [エッチング工程]

レーザ改質部 65 が形成されたガラス基板 10 に対し、所定のエッチング液でエッチング処理を施すことで貫通孔 12 が形成される。また、同時に、ガラス基板 10 の第二面もエッチングされ、ガラス基板 10 の厚さが減少することとなる。エッチングはガラス基板 10 の第二面 102 側から行われる。

[0245] [エッチング液]

エッチング液は、フッ酸を 0.2 質量%以上 20.0 質量%以下の範囲とし、硝酸を 4.0 質量%以上 25.0 質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を 0.5 質量%以上 11.0 質量%以下の範囲として含有するものが用いられる。フッ酸および硝酸以外の無機酸としては、例えば、塩酸、硫酸、リン酸、スルファミン酸等が挙げられ、ガラス基板 10 中に含まれるケイ素以外の成分の種類に応じて、少なくとも 1 つの無機酸を含有させる。望ましくは、塩酸および硫酸を含有させたエッチング液であり、ガラス基板 10 に対するエッチングレートとしては、 $0.1\mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $10\mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲になるように適宜調整される。ガラス基板 10 に対するエッチングレートは、望ましくは $0.25\mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $4\mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲であり、より望ましくは $0.25\mu\text{m}/\text{分}$ 以上 $0.5\mu\text{m}/\text{分}$ 以下の範囲である。エッチング温度としては、特に限定されず、適宜調整することができる。

るが、例えば10℃以上30℃以下の範囲となる。

- [0246] エッチング加工については、噴流を使用した浸漬処理、スプレー処理によってエッチング加工を行い、貫通孔12に形成を行う。噴流を使用した浸漬処理の場合、例えば、貫通孔12の底部を効率的にエッチング行うために、エッチング液中で噴流の方向を切り替えて加工することが挙げられる。噴流の方向を切り替えるタイミングを早く設定することで、貫通孔12の底部に圧力を加えることで、第一面からの距離1～10%の位置で、TGV側面の傾斜角度を変化させる事が可能となる。スプレー処理によるエッチング加工も同様に、エッチング液を噴射する噴射口を有するスプレーの揺動速度、もしくは基板の揺動速度を速く設定することで、貫通孔12の底部の圧力を加えることで、第一面からの距離1%以上10%以下の位置で、TGV側面の傾斜角度を変化させる事が可能となる。

なお、噴流を使用した浸漬処理、スプレー処理によるエッチング加工では、使用する装置のサイズによって、加工条件が異なることから、貫通孔12の形状を確認し、加工条件を設定することが望ましい。また、噴流を使用した浸漬処理では、他の機構として、超音波等を合わせて使用しても構わない。

- [0247] [貫通電極の形成]

次に、図105を参照して、貫通電極11の形成工程について説明する。

図105は、貫通電極11を形成する工程を示す図である。

- [0248] 貫通孔12が形成されたガラス基板10に対し、第二面102から、電解メッキ処理のための金属層を形成する。金属層については、電解めっき処理のシード層として機能する金属であればよく、例えば、Cu、Ti、Cr、W、Ni等を含む金属である。金属層には上記金属のうち少なくとも1つが用いられ、また金属層の最表面にCu層が形成されていることが望ましい。Ti、Cr、W、Niについては、Cu層の下部のガラス基板10との密着層として使用されることが望ましい。金属層の厚みは、貫通孔12の側面を覆うことができる範囲に適宜設定される。形成方法としては、例えばスパッ

タリングを用いた蒸着による形成方法を採用することが可能である。

[0249] 続いて、上記金属層をシード層として用いる電解めっき処理によって、貫通電極 11 を形成する。貫通孔 12 内を選択的に成長させるために、ガラス基板 10 の第二面 102 において貫通孔 12 および貫通孔 12 の周りの所定の範囲にレジスト等の絶縁体でマスクを形成しておき、電解めっき処理を行う。電解めっき処理に用いる材料については、例えば Cu を用いることが可能であり、他の金属としては、Au、Ag、Pt、Ni、Sn 等を含む金属を用いることも可能である。多層配線基板の用途に応じて、上記金属等の導電体で貫通孔 12 内が充填されるように電解めっき処理を行っても構わない。

[0250] また、図 106 を参照して、絶縁樹脂層 25 の形成工程について説明する。図 106 は、絶縁樹脂層を形成する工程を示す図である。貫通電極を形成するための電解めっき処理をした後は、レジスト等の絶縁体を除去し、ガラス基板 10 の第二面 102 に形成されたシード層とした金属膜を除去する。ガラス基板 10 に形成された複数の貫通電極 11 それぞれを電氣的に独立させた後に、図 27 に示すように第二面側に絶縁樹脂層 25 の形成を行う。

[0251] [第二支持体の剥離]

続いて、図 107 を参照して、第二支持体 70 および第二接着層 71 の剥離工程について説明する。図 107 は、第二支持体 70 および第二接着層 71 を剥離する工程を示す図である。図 107 に示されるように、第一配線層 21 の上方に形成された第二接着層 71 および第二支持体 70 を、第一面 101 側の第一配線層 21 と第二接着層 71 の界面より剥離する。これによって、図 107 に示されるように、第一面 101 側に第一配線層 21、第二面 102 側に第二配線層 22 が形成された状態のガラス基板 10 が得られる。

第二支持体 70 を第二配線層 22 から剥離するにあたっては、第二接着層 71 に使用した材料に応じて、UV 光の照射、加熱処理、物理剥離等から使用材料に応じた剥離方式を適宜選択することができる。また、第一配線層 21 と第二接着層 71 との接合面に、第二接着層 71 の残差が生じる場合、プラズマ洗浄、超音波洗浄、水洗、アルコールを使用した溶剤洗浄などを行っ

てもよい。

[0252] [第一配線層および第二配線層の形成]

続いて、図108を参照して、ガラス基板10に形成される第一配線層21および第二配線層22の形成について説明する。図108は、第一配線層21および第二配線層22を形成する工程を示す図である。貫通電極11が形成されたガラス基板10に対し、第一面101に第一配線層21を形成し、第二面102に第二配線層22を形成する。第一配線層21および第二配線層22の形成工程において、最初に、感光性のレジストまたはドライフィルムレジストによってパターンを有するマスクを形成した後に、電解めっき処理によって配線を形成する。その後、物理密着処理、もしくは、化学的な密着処理を施した後に、絶縁樹脂層25を積層する。導通電極31については、レーザ加工等によって絶縁樹脂層25に孔を形成した後に、無電解めっき、もしくは、スパッタリングによる蒸着処理によって金属皮膜を形成する。上記金属皮膜にレジストを用いてパターンを有するマスクを形成し、電解めっきによって形成した孔に導電体を充填する。その後、マスクおよび余分の金属皮膜を除去する。上記工程は必要な層数に応じて複数回繰り返すことで、第一配線層21および第二配線層22が形成される。なお、第一配線層21および第二配線層22は多層配線基板1の反りを抑制するために、同じ層数であることが望ましい。第一配線層21および第二配線層22の層厚が異なる場合は、第一配線層21と第二配線層22に層数を変えても構わない。多層配線基板の用途に応じて、第一配線層21の層数および第二配線層22の層数は適宜設定してよい。

[0253] <第二実施形態（付記2）>

図109は、半導体素子100とBGA（Ball Grid Array：ボールグリッドアレイ）基板90のインターポーザ基板として、多層配線基板1を用いる場合を示す図である。図110は、図109の場合の断面を示す図である。また、図111は、通信用の電子デバイスに多層配線基板1および半導体素子100が用いられる場合を示す図である。図112は、図111の場合の

断面を示す図である。電子デバイスとしては、層厚が $800\mu\text{m}$ 以下のものが用いられる。

上記電子デバイスは、貫通電極の伝送特性の影響によって、適応用途が限られており、本発明のガラス基板を用いた多層配線基板を使用することで電子デバイスの高周波数帯領域での適応が可能となる。

[0254] <作用・効果>

以上、本発明によれば、良好な伝送特性および高い信頼性を備えた貫通電極を形成することが可能なガラス基板およびそのようなガラス基板を備えた多層配線基板を得るが可能となる。

[0255] (他の実施態様)

本開示は、次の態様も含む。

(態様1 (付記2))

第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えるガラス基板であって、

前記貫通孔の側面は、

前記第一面から距離 0% 以上 10% 未満の範囲において、側面の角度は 4° 以上 7° 以下の範囲となり、断面視において、前記貫通孔の側面を左側面および右側面とした場合、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が 1.0° 以下であり、

前記第一面から距離 10% 以上 100% 以下の範囲において、側面の角度は -7° 以上 -15° 以下の範囲となり、左側面の傾斜角度と右側面の傾斜角度の差が 1.0° 以下となる、

ガラス基板。

(態様2 (付記2))

態様1に記載のガラス基板であって、

前記貫通孔の側面は、前記第一面からの距離 1% から距離 5% 以下の範囲に傾斜角度が変化する変曲点を有する、ガラス基板。

(態様3 (付記2))

態様 1 または 2 に記載のガラス基板であって、

前記貫通孔では、第二面側の開口径 $\Phi 2$ と、第一面側の開口径 $\Phi 1$ の関係が、 $\Phi 1 / \Phi 2 \geq 0.4$ 以上となる、ガラス基板。

(態様 4 (付記 2))

請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のガラス基板であって、

前記ガラス基板の厚さ方向における前記貫通孔の裁断面における側面形状の

分散粗さが $1,000\text{ nm}$ 以下かつ凹凸巾が $1,500\text{ nm}$ 以下である、ことを特徴とするガラス基板。

(態様 5 (付記 2))

態様 1 から 4 のいずれか 1 つに記載のガラス基板であって、

前記分散粗さは、前記側面の輪郭データに基づいて粗さ曲線を抽出し、前記粗さ曲線に設定区間を設定し、前記設定区間において式 1 によって算出された算術平均粗さであり、

前記凹凸巾は、前記設定区間において、最も高い部分と最も低い部の間の差である、ガラス基板。

[数3]

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)|^{(2)} dx \cdots \text{式 1}$$

Ra は算術平均粗さ

f (x) は粗さ曲線

L は設定区間の長さ

(態様 6 (付記 2))

態様 1 から 5 のいずれか 1 つに記載のガラス基板であって、

前記ガラス基板の SiO_2 比率は $55\text{ 質量}\%$ 以上 $81\text{ 質量}\%$ 以下の範囲となる、ガラス基板。

(態様 7 (付記 2))

態様 1 から 6 のいずれか 1 つに記載のガラス基板を含む多層配線基板であって、

前記多層配線基板に搭載される電子デバイスの層厚は $800\mu\text{m}$ 以下であり、

前記多層配線基板の厚みは $100\mu\text{m}$ 以上かつ $400\mu\text{m}$ 以下となる、ことを特徴とする多層配線基板。

(態様8 (付記2))

態様1から7のいずれか1に記載のガラス基板の製造方法であって、
ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射する第1の工程、
レーザ照射された前記ガラス基板をエッチングし、貫通孔を形成する第2の工程

を有するガラス基板の製造方法。

(態様9 (付記2))

態様8に記載のガラス基板の製造方法であって、
前記第2の工程は、レーザ照射された前記ガラス基板をエッチング液中に浸漬し、前記エッチング液において噴流の方向を切り替えるエッチング処理を行い、貫通孔を形成する工程である、ガラス基板の製造方法。

(態様10 (付記2))

態様8または9に記載のガラス基板の製造方法であって、
前記第2の工程は、レーザ照射された前記ガラス基板にエッチング液を噴射し、前記ガラス基板または前記エッチング液の噴射口のいずれかを揺動させるエッチング処理を行い、貫通孔を形成する工程である、ガラス基板の製造方法。

(態様11 (付記2))

態様8から10のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、
前記第1の工程において、照射されるレーザは、レーザ発振波長が 1064nm 、 532nm 、または 355nm のうちのいずれかの波長でありかつパルス幅が 25ps 以下である、ガラス基板の製造方法。

(態様12 (付記2))

態様8から11のいずれか1つに記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第１の工程において、前記レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが $5\mu\text{m}$ である、ガラス基板の製造方法。

(態様１３（付記２）)

態様８から１２のいずれか１つに記載のガラス基板の製造方法であって、
前記第２の工程において、フッ酸を 0.2 質量％以上 20.0 質量％以下の範囲とし、硝酸を 4.0 質量％以上 25.0 質量％以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を 0.5 質量％以上 11.0 質量％以下の範囲として含有するエッチング液が用いられる、ガラス基板の製造方法。

符号の説明

[0256] １：多層配線基板、１０：ガラス基板、１１：貫通電極、１２：貫通孔、２１：第一配線層、２２：第二配線層、２５：絶縁樹脂層、３１：導通電極、５０：半導体素子用接合パッド、５４：基板用接合パッド、６１：第一接着層、６２：第一支持体、６３：積層構造体、６５：レーザ改質部、７０：第二支持体、７１：第二接着層、９０：ＢＧＡ基板、１００：半導体素子、１０１：ガラス基板１０の第一面、１０２：ガラス基板１０の第二面、ＴＣ：貫通孔の中心線、ｓｓ：貫通孔の側面との接線

請求の範囲

[請求項1] 第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えるガラス基板であって、
前記ガラス基板の厚さ方向における前記貫通孔の裁断面における側面形状の

分散粗さが1,000nm以下かつ凹凸巾が1,500nm以下である、ことを特徴とするガラス基板。

[請求項2] 請求項1に記載のガラス基板であって、
前記分散粗さは、前記側面の輪郭データに基づいて粗さ曲線を抽出し、前記粗さ曲線に設定区間を設定し、前記設定区間において式1によって算出された算術平均粗さであり、
前記凹凸巾は、前記設定区間において、最も高い部分と最も低い部の間の差である、ガラス基板。

[数1]

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)|^{(2)} dx \cdots \text{式 1}$$

Raは算術平均粗さ
f(x)は粗さ曲線
Lは設定区間の長さ

[請求項3] 第一面と第二面を有し、前記第一面から前記第二面まで貫通する少なくとも1つの貫通孔を備えるガラス基板であって、
前記ガラス基板の厚さ方向における前記貫通孔の裁断面の倍率1000倍のSEM画像において、前記貫通孔の側壁面内に、前記第一面と略平行な方向に延びる稜線が複数視認でき、前記第一面と垂直な方向における稜線と稜線の間隔が15.5μm以下である、ガラス基板。

[請求項4] 請求項1から3のいずれか1項に記載のガラス基板であって、
前記ガラス基板のSiO₂比率は55質量%以上81質量%以下の範囲となる、ガラス基板。

[請求項5] 請求項1から3のいずれか1項に記載のガラス基板を含む多層配線

基板であって、

前記多層配線基板に搭載される電子デバイスの層厚は $800\mu\text{m}$ 以下であり、

前記多層配線基板の厚みは $100\mu\text{m}$ 以上 $400\mu\text{m}$ 以下の範囲となる、多層配線基板。

[請求項6]

請求項1に記載のガラス基板の製造方法であって、

ガラス基板に対して、貫通孔形成予定部にレーザを照射する第1の工程、

レーザ照射された前記ガラス基板をエッチングし、貫通孔を形成する第2の工程

を有するガラス基板の製造方法。

[請求項7]

請求項6に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第1の工程において、照射されるレーザは、レーザ発振波長が 1064nm 、 532nm 、または 355nm のうちのいずれかの波長でありかつパルス幅が 25 ピコ秒以下である、ガラス基板の製造方法。

[請求項8]

請求項6に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第1の工程において、前記レーザ照射周辺部に発生するマイクロクラックの最大長さが $5\mu\text{m}$ である、ガラス基板の製造方法。

[請求項9]

請求項6に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第2の工程において、エッチングレートを変更した複数回のエッチングが行われる、ガラス基板の製造方法。

[請求項10]

請求項6に記載のガラス基板の製造方法であって、

前記第2の工程において、フッ酸を 0.2 質量%以上 20.0 質量%以下の範囲とし、硝酸を 4.0 質量%以上 25.0 質量%以下の範囲とし、フッ酸および硝酸以外の無機酸を 0.5 質量%以上 11.0 質量%以下の範囲として含有するエッチング液が用いられる、ガラス基板の製造方法。