明　細　書

発明の名称 ：

レーザ加工方法、基板の製造方法、及びレーザ加工装置

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ加工方法、基板の製造方法、及びレーザ加工装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体パッケージ基板は、“Ｍｏｒｅ　Ｔｈａｎ　Ｍｏｏｒｅ”の流れから、システムをワンチップ化したＳｏＣ（Ｓｙｓｔｅｍ　ｏｎ　ａ　Ｃｈｉｐ）へと流れが移り、この流れに沿って盛んに開発されている。

[0003] また、半導体パッケージ基板の構成は複雑化・高密度化しており、そのベース基板製造にエキシマレーザを用いた装置が適用されてきている。

[0004] 例えば、特許文献１には、被加工物に対し、レーザー光を用いて所定の深さ位置まで形状加工を行うレーザー加工方法であって、前記被加工物に応じて最適設定されるレーザー光の単位長さ当たりにおけるエネルギーが、レーザー光の発振器に於けるパワー変動により当該レーザーパワーが増大したときにも、前記被加工物を貫通させないエネルギー範囲内となるように、レーザー光のレーザーパワー、及び被加工物とレーザー光の間の相対的な移動速度を大きくし、かつ、レーザー加工に必要な照射回数を低減させることを特徴とするレーザー加工方法が記載されている。

[0005] また、特許文献２には、被加工物の掘削領域へ、前記掘削領域に対して小さいビーム断面をなすレーザ光を順次照射させ、前記掘削領域を加工するレーザ加工方法であって、第１の形状のビーム断面をなし、前記被加工物上にて、前記第１の形状のビーム断面に相当する第１の照射領域をなすレーザ光を、前記掘削領域の全体へ順次照射させる第１の加工工程と、前記第１の形状より小さい第２の形状のビーム断面をなし、前記被加工物上にて、前記第２の形状のビーム断面に相当する第２の照射領域をなすレーザ光を、前記掘

削領域へ順次照射させる第２の加工工程と、を含み、前記第１の加工工程では、前記第１の照射領域の一部分同士が互いに重畳する重畳領域を形成するように、前記第１の照射領域をなすレーザ光を順次照射させ、前記第２の加工工程では、前記掘削領域のうち前記重畳領域以外の領域に前記第２の照射領域が含まれるように、前記第２の照射領域をなすレーザ光を順次照射させることを特徴とするレーザ加工方法が記載されている。

[0006] また、非特許文献１では、ベッセルビームを用いた、高品質・高アスペクトのＳｉ貫通穴の形成が紹介されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開２００９－２２９７８号公報

特許文献2：国際公開第ＷＯ２０１３／０９４０２５号明細書

非特許文献

[0008] 非特許文献1：杉岡　幸次、”最適化した超短パルスベッセルビームによる高品質・高アスペクトＳｉ貫通穴の形成”、ＦＯＲＭ　ＴＥＣＨ　ＲＥＶＩＥＷ　２０１６，　ＶＯＬ．２６

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 従来、レーザ加工で形成する凹部は、高解像度で形成するほど、凹部の底部の幅が、初期加工表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなる、すなわち先端が細くなるという問題があった。貫通孔についても、従来は、高解像で形成するほど、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなる、すなわち先端が細くなるという問題があった。そして、このような先細りの凹部及び／又は貫通孔の形成は、高精細で複雑なパターン（例えば回路パターン）を形成するのに不都合であった。

[0010] 特に、半導体パッケージ用基板用途では、加工された凹部に金属配線が埋め込まれることがあり、高精細のパターンになると配線抵抗が高くなってし

まうことから、これを防ぐ為に加工深さが深く、また、下部まで広い幅となる加工が求められている。このような加工を行うことで、配線抵抗が低く、高品質な半導体パッケージ用基板の作製が可能となる。

[0011] 本発明は、上記問題を解決するためになされたものであり、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができるレーザ加工方法、高精細で複雑なパターンを有する基板を製造できる基板の製造方法、及び高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、更に配線抵抗が低い高品質の半導体パッケージ基板の提供が可能であり、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができるレーザ加工装置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

[0012] 上記課題を解決するために、本発明では、第１の態様のレーザ加工方法として、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、

前記被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有するレーザを前記被加工物に照射し、

前記被加工物表面の前記法線を回転軸として前記レーザの前記光軸を回転させながらレーザ加工を行って、前記被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法を提供する。

[0013] このようなレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。また、このようなレーザ加工方法であれば、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑な

パターンを形成することができる。

[0014] 前記光軸の前記被加工物表面の法線に対する傾斜角を３°以上１５°以下とすることが好ましい。

[0015] このような傾斜角でレーザ光を被加工物に照射しながら加工を行うことにより、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのをより確実に抑制できる。

[0016] 例えば、１０Ｈｚ以上３００Ｈｚ以下の周波数で、前記レーザの前記光軸を回転させながらレーザ加工を行うことができる。

[0017] 回転の周波数は、特に限定されないが、例えば１０Ｈｚ以上３００Ｈｚ以下とすることができる。

[0018] また、本発明では、第２の態様のレーザ加工方法として、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、

ウォブル装置を用いたウォブルレーザ照射によりレーザ加工を行って、前記被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法を提供する。

[0019] このようなレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。また、このようなレーザ加工方法であれば、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0020] 第１の態様及び第２の態様のいずれにおいても、例えば、前記被加工物を半導体パッケージ用基板とし、前記半導体パッケージ用基板に凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。

[0021] このように、第１の態様及び第２の態様のいずれにおいても、半導体パッケージ用基板に凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。特に半導体パッケージ基板の加工の場合、貫通孔や、凹部、例えばＶＩＡ加工や溝加工

などが混在するような加工パターンがある。この場合、ＶＩＡ加工と溝加工の工程を分けることなく、本発明の方法により同一工程で加工が可能となる。また、半導体パッケージ基板は高密度化が進んでおり、従来から行われているＶＩＡ加工におけるレーザドリル方式では高密度化に伴う穴加工数の増大によって加工時間が大きくなるものに比べて、本方式では穴加工数の増加やパターンの高精細化による加工時間の増加がない。

[0022] 例えば、前記レーザを、エキシマレーザ発振器を用いて発振させてもよい。

[0023] レーザの発振手段は特に限定されないが、例えば、エキシマレーザ発振器を用いることができる。

[0024] 前記レーザを、フォトマスクを介して、前記被加工物に照射することができる。

[0025] 本発明のレーザ加工は、フォトマスクを用いて行うこともできる。

[0026] 前記レーザを前記被加工物に対して相対的に走査しながら加工を行ってもよい。

[0027] 本発明のレーザ加工は、スキャン加工とすることもできる。

[0028] 例えば、アブレーション加工を行うことができる。

[0029] 本発明のレーザ加工方法によれば、例えばアブレーション加工を行うことができる。

[0030] 例えば、２０μｍ以下の幅を有する前記凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。

[0031] 本発明のレーザ加工方法によれば、例えば、２０μｍ以下の幅を有する凹部及び／又は貫通孔を含む高精細なパターンを形成することができる。

[0032] 例えば。前記凹部及び／又は貫通孔として、前記凹部の底部の幅又は前記貫通孔の下端開口部の幅に対する加工部高さの比が１．０以上である凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。

[0033] 本発明のレーザ加工方法によれば、このように高いアスペクト比の凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。

[0034] 例えば、前記凹部の底部の幅が、前記被加工物の初期被加工面における前記凹部の開口幅の７０％以上である前記凹部を形成することができ、及び／又は、

前記貫通孔の下端開口部の幅が、前記初期被加工面における前記貫通孔の上端開口部の幅の７０％以上である前記貫通孔を形成することができる。

[0035] 本発明のレーザ加工方法によれば、例えば、凹部の底部の幅が被加工物の初期加工表面における凹部の開口幅の７０％以上である凹部、及び／又は貫通孔の下端開口部の幅が被加工物の初期加工表面における貫通孔の上端開口部の幅の７０％以上である貫通孔を形成することができる。

[0036] 例えば、前記凹部を複数形成し、隣接する前記凹部の底部間の距離を、前記底部の幅の１１０％以下とすることができる。

[0037] このように、本発明のレーザ加工方法によれば、複数の凹部を高い密度で形成することもできる。また、配線と基板との界面での接触面積を多く取ることができるため、配線の剥離などの不具合を起こしにくくなる。

[0038] 前記レーザを前記被加工物の被加工物表面で結像しながら加工を行うことが好ましい。

[0039] このようにレーザを結像しながら加工を行うことにより、結像する被加工物表面から加工が進んで遠ざかるにつれて、レーザの回転軌道が大きくなるようにレーザを照射することができる。また、結像を行うことにより、加工点における正確な位置決めが可能となる。

[0040] フォトマスクを介して前記レーザを前記被加工物に照射し、

前記レーザを前記フォトマスクに形成された膜面で結像することが好ましい。

[0041] このようにフォトマスクを用い且つレーザを結像しながら加工を行うことにより、フォトマスクによるパターン転写をより確実なものとし、所望の加工を更に精度よく行うことができる。

[0042] また、本発明では、本発明の第１の態様又は第２の態様のレーザ加工方法によって、前記被加工物である基板に前記凹部及び／又は貫通孔を形成する

ことを含む、前記凹部及び／又は貫通孔を有する基板の製造方法を提供する。

[0043] このような基板の製造方法であれば、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。また、このようなレーザ加工方法であれば、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明の基板の製造方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを有する基板を製造することができる。

[0044] また、本発明では、第１の態様のレーザ加工装置として、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置であって、

レーザを発振するレーザ光源と、

前記被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有する前記レーザを前記被加工物に照射するように、及び前記被加工物表面の前記法線を回転軸として前記レーザの前記光軸を回転させるように構成された成形光学系と

を具備するものであるレーザ加工装置を提供する。

[0045] このようなレーザ加工装置であれば、高解像度で被加工物の加工を行なっても、形成するパターンが先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0046] また、本発明では、第２の態様のレーザ加工装置として、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置であって、

レーザを発振するレーザ光源と、

前記レーザをウォブルレーザに変換するように構成されたウォブル装置と、

を具備するものであるレーザ加工装置を提供する。

[0047] このようなレーザ加工装置であれば、高解像度で被加工物の加工を行なっ

ても、形成するパターンが先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0048] 第２の態様のレーザ加工装置は、前記レーザ光源から出射したレーザのエネルギー分布を成形する成形装置をさらに含み、前記ウォブル装置が、前記レーザ光源と前記成形装置との間に配置されていることが好ましい。

[0049] このようなレーザ加工装置であれば、所望のパターンをより精度よく形成することができる。

[0050] 前記ウォブル装置は、例えば、ガルバノスキャナを含むことができる。

[0051] 前記ウォブル装置は、プリズムを回転するように構成された回転機構を含むこともできる。

[0052] ウォブル装置は、例えば、ガルバノスキャナを含むこともできるし、プリズムを回転するように構成された回転機構を含むこともできるし、その両方を含むこともできる。

[0053] 第１の態様及び第２の態様のレーザ加工装置のいずれにおいても、前記レーザ光源として、例えば、エキシマレーザ発振器を具備することができる。

[0054] レーザ光源は、特に限定さないが、例えば、エキシマレーザ発振器とすることができる。

[0055] 第１の態様及び第２の態様のいずれにおいても、前記レーザを前記被加工物における被加工物表面で結像するように構成された光学系を更に具備することが好ましい。

[0056] このようにレーザを結像する光学系を更に具備するものであれば、被加工物表面では回転しないビーム形状で加工しつつ、被加工物表面から加工が進むにつれてレーザビームが広がりながら回転する形状を利用して加工を行うことができる。また、結像を行うことにより、加工点における正確な位置決めが可能となる。

[0057] また、前記被加工物を載置するステージと、

前記成形光学系と前記ステージとの間に配置したフォトマスクと

を更に具備することが好ましい。

[0058] このようにフォトマスクを更に具備するものであれば、被加工物に所望のパターンを精度よく形成することができる。

[0059] この場合、レーザを前記フォトマスクに形成された膜面で結像するように構成された光学系を更に具備することがより好ましい。

[0060] このような光学系を更に具備するものであれば、フォトマスクによるマスクパターン転写をより確実に行うことができ、被加工物に所望のパターンを特に精度よく形成することができる。

[0061] また、前記ステージ上に載置する前記被加工物と、前記フォトマスクとを同期して動かすように構成されたコントローラを更に具備することができる。

[0062] 本発明の第１の態様及び第２の態様のレーザ加工装置は、このようなコントローラを更に具備することができる。

発明の効果

[0063] 以上のように、本発明のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0064] また、本発明の基板の製造方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを有する基板を製造することができる。

[0065] そして、本発明のレーザ加工装置であれば、高解像度で被加工物の加工を行なっても、形成するパターンが先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

図面の簡単な説明

[0066] [図1]本発明のレーザ加工装置の一例を示す概略図である。

[図2]本発明のレーザ加工装置におけるレーザ光軸の回転の一例を示す概略図である。

[図3]本発明のレーザ加工装置が具備することができるガルバノスキャナの一例を示す概略図である。

[図4]本発明のレーザ加工装置が具備することができるウォブル装置の一例を示す概略図である。

[図5]本発明のレーザ加工方法における被加工物へのレーザの照射状態の変化の一例を示す概略図である。

[図6]本発明のレーザ加工装置におけるレーザのビームプロファイルの変化の一例を示す概略図である。

[図7]本発明のレーザ加工方法におけるレーザのビームプロファイルの変化の一例を示す概略図である。

[図8]図７に示すビームプロファイル変化の一部をより詳細に示した図である。

[図9]本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる一例の凹部パターンを有する基板の概略部分断面図である。

[図10]本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる他の一例の凹部パターンを有する基板の概略斜視図である。

[図11]本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる一例の貫通孔パターンを有する基板の概略部分断面図である。

[図12]本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる一例の凹部及び貫通孔パターンを有する基板の概略部分断面図である。

発明を実施するための形態

[0067] 上述のように、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができるレーザ加工方法、高精細で複雑なパターンを有する基板を製造できる基板の製造方法、及び高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、更に配線抵抗が低い高品質の半導体パッケージ基板の提供が可能であり、ひいては高精細で複雑なパターンを形成

することができるレーザ加工装置の開発が求められていた。

[0068] 本発明者らは、上記課題について鋭意検討を重ねた結果、被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有するレーザを被加工物に照射し、被加工物表面の法線を回転軸としてレーザの光軸を回転させながらレーザ加工を行うか、又はウォブル装置を用いたウォブルレーザ照射によりレーザ加工を行うことにより、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができることを見出し、本発明を完成させた。

[0069] 即ち、本発明は、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、

前記被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有するレーザを前記被加工物に照射し、

前記被加工物表面の前記法線を回転軸として前記レーザの前記光軸を回転させながらレーザ加工を行って、前記被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法である。

[0070] また、本発明は、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、

ウォブル装置を用いたウォブルレーザ照射によりレーザ加工を行って、前記被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法である。

[0071] また、本発明は、本発明のレーザ加工方法によって、前記被加工物である基板に前記凹部及び／又は貫通孔を形成することを含む、前記凹部及び／又は貫通孔を有する基板の製造方法である。

[0072] また、本発明は、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置であって、

レーザを発振するレーザ光源と、

前記被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有する前記レーザを前記被加工物に照射するように、及び前記被加工物表面の前記法線を回転軸として前記レーザの前記光軸を回転させるように構成された成形光学系

と

を具備するものであるレーザ加工装置である。

[0073] また、本発明は、レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置であって、

レーザを発振するレーザ光源と、

前記レーザをウォブルレーザに変換するように構成されたウォブル装置と、

を具備するものであるレーザ加工装置である。

[0074] 以下、本発明について図面を参照しながら詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0075] ［レーザ加工装置］

図１は、本発明のレーザ加工装置の一例を示す概略図である。なお、図１に示すレーザ加工装置１００は本発明のレーザ加工装置の一例であるが、本発明のレーザ加工装置は、図１に示す装置に限定されるものではない。以下、第１の態様及び第２の態様のそれぞれの観点から、図１に示すレーザ加工装置を説明する。

[0076] ＜第１態様＞

第１の態様の観点では、図１に示すレーザ加工装置１００は、レーザを用いて被加工物７０に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置１００であって、レーザ１を発振するレーザ光源１０と、成形光学系２０とを具備する。

[0077] レーザ１を発振する光源１０は、例えば、パルス状にレーザ１を照射（出射）する光源（レーザ発振器）１０である。より詳細には、図１に示すレーザ光源１０は、エキシマレーザ発振器を具備するものである。

[0078] 成形光学系２０は、図２に示すように、被加工物７０の被加工物表面７１の法線７１ｎに対して傾いた光軸５ｃを有するレーザ５を被加工物７０に照射するように構成されている。また、成形光学系２０は、例えば図２に示すように、被加工物表面７１の法線７１ｎを回転軸としてレーザ５の光軸５ｃ

を回転させるように構成されている。図１に示す例では、成形光学系２０は、ウォブル装置２１と、成形装置２２とを備える。ただし、第１の態様に係るレーザ加工装置１００における成形光学系２０は、ウォブル装置２１と成形装置２２とを備えるものに限定されない。

[0079] ウォブル装置２１は、これに入射するレーザ１をウォブルレーザ２に変換するように構成されている。ウォブル装置２１の詳細は後述する。

[0080] 成形装置２２は、レーザ光源１０から出射したレーザ１、より正確にはレーザ１がウォブル装置２１において変換されたウォブルレーザ２のエネルギー分布を成形するように構成されている。成形装置２２によるエネルギー分布の成形については、後段のレーザ加工方法の説明において説明する。

[0081] 図１に示すレーザ加工装置１００は、該レーザ加工装置１００の光路における成形光学系２０から被加工物７０にかけて、フォトマスク３０、折り返しミラー４０及び結像レンズ（対物レンズ）５０をこの順で更に備える。この例のレーザ加工装置１００は、被加工物の直前にウォブル装置を配置する構成を採用している、ウォブル装置を利用した従来の溶接装置の事例とは大きく異なる。

[0082] 成形装置２２でエネルギー分布を成形されたレーザ３は、フォトマスク３０に入射する。フォトマスク３０は、被加工物７０に加工しようとする凹部及び／又は貫通孔のパターンに対応するマスクパターンを有する。よって、フォトマスク３０からマスクパターンを反映したレーザ４が出射される。このレーザ光４は、折り返しミラー４０で光軸の向きを変更させられて、結像レンズ５０に入射する。結像レンズ５０は、レーザ４を、被加工物７０における被加工物表面７１で（焦点Ｆ２で）結像するように構成された光学系である。結像レンズ５０からのレーザ５が被加工物７０に照射される。

[0083] レーザ加工装置１００は、被加工物７０を載置するステージ６０と、フォトマスク３０及びステージ６０に電気的に接続されたコントローラ８０とを更に具備する。別の側面では、レーザ加工装置１００は、被加工物７０を載置するステージ６０と、成形光学系２０とステージ６０との間に配置したフ

ォトマスク３０とを更に具備する。

[0084] また、レーザ加工装置１００は、図１に示すように、成形装置２２とフォトマスク３０との間に、レーザ３をフォトマスク３０に形成された膜面（焦点Ｆ１）で結像するように構成された光学系９０を更に含んでもよい。

[0085] なお、光学系９０、フォトマスク３０、折り返しミラー４０、結像レンズ５０、ステージ６０及びコントローラ８０は、本発明のレーザ加工装置１００にとって任意の部材である。

[0086] また、図１に示したレーザ加工装置１００は、フォトマスク３０の特徴部分を読み取る撮像手段としてのマスク用アライメントカメラ３１と、被加工物７０の特徴部分を読み取る撮像手段としての被加工物用アライメントカメラ６１とを含んでいる。マスク用アライメントカメラ３１は、コントローラ８０にフォトマスク３０の特徴部分の位置情報を送るように構成されている。被加工物用アライメントカメラ６１は、コントローラ８０に被加工物７０の特徴部分の位置情報を送るように構成されている。コントローラ８０は、これら位置情報に基づいて、被加工物７０とフォトマスク３０との相対位置を合わせるように構成されている。別の側面では、コントローラ８０は、ステージ６０上に載置する被加工物７０と、フォトマスク３０とを同期して動かすように構成されている。

[0087] ＜第２の態様＞

第２の態様の観点では、図１に示すレーザ加工装置は、レーザを用いて被加工物７０に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置１００であって、レーザ１を発振するレーザ光源１０と、レーザ１をウォブルレーザ２に変換するように構成されたウォブル装置２１とを具備する。

[0088] 図１に示すレーザ加工装置１００は、レーザ光源１０から出射したレーザ１、より正確にはレーザ１がウォブル装置２１において変換されたウォブルレーザ２のエネルギー分布を成形するように構成されている成形装置２２をさらに含む。また、ウォブル装置２１は、レーザ光源１０と成形装置２２との間に配置されている。なお、第２の態様のレーザ加工装置１００において

、成形装置２２は任意の部材である。

[0089] 上記以外の構成は、第１の態様の観点での説明を参照されたい。

[0090] ここで、ウォブル装置２１について、より具体的に説明する。

[0091] ウォブル（Ｗｏｂｂｌｅ）装置２１は、レーザを回転及び／又は揺動させて（ウォブルレーザに変換して）被照射物に照射する装置である。レーザ溶接などでのウォルブ装置の適用事例は、例えば特開２０２２－００１３７４号公報、特開２０２２－１２７１５８号公報、及び特開２０２３－００４２０７号公報などに開示されているが、これらの事例は溶接が前提であり、微細な凹部や貫通孔を形成するレーザ加工でウォブル装置を用いた事例はない。

[0092] ウォブル装置２１は、例えば、図３に示すようなガルバノスキャナ２１Ａ、及び／又は図４に示すようなプリズム２１Ｂ$_1$を回転するように構成された回転機構２１Ｂを具備することができる。

[0093] ガルバノスキャナ２１Ａは、例えば図３に示すようにガルバノミラー２１Ａ$_1$及び２１Ａ$_2$を備えることができる。ガルバノミラー２１Ａ$_1$及び２１Ａ$_2$は、２軸方向（矢印の方向及び紙面に垂直な方向）に連動して移動することができ、その結果、これらを通るレーザ１の光路をレーザ２の光軸を傾斜させ且つ回転させることができる。

[0094] 回転機構２１Ｂは、例えば図４に示すように、一対のプリズム（ウェッジプリズム）２１Ｂ$_1$と、その回転を制御するように構成されたコントローラ２１Ｂ$_2$とを備えることができる。プリズム（ウェッジプリズム）２１Ｂ$_1$の各々は、略台形の断面形状を有する。

[0095] 図４に概略的に示すように、レーザ１が回転する一対のプリズム（ウェッジプリズム）２１Ｂ$_1$に入射すると、レーザ１は、光軸が傾斜し且つ回転するウォブルレーザ２となる。

[0096] 以上に説明した本発明のレーザ加工装置を用いて、以下に詳細に説明する本発明のレーザ加工方法を実施することができる。以下に詳細は説明するが、本発明のレーザ加工方法によれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形

成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。よって、本発明のレーザ加工装置を用いれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0097] ［レーザ加工方法］

本発明のレーザ加工方法は、例えば、以上に説明した本発明のレーザ加工装置を用いて行うことができる。しかし、本発明のレーザ加工方法は、本発明のレーザ加工装置以外の装置を用いても実施することができる。

[0098] 以下では、本発明のレーザ加工方法を、図１～図４を再び参照しながら、また図５～図８を新たに参照しながら、第１の態様及び第２の態様の２つの観点で説明する。

[0099] ＜第１の態様＞

本発明のレーザ加工方法は、第１の態様では、レーザ５を用いて被加工物７０に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、図２に示すように、被加工物７０の被加工物表面７１の法線７１ｎに対して傾いた光軸５ｃを有するレーザ５を被加工物７０に照射し、被加工物表面７１の法線７１ｎを回転軸としてレーザ５の前記光軸５ｃを回転させながらレーザ加工を行って、被加工物７０に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法である。

[0100] このような加工を行うことにより、例えば図５（ｂ）に示すように、凹部及び／又は貫通孔の形成を進めても、被加工物７０の深さ方向に進むにつれて、レーザ５は、ビームが広がりながら回転する形状を示すことができる。これにより、図５（ａ）に示す初期加工面７１ａからの縮小を防いだ加工面７１ｃで加工を進めることができる。

[0101] したがって、例えば凹部を形成する場合、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。或いは、貫通孔を形成する場合、高解像度で貫通孔の

形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明の第１の態様のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。また、配線と基板との界面での接触面積を多く取ることができるため、配線の剥離などの不具合を起こしにくくなる。

[0102] 図２に示す、光軸５ｃの被加工物表面７１の法線７１ｎに対する傾斜角θを、３°以上１５°以下とすることが好ましい。

[0103] このような傾斜角θでレーザ光５を被加工物７０に照射しながら加工を行うことにより、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのをより確実に抑制できる。傾斜角θは、例えば、図３に示すガルバノスキャナ２１Ａ及び図４に示すプリズム２１Ｂ$_1$を回転させる機構２１Ｂを制御することによって制御できる。傾斜角θは、例えば結像レンズ５０の開口数ＮＡを考慮に入れて制御することが好ましい。

[0104] 例えば、１０Ｈｚ以上３００Ｈｚ以下の周波数で、前記レーザの前記光軸を回転させながらレーザ加工を行うことができる。

[0105] 回転の周波数は、例えばレーザのパルス周波数を考慮に入れて制御することが好ましい。

[0106] ＜第２の態様＞

本発明のレーザ加工方法は、第２の態様では、レーザ５を用いて被加工物７０に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、ウォブル装置２１を用いたウォブルレーザ照射によりレーザ加工を行って、被加工物７０に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法である。

[0107] このような加工を行うことにより、例えば、図５（ｂ）に示すように、凹部及び／又は貫通孔の形成を進めても、被加工物７０の深さ方向に進むにつれて、レーザ５は、ビームが広がりながら回転する形状を示すことができる。これにより、図５（ａ）に示す初期加工面７１ａからの縮小を防いだ図５

（ｂ）に示す加工面７１ｃで加工を進めることができる。

[0108] したがって、例えば、凹部を形成する場合、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。或いは、貫通孔を形成する場合、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明の第２の態様のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0109] ＜共通事項＞

以下、第１の態様及び第２の態様とで共通の事項を説明する。

[0110] 本発明のレーザ加工方法では、例えば、被加工物７０を半導体パッケージ用基板とし、半導体パッケージ用基板に凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。

[0111] 本発明のレーザ加工方法によれば、例えば半導体パッケージ用基板に凹部及び／又は貫通孔を形成することができる。特に半導体パッケージ基板の加工の場合、貫通孔や、凹部、例えばＶＩＡ加工や溝加工などが混在するような加工パターンがある。この場合、ＶＩＡ加工と溝加工の工程を分けることなく、本発明のレーザ加工方法により同一工程で加工が可能となる。また、半導体パッケージ基板は高密度化が進んでおり、従来から行われているＶＩＡ加工におけるレーザドリル方式では高密度化に伴う穴加工数の増大によって加工時間が大きくなるものに比べて、本方式では穴加工数の増加やパターンの高精細化による加工時間の増加がない。

[0112] 例えば、レーザ１を、エキシマレーザ発振器を用いて発振させてもよい。先に説明したように、レーザ１の発振手段は特に限定されないが、例えば、レーザ光源１０としてエキシマレーザ発振器を用いることができる。

[0113] また、レーザを、図１に示すフォトマスク３０を介して、被加工物７０に照射することができる。フォトマスク３０は、被加工物７０に加工しようと

する凹部及び／又は貫通孔のパターンに対応するマスクパターンを有する。そのため、フォトマスク３０を用いることにより、凹部及び／又は貫通孔の所望のパターンを被加工物７０に形成することができる。

[0114] レーザ５を被加工物７０に対して相対的に走査しながら加工を行ってもよい。例えば、図１を参照しながら説明した、被加工物７０を載置するステージ６０と、フォトマスク３０及びステージ６０に電気的に接続されたコントローラ８０とを用いることで、レーザ５を被加工物７０に対して相対的に走査しながら加工を行うこと（スキャン加工）ができる。ただし、本発明のレーザ加工では、他の手段でスキャン加工を行ってもよい。

[0115] また、本発明のレーザ加工方法によれば、例えばアブレーション加工を行うことができる。

[0116] 本発明のレーザ加工方法では、レーザ５を被加工物７０の被加工物表面７１で結像しながら加工を行うことが好ましい。

[0117] 図５に示す例は、レーザ５を被加工物７０の被加工物表面７１で結像しながら加工を行っている例である。この例の結像は、図１及び図２に示す結像レンズ５０を用いて行うことができる。このような方法によれば、図５（ａ）に示す初期加工面７１ａにレーザ５の光軸の回転中心が形成されるため、図５（ａ）に示す初期加工面７１ａでは図５（ｃ）に示すようにレーザ５ａのビームは回転していない。一方、図５（ｃ）に示すように、結像点（焦点）である初期加工面７１ａから離れるにつれ、レーザ５が広がりながら回転するビーム形状のレーザ５ｂとなる。これにより、図５（ａ）に示す初期加工面７１ａからの縮小を防いだ図５（ｂ）に示す加工面７１ｃで加工を進めることができる。

[0118] 更に、初期被加工面７１ａで結像することにより、正確な位置決めを行うことができる。

[0119] また、図１に示す成形装置２２を用い、レーザ光源１０から出射したレーザ１、より正確にはレーザ１がウォブル装置２１において変換されたウォブルレーザ２のエネルギー分布を成形することが好ましい。

[0120] 成形装置２２は、ウォブルレーザ２のエネルギー分布（ビームプロファイル）を、例えば、図６（ａ）に示すようなトップハット型にすることができる。このようなトップハット型のエネルギー分布を有するレーザ３（５ａ）は、結像点から離れるに従い、図６（ｂ）及び図６（ｃ）に示すように、成形前のエネルギー分布に近づくレーザ５ｂ$_1$及び５ｂ$_2$となる。本発明のレーザ加工方法では、ウォブルレーザ２、すなわち光軸が傾斜し且つ回転するビームプロファイルを、成形前のビームプロファイルとすることができる。そのため、結像点である初期加工面７１ａから離れるにつれ、レーザ５ｂ$_1$及び５ｂ$_2$のビームプロファイルが、広がりながら回転するビーム形状となる。

[0121] さらに、図１に示すフォトマスク３０を介してレーザ５を被加工物７０に照射することが好ましく、レーザ３をフォトマスク３０に形成された膜面で結像することがより好ましい。

[0122] この結像は、図１に示す光学系９０により行うことができる。具体的には、成形装置２２から出射した成形されたレーザ３がフォトマスク３０の膜面で焦点Ｆ１において結像される。

[0123] このようにフォトマスク３０を用い且つレーザを結像しながら加工を行うことにより、フォトマスク３０のパターン形状に応じた所望のパターン加工を更に精度よく行うことができる。

[0124] 次に、図７及び図８を参照しながら、本発明のレーザ加工方法の一例により、被加工物（基板）７０に貫通孔３００を形成する場合のレーザのエネルギー分布（ビームプロファイル）の変化を説明する。

[0125] この例では、フォトマスク３０の膜面と被加工物表面７１とにそれぞれレーザの結像を行う。

[0126] レーザ光源１０から発振されたレーザ１は、ガウシアン型のビームプロファイルを有し得る。このレーザ１は、ウォブル装置２１において、先に説明したように光軸が傾斜し且つ回転するウォブルレーザ２となる。当然、ビームプロファイルも光軸が回転する形状となる。これが成形前の元形状となる。

[0127] ウォブルレーザ２は、成形装置２２において、トップハット型のレーザ３となる。このレーザ３は、図１に示す光学系９０でフォトマスク３０の膜面で結像される。焦点Ｆ１でのレーザ３のビームプロファイルは、図７に示すように光軸が回転していない。

[0128] ビーム３は、マスクパターンを有するフォトマスク３０を通ることで、マスクパターンに応じたビームプロファイルを持つレーザ４となる。次いで、レーザ４が結像レンズ５０を通ることにより、被加工物である基板７０の被加工表面７１上でレーザ５が結像する。これにより、被加工表面７１上で、フォトマスク３０のマスクパターン形状に応じた結像投影が為される。

[0129] 結像点である被加工物表面７１では、レーザ５ａは、光軸が回転しないビームプロファイルとなる。一方、結像点からずれると、ビーム成形前の元のプロファイルの影響を受ける。つまり、図７、及び更には図８で詳細に記載しているように、被加工物７０の深さ方向に加工が進むにつれて、ウォブル装置２１で回転させた元形状の影響を受け、ビームが広がりながら回転するビーム形状を有するレーザ５ｄとなる。

[0130] このようなレーザ加工を行うことにより、被加工物７０の深さ方向に加工が進んでも、レーザのエネルギー密度の低下を防ぐことができる。かくして、図７及び図８に示すように、被加工物７０である基板を貫通する貫通孔３００を、先細りを防ぎながら形成することができる。

[0131] つまり、本発明のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面７１における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。また、本発明のレーザ加工方法であれば、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明のレーザ加工方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0132] また、以上に説明した本発明のレーザ加工方法は、例えば、本発明のレー

ザ加工装置１００を用いて行うことができる。そのため、本発明のレーザ加工装置１００を用いれば、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面７１における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。また、本発明のレーザ加工装置１００を用いれば、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明のレーザ加工装置を用いれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを形成することができる。

[0133] 次に、本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる凹部パターン、貫通孔パターン、並びに凹部及び貫通孔パターンのそれぞれの例を説明する。

[0134] ＜凹部パターン＞

図９に、本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる一例の凹部パターンを有する基板の概略部分断面図を示す。

[0135] 図９の基板７０は、その表面７１に、凹部２００を有する。凹部２００は、１つでもよいし、複数でもよい。各凹部２００は、基板７０の表面７１における開口部２００Ａと、底部２００Ｂとを有する。基板７０は、互いに隣接する凹部２００間に凸部７４を有する。複数の凹部２００は、互いに同じ形状であってもよいし、異なる形状であってもよい。すなわち、凹部２００の開口部２００Ａの幅である開口幅W_a及び底部２００Ｂの幅W_bは、それぞれ、同じものがあってもよいし、全て異なっていてもよい。また、凹部２００の加工部高さD_{200}（例えば、基板７０の厚さ方向における凹部２００の深さ）は、凹部２００毎に異なっていてもよいし、同じ加工部高さD_{200}のものがあってもよい。

[0136] 基板７０の断面７３における、互いに隣接する凹部２００の底部２００Ｂ間の距離W_cは、例えば、凹部２００の底部２００Ｂの幅W_bの１１０％以下とすることができる。凹部２００の底部２００Ｂ間の距離W_cを、１００％以上１１０％以下とすることもできる。ここでの凹部２００の底部２００Ｂの

幅W_bは、隣接する凹部２００の底部２００Ｂの幅W_bの平均である。また、凹部２００の底部２００Ｂ間の距離W_cは、凹部２００の底部２００Ｂ間の最短距離である。

[0137] また、本発明のレーザ加工方法によれば、基板７０の断面７３における凹部２００の底部２００Ｂの幅W_bに対する凹部２００の深さ（加工部高さ）D_{200}の比（$D_{200}／W_b$）を１．０以上とすることができる。

[0138] このように、本発明のレーザ加工方法によれば、高アスペクト比の凹部を形成することができる。比$D_{200}／W_b$の上限は特に限定されないが、比$D_{200}／W_b$は例えば１０以下とすることができる。

[0139] また、本発明のレーザ加工方法によれば、例えば凹部２００の底部２００Ｂの幅W_bを、表面（初期被加工面）７１における凹部２００の開口幅W_aの７０％以上とすることができ、好ましくは８０％以上、より好ましくは９０％以上である。

[0140] このような基板７０は、凹部２００が先細りの形状でなく、いわゆる寸胴形状に近いため、この凹部２００に配線を組み込んだ場合、この配線は低い抵抗を示すことができる。よって、このような基板７０は、低い配線抵抗の配線パターンを実現できる。

[0141] 凹部２００の底部２００Ｂの幅W_bは、開口幅W_aと等しく（１００％）することが理想である。

[0142] また、本発明のレーザ加工方法によれば、例えば、表面７１における凹部２００の開口幅W_a及び底部２００Ｂの幅W_b、すなわち凹部２００の幅を２０μｍ以下とすることができる。

[0143] このような基板７０であれば、より高精細な配線パターンを実現できる。下限は特に限定されないが、例えば、凹部２００の幅を、１μｍ以上２０μｍ以下とすることができる。

[0144] 凹部２００は、例えば図１０の斜視図に示すようなトレンチ２００Ｔを含んでいてもよい。トレンチ２００Ｔは、基板７０の表面７１と平行な方向に延びている。複数のトレンチ２００Ｔは、図１０に例として示すように、互

いに延びる方向が異なっていてもよい。

[0145] 凹部２００は、トレンチ２００Ｔに限られない。例えば、図１０に示す例のように、矩形状の表面形状を有する留め穴２００Ｓや、円形の表面形状を有する留め穴２００Ｕを含んでいてもよい。その他の表面形状を有する凹部２００を含んでいても構わない。

[0146] 凹部２００がトレンチ２００Ｔである場合、幅W_b及び開口幅W_aは、トレンチが延びる方向に直交する方向のトレンチ２００Ｔの幅とする。凹部２００が矩形状の表面形状を有する留め穴２００Ｓである場合、表面形状において最も小さい幅を幅W_b及び開口幅W_aとする。凹部２００が円形状の表面形状を有する留め穴２００Ｕである場合、円の直径を幅W_b及び開口幅W_aとする。表面形状が楕円である場合、その短径を幅W_b及び開口幅W_aとする。

[0147] 断面７３における凹部２００の加工部高さD_{200}（例えば、基板７０の厚さ方向における凹部２００の深さ）は、凹部２００毎に異なっていてもよいし、同じ加工部高さD_{200}のものがあってもよい。凹部２００の加工部高さD_{200}は、例えば、５μｍ以上２０μｍ以下とすることができる。

[0148] ＜貫通孔パターン＞

図１１に、本発明のレーザ加工方法を用いて形成できる一例の貫通孔パターンを有する基板の概略部分断面図を示す。

[0149] 図１１に示す基板７０は、表面７１から該表面７１とは反対側の裏面７１Ｂまで貫通する貫通孔３００を有する。

[0150] 本発明のレーザ加工方法によれば、裏面７１Ｂにおける貫通孔３００の下端開口部３００Ｂの幅W_eを、表面（初期被加工面）７１における貫通孔３００の上端開口部３００Ａの幅W_dの７０％以上とすることができる。

[0151] このような基板７０は、貫通孔３００が先細りの形状でなく、いわゆる寸胴形状に近いため、この貫通孔３００にＶＩＡ加工を施す場合、加工時に先細りすることなく高精細であっても深いＶＩＡ電極加工を行うことができる。よって、このような態様の基板７０は、高アスペクトのＶＩＡ電極パターンを実現できる。

[0152] また、貫通孔３００は、先細りの形状でないため、貫通孔３００の下端開口部３００Ｂの幅W_eの大きさの確保のために、貫通孔３００の上端開口部３００Ａの幅W_dを必要以上に大きくする必要はない。そのため、この基板７０は、高精細で複雑なＶＩＡパターンを実現することもできる。

[0153] 貫通孔３００の下端開口部３００Ｂの幅W_eを、上端開口部３００Ａの幅W_dと等しくする（１００％）ことが理想である。貫通孔３００の下端開口部３００Ｂの幅W_eは、上端開口部３００Ａの幅W_dの７０％以上とすることができ、８０％以上とすることが好ましく、９０％以上とすることが更に好ましい。

[0154] 貫通孔３００は、１つでもよいし、複数でもよい。複数の貫通孔３００を含む場合、複数の貫通孔３００の幅W_d及び幅W_eは、同じであってもよいし、異なっていてもよい。

[0155] 貫通孔３００の平面形状は、特に限定されない。貫通孔３００が矩形状の表面形状を有する場合、表面形状において最も小さい幅を幅W_d及び幅W_eとする。貫通孔３００が円形状の表面形状を有する場合、円の直径を幅W_d及び幅W_eとする。表面形状が楕円である場合、その短径を幅W_d及び幅W_eとする。

[0156] 本発明のレーザ加工方法によれば、表面７１における貫通孔３００の上端開口部３００Ａの幅W_d及び下端開口部の幅W_eを２０μｍ以下とすることができる。すなわち、本発明のレーザ加工方法によれば、２０μｍ以下の幅を有する貫通孔を形成できる。

[0157] このような基板７０であれば、より高精細なＶＩＡ電極パターンを有する半導体パッケージを実現できる。

[0158] 上端開口部３００Ａの幅W_dは、下限は特に限定されないが、例えば、１μｍ以上とすることができる。

[0159] 本発明のレーザ加工方法によれば、裏面７１Ｂにおける貫通孔３００の下端開口部３００Ｂの幅W_eに対する、貫通孔３００の加工部高さD_{300}の比は、例えば、１．０以上とすることができる。貫通孔３００の下端開口部３０

０Ｂの幅W_eに対する加工部高さD_{300}の比は、特に限定されないが、例えば１．０以上１０．０以下とすることができる。

[0160] ＜凹部及び貫通孔パターン＞

本発明のレーザ加工方法によれば、例えば図１２に示すような、凹部２００及び貫通孔３００の両方を含むパターンを形成することもできる。凹部２００及び貫通孔３００の詳細については、上記を参照されたい。

[0161] 特に、本発明のレーザ加工方法によれば、例えば、図１２に示すように、貫通孔３００の間に、複数の凹部２００を形成するなど、微細なパターンを形成することができる。そして、先に説明したように、凹部２００及び貫通孔３００は、先細りの形状となるのを抑制しながら形成することができる。

[0162] ［基板の製造方法］

上記の通り、本発明のレーザ加工方法によれば、被加工物である基板に凹部及び貫通孔を形成することができる。

[0163] すなわち、本発明では、本発明の第１の態様又は第２の態様のレーザ加工方法によって、前記被加工物である基板に前記凹部及び／又は貫通孔を形成することを含む、前記凹部及び／又は貫通孔を有する基板の製造方法を提供する。

[0164] このような基板の製造方法であれば、先に説明したように、高解像度で凹部の形成を行っても、凹部の底部の幅が被加工物表面における凹部の開口部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。また、このようなレーザ加工方法であれば、高解像度で貫通孔の形成を行なっても、貫通孔の下端開口部の幅が貫通孔の上端部の幅よりも小さくなるのを抑制できる。つまり、本発明の基板の製造方法であれば、高解像度で凹部及び／又は貫通孔の形成を行なっても、形成する凹部及び／又は貫通孔が先細りの形状となるのを抑制でき、ひいては高精細で複雑なパターンを有する基板を製造することができる。

[0165] なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであって

も本発明の技術的範囲に包含される。

請求の範囲

[請求項1] レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、

前記被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有するレーザを前記被加工物に照射し、

前記被加工物表面の前記法線を回転軸として前記レーザの前記光軸を回転させながらレーザ加工を行って、前記被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法。

[請求項2] 前記光軸の前記被加工物表面の法線に対する傾斜角を３°以上１５°以下とする請求項１に記載のレーザ加工方法。

[請求項3] １０Ｈｚ以上３００Ｈｚ以下の周波数で、前記レーザの前記光軸を回転させながらレーザ加工を行う請求項１又は２に記載のレーザ加工方法。

[請求項4] レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法であって、

ウォブル装置を用いたウォブルレーザ照射によりレーザ加工を行って、前記被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工方法。

[請求項5] 前記被加工物を半導体パッケージ用基板とし、前記半導体パッケージ用基板に凹部及び／又は貫通孔を形成する請求項１～４の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項6] 前記レーザを、エキシマレーザ発振器を用いて発振させる請求項１～５の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項7] 前記レーザを、フォトマスクを介して、前記被加工物に照射する請求項１～６の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項8] 前記レーザを前記被加工物に対して相対的に走査しながら加工を行う請求項１～７の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項9] アブレーション加工を行う請求項１～８の何れか１項に記載のレー

ザ加工方法。

[請求項10] ２０μｍ以下の幅を有する前記凹部及び／又は貫通孔を形成する請求項１～９の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項11] 前記凹部及び／又は貫通孔として、前記凹部の底部の幅又は前記貫通孔の下端開口部の幅に対する加工部高さの比が１．０以上である凹部及び／又は貫通孔を形成する請求項１～１０の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項12] 前記凹部の底部の幅が、前記被加工物の初期被加工面における前記凹部の開口幅の７０％以上である前記凹部を形成する、及び／又は、

前記貫通孔の下端開口部の幅が、前記初期被加工面における前記貫通孔の上端開口部の幅の７０％以上である前記貫通孔を形成する請求項１～１１の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項13] 前記凹部を複数形成し、隣接する前記凹部の底部間の距離を、前記底部の幅の１１０％以下とする請求項１～１２の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項14] 前記レーザを前記被加工物の被加工物表面で結像しながら加工を行う請求項１～１３の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項15] フォトマスクを介して前記レーザを前記被加工物に照射し、

前記レーザを前記フォトマスクに形成された膜面で結像する請求項１～１３の何れか１項に記載のレーザ加工方法。

[請求項16] 請求項１～１５の何れか１項に記載のレーザ加工方法によって、前記被加工物である基板に前記凹部及び／又は貫通孔を形成することを含む、前記凹部及び／又は貫通孔を有する基板の製造方法。

[請求項17] レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置であって、

レーザを発振するレーザ光源と、

前記被加工物の被加工物表面の法線に対して傾いた光軸を有する前記レーザを前記被加工物に照射するように、及び前記被加工物表面の

前記法線を回転軸として前記レーザの前記光軸を回転させるように構成された成形光学系と

を具備するものであるレーザ加工装置。

[請求項18] レーザを用いて被加工物に凹部及び／又は貫通孔を形成するレーザ加工装置であって、

レーザを発振するレーザ光源と、

前記レーザをウォブルレーザに変換するように構成されたウォブル装置と、

を具備するものであるレーザ加工装置。

[請求項19] 前記レーザ光源から出射したレーザのエネルギー分布を成形する成形装置をさらに含み、前記ウォブル装置が、前記レーザ光源と前記成形装置との間に配置された請求項１８に記載のレーザ加工装置。

[請求項20] 前記ウォブル装置は、ガルバノスキャナを含む請求項１８または１９に記載のレーザ加工装置。

[請求項21] 前記ウォブル装置は、プリズムを回転するように構成された回転機構を含む請求項１８～２０の何れか１項に記載のレーザ加工装置。

[請求項22] 前記レーザ光源として、エキシマレーザ発振器を具備するものである請求項１７～２１の何れか１項に記載のレーザ加工装置。

[請求項23] 前記レーザを前記被加工物における被加工物表面で結像するように構成された光学系を更に具備する、請求項１７～２２のいずれか１項に記載のレーザ加工装置。

[請求項24] 前記被加工物を載置するステージと、

前記成形光学系と前記ステージとの間に配置したフォトマスクと

を更に具備するものである請求項１７～２２の何れか１項に記載のレーザ加工装置。

[請求項25] レーザを前記フォトマスクに形成された膜面で結像するように構成された光学系を更に具備する、請求項２４に記載のレーザ加工装置。

[請求項26] 前記ステージ上に載置する前記被加工物と、前記フォトマスクとを

同期して動かすように構成されたコントローラを更に具備するものである請求項２４又は２５に記載のレーザ加工装置。