(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3691221号
(P3691221)
(45)発行日　平成17年9月7日(2005.9.7)　(24)登録日　平成17年6月24日(2005.6.24)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H05K 3/00　H05K 3/00　N
B23K 26/00　B23K 26/00　330

請求項の数 3　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願平9-258206
(22)出願日　平成9年9月24日(1997.9.24)
(65)公開番号　特開平11-97821
(43)公開日　平成11年4月9日(1999.4.9)
審査請求日　平成13年2月5日(2001.2.5)

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目２番３号
(74)代理人　100089118
弁理士　酒井　宏明
(72)発明者　湯山　崇之
東京都千代田区丸の内二丁目２番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　金岡　優
東京都千代田区丸の内二丁目２番３号　三菱電機株式会社内

審査官　川内野　真介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】レーザ加工方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
プリント基板のそれぞれの穴加工位置に総パルス数（Ｎ）のレーザを照射して複数（Ｍ）個の穴を加工するレーザ加工方法であって、
第１ステップでは、予め定めた発振周波数を使い、最初の穴の位置で前記総パルス数（Ｎ）をｎ分割した（ｎは２以上であり、総パルス数Ｎより小さい整数）パルス数（ｎ１）のレーザを照射し、続いて、レーザ加工する他の全ての穴加工位置においてパルス数（ｎ１）のレーザを順次照射し、
さらなるステップでは、全ての穴加工位置へ総パルス数（Ｎ）をｎ分割したパルス数（ｎ２、・・・、ｎｎ）のレーザを第ｎステップまでそれぞれ繰り返し照射し、
それぞれのステップで照射した全てのパルス数の合計（ｎ１＋ｎ２＋・・・＋ｎｎ）が前記総パルス数（Ｎ）と等しくなるようにレーザを照射して穴加工を行うことを特徴とするレーザ加工方法。
【請求項２】
前記穴を加工する複数の工程の途中で、レーザビームのパルス幅および／またはピーク出力を変更することを特徴とする請求項１に記載のレーザ加工方法。
【請求項３】
所定のパルス数のレーザをそれぞれの穴加工位置に順次照射する際に、ガルバノミラーを用いてレーザをスキャンさせることを特徴とする請求項１または２に記載のレーザ加工方法。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、レーザ加工方法に係り、さらに詳しくは、プリント基板に対して複数パルスのレーザビームを用いて複数の穴を加工するレーザ加工方法であって、例えば、プリント基板のバイアホールやスルーホールの加工を行うレーザ加工方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
近年、製品や部品を製造する加工工程などにおいて、レーザビームが非常に広く使用されつつある。このレーザビームは、振幅と波長が一致したコヒーレントな特殊な光であって、自然光のように振幅と波長が混在しているインコヒーレントな光と区別される。
【０００３】
従来のレーザ加工方法の１つとして、複数パルスのレーザビームを用いて複数の穴を加工する場合は、各穴に対して予め設定された発振周波数に従い、予め設定された数のパルスを照射する方法がある。以下、本明細書中では、この方式を「モードＡ」と称する。
【０００４】
また、これとは別のレーザ加工方法として、ガルバノスキャンミラーを使用する場合は、スキャンエリア内におけるすべての穴に１ショットづつレーザビームのパルスを投入し、エリア内の全穴に１ショットづつ照射した後に再び最初の穴から再度１ショットづつ照射して、設定数までこれを繰り返し行う方法がある。以下、本明細書中では、この方式を「モードＢ」と称する。
【０００５】
そして、図１５には、プリント基板に対してレーザビームを用いてバイアホールを加工した断面図が示され、（ａ）はプリント基板５０の絶縁層が樹脂単体で構成された図であり、（ｂ）はプリント基板６２の絶縁層が無機質の基材に樹脂を含浸させたもので構成された図である。
【０００６】
図において、プリント基板５０または６２は、コア回路基板５２上に接続用ランド５４が配置され、その上に絶縁層となるエポキシ樹脂５６やガラスクロス６６が混在したガラスエポキシ樹脂６４を形成した後、レーザビームによりレーザ加工されたバイアホール５８を形成し、全面にはパターンメッキ６０が施されている。
【０００７】
このように、図１５（ａ），（ｂ）に示されるプリント基板５０，６２に形成されたバイアホール５８は、上述した「モードＡ」や「モードＢ」のレーザ加工方法を用いることにより形成することができる。特に、図１５（ａ）のように絶縁層が樹脂単体で構成されている場合は、加工品質の上では「モードＡ」でも「モードＢ」でも差が無い。
【０００８】
そのため、加工時間が短縮でき、生産性の面から「モードＡ」を使って、発振周波数を高くして加工することが一般的に行われている。ここで、発振周波数を高くする（高周波数）とは、発振周波数を複数の穴の位置決めに要する時間の逆数から求まる周波数以上に設定するということである。これよりも低い周波数では「モードＡ」の方が「モードＢ」よりも生産性が低下することになる。
【０００９】
そこで、このような加工時間の考え方をガルバノミラーを例にとって説明する。図１６には、「モードＡ」と「モードＢ」の各発振周波数に対してパルス数と加工時間との関係を示した線図が示されている。ここでは、発振周波数と加工時間の関係を２．５ｍ秒で位置決め可能なガルバノスキャンについて示したものである。このガルバノスキャンは２．５ｍ秒で位置決め可能であるから、その逆数をとると４００Ｈｚとなる。
【００１０】
図１６に示されるように、発振周波数を４００Ｈｚとすると、丁度ガルバノスキャンの周

波数（繰り返しサイクル）と一致することになるため、「モードＡ」も「モードＢ」も加工時間は同じになる。発振周波数が４００Ｈｚよりも低くなる場合（図１６で２００Ｈｚの場合）は、「モードＡ」の方が「モードＢ」よりも加工時間が長くなる。また、逆に発振周波数が４００Ｈｚよりも高くなる場合（図１６で８００Ｈｚの場合）は、「モードＡ」の方が「モードＢ」よりも加工時間が短くなる。

【００１１】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このような従来のレーザ加工方法にあっては、図１５（ｂ）に示されるように、プリント基板の絶縁層の基材としてガラスクロスやセラミクス等の無機質を使用しそれを樹脂に含浸させている場合、「モードＡ」と「モードＢ」とでは加工品質に大きな差が生じることがわかっている。

【００１２】

現在、炭酸ガスレーザを用いてプリント基板に穴あけ加工する際に一般的に用いられるガルバノスキャン方式では、ガルバノミラーによるレーザビームの移動および位置決め時間が短く、最速で４００Ｈｚ相当となる。このため、前述したように「モードＡ」では、４００Ｈｚよりも高い周波数に設定しなければ生産性の面でメリットが生じない。しかし、図１５（ｂ）のガラスエポキシ樹脂６４などは、エポキシの分解温度が約６００Ｋ（３２７℃）であるのに対し、ガラス転移温度は約１１００Ｋ（８２７℃）である。

【００１３】

このように著しく熱的性質が異なる材料の場合は、レーザビームの発振周波数を高くすると、レーザと材料の相互作用時間が長くなって、エポキシ部分が選択的により多く分解除去される。そのため、加工した穴の壁面にガラス繊維が突出した状況となるので、その表面にパターンメッキ６０をうまく形成することができず、加工品質が劣化するという不都合があった。

【００１４】

これに対して、前述した「モードＢ」のレーザ加工方法をガルバノスキャン方式と組み合わせた場合は、ガルバノエリア内の穴数が多いほど、同一の穴に繰り返し照射される間隔が長くなる。換言すると、それだけ加工材料が冷却されることになるため、相互作用時間が短くなってエポキシ樹脂が選択的に分解除去される現象が起き難くなり、良好な加工品質を得ることができる。ただし、「モードＢ」で加工する場合に、１穴当たり複数パルスを投入するケースでは、１穴／１パルスで加工可能な状況以外は加工時間が長くなってしまうため、生産性は「モードＡ」に比べ著しく劣化するという不都合があった。

【００１５】

本発明は、かかる従来技術の有する不都合に鑑みてなされたもので、プリント基板の穴開け加工を高品質かつ生産性良く行うことができるレーザ加工方法を得ることを目的とする。

【００１６】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、この発明にかかるレーザ加工方法にあっては、プリント基板のそれぞれの穴加工位置に総パルス数（Ｎ）のレーザを照射して複数（Ｍ）個の穴を加工するレーザ加工方法であって、第１ステップでは、予め定めた発振周波数を使い、最初の穴の位置で前記総パルス数（Ｎ）をｎ分割した（ｎは２以上であり、総パルス数Ｎより小さい整数）パルス数（ｎ１）のレーザを照射し、続いて、レーザ加工する他の全ての穴加工位置においてパルス数（ｎ１）のレーザを順次照射し、さらなるステップでは、全ての穴加工位置へ総パルス数（Ｎ）をｎ分割したパルス数（ｎ２、・・・、ｎｎ）のレーザを第ｎステップまでそれぞれ繰り返し照射し、それぞれのステップで照射した全てのパルス数の合計（ｎ１＋ｎ２＋・・・＋ｎｎ）が前記総パルス数（Ｎ）と等しくなるようにレーザを照射して穴加工を行うものである。

【００１７】

これによれば、プリント基板のそれぞれの穴加工位置に総パルス数（Ｎ）のレーザを照

射して複数（Ｍ）個の穴を加工するもので、第１ステップでは予め定めた発振周波数を使い、最初の穴の位置で総パルス数（Ｎ）をｎ分割したパルス数（ｎ１）のレーザを照射し、続いて、レーザ加工する他の全ての穴加工位置においてパルス数（ｎ１）のレーザを順次照射し、さらなるステップでは、全ての穴加工位置へ総パルス数（Ｎ）をｎ分割したパルス数（ｎ２、・・・、ｎｎ）のレーザを第ｎステップまでそれぞれ繰り返し照射し、それぞれのステップで照射した全てのパルス数の合計が総パルス数（Ｎ）と等しくなるようにレーザを照射して穴加工が行われる。このように、「モードＡ」と同じく、プリント基板の１つの穴に複数パルスのレーザを照射するが、穴を加工する際に必要な全てのパルス数のレーザを照射するのではなく、それらを分割した任意のパルス数のレーザを順次照射して第１ステップが終了し、このようなステップを複数回繰り返して、最終的に各加工穴に必要なレーザのパルス数を照射することにより最終加工深さまで加工する。その際、高品質な加工結果を得るには、材料とレーザとの相互作用時間を短くする（パルスビームの照射間隔に待ち時間を設けて材料を冷却する）必要がある。また、生産性を高めるには、この冷却時間（待ち時間）を短くする必要がある。すなわち、各ステップに分割されたレーザの任意のパルス数は、加工対象の材質、板厚、および要求品質等により決定される。

【００１８】

また、この発明は、加工対象が例えば銅箔上にガラスエポキシ樹脂等の複合材料からなる絶縁層を用いたプリント基板であって、その表面にバイアホールなどを形成する場合に、レーザと材料の相互作用時間を短くして、パルスビームの照射間隔にある程度の待ち時間を設けて材料を冷却することで高品質な加工結果を得つつ、この待ち時間をできるだけ短くすることで生産性良くできる。

【００１９】

つぎの発明に係るレーザ加工方法にあっては、穴を加工する複数の工程の途中で、レーザビームのパルス幅および／またはピーク出力を変更するようにしたものである。これによれば、プリント基板の穴を加工する複数工程の途中で、レーザビームのパルス幅とピーク出力の何れか一方、あるいは両方を変化させることにより、レーザビームと加工対象の材料との相互作用時間とエッチングレートとを適正に制御できるようになり、加工品質が安定するとともに、生産性を向上させることができる。

【００２０】

つぎの発明に係るレーザ加工方法にあっては、所定のパルス数のレーザをそれぞれの穴加工位置に順次照射する際に、ガルバノミラーを用いてレーザをスキャンさせるようにしたものである。これによれば、ガルバノミラーを用いたガルバノスキャン方式を採用することで、レーザビームの移動と位置決め時間が短くできることから、生産性をさらに向上させることができる。

【００２１】

【発明の実施の形態】

以下、この発明に係るレーザ加工方法の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【００２２】

実施の形態１.

まず、この実施の形態１では、上述したレーザ加工方法である「モードＡ」や「モードＢ」を用いて、種々の条件下で穴加工を行った場合の加工時間および加工品質に関する具体的なデータを説明した後、本実施の形態１に係るレーザ加工方法について説明する。ここでは、プリント基板加工用の炭酸ガスレーザを用いて、ガルバノスキャン方式によりレーザビームをスキャンさせて、プリント基板の表面に複数のバイアホールを形成するようにしたものである。

【００２３】

図１には、「モードＡ」の加工方法を説明する概念図が示され、図２には、「モードＢ」の加工方法の概念図が示されている。図１および図２では、１つの加工穴に対して照射されるレーザビームの総パルス数がＮパルスの場合である。

【００２４】

図１において、レーザビーム１０を複数（ここでは９ヶ所）のレーザ照射予定位置１４に照射して穴加工を行うもので、レーザ照射予定位置１４は破線の楕円で示され、１パルス分のレーザビーム１０が照射された１パルス照射穴１２が実線の楕円で示され、レーザ照射予定位置１４に総パルス数であるＮパルスのレーザビームが照射されたＮパルスレーザ照射穴１６を黒ベタの楕円で示してある。「モードＡ」によるレーザ加工方法は、図１に示されるように、レーザ照射予定位置１４の１つに対してレーザビーム１０をまず１パルス分照射した後、連続してＮパルスを照射する（Ｎパルスレーザ照射穴１６が１つできる）。

【００２５】

つぎのレーザ照射予定位置１４にレーザビームの照射位置を移動させ、Ｎパルスのレーザビームを照射する（Ｎパルスレーザ照射穴１６が２つできる）。このように、全てのレーザ照射予定位置１４に対して順次Ｎパルスのレーザビームを照射することにより、全ての照射位置がＮパルスレーザ照射穴１６となり、レーザ加工が終了する。

【００２６】

図２の場合も同様に、レーザビーム１０を複数（ここでは９ヶ所）のレーザ照射予定位置１４に照射して穴加工を行うものである。この「モードＢ」によるレーザ加工方法は、図２に示されるように、レーザ照射予定位置１４の１つに対してレーザビーム１０をまず１パルス分照射して１パルス照射穴１２とし、つぎのレーザ照射予定位置１４にレーザビームの照射位置を移動させて１パルス分照射して１パルス照射穴１２とする。

【００２７】

これを、全てのレーザ照射予定位置１４に対して順次１パルスのレーザビームを照射した後、再び最初の１パルス照射穴１２に戻り、２パルス目のレーザビームを各加工穴に対して照射し、これをＮ回繰り返すことにより、全ての照射位置（加工穴）がＮパルスレーザ照射穴１６となり、レーザ加工が終了する。

【００２８】

つぎに、「モードＡ」および「モードＢ」で穴加工を行った場合の加工時間を計算する。ここで、加工穴の総数をＭとし、１つの穴当たりの加工に要するパルス数をＮとし、ガルバノの能力としてエリア内でＰ穴／秒の位置決めが可能とした場合、「モードＡ」方式で加工に要する時間（Ａｔ）は、設定した発振周波数をＢとすると、次式（１）で表される。

【００２９】

Ａｔ＝（１／Ｐ＋（Ｎ－１）／Ｂ）×Ｍ　・・・（１）

【００３０】

また、「モードＢ」方式で加工に要する時間（Ｂｔ）は、次式（２）で表される。

【００３１】

Ｂｔ＝Ｍ×Ｎ／Ｐ　・・・（２）

【００３２】

ここで、加工対象である絶縁層（図１５の５６、６４参照）の材質がＦＲ－４であり、厚みが０．１ｍｍのプリント基板に９６１穴（Ｍ＝９６１）のバイアホールを形成する場合についての加工時間を計算することにする。１つのバイアホールを形成するのに必要なパルス総数を６（Ｎ＝６）とし、ガルバノにより４００穴／秒（Ｐ＝４００）の位置決めが可能であって、発振周波数が１０００Ｈｚとした場合、上記（１）式に代入して計算した「モードＡ」の加工時間（Ａｔ）は、

Ａｔ＝（１／４００＋（６－１）／１０００）×９６１＝７．２秒

となる。

【００３３】

また、「モードＢ」の加工時間は、上記（２）式に代入すると、

Ｂｔ＝９６１×６／４００＝１４．４秒

となる。その結果、「モードＢ」は「モードＡ」に比べおよそ２倍もの加工時間を要することが分かる。

【００３４】
つぎに、実際のプリント基板に対して穴加工を行った際の加工品質について説明する。ここでは、プリント基板の絶縁層の材質がＦＲ－４であり、基板の厚みが０．１ｍｍであって、外層銅箔の厚みが１２μｍの上に絶縁層を積層した基板にバイアホール（φ０．３ｍｍ）を形成したものである。「モードＡ」方式で加工した場合の加工穴の状態が図３および図４に示されている。
【００３５】
図３には、加工穴の穴底の状態を示す図が示され、図４には、加工穴の穴表面の状態を示す図が示され、図３および図４の（ａ）は５パルスの場合、（ｂ）は６パルスの場合、（ｃ）は８パルスの場合である。なお、図３および図４では、それぞれ１つの加工穴のみが示されているが、実際には９６１個の穴が加工される（ガルバノの位置決めは４００穴／秒）。その際の加工条件としては、１パルス当たりのエネルギーが１５ｍＪ、パルス幅が５０μ秒、発振周波数は１０００Ｈｚである。
【００３６】
図３（ａ）に示されるように、５パルスでは穴の底部の銅箔上に除去されていないガラスクロスが存在していることが観察される。そこで、レーザビームのパルス数を増加して６パルスあるいは８パルスとすると、そのガラスクロスが除去されるのが分かる。
【００３７】
また、図４に示される穴表面の観察結果では、穴の縁にガラスが球状化して付着しており、パルス数を５→６→８と増加させると、表面のエポキシ層に熱影響が生じているのが分かる。この場合の加工時間は、約７．２秒（６パルス）であって、生産性は良好であるが、加工品質は良好で無いことがわかる。
【００３８】
つぎに、「モードＢ」方式で加工した場合の加工穴の状態が図５および図６に示されている。この場合もプリント基板の絶縁層の材質がＦＲ－４であり、基板の厚みが０．１ｍｍであって、外層銅箔の厚みが１２μｍの上に絶縁層を積層した基板にバイアホールを形成したものである。
【００３９】
図５には、加工穴の穴底の状態を示す図が示され、図６には、加工穴の穴表面の状態を示す図が示され、図５および図６の（ａ）は６パルスの場合、（ｂ）は１０パルスの場合、（ｃ）は１２パルスの場合である。なお、図５および図６の場合も、それぞれ１つの加工穴しか示していないが、実際には９６１個の穴が加工される。そして、その際の加工条件は、１パルス当たりのエネルギーが１５ｍＪ、パルス幅が５０μ秒である。但し、加工穴が９６１個あるため、１穴当たりのパルスの繰り返し周波数は約０．４Ｈｚである。
【００４０】
図５（ａ）および（ｂ）に示されるように、６、１０パルスでは穴の底部銅箔上に除去されていないガラスあるいは樹脂の固まりが存在していることが観察される。そこで、同図（ｃ）に示されるように、レーザビームのパルス数を増加して１２パルスとすることにより、これらを除去できることが分かる。
【００４１】
また、図６に示される穴表面の観察結果では、穴の縁に付着するガラスの球状化物は少なく、パルス数を増やしても表面のエポキシ層に熱影響は生じていないことが分かる。しかし、この場合の加工時間は、９６１×１２／４００＝約２８．８秒となり、加工品質は良好であるが、生産性（「モードＡ」の約４倍）が悪くなる。
【００４２】
そこで、上述した「モードＡ」方式による加工品質を向上させるため、レーザと材料の相互作用時間を短くするという目的で発振周波数を低くして加工した場合の結果が図７に示されている。図７は、発振周波数を１０００Ｈｚ、５００Ｈｚ、２００Ｈｚ、２０Ｈｚとした各場合の加工品質（熱影響）を比較した図である。また、この「モードＡ」と比較するため、「モードＢ」のデータも示されている。

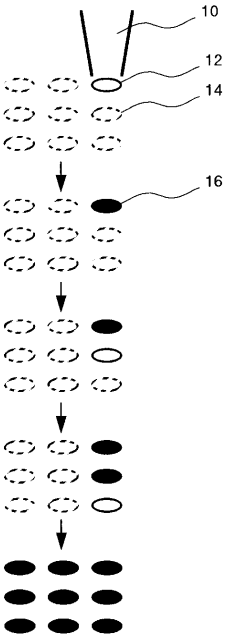
【００４３】
図７では定量的なデータとするため、表面の穴縁からの熱影響層までの最大距離を示している。図７から明らかなように、１０００～２００Ｈｚまで熱影響層の大きさにはほとんど差が無く、２０Ｈｚあたりではじめて「モードＢ」の結果とほぼ同じになる。しかし、発振周波数２０Ｈｚで加工した場合の加工時間は、（１／４００＋（６－１）／２０）×９６１＝２４３秒となるため、「モードＢ」よりも生産性が劣化することになる。
【００４４】
つぎに、「モードＢ」方式において生産性を向上させるため、パルスのエネルギーを高くした場合の結果が図８に示されている。ここでは、レーザビームのパルスのエネルギーを１５ｍＪ、１７．５ｍＪ、２０ｍＪの３段階で変えており、図の縦軸は、パルス数が示され、横軸は１パルス当たりのエネルギーを示している。図８中には３つの領域（Ｉ，ＩＩ，ＩＩＩ）が示されており、領域Ｉはパルス数とエネルギーの両方が不足しているため穴底部に樹脂が残っている領域であり、領域ＩＩはパルス数とエネルギーとも適正で良好な品質の加工結果が得られる領域であり、領域ＩＩＩはパルス数、エネルギーとも過多であって、外層銅箔にダメージが生じている領域である（領域ＩＩＩにおける銅箔へのダメージの外観を示したのが図９である。）。
【００４５】
上記した図８および図９に示されるように、１パルス当たりのエネルギーを高くすることで銅箔上の樹脂を除去するのに必要なパルス数は少なくて済むが、銅箔に対するダメージが生じやすいことがわかる。この場合において良好と判断される条件としては、１７．５ｍＪの１０パルスであるが、この場合の加工時間は、９６１×１０／４００＝２４秒となり、１６ｍＪの場合に比べて生産性が若干向上している。しかし、それでも加工時間は、「モードＡ」と比べると約３．３倍となる。
【００４６】
以上述べたように、図１から図９で説明した「モードＡ」や「モードＢ」を用いて、種々の条件下で穴加工を行った場合の加工時間および加工品質に関する具体的なデータを検討した結果、「モードＡ」、「モードＢ」ともに品質あるいは生産性のどちらかが欠けていることが判明した。
【００４７】
つぎに、本実施の形態１に係るレーザ加工方法について詳細に説明する。図１０には、実施の形態１に係るレーザ加工方法の概念図が示されている。図１０における第１工程では、上述した「モードＡ」と同様に、ｎ１パルスを所定の発振周波数に従って照射するようにする（図中の斜め線の楕円で示したｎ１パルスレーザ照射穴１８）。すなわち、エリア内の全穴に対してｎ１パルスずつ発振周波数に従って順次照射する。
【００４８】
これが終了した時点で、第２工程に移行し、再度最初の穴から所定の発振周波数に従い、エリア内の全穴に対してｎ２パルスずつ順次照射する（図中のハーフトーンの楕円で示した（ｎ１＋ｎ２）パルスレーザ照射穴２０）。このようにして、最後の工程まで繰り返し照射が行われ、最後の工程では、ｎｎパルスずつレーザビームが照射される。この時の総パルス数は、ｎ１＋ｎ２＋・・・・＋ｎｎ＝Ｎとなる。そして、ｎは、Ｎ（総パルス数）の分割数を示している。このように、本実施の形態１では、Ｎパルス数をｎ分割して、各工程ごとのパルス数を「モードＡ」の形式で照射する工程が繰り返し行われる。本明細書では、このレーザ加工方法を「モードＣ」と称することにする。
【００４９】
なお、この「モードＣ」は、ｎ分割された「モードＡ」の集合体とも見做すことができるため、「モードＣ」において、ｎ１、ｎ２、・・・・ｎｎパルスずつ照射する工程をそれぞれ「モードＡｎ１」、「モードＡｎ２」、・・・・「モードＡｎｎ」と称することにする。
【００５０】
この実施の形態１に係る「モードＣ」の加工時間（Ｃｔ）は、次式（３）で表すことがで

きる。
【００５１】
Ｃｔ＝（ｎ／Ｐ＋Ｎ／Ｂ）×Ｍ　・・・（３）
【００５２】
この場合のプリント基板の絶縁層の材質は、ＦＲ－４であって、厚みが０．１ｍｍのプリント基板に対して９６１穴（Ｍ＝９６１）のバイアホールを形成する場合であり、バイアホール１穴を形成するのに必要なパルス数が６（Ｎ＝６）で、ガルバノで４００穴／秒（Ｐ＝４００）の位置決めが可能とする。
【００５３】
また、この場合の発振周波数が１０００Ｈｚであり、６パルスを２パルスづつに３分割してレーザ加工を行う場合の「モードＣ」の加工時間（Ｃｔ）は、上記（３）式に代入して計算すると、
Ｃｔ＝（３／４００＋６／１０００）×９６１＝１３秒
となり、その結果「モードＡ」の約１．８倍、「モードＢ」の約０．９倍となる。
【００５４】
図１１および図１２には、図３および図４と同じ条件のプリント基板（絶縁層の材質がＦＲ－４で厚みが０．１ｍｍ、外層銅箔の厚みが１２μｍの上に絶縁層が積層された基板）に対して、「モードＣ」方式でレーザ加工を行った場合の加工穴の状態が示されている。また、その場合の加工条件も、図３および図４の場合と同様であって、１パルス当たりのエネルギーが１５ｍＪ、パルス幅が５０μ秒である。
【００５５】
図１１および図１２の（ａ）は、レーザビームが６パルスの場合、（ｂ）は８パルスの場合、（ｃ）は１０パルスの場合について示してある。そして、本実施の形態１における「モードＣ」の各工程で照射されるパルスは、それぞれ２パルスづつで分割されているため、６パルスの場合は３分割、８パルスの場合は４分割、１０パルスの場合は５分割となる。
【００５６】
本実施の形態１では、「モードＣ」方式によりレーザ加工を行った結果、図１１に示されるように、加工穴の穴底の状態を観察すると、同図（ａ）の６パルスの場合、穴の底部の銅箔上に除去されていないガラスクロスが残存しているが、（ｂ）の８パルスや（ｃ）の１０パルスの場合には除去することができる。
【００５７】
また、図１２に示されるように、加工穴の穴表面の状態を観察すると、何れのパルス数であっても穴の縁に付着するガラスの粒状化物は、「モードＡ」の場合（図４参照）よりも少なく、表面のエポキシ層の熱影響層も少ないことがわかる。そして、図１３は、図５と同様に熱影響層の量について示したもので、「モードＢ」には劣るが、「モードＡ」と比べると熱影響層が小さくなっている。これは、「モードＣ」方式の加工品質が「モードＡ」と「モードＢ」の中間状態といえる。
【００５８】
また、加工時間（Ｃｔ）は、８パルスの場合は４分割となるため、Ｃｔ＝（４／４００＋８／１０００）×９６１＝１７．３秒となり、生産性は「モードＡ」の２．４倍、「モードＢ」の０．６倍（「モードＢ」１２パルス時）となる。これは、「モードＣ」方式の加工時間が「モードＡ」と「モードＢ」の中間状態と言える。
【００５９】
以上説明したように、本実施の形態１によると、「モードＣ」を用いてレーザ加工を行うことにより、生産性では「モードＡ」と「モードＢ」のほぼ中間となり、加工品質的には「モードＢ」に近い良好な加工結果を得ることができる。従来は「モードＡ」か「モードＢ」でレーザ加工を行っていたため、加工品質か生産性かの何れかに偏っていたが、本実施の形態１では、加工品質と生産性とを両立させることが可能となり、良好なレーザ加工を行うことができる。

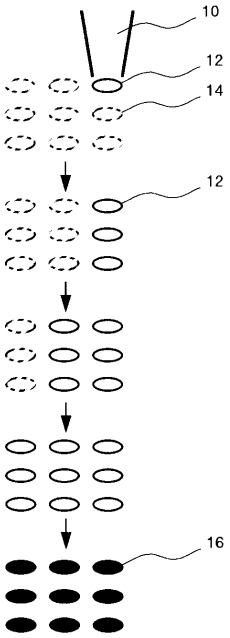
【００６０】
実施の形態２．
つぎに、本発明の実施の形態２を図１４に基づいて説明する。まず、上記実施の形態１において、「モードＢ」の高エネルギー化で説明したように、１パルス当たりのエネルギーの最大値は、銅箔へのダメージを考慮して決定される。この考慮すべきダメージとは、銅箔の厚みとランド径から求まる熱容量と加工する面の銅箔の表面状態から求まるレーザ光の吸収率によって決定される。
【００６１】
そして、絶縁層としてのガラスエポキシ樹脂をレーザ加工する場合は、前述したように樹脂単体（例えばエポキシ）を使用した絶縁層を加工する場合と比べると、高エネルギーが必要となり、銅箔にダメージが発生しやすくなる。また、その際に、「モードＡ」を用いてレーザ加工を行う場合は、連続的にパルスが照射されるため、冷却効果が低く、さらに銅箔にダメージが発生しやすくなる。
【００６２】
そこで、図１４には、「モードＣ」においてパルス幅やピーク出力を変えたことによる効果が示されている。図１４では、４分割された「モードＣ」の各分割モードの「モードＡｎ１」～「モードＡｎ４」のうち、「モードＡｎ２」～「モードＡｎ４」の１パルス当たりのパルス幅、ピーク出力を「モードＡｎ１」の場合と変えたことにより（１パルス当たりのエネルギーは一定とする）、図８と同様に３つの領域についての結果が示されている。
【００６３】
図１４において、領域Ｉは穴底部に樹脂が残っている領域であり、領域ＩＩは良好な品質の加工結果が得られる領域である。なお、領域ＩＩＩは外層銅箔にダメージが生じたものであるが、ここでは図中に表れていない。図１４に示されるように、「モードＡｎ３」を短パルス、高ピーク化することにより、少ない分割数で高品質な加工が可能であることがわかる。ただし、短パルス、高ピーク化するほど、加工点における温度が上昇するため、銅箔のダメージが発生したり、プラズマが発生して除去能力が低下するため、被加工物の種類や加工品質状況に応じて適宜適正値を選択する必要がある。
【００６４】
以上説明したように、本実施の形態２によると、「モードＣ」を用いてレーザ加工する際に、複数に分割した加工段階の途中で、１パルス当たりのパルス幅やピーク出力を変更することで、レーザビームと被加工物の材料との相互作用時間を適宜制御することが可能なため、加工品質の安定と生産性の向上とを調節することで、良好なレーザ加工を施すことができる。
【００６５】
【発明の効果】
以上説明したように、この発明に係るレーザ加工方法によれば、プリント基板の穴開け加工を高品質かつ生産性良く行うことができる。
【００６６】
つぎの発明に係るレーザ加工方法によれば、レーザビームと加工対象の材料との相互作用時間とエッチングレートとを適正に制御することが可能となり、加工品質の安定とともに、生産性を向上させることができる。
つぎの発明に係るレーザ加工方法によれば、ガルバノミラーを用いたガルバノスキャン方式を採用することで、レーザビームの移動と位置決め時間が短くできることから、生産性をさらに向上させることができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】　「モードＡ」の加工方法を説明する概念図である。
【図２】　「モードＢ」の加工方法を説明する概念図である。
【図３】　「モードＡ」で加工した場合の加工穴の穴底の状態を示す図である。
【図４】　「モードＡ」で加工した場合の加工穴の穴表面の状態を示す図である。

【図５】　「モードＢ」で加工した場合の加工穴の穴底の状態を示す図である。
【図６】　「モードＢ」で加工した場合の加工穴の穴表面の状態を示す図である。
【図７】　「モードＡ」を用いて発振周波数を低くして加工した場合の結果を示す図である。
【図８】　「モードＢ」を用いてパルスのエネルギーを高くした場合の結果を示す図である。
【図９】　図８に示される領域ＩＩＩにおける銅箔へのダメージの外観を示した図である。
【図１０】　実施の形態１に係るレーザ加工方法の概念図である。
【図１１】　「モードＣ」で加工した場合の加工穴の穴底の状態を示す図である。
【図１２】　「モードＣ」で加工した場合の加工穴の穴表面の状態を示す図である。
【図１３】　「モードＡ」と「モードＢ」と「モードＣ」における熱影響層の量について示した
図である。
【図１４】　「モードＣ」においてパルス幅やピーク出力を変えたことによる効果を示す図である。
【図１５】　プリント基板に対してレーザビームを用いてバイアホールを加工した断面図である。
【図１６】　「モードＡ」と「モードＢ」の各発振周波数に対してパルス数と加工時間との関係を示した線図である。
【符号の説明】
１０　レーザビーム、１２　１パルス照射穴、１４　レーザ照射予定位置、１６　Ｎパルスレーザ照射穴、１８　ｎ１パルスレーザ照射穴、２０　（ｎ１＋ｎ２）パルスレーザ照射穴。

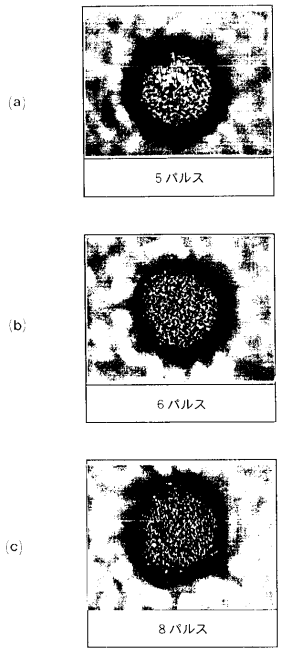
【図１】



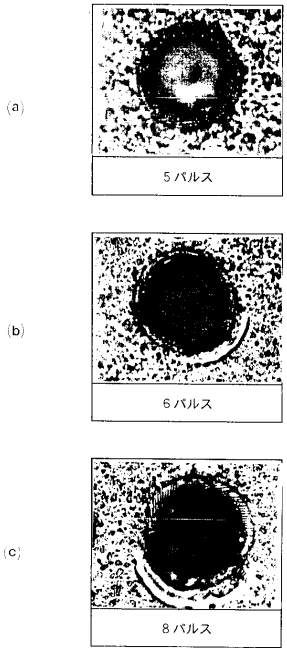
【図２】



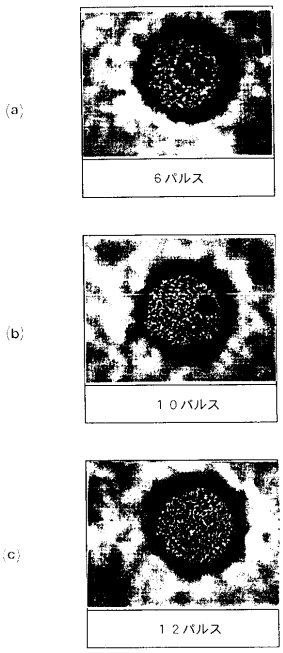
【図３】


(a)
5パルス
(b)
6パルス
(c)
8パルス

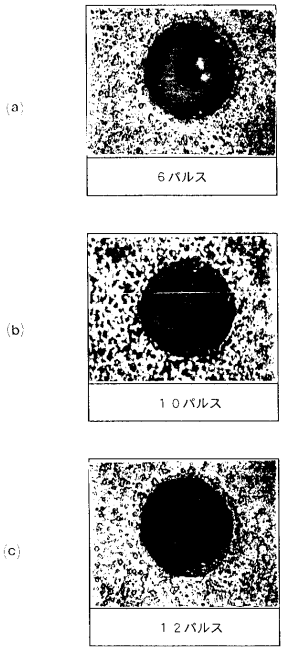
【図４】


(a)
5パルス
(b)
6パルス
(c)
8パルス

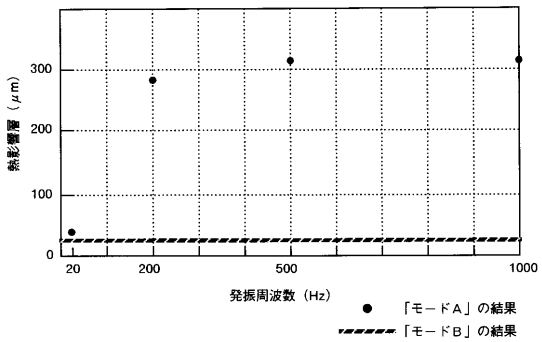
【図５】


(a)
6パルス
(b)
１０パルス
(c)
１２パルス

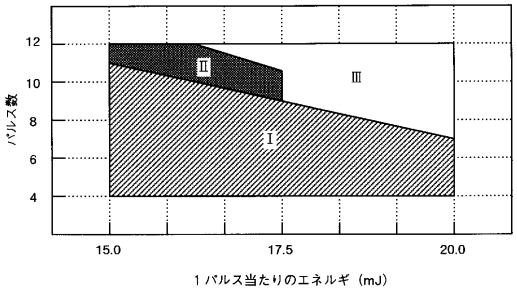
【図６】


(a)
6パルス
(b)
１０パルス
(c)
１２パルス

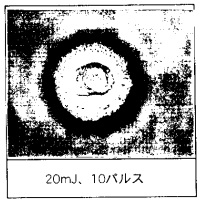
【図７】


熱影響層（μm）
300
200
100
0
20
200
500
1000
発振周波数（Hz）
「モードA」の結果
「モードB」の結果

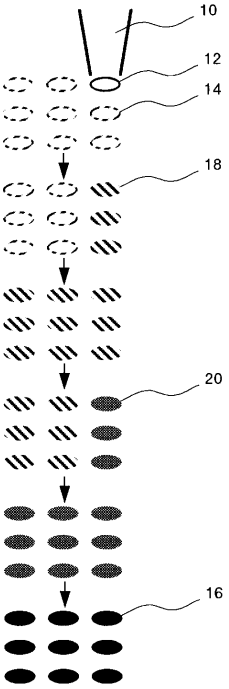
【図８】


パルス数
12
10
8
6
4
Ⅱ
Ⅲ
Ⅰ
15.0
17.5
20.0
1パルス当たりのエネルギ（mJ）

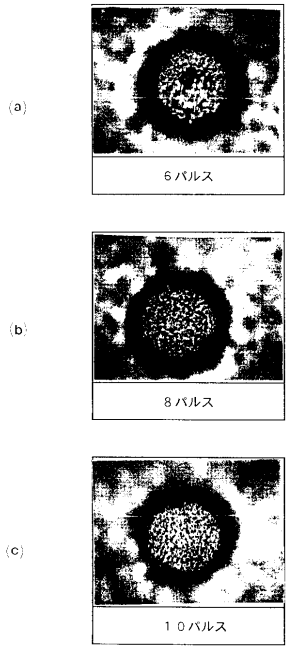
【図９】


20mJ、10パルス

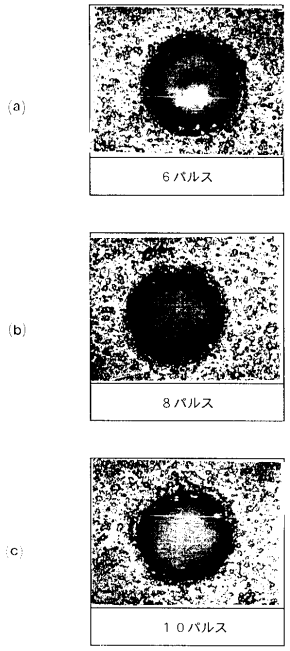
【図１０】


10
12
14
18
20
16

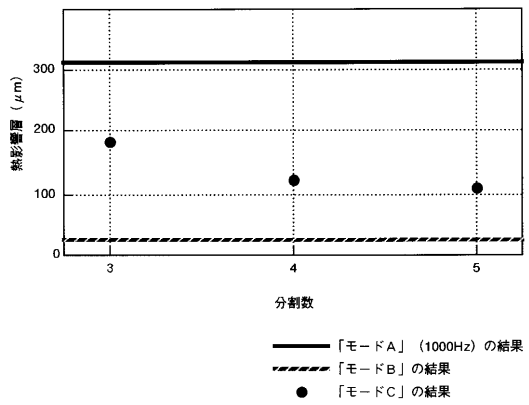
【図１１】



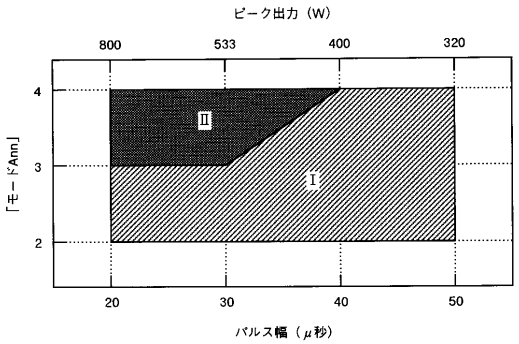
【図１２】



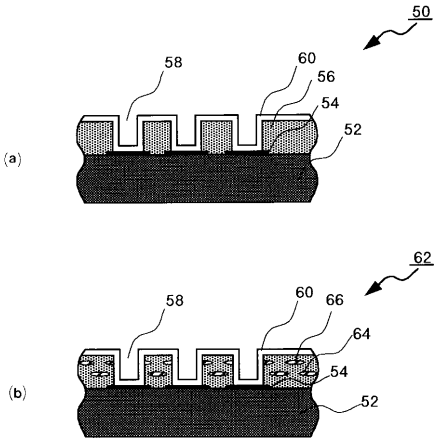
【図１３】



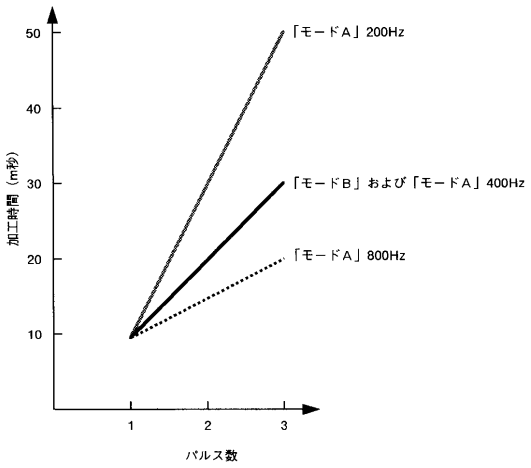
【図１４】



【図１５】


50
58
60
56
54
52
(a)
62
58
60
66
64
54
52
(b)

【図１６】


50
40
30
20
10
加工時間（m秒）
1
2
3
パルス数
「モードＡ」200Hz
「モードＢ」および「モードＡ」400Hz
「モードＡ」800Hz

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０９－１６８８７７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０１５９８７（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１０７１６８（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－０３７４９４（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２３９５７３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H05K 3/00
B23K 26/00