—解 説—

プリント基板穴あけ用 CO₂ レーザ加工機

今井祥人*, 祝 靖彦**

CO₂ Laser Drilling Machine for PCBs

Yoshihito IMAI and Yasuhiko IWAI

1. はじめに

近年、携帯電話や情報端末機器の小型化、高機能化に伴い、そこに使用されるプリント基板の高密度化、微細化が急速に進んでいる。特にプリント基板の製造方法では、従来のドリルによるスルーホール加工から、レーザによるビアホール加工が多く利用されるようになり、また穴径も 300 μ m 程度から 100 μ m 以下と、微細化の要求が高まっている。

このような要求に対して、CO₂ レーザを用いたプリント基板穴あけ用のレーザ加工機が製品化され、穴径 100 μ m 前後の微小穴を高速・高精度に加工することが可能となっている¹⁾。また、穴径 50 μ m 以下では、UV-YAG レーザを用いることで高精度加工²⁾が可能であるが、本格的に量産ラインに適用されるのは 2～3 年後と推定される。

ここでは、プリント基板の穴あけ加工において強く要求されている高生産性、および高信頼性を実現するための技術について CO₂ レーザマルチビーム加工機を例に紹介する。なお、加工技術に関しては他の文献^{3), 4)}を参照していただきたい。

2. レーザ加工機の構成と加工例

レーザによるプリント基板の穴あけ加工機の典型的な構成例（シングルビーム加工機）を Fig. 1 に示す。レーザ発振器から発振されたレーザ光は、コリメーションレンズ、マスク等からなる光学系

を通過した後、ガルバノスキャナへと導かれる。ガルバノスキャナは、NC 制御装置からの指令値に基づきミラーを所定の角度に制御し、レーザ光を $f\theta$ レンズへと導く。レーザ光は $f\theta$ レンズで集光され、プリント基板に照射されることで穴あけ加工が行われる。ガルバノスキャナは、高速にビームを位置決めすることが可能であるが、加工できる範囲（スキャンエリア）は $\square 30 \sim \square 70$ mm と制限がある。そのため、プリント基板上（たとえばサイズ 500 $\times$ 600mm）の加工エリアは複数のスキャンエリアに分割され、一つのスキャンエリア内の加工が終了すると、プリント基板を XY テーブルで移動させ、次のスキャンエリア内の加工を行う。この一連の動作を繰り返すことによりプリント基板の全面加工が可能となる。

Fig. 2 (a) は CO₂ レーザによりガラスエポキシ系基板に直径 200 μ m のビアホール加工を行った例である。ガラスを含む材料では、高ピーク・短パルス化されたレーザを利用することで、大幅な加工品質の改善が可能となる。また、Fig. 2 (b) はエポキシ系基板に直径 150 μ m のビアホール加工を行い、銅めっき処理を行った例であり、側面にテーパーのない穴加工が実現できている。それぞれの加工は、底面の銅箔部分でレーザが反射するため銅箔のところで止まっている。

Fig. 2 (c), (d) は、ポリイミド系基板にそれぞれ直径 50 μ m, 25 μ m の穴を UV-YAG レーザにより加工した例である。

* 三菱電機(株) 先端技術総合研究所 (尼崎市塚口本町 8-1-1)

** 三菱電機(株) 名古屋製作所 (名古屋市東区矢田南 5-1-14)

Fig.1 Typical Configuration of Single Beam Machine.

3. 加工機の高生産性

プリント基板の穴あけ加工において高生産性を実現するためには、特に次の3つの技術が重要となっている。

- (1) プリント基板加工用 CAD 変換
- (2) マルチビーム加工方式
- (3) 高速ガルバノスキャナシステム

以下、それぞれの技術について紹介する。

3.1 プリント基板加工用 CAD 変換

プリント基板加工用 CAD 変換では、基板全体の穴位置情報を含むガーバーデータからガルバノスキャナで加工するスキャンエリア分割とそのエリア内において加工する穴の順番を決定する。その際、スキャンエリア分割数が最小となるように、また加工時のガルバノスキャナ移動距離が最小となるように決定し、XY テーブルの駆動用 NC コード、ガルバノスキャナの駆動用指令データを自動生成する。Fig. 3 は、Fig. 1 に示すシングルビーム加工において、ガーバーデータより単純にエリア分割と穴加工順番を決定したもの(左側)と、最適化アルゴリズムにより決定したもの(右側)を示す。エリア分割数、ガルバノスキャナ移動距離は明らかに最小化されており、加工時間の短縮が可能となる。この最適化では、ニューラルネットワークや遺伝的アルゴリズムなどが利用される。なお、次に紹介するマルチビーム加工方式では、上記の最適化に加えて、同時に加工する2つの穴の選択についても最適化を行い、加工時間の短縮を実現している。

3.2 マルチビーム加工方式

加工時間を短縮する手段として、従来のシングルビームに替えて、以下のように同時、あるいは

Fig.2 Examples of Via-holes.

Fig.3 Minimization of machining time by CAD.

並列して加工を行うことが考えられる。

(1) レーザ発振器から出たビームを2つのビームに分光し、1つのスキャンシステムへ供給。

(2) レーザ発振器から出たビームを2つのビームに分光し、異なる2つのスキャンシステムへ供給。

(3) レーザ発振器から出たビームを時分割し、異なる2つのスキャンシステムへ供給。

一般に、(1)はマルチビーム加工方式、(2)、(3)はマルチヘッド加工方式と呼ばれる。

マルチビーム加工方式は、上述のように1つのスキャンエリア内の異なる2箇所を同時に加工す

Fig.4 Configuration of Multi Beam Machine.

ることが可能である。Fig. 4 にマルチビーム加工機の構成例を示す。図に示すように、シングルビーム加工機の光学系と大きく異なる点は、像転写光学系とガルバノスキャナとの間にマルチビームユニットを追加していることである。マルチビームユニットにより1つのレーザ光を2つに分光し、2つのレーザ光の位置関係をそれぞれ制御することで、 $f\theta$ レンズに2つのレーザ光を入射させ、同一スキャンエリア内の異なる2箇所にビームを照射することを可能としている。したがって、マルチビーム加工方式を用いたマルチビーム加工機は、従来機（シングルビーム加工機）と同じ設置スペース、高額な光学部品の使用を最小限にする光学設計など、初期投資コストやランニングコストの面で、他の方式よりも有利である。

マルチビーム加工方式は、プリント基板上の穴の配置パターンにも影響されるが、シングルビーム加工方式に比べ、加工時間を約60%ほど短縮できる。

3.3 高速ガルバノスキャナシステム

ガルバノスキャナの位置決め速度は、加工時間を決定する主要素である。5年前には140ポイント/秒（1mmピッチ）程度であったものが、現在では1200ポイント/秒（1mmピッチ）以上に高速化されている。当社では、高速化を実現するために独自のデジタル制御ガルバノスキャナを開発している。デジタル制御では、ガルバノスキャナの機械共振を励起しない指令値生成、フィードフォワード補償アルゴリズムなどを高速専用コントローラ上に実現している。また、ガルバノスキャナ本体は機械剛性の改善、ミラー形状の最適化、

Fig.5 Step response of galvano scanner.

	Beam A	Beam B
Sample 1	Φ 60.7 μm	Φ 60.6 μm
Sample 2	Φ 101.4 μm	Φ 100.2 μm

Fig.6 Via-holes drilled by Multi Beam.

さらに高分解能低イナーシャ位置センサの採用など、あらゆる部分の最適化を実施している。Fig. 5 はガルバノスキャナを1200ポイント/秒（1mmピッチ）で駆動した場合の時間応答波形である。

4 加工機の高信頼性

マルチビーム加工機は、以上のような技術により高生産性を実現しているが、同時に、加工穴の位置精度や品質など、高信頼性を保証することが不可欠である。

レーザ発振器においては、レーザ出力安定化技術やレーザパルスのエネルギーモニタリング機能などが組み込まれており、加工穴毎の品質のばらつきを抑えることができる。また、マルチビーム加工方式では、2つのレーザ光の光路構成を統一するとともに、それらのレーザ光のエネルギーバランスが調整できるようにエネルギー調整機能を開発し、加工穴の品質を保証している。Fig. 6 はマ

ルチビームで加工した場合 (Beam A と Beam B) の一例であり、ほぼ同形の穴が加工されている。

高速ガルバノスキャナシステムにおいては、温度変動に強い位置センサを採用し、また光路系や $f\theta$ レンズが持つ非線形特性を補償するガルバノ補正機能を実現することで、加工穴の位置精度を保証している。Fig 7 は、マルチビームで加工した加工穴の位置精度の評価結果を示す。スキャンエリア内を格子状に等間隔に並ぶ 25 点の加工穴位置において、目標位置からの X 方向、Y 方向の誤差をあらわしている。上段はガルバノ補正直後、下段が 6 時間後のデータである。Beam A と Beam B は、お互いの位置関係がずれることなく、位置決め誤差 $\pm 10\mu\text{m}$ 以下を実現している。

以上、これらの最新技術を搭載した基板穴あけ用 CO₂ レーザマルチビーム加工機[ML605GTXIII (-M)-5100U2]を Fig 8 に示す。また、Table 1 に加工機の仕様をまとめる。

5. おわりに

CO₂ レーザマルチビーム加工機を例として、プリント基板の穴あけ加工で要求される高生産性、高信頼性を実現する技術を中心に紹介した。今後も、高生産性、および微細穴化への要求はさらに高まる。CO₂ レーザに替えて、UV-YAG レーザへの期待は大きく、量産ラインで使用されるためには、レーザ発振器の大出力化、高信頼化、またガルバノスキャナを中心としたビーム位置決め速度、精度の大幅な向上が不可欠であろう。

参考文献

- 1) 水野, 福島, 金岡, 西前, 今井, 竹野: 新用途を開拓する短パルス CO₂ レーザ加工機. 三菱電機技報, Vol.71, No.4, (1997), pp.41-46.
- 2) 磯: UV レーザドリリングマシン, 電子材料, Vol.10, (2002), pp.85-88.
- 3) 廣崎, 福島, 金岡: CO₂ レーザによるプリント基板の穴あけ加工, レーザ熱加工研究会誌, Vol.5, No.2, (1998), pp.97-103.
- 4) 門屋: プリント基板へのレーザ加工応用の現状, レーザ熱加工研究会誌, Vol.5, No.2, (1998), pp.124-125.

Fig.7 Positioning error after calibration for Multi Beam.

Fig 8 Laser drilling machine
ML605GTXIII (-M)-5100U2.

Table 1 Specification of ML605GTXIII (-M)-5100U2.

XY table	
Stroke[mm]	620×510
Max feed rate[mm/min]	50
Z stroke [mm]	80
Scanning Freq.[Hz]	1200
Laser type	CO ₂ laser
Output power(W)	100
Pulse frequency(Hz)	10-5000
Pulse duration(μs)	1-100

(2003 年 10 月 15 日受付)