

MID用高速レーザ加工システム

High-Speed Laser Processing System for Molded Interconnect Devices

進藤 崇* ・ 高橋 博**

Takashi Shindo Hiroshi Takahashi

MID用の立体回路形成工程におけるレーザ加工プロセスにおいて、レーザの照射方向が異なる2台のガルバノスキャナと1台の小型で1軸の回転テーブルとを組み合わせることにより、高い加工精度を維持しながら加工時間を1/3に短縮する高速レーザ加工システムを開発した。

また、高速加工時に問題となる回路パターンのコーナ部など、加工速度を変化させる箇所が発生する基板ダメージを抑制するため、ガルバノスキャナの速度に連動させる加工エネルギー制御技術の開発により、基板へのダメージを与えない加工を実現した。

In the laser processing of three-dimensional circuit forming process for molded interconnect devices, a high-speed laser processing system has been developed for reducing the processing time to 1/3 while maintaining the high processing accuracy. This was achieved by combining two galvano-scanners having different laser beam directions and a compact single-axis rotary table.

In order to suppress substrate damage during high-speed processing generated where the processing speed is changed such as at the corner of a circuit pattern, the newly developed processing energy control technology coordinating with the speed of the galvano-scanner has eliminated damage to the substrate.

1. ま え が き

電子機器の小型軽量化や高機能化の進展に伴い、機器に搭載されるモジュール基板に対する薄型・高密度化の要求が急速に高まっている。

しかし、従来のガラスエポキシ基板に代表されるプリント配線板では、電子部品を表裏両面へ実装する平面構造であるため、これらの要求への対応が難しくなっている。

このような問題の解決手段として、射出成形品の表面に直接電気回路を形成する立体回路基板（Molded Interconnect Device：以下、MIDと記す）が注目されている。

その理由は、MIDが機構部品としての機械的機能と配線回路基板としての電気的機能との複合化により、小型化とモジュール基板の高精度化が同時に実現でき、かつモジュール基板の組立工数を削減できるという優れた特徴を有しているからである。

当社では、高密度回路を可能とするファインパターンの形成や、複雑な3次元形状への対応性に優れる独自のMID用回路形成技術「MIPTEC」(Microscopic Integrated

Processing Technology：微細複合加工技術)¹⁾を開発し、人体センサなどを生産している。

「MIPTEC」の回路形成プロセスでは、回路パターン形状を形成する工程に、1ショットレーザ法^{*1)}の一つである回路輪郭除去法^{2), 3)}を用いている。

この方法は、回路パターンの形状変更への対応が容易であり、基板に対する位置精度を確保しやすいなどの優れた特徴を有している。

しかしその反面、高密度回路を形成するために加工スポット径が微小化したり、端子数の増加により加工長が増加するなど、生産性が低下するという問題があった。

筆者らは、これらを解決するため、2台のガルバノスキャナと1台の回転テーブルとを組み合わせ、従来工程と比較して加工時間を1/3に短縮する高速加工技術を開発し、高速レーザ加工システムとして具現化したので以下で報告する。

2. 「MIPTEC」の回路形成プロセス

「MIPTEC」は成形技術、メタライジング（金属薄膜形成）技術、レーザ加工技術、めっき技術、切断技術など多くの

* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

** 製造システムセンター Manufacturing Systems Center

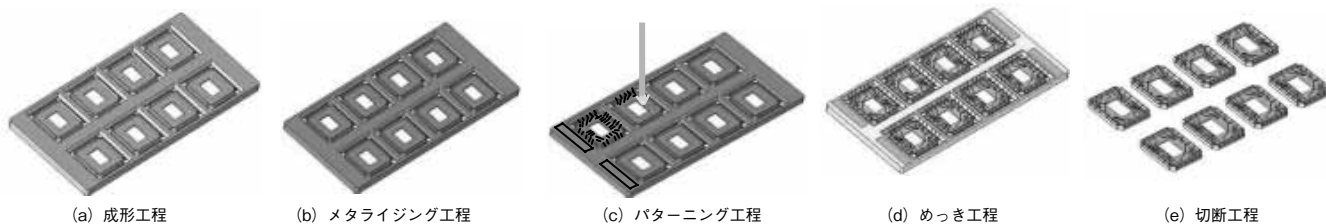


図1 「MIPTEC」による回路形成プロセス

要素技術からなる複合加工技術である。

図1に「MIPTEC」による回路形成プロセスを示し、各工程の内容を説明する。

まず、複数個の立体回路基板が配置されたシート基板を成形する(図1(a))。次に、スパッタリング法で金属薄膜をシート基板全面に形成する(図1(b))。ここではプラズマによる乾式処理で成形基板の表面を化学的に改質することにより、密着力を確保している。この方式は湿式処理で密着力を確保するプロセスに比べ、粗化されない平滑で平坦な面への回路形成が可能となり、実装性に優れた微細回路形成が容易となる。

その後、レーザーにより回路パターン形状の輪郭部の金属薄膜を除去し(図1(c))、回路部と非回路部を電氣的に絶縁する。この工程では従来のフォトリソ法で必要となるレジストとマスクが不要であり、簡易な工程で回路パターン形状を加工できる。また、CADデータ変更のみで容易にすばやく回路パターン変更が可能である。

さらに、電解めっきにより回路部だけに銅を析出させた後、ソフトエッチングで非回路部の金属薄膜を除去して銅の回路パターンを形成し、そこにニッケルめっきと金めっきを施すことで回路形成が完了する(図1(d))。

最後にシート基板を切断加工し、個々の立体回路基板が完成する(図1(e))。

3. 高速加工実現への課題

パターンニング工程(図1(c))を図2で詳細に説明する。

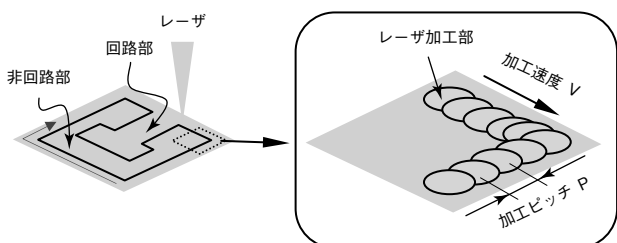


図2 パターンニング工程

レーザーはQスイッチによるパルスレーザーを使用して一定の加工ピッチを保ちながら、ガルバノスキャナで回路パターン形状の輪郭部を走査する。

レーザーの加工周波数 F (Hz)、加工速度 V (mm/s)、加工ピッチ P (mm) の関係は式(1)で表すことができ、基

板にダメージを与えない最適な加工ピッチが存在する。

この加工ピッチは加工速度を変化させた場合も同じであるので、高速化のために加工速度を増加させる場合には加工周波数もそれに比例して増加させる必要がある。

$$P = \frac{V}{F} = \text{Const} \quad (1)$$

図3に加工ピッチが最適の場合と短い場合の加工状態を示す。

この図から加工ピッチが短過ぎると基板にダメージが発生しているのに対し、最適の場合には基板にダメージのない良好な加工が得られていることがわかる。

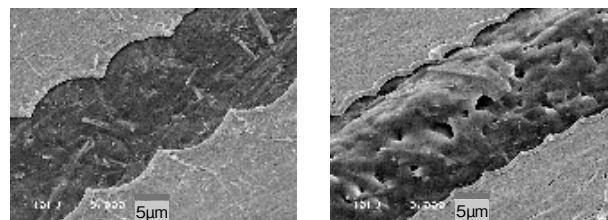


図3 加工ピッチの違いによる加工状態比較

このような加工品質を維持しつつ、パターンニング工程の生産性を向上させるためには次の三つの問題があった。

- (1) 加工周波数を増加させると加工出力が低下し、加工に必要なエネルギーを確保できない。
- (2) 立体形状(とくに90°立ち面)へのレーザー加工時には、レーザーを停止して加工可能な姿勢にワークを傾斜させる必要があるため、加工効率が低下する。
- (3) 加工周波数が増加すると、ガルバノスキャナ走査時の加減速部で最適な加工ピッチが維持できないため、基板へのダメージが発生する。

次章にこれらの対策について述べる。

4. 高速レーザー加工システム

4.1 高速加工対応レーザー発振器

式(1)に示されるように、パターンニング工程でレーザー加工の高速化を実現するためには、高い加工周波数で加工

エネルギーを確保できるレーザー発振器が必要となる。

パルスレーザーとして通常用いられている YAG レーザでは、高周波数領域での出力低下が著しいため、高速加工が困難となる。そこで、高周波数領域での出力低下が少ない YVO4 レーザとの比較を行う。

図 4 に両者の加工周波数 - 出力特性と、加工に必要なエネルギーを示す。

加工時間を 1/3 に短縮するには、加工周波数 50 kHz 以上で加工する必要があるが、YAG レーザでは出力不足であるのに対し、YVO4 レーザでは出力を十分確保できることがわかる。

以上のことから、本加工システムでは YVO4 レーザを採用している。

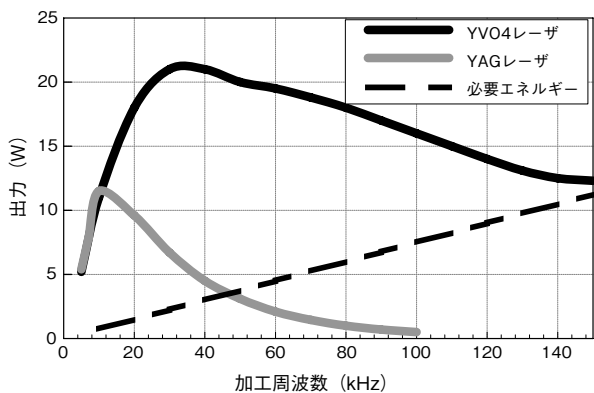


図 4 加工周波数 - 出力特性比較

4.2 3次元高速レーザー加工

立体物へレーザー加工する場合、上方からレーザーを直接照射できない面（たとえば 90° の垂直面）が存在するため、何らかの方法でワークの姿勢を変更する必要がある。このため通常は、表 1 の一般的な装置に示すようなガルバノスキャナ 1 台とワークハンドリング用の 3 軸加工テーブルを組み合わせる方式が用いられる。

しかし、この方式は駆動軸が多いために大型の加工テーブルとなり、高速で駆動しにくく累積誤差も生じやすいことから高速・高精度化には不利な構成である。

またワークの姿勢を変更する際には、必然的にレーザー照射を停止する必要がある。加工時に複数回の姿勢変更が必要となるアプリケーションでは、この停止は無駄時間となる。

そこで筆者らは、この無駄時間を最小限に抑えるとともに、立体基板に対して加工効率の良い開発システムを提案する（表 1）。

ワークに対して垂直方向から加工するガルバノスキャナ A と、垂直方向からでは加工できない部分を斜め 45° の方向から加工するガルバノスキャナ B との 2 台のガルバノスキャナを搭載し、Z 軸周りの 1 軸加工テーブルでワークの姿勢を制御する。

図 5 に開発したレーザー加工システムの略図を、図 6 にサンプルパターンへの加工時間を示す。図 6 から、本加工システムにより、従来に比べて加工時間を 1/3 に短縮できていることがわかる。

表 1 加工システムの比較

	一般的な装置	開発システム
装置構成	<p>ガルバノスキャナ ワーク 3軸加工テーブル</p>	<p>ガルバノスキャナ A ガルバノスキャナ B ワーク 1軸加工テーブル</p>
加工動作フロー	<p>①レーザー加工 ②姿勢変更 ③レーザー加工 ④高さ変更 ⑤レーザー加工 ⑥姿勢変更 ⑦レーザー加工 ⑧高さ変更 ⑨レーザー加工</p>	<p>①レーザー加工 (ガルバノスキャナ A) ②レーザー加工 (ガルバノスキャナ B) ③姿勢変更 (回転) ④レーザー加工 (ガルバノスキャナ B)</p>

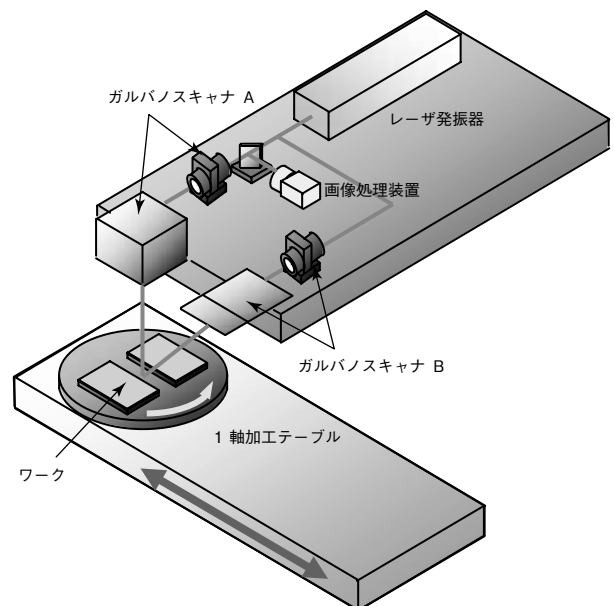


図 5 開発システムの略図

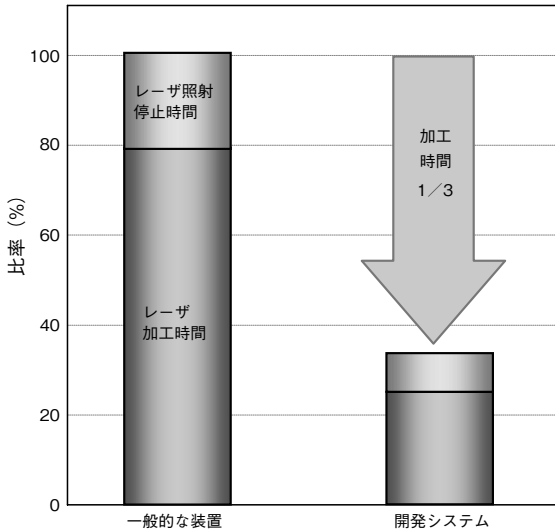


図6 加工時間の比較

4.3 ダメージレス加工

一般的なガルバノスキャナによるレーザー走査では、コーナ部などの加工方向が変化する箇所は、図7 (a) に示すようにいったん減速して再度加速する動作となる (図8上)。このような加減速領域でレーザーを一定の加工周波数で照射する (図8中) と、加工ピッチが短くなり過剰なエネルギーが基板に照射され (図8下)、基板に図7 (b) に示すダメージが発生する。

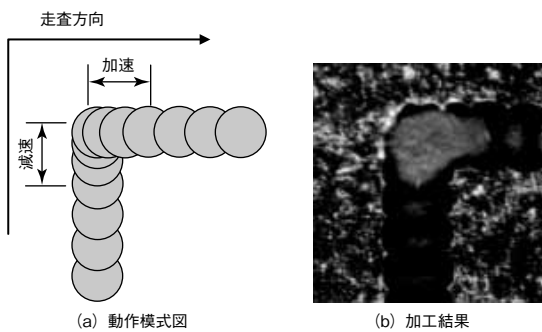


図7 コーナ部のダメージ

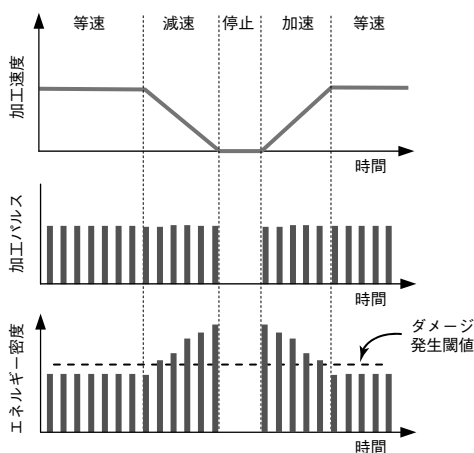


図8 コーナ部での加工動作

また高速化するために加工周波数を増加させると、加減速領域に照射される単位面積当りのエネルギーも増加し (図9)、回路パターンのコーナ部に発生するダメージはより顕著に現れ、高速加工を実現するうえでの大きな問題となる。

そこで筆者らは、ガルバノスキャナの走査速度に連動させてレーザーの加工エネルギーを制御するシステムを開発し、高速加工時にもコーナ部で基板ダメージを発生させない加工を実現している。

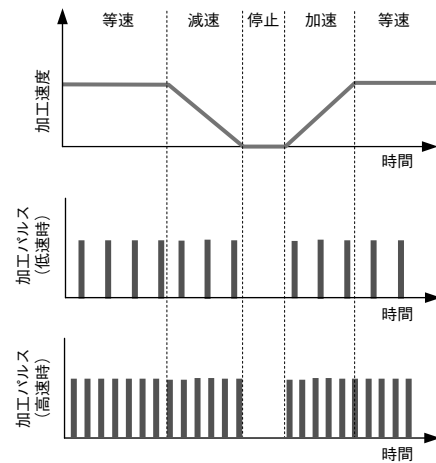


図9 高速加工時と低速加工時の比較

図10に加工エネルギー制御の概念図を、図11に加工エネルギー制御システムのブロック図を示す。

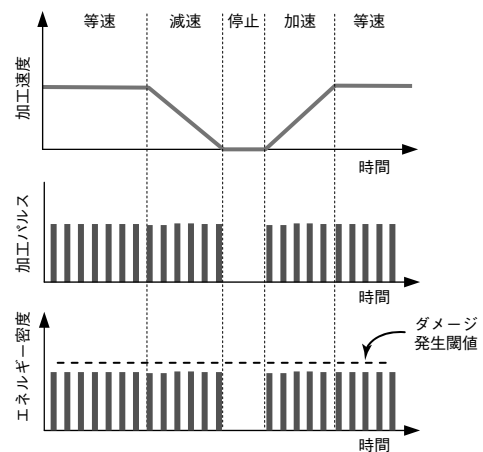


図10 加工エネルギー制御の概念図

このシステムはガルバノスキャナの手動信号を取り出し、加工エネルギー制御部に入力する。

ここでは速度状態判断部において現在のスキャナの駆動状態が加速/等速/減速/停止のいずれの状態 (図10上) にあるかを判断し、それぞれの状態に合わせて加工周波数および加工エネルギーを制御するためのパルス指令をレーザー発振器に送信する (図10中)。

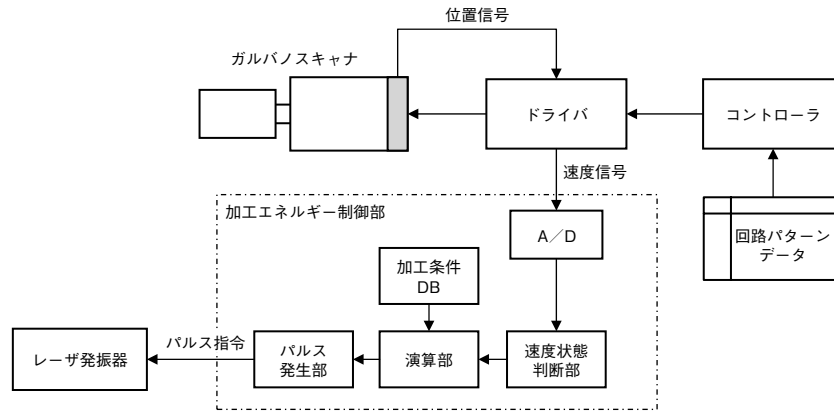
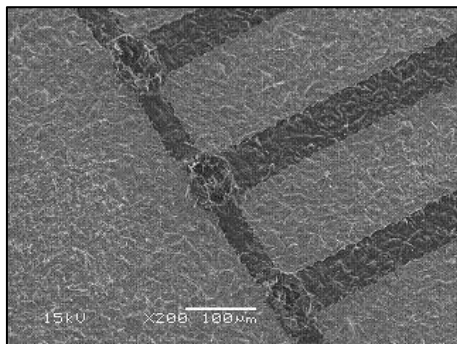


図11 加工エネルギー制御システムブロック図

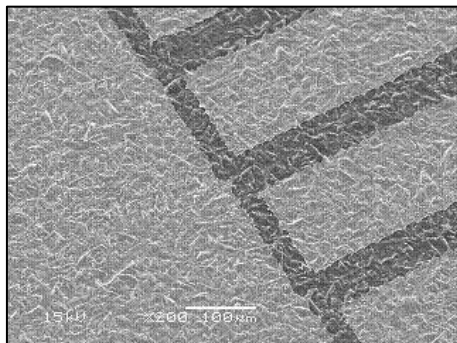
加減速領域では、等速動作時と同等のエネルギー密度になるように、レーザの加工エネルギーを制御している（図10下）。

加工エネルギー制御をした場合の結果をしない場合と比較して、図12に示す。

加工エネルギー制御をしない場合には回路パターンのコーナ部にダメージが発生している（図12(a)）が、加工エネルギー制御を行うことでこのダメージが抑制され、良好な加工を実現していることがわかる（図12(b)）。



(a) 加工エネルギー制御なし



(b) 加工エネルギー制御あり

図12 制御有無によるダメージの比較

5. あとがき

MID用の立体回路形成工程におけるレーザ加工プロセスにおいて、レーザの照射方向が異なる2台のガルバノスキャナと1台の小型で1軸の回転テーブルとを組み合わせることにより、高い加工精度を維持しながら加工時間を1/3に短縮する高速レーザ加工システムを開発した。

また、高速加工時に問題となる回路パターンのコーナ部など、加工速度を変化させる箇所が発生する基板ダメージを抑制するため、ガルバノスキャナの速度に連動させる加工エネルギー制御技術の開発により、基板へのダメージを与えない加工を実現した。

本加工システムにより、回路形成工程のリードタイムを短縮することができ、ユーザーニーズへの迅速な対応を実現した。

今後、さらに要求がきびしくなると予想される微細・高精度加工に対応するため、レーザ加工プロセスの進歩を目指して、開発を推進していく所存である。

●注

* 1) 1ショットレーザ法：1回の成形とレーザ加工によりMID基板を製造するプロセス。

*参考文献

- 1) 内野々 良幸, 小藤 康男, 白澤 満, 吉岡 伸宏, 岩野 博: 1ショットレーザ法による3次元MID加工法, 松下電工技報, No. 78, p. 34-39 (2002)
- 2) 鈴木 俊之, 中谷 卓也: MID (立体回路形成) 技術, 松下電工技報, No. 67, p. 35-38 (1999)
- 3) 武藤 正英, 内野々 良幸, 廣田 雅之, 鈴木 俊之: Laser Structuring Technology on MID, LEF2001, p. 93-101 (2001)

◆執筆者紹介



進藤 崇
生産技術研究所



高橋 博
製造システムセンター