

超高密度多層配線を実現する
高性能プリント配線板製造装置

Manufacturing Device of Printed Circuit Board for High-density Multilayer Wiring

道上 典男 山家 正俊 川村 正弘

Michigami Norio Yamaga Masatoshi Kawamura Masahiro

久世 修 中村 滋男

Kuze Osamu Nakamura Shigeo

近年、携帯電話やノートPC、電子書籍などに代表される電子関連機器の高性能化が急激に進んでいる。これら電子関連機器の高性能化には、搭載される半導体など電子部品の小型化、高性能化に加え、これら電子部品を搭載し電子回路として機能するプリント配線板回路の高密度化、多層化、小径化が不可欠となっている。

日立ビアメカニクス株式会社は、プリント配線板製造装置メーカーとして、小径層間接続穴を高速、高精度に加工するドリル穴あけ機、レーザ穴あけ機、さらに高密度配線化に不可欠な配線の高精細高精度化を実現するダイレクト露光装置を世界各地のプリント配線板業界に提供し、電子機器の高性能化に貢献している。

1. はじめに

電子関連製品の高機能化に伴ってプリント配線板の高密度化が進み、ドリル穴あけ機、レーザ穴あけ機で加工を行うプリント配線板層間導通穴加工においては、いっそうの小径化、高精度化要求が高まっている。

一方、回路形成においては、回路パターンの高精細化が一段と進み、配線間隔縮小化および導通穴とパッド合わせ精度の高精度化が必須となっている。

ここでは、プリント配線板高密度化に対応したドリルとレーザによる穴あけ加工機技術動向、およびダイレクト露光機による高精細、高精度露光技術動向について述べる。

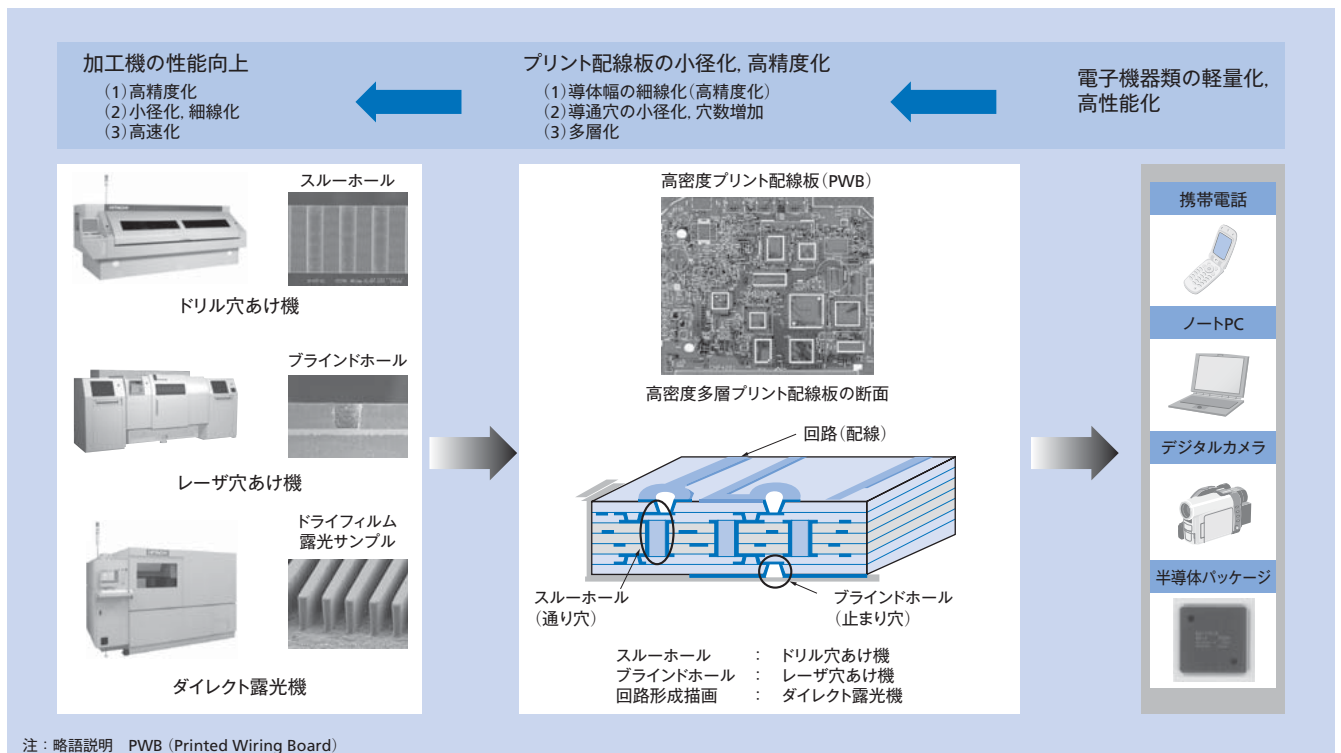


図1 | プリント配線板製造における穴あけ機、露光機的作用

多層プリント配線板回路の層間接続穴にドリル穴あけ機、レーザ穴あけ機を用い、回路形成にダイレクト露光機を用いる。

2. プリント配線板と製造装置技術動向

2.1 穴あけ機、露光機役割

プリント配線板は高密度実装の必要性から、ビルトアップ配線板が必要不可欠な技術となっており、導通穴加工は、ドリルによるTH (Through-hole:貫通穴) 加工に加え、レーザによるBH (Blind-hole:止まり穴) 加工が量産の中で重要な技術となっている。また回路形成においては、従来のマスク露光に代わり細線で直接回路を描くダイレクト露光への移行が始まっている(図1参照)。

2.2 高密度化対応技術

プリント配線板の高密度化要求に伴い、製造装置には高精度化、小径細線化に加え高速度化が求められている。これらの要求に応え、ドリル穴あけ機では超高速スピンドル(35万回転/分)、高速高精度テーブルサーボ技術、レーザ穴あけ機ではパネルおよびビームマルチ化高速高精度ガルバノ(>3,000 Hz位置決め)技術、ダイレクト露光機では小型高精度レンズ系、高速データ処理技術(1.7 Gバイト/秒)によって対応している。以下に、加工機別の技術内容の詳細について述べる(図2参照)。

3. ドリル加工技術

プリント配線板は用途に応じて片面板、両面板、多層板と分かれているが、製品の小型、高機能に伴い高密度化が進んでいるため、PCや携帯電話などを含まれた基板の穴あけ加工径は、穴径0.3 mm以下まで小径化が進んでいる。さらに近年、パッケージ分野ではFC-BGA (Flip Chip-board Grid Array)、CSP (Chip-size Package)へと形態を変え、穴あけ加工は穴径0.1 mmまで小径化が進んできている。

今後は穴径0.10 mm以下へのニーズも出てくると推定される(表1参照)。

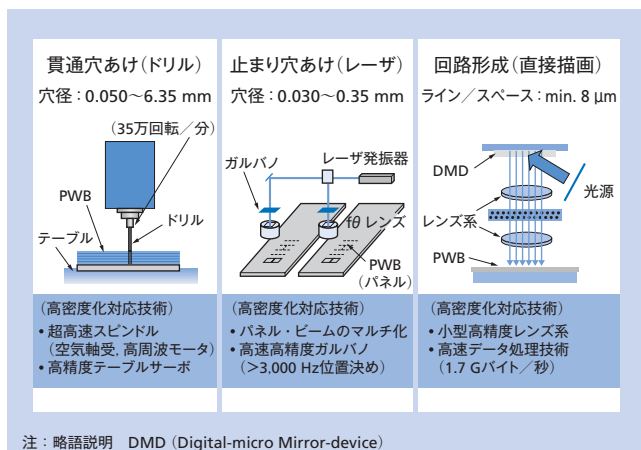


図2 | 穴あけ機、露光機の高密度化対応技術
各加工機の加工能力と高密度化対応技術の内容について示す。

表1 | プリント配線板用途別加工穴径の相対関係

プリント配線板の製品用途別加工穴径と穴位置精度数値について示す。

用途	加工穴径 (mm)	穴位置精度 (mm)
PC, ノートPC	φ0.3~φ0.4	<0.075
携帯電話	φ0.2~φ0.3	<0.050
デジタルカメラ, ゲーム	φ0.2~φ0.3	<0.050
FC-BGA	φ0.1~φ0.25	<0.035
CSP	φ0.15以下	(<0.025)

注: 略語説明 FC-BGA (Flip Chip-board Grid Array), CSP (Chip-size Package)

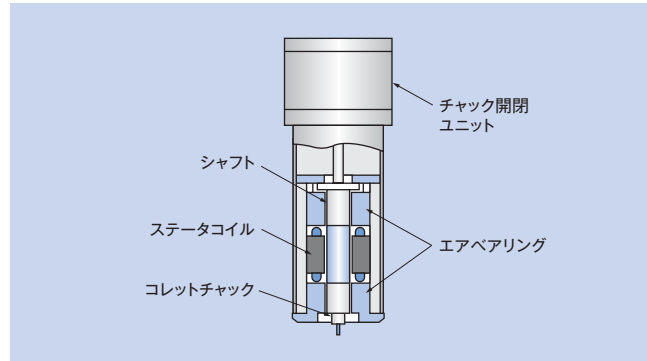


図3 | スピンドル構成図

エアベアリングを用いた高速スピンドルの内部構成を示す。

3.1 高速スピンドル

小径ドリル加工の主要素は、ドリルビットを把持して回転させるスピンドルである。小径化とともにスピンドルも高速化が図られ、現在、穴径0.10 mm加工は350 kmin⁻¹(最高回転数)の回転数で加工されている。スピンドルは高速回転に対応するため、エア軸受を採用し、回転ロータには直接ドリルビットを把持する精密コレットチャックを内蔵している。さらに把持したドリルビット先端の動的振れ精度を10 μm以下に抑えるような、安定した高速回転技術が求められる。今後は穴径0.10 mm以下の安定加工をめざし、35万回転/分を超える超高速スピンドル開発が重要課題となってくる(図3参照)。

3.2 加工穴位置精度

プリント配線板の高密度化に伴う小径化は、加工穴位置の高精度化が必要となる(表1参照)。このような高精度穴あけを実現するためには、現在の主流となっている6軸穴あけ機においては、6ステーションに基板をセットする大型テーブル(重量約500 kg)を50 ms以下で高速に位置決めするサーボ技術が要求される。最近ではこの重量物の移動による振動抑制のため、図4のようにテーブル、スピンドル部を3軸ごとに分割し、かつ左右が相対運動して互いに振動を減衰する機構を採用し、さらに精度を高める新発想の穴あけ機も提案している。この機械のZ軸には日立研究所と共同開発した毎分800 hits以上でスピンドルを上下動作させるトンネルアクチュエータ式リニアモータを採用している。実際の加工穴位置精度としては、今後考えら

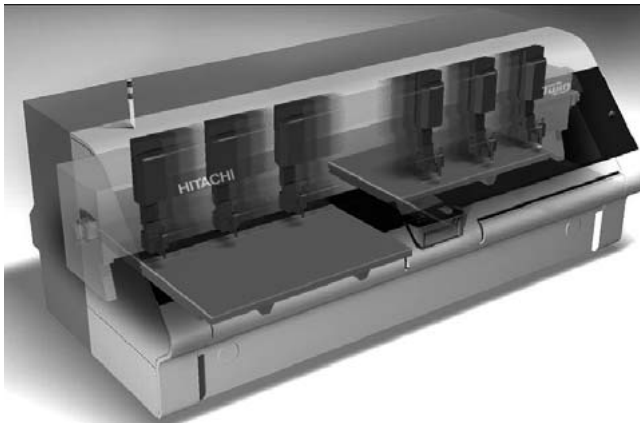


図4 | 左右相対運動による振動軽減穴あけ機
テーブルとスピンドルをそれぞれ左右相対的に移動させ、機械振動を軽減させる構造を採用した。

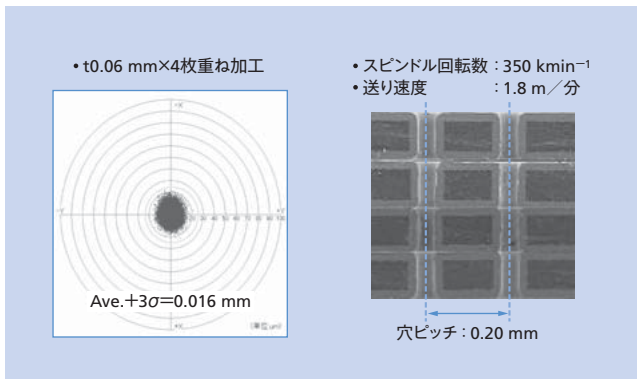


図5 | 穴径0.8 mm加工穴位置精度例
ドリル穴あけ機で加工した基板の穴位置精度と加工穴のメッキ処理後の断面を示す。

れているCSPでの穴径0.08 mm径の加工を例にとると、0.025 mm以下の高精度加工が必要となってくる(図5参照)。

3.3 高速ドリル穴あけ技術

プリント基板の高密度化は加工穴数の増加となり、携帯電話などの生産に使われる500×600(mm)サイズの基板上には約3万~5万穴の加工穴があり、CSP基板であれば、20万~30万穴と大幅に増加する。中には100万穴を超えるものもあり、ドリル穴あけの高速化が不可欠となっている。ドリル穴あけの動作は、XY軸動作による基板の位置決めとZ軸動作によるドリルの上下運動の複合によって行われる。X、Y軸移動動作は加工の穴間ピッチが小さくなっているため、高速化への効果は低く、高速化を図るにはZ軸ストロークの最小値化、Z軸の切削送りの高速化が不可欠である。ただし、Z軸の切削送り速度はドリル径、スピンドル回転数、基板材料によって決められることから、スピンドルの高回転化に依存する分が大きいため、Z軸ストロークの最小値化が必要となる。このため、集塵(じん)負圧による上板(アルミニウム)の吸い上げに伴う傷の発生を防止して、Z軸ストロークを最小値化する手段としてホバリングシステムと呼ばれる機能を開発した。

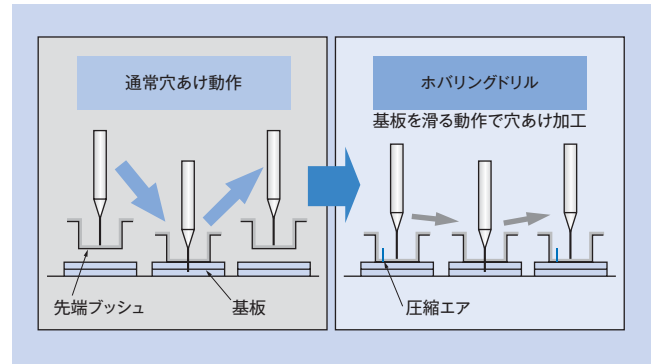


図6 | ホバリングシステム動作図
ホバリングシステムを使用した場合の動作モデルを示す。

このホバリングシステムは、先端プッシュ下面から上板に対し圧縮エアをあて、X、Y移動中に集塵による上板の吸い上げを防ぎ、上板のすり傷発生を防止する。これにより、Z軸ストロークを最小値化でき、約20%の生産性向上が見込める。

このように、ドリル穴あけにおいては、小径化、高精度化、高生産性が常に求められる(図6参照)。

4. レーザ加工技術

レーザによる配線板穴加工技術はプリント配線板高密度化に伴うビルトアップ工法のBHの加工方法として開発され、近年さらに小径穴化、高精度化の要求が強くなっている。レーザによるBH加工は製品用途別に携帯電話のマザーボードなど汎用ビルトアップ配線板、BGA (Ball Grid Array)、CSP用モジュール配線板、FC-BGA用モジュール配線板、フレキシブル配線板などに分かれるが、いずれの配線板も製品のさらなる高性能化に伴う高密度化に従い、加工穴の小径化および加工穴位置高精度化が求められている(図7参照)。

種目	現在の量産状況		工法	小径加工動向予測(2012~2014年)
	材質	穴径		
汎用ビルトアップ	RCC FR-4	75~200 μm	CO ₂ コンフォーマルレーザーウインドウCuダイレクト	穴径: 75~50 μm 工法: CO ₂ Cuダイレクト
BGA CSP SIP	BT	100 μm	CO ₂ コンフォーマルレーザーウインドウCuダイレクト	穴径: 75 μm 工法: CO ₂ 薄銅箔(はく)両面板
FC-BGA	Resin	50~60 μm	CO ₂ UV樹脂ダイレクト	穴径: 50 μm以下 工法: CO ₂ UV樹脂ダイレクト
Flex*	PI	75~200 μm	CO ₂ コンフォーマルUV Cuダイレクト	穴径: 50 μm以下 工法: UV Cuダイレクト

注: 略語説明ほか BGA (Ball Grid Array), SIP (Single In-line Package), UV (Ultra Violet)
* Flexは、Adobe Systems Incorporated Inc.の米国ならびにその他の国における商標または登録商標である。

図7 | レーザ加工によるプリント配線板動向予測
汎用ビルトアップ、BGA、CSP、SIP、FC-BGA、Flexなど各プリント配線板材質、加工穴径、レーザ工法の動向について示す。

4.1 レーザ穴あけ機の要素技術

次にプリント配線板小径加工においてレーザ加工機に必要な要素技術を示す。レーザ加工機は、レーザヘッドから発振されたレーザのエネルギー分布を加工目的に合わせて選択可能とするレンズ、加工径の調整を行うアパーチャなどから構成される光学系、およびパルスエネルギーを維持した状態で高速で多ビーム化を行うビームスイッチング、高速高精度で位置決めを行うガルバノスキャナ、ビームをスキャニングエリア内で均一に結像する $f\theta$ レンズで構成されている。個別にビームエネルギー最適化が行える独自のステップパルス制御も備えている（図8参照）。

4.2 生産性の確保と穴位置精度向上

次世代配線板では穴径の小径化による内層パッド径の小径化や、ビルトアップ層数の増加による大幅な加工穴数増加を招いている。このためレーザ穴あけ機では穴径の小径化対応、小径化した内層パッドに加工位置を合わせるための穴位置精度向上とともに穴数増加に対応した生産性の確保も求められている。

レーザ加工速度を決めるガルバノスキャナの速度は、数年前には約1,000 Hzであったが、現在標準ガルバノミラーサイズを用いる汎用ビルトアップ、BGA、CSP仕様の機械では、ガルバノ速度2,400 Hz以上、小径用に大型ガルバノミラーを用いるFC-BGA仕様の機械で1,700 Hz以上と大幅に改善され、レーザ加工機の穴あけ速度は飛躍的に向上し、さらなる速度向上を検討中である（図9参照）。

さらに、高密度化対応では、穴数増加に対し、生産性向上を図る必要があると同時に、内層パッドの小径化に伴い相反する加工穴位置精度向上を求められている。加工穴位

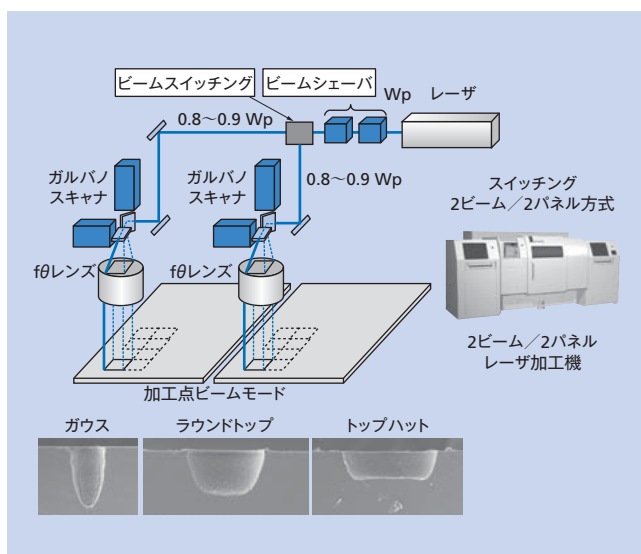


図8 | レーザ穴あけ機の要素技術
レーザ加工機に必要な光学系などの要素技術とビームモードコントロール技術について示す。

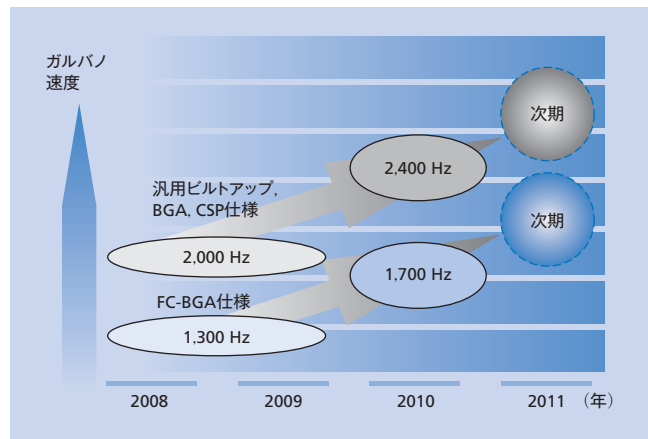


図9 | レーザ穴あけ機ガルバノ速度ロードマップ
プリント配線板高密度化に伴い加工穴数増加が急激に進んでおり、生産性向上は最優先課題である。レーザ加工速度を決めるガルバノスキャナ速度を各工法別に示す。

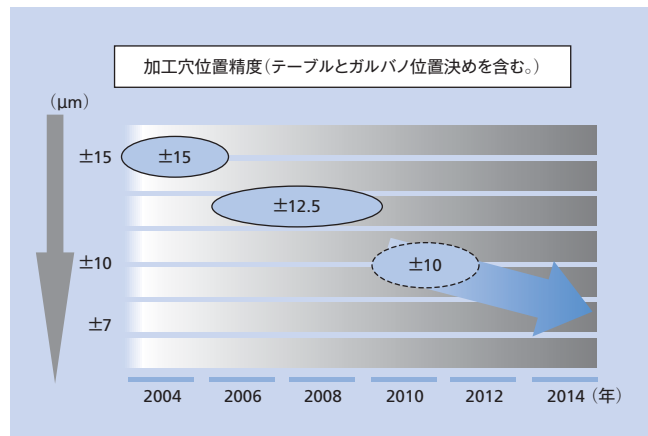


図10 | レーザ穴あけ機加工穴位置精度ロードマップ
プリント配線板の高密度化対応では、生産性向上とともに加工穴位置精度の向上が求められている。高精度要求に対応したレーザ加工機の加工穴位置精度ロードマップを示す。

置精度向上に対応するため、ガルバノサーボ静定技術、ガルバノ位置補正技術、テーブル位置決め精度向上などの改善を行って加工穴位置精度は0.010 mm以下に高精度化され、生産性と高精度化の両立を図るとともに、さらなる精度向上を検討している（図10参照）。

5. ダイレクト露光技術

回路形成工程においては、回路パターンの高密度化に伴い、パターン幅の細線化、TH、BHとパターンの合わせ精度の向上が求められる。従来のマスク露光に代わるダイレクト露光が注目されている。

ダイレクト露光は、描画データ処理系をデジタル化し、基板の伸縮・変形状態に合わせて描画データを変換することにより、合わせ精度向上が可能である。描画データ処理系の進化としては、当初（2004年）0.1 Gバイト/秒であった処理能力を現時点では1.7 Gバイト/秒と約17倍のアップを図っている。このことにより、自由変形/多分割補正が基板1枚ごとに実施可能となり、さらなる合わせ精

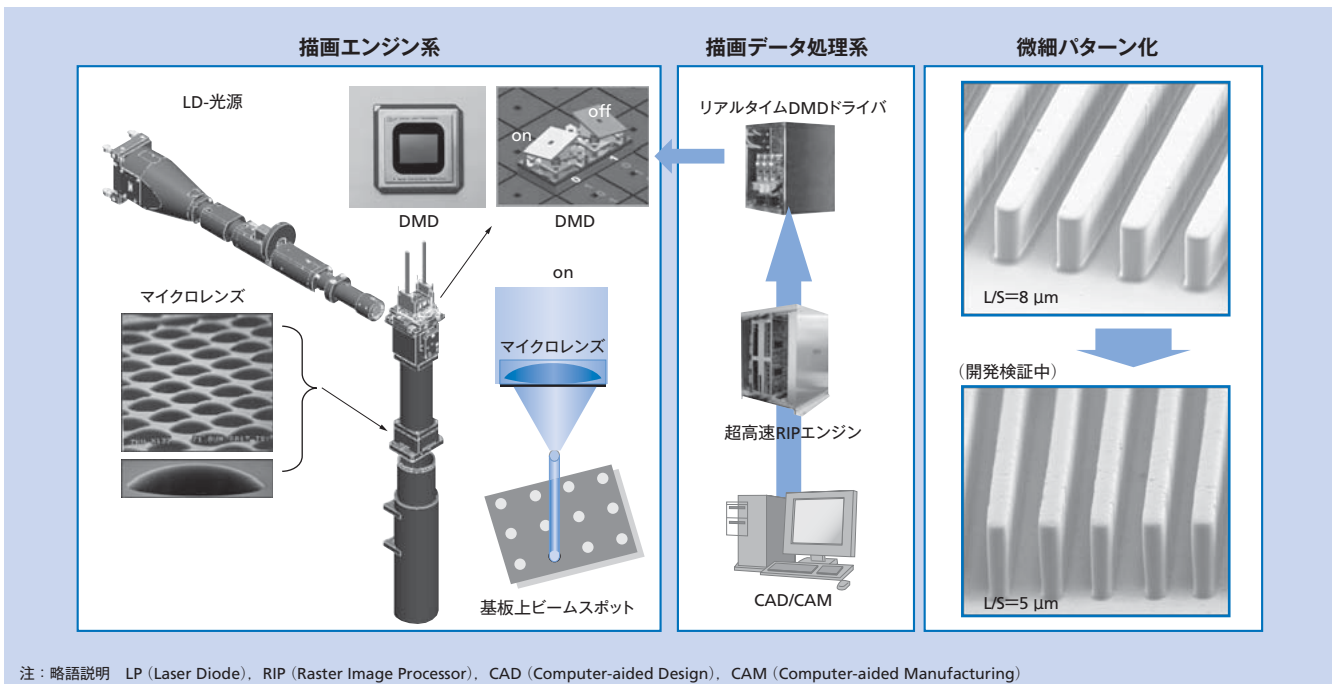


図11 | ダイレクト露光機の要素技術
 ダイレクト露光機の主要要素は、描画エンジン系〔LD光源（405 nm）、DMD、投影光学系〕と、描画データ処理系（ベクターデータを超高速にラスターデータへ変換）から成る。微細パターン化に向け、ビームスポット径の縮小化、データ分解能の微細化が進行している。現在は、穴径 $3.5\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ である。

度の向上を図ることが可能となった。パターンの細線化に対しては、描画エンジン光学系の改良により、ビームスポット径の微細化を図ることにより、 $L/S=5\ \mu\text{m}$ の達成に向け評価試験中である（**図11**参照）。

6. おわりに

ここでは、プリント配線板高密度化に対応したドリルとレーザによる穴あけ加工機技術動向、およびダイレクト露光機による高精細、高精度露光技術動向について述べた。

日立ピアメカニクスは、今後も継続するプリント配線板の高密度化、小径細線化、高多層化、構成および材料の多様化に応えるために、プリント配線板製造におけるベストソリューションパートナーとして市場ニーズにマッチした製品をタイムリーに提供していく。

参考文献

- 1) 道上：プリント基板の小径加工，第23回エレクトロニクス実装学会講演論文集（2009.3）
- 2) 久世：次世代プリント配線板用レーザ加工技術，エレクトロニクス実装学会誌（2010.8）
- 3) 入江，外：次世代パッケージ用ダイレクトイメージング技術，エレクトロニクス実装学会誌（2010.8）

執筆者紹介



道上 典男
 1980年日立精工株式会社（現 日立ピアメカニクス株式会社）入社，第一設計本部 所属
 現在，プリント配線板穴あけ機設計を統括



山家 正俊
 1978年日立精工株式会社（現 日立ピアメカニクス株式会社）入社，第二設計本部 所属
 現在，プリント配線板露光機設計を統括



川村 正弘
 1982年日立精工株式会社（現 日立ピアメカニクス株式会社）入社，第一設計本部 設計第一部 所属
 現在，プリント配線板ドリル穴あけ機設計に従事



久世 修
 1985年日立精工株式会社（現 日立ピアメカニクス株式会社）入社，第一設計本部 加工技術センタ 所属
 現在，プリント配線板穴あけ加工技術開発に従事



中村 滋男
 1985年日立製作所入社，機械研究所 第二部 所属
 現在，精密メカトロニクスの研究に従事