レーザによるプリント配線板穴明け加工技術

久 世 修^a

^a日立ビアメカニクス(株) 第一設計本部 加工技術センタ (〒 243-0488 神奈川県海老名市上今泉 2100)

Laser Drilling Technology for Printed Wiring Board

Osamu KUZE^a

^aProcess Engineering Center, Design and Engineering Div.1, Hitachi Via Mechanics, Ltd.(2100, Kami-imaizumi, Ebina-shi, Kanagawa 243-0488)

Keywords : Laser Drilling, Printed Wiring Board, Cu Direct Drilling, Surface Treatment for Cu Direct Drilling

1. はじめに

近年、携帯電話やノート PC、デジタルカメラなどに代表される電子関連製品の高機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の高密度化、多層化、導通穴の小径化、高精度化が不可欠となっている。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ともなうビルドアップ工法のブラインドホール(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。

本稿では、プリント配線板のレーザによる穴明け加工技術の現状と次世代配線板の動向、特に現在最も量産加工量の多いレーザ光の吸収を高める表面処理を用いて銅を直接レーザ加工し、導通穴を形成する Cu ダイレクト加工について紹介する。

2. レーザ加工の現状と小径化動向

プリント配線板製造においてスルーホール(TH)導通穴はドリル穴明け機、ブラインドホール(BH)導通穴は、レーザ穴明け機にてそれぞれ加工が行われている。電子機器の軽量化、高性能化にともなうプリント配線板の小径化、高精度化が進み、特に半導体などの部品の搭載される外層部ビルドアップ部における導体幅の細線化、BH 導通穴の小径化、穴数増加、多層化が急激に進んでいる(図 1)¹⁾。

次に具体的にプリント配線板種目別の工法および加工径などの加工動向予測について述べる。

2.1 汎用ビルドアップ配線板

携帯電話のマザーボードなどに用いる汎用ビルドアップ配線板では、高密度化対応と低コスト目的に工法が変化している。従来量産は表面銅箔にエッチングによりウィンドウを形成してウィンドウより大きいレーザビームを照射し加工を行うコンフォーマル法、内層パターンとの合わせ精度向上を目的に、内層基準で加工径より大きな径のウィンドウ内樹脂に

直接レーザ光を照射し加工を行うラージウィンドウ法へ移行してきたが、現在、表面銅箔に CO₂ レーザを吸収する表面処理を施し、レーザで直接銅箔を加工しウィンドウおよび加工穴形成を行う Cu ダイレクト加工法への移行が急速に進んでいる。

現状量産は各工法穴径φ75～φ200 μm で実施されているが、さらなる高密度化に対応するため次世代では Cu ダイレクト法によるφ50～φ75 μm への移行が予想されている。

2.2 BGA, CSP 用モジュール配線板

BGA, CSP 用モジュール配線板では、両面板が多数を占めることから現在もコンフォーマル法での加工が主流となっている。ただし配線の細線化の要求に対応するため、従来銅箔厚さが t9～t12 μm、樹脂厚さ約 t100 μm、穴径φ100 μm であったものが、t7 μm さらに t5 μm 以下と薄銅箔化が進むとともに、樹脂厚さ約 t60 μm、穴径がφ75 μm と小径化も進んでいる。また両面板が主流であったが高密度化にともない多層配線板も増加してきており、その工法は汎用ビルドアップ配線板と同様に表層薄銅箔に対しレーザで直接銅箔を加工する Cu ダイレクト加工法の採用が検討されている。

図1 プリント配線板製造における穴明け機の役割

2.3 FCBGA 用モジュール配線板

FCBGA 用モジュール配線板では、PC 用 CPU などの高速高機能化に対応し、現在最も高密度配線化が進んでいる。細線化に対応するため回路形成にセミアディティブ法が用いられている。現在、CO₂ および UV レーザにより樹脂に直接レーザを照射し加工穴を形成する樹脂ダイレクト加工法で量産が行われている。今後も樹脂ダイレクト加工による工法の変化はないが、穴径は現在のφ50～φ60 μm からさらなる高性能化のため小径化が進み穴径φ50 μm 以下への移行が予想されている。

2.4 フレキシブル配線板

フレキシブル配線板においては現在 CO₂ コンフォーマル法および UV レーザ Cu ダイレクト法によりφ75～φ200 μm の量産が実施されている。今後 UV レーザを用いた Cu ダイレクト加工でφ60 μm 以下への移行が予想されている(図 2, 表 1)^{2),3)}。

3. プリント配線板用レーザ加工機

図 3 にプリント配線板材料加工用レーザの波長について示す。まずプリント配線板加工用レーザ発振器としてはレーザ波長 9400 nm の CO₂ レーザが最も用いられている。これは被加工材となるエポキシ樹脂など絶縁層およびガラスのレーザ光吸収率が高く加工が促進されるのに対し、BH の穴底となる銅に対する吸収率は 1.2～3% と低くほとんど反射とな

り加工されないことから、内層銅箔で止まり BH 加工となるためである。

次にレーザ波長 355 nm の UV レーザでは絶縁層、ガラス、銅のいずれも吸収率が高くプリント配線板加工用に用いられる。銅への吸収率が高いことから CO₂ レーザとは違い銅を直接加工することも可能である。ただし、加工エネルギー、ビームモードを調整することにより、内層銅箔を加工しない状態にコントロールすることも可能で BH 加工も可能となっている。

図 4 にプリント配線板小径加工に必要なレーザ加工装置の要素技術を示す。レーザ加工機は、加工目的に合わせ加工点でのレーザビームモードをガウス分布、ラウンドトップ分布、トップハット分布選択を可能とするコリメーションレンズ、ビームシェーパー、また加工径の調整を行うアパーチャなどから構成されるビーム整形光学系、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ガルバノスキャナー、ビームをスキャンングエリア内で均一に結像する fθ レンズで構成されている。また加工ショット個別にパルス幅(最小 1 μs)をコントロールし、加工に合わせたビームエネルギーの最適化が行える独自のステップパルス制御によりオーバハングおよびガラスの溶融、突出しの抑制、壁面粗さの軽減など穴品質の確保が可能となっている⁴⁾。

図2 代表的なレーザ加工法

表1 プリント配線板の現状と小径加工動向予測

種目	現状の量産状況		小径加工動向予測(2012~14)	
	材質	穴径	工法	
汎用ビルトアップ	RCC FR-4	75 to 200 μm	CO ₂ コンフォーマル ラージウィンドウ Cuダイレクト	穴径 : 75 to 50 μm 工法 : CO ₂ Cuダイレクト
BGA CSP SIP	高周波用 レジン ガラスクロス 布基材	100 μm	CO ₂ コンフォーマル Cuダイレクト	穴径 : 75 μm 工法 : CO ₂ 薄銅箔両面板
FCBGA	FCBGA用 エポキシ 基材	50 to 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 to 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

図3 プリント配線板材料加工用レーザの波長

スイッチングビーム/2パルス方式

図4 基板穴明け用レーザ加工装置の要素技術

図5に小径穴明用レーザ加工装置の要素技術について示す。ここで、レーザの波長 λ 、 $f\theta$ レンズ入射ビーム径 ϕ_{d0} 、 $f\theta$ レンズ焦点距離 F 、モード次数 M^2 とした場合、加工点ビーム径目安径 ϕ_d は $\phi_d \approx (2.44 \lambda F / \phi_{d0}) M^2$ となる。加工点ビーム径 ϕ_d は、レーザの波長 λ および $f\theta$ レンズの焦点距離 F が短いほど小さくなり、さらに $f\theta$ レンズへの入射ビーム径 ϕ_{d0} が大きいほど小さくなる。レーザの波長についてはCO₂レーザ9400 nmに対し、UV 第3次高調波では355 nmとUVレーザの方が小径加工性には優れる状況にある。しかし、現状の量産加工における穴径は $\phi 50 \mu\text{m}$ 以上であり、図5のCuダイレクトおよび樹脂ダイレクト小径加工例に示すとおりCO₂レーザにより $\phi 50 \mu\text{m}$ の加工が対応可能なこと、さらにCO₂レーザ出力が10倍以上大きく、生産効率が高いなどの関係などから現在はCO₂レーザによる加工が主流になっている。

また、小径アパーチャでの光の回折により広がったビームをより多く(太径で) $f\theta$ レンズに導き、焦点距離の短い $f\theta$ レンズより結像することにより小径化が可能になるが、これら光学系の他、さらに小径加工に最適化した加工エネルギーおよびビームモードコントロール技術も必要となる。

4. 生産性の確保と穴位置精度の向上

次世代配線板では穴径の小径化とともに内層パッド径の小径化、ビルドアップ層数の増加とともに大幅な加工穴数増加を招いている。このためレーザ加工機では穴径の小径化対応

図5 小径穴明用レーザ加工装置の要素技術

図6 ガルバノ速度ロードマップ

とともに、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も増加するため、生産性の確保も求められている。

図6にガルバノ速度のロードマップを示す。レーザ加工速度を決めるガルバノスキャナーの速度は数年前約1,000 Hzであったが、現在標準のガルバノミラーサイズを用いる汎用ビルドアップ、BGA、CSP仕様の機械でガルバノ速度2,400 Hz以上、小径用に大型ガルバノミラーを用いるFCBGA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明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7に加工穴位置精度ロードマップを示す。次世代配線板では高密度化にともなう加工穴数増加に対しガルバノを速度向上させ生産性向上を図る必要があるが、同時に内層パッドの小径化にともな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い、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。

5. Cuダイレクト加工の動向

図8に汎用ビルドアップ基板のレーザ工法の動向について示す。前述のとおりプリント配線板の高密度化要求にともない従来工法のコンフォーマル、ラージウィンドウ加工法に変わりCO₂レーザを吸収する表面処理を施し、レーザで直接

図7 加工穴位置精度ロードマップ

図8 汎用ビルドアップ配線板レーザ加工法の動向

銅箔を加工し加工穴形成を行う Cu ダイレクト加工法への移行が急速に進んでいる。現状では汎用ビルドアップ基板の 60～70% 以上が Cu ダイレクト加工にて量産されている状況である。Cu ダイレクト加工量産化には安定してレーザー光を吸収し均一な加工へと導く表面処理が必要となる。

図 9 に Cu ダイレクト量産加工の表面処理動向について示す。現状の Cu ダイレクト加工法による量産加工では主に黒化処理および硫酸過酸化水素系の粗化処理(主に A, B の 2 社)が主に用いられている。加工される銅箔厚さはレーザー光の吸収量に優れる黒化処理が $t7 \sim t12 \mu\text{m}$ にて量産加工が実施されているのに対し、若干吸収量の少ない硫酸過酸化水素系粗化処理では $t7 \sim t9 \mu\text{m}$ と黒化処理に比べると多少薄い銅箔で量産加工が行われている。なお、メーカー A 社、B 社によるレーザー加工性については同等であり差はないと考えられる。今後は表面処理工程の自動化および内層表面処理との工程共用化などで硫酸過酸化水素系粗化処理の割合が増加することが予想される。次に具体的な加工動向について示す。

図 10 に Cu ダイレクト量産加工の小径加工動向について示す。先の加工動向予測でも述べたが、汎用ビルドアップ基板の量産は $\phi 75 \sim \phi 200 \mu\text{m}$ の穴径で実施されているが、最も生産量の多い携帯電話用のマザーボードでは $\phi 100 \sim \phi 125 \mu\text{m}$ の穴径が主流となっている。しかし、スマートフォンに代表される最近の携帯電話の高機能化にともないマザーボードの高密度化、高多層化が進行し、加工径はさらに小径化し $\phi 75 \mu\text{m}$ 前後が主流となってきた。また、次世代を見据えた

$\phi 50 \mu\text{m}$ 加工の検討も始まっている。これらスマートフォン用マザーボードにおいては穴径の小径化だけでなく、高密度配線化の対応を目的とした薄銅箔化、高多層基板の全体の基板厚さ薄板化への対応として絶縁層厚さの減少の方向に向かっている。加工条件においては高密度化、高多層化にともなう配線板 1 枚当たりの穴数の増加に対応するため、小径加工においても、従来加工径と同様あるいは 1 ショット少ない 3～4 ショットによる加工で、小径加工においても生産性を確保している。

6. スルーホール (TH) 穴あけの動向

図 11 に TH 加工法と穴径適用範囲を示す。TH 加工は 30 万回転以上の超高速スピンドルの実用化、ドリル製造技術の進歩、薄銅箔の普及により穴径 $100 \mu\text{m}$ 以上の多層板と両面板の加工では穴品質、生産性の面でドリル加工に変わる技術は見当たらないが、穴径 $100 \mu\text{m}$ 以下の範囲はレーザー加工と競合することになる。

$200 \mu\text{m}$ の狭ピッチドリル加工の穴品質、生産性、またマイグレーションは高速回転による切削負荷の低減により小径穴 $75 \sim 100 \mu\text{m}$ では解決されつつある。さらに超高速スピンドルの検討も進んでおり、穴径 $50 \sim 70 \mu\text{m}$ 加工もドリル加工で達成される見込みである。CO₂ レーザ TH 加工では、銅箔に CO₂ レーザを吸収する表面処理を施した両面板で穴径 $75 \sim 100 \mu\text{m}$ の TH 形成が可能である。しかし CO₂ レーザ TH 加工では穴入り口周辺の銅のオーバハングと付着した銅溶融物の除去が必要なこと、内壁面粗さがドリル加工に比べ増加すること、さらに基材の部位によるガラス密度の差により加工穴形状にバラツキを生じるなど、加工穴品位はドリル加工に比べ低くなる。このため CO₂ レーザによる TH 加工実用化は、後工程の構築と加工穴品位と生産性などコストを判断要素として検討が進められている。UV レーザによる加工径 $\phi 75 \sim \phi 100 \mu\text{m}$ においては、ドリルに比べても生産性が低い状態にある。したがってドリル、CO₂ レーザでは対応が困難になるため、より小径の $\phi 50 \mu\text{m}$ 以下にて検討が行われている。

7. 今後の小径化動向と対応技術

今後も電子関連製品の高機能化は益々加速し、プリント配線板に対する高密度化要求にともなう導通穴小径はさらに進むと考えられる。

量産加工時の表面処理仕様割合

図 9 Cu ダイレクト量産加工の表面処理動向

小径化における技術的なポイント

銅箔厚さ薄銅箔化	: $t7 \sim t9 \mu\text{m}$	(高密度配線化への対応)
絶縁層厚さ減少	: $t40 \sim t50 \mu\text{m}$	(高多層配線板の薄板化への対応)
加工エネルギー	: $5 \sim 8 \text{ mJ}$	(高品位加工への対応)
加工ショット数	: $3 \sim 4 \text{ Shot}$	(従来加工径と同等の生産性確保)

図 10 Cu ダイレクト量産加工の小径加工動向

材質: リジット銅張積層板, フレキシブル銅張積層板
加工法

図 11 スルーホール (TH) 加工法と穴径適用範囲

図 12 レーザ光の波長と小径加工性能の比較

図 12 にレーザ光の波長と小径加工能力比較を示す。今後の小径化動向と対応技術においては、レーザを用いた BH および TH 穴明けで $\phi 50 \mu\text{m}$ 以下のニーズに対しては CO₂ レーザから UV レーザへの移行が考えられる。さらなる小径化に対しては、さらに波長の短いエキシマレーザおよび第四次高調波 UV レーザも視野に入れた検討が必要になる。さらに高

密度化に対応した加工穴位置精度向上技術については、テーブル精度向上に加えガルバノ補正精度向上、アライメント読取り精度向上など補正技術の構築が必要となると考える。プリント配線板材料においては、高密度化にともなうファインピッチに対応したさらなる薄銅箔化への対応に加え、樹脂材料では熱膨張対応したフィラ充填率の増加にともなう難加工化への対応、さらに小径化にともなう高アスペクト化に対する対応など相反する内容を満足する加工法の検討が必要になると考える。

(Received May 31, 2011)

文 献

- 1) 道上典男, 山家正俊, 川村正弘, 久世 修, 中村滋男; 超高密度多層配線板を実現する高性能プリント配線板製造装置, 日立評論, p.43 (2011).
- 2) 久世 修, 道上典男; 第24回エレクトロニクス実装学会講演大会, p.384 (2010).
- 3) 久世 修; エレクトロニクス実装学会誌, 13, 405 (2010).
- 4) 北 泰彦, 久世 修, 道上典男, 荒井邦夫; 第23回エレクトロニクス実装学会講演大会, p.245 (2009).