UVレーザによるPCB製造工程の改善

ジム・ボバチェク、アシュビニー・タムハンカー、ラジェッシュ・パテル

急成長を続けるハイテクコンシューマ製品の市場を後押しするには、より高密度で、より小形なフィーチャに向かうPCB設計が不可欠であり、言い換えれば、高度UV DPSSレーザシステムに適合する新しいレーザ加工能力が必要になる。

プリント基板（PCB）の設計は、各種デバイス、特にスマートフォン、タブレット、GPSデバイスなどのコンシューマエレクトロニクスの性能向上と小型化に向けた取り組みによって、その電気的な性能限界を押し広げている。集積回路（IC）製造が絶え間なく進歩することに伴い、デバイスインタフェースに必要とされる接続の数と密度は増加を続けている。

この動向は、言い換えれば、小口径のマイクロビアや高密度相互接続（HDI）パターンなどのPCBフィーチャのさらなる小形化および高密度化の必要性を高める。さらに、マルチチップ・モジュール（MCM）からボールグリッドアレイ（BGA）やチップスケールパッケージ（CSP）までの実装の進歩はウエハレベル処理にいたる寸法のギャップを徐々に狭めている。

これらの設計の材料加工要件を満たすものとして、紫外（UV）レーザはいっそう多くの用途を見出すだろう。UVレーザによる高エネルギー光子は、各種材料によって吸収され、それらをクリーンにアブレーションする。そして、その短い波長は強い集光を可能にするので、微細なフィーチャと高強度マシニングに有利である。

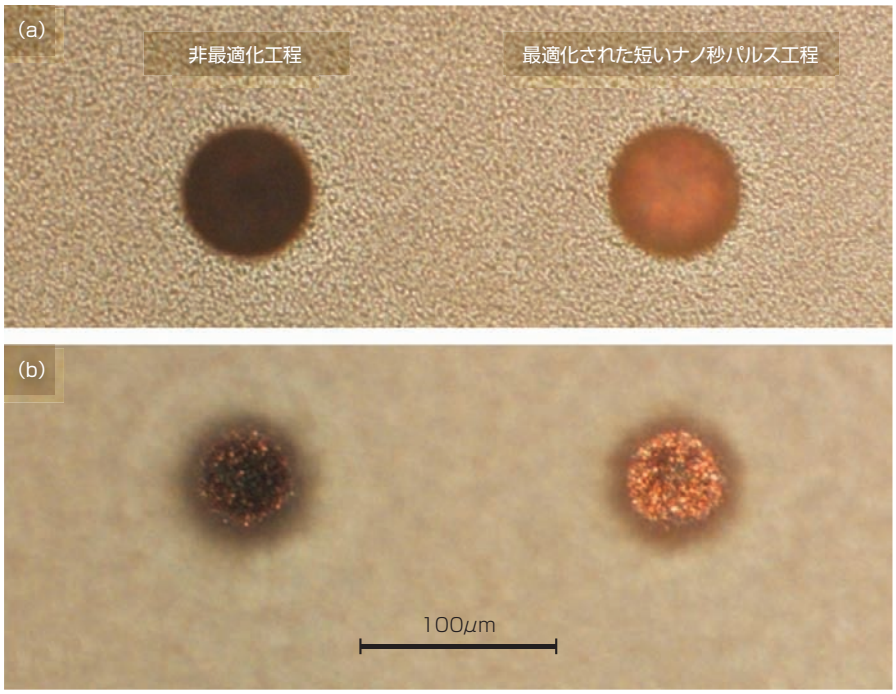

図1　GXシリーズビルドアップフィルムにおける直径60μmのPCBブラインドビアのABF表面ビュー（a）と銅基板ビュー（b）。短いナノ秒パルスを使った最適化プロセスはメッキに適した銅表面を残した。

レーザビア穴あけ

ビア穴あけはPCB製造におけるレーザのゲートウェイ応用である。1980年代後半[1]から1990年代[2]を通して実施された、PCB材料内の所定の距離で終端する、いわゆる「ブラインドビア」ホールを迅速に加工するレーザの能力はPCB製造にとって貴重なものであった。それは、積層ビルドアップ工程の進歩と相まって、常に縮小を続ける半導体デバイス製造ノードに追いつくために必要な多層PCBアーキテクチャを可能にした。

高密度実装用途向け小口径ブラインドビアの需要の増加が、急成長するレーザ市場を生み出した。最も厚いPCB内のスルービアは機械的に穴あけされることが多いが、大口径ブラインドビアにはCO_2レーザが使用され、最先端のPCBアーキテクチャに見られる最も小さい直径のマイクロビアはUV（355 nm）波長領域のナノ秒パルスQスイッチダイオードポンプ固体（DPSS）レーザで加工される。

典型的なブラインドビア穴あけ用途は、下地の銅層を露出させるための数10ミクロンのビルドアップ樹脂（例えばABFまたは味の素のビルドアップフィ

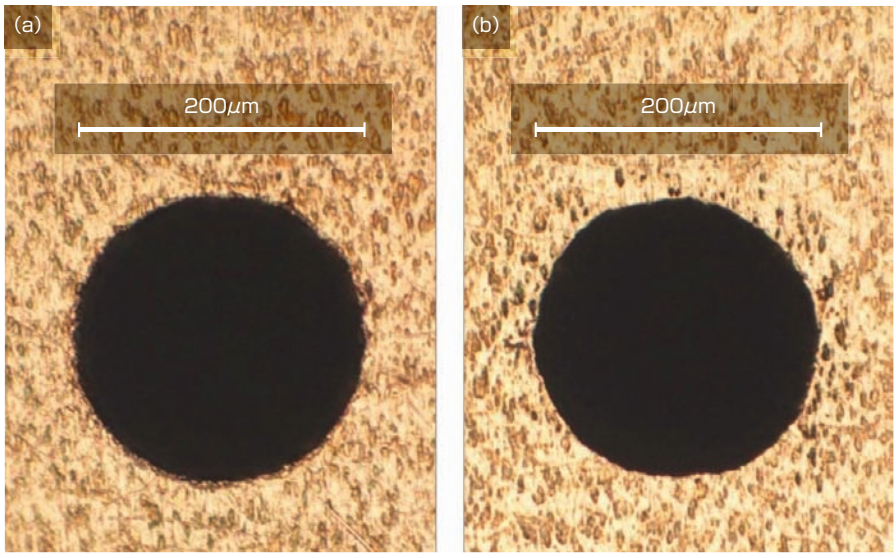

図2　厚さ2.3mm銅クラッドFR4ボードに高いアスペクト比でレーザ穴あけされた200μm径ビアの入口(a)と出口(b)表面;穴あけ速度は毎秒10ビアよりも大きい。

ルム)の除去を含む。約50～60μm以下のビアでは、CO_2レーザの長い(約10μm)波長は強く集光するその能力に関連する大きな課題があり、比較的大きな溶融再キャストが現在のさらなる課題となっている。一方、短いナノ秒のQスイッチング355nmパルスで起きるクリーンなアブレーションは、結果として高品質な溶融のないマイクロビアを形成する(**図1**)。

マイクロビアはサイズが小さく、355nm波長を強く吸収するため、このアプリケーションはさほど高いパルスエネルギーを必要としない。数10マイクロジュールもあれば十分である。しかし図1に示されているように、非最適工程は、その後のメッキに適さない銅表面が残り、劣悪な結果をもたらす。最高品質の達成には、短いナノ秒レーザパルスとトップハットビーム成形[3]が使われる。そうすれば露出した銅表面の最小の損傷／酸化と最小の側壁テーパが得られる。これらはいずれも続く銅メッキ層の良好な接着強さを確保する上で不可欠である。

図1に示された、高品質マイクロビアはSpectra-Physics Hippo 355-5レーザシステム[50kHzのパルス繰返し周波数(PRF)で5Wのパワー]を使って形成された。このレーザでも毎秒約500ホールの高いスループットを達成できるが、さらに高度のビア穴あけツールは、今日入手可能なSpectra-Physics Pulseo355nm、20Wレーザなどのさらに高出力のUVレーザの長所を利用して、ビア直径と樹脂厚さに依存して、毎秒2000ホールないしそれ以上のスループットを達成する。

ブラインドマイクロビアの穴あけは355nmのQスイッチDPSSレーザの主要なビア穴あけ用途であるが、最新世代のより強力なUVレーザはより厚く堅いPCB中のより大口径のビアの形成に有望である。これらの材料には、エポキシ樹脂と組み合わされたガラスファイバーも含まれるので、高いパルスエネルギーと短いパルス幅は有用である。例えば最近、Pulseo355-20 UVレーザが2.3mm厚の銅クラッドFR4材料に対する200μm直径のビア穴あけに使われた(**図2**)。

図2におけるフィーチャは毎秒10ビ

ア以上の速度で加工された。これは顧客要求よりも2.5倍速い。達成された高いアスペクト比も注目に値する。2.3mm以上の厚さにおいて、出口対入口の穴径差が5μmちょうどで、側壁角が89.93°以上の、ほぼ完全な円筒形ビアが形成された。

高スループットで大口径、低テーパの穴を実現するために、マルチスキャン穴あけルーチンが2軸検流計スキャナシステムと短焦点距離の$f\theta$レンズを使って実施された。さらに、精密な焦点位置制御にはニューポートIMS Vシリーズの高耐荷重リニアステージが使われ、これによって切削工程中の位置決めが調整された。

HDIのレーザ直接パターニング

UV DPSSを使ったマイクロビア穴あけは、より小形、より高密度の配線パターンに向かうPCB製造を支援してきた。この目標をさらに高めるために、UVレーザの精密マシニング能力が配線パターニングそのものにも利用されるようになった。現在の技術はレーザダイレクトイメージング（LDI）[4]を含み、そこでは比較的低出力、低パルスエネルギーのレーザが後続する化学エッチング用のレジスト材料上に配線パターンを露光する。

今や、次世代HDI 製造における、このレーザ直接パターニングに対して最高パワーのUVレーザを適用する試みが次第に増えている[5]。LDP[レーザ直接アブレーション（LDA）とも称される]においては、補足的なエッチング工程はまったく必要でない。代わりに、より高強度のレーザパルスを使って、その後の銅堆積に適した深さと幅の溝を樹脂中に実際にアブレーションする。LDP処理は20μm以下の配線ストリートの幅と間隔を容易に形成できる（**図3**）。将来は大幅に縮小されるであろう。

図3に示されている特徴は、強く集光されたガウスビームの走査によって1秒あたり数メートルの処理速度で直接アブレーションされた。このアプローチでは、Pulseo355ターボレーザシステムなどの高PRFで高出力パワーを持つレーザが優れたソリューションであり、これは250～500kHz台のPRFで高い出力とパルスエネルギー安定性を供給する。

ビームデリバリシステム構成を使って、並列スプリットビーム処理などの潜在的可能性を考察することによって、20Wの出力パワーで20μm寸法のLDPフィーチャを5m/s以上の速度で処理することが可能になる。将来のより小さいフィーチャサイズに対しては、より強く集束されたビームが使えるので、かなり速い速度が可能であり、それゆえ、同一エネルギー密度を達成するために要するエネルギーがかなり少なくてすむ。

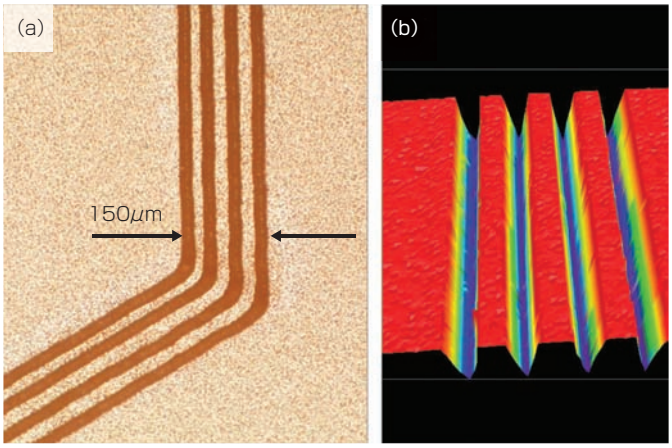

図3 （a）光学顕微鏡法と（b）3D光学形状測定によって分析された、樹脂中にレーザ直接パターニングされた幅、深度、ピッチが20μm寸法の溝の例。

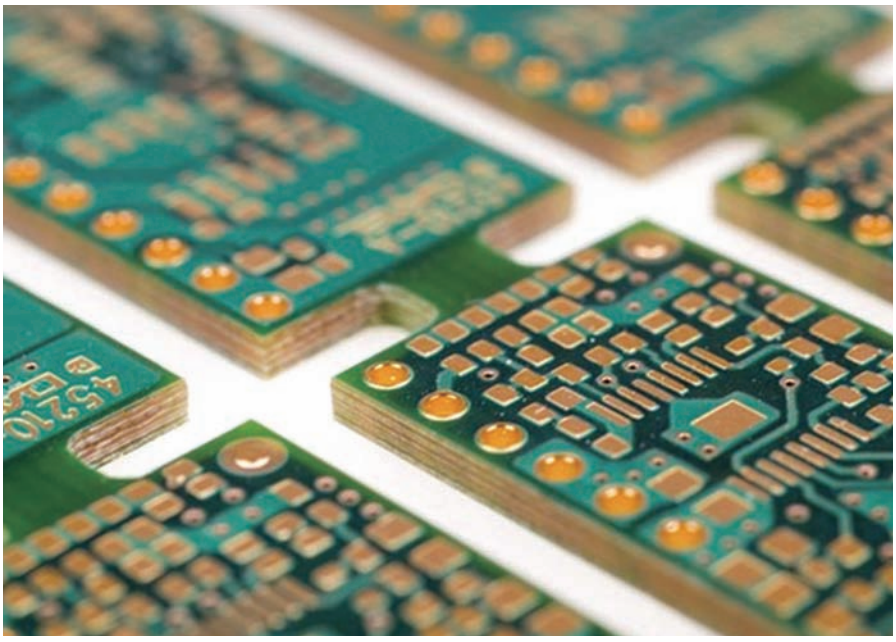

図4 個々のボードが互いにリンクされたPCBパネルが、レーザデパネリング工程に向けて準備されている。

PCB デパネリング

紫外レーザはバックエンドPCB処理にも使われる。特に、完成デバイスのPCBパネルからのシンギュレーション、いわゆるデパネリングタスクは徐々に拡大している応用空間である。従来法では、メカニカルなルーティングビットを使った。しかしメーカーは、デパネリングスループットを高めて、消耗品のコストを削減する予定である(**図4**)。

CO_2レーザはいくつかのデパネリングジョブに適しているが、その切断面上にかなりの量のチャーリングや炭化を残すことが多い。多くの用途にとって、これは受け入れ難い。例えば性能の観点で言えば、炭素生成物は導電性で吸湿性であるため、デバイス故障を引き起こしかねないという問題が発生する。さらに、炭素化合物は芳香性が強いため、携帯電話やハンズ・フリーのブルートゥースヘッドホンなどのユーザーが顔面近くで使用する製品には適さない。

最近、緑色(532nm)波長のQスイッチDPSSレーザは、薄くて硬いPCBのデパネリングなど、各種PCB工程において優れた能力を実証した[6]。しかし、より厚いPCBで最高品質の結果を得る目的で、ツールサプライヤーは355nm Qスイッチ DPSSレーザに注目している。現在これらのレーザはPCB大量製造の要求に合わせたパワーレベル、信頼性、価格で供給されている。さらに、慎重にプロセスを最適化すれば、これらのレーザの使用によって炭素副生成物の形成を最小化または完全に回避することができる(**図5**)。

図5のデパネリング例は、過酷な温度と湿度の極限環境でも機能しなければならない自動車用途の場合である。このPCBデバイスボードはPulseo355-20レーザシステムを使ってデパネリングされた。このレーザの短いナノ秒パルス幅と可変パルス周波数は材料へのコントロールされた熱入力を可能にする。多くのアプリケーションと同様に、スループットと品質の間にトレードオフが存在する。最高スループットを目標とする連続高速走査は数秒の間にリンクを通してカットするだろうが、かなりの炭化が起きる(図5a)。

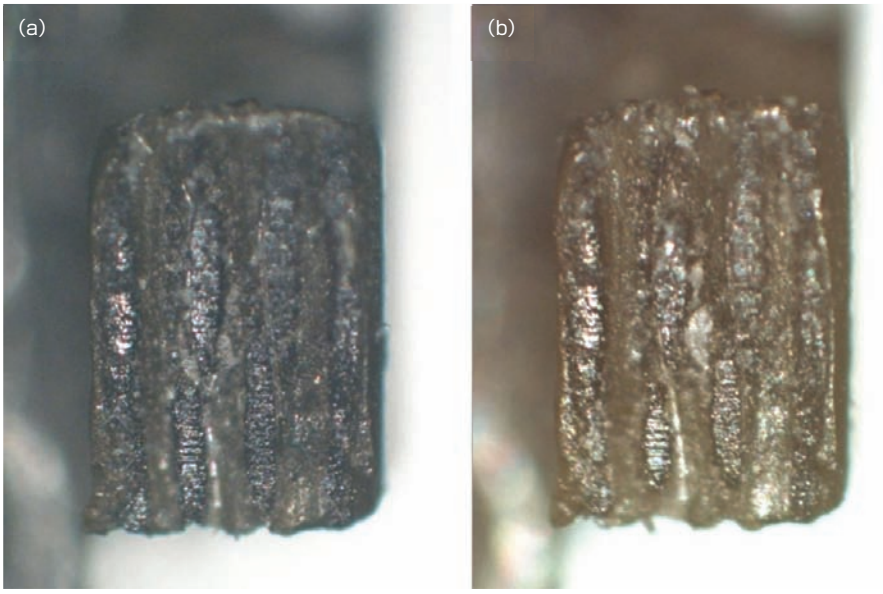

図5 不適切な加工は厳しい炭化を引き起こした(a)。一方、最高品質に向けたプロセス最適化によって、はるかにクリーンなカットが達成された(b)。

他方、最高品質のカットが必要であるならば、この工程は冷却遅延の導入によって減速される。そうするとスループットは低下するが、炭化はまったく起きない(図5b)。355nm波長の短いナノ秒パルス幅を使って、エンドユーザーは特定のアプリケーション要求に応じた、スループット対品質スペクトル上の望ましい点が選択されるように、この工程を調整することができる。

参考文献

(1) D. Korf, "Laser Drilled Blind Vias Increase PCB Real Estate," Electronic Packaging and Production, 56-57(1987).
(2) L. Burgess, "Multi-depth Blind Vias in Surface Mount Pads for BGA, μBGA, QFP and CSP," IPC National Conference: Solutions for Ultra High Density PWBs(1996).
(3) "High-performance Printed Circuit Board Production Equipment for Ultra-high Density Multi-layer Wiring," Hitachi Review, 60, 5, 216-221(2011); http://bit.ly/V2m2wJ.
(4) S. Corbett et al., "A High-Density, Resin-Coated-Foil(RCF)Substrate Utilizing Mask and Direct-Write UC Laser Photolithography," International Conference and Exhibition on High Density Interconnect and Systems Packaging(2001).
(5) D. Meier et al., "LDP for Low Cost Flex," Printed Circuit Design & Manufacture, 22, 10, 36(2005).
(6) A. Tamhankar and R. Patel, "New Generation Q-Switched DPSS Nanosecond Green Laser for Efficient Micromachining Applications," Proc. ICALEO 2012, M1306(2012).

確認

Pulseoはスペクトラ・フィジックス、ニューポートコーポレーションの登録商標。

著者紹介

ジム・ボバチェク(Jim Bovatsek)は米スペクトラ・フィジックス社(Spectra-Physics)応用研究所のマネージャ、アシュビニー・タムハンカー(Ashwini Tamhankar)は戦略マーケティングディレクタ、ラジェッシュ・パテル(Rajesh Patel)はシニアアプリケーションエンジニアである。

e-mail: jim.bovatsek@newport.com、raj.patel@newport.com、ashwini.tamhankar@newport.com; www.newport.com/spectraphysics.

LFWJ