

ビア穴あけとウエハ剥離に メリットをもたらすCOレーザー

ピーター・ローゼンタール、ディルク・ミュラー、ジョージ・オーランドセン

COレーザーは、マイクロエレクトロニクス製造の未来の用途において重要な役割を果たす

一酸化炭素 (CO) レーザは、広く利用されている二酸化炭素 (CO₂) レーザとほぼ同じくらい昔から知られているが、産業分野で大きな関心を集めるようになったのは、つい最近のことである。本稿では、COレーザーがマイクロエレクトロニクス製造、特にPCB材料における40 μm 以下のマイクロビアの穴あけと、シリコン剥離 (デボンディング) という成長中の分野において、重要な役割を果たす可能性について説明する。

COレーザーの背景

5~6 μm のスペクトル範囲で照射するCOレーザーには、CO₂レーザーの遠赤外出力 (10.6 μm) と比べた場合に、一部の用途に対して2つの重要なメリットがある。多くの金属、薄膜、ポリマー、PCB誘電体、セラミック、複合材料は、短い波長に対して全く異なる吸収特性を示す。波長が短いほど材料の吸収率が高くなる場合は、低いレーザー出力でより効率的に加工が可能になり、熱影響部 (Heat Affected Zone : HAZ) も小さくなる。一方、波長が短いほど透過率が高くなる場合は、材料のより奥深くまで光が浸透するため、それもまたメリットとなる可能性がある。

短い波長のもう1つのメリットは、波長に比例して大きくなる回折が抑えられ、より小さなスポット径に集光で

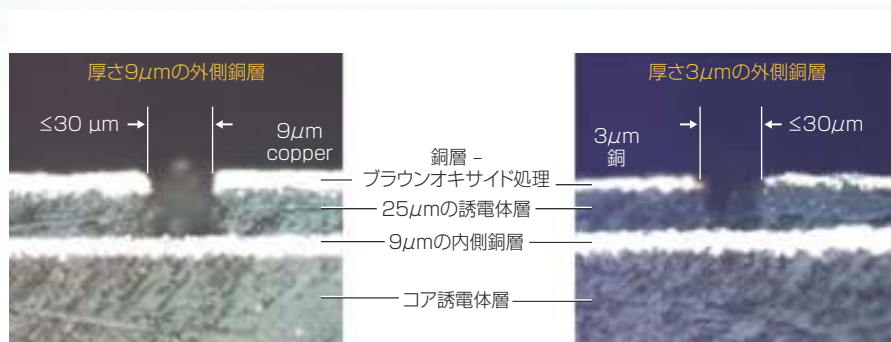


図1 COレーザーによってFR4に穴あけられたビアの断面図。厚さ9 μm の銅層に対しては、ピーク出力が1kW、FWHM (半値全幅) が3 μs のパルス1個に続いて、ピーク出力が550W、FWHMが0.5 μs のパルス4個を照射した。厚さ3 μm の銅層に対しては、ピーク出力が950kW、FWHMが2 μs のパルス1個に続いて、ピーク出力が400W、FWHMが0.4 μs のパルス2個を照射した。

きることである。例えば、標準的な構成で、産業用CO₂レーザーの実用的な最小スポット径は70~80 μm であるのに対し、COレーザーは30~40 μm の範囲のスポット径を実質的に達成可能である。これは、一定の出力に対して、COレーザーの照射スポットのエネルギー密度 (フルエンス) がCO₂レーザーの4倍であることを意味する。5 μm の波長における吸収率が高いという一部の材料の性質と組み合わせると、それらの材料はCOレーザーによってかなり低い出力で加工できるということになる。

ただし、そうしたメリットにもかかわらず、2つの主要な動作上の問題によって、COレーザー技術の広範な商用化は妨げられてきた。1つめは、初期のCOレーザーは、極低温でしか高い動作効率を発揮できなかったこと、2つ

めは、シールドデバイスは急速に出力が減衰するという問題があったことである。米コヒレント社 (Coherent) のエンジニアらは2015年にこの問題を解決し、同社は、室温で効率的に動作し、CO₂レーザーに匹敵する動作寿命を達成する、一連の産業用シールドCOレーザーを発表した。

COレーザーの最も有望な初期の応用分野は、ガラスのスクライブ (切断) 加工と、ガラスのフィラメント切断 (「SmartCleave」など) の後に行われる場合があるガラス分離である。COレーザーは、セラミックのスクライブ、切断、穴あけで有効性が既に実証されている。

PCBの穴あけ

ビア穴あけは、COレーザーが現時点

で顕著なメリットを発揮する、重要なレーザ応用分野である。ビアとは、電子プリント回路基板(Printed Circuit Board: PCB)にあけられる小さな穴のことで、(ビアを金属でめっきすることにより)層間の電気接続に用いられる。集積回路そのものと同様に、PCB上の回路についても密度の増加が絶えず求められる状況にあり、それによってさらに小さなビアに対するニーズが高まっている。

従来は、機械的な穴あけ加工によってビアが生成され、回路密度の低いPCBでは今でもこの方法が広く採用されている。しかし、1990年代半ばにCO₂レーザによるビア穴あけシステムが登場し、機械的な穴あけシステムでは難しい100 μ m以下のビア径を持つPCBの量産が可能になった。CO₂レーザを採用するビア穴あけシステムは現在、50～100 μ mのビア径の生成に一般的に利用されている。

現在では、ますます高いパッケージ密度を達成するために、20～40 μ mのビア径が求められるようになっていく。上述のとおり、COレーザはより小さなスポットに集光可能であるとともに、出力が比較的高いことから、この用途に対する有効な選択肢である。

コヒレント社は、この用途に対するCOレーザの実行可能性と実用性を調査するために、ビアの穴あけ試験を行っている。図1は、PCB材料として一般的に用いられるFR4に対する最新のビア穴あけ結果の断面図である。FR4誘電体層は、厚さ25 μ mのガラス繊維/エポキシ複合材料と直径4 μ mの繊維で構成されている。外側の銅層には、レーザの吸収率を高めるためのブラウンオキシサイドの表面処理が施されており、それによって銅層に穴をあけるのに必要な出力が低減されている。これ

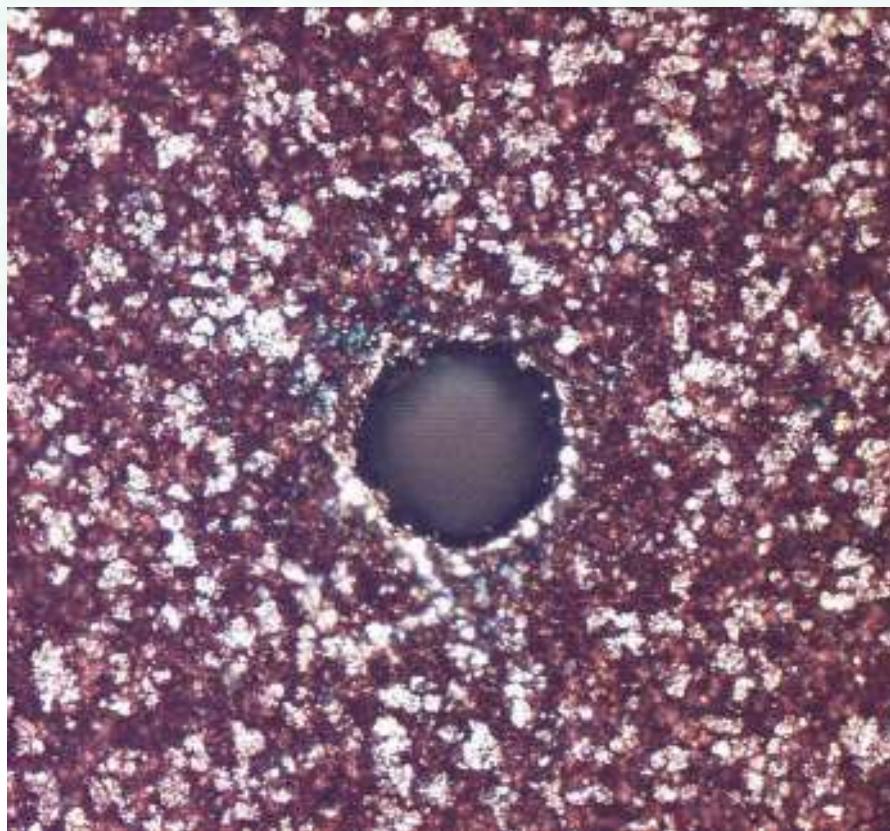


図2 COレーザによってPCB材料にあけられたクリーンな40 μ mのビア。

は、CO₂レーザによるビア穴あけシステムで用いられる標準的な表面処理である。外側の銅層が9 μ mと3 μ mのサンプル材料に対して、レーザによる穴あけを行った。ビアの穴あけに用いられた詳しいパルス特性については、図のキャプションを参照してほしい。図に示されているように、どちらの材料においても直径30 μ m以下のクリーンなビアを、内側の銅層に損傷を与えずに、最小限のテーパであることができた。

図2は、40 μ mのビアを上から見た様子で、壁面が非常にクリーンで、底の銅層も基本的に残留ガラスがなくクリーンであることがわかる。COレーザの5 μ mの波長により、最小で25 μ mのビア径が達成可能である。本稿の結果は、加工面におけるピーク出力が約1kWのCOレーザによって得られたものである。よ

り高出力のCOレーザによる試験を既に実施中で、さらに高い穴あけ速度と優れたプロセス制御が達成される見込みとなっている。これにより、上部の銅層の厚さが異なるものなど、幅広い材料に対して、非常に高い均一性を持つビアを生成することができる。

シリコンウエハの剥離

従来のPCBよりも高い回路密度を達成するための次なる方策は、いわゆる「先進的パッケージング」技術を採用し、複数の集積回路を1つのパッケージにカプセル化して、ロジック、メモリ、センサ機能を含む機能ユニットを形成することである。

ますます薄化が進むパッケージに半導体素子を実装するには、100 μ m未満の厚さにまで薄膜化された部品を扱う必要がある。薄膜素子の処理や転写

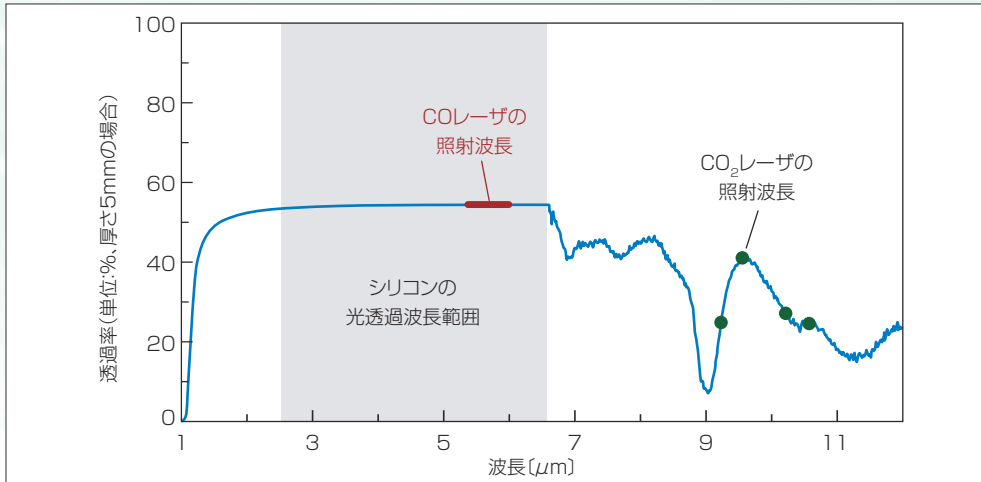


図3 厚さ5mmのシリコンの透過波長帯が示されている。青線は、商用COレーザーの標準的な照射スペクトルで、緑色のドットは、商用CO₂レーザーの波長を示している。(シリコン透過データ提供：米ソーラボ社[Thorlabs、URL: www.thorlabs.com])

で高い歩留まりを達成するために、通常はそれよりも厚みのある基板に一時的に接合することが行われる。

ガラスとシリコンの両方が、この一時的な処理に用いられている。ガラス担体は業界で広く採用されており、技術的にもかなり成熟しているが、パッケージングの処理と材料に対する要件がますます厳しくなる中、一時的な担体としてのシリコンには、相変わらず高い関心が寄せられている。具体的には、シリコンの物理特性(熱伝導率が高い、熱膨張の整合性が高い、反り量が小さい、既存の半導体装置と広く互換性がある)が、加工技術に対して好都合であることから、一時的なウエハ処理にシリコンを利用しようとする取り組みが促進されている。

一時的なウエハ接合に対するシリコンの広い採用を妨げている1つの大きな問題は、実用的で費用対効果の高い光学的な剥離技術が存在しないことである。サーマルスライディングや機械的な剥離方法には、熱負荷や機械的応力による制約が伴うため、光学剥離に比べると魅力ある選択肢ではない⁽¹⁾。

残念ながら、シリコンは、商用のガラス剥離装置に採用されているUVレーザー波長を透過しないため、シリコン

の透過波長範囲に対応するレーザーベースの剥離技術は、現時点では商用提供されていない。非金属材料加工に対する業界の主力手段であるCO₂レーザーも、その波長範囲からは外れている。しかし、室温でのレーザーベースのウエハ剥離技術は、魅力的な概念で、一時的な担体としてのシリコンウエハの普及につながる、重要で実用的な実現技術となる可能性がある。

図3は、標準的な厚さの基板において、シリコンがCOレーザーの出力波長を透過するが、CO₂レーザーの波長はシリコンの透過波長範囲から外れていることを示している。また、COレーザーは現在、さまざまな構成と出力範囲で提供されており、ナノ秒パルスから連続波にいたるまでの出力形式と、最大400Wの出力レベルでの処理に対応できる。そのため、

多様な剥離層や接着剤組成の処理に適しており、スピコート法と気相蒸着法のどちらで形成された材料にも適用できる。ツール統合の観点からは、インタフェースの面で、より成熟したCO₂レーザー技術とかなりの共通性があるため、製造対応の剥離処理を実現するまでの開発工程に潜むリスクは、比較的低いと考えられる。

結論

COレーザーの中赤外出力は、産業用ツールとしてこれまではほぼ得られなかった波長範囲に相当する。この技術の潜在的用途の開拓と開発は、今まさに進められている段階にある。多様なガラスやセラミックの加工に加えて、ビア穴あけとウエハ剥離は、莫大な可能性を秘めた2つの応用分野である。

参考文献

- (1) B. Dang et al., "Feasibility study of Si handler debonding by laser release," 2016 IEEE 66th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 1671-1677 (2016); doi:10.1109/ectc.2016.288.
- (2) C. Shi, M. Ermold, G. Oulundsen, and L. Newman, "CO₂ and CO laser comparison of glass and ceramic processing," Proc. SPIE, 10911, 109110M (Feb. 27, 2019).

著者紹介

ピーター・ローゼンタール (PETER ROSENTHAL, peter.rosenthal@coherent.com)は、米コヒーレント社の技術開発マネージャー、ディルク・ミュラー (DIRK MÜLLER, dirk.mueller@coherent.com)は、同社マーケティング担当ディレクター、ジョージ・オーランドセン (GEORGE OULUNDSEN, george.oulundsen@coherent.com)は、同社製品マーケティング担当ディレクター。URL: www.coherent.com