

薄型システムインパッケージ(SiP)および厚いPCB切断に優れた最新のナノ秒グリーンレーザー

プリント回路基板（PCB）の製造にはさまざまな加工処理が必要で、その多くが現在、レーザーを使用して行われています。加工寸法の微細化と複雑さの増加を主な要因として、レーザー技術への移行が促進されており、それは究極的に、電子デバイスの高性能化、小型化、省電力化を可能にします。ビアドリリングなどの加工は、機械による穴あけからCO₂レーザー、そしてより最近では、必要径のさらなる縮小に伴って、UVナノ秒パルスレーザーへと進化を遂げています。デバイスやモジュールも、高度なパッケージ手法によって、ますます小型化が進んでいます。開発者は、半導体ノードとPCBのサイズの間、ナノメートル単位から、極端な場合はミリメートル単位もの大きな隔たりがあることに着目して、それらの相互接続のための高度なパッケージ手法の開発に、力を入れて取り組んでいる状態にあります。そのようなパッケージ手法のひとつが、システムインパッケージ（SiP）です。SiPは、最終的なパッケージングとシングュレーション（個片化）の前に、個々の集積回路（IC）デバイスを、金属線による相互接続が埋め込まれた1枚のPCB上に実装するという手法です。高密度のチップ接続をPCB上に分配するために、通常はインターポーザ層が実装されます。エポキシ樹脂成形材料（EMC）で封止するなどの方法が一般的に採用される、最終的なパッケージングは、モジュールがまだ1枚の大きなパネルの上に並んでいる状態で行われます。その後、レーザー切断加工によって、個片化が行われます。

SiPの個片化に理想的なレーザーは、具体的な要件によって異なり、スループット、品質、コストの適正なバランスを実現する必要があります。非常に繊細なコンポーネントが含まれている場合は、熱影響部（HAZ）を本質的に低減する、超短パルス（USP）レーザーやUV波長が必要かもしれません。それ以外

の場合は、それよりも長波長のナノ秒パルスレーザーの方が、コストが低くスループットが高いので、望ましいでしょう。MKSのアプリケーションエンジニアは、SiP PCBを高速に切断できることを示すために、グリーン波長の高出力ナノ秒パルスレーザーの試験を行いました。

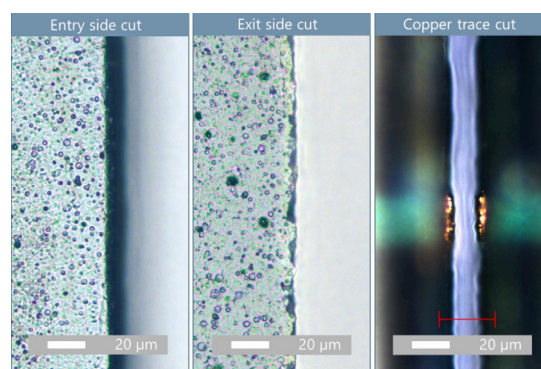


図1. レーザーで切断した厚さ250μmのSiP材料（正味切断速度は200 mm/s）の切断部のレーザー入射側および出射側と、埋め込まれた銅線の光学顕微鏡画像。

「Spectra-Physics Talon® GR70」レーザーを使用して、薄いFR4に銅線を埋め込み、その両面をはんだマスク層で覆った構造のSiP材料を、2軸ガルバノスキャナーを用いた高速マルチパス処理によって切断しました。材料の合計厚さは250μmで、そのうちの150μmが（極薄の）FR4基板、残り100μmが両面のポリマーはんだマスク層です。6 m/sという高速な走査速度を適用することにより、深刻な熱影響と熱影響部の形成が緩和されます。対象材料が比較的に薄いため、小さめの集光スポット径（ビーム径[1/e²]：約16μm）に、450 kHzという高めのレーザーパルス繰返し周波数（PRF）を組み合わせました。このパラメーターの組み合わせは、高いPRFで高い出力（ここでは、450 kHzで67 W）を維持する、このレーザー特有の能力を活用するものです。この能力は、高い走査速度において、適切なエネルギー密度とスポット間の重なりを維持するために有

効です。高速走査を複数回行った後の全体的な正味切断速度は、200 mm/sでした。図1は、切断部のレーザー入射側と出射側の表面と、切断経路が埋め込まれた銅線と交差する表面下領域を示したものです。入射面も出射面もクリーンに切断されており、熱影響部の痕跡はほとんどあるいはまったく確認できません。また、銅線の存在が切断プロセスに悪影響を及ぼすことはなく、視認できる部分はやや限られているものの、銅線の切断エッジの品質は非常に高いことがわかります。

銅線周辺の品質（すなわち、全般的な切断品質）については、図2に示した切断部側壁の断面図を見れば、より詳しく確認することができます。

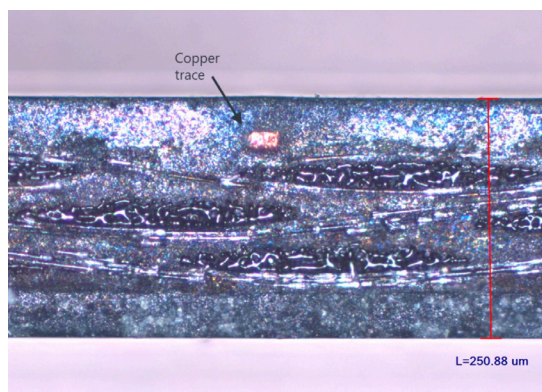


図2. レーザーで切断したSiPの側壁。ガラス繊維の織り模様の中と埋め込まれた銅線の周辺で特に、優れた品質が示されている。

品質は非常に高く、熱影響部、炭化、粒子状デブリは最小限に抑えられています。FR4層の個々の繊維がはっきりと識別可能で、熔融は、側壁から外側方向に向けた切断繊維端面のみに限られています（つまり、切断面に沿った方向の繊維とは垂直）。重要なのは、層間の剥離がないことです。また、銅線周辺領域の品質は高く、熔融した銅の流出や、周辺のFR4層やはんだマスク層の剥離といった、有害な熱影響はありませんでした。

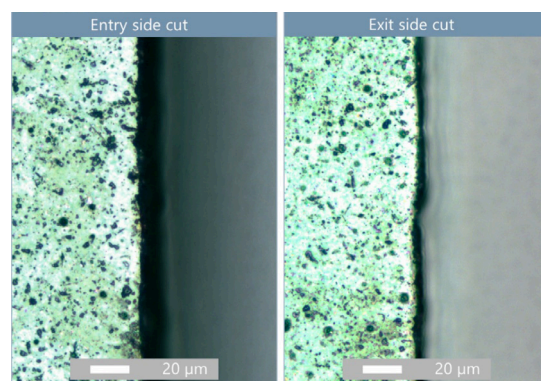


図3. レーザーで切断した厚さ900μmのFR4 PCBのレーザー入射面と出射面（正味切断速度は20 mm/s）。

PCBに対するナノ秒パルスレーザーのより確立された用途として、厚みのあるFR4基板を切断して個々のデバイスを分離する処理（デパネリング）があります。小さな接続タブを切断することによって、アレイ状に並んだデバイスを分離します。この処理についても、厚さ約900μmのFR4基板からなるパネルのタブ切断をTalon GR70を用いて試験を行いました。厚みのあるこの材料に対しては、十分なフルエンス（エネルギー密度、単位：J/cm²）を維持しつつ最大限の集光径を使用することが、スループットを最大化するために重要になります。Talon GR70は、定格周波数275 kHzにおいてパルスエネルギーが高いため（>250μJ）、約36μmという大きめのスポット径が使用できます。また、卓越したビーム品質により、集光ビームは1.5 mm以上（材料厚さの1.5倍以上）という大きなレイリー長を備えます。これにより、スポット径は比較的大きいにもかかわらず、材料の厚さ全体を通してそのサイズが維持され、均等な照射量によって効率的に切断できるだけでなく、広いトレンチが形成されてデブリが放出されやすくなります。図3は、6 m/sの高速走査を複数回行って切断した部分のレーザー入射面と出射面の顕微鏡画像です。全体的な正味切断速度は20mm/sでした。

SiP基板と同様に、切断部のレーザー入射面と出射面の両方で、熱影響部は最小限となり、非常に高い品質が得られています。FR4を構成するガラス繊維とエポキシ樹脂のマトリックス構造が不均質であることと、レーザーでアブレーションした溝の外側ではエネルギー密度がやや低くなることから、出射面の切断エッジは通常、完璧な直線からは少しずれた形状になります。側壁の断面画像(図4)を見ると、切断部の品質がより詳しく確認できます。

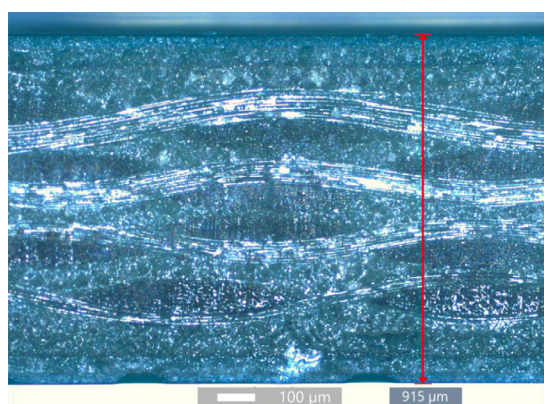


図4. レーザーで切断した厚さ900μmのFR4の側壁。炭化は軽微またはまったく生じておらず、繊維燃系に熔融痕はほぼ存在しないという、優れた品質が示されている。

図4では、優れた品質が得られていることが確認できます。切断部における炭化物(焦げ)形成の痕跡や熱影響もほとんど見られません。また、ガラス繊維の熔融痕もごくわずかです。20 mm/sという高速な正味切断速度を備えるTalon GR70は、厚みのあるFR4 PCBのデパネリングに対して、明らかに実行可能な選択肢であり、優れた品質と高いスループットの両方を実現します。

さらに高性能な電子デバイスを開発するには、品質とスループットの両方で既存の水準を維持あるいは上回りながら、製造プロセスを絶えず進化および向上させることが必要になります。レーザー技術は、今後もこの課題に対応し続けます。本稿では、PCB関連の新規用途と従来用途の両方に対する、ナノ秒パルスレーザーTalon GR70の加工能力を紹介し、薄いSiPと厚いFR4という両方のPCB材料を、高速に切断して優れた品質を実現することを示しました。

製品

Talon® UVおよびグリーンレーザー

Talonレーザープラットフォームは、ハイパフォーマンス、信頼性、低コストをかつてないレベルで兼ね備えた、UVおよびグリーンのLD励起固体（DPSS）Qスイッチレーザーです。Spectra-PhysicsのIt's in the Box™デザインに基づき、レーザーとコントローラーが単一のコンパクトなパッケージに一体化されています。パルス間の安定性が高く、優れたTEM₀₀モード品質が数万時間に及ぶ稼働時間にわたって維持されます。Talonレーザーは、システム

のアップタイムが非常に重要となる、24時間年中無休体制の製造環境における微細加工を特に対象として設計されています。以下の表に示すように、Talonポートフォリオ全体で、幅広い出力と波長に対応する製品が取り揃えられているという強みがあります。Talonは、圧倒的なコストパフォーマンスを誇り、機能、パフォーマンス、信頼性を損なうことなく、業界最小の所有コストを実現します。

	Talon UV45	Talon UV30	Talon UV20	Talon UV15	Talon UV12	Talon UV6	Talon GR70	Talon GR40	Talon GR20
波長	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	532 nm	532 nm	532 nm
出力 ²	>30 W @ 100 kHz	>15 W @ 50 kHz	>10 W @ 50 kHz	>15 W @ 50 kHz	>12 W @ 50 kHz	>6 W @ 50 kHz	>70 W @ 275 kHz	>20 W @ 50 kHz	>20 W @ 50 kHz
	>45 W @ 150 kHz >35 W @ 200 kHz	>30 W @ 100 kHz >23 W @ 200 kHz	>20 W @ 100 kHz	>13 W @ 100 kHz	>10 W @ 100 kHz	>4 W @ 100 kHz		>40 W @ 100 kHz >36 W @ 200 kHz	>18 W @ 100 kHz
	>23 W @ 300 kHz	>17W @ 300 kHz	>11 W @ 300 kHz	>3 W @ 300 kHz	>3 W @ 300 kHz	>1 W @ 300 kHz		>30 W @ 300 kHz	>13 W @ 300 kHz
繰返し周波数	0-500 kHz						0-700 kHz	0-500 kHz	
パルス幅	<35 ns @ 150 kHz	<25 ns @ 100 kHz					<43 ns @ 550 kHz	<25 ns @ 100 kHz	
パルス エネルギー 安定性	<2% rms @150 kHz	<2% rms @100 kHz (典型値)				<2% rms @50 kHz, (典型値)	<3% rms up to 550 kHz	<2% rms @ 100 kHz (典型値)	
	<3% rms up to 300 kHz <5% rms above 300 kHz	<3% rms up to 150 kHz <5% rms up to 300 kHz (典型値)						<3% rms up to 300 kHz <5% rms above 300 kHz	