

グリーンピコ秒レーザーによる システムインパッケージ(SiP)材料の切断

システムインパッケージ(SiP)とは、演算能力のさらなる高密度化を実現するためのチップパッケージ手法です。半導体フィーチャサイズの微細化ペースが減速する中、業界は、半導体加工のサイズ(nm~ μm 単位)とプリント回路基板(PCB)のサイズ(μm ~mm単位)の間に存在する、約3ケタに及ぶギャップに目を向けるようになりました。これだけ大きなサイズの隔たりがあれば、さらなる小型化に向けたさまざまな手法が適用できます。SiPは、従来は分離された個別コンポーネントだった、メモリー、ロジック、無線周波数(RF)チップなどを単一のパッケージに統合し(これは、ヘテロジニアスインテグレーションと一般的に呼ばれる手法です)、必要な相互接続が設計された共通のPCB上に実装することにより、機能的に性能の向上を実現するものです。SiP技術は、スマートフォンのほか、スマートウォッチやワイヤレスイヤホンといったウェアラブルデバイスなど、多くの携帯型民生用電子機器に、一般的に採用されるようになってきました。

SiPデバイスの個片化には、ナノ秒のパルス幅を持つUVまたはグリーン波長のレーザーが適していると考えられます。しかし、特にこれらのデバイスの高密度化がさらに進む中で、過剰な加熱に耐えられない場合は、問題が生じます。そこで、より短いパルス幅で加工することによって熱影響部(HAZ)を低減することに関心が集まっています。例えば、はんだや接着剤など、熱に敏感な接合媒体を使用して封止した部分が存在する場合は、過剰な熱の印加によってその部分が破損する恐れがあります。また、SiPの積層に埋め込まれた銅線が過度に高温になり、積層が剥離する恐れがあることから、超短パルス(USP)レーザーによる加工が望ましいと考えられます。このような検討結果に基づき、MKSの高出力グリーンピコ秒レーザー「Spectra-Physics IceFyre® GR50」を使用して、SiP関連材料の切断プロセスを最適化する

ための実験を行いました。

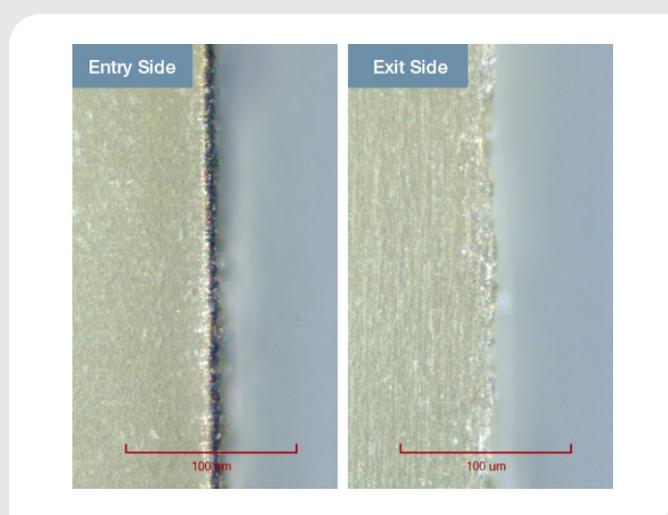


図1. グリーンピコ秒パルスで切断した厚さ200 μm のFR4基板のレーザー入射側(左)と出射側(右)の状態。

SiP基板の主要構成材料は、薄型(または超薄型)ガラス繊維強化エポキシ積層材料(FR4)で、その厚さは一般的に100~250 μm です。ガラス繊維とエポキシ樹脂の組成が同質ではなく、両者の光学特性と熱特性が異なるため、FR4のレーザー切断は困難です。厚みのあるFR4をレーザーで加工する場合は一般的に、炭化という望ましくない結果につながる恐れがあり、過剰な加熱と熔融を防ぐために十分な注意が必要です。それに比べると、薄いFR4に対してピコ秒のパルス幅を使用する場合は、より簡単に過剰な加熱を回避することができます。図1は、IceFyre GR50レーザーで切断した厚さ200 μm のFR4の、レーザー入射側と出射側の表面を示したものです。

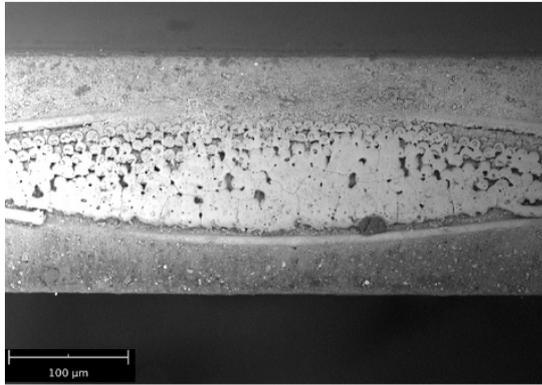


図2. 図1の切断部の側壁のSEM画像。繊維端面の溶融はごくわずかであることが示されている。

このレーザーの500 kHzのパルス繰り返し周波数 (PRF) で 50 W という公称出力を使用し、4 m/s の走査速度で最適化した高速マルチパスプロセスにより、83 mm/s の実効切断速度を達成することができました。入射面のデブリ堆積は最小限で、明らかな熱影響部は約 10 μm です。走査電子顕微鏡 (SEM) で撮影した断面 (図2) を見ると、個々の繊維がはっきりと確認でき、溶融痕はごくわずかで、品質の高い切断部が得られていることがわかります。

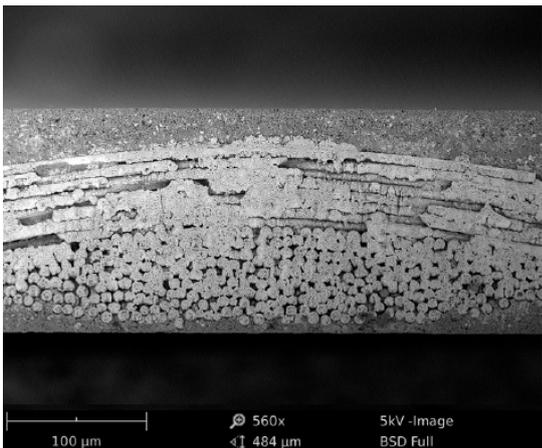


図3. 繊維の溶融が少なく、優れた品質で切断されたFR4切断部側壁のSEM画像。

USPLレーザーで行われる多くの加工プロセスにおいて、既に良好な品質結果をさらに改善して、はるかに優れた結果を達成することが可能です。例えば、FR4切断時のガラス繊維の溶融量をさらに低減したい場合は、レーザーパルスエネルギーまたはPRF (あるいはその両方) を低くしたり、ビーム走査速度を高くしたりといった調整を加えることにより、図3に示すようにさらに優れた結果を得ることができます。

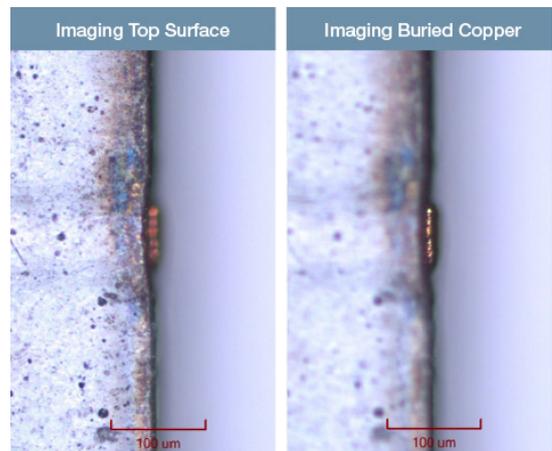


図4. 高速切断時のレーザー入射側の顕微鏡画像。表面切断品質は優れているものの埋め込まれた銅線の周りに加熱痕が確認できる。

この結果は、USPLレーザーによって繊細な材料にほとんど熱影響を与えることなく、優れた切断結果が得られることを、明確に示しています。

以上で、薄いFR4の切断で優れた品質が得られることが証明され、達成可能なスループットが明らかになったので、今度はこのレーザーを使用して、SiP PCBの薄い基板材料を切断しました。この材料は、極薄のFR4 (厚さ約 100 μm) でできており、両面はポリマー製のソルダーマスク保護層でラミネートされていて、切断対象経路に沿って銅線が断続的に埋め込まれています。全層を合わせた厚さは 200 μm でした。埋め込まれた銅線を含む複数の層で構成されているため、プロセスにいくつかの微調整を加えることが、最良の品質結果を得る上で有効と考えました。そこで、高スループットをターゲットとしたプロセスを定義した後に、品質向上に重点を置いてパラメータの調整を行いました。

上記の方法の有効性を証明する結果が得られました。レーザーの出力をフルに使う高速性を目的としたプロセスを適用した場合、切断部のレーザー入射側を上から見た顕微鏡画像(図4)には、埋め込まれた銅線が切断品質に対して、ある程度の影響を与えることが示されています。表面品質は全般的に良好で、切断エッジの品質も良く、デブリ領域はわずかですが、銅層周辺の過剰な加熱によって周囲のポリマー/FR4材料が少し破壊されて側壁から銅がわずかに突出しています。このプロセスの実効切断速度は57 mm/sでした。

つまり、スルーブット重視のプロセスは概ね良好な品質が得られるものの改善の余地があります。レーザーの出力レベルを50%下げ、それ以外のさまざまなパラメータを調整した結果、図5に示すように品質はさらに改善されました。この結果は、38 mm/sの正味切断速度で得られたものです。したがって、出力をフルに使った場合(例えば、2ビーム分割の場合)、全体的な合計切断速度は76 mm/sとなり、これは1ビームをフル出力で使用した場合の速度より33%向上しています。

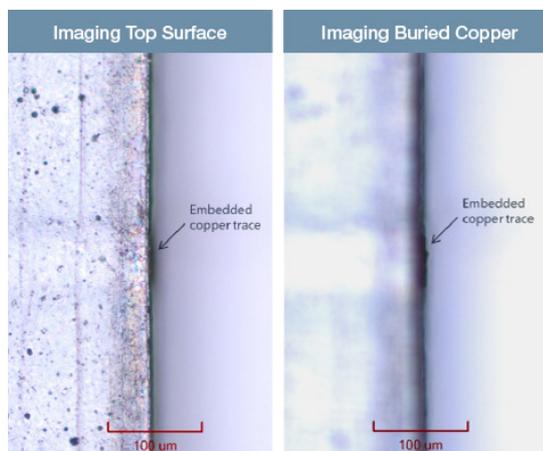


図5. 50%のレーザー出力で切断した場合の入射側の画像。フル出力で達成された既に良好な結果がさらに改善されていることが確認できる。

図5の左側の画像は、表面のポリマー層を撮影したもので、フル出力の結果と比べてデブリ堆積はごくわずかですが切断経路に検出可能なものは見られません。同様に、右側の画像は、埋め込み銅線の切断エッジから離れる方向への突出が辛うじて検出できるかどうかのレベルであることを示

しています。図6のSEM画像に示されているように、レーザー切断部の側壁の断面図を見ると、切断結果の品質をさらに詳しく確認することができます。

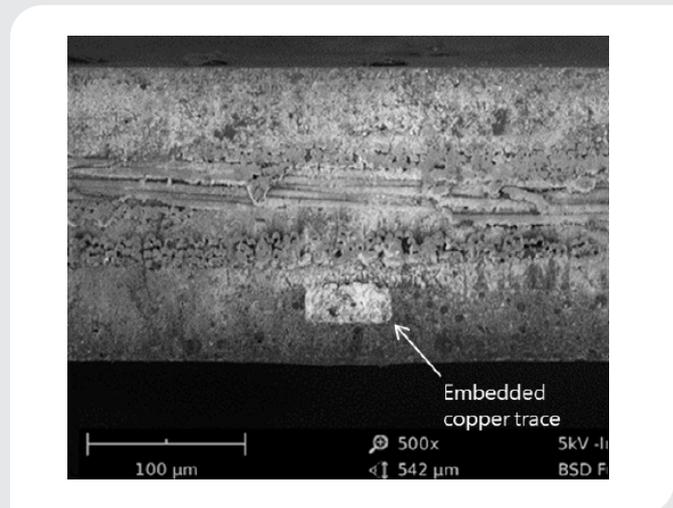


図6. 50%のレーザー出力で切断したSiP基板の側壁を示すSEM画像。

このSEM画像は、50%のレーザー出力によってクリーンにアブレーションされた側壁を示しています。個々の繊維端面は熔融しておらず、層間の剥離はなく、銅の内部や周囲が熔融または変形することなく銅線がクリーンにアブレーションされているなど、優れた品質を示す明確な指標となっています。

SiPアーキテクチャは、ますます微細化が進む電子回路の性能向上を実現するもので、パッケージ化されたデバイスのレーザーシングュレーション(個片化)は、その取り組み全体における重要なプロセスです。ナノ秒パルスレーザーでこの要件に対応できる場合もありますが、高密度に集積されたICやさまざまなサブパッケージコンポーネントが、互いに近接して実装されることが問題につながる可能性もあります。特にグリーン(そしてUV)波長のUSP(超短パルス)レーザー技術を利用することにより、高いスルーブットを達成することができます。レーザーとプロセスのパラメータを慎重に調整することにより、熱影響が最小限に抑えられた優れた切断品質を実現することが可能です。

製品

IceFyre産業用ピコ秒レーザー

IceFyre GR50は、500kHzで100μJを超えるパルスエネルギーと、50Wを超えるグリーン出力を提供します。IceFyre UV50は、市場で最も高性能なピコ秒UVレーザーで、1.25MHzで50Wを超えるUV出力（40μJ以上）を提供し、バーストモードにおけるパルスエネルギーは数百μJ、パルス幅は10psです。IceFyre UV50は、その高い出力とシングルショットから10MHzまでの繰り返し周波数によって、新たな基準を打ち出す製品となっています。

IceFyre UV30は、60μJを超えるパルスエネルギー（バーストモードではそれ以上）で、30Wを超える標準UV出力を提供し、シングルショットから3MHzの範囲で卓越した性能を示します。IceFyre IR50は、400kHzのシングルパルスで50Wを超えるIR出力を提供

し、シングルショットから10MHzの範囲で優れた性能を示します。IceFyreのレーザーには、ファイバレーザーのフレキシビリティとSpectra-Physics独自のパワーアンプ機能を活用して、業界で最も高い汎用性を備えたTimeShift™ psプログラマブルバーストモード技術を実現する、ユニークなデザインが採用されています。各レーザーには、標準の波形セットが用意されています。オプションのTimeShift ps GUIにより、カスタム波形の作成が可能です。このレーザーデザインにより、ポリゴンスキャナを使用している場合など、高速走査速度での高品質処理において、既存のピコ秒レーザーの中で最も低いタイミングジッターで、真のパルスオンデマンド (POD) および位置同期出力 (PSO) のトリガーが可能です。

	IceFyre GR50	IceFyre UV30	IceFyre UV50	IceFyre IR50
波長	532 nm	355 nm		1064 nm
出力	>50 W @ 500 kHz	>30 W typical @ 500 kHz >25 W @ 800 kHz >20 W typical @ 1 MHz	>50 W @ 1250 kHz	>50 W @ 400 kHz
最大パルスエネルギー (Time-Shift psを使用した場合、1バースト当たりのパルスエネルギーがより大きくなる)	>100 μJ @ 500 kHz	>60 μJ typical @ 500 kHz >31 μJ @ 800 kHz >20 μJ typical @ 1 MHz	>40 μJ @ 1250 kHz	>200 μJ @ 200 kHz
繰り返し周波数	シングルショット-10MHz			
パルス幅 (FWHM)	<15ps (13ps 典型値)	<12 ps (標準値: 10)		<15 ps (標準値: 13)
TimeShift ps	yes			
パルスエネルギー安定性	<2.0% rms, 1 σ			<1.5% rms, 1 σ
出力安定性 (ウォームアップ後)	<1%、1 σ、8時間以上			