

高エネルギー、高出力のナノ秒UVレーザーを用いた5G用フレキシブルPCB材料の切断

レーザー加工はプリント基板(PCB)の製造に大きな効果をもたらしてきており、電力消費量が少なく、より優れた性能のデバイスの開発に貢献しています。今日では、FR4のような厚みのある繊維複合材料から薄くフレキシブルなラミネートまで、多種多様な素材に対して、様々なレーザー光源、手法を用いて加工が行われています。特に注目すべきなのは、急速に変化しているモバイルデバイス市場において常に開発が進められているフレキシブルPCB (FPCB) テクノロジーです。そのような開発の一つに、無線データレートを大幅に向上させる5Gモバイル通信が挙げられます。このように飛躍的に高速でデータを受信、操作、送信するには、当然ながら、新しい素材が必要となります。そして、従来のポリイミド絶縁層を、5Gの周波数で優れた絶縁性能を提供する変性ポリイミド (MPI) や液晶ポリマー (LCP) といった新しい素材に置き換えなければなりません。より高い周波数やアンテナ関連部品への適合性の他、さまざまな理由からLCPが5Gに適した素材だと考えられています。レーザー加工の観点からは、全深さの切断(ここでの注目点)は、装置や部品の最終設計形状を材料シートや積層材から切り出す、FPCB製造における外形カット／ルーティングのアプリケーションに重要なものとなっています。

高出力の紫外線(UV)ハイブリッドファイバーレーザー(Quasar® UV80、平均出力80W、最大400 μ J/パルス)を用いて、当社の産業用レーザーアプリケーション研究員がベアLCPシートや銅張LCPラミネートといったLCPベースのFPCB材料に対する切断実験を実施しました。Quasarレーザーには、TimeShift™ プログラム可能パルステクノロジーの柔軟性があり、これにより、時間軸でカスタマイズされた広範なパルス出力(パルス幅、バーストモード、パルス整形)を、シングルショットから3.5MHzまで、幅広いパルス繰返し周波数(PRF)

において探索することが可能となります。ここでの全てのテストは、高速・マルチパス加工用の2軸ガルバノスキャナを用いて行われ、焦点スポット径(20–35 μ m; $1/e^2$ 直径)領域での調査を行うため、 $f\theta$ レンズ($f=330$ mm)をバリエابلビームエキスパンダと組み合わせています。

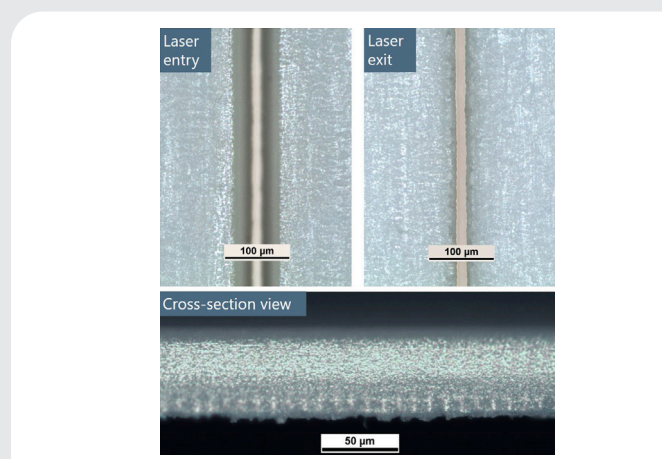


図1. Quasar UV80レーザーを用いて厚さ50 μ mのベアLCPを切断。入口(左上)、出口(右上)、断面(下)の画像より、優れた品質で、熱影響が最低限に抑えられていることが確認できる。

最初の機械加工結果は、厚さ50 μ mのベアLCPシートに対するものです。予備テストにより、ポリイミドと同様にこの素材のUV光線に対するアブレーション閾値は比較的低いことが分かっています。しかしながらポリイミドとは異なり、LCPは過剰な熱に弱く、溶けたり焦げたりしないように注意深く処理の最適化を図る必要があります。最適な切断結果が得られたのは、短いパルス幅(約2～3ナノ秒)と適度なパルスエネルギーを高いPRF(>750 kHz)で照射した場合でした。図1に、切断の入口、出口および断面の光学顕微鏡画像を示します。

画像はナノ秒UVパルスで得られた優れた品質を示しており、融解や焦げの痕跡はほとんど見られません。断面の写真には、熱溶融の再固化(表面の“平滑化”)の影響を受けていない、きめ細かな加工面が見て取れます。断面図を見ると、切断の出口側に若干の“溝形状”が見られます。これは、高速/低パルスオーバーラップという処理の性質と、深さが増すにつれてアブレーションの直径が小さくなることによるもので、切断の出口側ではほぼ分離したアブレーションの“ドット”が発生します。実際には、切断が深くなるのに伴いビームの走査速度を下げることで、この効果を軽減または除去することができます。今回の切断では、8m/sのスキャン速度で13回のオーバーラップスキャンを行った結果、正味の切断速度は615mm/s以下でした。

また、銅張りLCP積層板の切断も行い、18/100/18 μm および9/25/9 μm の2種類の厚さのCu/LCP/Cu積層板を用意してテストを行いました。厚みのある素材は特に難しく、切断カーブ幅を広げないためには、より高いパルスエネルギーが有効となります(パラレルライン/ラスタスキャン処理の導入など)。しかし、Quasar レーザーの最大400 μJ という高いパルスエネルギーでは、そのような措置は必要ありませんでした。レーザーのTimeShift パルス整形機能を活用して、短いパルス幅と長いパルス幅、バーストモードの出力など、さまざまな条件を検討しました。より長い(10ナノ秒)パルスでは切断速度は100-120mm/sと速く、品質はエッジのバリは小さいものの、酸化範囲が大きくなる傾向にありました。一方、より短い(2.5ナノ秒)パルスでは、切断速度は遅く(90 mm/s以下)、エッジのバリは高めであるものの、酸化量はかなり少なくなりました。総合的に最も優れた結果が得られたのは、短いパルス(2ナノ秒)のバーストで照射した場合で、最高の切削速度130mm/sで、バリの高さも酸化量も中程度の品質が得られました。図2に、切断部の入口側、出口側、断面の光学顕微鏡写真を示します。

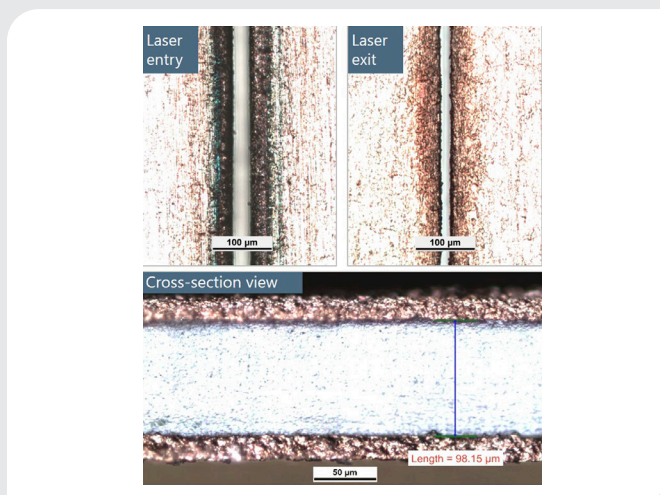


図2. Quasar UV80レーザーを用いた厚みのある銅張りLCPの切断。入口(左上)、出口(右上)、断面(下)の画像から、時間軸で最適化されたナノ秒パルスにより実現された、きれいで高品質な切断部が確認できる。

顕微鏡画像から、慎重なプロセスの最適化とパルス強度出力の時間軸での最適化により、高品質な加工が達成できます。先に示されたLCPへの優れた切断性は、張られた銅とともに切断した場合でも維持されています。また、LCPの銅の剥離強度は一般的にポリイミドの場合に比べて非常に低いため、銅とLCPの界面で剥離が見られないことが重要です。より薄い9/25/9 μm の積層板でも同様の結果が見られましたが、実効切断速度は350 mm/s超と著しく速いものでした。

ナノ秒パルスレーザーで銅を加工する際に発生する、酸化物の成長や、バリやざらつきなどの溶融した銅の領域は、光学顕微鏡ではっきりと確認することができます。微細な表面構造とその変調の接写画像については、選択肢として推奨される走査電子顕微鏡法 (SEM) を用いて切断された試験片のさらなる分析を行いました。図3に、SEMを用いた18/100/18 μm 積層板の詳細像を示します。

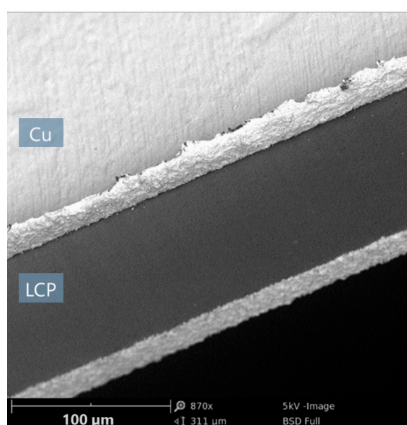


図3. SEM画像から、Quasar UV80レーザーで切断された銅張りLCPの滑らかな加工表面とその微細な形状が確認できる。

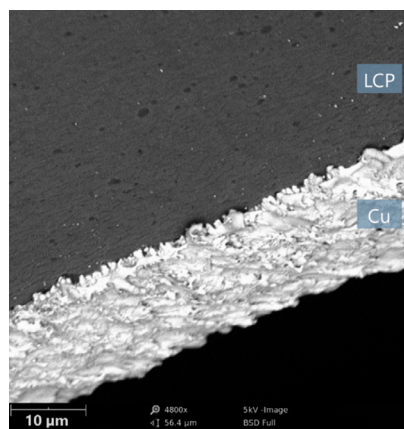


図4. SEM接写画像により、レーザー切断後も銅切断エッジ部からのLCPの引き剥がれがなく、銅-LCPが全く損傷を受けていない状態であることが確認できる。

電子顕微鏡と光学顕微鏡で比較して見ると、薄い酸化物の光学的効果や先に溶けた銅の散乱／反射特性がそれほど目立たず、表面の変形やエッジの直線性など、真の形状の観察が可能になります。ここでは、SEM画像により、きれいで精密に加工された高品質な表面も確認できます。特に注目すべきなのはLCPの切断エッジ部の滑らかさと垂直性で、銅層の切断エッジからの明らかな引き剥がれや“樽形状”は生じていません。図4に示す界面の高倍率SEM写真では、LCP層と銅層の結合がきれいに保たれていることが確認できます。さらに、切断された銅のエッジ部からの引き剥がれの無い、滑らかでフラットなLCPの表面をより詳細に確認できます。

新しい素材は新しい技術とともに登場することが多く、それに合わせて製造方法や設備も変えていかなければなりません。5Gモバイルデバイスでは、高いデータレートと高速なエレクトロニクスのために、FPCBにおける従来のポリイミド誘電体を、多くの場合、LCPフィルムやラミネートに置き換える必要が出てきます。今回は、高出力で高パルスエネルギーのQuasar UVレーザーを用いてこのような素材を切断し、良好な結果が得られました。パルス幅をプログラム可能とするTimeShiftテクノロジーが備える柔軟性は、素材によって大きく異なる熱的・光学的特性に対処する上で有益であり、高品質で高スループットの精密レーザー切断プロセスの開発を可能にします。

製品

Quasar

Quasarシリーズの画期的なパフォーマンスは、他に類を見ない最高UV平均出力、高繰返し時のエネルギーなどを実現、高速マイクロマシニングにおいて業界をリードしています。Quasarは、プログラム可能なパルス形状を実現する最新のTimeShiftテクノロジーを備え、究極のプロセス速度、柔軟性、および制御を実現します。

画期的なテクノロジー

Quasarは、高度なファイバーレーザー、パワーアンプ、特許取得済みの高調波生成技術を組み合わせて、画期的な加工結果を実現します。

この独自の設計は、ファイバーレーザーの柔軟性と堅牢性によるTimeShiftテクノロジーを実現可能にしています。Spectra-Physics独自のパワーアンプ技術を加えることで、Quasarは前例のない高出力パワーレベルでこの柔軟性を強化します。最後に、卓越した安定性で知られるSpectra-Physicsの特許取得済みの高調波生成技術により、Quasarは、最も厳しい要求を求められるアプリケーション向けの信頼性の高い24時間運転のOEMレーザーであり、パワー、柔軟性、制御の革新的な相乗効果を提供し続けます。

	Quasar UV80	Quasar UV60	Quasar UV60-T	Quasar UV45	Quasar GR95	Quasar GR75
波長	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	532 nm	532 nm
平均出力	>80W @ 200 kHz, 10 ns	>60W @ 200 kHz, 10 ns >60W @ 300 kHz, 10 ns	>38W @ 3 MHz, 2 ns	>45W @ 200 kHz, 10 ns >45W @ 250 kHz, 10 ns >41W @ 300 kHz, 10 ns	>95W @ 200 kHz, 10 ns	>75W @ 200 kHz, 10 ns
最適化条件における 最大パルスエネルギー	>400 μJ	>300 μJ	>12 μJ	>225 μJ	>475 μJ	>375 μJ
繰返し周波数	0–3.5 MHz	0–3.5 MHz	0–3.5 MHz	0–1.7 MHz	0–3.5 MHz	0–1.7 MHz
最適化されたTimeShift 条件(ビーム最適化のため の設定条件)	200 kHz, 10 ns	300 kHz, 10 ns	3 MHz, 2 ns	300 kHz, 10 ns	200 kHz, 10 ns	200 kHz, 10 ns