

高出力ピコ秒UVレーザーによる 5G世代フレキシブル基板向け新材料の加工

高機能で堅牢かつコンパクトな電子機器の市場成長に伴い、フレックスプリント回路（FPC）の製造規模は拡大しています。FPCは、スマートフォン、スマートウォッチ、現在人気の「ウェアラブル」端末といった様々な消費者向け製品で使用されています。レーザーはFPCの製造に不可欠であり、銅箔にビアを形成するための穴あけや、デバイス個片化のための形状切断といった一般的なプロセスで利用されています。フレックス回路基板を構成する材料は多様であり、一般に銅箔（導体）とポリイミドシート（誘電体層）が使用されています。最近、高速通信技術の進歩に対応するためにFPCの製造では最新の材料が導入されています。たとえば、5G技術を搭載した電子機器では、フレックス回路における一部のコンポーネントの誘電体材料として従来のポリイミドが使用されていません。その代わりに、誘電率の低い別のポリマーが使用されています。エポキシ樹脂とポリイミドの合成物である変性ポリイミド（MPI）が使用されている場合もあります。他のアプリケーションにおいては、液晶ポリマー（LCP）がますます重要な材料となっています。新材料の登場と共に、新しいレーザー技術が製造に採り入れられ、短パルス幅、UV波長、高出力という特長を活かして高品質、高精度、高速な加工が可能になります。

最近、これらの誘電体を利用したFPC材料を加工するために、新しくリリースされたピコ秒UVレーザー製品（IceFyre® 355-50）の試験を行いました。一連の実験において、銅/変性ポリイミド/銅（Cu/MPI/Cu）の積層構造にパーカッション加工でマイクロビアを形成しました。ブラインドビアとスルーホールビアの加工では、350 kHzのパルス周波数（PRF）において、50 WのUV出力を満

たすバースト出力（4×パルス/バースト）を生成するため、IceFyreレーザー独自のTimeShiftプログラマブルパルス機能を使用しました。ブラインドビアの穴あけでは、21バーストパルスグループ（計84パルス）のみで12 μm厚の上面銅層から25 μm厚の中間MPI層まで穴をあけ、12 μm厚の底面銅層で停止することができました。これはスループット16,500ビア/ｓ以上に相当します。スルーホールビアの穴あけでは、35バーストパルスで3層すべてのアブレーション加工を行い、この場合のスループットは10,000ビア/ｓでした。下図1は、形成した2種類のビアの光学顕微鏡画像です。

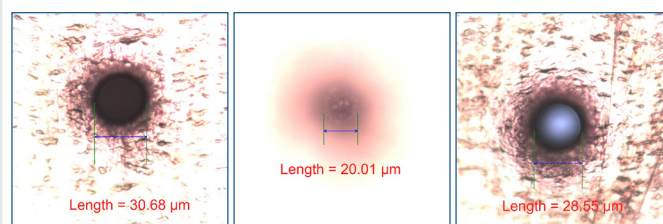


図1 上面銅層（左）および底面銅層（中央）に顕微鏡の焦点を合わせたCu/MPI/Cuラミネートのブラインドビア。上面銅層のスルーホールビア（右）。

いずれのビアも高品質で、上面銅層への熱影響部（HAZ）は最小限に抑えられ、アブレーション加工部のエッジにはバリが検出されませんでした。さらに、ブラインドビアの画像は上面銅層とMPI層のアブレーション加工部が平滑で、損傷を最小限に抑えながら底面銅層で停止していることを示しています。

LCPはFPCの製造においてますます重要な材料となっており、IceFyre 355-50レーザーで加工するのに最適なパラメーターを決定するために一連の実験を実施しました。最速加工を満たすレーザー動作条件を決定するため、様々なPRFでのシングルパルス設定と走査速度1.5 m/sの条件で、45～50 μm厚のベアLCPシート材料に一連のスクライブを加工しました。下図2は、その結果得られた深さデータと算出した深さ効率（単位パワー当たりの深さ）をPRFと対比させて示しています。図2では、特定の条件下（1.25 MHz、2.0 MHz、2.5 MHz）における平均入射パワーも示しています。

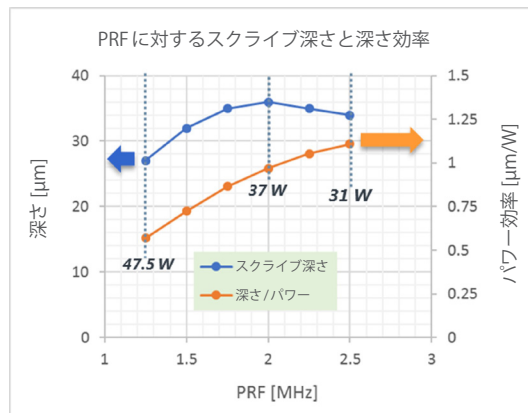


図2 IceFyre 50 Wピコ秒UVレーザーを走査速度1.5 m/sで動作させた場合のPRFに対するスクライブ深さと深さ効率。特定の条件下における平均入射パワーも示されている。

図2のデータは、PRFが1.25 MHzでレーザーを動作させると平均パワーが47.5 W、2 MHzで37 Wになるものの、2 MHzでシングルパルスのスクライブ深さが最大になっていることを示しています。パワーが低下するとスクライブが深くなるこの現象が発生するのは、パルスエネルギー低下に伴い1パルス当たりの除去率が低下する一方で、PPS（1秒当たりのパルス数）が著しく増加するとその差

異が十分に補正されるためと考えられます。PRFの増加（および、これと同時に起きるパワー低下）に伴って深さ/パワーの換算効率が上昇し続ける傾向に注目することが出来ますが、PRFが2 MHzを超えるとパワーが著しく低下するため、加工効率を高めてもスクライブが深くなるわけではありません。特定の焦点条件下においてレーザーの最も効率的な動作点を設定した上で、走査速度を段階的に引き下げてスクライブを形成することで、材料を完全切断するための最高速度を決定しました。その結果は切断速度1 m/sであり、切断部の光学顕微鏡画像は下図3に示されています。

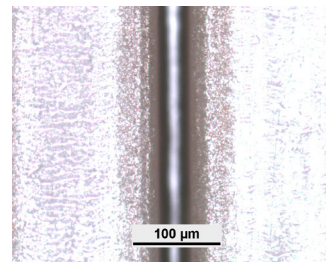


図3 走査速度1.0 m/sのシングルパスで45～50 μm厚のベアLCPシート材料を完全切断した切断部。

本書に記載した様々なFPCの加工結果で示されているとおり、パルス幅と波長を短くすると、レーザー加工の品質が高まる傾向があります。相互作用時間が短く、光の侵入深さが浅くなるほど、より微細な加工制御と解像度を実現できると同時に、熱影響を低減することができます。品質を高めるにはスループットの低下が避けられませんが、IceFyreレーザーのTimeShift ps機能だけでなく、より高いパルス周波数で利用可能な高出力パワーを用いると、様々なレーザーマシニング加工に必要な品質およびスループットを製造要件に合わせて調整できます。その結果、製造速度/生産性と品質の最適な組み合わせを導き出すことができます。

製品

IceFyre® 産業用ピコ秒レーザー

IceFyre 355-50は、市場で最も高性能なピコ秒UVレーザーでパルス幅は10psです。バーストモードにおいて数百μJのパルスエネルギー、1.25 MHz (> 40 μJ) で50 Wを超えるUV出力を提供します。IceFyre 355-50は、その高出力とシングルショットから10 MHzまでの繰返し周波数の新しいスタンダードを提供します。IceFyre 355-30は、60 μJを超えるパルスエネルギー（バーストモードではより大きなパルスエネルギー）で30 Wを超えるUV出力を提供し、シングルショットから10 MHzまでの優れた性能を提供します。IceFyre 1064-50は、400 kHzシングルパルスで50 Wを超えるIR出力を提供し、シングルショットから10 MHzまでの優れた性能を提供します。

IceFyreレーザーのユニークなデザインは、ファイバーレーザーの柔軟性とSpectra-Physics独自のパワーアンプ機能を利用し、TimeShift ps プログラブルバーストモード技術を実現しており、業界で最も高い汎用性を実現しています。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、ポリゴンスキャナーを使用している場合などで、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）および位置同期レーザー出力（PSO）を可能にし、高速走査速度での高品質処理を可能にします。

	IceFyre 1064-50	IceFyre 355-30	IceFyre 355-50
波長	1064 nm	355 nm	
平均出力	>50 W @ 400 kHz	>30 W (典型値) @ 500 kHz >25 W @ 800 kHz >20 W (典型値) @ 1 MHz	>50 W @ 1250 kHz
最大パルスエネルギー (TimeShift 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)	>200 μJ (シングルパルス) @ 200 kHz	>60 μJ (典型値) @ 500 kHz >31 μJ @ 800 kHz >20 μJ (典型値) @ 1 MHz	>40 μJ @ 1250 kHz
繰返し周波数	シングルショット - 10MHz		
パルス幅 (FWHM)	<20 ps (典型値 15 ps)		<12 ps (典型値 10 ps)
TimeShift ps	yes		
パルス-パルスエネルギー安定性	<1.5 % rms, 1 σ	<2.0 % rms, 1 σ	
出力安定性 (ウォームアップ後)	<1 %, 1 σ, 8時間以上		