

## 材料に左右されるFLEX PCBの高速マイクロビア穴あけ加工を簡素化

銅／ポリイミド／銅(Cu/PI/Cu)の積層構造にマイクロビアを作成するためのレーザー穴あけ加工は、フレックスプリント基板(Flex Printed Circuit Board:fPCB)製造において、一般的ではあるものの非常に重要な処理です。スマートフォンやスマートウォッチなどの小型モバイル電子機器や、より最近では先進的な車載電子部品が爆発的に普及していることがその主な要因です。その中でも特にいわゆるブラインドビアの作成は、上部の銅箔層とポリイミド基材層をきれいに除去して下部の銅箔層を最小限の損傷で残す処理で、レーザー穴あけ技術の適合性の特性評価を行うためのベンチマークプロセスです。主な課題としては、上部銅層の開口部のバリを最小限にすることや、露出する底部銅層の損傷を最小限にすることが挙げられます。また、コスト競争の激しいマイクロエレクトロニクス製造市場では、膨大な数のビアが必要になるため、高いスループットが求められます。ビア径の微細化とスループット要件の高まりを受けて、UV波長のLD励起固体(Ultraviolet Wavelength Diode-Pumped Solid State:UV DPSS)レーザーや、MOPA(Master Oscillator Power Amplifier)レーザーの使用が増加しています。

ブラインドビア穴あけは一般的に、上部銅層の開口(工程1)と中央のポリイミド層のアブレーション(工程2)という2つの工程からなり、適切に行うには、それぞれの工程に対して最適となる、異なるレーザーパラメータを適用することが必要になります。図1は、12/25/12 $\mu$ mのCu/PI/Cu積層構造に対する開口径50 $\mu$ mのビア穴あけを例に、この2つの工程を図示したものです。

銅とポリイミドは、産業分野における重要性が高いことから、レーザー材料加工において最もよく研究されている材料に属します。銅の除去には、比較的高いエネルギー密度(フルーエンス:単位はJ/cm<sup>2</sup>)が必要で、熔融した銅の再凝固によってバリが形成されやすい傾向があります。銅の

加工には高いフルーエンスが必要であるため、一般的に手に入るレーザーのパルスエネルギーで大きな領域(数十 $\mu$ m以上)を除去するのは困難です。また、バリが形成されやすいことにより、銅めっきや積層といった後工程に課題をもたらします。



図1. 一般的なフレックスPCBのCu/PI/Cu積層構造に対するブラインドビア穴あけ加工の2つの工程を図示した様子。

一方、ポリイミドはUV波長を強く吸収し、最小限の熱影響域(HAZ)を持つ品質の高い形状が得られる光化学アブレーション(フォトアブレーション)加工が可能です。最良の結果を達成するために最適なフルーエンスは存在しますが、ポリイミドは熱に強いポリマーです。したがって広範囲のフルーエンスレベルを使うことができ、熔融、炭化やその他の熱影響を避けながら、穏やかなものから非常に強いアブレーションまで行うことができます。同時に、最高のアブレーション効率、低もしくは中程度のフルーエンスレベルで得られるため、残念ながらアブレーションレート(パルス数に対する深さ)はまた低めになってしまいます。明らかに、積層Cu/PI/Cuへの最適なレーザー穴あけは、広範囲の高繰返し周波数(PRF)域において高平均出力を持ち、高あるいは低パルスエネルギーの出力が可能で、またそのいずれにおいても高速にプログラミングができるようなレーザー源を使うことが有益となります。

この可能性を実現するのが、MKS Spectra-Physics® Talon® Ace™ UV 100レーザーです。このレーザーは、100WのUV出力を広範囲にわたるパルスエネルギーとPRFで提供し、例えば、200 kHzで500  $\mu$ J、1 MHzで100  $\mu$ Jと、その間の任意のパルスエネルギーとPRFの組み合わせに連続的に対応します。パルス幅は、2ns未満から50ns以上まで選択できます。また、強力なTimeShift™テクノロジーに基づくプログラマブルパルス機能が内蔵されており、時間的なパルス整形や、用途に応じたバースト出力の調整が可能です。

このTalon Aceレーザーを2軸ガルバノスキャナー/ $f\theta$ 対物レンズシステムとともに使用して、12/25/12 $\mu$ mのCu/PI/CuのフレックスPCB積層構造に対する2工程からなる穴あけ加工の実験を行いました。集光形状は基本的なガウシアンビームで、フラットトップ形状やその他の整形光学系は使用しませんでした。標準的な $f=330$ mmの対物レンズを使用して、約50 $\mu$ mのビア径に光を集束し、マイクロビアの作成に必要な2つの工程のそれぞれに対して、レーザーの時間的なパルス出力を最適化しました。工程1（銅の開口）において、3つの異なるパルス出力によって得た結果の顕微鏡画像と3D光学表面プロファイルのレンダリング画像を、図2(a)(b)(c)に示します。

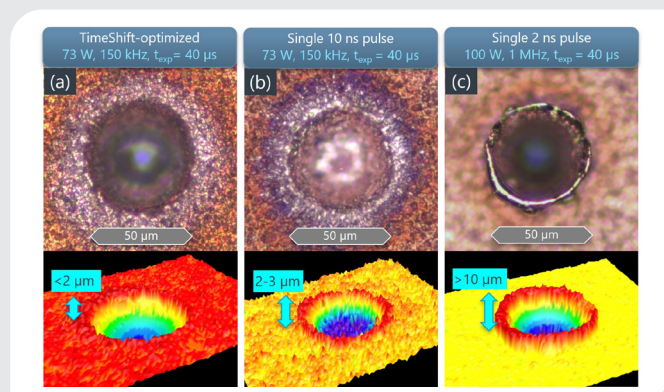


図 2. 工程1による銅層の開口部。(a)は、TimeShiftで最適化した出力、(b)は、10 nsのシングルパルス出力、(c)は、2 nsのシングルパルス出力を使用した場合で、露光時間はいずれも40  $\mu$ s。

図2(a)は、Talon AceのTimeShiftによる最適化を適用した結果で、完全にプログラム可能な、用途に合ったバースト出力によって、銅がきれいに除去されて、優れたエッジ品質（バリは2 $\mu$ m未満）が得られ、わずか40 $\mu$ sの露光時間（PRFが150kHzの場合はわずか7個のパルスバースト）で、その下のポリイミド基材層まで穴が貫通していることが示されています。開口部エッジ周辺のデブリや酸化は

最小限で、全体的な加熱が低く、つまり、供給されたパルスエネルギーが効率的に使用されていることがわかります。全く同じ出力、PRF、露光時間で、10nsのシングルパルスを使用した場合は（図2(b)）、銅の除去が不完全で、バリの高さが高く、明らかにデブリが増えて酸化領域が拡大しています。他のレーザーパラメータが同一であるにも関わらず、結果がこれほど著しく異なるのは、プロセスの最適化に対するTimeShiftパルス調整の価値を証明する証拠です。最後に、図2(c)は、使用可能な最も短いパルス幅である2nsのシングルパルスを適用した結果です。銅は除去されていますが、ビア径は更に小さくなっており、エッジのバリは10 $\mu$ mを超えていて許容できないほど大きくなっています。

工程1の最適化パラメータが定めれば、残る工程2（ポリイミドの除去）は比較的単純明快です。（A）良好な品質を達成するためのパルス調整は不要で、（B）最高の品質を達成するには低フルエンス、すなわち低パルスエネルギーが最適であることが既にわかっているためです。したがってTalon Aceを、100Wの平均出力が維持される最大のPRFで動作させました（PRFは1 MHz、パルス幅は2ns）。工程1と工程2でそれぞれ異なるTimeShiftパルス出力プロファイルを使用して穴あけ加工を最後まで実行した、ブラインドマイクロビアの状態を図3に示します。

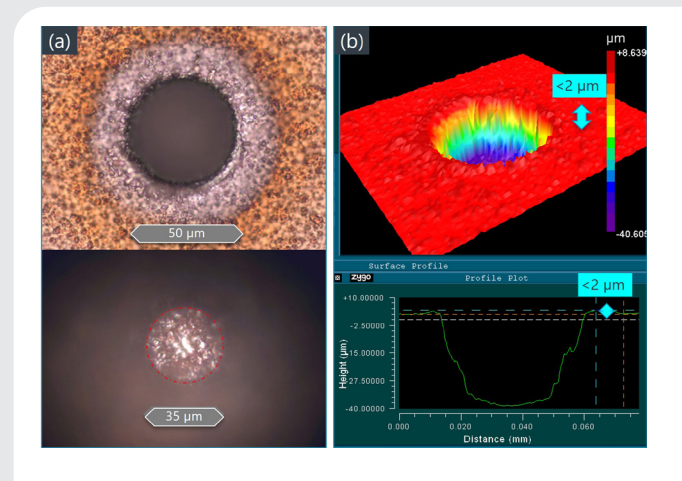


図 3. Talon Ace UV 100で2工程のプロセスを使用して穴あけを行った、開口径約50  $\mu$ mのマイクロビアの光学顕微鏡画像(a)と光学表面プロファイル画像(b)。

上部銅層の開口部（図3(a)上）の品質は、工程1のみを実行した結果と同じか、やや改善されています。底部銅層の露出部（図3(a)下）においても、同等に高い品質が得られています。ここで、工程2で適用した短パルスで低エネルギー

ギーの出力は、底部銅層の損傷を最小限に抑える上でも望ましいということも注目すべき点です。それによって許容誤差が大きくなり、やや過剰に加工を行ってポリイミドを確実に完全に除去することができます。光学プロファイラ画像では、バリが最小限であること(図3(b)上)と、集光ガウシアンビームの中心部における下部銅層の除去がほんのわずかであること(図3(b)下)が確認できます。

ポリイミドの除去に必要な時間は45 $\mu$ sでした。これは、1 MHzで45個のパルスに相当します。(工程1と工程2を合わせた)レーザー加工全体の時間は40+45=85 $\mu$ sで、1秒間に穴あけできるビア数は11,700個以上ということになります。ただし、これはレーザーのみの理論値であり、ビア位置の間の移動に要する時間は含まれていません。これは、最初に工程1のパラメータでビアパターン全体の穴あけを行い、続いて工程2のパラメータでその処理を繰り返す場合にレーザーが達成可能なスループットですが、工程1と工程2の間に、レーザー出力を一回切り替える必要があります。しかし、Talon Ace UV100はパルス出力の切り替えも非常に高速で、数十 $\mu$ sで行うことができるため、個々のビアを完全に穴あけしてから次のビアに移る処理を、毎秒10,000ビアに近い、非常に高いスループットで実行可能です。

Cu/PI/CuのフレックスPCB積層構造のブラインドビア穴あけは、アブレーションに望ましいレーザーパラメータが銅とポリイミドで大きく異なるために、難しい可能性があります。UV DPSSLレーザーはこの処理に対して十分に確立されていますが、多くの場合で複雑でコストのかかるビーム整形および走査装置が必要になります。Talon Ace UV100と、これに搭載されているTimeShiftテクノロジーに基づくプログラマブルパルス機能は、時間領域においてパルスエネルギーを調整するための新しい方法を明らかにするもので、個々の材料に応じた高速で高精度な加工を実現する、プロセスのカスタマイズを可能にします。

製品アプリケーションのパフォーマンスの概要は以下のとおりです。

- Talon Ace UV100は、高い平均出力と高品質のガウシアンビームにより、パーカッションのみのプロセスで、フレックスPCB製造のための高速なマイクロビア穴あけ加工を行うことができます。
- TimeShiftプログラマブルパルス機能は、積層構造の個々の材料に対する理想的なパルスエネルギーと時間的強度プロファイルに一致するように、Talon Aceの出力を調整することができます。
- TimeShiftの機能を使用することにより、銅のエッジにバリが形成される、裏面の銅が傷つく、ポリイミドのアブレーションレートが低いといった、プロセスの問題が解消されました。
- Talon Aceは、時間的なパルス出力プロファイルを数十 $\mu$ sで素早く切り替えられるという他にはない機能を備えるため、複雑でコストのかかるビーム整形および走査装置の必要性を低減または除去できる可能性があります。

## 製品

### Talon® Ace™レーザー

Talon Ace UV100は、業界をリードする100Wを超えるUV出力を、魅力的なコストパフォーマンスと小さなフォームファクタで提供する新しい高性能ナノ秒パルスレーザーです。TimeShiftプログラマブルパルス機能や広いパルス繰返し周波数レンジなど、前例のない柔軟性を備え、微細加工の最適化を可能にします。Talon Ace UV100は、先端エレクトロニク

スパッケージング、プリント基板、太陽光発電、セラミックス、半導体、その他の材料やコンポーネントの微細加工における高速かつ高品質の製造に最適です。

	Talon Ace UV100
波長	343nm
出力	>100W
パルスエネルギー	>500μJ
繰返し周波数	0-5.0MHz
TimeShiftプログラマブルパルス機能	Yes
パルス幅、FWHM (TimeShiftプログラマブル)	<2 to >50ns
ウェーブフォームスイッチングタイム	< 20μs
パルスエネルギー安定性	<3%, 1σ