

ピコ秒レーザーによる ガラスマイクロ溶接



接着剤や中間層を使用しない、ガラス/ガラスまたはガラス/他材料の接着は、マイクロ流体力学と医療機器のパッケージングなどの複数の分野でニーズがあります。レーザーマイクロ溶接は、超短パルスレーザーで2つの材料の境界面に高強度フォーカスを発生させ、材料の溶融と混合を誘発させてニーズに応えます。この方法で生成される接着は、光学的透明度が維持され、溶接線は100 μm 未満と極微細で、安定性があり不活性です。

MKS Spectra-Physics®アプリケーションラボのエンジニアは最近、ガラス/ガラス溶接とガラス/アルミニウム溶接における、50 W IR IceFyre® 1064-50 ピコ秒レーザーシステムを使用した、レーザーマイクロ溶接の実証実験を実施しました。レーザーのパラメータには速度と溶接品質が選ばれ、同時に溶接割れや断続溶接を避けるようにしました。

溶接の前に、2つの表面を接合し、通常はサブミクロンレベルまで密着させる必要がありますが、実際の溶接では空隙の大きさが示されました。密着には複数の方法が使われます。いずれの場合も、表面が平面で研磨され、清浄なことが求められます。ガラス/アルミニウム溶接の場合、接触部を作り出すためにクランプ器具が必要になりますが、ガラス/ガラス溶接の場合はサンプルのオプティカルコンタクトボンディングが可能です。

強力で高度に局在化されたマイクロ溶接を達成するために、焦点距離8 mmの0.50 NAレンズを使って、2つの材料の境界面に確実にビームの焦点を合わせます。焦点スポットの非線形吸収により、周囲の材料の加熱を最小限に抑えた局在的溶接が可能になります。焦点は十分に接触していない箇所も通過しながら、材料の表面全体に移動し、接触面に、場合に

よっては接触面以外で溶接線を生成します。微細な空隙も溶接で埋められるため、接触部から外部に向けてより広い面積の溶接が可能になります。

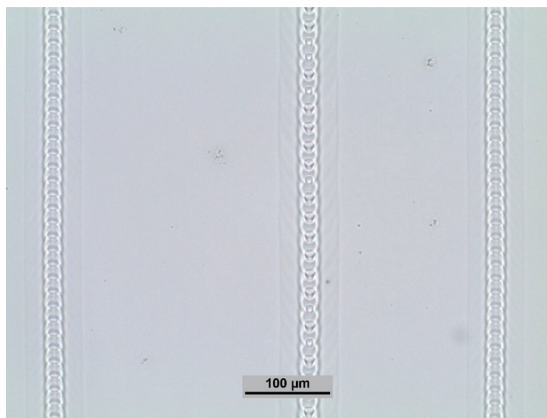


図1
内部および外部の修正箇所を示すガラス/ガラス溶接線。高い光学的透明度が維持され、溶接割れは表出していない。

図1はガラス/ガラス溶接線です。外側両サイド修正部は幅 $\sim 25 \mu\text{m}$ と目立たず、その内側の修正部は、溶融部での $\sim 30 \mu\text{m}$ の外観変調が見られますが、 $\sim 1 \mu\text{m}$ /パルス間隔に比べて、 $\sim 20 \mu\text{m}$ とかなり長いピッチ間隔です。このような溶融部での変調は、フィードバックプロセスに基づく場合があります。溶融部とそこでの屈折率の変化により、ビーム焦点が歪むため、非線形吸収が減少し、溶融が弱まりますが、焦点を歪ませる溶融部からビームが少し移動すると、溶融が回復します。

最適な結果を得るパラメータは、ガラス/ガラス溶接とガラス/アルミニウム溶接では相当に異なります。ガラス/ガラス溶接は、繰返し周波数が非常に高く、オーバーラッププロセッシングが非常に高い場合に好結果が得られます。完成した溶接は整い、

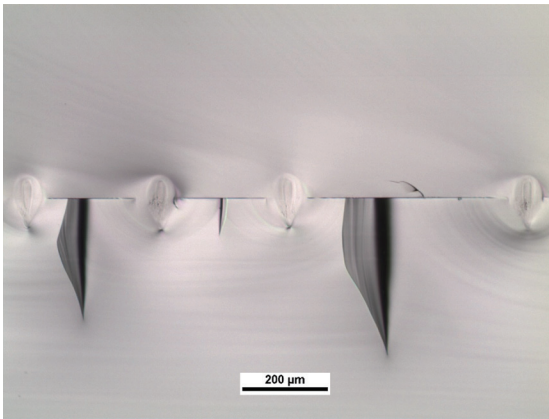


図2
ガラス/ガラス溶接線の断面。スクライビングと破断プロセスにより溶接部の間に、亀裂が見られる。

プロセッシング後の溶接割れや分離が見られません（図1）。プロセッシング後、サンプルは図2に示すように、刻みを入れて分断し、断面を表出させました。

断面（図2）に、25 mm/sで処理された4本の溶接線が見られます。各線に、涙をさかさまにした形状が表出しています。図1の全体図と同様に、内側の溶融部は明瞭で、外側は目立ちません。溶接部の間に、2枚のガラス板の境界面が見えますが、溶接部では境界面が消え、2枚のガラスが完全に融合しているのが分かります。溶接部の間に溶接割れが見られますが、断面を表出するためのクリービング（開裂）プロセスによるもので、クリービング前の全体画像には見られません。

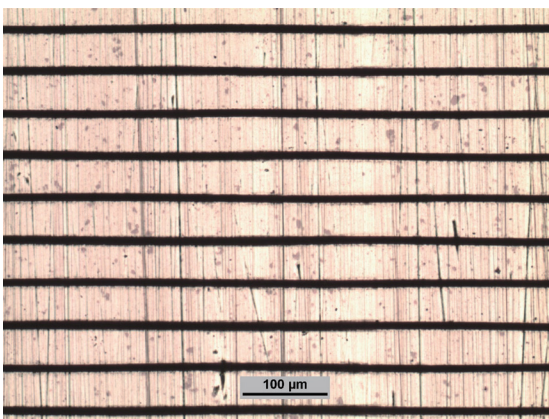


図3
ガラス/アルミニウム溶接線。溶接部は黒い横線に見える。

ガラス/アルミニウムは、ガラス/ガラスと同じ速度で処理されましたが、パルス繰返し周波数は大幅に下げられました。ガラス/ガラス溶接と比べると、アルミニウム表面の吸収率は高いため、溶接割れと分離を避けるために出力も下げられました。図3のように、上から見た場合、ガラス/アルミニウム境界面の溶接部は黒い線で表出されます。

図4は、アルミニウムからガラス板が分離された後のアルミニウム表面です。多くのガラス片が表面に付着しており、一部は幅数ミリ、高さは100 μmを超え、ガラスとアルミニウムの強力な接着が分かります。

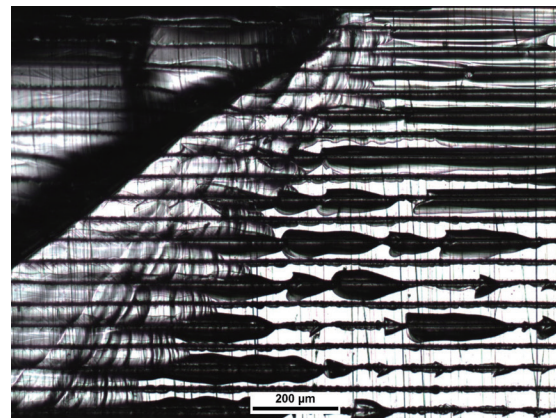


図4
分離後のガラス/アルミニウム溶接線。アルミニウム表面の溶接線に、ガラス片が残っており、一部は複数の溶接線に延びている。

超短パルスレーザーマイクロ溶接は、強力で再現可能な溶接のために一部のパラメータの調節が必要になる、高精度プロセスです。IceFyre ps IRレーザーシステムを使い最適化された溶接プロセスは、さまざまな材料接合用に開発可能であり、さまざまなレーザー溶接用途でのIceFyreレーザーの有効性と柔軟性が証明されています。

製品: ICEFYRE®

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

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プログラマ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。このレーザーのデザインにより、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 @ 1.25MHz
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 >30μJ @800 kHz >20μJ（典型値）@1 MHz	>40 μJ @ 1.25MHz
繰返し周波数	シングルショット - 10 MHz		
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		