

IceFyre® ピコ秒レーザーによる薄板ガラスおよびサファイアの高品質切断

ガラスなどの透明な脆性材料の加工は、レーザーの重要な応用分野です。ガラスのレーザー切断は、ディスプレイとモバイル機器の製造、電子機器のパッケージング、自動車ガラス、太陽光発電の製造などの分野で使用されています。これらの産業では、さまざまなガラスの厚みに対処する必要があります。モバイル機器では、ガラスの薄型化が進む傾向にあります。これは、デバイスの軽量化、柔軟性、曲げやすさが要求されるためです。

ベッセルビームによるガラス加工の先行研究 (Application Focus #46、SPIE 技術論文[1]) を活用し、Spectra-Physics IceFyre 1064-50 産業用ピコ秒レーザーの出力から短いベッセル領域 (図1) を生成するように専用設計のベッセルビーム光学系を用いて薄いガラスとサファイアの加工を行っています。これらのテストに選ばれた材料は、厚さ 300 μm の Corning® Eagle XG® (アルカリホウケイ酸塩) ガラス、厚さ 100 μm の Corning Willow® (無アルカリホウケイ酸塩) ガラス、および厚さ 300 μm のサファイアです。ガウシアンビームプロファイルから生成されるベッセルビームはz軸上で強度が変化するため (図2)、ベッセル領域を材料の厚さよりも長くし、材料の厚さ全体への強度がより均一になるようにしました。

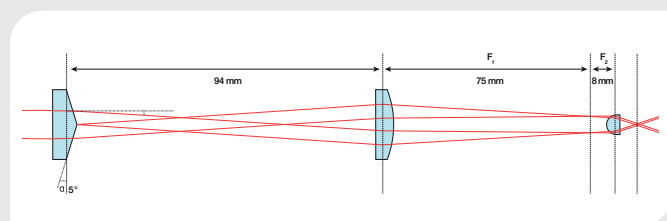


図1. 薄板ガラスプロセッシング試験の光学機器の設定

図1の光学配置では、空気中では長さ約 440 μm 、半径 1.1 μm のベッセル領域が形成され、物質中では、屈折率によって決まるベッセル領域と半径はともに空気中のものよりも大きくなります。この2つのガラスの場合、ベッセル領域の長さは約 680 μm 、半径は約 1.7 μm となります。サファイアは屈折率が高いため、ベッセル領域はやや長く 780 μm 、半径は 2 μm となります。

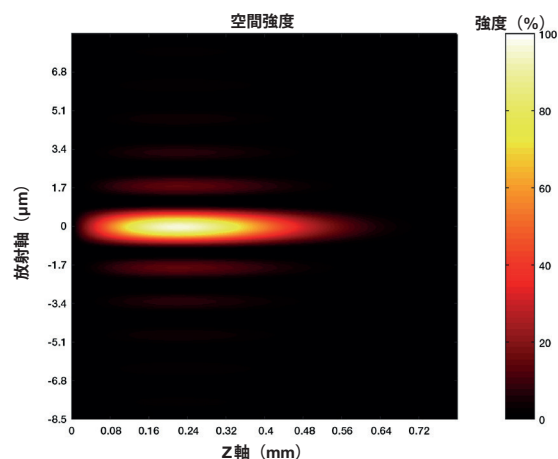


図2. IceFyre レーザーで生成されたベッセルビーム (空間) の空間強度の垂直断面

図1の光学系は、これまでのベッセル切断加工で使用したものと似ていますが、入射ビーム径を小さくすることで、より薄い材料に対応できるように調整されています。その結果、以前のテストで効果的であったコア径を維持したまま、より短いベッセル領域が得られました。また、以前の結果と同様に、2-4パルスのTimeShift™ psバーストが最良の結果を得るために使用されました。

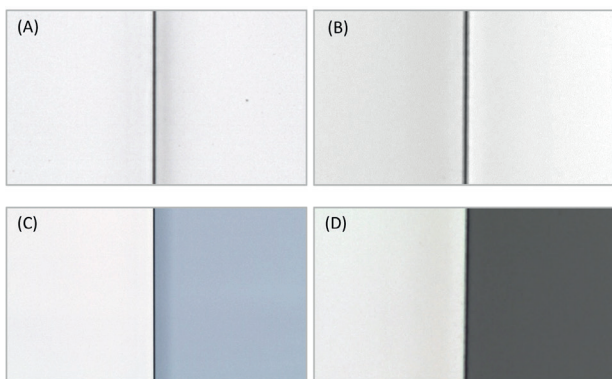


図3. (A) Corning Eagle XGガラス、(B) Corning Willow ガラスを加工後、ブレークする前に上から撮影した画像。(C) Corning Eagle XGガラス、(D) Corning Willow ガラスのブレーク後。ローピッチベッセル加工により、材料に連続した改質面が形成され、入口と出口面に一様な線として見える。

Corning Eagle XGとCorning Willowの両ガラスは、移動速度 100 mm/s、パルス繰返し周波数 100 kHz (PRF) で加工した結果、図3に見られるように非常にローピッチな加工となり、材料の上面と下面に連続した均一な改質線が形成されました。

手作業でクリービングした後の外観検査から、端面の完全で均一な改質状態が確認されています（図4）。表面はやや粒状で、光学式プロファイラによる表面粗さは、300 μm のEagle XGガラスと100 μm のWillowガラスでそれぞれ約0.2 μm と0.1 μm でした。

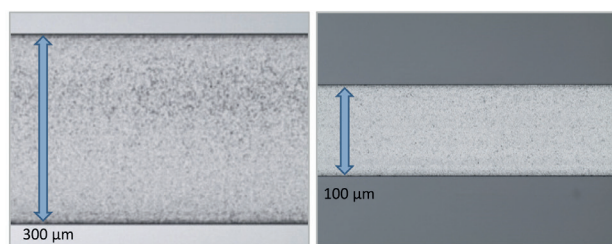


図4. 左) Corning Eagle XGガラス、(右) Corning Willowガラスの劈開エッジの画像。表面は均一かつ完全に改質されていることがわかる。面のRaは(左) $\sim 0.2 \mu\text{m}$ 、(右) $\sim 0.1 \mu\text{m}$ 。

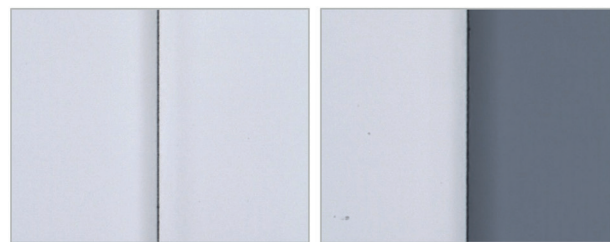


図5. ベッセルプロセッシング後、クリービング前（左）とクリービング後（右）のサファイアの全体画像

また、ガラス以外にも、LEDやウェアラブル、モバイル機器などに使われる薄いサファイアの切断にも、ベッセルプロセスが有効であることがわかりました。今回テストしたガラスとは異なり、最適なサファイアの切断結果は、より高いPRF、より高速なプロセスで得られました。

1000 mm/s、400 kHzのPRFでは、ピッチ（材料に入射するレーザーパルスの間隔）がガラスよりも大きくなりますが、図5に示す切断線と端面は、ガラスの結果と同様に、連続的で均一な外観を保っています。

クリービングされたエッジを目視（図6）および光学式プロファイラで検査しました。目視検査では、予想通りガラスと同様の、しかし目に見える粗さが確認されました。

この粗さはRaに反映されており、測定されたRaは約0.3 μm で、ガラスのRaよりわずかに高いです。これは、ベッセル半径が大きく、加工に必要なピッチが大きいために原因と思われます。

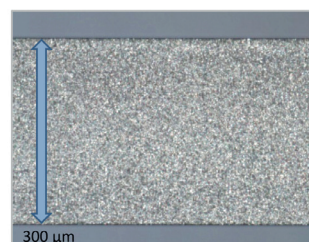


図6. サファイアのクリービング後の端面の断面。光学式プロファイリングツールによる測定で、Raは最大0.3 μm 。

ベッセル領域が狭いため、材料加工に必要なパルスエネルギーは、所定の繰返し周波数で利用可能な最大エネルギーよりもはるかに低くなります。このため、表1に示されるビーム分割を用いた並列加工によりスループットを高くすることができます。

IceFyre 1064-50 レーザーを用いたベッセルビームカッティングは、適切な光学系と加工パラメータにより、様々な薄い透明材料の高速かつ高品質な加工が可能になります。

	シングルビームスループット (mm/s)	シングルビーム出力 (W)	ビーム数 (#)	増加後のスループット (mm/s)
Corning Eagle XG ガラス	100	7	5	500
Corning Willow ガラス	100	4	10	1000
サファイア	1000	13	3	3000

表1. 1列目と2列目は、テストに使用した切断速度とレーザーパワーの一覧です。3列目は、加工PRFでIceFyre 1064-50 レーザーから得られるエネルギーを使用して加工を拡張できるビーム数、4列目は、そのビーム数での並列加工の実効スループットを示しています。

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30W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、400kHz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TimeShift™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と幅広いシリーズを実現しています。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、典型値 (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 - 10 MHz		
パルス幅（FWHM）	<20 ps（典型値 15 ps）		<12 ps（典型値 10 ps）
TimeShift ps	あり		
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		