

IRピコ秒レーザーによる 拡張現実(AR)アイウェア用高屈折率ガラスの切断

拡張現実(AR)や複合現実(MR)の技術は、一部の産業分野では採用が進んでいるものの、一般消費者による利用は未だ限定的なものとなっています。複雑な組み立て作業等における、視界に直接重ねて表示する視覚的補助としての利用などは増加傾向にあります。しかし、より幅広い市場における成長を促進するには、技術的および審美的な改良が必要です。一部のARアプリケーションは、スマートフォンでの利用が可能です。が、端末を手で持たなければならないこと、ディスプレイサイズが比較的小さいこと、ディスプレイを見るために手元の作業から目を離さなければならないことから、その利用分野には限界があります。これに対してメガネ型のARアイウェアは、ユーザーの手だけでなく集中力をも解放する、煩わしさを最小限に抑えたシームレスなディスプレイを提供します。このアプリケーションノートで示すように、ARアイウェア用のレンズ材料のレーザー切断は、このような製品を民生市場に提供するための有望な手段です。

ARアイウェアの課題は、従来のメガネの機能にコンテキストベースのグラフィックスのメリットを組み合わせることです。これを行うには、最初に個別のマイクロディスプレイによってグラフィカルコンテンツを生成し、それを透明レンズに結合して導き、最終的に人間の目に投影する必要があります。このような設計の複雑さが起因して、その視野角(FOV)と本体サイズのトレードオフが原因となり、ARアイウェアの普及は制限されています。高屈折率のガラス材料の継続的な進歩は、導波路を用いたデバイスのFOV拡大とレンズの薄型軽量化を可能にすることで、このトレードオフを解消し、より幅広い消費者獲得に向けた道を開きます。図1は、ARアイウェアの基本設計を示して、高屈折率ガラスのメリットをまとめたものです。しかし、このようなガラスは、より従来型のレンズに対して一般的に用いられるIRピコ秒レーザーを使用しても、良好なエッジ品質を保ちながら切断することは困難とされています。

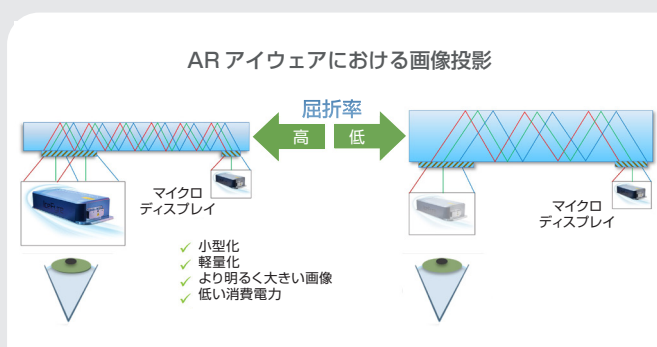


図 1. ARアイウェアにおける画像投影と、高屈折率ガラスを使用するメリット。

MKSのアプリケーションラボのエンジニアは、超短パルス(USP)の赤外線(IR)レーザー「IceFyre® IR50」にベッセルビーム技術を組み合わせることにより、ARアイウェア用高屈折率ガラスの加工を行いました。パルス制御機能「TimeShift™ ps」を適用して標準ガラスや極薄ガラスを切断した過去の取り組み(アプリケーションノート46、54)を基に、今回はこのプロセスを、高屈折率ガラスの小半径の丸みを帯びたコーナー部分の切断に拡張します。また、TimeShift psのさらに高度な機能を使用することにより、切断品質がさらに向上することを示します。

厚さ0.7mm、屈折率約1.8のガラスに対するプロセスパラメータは、過去の取り組みで適用したものに、わずかな調整を加えるだけでした(材料上のパルスオーバーラップなど)。50kHzのパルス繰返し周波数(PRF)で動作して、200mm/sの直線切断速度が得られるように、パラメータを設定しました。これは、より高いPRFでの最大出力を適用すれば、1.6m/s以上に高速化できることを意味しています。小半径の曲線部を加工する際には、パルス間の正しい間隔を維持しつつ、モーションシステムの能力に応じてステージ速度とレーザーのPRFを低下させました。パラメータの微調整後、半径0.5 mmのコーナー部分の切断速度は、2.5kHzのPRFと約0.3Wの出力

で、10mm/sとなりました。図2で示す画像は、ガラスウエハから機械的に分離する前後のコーナー部分です。

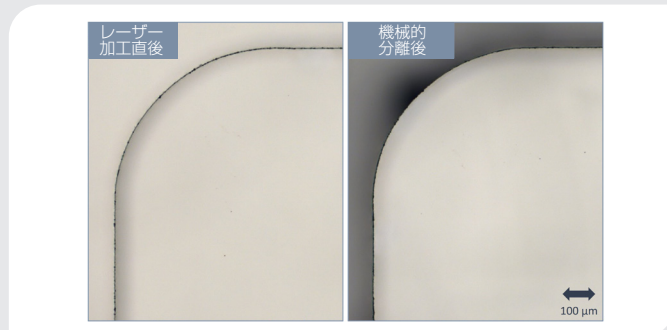


図2. 高屈折率ガラスの半径0.5mmのコーナー部分の加工画像。左は機械的に分離する前、右は分離した後の上面図。

図2の画像は、このプロセスが、直線部分からそのままコーナー部分を通過し、再び直線部分に戻るまで一貫した過程であることを示しています。分離後に測定した、エッジの粗さを表すRa値は約0.6μmで、入射面と出射面のチップングは5μm未満でした。

上記の結果は、ベッセルビームによる曲線パスの卓越した切断を示すものですが、切断品質には、特に切断面の粗さを低減するという点において、さらなる改善の余地と必要性が存在します。これを行うために、TimeShift技術を使用して、バースト内のサブパルス間隔と相対エネルギーの両方を変化させました。ここでは、バーストを構成するサブパルスの数を2個としました。2個は、大半のケースで最適なサブパルス数であることが判明しています。バースト内のサブパルスの間隔時間を、10ns(過去の取り組みで使用した値)から100nsの間で変化させました。ステージ速度は200mm/s、PRFは50kHz、平均出力は約5.5Wなど、それ以外のパラメータは固定としました。加工したサンプルを手作業で分離して、エッジの粗さ(Ra)を測定しました。図3は、その測定値をプロットしたものです。

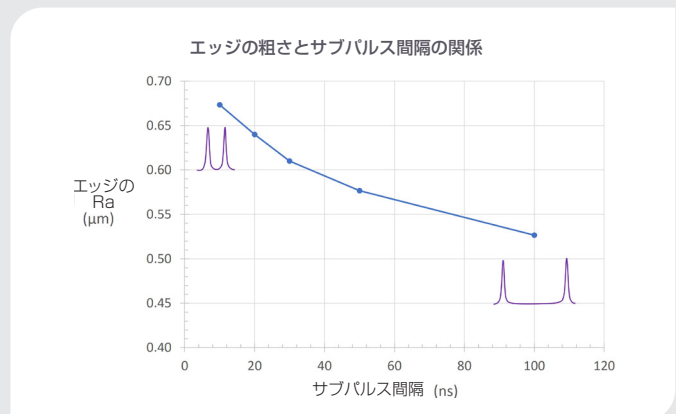


図3. エッジのRa値とバースト内のサブパルス間隔の関係を表すグラフ。間隔時間が長くなるほど、粗さは明らかに低減することが示されている。

図3から、バースト内のサブパルス間隔を長くすることでエッジの粗さが低減することがわかります。Ra値は、間隔時間が10nsの場合は0.67μmであるのに対し、100nsの場合は0.53μmとなります。つまり粗さは、約20%低減します。

さらなる実験として、バースト内の2つのサブパルスのエネルギー比を変えることの効果を調べました。2つめのサブパルスのエネルギーを、1つめのサブパルスのエネルギーの100%から30%まで段階的に低下させます(過去の取り組みで適用したデフォルト値は約70%でした)。それ以外のパラメータは一定としましたが、約500μmという加工深さを固定するために、平均出力だけは必要に応じて調整しました。図4は、得られたデータをプロットしたもので、エッジの粗さと2つめのパルスの相対エネルギーの関係を示しています。両端のプロット点に関しては、加工に用いられた平均出力(Pavg)も記載されています。

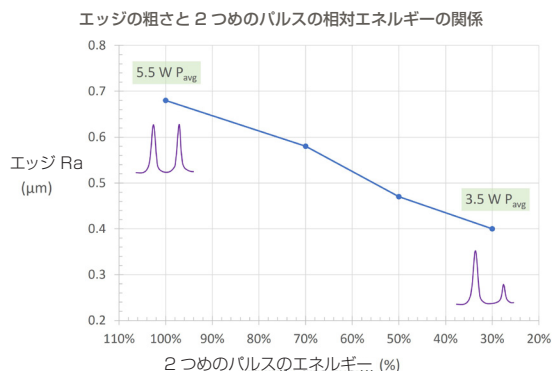


図4. このグラフは、2つめのサブパルスの相対エネルギーを低下させるとエッジの粗さが改善されることを示している。

これらの結果から、2つめのサブパルスのエネルギーを100%から30%に低下させると、エッジの粗さのRa値は約0.7μmから約0.4μmと、約40%低減することがわかります。また、エッジの粗さが低減するとともに必要な出力レベルも低下(5.5Wから3.5W)しており、これは切断品質とスループット向上が両立できることを示唆しています。表面の粗さは、エッジ画像を並べて比較すると一目瞭然であり、粗さ測定値の低下に伴い、全体的にきめ細かな断面が得られていることがわかります(図5)。

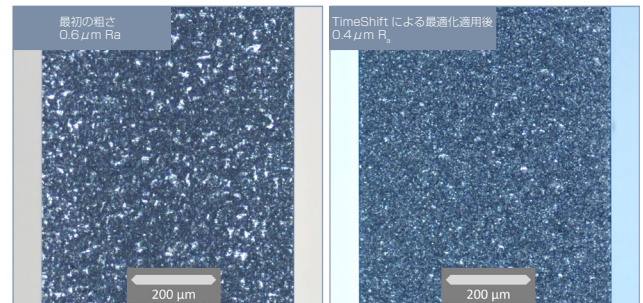


図5. 全厚加工したガラス断面の比較画像。Ra値は、左が0.6μmで、右が0.4μm。

本稿では、IceFyre IR50を使用したベッセルビームによる加工が、ARアイウェア用高屈折率ガラスの切断に適しており、非常に小さな半径の曲線加工にも対応できることを示しました。また、TimeShift psを適用して、バーストエンベロープ内のパルス強度を調整することにより、品質が大幅に改善されて、コストと時間のかかる後処理の必要性が低減されます。これらの手法は、最大限のスループットを維持しつつ、高品質の結果を達成する、きめ細かく調整されたガラス加工を可能にするものです。それは、消費者向けARアイウェアの量産の実現につながります。

製品

IceFyre®産業用ピコ秒レーザー

IceFyre UV50は、市場で最も高性能なピコ秒UVレーザーで、1.25MHzで50Wを超えるUV出力（40 μ J以上）を提供し、バーストモードにおけるパルスエネルギーは数百 μ J、パルス幅は10psです。IceFyre UV50は、その高い出力とシングルショットから10MHzまでの繰返し周波数によって、新たな基準を打ち出す製品となっています。IceFyre UV30は、60 μ Jを超えるパルスエネルギー（バーストモードではそれ以上）で、30Wを超える標準UV出力を提供し、シングルショットから10MHzの範囲で卓越した性能を示します。IceFyre IR50は、400kHzのシングルパルスで50Wを超えるIR出力を提供し、シングルショットから10MHzの範囲で優れた性能を示します。

IceFyreのレーザーには、ファイバレーザーのフレキシビリティとSpectra-Physics独自のパワーアンプ機能を活用して、業界で最も高い汎用性を備えたTimeShift™ psプログラマブルバーストモード技術を実現する、ユニークなデザインが採用されています。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、ポリゴンスキャナを使用している場合など、高速走査速度での高品質処理において、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) および位置同期出力 (PSO) のトリガーが可能です。

	IceFyre IR50
波長	1064 nm
出力	>50 W @ 400 kHz
最大パルスエネルギー標準値（TimeShift psを使用する場合は、バーストエネルギーをさらに高くすることが可能）	>200 μ J @ 200 kHz
繰返し周波数範囲（FWHM）	シングルショットから10MHz
パルス幅	<15 ps（典型値：13 ps）
TimeShift ps	搭載
パルスエネルギー安定性	<1.5%, 1 σ
出力安定性（ウォームアップ後）	<1%, 1 σ , 8時間以上
空間モード	TEM00 (M2 <1.3)
ビーム径 (D4 σ)	3.0 mm $\pm$ 0.3 mm
ビーム拡がり角（全角）	<0.75 mrad
偏光	>100:1（垂直）