

高出力グリーンDPSSレーザーによる アルミナセラミックの切断およびスクライビング

セラミックは、過酷な環境で使われるプリント回路基板（PCB）や放熱量の高いLEDパッケージなどの用途のほか、インプラントや医療機器といったバイオメディカルの分野で一般的に使用されています。硬度が高く、化学的に不活性で、過酷な高温環境における耐久性が一般的に高いことから、多様な業界にわたる優れた選択肢となっています。セラミック部品を製造する際には、切断、スクライビング、穴あけなどのレーザー加工が一般的に使用されるため、市場で提供されているさまざまなレーザー技術の影響を理解しておくことが有益です。

焼結酸化アルミニウム（ Al_2O_3 、「アルミナ」）は、広く用いられる工業用セラミックですが、レーザー加工には様々な課題があります。まず、アブレーション閾値が高く、材料を効率的に除去するには高いフルーエンスが必要になります。また、非常に脆いため、薄い基板は過度に加熱すると破損してしまいがちです。最後に、アルミナは比較的高価であることから、加工溝幅を狭くして配置密度を高くすることが望ましいですが、そうするとその脆さが、深刻な歩留まりと製造コストの問題につながる恐れがあります。こうした課題を克服するためのよく知られたアプローチが、ナノ秒パルスのLD励起固体（ns DPSS）レーザーを、特にグリーンとUV（紫外線）波長で使用するという方法です。

アルミナの加工に対してUVレーザーは、グリーンレーザーに勝るいくつかの利点を備えます。バインダー材料における吸収率が高いために、アブレーション効率を高めることが可能で、スポット径が小さくレイリー長が長いことは、密度とアスペクト比の高いフィーチャの加工に好都合です。しかし、その一方でグリーンレーザーはUVレーザーよりも出力が高く、全般的なコスト（初期コストと所有コスト）が低いことから、競争力のある選択肢となっています。

MKS Spectra-Physics® Talon® ナノ秒DPSSレーザープラットフォームは、グリーンとUVの両方の波長において、工業用セラミックの切断とスクライビングに対する優れた品質とスループットを示すことが実証されています（アプリケーションノート36）。このデータを拡張することを目的に、グリーンナノ秒レーザー「Talon GR70」を使用した実験を行いました。Talon GR70は、ナノ秒レベルの短いパルス幅を備え、275kHzのパルス繰返し周波数（PRF）で70Wを超える平均出力を供給し、60Wを超える出力を最大700kHzまで維持します。今回の実験ではこのレーザーの出力を、 $f\theta$ レンズ（ $f=100\text{mm}$ ）によって約 $16\mu\text{m}$ （ $1/e^2$ ）のスポット径にまで集光し、切断とスクライビングは、高速マルチパス処理を使用して行いました。走査速度は4m/sとし、パスの回数を変えることによってスクライブの深さを制御しました。

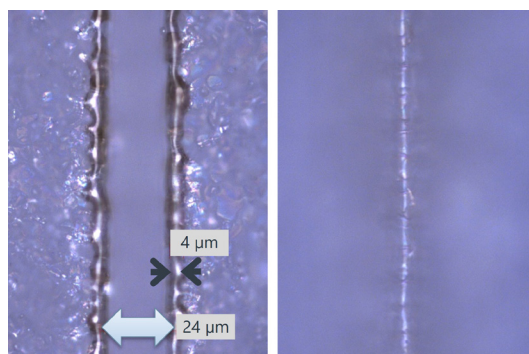


図 1. スクライブの上面の様子（左）と下面の様子（右）。スクライブ幅は24 μm 、熱影響部（HAZ）の幅は4 μm 。スクライブ底面の画像は、溝が滑らかで深さが均一であることを示している。

レーザーの出力を65W、PRFを500kHzとして、130 μJ のパルスエネルギーで、厚さ200 μm のアルミナプレートのスクライブを行いました。図1は、4m/sの速度で走査を10回繰り返すことによって処理した（正味速度は400mm/s）、深さ25 μm 、幅24 μm のスクライブ加工の結果を示しています。スクライブの周囲にデブリはほとんどあるいはまったく存在せず、熱影響部（HAZ）は最小限で、一貫して5 μm 未

満となっています。また、スクライブの底面は滑らかで深さは均一となっており、走査速度とPRFの組み合わせが最適であったことを示しています。

アルミナプレートを完全に切断するには、一定の横方向間隔で隣接して平行にスクライブして、溝幅を広げる必要がありました。この処理により、スクライブの深さが深くなるにつれて低下するスクライブ効率（走査あたりの深さ）を補うことができます。深さが深くなるほどスクライブ幅は狭くなる（「テーパー」（先細り）現象）という自然な傾向に基づいて、隣接するスクライブラインの数も、このテーパー形状に合わせて（中央から外側に向かって）減らしていくことが可能です。MKS Spectra-Physicsによって改良されたこのテーパーマッチング技術は、最も外側の走査を徐々になくしていくことにより、溝が深くなるにつれてアブレーションする側壁材料を減らしていくことで、全体的なスクライブ効率を向上させます。

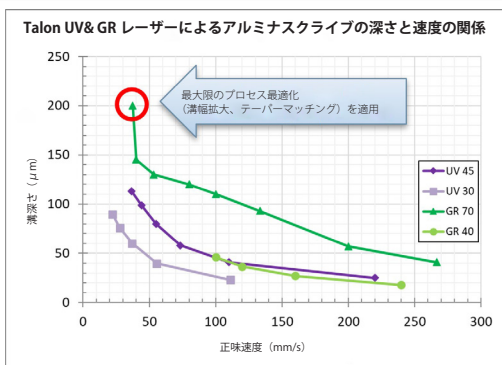


図2. 4種類の異なるTalon レーザー（UV30、UV45、GR40、GR70）の溝深さと正味処理速度の関係。Talon GR70は正味速度が著しく向上しており、厚さ200 μm のアルミナの切断に対して37.5mm/sの速度を達成することが、グラフから見てとれる。

図2は、複数の異なるナノ秒DPSSレーザーの溝深さと正味速度の関係を比較して示したものです。Talon GR70のスループットが、同じTalonシリーズのそれよりも低出力のグリーンレーザーや、出力レベルが30Wと45WのUVレーザーと比べて、劇的に高いことが明らかとなっています。赤い丸印の部分は、溝幅拡大とテーパーマッチングを組み合わせることで最大限の最適化を適用

し、厚さ200 μm のアルミナプレートを37.5mm/sの正味速度で完全に切断した場合の結果を示しています。この最適化により、同じ正味速度のTalon UV45による結果と比べて、2倍の深さが達成されています。それ以外のデータ点はすべて、溝幅拡大やテーパーマッチングなしで、走査を複数回繰り返した場合のスクライブ深さを表しています。

Talon GR70のスクライブ深さが、より低出力のグリーンレーザーやUVレーザーと比べて大幅に向上している理由は、平均出力が高いことだけでは説明できません。例えば、正味速度が100mm/sの場合、出力を65Wに設定したGR70は、GR40およびUV45と比べて、平均出力はそれぞれ1.63倍と1.44倍ですが、スクライブ深さはほぼ2.4倍になっています。平均出力以上に効率が向上している理由は、PRFが高く（3.3倍）、パルス幅が長い（2倍）ことによるものと考えられます。それによって材料はさらに高温に加熱され、材料の破壊やHAZの拡大といった熱応力の問題が回避できるレベルの材料温度が維持されるのであれば、より高い温度にまで材料を加熱することは、スループットを高める上で有効です。興味深いことに、UV45と比較した場合のGR70の深さの利点は、スクライブが深くなるほど低下していきます。おそらくこれは、より短いUV波長の方がレイリー長が長いからです。長いレイリー長は、より高いアスペクト比のフィーチャの加工に効果的です。

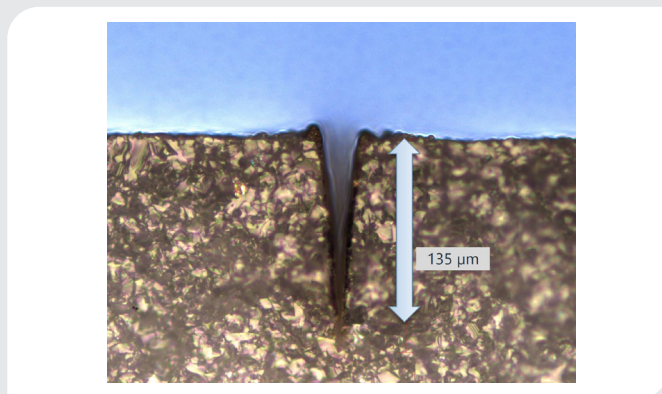


図3. 深さ135 μm で高アスペクト比 (5:1) のスクライブの断面図。スクライブ溝に蓄積するデブリは最小限で、HAZが小さいことが示されている。後処理やクリーニングは一切適用していない。

深く高アスペクト比のスクライブを、セラミックに行うことは困難です。側壁の傾斜が急峻であるためにフ

フルーエンスが低下することと、デブリの排出が難しいことが、その理由の一部です。スクライブが深くなるほどデブリは蓄積しやすくなり、アブレーションを抑制して最終的に失速させる要因になります。Talon GR70によって生成された比較的深いスクライブの断面図を見ると、全体的なアスペクト比は5:1で、テーパ角度が一貫して6°であることがわかります（図3）。後処理を適用していない、加工したままの状態のスクライブとしてこの品質は素晴らしく、HAZが小さく、残余デブリが最小限であることを示しています。

アルミナのような工業用セラミックは、好ましい材料特性を備えることから、医療機器から電子部品パッケージにいたるまでの多数の用途に使われていますが、その加工には複数の課題が伴います。アルミナは、アブレーション閾値が高いために高いレーザーフルーエンスが必要で、熱応力によって破損しやすいという性質があります。本稿では、Talon GR70がアルミナ加工に対する優れた選択肢であることを実証する試験結果を示しました。Talon GR70は、高いスループットで卓越した品質を達成することが可能で、低出力のグリーンレーザーやUVレーザーをはるかに上回るパフォーマンスを発揮します。スクライブ結果には、溝の底面が滑らかで、デブリの堆積がほとんどあるいはまったくないことが示されています。溝幅の拡大やテーパマッチングの最適化を適用することにより、厚さ200 μ mのアルミナプレートに対して37.5mm/sの正味切断速度を達成することができました。

使用した製品アプリケーションパフォーマンスの概要は以下のとおりです。

- 業界をリードするコストパフォーマンスを誇るTalon GR70ナノ秒レーザーは、アルミナのスクライビングと切断に対して、高いスループットで優れた品質を実現します。
- Talon GR70の高PRFの最適化ポイント（275kHzで70W、60Wを超える出力を最大700kHzまで維持）は、セラミックの微細加工をさらに高速に行うために理想的です。
- Talon GR70は優れたパルス間安定性によって、各パルスで最適なフルーエンスを生成して卓越した品質を達成することが可能で、非常に高いパルスレートによってスループットを上げることができます。
- Talon GR70はスループットが高いため、より低出力のグリーン／UV DPSSレーザーと比べて、その出力比を上回るパフォーマンスを発揮します。
- 全般的なメリットとして、工業用セラミックの高品質レーザー加工という難しい処理に対して、コストパフォーマンスに優れた生産性の向上を実現します。

製品

Talon® UVおよびグリーンレーザー

Talonレーザープラットフォームは、ハイパフォーマンス、信頼性、低コストをこれまでにないレベルで兼ね備えた、UVおよびグリーンのLD励起固体（DPSS）Qスイッチレーザーファミリーです。Spectra-PhysicsのIt's in the Box™デザインに基づき、レーザーとコントローラーが一つのコンパクトなパッケージに一体化されています。パルス間の安定性が高く、優れたTEM₀₀モード品質が数万時間に及ぶ稼働時間にわたって維持されます。Talonレーザ

ーは、システムのアップタイムが非常に重要となる、24時間連続稼働の製造環境における微細加工向けに特別に設計されています。以下の表に示すように、Talonポートフォリオ全体で、幅広い出力と波長に対応する製品が取り揃えられていることは大きな利点です。Talonは、圧倒的なコストパフォーマンスを誇り、機能、パフォーマンス、信頼性を損なうことなく、業界最低水準の所有コストを実現します。

	Talon UV45	Talon UV30	Talon UV20	Talon UV15	Talon UV12	Talon UV6	Talon GR70	Talon GR40	Talon GR20
波長	355nm	355nm	355nm	355nm	355nm	355nm	532nm	532nm	532nm
出力 ²	>30W @100kHz	>15W @50kHz	>10W @50kHz	>15W @50kHz	>12W @50kHz	>6W @50kHz	>70W @275kHz	>20W @50kHz	>20W @50kHz
	>45W @150kHz >35W @200kHz	>30W @100kHz >23W @200kHz	>20W @100kHz	>13W @100kHz	>10W @100kHz	>4W @100kHz		>40W @100kHz >36W @200kHz	>18W @100kHz
	>23W @300kHz	>17W @300kHz	>11W @300kHz	>3W @300kHz	>3W @300kHz	>1W @300kHz		>30W @300kHz	>13W @300kHz
繰返し周波数	0-500kHz						0-700kHz	0-500kHz	
パルス幅	<35ns @150kHz	<25ns@100kHz					<43ns @550kHz	<25ns@100kHz	
パルスエネルギー安定性	<2% rms @150kHz	<2% rms@100kHz(典型値)				<2% rms @50kHz (典型値)	<3% rms up to 550kHz	<2% rms@100kHz (典型値)	
	<3% rms up to 300kHz <5% rms above 300kHz	<3% rms up to 150kHz <5% rms up to 300kHz(典型値)						<3% rms up to 300kHz <5% rms above 300kHz	

		Talon HE UV500	Talon HE UV275	Talon HE GR1000
波長		355nm	355nm	532nm
出力 ²	15kHz	—	—	15W(典型値)
	20kHz	>10W	5.7W(典型値)	>15W
	40kHz	7.7W(典型値)	>11W	13W(典型値)
	100kHz	4.2W(典型値)	5.9W(典型値)	10W(典型値)
繰返し周波数		0-150kHz		
パルス幅		25-40ns@20kHz	40-60ns@40kHz	25-40ns@20kHz
パルスエネルギー安定性		<3%rms		