

フェムト秒レーザーのバーストモードによる多結晶ダイヤモンド加工

mks | Spectra-Physics®

マイクロマシニング分野におけるフェムト秒 (fs) レーザーの利用は著しく増加しており、fsレーザーの潜在能力が注目されています。今日のfsレーザーは、FPD用ガラスおよびフィルムの切断や穴あけ、インプラント機器の切断、太陽電池のアブレーションとスクライビング、そして各種材料の表面構造加工など、幅広い用途に使用されています。超高品質プロセッシングへの流れと共に、高いプロセススループットへの要求が高まり、その結果、最新の機能を備えた高出力かつパルス幅の短いフェムト秒レーザーのニーズが増えています。そして現在、繰返し周波数最大10 MHz、出力100 W超のfsレーザーが市販で入手できます。

超高品質の精密加工が要求される場合、高出力fsレーザーのアブレーションは、ミリング、研削、放電加工などの従来型の非レーザー加工に代わる大変有効な手段となっています。しかしNeuenschwander他の研究から、材料を効率的に除去し、周囲の材料への熱損傷を抑える最適なフルエンスが存在することが示されています。同研究では、この最適フルエンスは、閾値フルエンスの $\sim e^2$ 、ほとんどの材料で $\sim 1 \text{ J/cm}^2$ であることが証明されています。このデータを考慮すると、スポットサイズの拡大、および/またはパルスの低エネルギー多パルスへの分割（バーストパルス）、またはスポット数の増加（パラレルプロセッシング）により、高エネルギーパルスの効率的な利用が可能になります。

Spectra-Physics® Spirit® 1030-100レーザー（図1）は、波長1030 nm、パルス幅400 fs未満でパルスエネルギーが100 μJ 超、平均出力が100 W超、そしてバーストモード運用が可能です。

バーストモード運用の場合、パルスを複数に分割することで、バーストエンベロープを形成できます。



図1 Spectra-Physics® Spirit®高エネルギー産業用フェムト秒レーザー

そしてバーストエンベロープ内の各パルスの強度を変動させられます。図2(a)に、Spirit 1030-100レーザーのバーストパルスを示します。バーストエンベロープ内の5番目のパルスの強度は0%に設定されています。図2(b)にバースト形成の例を示します。

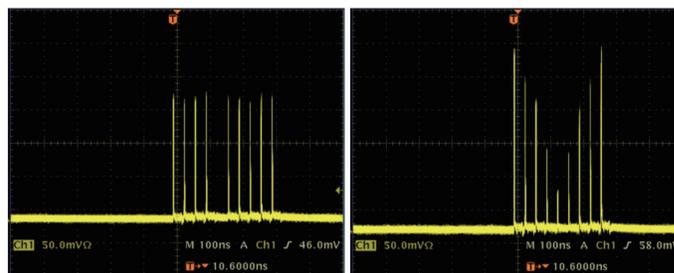


図2 (a)は、Spirit 1030-100レーザーのバーストパルスを示す。バーストエンベロープ内の5番目のパルスの強度は0%に設定され、図2(b)は、バースト形成の例を示している。

バーストモード運用の影響を調査するために、Spirit 1030-100レーザーのバーストモードを用いて超硬材料である多結晶ダイヤモンド (PCD) のアブレーションレートとアブレーション効率を特性化しました。この実験は、PCDのミリング加工における容積の測定、加工ポケット深さの測定、容積アブレーションレートと効率性の決定から構成されます。変数にはバーストエンベロープのパルス数と、平均出力（平均パルスエネルギー）が使用されまし

た。繰返し周波数は1 MHzに固定、またスポットサイズと走査速度は一定に維持され、パルスオーバーラップは50%です。図3に、シングルパルス、5パルスバースト、9パルスバースト運用の平均出力に対する容積アブレーションレートの最終的な依存性を示しています。図では、バーストモードの運用により、出力レベルの上昇と共に、最適フルエンスの維持に必要なアブレーションレートの上昇が起こっています。平均出力100 Wで、シングルパルスの場合に対して、9パルスバーストでアブレーションレートの倍増が認められます。平均出力を正規化した図4では、シングルパルス、5パルスバースト、9パルスバースト運用における、アブレーション効率と平均出力を示しています。最適アブレーションレートは、バーストエンベロープ内のパルス数を増やした、平均出力の高い状態で取得できることが分かります。試験の結果から、バーストモードを用いた加工が材料の除去レート向上に有利であることが証明されます。

まとめると、Spectra-Physics Spirit 1030-100レーザーは、シンプルに、時間領域内におけるパルス強度の調整能力が優れており、このアプローチはPCDの材料除去レートやその効率を倍増させられることが証明されました。

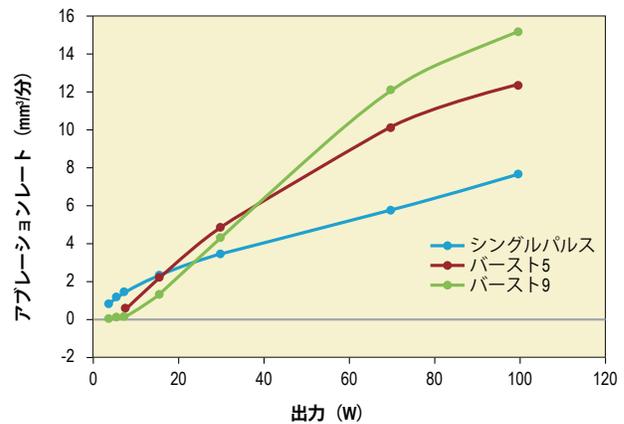


図3 シングルパルス、5パルスバースト、9パルスバースト運用のPCDの容積アブレーションレートと平均出力

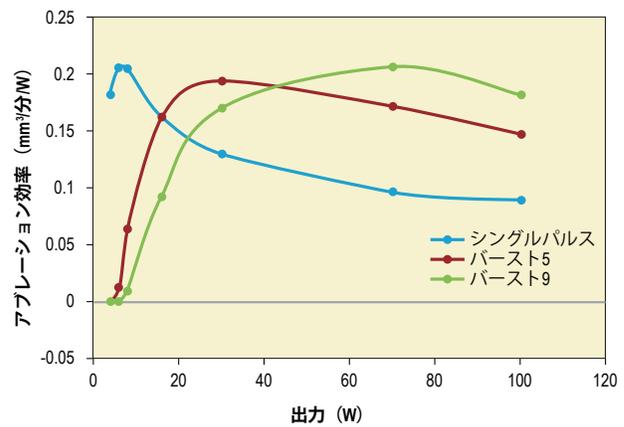


図4 シングルパルス、5パルスバースト、9パルスバースト運用のPCDのアブレーション効率と平均出力

製品: SPIRIT® 1030-100, 1030-70, 515-50

Spirit 1030-100、1030-70および515-50は、高精度の産業用製造におけるフェムト秒レーザーの新たなスタンダードとして位置づけられます。このレーザーの持つ高出力、高いパルスエネルギー、高繰返しはスループット向上させます。また、このレーザーの持つ産業用としては最も短いパルス幅、かつ優れたビーム品質は複雑な難加

工材料に対して高精度、高品質、熱影響(HAZ)の無い加工を高スループットで実現します。Spirit 1030-100、1030-70、および515-50は、産業用に設計されており、かつてないコストパフォーマンスで信頼性が高く、堅牢な24時間年中無休の運用を提供します。

	Spirit 1030-100	Spirit 1030-70	Spirit 515-50
仕様			
波長	1030 nm ± 5 nm		515 nm ± 3 nm
出力	>100 W	>70 W	>50 W
パルスエネルギー	>100 μJ	>70 μJ	>50 μJ
繰返し周波数	1–30 MHz		
パルスセレクション	内蔵パルスピッカー (AOM) にてシングルショット - 2MHzまで選択可能		
パルス幅	<400 fs		
出力安定性	<1% rms 100時間以上		
パルス - パルス安定性	<2% rms		
空間モード	TEM ₀₀ (M ² < 1.2)		
ビーム径	2.5 mm ± 0.5 mm		
ビーム拡がり角 (全角)	<1 mrad		<0.5 mrad
バーストモード	>100 μJ/burst		—
プリパルス消光比	>250:1		
偏光	水平		
コールドスタート時間	30分以下		
ウォームスタート時間	15分以下		