

高出力ピコ秒レーザーによる SiCスクライビングとTimeShiftの プログラマブルなパルス制御の優位性

半導体基板材料であるシリコンカーバイド（SiC）は、従来のシリコンエレクトロニクスに勝る多くのメリットを、電気自動車（EV）やパワーエレクトロニクスの用途にもたらすため、それらを扱う製造業者の間で高い関心を集めています。しかし、SiCは、材料特性がシリコンとはまったく異なるため、現行のIC製造プロセスの多くは、SiCに対して同じようには機能せず、まったく適用できない場合もあります。

シングュレーション（ウエハのダイシング）は、その代表的な例です。シリコンウエハのシングュレーションのための主流の手段である機械的切断は、SiCに適切に適用することはできません。問題の1つは、SiCが最も硬い材料の1つで、ダイヤモンドとほぼ同じくらい硬いことです。その結果、SiCを切断すると切削片（チップ）が生じ、高価なダイヤモンド製の鋸刃がすぐに摩耗し、切断速度は比較的遅く、熱が生成されます（熱は材料特性に影響を与える恐れがあります）。

このアプリケーションノートでは、そうした課題を克服してSiC材料を加工するためのソリューションを提供することを目的に、当社の最新レーザー技術を適用する際のテクニックを紹介します。

非接触のレーザー切断は、SiC加工に対する魅力的な代替手段です。理想的なレーザープロセスを適用すれば、エッジのチッピングを減らすか、なくすことができ、材料の機械的変化（亀裂、ストレス、またはその他の欠陥）は最小限に抑えられます。加えて、カーフ幅を最小限にして「ストリート」（隣接回路の間の空き領域）のサイズを小さく抑え、ウエハあたりのダイ数を最大化することができます。超短パルス（USP）

レーザー、特に紫外線（UV）波長のものは、硬質、透明、または脆性材料の高精度な切断とアブレーションに対して、まさにそのようなメリットをもたらすことが知られています。しかしそれと同時に、短いパルス幅と短い波長を組み合わせると高いスループットを達成するのは、難しい可能性があります。

このような考察に基づき、ピコ秒レーザーMKS Spectra-Physics® IceFyre® UVによるSiCの切断プロセスを最適化するための実験が行われました。特に、TimeShift™によるプログラマブルなバーストパルス最適化の効果が調査されました。

実験サンプルには、厚さ340 μmの4H-SiCを使用しました。IceFyre UV50のプログラマブルなバーストパルス機能を使用して、シングルパルスからパルス数12個のバーストモードまでのパルス設定で、さまざまなスクライプ加工を行いました。

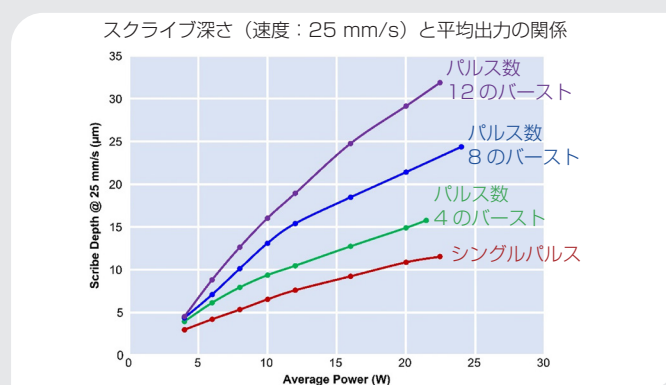


図 1. 25 mm/sの正味速度におけるスクライプ深さを、シングルパルスとさまざまなバースト設定（サブパルス数：4～12個）の出力の関数としてプロットした様子。バーストパルスによってアブレーション速度は明らかに向上します。

全体的な結果を図1に示します。図1は、さまざまなバーストパルス設定について、スクライプ深さをレーザー平均出力の関数としてプロットしたものです。各実験において、材料上の同じ箇所を合計80回の高速パスでスクライプしました。このレーザーのプログラマブルなバーストパルス制御能力により、個々のバーストパルスの加工面上の配置（全体的なパルスの重なりなど）をきめ細かく制御することができます。ここでは、パルスの実質的な空間的重なりは約84%でした。それよりも重なりが少ない複数のパスを千鳥状に配置することによって、これが達成されています。

このデータは、バーストモードを適用するとアブレーション速度が著しく向上することを明らかに示しています。その結果は、他の材料に対してバーストモードを適用した場合や、他のパルス幅を適用した場合と一致しています。

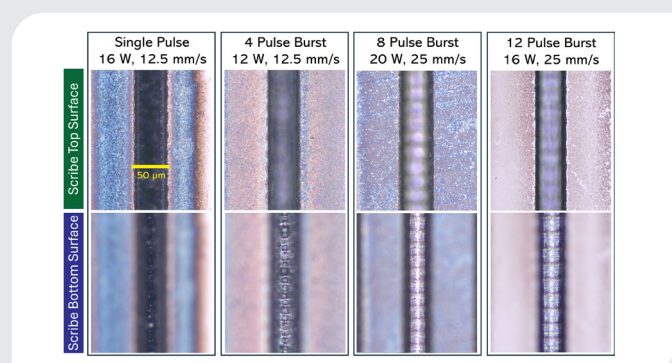


図 2. 深さ25μmの溝の上面と底面の顕微鏡画像。バーストのパルス数が増えるにつれて、スクライプ品質が着実に向上する様子が示されています。

スクライプ結果を定性的に評価するために、図2に示す一連の写真を撮影しました。写真は左から順に、パルス数1個、4個、8個、12個のバーストパルス設定で作成した、深さ25μmの溝です。レーザー平均出力と正味速度は、各ケースで（深さ25μmにおいて）最大限の品質が得られるように、調整しました。

上列の写真は、顕微鏡の焦点をウエハの上面に合わせたもので、下列の写真は、スクライプ部の底面に合わせたものです。バーストを構成するサブパルス数の増

加に伴って、全体的なフィーチャ品質は明らかに向上しています。特に注目すべき点は、スクライプ部周辺の変色部分が、サブパルス数の増加とともに徐々に縮小して、やがては完全になくなることです。この種の変色は一般的に、表面またはバルク材料の何らかの変化、おそらくは材料が過度に加熱されたことによる表面の酸化を示しています。

図3の写真は、一連のスクライプ部の底面のみを拡大して示したものです。ここでは、平均出力16W、正味走査速度25mm/sという同じレーザー動作条件で、各スクライプ加工を行いました。それぞれのスクライプ深さは、図に示されているとおりです。

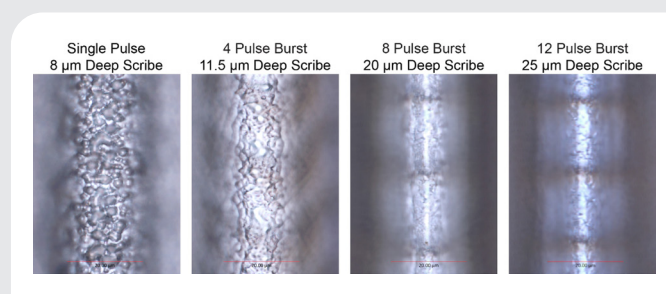


図 3. ピコ秒UVレーザーによって得られる優れた加工面品質を示す画像。バーストのパルス数を増やすことの利点が、ここでも明らかに見てとれます。

より解像度の高いこの画像には、パルス数の増加とともに表面の滑らかさが向上する様子がさらに顕著に示されています。注目すべき点は、平均出力と全体的な加工速度を一定にした状態で、パルス出力をTimeShift機能によって最適化すると、スクライプ深さが3倍になったことです。

今回の実験は、UVピコ秒レーザーによってSiCウエハの非常に高品質なスクライプ加工が可能であることを示しています。また、TimeShiftバーストパルスプログラミングのメリットを、はっきりと証明するものです。特に、バーストのパルス数を増やすと、スクライプ品質とフィード速度の両方が向上することが実証されています。これは、TimeShift機能を持つIceFyreピコ秒レーザーによるSiCのスクライプ加工が、費用対効果の高い形で製造現場に導入するために必要なスループットと品質の両方を兼ね備えていることを示しているため、有望な結果であるといえます。

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（40μJ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μJ、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、60μJ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3MHz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柔軟性と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 UV50	IceFyre UV30	IceFyre GR50	IceFyre IR50
波長	355nm		532nm	1064nm
出力	>50W @ 1250kHz	>30W 典型値 @ 500kHz >25W @ 800kHz >20W 典型値 @ 1MHz	>50W @ 500kHz	>50W @ 400kHz
最大パルスエネルギー典型値 (TimeShift psを使用する場合は、バーストあたりのパルスエネルギーをさらに高くすることが可能)	>40μJ @ 1250kHz	>60μJ 典型 値@ 500kHz >31μJ @ 800kHz >20μJ 典型値 @ 1MHz	>100μJ @ 500kHz	>200μJ @ 200kHz
繰返し周波数	シングルショット~10MHz			
パルス幅 (FWHM)	<12ps (10ps 典型値)		<15ps (13ps 典型値)	
TimeShift ps	搭載			
パルスエネルギー安定性	<2.0%, 1 σ			<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			