

UVフェムト秒レーザーによる 有機ELスマートフォンディスプレイの切断

有機EL（有機発光ダイオード）技術はこの数年間で、ディスプレイ業界に革命をもたらしました。この技術の進歩と、有機ELディスプレイのコントラスト、解像度、色域、耐用期間、電力効率の継続的な向上に伴い、テレビ、ノートPC、スマートフォン、ウェアラブル機器などのデバイスにおいて、古いディスプレイ技術が有機ELに急速に置き換えられています。また、さらに薄く、フレキシブルで、折りたたみ可能な透明スクリーンに対する需要が続く中、新しい製造手段の探求も続いています。有機ELディスプレイは、微細で繊細な回路で構成されるため、熱影響部（HAZ）を無視できるレベルに抑えながら、狭いカーフ幅を実現することが、その製造の主要な課題の1つになります。

有機ELディスプレイには、（ガラス基板上に有機EL構造を積層する）リジットと、（ポリマー基板を使用する）フレキシブルの2つのタイプがあります。重要な加工として、有機EL発光体をディスプレイ外形に切り抜く処理や、有機EL積層構造全体を貫通する穴をあける処理などがあります。有機EL積層構造は、基板層、有機EL発光層、偏光層、タッチセンサー層、保護層という複数の層で構成されます。その大半がポリマー材料でできており、最も一般的な材料としては、ポリエチレンテレフタレート（PET）やポリイミド（PI）があります。各層の厚さは数ミクロンから100 μm で、積層全体の厚さは一般的に300～500 μm です。一部の層は、光学透明粘着剤（OCA）によって互いに接合されています。この積層構造は一部の層が脆いために、機械的に切断するとエッジ部分が破損する問題があり、工具が摩耗するとこの問題はさらに深刻になります。同様に、パルス幅が長いレーザーで切断すると、HAZが大きくなるなどの品質上の問題が生じます。また、積層構造を構成する層によって光学特性が異なるために、IRやグリーン波長のレーザーで切断する場合も、レーザーのパルス幅が超短パルス（USP）の範囲にあったとしても、問題が生じる恐れがあります。

当社は、短いUV波長とUSPの両方を適用することが、このような薄膜構造の切断に最適なのではないかと考えました。超短パルス幅によってHAZが抑えられることに加えて、UVレーザーの短い波長によって、積層を構成する多様な材料にパルスが吸収されやすくなり、より小さな集光スポット径によって、よりクリーンで狭い切断幅が得られます。また、集束されたUVビームの広がり角が小さいことも、厚みのある有機EL積層構造の切断に有効です。切断カーフ幅を広げる要因となる、追加のパスが不要になるためです。

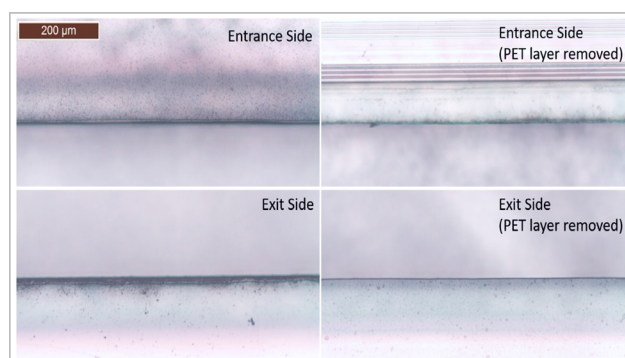


図 1. Spectra-PhysicsのIceFyre FS UV50フェムト秒レーザーのマルチパスモードで切断した、厚さ約375 μm の有機EL薄膜積層構造の顕微鏡画像。正味（実効）切断速度は約133 mm/sだった。

MKSのアプリケーションラボのエンジニアは、有機EL薄膜構造の切断に対する、フェムト秒UVレーザーの上述のメリットを検証するために、Spectra-Physicsの高出力フェムト秒UVレーザー「IceFyre® FS UV50」を使用して、厚さ約375 μm 、6インチのスマートフォン用フレキシブル有機ELディスプレイを切断する試験を行いました。この試験では、両面にPET保護層を有する、完全なディスプレイの切断前のパネルの状態の有機EL材料を使用することにより、携帯端末製造で実際に行われるのとまったく同じ切断工程を再現しました。図1は、切断部の顕微鏡画像で、優れた表面品質が示されています。

マルチパス切断モードにおいて、2 MHzで40 Wを超えるレーザー出力を適用したところ、約133m/秒の有効な加工速度でこの薄膜構造を切断することができました。注目すべき点は、このレーザーの公称動作周波数である1 MHzの2倍の周波数を適用しても、十分な出力が得られることです。その出力は、スループットと品質の両方を同時に最適化するために重要です。HAZがわずか5~10 μm (出射面ではさらに小さい)のクリーンな切断部は、このような複数層からなる難しい薄膜積層構造の切断に対して、IceFyre FS UV50が適していることを示しています。

図2は、切断部の断面画像です。この図は、すべての層にわたる切断加工の品質を示すものです。滑らかな側壁と、溶融、剥離、OCA(optically clear adhesive;光学的に透明な接着剤)の滲み出しの痕なくすべての層が均一に切断されていることが、有機EL積層構造の切断に対してIceFyre FS UV50が理想的な選択肢であることを裏付けています。

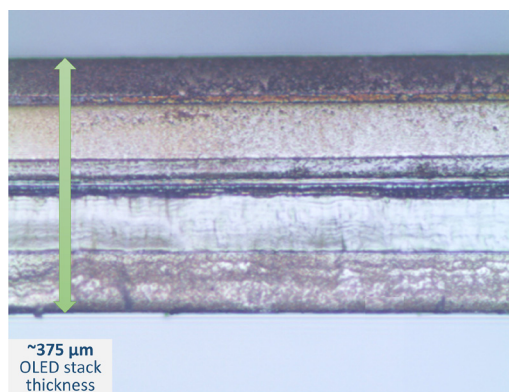


図2. Spectra-PhysicsのIceFyre FS UV50フェムト秒レーザーのマルチパスモードで切断した、厚さ約375 μm の有機EL薄膜積層構造の断面図の顕微鏡画像。

上記の初期試験は、短い切断長のみを対象としたものでしたが、かなり有望な結果が得られました。続いて、2軸ガルバノスキャニングシステムを使用して、さらなる試験を行いました。このシステムは、より長い焦点長と大きな走査範囲を備え、切断パス全体を網羅できるため、このレーザーの高いパルス繰り返し周波数(PRF)における高い出力を有効に活用して、有機ELディスプレイ全体を高速なマルチパスプロセスで切断することができます。また、一連のフルーエンスに対する切断速度を測定しました。これは、ビーム分割の可能性を考慮に入れるなど、システム設計の観点からスループットをさらに最適化するために役立ちます。図3は、一連のフルーエンスに対する切断速度と表面のHAZの幅をプロットしたグラフです。

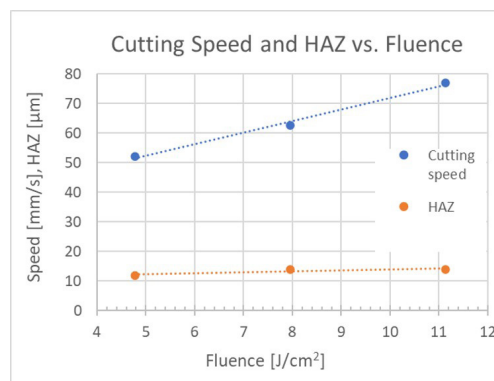


図3. 有機EL薄膜積層構造の切断速度およびHAZとUVビームフルーエンスの関係。

このデータから、フルーエンスが高いほど切断速度は高くなりますが、比例して高くなるわけではないことがわかります。実際、フルーエンスを2.3倍にしても、切断速度は約1.5倍にしか増加しません。したがって、フルーエンスを抑えた方が効率は高く、ビーム分割を行うシステム設計を採用することにより、全体的なスループットを最大化できることが明らかです。また、品質面においても、フルーエンスが低い方がHAZの測定値が低くなる傾向にあり、複数の低出力ビームによる加工が効果的であることを示しています。これらの試験データに基づき、複数の低出力ビームを使用することによってスループットを大幅に向上させることが可能で、図4はその結果を示したものです。

図4から、1本の高出力ビームを、3ビーム構成に変えると、全体的な切断速度は160 mm/s近くまで増加することがわかります。良好な切断品質を切断部全体で維持することも不可欠です。図5に示すように、表面のHAZは切断部の外周全体で一様に小さく、PET保護層を除去した後の最終的なディスプレイ表面では特に、それが顕著に示されています。

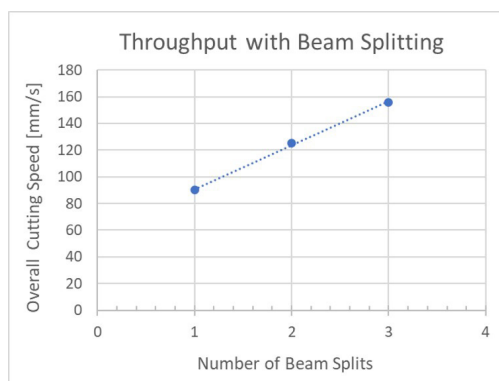


図4. ビーム分割により、広範囲を走査するガルバノメーターに基づく切断システムの全体的なスループットを高めることができる。

四隅と直線部分の両方を検査したところ、短い切断長に対して最初に示されていた優れた品質が、それよりも大きなフルサイズの有機EL切断部においても得られていることが確認できました。外側のPET保護層において、HAZは一般的に10~20 μm でした。PET層を除去すると、ディスプレイの外側表面上のHAZは一様に5~10 μm 以下となりました。これらの値は、HAZが一般的に最大となるレーザー入射面で測定されたもので、出射面のHAZはそれよりもはるかに小さくなります。

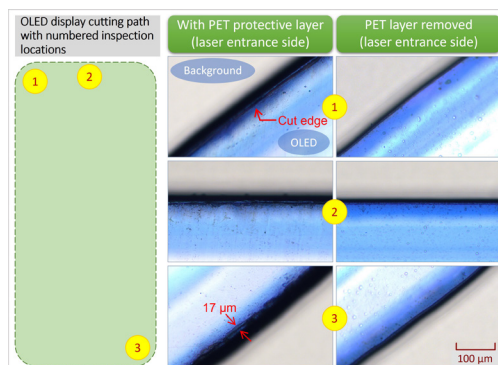


図5: 有機ELディスプレイの切断パスの外周全体に沿って、卓越した品質が達成されている。

有機ELディスプレイは、熱特性、光学特性、機械的特性がそれぞれ大きく異なる、さまざまな材料で構成されているため、それを高速かつ高品質に切断するのは、難しい処理になります。しかしレーザーには、最も困難な製造課題に対しても解決策を提供してきた、素晴らしい実績があり、今回のケースも例外ではありませんでした。本稿では、IceFyre FS UV50がその超短パルス幅と短いUV波長の組み合わせによって、スマートフォン用のフルサイズの有機ELディスプレイパネルを、高いスループットと優れた品質で切断する高い能力を備えることを示しました。

製品

IceFyre® FS UV50

IceFyre FS UV50は、産業用フェムト秒UVレーザー技術の飛躍的な進歩であり、業界をリードするパフォーマンス、汎用性、信頼性、所有コストを実現します。市場で最も高性能なUVフェムト秒レーザーとして、1 MHzで50 Wを超えるUV出力と、500 fs未満のパルス幅を提供します。また、シングルショットから3 MHzまでの調整可能な繰返し周波数、パルスオンデマンド（POD）と位置同期出力（PSO）のトリガリング、柔軟なバーストモード動作のためのTimeShift™プログラマブルパルス機能によって、最適なプロセス性

能を実現する卓越した汎用性を提供します。UV波長における超短パルス幅と優れたビーム品質により、複雑で難しい部材の微細加工を最高レベルの精度、品質、スループットで実現するとともに、熱影響部（HAZ）を無視できるレベルに抑えます。IceFyre FS UV50は、産業用途向けに設計されており、業界最高水準のコストパフォーマンスで、信頼性と堅牢性に優れた24/7の稼働を実現します。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業界最小のパッケージに一体化されています。

	IceFyre FS UV50
波長	343 ±2 nm
出力	>50 W @ 1 MHz、1.25 MHz
最大パルスエネルギー	>50 μJ @ 1 MHz
繰返し周波数	シングルショット-3MHz
パルス幅 (FWHM)	<500 fs
パルスエネルギー安定性	<2% rms
出力安定性（ウォームアップ後）	<1% rms、8時間以上