

ピコ秒UVレーザーによる 新しい折りたたみ式OLEDディスプレイ材料の切断加工

処理能力と無線データ通信の進歩によって携帯機器市場が成長し続けている現在、ディスプレイ技術は見越すことのできない重要な存在です。主要なヒューマンインターフェースコンポーネントであるタッチスクリーン搭載フラットパネルディスプレイは、最適なユーザーエクスペリエンスを提供する上で極めて重要な役割を果たしています。昨今の携帯機器市場において、OLED（有機発光ダイオード）ディスプレイが注目されています。これは薄型、フレキシブル、軽量かつエネルギー効率の良いパッケージで高品質の画像を提供し、現代だけでなく次世代の折りたたみ式携帯機器にとっても最適なディスプレイです。

コンパクトな折りたたみ式電話の主要課題は、ディスプレイのすべてのコンポーネント（OLEDディスプレイ、タッチセンサー、偏光板、カバーウィンドウ）を折りたたむときの曲げ半径をより小さくすることです。このため、メーカーは超薄型ガラス（UTG）や可視波長域で透明に見える比較的新しいタイプのクリアポリイミド（クリアPI）といった材料の開発を続けています。UTGは本質的に耐スクラッチ性に優れていますが、要求される厚さ（50～200 μm）が薄いため壊れやすく、製造と取り扱いが困難な材料です。クリアPIは本質的にフレキシブルであるため、製造しやすいという利点がありますが、耐スクラッチ性を向上するために薄いハードコート（HC）層でコーティングしなければなりません。このコーティングは加工を施し、防眩性と耐指紋性を兼ね備えることもできます。いずれの材料も、折りたたみ式ディスプレイ市場で強力な存在感を示すものと期待されています。UTGガラスの切断では、一般にIRピコ秒レーザーによるベッセルビーム加工が用いられます。クリアPI+HCには、アブレーション切断加工が必要です。

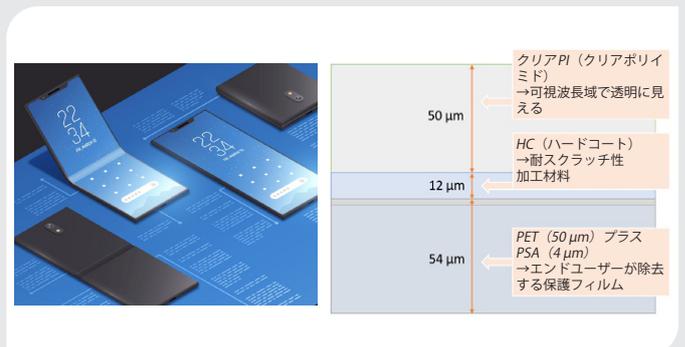


図1 左 - 画期的な携帯機器技術であるフレキシブルディスプレイを搭載した折りたたみ式電話。右 - このアプリケーションノートで取り上げる材料スタックの層構造図。

このアプリケーションノートでは、折りたたみ式ディスプレイのカバーウィンドウに使用されるクリアPIベースの多層スタックを、ハイパワーピコ秒355 nmハイブリッドファイバーレーザー（IceFyre[®] 355-50）でアブレーション加工した結果を記載しています。このスタックは50 μm厚のクリアPIフィルムと、片面の12 μm厚のハードコート（HC）層で構成されています。HC層に接着されているのは、50 μm厚のポリエチレンテレフタレート（PET）による保護層（後で除去）です。さらに、クリアPIのハードコート面に接着させるためにPETフィルムには感圧接着剤（PSA）がコーティングされています（4 μm以下）。高品質であることはクリアPI+HC層にとって必要不可欠であるのに対して、PET + PSAフィルムにとっては重要であるものの、不可欠というわけではありません。

3種類の主要材料（クリアPIフィルム、HC層、PET保護シート）におけるアブレーション挙動の特徴を個別に把握するために、最初の実験を実施しました。シングルパルスのアブレーション閾値を決定し、その結果を図2に示しました。

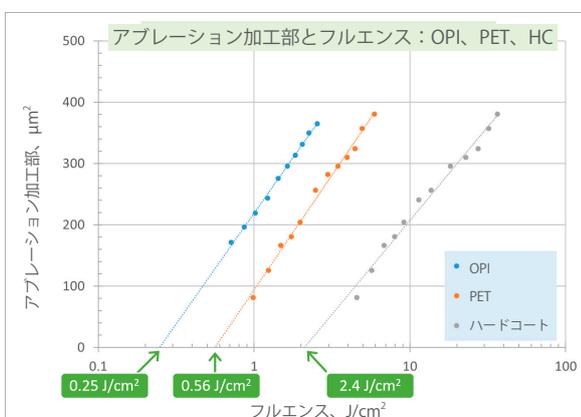


図2 アブレーション加工部とレーザーフルエンスの図は、切断するスタック内の3種類の材料に関する閾値の差異を示している。

閾値は大幅に異なることが判明しました。クリアPIの閾値は非常に低く 0.25 J/cm^2 であるのに対して、HCは約10倍高く 2.4 J/cm^2 、PETはその中間の 0.56 J/cm^2 です。クリアPIの低いアブレーション閾値は、UV波長の強力な吸収によって形成された非常に平滑かつ浅いアブレーションクレーター（従来のポリイミドの使用時）の観察結果と一致しています。HCフィルムの高い閾値は、さまざまなガラスの閾値とほぼ同じです。同様に、下図3のさまざまな加工条件に関する顕微鏡画像で示されるとおり、薄い層は脆く、クラックやチッピングが発生しやすいものです。

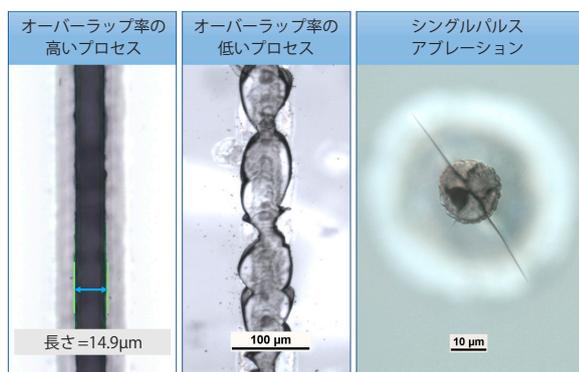


図3 12 μmのハードコートフィルムでは、パルス間隔が狭くオーバーラップ率の高いプロセスによって品質が劇的に向上している。

図3の左側の顕微鏡画像は、材料のフルエンスとパルスのオーバーラップ率に合わせてパラメータを慎重に最適化すると、HC層までのスクライブ表面が非常に平滑になることを示しています。図3の中央の画像は、スクライブ全体に沿って深刻なチッピングが発生し、最適な結果が得られなかったことを示しています。意外なことに、この低品質の結果に終わったのは、中程度のフルエンスでパルスのオーバーラップ率が低いときです（これは一般に穏やかな加工法と見なされているため、より高品質の結果が得られると考えられています）。実際に、シングルパルス照射のみで生じたクラック（図3、右の画像）は、新しいアプローチが必要であることを示しています。

3種類の材料の閾値と全体的なアブレーション挙動を理解した上で、フルスタックを切断するプロセスを開発しました。ただし、レーザービームは完全切断時にスタック（クリアPI）の1つの面のみを照射するため、さまざまな材料のパラメータを微調整しなければなりません。連続層それぞれに対して、パルスエネルギー、パルス周波数（PRF）、走査速度を独自に組み合わせ合わせたものを適用しました。ピコ秒UVパルスを用いるとアブレーションの挙動は再現性が高いことが判明したため、アブレーション深さなどのリアルタイムモニタリングが不要でした。さらに、このレーザーは「オンザフライ」方式でパルスエネルギーとPRFの調整に

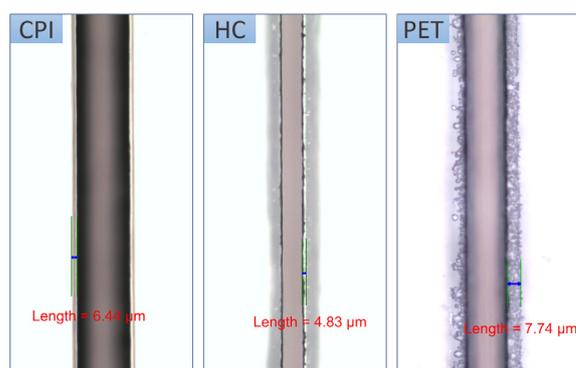


図4 顕微鏡画像では、400 mm/sを超える全体的な（正味の）切断速度で層別に切断加工するためにピコ秒UVレーザーで切断したクリアPI（左）、HC（中央）、PET（右）が示されている。

対応できるため、レーザーのパルスエネルギーとPRF、繰り返しスキャン回数などのパラメーターを最終切断用に予めプログラムすることができました。走査速度を3～10 m/s、レーザーのPRFを3 MHz以下に設定したところ、400 mm/sを超える正味速度で高品質な完全切断部を実現できました。図4は、クリアPI層、HC層、PET層の切断部を示しています。

高品質な切断部は明確で、熱影響部（HAZ）はすべて10 μm以下です。特に、他よりも加工が困難なHC層はエッジのチッピング/粗さが5 μm以下です。PETフィルムのHAZは他よりも多少大きいのですが、それほど問題ではありません。これは、最終的に除去される単なる保護カバーフィルムであり、カバーなしの耐スクラッチHC層が実際に使用されるためです。切断部の側壁エッジは完成したディスプレイを機器に搭載するときに接触面になるため、その品質も重要です。図5は、側壁の断面図を示した顕微鏡画像です。

この断面図は、材料スタックの全体にわたり切断加工の品質が維持されていることを示しています。各層は明確に区別することができ（非常に薄いPSAを含む）、スタック内での層の溶融、汚れ、または剥離は認められません。

一般に、新技術には新材料とその加工法が必要です。折りたたみ式ディスプレイの場合、多様な光学特性、熱特性、機械特性を持つ単一のコンパクトな材料スタックを切断するのは容易な作業ではありません。保護PETフィルムを接着させたハードコートクリアPIの場合、層別の最適化手法をハイパワーかつ極めてフレキシブルなIceFyreピコ秒UVレーザーと組み合わせると、高スループットと高品質という非常に有望な結果を得ることができます。

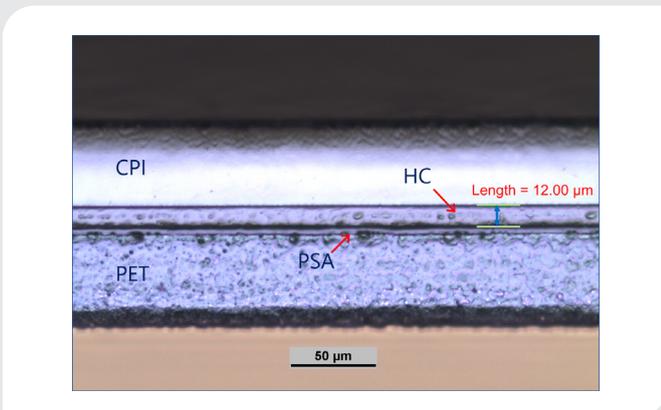


図5 50 μmのクリアPIとPET、12 μmのHC、4 μm以下のPSAの高品質な切断部の断面図。

製品

IceFyre® 産業用ピコ秒レーザー

IceFyre 355-50は、市場で最も高性能なピコ秒UVレーザーでパルス幅は10psです。バーストモードにおいて数百μJのパルスエネルギー、1.25 MHz (> 40 μJ) で50 Wを超えるUV出力を提供します。IceFyre 355-50は、その高出力とシングルショットから10 MHzまでの繰り返し周波数の新しいスタンダードを提供します。IceFyre 355-30は、60 μJを超えるパルスエネルギー（バーストモードではより大きなパルスエネルギー）で30Wを超えるUV出力を提供し、シングルショットから10 MHzまでの優れた性能を提供します。IceFyre 1064-50は、400 kHzシングルパルスで50 Wを超えるIR出力を提供し、シングルショットから10 MHzまでの優れた性能を提供します。

IceFyreのユニークなデザインは、ファイバーレーザーの柔軟性とSpectra-Physics独自のパワーアンプ機能を利用し、TimeShift psプログラマブルバーストモード技術を実現しており、業界で最も高い汎用性を実現しています。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、ポリゴンスキャナーを使用している場合などで、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）および位置同期レーザー出力（PSO）を可能にし、高速走査速度での高品質処理を可能にします。

	IceFyre 1064-50	IceFyre 355-30	IceFyre 355-50
波長	1064 nm	355 nm	
平均出力	>50 W @ 400 kHz	>30 W (典型値) @ 500 kHz >25 W @ 800 kHz >20 W (典型値) @ 1 MHz	>50 W @ 1.25 MHz
最大パルスエネルギー (TimeShift psを使用した場合、 1バースト当たりのパルスエネルギーがより大きくなる)	>200 μJ (シングルパルス) @ 200 kHz	>60 μJ (典型値) @ 500 kHz >31 μJ @ 800 kHz >20 μJ (典型値) @ 1 MHz	>40 μJ @ 1.25 MHz
繰り返し周波数	シングルショット - 10 MHz		
パルス幅 (FWHM)	<20 ps (典型値 15 ps)		<12 ps (典型値 10 ps)
TimeShift ps	yes		
パルス-パルスエネルギー安定性	<1.5 % rms, 1 σ	<2.0 % rms, 1 σ	
出力安定性 (ウォームアップ後)	<1 %, 1 σ, 8時間以上		