

# その重要性にますます注目が高まる、 フィラメント切断と分断工法

ジョージ・オーランドセン、ジョリス・ヴァン・ヌーネン、マイク・ラハ

レーザー加工による、ディスプレイ用ガラス切断品質の向上

携帯端末のディスプレイには、より薄いガラス、化学強化ガラス、そして多層構造（ガラスと液晶ディスプレイ、接着層、その他の樹脂層など）が用いられるようになってきている。また、角が丸みを帯びていたり、曲面状であったり、切り抜きがあつたりする画面が、ますます一般的になっている。ガラス切断のための従来の機械的手法やレーザー工法の多くは、このようなニーズに適応できていないため、メーカーは、より高精度、高速、かつさまざまな形状（急角度のカーブなど）に柔軟に対応でき、環境負荷の小さい、全体的なコストを削減可能な技術を求めている。本稿では、こうした製造要件を満たす重要なツールとして注目が高まっている、フィラメント切断とCOレーザーによる分断という、2つのレーザープロセスを紹介する。

## 従来の技術では 実現できなかった高品位切断

従来の機械的手法によるガラス切断では、最初に表面をスクライブしてから、機械的応力を加えて、各ピースに分断する。残念ながら、この方法では、マイクロクラック（微小な亀裂）、チップング（エッジ部の欠け）、デブリ（加工屑）が生じるため、後処理（研削や研磨など）が必須である。タッチパネルの場合は、残留エッジ応力が許容レベルを超えているために、機械的強度が低下することも大きな課題となってい

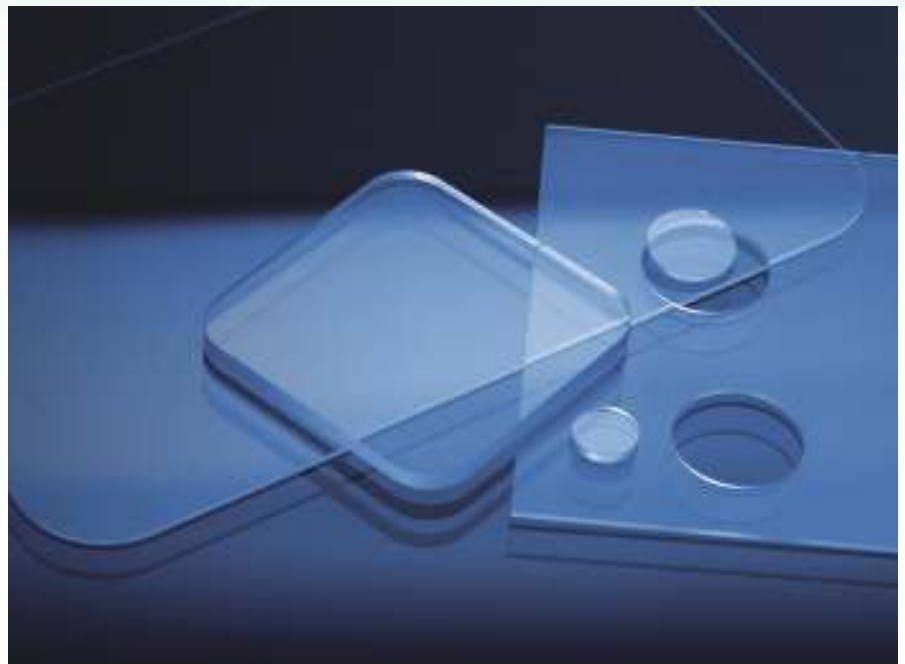


図1 SmartCleave技術による、曲線の切断や切り抜き加工。

る。これらの課題は、薄いガラス（1mm未満）、化学強化ガラス（そのままでは機械的手段では切断できない）、複雑な形状になると、より一層深刻化する。

レーザーを使った一般的なガラス切断工法は、2種類存在する。1つめは、CO<sub>2</sub>レーザーを用いるものである。ガラスは、CO<sub>2</sub>レーザーの波長を吸収しやすいため、急速に加熱される。続いて、空冷または水冷によってサーマルショック（熱衝撃）を与えることで、一般的に深さ約100 $\mu$ mの連続的な亀裂を生成することができる。その後は、機械またはレーザーによって分断される。CO<sub>2</sub>レーザーの最大の欠点は、焦点でのビームを直線状にするために、曲線を

切断できないことである。

2つめは、高ピーク出力のナノ秒パルスレーザーを使って、ガラスをアブレーション（除去加工）する方法である。基材の厚さと材料の種類によっていくつかのアプローチがある。基材を完全に切断する方法もあれば、スクライブ後にブレイク工程を設ける方法もある。パルスレーザーによるガラス切断の主な欠点は、スループットが低いことである。

## SmartCleave: 光分解プロセス

いわゆる「フィラメント」切断は、上述の課題を解決するために開発された代替プロセスである。米コヒレント社（Coherent）は、「SmartCleave」と

いう商標名でこのプロセスを特許化している。具体的には、厚さ $50\mu\text{m}$ ～ $10\text{mm}$ の透明かつ脆性な材料に対し、テーパレスで曲線や切り抜き構造の高速切断が可能である(図1)。また、滑らかな表面を生成し、チップングの大きさもせいぜい $5\mu\text{m}$ 未満である。その結果、最終的な曲げ強度は、機械的手法と比べて明らかに優れており、タッチパネルメーカーに対して特に魅力的なプロセスとなっている。

SmartCleave技術は、光カー(Kerr)効果に基づきガラス内で自己集束する、超短パルス(15ps未満)レーザを利用する。この自己集束によってパワー密度が増加し、一定のしきい値を超えると、材料内に低密度プラズマが生成される。このプラズマによって、ビーム経路中心の材料の屈折率が低下し、ビームが拡散される。ビーム集光光学部品を適切に構成することによって、この集束/拡散効果のバランスを図り、周期的かつ自動的に繰り返されるようにすることができる。これによって、基材に深さ数mmに及ぶ、安定したフィラメント(微細空洞のライン)が生成される。標準的なフィラメント径は $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 程度である。

実質的にゼロギャップの切断またはミシン目加工を達成するには、加工対象物を少しずつずらすことによって、これらのレーザによって生成されるフィラメントを互いに密接させ、空洞ラインがほぼ連続的に並んだガラス横断面を形成する(図2)。材料の厚さや所望の切断形状によって、 $100\text{mm/s}$ ～ $2\text{m/s}$ の移動速度が達成可能である。

SmartCleave切断の実用化に必要なとなる、高い集光パワー密度を達成するための重要な要素の1つが、超短パルス(ultrashort pulse:USP)レーザである。例えば、コヒレント社の「HyperRapid

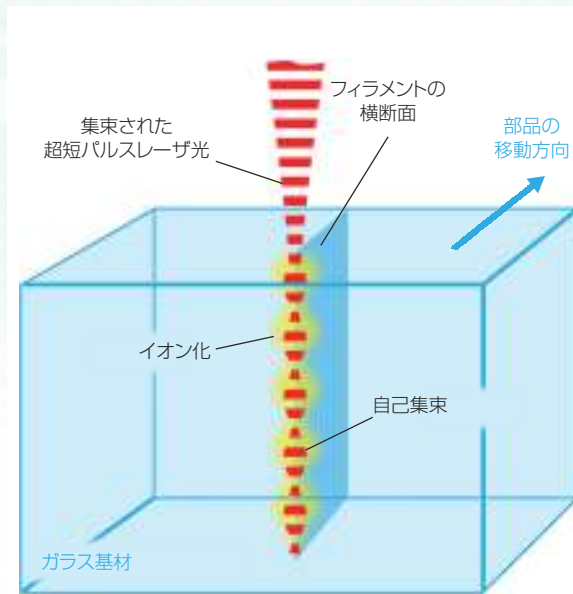


図2 超短パルスレーザ光の周期的な自己集束を利用した、フィラメント切断の模式図。レーザビームに対して加工対象物を少しずつずらしていくことによって、 $3\sim 7\mu\text{m}$ 間隔のフィラメントのラインまたは「横断面」が形成される。フィラメントは材料強度を低下させ、高品質な分断を可能にする。

NXT」は、いわゆる「バーストモード」動作が可能である。このバーストモードにおいてレーザは、一連のパルスを短い間隔で出力し、総パルスエネルギーが $700\mu\text{J}$ を超える1つのスーパーパルスのように作用させることができる。

### 積層基材

SmartCleave技術に伴う大きな進展として、ガラス切断に求められる出力対コストの条件を満たす産業用フェムト秒レーザが登場している、という点である。これは、ピコ秒レーザの潜在的課題の1つを解決するものである。具体的な例として、医療、エレクトロニクス、ディスプレイの分野において、複数の材料を含む積層基材またはラミネート基材を切断するというニーズが高まっている。典型的な用途としては、ポリイミドやPETで上部をコーティングされたガラスの切断や、ガラスで液晶や接着層が挟まれた構造の液晶ディスプレイの切断がある。従来では、まずピコ秒レーザでガラスを分断してから、別のレーザを用いて他の材料をス

クライブすることが必要になる場合もあった。

フェムト秒レーザは、従来の工法であるアブレーションによってほぼ全ての材料を加工できることが実証されている。しかし、これまでフェムト秒レーザは、ピコ秒レーザと比べてコストが高く、出力も低いため、フィラメント切断にはこれまで採用されていなかった。(従来のチタンサファイアではなく)イッテルビウム添加ファイバをゲイン媒体として使用する超短パルスレーザの開発により、費用対効果が高いだけでなく、高い平均出力が得られる、新世代のレーザ光源が登場してきている。

コヒレント社の「Monaco」は、そうした新世代の産業用USPレーザの一例である。既に最大 $60\text{W}$ の平均出力を達成しているが、その出力はさらに拡大される予定である。これに加えて、Monacoのパルス幅は、ソフトウェアによって約 $350\text{fs}$ ～約 $10\text{ps}$ の間で調整可能で、異なるフィラメント切断条件に応じて出力を最適化することができる。また、フィラメント切断におけ

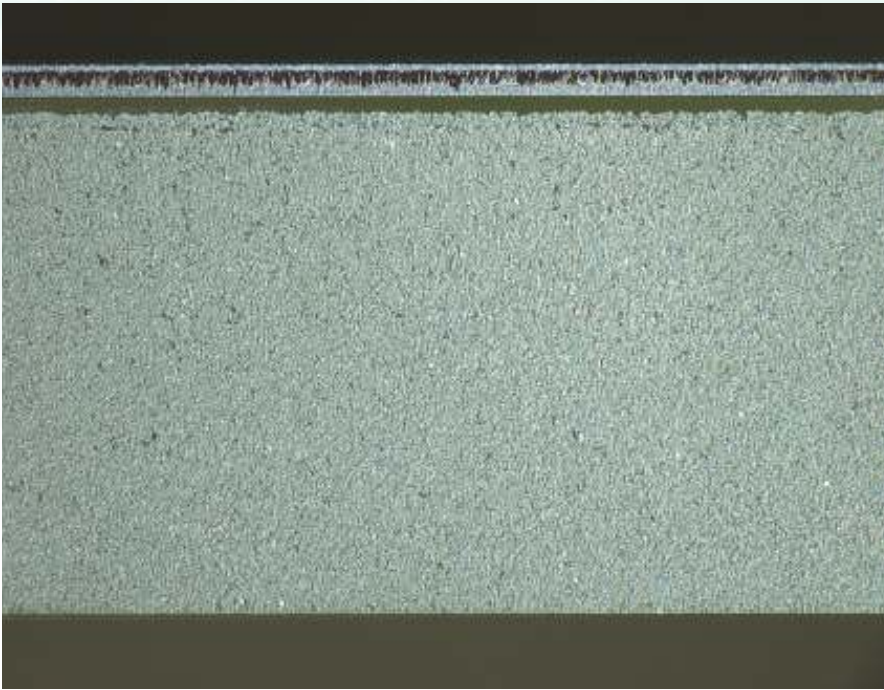


図3 コヒレント社のMonacoフェムト秒レーザー(平均出力は40W、パルス幅は約350fs)による、混合材料構造の切断例として、0.5mmのガラスの上に20 $\mu$ mのポリイミドが積層された構造の側面図を示す。表面粗さは350nm未満。

る重要な機能として、バーストモード動作が可能である(総バーストエネルギーは約320 $\mu$ J)。

コヒレント社のアプリケーションラボでは、入念なプロセスの最適化によって、複数の異種材料で構成される積層基材を、シングルパスで完全に切断できることを実証した。「繊細な」積層構造に対して、卓越したエッジ品質を達成し、実質的に残留エッジ応力はなく、熱影響部は生じない(図3)。

### 分断時の問題

SmartCleave技術を適用した後、化学強化ガラスまたは熱強化ガラスは内部応力によって、通常は追加工程の必要なく、自然に分断される。しかし、熱膨張率(Coefficient of Thermal Expansion: CTE)の低いガラスは、そうならない。その低CTEのホウケイ酸ガラスが、現在ディスプレイに広く採用されている。

非強化ガラスの分断は、フィラメント曲線に沿って機械的エネルギーまたは熱エネルギーを印加することによって行われる。これによって、機械的または熱的応力に沿って、十分に制御された形で、ガラスが分断される。熱分断工程には、CO<sub>2</sub>レーザーが最も一般的に使用される。

しかし、CO<sub>2</sub>レーザーの出力(9~11 $\mu$ mの波長範囲)は比較的吸収率が高いので、いくつかの課題が生じる。具体的には、レーザーエネルギーの大部分がガラス表面近くで吸収されるため、高い熱応力が生成される可能性がある。これによってマイクロクラック(微小亀裂)が生じ、求められる高い加工速度に

おいては特に、ソーダ石灰ガラスやホウケイ酸ガラスといった一般的に使用されるガラスの分断に問題が生じる可能性がある。

代替手法は、COレーザーを利用するもので、このレーザーは、波長5~6 $\mu$ m範囲の出力によってガラスにより深く浸透する。その結果、熱による表面応力は大幅に低減される。これによってマイクロクラックが生じる可能性は低くなり、ガラス分断の処理速度を高くできる可能性がある。

また、CO<sub>2</sub>レーザーの場合は、ガラス表面に吸収されやすいことから、高品質な分断結果を得るために、冷却ジェット(空気噴射または窒素ガス)をレーザービームスポットの後方から当てることが多いが、COレーザーはより深く浸透するため、冷却ジェットは省略可能となり、ほとんどの場合でまったく不要となる。これは、装置構成の簡素化とコストの削減につながる。

### まとめ

ディスプレイなど、特に需要が高く、高い精度が求められる応用分野において、レーザーは数年前から、機械的手法よりもガラス切断に対する魅力的な代替手法となっている。特に、ディスプレイメーカーがますます複雑なデバイス構造へと移行し、強化ガラスの使用が増加する中で、新世代の産業用USPレーザーとCOレーザーの両方に支えられた、フィラメント切断の改良は、レーザー切断をさらに経済的で有効な手段へと、間違いなく押し上げるだろう。

### 著者紹介

ジョージ・オーランドセン(GEORGE OULUNDSSEN, george.oulundsen@coherent.com)は、米コヒレント社(Coherent)のプロダクトマーケティングディレクター、ジョリス・ヴァン・ヌーネン(JORISVAN NUNEN, joris.vannunen@coherent.com)は同社プロダクトマーケティングマネージャー、マイク・ラハ(MIKE LAHA, mike.laha@coherent.com)は同社産業用超短パルスレーザー担当製品ラインマネージャー。URL: www.coherent.com