

ガラスのレーザー分断技術

三星ダイヤモンド工業株式会社

清水 政二

Laser Cutting Technology for Glass

Seiji Shimizu

Mitsubishi Diamond Industrial Co.,Ltd

はじめに

近年、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイに代表されるフラットパネルディスプレイ（以下、FPD）が急激に普及しています。この爆発的普及の要因として、FPDの大画面化、高画質化、薄型化、低価格化等の達成があげられます。これと平行する形で、FPDガラスの分断工程においても新規技術開発や既存技術の改善等が強く求められています。例えば、薄型テレビ分野では、FPDの大画面化要求とその生産効率向上のため、ガラス基板のサイズが第6世代（1500 mm×1800 mm）、第7世代（1870 mm×2200 mm）から最近では第10世代（2850 mm×3050 mm）へと増大しています。一方、ガラス基板の薄板化が望まれており、ガラスの板厚は1.1 mmから0.5～0.7 mmへと減少し

ています。さらに携帯機器では薄型化への要求が非常に強く、ガラス板厚は0.4 mmから0.2 mm以下へと変化しています。

このような状況の下、FPDガラスの分断工程では、より薄く大きな基板を分断することが求められています。すなわち高い分断品質と高速分断を両立させる必要性があります。なぜなら、基板面積の増加に伴う欠陥存在確率の増加とガラス薄板化により、基板強度の低下が懸念されますが、ガラスの端面強度を増加させるためにはマイクロクラック等が存在しない高品質の分断手法が求められます。一方、大画面のFPDを低価格で供給するためには、分断工程を高速化することが求められています。

しかし、現在主流のガラス分断方法は、刃先工具を直接ガラス基板に押しつける機械的加工方法です。よって、ガラス分断面には微小なマイクロクラックが生成し、そこを起点としてガラスに割れが生じやすいという問題があります。また、表面からの微小なガラス片の生成により、表面の汚染や2次的欠陥を生じる原因を

〒564-0044 大阪府吹田市南金田1-4-37

TEL 06-6378-3843

FAX 06-6378-3550

E-mail : sshimizu@mitsuboshi-dia.co.jp

作ることもあります。そこで、上記問題を回避する方法として、レーザー誘起熱応力を用いた亀裂進展によるスクライプ法（以下、レーザースクライプ法）が脚光を浴びています。

レーザースクライプ法はガラス表面にレーザー照射しその直後を急冷することにより、ガラス基板表面に大きな引張応力を発生させスクライプ線を形成する加工法です。このレーザースクライプ法では、ガラス基板に対して非接触で加工を行うので、微小なガラス片の発生を抑えると共に、分断面にマイクロクラックが発生しないことからガラスエッジの強度を飛躍的に向上することが可能となります。

本稿では、1)レーザースクライプ法による加工原理、2)弊社が提供するポリゴン型レーザー照射機構を搭載したMDLCの特徴、3)今後の研究開発の方向性について述べていきたいと思ひます。

1)レーザースクライプ法による加工原理

一般的にFPD分野で用いられるガラスのレーザースクライプ法では、加熱用レーザーにCO₂レーザーを利用しています。図1にレーザースクライプ法による加工手順の概要図を示します。実際の加工は、

- ①ガラス端面にスクライプを開始するための初期亀裂を生成する。
 - ②ガラス端面から分断予定線に沿ってレーザーを照射しガラス表面を加熱する。
 - ③加熱直後を冷却流体により冷却する。
 - ④基板を取り出しブレイクを行う。
- という手順で行われます。

図2に示すように、分断予定線に沿って楕円状にレーザーを照射することにより、ガラス表面を加熱し圧縮応力を生成します。(Section a-a) この直後を急冷すると、ガラス表面が急激に収縮することにより、大きな引張応力を発生することが出来ます。(Section b-b) この引張応力が初期亀裂もしくは初期亀裂から続いてきたスクライプ線の先端に集中し、ガラス表面か

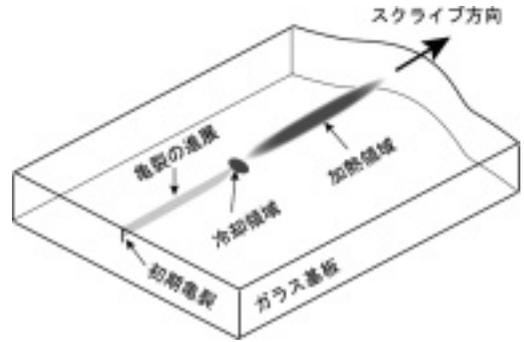


図1 亀裂進展によるガラスのスクライプ加工

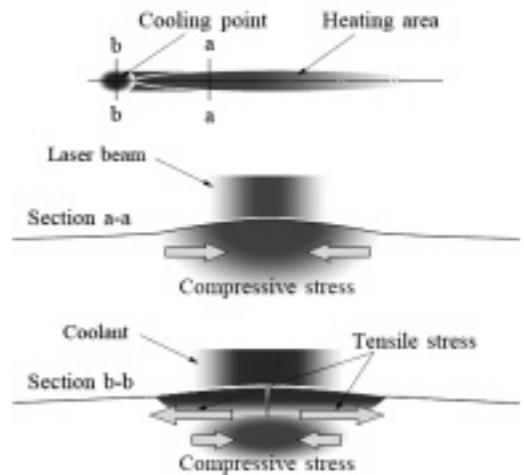


図2 ガラス表面での加熱と冷却によるガラス厚み方向の温度分布と熱応力

ら垂直方向に亀裂が入り、スクライプ線を形成します。この時、レーザー加熱によるガラスの損傷が心配されるかもしれませんが、ガラス表面を熔融温度より低温で加工することにより損傷の問題は回避できます。

図3にレーザースクライプによる分断面を示します。写真中のスクライプ線は非常に綺麗な亀裂面で形成されており、ガラス断面にマイクロクラック等の生成は見られません。このように美しい加工断面により、分断後のガラス強度を高く保つことができます。また、この時のガラス分断線の直進性は、±40μm程度となります。



図3 レーザースクライブ法で製作したガラス試料の断面写真

2) ポリゴン型レーザー照射機構を搭載した MDLC の特徴

【MDLC 開発の背景】

レーザースクライブ法は、亀裂進展法における熱源として、CO₂レーザーを用いることにより加工速度と精度を飛躍的に向上する方法として、1977年 Kondratenko 氏が当時のソ連で特許化しました。これを FONON 特許と呼んでいます。弊社では、1998年から FONON 方式をベースとした固定光学系を用いたレーザースクライバーの開発をスタート致しました。この FONON 方式を中心とした技術は、単板素ガラスの分断装置や PDP 向けレーザー分断装置等、比較的大きな製造ライン装置として展開されてきました。

しかし、携帯電話を中心としたモバイルユーザーにおけるガラス強度への要求と、2005年ショット社のレーザー事業買収を契機に、弊社では両社のレーザー分断プロセスを融合することによりプロセスの高度化を目指しました。そこで開発されたのが、ショット社時代に培われたポリゴン型レーザー照射機構と弊社独自の冷却機構を持つ MDLC シリーズであります。(図4)

【MDLC の特徴】

FONON 方式とポリゴン方式によるレーザー照射形状と熱分布に対する比較を図5に示します。亀裂進展を効率的に進めるためには、基板表面の温度を十分に上昇させる必要があります。



図4 MDLC の外観写真

す。よって、十分なレーザー出力を保ちながらビーム形状をスクライブ線方向に長くする必要があります。FONON 方式によるビーム形成では照射ビーム形状がガウス分布に近い形になります。よって、レーザー加熱後の冷却時にはビーム裾領域が大きく表面温度の低下が見られます。

この状態では薄板ガラスで構成される携帯向け FPD 基板の分断は難しくなります。そこで、基板の厚み方向への十分な応力分布を形成する為に、弊社ではショット社のポリゴン照射技術を応用することになりました。ポリゴン方式によるビーム形成では照射ビーム形状が矩形波に近い形となり、基板表面を一定熱量で加熱する理想的な形状となります。これにより冷却時のガラス基板厚み方向の温度差を大きくすることが可能であり、分断品質の向上と薄板ガラスのスクライブに成功しています。

現在、ポリゴン方式の利点を積極的に利用してプロセス条件を導出することにより、モバイル向け LCD 基板やタッチパネル用ガラスのスクライブ用途に MDLC の採用が始まっています。現在、無アルカリガラスを用いた LCD セル基板では、厚さ 0.4 mm までのガラス基板に

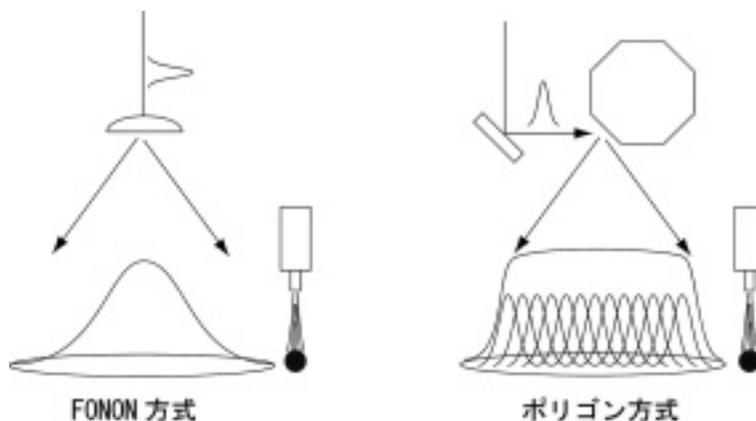


図5 FONON方式とポリゴン方式におけるレーザー照射形状と熱分布
 FONON方式では、ガウス関数に近い熱源形状となるが、ポリゴン方式では矩形波に近い熱源形状となる。

対するプロセスを行っていますが、今後は更に薄いガラス基板への対応が重要になってきます。

3) 今後の研究開発の方向性

【高速分断への取り組み】

産業分野におけるガラス分断において、加工速度の向上によるタクト短縮は最重要課題の1つであります。固体における亀裂の進展速度は、固体内の音速（弾性波の伝播速度）の0.38倍以下となることが理論的に判っています。もちろん、0.38倍で伝搬可能であることを保証するものではありませんが、現在の産業分野における加工速度と比較しても十分に大きな値であると言えます。言い換えると、ガラスが割れる温度分布をガラス基板表面に瞬時に形成することが出来れば、最大音速の数分の1までの加工速度が得られる可能性があります。

弊社では上記、理論的な予測に基づきガラスの高速分断に対する研究開発を進めています。現在、研究用レーザースクライブ装置で、1500 mm/sの加工速度が得られることが判ってきました。一般的な高速分断スクライブ装置が、1000 mm/sでの加工を行っていることから、十分な有意性が見られます。今後は更なる研究装置の改良を行い、一般的な機械装置の最高速度である3000~5000 mm/sでのスクライ

ブ実証を進めて行きたいと思っています。

【レーザーブレイクへの取り組み】

レーザースクライブ法による分断工程では、スクライブ後の機械分断が必要となります。レーザースクライブにより非接触での加工を実現しているにも関わらず、機械的分断手法を行わなければ製品が取得できないのは大きな弱点となっています。そこで、レーザーによる完全分断プロセスの必要性が出てきます。実際、レーザー照射による亀裂進展により完全分断できる条件は存在しますが、分断精度と加工速度の面で問題があることが判っています。そこで、レーザースクライブ後の基板にもう一度レーザー光を照射することにより分断を行うレーザーブレイクの開発を進めてきました。レーザーブレイクとは、レーザースクライブで生成した亀裂先端に応力集中することにより分断する手法であり、分断精度、加工速度とも高いことが判ってきています。

弊社 MDLC シリーズにレーザーブレイク機能を搭載した後継機は開発段階を終えて市場投入準備が進められています。現在のレーザーブレイク機能は、単板での利用を前提に導入する予定ですが、順次開発を進めてレーザースクライブ&レーザーブレイク装置という新しい市場を創出していきたいと考えています。