

ガラスのホイール切断メカニズムの微視的研究

千葉大学 ○齊藤雅裕 ◎松坂壮太 松本祐一郎 比田井洋史 千葉明 森田昇

要旨

ガラスの分離方法の1つに、スクライビングホイールを用いた機械的切断がある。本研究では、ホイールの接触によってガラス内に亀裂を生成させるスクライブ工程を微視的に観察するため、走査型電子顕微鏡(SEM)内でスクライブ可能な切断装置を開発した。本装置は、大型の産業用切断装置と同様のスクライブ条件・結果を SEM 内で再現可能であり、ガラスとホイールの微小な接触領域の観察により亀裂生成メカニズムの解明を試みた。

1. 緒言

スマートフォンやパソコン等の液晶ディスプレイを使用した製品の進化は近年目覚ましく、我々の生活には欠かせないものとなっている。液晶ディスプレイの基板ガラスには無アルカリガラスが使用されており、その分離にはスクライビングホイールを用いた機械的切断が行われている。しかしその切断メカニズムは解明されておらず、切断条件の決定を経験則に頼っているのが現状である。本研究では SEM 内でホイール切断が可能な装置(SEM内切断装置)を製作し、ガラスとホイールの微小な接触領域を観察することで亀裂生成メカニズムの解明を試みた。

2. ホイール切断の概要

ホイール切断の模式図を Fig. 1 に示す。ホイール切断はスクライブ工程とブレイク工程の2工程から成る。本研究で使用したスクライビングホイールの形状を Fig. 2 に示す。スクライブ工程ではガラス上にホイールを走査させることでガラス内部に亀裂を生成する。その後ブレイク工程で外力によって亀裂を進展させ、ガラスを分離する。

3. SEM内切断装置

3.1 SEM内切断装置の概要

SEM内切断装置の外観を Fig. 3 に示す。装置はホイール押し付け部とガラス移動部の2つの部分から構成されている。ホイールの押し付けは piezoelectric actuator と手動ステージを用いて行う。piezoelectric actuator のストロークは約 $20\mu\text{m}$ と小さいため、手動ステージはホイールとガラスを接近させるために取り付けられている。また piezoelectric actuator とホイールの間には力センサが搭載されており、ホイール押し付け方向の荷重を計測することができる。ガラス移動部では stepping motor とボールねじを用いてステージを紙面左右方向に移動させ、スクライブを行う。

3.2 SEM内切断装置の動作評価

スクライブ動作の評価として、SEM内切断装置と産業用切断装置を用いて同じ条件でスクライブ工程を行い、切断面形状を比較した。スクライブ時の押し付け荷重は 7.5N 、 15N の2通り行い、スクライブ速度は 3mm/s でスクライブを行った。

産業用切断装置でスクライブしたガラスの切断面を Fig. 4 に、SEM内切断装置でスクライブしたガラスの切断面を Fig. 5 に示す。切断面形状を比較すると、押し付け荷重 7.5N の場合、両装置ともにハックルと呼ばれるうろこ状の模様が見られ、押し付け荷重 15N の場合はリブマークと呼ばれる縞模様が見られた。

押し付け荷重 7.5N 、 15N ではそれぞれ両装置ともに同じ切断面形状が得られた。よってこれらの荷重では産業用切断装置と同様の条件を再現していると考えられる。

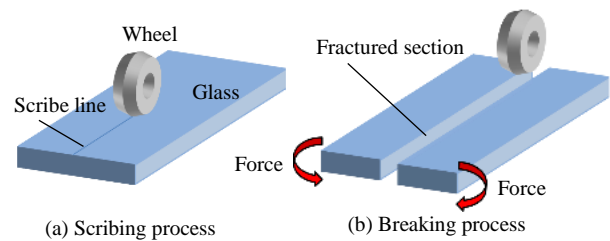


Fig. 1 Schematic view of wheel scribing

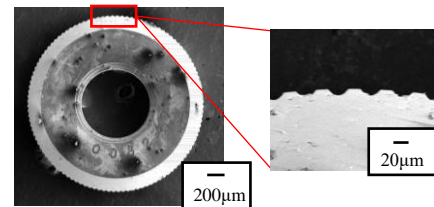


Fig. 2 SEM image of scribing wheel

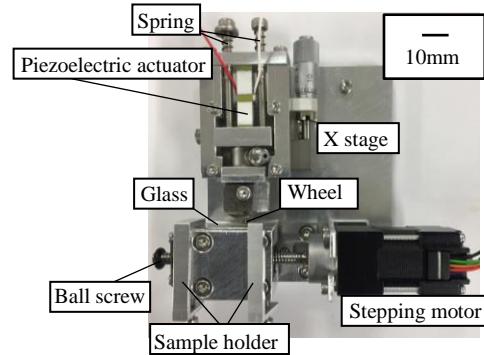


Fig. 3 Wheel scriber in SEM

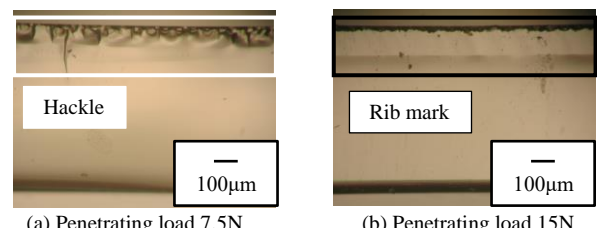


Fig. 4 By industrial scribing machine

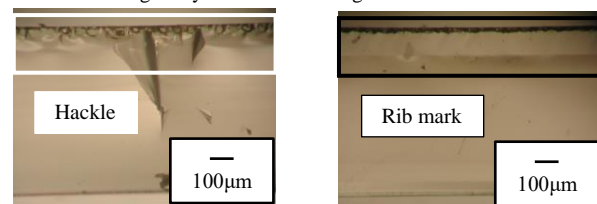


Fig. 5 By wheel scriber in SEM

4. SEM内におけるスクライブ工程の動的観察

4.1 SEM内におけるスクライブ工程の動的観察手法

SEM内におけるスクライブ工程の動的観察手法を Fig. 6 に示す。撮影とガラスの移動を1ステップとして60ステップ行い、撮影画像を60枚組み合わせて動画を作成した。1ステップあたりのガラス移動量は $10\mu\text{m}$ 、要する時間は30sである。またSEMの試料ステージは傾斜させることが可能であり、本実験ではガラスの圧痕が観察できる向きに 7° 傾斜させた。本実験ではホイールの押し付けは手動ステージを用いてSEMの外部で行ってから装置をSEM内に取り付けた。

4.2 押し付け荷重 7.5N

押し付け荷重 7.5N におけるスクライブ工程を SEM で観察した画像を Fig. 7(a)に示す。ガラスと接触しているホイールの歯数は3~4歯で歯の押し込み深さは約 $3\sim 4\mu\text{m}$ である。ホイールの通過領域には黒色部が確認できる。この黒色部は凸部が接触した圧痕であると考えられる。また凹部が通過した領域には変化が見られない。撮影した画像60枚すべてにおいて上述の特徴が確認できた。

4.3 押し付け荷重 15N

押し付け荷重 15N におけるスクライブ工程を SEM で観察した画像を Fig. 7(b)に示す。ガラスと接触しているホイールの歯数は4~5歯で歯の押し込み深さは約 $7\sim 8\mu\text{m}$ である。ホイールの通過領域には黒色部が確認できる。押し付け荷重 15N の場合はホイール凸部が接触した領域だけでなく、ホイール凹部が通過した領域の一部にも黒色部が確認できた。

4.4 圧痕形状観察

押し付け荷重 7.5N、15N でスクライブ後の圧痕形状をホイール押し付け方向から SEM で観察した画像を Fig. 8 に示す。ホイールの凸部が接触した圧痕に注目すると、押し付け荷重 7.5N 時は押し付け荷重 15N 時に比べて小さく、このことから押し付け深さの違いが確認できる。また凹部が通過した領域には Fig. 8(a)、(b)ともに亀裂のようなものが確認できる。押し付け荷重 15N ではスクライブ工程観察時にも亀裂が確認できたが、押し付け荷重 7.5N では確認できなかった。押し付け荷重 7.5N のときはスクライブ後に亀裂が進展したため、スクライブ工程観察時には亀裂が観察されなかったと考えられる。また、Fig. 8(b)の白丸で囲んだ領域に深い亀裂が確認できる。このような深い亀裂は押し付け荷重 7.5N では確認されなかった。つまり、Fig. 7(b)で見られた凹部通過領域の黒色部はこの深い亀裂であると考えられる。ホイールの歯の押し込み深さの違いにより、凹部通過領域における亀裂進展の大きさが異なっていることが考えられる。

5. 結言

本研究では SEM 内切断装置を製作し、SEM 内でスクライブ工程を動的観察することでホイールの押し付け挙動がガラスの亀裂生成挙動に及ぼす影響を検討した。その結果を以下に示す。

- (1) SEM 内でスクライブ工程の動的観察を行い、押し付け荷重の増加に伴うホイール押し込み深さの増加が確認できた。
- (2) 押し込み深さの違いによって、凹部通過領域の亀裂の大きさに違いが見られた。

6. 参考文献

- 1) 留井直子, 前川和哉, 若山治雄, 富森紘: ブレークレスホイールによるスクライビングに関する研究 第1報: 高速度カメラを用いたクラック進展の観察 砥粒加工学会誌, 53, 11(2009)684
- 2) 山根正之 他: ガラス工学ハンドブック 朝倉書店, (1999)

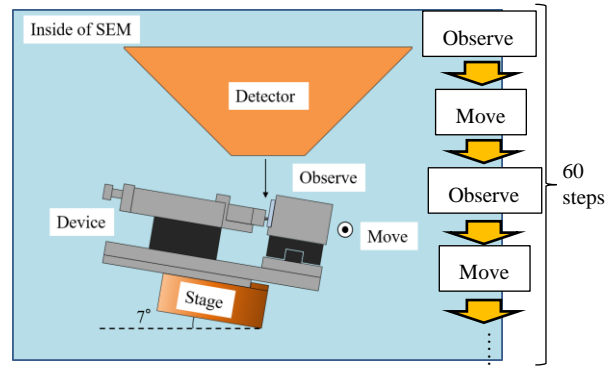
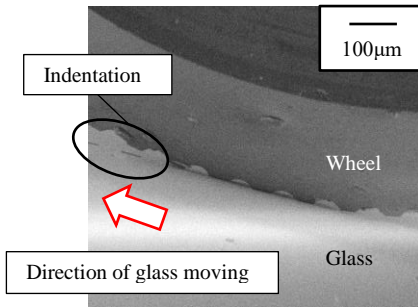
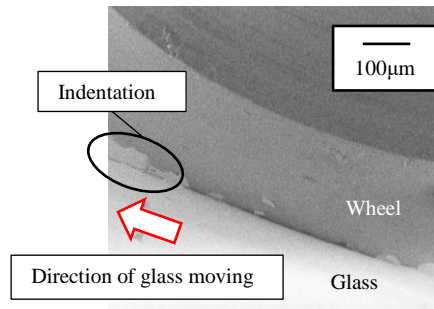


Fig. 6 Observation method of wheel scribing in SEM

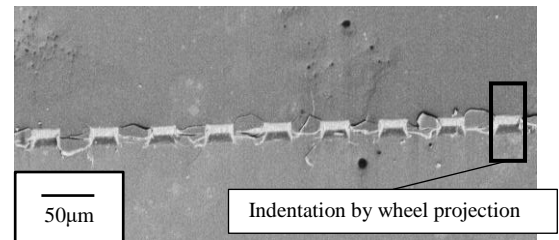


(a) penetrating load 7.5N

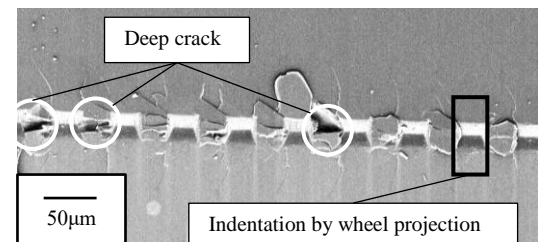


(b) penetrating load 15N

Fig. 7 SEM image while scribing



(a) penetrating load 7.5N



(b) penetrating load 15N

Fig. 8 SEM image of indentation