

液晶用ガラス基板の割れ

コーニング静岡テクニカルセンター

小野 俊彦

Breakage of LCD glass substrate

Toshihiko Ono

CORNING Shizuoka Technical Center

はじめに

液晶パネル製造工程におけるガラス基板の割れは、歩留まりを下げるだけに留まらず、生産性を下げ、クリーンルーム内や装置の汚染を引き起こすため、大きな問題の一つである。しかしながら、装置や生産の復旧を最優先するため、基板割れの原因は、ガラスの製造工程起因であるのか、LCD製造工程中にあるのか、不明確なままであることが多々ある。破面解析の手法を用いると、破壊の起点を明確にしたり、破壊に寄与した応力を特定したりすることが可能となる^{1),2)}。本稿では、ガラス基板の割れのメカニズムと、実際に発生した特徴的な基板割れの解析事例を説明する。

ガラス基板の割れ

基板の割れが発生するためには、割れの起点となる微小な傷と、その傷を進展させる引張り応力が必要である。ここでは、液晶パネル製造工程で発生しうる起点と引張り応力についてそれぞれ述べる。

〒422-0000 静岡県小笠郡大須賀町大淵12117
TEL 0537-48-5743
FAX 0537-48-5754
E-mail: onot@corning.com

1: 起点

起点は一般的に衝撃、摩擦、そして押し込みなどの機械的ダメージによって、基板のエッジや表面に形成される。ガラス基板を搬送する工程では、ガラスとの接触は避けられないので、起点の発生する可能性は液晶工程中に多々ある。例えば、衝撃によるダメージは、ガラス基板がアライメントピンやカセットのガラス受けと接触する時に発生する可能性がある。このケースは応力が接触点に集中するため簡単にダメージが形成される。摩擦によるダメージは、基板をステージ上でスライドさせたときや、基板をアライメントピンに当てた後に移動することで発生する。摩擦によるダメージは、非常に細かく小さいので直接確認することは難しいが、エッチングによって可視化されるケースが多い。押し込みによるダメージは、異物が介在した場合に発生することが多く、異物の載ったステージに基板を置いて力をかけたり、基板をクランプする際、異物が存在した時などに発生する。

2: 応力

液晶パネル製造工程において、ダメージ（クラック）を進展させるための引張り応力は、主に機械的応力と熱応力によって発生する。熱による引張り応力は、熱した基板を冷却したとき

のガラス内部と表面の温度差によって表面やエッジに平行に発生する。また、基板と基板表面に成膜された金属との熱膨張係数の差によって曲げ応力が発生し、伸びた表面に引っ張り応力が発生する場合もある。応力の大きさは、冷却時の温度差の関数となる。急冷による熱応力は次式で概算することができる³⁾。

$$\sigma = \lambda \frac{E\alpha\Delta T}{(1-\nu)}$$

ここで α は熱膨張係数、 ΔT は冷却されているガラス表面とガラス内部との温度差、 E はヤング率、 ν はポアソン比、 λ は、熱伝達速度によって決まる定数である。この定数はガラスを空冷する場合約0.7で、冷却する媒体の熱伝達係数、ガラスの熱伝導率、そして板厚から求まるビオ係数に關係する。同じ温度差では、熱膨張係数とヤング率が小さいガラスほど応力が小さい、つまり耐熱衝撃性が高い、ということがわかる。

機械的応力のほとんどは曲げ応力によるもので、平坦な状態の基板が2辺支持されて反ったときや、反った基板を平坦なステージ上に吸着させたり、クランプしたときに発生するものである。曲げによる引っ張り応力は、エッジだけでなくガラスの表面にも発生する。曲げによるストレスの計算は、単純な場合を考えて、基板の長辺を支持したときの、自重によるたわみで発生する引っ張り応力を考える。短辺の裏面中央部に最大応力が発生する。その応力は次の式で求めることができる⁴⁾。

$$\sigma = \beta \frac{wa^2}{t^2}$$

ここで w は等分布荷重 (MPa)、 a は短辺の長さ (m)、 t は板厚 (m)、 β は長辺/短辺の比で決まる定数 (1:1で約0.79)である。板厚0.7 mm、1辺が500 mmのとき、密度2.54 g/cm³のCode1737F基板では、最大応力約7 MPaの引っ張り応力が働くことになる。

その他の機械的応力の代表は、スピンドライヤやスピコート等で発生する遠心力によるも

のである。遠心力による応力は基板寸法が大きくなるにつれ、また、回転速度が上昇するにつれ大きくなる。

一般的に、破壊応力はガラスの機械的強度評価の指標として用いられている。しかし、破壊応力は、ガラス表面やエッジに存在する確認しづらい小さなクラックの大きさによって左右される。破壊強度だけでガラスの破壊を捉えようとしても、破壊に必要な起点と引っ張り応力のうち、片方だけの情報しか知ることができない。起点を含めた、割れに関する情報を全て考慮してメカニズムを知る必要がある。起点の大きさや破壊のメカニズムを知ることは、液晶パネル製造工程におけるガラス基板の割れ問題を明らかにし、問題を解決する上で大変有効な情報だからである。破面解析を用いて、割れ問題を明らかにするために必要なこれらの情報を得ることができる。

破面解析

破面解析の詳細についての説明は、紙面が限られているので、解説書を参照していただきたい^{1),2),5)}。

ガラスが割れると、その破片にさまざまな模様を残す。この模様は、起点の形成原因や、引っ張り応力の形態と密接に関連している。破面解析は、これらの模様を観察して情報を引き出し、割れのメカニズムを解き明かす作業である。これまでに実際の液晶パネル製造工程における割れ問題に対して破面解析がなされてきて、必要な情報を取り出し、割れの起点とメカニズムを解明されてきた。本稿では、これらの解析事例の中から特徴的な事例を紹介する。

事例1：成膜工程後の冷却工程で発見された割れ

このケースは、TFT工程の第一層の成膜工程後、一本のクラックが基板を2つに割ってしまったケースである⁶⁾。起点の位置は、破面

のウォルナーラインとハックルマークから、クラックとエッジの交点の片方であることがわかった。その部分を切りだし、光学顕微鏡で観察した様子が図1である。

この破面には、熱応力によるクラック進展を意味する板厚方向に対称な形をしたウォルナーライン、およびアーレストライン、R面取り面の頂点部から放射状に走っているハックルマーク、が確認できる。これらの情報から、起点はR面の頂点部分にあり、この部分から熱応力によってクラックが進展した、と推定できる。さらに、クラックの進展は一気に進んだのではなく、数回止まりながら進展したということもわかる。次に観察したのは、起点のある面取り部分である。その様子を図2に示す。起点のある頂点部分には、白く輝いて見える金属痕とチャッターマークの存在が確認できる。金属が存在すると、落射光源による顕微鏡観察では、光り輝いて見えるのでわかりやすい。これらの情報からは、金属部品が面取り部の頂点を写真中左から右方向へこすったためにチャッターマークが発生し、それが起点となったと推察できる。この金属はSEM/EDXによる定性分析の結果、ステンレス鋼であることがわかった。このステンレス鋼はさまざまな工程で使われており、ガラスと接触した場合は（加わる力

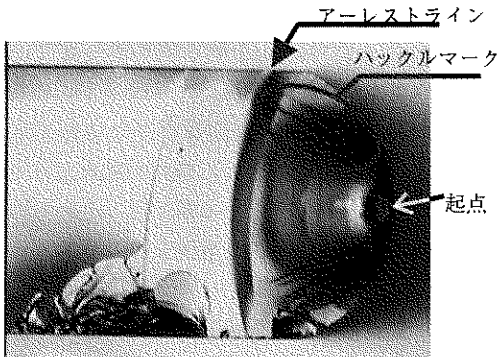
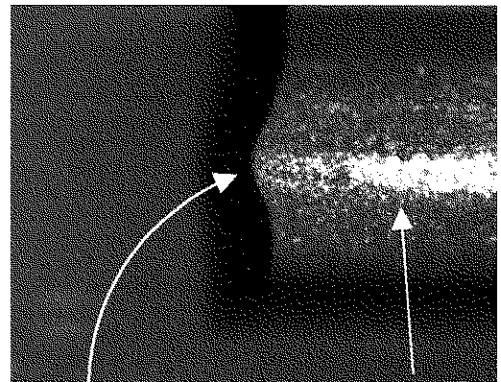


図1 起点の様子

板厚方向に対称なアーレストラインとウォルナーライン、そして、ハックルマークが確認できる。

にもよるが)、ダメージを与えることが多い。これまでに多かった事例は、アライメントピン、洗浄ラック、スピコーター/ドライヤーのピンなどに使用されていたステンレス鋼によるダメージが起点となっている。

結論として、このケースは図3に示すように、基板がステンレス鋼でできたピンとの摩擦でチャッターマークが発生し、成膜工程後の冷却による熱応力でクラックが進展、割れに至った、という機構であった。このケースは起点を発生させた工程と、基板の割れが起きた工程が異なる事例でもある。



チャッターマーク 金属痕

図2 図1の起点周囲の面取り面の様子
R面頂点部に、金属痕とこすったことによるチャッターマークが確認できる。

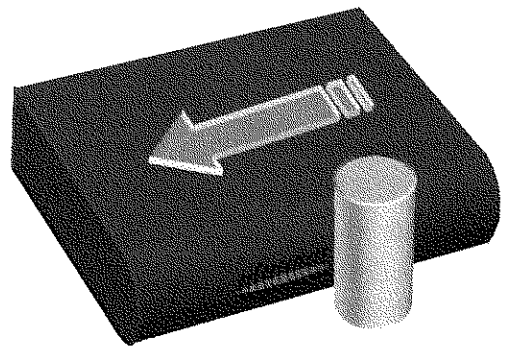


図3 金属ピンとエッジの摩擦によるチャッターマーク形成機構

実例2：表面の押し傷と曲げによる割れ

このケースは、熱処理終了後、搬送している最中に発見された割れについてである⁷⁾。

数枚の割れが同じ工程で発生したので、それらのクラックのマップを取り重ねたところ、全てに共通してクラックがある一箇所を通っていることが判った。この場合、この点が起点である可能性が高いと推察できる。その部分の破面の顕微鏡観察結果を図4に示す。

写真中、左右に対称な形をしたミストハックルと2次のウォルナーラインが確認できる。その中心部を詳細に観察したところ、押し込みによるダメージが確認された(図5)。このダメージは他の割れた基板の破面に共通したものであった。機械による繰り返し作業中に起点がつけられる場合は、このように起点の位置が一致する。破面解析から考えられるこのケースの割れのメカニズムは以下の通りである。

起点となったクラックは、基板を熱処理用のテーブルに押し付けた際、ステージ上の突起によって形成された。クラックは熱処理後の冷却工程による熱応力によって進展したが、クラックは基板を分断するまでには至らず、基板の面に停止していた。ついで搬送される際に、アームのところであわみ、たわみによる引っ張り応力がアーム上の基板表面に働いたので、クラックはアームに平行に進展した。

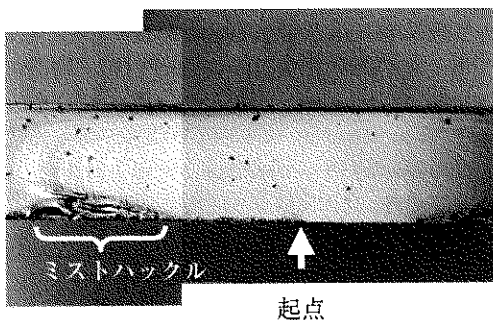


図4 クラックの一致している点の様子
左右に対称な形の2次ウォルナーラインとミストハックルから、写真中央下部が起点であることがわかる。

実例3：ヘルツコーンを伴う割れ

このケースは、基板をクランプする工程で発見された割れである⁷⁾。二つの破壊がほぼ同時に発生したケースである。基板の割れにつながるクラックの起点は図6に示すように、基板表面にあったことが、ウォルナーラインの形状から推察できるが、ヘルツコーンで欠落している。

ヘルツコーンの起点は基板の裏面にある。この割れの機構は次のように考えられる。まず、基板を置くステージ上のエッジに近いところに異物があり、その上に基板を乗せてクランプすることで局部的に曲げ応力が発生し、基板の表面で割れが発生した。次いで、この異物と、引き続き加圧しているクランプによってヘルツコーンが発生し、最初の割れの起点が欠落した。このような割れが発生すると、微細なガラスの粉が発生し、次の基板の割れの原因となる。

まとめ

ガラス基板の破壊強度は、プロセス設計上、必要な情報である。実際、液晶パネル製造工程においてガラス基板が割れる頻度はppmオーダーとの話を聞く。ガラス基板の強度はプロセ

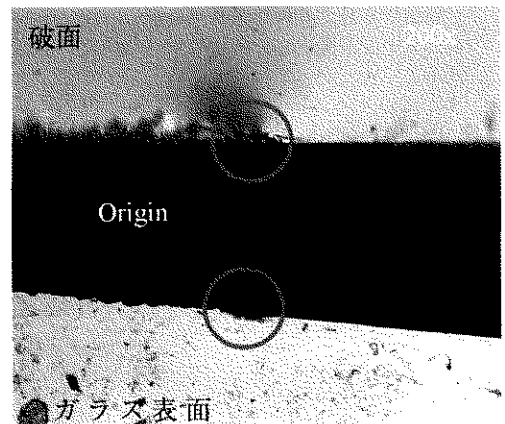


図5 起点の様子
異物の押し込みによるダメージが確認できる。

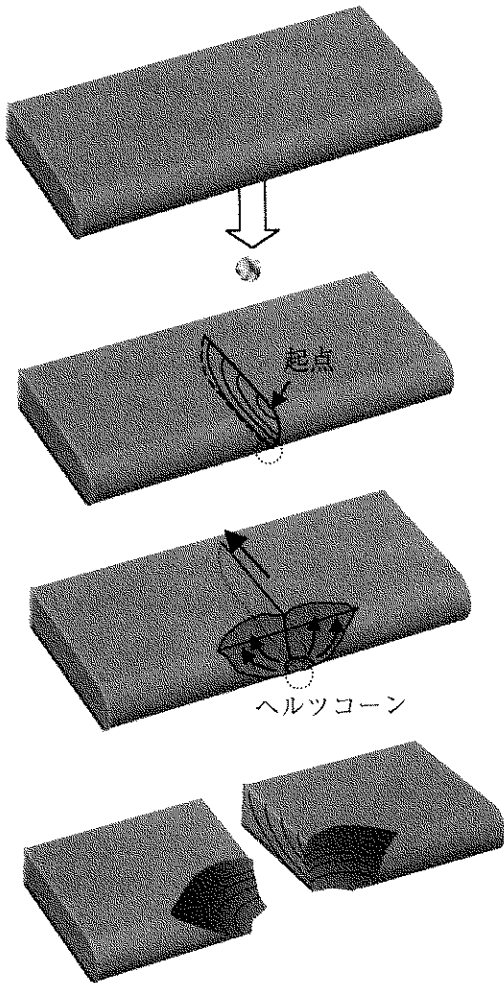


図6 二つの割れが同時に起こったケース
異物の上に基板をのせて押すことによってエッジが曲げられて最初の割れが発生し、次いでヘルツコーンが発生し、最初の割れの起点が欠落する。

ス中の諸条件に十分耐えうるものであるといえる。しかしながら、たった一枚の基板の割れによる損害はかなり大きい。このような時、液晶パネルの製造工程において必要な情報は、ガラス基板の破壊強度ではなく、割れの原因となっ

た起点の形成メカニズムと、引張り応力の発生源を知ることである。破面解析を行うことでこの両者を知ることができる。何が起きたのかを知ることが出来れば、割れ問題の恒久策をとることが可能となる。逆にこれらを知らなければ、基板割れが再発する可能性を残してしまうことになる。

また、破面解析は、ルーペ一つでできる、非常に簡便かつ有益なエンジニアリングツールである。液晶用ガラス基板だけでなく、ガラスビン、CRT、などのガラス製品一般や、セラミックス、金属などの破壊にも幅広く応用できる。

本稿は、T. Ono, "Breakage of AMLCD Glass substrate", Asia Display 98 proceedings, (1998) pp539-542 を和訳し、訂正、加筆したものである。

参考文献

- 1) 岸井 貫, "技術論文2, ガラスの破面解析", the glass, No. 9, (1988), pp17-22.
- 2) V. D. Frechette, "Failure Analysis of Brittle Materials", Advanced in Ceramics, Vol. 28, The American Ceramics Society, (1990), p50.
- 3) 岡本文雄, 清水智可, "熱衝撃テストによるガラス表面欠陥の評価", ガラス討論会講演要旨集 (1989), pp13-14.
- 4) 旭硝子板ガラス建材総合カタログ「技術資料編」(1998), p4-2-3.
- 5) 小野俊彦, "LCD用ガラス基板の割れ対策の実際 第一回基礎編" FPD Intelligence [4], (2000), pp24-32.
- 6) T. Ono, "Breakage of AMLCD Glass substrate", Asia Display 98 proceedings, (1998), pp539-542.
- 7) 小野俊彦, "LCD用ガラス基板の割れ対策の実際 第二回応用編", Semiconductor FPD World, [5] (2000), To be published.