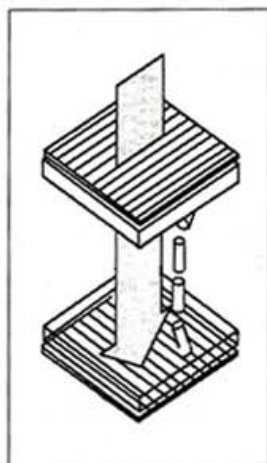


次世代高精細ディスプレイ用ガラス基板

日本電気硝子株式会社 材料技術部
村田 隆



1. はじめに

液晶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は薄型化、大型化が進むと同時に、解像度、輝度、視野角、動画表示、色再現性等、表示性能にかかわる特性も日々進化してきた。

このようなディスプレイに用いられるガラス基板も薄型化・大型化および表示性能の向上に対応するため各種特性を変化させてきた。本稿では液晶ディスプレイの開発の歴史に簡単に触れ、近年急速に需要が高まりつつある高精細ディスプレイに求められるガラス基板の開発の経緯や最新状況について述べる。

2. 液晶ディスプレイ

2-1 液晶ディスプレイの構造と駆動方式

図1に液晶ディスプレイの構造を示す。液晶ディスプレイは透明電極および偏光板を設けた2枚のガラス基板間に液晶を充填させた構造を有している²⁾。液晶分子は基板間に印加される電圧によって配向が変化し、その変化の度合いに応じて2枚の偏光板を通過する光の量に変化する。これらの制御を画素ごとに精密に行うことで画像を表示している。

各画素の制御を行う方式としてパッシブ（単純）マトリクス駆動と、アクティブマトリクス駆動がある。パッシブマトリクスは、縦（X軸）と横（Y軸）に導線を配置し、これらの2方向から電圧を印加することで、X軸、Y軸の交点にある画素を制御するものである。しかし液晶ディスプレイの画面の大型化と高精細化に伴い、応答速度やクロストーク等の問題が生じてきたため、現在ではほぼアクティブマトリクス駆動が使用されている。アクティブマトリクス駆動では、各画素にトランジスタやダイオード等のスイッチング素子が設けられている。スイッチがON状態にある時に所定の明るさを得られる駆動電圧を液晶セルに伝える。スイッチがOFF時には不要な信号をカットできるので、クロストークを大幅に削減でき、画素数に影響されることなく、応答速度が速く、高コントラストな画像が得られる³⁾。

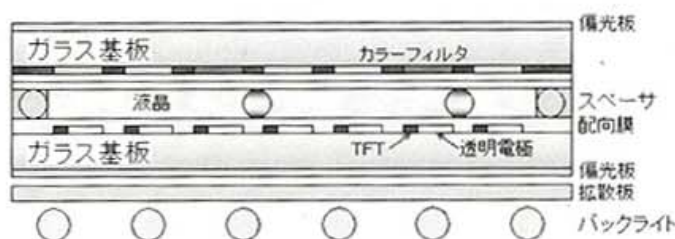


図1 液晶ディスプレイの構造

2-2 スイッチング素子

アクティブマトリクス駆動に使用されるスイッチング素子は一般的にシリコン半導体で薄膜トランジスタ（Thin Film Transistor: TFT）を形成するものが用いられる。これらのTFTの種類には、アモルファスシリコン、低温ポリシリコン、高温ポリシリコン等がある⁴⁾。

アモルファスシリコンTFT（a-Si TFT）のプロセス温度は300～400℃で電子の移動度は1cm²/Vs

程度である。大面積でも面内で均一なトランジスタの特性が得られやすい特徴からモニターやテレビなどの液晶ディスプレイに広く用いられている。一方、低温ポリシリコン TFT (LTPS-TFT) では 500～600℃といった高温が必要になるが、シリコンを結晶化させることにより、アモルファスシリコン TFT より 1～2 桁高い電子の移動度が得られる。成膜後にエキシマレーザーの照射等が必要なことから、生産可能なサイズが制限されるが、高い電子の移動度を利用して、1画素当りの TFT 面積を小さく設計することができ、開口率が高くなることからディスプレイの高解像度化や高輝度化を行うことが可能になる。

2-3 高解像度ディスプレイ

現在、液晶ディスプレイは大型 TV、タブレット PC、スマートフォン等、様々なデバイスに使用されているが、スマートフォンが発売された当初、そのスクリーンに使用されていたディスプレイの解像度は 160ppi 程度であった。しかしスマートフォンやタブレット PC の普及が進むにつれ、文字などの視認性を高めるため 300ppi を超える解像度のディスプレイの需要が高まっている。このようなきめの細かい高解像度ディスプレイを実現するためには LTPS-TFT の技術が必須であり、ガラス基板に対しても LTPS の高温プロセスに耐えるガラスのニーズが高くなっている。

3. 液晶ディスプレイ用ガラス基板

3-1 液晶ディスプレイ用ガラス基板の製造方法

液晶ディスプレイに使用されるガラス基板はオーバーフロー法とフロート法で成形されている⁵⁾。図 2 にオーバーフロー成形の概略図を示す⁶⁾。

オーバーフロー法はガラス融液を桶状の耐火物の両側からあふれださせ、耐火物下端で融合させて下方に引き伸ばす方法である。ガラス基板の表面は空気以外に接触しないため高い表面品位を持つ基板を成形することができる。そのため、研磨を施すことなく液晶用基板として用いることができる。

しかし、オーバーフロー法ではフロート法よりも成形温度域から室温までの冷却速度が高いため、ガラスの熱収縮率が高くなりやすいという課題がある。熱処理によってガラス基板の体積収縮が起こると、LTPS のような高精細のパターニングを必要とする工程においてパターンずれを生じやすくなる。



オーバーフロー法

図 2 液晶ディスプレイ用ガラス基板の成形方法

3-2 熱収縮

熱収縮とは、ガラスを歪点以下の温度で熱処理した際に生じる構造緩和による体積減少である^{7,8)}。

図 3 に体積-温度曲線を示す。高温で成形されたガラスは徐々に冷却され、温度の低下とともにガラスの粘度は高くなっていくが、ガラス転移点 b 以下になるとガラスが固体としてふるまうような状態となる。この点を境に熱膨張係数が大きく低下するため体積-温度曲線に屈曲点が見れる。こ

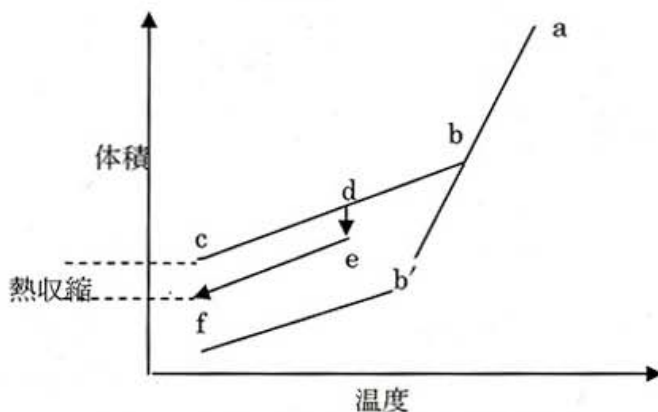


図 3 ガラスの体積-温度曲線

ここでガラスの冷却速度が低くなるほど仮想温度 (b') は低くなり、常温でのガラスの体積は、冷却速度の低いガラスのほうが小さくなる。例えば a → b → c の経路で常温まで冷却されたガラスをある温度 d まで加熱・保持した場合、ガラスはその温度での安定な構造をとるべく構造緩和が起こる (d → e)。この構造緩和したガラスを冷却 (e → f) すると元の体積 c とは異なる f となっており、この寸法の変化が熱収縮となる。熱収縮の原因となっている d → e の構造緩和は保持温度が高くなるほど緩和は速く進む。保持温度が一定であれば、ガラスの粘度が高いほど緩和が進みにくくなり、熱収縮を低減できる。

3-3 高耐熱・低熱収縮基板 OA-30 の開発

TFTの製造プロセスではガラス基板上に幾層もの微細なパターンを持つ膜を重ねて形成してゆくため、ガラスの熱収縮率が大きいとパターンのずれが生じやすくなる。前述したように LTPS-TFT のプロセスの温度は 500~600℃と高いため、歪点の低いガラス基板では熱収縮量が大きくなりやすく、高精度のパターニングが困難になる。

今回このような課題を解決すべく当社では OA-30 を開発した。OA-30 および、現在液晶ディスプレイ用ガラスとして使用されている OA-10G, OA-11 の特性を表 1 に示す。OA-30 の歪点は 740℃であり、各社から市販されているすべての液晶ディスプレイ用ガラス基板の歪点を上回る。各熱処理温度で1時間保持した場合の熱収縮量を示したグラフを図 4 に示す。いずれの熱処理温度において OA-30 の熱収縮量は OA-10G, OA-11 に比較して小さい。特に 500℃や 600℃といった高温での熱収縮量は、OA-10G に対して約 1/3~1/7, OA-11 に対して 1/2~1/3 と小さいため、LTPS 等のプロセスにおいて、更なる高解像度化に貢献するものと思われる。

表 1 液晶ディスプレイ用ガラス基板の特性

項目	単位	OA-30	OA-11	OA-10G
歪点	℃	740	685	650
熱収縮量 (500℃-1h)	ppm	15	30	60
ヤング率	GPa	81	78	73
比ヤング率	GPa/[g/cm ³]	31	31	30
密度	g/cm ³	2.62	2.52	2.46

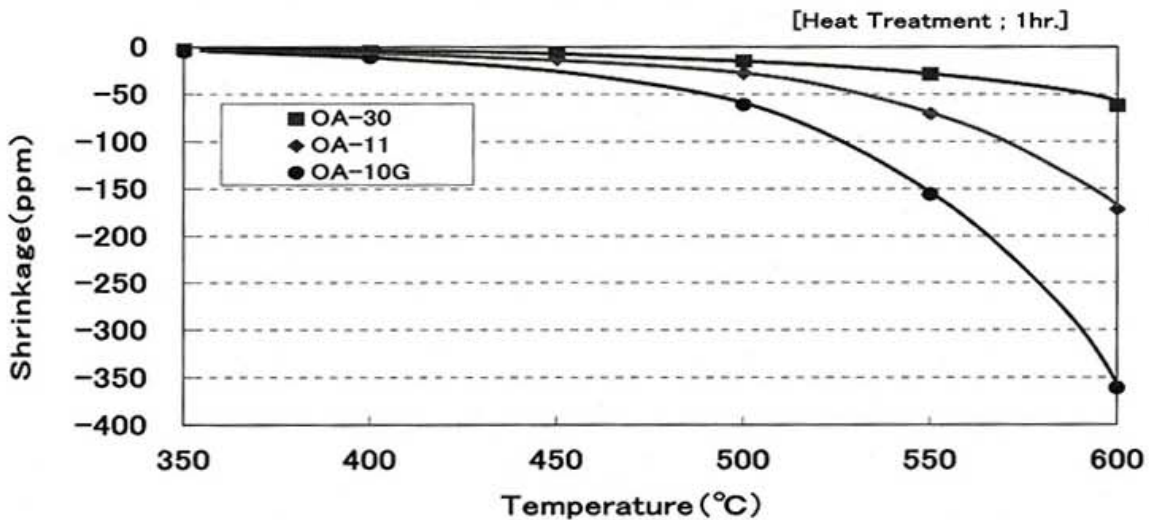


図 4 各熱処理温度での熱収縮量

また各熱処理温度での変形量を表したグラフを図5に示す。OA-30は700℃を超えるような温度で熱処理を行ったとしてもほとんど変形しないため、現行のプロセスより更に高い温度で処理が行われたとしても熱反りなどの問題が発生しにくくなるものとする。更に図6に示すように加重によるたわみ量もOA-11とほぼ同等である。液晶ディスプレイのプロセスではガラス基板がカセットに一定の間隔でセットされるプロセスがあり、ガラスのたわみ量が大きいと互いにガラス基板が接触して破損する恐れもあるが、OA-30のたわみ量はOA-11と同等であり、上記のプロセスにも対応している。

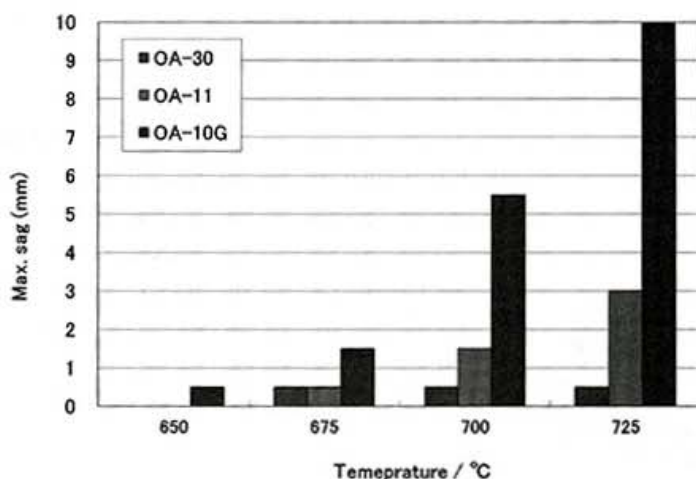


図5 各ガラスの熱処理後の最大変形量

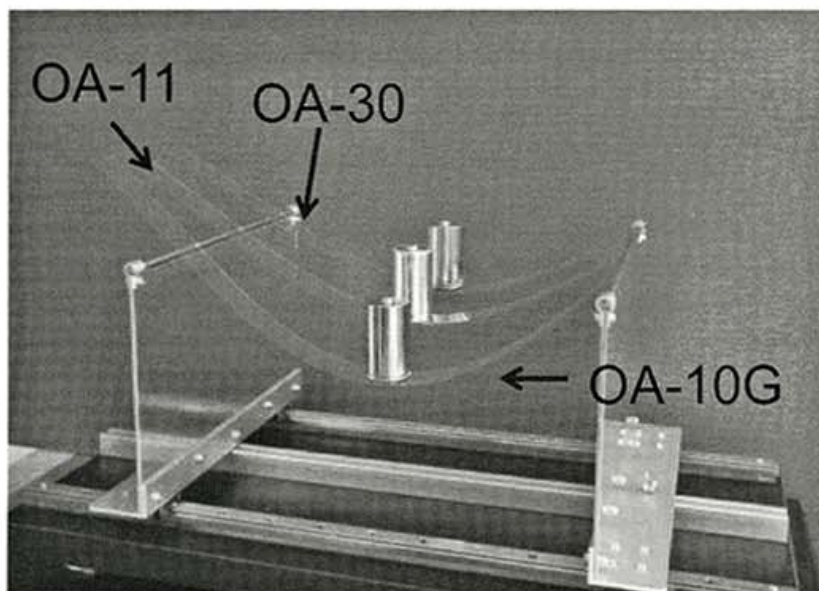


図6 各ガラスの加重によるたわみ

4. おわりに

液晶ディスプレイが登場して以来、大型化・薄型化・表示性能の向上等、様々な技術開発が行われてきた。画面の高解像度化もそのうちの1つであり、すでに人間の目では認識できないほど画素が小さくなっている。今後、このような高解像度のディスプレイはスマートフォン、タブレットPC、ノートPCのみならず、さらに大型のデバイスへ展開していくものと思われる。画面が大型化するに伴い、ガラス基板にはより小さな熱収縮が求められる。今回開発したOA-30はこのようなデバイスに要求される厳しい要求を満たし、大型・高精細ディスプレイの普及に貢献するものである。

参考文献

- 1) NIKKEI FPD2008 市場 新応用編, Part 6-1, 日経 BP 社, (2008)pp. 240-242
- 2) 岩井善弘, 要点 早わかり液晶産業, 工業調査会 (2004) pp.34-35
- 3) 堀浩雄, カラー液晶ディスプレイ, 共立出版 (2001) pp.59-70
- 4) 鶴飼育弘, 薄膜トランジスタ技術のすべて, 工業調査会 (2007) pp. 32-33.

- 5) 安間元哉, カラー液晶ディスプレイ, 共立出版 (2001) pp. 184-187
- 6) 山本茂, 第 40 回ガラス部会夏季若手セミナーテキスト, (社)日本セラミックス協会 ガラス部会 (2008) pp. 37-46
- 7) 山根正之, ガラス工学ハンドブック, (1999) pp.382-384
- 8) 安間元哉, NEW Glass12 No.2.(1997) pp. 21-26



村田 隆 MURATA, Takashi

日本電気硝子株式会社 材料技術部 第一グループ グループリーダー

〒520-8639 滋賀県大津市晴嵐 2-7-1