

液晶ディスプレイ用ガラス基板の熱収縮と緩和

コーニングジャパン(株) 静岡テクニカルセンター

森 一 善

Thermal shrinkage of LCD glass substrate caused by relaxation of glass

Kazuyoshi Mori

Shizuoka Technical Center, Corning Japan K.K.

1. はじめに

液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display, LCD) に使われる薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor, TFT) は、表 1 にまとめたように、現在の主流であるアモルファスシリコン (amorphous silicon, a-Si) TFT と多結晶シリコン (poly-crystalline silicon, p-Si) TFT とに分類される。p-Si はさらにその製造プロセスにおける最高温度によって高温 p-Si と、低温 p-Si に区別される。高温 p-Si はプロセス温度が 1000°C にも達するため、基板には石英ガラスが使われている¹⁾。また近年、p-Si TFT 製造プロセスを 600°C 以下に低温化する技術が開発され、a-Si と同様なガラス基板を使用可能とする低温 p-Si TFT LCD の量産も本格的に立ち上がってきた²⁾。

TFT LCD において、ガラス基板は、最も重要な構成部材の一つであり、耐熱性、耐薬品性などの諸特性が要求されている。特に、TFT プロセスにおけるガラス基板の耐熱特性は、熱

表 1 TFT LCD の種類とプロセス温度

LCD の種類		最高プロセス温度 [°C]
a-Si TFT		300~350
p-Si TFT	低温プロセス	~600
	高温プロセス	~1000

処理による構造緩和というガラス特有の現象に関連している重要な項目である。

2. TFT LCD 用ガラス基板に求められる熱的特性

TFT 製造プロセスの中でガラス基板は様々な熱工程を経る。この熱工程により、ガラスが収縮を起こす場合がある。これは、ガラスの構造が準安定な状態であり、室温から再加熱することによって、その構造がより安定な状態に緩和して高密度化する (すなわち収縮する) ためである³⁾。この熱収縮が許容範囲を超えると、TFT の露光パターンにずれが発生し、TFT 特性の劣化につながる。

TFT パターンの露光時には、あらかじめガラス基板の熱収縮を考慮した倍率補正をかけることによってパターンずれに対応している。露光時の倍率補正によって熱収縮を補正できる範

囲は最大で 40 ppm であるが、製造時のマージンを考慮すると、ガラスに与えられる熱収縮の許容範囲は約 10~20 ppm 程度と言われる⁴⁾。例えば 500 mm の基板長さに対して 5 μm の寸法変化が 10 ppm に相当する。また最大値だけでなく、バラツキについても一枚の基板内および異なる基板間で数 ppm 以内に抑える必要があるとされる。

3. ガラスの構造緩和と熱収縮

ガラスの熱収縮とは、熱処理によるガラスの構造緩和 (structural relaxation) に由来するものである。図 1 にガラスの密度と温度の関係の模式図を示す。

ガラスは、融液状態から冷却される時に、結晶とは異なり、融点付近での急激な構造変化を起こさず融液状態の特性を維持したまま冷却されたものである。この状態は過冷却液体と呼ばれ、その構造は温度によって決まるが、冷却に伴う粘度の上昇によって、ある時点から構造変化が温度変化に追いつかなくなる。この点をガラス転移点 (T_g) と呼ぶ。ガラス転移点は冷

却速度に大きく影響され、急冷されたガラスではガラス転移点 (図中 T_g) は高く、密度は小さくなり、徐冷されたガラスではガラス転移点 (図中 T_g') は低く、密度は大きくなる⁵⁾。

例えば、図 1 に示す急冷ガラスを室温からガラス転移点に近い温度域まで再加熱し、再び室温まで冷却すると、ガラスの構造緩和による高密度化が起こり、ガラス基板としてみた場合、寸法の収縮が起こる (図中 A→B→C→D)。a-Si TFT の場合は、ガラスが通過するプロセス温度域が 300°C 前後であるため、熱収縮量は問題とならないほど小さい (図中 A→E→F→G)。

一方、低温 p-Si TFT の場合、先に説明したようにプロセスの最高温度が 500~600°C に達するため、熱収縮の要求値を満足するためには、プレアニール処理による安定化が必要となる。すなわち、あらかじめガラス転移点付近まで再加熱し徐冷することによって (図中 A→B→C→D)、ガラス構造を緩和させ、続く TFT プロセスにおける熱収縮を低減させることが必要となる (図中 D→H→I→J)。

4. LCD 用ガラス基板の熱収縮

一般的には、a-Si TFT LCD 用途のガラス基板では、成形工程とは別に、熱的安定性を向上させることを目的とした、追加として行うアニール処理は行われていない。これは現在、TFT LCD 用ガラス基板として使用されている、コーニング 1737 (無アルカリアルミノ硼珪酸ガラス) をはじめとする、各ガラスが様に 600°C 以上という高い歪点を持っており、プロセス温度が低い a-Si TFT 製造工程では、熱収縮が小さいためである。1737 の場合、例えば 350°C で 1 時間保持した時の熱収縮率は 2~3 ppm である。一方、低温 p-Si TFT 製造プロセスにおいては、非アニールのガラス基板では熱収縮が許容範囲よりも大きくなる。例えば、アニール処理されていない 1737 を、600°C で

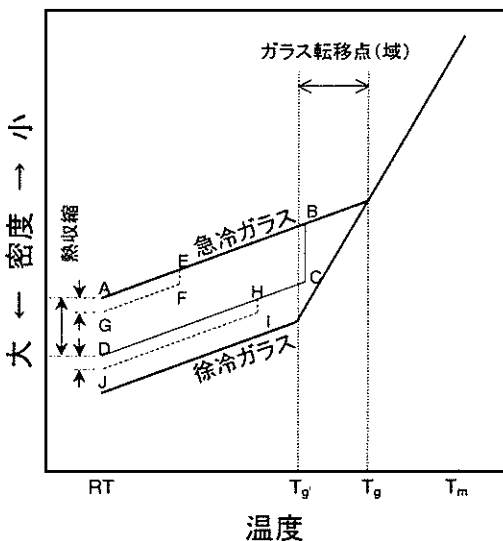


図 1 ガラスの密度と温度の関係

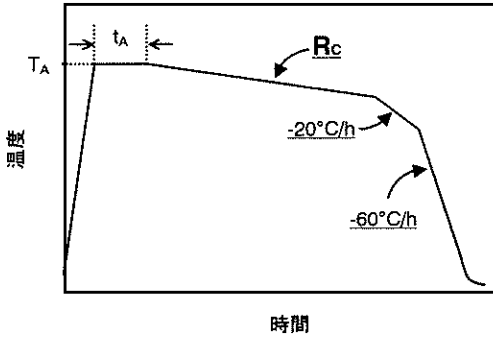


図2 実験に用いたアニーリングサイクル
(R_c =(a) 2.5, (b) 5, (c) 10, (d) 20[°C/h])

1時間保持した場合の熱収縮率は、100 ppm を超える。このため、ガラス基板をこのような低温 p-Si の温度域で使用する場合には、熱安定性を向上させ熱収縮率を許容範囲内に抑えるために、プレアニーリング処理が必要となる。

低温 p-Si TFT 用途ではガラス基板の熱収縮の低減がもっとも重要な要求項目である。そこで、本項では、現在 TFT LCD 用ガラス基板として最も広く使われている 1737 を例にとり、低温 p-Si 用プレアニーリング処理、および TFT 製造熱工程における熱収縮に関して説明する⁶⁾。

4.1 ガラス基板のアニーリングによる安定化

低温 p-Si TFT 用途として、500~600°C で 1737 を使用する場合は想定して、プレアニーリングに関する実験を行った。

図2に、この実験で用いたアニーリングサイクルを示す。アニーリング温度 T_A まで昇温し、一定時間 t_A 保持した後冷却速度のみを $R_c=2.5, 5, 10$ および 20°C/hour と変化させた4種類の試料を作製した。これらをそれぞれ(a)~(d)とする。

図3に、(a)~(d)についての冷却速度 R_c とコンパクションの関係を示す。冷却速度が遅い方がコンパクションが大きい、すなわちより高密度化しており、このプレアニーリングによる構造緩和が進んでいる状態と考えられる。

これらのプレアニーリング処理によるガラス基板

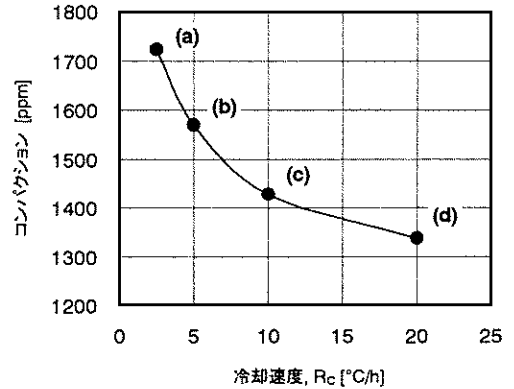


図3 アニーリングによるコンパクションと冷却速度の関係
(a) $R_c=2.5$ °C/h (b) $R_c=5$ °C/h
(c) $R_c=10$ °C/h (d) $R_c=20$ °C/h

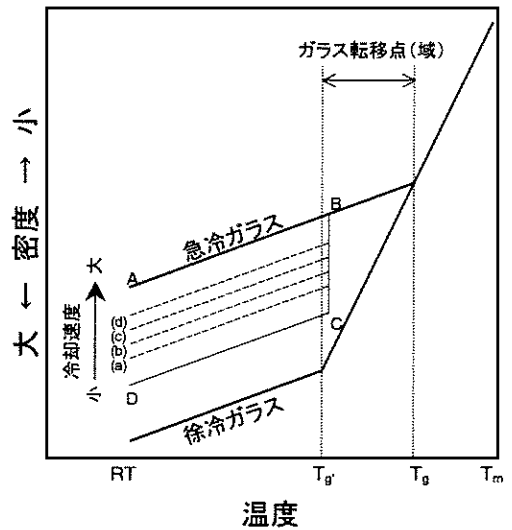


図4 冷却速度とガラスの密度の関係

の緩和を、図4を用いて説明する。冷却速度が十分にゆっくりであれば、構造緩和が進み、ガラスの構造は徐冷ガラスへと近づいていく。しかし冷却速度 R_c が速くなってくると、十分な緩和時間が得られないままに冷却されるため、B点からC点にまで至れず、冷却速度に応じて(a)~(d)のように急冷ガラスに近い状態で室温へと冷却されたと考えられる。冷却速度の異なる熱履歴を経ることによって、熱安定性の異なる

るガラスが得られたことになる。

4.2 LCD 製造工程における熱収縮

低温 p-Si TFT LCD 製造プロセスの熱工程を図5の様に仮定し、その最高温度 T_p および保持時間 t_p を変化させた場合の熱収縮率を調べた。昇温および降温はそれぞれ毎分 10°C とした。すべて実験的に作ったシミュレートプロセスである。図6に4.1節で述べた4種類のプレアニールの冷却速度が異なる1737ガラス(a)~(d)について、 450°C ~ 600°C の間の各温度

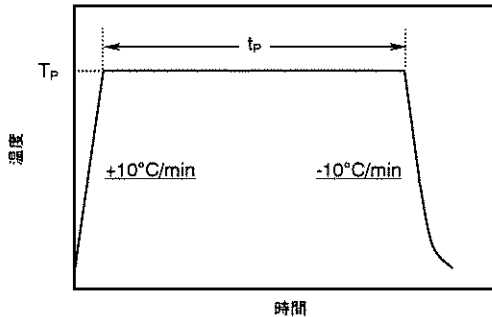


図5 p-Si TFT 製造工程を想定した熱サイクル
(T_p : $450, 500, 550, 580, 600^\circ\text{C}$)
(t_p : 2, 5, 10, 15 h)

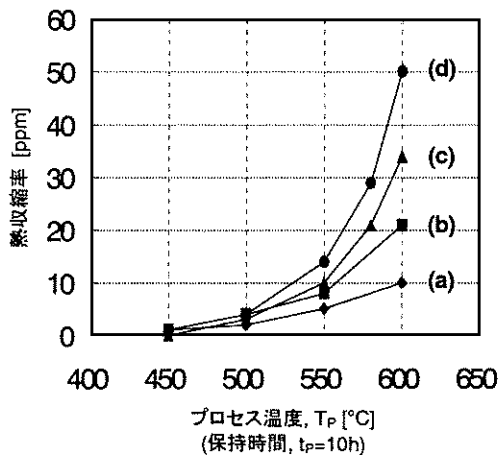


図6 p-Si プロセス温度と熱収縮率の関係
(保持時間=10h)
(a) $R_c=2.5^\circ\text{C/h}$ (b) $R_c=5^\circ\text{C/h}$
(c) $R_c=10^\circ\text{C/h}$ (d) $R_c=20^\circ\text{C/h}$)

で10時間保持した場合の熱収縮率の変化を示す。また図7には、同じく(a)~(d)について、保持温度を 600°C として、保持時間を変化させた時の熱収縮率を示す。熱収縮率は、ガラス基板の加熱温度が低いほど、加熱時間が短いほど小さくなっているのが分かる。

プレアニール条件の異なる(a)~(d)の各ガラスについて、図6および図7から、達成すべき熱収縮の目標値が決まれば、p-Si TFT を作製する時に許容される熱プロセスの温度や時間を知ることができる。例えば、最もよくプレアニールされたガラス(a)では、仮に熱収縮の目標値を10 ppmとしても、最高 600°C 最長10時間の条件まで許容されると考えられる。

TFT 作製に相当する熱処理条件が同じ場合に、(a)~(d)の熱収縮率を比較すると、プレアニールによるコンパクションの大きい、すなわちプレアニールの程度が高く、構造緩和が進んでいる順に熱収縮が小さくなっていることが分かる。また図6と図7を比べると、保持時間による熱収縮率の変化は、4種類すべてのガラスで直線的であるのに対して、プロセス温度による熱収縮率の変化は、温度が高くなるとともに指数関数的に大きくなっており、熱収縮には温

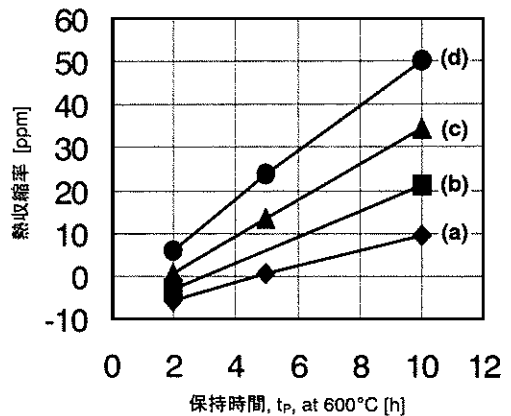


図7 保持時間と熱収縮率の関係
(プロセス温度= 600°C)
(a) $R_c=2.5^\circ\text{C/h}$ (b) $R_c=5^\circ\text{C/h}$
(c) $R_c=10^\circ\text{C/h}$ (d) $R_c=20^\circ\text{C/h}$)

度の影響が大きいことが分かる。

また、図7に示すように、1737(a)および(b)では、600°C、2時間の条件で、熱収縮率の値が負となっている。すなわちこの加熱処理によって、ガラスが収縮でなく膨張していることを意味する。この現象は、比較的良好にプレアニールされたガラスについて、しばしば見られる。あらかじめよくプレアニールされたガラスが、続く熱処理で600°Cという比較的高い温度域から毎分10°Cという大きい冷却速度で冷却されたために、高温時の密度が小さい状態が、緩和する時間のないままに凍結されたためと考えられる。

5. おわりに

本稿ではLCD用ガラス基板に求められている熱的特性、特に低温p-Si TFT LCD用ガラス基板の熱プロセスにおける寸法変化について解説した。

ガラスは準安定な構造を持っており、再加熱による構造緩和によって高密度化することが、熱収縮の原因であった。TFT LCD用ガラス基板の熱収縮に対する要求は厳しく、プロセスの温度がガラス転移点より低くても、わずかに起こるガラスの緩和による収縮を考慮しなければならない。

適切なプレアニール条件や、TFT作製のプロセス条件を設定することによって、ガラスの構造緩和の程度、すなわち熱収縮率をある程度

コントロールすることが可能である。

今後LCD画面の高精細化がさらに進むにともない、熱収縮への要求もいっそう厳しくなることが予想される。特に低温p-Si TFT製造プロセスにおいて、熱収縮率を数ppm以下に抑えるには、本稿で述べたようにアニール処理を行うか、あるいはTFT製造プロセスのさらなる低温化および短時間化、もしくはその両方が必要と考えられる。

謝 辞

本稿の執筆にあたり御指導頂いたコーニング静岡テクニカルセンターのG. Luers 所長、今村義宏氏、安間元哉氏に感謝します。

参考文献

- 1) 内田龍男編著、次世代液晶ディスプレイ技術、p. 100、工業調査会、1994。
- 2) 小穴保久、オプトニュースNo. 2、p. 29-30、光産業技術振興協会、1999。
- 3) F. Okamoto et al., "Thermal Dimensional Stability of Fusion-Drawn Corning Code 7059 Glass Substrates", SID 91 Digest of Tech Papers, p. 663.
- 4) 大田勲夫監修、液晶パネル製造プロセス技術、p. 148、トリケップス、1991。
- 5) 安間元哉、NEW GLASS Vol. 12 No. 2、pp. 21-26、ニューガラスフォーラム、1997。
- 6) K. Mori and M. Anma, "Study on Thermal Shrinkage of Annealed Corning Code 1737 Glass for Low Temperature Poly-Si Application", SID99 Digest of Technical Papers, pp. 302-305, 1999.