

FPD用ガラス基板の現状と将来

FPD Glass Substrates; Up to Now and Future

石川 博幸

Hiroyuki Ishikawa

ディスプレイカンパニー生産技術本部長

General Manager of Production Technology General Division, AGC Display



この10年ほどの間にCRTからFPDへの急激な交代が起こっている。TV市場においても2009年には数量でFPDがCRTを追い抜くものと見られている。液晶TVもプラズマTVも100インチ超サイズのものが登場するまでになり、ガラス基板のサイズもこの10年の間に拡大の一途を辿ってきた。旭硝子は現時点で全てのFPD商品に対応するガラス基板を供給している世界で唯一のガラスメーカーである。

当社のFPD用ガラス基板の最大の特徴はフロート法で生産されている点にある。フロート法は大型ガラス基板の量産に適した製造法であり、またオンラインの徐冷工程が付いていることから、熱収縮や残留応力値が非常に小さく均一であるという特長を持つ。

AN100は当社のTFT液晶用の無アルカリガラス基板で、熱的特性に優れると共に、比弾性率が高いことによる自重たわみの少なさが特長で、大型液晶から中小型液晶に至るまで幅広く使用されている。さらに当社は清澄過程で亜硝酸や酸化アンチモンなどの有害物質を使用しない清澄方法を実用化し、これにより生産されたAN100は環境汚染の非常に少ないガラスとして市場から高い評価を得ている。

一方、フロート法で生産された液晶ガラス基板では表面研磨が必要となるが、当社では独自の研磨システムと研磨部材の開発を進めてきた。ガラスの切断から梱包に至るまで完全自動化された非常に生産性の高いシステムを設置している。フロート法による大面積素材と全自動研磨加工ラインにより、2006年には他社に先駆けて8Gサイズの液晶ガラス基板の量産を開始している。

1980年代に入ってからカラーの大型PDPの開発が始まり、高歪点ガラスへの要求が高まってきた。高歪点であることと併せて、周辺材料とのマッチングのため、熱膨張については従来のソーダライムガラスと同じであることが求められた。PD200はこの要求に合致した高歪点ガラスで、当社は1995年に世界で初めて量産試作を行い、PDP用ガラス基板のデファクトスタンダードとしての地位を固めるに至った。

PD200の特長として、安定した熱収縮特性、高い体積抵抗値による低いアルカリマイグレーション、銀電極からの銀イオン拡散による黄色発色の程度が小さいことなどが挙げられる。PDP用基板も現在、42"パネル8面取り用の生産が開始されている。

予測では2015年における薄型TV台数は2億5千万台を超えるであろうと見積もられており、ガラス基板の面積需要はまだ当分は高い伸び率が続くものと思われる。1辺が3mを超える超大型基板の安定供給やコスト低減が今後の要求項目と予想され、生産技術やガラス組成などの根本的な見直しも必要であろう。

In these 10 years, a rapid change from CRT to FPD has occurred. In the TV market as well, it is considered that FPD will pass CRT in terms of quantity in 2009. For both

liquid crystal TV and plasma TV, the large size of 100 inch appeared, and the size of the glass substrate has constantly increased in these 10 years. Asahi Glass is presently a sole glass maker in the world who supplies glass substrates for all the FPD products.

The biggest feature of our glass substrates for FPDs is that it is made by the float process. The float process is a manufacturing method suitable for mass production of large glass sheets, and since online annealing process is provided, the thermal shrinkage and residual stress are very small and uniform.

AN100 is our alkali-free glass substrate for TFT-LCD, and it is superior in thermal characteristics and features less sagging due to high specific modulus, and it is widely used from large LCD to small/medium LCD. AGC put to practical use a fining method not using such hazardous substances as arsenic oxide and antimony oxide in the fining process, and AN100 thus produced is highly evaluated as glass with least environmental contamination in the market.

On the other hand, the LCD glass substrate produced by the float process required surface polishing, and AGC has promoted development of its original polishing system and polishing members. AGC has systems with very high productivity that are fully automated from glass cutting to packaging. By means of the large size glass sheet by the float process and the fully automatic polishing line, we started the mass production of 8G substrates in 2006 ahead of other companies.

In the 1980s, the development of large color PDP started and the demand for glass of high strain point has increased. In addition to the high strain point, it is required to have the same level of thermal expansion as that of the conventional soda lime glass for matching with peripheral materials. PD200 is glass with high strain point to meet the requirement, and AGC made the trial of mass production in 1995 for the first time in the world and has solidified its position as de facto standard of the glass substrate for PDP.

As the features of PD200, we can cite stable thermal shrinkage, high bulk resistivity, and less yellow coloring due to silver ion diffusion from the silver electrode. As to the substrates for PDP, the production of 42"x8 substrate has started.

It is predicted that the number of thin TV units in 2015 will exceed 250 million and it is considered that the demand for glass substrates will continue to increase at high rates. Stable supply of very large substrates with one side exceeding 3 m and cost reduction will be future requirements, and it will be necessary to basically review the production technology and glass composition.

1. 始めに

この10年ほどの間のディスプレイ業界におけるCRTからFPDへの主役交代のスピードは、当事者の予測をはるかに超える急激なものであった。FPDの初期には小型の表示端末やPC用の表示画面としての用途が主であったが、大型TV画面としてPDPが登場してからは液晶の画面サイズも一気に拡大し、液晶TVもプラズマTVも100インチ超サイズのものが登場するまでになった。Fig. 1に世界のTV市場の需要推移を示すが、CRTは2003年に数量的なピークに達した後にFPDに押されて急激に減少を始め、現在の予測では2009年にはFPDに追い抜かれるものと見られている。

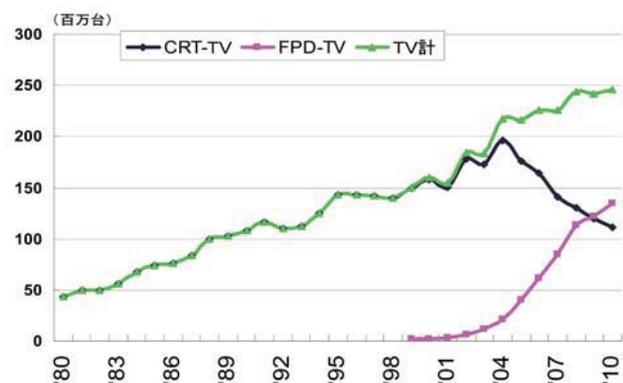


Fig. 1 TVセットの世界需要推移

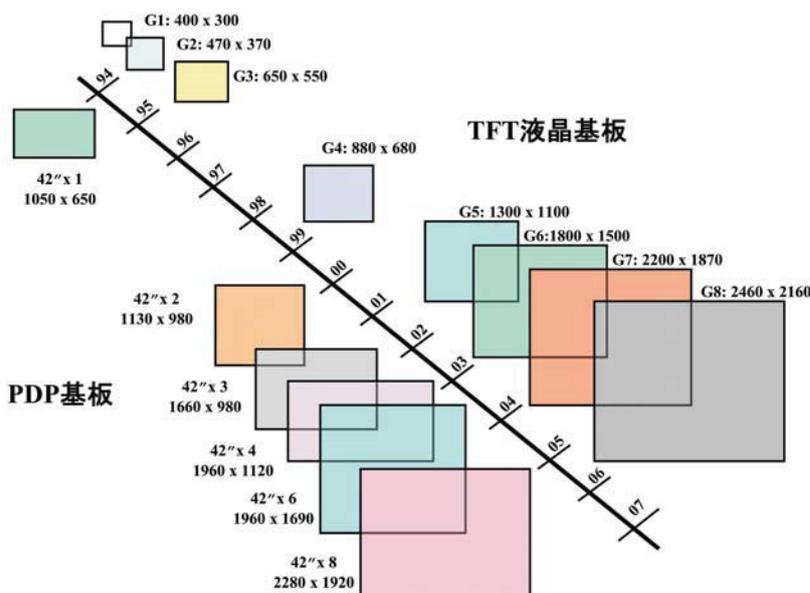


Fig. 2 FPD用ガラス基板サイズの推移

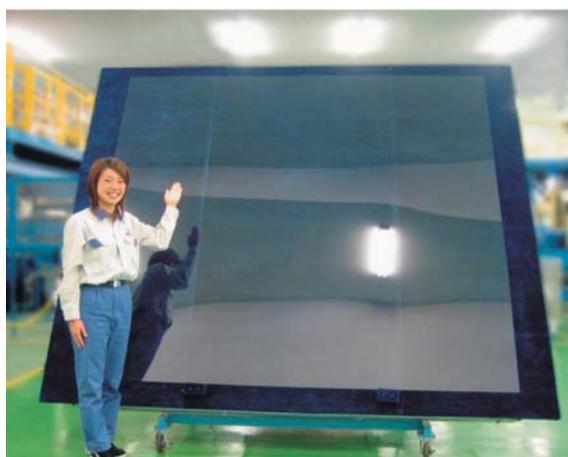


Fig. 3 TFT液晶用G8ガラス基板AN100

ガラス基板のサイズもこの10年の間に拡大の一端を辿っている⁽¹⁾。Fig. 2にTFT液晶用無アルカリガラス基板とPDP用高歪点ガラス基板のサイズの推移を示す。TFT液晶が小型端末用途から徐々に大型TVへ移行してきたのに対して、PDPは最初から大型TVを目指して発展してきた。

液晶用ガラス基板サイズは「G (generation)」と呼称されており、初期の400×300 mm級のG1から始めて、最近では52”サイズの液晶パネルを6面取りするG8まで年々、そのサイズを拡げてきた。Fig. 3にG8基板の写真を示す。

一方、PDPでは1枚の基板から42”パネルが何枚取れるかを基板サイズの目安としている。大型カラーPDPでは、42”パネル1枚取りサイズから始まり、2000年頃からは液晶と同様に生産効率を上げるための多面取りの方向に進んできた。現在では42”パネルを8面取りするサイズが最大である。このガラス基板サイズ大型化の推移からも、FPD産業における急速な生産技術の進展と市場の拡大とが読み取

Table 1 各種FPDへの当社ガラス基板供給状況

		ソーダライム	高歪点	無アルカリ
		AS	PD200	AN100
液晶	TN/STN	✓		✓
	TFT			✓
PDP		✓	✓	
有機EL	passive	✓		
	active			✓
FED			✓	

れよう。

基板の厚みは、TFT液晶では、TV用途で0.7 mm、中小型の携帯機器用途で0.5 mm以下が主流である。PDPでは、当初2.8 mmが採用されたが、現在ではパネル重量軽減のために1.8 mmに移行しつつある。

旭硝子はFPD市場の流れに合わせて基板材料の開発と商品化を推進してきた。Table 1に当社ガラス基板の各種FPD分野での採用状況を示すが、旭硝子は現時点で全てのFPD商品に対応するガラス基板を供給している世界で唯一のガラスメーカーとなっている。本稿では、TFT液晶用とPDP用を中心として、当社のFPD用ガラス基板をめぐる技術の流れ、ガラスの特長、これからの方向について概説したい。

2. 旭硝子のFPD用ガラス基板の開発

2.1 液晶用ガラス基板

(a) 開発の経緯

当社が液晶用ガラス基板の市場に参入したのは、TN、STN液晶用のソーダライム基板とそれにITOを成膜した透明電導膜基板を供給したことが始まりである。新しい組成のガラスとして市場に供給したの

は85年に生産を開始したホウ珪酸ガラスAXである⁽²⁾。アンブル管の組成をベースに改良を加えたもので、アルカリ含有量が少ないことからアルカリバリアーのためのシリカ膜が不要なガラスであった。しかしながら液晶は徐々にSTNからTFTに移行しつつあり、ガラス基板も無アルカリガラスを使う方向に向き始めたため、当社でも無アルカリガラスの組成検討と生産技術の開発が開始された。すでに無アルカリガラスなどの特殊ガラスについては、半導体露光用のフォトマスクガラス基板の開発で手がけていたが、大サイズのガラスをフロート法で生産することが基本方針であったため、ゼロからの開発に等しい状況であった。このような中で当時のガラス基板への要求仕様を満たして、かつフロート成形できるガラスとして開発され、92年から商業生産を開始したのがAN635である。AN635は世界で最初にフロート法で商業生産されたTFT液晶用の無アルカリガラスとなり、主流であったフュージョン法に比べてはるかに大きな素板が生産可能であったことから、市場からの良好な評価と大型基板供給への期待を得て、最後発ながら急速に市場シェアを拡大するに至った。昨今の液晶ガラス基板大型化への流れには、当社のフロート法による市場参入もひとつの影響をもたらしたと言えるであろう。95年ころから市場ではより低膨張で軽量のガラスの要求が出始め、競合メーカーが新組成ガラスの供給の検討を始めたので、当社でも99年からAN635の後継ガラスとしてAN100を市場に投入開始し、現在に至っている。

Table 2に液晶表示素子用として市場に供給してきた当社ガラスの特性を示す。TN/STN液晶では窓ガラスと同じソーダライムガラスが使用されており、ガラス中のアルカリイオンの溶出を防ぐために表面にシリカ膜を成膜して使用されている。AXはSTN用に開発されたホウ珪酸ガラスで、アルカリ溶出量が少ないためシリカ膜を成膜しなくても使用できることが特長であった。TFT液晶ではアルカリイオンによるTFT特性の劣化が嫌われるため、アルミノ珪酸系の無アルカリガラスが一般的に用いられる。また高精度の画素が形成されるために低熱膨張、低熱収縮が求められ、また高い耐薬品性が要求される。

Table 2 当社の液晶用ガラス基板

	TN/STN液晶用		TFT液晶用	
	ソーダライムガラス	ホウ珪酸ガラス	無アルカリガラス	
	AS	AX	AN100	AN635
歪点 (°C)	511	527	670	635
徐冷点 (°C)	554	571	711	685
熱膨張係数 (×10 ⁻⁷ /°C)	85	49	38	49
密度 (g/cm ³)	2.49	2.41	2.51	2.77
ヤング率 (GPa)	71	69	77	73
比弾性率	24.5	28.6	31	26
誘電率 (R.T. 1MHz)	7.6	5.9	5.8	6.5

AN635、AN100ともにこれらの市場要求を満たす特性を持ったガラスである。

(b) TFT液晶用ガラス基板 AN100

当社の液晶用ガラス基板の最大の特徴は、フロート法で生産されている点にある。Fig. 4にフロート法の概念図を示すが、熔融スズを入れたフロートバスと呼ばれる槽にガラス融液を流し込み、水平方向に引き出して板状に成形する。Fig. 5 (a) (b)に示すように0.7 mm厚を中心とする液晶用の薄板ガラスでも5 m近い板幅で生産することが可能で、大型ガラス基板の量産に適した製造法である。

Fig. 4から判るように、フロート法の製造ラインはガラスを徐冷するアニール工程を備えている。フロート法で製造されたAN100の大きな特長のひとつとして、熱収縮が非常に小さいということが挙げられる。もともと歪点の高い組成である無アルカリガラスの場合には、ソーダライムガラス等と比較して熱収縮が小さいが、オンラインで徐冷工程を通過してくるAN100ガラスの熱収縮は、フュージョン法などで製造された無アルカリガラスと比較して優れた特性を示す。Fig. 6にソーダライムガラス、AN100、代表的なフュージョン法ガラスの熱収縮の比較を示すが、AN100の熱収縮は小さい。液晶TVなどに使用されているアモルファスSi (a-Si) TFTの工程温度

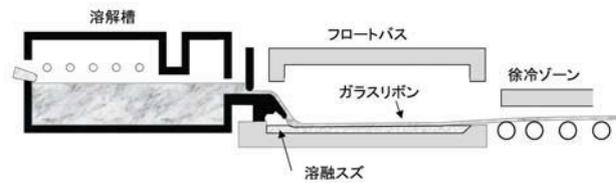


Fig. 4 フロート法の模式図

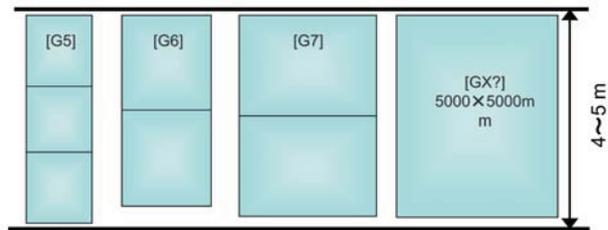


Fig. 5 (a) フロート法のガラスリボン幅

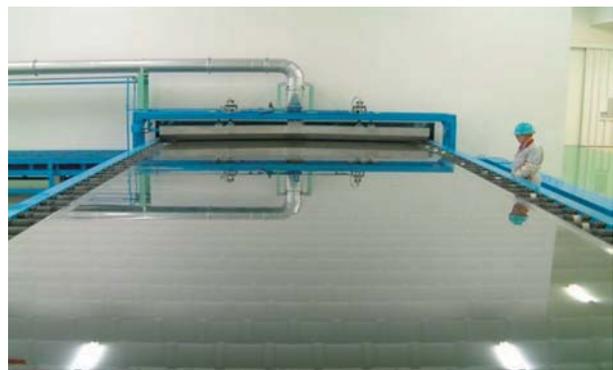


Fig. 5 (b) AN100素板

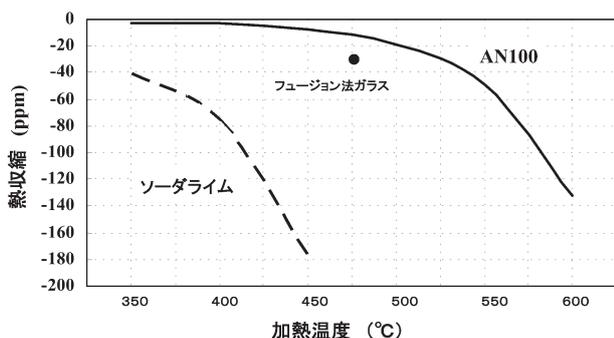


Fig. 6 ガラスの熱収縮比較 (各温度で1時間加熱)

は最高でも350℃程度であり、AN100の熱収縮は2～3 ppm程度である。また中小型液晶パネルやアクティブ型有機ELに使用されている低温型ポリSi (LTPS) TFTでは一般的に500℃以上の温度域の工程があるが、AN100ではフュージョン法のガラスのような再アニール処理をせずにTFT工程に投入できることから、LTPS-TFTを採用している中小型表示パネルで広く使用されている。

フロート法がオンラインの徐冷工程を持っていることのメリットは、ガラスの残留歪の大きさと分布状態にも表れている。Fig. 7はG7サイズ基板の残留応力の大きさと分布状態を、AN100と代表的なフュージョン法ガラス基板について比較測定したものである。AN100では残留応力値も低く、また均一な分布状態であることがわかる。

またAN100の特長として、比弾性率が高いことによる自重たわみの少なさがある。

ガラス基板の3辺をFig. 8のように支持したときの最大自重たわみは以下の式で表される。

$$\sigma = \beta(\rho/E)(L^2 \cdot l^2 / t^4)$$

(σ : 最大自重たわみ量 ρ : 密度 E : ヤング率 L : 長辺の長さ l : 短辺の長さ t : 板厚 β : 定数)

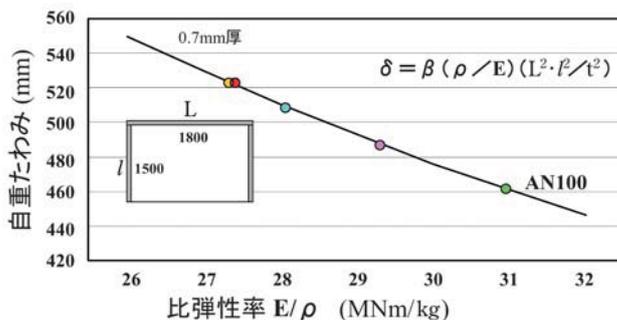


Fig. 8 G6基板でのガラスの比弾性率と自重たわみ

これから判るように自重たわみ量は (E/ρ) に反比例するため、ガラスの密度だけではなくヤング率も考慮する必要がある。 (E/ρ) は比弾性率と呼ばれる材料定数で⁽³⁾、この大小で自重たわみの相対的な比較が出来る。一例として、Fig. 8はG6サイズのガラス基板を3辺支持したときの比弾性率と最大自重たわみの関係を計算した結果にAN100と市販の他社ガラスの比弾性率をプロットしたものであるが、ガラスによってたわみ量に大きな差があり、比弾性率の高いAN100のたわみが一番小さいことがわかる。液晶TVの製造でのガラス基板の大型化と中小型パネルの製造でのガラス基板の薄板化が進む中で、AN100が持つ優位な商品特性と言える。

一方、フロート法で生産されたガラス基板では研磨という工程が必要となる。これはガラスの表面に極微小な周期的なうねりがあるため、液晶用としてはこれを除去する必要があるためである。液晶用ガラスの研磨についてはSTN液晶の時代からオスカー型研磨機と呼ばれる片面研磨機が一般的に使用されてきたが、基板が大型になるほどガラス板の取り扱いが難しく、また労働集約型の生産にならざるを得なかったため、当社では独自のガラス研磨システムと研磨部材の開発を進めてきた。現時点では、0.7

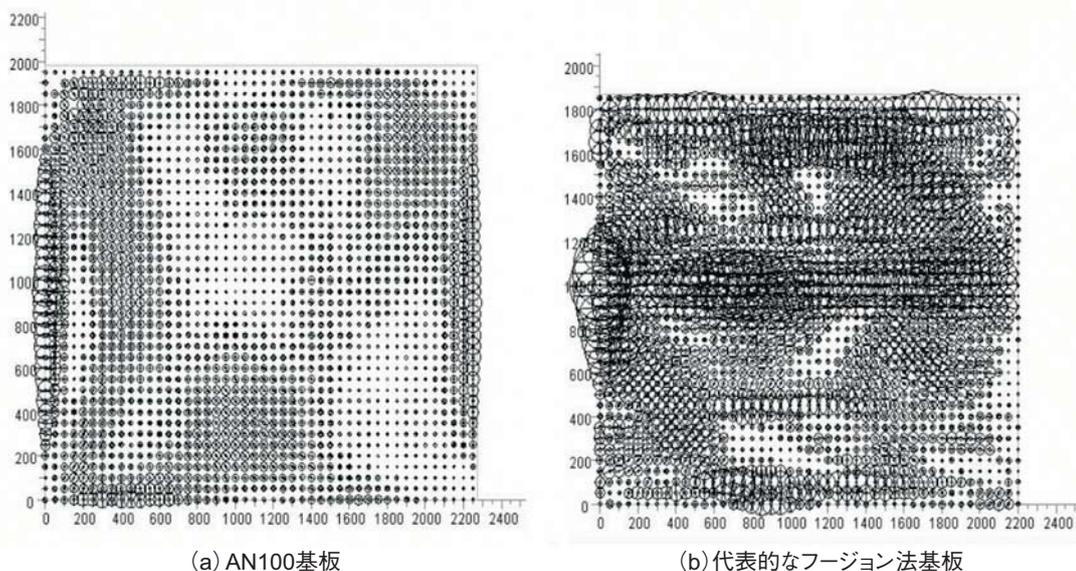


Fig. 7 G7サイズでのフロート法とフュージョン法ガラスの残留応力分布 (0.7 mm 厚)



Fig. 9 当社独自開発の全自動研磨ライン



Fig.10 AN100基板の表面プロファイル

mm厚のG8基板用の研磨ラインが最大ラインとして稼動している。ガラスの切断、面取り、研磨から洗浄、検査、梱包に至るまで完全自動化されたラインであり、従来の研磨システムに比べて格段に生産性の高いシステムとなっている。Fig. 9に研磨ラインの外観を示す。Fig. 10はAN100の研磨面平坦度プロファイルの一例であるが、非常に高平坦であることがわかる。液晶TVの高視野角化に伴って更に高い表面精度が必要とされてきている。

さらに環境面でも、フロート法で生産された当社の液晶用ガラス基板AN100は優位な立場にある。これまでフージョン法で製造された無アルカリガラス基板には、清澄の過程で亜ヒ酸や酸化アンチモンが使用されていたため、ガラス中には1%前後のこれら有害物質を含有している。当社は市場参入の初めから有害物質を使用しない清澄方法を実用化し、市場にガラス基板を供給してきた。将来、廃棄液晶TVが大量に出てくる時代が想定されるが、AN100は環境汚染の非常に少ないガラスとして安心して使用することが出来る。

2.2 PDP用ガラス基板

(a) 開発の経緯

PDPの歴史はかなり長く、モノクロの小型PDPは70年ころから情報表示用などの用途を中心として使われてきた。ガラス基板としてはソーダライム基板が使われてきたが、80年代に入ってからカラーの大型PDPの開発が各社で始まり、従来のソーダライム基板では高温熱処理工程での熱収縮のために使用できないと言われ始めてきていた。これを解決するには歪点の高いガラスを採用することが必要であった

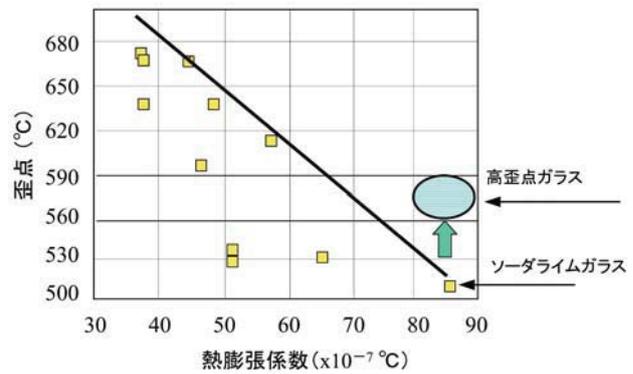


Fig. 11 珪酸塩系ガラスの歪点と熱膨張の関係

Table 3 PD200とソーダライムガラスの特性比較

	PDP用	
	ソーダライムガラス	高歪点ガラス
	AS	PD200
歪点 (°C)	511	570
徐冷点 (°C)	554	620
軟化点 (°C)	735	830
熱膨張係数 (×10 ⁻⁷ /°C)	85	83
密度 (g/cm ³)	2.49	2.77
ヤング率 (GPa)	71	76
比弾性率	24.5	27.4
誘電率 (R.T. 1 MHz)	7.6	8

が、それまでにソーダライム基板で使用されてきた周辺材料をそのまま使えるようにするために、単に歪点が高いだけでなく熱膨張については従来のソーダライムガラスと同じであることが求められた⁽⁴⁾。Fig. 11は珪酸塩系のガラスの歪点と熱膨張係数をプロットしたものであるが、歪点が増えると熱膨張は低くなるというのが当時の一般的な考え方であり、この経験則から外れたガラス組成を探索することがPDPメーカーからの要請であった。試行錯誤の末、88年に市場要求を満たすガラスPD200の組成開発に成功したが、平面ブラウン管TV全盛の時代にあつてPDPの将来性が不明であったため、事業化の目処が立たない状態になっていた。94年に日本放送協会 (NHK) を中心として98年の長野オリンピックを大型カラーPDPでハイビジョン中継することが計画され、大型PDPの量産技術を開発するコンソーシアムであるPDP開発協議会が設立された。この協議会から当社へ高歪点ガラスPD200の量産試作が依頼され、これに応えるべく95年に関西工場の型フロート窯で量産試作を行って協議会参加各社に供給を開始した。これがPD200がPDP用ガラス基板のデファクトスタンダードとしての地位を固めるきっかけとなった。Table 3にPD200とソーダライムガラスの主要な特性を示す。熱膨張をソーダライムガラスとほぼ同等に抑えながら歪点を高くしたこと、ならびに体積抵抗値を高くしたことがPD200の特長である。

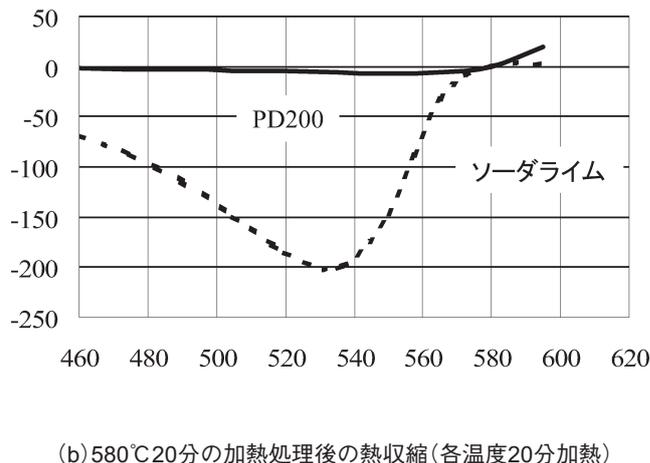
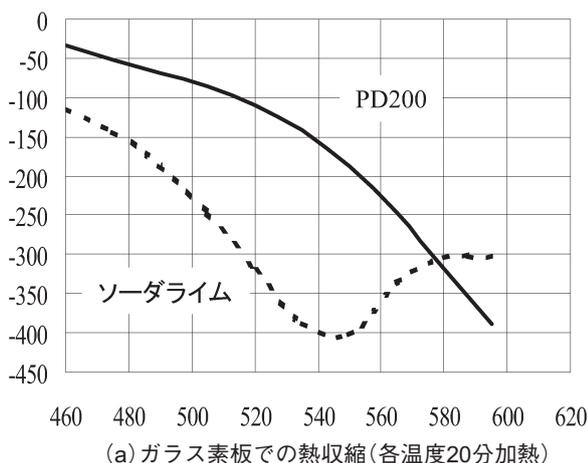


Fig. 12 PD200とソーダライムガラスの熱収縮特性

(b) PDP用ガラス基板 PD200

Fig. 12(a)(b)にPD200とソーダライムガラスの熱収縮特性を示す⁽⁵⁾。窯から引いたままの状態では、どちらのガラスも大きな熱収縮を示すが、ソーダライムガラスではガラス転移点を越えると膨張に転じ始める。580°Cで20分の予備熱処理をしてから再加熱した場合、PD200の熱収縮は小さくなって安定的であるのに対して、ソーダライムガラスではまだ大きな収縮を示している。これが複数の高温の熱処理工程を経るPDP用のガラス基板としてPD200が受け入れられた大きな理由である。

PDP用ガラス基板では、電極間のアルカリイオンの移動を防ぐために高い体積抵抗が要求される⁽⁵⁾。体積抵抗の低いソーダライムガラスでは、アルカリマイグレーションにより電極の腐食現象が起こることもあると言われている。Fig. 13はPD200とソーダライムガラスの体積抵抗値の温度変化を示したものであるが、PD200はソーダライムガラスに比べて3桁以上の高い体積抵抗値を持っていることがわかる。PD200はPDPに採用されてから既に10年以上の

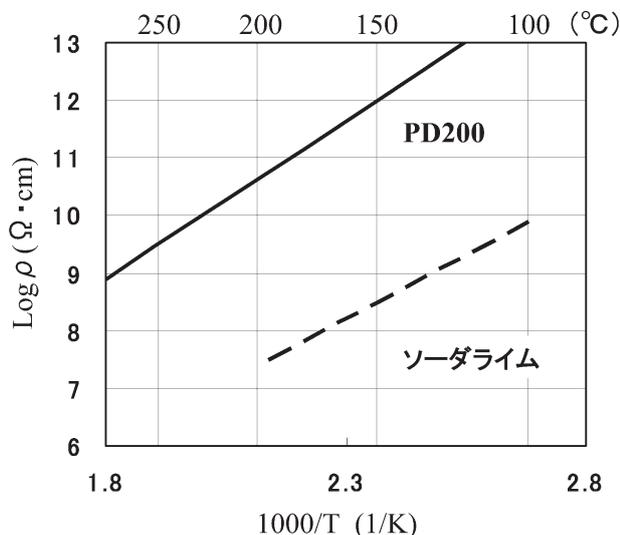


Fig. 13 PD200とソーダライムガラスの体積抵抗の温度変化

年月を経ているが、アルカリマイグレーションによる不具合が報告されたことは無い。

PDPの多くは電極として銀ペーストを焼成して使用している。この銀がガラス中に拡散してコロイド化し、銀発色と呼ばれる黄色の着色現象を生じることが多い。その機構についてはまだ十分に解明され尽くされていないが、ガラス組成や製造条件が深く関与している。Fig. 14はPD200とソーダライムガラスに銀ペーストを塗布して焼成し、銀を剥がしてから光の波長に対する吸光度を測定した結果である。400 nm近傍でソーダライムガラスが大きな吸収を示すのに対してPD200の吸収は少なく、黄色の発色程度が小さいことがわかる。これもPDP用ガラス基板としてのPD200の特長のひとつである。

材料特性によるものだけではなく、生産技術面からPD200が持っている優位性も多い。一例として、PDPの製造ではスクリーン印刷の工程が多く、塗布層厚みの均一化のためにガラス基板の板厚偏差への要求が厳しい。大型フロート設備で生産されたPD200は優れた板厚均一性を持つ。Fig. 15は42"パネル8面取り用1.8 mm厚の基板の板厚偏差の実測値

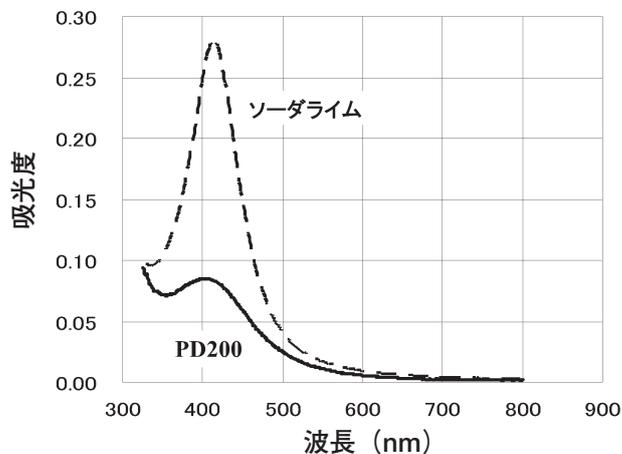


Fig. 14 銀ペーストを焼成した後のガラスの吸光度と波長 (560°C 1時間焼成)

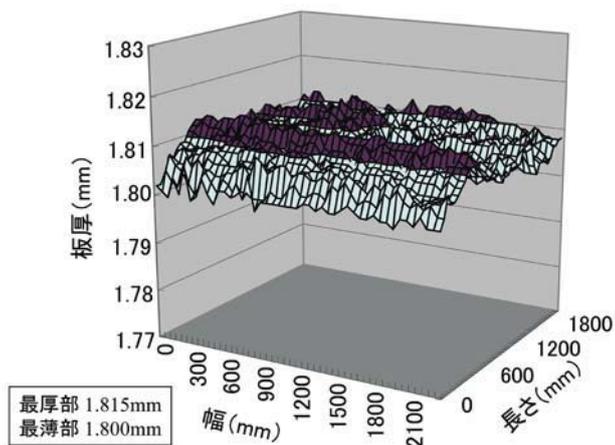


Fig. 15 PD200基板の板厚偏差1.8 mm厚 42”
パネル 8 面取りサイズ)

を示したものであるが、基板全面で $15\mu\text{m}$ の変動範囲に入っている。今後の更なる基板サイズ大型化に対しても十分に対応可能である。

3. FPD用ガラス基板の将来

業界予測によると、2015年における薄型TV台数は2億5千万台を超えるであろうと見積もられている⁶⁾。またTV用途以外では、液晶、PDPともに、これから広告媒体や情報媒体としての壁面全体が表示パネルのような超大型パネルの用途開発が加速されるという予測もある。これらを背景として、ガラス基板の面積需要はまだ当分は高い伸び率が続くものと思われる。基板サイズについては、1辺が3mを超えるG10基板や42”パネル12面取り基板についての検討が既に始められているが、これ以上のサイズに

なることは運搬輸送手段の制約により実現性は薄いであろう。むしろ超大型基板の安定供給の確保やFPDの価格の下落に伴う部材コスト低減の観点から、ガラスの生産技術の根本的な見直しやガラス組成面からの再検討なども今後の開発要求項目となることが予想される。

一方、中小型FPDではあらゆる機能を満載したスーパーモバイル化がいつそう進展すると予測されており、ガラス基板の熱特性やガラス欠点に対する規格はさらに厳しい方向に向かうものと思われる。その他のFPDについては、現状では液晶とPDPの市場浸透が大きくて、新規ディスプレイの参入がなかなか難しい状況にあるが、超薄型パネルが実現可能であるアクティブ型有機EL素子などはその特長を活かした市場での地位を獲得していくと見られる。ガラス基板に対しては中小型液晶と同様に高い品質が要求されていくであろうが、技術的には十分に対応可能と考えている。

これらの市場の動きに対して、これまでに確立した無アルカリガラス基板、高歪点ガラス基板の生産技術をベースとして、FPD市場の要求に確実に応えしていくことが当社の使命である。

—参考文献—

- (1) Hiroyuki Ishikawa, Flat Panel Display Glass Industry Overview, Proceedings of the 20th International Congress on Glass (2004) I-01-004
- (2) 中尾泰昌, エレクトロ・セラミクス, No.5, 12 (1993).
- (3) 加瀬準一郎, 電子材料, No.8, 65 (2004).
- (4) 前田 敬, 精密工学会誌, Vol.70, No.4, 466 (2004).
- (5) 前田 敬, 月刊ディスプレイ, No.10, 65 (1997).
- (6) Eisaku Ohmori, Proceedings of Global FPD Partners Conference 2007, Nagasaki