大型 PDP 製作工程とガラス基板

Large PDP Fabrication Process and Glass Substrates

加藤 俊宏* 村上 宏*

1. はじめに

プラズマディスプレイはPDP (Plasma Display Panel) と呼ばれ、ガス放電を利用して画像や情報を表示する薄型で軽量のディスプレイである。

Ne ガスの放電発光（橙色）を使ったPDPは、すでに自動券売機、自動改札機などに数多く使用されている。また、1.5m 対角のものも特殊な用途に製品化されている¹⁾。最近、21型のカラーPDPがFA機器用、公衆情報表示用として本格的に商品化され、注目を集めている。

一方、ハイビジョンの実用化を目前にして、場所をとらない大型平板カラーテレビ、いわゆる「壁掛けテレビ」の開発が急がれている。ハイビジョンの特徴を生かすには大画面・高精細のディスプレイが必要で、PDPは最有力候補と考えられている²⁾。NHK放送技術研究所ではTab.1に示すようなハイビジョン用PDPの仕様³⁾を目標にPDPの研究・開発を進め、40型カラーPDPを試作し、ハイビジョン画像を実験的に表示した⁴⁾。

アスペクト比16:9のハイビジョン用PDP製作には、大面積にわたって寸法精度の高い、精密な製作技術が要求される。40型カラーPDPはスクリーン印刷技術を中心に製作されるが、この製作工程の中で数回の高温での基板焼成が必要となる。このガラス基板の焼成工程時の形状歪が、寸法精度に大きく影響することが分かった⁵⁾。

ここではPDPの発光原理、40型カラーPDPの構造、試作工程を述べた後、40型カラーPDP部品の焼成工程時におけるガラス基板のふるまいについて概要を述べる。

2. PDPの発光原理

カラーPDPの中には、Fig.1に示す表示セルと呼ばれる小さな蛍光放電管が多数並んでいる。それぞれの表示セルの明るさを制御して画像を表示する。構造と動作の違いから、大きくDC型とAC型に分けることができる。このうち、AC型PDPは1966年イリノイ大学から発表⁶⁾されて以降、研究開発と実用化が行われている。また、DC型PDPの原理はニキシー管や計数放電管などにさかのぼり、行列型ディスプレイとしての研究も1950年代の前半ごろより始められた⁷⁾。いずれのタイプも構造が比較的単純で、応答速度が比較的速いことなどから大画面、大容量表示に適している。

Fig.1はDC型の表示セルで、陰極、陽極とも放電空

Tab.1 HDTV flat display specifications.

Screen size*	55-in.-dia. (672mm×1,195mm)
Number of display cells*	1,035×1,496×3 (4,650,000)**
Pixel size*	0.65mm×0.8mm
Luminance	150cd/m ²
Contrast ratio	50:1
Power consumption in panel***	200W
Luminous efficacy	0.6 lm/W
Gray levels	256
Power consumption in circuits	150W
Display thickness	less than 5cm

* Vertical×Horizontal, ** MUSE, *** APL 1/3

* Toshihiro Katoh, Hiroshi Murakami ▶ NHK放送技術研究所/NHK Science and Technical Research Laboratories.

Fig.1 Principle of color DC PDP.

間に露出していて、電圧が加わっている間放電を継続する。放電で生じる紫外線が、表示セルの内側の蛍光体を刺激し、その蛍光体特有の可視光が放射される。

AC 型 PDP では電極は誘電体層に覆われ、放電空間に露出していない。放電が起きると、放電により生じた電荷が誘電体表面に蓄積し、セル内の電界を弱めるため、放電は瞬時に終わる。このため、放電を継続的に繰り返すには極性が交互に反転する、いわゆる交流パルス電圧を印加する必要がある。ここに AC 型と呼ばれるゆえんがある。

DC 型、AC 型ともメモリ機能が積極的に導入されている。メモリ機能とは、表示情報の書き込み命令の後、消去命令があるまで、それぞれの表示セルが少し低い印加電圧で放電を維持する機能のことである。これにより、それぞれのセルが放電する時間を長くすることができ、輝度を上げることができる。AC 型 PDP では、前述した誘電体層表面の電荷の有無により、放電開始電圧より低めの交流パルスで放電継続状態と停止状態ができるメモリ機能を持っている。

DC 型 PDP では、放電で生じる準安定粒子の寿命が比較的に長いことと、その有無が再点弧しやすさに影響す

ることを利用し、適正な条件のパルスで駆動することによりメモリ機能を得ている⁸⁾。

3. 40型パネルの構造と仕様

40型パネルの構造を Fig.2 に、仕様と性能を合わせて Tab.2 に示す。パネルは陽極と 3 色蛍光面が形成された前面板と、陰極と障壁が形成された背面板の 2 枚の基板で構成されている。蛍光面はフォトリソ法で形成した透過蛍光面で、それ以外はすべてスクリーン印刷で形成する。障壁の高さは約 200 μm である。前面板と背面板には 3mm 厚のソーダ石灰ガラスを使用している。ガラス基板はコストなどの点を考慮して研磨などの処理は一切加えていない。

この比較的単純な構造は大型化を最優先に提案されたもので、平面構成パルスメモリ (PPM: Planar Pulse Memory) パネルと称されている⁹⁾。

Fig.2 のパネルの中で補助セルは、安定で高速の書き込み放電を得るための働きをする。すなわち、表示セルにパルス電圧を加える前に補助セル内で放電を起こし、準安定粒子などをその両隣の表示セルにブライミング用空間を通して拡散させ、この種火効果により表示セルの放電の立ち上がりを速く、しかも安定確実にやっている。

4. 部品製作精度に対する課題

Fig.3 に PPM パネルの製作工程を示す。陰極端子、陰極、障壁、陽極端子、陽極は大型スクリーン印刷機で形成する。図に示すように各部品の印刷後、500 $^{\circ}\text{C}$ 以上の焼成工程を繰り返す。予備焼成 (Prefiring, アニールとも呼ぶ) はその後の各焼成工程時のガラスの形状歪

Fig.2 Structure of the 40-inch panel.

Tab.2 Specifications and performance of 40-in. panel.

Screen size	(mm ²)	520×874
Number of display cells		800×1,344(1,075,200)
Average display cell pitch (mm)		0.65
Cell arrangement		
Panel thickness	(mm)	6
Panel weight	(kg)	8
Peak white luminance (cd/m ²)		93(27fL)
Luminous efficacy (White, lm/W)		0.15
Number of gray levels		256
Display unit thickness (cm)		8

Fig. 3 Panel fabrication process.

を抑えるために行う。この詳細は後述する。蛍光面形成後、前面板と背面板を組み合わせ、フリットガラスでシール、排気、そしてガスを封入する。

前述したように40型パネルは、パルスで駆動することによりメモリ機能を付与している。パネルを安定にメモリ駆動させるには、画面全体にわたり放電セルを正確に組み上げる必要がある。このためには、

- (1)それぞれの基板上で、障壁と陰極、陽極と蛍光体の位置関係が均一なこと。
- (2)前面板および背面板の2枚の基板が同じ寸法精度で仕上がること。
- (3)障壁の高さが一様なこと。

などが重要となる。特に、(1)、(2)は安定なメモリ駆動を得るための絶対条件で、補助陽極は背面板の補助セル用溝の中心に対して $50\mu\text{m}$ 以内に入らなければならない¹⁰⁾ (以下、この両者の位置精度をアライメント精度、またはアライメント誤差と呼ぶ)。

40型パネルの製作工程において、印刷工程時の印刷精度、焼成工程時のガラス基板の形状歪が大きな課題となった⁵⁾。前者については、1) スクリーンメッシュの検討、2) 印刷条件の改善、などで印刷直後の精度を $30\mu\text{m}$ 以内に収めることができた。

5. 焼成プロセスにおけるガラス基板のふるまい

Fig. 4に示すように、一般にガラス基板は歪点以上の高温で焼成した後冷却すると、高温保持後の冷却速度が基板のサイズに影響し、ゆっくり冷却すると焼成前の状態に比べて収縮し、逆に早く冷却すると伸長する¹¹⁾。粘性流動の状態からゆっくり冷却することにより、原子がより緻密に集まろうとするためである。このようなガラス基板の焼成でのふるまいから、Fig. 3に示すように、最初にプロセス温度以上の高温で予備焼成を行い、ある程度ガラスを緻密にしておく。しかし、PDPに使用す

Fig. 4 Dependence of volume of glass plate on the cooling speed¹¹⁾.

るソーダ石灰ガラスの歪点は 510°C 前後とプロセス温度よりはるかに低いので、このような予備焼成を行っていても、本工程における焼成でパターン歪が生じる。

このような歪点以上のプロセス温度で発生するパターン歪を制御することは、基本的には難しいが、少しでも最適な焼成条件を求めてみた。いろいろと試みた焼成プロセスの中で、以下に示すのは主な3種類のプロセスについて測定した結果である。ガラス基板のまま各焼成工程を通し、それぞれの工程後の寸法を測定した。その結果をFig. 5に示す。予備焼成前の寸法を基準とし、それからの変化を百万分率 (ppm) で表している。図において①、②はそれぞれベルト式雰囲気炉 (以下ベルト炉) 移動時の先端、後端である。

また、使用したベルト炉とパッチ式循環炉 (以下パッチ炉) の基板焼成プロファイルを図. 6に示す。Fig. 6

Fig. 5 Shrinkage of the glass plate by the firing process.

Fig.6 Comparison between two basic firing profiles.

よりバッチ炉は、熱容量が大きいので冷却速度が $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ と非常に遅いことが分かる。

予備焼成以降、基板の収縮および伸長がないプロセスが最も望ましい。プロセス A, B, C の内容と結果をまとめると以下の通りである。

①プロセス A (Ni 電極のみにベルト炉, その他はバッチ炉を使用)

冷却速度が遅いため、予備焼成による収縮が最も大きくなった。しかし、バッチ炉とベルト炉との冷却速度の違いにより、Ni 電極焼成で大きな伸びを示した。収縮しすぎたガラスが速い冷却速度により伸びたためである。40型パネルの場合、約 $200\mu\text{m}$ 伸びることになる。これは許容値を大きく越えるアライメント誤差である。

②プロセス B (全ての工程にベルト炉を使用)

焼成先端①と後端②での伸縮の差が焼成を重ねる度に大きくなった。

焼成プロファイルを測定した結果、先端①は基本プロファイルにほぼ追従していたが、後端②はピーク温度に達しにくく、また冷却速度も遅くなっていることが分かった。これはピーク温度の設定値が高いほど顕著であった。ベルト炉幅ぎりぎりのサイズの基板を流しているこ

Fig.8 40-in. PDP for HDTV.

と、焼成台を合わせて厚さが約 13mm にもなることなどにより、プロファイルに差が出たものと考えられる。

Fig.5の結果は、以上述べたようにピーク温度の違いと①と②での冷却速度の差によって生じたものと考えられる。いずれにしてもこのような形状歪を生じるプロセスは使用できない。

③プロセス C (全ての工程にベルト炉を使用)

Ni 電極焼成以降、冷却ゾーンの温度を少し上げることによりプロセス B で生じた①, ②の冷却速度の差を減らした。この結果、基板の伸縮をかなり抑えることができた。このプロセスを40型パネル部品の焼成に使用した。

Fig.7に全工程終了後の前面板陽極ラインの座標測定結果の一例(測定領域: $520\text{mm}\times 780\text{mm}$)を示す。同図(a)はプロセス B に相当し、(b)はプロセス C に相当する。プロセス C ではアライメント精度に影響する X 方向の精度を $30\mu\text{m}$ 以内に抑えている。

以上述べたように焼成工程時のガラスの形状歪に対する課題は、

(1)全焼成工程をベルト炉で行う。

(2)冷却速度を調整する。

ことにより Fig.7のように部品精度を高めることが可能

Fig.7 Examples of anode pattern measured after processes.

となった。印刷精度の向上と合わせて、Fig. 8の写真に示すように画面全体にわたり均一で安定なパルスメモリ駆動を行うことができ、迫力あるハイビジョンを表示できた。

6. おわりに

アスペクト比16:9の40型カラー PDP の試作において印刷精度と焼成工程時の歪が問題となった。本文では焼成工程時の形状歪を中心に概説した。今回はガラスそのものを改善することなしに焼成工程の改善により形状歪を抑え、前面板、背面板の部品精度および組上がり精度を高めた。

冒頭でも述べたように、21型カラー PDP が商品化され、また、展示会などでは各社から40型カラー PDP がデモンストレーションされるなど、大型カラー PDP の開発が活発化している。

しかし、ハイビジョン用の大型カラー PDP の実用化にはさらなる高精細度化、すなわち、セルピッチの微細化が必要である。このためには、焼成工程時のガラス基板の形状歪に対して、本文で述べた焼成プロセスの改善以外にも、今後高歪点ガラス、低温焼成ペーストなど幅広く研究・開発を進めていく必要がある。

参 考 文 献

- 1) Wedding D. K., Friedman P. S., Soper T. J., Holloway T. D. and Reuter C. D.: "A 1.5m-Diagonal AC Gas Discharge Display", SID Int'l Symp., Digest of Technical Papers, pp. 96-99, (May 1987)

- 2) 村上 宏: "カラープラズマディスプレイ開発の現状", 応用物理, 第63巻, 第6号, pp. 584-587, (1994)
- 3) CCIR Documents 11/1007 (Rev. 1) -E (1990) and 11/1008-E (1990)
- 4) T. Yamamoto, T. Kuriyama, M. Seki, T. Katoh, H. Murakami, K. Shimada, H. Ishiga: "A 40-in. -Diagonal HDTV Plasma Display", SID Int'l Symp., Digest of Technical Papers, pp. 165-168, (May 1993)
- 5) 武井達哉, 栗山孝夫, 関 昌彦, 村上 宏: "40型パルスメモリ方式 PDP 基板の製作", 信学技報
- 6) D. L. Bitzer and H. G. Slottow: "THE PLASMA DISPLAY PANEL-A DIGITALLY ADDRESSABLE DISPLAY WITH INHERENT MEMORY", Proceeding of Fall Joint Computer Conference, pp. 541-547, (Nov. 1966)
- 7) R. H. Willson: "The plasma display", Information Display, Nov/Oct, (1968)
- 8) G. E. Holz: Pulsed Gas Discharged Display with Memory, SID'72 Digest, pp. 36-37, (1972)
- 9) 村上 宏, 加藤俊宏: "平面構成パルスメモリ放電パネル", テレビ全大, pp. 103-104, (1984)
- 10) H. Murakami, et al.: "A 20-in. Color Devices, ED-36, 6, pp. 1063-1072, (June 1989)
- 11) コーニング資料: "ガラスおよびガラスセラミックスの特性"

【執筆者紹介】

加藤俊宏 (かとう としひろ)

1980年, 早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年, NHK 入局, 山口放送局勤務。1983年, NHK 放送技術研究所に異動。以来, 放電ディスプレイパネルの研究に従事。現在, イメージデバイス研究部所属, TV 学会会員。

村上 宏 (むらかみ ひろし)

1967年, 大阪大学工学部通信工学科卒業。同年, NHK 入局, 松江放送局を経て1971年, NHK 放送技術研究所に勤務。以来, 放電ディスプレイパネルの研究に従事。現在, イメージデバイス研究部部長。工学博士, TV 学会会員。