

プラズマ ディスプレイのカラー化

Three-Primary-Color Displays Using Gas-Discharge Panels

福島正和* Masakazu Fukushima

Three-primary-color presentation can be achieved by using a combination of gas discharges with phosphors. Ultra-violet radiation from the gas discharges stimulates three kinds of phosphors, which in turn emit three primary colors. This paper discusses firstly the principles for choosing suitable combinations of phosphors and gases, and secondly the characteristics of the numeric character displays in three primary colors. Gas-discharge color panels are made for representation of real time TV images. A special structure for display discharge cells, called planar type cells, are developed in order to attain high brightness and contrast ratio. Build-up time of the discharge currents is reduced by having subsidiary discharges to meet the requirement of the speed for displaying TV images. These subsidiary discharges also make possible self-scanning operation of the panel. The TV panel, 12 x 16 cm² in area with 120 x 160 tiny display cells, has a white-balanced areal brightness of 4 fL. The CIE chromaticity coordinates of the three primary colors exhibited by the panel are close enough to the values of NTSC, holding out a bright prospect for gas-discharge color TV.

1 緒言

ガス放電を利用したマトリックス ディスプレイは、アメリカ・イリノイ大学で発明された無極放電の記憶性パネル⁽¹⁾に代表される交流形と直流放電形とに大別できる。

交流形パネルは、アメリカのオーエンス・イリノイ社、国内では富士通株式会社から文字や線画表示用として実用化されている。

一方、直流形は補助放電を備えた自己走査パネル⁽²⁾がアメリカのパローズ社から市販されており、いずれも製品開発期から実用期に入ってきている。

しかし、パネルの発光はいずれもネオンガス放電の赤橙色であるため、これをカラー化する試みが種々なされている^{(3)~(6)}。

最近、ガス放電パネルを用いたテレビ表示に関する研究が盛んになり、輝度変調の階調もテレビ表示に必要な30を超える駆動方法が実現している^{(7)~(9)}。

このため、ガス放電パネルのカラー化は、最終的に期待される平面カラーテレビ実現のうえで重要な技術課題の一つとみられている。

ここでは、ガス放電パネルをカラー化するときの技術的問題などを解説し、併せて試作したカラーの数字表示素子及びテレビ表示パネルの実験結果などについて述べる。

2 カラーパネルの原理

ガス放電パネルをカラー化するには、ガス放電で発生する紫外線を三原色のけい光体に照射し、可視光に変換する方法をとる。この原理は照明光源として用いられているけい光灯と全く同じである。

しかし、表示用のパネルでは放電電極間隙が極めて狭くなるため、パネルの封入ガスに大きな制約を課すことになる。

放電現象においては、「パッシュェンの法則」に示されるように、ガス圧 (p) と電極間隙 (d) との積が一定ならばその物理的性質が変わらないため、電極間隙の小さい表示用パネルの封入ガスは数十~数百 Torr 必要である。

しかし、けい光灯で利用される水銀の常温蒸気圧は 10^{-3} Torr と極めて低いため、動作時のパネルの温度を $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ に温めて圧力を高くするなどのくふうがないと表示用パネルの封入ガスとして水銀蒸気は利用できない。

そのため、これまで行なわれたパネルカラー化の研究では、フィリップス社からの報告⁽⁴⁾以外はすべて封入圧力にこのような制約を受けない希ガス類をパネルに封入している^{(3) (5) (6)}。

3 カラー化の問題点

パネルをカラー化するため検討を要する点は、封入ガスの組成とけい光体材料の選択である。

まず、封入ガスの望ましい性質として次の4項目がある。

- (1) 安定なガスであること。
- (2) 放電による可視発光が弱く紫外線の発生が強いこと。
- (3) 放電開始電圧が低いこと。
- (4) 放電によってけい光体の劣化を生じないこと。

(1)の性質はパネルの動作を安定化するために必要であり、混合ガスなどを用いる場合にはガス クリーンアップ (放電動作によって混合ガス中の特定のガス成分だけが減少すること) などが起こらないものを選ぶのが望ましい⁽¹⁰⁾。(2)の性質を満たさないと、けい光体の発光の色純度が良くても、放電から発生する可視光の重畳によって、色の再生範囲が狭くなってしまふという意味で重要である。(3)は半導体素子による駆動を考えれば当然であるが、(4)については若干の説明を要する。

* 日立製作所中央研究所

希ガス類の放電で発生する紫外線をけい光体の励起に用いた場合、その波長が問題である。

希ガス類の放電で発生する強い紫外線は主として共鳴線であり、ヘリウムが最も短く、次いでネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンの順に長くなり、キセノンの場合は1,296 Åと1,470 Åである。このような短波長の紫外線の照射を受けると多くの結晶材料ではある種の物理化学的な変化を生ずる。けい光体材料ではカラーセンタの発生が見られ、母体色が変色する。通常、紫外線の照射時間とともに黄褐色から黒褐色に変化し発光輝度も低下する。

図1は電極のスパッタリングの影響を受けない交流形パネルで、パネル内壁に石英板を、けい光体は緑色の $Zn_2SiO_4:Mn$ を用いた場合のパネルの点灯時間に対する輝度劣化の様態を示したものである⁽¹¹⁾。パネルの封入ガスとしてネオン、アルゴン、キセノンの3種類を用いている。点灯条件は常に発光輝度を100(fL)に保っている。

図1から、けい光体の発光輝度は点灯時間とともに低下し、低下の割合はキセノン、アルゴン、ネオンの順に大きい。

この劣化は励起紫外線の波長に依存するものと考えられる。すなわち、キセノンでは1,296 Åと1,470 Åであるのに対し、アルゴンでは1,048 Åと1,067 Åであり、ネオンでは737 Åと744 Åである。このように発生する紫外線の波長が短いほどけい光体の劣化は大きい。水銀では1,850 Åと2,537 Åなのでこの点では非常に望ましいが前述の問題があって実用は困難である。我々は、水銀の次に波長の長いキセノンが適合すると判断した。

交流形パネルでは、上記4項目のほかに、適当な周波数範囲(例えば10~100kHz)で十分なメモリ幅を示すことが封入ガスに要求される。

直流形では、上記4項目のほかに、電極のスパッタリングの少ないことが考慮すべき条件として加わる。

通常表示用放電管では、この電極のスパッタリングを軽減するため、水銀を封入することが知られている。

一方、けい光体材料も短紫外線で励起されるため、カラーブラウン管などで使用されている電子線励起の材料とは異なった性質が要求される。

図2に、代表的な放電管用三原色けい光体の励起紫外線波長(エネルギー)と量子効率の関係を示した⁽¹²⁾。青色けい光体 $CaWO_4$ と赤色けい光体 $YVO_4:Eu$ の場合には約5 eV、すなわち水銀蒸気の放電で発生する2,537 Åの紫外線で励起した場合の量子効率(紫外線の光子1個を吸収して平均何個の可視光の光子を放出するかの比を表わす)は約0.8であるが、希ガス類で最も波長の長いキセノンの共鳴線の場合でもそれぞれ約0.6と0.4に効率は低下する。

したがって、パネルに用いるけい光体は、その封入ガスの放電で発生する紫外線に対し量子効率の高いものを選択することが重要である。図2に示した緑色けい光体 $Zn_2SiO_4:Mn$ は8~9 eV、すなわちキセノンの共鳴線1,470 Å付近に量子効率の極大値があり、図1の輝度劣化特性から見てもキセノンガスと組み合わせるのが最適と思われる。

4 数字表示素子のカラー化

けい光体を用いた放電表示素子を検討したところ、輝度、効率は表示放電セルの形状寸法に大きく影響されることが分かった。表示セルの形状としては、放電で発生した紫外線が封入ガスによる自己吸収で弱くならないうちに、けい光体表面に到達するようにしたほうがよい。この考えから直流放電

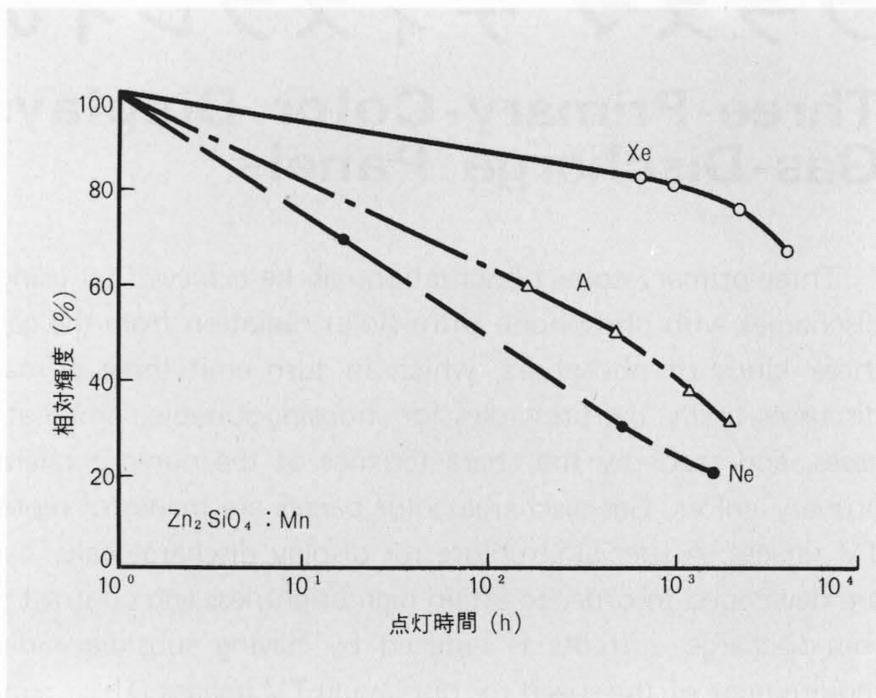


図1 パネル封入ガスによるけい光体輝度劣化特性⁽¹¹⁾ AC形パネルに緑色けい光体 $Zn_2SiO_4:Mn$ を塗布し100(fL)の明るさで連続点灯した場合の封入ガスXe, A, Neによる輝度低下を比較した。
Fig. 1 Decay Characteristics of Phosphor Brightness in Various Gases⁽¹¹⁾

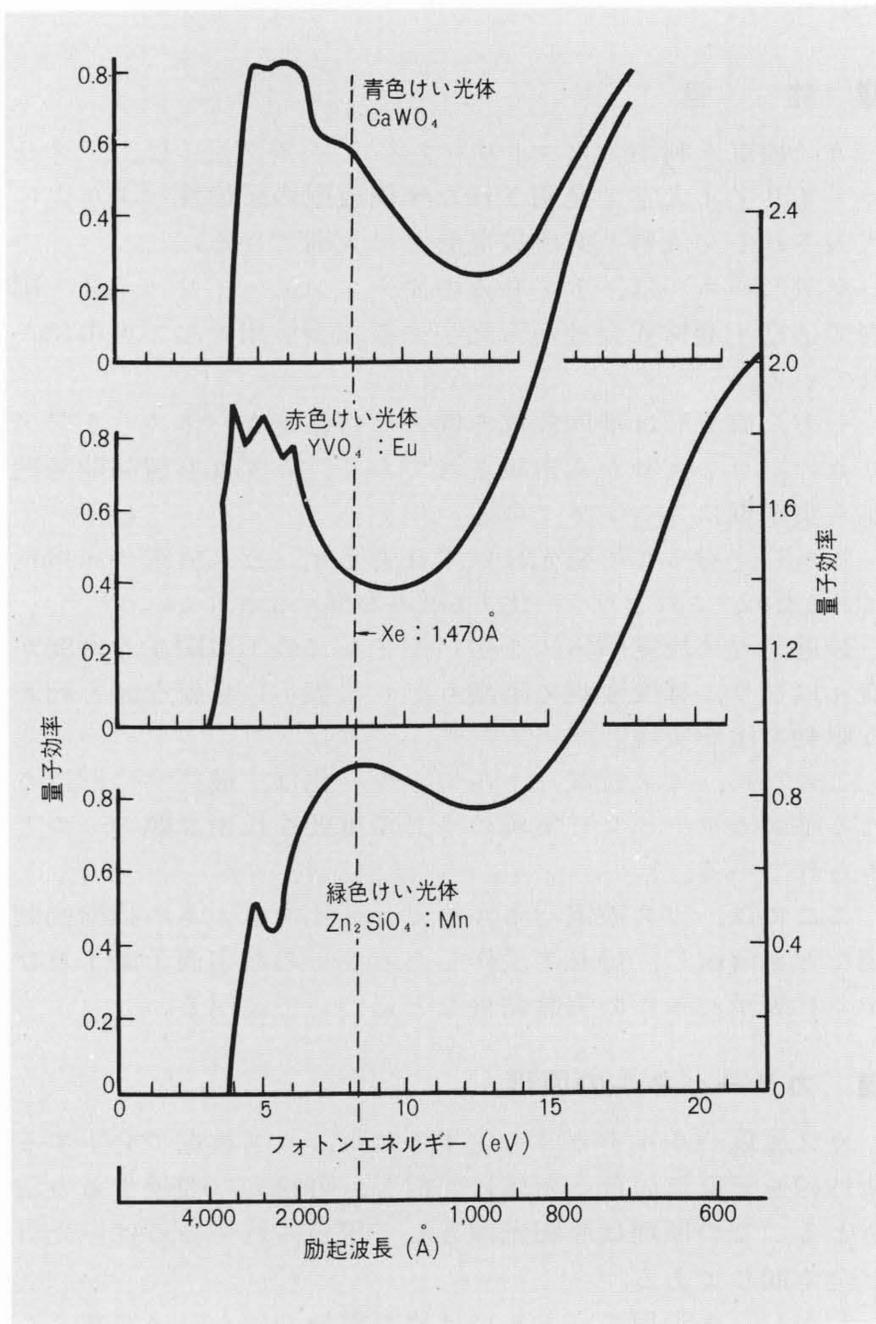


図2 三原色けい光体の励起波長と量子効率⁽¹²⁾ 3種の原色けい光体を紫外線で励起した場合に得られる可視光の発光を量子効率で比較した例である。励起紫外線の波長に対する依存性は高い。
Fig. 2 Quantum Efficiency of Three Primary Color Phosphors as a Function of the Energy of the incident U.V. Photons⁽¹²⁾

形で偏平な同心円筒状の表示セル構造を提案した¹³⁾。この表示セルでは陰極と陽極が同一平面上にあり、放電の方向がパネル面と平行なことからプレーナ形と呼ばれている。

プレーナ形セル構造の数字表示素子による実験結果を次に述べる。

図3は、プレーナ形カラー数字表示素子要部の分解斜視図を示すものである。陰極板の厚さ0.2mmが放電空間の厚さになり、上面が表示窓で、下面にけい光体が塗布してある。

この素子要部と、前の考察で決定したキセノンガスをガラス容器に封入した数字表示素子の動作例を示したのが図4である。同図から、青色の素子の色純度の良くないことが分かる。

種々のけい光体を用いた数字表示素子の実験から得られた結果は表1に、素子CIE色度座標は図5に示すとおりである。

この数字表示素子の輝度劣化は150(fL)の明るさで連続点灯した場合2,000時間で50%にも達する。図1の値と比較すると劣化はかなり早い。これは電極のスパッタリングによるものと思われる。

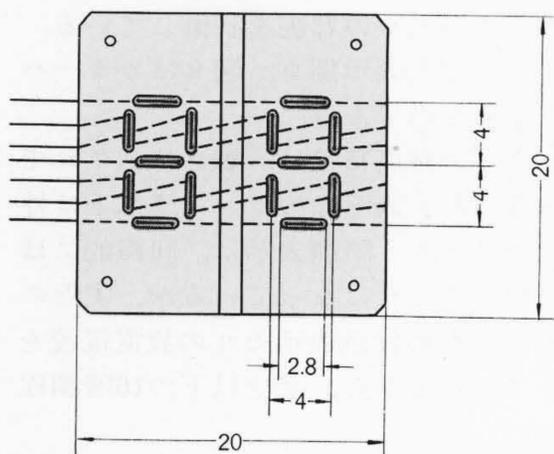
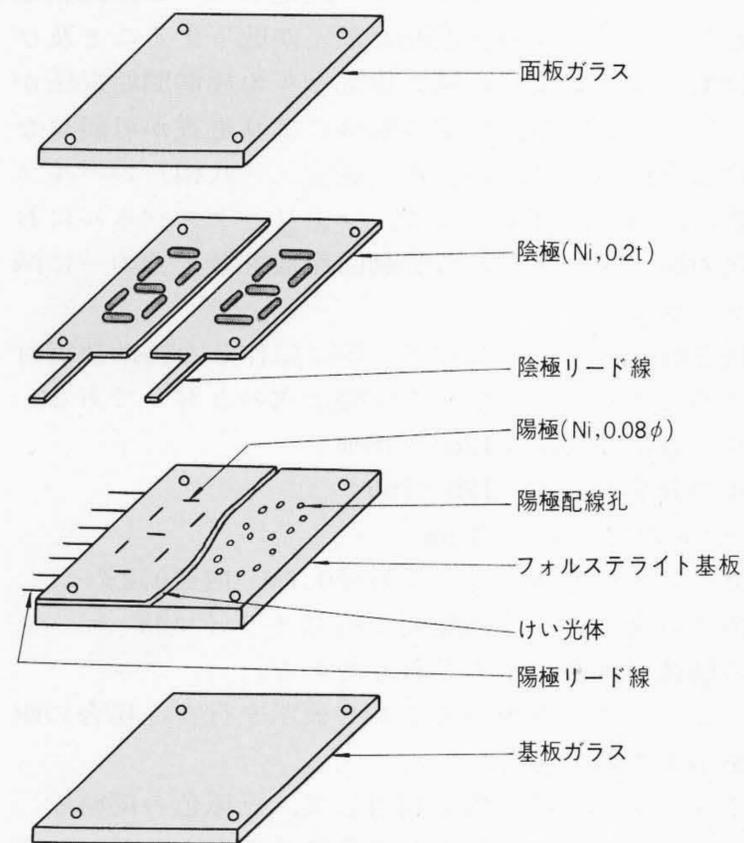


図3 多けた数字表示素子の要部構造 封入容器から取り出した数字表示素子の電極、けい光体などの配置を示したものであり、陰極2本、陽極7本、合計9本の電極端子で駆動される。

Fig. 3 Construction of Multi-Digit Colored Numeric Display Cells

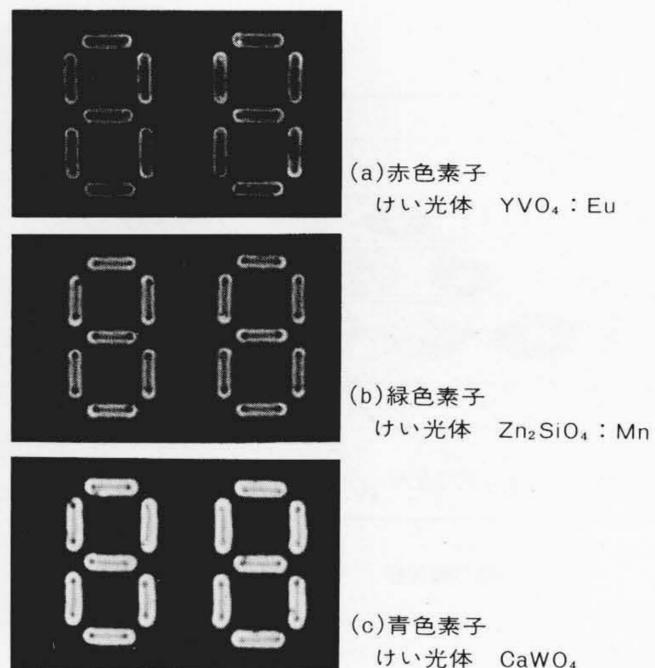


図4 三原色数字表示素子の表示例 図2に特性を示した3種の原色けい光体を用いて作製した図3の構造をもつ素子の表示色を示した。青色素子の発光が若干白色がかっている。

Fig. 4 Colored Numeric Display Using Gas-Discharges and Phosphors

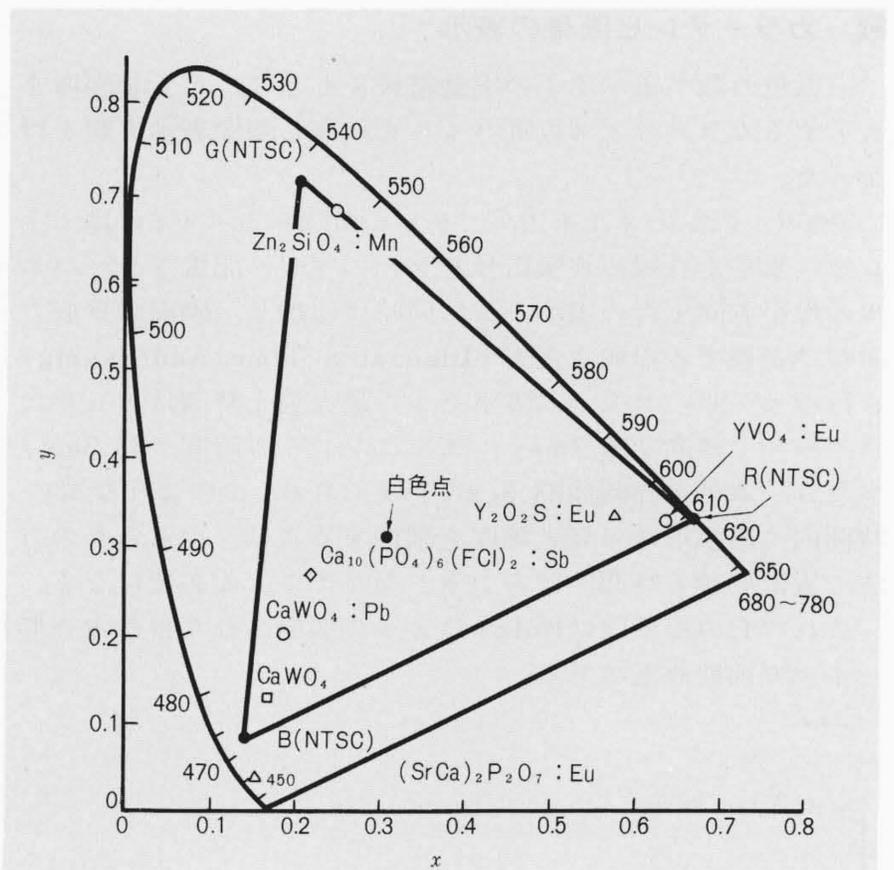


図5 各種けい光体を用いた数字表示素子のCIE色度座標 7種のけい光体を用いた数字表示素子の実験で得られた各種けい光体の発光色度座標を比較した。

Fig. 5 CIE Chromaticity Coordinates of Colored Numeric Displays

表1 多けた数字表示素子の特性 試作した三原色数字表示素子を時分割駆動したとき得られる輝度、効率などの特性を示した。

Table 1 Characteristics of the Colored Numeric Displays

発光色	緑		赤		青			
	けい光体	Zn ₂ SiO ₄ :Mn	YVO ₄ :Eu	CaWO ₄	CaWO ₄	CaWO ₄ :Pb	CaWO ₄	CaWO ₄ :Pb
ガス圧(Torr)	20	50	20	50	20	50	20	50
駆動けた数	8	8	2	2	2	2	2	2
平均輝度(fL)	145	270	110	230	45	100	90	230
発光効率(lm/W)	0.55	0.33	0.1	0.08	0.04	0.03	0.08	0.08
消費電力/けた(mW)	43	142	170	460	170	460	170	460
色純度		○	○		△			×

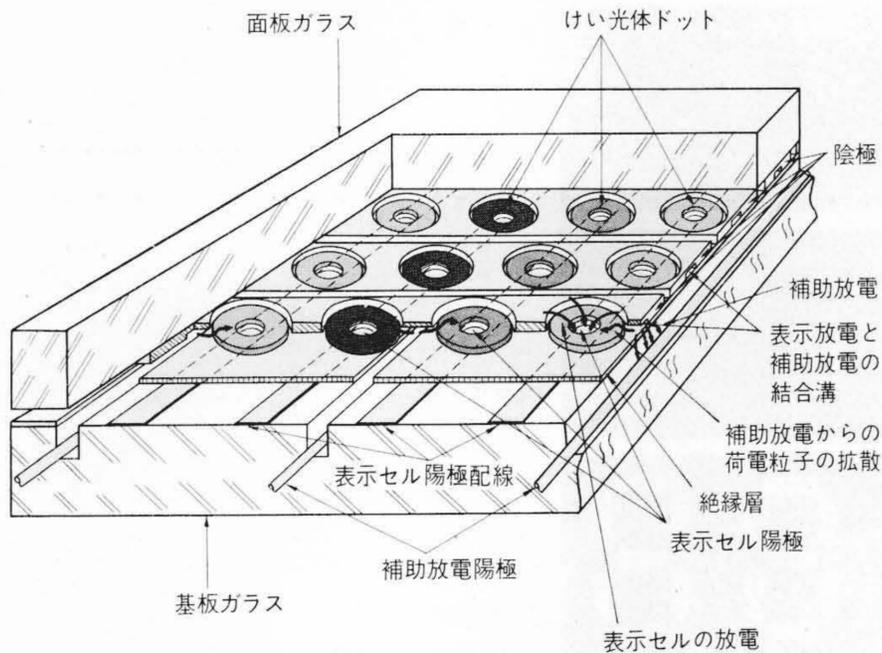


図6 テレビ表示用カラーパネルの構造 テレビ画像を表示するため補助放電を設けたパネルの電極やけい光体の配置を示す破断図である。パネル全体のけい光体ドット数は120×160個ある。

Fig. 6 Cross Sectional View of the Panel for TV Display

5 カラーテレビ画像の表示⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾

三原色の数字表示素子の実験結果をもとに、テレビ画像を表示するカラーのガス放電パネルを試作し画像表示実験を行った。

マトリックス パネルを用いてテレビ画像を表示するには、テレビ水平走査線の映像信号をラインメモリに記憶させ、パネルの水平方向1行の表示セルに同時に印加し、画面の垂直方向だけ走査する線順次走査 (Line at a Time Addressing) を行なう⁽⁷⁾⁽⁹⁾。このため、表示セルの最大発光時間はテレビのフィールド時間 (16.7ms)、またはフレーム時間 (33.3ms) 当たり一水平走査時間63.5 μ sで抑えられる。このような短い時間内に表示セルの発光輝度を制御するには、なんらかの方法で放電開始の時間的ばらつきをなくすことが必要になる。

これの有力な手段はHolz⁽²⁾によって開発された自己走査形パネルの補助放電である。

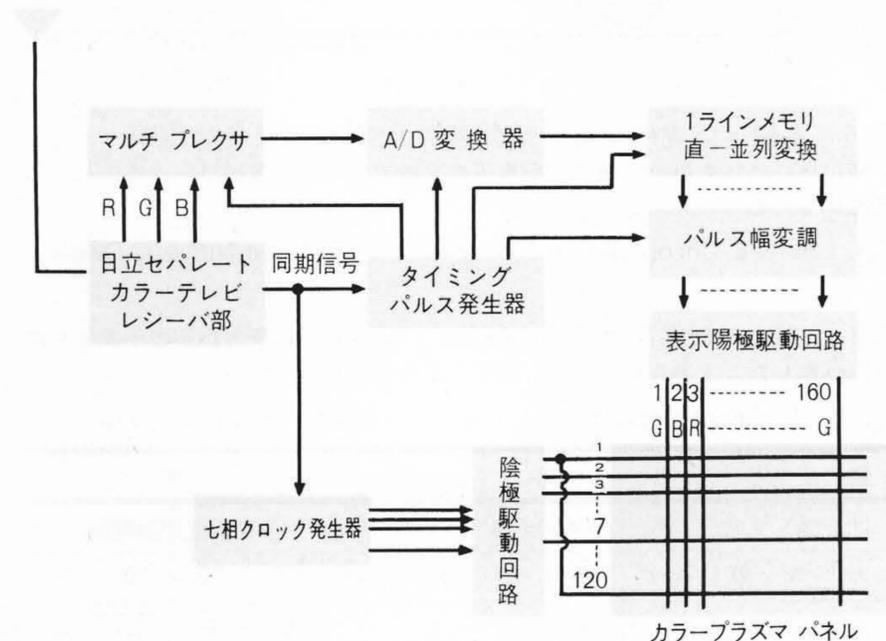


図7 カラーテレビ表示の駆動回路構成 放電パネルにカラーテレビ画像を表示するための駆動系統図であり、陰極駆動は七相のクロックパルスによる自己走査の場合を示してある。

Fig. 7 Block Diagram of the Driving Circuits for Color TV Display Panels



図8 カラーパネルによるテレビ画像の表示例 図7の駆動回路を用いてガス放電パネルにカラーテレビ像を表示した例であり、通常のテレビ画面の中央部1/4面積の範囲が表示されている。

Fig. 8 Displayed Picture of Color TV Using a Gas-Discharge Panel

この補助放電付のパネルでは、単に表示セルの放電開始時間のばらつきが減るばかりではなく、放電している補助放電セルと対応した表示セルの放電開始電圧が低下すること及びその補助放電セルと隣接した補助放電セルの放電開始電圧が低下することを利用して、放電の転移により走査が可能になる。この放電の転移には三相以上 (通常三〜八相) のパルス電圧を陰極に印加すればよいので、マトリックスパネルにおける一方向の端子数、すなわち駆動回路数を数十分の一に減らすことができる⁽¹⁶⁾。

この特長を取り入れてテレビ表示用に試作した補助放電付のプレーナ形カラーパネルの主な仕様は次のとおりである。

- (1) パネルの表示面寸法：12cm×16cm
- (2) パネルの表示セル数：120×160
- (3) 表示セルのピッチ：1mm
- (4) 表示セルのけい光体ドット：外径0.7 ϕ 、内径0.2 ϕ
- (5) 三原色けい光体ドットの配列：縦ストライプ状

パネルの構造は図6に示すとおりである。

図7は、このパネルを用いてテレビ表示を行なう場合の駆動系統図を示すものである。

市販のカラーテレビ受像機を利用して、三原色の同時映像信号を取り出し、パネル表示セルの色順に並べたカラーの色順次映像信号を作り、デジタルのパルス幅と電流値を組み合わせ合わせた6ビットの階調で表示セルの輝度を制御している。

図8は得られたカラーテレビの表示例を、図9はカラーパネルの三原色色度座標を示すものである。

テレビ表示におけるパネルの輝度特性は、表2に示されているが白色面輝度で3〜5 (fL)、表示像のコントラストは外光のないとき300:1以上である。階調表示は、回路的には64段階 (6ビット相当) 出せるようになっているが、実際の表示像では色バランスをとるため緑色表示セルの放電電流を他色セルの半分に抑えたことなどから、半分以下の16階調程度しか実現されなかった。

図9に示した各原色の色度座標からも分かるように、原色の色飽和は比較的良好、カラーテレビの色再生範囲の大部分をカバーしている。しかし、青色についてはもう少し色純度を上げたほうが望ましい。なお、このパネルに使用した赤と青のけい光体には新たに開発したものを使用している。

表2 プレーナ形カラーパネルの各原色輝度特性と白色面輝度 カラーパネルの駆動デューティから換算した瞬時輝度、三原色の加算により白色発光を得るための各原色構成比などを示した。

Table 2 Characteristics of the Three Primary Colors Achieved by Planar Type Gas-Discharge Panel

原色	色	赤		緑	青	
		YVO ₄ :Eu	新材料	Zn ₂ SiO ₄ :Mn	CaWO ₄ :Pb	新材料
けい光体	x	0.62	0.63	0.24	0.18	0.17
	y	0.34	0.34	0.68	0.19	0.13
換算最大瞬時輝度 (fL)		2,000	3,200	10,000	770	850
表示セル駆動デューティ		1/260	1/260	1/260	1/260	1/260
最大ドット輝度 (fL)		7.70	12.30	38.40	6.00	6.54
最大原色面輝度 (fL)		0.90	1.44	4.48	0.70	0.76
最大白色面輝度と原色構成 (fL)		0.62	—	0.78	0.70	—
		2.10				
新しい光体材料を用いたパネルの最大白色輝度と原色構成 (fL)		—	1.08	1.90	—	0.76
		3.74				

6 結 言

けい光体を用いてガス放電表示パネルをカラー化する場合の問題点及びガス組成とけい光体材料について検討した。

新たに提案したプレーナ形表示セルのカラー化数字表示素子の特性では緑色表示素子の輝度効率是他色に比べ非常に高く、140(fL)の明るさで8けたを表示したときの1けた当たり消費電力は43mWであった。

三原色の表示セルを縦ストライプ状に配列した120×160ドットのテレビ表示用パネルを作製し、カラーテレビ画像の表示を行なった。表示画像の明るさは3~5(fL)、コントラスト300:1、階調数16程度で色再生範囲も比較的広い。

輝度、効率、寿命などは今後の検討課題であり、テレビ表示に使うためには飛躍的向上が必要である。

本稿はプラズマディスプレイのカラー化技術の現状の一端

を紹介したものであり、これらに関心を有される向きになんらかの資となれば幸いである。

参考文献

- (1) D.L.Bitzer, et al., "The Plasma Display Panel—A Digitally Adressable Display with Inherent Memory," Proc. FJCC (Nov. 1966)
- (2) G.E.Holz, "The Primed Gas Discharge Cell—A Cost Capability Improvement for Gas Discharge Matrix Displays," 1970 IDEA Symp. Dig. Papers (May 1970)
- (3) J.Forman, "Color in Gas-discharge Panel Displays," 1971 Soc. Inform. Display Symp. Dig. Papers (May 1971)
- (4) Z.Van Gelder, et al., "Principles and Techniques in Multicolor DC Gas Discharge Displays," Proc. IEEE, Vol. 61, No. 7 (July 1973)
- (5) H.J.Hoehn, et al., "Recent Developments in Three-Color Plasma Display Panels" IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-20, No.11 (Nov. 1973)
- (6) 渡辺, ほか「放電ディスプレイ」電子通信学会 画像工学研究会資料 No.IT72-46 (1973年3月)
- (7) 池田, ほか「ガス放電形表示パネルによるテレビ表示」電子通信学会 画像工学研究会資料 No.IT72-13 (1972年9月)
- (8) 都築, ほか「A C形プラズマ・ディスプレイ・パネルによるテレビ画像表示」第4回画像工学コンファレンス (1973年11月)
- (9) Y. Amano, "A New Flat Panel TV Display System," IEEE International Electron Devices Meeting (Dec. 1973)
- (10) R. Cola, "Color Techniques Utilized in Gas Discharge Display Panels," IEEE International Electron Devices Meeting (Dec. 1973)
- (11) 世古, ほか「プラズマ・ディスプレイ素子のカラー化」テレビジョン学会 電子装置研究委員会資料 No. 107, (1972年1月)
- (12) J.D.Kingslay, et al., "The Efficiency of Cathode Ray Phosphors," J.Electrochem. Soc.: Solid State Science, Vol. 117, No. 3 (March 1970)
- (13) 福島, ほか「プラズマディスプレイカラー化について」放電研究, No. 50 (1972年12月)
- (14) 福島, ほか「プラズマカラーパネル」電子通信学会電子装置研究会資料, No. ED74-15 (1974年5月)
- (15) 加治, ほか「プラズマパネルによるカラーテレビ表示」電子通信学会 電子装置研究会資料, No. ED74-16 (1974年5月)
- (16) 亀ヶ谷, 「プラズマディスプレイ」NHK技研月報, Vol. 14, No.7 (1971)

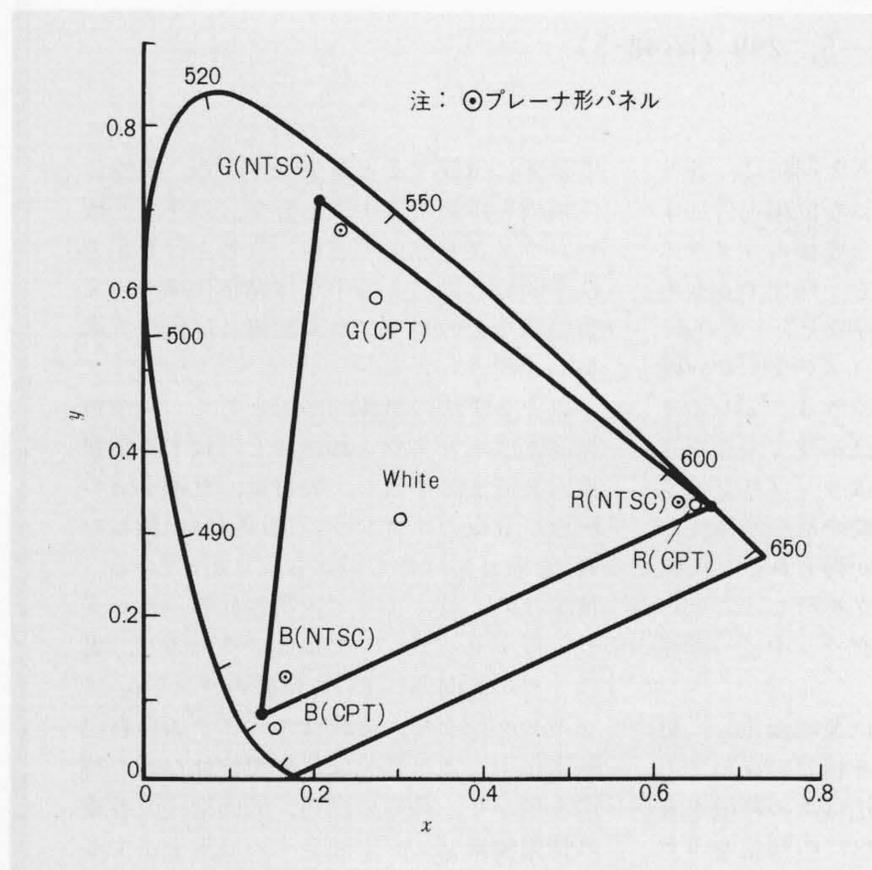


図9 プレーナ形カラーパネルの三原色CIE色度座標 カラーテレビ信号の色再生範囲と比較したガス放電パネルの三原色色度座標を示す。

Fig. 9 CIE Chromaticity Coordinates of Three Primary Colors Achieved by the Gas-Discharge Panel

これは、各種の放電表示パネルについて詳細な解説をしてあるので、専門外の読者にも理解しやすい。