

蛍 光 表 示 管

松 田 克 基

伊勢電子工業株式会社研究開発部 〒516-11 三重県伊勢市津村町字白木 728 番地の 23

(1988 年 2 月 12 日受理)

Vacuum Fluorescent Display

Katsumoto MATSUDA

Research and Development Division, Ise Electronics Corporation
728-23, Aza Shiraki, Tsumura-cho, Ise-shi, Mie 516-11

(Received February 12, 1988)

The Vacuum Fluorescent Display (VFD), a kind of triode electron tube, has been in the market for 21 years since it was developed first. The first feature was of a 7 segmented type and then a variety of types, 5×7 dot character type, dot matrix type, complex-pattern type, etc. were successively developed in the sequence. Today, ultra-small active-matrix VFDs using MOSFET substrates are under development. The low voltage drive is known as a distinctive feature of VFDs. However the emission color of all early VFDs was limited to blue-green only. The current VFDs are enable to emit almost all colors, such as red, orange, lemon and etc.. Thus VFDs have taken place of other display devices and occupies an important position. Problems for future VFDs developing highly efficient phosphors that can emit multi-color, fabrication of the high resolution phosphor screens, elimination of the vacuum exhaust tube, etc. are pointed out.

1. はじめに

蛍光表示管 (VFD) は、当初は電卓の数字表示用として、21 年前に我が国において発明され、製品化された* 真空管式のディスプレイデバイスである。

最初の型は単管と称され、1 つの真空容器内に 1 つの数字表示部を封入したものであったが、次いで 1 つの管球により 6~13 桁の数字表示を行い得るガラス丸型多桁管が開発された。

しかし、これらの表示管は表示用基板がセラミックスで形成されていたために、材料費が高く、コストダウンにはおのずと限界があった。

さらに、当初からディスプレイを薄型にしようという時代の要請があった。

かくして開発されたのが、ガラス板にて表示用基板と真空外容器とを兼用させる平型多桁管である。

これはガラス基板上に、厚膜印刷法または薄膜法により配線層および表示電極を、ならびにガラスペーストにより他の電極を固定・形成するとともに、スパーサーを介して対向ガラス板を封着したものであり、現在の表示管の基本的な構造となっている。

蛍光表示管は今日では、陽極発光点の形態により、種々のタイプに分類されており、かつ広い分野において使用されるようになっている。

2. 蛍光表示管の基本的構造¹⁾と製法

通常の蛍光表示管は、Fig. 1 に切断図、Fig. 2 に横断面図を示すように、少なくとも一面が透明な真空容器内に、熱電子を放出するフィラメント状陰極、該陰極からの電子を加速・拡散するメッシュ状のグリッド電極および該グリッドを通過した電子の射突により励起されて発光する蛍光体とを必須の構成要素とする 3 極電子管の 1 種である。

平型多桁管はガラス板製の絶縁基板上に、Ag ペース

* 昭和 42 年伊勢電子工業株式会社により製品化された。

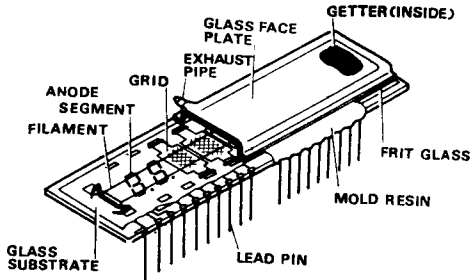


Fig. 1 Cutaway view of the VFD.

トの印刷または Al のスパッタリングにより電気信号を導くための配線層を形成し、この上にガラスペーストからなる絶縁層を印刷形成し、該絶縁層上に黒鉛等からなるセグメント陽極を形成する。

そして、前記配線層とセグメント陽極とは、絶縁層にスルーホールを設けておき、このスルーホールを介して電氣的に導通される。

セグメント陽極上には、蛍光体を電気泳動法により電着する²⁾か、または、スクリーン印刷するかして塗布・形成する。

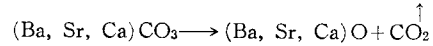
蛍光面の上方には、メッシュ状のグリッド電極を、電氣的導通が保たれるように、前記スルーホールを介して、配線層に固定する。

このグリッド電極の上方には、(Ba, Sr, Ca) CO₃ の粉末が被着されたフィラメント状の陰極が、両端の支持体 (フィラメントサポート) 間に張設される。

フィラメント支持体には、管球内を高真空に保つためのゲッター物質を充填したゲッターリングも、溶接により取り付けられる。

かくして、内部の電極および部品の組立は完了し、その後は排気管を取りつけたフェイスガラスを、各電極を内蔵するように、絶縁基板上に封着する。

次に管球内を真空排気しながら、前記の (Ba, Sr, Ca)・CO₃ の粉末を加熱分解して、下記の反応式により (Ba, Sr, Ca)O に変えて、熱電子放出物質とした後 (活性化)、排気管を封じる。



最終的には配線層の管外導出部にリードピンをハンダ付けして、エージング工程を経て安定化させ、蛍光表示管の完成となる。

3. 蛍光表示管の動作原理

蛍光表示管の発光メカニズムは次のとおりである。

各電極間相互に、Fig. 3 に示すような関係で、回路を構成し、電圧を印加する。

フィラメントに電圧が印加されると、フィラメント

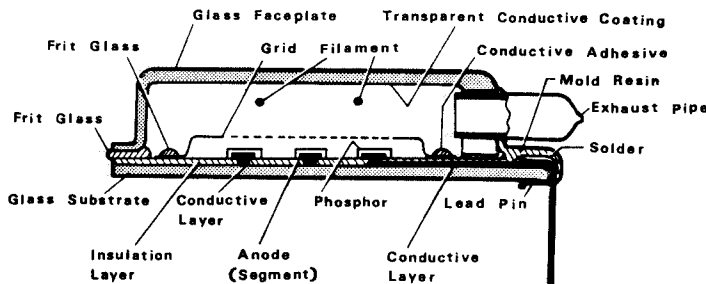


Fig. 2 Cross-sectional view of the VFD.

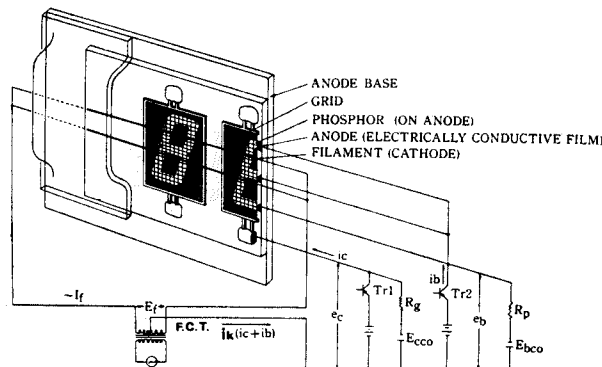


Fig. 3 Fundamental operating circuit of the VFD. (FCT: Filament Center Tap)

が加熱され、表面に被着された熱電子放出物質たる (Ba, Sr, Ca)O から電子が放出される。

放出された電子は、フィラメント陰極に対して正電位が印加されているグリッドにより、加速・拡散されて、陽極の蛍光面へと導かれる。

しかるに、蛍光面もグリッドとはほぼ同電位に保たれているので、電子の衝突が起り、蛍光体が刺激を受けて発光する (陰極線発光)。

そして蛍光体セグメントの前方にあるグリッドに印加する電位を正または負に制御することにより、蛍光体陽極への電子流を通過または遮断して、所望のセグメントを発光させ、数字・文字・図形を表示させるものである。蛍光表示管を実際に駆動させる場合には、ダイナミック駆動法とスタティック駆動法³⁾があり、表示桁数の多い場合にはダイナミック駆動法が採られ、桁数の少ない場合またはノイズが問題になる場合にはスタティック駆動法が用いられる。

4. 蛍光表示管の種類と表示例

4.1 セグメントタイプ蛍光表示管

セグメントとは数字や文字を構成する蛍光体を塗布した個々の表示部をいい、通常7セグメントタイプと14セグメントタイプが使用されている。

所定のセグメントを選択発光させることにより、7セ

グメントタイプでは0～9の数字を、また14セグメントタイプでは数字およびアルファベットを表示できる。セグメントタイプの蛍光表示管は電卓、ECR、電子秤、クロック等に使用されている。

Fig. 4 は7セグメントタイプの表示管を示す。

4.2 ドットキャラクタタイプ蛍光表示管

前述の14セグメントの表示管では、数字のほかに一応アルファベットの大文字も表わすことができるが、表示パターンとしては満足できないので、Fig. 5 に示すように1文字が5×7ドットまたは5×12ドットからなる蛍光体セグメントを形成したドットキャラクタタイプ蛍光表示管が開発されて、アルファベットの大・小文字、片カナ、記号をも忠実な字体で表示できるようになった。

4.3 ドットマトリックスタイプ蛍光表示管

前述の4.1, 4.2章に示した表示管は表示部が各桁に分離されており、各表示部の間に空白部分が生じ、図形や画像あるいは漢字、ひらがな等の表示は困難であった。そこで開発されたのが、蛍光体ドットを縦横に等間隔で並べて、各行毎に陽極電極として引出し、これと直交するように各列毎にグリッド電極を引出して、蛍光体陽極の行とグリッド電極の列とに同時に正電圧を印加した場合に、交点の蛍光体ドットが発光するドットマトリックスタイプの表示管である。

上述の原理で任意の蛍光体ドットを発光させることにより、所望の表示が得られる。

Fig. 6 は320×240ドットの表示管により図形を表示

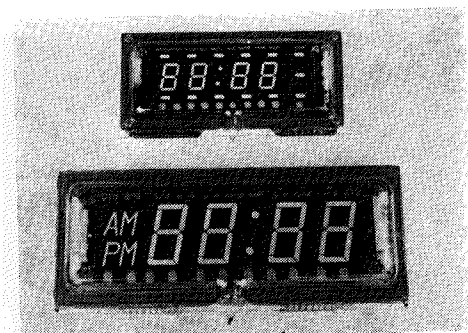


Fig. 4 7-segment numerical type VFD.

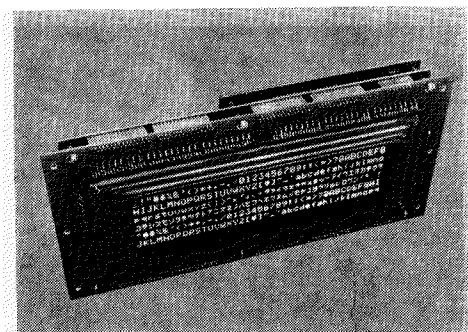


Fig. 5 5×7 dot-matrix character type VFD.

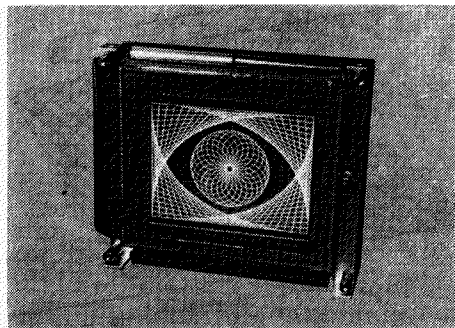


Fig. 6 320×240 dot-matrix graphic VFD.

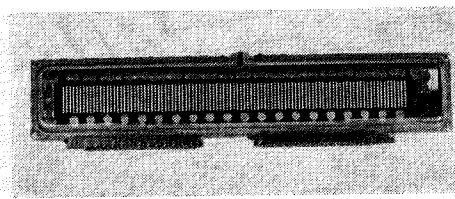


Fig. 7 Bar-graph type VFD.

させた例である。

ドットマトリックスタイプの表示管には、 256×26 ドット、 256×64 ドット、 128×128 ドット、 256×256 ドット、 320×240 ドット、 640×400 ドットのものが開発されている。

4.4 バータイプ蛍光表示管

Fig. 7 にバータイプ蛍光表示管の写真を示す。

この表示管は、蛍光体セグメントを細長い100本のバーから構成したものであり、バー表示部分が0 (empty) から100 (full) まで伸び縮みして、アナログ量の増減の様子を表示するのに好都合である。

バーのわきに適宜、数字目盛を付して、アナログ量の相対値を読み易くしたものもある。

流量・圧力の表示などの工業計測用や音量表示をさせるオーディオ用などの用途がある。

4.5 複合表示管

前述のものは表示内容が単一のものであったが、**Fig. 8** に示すような、数字とバーと簡単な図形と更には短か

い文章とを1つの表示管に表示させるタイプのものが開発された。これが複合表示管である。

蛍光面の形成に、印刷法が開発されたために、複雑で自由なパターンが、しかもマルチカラーで表示できるようになった。

Fig. 8 は複写機用の製品を示すが、複合表示管の用途はその他、家電用、オーディオ用、車載用、工業計測用など非常に広範である。

4.6 アクティブマトリックスタイプ蛍光表示管

4.6.1 動作原理

Fig. 9 にアクティブマトリックスタイプ蛍光表示管の原理図を示す⁴⁾。

この表示管は、複数本のフィラメント状陰極と面状のグリッドおよび MOS トランジスタ上の蛍光体からなる蛍光表示管であることに変わりはないが、MOS FET のマトリックス状に配列されたドレイン電極上に蛍光体が被着されている。

そして陰極から放出された熱電子がグリッドで加速・拡散され、ドレイン電極上の蛍光体を刺激発光させるメカニズムも前述の蛍光表示管と同じである。

本質的に異なる点は、ドットマトリックスタイプ蛍光表示管は、行方向の陽極と列方向のグリッド電極とに同時に正電圧を印加して、発光点を選択していたが、アクティブマトリックスタイプの表示管は各ドレイン電極対

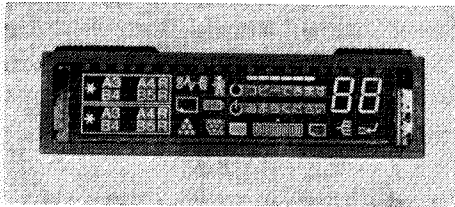


Fig. 8 Complex-pattern type VFD.

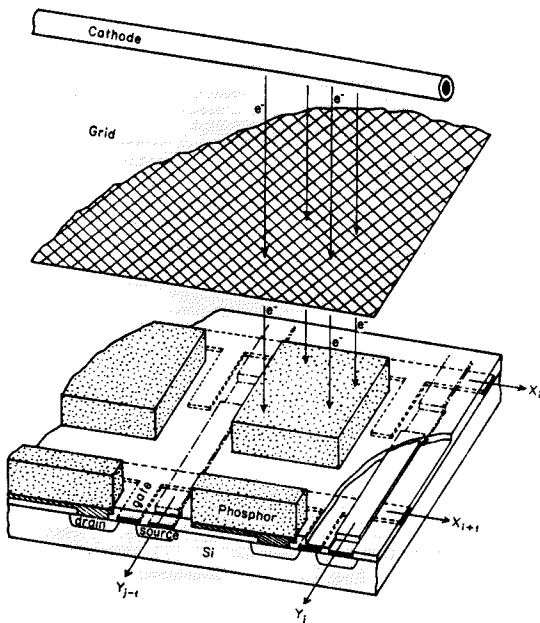


Fig. 9 Principle of MOS-addressed VFD.

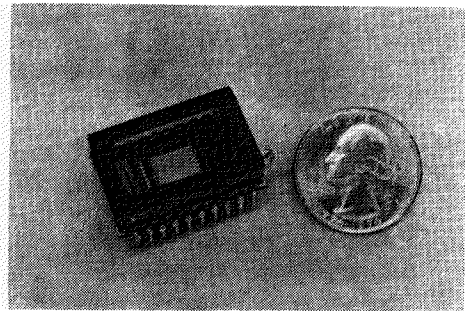


Fig. 10 MOS-addressed VFD.

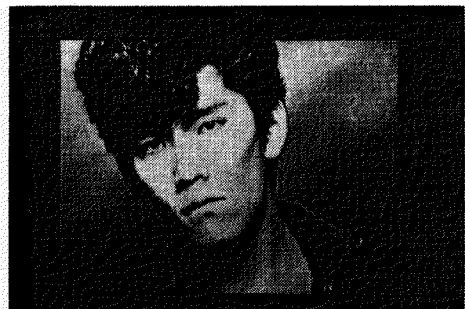


Fig. 11 Photograph of displayed image.

応するソース電極に正、ゲート電極に負電位をそれぞれ同時に印加して、任意のドレイン電極を正電位に付勢し、この上に被着された蛍光体を発光させる点にある。ドレイン電極を0電位にするには、ゲート電極を正電位にする（すなわちソース電極とゲート電極を同電位にする）。従って、グリッドによって走査するのではなく、蛍光体を載置している MOS FET によって発光点を選択する。

4.6.2 MOS チップ上の画像

Fig. 10 に現在開発中の MOS 画像表示管、**Fig. 11** にそれによる人物表示例を示す。この表示管は、約 8 mm×6 mm の半導体表示部上に、172×108 ドットの蛍光点が形成されており、画素密度は非常に高い。これに用いるシリコンチップには、画素アレイとともに、駆動回路も内蔵されているので、コンパクト化がはかられ、外部導出リードピンも著しく減少され、16 ピンの DIP 型パッケージに納められている。

陽極電圧 20 V、消費電力 200 mW と、低電圧・低電力化が達成されており、画面輝度も 50 ft-L が実現されている。

用途は、一例としてビデオカメラのビューファインダ用が考えられる。

4.6.3 MOS チップ上の漢字表示

Fig. 12 に現在開発中の MOS チップ上の漢字表示管とその表示例を示す。

これはガラス基板上に、蛍光体を塗布したチップを20個ダイボンドし、グリッド・陰極フィラメントをマウントして蛍光表示管としたものである。

各桁の発光点は 24×24 ドットであり、漢字を新聞の活字のように、明朝体で品位よく表示できる。この表示管もシリコンチップ内に、駆動回路、表示メモリを内蔵している。

Fig. 12 の表示管は、表示文字数 20 桁、文字サイズ 5 mm×5 mm、管長 160 mm で、消費電力は 1.7 W で

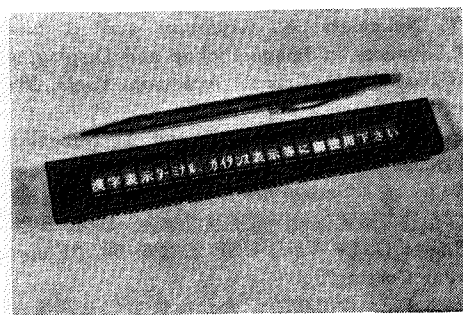


Fig. 12 MOS-addressed VFD and displayed Kanji characters.

ある。

用途は、各種情報機器の端末用として、ドットキャラクタ表示管が使われているような分野に伸びてゆくことが期待される。

5. 蛍光表示管のマルチカラー化

蛍光表示管は低速電子線（通常 100 eV 以下）で励起される電子管である。

蛍光表示管開発当初から使用されてきた自己付活型の ZnO: Zn 蛍光体（青緑色発光 5050 Å）は低電圧発光の代表的蛍光体として、現在も依然として使われているが、蛍光表示管による多情報表示あるいは視認性の向上という要望から、特に複合表示管においてマルチカラー化へのニーズが高まり、目下種々の発光色を呈する蛍光体の研究開発が盛んになっている。

100 eV 以下の低加速電圧では、電子線が蛍光体に突入する深さは～数 10 Å 以下と推定される。

ZnO: Zn が低電圧でよく発光する理由は、粒子のごく表面まで結晶化が進んでおり、表面付近にも多数の発光中心が形成されていることによると考える。

一般に蛍光表示管をはじめ、陰極線管は加速電圧に比例して発光強度が増大するものであるが、ある程度以上電圧を上げて発光強度は飽和してしまう。これは蛍光体から2次電子放出が起こり、蛍光面に負電荷が蓄積され（チャージ・アップ）、蛍光面の電位が下がることになるからであるが、ZnO: Zn は導電性が良好でチャージ・アップを起こさないで、かかる問題は生じない。

蛍光表示管の特徴は低速電子線励起であるので、低速電子線用蛍光体に要求される条件を掲げると⁵⁾、次の点が列挙される。

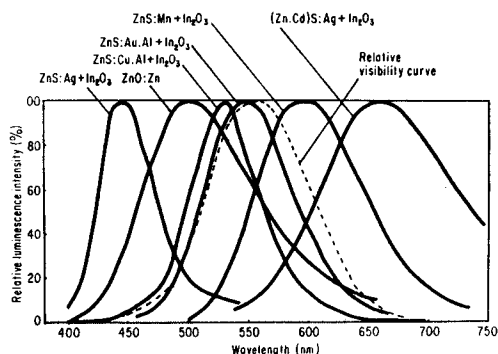
- ① 蛍光体表面に1次電子線による帯電を生じさせない程度の導電性を有していること。
- ② 発光閾値が低いこと。
- ③ 発光効率が良く、かつ輝度飽和がないこと。
- ④ 表示管製造工程中の熱処理および雰囲気に対して安定であること。
- ⑤ 輝度劣化を生じないこと。
- ⑥ 使用中にフィラメントに塗布されているオキサイドに対して有害な作用がないこと。
- ⑦ 残光時間が短いこと。

これらの条件は蛍光体物質の特質によって定まるものであるが、上記①の、蛍光体に導電性を付与する手段としては、絶縁性の高い蛍光体に導電性物質を加えて、導電処理を行なう方法が実用化されている。すなわち、ZnO: Zn 蛍光体の比抵抗値 $10^3 \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ に対して、導電処理をしない他の蛍光体のそれは $10^{10} \sim 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$

Table 1 Phosphors currently used in VFDs for obtaining different colors.

Color	Composition	Peak wavelength(Å)
Blue	ZnS: Ag + In ₂ O ₃ *	4500
Blue green	ZnO: Zn	5050
Lemon yellow	ZnS: Au, Al + In ₂ O ₃ *	5550
Red	(ZnCd)S: Ag + In ₂ O ₃ *	6650
Yellow	ZnS: Mn + In ₂ O ₃ *	5850

* Nonluminescent conducting powder mixed with phosphor powder.

**Fig. 13** Emission spectra of phosphors used in VFDs.

である。これに導電物質として In₂O₃ を重量比で数% ~20% 程度添加混合することにより、10⁴~10⁷Ω-cm まで比抵抗を下げることで、比較的低電圧で発光表示を可能にする。

導電処理方法として、以前は蛍光体に有機物質を混合して焼成し、残ったカーボンで蛍光体粒子を被覆する方法⁶⁾も用いられたこともあるが、今日では In₂O₃, ZnO, SnO₂ 粉末の添加が試みられ、特に In₂O₃ 粉末によって最も良い結果が得られている。

この方法により、現在 **Table 1** に掲げる蛍光体が開発されており、その発光スペクトルは **Fig. 13** に示される。

もう1つの方法として、ZnO: Zn 蛍光体は低速電子線発光の輝度は優れているが、色純度の低い白っぽい発光色であるので、逆にこの性質を利用して、ZnO: Zn 蛍光体に各種の顔料を少量混合して、ZnO: Zn の発光を顔料の反射光に変換し、マルチカラーを表示させることもできる。

更に他の方法としては、ZnS (エネルギーギャップ 3.7 eV) と CdS (エネルギーギャップ 2.4 eV) の固溶体を作り、これにAgを付活した (Zn, Cd)S: Ag 蛍光体は Zn

と Cd との比によって青から赤までの発光を得ることが可能である⁷⁾。

6. むすび

蛍光表示管は誕生以来、その構造およびそれに伴う表示方式(駆動方法)の変遷につれて、用途の拡大してきたディスプレイ・デバイスである。

凡そディスプレイは、その表示面積が一定ならば、外形は軽薄短小が望ましいことは論を待たない。蛍光表示管においても表示密度を高めることが要求される。

アクティブマトリックスタイプの画像表示管では、今のところ、大面積の Si-MOS FET が歩留りよく開発されないこの方式による大型表示はむずかしい。

そこで、ドットマトリックスタイプの表示管を用いると、今度はドットピッチを小さくすることに挑戦しなければならない。

画素密度を高めてゆくためには、精細なパターンを形成する技術を開発しなければならない。

そして、フルカラー表示をするためには、低速電子線励起で高発光効率を呈する三原色(赤, 緑, 青)蛍光体の開発も必要である。

かかる技術が完成すれば、蛍光表示管によるカラーテレビも夢ではない。

更に、蛍光表示管を機器に実装する場合に邪魔になっている排気管をなくしたチップレス蛍光表示管の実現も待たれる。

表示管の外容器が大型になると、真空に対する耐圧維持のために、ガラスの板厚を厚くしなければならないが、これは表示管の重量増という結果を招くので、耐圧強度のある板ガラスの開発も課題である。

文 献

- 1) 中村 正, 清住謙太郎: “蛍光表示管とその応用” (日刊工業新聞社, 1977) p. 13.
- 2) 松田克基, 服部佐次: 実用新案出願公告昭 57-55728.
- 3) T. Nakamura, K. Kiyozumi and S. Mito: “Advances in Image Pickup and Display, vol. 5”, ed. by B. Kazan (Academic Press, 1982) p. 216.
- 4) S. Uemura, K. Kiyozumi and T. Nakamura: “Denshi Tokyo”, No. 24 (1985) p. 98.
- 5) 森本 清: “マルチカラー蛍光表示管”, 電子通信学会技術研究報告 (電子通信学会, 1984. 8. 28).
- 6) James D. Le Van: USP 2, 226, 567 “Fluorescent Coating”.
- 7) 高木克己, 山田祥二: “わかりやすい半導体光物性” (産報, 1965) p. 149.