



## 薄膜 EL ディスプレイの現状と展望

小林 洋志\*

### Prospects for the future of thin film electroluminescent display

**Key words** : Thin film electroluminescence, Flat display panel, Phosphor material, multilayered structure

#### 1. ま え が き

エレクトロルミネッセンス (EL) の研究は、その物理に対する我々の理解を深めるといった学問的な面はもとより、実用という面においてきわめて重要なものである。実際、実用面での研究は着実に進展している。また、学問的にも地味ではあるが、研究は着実に進歩しつつあり、新しい問題も提起されている。

ELには薄膜ELと粉末ELがある。粉末ELの研究の歴史は古く、1950年代にまず面照明を目的として盛んに研究された。しかし、照明としての開発はうまくいかず、やがて蛍光灯がそれにとって代わった。その後最近になって、粉末ELは寿命の改善がはかられ、液晶ディスプレイのバックライト等に用いるために開発が進み、広く実用化されている。

薄膜ELは1970年代に平面型ディスプレイとして研究され、1980年代に入り実用化された。本稿では、ディスプレイとしてのELパネルは後でくわしく述べる。

またELは、無機材料ELと有機材料ELとに大別される。これまでは以上に説明したように、無機材料ELの研究が盛んに行われてきた。しかしこの数年は有機EL材料の研究も著しく

進歩しつつある。

わが国のELの研究は、実用面や学問的な面で非常に進んでいる。無機ELについては、世界初の実用的な薄膜ELパネルは我が国で開発された(シャープ(株))。そして、学問的な面での研究も、大学やメーカーの研究所で、他の国では見られないような、優れた、また、独創的な研究が多く生まれている。有機ELの研究も多くの大学、メーカーの研究所で盛んに行われ、最近では、この傾向が一層強くなると同時に、研究も非常に活発になってきている。

ELの研究は、きわめて多岐にわたって行われている。具体的には無機ELと有機EL、薄膜ELと粉末EL、EL母体材料と発光中心、デバイスの電気的特性、ELパネルとそのエレクトロニクス、試料作製技術、試料やELパネルの評価等々の研究テーマがある。これらのいずれもが、最近のエレクトロニクスのハイテクノロジーと非常に深いかかわりを持つものである。

無機薄膜ELの一つである黄橙色に発光するZnS:Mn薄膜ELパネルは既に商品化され、計測器の表示装置などに実用化されている。しかし、発光色が黄橙色の一色であるために、ディスプレイとして多量の情報を表示するためには多色化が強く望まれている。この数年、カラーEL材料の研究が盛んとなり、その結果、新しい可能性を秘めた材料が開発されつつある。それと同時に、これらを用いて緑、赤、黄色発光が可能なELパネルや三原色発光が可能なELパネルの試作も進んでいる。

ここでは、これまでの無機薄膜ELについて



\*Hiroshi KOBAYASHI

1937年9月29日生

昭和35年大阪大学・理学部・物理学科卒業、

現在、鳥取大学工学部、電気電子工学科、教授・工学博士、半導体光物性 TEL 0857-31-5238

表1 種々の発光

| 発光                                    |      | 原理   | 具体例                        |
|---------------------------------------|------|--|----------------------------|
| エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence) EL | 電界発光 | ZnS等を誘電物質に分散し高い電界( $10^3 \sim 10^6 \text{V/cm}$ )を印加すると発光する。 | エレクトロルミネッセンスパネル            |
|                                       | 注入発光 | p-n接合等で少数キャリアが注入されると発光する。                                    | レーザダイオード<br>発光ダイオード        |
| フォトルミネッセンス PL (Photoluminescence)     |      | 物質に光を照射すると発光する。  | 蛍光灯<br>水銀灯                 |
| カソードルミネッセンス CL (Cathodoluminescence)  |      | 物質に電子線をあてると発光する。   | TV用ブラウン管                   |
| 熱発光                                   |      | 物質を高い温度にすると発光する。   | 熱輻射 星 太陽<br>タングステンランプ      |
| 化学発光                                  |      | 物質が化学反応する時に発光する。   | 火花(炎色反応)<br>化学レーザ(エキシマレーザ) |
| 生物発光                                  |      | 生体中での化学反応  | 蛍                          |
| 摩擦発光 (機械発光)                           |      | 物質を擦ったり機械的なショックを加えたりすると発光する。                                 | 火花                         |

EL研究の成果をまとめると共に、その将来を展望する。

## 2. 発光の種類

我々は多くの発光現象や、また、それを利用した多くのエレクトロニクス商品に取り囲まれて生活している。蛍光灯の発光、カラーテレビのブラウン管の発光、太陽の発光、夜空の星、蛍の発光である。

表1には、これらの発光の種類、その発光機構、またそれを利用したエレクトロニクス製品等をまとめてある。最も身近な蛍光灯はフォトルミネッセンス(PL)、毎日お世話になっているカラーテレビのブラウン管はカソードルミネッセンス(CL)を利用している。太陽の発光は熱発光である。

本稿の話題であるエレクトロルミネッセンス(Electroluminescence)とは、物質に電圧(正確には電界)を加えると発光する現象である。1936年、フランスのG.Destriauにより発見された。省略してELと呼ばれている。このELは、それほど身近で一般的なものではないかもしれない。

## 3. CRTと平面型(フラット)ディスプレイ・パネル

この10~20年、社会においては高度情報化が急速に進み、コンピュータをはじめとした情報処理機器が広く普及しつつある。このためにマン・マシーン・インターフェースとして良質

の情報表示装置が一層重要となってきた。これまでの電子ディスプレイと言え、ブラウン管(CRT)が王座を占め、今日でもその状況はあまり変わっていないと言っても過言ではない。CRTは大変優れたディスプレイであり、1897年にブラウンにより発明されて以来、100年の歴史を持っている。ブラウン管はテレビジョンでわかるように、非常に優れた表示装置である。しかし大きい、重い、ちらつく、またショックに弱いというような欠点を持っており薄型軽量の平面表示装置が強く要望されている。現在平面表示装置として、液晶、プラズマ、蛍光表示管、EL、発光ダイオードの研究が盛んに行われている。

各種電子ディスプレイ装置を表2にまとめた。電子ディスプレイには、発光型のものと非発光型のものがある。発光型には先程のブラウン管(CRT)をはじめ、プラズマ・ディスプレイ(PDP)、エレクトロルミネッセント・ディスプレイ(ELD)、発光ダイオード(LED)等がある。また非発光型には、液晶ディスプレイ(LCD)がある。ここ数年この液晶ディスプレイの進歩は著しく、ノート型パソコンにはもっぱら、この液晶ディスプレイが用いられている。また最近では液晶のカラーTVも、そこここで店頭を賑わすまでになってきた。

一方、ポスト液晶ディスプレイとして、現在ELディスプレイとプラズマ・ディスプレイが研究されている。ELディスプレイはすべてが固体材料でできており、薄型軽量でショックに

強い、環境適応範囲が広い、高コントラストである、応答速度が速い、広視野角である等、他にはない長所を有している。

これに対し液晶ディスプレイは液体を使っているので破損したときには中の液体がもれる、応答速度が遅い、またプラズマ・ディスプレイもガスであり破損すると中のガスがもれるなどの問題を抱えている。プラズマ・ディスプレイは発光型であり、この点ではELと同じである。このようなことからELと同じように期待がもたれているが、ELほど解像度が上がらないのでELよりも、より大きなディスプレイとして考えられている。表3には各種の電子ディスプレイの性能の現状と比較をまとめてある。

また電子ディスプレイでは、その発光色が大切である。図1はCRTとELの発光スペクトルを示している。

#### 4. ELディスプレイの開発の現状

##### 4.1 ELデバイスの構造

図2に薄膜ELデバイスの構造を示す。通常

表2 電子ディスプレイ装置の種類

|          |      |   |
|----------|------|---|
| 電子ディスプレイ | 発光型  | CRT (Cathode Ray Tube)<br>陰極線管                        |
|          |      | PDP (Plasma Display Panel)<br>プラズマディスプレイ              |
|          |      | EL (Electroluminescent Display)<br>エレクトロルミネッセントディスプレイ |
|          | 非発光型 | LED (Light Emitting Diode)<br>発光ダイオード                 |
|          |      | LED (Liquid Crystal Display)<br>液晶ディスプレイ              |
|          |      | ECD (Electrochemical Display)<br>エレクトロケミカルディスプレイ      |

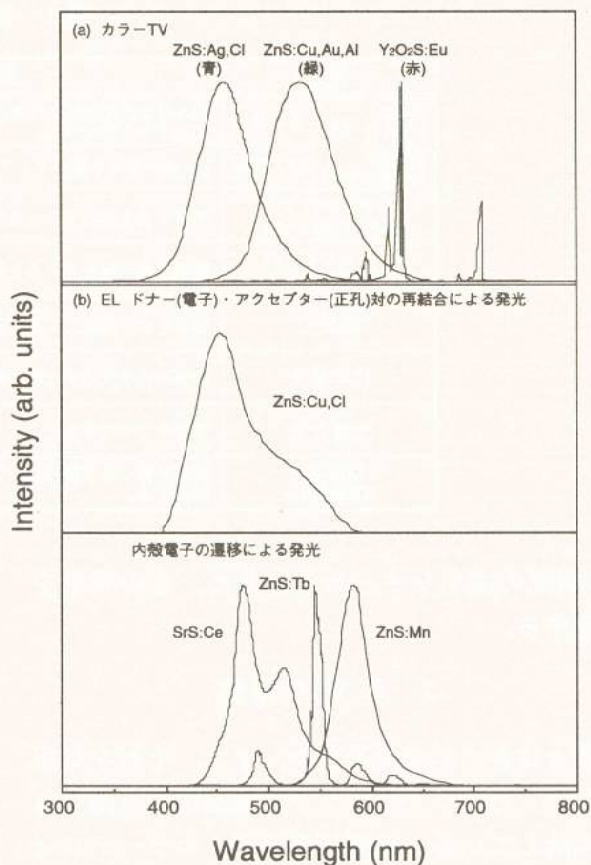


図1 CRTとELの発光スペクトル

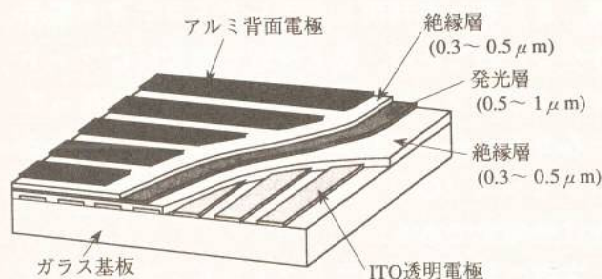


図2 ELパネル構造

表3 各種ディスプレイ装置の比較

| 項目    | EL          | PDP              | LCD                           | LED             | CRT           |
|-------|-------------|------------------|-------------------------------|-----------------|---------------|
| 表示モード | 自発光         | 自発光              | 受光                            | 自発光             | 自発光           |
| 応答速度  | 1~10 μs     | 1~20 μs          | Duty 100~400ms<br>TFT 30~50ms | 10 μs           | 1 μs          |
| 視野角   | ◎           | ○                | △~○                           | ○               | ○             |
| 表示品位  | ◎           | ○                | Duty ○ TFT ◎                  | ○               | ◎             |
| 温度範囲  | -45℃~85℃    | -40℃~70℃         | -20℃~85℃                      | -40℃~85℃        | -20℃~70℃      |
| 動作電圧  | 200V        | 120~300V         | 1.5~15V                       | 2V              | 10~30kV       |
| 表示サイズ | 小~中大        | 中~大              | 小~大                           | 小~大             | 小~大           |
| 大きさ   | 薄型          | 薄型               | 薄型                            | 小               | 大             |
| 発光色   | 黄・赤・緑色      | 赤・緑・青色           | 赤・緑・青色                        | 赤・黄・緑色          | モクロ<br>赤・緑・青色 |
| 消費電力  | ○~◎         | ○                | ◎                             | △               | △             |
| 寿命    | 5万時間        | 1万時間             | 5万時間                          | 10万時間           | 1万時間          |
| 今後の課題 | 多色化<br>低価格化 | フルカラー化<br>低消費電力化 | 視角拡大<br>コントラスト拡大              | 高精細度化<br>低消費電力化 | 平面化<br>軽量化    |

EL ディスプレイパネルを作製する場合、ガラス基板上に幅0.2~0.3mmの透明電極を600~1000本作る。その上に第一絶縁層(厚さ0.3~0.5 μm)を蒸着し、この上に発光層(0.5~1.0 μm)を形成する。さらに第二絶縁層(0.3~0.5 μm)を成膜した後、この上に金属電極を200~800本作る。このようにして製作されたELパネルの透明電極と金属電極の間に電圧を加えると、それぞれの電極の交差した点が発光する。

この構造は発光層を上下2枚の絶縁層で挟んでいるので二重絶縁構造と呼ばれている。

#### 4.2 ELパネルの現状

モノクローム黄橙色ELディスプレイパネルの例を図3に示す。大きさとしてはA4版(21.0cm×29.7cm)、B4版(25.7cm×33.4cm)のものがすでに開発されている。最大の難点は、現在、黄橙色発光のモノカラーしかないことである。しかし、最近になり赤・緑色のものも開発された。ごく最近では、赤・緑・青色発光可能なELパネルの試作も研究レベルでは発表されるようになってきている。

このようにELパネルの研究は地味ながら、



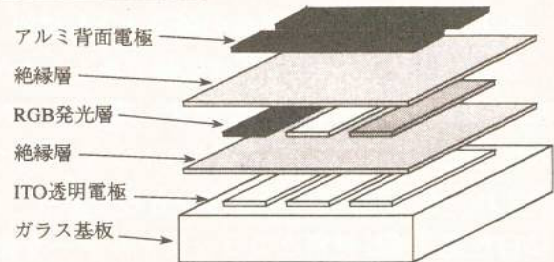
図3 モノクロームELディスプレイパネル

基礎ならびにその応用研究が静かに行われている。

#### 4.3 カラーELに必要なRGBの輝度

カラーELパネルを得るためには、光の3原色である赤・緑・青(RGB)の発光が必要である。表4にそれぞれの3原色に必要な明るさ

(a) ストライプ構造



(b) フィルタ構造

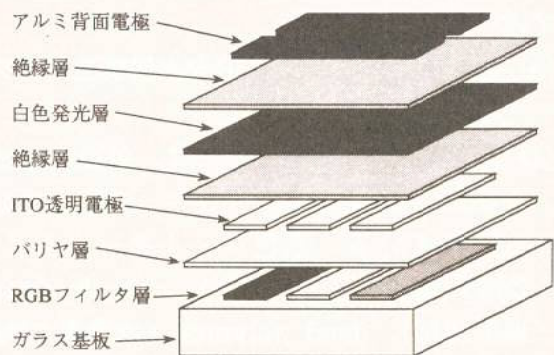


図4 カラーELパネルの構造

表4 カラーELパネルの必要輝度

| Color | Pixel luminance [cd/m <sup>2</sup> ]    | Pixel luminance [cd/m <sup>2</sup> ]    |
|-------|---|---|
|       | (areal white = 35 [cd/m <sup>2</sup> ]) | (areal white = 50 [cd/m <sup>2</sup> ]) |
| Red   | 42                                      | 60                                      |
| Green | 104                                     | 150                                     |
| Blue  | 12                                      | 17                                      |

表5 最近のカラーEL材料(R. T. Tuenge, Planar Systems, Inc.)

|       |   |                          |             |                          |
|-------|---|--------------------------|-------------|--------------------------|
| Red   | ZnS:Mn/CdSSe Filter (Planar Systems)        | 75 [cd/m <sup>2</sup> ]  | 0.8 [lm/W]  | (X=0.63, Y=0.36) exceeds |
| Green | ZnS:TbOF (Sputter, Ehime University)        | 100 [cd/m <sup>2</sup> ] |             |                          |
|       | ZnS:TbS (ALE; Planar Int.)                  | 70 [cd/m <sup>2</sup> ]  | ~1.0 [lm/W] | (X=0.32, Y=0.60) meets   |
|       | ZnS:Tb,F (Sputter; Planar Systems)          | 70 [cd/m <sup>2</sup> ]  |             |                          |
| Blue  | SrS:Ce,K (Tottori University)               | 6 [cd/m <sup>2</sup> ]   |             | (X=0.10, Y=0.15)         |
|       | (SrS:Ce/ZnS) (Stuttgart-Tottori University) | 10 [cd/m <sup>2</sup> ]  |             | (X=0.10, Y=0.26)         |
|       | proprietary (Planar Systems)                | 10 [cd/m <sup>2</sup> ]  |             | (X=0.14, Y=0.19) × 1.5   |

(cd/m<sup>2</sup>)を示す。表中では、3色を混合して白色を得たときの値が35(cd/m<sup>2</sup>)の場合と50(cd/m<sup>2</sup>)の場合を示す。

ELパネルではこの明るさに加えて、材料固有の発光を利用するために、その色度(x, y)やディスプレイとして使用する際の効率(lm/W)などが問題となる。これらの研究の現状を表5にまとめた。

#### 4.4. カラーELパネルの構造とEL材料

カラーELパネルの構造は複雑である。カラーELパネルの構造を図4に示す。現在2つのものが考えられている。(a)はストライプ状に形成されたR/G/B発光層を持つものであり、(b)は白色発光EL材料とカラーフィルターを組み合わせたものである。

以下ではこれらに用いられるEL材料について述べる。

##### (a) ストライプ状のR/G/B発光層構造のカラーELパネル

(1) 赤色発光EL材料としては、黄橙色発光するZnS:Mnと赤色フィルターの組合せが最も優れている。赤色フィルターとしてはCdSSe薄膜(透過率20%), organic dye(透過率15%), dyed polymde(透過率17%)などが考えられる。なお、赤色発光材料としては、この他にZnS:Sm, ClやCaS:Euなどが研究されている。

(2) 緑色発光EL材料は、これまでのZnS:

Tb系でそれ程問題はない。

(3) 青色発光EL材料は、輝度、色純度等依然として問題が多い。SrS:Ce系の特性の改善が進められている。

##### (b) 白色発光EL材料とカラーフィルターの組合せによるカラーELパネル

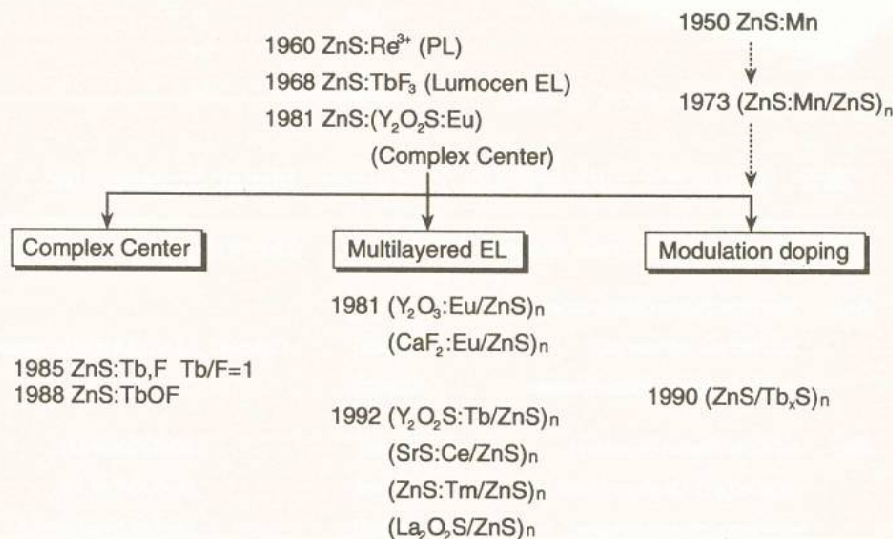
この考えに基づく研究はこれまでもなされてきたが、昨年(1992年)、より進んだレベルの研究が報告された。

まず楡ら(コマツ)は、白色発光EL材料として黄橙色発光を示すZnS:Mnと青緑色発光を示すSrS:Ceを積層した、ZnS:Mn/SrS:Ce/ZnS:Mn構造を用いている。このELパネルは、大きさ4.4インチ、ドット数213×3(R/G/B)×200である。画素の輝度(pixel luminance)は、赤523, 緑37, 青6(cd/m<sup>2</sup>)である。

また、2種類の発光中心により白色発光を示す、SrS:Ce, Euを発光層に用いたELパネルが、田中ら(関西日本電気(株))によって報告されている。このパネルの場合、大きさ4.7インチ、ドット数320×240, 画素輝度、赤12.8, 緑22.4, 青5.5, 白61.5(cd/m<sup>2</sup>)である。

このいずれのパネルも、さらに、もう2~3倍輝度が向上すれば、実用可能なレベルに達すると考えられる。先にふれた、ストライプ構造のカラーELパネルとともに今後の進展が期待される。

図5 EL材料の研究の歴史



## 5. EL研究の問題点と今後の展望

ELの研究は多くなされているが、その努力にも関わらず、まだ十分な成果が得られていない。ここではもう一度、材料面における基本的な問題を示し、これらに対する今後の解決方法を検討する。

### 5.1 EL 蛍光材料の問題点と今後

EL研究の最も困難な問題点は、発光層に用いる母体材料 (ZnS, CaS, SrS 等) に発光中心 (希土類) をうまく添加できない、言い換えれば、母体中での発光中心の溶解度が低い点にある。ELは母体材料中に添加する希土類中心の違いによって、テルビウム (Tb) は緑、ツリウム (Tm) は青色、ユウロピウム (Eu) は赤色に発光する。

溶解度の問題を ZnS を例にとって説明すると次のようになる。通常、希土類中心は ZnS 中で Zn の位置を占める。しかし、Zn が  $Zn^{2+}$  と 2 価の陽イオンであるのに対して、希土類中心は 3 価の陽イオンである。すなわち価数が異なり電荷補償が必要となる。それにまた、 $Zn^{2+}$  のイオン半径と希土類のイオン半径は大きく異なる。したがって大きさの点においても困難を生ずる。これを解決しようと、多くの努力と研究がなされてきた。その歴史を図 5 に示す。

近年の多色 EL 研究は 1960 年代にさかのぼる。そして、それ以来、これらの問題を解決し

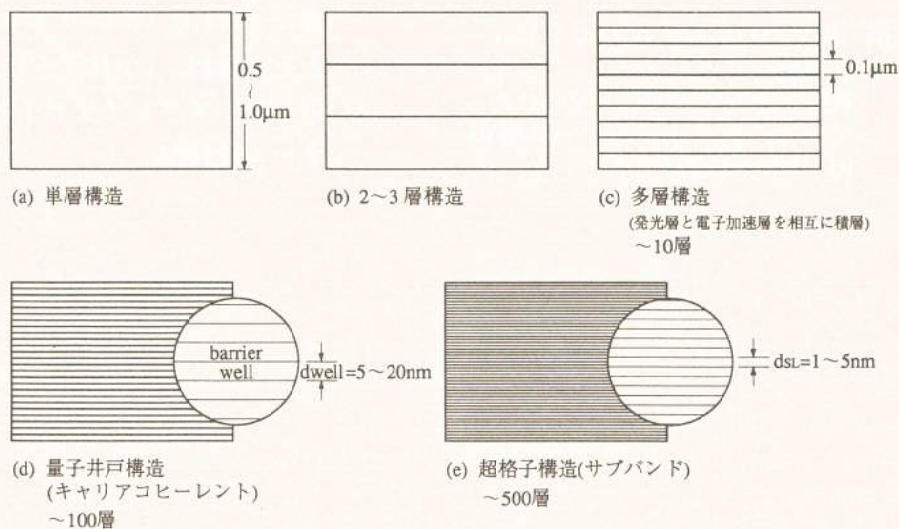
ようと母体材料、あるいは発光中心等の観点から種々の研究がなされてきた。

現在、これらの研究は図に示すように主に 3 つに大別され、複合センター (Complex Center)、多層構造 EL (Multilayered EL)、モジュレーション・ドーピング (Modulation doping) となっている。次節ではこれらの研究の内、多層構造 EL について述べる。

### 5.2 EL 薄膜の多層化

これまでの EL では、(1) キャリアの生成と加速 (2) キャリアによる発光中心の励起と発光の、2 つの機能を 1 つの発光層で受け持たせていた。ごく最近になって、これを積極的に見直し、発光層を (1) キャリアの生成とその加速層と (2) EL 発光層に分割しようという試みがなされている。この考えはすでに 10 年程前に考案されたものであるが、その後あまり研究がなかった。その理由の 1 つは、当時の薄膜作製の技術がまだ未熟であったことが挙げられる。しかし、最近の成膜技術、例えば有機金属化学気相成長 (MOCVD) 法、原子層エピタキシー (ALE) 法、ホットウォール (HW) 法などは、これらの考えを見直すのに十分な進歩を遂げている。図 6 には、この発光層の機能分割の考えに基づく多層膜の様子を示す。(a) は、これまでの単層の EL 薄膜である。(b) は 2~3 層の EL 薄膜を示す。(c) は多層の EL 薄膜を示す。最近の多層 EL の研究はこのレベルにある。(d)

図 6 多層 EL 構造図



はさらに進んだもので量子井戸構造のものであり、(e)は超格子構造のものである。これが最も進んだ最終的なものかもしれない。

我々、鳥取大学のグループでは、最近が多層構造EL薄膜という面から問題の解決の糸口を求めつつある。

## 6. ELの将来

ELディスプレイは、今後どのような方向に利用されていくであろうか。これを考えることがEL研究の真の要であるかもしれない。ELは

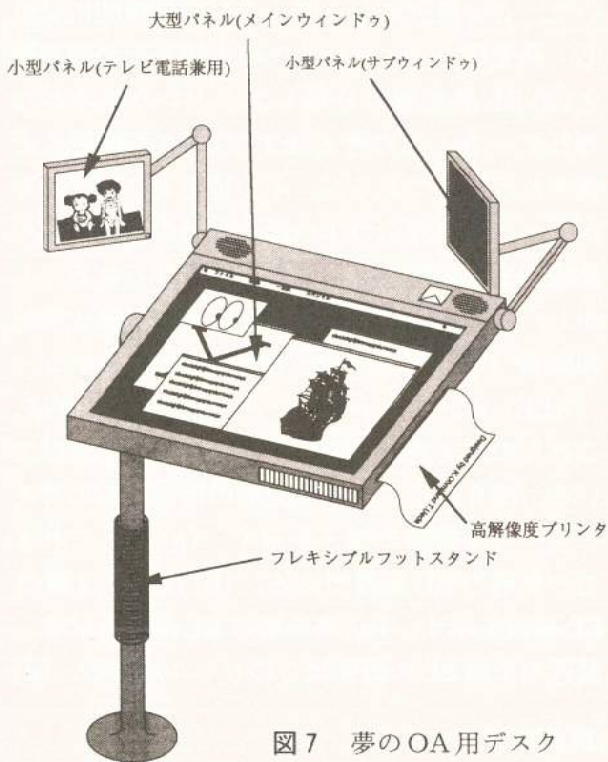


図7 夢のOA用デスク

ELパネルの応用…将来のOA用デスク(コンピュータ内臓)  
机面全体が大型のELパネルになっている。両サイドもアーム型のELパネルが設けられている。

既に、工作機械、医療機器、測定機器等に用いられている。また読者の皆さんはお気づきではないかもしれないが、駅のプラットホームなどにある電光表示板やコンビニエンスストアのレジなど、我々の身近な所でも徐々に使用されるようになってきている。現在はまだ黄橙色のみであるが、最近では、フルカラーのものも試作段階として新たに出てきている。ELの多色化が進めば、現在のブラウン管や液晶を置き換えていく可能性は充分にある。

例として図7に、筆者の考えた“夢のOA用デスク”を示す。これはELの省スペース、軽量といった利点を利用したものである。机面に大型ELパネルを組み込み、両側にもアームを利用して小型のELパネルを配置する。このデスクでは、これまでのOA機器の卓上のスペースのロスがなくなる。それと同時に、それぞれのディスプレイから一度に多種、多様な情報を収集したり、処理が行えるものと思われる。さらにELはこのようなオフィス製品のみならず、一般家庭の照明や超薄型テレビ、学校教育、乗り物、レジャー等様々な所で応用が期待できる。

## 参考文献

- 1) エレクトロルミネッセントディスプレイ, 猪口敏夫, 産業図書1991.7
- 2) 応用エレクトロニクスハンドブック, 大越孝敬, 野田健一編集, 昭晃堂1984.4, 電界発光ディスプレイ(小林洋志), pp842-850
- 3) 光物性ハンドブック, 塩谷繁雄編集, 朝倉書店1984.3, エレクトロルミネッセンスとその材料, (小林洋志), pp523-532
- 4) 電子ディスプレイデバイス, 松本正一編, オーム社1984