

発光ディスプレイデバイス研究調査委員会

報 告 書

平成4年3月

社団法人 照 明 学 会

発光ディスプレイデバイス研究調査委員会

報告書

平成4年3月

社団法人 照明学会

この報告書は、発光ディスプレイデバイス研究調査委員会が、昭和63年7月から平成4年3月まで、約4年間研究調査した内容をまとめたものである。

平成4年3月

社団法人 照明学会
発光ディスプレイデバイス研究調査委員会
委員長 小島 健博

目 次

	頁
1. まえがき	1-3
1-1. 委員会構成	1-3
1-2. 委員会ほか開催経過	1-4
2. 概 論	2-1 ~ 2-10
3. プラズマディスプレイ	3-1 ~ 3-13
4. 液晶用バックライト	4-1 ~ 4-20
5. 蛍 光 体	5-1 ~ 5- 8
6. 発光ダイオード	6-1 ~ 6-11
7. ELディスプレイ	7-1 ~ 7-10
8. 蛍光表示パネル	8-1 ~ 8-11
9. 大画面ディスプレイ	9-1 ~ 9-15
10. 3次元ディスプレイ	10-1 ~10- 9
11. あとがき	11-1

1. ま え が き

先に、昭和60年度より3年間設置されたディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会では、各種のディスプレイに使われている材料・デバイスおよび開発中の材料・デバイスの研究動向調査を行い、昭和63年3月に報告書(JIER-013)を提出した。

その結果に基づき、ディスプレイの発展は日進月歩であり、その進展の中で本学会との関連が益々密接になると想定される「発光ディスプレイデバイス」についてその動向を把握し、学会への寄与を検討することを目的として研究調査を継続するため、昭和63年度に3年の調査期間で、新たに発光ディスプレイデバイス研究調査委員会が設置された。平成元年度には委員長交替に伴って調査期間を4年に延長し、平成3年度まで動向調査を行った。この間、非公開研究会を主に調査を行い、関連する他学会との共催を含む公開研究会の開催には、光関連材料・デバイス研究専門部会に連携した。

本報告書は、63年3月提出のディスプレイ用材料・デバイス研究調査報告書の続編に相当するので、作成に当たっては最近の約5年間における発光型ディスプレイデバイスの研究開発の進展状況を中心として、動向を調査してまとめた。内容は、前編のディスプレイに関する一般論に替えた調査関連分野全体のデバイスの動向についての概論と、ディスプレイ方式、構成要素、材料の8分野に渉る最近の動向を詳述した各論とによって構成し、各章はそれぞれ単独で該当分野の開発進展状況を把握出来るように配慮した。

(小島 健博)

1-1. 委員会構成

委員長	小島 健博	大日本印刷(株)中央研究所	平成2年6月～4年3月
	宮尾 亘	東京工科大学工学部	昭和63年7月～平成2年5月
幹事	梶原 利郎	三菱電機(株)生活システム研究所	全期
	増田 千尋	芝浦工業大学システム工学部	全期
	村上 宏	NHK放送技術研究所	全期
委員	天野 芳文	コンサルタント	昭和63年7月～平成2年5月
	板谷 良平	京都大学工学部	全期
	伊吹 順章	摂南大学工学部	全期
	大塚 利邦	岩崎電気(株)開発部開発センター	全期
	岡田 茂	東芝ライテック(株)研究所	全期
	栗田 正一	慶応義塾大学理工学部	全期
	小泉 直彦	双葉電子工業(株)開発研究所	平成3年5月～4年3月
	小島 健博	大日本印刷(株)中央研究所	昭和63年7月～平成2年5月
	小林 駿介	東京農工大学工学部	昭和63年7月～平成2年5月
	重田 照明	松下電器産業(株)照明研究所	平成2年6月～4年3月
	谷 千束	日本電気(株)機能エレクトロニクス研究所	平成2年6月～4年3月
	玉谷 正昭	(株)東芝総研金属セラミック材料研究所	平成2年6月～4年3月
	新名 達彦	三洋電機(株)ULSI研究所	平成2年6月～4年3月
	西山 英夫	松下電器産業(株)照明研究所	昭和63年7月～平成2年5月
	長谷 堯	化成オプトニクス(株)研究開発室	全期
	御子柴 茂生	電気通信大学電子工学科	全期
	宮尾 亘	東京工科大学工学部	平成2年6月～4年3月
	森本 清	双葉電子工業(株)	昭和63年7月～平成3年4月
	吉田 勝	シャープ(株)中央研究所	全期

[50音順, 所属: 報告書提出時または退任時]

1-2. 委員会ほか開催経過

第1回	昭和63年7月27日 設置趣意書を基に委員構成、活動方針、研究調査項目、スケジュールを決定		
第2回	昭和63年9月27日 「ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会報告書」	伊吹順章 森光男	委員 三菱レイヨン
第3回	昭和63年12月21日 「バックライトと材料」 「大型ディスプレイ」	岡田 茂	委員
第4回	平成元年3月8日 「大型ディスプレイの動向」	小泉 直彦	双葉電子工業
第5回	平成元年6月8日 「フラットCRT」 「ISHM'88-PDP報告」 「ディスプレイ用蛍光体の動向」	野々村欽造 御子柴茂生 長谷 亮	松下電器産業 委員 委員
第6回	平成元年9月5日 「OA用液晶ディスプレイ」 「クリアビジョン対応液晶投射型テレビ」	羽藤 仁 宮武 義人	東芝 松下電器産業
第7回	平成元年12月15日 Japan Display '89-第9回ディスプレイ国際会議報告その1 「Japan Display '89の概況」 「プラズマディスプレイ」 「大画面表示装置」	小島 健博 御子柴茂生 岡田 茂	委員 委員 委員
第8回	平成2年3月13日 Japan Display '89-第9回ディスプレイ国際会議報告その2 「アクティブマトリクス型LCD」 「CRTディスプレイ」 「ELディスプレイ」	堀 浩雄 中西 寿夫 吉田 勝	東芝 三菱電機 委員
第9回	平成2年6月15日 SID 1990 国際シンポジウム報告 「会議の概要とELディスプレイ技術」 「プラズマディスプレイ」	内池 平樹 御子柴茂生	広島大学 委員
第10回	平成2年9月7日 「第5回ELワークショップの概要とトピックス」	岡本 信治	NHK放送技研
第11回	平成2年12月4日 Eurodisplay '90-第10回ディスプレイ国際会議報告 「発光型ディスプレイ(1)」 「発光型ディスプレイ(2)」	鈴木 睦三 関 昌彦	日立製作所 NHK放送技研
第12回	平成3年3月7日 「蛍光表示管の現状と動向」 「大画面表示装置用表示素子の動向」	金網 伸光 岡田 茂	双葉電子工業 委員
第13回	平成3年6月6日 SID 1991 国際シンポジウム報告 「プラズマディスプレイ」 「ELディスプレイ」 「投射型液晶ディスプレイ」	佐野與志雄 沖林 勝司 置田 雄二	日本電気 シャープ 三洋電機
第14回	平成3年9月6日 「IVMC 91-第4回真空マイクロエレクトロニクス国際会議報告」 「液晶プロジェクション用メタルハライドランプについて」	小泉 直彦 伊藤 茂生 大塚 利邦	委員 双葉電子工業 委員
第15回	平成3年12月12日 「1991 IDRC 報告 -発光型ディスプレイ-」 報告書一次原稿の検討	田中 省作	鳥取大学
幹事会	平成4年1月24日 報告書編集、提出		
全国大会	平成4年4月3日 シンポジウム「発光型ディスプレイの最近の動向」運営担当		
第16回	平成4年4月3日 委員会総括		

2. 概 論

2-1. はじめに

情報産業の急速な発展に呼応して高性能の電子ディスプレイが使用され、社会生活や家庭の中にも電子ディスプレイの利用は広がっている。

テレビ用、ディスプレイ用のブラウン管(CRT)は、最も高いコストパフォーマンスを維持しながらさらに大型化や高性能化が積極的に追及されている。

CRTの著しい性能向上が進む中で、後発のフラットパネルディスプレイが同じレベルに到達するのは容易ではない。フラットパネルディスプレイの最大の特徴は、奥行きが少ない構造である。そこで、開発はCRTでは難しい携帯型、可搬型機器の小型軽量ディスプレイから始まった。時計や電卓にはプラズマディスプレイ(PDP)、発光ダイオード(LED)、蛍光表示パネル(VFD)が順次実用されたが多くは低消費電力の液晶ディスプレイ(LCD)に移行し、カメラや各種の測定器に用途が広がった。ポケットテレビには、偏平CRTが実用化され、LCDでカラー化や画質改善が進んだ。多くのA-V、POS、車載用ディスプレイにはPDP、LEDに替わってVFDが大量に採用され、株価表示、券売機にPDP、客室内案内にはPDP、LEDの採用などが盛んである。

表示容量の大きいマトリクス型は、可搬型、携帯型のワープロ、PC用ディスプレイの実現を可能にした。10型級白黒CRTの領域でLCD、PDP、ELディスプレイ(ELD)が実用化され、マルチカラー、フルカラーLCD搭載機種も市場に増えてきた。ディスプレイ性能を重視する機器には、優れた反射型ディスプレイがないので、本来の発光型や、非発光型にバックライトを組合せた形の発光型ディスプレイが要求される。回路系を含むディスプレイユニットとしての薄型軽量化も進んで、机上の占有面積の節減、外光の映り込みの少ない画面、揺らぎの発生しない表示など、フラットパネルディスプレイとしての特徴が良く発揮されている。さらに大型では、LCDで14~15型が開発され、PDPでは20型や対角1m型、1.5m型が少量ながら生産されている。投射型にもカラーLCDが実用化された。応用は数m級の大画面ディスプレイにおよんでCRT/VFD、LCD、放電ランプ、表面色選択の方式が実用に至っている。

このように、フラットパネルディスプレイの諸方式が新しい用途を開拓した結果、半導体市場がSiによっているのに対し、半導体で支えられてきた電子ディスプレイは、CRTと多くのフラットパネル方式が総合して市場を作り電子機器の多様化を進展させた。ここでは、明るさ、発光色、コントラスト、表示容量、駆動電圧、応答速度、利用環境、消費電力、価格など、各用途に適したディスプレイ方式が選択使用されている。今や、多くの種類のデバイスが表示する情報と、それを観察する方法や環境条件は著しく拡大し、ディスプレイに要求される機能や性能も大幅に多様化している。したがって、電子ディスプレイのデバイスやシステムの評価は、目的に合わせて、表示の量と質に加え、運用性、経済性、ヒューマンファクターなど多くの要素を考慮することが重要である。

本稿では、ディスプレイデバイスに限定して概説し、ディスプレイ方式としての重要性からCRT、LCDについても解説を加えた。

2-2. ブラウン管(CRT: Cathode Ray Tube)

カラーCRTは、商品に成熟させ経済性を向上させた永い歴史の後、現在では性能を追及して、大型化や高画質化に要素技術開発の総合が顕著である。

直視型では、テレビ用として、HDTV用40型開発を契機に、標準テレビ用の大型化が図られ、45型¹⁾に達する管種、パネル面の角型平面化²⁾、マスクの高精細化³⁾、高電流密度陰極⁴⁾、電子銃の高解像度化⁵⁾が進んだ。ディスプレイ用でも、印刷物の品質と見易さを目標に高精細、高画質化が進んでペーパーホワイトのポジティブ表示、フルページ表示が増え、走査線2,000本の超高解像度管³⁾も実用化された。光学特性では、選択吸収性ガラ

スの開発、反射防止と静電遮蔽処理の向上⁶⁾、蛍光体の実用特性の改善など、コントラストや見易さが改善された。小型管でも、車載用、コックピット用に耐震、高コントラストの高解像度管⁷⁾が実用化され、1.5型カラーや0.6型管⁸⁾も開発された。

投射型でも、スクリーンや投射光学系の性能、高負荷電流対策などが向上し、背面投射型では明室でのコントラストや輝度が直視型を上回り⁹⁾、奥行きも家具の寸法に近づいている¹⁰⁾。蛍光面も改良されたが青色蛍光体の電流飽和特性改善が最も要求されている。

偏平CRTは、電子銃部の突き出たハンドミラー構造の2型、6型管¹¹⁾が実用されたが、現在では箱型が検討されている。リボン状電子ビームを用いた小型管¹²⁾が開発されたが、大型高精細化の目標には、内部構成をモジュールに分割し、機能を分散する方向で、ビームガイド方式や、蛍光面直前でチャンネル電子増倍する方式などが研究された。電子ビームマトリクスを偏向させるMDS方式では10型パネル¹³⁾でカラーテレビが表示された。偏平CRTの大型化は、耐真空応力用のスペーサーが画面の均一性や高精細化の障害となるのでこの両立が課題であるが、40型を目標にした検討も行われた¹⁴⁾。

2-3. 液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)

1) 単純マトリクス型

腕時計、電卓や小型テレビを実現させたTN型液晶は、マトリクス型の情報表示量を増す段階で、ツイスト角の大きいSTN型¹⁵⁾の開発でワープロ、PC用大型パネルに進展し、複屈折に因る着色も解決された。フィルム層で光学補償した2層型^{16)、17)}が実用されている。しかし、STN型は応答性が低い。STN型のカラー表示は1989年に実用化されたが、2 μ m程度の液晶層厚の均一性維持を主に量産性、低廉化の問題を抱えている。応答や視野角の改善にはECBモードのホメオトロピック配向方式¹⁸⁾の検討もされている。

高速応答とメモリー機能が特徴の強誘電性液晶では、液晶分子配向の均一性、動作安定性、画面書込み速度など基礎的研究が重要とされながら、デバイスは活発に開発され、4メガ画素マルチカラー背面投射型ディスプレイ¹⁹⁾などが開発された。

屋内外用の大画面は、数mmの大きいセルを配列したA4版程度のパネルで構成できるので、セル間のクロストークを重視してスタティック駆動が採用されている²⁰⁾。

2) アクティブマトリクス型

アクティブマトリクス型では、1984年にp-Si TFTによる2型カラーテレビが、世界最初の平板型カラーディスプレイとして市販された²¹⁾。その後、a-Si TFTで、色再現性の優れた3型カラーテレビ²²⁾の実用化以来、1990年には可搬型PCに10型クラスが搭載され、1991年に8.6型カラーテレビが市販された。

アクティブマトリクス型の課題は歩留まりの改善と低廉化で、特に大型パネルの欠陥の低減や救済が重要である。1個の液晶セルに複数のTFTを設ける冗長方式、電極線の交差を回避したパネル構成、製作プロセスの簡易化などの検討で、欠陥の少ない高コントラストの14型など15型²³⁾までパネルが開発され、最近では製品の歩留まりも着実に向上している²⁴⁾。特性でも、極性反転駆動による安定性改善やフリッカーの低減など多くの改良や、材料開発が進み、CRTよりコントラストや色再現域がむしろ優れた14.3型パネル²⁵⁾も発表された。主流のa-Si薄膜に対して、周辺駆動回路の構成にも適した高電子移動度のp-Si薄膜では、大面積均一高速成長²⁶⁾が可能になり、駆動回路一体の1型クラスの小型パネル²⁷⁾も実用に至った。

非線形2端子素子のTFD方式では、表示品質がTFT方式に若干劣るが、MIM型パネルがテレビ用²⁸⁾、WS用²⁹⁾に実用化された。しかし、プロセス上の生産性の良さや低廉化への期待にまだ特徴が十分に発揮されていない。

3) カラーフィルターとバックライト

カラーLCDでは、3色モザイクフィルターとバックライトが重要な構成要素である。フィルターには、従来の染色法に加え、顔料分散法、印刷法や電着法が実用されているが、光学特性、均一性には高い加工精度が要求されプロセスに見合う耐熱性も必要である。

特性や量産性の改善には、フトリソグラフィと転写の組合せ³⁰⁾が提案され、最近では転写法、オフセット法など印刷技術の利用が注目される。

バックライトには、高い均一性の薄い平面光源が要求される。単色表示に薄い構造の分散型ELが実用され³¹⁾、LEDでも開発が行われたが、カラー表示の広い色再現には3色フィルターと3波長型蛍光ランプの組合せが多い。TF T型では光透過率が非常に低いので、7,000 cd/m²程度の高輝度が要求される。熱陰極や冷陰極の直管型蛍光ランプが広く採用され、パネル背面に拡散光学系と組合せた直下型と、パネル周辺にランプを配置し薄い構造の拡散光学系を組合せたエッジライト型の面光源が主流である³²⁾。バックライトを組込むとディスプレイユニットの厚さ、重量、消費電力が増すので、光源を使わない反射型カラーLCDについてもコレステリック・ネマティック相転移によるGH型LCDが検討された³³⁾。

4) 投射型LCD

LCDをライトバルブとする投射型では、相転移型液晶を用いた単純マトリクス型のマルチカラーパネル³⁴⁾や超高精細白黒パネル³⁵⁾、また、マルチカラーTF T型パネル³⁶⁾による電子OHPが開発された。TF Tカラーテレビでは、前面投射携帯型テレビが実用化され、奥行きが少ない背面投射型³⁷⁾も開発された。1~5.5型の透過型液晶ライトバルブ3枚に3色分解-合成光学系と単一投射レンズ系を組合せた方式が多く、小型化ができ3色重ね合せの問題も少ない。ハイビジョン用にも、2.3型で高光利用率の反射型³⁸⁾や、5.5型³⁹⁾、4.55型⁴⁰⁾透過型ライトバルブを用いた背面投射型受像機が開発された。光源には、ハロゲンランプやクセノンランプも使われるが、発光スペクトルを適性化した希土類系金属ハライドの短アークランプ⁴¹⁾が広く採用されており、寿命は2,000~3,000時間程度である。

一方、マトリクスを構成しないパネルを用いた投射型として、スメクチックA液晶の光散乱状態を熱と電界で制御するメモリー機能を持ったライトバルブが研究され、レーザーダイオードで書込む3400×2200画素の超高精細カラーグラフィックディスプレイ⁴²⁾が実用化された。光遮蔽層を介して光導電層と液晶層を積層した反射型の空間光変調器の開発も古いが、最近では高分子分散型液晶を採用して応答性や明るさの優れた投射型ディスプレイも試作された⁴³⁾。

高分子媒質にネマチック液晶を小滴状に分散したり、高分子のネットワーク中に相転移型液晶を充填した高分子分散型の液晶パネルは、光の透過拡散を制御して偏光板が不要になるので明るい表示が得られる。p-Si TF Tライトバルブにシュリーレン光学系を組合せた透過型投射ディスプレイ⁴⁴⁾では、TN方式の4倍の明るい画像が得られ発展が期待される。しかし、直視反射型としては、高い反射率が得られないので透過制御のゲストホスト型に蛍光染料反射層を重ねた方式⁴⁵⁾などが検討されている。

2-4. プラズマディスプレイ(PDP: Plasma Display Panel)

Ne主体の混合ガス放電による橙色発光のPDPは、DC型ではHgの添加、AC型ではMgO保護層で陰極スパッタリングの少ない長寿命と安定性を実現している。放電の遅れや放電開始電圧を低減させるために、近傍または自己の直前の放電から準安定励起粒子などを供給する補助放電効果⁴⁶⁾は、マトリクス型PDPには欠かせない機能で、高速走査、ノイズ低減、セルの選択放電に広く利用される。またAC型は重要な特性としてメモリー機能を固有する。これらの機能を活用して特にAC型では大型に高い適性が示され、他のディスプレイ方式に先行して対角1m型や1.5m型⁴⁷⁾が実用化された。その後、DC、AC、DC-AC混成型の多くの構成で、パネル構造の簡易化、駆動電圧・駆動素子数・消費電力の低減・削減がなされ、厚膜印刷の活用と合わせて、10型級パネルの量産と低廉化が進み、ラップトップ型PCに搭載されて最初の実用的なコンピュータ用フラットパネルディスプレイとなった⁴⁸⁾。多くは4~16階調が表示でき、続いて15~18型のWS用大型高精細パネルが実用化された。最近では、電池駆動用に約50%に電力を節減したパネル⁴⁹⁾

も実用化された。

カラー化は、放電による真空紫外線で3色の蛍光体を光励起する方式が主流で、発光色、量子変換効率の共に優れた酸化物系蛍光体^{50)・51)}が開発されている。蛍光体はイオン衝撃を直接加えると急速に劣化するが、セル構成でこれを避ければ長寿命である。したがってPDPの輝度向上には、蛍光体材料の改善よりも紫外線発生効率の向上が重要となる。

カラーのDC型では、線順次駆動のマルチカラー17型パネル⁵²⁾が開発されたが、階調や動画表示を含めた大型高輝度化には、高速駆動とメモリー機能の導入が重要である。パルスメモリー駆動方式で4 μ sの高速アクセスと高コントラスト表示が可能となり、20型パネルで256階調の高コントラストテレビ画像が表示され、33型パネルでハイビジョン画像の一部画面が表示された⁵³⁾。蛍光面の外光反射に対しても、3色モザイク透明厚膜フィルターを前面に、反射型蛍光面を後面に設けた25型パネルで高コントラストのテレビ画像が得られた^{54)・55)}。また、紫外線を効率良く発生するタウンゼント放電型では、8型パネルで白色輝度700 cd/m²、効率1.6 lm/Wの実用に十分な特性が示された⁵⁶⁾。この方式はパネル構造が複雑で、高精細化が課題である。

AC型のカラー化は、面放電型パネル構造の開発でイオン衝撃による蛍光体劣化が避けられるようになり⁵⁷⁾、3電極構成のパネル開発が活発に行われた。0.1 mmピッチの微細セル動作が確認され⁵⁸⁾、17型パネルのカラーテレビ表示⁵⁹⁾、株価表示用のRGマルチカラー20型パネル⁶⁰⁾や、1024 \times 1024セルの3色マルチカラー23型パネル⁶¹⁾が開発された。蛍光体劣化の激しい従来の対向電極構造パネルでも、保護層を設けた結果数千時間の寿命が得られている⁶²⁾。

主流の紫外線励起とは別に放電ガス中で蛍光体を高速電子励起する方式でも、4 kV程度の高電圧を印加できる12型カラーパネル⁶³⁾や35型緑色パネル⁶⁴⁾が開発された。原理的にはプラズマを陰極としたCRTなので効率が高いが、大型化に外囲器の低真空応力に対するスペーサーの導入と表示セルの高精細化が両立せずその後の進展がない。

2-5. 蛍光表示パネル(VFD: Vacuum Fluorescent Display)

我国で誕生したVFDは、受信管形状のセグメント型から始まってマトリクス型フラットパネルに発展した。多桁数字や固定図形パターンを組合せた表示でA-V機器や車載用、POS用に需要が高い。低速電子励起用蛍光体には青緑発光で導電性のZnO:Znが最も広く使用されているが、絶縁性の硫化物蛍光体も透明導電性材料(In₂O₃が一般的)の粉末を混合することで帯電を回避できるようになり発光色は可視域をカバーしている⁶⁵⁾。従来の反射型蛍光面に対して、パネル構造を逆にし透過型構成で視野角を拡大した前面発光型VFDも輝度の改善で実用に達しており、また、Chip in Glass方式や、チップ管を無くした封止方式などの技術開発が機器の実装に高く寄与している。

マトリクス型の大型化では、8.3型のカラーパネル⁶⁶⁾まで開発されたが、真空応力への対策は進展していない。大型化では、セグメント型とマトリクス型を並べたハイブリッド構成など、一辺を長くした細長いパネルが実用されている。高精細化では、640 \times 400セルの5.9型パネルにグリッドによる静電偏向を導入して精細化し、さらに液晶アクティブフィルターを組合せて画素密度を落とさずにマルチカラー表示が行われた⁶⁷⁾。超小型では、MOSFETアクティブマトリクス方式⁶⁸⁾で0.45型パネルや3mm文字高のチップを並べた漢字表示パネルが開発され、p-Si TFTを採用したパネル⁶⁹⁾も検討された。

真空マイクロエレクトロニクスの分野では、電界放出型陰極による封じ切りパネルが初めて試作された。1セルを10⁴個/mm²密度の多数のマイクロチップ陰極で構成し抵抗層を導入し電流をゲート電極で制御する緑色発光の6型パネル⁷⁰⁾で、均一性、消費電力、輝度、寿命に期待が持てる特性が示された。蛍光体は200~400Vの電子で励起し、カラーパネルの特性も発表された⁷¹⁾。

大画面ディスプレイへの応用では、VFDの構造を大幅に改良して高速電子線励起を採用した方式が多い。高輝度、高効率を実現して屋内外用ディスプレイの高精細化が活発である。15mm画素ピッチ⁷²⁾、7.5mm画素ピッチ⁷³⁾の小数マトリクスのパネルが開発され、

これらを整列させたモジュールをさらに並べて大画面を構成する。

2-6. ELディスプレイ(ELD: Electroluminescent Display)

輝度と寿命の実用性が得られなかった粉末蛍光体分散型ELは、有機分散型のシート状光源パネルが液晶バックライト用として特徴を見直され、改良して実用化された³¹⁾。これに対して薄膜ELDは、ZnS:Mnの2重絶縁層構造⁷⁴⁾の開発以来、マトリクスパネルが13型まで実用化され、大型の16型、18型⁷⁵⁾も試作された。発光層や絶縁層の成膜技術では、スパッタリング、多元蒸着法⁷⁶⁾、CVD法⁷⁷⁾で優れた特性が示されている。メモリー機能も得られているが⁷⁸⁾実用化はされていない。カラー化には、ZnSやアルカリ土類硫化物が研究され、緑色のZnS:Tb,F⁷⁹⁾、赤色のCaS:Eu,F,Cu,Br、青緑色のSrS:Ce,Kや白色のSrS:Ce,K,Eu⁸⁰⁾が開発されたが、色、効率ともに優れた青色発光材料は未開発である。

マトリクス型パネルでは、6型緑色ELDも開発された。透明なEL層による多色化、カラー化では、積層構成が高精細化に望ましいが、信頼性や透明電極の抵抗の問題など見通しはまだである。一方、パターン構成では、単色パネルと同様に安定動作するので、黄緑2色の10型マルチカラーパネル⁸¹⁾や、3色のパターン構成、2色パターン構成基板と単色基板の重ね合わせ、さらにモザイクフィルターの組合わせ⁸²⁾などが開発された。パネルの駆動については、対称駆動法による特性の安定化⁸³⁾が図られており、電気容量の多い大型パネルの駆動技術も検討された。

以上と異なった構成では、薄膜と粉末層の混成構造で2万時間の寿命の9型パネル⁸⁴⁾が開発され、高誘電率セラミクスを基板にZn₂SiO₄:Mn蛍光体を高温処理した酸化物EL⁸⁵⁾も発表された。応用では薄膜端面から出る強い発光を利用するプリンターヘッド⁸⁶⁾が開発されている。有機薄膜ELの研究も活発であるが寿命が非常に短い。しかし、青から赤の発光が得られるので⁸⁷⁾フルカラーへの発展が期待される。

2-7. 発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)

LEDの市場は、赤から緑にわたる発光色のチップをモールドした表示ランプで形成されている。最近の高輝度化は目覚ましく、赤色で光度3cd、橙色で6cd、黄色でも5cdに達して白昼の視認性が向上し、小型ディスプレイが主であった用途から、屋内外用の長寿命ディスプレイに展開を見せている。赤色単色か、赤と緑のマルチカラー表示で、16×16画素のマトリクスに駆動回路を一体化したモジュール構成が多く、大型では1画素にランプを多数使用する。個別チップを並べたモジュールは、継ぎ目が出ないように整列できるので、20mm角の回路一体モジュールを並べたマルチカラー20型パネル⁸⁸⁾が開発された。モノリシック型では、セグメント数字表示の超小型パネル(素子)が実用されているが、画素を継ぎ目なく並べたB4版用⁸⁹⁾などのプリンターヘッドが開発され、超高輝度超小型のマトリクス型パネル⁹⁰⁾も試作された。

青色発光材料では、SiCの大口径化やGaNの特性改善でランプが製品化され、フルカラーランプ⁹¹⁾も開発された。しかし、まだ市場には十分出回っていない。420nmピークの青紫色では光度1mcdのランプ⁹²⁾が開発されたが、カラーの原色としては発光色、効率の改善に材料開発がさらに望まれる。以上とは別に、a-SiC薄膜LEDの製法と特性が検討され⁹³⁾、面発光素子としての可能性が示された。

2-8. フラットパネルディスプレイの展望

各方式が時期を同じくして開発が始まったフラットパネルディスプレイは、用途を見定めながら開発を進め、また、開発の進展に合わせて用途を開拓してきた。四半世紀を経た現在、実用化した方式がある一方でまだ実用に十分ではない方式も多い。新しい別の方式は未だ少なく、現状はこれまでの方式の展開や進展に非常な努力が注がれている段階である。今までの短い歴史の中でも用途によっては方式の変遷や淘汰が見られるが、なお暫

くは現状の延長線上で各方式が発展してゆくものと考えられる。表1には、各方式の、開発や実用化の現状、方式の特徴と課題、当面の発展が予想される用途を簡単にまとめた。

市場を拡大してきた単純マトリクス型LCDは、応答性、視野角、色再現などの問題を抱えている。小型テレビの製品化を基にアクティブマトリクス型では、10~15型パネルの実用化に向かい大きな投資努力がなされ、その性能は期待されるがコストパフォーマンスはまだ低く、改善努力が一層望まれる。さらに大型には投射型LCDが有望であるが、直視型の実現には莫大な投資と飛躍的な製作技術の改善が必要である。アクティブマトリクス方式のみが理想ではないので将来の展開は早急には予測しがたい。

PDPは、大型に適性が高くLCDとはパネルやセルサイズの狙いが異なる。特にアクティブマトリクス型とは製作技術・設備の相異が注目される。橙色パネルはPCに実用されたがカラーパネルはその域に達していない。また、DC型では輝度・効率、寿命の改善が急務であり、AC型では面放電型の実用が始まったが高速駆動では今一步である。AC、DC型に本質的な差異は認め難くこれらの早急な改善が望まれる。ハイビジョン向けの技術開発では実現性を高めたが、20~30型パネルやその用途開発が現実的で重要である。

VFDの大型化では、重量やスペースの導入が難点で、精細化、カラー化と合わせてブレークスルーが期待される。小型表示やPOS用には優れた性能と低廉性を力に用途を拡大し、大画面ディスプレイへの応用展開でも精細化を発展させたい。一方、デバイスとしての動作が確認された電界放射陰極の利用は、大画面を別として半導体加工技術を利用した高効率の新しいディスプレイとして今後が十分に期待される。

ELDとLEDは、ともにカラー化には青色の改良が重要である。ELDは高精細に適性を持ち、さらにTFTが導入できればLCDの開口率の問題を避けてメモリー機能を持ったディスプレイを全薄膜プロセスで生産できる。LEDは高光度、長寿命の特徴を活かした信号、標識などの非常に大きい市場を、現在の延長で得ることが出来る。

偏平CRTは、短い奥行き、解像度、動作温度範囲などから車載用ナビゲーションシステムに適している。しかし大画面化にはVFDと共通した問題を抱えている。

2-9. むすび

フラットパネルディスプレイの開発は、小型、単色、2値表示の初期段階を既に脱し、大型、カラー化、中間調、動画表示に進展しており、電子ディスプレイの画面サイズは、超小型の0.5型ビューファインダーから屋外用巨大画面の広範囲に及んでいる。この中では、ハイビジョンを含む広い用途を期待されているのに1~2m級ディスプレイの開発が遅れている。当面は投射型のCRTやLCDに頼るとしても、直視型のフラットパネルディスプレイが理想である。大型高精細のマトリクス型ディスプレイは、全く新しい受像機としての巨大市場は勿論のこと、情報量が多く、デジタル走査で種々の方式に柔軟に対応できる各種の情報システムのディスプレイ端末として大きな可能性が期待される。

画質など多くの特性ではまだCRTに及ばないが、フラットパネルディスプレイの性能は年毎に向上し、一部では比肩できる特性も現われてきた。究極の目標の一つが、CRTと同様に高品位なディスプレイであるという認識は現実性を増している。画面サイズ、表示容量、カラー化、階調表示などの特性を総合すると、大型高精細ディスプレイにはLCD、PDP、偏平CRTへの期待がされているが、大型高精細デバイスの製作技術や装置はまだ未開発である。最近のCRTの高性能化の進展の様に、ここでもパネルの方式や構成に加え、製作技術を合わせた総合的な開発が重要である。

一方、大型高精細化は重要な目標には違いないが、これがディスプレイ開発の総てではない。フラットパネルにCRTを加えて電子ディスプレイについて方式の優劣や予測がよく論議されるが、多様化が進んだ現在ではそれぞれの目的用途に合わせた観点で評価することが重要である。すでに実用化を達成したフラットパネルディスプレイの各方式は、今後の発展で単純に淘汰が進む筈はなく、より適切な用途を互いに分担し、共存共栄して行くものと考えられる。

(小島 健博)

表1 フラットパネルディスプレイの現状、課題、用途

開発例		特徴と開発課題	今後の予測される用途
LCD	2層 STN	カラー11型 640x480画素 簡易な構成 均一性 歩留まり 応答性	≒10型までの多色グラフィック表示 携帯型ワープロ、PC
	TFT	カラー15型 1920x1600ピクセル 色再現、コントラスト 歩留まり 低廉化	≒15型までの画像表示 投射型画像表示 ビューファインダー
	MIM	カラー9.8型 640x400画素 STNとTFTの中間的特性 生産性も両者の中間？	15型程度までの多色グラフィック表示 ナビゲーション表示
PDP	AC	単色60型 2048x2048ピクセル カラー30型 大型 カラー 効率・輝度 高画質は未確認	50型級画像 20-30型OA用
	DC	単色17型 1024x800ピクセル カラー33型 1024x800ピクセル 大型 カラー 高画質 効率・輝度 寿命	50型級画像 20-30型OA用
VFD	単色5.9型 640x400ピクセル	小型表示 低廉	小型AV用
	カラー8.3型320x200画素 単色0.45型 246x216ピクセル	大型軽量化	POS用 屋内外用画像
	単色18型 1024x864ピクセル カラー6型 320x240画素	表示品位 全固体デバイス 青色の開発	≒20型までの多色高精細表示
ELD	多色20型 320x240画素	高光度 視認性 青色の開発	屋内外多色標識表示
偏平CRT	カラー10型 400x480画素	表示画質 大型化	≒10型までのナビゲーション表示

参考文献

CRT

- 1) M.Nakamura, T.Makino, S.Soematsu, T.Saito: SID 88 Digest, 20.1, pp.386-388(1988)
- 2) 若園, 足立, 鴻巣: 照学研資, MD-91-2, pp.7-12(1991)
- 3) K.Ando, M.Osawa, T.Shimizu, T.Murayama, M.Fukushima: SID 85 Digest, 18.2, pp.338-340(1985)
- 4) 斎藤, 石田, 福山, 鈴木, 渡部, 黒川, 鎌田, 佐野, 中西: テレビ学技報, 12, 7, ID88-30, pp.25-30(1988)
- 5) H.Ohno, Y.Amano, H.Inouye: SID 89 Digest, 20, 5.4, pp.45-48(1989)
- 6) H.Kawamura, T.Kawamura, K.Kobara, Y.Endo: SID 89 Digest, 16.3, pp.270-273(1989)
- 7) 生垣, 中西, 水流添: 東芝レビュー, 38, 1, pp.47-50(1983)
- 8) 川崎, 岡安, 渋谷, 村松: テレビ学年大, 5-5, pp.99-100(1991)
- 9) 山崎, 安藤: テレビ学技報, 13, 7, ID89-28, pp.39-46(1989)
- 10) K.Akiyama: SID 91 Digest, 10.3, pp.167-169(1991)
- 11) 中道, 内海, 大島, 峯, 長道, 米田: テレビ学技報, 13, 17, ID89-50, pp.13-18(1989)
- 12) 宮崎, 坂本: テレビ誌, 41, 7, pp.648-654(1987)
- 13) 野々村, 渡辺, 山本, 渋谷, 西田: テレビ誌, 40, 10, pp.1024-1030(1986)
- 14) K.Nonomura, F.Yamazaki, J.Hashiguchi, M.Takahashi, K.Hamada, T.Nakatani, S.Kitao, T.Shiratori, T.Kataoka, K.Tomii, H.Miyama, Y.Kawauchi, J.Nishida: SID 89 Digest, 8.3, pp.106-109(1989)

LCD

- 15) T.J.Scheffer, J.Nehring, M.Kaufmann, H.Amstutz: SID 85 Digest, 8.1, pp.120-123(1985)
- 16) 奥村, 永田, 和田: テレビ学技報, 11, 27, ID87-96, pp.79-84(1987)
- 17) 長江, 平方, 小村: テレビ学技報, 12, 32, ID88-75, pp.29-34(1988)
- 18) T.Yamamoto, S.Hirose, J.F.Clerc, Y.Kondo, S.Yamauchi, M.Aizawa: SID 91 Digest, 35.7, pp.762-765(1991)
- 19) Y.Iwai, N.Wakita, T.Uemura, S.Fujiwara, Y.Gohara, S.Kimura, Y.Masumoto, Y.Miyatake, T.Tsuda, Y.Horio, I.Ota: Proc. Japan Display'89, 7.3, pp.180-183(1989)
- 20) 中村, 林, 宮田, 松川: National Technical Report, 33, 1, pp.27-34(1987)
- 21) 両角, 小口, 矢沢, 小平, 大島, 真野: テレビ学技報, 8, 4, IPD86-4, pp.19-24(1984)
- 22) 白井, 堀田, 永田, 宮田, 横山, 足達, 西川, 川崎, 近村, 由山: テレビ学技報, 10, 6, IPD107-27, pp.65-69(1986)
- 23) T.Wada, T.Masumori, Y.Takahashi, N.Kakuda, T.Kawada: Proc. Eurodisplay'90, LP-08, pp.370-373(1990)
- 24) 日経マイクロデバイス, pp.82-85(1991.8)
- 25) K.Ichikawa, S.Suzuki, H.Matino, T.Aoki, T.Higuchi, Y.Oana: SID 89 Digest, 14.1, pp.226-229(1989)
- 26) 中沢, 下林, 石黒, 大島: テレビ学技報, 12, 6, ID88-19, pp.33-38(1988)
- 27) 松枝, 芦沢, 有賀, 大島, 両角: テレビ学技報, 14, 30, IDY90-94, pp.21-26(1990)
- 28) 小口, 前沢, 丹羽, 若井, 馬場: 日経マイクロデバイス, pp.121-126(1987.7)
- 29) H.Morita, K.Ishizawa, M.Shibusawa, Y.Tanaka, K.Inoue: Proc. Eurodisplay'90, LP-07, pp.366-369(1990)
- 30) 生明: 日経マイクロデバイス, pp.83-87(1990-4)
- 31) 森口, 鈴木, 久積, 中川, 笠井: テレビ学技報, 13, 8, ID89-37, pp.11-15(1989)
- 32) 松川, 谷内, 小林, 三橋, 大沢: 照学誌, 75, 2, pp.100-103(1991)
- 33) 小泉, 田所, 内田: 信学技報, 86, 255, EID86-16, pp.1-4(1986)

- 34) 金子,原口,小池,岩崎,吉原,山岸:テレビ学技報,12,32,ID88-74,pp.23-28(1988)
- 35) Y.Yabe,H.Yamada,T.Hoshi,T.Yoshihara,A.Mochizuki,Y.Yoneda:SID 91 Digest,13.5, pp.261-264(1991)
- 36) 高橋,川田: テレビ学技報,13,40,pp.5-8(1989)
- 37) 連,小高,田中,川崎,村尾,宮武,三木,堀田:1989テレビ学全大,4-6,pp.85-86(1989)
- 38) 岩井,田窪,田村,小森,竹田,山下:テレビ学技報,13,58,IDY89-42,pp.49-54(1989)
- 39) Y.Okita,T.Yamada,N.Nakatani,S.Ohima,Y.Marusita,T.Arioka,T.Nakakado:SID 91 Digest,20.1,pp.411-414(1991)
- 40) M.Yokozawa,N.Okamoto,T.Matsumoto,R.Fujimura,T.Hirashima:1991 IDRC,S1,pp.4-7 (1991)
- 41) 祝,蕪木,串田,岡崎:照学光関連材ヲ研究専門部会,MD90-34,pp.15-24(1990)
- 42) F.J.Kahn,P.N.Kendrick,J.Leff,L.J.Livoni,B.E.Loucks,D.Stepner:SID 87 Digest, 14.1,pp.254-257(1987)
- 43) K.Takizawa,H.Kikuchi,H.Fujikake:SID 91 Digest,13.2,pp.2510-253(1991)
- 44) 樗田,平井,大井,新山,浅川,増茂,関根,熊井,結城,郡島:テレビ学技報,15,12, IDY91-62,pp.41-45(1991)
- 45) P.S.Drzaic,R.Wiley,J.McCoy,A.Guillaume:SID 90 Digest,12.1,pp.210-213(1990)
PDP
- 46) R.Cola,J.Gaur,G.Holz,J.Ogle,J.Siegel,Somlyody:Advances in Image Pickup and Display,B.Kazan(1977),3,pp.106-114,Academic Press
- 47) D.K.Wedding,Sr.,P.S.Friedman,T.J.Soper,T.D.Holloway,C.D.Reuter:SID 87 Digest,7.4,pp.96-99(1987)
- 48) 中川,岡本,厚見,伊藤,犬塚:National Technical Report,33,1,pp.108-117(1987)
- 49) 藤枝,山本,岡本:照学研資,MD-91-9,pp.49-53(1991)
- 50) J.Koike,T.Kojima,R.Toyonaga,A.Kagami,T.Hase,S.Inaho:SID 80 Digest,14.3, pp.150-151(1980)
- 51) 谷水,鈴木:第36回応物,22a-C-6,p.149(1975)
- 52) 丹羽,厚見,稲熊,岡本,野村,奥村:テレビ誌,44,5,pp.571-577(1990)
- 53) H.Murakami,R.Kaneko,T.Kuriyama,H.Nakagawa,T.Yamamoto,M.Seki,H.Ohnishi, M.Tsuji,N.Yamaguchi:SID 91 Digest,34.1,pp.713-716(1991)
- 54) 高野,坂井,小松,澤井,藤井:テレビ学年大,4-7,pp.75-76(1991)
- 55) 藤井,池端,澤井,小松,高野,坂井:テレビ学年大,4-8,pp.77-78(1991)
- 56) S.Mikoshiba,S.Shinada:SID 86 Digest,21.1,pp.387-390(1986)
- 57) 吉川,篠田:テレビ学技報,4,27,IPD53-13(1980)
- 58) 佐々木,金原,内池:テレビ学年大,4-4,pp.69-70(1991)
- 59) P.S.Friedman,A.Rahman,R.A.Stoller,D.K.Wedding:SID 91 Digest,34.2,pp.717-720 (1991)
- 60) T.Shinoda,M.Wakitani,T.Nanto,T.Kurai,N.Awaji,M.Suzuki:SID 91 Digest,34.4, pp.724-727(1991)
- 61) H.Doyeux,G.Baret,J.Deschamps,O.Hamon,S.Salavin,P.Zorzan:SID 91 Digest,34.3, pp.721-723(1991)
- 62) P.E.Knauer,R.D.Cleven,M.J.Brownfield,C.B.Bowser:SID 87 Digest,7.1,pp.84-87 (1987)
- 63) A.Schauer(御子柴 訳):テレビ誌,38,4,pp.318-320(1984)
- 64) M.DeJule,C.S.Stone,A.Sobel,J.Markin:SID 86 Digest,21.7,pp.410-413(1986)
VPD
- 65) 下条,菊田:応用電子物性分科会資,401,pp.26-31(1983)
- 66) K.Morimoto,E.Imaizumi:Proc.Japan Display'86,13.8,pp.516-519(1986)
- 67) 渡辺,鶴岡:テレビ誌,42,10,pp.1071-1076(1988)

- 68) 上村,清住,中村:テレビ誌,40,10,pp.1010-1017(1986)
- 69) K.Sera,F.Okumura,H.Asada,S.Kaneko,C.Tani,T.Akiyama,J.Yamamoto,Y.Murayama:
Proc.Japan Display'89,19-2,pp.700-703(1989)
- 70) R.Meyer:Proc.Eurodisplay'90,LP-09,pp.374-377(1990)
- 71) R.Meyer:IVMC 91 Digest,K-2,pp.6-9(1991)
- 72) 林,鞭,大関,政時,荒江:テレビ学技報,13,40,IDY89-17,pp.13-16(1989)
- 73) H.Kamogawa,K.Tatsuda,Y.Seko,S.Uemura,T.Shimojo,Y.Kani,K.Shibayama,Z.Hara,
S.Iwata:SID 91 Digest,28.4,pp.573-576(1991)
- ELD
- 74) T.Inoguchi,M.Takeda,Y.Kakahara,Y.Nakata,M.Yoshida:SID 74 Digest,8.3,pp.84-85
(1974)
- 75) R.Schmachtenberg,T.Jenness,M.Ziuchkovski,T.Flegal:SID 89 Digest,6.2,pp.58-60
(1989)
- 76) 楡,丹田,渡部,佐野:信学技報,86,368,EID86-36,pp.1-4(1987)
- 77) A.Mikami,K.Terada,K.Tanaka,K.Taniguchi,M.Yoshida,S.Nakajima:SID 89 Digest,
18.2,pp.309-312(1989)
- 78) 日経エレクトロニクス,353,pp.96-98(1984-10-8)
- 79) H.Ohnishi,Y.Yamasaki,R.Iwase:SID 87 Digest,13.3,pp.238-241(1987)
- 80) S.Tanaka,H.Yoshiyama,J.Nishiura,S.Ohshio,H.Kawakami,H.Kobayashi:
SID 88 Digest,16.4,pp.293-296(1988)
- 81) M.Yamamoto,M.Inoue,T.Tohda,T.Matsuoka,A.Abe:Proc.Japan Display'89,9-2,pp.228
-231(1989)
- 82) C.Laakso,R.Khormaei,C.King,G.Harkonen,A.Pakkala,T.Pitkanen,M.Surma-aho,
R.Tornqvist:1991IDRC,S2B,pp.43-44(1991)
- 83) S.Harada,T.Ohba,Y.Kanatani,H.Uede:Proc.Japan Display'86,7.1,pp.238-241(1986)
- 84) S.Kobayashi,Y.Aoki,K.Enjoji,I.P.Johnson,M.H.Higton,P.J.Huntley:Proc.Japan
Display'89,9.6,pp.242-245(1989)
- 85) T.Miyata,T.Minami,S.Takata,I.Fukuda:SID 91 Digest,14.5,pp.286-289(1991)
- 86) D.Leksell,Z.K.Kun,G.J.Machiko:Proc.Eurodisplay'87,F1.8,pp.86-87(1987)
- 87) C.Adachi,T.Tsutsui,S.Saito:Proc.Japan Display'89,19-4,pp.708-711(1989)
- LED
- 88) 市川,定政,別府:テレビ誌,38,4,pp.327-331(1984)
- 89) 千葉,古谷,中村,安孫子,二瓶:テレビ学技報,10,6,IPD107-24,pp.46-54(1986)
- 90) H.Yamane,M.yamane,T.Ishii,T.Yamazawa,T.Niina:Proc.Japan Display'86,13.9,
pp.520-523(1986)
- 91) Y.Matsushita,T.Nakata,Y.Ueda,Y.Fujikawa,K.Koga,T.Niina:Proc.Japan Display
'89,19.1,pp.696-699(1989)
- 92) 中田,松下,古賀,上田,上谷,藤川,山口:テレビ学技報,13,57,IDY89-31,pp.25-30
(1989)
- 93) D.Kruangam,岡本,浜川:信学技報,47,408,EID87-90,pp.39-45(1988)

3. プラズマディスプレイ

3-1. プラズマディスプレイの特徴

プラズマディスプレイはPDP(plasma display panel)と略称され、ガス放電により発生した励起原子の自然遷移に伴って放射される可視光、あるいは真空紫外光を利用した表示素子である。構造が比較的単純なこと、応答速度が速いことなどから、大画面、大容量表示に適する。直視形ディスプレイとしては最大の、対角1.5mがPDPで実現されている(1)。画素数は4,000,000におよぶ。放電セルの精細化については、ac型の0.1mm(2)、dc型の0.18mm(3)の報告がある。PDPは希ガスを用いるため、動作特性が周囲温度に影響されない。パネル寿命は、Ne発光ac型に対して10万時間以上である。

蛍光体を用いるとフルカラー表示が可能であり、CRT程度、あるいはそれ以上の色純度を得ることができる。視野角もCRTと同様である。マトリクス表示のため、画像に歪みが無い。また点灯、消灯のしきい値が明確なため、多重駆動が容易であり、2048ライン駆動例も報告されている。コントラスト比は100:1以上ある。応答は数 μ sと速くできるため、256階調のテレビ表示が可能である。放電の非線形機能あるいは論理機能を利用すると、パネル自体にメモリー機能を付加し、また駆動回路数を1/10程度に低減することができる(4)。メモリーパネルにはフリッカーが無い。

反面、PDPには駆動電圧が高い、輝度および発光効率が低い、などの欠点がある。以下、1988年以降の発表を中心に、PDP開発状況を報告する。

3-2. dc型パネル

3-2-1. パルスメモリーパネル

HDTV表示用に、パルスメモリー方式を利用したパネルが研究されている(5)。このパネルの構造を図1に、仕様と特性を表1に示す。

パネルの厚さは6mm、重量は6Kgである。放電セルのスイッチングには4 μ sを要する。従って水平ライン1000本を有するパネルに256階調を表示するためには、パネルを上下2分割し、2行同時に駆動することが必要である。パルス電圧の印加に伴い、浮遊容量および浮遊インダクタンスのため電流、電圧が振動し、表示特性のパネル内一様性が損なわれる。これは、パルス立ち上がりを遅くする、あるいは立ち上がりを2段にすることにより軽減できる。図2はパルスを2段にすることにより電圧マージンが増加する様子を示している。

蛍光体はブレードコーターでスラリーを塗布し、露光で成形した。これにより、パネル全面にわたり混色のない均一な輝度が得られた(6)。蛍光体以外は厚膜印刷方式で形成する。放電セル分離用障壁は、厚膜ペーストを多数回印刷し、高さ約0.2mmにしている。障壁の高さおよび幅のバラツキは、メモリーマージンに大きく影響するため、自動位置合わせ装置を開発し、このバラツキを約10 μ m以下に抑さえた。

その後、縦520x横874mm、対角40インチのパネルが発表されている。画素数800x1344、平均画素ピッチ1.3mmである。

3-2-2. タウンゼント発光パネル

放電の立ち上がり時、未だ空間電荷が十分多くない期間に発生するタウンゼント発光を用いると、発光効率が約1桁上昇する。この発光を用いたパネルで、白色輝

度 680cd/m^2 、発光効率 1.6lm/w を得た(7)。構造を図3に示す。対角8インチ、放電セル数 120×160 、セルピッチ 1mm である。

タウンゼント放電で高輝度、高効率発光を得るためには、放電セルの(圧力) \times (電極間隔)を大きくする必要がある。このようなセルにパルス電圧を印加すると、陰極とその周囲の導体間に放電セル壁面を介してacPDPの放電と類似の前駆放電が発生し、これにより正規の放電がトリガされる。ところがパネル動作時間とともに陰極スパッタ物質が放電セル壁面に付着し、陰極周辺の浮遊電界を弱めるため、この前駆放電も弱まる。この結果、放電の立ち上がりは、動作時間とともに長くなる。これに対し、あらかじめ微弱な放電を作っておくと、シースがスパッタ膜を遮蔽し、また放電の立ち上がり時間も極めて短くなる。この原理を用いた駆動方式で、パネルの長寿命化を図った(8)。

また電極間隔が大きい放電セルを高速パルスで駆動すると、セル間にクロストークが発生する。放電セルのリード線配線形状を工夫することにより隣合うセルの駆動パルス位相をずらして、このクロストークを除去した(9)。

3-3. 2電極型acパネル

2電極型acパネルは、電極、誘電体層およびMgO膜を設けた2枚の基板をそれぞれの電極が互いに直交するように微小なスペーサを介して重ね合わせる。この構造の17インチフルカラービデオモニターの仕様および特性を表1に示す(10)。3原色それぞれ64階調を表現でき、またテレビ表示が可能である。放電セル間には障壁を設け図4に示すようにNTSC CRTとほぼ同様な色純度を実現している。視野角は 160° 以上ある。メモリーマージンは 40V 程度と、単色パネルに比べ2倍以上広い。パネル寿命は、加速試験によれば1万時間を越えると予想される。

このパネルの最大の特徴は、高画質、大面積、高精細なフルカラー表示デバイスを低価格で実現できることである。次節に述べる3電極型に比べて電極構造が簡単であり、製作に要求される精度も緩い。また電極間静電容量が小さいため、駆動電流が小さくてすむ。

蛍光体のイオン衝撃による劣化を防ぐ一つの方法は、蛍光体を酸化物でコーティングすることである。ただし 147nm 紫外線の吸収を避けるため、ガス組成などの最適化により紫外線波長を長くすることが望ましい(11)。

3-4. 面放電型3電極ac PDP

3-4-1. Single-Substrate-Sustaining PDP³

図5は、Single-Substrate-Sustaining PDP(S³-PDP)の構造である(12, 13)。上側基板のX電極はアドレス(信号)用、下側基板上のYs電極は放電維持用、Yas電極はアドレス(走査)および放電維持用である。表示放電は同一基板上の電極間に発生する。これが面放電と称する所以である。基板間隔は 0.1mm であり、この構造により、アドレス回路負荷容量が小さく、製作容易、高輝度で、蛍光体劣化も少ないパネルを実現している。上側基板の蛍光体には、長寿命化のためMgOをコーティングしてある。パネル仕様と特性を表1に示す。CIE色度座標は赤(0.47,0.39)、緑(0.25,0.61)、青(0.21,0.21)である。

17インチパネルの放電セル間にバリアリブを設け、またブラックマトリクスをつけたところ、色純度が改善された。このパネルの1アドレスサイクルは $20\mu\text{s}$ であり、フレームレート 60Hz 、7ビットの中間調を有するビデオ表示が可能である。

ピーク輝度 8000cd/m^2 、コントラスト比80:1の野外用ac PDPも開発されている

(14)。

3-4-2. セパレータおよびバリアリブ付きパネル

アドレス電極を下側基板のセパレータ上に設け、さらに上側基板の放電セル間にバリアリブを形成した対角15インチパネルの構造を図6に、仕様および特性を表1に示す(15)。表示放電は下側基板のXおよびY電極間で発生する。この放電と蛍光体は約100 μ m離れている。

封入ガスとしてHe+Xeの代わりにNe+Xeを用いると、駆動電圧は約30V下がるが、Neの発生する可視光のため蛍光体色純度は低下する。ところがArを20%以上加えると、このNe発光を消すことができる。図7に、Xe濃度を0.3%に保ちつつNe濃度を変えたときの緑色輝度、発光効率、放電開始電圧、放電維持電圧の変化を示す。80%Neに対する効率は、白色で0.4 lm/Wとなる。He+XeとNe+Ar+Xeパネルの寿命を比較すると、後者の方が約10倍長い。

上記パネルの改良型が報告されている(16)。図8にその構造を示す。この構造は蛍光体を透過型でなく反射型で用いているため、輝度が高い。またアドレス電極の静電容量が小さいため、駆動回路負荷が軽くなる。パネルの対角は20インチ、画素数56x90、放電セルピッチ0.75 x 0.8 mmであり、縦横 4x3 セルで1画素を構成している。基板間隔は約100 μ m、封入ガスは500 Torr Ne+Xe (3%)であり、赤、緑それぞれの輝度は57、90 cd/m²、発光効率は0.37、0.59 lm/W、寿命は1万時間以上である。

最近、縦480x横640mm、対角31.5インチのフルカラーパネルが発表された。画素数は縦480 x 横640、放電セルピッチは0.5mmであり、白色 65 cd/m²、パネル消費電力250W、中間調64、維持電圧160Vである。

3-4-3. 密閉セル型パネル

通常のac型パネルは、障壁にすきまを開けることにより、隣接する放電のプライミング効果を利用している。一方密閉型障壁を設けたac型パネルも試作されている(17,18)。図9、10にパネル電極配列と構造を、表1に仕様と特性を示す。上側基板にはコントラストを上げるために黒い障壁を、下側基板には蛍光体発光に対する反射率を高めるために白い障壁を設ける。いずれも高さ0.09mmであり、厚膜印刷で形成している。蛍光体は下側障壁および放電セル下面に塗布し、反射光をパネル外に取り出す。

面放電型3電極構成であり、各画素はトライアングル配列の放電セルで構成する。スキャン電極とデータ電極との間で2行同時にセルの選択を行い、スキャン電極とサステイン電極との間で表示放電を生起する。放電を停止するには、スキャン電極に消去パルスを押加する。放電立ち上がり安定化のために、1/60秒毎にパネル全セル同時にスキャン電極とサステイン電極の間にプライミング放電を発生させる。この放電の発光によるコントラストの低下は見られなかった。データ電極には正パルスしか押加されないため、蛍光体のイオン衝撃による劣化は無い。密閉型構造のため光のクロストークは無く、色純度は優れている。

3-4-4. 3相駆動面放電型ac PDP

3相駆動面放電型カラーac PDPの構造を図11に示す(19)。放電セルピッチは0.15 mmである。He-Xe(1%) 500Torrを封入して30KHzで駆動したときの放電維持電圧と緑色面輝度の関係を図12に示す。発光効率は約0.14 lm/Wと、セルピッチ1mmのパネルの半分以下であった。放電空間を狭くすると輝度および効率が増大する一方、蛍光体の劣化が激しくなる。

図13は、発光領域をシミュレーションにより求めた結果である。発光は電圧印加

後約 $0.4\mu\text{s}$ に一方の電極端部近傍で始まり、約 $1\mu\text{s}$ 後他方の電極端部で終わる。また壁電荷の蓄積も $1\mu\text{s}$ で飽和する。

色クロストークを避けるために放電セル間に障壁を設けると、一般に開口部面積が減少し、また荷電粒子の拡散損失が増加するため、輝度および発光効率が低下する。障壁の一部に電極を設けた結果、拡散損失が減少するとともに紫外線発生位置が蛍光体に近付いたため、輝度および効率が改善できた(20)。

MgO膜を電子ビーム蒸着で形成する場合のアニール条件についてESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis)、FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) およびDSCを用いて検討した(21)。基板温度 100 から 200 度CでMgOフィルムに吸着した水分が、また 250 から 300 度CでMg(OH)₂の形で存在する水が除去され、これによりMgOの2次電子放出係数が増大する。Ne+Xe混合ガスにKrを加えると、準安定KrとXeの反応によりXe準安定粒子が増加し、したがって紫外線放射強度が増加する(22)。

3-4-5. suspended-electrode型ac PDP

suspended-electrode型面放電ac PDPの構造を図14に示す(23)。表示放電はX、Y電極間で、またアドレスはZ電極で行う。蛍光体は上側基板のくぼみ内に塗布する。放電と蛍光体は 0.2mm 離れているためイオン衝撃が少なく、蛍光体表面にMgOなどの保護膜を形成する必要は無い。デューティ 100% 、 5000 時間動作で、輝度劣化は 5% 以下であった。蛍光体表面積は従来の約2倍となり、輝度および発光効率は改善された。

輝度および効率をセルピッチ $0.375\times 0.25\text{mm}$ 、He+Xe(1%) 150Torr の赤、緑、あるいは青色の単色パネルで測定したところ、維持パルス 175V 、 30kHz に対する赤、緑、青の輝度はそれぞれ 70 、 100 、 50cd/m^2 、発光効率はそれぞれ 0.51 、 0.67 、 0.45lm/W であった。

その後X、Y電極をZ電極の下側に配置し、パネル製作を容易にした(24)。また赤、緑、青それぞれを発光するガスを封入した放電層を3枚重ねたパネルも提案されている(25)。

高精細パネルのビデオ表示には、パネルの高速駆動を要する。たとえば $2,000$ ラインパネルにフレームレート 30kHz で 256 階調の表示をするには、維持パルス 480kHz が必要である。ところが従来の2電極ac PDPは、この周波数ではメモリマージンが無い。

駆動周波数を高くするため、2電極PDPにバリアリブを付加し、上側基板にはy電極と障壁を、下側基板にはx電極と障壁を設けた(26)。障壁は、まず厚膜印刷で上下基板全面に誘電体層を設け、次に光リソグラフィおよび化学エッチングで不要部を除去して成形する。

パネル内にNe-Ar(0.1%) (赤色発光)、Xe-O₂(0.1%) (緑色発光)、あるいはKr-Ne(10%) (青色発光)を 400Torr 封入して、 100% デューティ動作マージンを測定した結果を図15に示す。障壁の無いパネル(図中"Std"と表示)の最高周波数が 250kHz であるのに対し、障壁があると(図中"Mod"と表示)いずれのガスに対しても 700kHz で動作する。これは電極近傍の誘電体表面積が広がるため壁電荷蓄積量が増大し、メモリマージンが広がると考えられる。図16に示すように発光輝度は周波数とともに増大する。

3-4-6. Independent Sustain and Address ac PDP

Independent Sustain and Address (ISA) ac PDPは、アドレス電極と放電維持電極を分離することによりアドレス電極駆動回路負荷を軽減し、かつ光透過率を増大して

いる。またアドレス電極を通常の ac パネルの半分に減らしている。ただしアドレス速度は半分になる。

通常のPDPは、放電が隣接セルにまで広がらないようにしている。ところがISAは、この放電の広がりを逆に利用している。ac PDPの放電は、イオンと電子の拡散速度の差のため陽極に添って広がる。

ISAパネル内8x8表示セル分の電極構成、および円内の拡大を図17に示す(27)。P1-P4は表示セル、C1-C4はカップリングセル、Aはアドレスセル、 X_{Sa} および X_{Sb} はx方向表示電極aおよびb、 Y_{Sa} および Y_{Sb} はy方向電極aおよびb、 X_A および Y_A はxおよびy方向アドレス電極である。パネル駆動例として、P1を消灯、P2-P4を点灯する場合を考える。 X_{Sa} 、 X_{Sb} 、 Y_{Sa} 、 Y_{Sb} には定常的に維持パルスを加えておく。まず Y_A に十分大きい書き込みパルスを加え、P1-P4を強制的に点灯する。次に X_A を陽極、 Y_A を陰極として電圧を印加するとAが点灯するが、放電はC1、C4にまで広がる。次に Y_{Sa} を陽極、 X_A を陰極として電圧を印加すると、放電はC1を中心としてP1からP2まで広がる。このとき X_{Sa} 電圧が上がっているようにすると、P1放電は消去される。

アドレス速度を従来のISAパネルの2倍にする方法も提案されている(28)。維持パルス周波数50 KHz、電圧94 Vにおける消去パルスのマージンは50 V以上であった。

3-5. dc/acハイブリッド型高精細カラーPDP

OA用に開発された17インチ高精細カラーPDPの断面を図18に、また仕様および特性を表1に示す(3)。上側基板の蛍光体塗布には、図19に示すブラックマトリクスをホトマスクとして利用する self-alignment 方式を採用している(29)。下側基板には厚膜印刷法でAlプライミング電極、誘電体層、Ni陰極、障壁を順に形成する。

パネル駆動波形を図20に示す。まず垂直ブランキング期間を利用して陽極とプライミング電極の間に約400 Vのパルスを印加し、発生する放電(ac型放電)で誘電体層に正の電荷を蓄える。次に陰極に走査パルス、陽極に信号パルスを加えて表示放電(dc型放電)を生起させる。

これらのプライミング技術および self-alignment 方式蛍光体塗布法を用いることにより、セルピッチ0.18 mmの高精細、かつ高コントラスト表示が可能となった。

3-6. 駆動回路

通常dc PDPの駆動には定電圧回路を用いるため、放電安定化のための外付け電流制限抵抗を要する。たとえば480 x 640画素ディスプレイの場合、640個の抵抗を要する。放電電流はこの抵抗を通して流れるため、このパネルに対して7 W程度の抵抗損がある。さらにNe発光を利用する場合、発光輝度は電流制限抵抗値に強く依存するため、高精度の抵抗値コントロールが必要である。

放電安定化の手段として、従来の抵抗の代わりにバイポーラトランジスタの定電流動作領域を使用した例が報告されている(30)。開発した64チャンネルICの出力段回路を図21に示す。出力電圧70 V、出力電流0.22 mA、回路内電圧降下は8 Vであった。

この定電流回路の使用、およびパネルの改良により、陽極駆動部の消費電力が90%減少した。またディスプレイ全体の容積およびコストも減少した。

3-7. PDPの将来動向

PDPの将来動向として、大面積化、高解像度化が一層進むであろう。これには放電発光効率の向上、陰極の改善、低電力化などが必要である。10" ラップトップパソコン用単色パネルでは常用4Wと、バックライト付き液晶パネルと同程度の消費電力が達成されよう(31)。対角1m程度の平板型家庭用テレビが実現されれば大きい市場が期待できる。

(御子柴茂生)

参考文献

- (1) T.J. Soper, et al.: High Resolution Meter-Size Display Technology, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1982) 162-163
- (2) 佐々木、他:高精細面放電形プラズマディスプレイ、テレビ学年大、4-4 (1991) 69-70
- (3) A. Niwa, et al.: 17-in. High Resolution DC Plasma Display with 4096 Multi-Colors, Proc. Int. Display Res. Conf. (1989) 210-213
- (4) L.F. Weber and B.M. Drawert,: A New Gas Discharge Logic Technique that Reduces Circuit Complexity for AC Plasma Display Panels, Proc. Int. Display Res. Conf. (1983) 502-505
- (5) H. Murakami, et al.: A 33-in.-Diagonal HDTV Display Using Gas Discharge Pulse Memory Technology, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 713-716
- (6) H. Murakami, et al.: Fabrication of a 33-in. Color DC Plasma Display Panel, Proc. Int. Display Res. Conf. (1989) 214-217
- (7) S. Shinada and S. Mikoshiba,: Gas Discharge Color Panel TV Utilizing Thick Film Printing Technology, Proc. Int. Symp. Hybrid Micro-electronics (1988) 222-228
- (8) S. Mikoshiba, et al.: High-Speed Addressing of a Townsend-Discharge Panel TV Display Using Pre-Discharges, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1990) 474-476
- (9) M. Suzuki, et al.: Discharge Cross-Talk in a Townsend Discharge Panel TV, Proc. Int. Display Res. Conf. (1990) 80-83
- (10) P.S. Friedman, et al.: A 17-in.-Diagonal Full-Color ac Plasma Video Monitor with 64 Gray Levels, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 717-720
- (11) P.S. Friedman, et al.: Large-Scale Color AC-Plasma Displays, Proc. Int. Display Res. Conf. (1989) 198 - 201
- (12) M. Gay, et al.: Color Plasma Display Panels with Simplified Structure and Drive, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1988) 157-159
- (13) H. Doyeux, et al.: A 23-in. Color AC Plasma Display, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 721-723
- (14) S. Salavin, et al.: Sunlight-Legible AC-Plasma Display Devices, Proc. Int. Display Res. Conf. (1990) 200-203
- (15) T. Nanto, et al.: A 15-in.-Diagonal Color Surface Discharge AC-Plasma Display Panel, Proc. Int. Display Res. Conf. (1989) 202-204
- (16) T. Shinoda, et al.: Improvement of Luminance and Luminous Efficiency of Surface-Discharge Color ac PDP, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 724-727

- (17) Y. Sano, et al.: A Full-Color Surface-Discharge ac Plasma TV Display, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 728-731
- (18) T. Okajima, et al.: A High Luminance Direct View Color ac-Plasma Display, Proc. Int. Display Res. Conf. (1991) 39-42
- (19) H. Uchiike, et al.: Very-Fine-Resolution 170-lines/in. Color ac Surface-Discharge Plasma Displays, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1990) 481-484
- (20) M. Fukuda, et al.: A New Color ac Plasma Display Panel with Barrier Type Electrodes, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 732-735
- (21) H. Uchiike and S. Harada: Annealing Process of Evaporated MgO Films in ac Plasma Displays, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 444-447
- (22) K. Miyake, et al.: A New Penning Mixture Gas, Ne+Xe+Kr, for Color Plasma Displays, Int. Display Res. Conf. (1990) 208-211
- (23) N.C. Andreadakis: High Phosphor Excitation Efficiency in Single Substrate Color Plasma Displays, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1988) 153-156
- (24) N.C. Andreadakis and J.R. Wullert II: High-Frequency Memory and Gas Mixture Optimization in Suspended Electrode Color Plasma Displays, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1989) 347-350
- (25) N.C. Andreadakis, et al.: A Full-Color Non-Phosphor Plasma Display Device with Vertically Aligned RGB Colors, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1991) 448-450
- (26) N.C. Andreadakis, et al.: Influence of Barrier Ribs on the Memory Margin of ac Plasma Display Panels, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1990) 485-488
- (27) L.F. Weber and K.W. Warren: Addressing Theory of the Independent Sustain and Address AC Plasma Display, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1988) 160-163
- (28) K.W. Warren and L.F. Weber: Increased Address Rate for the Independent Sustain and Address ac Plasma Display, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1990) 489-492
- (29) R. Kohara, et al.: High-Resolution dc Color Plasma Display Panels, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1989) 355-357
- (30) S. Ishikawa, et al.: A New Constant-Current Anode Driver for Plasma Displays, Soc. Information Display Int. Symp. Digest Tech. Papers (1990) 493-495
- (31) "フラットパネルディスプレイ 1990" 日経BP社、電子グループ編 (1990) 200-207

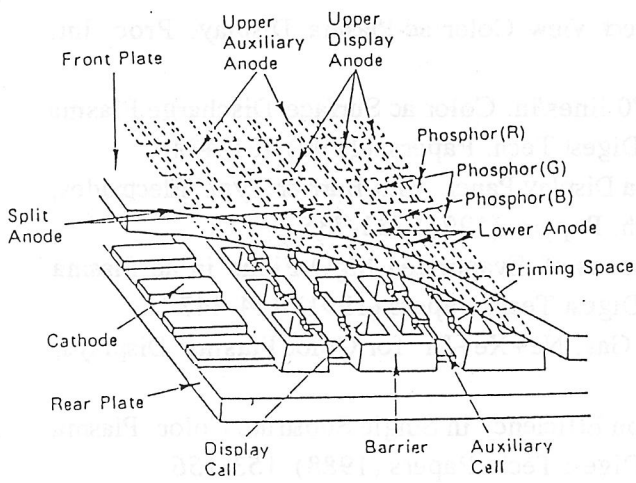


図1 パルスメモリーパネルの構造

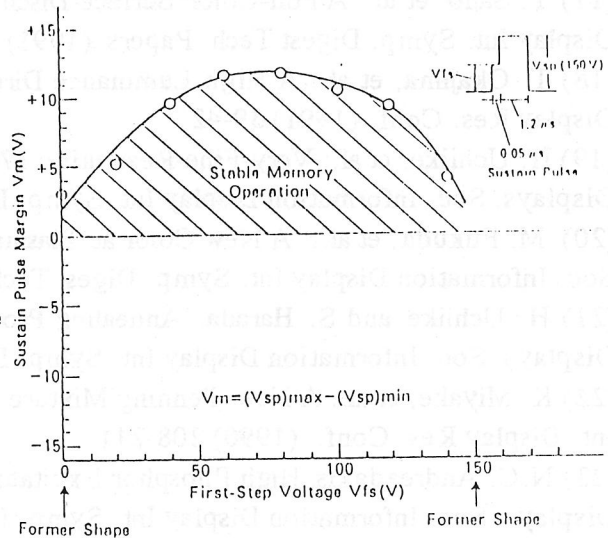


図2 2段パルスによる維持パルス電圧マージンの変化

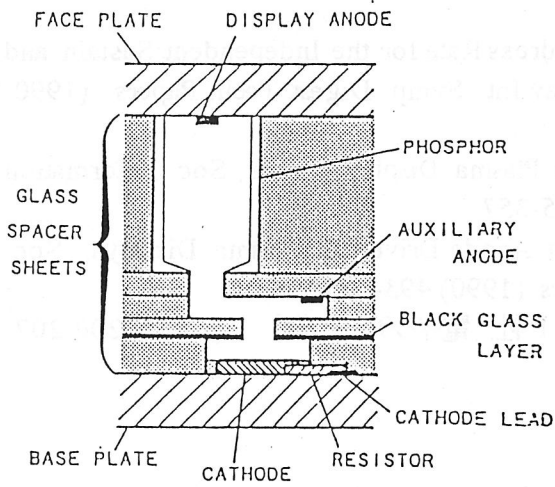


図3 タウンゼント発光パネルの構造

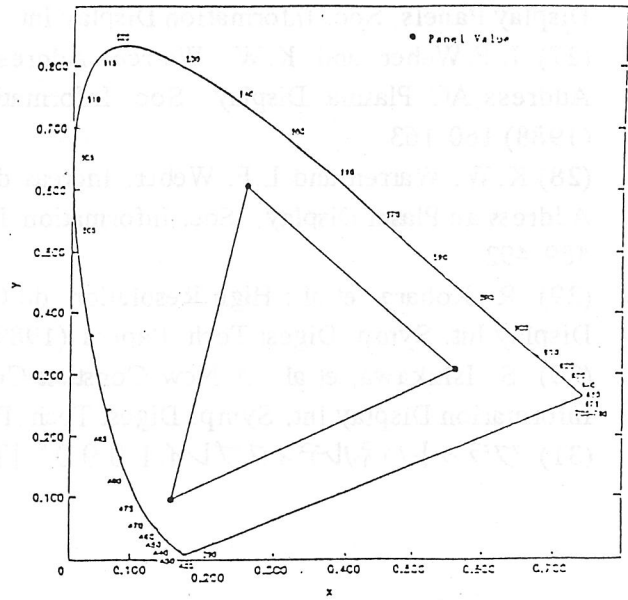


図4 2電極型acパネルの色再生範囲

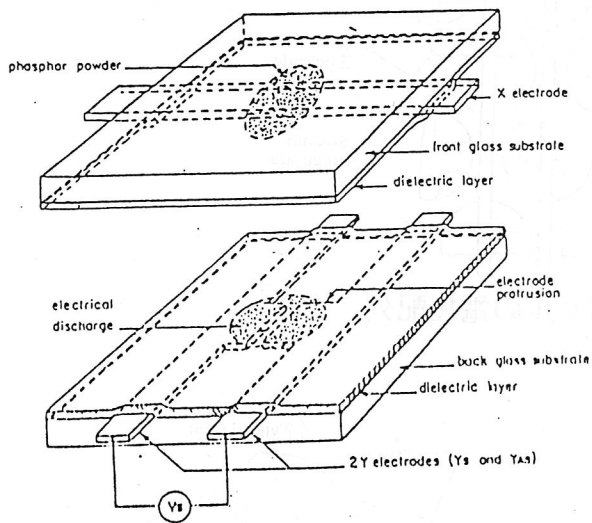


図5 Single-Substrate-Sustaining PDPの構造

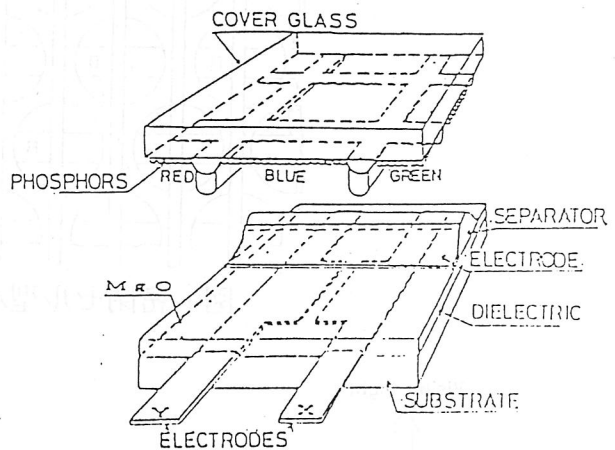


図6 セバレータ、バリアリブ付きパネルの構造

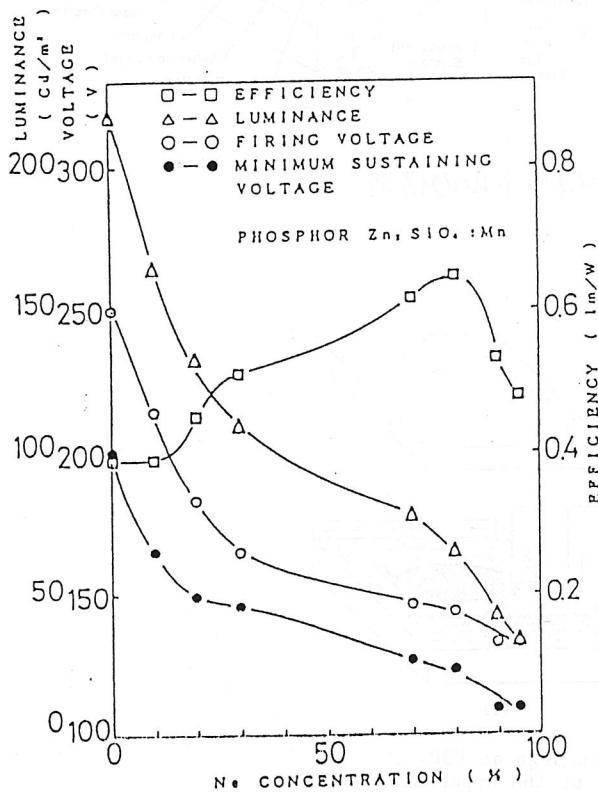


図7 Ne濃度に対する輝度、効率、放電開始電圧、放電維持電圧の変化

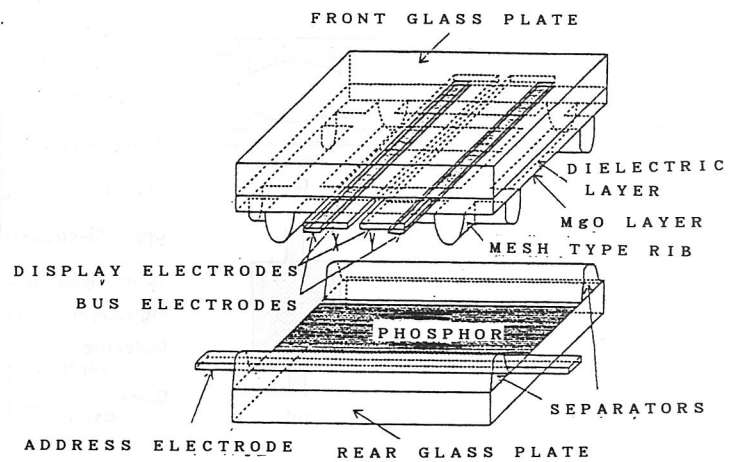


図8 セバレータ、バリアリブ付き改良パネルの構造

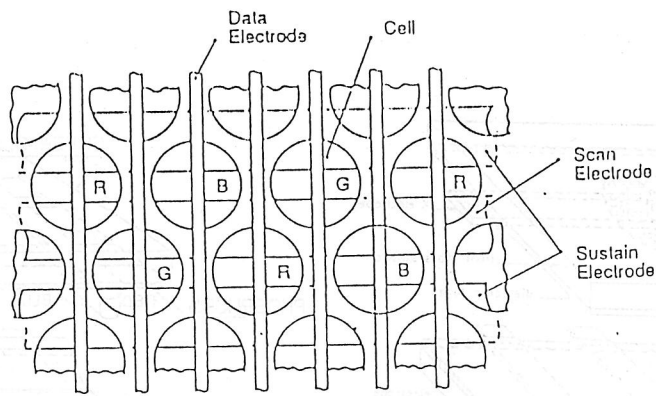


図9 密閉セル型パネルの電極配列

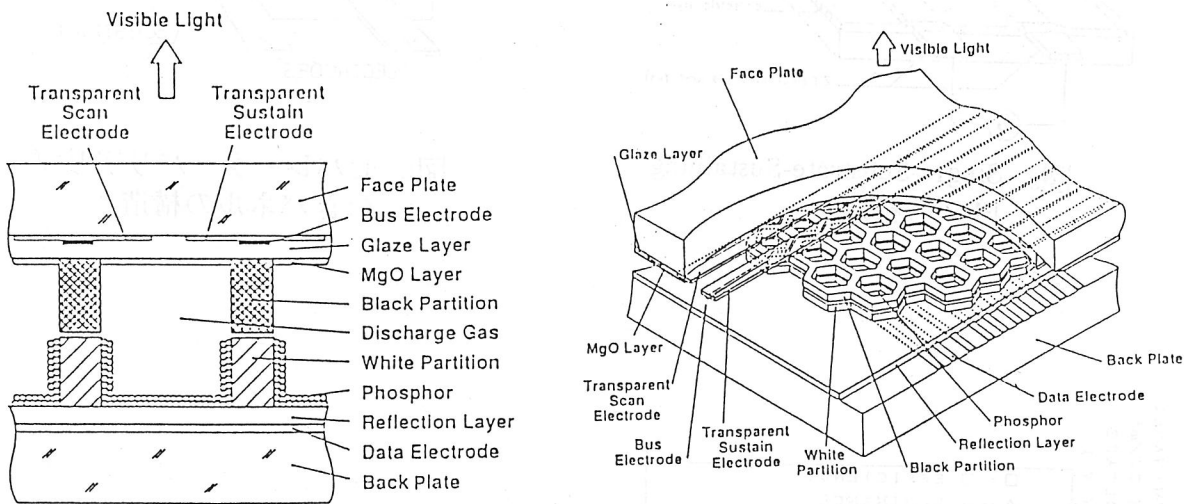
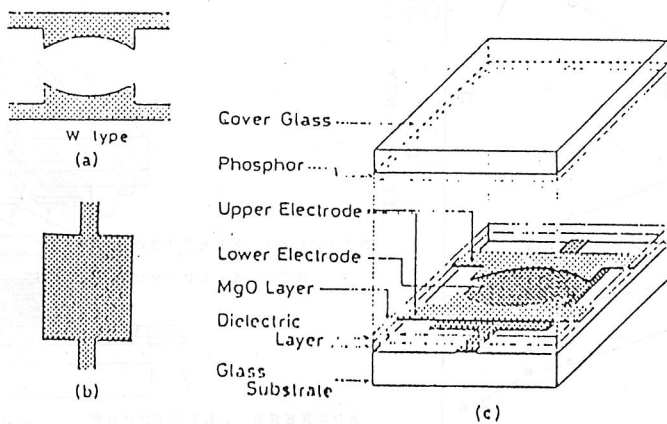


図10 密閉セル型パネルの構造



Structure of Surface-Discharge ac PDP.
 (a) Electrode structure of the upper electrode.
 (b) Electrode structure of the lower electrode.
 (c) Bird's-eye view of an unit cell.

図11 3相駆動面放電型パネルの構造
 (a) 上部電極 (b) 下部電極 (c) セル分解図

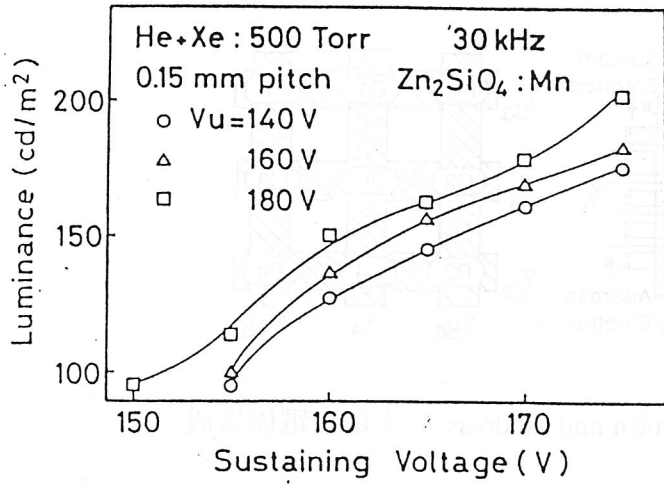


図12 維持パルスと緑色輝度の関係

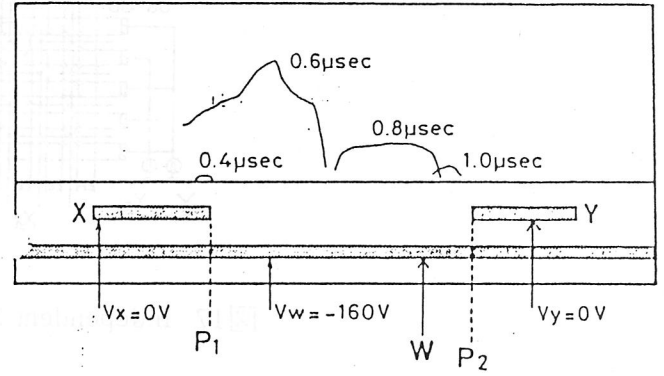


図13 発光領域の変化

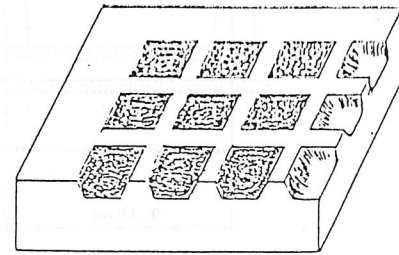
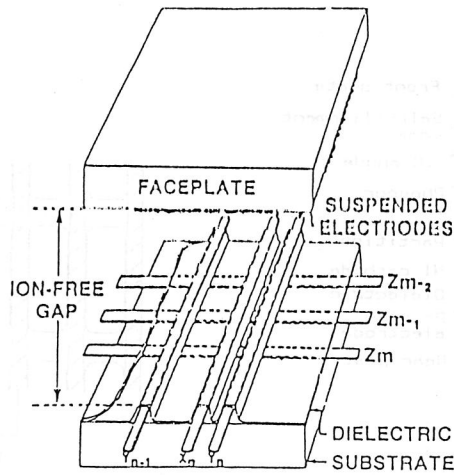


図14 suspended-electrode 型パネルの構造

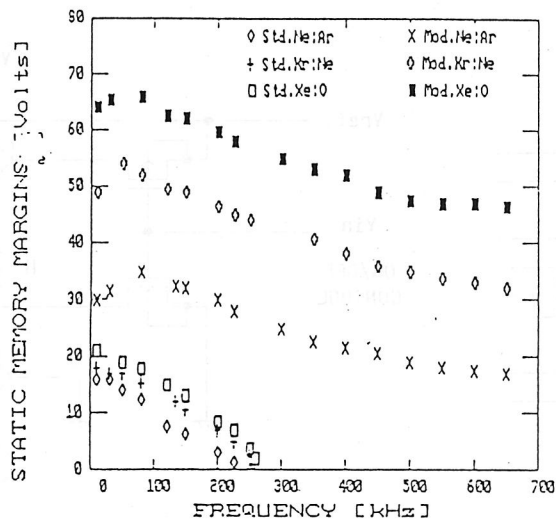


図15 維持パルス周波数とメモリーマージン

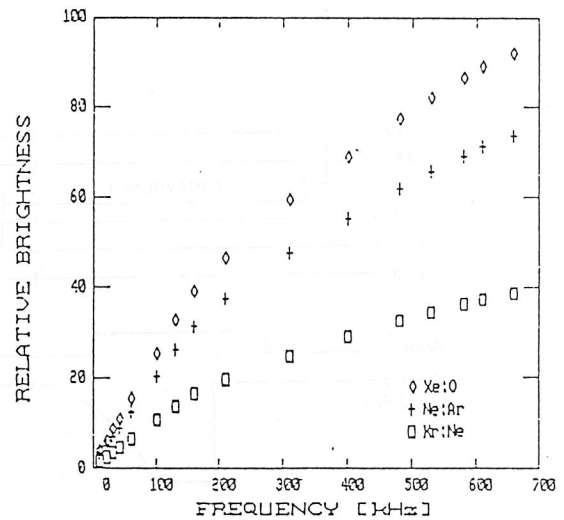


図16 維持パルス周波数と輝度

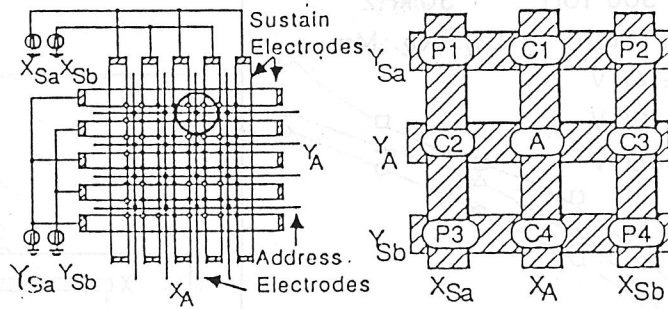


図17 Independent Sustain and Address パネルの電極構成

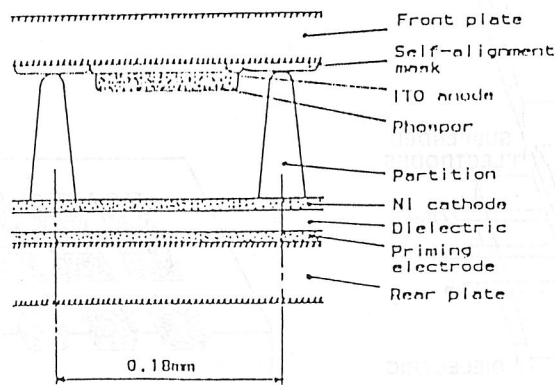


図18 dc/acハイブリッド型
パネルの断面図

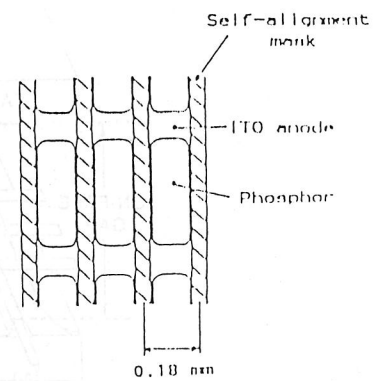


図19 self-alignment マスク形状

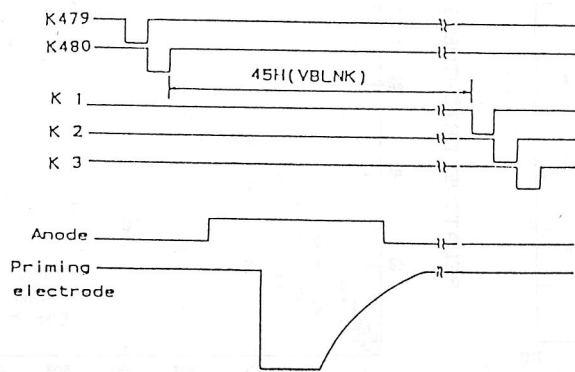


図20 駆動パルス波形

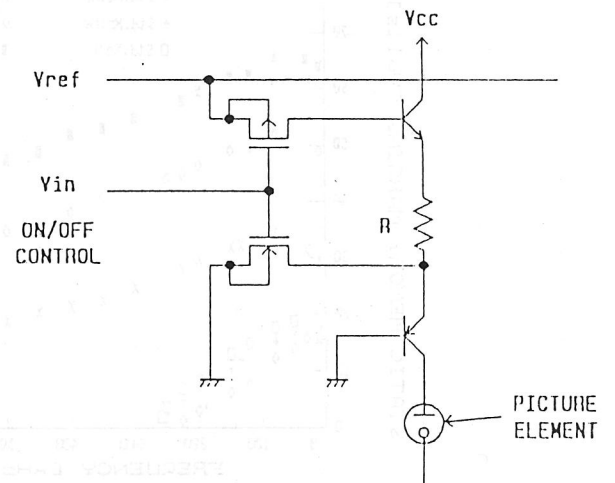


図21 定電流駆動ICの
出力段回路

表1 各種パネルの仕様と特性

パネルの種類	パネル型	17インチデベコター	S ³ -PDP	セリアリア付パネル	密閉型パネル	dc/acインリットPDP
参考文献	(5)	(10)	(13)	(15)	(17,18)	(3)
画面対角寸法 (インチ)	33	16.6	23	15	10	17
表示画面 (縦 x 横, mm)	520 x 665	254x338	415x415	200x320	144x192	259x346
画素数 (縦 x 横)	400 x 512	256x341	512x512	200x320		480x640
画素ピッチ (縦 x 横, mm)	1.3x1.3	1x1	0.8x0.8	1x1	(1.2)	0.54x0.54
放電セル数 (縦 x 横)	800 x 1024		1024x1024	400x640	(120x160x3)	480x1920
セルピッチ (縦 x 横, mm)	平均0.65x0.65		0.4x0.4	0.5x0.5	0.6x0.8	0.54x0.18
封入ガス	He+Xe (3%), 200 Torr		Ne+Xe	Ne+Ar+Xe	He+Xe (4%), 200 Torr	He+Kr+Xe
表示色	フルカラー	262,144	8	8	フルカラー	4,069
輝度 (cd/m ²)	赤 緑 青 白	240	240	41		18
白色効率 (lm/W)		820	350	91		64
コントラスト比		200	160	19		8
中間調		100	115	24		
放電維持バルス	68				130	
平均消費電力 (W)	0.16				0.50	
	190:1	100:1			350:1(室内13:1)	350:1
	256	64			64	16
	周期 4 μs		165V	140V	180V	245V
		150	150		22(max)	111

4. 液晶用バックライト

1. はじめに^{1) - 3)}

1888年オーストリアの植物学者ライニッツア(F. Reinitzer)により発見された液晶(Liquid Crystal)は、当時の学会において注目を集めたものの、研究手段の限界や工業的必要性などの点から、研究活動は次第に下火となり、小数の研究者により地道な研究が続けられるに留まっていた。その後、1960年代に入り、液晶の研究は復興期を迎え、1968年に米国のRCA社により、液晶ディスプレイ(LCD:Liquid Crystal Display)への応用が提案されることにより、液晶の応用をはじめとした研究が加速された。1971年にTN(Twisted Nematic)液晶を用いたデジタル式腕時計や電卓などの小型の表示素子として実用化がはじまった。さらに1970年代の後半には、ハンドヘルドコンピュータへの応用などにより、ドットマトリクス液晶の開発が加速され、1980年代にはいって小型(ポケット型)テレビやパーソナルコンピュータやワープロなどに多用されるようになり、さらに最近では10数インチの壁掛け式テレビや数インチの液晶表示素子の画面を100インチ程度に拡大投写する液晶投写型ディスプレイ(液晶プロジェクタ)などが開発されるようになった。

このように液晶ディスプレイが普及した要因は、液晶表示素子の低消費電力や低電圧駆動などの特徴によるところが大きい。反面、液晶表示素子は非発光型素子であるため、CRT, PDP, LED, ELなどの発光型素子と同様の画像を表示するためには、自然光や人工光などを必要とし、その反射光または透過光により画像を表示する。液晶表示素子の背面から光を照射させることが一般的に行なわれており、これを実現するものとしてバックライト(背面照明)がある。

この章では、まず液晶の種類や最近の技術動向を概説した後、液晶用バックライトについて直視型ディスプレイ(ビューファインダ, 小型テレビ, パソコン・ワープロなど)の利用分野, 要求性能, 方式, 構成要素などを概説し、あわせて大画面化の一方法として普及しはじめた投写型ディスプレイ(液晶プロジェクタ)に用いられるバックライト(光源システム)の概要を述べる。

2. 液晶表示素子^{4), 5)}

デジタル式腕時計や電卓などの数値表示用に広く用いられていたのは、単純マトリクスのTN液晶であったが、その後、任意画像の表示がダイレクトマトリクスにより可能になると、年々、表示容量の増加が進み、1980年代からハンドヘルドコンピュータやポケット型テレビなどに用いられてきた。しかし、1984年頃からTN液晶を用いたダイレクトマトリクスに代わり、TN液晶における分子のねじれ角を270度まで増加させたSBE(Super Twisted Birefringent Effect)液晶やSTN(Super Twisted Nematic)液晶が開発され、大容量で高コントラストの表示を可能とした。

さらに、最近に至るまでの開発の進歩として、補償セルにより表示品位の向上をはかった2層型STN液晶や、広視野角や中間調を改善したECB(Electrically Controlled Birefringence)液晶が開発されている。また、前述の液晶とは動作原理が若干異なる強誘電性液晶(Ferroelectric Liquid Crystal)と呼ばれる、高速応答(数10 μ s)やメモリ特性, 広視野角などの特徴を生かした液晶表示素子が発表されている。

一方、アクティブマトリクス液晶については、1982年から1983年にかけて、良好な中間調表示, 高コントラスト表示, 高速応答性などを特徴としたMIM(Metal-Insulator-Metal)ダイオード, p-Si-TFT, a-Si-TFTなどを用いた液晶が開発された。

液晶表示素子は前述のように、STNを主体とした単純マトリクス液晶とTFT(Thin-Film Transistor)やMIM素子を用いたアクティブマトリクス液晶に大別される。テレビなどのように高画質な動画像を表示する場合にはアクティブマトリクス液晶が用いられることが多い。表2-1に各種の液晶表示方式を比較した例を示す⁵⁾。

3. 液晶ディスプレイの利用分野

図3-1にアクティブマトリクス液晶を用いたディスプレイの利用分野を、液晶表示素子の解像度(画素数)と表示画像の対角長さ別に示す⁶⁾。表示画面の対角長さが0.5インチから1インチ前後ではビデオムービーカメラのビューファインダ用、2~6インチ前後では小型テレビ、ハンディゲーム、車載モニター用、10インチ前後では携帯型パソコン・ワープロや壁掛けテレビ用、20~100インチ前後では液晶プロジェクタ用として各方面に応用されている。ただし、これらに用いられる液晶表示素子の大きさは、対角長さで数インチから10数インチまでで、直視型でこれ以上(例えば、40インチクラス)の画像表示ができる液晶ディスプレイの出現はまだ先となる。

4. バックライトに要求される条件⁷⁾

液晶ディスプレイ用バックライトに要求される条件(性能)としては、視覚的条件(見やすさ)から(1)高輝度であること(特にカラー化の場合)、(2)輝度の均一性(輝度均斉度)がよいこと、(3)調光(できれば連続調光)ができること、(4)色再現性がよいこと(カラーの場合)などがあり、バックライトシステムとして(5)薄型、小型であること(小型テレビ、携帯型パソコン・ワープロ、ビューファインダ用など)、(6)低消費電力であること、(7)長寿命であること、(8)低温始動性がよいこと(特に車載用インストルメントパネル)などがある。これらの条件をまとめたものを表4-1に示す⁸⁾。これらは、いずれもバックライトを設計するうえで重要な事項であり、その開発目的や用途に応じて重要度が変わってくる。以下に主要項目の要求性能を述べる。

4.1 輝度、輝度均斉度

液晶表示素子は偏光板と組み合わせて光をON-OFFするため、現在広く使用されているTN液晶のモノクロ表示で視感透過率が10~30%、カラー表示になると偏光板に加え、カラーフィルタ層や液晶表示素子の開口率、界面反射などによる光量の低下により、図4-1⁹⁾に示すように2~4%前後の透過率となる¹⁰⁾。この液晶表示素子を用いてCRT並みの画面輝度(150cd/m²程度)を実現するには、バックライトの輝度としてモノクロ表示用として500~1,500cd/m²程度、カラー表示用として、5,000~7,000cd/m²程度が要求される¹¹⁾。

これらは液晶ディスプレイの使用環境により左右されるため、バックライトの設計においてもその使用目的に応じた輝度値が設定される。

バックライトの輝度均斉度については、表示画面上で均一とみなすことのできる実用上の輝度均斉度(最小輝度/最大輝度)の限界値は、視角10°において0.8、視角80°では0.87が必要¹²⁾で、良質の画像を得るためには0.9以上が望まれる。

4.2 色温度、色再現性

カラー液晶ディスプレイではCRTの白色標準に近似させるため、バックライト(主として光源)の色温度を6,000~10,000Kに合わせる¹³⁾。色再現性はNTSC方式によるRGBの実現のため、カラーフィルタの分光透過特性とバックライトに用いる光源の分光分布、光学部品(光拡散部材、光反射部材など)を組み合わせる。

4.3 消費電力

充電式電池や乾電池などで駆動させる携帯用の液晶ディスプレイでは、消費電力が大きく製品の性能を左右する。携帯型パソコンやワープロの場合、消費電力の10%程度をバックライトに費やしており¹⁴⁾、低消費電力化が要求される。

4.4 温度特性

液晶表示素子とバックライトはその構成から、両者が近接して用いられることが多い。このため、バックライトの温度特性は液晶表示素子に影響するだけでなく、バックライト自体の発光効率にも影響する。公衆用大型液晶ディスプレイなどは、ハウジング構造や冷却フィンなどによる高温対策が、車載用液晶ディスプレイ(-30℃~-40℃)などは、ヒータによる低温補償などの温度対策がとられる。

4.5 寿命特性

寿命については一般的にCRTがひとつの目安となり、バックライトについてもこのCRT並みの寿命(連続使用時間で、10,000時間程度)¹³⁾が期待値とされている。現状は1,000~数1,000時間であり、さらに長寿命化に向けて改善されつつある。

4.6 寸法形状、重量

携帯型パソコン・ワープロや小型テレビなどは携帯して使用することが多いため、バックライトについても薄型化や小型が要求される。携帯型仕様の場合、バックライトの厚さは10mm以下、総重量の12~13%以下の重量が要求される¹³⁾。

5. バックライトの方式

直視型の液晶ディスプレイ用バックライトの方式には大別すると表5-1に示す種類と特徴があり⁸⁾、高輝度でかつ高輝度均斉度のバックライトを実現するため、後述の光源と光学系を組み合わせ、それぞれの要求仕様にもとづいた方式が使い分けられている。

以下に各種バックライトの方式について、構成・特徴などを述べる。

5.1 面状光源方式

面状光源方式は平面にした光源をそのままバックライトとして用いる方式で、反射板や拡散透過板が不要でかつ薄形にできる。光源には蛍光ランプ(冷陰極型)や分散形EL(エレクトロルミネッセンス)、微小なLED(発光ダイオード)を多数並べものを用いる。

図5-1に冷陰極型蛍光ランプによる面状光源の構造を、表5-2に各サイズの仕様をそれぞれ示す^{15)、16)}。この光源は2枚の平板ガラスと一對の電極(冷陰極)で構成され、面状のグロー放電を利用して、薄型で均一な面状光源を実現している。3~5インチは小型液晶テレビ用に、7~12インチはパソコンやワープロ用にそれぞれ開発された。最近ではカラー液晶ビューファインダ用として発光面サイズが1インチで、ランプ駆動用インバータ回路をランプと一体化してケースに収納したランプモジュールも開発されており、輝度4,100cd/m²、輝度均斉度0.7以上を実現している例¹⁷⁾もある。

ELを用いたバックライトはその発光部の厚さが1mm程度で薄型設計に向いている。重さもパソコン・ワープロ用だとEL単体で40g程度である。課題として、①EL単体では軽い、駆動用インバータ回路が大きく重いこと(蛍光ランプ駆動用インバータ回路に対し、重量で2倍、体積で3倍程度)、②ELの輝度が時間とともに大きく減衰すること、③EL自身の発振により音が発生すること、などがある¹⁴⁾。

5.2 反射板(直下、スクリーン)方式

反射板方式は直下方式、スクリーン方式とも呼ばれており、いずれも光源の下部(背面)に反射板を、上部(前面)に拡散透過板をそれぞれ配置し、光源からの照射光を反射、透過させて均一な平面光源を実現する方式である。光源には直管^{18)、19)}や曲管(U型²⁰⁾、W型²¹⁾⁻²³⁾、S型、ロ型²⁴⁾などの蛍光ランプ(熱陰極型、冷陰極型)を1本~数本並べて用いる。

反射板方式の場合、蛍光ランプの真上または近傍が周辺より明るくなるため、これを均一化するために、①蛍光ランプの取付間隔や屈曲管の間隔を変化させる方法²⁰⁾⁻²²⁾、②拡散透過板の一部または全部の厚みを変化させる方法^{18)、21)、22)}、③反射板と拡散透過板との取付高さなどを変化させる方法¹⁸⁾など、バックライトの構造の変化により均一化をはかっているほか、④光スクリーンまたは光ムラ除去部材を配置する方法¹¹⁾(部分的に光を透過または反射させるようなドット状、ストライプ状、モザイク状などパターンを形成したもの)などがある。図5-2に反射板方式の例を示す¹⁸⁾。

反射板方式は他の方式に比べて高輝度化を実現しやすいことから、公衆用大型カラー液晶ディスプレイ、車載用インストルメントパネル、カラー液晶ビューファインダ、小型カラー液晶テレビなど、高輝度が要求されるカラー液晶ディスプレイ分野に用いられる。

5.3 導光体 (エッジライト) 方式

導光体方式はエッジライト方式またはサイドライト方式とも呼ばれており、透明の導光体(樹脂が多く用いられる)の側端面に光源を配置し、光源からの照射光を導光体内部に導き、光を多重反射させて均一な平面光源を実現する方式である。この方法の特徴は薄型化(ランプ径+数mm程度の厚み)、高輝度均斉度、熱対策(ランプからの熱が液晶に影響しにくい)などで、光源には蛍光ランプ(熱陰極型、冷陰極型)やLEDなどを用いる。

導光体方式の例として下記および図5-3の方式がある²⁵⁾⁻²⁷⁾。

①積層導光体タイプ(a): 複数の板状導光体を積層し、導光を導光体の内面反射で、光拡散を反射板と拡散板で行なう。

②積層導光体タイプ(b): 光拡散処理を施した複数の板状導光体を積層し、導光と光拡散の両方を行なう。

③ムク導光体タイプ: 導光体を一体成形し、導光と光拡散の両方を行なう。

輝度均斉度を改善するために、プリズムや光スクリーンと上記の方法を併用したものもある。

導光体方式はその特徴を生かして、携帯型パソコン・ワープロや車載用インストルメントパネル、小型テレビなど、薄型が要求される液晶ディスプレイに用いられる。

5.4 外光方式

外光方式は自然光や照明光を光源として、液晶表示素子の背面または前面から自然光を透過させる方式で、屋外や照明施設のある屋内で使用する小型液晶テレビなどに用いる。外光方式と他の方式とを併用して用いる場合もある。

6. バックライトの構成要素

6.1 光源

バックライト用光源には、蛍光ランプ、EL、LED、白熱(ハロゲン)電球などがあり、各光源とも表6-1に示すように長所や短所がある¹³⁾。バックライトには輝度、色再現性、発光効率、寿命など総合的な長所から蛍光ランプが多く用いられる。以下に各種光源について、性能や特徴などを述べる。

6.1.1 蛍光ランプ (熱陰極型、冷陰極型)

蛍光ランプは放電により水銀原子を励起して発生する紫外線(主として波長254nm)を、蛍光体に当てて可視光に変換することにより発光する。放電中の電極動作により熱陰極型と冷陰極型に分類される²⁸⁾。

熱陰極型蛍光ランプは冷陰極型蛍光ランプに比べて発光効率が高く高輝度を得やすく、冷陰極型蛍光ランプは長寿命(5,000~20,000時間程度)でかつ細管化に対応しやすいなど、両者は相反する特徴を持つ。

ランプ形状には直管型や曲管型(U型、W型、S型、ロ型など)があり、バックライト方式に応じて使い分けられている。高輝度化に対応させるため、反射膜を内蔵し、配光特性に指向性を持たせたアパーチャ型やリフレクタ型も開発・商品化されており、導光体方式のバックライトに使用される。発光効率はランプ設計や点灯条件によっても異なるが、例えばランプ長さが70~300mmの場合、熱陰極型で15~70 lm/W、冷陰極型で数lm/W~35 lm/Wである。商品化されている蛍光ランプの色温度は5,000~9,000Kで、3波長域発光型が主に用いられる。図6-1にカラーフィルタの分光透過特性に合わせた3波長域発光型蛍光ランプの分光分布を示す¹³⁾。このランプには表6-2に示すような希土類蛍光体²⁹⁾が使用される。

(1)熱陰極型蛍光ランプ

タングステンのフィラメントコイル電極に塗布したBaO、SrO、CaOなどから成るエミッタを800~1,000℃の高温に保持し、熱電子を放射させて放電の開始、維持を行なうランプで、0.8A程度までの大電流で使用できる²⁸⁾。

長寿命化の取り組みとして、タングステンコイル電極の巻線ピッチを線径の2.5倍にした例³⁰⁾や、電極を3重にすることで電極へのオキサイド塗布量を従来の約3倍とし、これとランプ遅延スタート方式の点灯回路とを組み合わせることにより、寿命目標10,000時間にて輝度維持率50%を達成した例³¹⁾、さらには2次巻線径やバレル径を大きくかつ短くすることにより、5,000時間以上の連続点灯寿命と予熱点灯方式で60,000~80,000回の点滅寿命を実現した例³²⁾などがある。また、水銀を使用しないでXeの希ガス陽光柱を利用した希ガス蛍光ランプの、封入圧力を数10~100Torrに高めた領域でパルス放電させることにより、高輝度化を図った例³³⁾もある。表6-3に熱陰極型蛍光ランプを用いたバックライトの例を示す⁸⁾。

(2)冷陰極型蛍光ランプ

高電界で加速した正イオンや準安定状態の励起原子および光子によって、陰極表面から2次電子を放出させて、放電の開始、維持を行なうランプで、電極を小さくできるため細管化が容易で、3~15mAと小電流で使用できる²⁸⁾。

高発光効率化、高輝度化、長寿命化などへの取り組みとして、管内径を従来の管径の48%に細管化(2~2.5mm)することにより32%の発光効率を改善した例³⁴⁾、電極部管径より発光部管径を細くすることにより、大電流印加を可能とした例³⁵⁾、Ar-Neの混合比率と封入ガス圧の適正化により高輝度、長寿命を実現した例³⁶⁾などがある。また、蛍光体の種類と放電開始時間の関係を解析した例³⁷⁾も報告されている。

冷陰極型ランプには直管型や曲管型のほかに、平面型の面状光源もあり、対角1~12インチ程度の大きさのものが実用化されている¹⁵⁾⁻¹⁷⁾。表6-4に冷陰極型蛍光ランプを用いたバックライトの例を示す⁸⁾。

6.1.2 分散型エレクトロルミネセンス (EL)

エレクトロルミネセンス(EL)は薄膜型と分散型に分類され、液晶ディスプレイ用バックライトには分散型が用いられる。

分散型ELは蛍光体粉末(Cu, Al, ClなどをドーピングしたZnS)を有機溶剤で分散した高誘電率バインダと混合し、透明導電膜付きフィルム上に数10 μ mの厚さに、スクリーン印刷法、ドクターブレード法、ロールコート法などで塗布し、金属電極をつけたものを防湿性外皮フィルムでパッケージしたものである³⁸⁾。図6-2にその基本構造を示す³⁹⁾。発光色は使用する蛍光体の種類に応じて変えられる。現在、輝度および寿命の点から実用できる蛍光体の中では青緑色発光の蛍光体(ZnS:Cu, Cl)が、青緑色以外の発光については蛍光顔料を用いた波長変換により多色化することが行なわれている。また、白色発光については、青緑色と黄赤色蛍光顔料により得られる。図6-3に100V-400Hz印加時の各色の発光スペクトルを示す³⁸⁾。分散型ELには①薄型・軽量、②非発熱光源、③面状発光、④任意形状化・大面積化が可能などの長所があり、小型モノクロテレビや携帯型パソコンやワープロなどのバックライトに用いられている。反面、高輝度化や長寿命化の課題があり、蛍光体の改良や水分による輝度劣化の防止、バインダの改良と高誘電率化、絶縁層の温度制御による輝度低下防止³⁹⁾、駆動電源の矩形波電圧による輝度安定化⁴⁰⁾、専用インバータ駆動回路の開発による高輝度、長寿命化⁴¹⁾など、種々の特性改善がはかられている。

分散型ELの特性例として、緑色発光ELで初期輝度150cd/m²、輝度半減期12,000時間を、白色発光ELで初輝度195cd/m²、輝度半減期2,500時間を達成(いずれも25 $^{\circ}$ C, 60%RHにて)している⁴¹⁾。

6.1.3 発光ダイオード (LED)

発光ダイオード(LED)はPN接合を有する半導体の順方向に電圧を印加して電子や正孔を注入し、禁制帯幅を介して再結合する際に、電気エネルギーを光エネルギーに変換して発光する。可視光領域のLEDには表6-5⁴²⁾に示すように現在、赤色から緑色までの発光域の素子がGaAsP, GaP, GaAlAsなどのIII-V族化合物半導体を用いて実用化されている。

LEDを用いたバックライトには、図6-4に示すように黄緑色発光のLEDを10個並べて樹脂で固着したタイプ(輝度は33.5cd/m²)や表6-6に示すような例がある⁴³⁾。LEDには下記の長所がある。

- ①半導体のため、本質的には長寿命である。
- ②電気を光に変換する効率が良いため、消費電力が少ない。
- ③熱的、放電的発光ではないため、点灯、消灯速度(応答速度)が速い。
- ④フィラメントなどがないため、耐衝撃性に優れている。
- ⑤発光部が小さいため、小型、軽量、薄型に対応しやすい。
- ⑥狭帯域発光スペクトルのため、視認性に優れている。

反面、表6-5からわかるように、青色のLEDの発光効率が悪く、RGBを合成した白色の発光を実現しにくい。ただし、青色についても改善がなされており、SiC材料を用いたLEDにより光度16mcd(Max. at 20mA, $\lambda=470\text{nm}$)を実現するとともに、この青色LEDとGaP赤色LED($\lambda=700\text{nm}$)、GaP緑色LED($\lambda=560\text{nm}$)を組み合わせると純白色光を得た例もあり⁴⁴⁾、今後の性能改善にとともに、小型のインジケータパネルや液晶表示式スイッチなどのバックライトへ導入されていくものと考えられる。

6.1.4 白熱(ハロゲン)電球

白熱電球は点光源に近似していることや低温時でも使用できることなどから車載用インストルメントパネル¹¹⁾や小型スイッチパネル用のバックライトに用いられており、高発光効率化や長寿命化を目的にハロゲン金属元素を封入したハロゲン電球もある。発光効率は白熱電球で数lm/Wから14lm/W、ハロゲン電球の高効率タイプで17lm/W程度、長寿命タイプ(2,000時間程度)で12~14lm/Wである。

6.2 光拡散透過部材²⁶⁾

光拡散部材は光源、光反射部材、導光体部材からの照射光を均一にする役割を持ち、光透過率や光拡散率が高いことが望ましい。しかし、一般に光透過率を高くすると光拡散率が低下するような関係になるため、バックライトの構成によって光透過率を優先する場合と、光拡散率を優先する場合とを選択している。多用される光拡散透過部材は、アクリル樹脂板中に基材樹脂と屈折率の異なる透明な微粒子を分散させて光を拡散させる内部拡散タイプと、表面に微細な凹凸を設けて光を反射、屈折させる表面拡散タイプ、および両者の併用タイプがある。内部拡散タイプの光透過率は80~88%程度であり、吸収による損失は少ない。また、表面拡散タイプはノングレア板やマット板として用いられる。

6.3 光均一部材^{25), 26)}

光均一部材は光拡散透過部材と同様に光源、光反射部材、導光体部材からの照射光を均一にする役割をもつ。特に光源の近傍と周辺との輝度差(輝度比)を補正するために、種々の方法がある。反射板(直下、スクリーン)方式では光源と光拡散透過部材との間、導光体(エッジライト)方式では、導光体部材と光拡散透過部材との間に光スクリーンを配置することが多い。光スクリーンは調光スクリーン、ライティングカーテンなどとも呼ばれており、ポリエステル樹脂のフィルムに光源からの光束分布(輝度分布)に対応させたドット、ストライプなどの光均一パターンを蒸着法または印刷法により形成させるものである⁴⁵⁾。

また、図6-5に示すように、導光体部材の表面または裏面に直接、光スクリーンに相当する光均一パターンを形成することも行なわれている²⁵⁾。

6.4 光反射部材^{26), 45)}

光反射部材は光源や導光体の下部に配置して、光源からの照射光を面状に拡げる役割を持ち、白色塗装板、白色樹脂成型板、金属(Al・Cr・Agなど)蒸着板、高光沢合金板、蒸着フィルムなどが使用される。光反射部材のみでも光を均一にできるが、視差をなくするために光拡散部材や光均一部材と組み合わせている。光反射部材は、バックライトの中で光が反復反射するため、反射率が高いほど発光面の輝度が数倍増加する。ポリカーボネートを主体とした樹脂成型板には光拡散反射率が95.1%のものもある。

6.5 導光体部材^{25), 26)}

導光体部材は光源の側端部に配置して、光源からの照射光を面状に拡げる役割を持ち、無色透明で光透過率が93%の亚克力樹脂(屈折率 $n=1.49$, 臨界反射率は約 42°)が多用される。用途によってはポリカーボネート樹脂も検討されている。

形状としては、板状導光体を積層したタイプとムク導光体のタイプに大別でき、輝度均斉度の改善のために、光拡散部材, 光均一部材, 光反射部材などと組み合わせて使用する。

7. 液晶プロジェクタ用光源システム⁴⁶⁾

液晶プロジェクタ(液晶投写型ディスプレイ)の原理は、例えばスライドプロジェクタのスライドフィルムの代わりに液晶表示素子を置き、バックライト(光源システム)からの照射光を透過させたのち、液晶表示素子の画像を投写レンズでスクリーンに拡大投写するものである。基本方式として、反射型スクリーンの前面から画像を投写し、同方向(前面)から反射画像を観賞するフロント方式(前面投写方式)と、透過型スクリーンの背面から画像を投写し、前面から透過画像を観賞するリア方式(背面投写方式)とがある。図7-1に液晶プロジェクタの方式を示す。

液晶プロジェクタの光学系方式は、図7-2に示すように、光源からの白色光を色分解系でR(赤), G(緑), B(青)の3原色に分解し、RGBに対応した液晶表示素子に入射させ、これを今度は色合成系で3色を合成し、スクリーンに投写する方式が主流で、中にはスクリーン上で3色を合成する光学系方式もある。これらの光学系方式には大別して図7-3(a)や(b)に示すような2通りがあり、(a)は色分解系にダイクロイックミラーを、色合成系にダイクロイックプリズムを、(b)は色分解系と色合成系のいずれにもダイクロイックミラーを用いた方式である。

ここでは液晶プロジェクタ用光源システムについて、要求される性能や用いられる光源、光源システムの構成などを概説する。

7.1 光源システムに要求される性能⁴⁷⁾

液晶プロジェクタは対角長さが数インチの小型液晶表示素子に表示された画像を投写光学系により数十倍に拡大投写するため、これに用いる光源システムには次の性能が要求される。性能のほとんどが光源に依存するが、光源システムの小型化や軽量化、長寿命化などは集光光学系や点灯回路系などと密接に関連するため、総合的な性能向上が図られている。

- ① R, G, Bに対応する発光スペクトルをもつこと。
- ② 形状や発光部分が小さく、高輝度で平行光に近いこと。
- ③ 発光効率が高く、熱損失が少ないこと。
- ④ 点灯(始動)時の光立ち上がりが速く、消灯後に再始動が容易なこと。
- ⑤ 点灯使用時に特性が安定しており、かつ寿命が長いこと。
- ⑥ その他(温度特性, 点灯姿勢, 安全性, コストなど)

7.2 光源

液晶プロジェクタ用光源システムに用いられる光源としては表7-1⁴⁸⁾に示すように、ハロゲン電球, キセノンランプ, メタルハライドランプなどがあるが、それぞれ長所や短所があり前記の光源システムの要求性能をすべて満足する光源はない。その中で、メタルハライドランプは特に①発光スペクトル, ②点光源, ③発光効率などの特性において現状では液晶プロジェクタに適した光源と言え、150W~250Wタイプのメタルハライドランプが多用されている。

メタルハライドランプは図7-4に示す発光管構造をしており、高圧水銀蒸気中に種々の金属ハロゲン化物(通常はよう化物)を添加し、アーク放電現象を利用した形式の高圧放電ランプで、添加金属ハロゲン化物の蒸気圧を増大させるために発光管の寸法を小さくし、電極周辺の石英管壁に酸化物の保温膜を設けている⁴⁸⁾。添加する金属ハロゲン化物により種々の発光特性が得られ、複数の発光金属が混合使用されて実用化されている。

添加金属の発光スペクトルの形状から次の3種類に分類できる⁴⁹⁾。

①少数の強い線スペクトルからなるもの。(例:Na-Tl-In系など)

②多数の弱い線スペクトルからなるもの。(例:Sc-Na系, Dy-Tl系, Tm-Dy-Ho-Na-Tl系など)

③分子発光による連続スペクトルからなるもの。(SnI₂-SnBr₂系など)

実際のランプ開発にあたっては、上記の組合せをシミュレーション計算によりランプ設計がなされている。図7-5にメタルハイドランプの分光分布特性を示す⁴⁸⁾。

色再現性を改善する試みとして、発光管バルブ材料に透光性アルミナセラミックスを用い、添加物としてRを発光させるLiI(670nm)、Gを発光させるTlI(535nm)、Bを発光させるInI(451nm)と、水銀とアルゴンガスを封入したセラミックメタルハイドランプが開発されている⁵⁰⁾。このランプは、石英バルブのメタルハイドランプに比べて、色再現性や発光色安定性が改善されるものの、Rの発光波長を670nmから610-650nmにシフトさせることが課題である。

また、高輝度化と長寿命化の試みとして、発光管内に対向する1対の電極のうち、上部電極(垂直点灯時)を長くし、アーク長を短縮することにより輝度を高めるとともに、石英バルブと添加ハロゲン化物との反応(失透)面積を低減させて輝度(光束)維持率を改善する試みがある⁵¹⁾。さらに、液晶表示素子の画像をOHPフィルムの代わりに拡大投写する電子OHP用メタルハイドランプにおいて、失透を抑制するための添加金属としてLuI₃が有効で、かつLiIと組み合わせると赤色が改善できるとの報告もある⁵²⁾。

7.3 光源システム

液晶プロジェクタ用光源システムの集光光学系の構造としては、前記のメタルハイドランプと球面、楕円面、放物面などの反射鏡やコンデンサレンズとを組み合わせる液晶表示素子に平行光を照射している。このような構造において、光源と反射鏡との相対的な位置関係は、投写するスクリーン面上の輝度(照度)分布に影響するため、厳密な位置調整を行なった後、固着、一体化している。図7-6に集光光学系の例を示す⁴⁸⁾。

反射鏡にはガラスの成形品が用いられ、液晶表示素子や偏光板に対し熱的影響を低減するための赤外線透過/可視光線反射の多層干渉膜が施されている。

メタルハイドランプを反射鏡などの集光光学系と組み合わせる場合、アーク中心部と周辺部との発光特性の違いが顕著になり、スクリーン面での色むらの影響を与えるという問題がある。これは、アーク中心部が水銀の輝線発光で占めるのに対し、アーク周辺部では添加金属物の発光が増大するためである⁵³⁾。この課題を解決する方法としてランプの最冷点温度を上昇させたり、ランプ表面をフロスト加工する、もしくは反射鏡の一部もしくは全部にディンプルや溝を入れて色むらの低減を図ることも行なわれているが、集光効率の低減やコストアップの点から今後、本質的な改善を必要とする。

8. 各分野のバックライトの動向

8.1 携帯型パソコン、ワープロ用バックライト¹⁴⁾

携帯型パソコンやワープロのバックライトとしては、薄型化、小型、軽量化、低消費電力化などの要求に対応させるため、導光体方式(光源は冷陰極型蛍光ランプが多い)や面状光源方式(分散型EL)が主流である。導光体方式は光源の高輝度化や細管化が、また面状光源方式は分散型ELの長寿命化や駆動回路の低音化などがそれぞれ課題である。さらに、カラー液晶ディスプレイに対しては、高輝度のバックライトが不可欠になるため、光源をはじめ、光学系、点灯回路系を総合した効率アップが必須となる。

8.2 カラー液晶ビューファインダ用バックライト^{19), 54)}

テレビカメラやビデオ一体型カメラの電子式ビューファインダには、一般的にはモノクロの小型CRTが用いられていたが、撮影対象の色が判別できないために、被写体の選定が遅れたり、録画画像の色の忠実性を確認することが難しいなどの課題がある。これを解決するものとしてカラー液晶表示素子を用いたビューファインダが開発され、実用化されている。このカラー液晶ビューファインダ用バックライトには表8-1に示す条件が要求される¹⁹⁾。

特に小型、低消費電力化や色再現性の向上が望まれており、さらには、短時間の繰り返し使用に耐える信頼性が要求される。

8.3 車載用インスツルメントパネルのバックライト

車載用インスツルメントパネルのバックライトに使用される光源は、当初、小型白熱電球が用いられていたが、白色光を実現しにくいことから、冷陰極蛍光ランプが使用されるようになってきた。さらに、最近ではカラー表示の要求の増加にともない、3波長発光型熱陰極蛍光ランプを用いることが多くなってきた。

車載用インスツルメントパネルのバックライトに要求される性能は、バックライト全般に要求される高輝度化、輝度均一化、低消費電力化などに加えて、 -30°C ～ -40°C の低温時での始動特性、点滅時の長寿命化、調光範囲の拡大などが重要である⁵¹⁾。

これらの要求に対し、ランプに低温補償ヒータを取り付けて、30秒以内に常温輝度の60%以上を確保すること⁵⁵⁾や、図8-1に示すプッシュプル発振回路からなる点灯回路において、ヘッドライトオン信号で段調光を、イルコン信号で連続調光をそれぞれ行なうことにより、5～100%の連続段調光を実現するとともに、R-C時定数回路でランプを予熱することにより、点滅寿命50,000回以上、連続点灯5,000時間の長寿命化⁵⁶⁾が行なわれている。また蛍光ランプの代わりに蛍光表示管(VFD)の技術を利用した高輝度発光管も開発されている。図8-2に高輝度発光管の構造を示す。この発光管の原理は、直熱カソードからの熱電子を数kVで加速し、CRT用の3波長型蛍光体を励起発光させるもので、5インチのTFT-LCD用バックライトとして白色輝度 $15,000\text{cd}/\text{m}^2$ 、8,500Kを、ヘッドアップディスプレイ用バックライトとして輝度 $25,000\text{cd}/\text{m}^2$ (緑色発光)を実現⁵⁷⁾している。

8.4 公衆向け大型ディスプレイ用バックライト

屋内の公共スペース向けのディスプレイのひとつとして、GH(Guest-Host)液晶を用いた大型ディスプレイが開発されている。このディスプレイのバックライトは、直管型(20W, 40Wサイズ)の3波長域発光型蛍光ランプを複数併置した方式がある⁵⁸⁾。その後、高輝度化を実現するために、3波長域発光型コンパクト蛍光ランプを液晶ユニットに2本入れ、調光機能付き電子安定器と光学系(反射板)とを組み合わせることにより、輝度を従来の約2倍($300\text{cd}/\text{m}^2$)、コントラスト比60以上、左右各60度・上下各30度の広視野角を実現した大型液晶ディスプレイも開発された⁵⁹⁾。

9. おわりに

以上、液晶ディスプレイ用バックライトについて、最近の5年間ぐらいにおける技術動向を中心に概説した。液晶ディスプレイは今後も各分野で利用されることが予想されることから、バックライトの技術開発は液晶表示素子の開発と相まって進められる。今後、液晶表示素子の光透過率特性が改善されても、液晶表示素子の動作原理から何らかの補助光源(いわゆるバックライト)が不可欠である。したがって、バックライト用光源の性能改善だけでなく、バックライトの方式そのものや光源の駆動方式などについても、さらなる改善や新しいアイデアが期待できるものと考えられる。

(重田照明)

[参考文献]

- (1) 佐々木昭夫編:液晶エレクトロニクスの基礎と応用, オーム社(1979)1-9
- (2) テレビジョン学会編:液晶ディスプレイ, 昭晃堂(1985)1-3
- (3) 砂田富久:最近の液晶ディスプレイ技術の動向, TV学会関西支部専門講習会 (1990)29-36
- (4) 両角伸治:カラー液晶表示体, O plus E 5(1989)80-85
- (5) 内田龍男:液晶ディスプレイの現状と展望, 信学技報 EID89-101(1989)1-8
- (6) 両角伸治:液晶ディスプレイの将来動向, 信学技報 EID90-7(1990)39-44
- (7) 小林駿介:液晶ディスプレイ用バックライト総論, 照学研究会 MD-88-45(1988)1-4
- (8) 小原章男:液晶表示用バックライト, 照学誌 73-12(1989)764-770
- (9) 両角伸治:[7]バックライトに期待する, 照学誌 75-11(1991)662-663
- (10) 日本電子工業振興協会編:ニューオフィスシステム(NOS)に関する調査研究報告書 (1991)223
- (11) 新居, 松川:液晶用バックライト-その実用上の問題点, TV学会技術報告 IPD 105-2(1986)5-8
- (12) 小林朝人:日本建築学会論文報告集, 第196号 (1972)69
- (13) 小林駿介編著:「カラー液晶ディスプレイ」9. 2バックライト(松川文雄)産業図書 (1990)251-262
- (14) 木下正樹:フラットパネルディスプレイ1991, 日経BP社 (1990)189-206
- (15) 竹内, 岸本, 日野谷:大型冷陰極型フラット蛍光ランプの開発, テレビ誌 42-9(1988)987-991
- (16) 岸本, 小坂, 寺田:冷陰極形フラット蛍光ランプ, 照学研究会 MD-88-47(1988)15-24
- (17) 竹尾 弘:冷陰極平面蛍光ランプモジュール, エレクトロニクス実装技術 6-9(1990)101-105
- (18) 重田, 大竹:反射板式液晶用バックライト, 照学研究会 MD-88-50(1988)37-45
- (19) 数永健二:小型液晶パネル用バックライト, 照学誌 73-5(1989)260-266
- (20) 清水隆夫:液晶バックライト用蛍光ランプの開発, 照学東京支部 (1988)5
- (21) 丹下, 富田, 渡辺, 藤原:液晶用バックライトの開発, 照学全大 (1988)20
- (22) 馬場, 丹下:フルカラー用液晶バックライトの開発, 照学研究会 MD-90-33(1990)10-14
- (23) 中村, 馬場, 天野, 林田:フルカラー液晶用バックライトの開発, 照学全大 (1989)46
- (24) 平松, 松原, 藤岡:特公平 3-36273
- (25) 村上, 大塚, 阪口:エッジライト方式液晶ディスプレイ用バックライトの設計, 照学研究会 MD-88-51 (1988)46-54
- (26) 森光男:バックライトと材料, 照学研究会 MD-88-48(1988)30-36
- (27) 大江誠:光学設計技術「[3]液晶ディスプレイのバックライトシステム」, 技術情報協会 (1991)203-210
- (28) 能見和正:液晶用バックライト, フラットパネルディスプレイ'90, 日経BP社 (1989)264-271
- (29) 神谷, 水野:「実用蛍光体」蛍光体同学会編『蛍光体ハンドブック』, オーム社 (1987)207-231
- (30) 山崎, 井関, 斉藤, 能見:小形熱陰極蛍光ランプの長寿命化の検討, 照全大 (1991)58
- (31) 小川壮一郎:長寿命熱陰極ランプの開発, 照学全大 (1991)165
- (32) 松川, 谷内, 小林, 三橋, 大澤:カラー液晶ディスプレイ用バックライトの設計, 照学研究会 MD-90-3 (1990)9-14
- (33) 西勝, 櫻井, 明道, 大澤:ハルズ放電希ガス蛍光ランプ, 照学研究会 MD-91-5(1991)25-29
- (34) 井関, 能見, 塩見:液晶バックライト用超細形冷陰極蛍光ランプ, 照学全大 (1991)167
- (35) 大草, 佐々木:高輝度冷陰極蛍光ランプ, 照学全大 (1988)19
- (36) 長田, 小林, 湯浅: ϕ 4mm冷陰極蛍光ランプの開発, 照学全大 (1991)51
- (37) 高木, 筒井, 野口:冷陰極蛍光ランプの放電開始時間遅れの検討, 照学全大 (1991)50
- (38) 松原修:エレクトロミネッセンスパネル, 照学誌 73-12(1989)729-733
- (39) 豊田, 宍道, 桐畑, 田中:分散型ELの基礎特性, 照学研究会 MD-88-48(1988)25-29
- (40) 山本, 新居崎, 門倉, 棚橋:分散型ELパネルの発光特性, 照学研究会 MD-89-16 (1989)103-108
- (41) 森口, 鈴木, 久積, 中川, 笠井:高輝度・長寿命分散型ELランプの特性, 照学研究会 MD-89-15 (1989)97-101

- (42)小山稔:発光ダイオードとその応用,照学誌 73-12(1989)734-738
- (43)三橋由蔵:LCD用LEDバックライトシステムについて,TV学会技術報告 IPD 105-4(1986)15-20
- (44)上田,松下,上谷,古賀,山口:SiC青色LED高輝度化とフルカラー-LED, SANYO TECHNICAL REVIEW 23-1(1991)7-13
- (45)諸橋,権守:ライティングカートン方式による光均一化,照学研究会 MD-91-52(1991)29-38
- (46)両角伸治:液晶ビデオプロジェクタ技術,トリックアス (1990)11-30
- (47)金井,吉池:液晶ビデオプロジェクタ技術,トリックアス (1990)61-80
- (48)友清克彦:フラットパネルディスプレイ'91,日経BP社 (1990)207-210
- (49)友清,北原,大村:液晶プロジェクションTV用メタルハライドランプの発光特性,照学研究会 MD-90-36 (1990)31-39
- (50)高津,山崎:映像機器用セラミックメタルハライドランプの開発,照学研究会 MD-90-37(1990)40-49
- (51)漆原,柵木,吉池:LCDプロジェクタ光源,電気関係学会関西支部連大 S72(1991)S11-2
- (52)成田,大山,平本:液晶OHP用メタルハライドランプ,照学研究会 MD-90-35(1990)25-30
- (53)北原,植村,渡邊,友清:液晶プロジェクタ用メタルハライドランプの発光特性,照学全大 (1991)168
- (54)横川,三橋,高谷,数永:ビデオカメラ液晶ビューファインダ用バックライトの特性,照学研究会 MD-91-3 (1991)13-18
- (55)仁枝,馬場,天野:カラー液晶表示用バックライト,照学全大 (1991)166
- (56)小川,佐野:車載パネル用バックライトについて,照学研究会 MD-88-52(1988)S11-8
- (57)岸野,中村,古俣,加藤:車載用高輝度バックライト,照学研究会 MD-91-4(1991)19-24
- (58)小沢正孝:大型液晶ディスプレイ用バックライト,TV学会技術報告 IPD 105-5(1986)21-26
- (59)太田,今村,渡部,狩野,若宮:大形液晶ディスプレイ装置,照学研究会 MD-88-14(1988)89-94

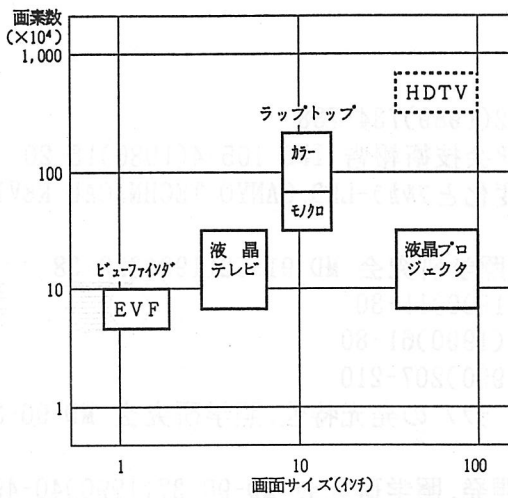


図 3-1 液晶ディスプレイの利用分野⁶⁾
(アクティブマトリクス液晶)

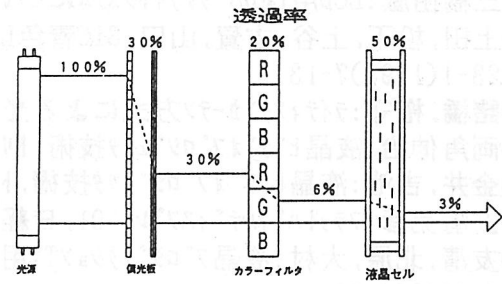


図 4-1 液晶の透過率⁹⁾

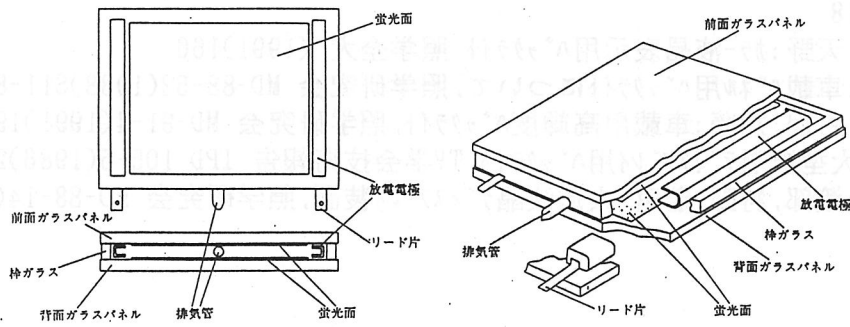


図 5-1 面状光源 (冷陰極型蛍光ランプ) の構造^{15), 16)}

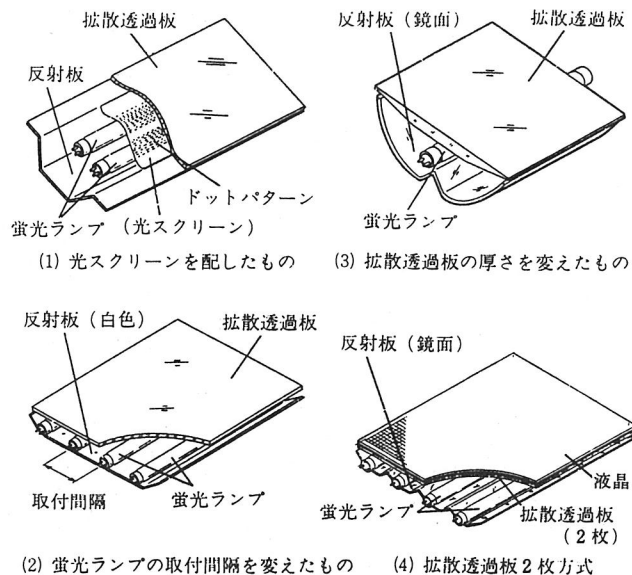


図 5-2 反射板 (直下, スクリーン) 方式の例¹⁸⁾

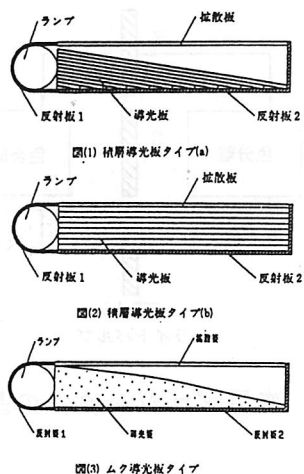


図5-3 導光体（エッジライト）方式の例²⁵⁾

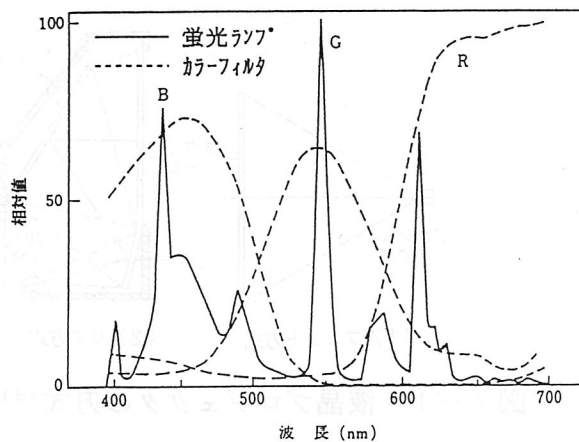


図6-1 3波長域発光型蛍光ランプの分光分布¹³⁾

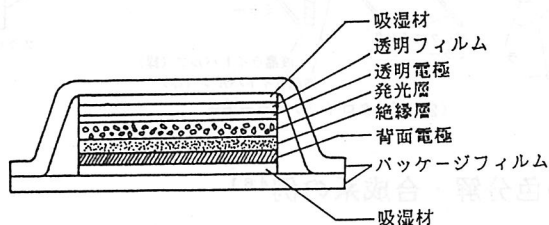


図6-2 分散型ELの基本構造³⁹⁾

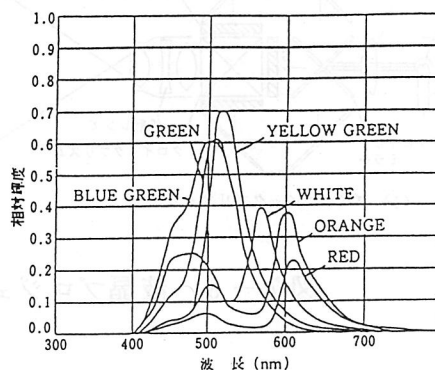


図6-3 分散型ELの分光分布³⁸⁾
(100V-400Hz駆動時)

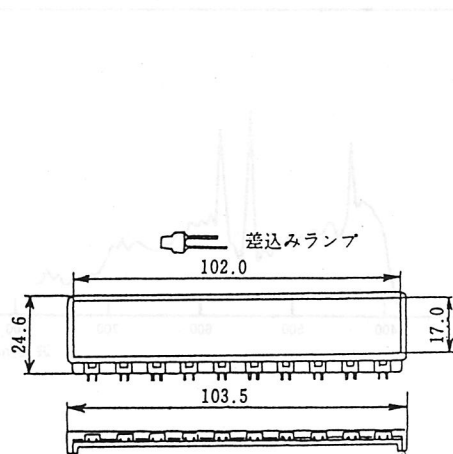


図6-4 LEDを用いたバックライトの例⁴³⁾
(緑色LEDを10個使用)

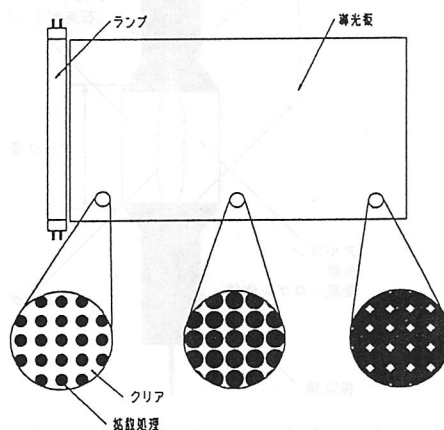


図6-5 光スクリーンのパターン例²⁵⁾
(導光体方式の場合)

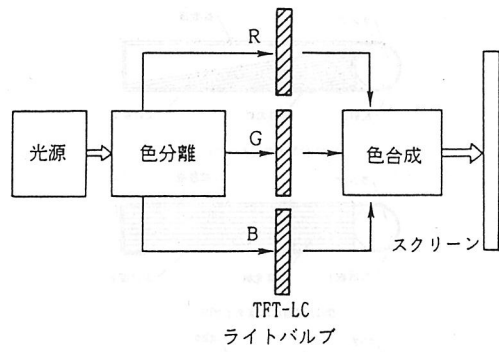
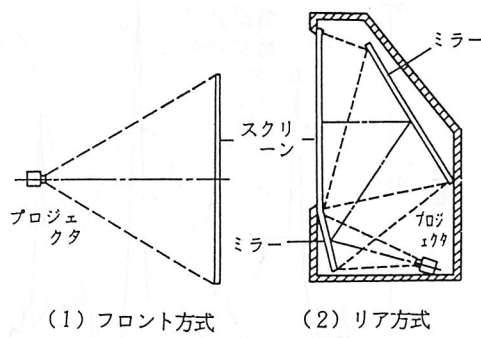


図7-1 液晶プロジェクタの方式⁴⁶⁾ 図7-2 液晶プロジェクタの基本構成⁴⁶⁾

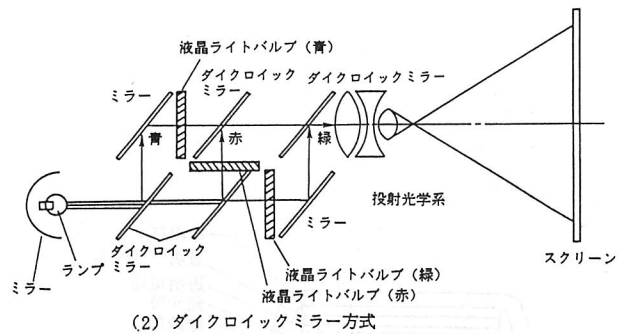
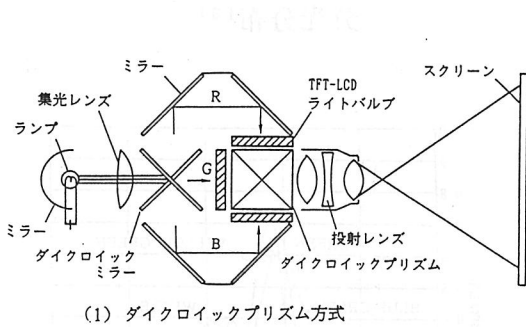


図7-3 液晶プロジェクタの色分解・合成系の例⁴⁶⁾

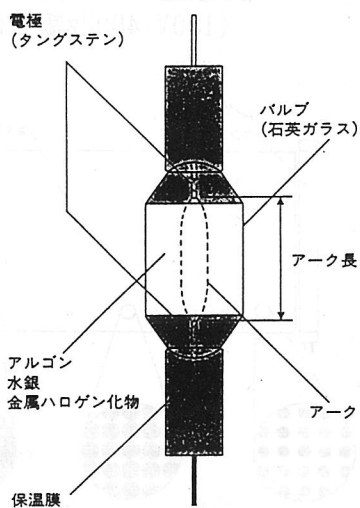


図7-4 メタルハライドランプの発光管構造⁴⁸⁾

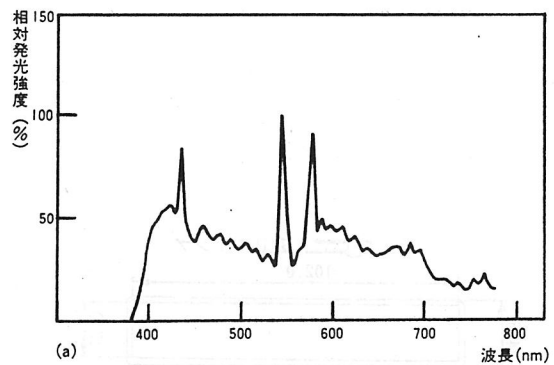


図7-5 メタルハライドランプの分光分布特性⁴⁸⁾

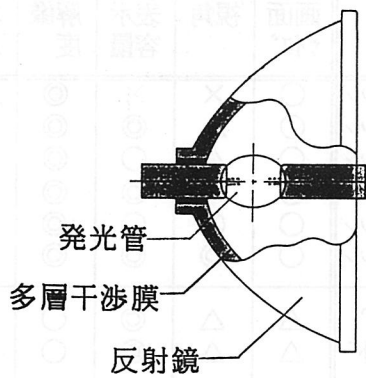


図7-6 光源システムの集光光学系の例⁴⁸⁾

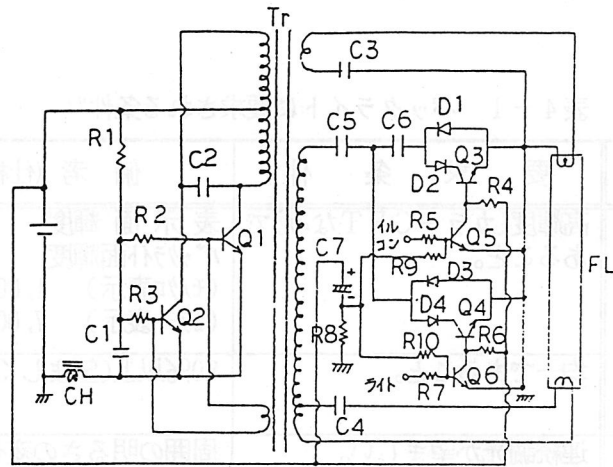


図8-1 車載用バックライトの点灯回路例⁵⁶⁾
(蛍光ランプ用)

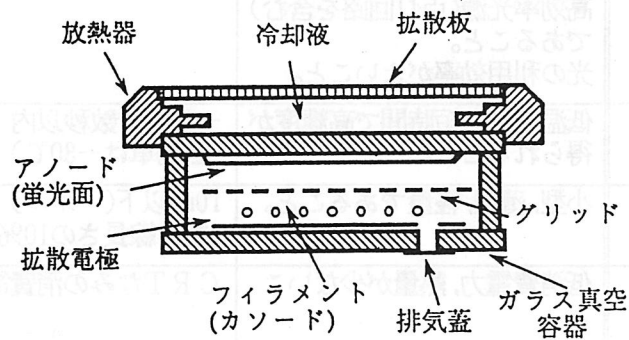


図8-2 高輝度発光管の構造⁵⁷⁾
(車載用バックライト)

表2-1 各種の液晶表示方式の比較⁵⁾

方 式		画面 サイズ	視角	表示 容量	解像 度	コント ラスト	応答 速度	7カラー -化	製造 コスト
直 視 型	単純 マト リク クス	T N セル	○	×	×	◎	×	△	◎
		S B E セル	○	△	◎	◎	○	×	△
		S T N セル	○	△	○	◎	○	×	○
		2層型 STNセル	○	×	◎	◎	◎	×	○
		E C B セル	○	○	○	◎	◎	×	◎
		F C L セル	○	◎	◎	◎	○	△	△
	アクティブ マトリクス	TFT ダイオド	△	△	◎	○	◎	◎	×
			△	△	◎	○	◎	◎	×
投 写 型	単純マトリクス		◎	◎	直視型と同じ				
	アクティブマトリクス								

[分類] ◎:優 ○:良 △:やや良 ×:不十分

表4-1 バックライトに要求される条件⁶⁾

項 目	要 求 条 件	備 考 (仕様など)
面 輝 度	高輝度(カラーCRTなみ)であること。	表示面輝度 90-150 cd/m ² バックライト面輝度 (モノクロ表示) 1,000-3,000 cd/m ² (カラー表示) 7,000 cd/m ² 以上
輝度均斉度 (min/max)	均一であること。	80%以上(望ましくは90%以上)
調 光	連続調光が望ましい。	周囲の明るさの変化に応じて調光できること。(テレビなど)
発 光 色	昼光標準光源D ₆₅ に近似していること。	色温度 6,000~8,000K
演 色 性	色再現性がよいこと。	分光分布がカラーフィルタの分光透過特性に合致していること。
効 率	高効率光源(点灯回路を含む)であること。 光の利用効率がよいこと。	
低温始動性	低温下でも短時間で高輝度が得られること。	-10℃で数秒以内 (自動車は-30℃)
形状寸法	小型,薄型,軽量であること。	10mm以下(パネル) (対角線長さの10%ぐらい)
消費電力	低消費電力,熱量が少ないこと。	CRTなみの消費電力
寿 命	長寿命(連続,点滅とも)であること。 輝度低下が少ないこと。	連続点灯 5,000時間 以上 点滅回数 50,000回 以上 輝度維持率 70% 以上

表5-1 バックライト方式の種類と特徴⁸⁾

方式(種類)	特徴	使用光源
面状光源	高輝度, 薄型。 光拡散部材や光反射部材が不要。	冷陰極型蛍光ランプ (平板型), 分散型EL
反射板 (直下) (スクリーン)	高輝度, 比較的lowコスト。 輝度均斉度が劣るが光均一部材, 光拡散部材の厚さで改善。	熱陰極型蛍光ランプ 冷陰極型蛍光ランプ LED
導光体 (エッジライト)	輝度均斉度が良好, 薄型。 熱対策に有利。	熱陰極型, 冷陰極型蛍光 ランプ, ハロゲン電球
外光	構造が簡単, 輝度が不足。	自然光, 一般照明光

表5-2 面状光源(冷陰極型蛍光ランプ)の種類^{15), 16)}

サイズ	発光面サイズ (mm)	厚さ (mm)	重量 (g)	輝度(中央部) (cd/m ²)	消費電力 (W)
3インチ	67×53	8	100	2,700	2
5インチ	103×81	10	220	3,000	5
7インチ	156×90	12	430	1,000	5
12インチ	240×176	12	810	1,000	10

表6-1 バックライト用光源の種類と特徴¹³⁾

光源の種類	白熱電球 ハロゲン 電球	LED	EL	蛍光ランプ		
				熱陰極型	冷陰極型	(平板型)
バックライト要件						
白色発光	×	×	△	◎	◎	◎
発光効率	×	×	×	○	△	△
発熱	×	◎	◎	△	○	△
寿命	△	◎	×	△	○	○
薄型, 軽量	◎	◎	◎(○)	△	○	×

*[分類] ◎:優 ○:良 △:やや良 ×:不十分

*ELの薄型, 軽量性は点灯装置を含めると評価が1ランク下がる。(カッ内)

表6-2 蛍光ランプ用蛍光体の種類²⁹⁾

発光色	組成	発光ピーク波長 λ_p (nm)	半値幅 (nm)	量子効率
赤(R)	$Y_2O_3 : Eu^{3+}$	611	5	0.99
緑(G)	$CeMgAl_{11}O_{19} : Tb^{3+}$	543	6	0.97
	$LaPO_4 : Ce^{3+}, Tb^{3+}$	543	6	—
青(B)	$BaMg_2Al_{16}O_{27} : Eu^{2+}$	452	51	1.03
	$(Sr, Ca)_{10}(PO_4)_6Cl_2 : Eu^{2+}$	452	42	—

表6-3 熱陰極形蛍光ランプを用いたバックライトの例⁸⁾

ランプ仕様 (ランプサイズ等)	方式	発光面サイズ (mm)	平均輝度 (cd/m ²)	輝度均斉度 (min/max)	備考
直管 φ15.5mm 6W×1本	反射板 光スクリーン	140×120	4,800	0.73	6,500 K
直管 φ15.5mm 6W×1本	反射板 光スクリーン	140×120	6,800	0.72	6,000 K
直管 φ15.5mm 8W×4本	反射板 拡散板2枚	248×186	7,000	0.92	高周波点灯 3波長型
直管 φ4.1mm 0.55W×1本	反射板	18.6×13.9	3,000	≥0.60	6,000 K ビューファイナグ
直管 φ28.0mm 20W-40W	反射板	1,600×2,100	10,000~ 30,000	0.80	6,500 K 大型表示
U型管 φ10-12mm 3W-5W	反射板	135×101	4,000	0.70-0.75	
直管 φ15.5mm 6W×1本	導光体	140×130	780	0.80	6,500 K
直管 φ15.5mm 8W×2本	導光体	248×186	2,800	0.90	3波長型
直管 φ8.0mm 1本	導光体	(21インチ)	1,500	—	小型テレビ

表6-4 冷陰極形蛍光ランプを用いたバックライトの例⁸⁾

ランプ仕様 (ランプサイズ等)	方式	発光面サイズ (mm)	平均輝度 (cd/m ²)	輝度均斉度 (min/max)	備考
平型管 2W, 厚さ8mm	面状光源	67×53	2,700	≥0.75	7,000 K 小型テレビ
平型管 5W, 厚さ10mm	面状光源	103×81	3,000	≥0.75	7,000 K 小型テレビ
平型管 5W, 厚さ12mm	面状光源	156×90	1,000	≥0.75	7,000 K, ハ ソコ, リーフロ
平型管 10W, 厚さ12mm	面状光源	240×176	1,000	≥0.75	7,000 K, ハ ソコ, リーフロ
平型管 3.5W	面状光源	144×99	1,000	—	5,800 K
直管 φ12.0mm 6W×2本	反射板	240×120	110*		*液晶面輝 度
W型管 φ6.2mm 3W×1本	反射板 拡散板凹凸	66×83	5,300	0.90	7,000 K
W型管 φ5.3mm	反射板	46×61	—	0.75	
直管 φ8.0mm	導光体	230×100	300	—	携帯型ハソコ ソ

表6-5 LEDの種類⁴²⁾

発光色	材 料		発 光 波 長 (nm)	発光光度 (軸上光度) (mcd) 20mA	外部量子 効率(最 高値 %)	製 造 法
	結 晶	基 盤				
赤 外	GaAs (Si)	GaAs	940	40 mW/sr	20	LPE
	GaAs (Zn)	GaAs	900	30 mW/sr	15	拡散
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As(Si)	GaAs	880	45 mW/sr	23	LPE(SH)
	Ga _{0.6} Al _{0.4} As	GaAlAs	850	85 mW/sr	28	LPE(SH)
赤	GaP (ZnO)	GaP	700	30	2	LPE
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAs	660	500	3	LPE(SH)
	Ga _{0.65} Al _{0.35} As	GaAlAs	660	5,000	20	LPE(DH)
	GaAs _{0.6} P _{0.4}	GaAs	650	20	0.5	VPE+拡散
	GaAs _{0.35} P _{0.65} (N)	GaP	630	300	0.65	VPE+拡散
黄 赤	GaAs _{0.25} P _{0.75} (N)	GaP	605	300	0.6	VPE+拡散
黄	GaAs _{0.1} P _{0.9} (N)	GaP	585	200	0.2	VPE+拡散
	GaP (N)	GaP	570	400	0.5	LPE
黄 緑 黄 緑 純 緑	GaP (N)	GaP	565	300	0.4	LPE
	GaP (N)	GaP	560	250	0.3	LPE
	GaP	GaP	555	200	0.2	LPE
青	GaN	AlO	490	10	0.03	VPE(MIS)
	SiC	SiC	480	6	0.02	LPE
	ZnSe	ZnSe	480	4	0.03	LPE+拡散
	ZnS	ZnS	465	2	0.05	MIS

(注) () 内: ドープ材

- ・ LPE(LIQUID PHASE EPITAXY) 液相エピタキシャル
- ・ VPE(VAPOR PHASE EPITAXY) 気相エピタキシャル
- ・ MIS(METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR)構造
- ・ SH(SINGLE HETERO)接合
- ・ DH(DOUBLE HETERO)接合

表6-6 LEDを用いたバックライトの例⁴³⁾

種 類	発 光 色	発光面サイズ (mm)	平均輝度 (cd/m ²)
LEDラフ挿入樹脂硬化型	黄, 赤, 黄赤	13.1×66	33.5
ミクロンLEDアセンブリ型	黄, 赤, 黄緑	54.8×16.5	5~7
チップオンボード型	黄緑	58×7	7

表7-1 液晶プロジェクタ用光源の種類と特徴⁴⁸⁾

	ハロゲン電球	キセノンランプ	メタルハライドランプ
点光源	×	○	△
輝度	×	○	○
発光スペクトル	×	○	△~○
効率	×	×	○
寿命	△	△	△~○
寿命中の特性変化	○	○	△
瞬時点灯/瞬時再始動	○	○	△~○
点灯回路	○(不要)	×	×

○:良 △:やや良 ×:不十分

表8-1 ビューファインダに要求される条件¹⁹⁾

特性	項目	要求条件		
		要求品質	要求仕様(例)	
光学的 特性	輝度	高輝度であること ハ°社の明るさがカラー-CRT 並み、あるいはそれ以上 であること	拡散板面中央部 min.1,800 cd/m ² ランプ管面中央部 min.6,000 cd/m ² (at 25℃)	
	輝度均斉度	均一であること	画面 18.6×13.9mm 端で50%以上	
	発光色	色再現性がよいこと	色温度 6,500K	
	低温 特性	輝度立上り	始動後、短時間に鮮明 な画像になること	拡散板面中央部 -10℃:始動後5秒後に 150cd/m ² 以上 0℃:始動後60秒後に定常時輝度の 50%に達する
		始動性	低温下でも出画時間が 2秒以内	-10℃:スイッチON後 2秒以内に全長発光 すること
機械的 特性	外観、寸法	小型、薄型であること カラー化されても従来の モノクロビューファインダより大 きくならないこと	ランプ全長 max. 37mm	
電氣的 特性	消費電力	低消費電力であること	点灯回路入力電力 typ. 0.55W (at 25℃) max. 0.60W	
寿命 特性	寿命	長寿命であること	連続点灯 3,000時間以上 点灯30秒、消灯30秒を1サイクルとし、 30,000回以上 拡散板面中央部(または管面中央部) 輝度70%以上を維持する	

5. 蛍光体

5-1. はじめに

1988年から1991年の期間にディスプレイデバイスで研究された蛍光体に関するおもな項目を表1に示した。多くは蛍光体同学会で発表されている。ここでは無機と有機薄膜ELおよび一般的でないデバイスを除いた。また、研究対象になった特定蛍光体だけをあげ、各デバイスで実用になっている多数の種類を示さなかった。これらについては文献[1]を参照されたい。表にあげた項目は、ハイビジョンTVを代表とする、平板化、大形化、高画質化（高輝度、高精細度化、高色純度、高コントラスト）の要求に起因しているが、デバイスによって重点のおきかたが異なる。デバイスごとの大まかな流れを以下に述べる。

直視形カラーCRTでは大形化・高精細度化が進んでいるが、シャドウマスクの変形から明るさに限界がある。しかし、現行の蛍光体では発光効率に関して改良の余地は少なく、実際には、電子ビームの加速電圧と電流アップの方向にある。市販TVは画面のフラットさとコントラストと色純度で各社競合して改良されている。40インチ以上の大画面は重量・体積の点で直視形より投写形が有利で、小型のCRT（投写管）を用いたプロジェクタの改良が進み、画像の明るさ（直視形の約3倍）と解像度（ハイビジョン対応）が向上している。投写管蛍光面への電子ビームの入力密度は、もともと直視形より100倍以上であったが、ビーム径が細くなりこの数年で一桁大きくなっている。蛍光体は、おもに、電流特性（輝度－電流関係の直線性）と電子線やけ（長時間の電子線照射による蛍光体の劣化、輝度低下や着色の現象）が改良されてきた。

蛍光表示管は、カラー化・大形化が進み、フラットCRTとの境界が次第につかなくなってきた。数十ボルトの低加速電圧の電子線励起であるため、蛍光体のごく表面の現象が特性を左右する。このため、各種の分析手段を用いた表面解析により、とくに劣化についての理解が深まり、明るさも年年向上した。

プラズマディスプレイはコンピュータ端末用およびハイビジョンをめざした大形化が進んだ。大形および量産性に向けたパネル形成法が開発されている。

屋外大形表示用素子はこの間普及に拍車がかかった。CRT式と蛍光放電管式があるが、投写管あるいはカラーTV用蛍光体および蛍光ランプ用3波長蛍光体が流用された。

LCDバックライトとして分散形ELの研究が進んだ。蛍光体自身は本質的に1960年代と同じであるが、蛍光体以外の構成材料の進歩によってとくに劣化特性が改善された。蛍光体も改善されているが詳しい資料は公開されていない。これと競合する形で明るさのメリットを持った蛍光ランプ方式の構造も進歩した。

この報告書のほかの章に述べられているように各種の発光デバイスは構造が大きく異なる。しかし、これらに使われる蛍光体は通常粒子径が数ミクロンの粉体で、製造法や取扱い方はそれほど違わない。要求される性能は蛍光体技術に還元すれば共通するところが多い。それで、各デバイスに共通するいくつかのテーマに分けて述べてみた。

5-2. 明るさ

5-2-1. 材料（電流・温度特性）

投写管用緑色蛍光体として1982年までは、 $Zn_2SiO_4:Mn$ や $Gd_2O_2S:Tb$ が使われたが、前者には残光時間や発光効率や電子線やけ、後者には温度特性の悪い欠点があった。一部でCa

表1 蛍光面の改良方向と研究項目

デバイス	蛍光面改良方向	蛍光体 林	改良の手段と研究項目
カラーTV CRT	大形、平板、精細、 明るさ、色純度、 コントラスト	R:Y2O2S:Eu G:ZnS:Cu ZnS:Cu,Au B:ZnS:Ag	材料 (Eu濃度 顔料濃度 ZnS:Cu,Au→ZnS:Cu ZnS:Ag,Cl→ZnS:Ag,Al 蛍光面構造と形成法 染料フィルタ付きフェースパネル
ディスプレイ CRT	同上+フリッカなし スミアなし	B:SrSb2O6:Mn* G:Zn2SiO4:Mn,In	材料 (長残光、残光曲線) 蛍光面形成法
投写形CRT	明るさ、色純度、 寿命	G:Y(Al,Ga)G:Tb LaOCl:Tb,Ti InBO3:Tb LaOBr:Tb* B:Sr3MgSi2O8:Eu* (La,Gd)OBr:Ce* ZnS:Ag,Al	材料 (輝度-電流、温度特性 寿命、色純度) 混合蛍光体 不純物ドーブ 表面処理 蛍光体製造工程 蛍光面形成法 フィルタ付きパネル
蛍光表示管	大形、明るさ、 カラー化	R:(Zn,Cd)S:Ag,Cl +In2O3 YG:ZnS:Cu,Al+ In2O3 G:ZnO:Zn B:ZnS:Cl+In2O3 ZnGa2O4	材料 (発光色、効率 寿命) 表面処理 蛍光面形成法
プラズマディスプレイ	大形、明るさ、 カラー化	真空紫外線用RGB 蛍光体	蛍光面形成法 フィルタ
屋外表示用 素子	大形、明るさ、色純 度、コントラスト	CRT式:投写管用 放電管方式: 3波長蛍光体	材料 (色純度) 蛍光面形成法 フィルタ
LCD バックライト 分散形EL	明るさ、寿命 温度特性	BG,G:ZnS:Cu W:ZnS:Cu+filter	粒子径 製造法 防湿フィルム、誘電体種
蛍光ランプ	明るさ、均一性 温度特性、寿命	3波長蛍光体 PDP用蛍光体	表面処理 冷陰極、希ガス放電

注) *1988年から1991年に検討された蛍光体を中心とした。

*検討されたが実用になっていない蛍光体

S:Ceが検討されたが電流特性が悪く1982-1983年には、 $Y_2SiO_5:Tb$, $YAG:Tb$, $LaOC1:Tb$, $YAG:Tb+Zn_2SiO_4:Mn$ などの新しいテルビウム付活緑色蛍光体が次々に採用された。1985年以降はとくに高い電流密度でも輝度飽和しないことと色純度の観点からさらに改良が加えられて、 $Y(Al,Ga)G:Tb$ [2], $LaOC1:Tb,Ti$ [3], $InBO_3:Tb+Y(Al,Ga)G:Tb+Zn_2SiO_4:Mn$ [4]などが採用されている。これらの蛍光体は色純度・寿命・明るさに多少の得失はあるがほぼ同等に近い性能になっている。これらの改良のうち $YAG:Tb \rightarrow Y(Al,Ga)G:Tb$ は母体組成変更によって発光効率と電流特性が両方向上している。 $LaOC1:Tb,Ti$ は4価の微量不純物ドーピングによってなされている。希土類蛍光体の発光中心に対して価数の異なる不純物が発光特性を著しく変化させる例の一つである。図1に電流特性の一例を示す。

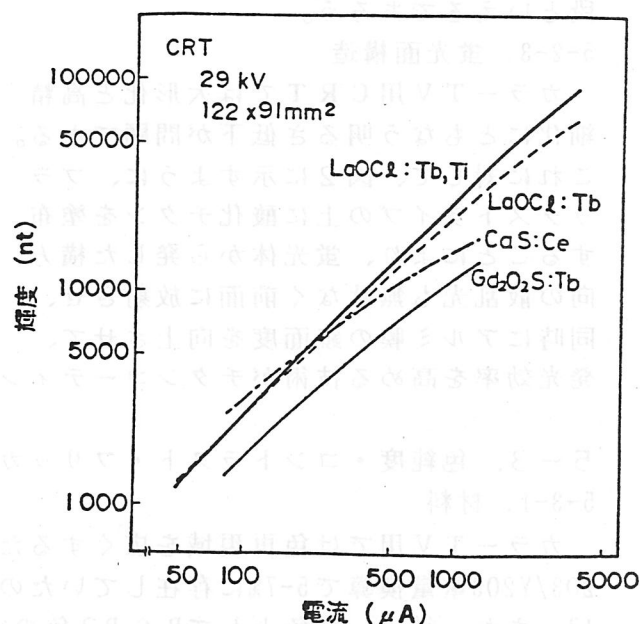


図1. 投写管用緑色蛍光体の輝度-電流特性

投写管用青色蛍光体として $ZnS:Ag,Cl$ が使われていたが、電流飽和が著しく、高負荷での発光効率は低負荷での50%以下になって赤色や緑色と釣合がとれない。このため、希土類付活蛍光体として $(La,Gd)OBr:Ce$ [5]や $Sr_3MgSi_2O_8:Eu^{2+}$ [4]が検討され、電流特性の点でメリットのあることが確認されているが、劣化の大きいことと低輝度での効率が低すぎることから実用になっていない。 ZnS 系は製造法(Ag濃度や焼成条件)でかなり特性が変わり、完全な線形性はとれていないが $ZnS:Ag,Al$ が改良形として使われている[4]。

これらの改良は使用条件の変化に合わせて行われているが、ハイビジョン方式だと電子ビームの走査速度が2倍以上になり、この条件では電流特性がかなり変わることも報告されている[6]。

蛍光表示管用では希土類元素や遷移金属元素で付活されたいわゆる局在発光タイプの蛍光体で著しい輝度飽和を示すことが知られており、粒子表面の欠陥に関係があると考えられている。一般的実用蛍光体は ZnO あるいは $(Zn,Cd)S$ 系である[7]。

分散形ELでは温度による輝度変化が著しい。これの主因は絶縁層の誘電率変化であり、 $Ba(Ti,Zr)O_3$ のTi/Zr比を変えることによって温度依存性を小さくできることが示された[8]。バインダーの誘電率向上も明るさ向上に有効であるがこれの温度依存性が問題である[9]。

5-2-2. 表面状態

蛍光表示管用では表面での欠陥や付活剤濃度および導電率の管理が重要である。これらの制御を以下のように行った結果、実使用条件での発光効率は、1983年から1988年までにどの蛍光体も約2倍の明るさになっている[7]。すなわち、 $(Zn,Cd)S:Ag,Al$ および $ZnS:Cu$ ではAlまたはCuを高濃度にドーピング、 ZnO では過剰Zn量の制御、結晶性の向上、管製作工程における不純物や水分の管理、 $ZnS:Cl$ では蛍光体焼成条件、シリカコート表面処理の最適化が行われた。

なお後で述べるように、どのデバイスに対しても蛍光体粒子表面に微粒子コロイドを付着させて蛍光体の劣化を防ぐことは一般に行われており、これもある意味で明るさ向上手

段といえるであろう。

5-2-3. 蛍光面構造

カラーTV用CRTでは大形化と高精細化にともなう明るさ低下が問題である。これに対して、図2に示すように、ブラックストライプの上に酸化チタンを塗布することにより、蛍光体から発した横方向の散乱光も無駄なく前面に放射させ、同時にアルミ膜の鏡面度を向上させて、発光効率を高める技術がチタンコーティングと称して発表されている[10]。

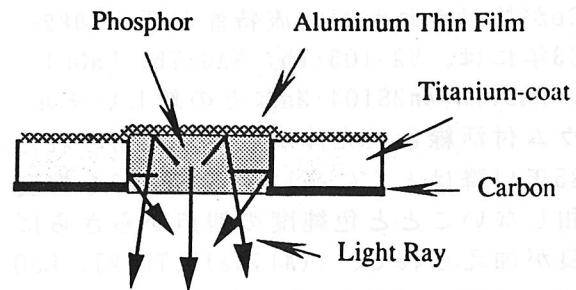


図2. チタンコーティング概略図[10]

5-3. 色純度・コントラスト・フリッカ

5-3-1. 材料

カラーTV用では色再現域を広くするため、Y2O2S:Eu赤色蛍光体のEu濃度が、従来はEu2O3/Y2O3重量換算で5-7%に存在していたのが、大形管を中心に7%程度に統一されてきた[11]。また、従来、緑色としてB,G,R3色の電流比を合わせるように使われてきた金入りのZnS:Cu,Auがより緑色純度の高いZnS:Cu,Alの方向に変わってきた[12]。

投写管用緑色蛍光体として混合蛍光体の用いられる一つの理由は色純度のよいInB03:TbやZn2SiO4:Mnによって黄色みの強いY(Al,Ga)G:Tbの発光色を補うことにある[4]。

屋外カラー表示放電型素子ではTbの発光のほかに色純度の高いMnの発光も合わせ持つ緑色の(Ce,Tb)(Mg,Mn)Al11O19が検討された[13]。

5-3-2. フィルタ

コントラストおよび発光色純度向上のために蛍光体と人間の目の間にフィルタを介することが広く行われる。たとえば、カラーTV用赤色と青色蛍光体にそれぞれ赤色と青色の顔料を付着させる。また、CRT前面に光透過率の低いガラスを用いる。最近のカラーTVではCRTの前面に選択吸収フィルタを形成されるようになった[14]。図3に蛍光体の発光スペクトルとフィルタの分光透過率を示す。これは蛍光ランプや白色電球の光を効率よく吸収して外光反射を少なくし、かつCRTの各発光成分の一部を吸収して発光色純度をあげるたくみな効果を示す。

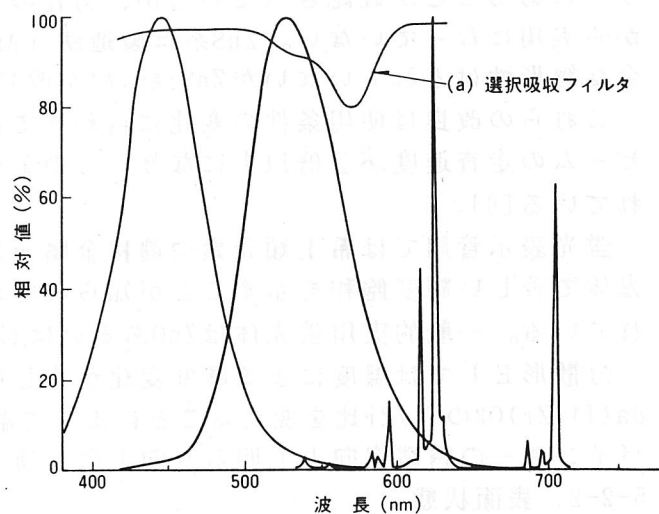


図3. 蛍光体の発光スペクトルおよびフィルタの分光透過率[14]

投写管の場合はCRTの内面に干渉フィルタを形成して色純度をあげると同時に発光の指向性をもたせる工夫が発表されている[15]。また、緑色発光蛍光体に緑色顔料を付着させる試みもある[16]。外光の影響が特に強い航空機搭載用CRT[17]や屋外巨大表示素子では、透過率のかなり低いフィルタが使われる。

これらは蛍光体そのものの改良ではないが、補助的に蛍光体の特性を改善するもの

として捕らえることができる。

5-3-3 フリッカ

端末ディスプレイ用 CRT で、特にフリッカ（ちらつき）が重視される場合には中残光あるいは長残光の蛍光体が使われる。これについては昭和63年の照明学会ディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会報告に詳しくまとめられている。その後、フリッカばかりでなくスミア（画面切り替えの後の着色残像）も抑制するために、残光曲線の形を指数関数型に近づけた青色と緑色の蛍光体、 SrSb206:Mn [18]と Zn2SiO4:Mn,In [19]が発表された。ただし、 SrSb206:Mn は電子線やけが大きく実用になっていない。

5-4. 寿命

特に投写形 CRT、蛍光表示管、分散形 EL、蛍光ランプ（バックライト）において、寿命についての解析が進んだ。

投写形 CRT では、以下のような劣化に影響を与える因子と例があげられている[20]。

- i) 蛍光体母体の化学結合力が弱いと電子線照射によって酸素脱離が生じる。（例： Zn2SiO4:Mn , InBO3:Tb , Zn3(P04)2:Mn ）
- ii) 蛍光膜の温度上昇による劣化促進（例： InBO3:Tb 膜の充填密度による温度上昇の違いと劣化、あるいは単結晶膜と粉体での YAG:Tb 蛍光体の劣化の違い）
- iii) 付活剤の原子価変化（例： Sr3MgSi208:Eu , Y2SiO5:Ce ）
- iv) 不純物イオンの効果（ごく微量の不純物ドーブによって劣化特性が改善されることがあり、たとえば Y(Al,Ga)G:Tb に Eu , Yb あるいは Si ドーブの例がある）
- v) 出発物質またはフラックスの残査（例： Y(Al,Ga)G:Tb [2]）
- vi) CRT 製造工程での化学的安定性（たとえば、粉碎工程における表面損傷や材料の加水分解あるいはバインダーとの反応がある。加水分解をおこし易い材料に、 Sr3MgSi208:Eu [4], LaOBr:Tb [21], $(\text{La,Gd})\text{OBr:Ce}$ [5] があり、 LaOCl:Tb,Ti [22] でも製造工程における耐性が調べられた。）

蛍光表示管では

- vii) 硫黄の飛散によるカソード能力低下[7]（例： ZnS:Cl , ZnCdS:Ag,Cl ）
- viii) 管製造工程での表面酸化[7]（例： $(\text{Zn,Cd})\text{S:Ag,Cl}$ ）
- ix) カソードフラッシュによるバリウム吸着による ZnO 表面の還元[23]
- x) 熱による付活剤の格子内移動[23]（例： ZnS:Au ）

分散形 EL では

- xi) 空気中の水分との反応[24]（ ZnS:Cu ）
- xii) バインダの誘電率の変化 [9]

蛍光ランプでは[25]

- xiii) 水銀吸着
- xiv) 紫外線やイオン衝突による色中心生成、表面構造変化、があげられた。

各デバイスおよび蛍光体によって劣化の原因が異なる様に見える。しかし、大部分の因子は電蛍光体結晶の表面あるいは内部の何らかの格子欠陥の変化に関係し、電子線あるいは紫外線によって励起されたキャリアが欠陥にトラップされる結果、熱ルミネセンスや反射率の変化を伴っている。

劣化対策法にはどのデバイス用にも共通して以下がある。

- a) 材料の本質的な性質の場合、使うのをあきらめ、より安定な材料を使う。

デバイスの要求する程度にもよるが、たとえば $\text{Sr}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8:\text{Eu}$ や $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}$ などは投写管には使えない。
b)微量の不純物をドーピングする。

上述のiv)の例以外にも不純物ドーピングによる劣化改善の可能性があるが、逆に特定不純物によって劣化が著しくなることもある。この原因究明はまだ完全ではない。

c)蛍光膜の充填密度をあげる。

熱拡散をよくするために、蛍光体の粒子径や分散性および塗布方法に関係する。

d)製造工程の洗浄を徹底する。

洗浄法には酸洗浄や温水洗浄が含まれる。

e)ボールミルなど機械的損傷をできるだけ少なくする。

f)劣化の少ない粒子径を選ぶ。

とくに分散形ELで寿命と粒子径に強い関係がある[26]。

g)粒子表面に微粒子シリカ付着などの表面処理を行う。

この方法は、一次電子線やイオン衝突から蛍光体の表面を保護するというよりも、蛍光体の分散性をあげる、加水分解を抑える、表面酸化を抑える、あるいは表面のガス吸着特性を変えることによって改善効果をもたらすと思われる。

図4に投写管用蛍光体の寿命改善の一例を示す。

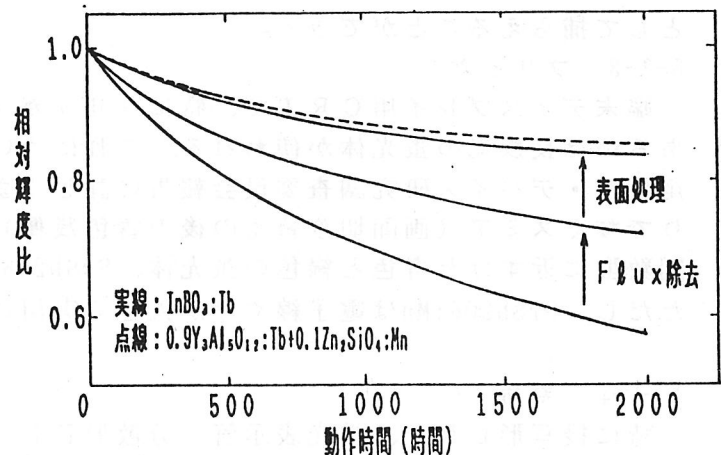


図4. $\text{InBO}_3:\text{Tb}$ の輝度寿命改善[4]

(動作条件 陽極電圧: 30kV ラスタ: 5形)
(陽極電流: 0.55mA)

5-5. 塗布法

塗布法は、カラーCRTでは水性スラリの回転塗布とシャドウマスクによるパターン露光を用いたフォトリソグラフィーが一般的で、高精細など特殊な場合に、光粘着性感光剤を用いたドライプロセスや、フェースプレートの前面からの露光方式などが知られている。単色CRTでは水性懸濁液の沈降法、蛍光表示管では印刷法あるいは電着法、蛍光ランプでは有機系および水性系懸濁液の管内流下方式が一般的である[1]。これらの塗布法は、各デバイスの大きさや目的に合わせて使われているが、膜厚や緻密度あるいは感光特性などは、明るさ、解像度、ライフなどの特性に影響を及ぼす。新方式あるいは改良方式がいくつか示された。

ホームセキュリティ用モニタなどに使われる偏平モノクロームCRTで蛍光体塗布法としては初めての試みと思われる方法が実用された[27]。これは次ページの図5に示すように、フィルム上に予め蛍光面を印刷法で塗布しておき、次にパネルに熱転写するもので、量産性に優れているほか、回転塗布法に比べて蛍光膜の充填密度が上がるメリットもある。

フラットパネルを用いるデバイスでは印刷法を用いることが多い。投写管でも一部のメーカーは印刷法を採用しており、沈澱法に比べて蛍光面劣化の少ない結果を得ている[28]。沈降法でも、劣化にかなりの違いの出ることから液組成が最適化されている[4, 20]。

カラープラズマディスプレイの大形化には赤、緑、青の蛍光体絵素を作製するのにフォ

トリソグラフィは優れた方法である。ただし、塗布面がフラットでないのでスラーの回転塗布法が使えず、ブレードコータ法を採用した例がある[29]。蛍光体ばかりでなく隔壁（土手）の製作まで印刷法で行っている。精細度をあげるためにフォトリソグラフィで背面露光（1種のセルフアライメント）を行う例もある[30]。

どのデバイスに対しても、画質向上および歩留まりを含めたコスト低減のために、蛍光体粒子径分布、表面特性、分散性、光吸収能などの特性改善が非常な努力で行われているが、文献資料にはなかなか現れてこない。

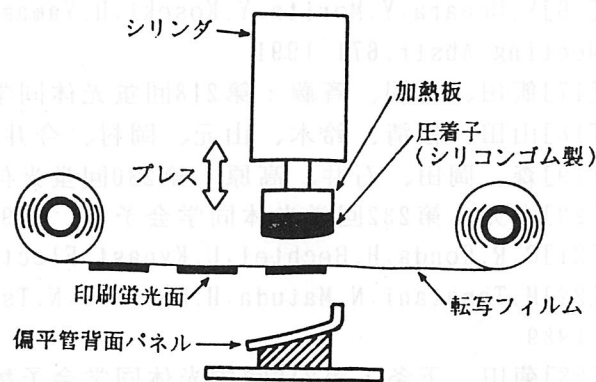


図5. 熱転写機械の概略図[27]

5-6. おわりに

以上述べたように、調査期間中にはまったく新しい化合物からなる画期的な蛍光体ほどのデバイス用にも出ていない。残念ながら満足できる性能の電流特性の良い青色や長残光青色蛍光体はまだできていない。しかし、上述したようにその改良は着実に進んでおり、とくに蛍光体単独ではなく、フィルタや面構造など広い意味での蛍光面としてのとらえ方が増えてきている。ここでは省いたが基礎的物性に対する理解も進んでいるがまだまだ不明なところが多い。劣化や電流特性に関して発光中心だけでなく、格子欠陥の果たす役割の解明が待たれる。いろいろな種類の平板形ディスプレイが開発されており、とくにCRTはLCDなどにおきかえられる可能性がある。しかしLCDでもバックライトが必要で、発光形であるかぎり蛍光体が占める重要性はなくならないと思われる。

(玉谷正昭)

5-7. 文献

- [1] 蛍光体同学会編：蛍光体ハンドブック オーム社 1987
- [2] 大野、安部、楠木：第227回蛍光体同学会予稿 1989.10
- [3] 松田、玉谷、服部、津田：第220回蛍光体同学会予稿 1988.4
- [4] 上原、森田、渡辺、山元：第226回蛍光体同学会予稿 1989.7
- [5] D.M.de Leeuw, C.A.H.A.Mutsaers, H.Mulder, D.B.M.Klaassen: J.Electrochem.Soc.135,1009,1988
- [6] T.Doyle, D.B.M.Klaassen, M.J.G.Lammers: Proc. 1988 Int.Display Res.Conf. p17.
- [7] 佐藤、土岐、溝畑：第226回蛍光体同学会予稿 1989.7
- [8] 豊田、田中：第225回蛍光体同学会予稿 1989.5
- [9] 坂本、副島、青木、成富：第230回蛍光体同学会予稿 1990.5
- [10] 桜谷：第235回蛍光体同学会予稿 1991.5
- [11] 寺島、井上：工業レアメタル No.103 85 1991
- [12] 足立、若園、北川、鴻巣、芦崎：第236回蛍光体同学会予稿 1991.7
- [13] 東、田中、岩間：第232回蛍光体同学会予稿 1990.9
- [14] 伊藤、松田、清水：東芝レビュー 45 831 1990.
- [15] L.Vriens, J.H.M.Spruit, C.N.Rijpers, M.R.T.Smits, J.Khurgin: SID 88 Digest p214

- [16]Y.Uehara,Y.Morita,Y.Koseki,H.Yamamoto,H.Matukiyo:Electrochem.Soc.Fall Meeting Abstr.671 1991
- [17]飯田、宅間、齊藤：第218回蛍光体同学会予稿 1987.11
- [18]山田、松清、鈴木、山元、岡村、今井、森田：第220回蛍光体同学会予稿 1988.4
- [19]森、岡田、石井、高原：第230回蛍光体同学会予稿 1990.5
- [20]山元：第232回蛍光体同学会予稿 1990.9
- [21]C.R.Ronda,H.Bechtel,U.Kynast:Electrochem.Soc.Fall Meeting Abstr.646 1991
- [22]M.Tamatani,N.Matuda,H.Hattori,N.Tsuda:Electrochem.Soc.Fall Meeting Abstr.584 1989
- [23]菊田、下条：第216回蛍光体同学会予稿 1987.7
- [24]門倉、小串、吉竹：第221回蛍光体同学会予稿 1988.6
- [25]伊藤、田屋、玉谷、寺島：第233回蛍光体同学会予稿 1990.11
- [26]門倉、小野：第217回蛍光体同学会予稿 1987.10
- [27]青山、升田、徳永：第223回蛍光体同学会予稿 1988.11
- [28]大野、楠木、伊藤：第217回蛍光体同学会予稿 1987.10
- [29]村上、栗山、関、山本：第237回蛍光体同学会予稿 1991.10
- [30]稲熊、森本、椿、藤原、野村：第225回蛍光体同学会予稿 1989.5

6. 発光ダイオード

6-1. はじめに

化合物半導体を用いた可視光発光ダイオード (LED) の研究は、1923年のSiC注入発光現象の観測にはじまり、その後、新材料の発見、発光機構の解明と地道な研究が続けられ、発光色の点では赤、橙、緑、青色LEDが実用化されている。これらのLEDを用いた表示素子では、パイロットランプ、単桁数字表示素子にはじまり、多桁数字表示素子、バー表示素子、平面表示素子と使用機器の多機能化の要請に応える形で各種の新しい表示素子が実用化されてきた。また、LEDの発光効率、信頼性向上に関する研究開発も粘り強く続けられ、発光効率の記録が次々に塗りかえられてきている。ここではLEDの発光効率の向上に関する技術動向と新しい応用の期待される平面表示素子の現状と今後の動向について紹介する。

6-2. LEDの種類、製法及び高輝度化の現状と今後

図1は現在市販されているLEDディスプレイに用いられる可視LEDの発光波長と明るさ(光度)について示している。LEDの分野では、この1~2年の間に結晶成長法、材料などの研究開発においていくつもの大きな進展があった。ここでは、LEDを発光波長ごとに分類し、材料とその研究開発状況について述べる。

6-2-1. 赤色LED

赤色LEDは、ここ数年の間に光度が飛躍的に向上した。それは、直接遷移型の化合物半導体であるGaAlAsでダブルヘテロ構造を採用することでもたらされ、軸上光度3000mcd(at 20mA)を越える製品が登場している。GaAlAsは、通常、液相エピタキシャル成長法(LPE法)を用いて成長を行うが、Alの組成比を大きくしたGaAlAsで発光層をはさみこみ、さらに基板結晶にも発光ピーク波長(660nm)に対して透明なGaAlAsを用いて光の取り出し効率を向上させている。量産時の外部量子効率(発光効率)が15%と驚異的な値を実現しており、車載用ハイマウントストップランプや道路表示板、広告看板など屋外用の各種の表示素子への応用が拡大している。赤色LEDに用いられるその他の材料には、GaP、GaAsP化合物半導体材料があるが、GaAsP結晶は、GaAs_{1-x}P_xの成分比xを変えることで赤外(x=0)から緑色(x=1)まで発光する。GaAsPは基板結晶上に気相エピタキシャル(VPE)結晶成長法でn形GaAsPを成長し、その後Znの拡散で発光用p-n接合を形成する。GaPを基板結晶に用いると、x=0.55のGaAs_{1-x}P_x結晶に形成される発光用p-n接合の発光ピーク波長650nmは基板による吸収が少なく、高発光効率を達成している。量産時0.2%、最高0.5%の発光効率を得ている。

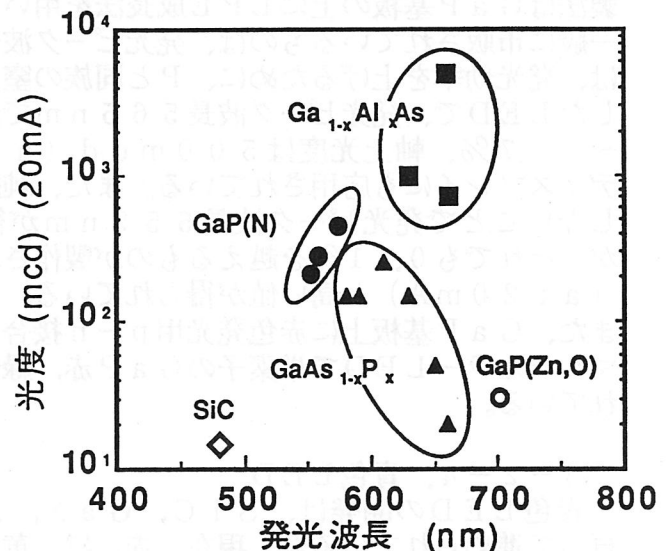


図1 各種LEDの発光波長と光度

GaP赤色LEDは液相エピタキシャル(LPE)結晶成長法を用いて発光用p-n接合を形成する。基板結晶にはGaPを用いる。発光効率は量産時5%、最高15%が得られている。このLEDはZn-O最近接対が発光中心となる。低電流密度領域で高発光効率が得られることから、表示素子はポータブルタイプを始め、屋内用各種機器への利用が多い。GaAsPならびにGaP赤色LEDは、発光効率の向上に関しては発光層の結晶性向上やドーピング技術の改良によって、年々わずかに改良されているようである。両者の量産技術は進んでおり、低価格化が実現されている。

6-2-2. 橙, 黄色LED

橙, 黄色LEDには、前述の赤色LED材料のGaAsPを用いて発光を短波長化したものと、近年開発されたInGaAlP混晶材料によるものがある。GaAsPの橙, 黄色LEDは、基板にGaPを用い、VPE成長法によって発光用p-n接合を形成する。GaAs_{1-x}P_xの組成比xを赤色LEDより大きく取ることによって短波長化し、またこれにともなってエネルギー帯構造が間接遷移型になるデメリットを改善するために、発光中心として窒素を 10^{18} cm^{-3} 程度混入して発光効率の向上が図られている。xの値が0.65ならびに0.75では、それぞれ発光ピーク波長が630nmおよび610nmの橙色LEDとなる。発光効率は0.3~0.6%程度である。一方、さらにxを大きくすることで黄色LEDとして、発光ピーク波長590nm(x=0.85)および583nm(x=0.90)が得られるが、発光効率は0.1~0.2%程度と減少する。

一方、InGaAlPは直接遷移型材料として橙, 黄色LEDの輝度の向上が可能である。特にInPとGa_{1-x}Al_xPの混晶によるIn_{0.5}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.5}Pは、GaAs基板と格子整合し、混晶比xが0から0.6程度(発光波長660nmから555nm)では直接遷移型になるため、赤色から緑色領域までの広い範囲で高発光効率を得られる可能性がある。このInGaAlPを用いて高輝度(光度1000mcd以上)橙色(約620nm)のLEDの開発が行われている¹⁾。結晶成長は減圧MOCVD(metal organic chemical vapor deposition)により、ダブル・ヘテロ構造を設けている。また、内部発光効率を上げるために、不純物濃度の最適化とオフアングル基板を採用している。

黄色LED(波長約590nm)に対しても、研究段階で橙色LEDと同程度の輝度(1000mcd以上)が得られている²⁾。InGaAlPを使えば、黄緑色, 緑色といったさらに短い波長でも、光度を高められる可能性があるため、この可視LEDに寄せられる期待は大きい。

6-2-3. 緑色LEDとマルチカラーLED

緑色LEDも近年発光効率が著しく向上している。緑色LEDの材料はGaPであり、製法はGaP基板の上にLPE成長法を用いてp-n接合を形成する。緑色LEDとして一般に市販されているものは、発光ピーク波長で大きく2つに分けることができる。一つは、発光効率を上げるために、Pと同族の窒素を等電子価トラップとして成長層中に添加したLEDで、発光ピーク波長565nmで幾分黄色味を帯びている。発光効率は0.4~0.7%、軸上光度は500mcd(at 20mA)程度まで向上しており、屋外用ディスプレイにも応用されている。また、純緑色のLED製作には、成長時に窒素を添加しないことで発光ピーク波長555nmが得られている。発光効率は前者よりも落ちるが、それでも0.1%を越えるものが製作されるようになり、軸上光度では200mcd(at 20mA)と高い値が得られている。

また、GaP基板上に赤色発光用p-n接合と緑色発光用p-n接合とを積層したGaPマルチカラーLEDで単素子のGaP赤, 緑色LEDと同等の発光効率のものが実用化されている。

6-2-4. 青色LED

青色LEDの開発は、SiC, GaN, ZnS, ZnSeなどの材料に対して長年に亘って進められているが、現在、赤, 橙, 黄, 緑色LEDに匹敵する明るさの青色LEDは量産化されていない。それは、それぞれの材料が①p形結晶の実現が困難、②大型基板結晶が得られない、③良質の結晶を持つp-n接合が得にくい、などの問題を抱え一長一

短があったからである。しかし、ここ1～2年の間に、それぞれの材料に大きな技術的進展が見られ、青色LEDの行方については予断を許さない状態にある。ここでは、これらの材料の研究開発動向について紹介する。

6-2-4-1. SiC

SiCは、現在市販されている青色LEDの材料として唯一のものであるが、それは他の材料と異なり、p形結晶が比較的容易に得られるからである。LEDの発光輝度は赤、緑色LEDなどと比べると、まだまだ充分ではないが、成長技術の改良によって、着実に発光効率の向上が見られている。LEDの製法としては基板に6H形SiCを用いたLP E法が主流であるが、オフアングル基板を用いて1700℃前後の高温で成長するp-n接合の結晶性を向上させ、Alアクセプタと窒素ドナによるD-Aペア発光中心を制御性良く形成することで発光効率を飛躍的に改善し、23mcd (at 20mA)の高輝度を達成している³⁾。また、米国ではCVD法によるエピタキシャル成長法で、光度20mcdのLEDの量産を開始したとの発表もなされている。SiCは間接遷移型半導体であるので、その発光輝度の限界がどの程度のところにあるか充分解明されていないが、数10mcdの実用的明るさには達すると考えられている。またSiCの大型基板結晶成長については、昇華法を用いて2300℃以上の高温で、高温部に原料SiC多結晶、低温部に種結晶を設置して高さ20mmのSiC結晶育成に成功した報告がある⁴⁾。最近、真空昇華法を種々改良して、直径34mm、高さ14mmの大型n形結晶の育成もなされ⁵⁾、n、pいずれの伝導形の制御も可能であることから、量産化へのめどが得られた。SiC青色LEDは、今後、発光効率の向上、製法の改良により低価格化へ向けてさらに急速に進むものと予想される。

6-2-4-2. GaN

GaNは直接遷移型のエネルギー帯構造を持つため、発光効率の面では有利であるが、この材料も①大型基板結晶が得にくい、②p形結晶が困難などの問題点を抱えていた。そのためVPE結晶成長法を用い、サファイア基板結晶上にn形GaNを成長し、その結晶成長面にZn拡散でI層を形成してMIS構造の青色LEDとし、発光効率0.03%、電流10mAでの軸上光度10mcdが比較的容易に得られた⁶⁾。しかし、再現性などに問題があることから、(1)高輝度化のための結晶性の向上、(2)動作電圧の低減などをふまえ、新しい結晶成長法を用いて製法の見直しがなされた。この結果、MOVPE法においてサファイアを基板として窒化アルミニウム(AlN)薄膜を低温堆積して緩衝層とすることにより、比較的高品質な単結晶を得ることが可能となった。これにより、MIS構造のため動作電圧が11Vとかなり高い(順電流10mA時)が、軸上最大光度70mcd(寿命2000時間以上)の報告がなされている⁷⁾。さらに、つい最近になって、電子線照射による処理が、アクセプタ不純物の活性化に有効であることが判明し、明確なp形伝導性を示すGaN単結晶が初めて実現している⁸⁾。これは、マグネシウム(Mg)をドーピングした高抵抗GaN(GaN:Mg)に電子線を照射することで電気的特性が変化し、比抵抗数十 $\Omega \cdot \text{cm}$ 程度のp型結晶となるものである。さらにこれを利用したp-n接合の形成も発表されている。

6-2-4-3. ZnSe, ZnS

II-VI族化合物半導体であるZnSe, ZnSはそれぞれ室温で2.7eV及び3.7eVのバンドギャップを有し、直接遷移型の材料であるため高効率の青色LED材料として有望であり、近年著しい進歩がみられる。結晶成長法としてはMBE, MOCVD法が中心であり、低温成長とソースの高純度化により良質の結晶が得られるようになり、さらに、不純物のドーピング制御が可能になったことによりLEDの実用化へ一歩近づいた(表1, 表2)。

ZnSeのn形ドーパントは、Ga, Al, Cl, Iであるが、MBE法ではClが、MOCVD法ではIが制御性がよく、高濃度のドーピングが可能である^{9, 10)}。ZnSのn形ドーピングはMBE法でのAlドーピング¹¹⁾、MOCVD法でのIドーピング¹²⁾により低抵抗化が行われている。また、ZnSeへのp型ドーパントとしては、I族元素の

表1 ZnSe, ZnSでのn型ドーピング

材 料	ドーパント	成長法	キャリア濃度(cm^{-3})	文 献
ZnSe	C1	MBE	$1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{19}$	9)
	I	MOCVD	$5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{19}$	10)
ZnS	A1	MBE	3.9×10^{19}	11)
	I	MOCVD	6×10^{19}	12)

表2 ZnSe, ZnSでのp型ドーピング

材 料	ドーパント	成長法	キャリア濃度(cm^{-3})	文 献
ZnSe	Li	MBE	$10^{15} \sim 8 \times 10^{16}$	13)
	Li	MOCVD	$4 \times 10^{16} \sim 4 \times 10^{17}$	14)
	N	MBE	3.4×10^{17}	15)
ZnS	Li	MOCVD	7.5×10^{15}	16)
	P	MBE	$\sim 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$	17)

Li, Na, V族元素のN, P, As, Sbが検討されている。MBE, MOCVD法によるLiドーピングが報告されているが、結晶中での安定性が解明されていない^{13, 14)}。最近MBE法で、N₂ラジカルビームを用いたNのドーピングにより、キャリア濃度 $10^{17} \sim 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp形が報告され、p形ドーパントとしてのNの有効性が確認された¹⁵⁾。ZnSのp形ドーピングでは、MOCVD法でのLiドーピング¹⁶⁾、MBE法でのPドーピング¹⁷⁾が報告されているが、まだ低抵抗のp形は実現されていない。

LEDの作製では、MBE法によるZnSe系のp-n接合が複数の研究機関から報告されている¹⁷⁾。室温での波長は464nmであり、SiCやGaNより短い純粋の青色LEDが可能である。ZnSeS, ZnSを用いればさらに短い波長が可能となる。外部量子効率約1%であり、従来の材料に比べ高い値である。ZnSeでは、GaAs基板を使用することにより、低コスト化も可能である。今後、高輝度化と信頼性の確認が必要である。さらにLDも試作されており、室温パルス発振が達成されている¹⁷⁾。近い将来II-VI族化合物半導体による発光デバイスの実用化が図られるであろう。

6-2-5. その他の材料

禁制帯巾の大きさが6.6eV以上で、間接遷移型エネルギー帯構造を持つとされるc-BNによる紫外LEDが開発されている^{18, 19, 20, 21)}。結晶は温度差溶媒法により、5万気圧、1700°Cという超高压高温中で、ベリリウムドープp形BN結晶を得、その上にシリコンドープn型BN結晶をエピタキシャル成長させて発光用p-n接合が得られる。発光スペクトルは215nmから600nmまでの幅をもっており、発光ピーク波長は340nmの紫外線である。

6-2-6. フルカラーLED

フルカラーLEDによるディスプレイの試みとしては、これまでSiCあるいはGaN青色LEDと他の材料による赤、緑色LEDを組合せたハイブリッド形のフルカラーLEDランプの報告がある^{22, 23)}。最近のものでは前述した高効率のSiCの青色LEDと、GaPの赤色および緑色LEDをランプ化し、純白色発光を含む多色発光が可能な、フルカラーLEDの製作が行われた²⁴⁾。図2は、フルカラーLEDの構造、図3はCIE色度図上での発光色度座標を示したものである。同時に、画像表示も可能な32×48ドットの大型フルカラーLEDディスプレイも開発されている²⁵⁾(写真1)。

6-3. 平面表示素子の現状と今後

LEDを平面表示素子に用いる最大の利点は、(1)固体素子であるため信頼性が非常に高く、白熱ランプを用いたディスプレイに比べ電力消費量も小さいこと(2)光の3原色のうち赤、緑色については超高輝度化を達成したことで多色、大型のディスプレイなど多岐に亘る用途が考えられるようになったことである。LED平面表示素子を分類するとモノリシック型とハイブリッド型さらにドットマトリックス型とに分けることができる。

モノリシック型LED表示素子は、同一基板結晶上に発光点をマトリックス状に形成して平面表示素子とする²⁶⁾。この表示素子の長所は高密度絵素で超小型化が実現できることにあり、今後、新しい用途が期待できる平面表示素子である。

一方、ハイブリッド型はモノリシック型と反対に、組立て基板上に個々のLEDチップをマトリックス状に配列し、表示素子とするもので、通常3000~4000絵素を1つのモジュールとし、実装用基板の裏面に駆動回路を設置して、タイル状に配列することで超大型画面として利用されている。1チップで赤~緑まで発光が可能なGaPマルチカラーLEDチップを、 $96 \times 64 = 6144$ 絵素配列した平面表示素子も実用化が進んだ²⁷⁾。

最近では、屋内および屋外での大型ディスプレイ用としては、LEDのドットマトリックスモジュールを使用したものが広く我々の目に止まるようになってきている。LEDのモジュール化は、パネルを縦横に密着して配列することで、任意の大きさのパネルを作ることができ、単色から赤、緑、橙色の3色さらには十数階調の表示がテレビ信号によっても駆動可能なように専用ICが組み込まれたものまであり、この分野におけるLED需要を加速させた。

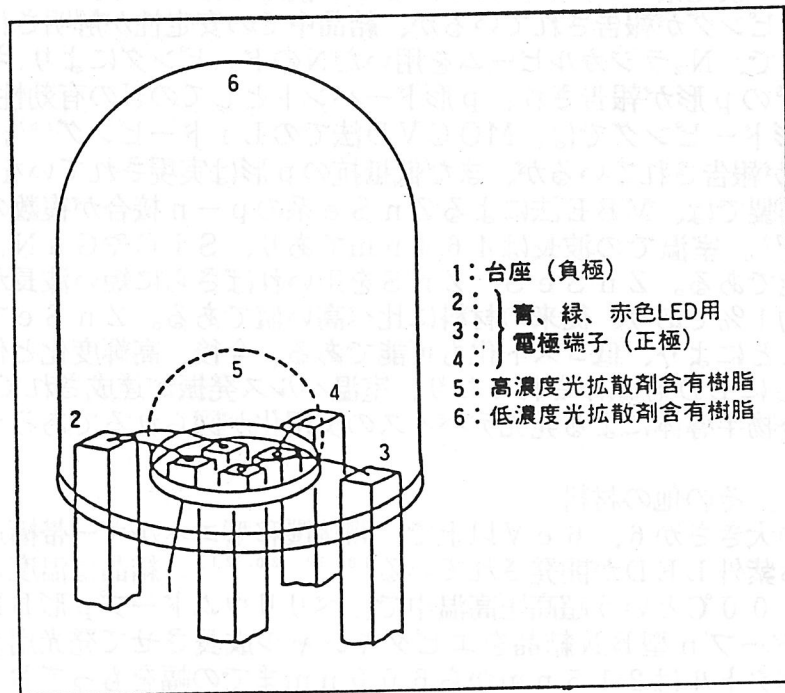


図2 フルカラーLEDランプの構造

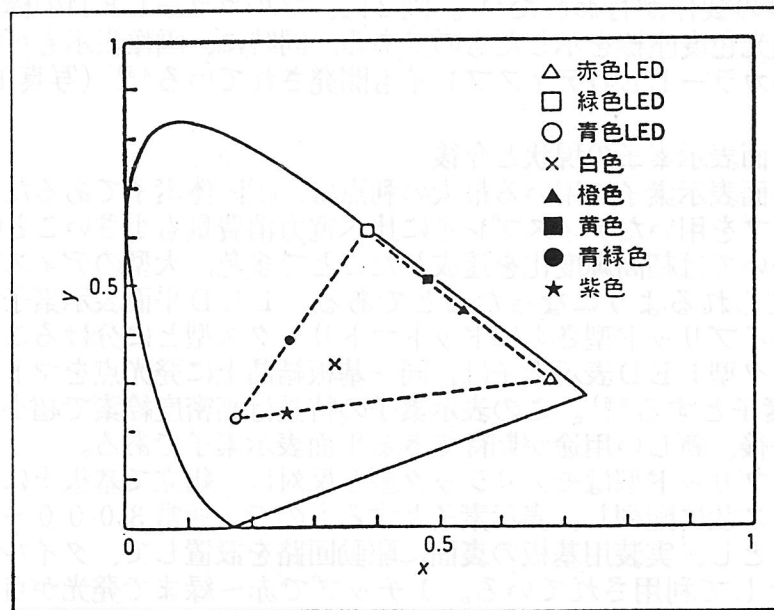


図3 CIE色度図に示した各発光色の色度座標

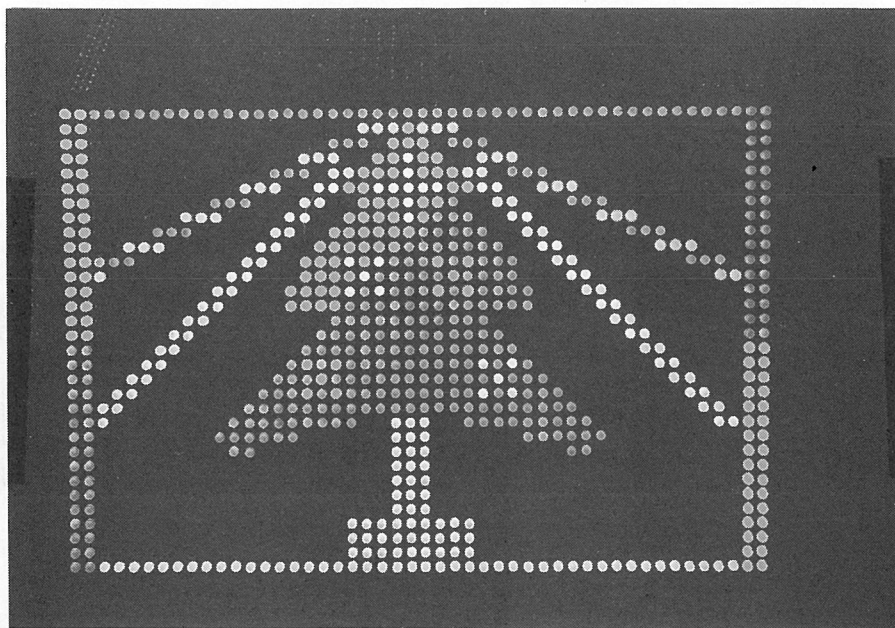
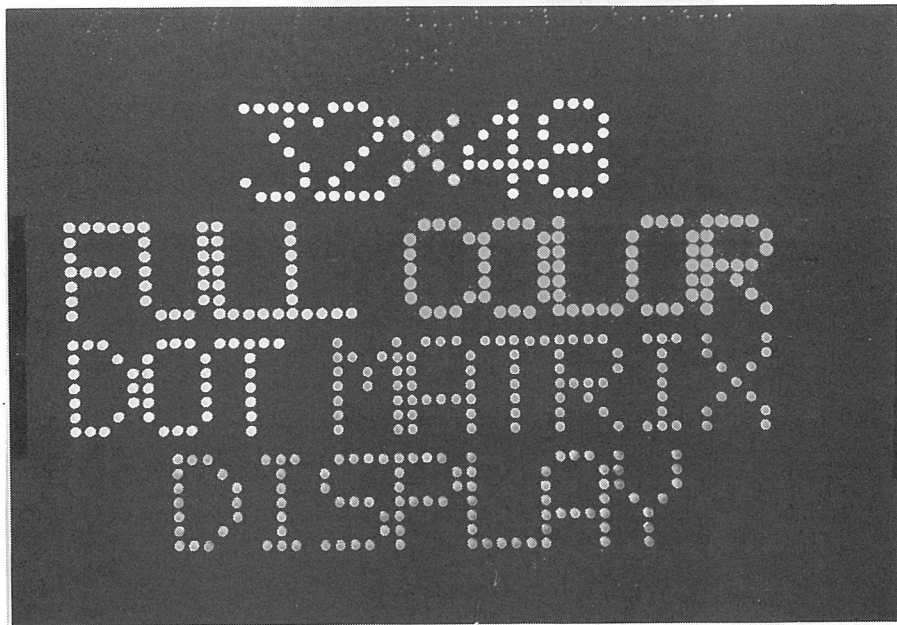


写真1 フルカラーLED表示



写真2 マルチカラーLED広告表示ディスプレイ

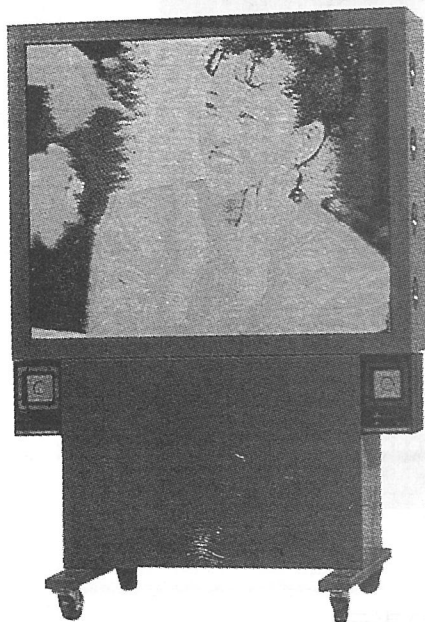


写真3 マルチカラーLEDテレビ

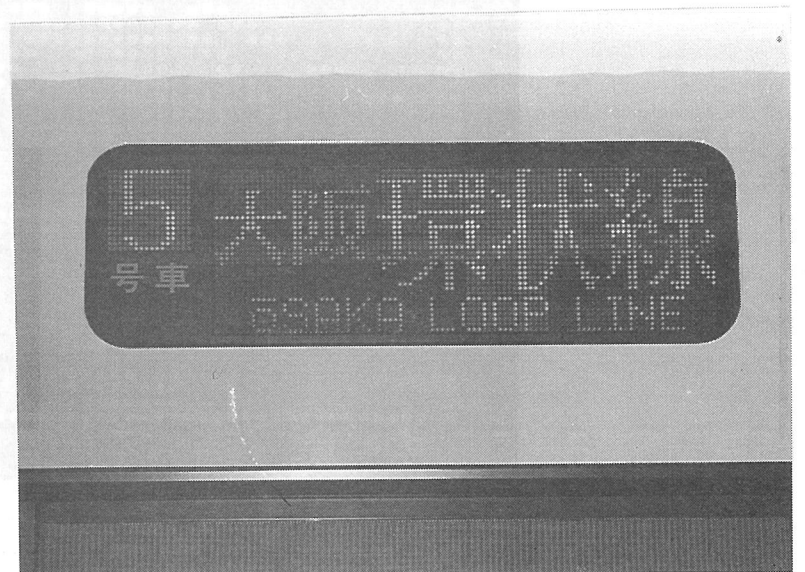


写真4 マルチカラーLED車載用行先表示



▲名古屋駅前太閤口 (8m×6m・256ドット×192ドット)

写真5 マルチカラーLED超大型ディスプレイ

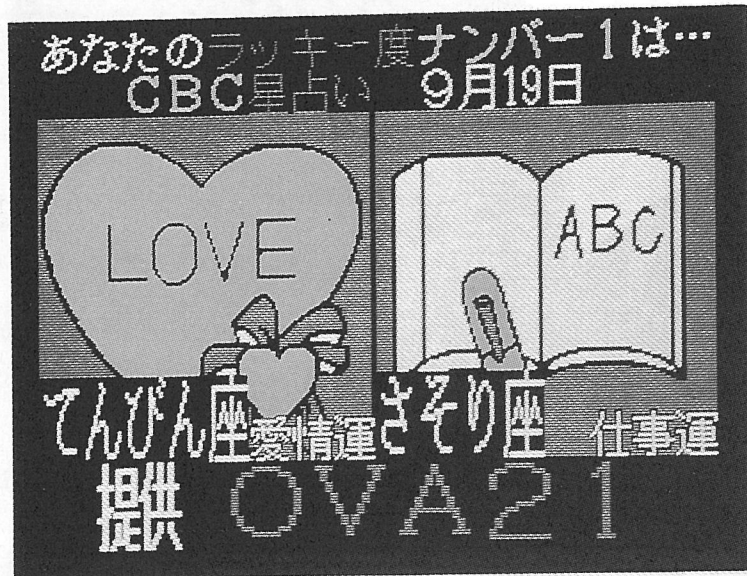


写真6 マルチカラーLED超大型ディスプレイ

単色のものでは、屋外でのニュース、広告表示ディスプレイの例を写真2に示す。これは、LED集合型ランプ方式で、数個のLEDランプで1画素を構成し、 $16 \times 16 = 256$ ドットで大きな1文字を表示している。写真3は、大型テレビの実用化に成功した例である²⁸⁾。これは画面サイズが48インチで絵素に上記と同様の高輝度の赤と緑色LEDを使用し、48,080絵素で構成されており、赤、緑、橙、黒色の4色表示が可能である。写真4は、電車の種類、行き先などを表示している例で、赤、緑の2色LEDを用いている。さらにごく最近の例では、名古屋駅前のビル壁面にビデオ画像も表示可能な、 $8\text{m} \times 6\text{m} \cdot 256\text{ドット} \times 192\text{ドット}$ の超大型ディスプレイが出現するに至っている(写真5, 6)。

LEDを用いた屋外用ディスプレイは、信頼性などの面ではディスプレイそのものの歴史がまだ浅いために、十分な技術的蓄積がなされていないが、ディスプレイの大型化と高機能化とともに今後一層進展すると考えられる。

6-4. おわりに

現在LED分野において、材料、結晶成長法などの研究開発により、GaP緑色LEDやGaAlAs赤色LEDでは超高輝度化が進み、平面表示素子への応用がますます拡大している。今後モノリシック型では、車の表示などへの利用が急速に進むものと予想される。ハイブリッド型では屋外での交通案内板、広告板などと新しい分野への用途の広がりを見せている。さらに青色LEDでは、SiC青色LEDの実用化が進むと共に、さらに高輝度化、高信頼性化も着実に進んでいる。また、CdZnSeなど新材料の研究も特に活発になってきている。今後の発展に期待したいものである。

(新名達彦)

- 1) H. Sugawara, M. Ishikawa and G. Hatakoshi : Extended ABstr. 22nd Conf. SSDM. (1990) p.1175
- 2) M.G. Craford and V.M. Robbins : Appl. Phys. Lett. 57,27(1990) p.2937
- 3) Y. Matsushita, T. Nakata, T. Uetani, T. Yamaguchi and T. Niina : Jpn. J. Appl. Phys. 29,2(1990)L343
- 4) G. Ziegler, P. Lanig, D. Theis and C. Weyrich : IEEE Trans. Electron Devices ED-30, 277(1983).
- 5) K. Koga, T. Nakata and T. Niina : Extended Abstr. 17th Conf. DSSM. (1985) p.249
- 6) 日経エレクトロニクス技術速報278, No. 1, 104(1981).
- 7) 赤崎勇, 橋本雅文, 真部勝英 他 : 応用物理学会春季予稿集(1991)p.336~338
- 8) H. Amano, M. Kito, K. Hiramatsu and I. Akasaki : Jpn. J. Appl. Phys. 28 (1989)L2112
- 9) H. Cheng, J. M. DePuydt, J. E. Potts and M. A. Haase: J. Cryst. Growth 95, 512(1989)
- 10) N. Shibata, A. Ohki and S. Zembutsu: Jpn. J. Appl. Phys. 27, L251 (1988)
- 11) M. Kitagawa, Y. Tomomura, A. Suzuki and S. Nakajima: J. Cryst. Growth 95, 509 (1989)
- 12) 川津善平, 川上養一, 田口常正, 平木昭夫 : 第48回応用物理学会講演予稿集(1987) P146
- 13) J. M. DePuydt, M. A. Haase, H. Cheng and J. E. Potts: Appl. Phys. Lett. 55, 1103 (1989)
- 14) H. Mitsuhashi, A. Yahata, T. Uemoto, A. Kamata, M. Okajima, K. Hirahara and T. Beppu: J. Cryst. Growth 101, 818 (1990)
- 15) R. M. Park, M. B. Troffer, C. M. Rouleau, J. M. De Puydt and M. A. Haase: Appl. Phys. Lett. 57, 2127 (1990)
- 16) I. Mitsuishi, J. Shibatani, M. H. Kao, M. Yamamoto, J. Yoshino and H. Kukimoto: Jpn. J. Appl. Phys. 29, L733 (1990)
- 17) 5th International Conference on II-VI Compounds collected abstracts, Sep. 8-13, 1991
- 18) 三島, 江良, 田中, 山岡 : 応用物理学会春季予稿集 (1988) p.916
- 19) 江良, 三島, 和田, 田中, 山岡 : 応用物理学会春季予稿集(1988) p.916
- 20) 日経産業新聞 (1988.3.22)
- 21) 電波新聞ハイテクノロジー (1988.1.7)
- 22) 新名 : 電子材料, 21,3(1982)p.155
- 23) M. Hashimoto, I. Akasaki and N. Sawaki : Proceedings of Japan Display '83 (1983)PD.1
- 24) Y. Matsushita, T. Nakata, Y. Ueda, T. Uetani, Y. Fujikawa, K. Koga and T. Niina : Proceedings of Japan Display '89 (1989)p.696
- 25) 古賀和幸, 松下保彦, 上田康博, 石井宏明, 山口隆夫 : MICROOPTICS NEWS (微小光学研究グループ機関誌) 8,4(1990)p.63
- 26) H. Yamane, M. Yamane, T. Ishii, T. Yamazawa and T. Niina : Proceedings of Japan Display '86 (1986) p.29
- 27) T. Niina, S. Kuroda, T. Yamaguchi, H. Yonei, Y. Tomida and K. Yagi : Proceedings of the SID, 23.73 (1982)
- 28) 電波新聞ディスプレイ総合特集 (1988.5.27)

7. ELディスプレイ

7.1 まえがき

情報化社会の進展に伴い、液晶ディスプレイ (LCD) ・ ELディスプレイ (ELD) ・ プラズマディスプレイ (PDP) ・ 蛍光表示デバイス (VFD) といった薄型・軽量の平面パネルディスプレイが要望され、現状では LCD が先行した形で精力的な研究開発が進められている。

その中で、ELは表1に示す様に、無機ELと有機ELとに大きく分類すると出来、更に無機ELは薄膜ELと粉末ELとに形状より分類することが出来る。有機ELは①直流低電圧駆動で発光する②カラー化が比較的容易であるという特長を有しているが、信頼性に大きな課題を抱えており、基礎研究レベルにとどまっているのが現状である。粉末ELはLCDのバックライトとして主として使用されているが、情報ディスプレイとしては殆ど実用化されていないのが現状である。薄膜ELは直流駆動型と交流駆動型とがあるが、信頼性の高い交流駆動型薄膜ELが情報ディスプレイとして実用化されている。又、粉末と薄膜とを組み合わせた混成ELも直流駆動型情報ディスプレイとして研究開発されている。

表1 ELの分類と開発状況

EL	無機EL	薄膜EL	直流駆動型	— 研究報告は少ない
			交流駆動型	— 情報ディスプレイとして進展
		粉末EL	直流駆動型	— 研究報告は少ない
			交流駆動型	— バックライトとして使用
		混成EL	直流駆動型	— 情報ディスプレイとして進展
	有機EL		直流駆動	— 盛んに基礎研究がされている

以上の様に多種多様のEL研究開発が進められているが、この章では、情報ディスプレイとしての開発が進んでいる交流駆動型の薄膜ELディスプレイの動向を中心として調査報告する。

7.2 薄膜ELの特長

交流駆動型の薄膜ELディスプレイ (TFEL) は図1に示す様な基本構造をとり、ガラス基板上に透明電極、下部絶縁層、発光層、上部絶縁層、上部電極と順次積層して作製され、デバイス部分の厚さは約1ミクロンと非常に薄いものである。

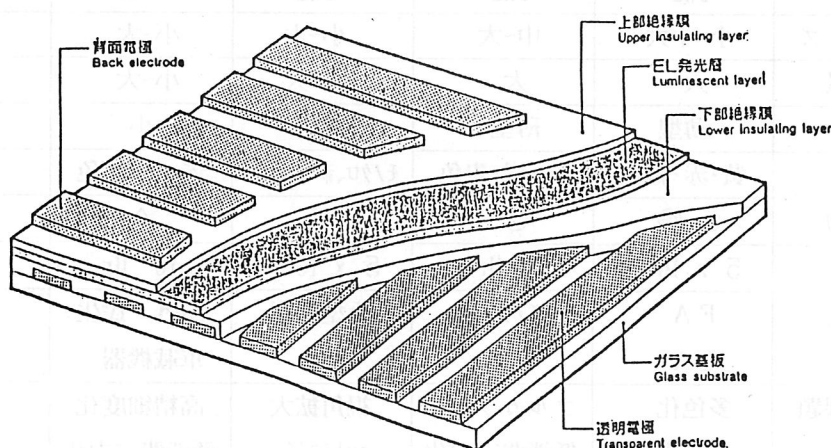


図1 薄膜ELディスプレイ (TFEL) の構造

この様な TFEL は、平面パネルディスプレイの中で、表2で比較する様に、数多くの優れた特長を有している。

- 1) オールソリッドのディスプレイであり、液体及びガスを使用するディスプレイとは異なり、基本的には一枚ガラスのディスプレイである。
- 2) 従って最も薄型軽量になり得るディスプレイである。
- 3) 又、オールソリッドである為、動作温度範囲が広くそして長寿命であるという特長を有する。
- 4) 自ら発光するディスプレイである。
- 5) 表示の視野角度依存性が殆どない。
- 6) 応答時間が約1 μ sec. と非常に速い。

しかし、以上の様に多くの特長を持っているにも拘わらず、TFEL の用途拡大が進んでいない大きな原因としては

- 1) 実用化されている TFEL の発光色は黄橙色に限られており、TFEL のカラー化が遅れている。特に青色EL材料の開発が進んでいないのが大きな要因として挙げられる。
- 2) 実用化されている黄橙色の TFEL についても低電圧化・低消費電力化等の高性能化の開発が更に必要である。

以上の事が挙げられる。現在進められている TFEL の研究開発テーマも上記2つの課題に大きく分類することが出来る。

表2 各種平面ディスプレイの比較

品種	EL	PDP	LCD	LED	CRT
項目					
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 μ s	1~20 μ s	Duty 100~400ms TFT 30~50ms	10 μ s	1 μ s
視野角	◎	○	△~○	○	○
表示品位	◎	○	Duty○ TFT◎	○	◎
温度範囲	-40~85℃	-40~70℃	-20~85℃	-40~85℃	-20~70℃
動作電圧	200V	120~300V	1.5~15V	2V	10~30kV
メモリー	可能	可能	可能	なし	なし
表示サイズ	小~中大	中~大	小~大	小~大	小~大
表示容量	大	大	小~大	小~大	大
大きさ	薄型	薄型	薄型	小	大
発光色	黄・赤・緑色	赤・緑・青色	モノクロ・赤・緑・青	赤・黄・緑色	各色
消費電力	○~◎	○	◎	△	△
寿命	5 x 10 ⁴ hr	10 ⁴ hr	5 x 10 ⁴ hr	10 ⁵ hr	10 ⁴ hr
主な用途	FA OA	OA FA	小型機器 OA	屋外/民生 車載機器	民生 OA
今後の課題	多色化 低価格化	フルカラー化 低消費電力化	視角拡大 コントラスト	高精細度化 低消費電力化	平面化 軽量化

以下、上記2つの課題に対して進められている TFEL の開発状況について、最近の学会報告等の資料を取り纏めて報告する。

7. 3 TFELパネルのカラー化

現在進められている TFEL パネルをカラー化する方法としては、図2に示す様に大きく二つの方式に分類することが出来る。1つは、赤・緑等で発光する異なる材料の発光層を絶縁層上に並置して形成し、カラー化を実現する方法(併置方式)である¹⁻⁴⁾。他の方式は、幅広い発光スペクトルを有する単一の発光層より出る光を、カラーフィルターによって異なる色に分光してカラー化していく方式(カラーフィルター方式)である⁵⁻⁹⁾。又、併置方式とカラーフィルター方式とを併用した併用方式もある。その各々の方式を用いたカラー TFEL パネルの開発が盛んに行われている。

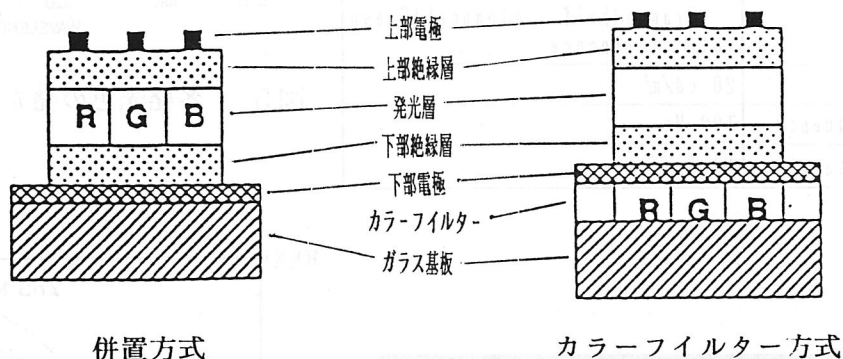


図2 カラー TFEL パネルの構造

以下、各方式を用いたカラー TFEL パネルの開発状況について述べる。

7. 3. 1 併置方式

図3は、緑色及び黄色で発光するマルチカラー TFEL パネルの断面構造図を示している^{10) 11)}。緑色及び黄色の発光層はそれぞれ ZnS:Tb, F 及び ZnS:Mn の蛍光体材料を用いており、それぞれドライエッチング法を用いて、ストライプ状にパターン形成されている。図4に示すマルチカラー TFEL パネルの特性仕様は表3に示す様であり、各々の発光色のスペクトル及び電圧-発光輝度特性を図5と図6に示す。

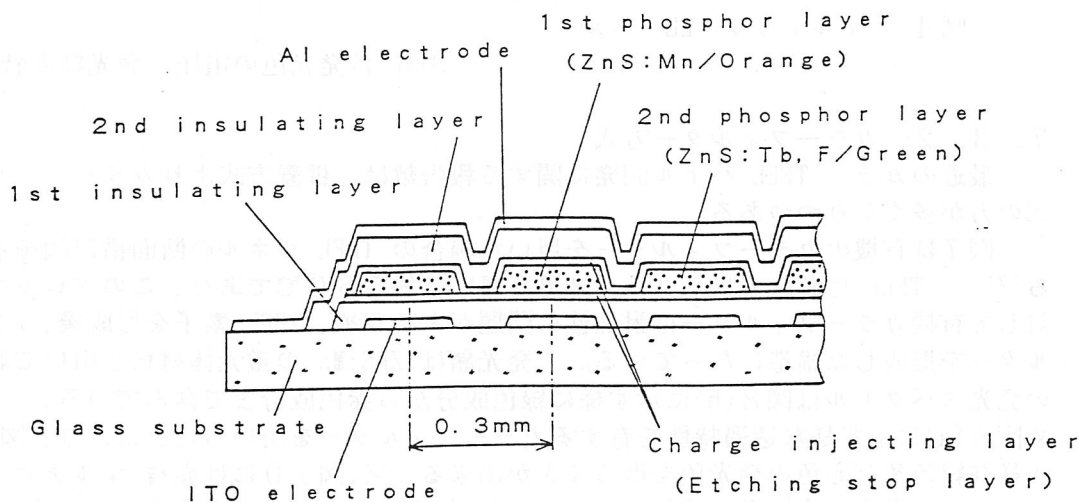


図3 マルチカラー TFEL パネルの断面図

表3 マルチカラー TFEL パネルの仕様

Items	Specifications
Display area	192mm X 120mm
Number of dots	Orange : 320 X 400 Green : 320 X 400
Pitch of pixel	0.6mm (column) , 0.3mm (row)
Color of display	6 colors 1: mono color Orange 2: mono color green 3: mono color Orange (half luminance) 4: mixed color by Orange+Green 5: mixed color by Orange (half luminance)+Green 6: no luminance
Luminance	20 cd/m ²
Field frequency	100 Hz
Power consumption	12 W (max)

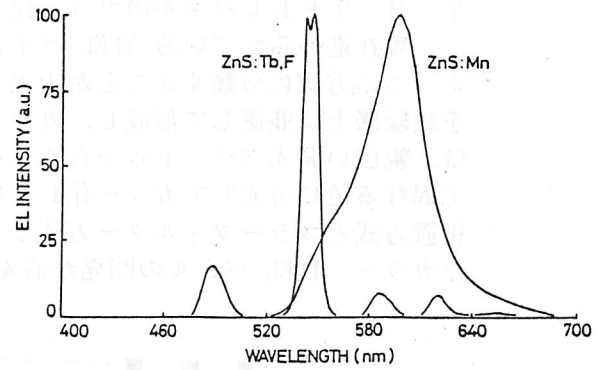


図5 各発光色の発光スペクトル

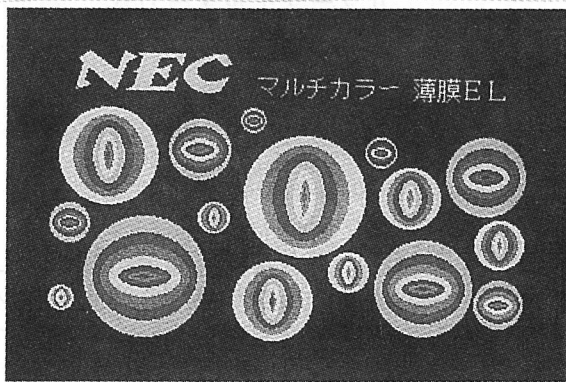


図4 マルチカラーELパネル

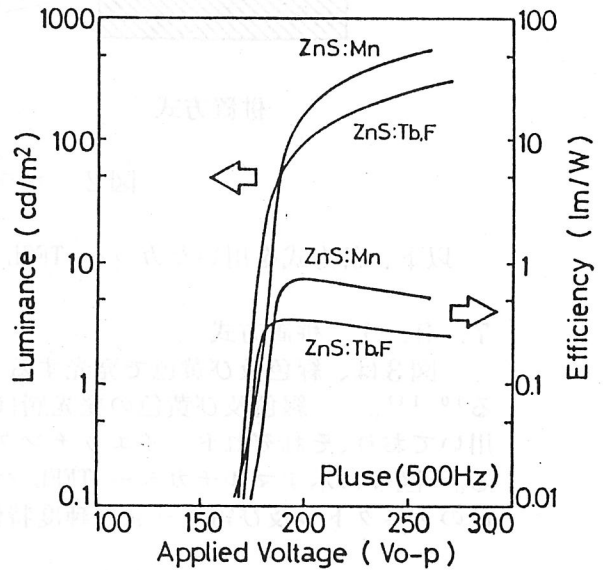


図6 各発光色の電圧-発光輝度特性

7. 3. 2 カラーフィルター方式

最近のカラー TFEL パネル開発に関する報告数は、併置方式よりカラーフィルター方式の方が多くなりつつある。

図7は有機のカラーフィルターを用いた場合の TFEL パネルの断面構造図を示している¹²⁾。TFEL 作製におけるプロセス最高温度は約550℃であり、このプロセス温度に対して有機カラーフィルターは耐熱性に問題があるため、TFEL 素子を形成後、カラーフィルターを形成した構造になっている。発光層は ZnS:Mn の蛍光体材料を用いており、その発光スペクトルは図8(b)に示す様に緑色成分から赤色成分まで含んでいる。そのため図8(a)に示す様な透過特性を有するカラーフィルターを用いることにより、図9に示す様な緑色及び赤色の発光色を得ることが出来る。又、図10には赤・緑マルチカラー TFE L パネルの発光絵素の発光状態を示している。更に図11には赤色光及び緑色光の電圧-発光輝度特性を示している。

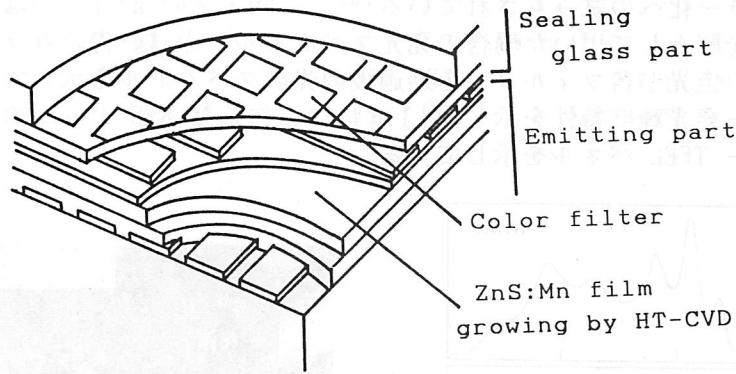


図7 マルチカラー TFEL パネルの断面構造図

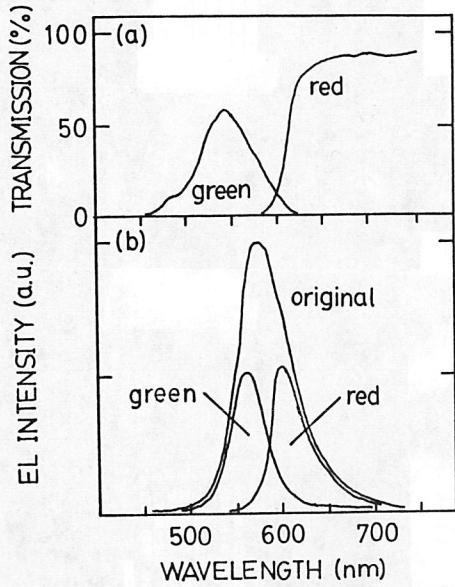


図8 (a) カラーフィルターの透過特性
(b) ZnS:Mnの光源及び赤・緑色のカラーフィルター透過後の光のスペクトル

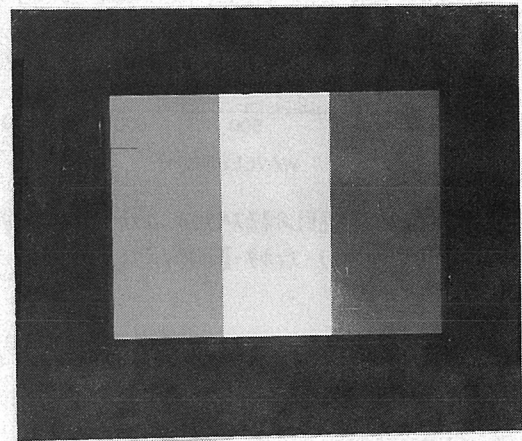


図9 カラーフィルターを透過した緑及び赤の発光色

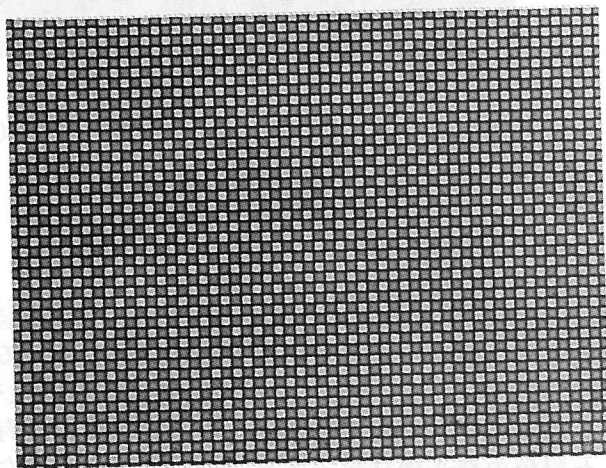


図10 赤・緑マルチカラー ELパネルの発光素子の発光状態 (分解能3本/4mm)

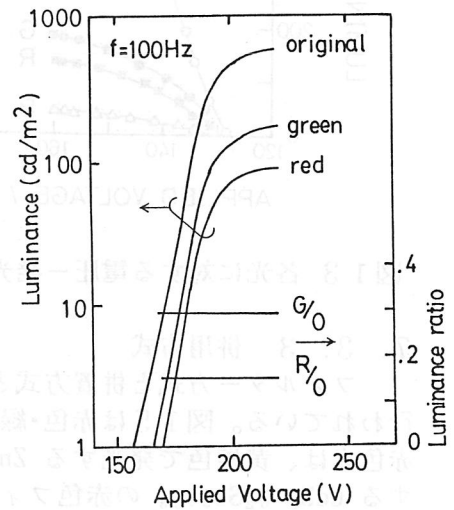


図11 赤色光及び緑色光の電圧-発光輝度特性

また、白色発光 TFEL パネルを作製し、カラーフィルターにより赤・緑・青色発光を得るといふフルカラー化への試みもされている¹³⁾。図12の a) b) c)はそれぞれ SrS:Ce, Eu, Kを白色発光層として用いた場合の発光スペクトル、赤・緑・青のカラーフィルターの透過特性、及び白色光が各フィルターを透過後の光のスペクトルを示している。図13は各々の光の電圧-発光輝度特性を示し、図14には試作した 8x8 ドットの白色 TFEL パネル及びフルカラー TFEL パネルを示している。

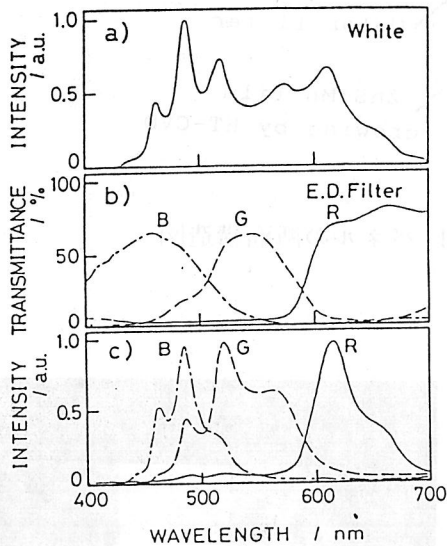


図12 a)白色ELの発光スペクトル b)カラーフィルターの透過特性
c)カラーフィルター透過後のスペクトル

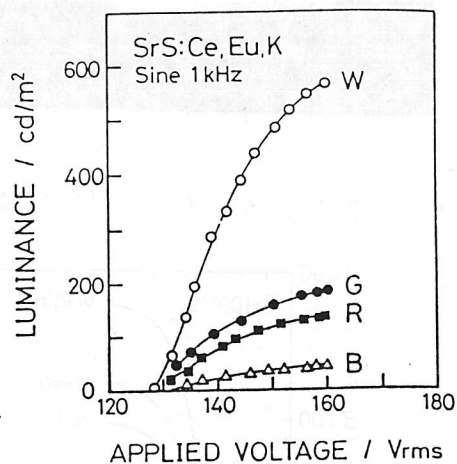


図13 各光に対する電圧-発光輝度特性

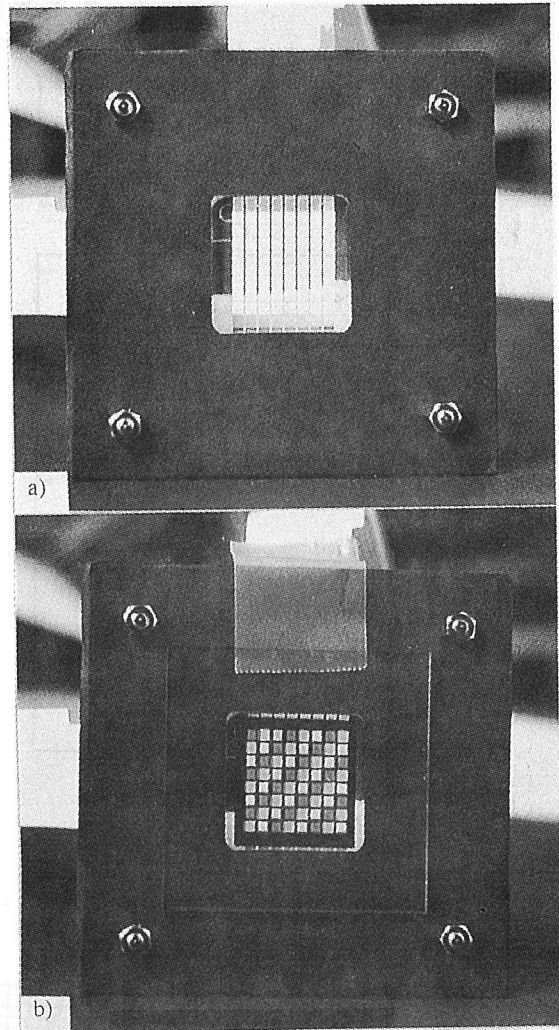


図14 8x8 ドットの白色 TFEL パネル(a)とフルカラー TFEL パネル(b)

7. 3. 3 併用方式

フィルター方式と併置方式とを組み合わせた併用方式のカラー TFEL パネルの開発も行われている。図15は赤色・緑色で発光する TFEL パネルの構造を示したものである¹⁴⁾。赤色光は、黄橙色で発光する ZnS:Mn 発光層より出た光を図16に示す様な透過特性を有する $CdS_{0.62}Se_{0.38}$ の赤色フィルターを透過させる事により図17のスペクトルを有する光を得ている。また、緑色光は併置した緑色の発光層材料である ZnS:Tb, F より出た光をフィルターを透過せずにそのまま取り出している。パネル作製で興味ある点は CdS_xSe_{1-x} の無機のカラーフィルターを使用している事である。このカラーフィルターは硫黄(S)

とセレン(Se)との配合比を変化させる事により、図18に示す様に赤色光の色調を変化させる事が可能である。又、図18に示す様に ZnS:Mn の発光層と組み合わせる事により、60 Hzの駆動周波数で約20ft-Lの赤色発光輝度が得られている点が注目される。

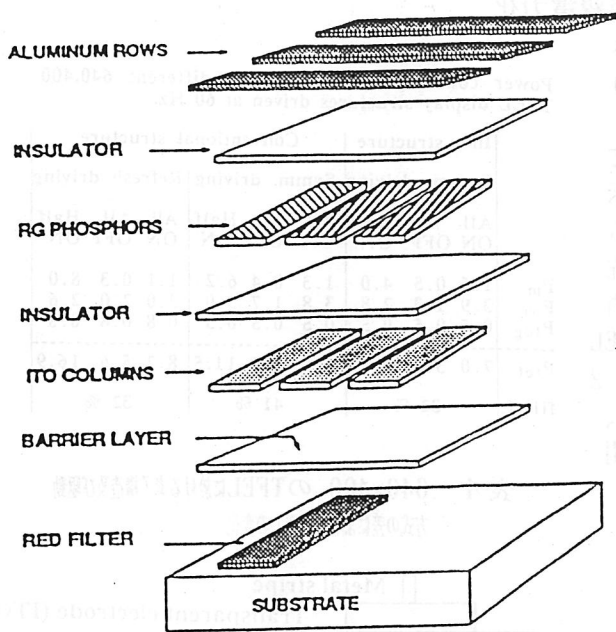


図15 赤・緑二色発光 TFEL パネルの構造

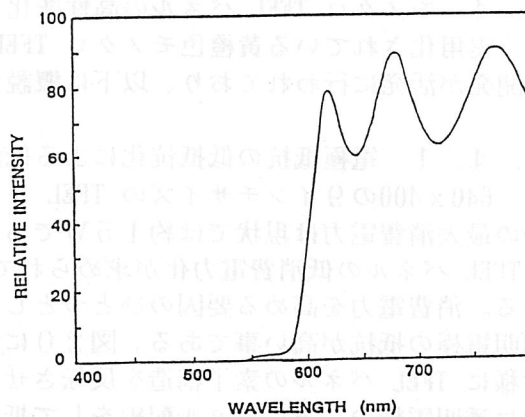


図16 $\text{CdS}_{0.62}\text{Se}_{0.38}$ の赤色フィルタ-の透過特性

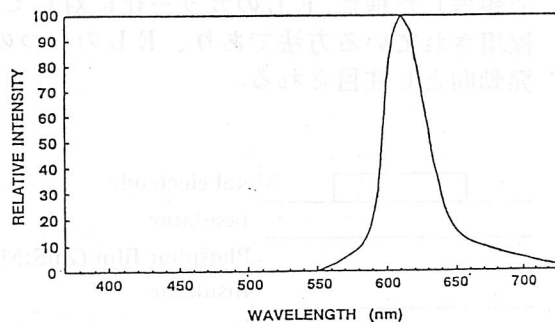


図17 赤色フィルタ-の透過後の発光スペクトル

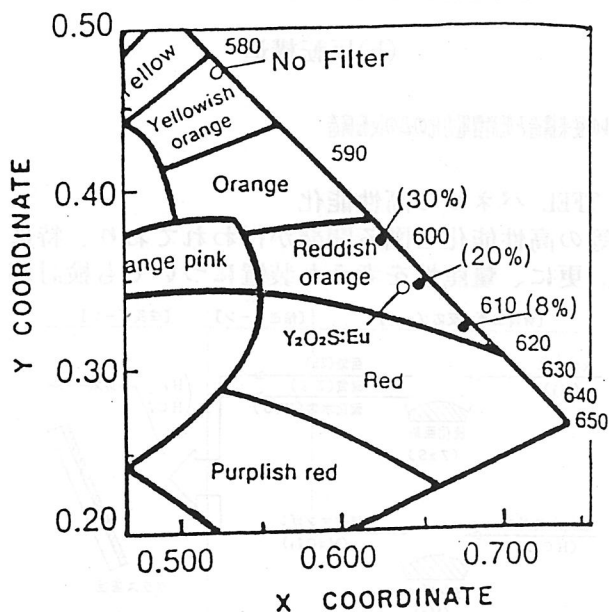


図18 $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ のXによる透過光の色調変化

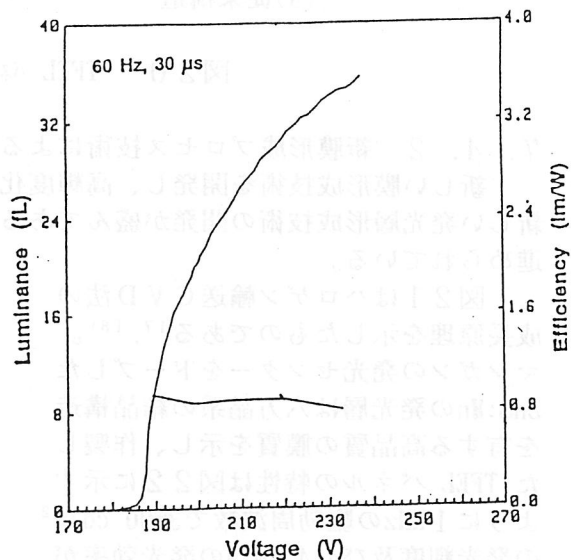


図19 赤色光の電圧-発光輝度特性

以上、カラー TFEL パネルの開発状況について概説した。フルカラー TFEL パネルの実現には更に時間を必要とすると思われるが、赤・緑のマルチカラー TFEL パネルについては大きな進展が見られており、実用化されるのも近いと思われる。

7. 4 モノクロ TFEL パネルの高性能化

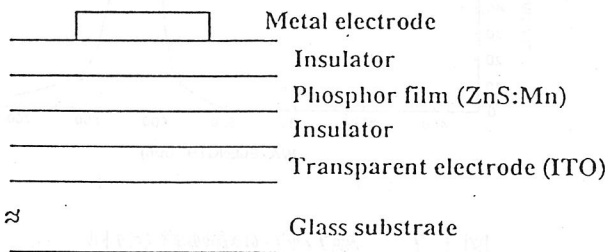
実用化されている黄橙色モノクロ TFEL パネルについても低消費電力化等の高性能化の開発が活発に行われており、以下に概説する。

7. 4. 1 電極抵抗の低抵抗化による低消費電力化

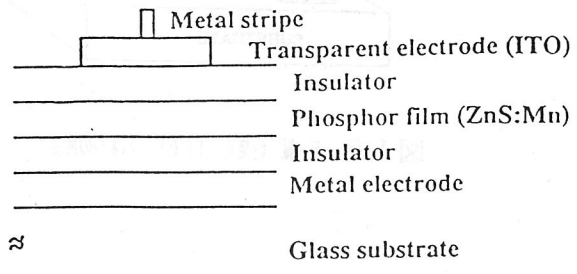
640x400の9インチサイズの TFEL パネルの最大消費電力は現状では約15Wであり、TFEL パネルの低消費電力化が求められている。消費電力を高める要因のひとつとして透明電極の抵抗が高い事である。図20に示す様に TFEL パネルの素子構造を反転させる共に透明電極の一部にメタル配線をして抵抗値を下げる事により、表4に示す様に最大消費電力を10W以下に低減している¹⁶⁾。TFEL パネルの素子構造を反転させる事は、節7.3.2で報告した様に、ELのカラー化に対しても、採用されている方法であり、ELの一つの開発動向とし注目される。

Power consumption in watts of different 640.400 TFEL display structures driven at 60 Hz.

	Inv. structure			Conventional structure					
	Symm. driving			Symm. driving			Refresh driving		
	All ON	All OFF	Half ON	All ON	All OFF	Half ON	All ON	All OFF	Half ON
P_m	1.5	0.5	4.0	1.3	0.4	6.2	1.1	0.3	8.0
P_{wr}	3.9	1.3	2.8	3.8	1.7	3.0	3.0	2.0	2.6
P_{log}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8
P_{tot}	7.0	3.5	9.0	6.6	3.7	11.5	8.2	5.6	16.9
fill-f.	32 %			41 %			32 %		



(a)従来構造



(b)反転構造

図20 TFEL パネルの従来構造と低消費電力化のための反転構造

7. 4. 2 新膜形成プロセス技術による TFEL パネルの高性能化

新しい膜形成技術を開発し、高輝度化等の高性能化を図る開発が行われており、特に新しい発光層形成技術の開発が盛んである。更に、量産性を考えた装置についても検討が進められている。

図21はハロゲン輸送CVD法の成長原理を示したものである^{17, 18)}。マンガンが発光センターをドーブした ZnS:Mnの発光層は六方晶系の結晶構造を有する高品質の膜質を示し、作製した TFEL パネルの特性は図22に示すように1KHzの駆動周波数で3500 cd/m²の発光輝度及び4.4 lm/wの発光効率が得られている。更に、この方法は極め

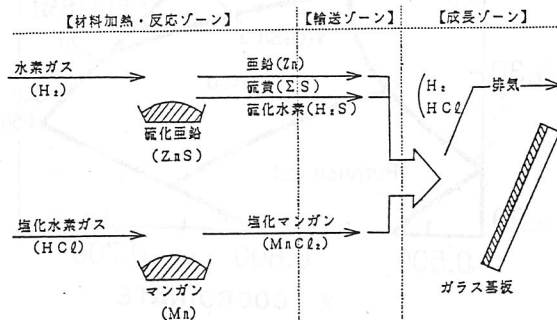


図21 ハロゲン輸送CVD法の成長原理

で高い膜厚の均一性(2%以内)を有しており、大面積化及び量産性に優れたものである。図23はハロゲン輸送CVD法で作製した16階調機能付き9インチサイズTFELパネル(640x400ドット)を示す。

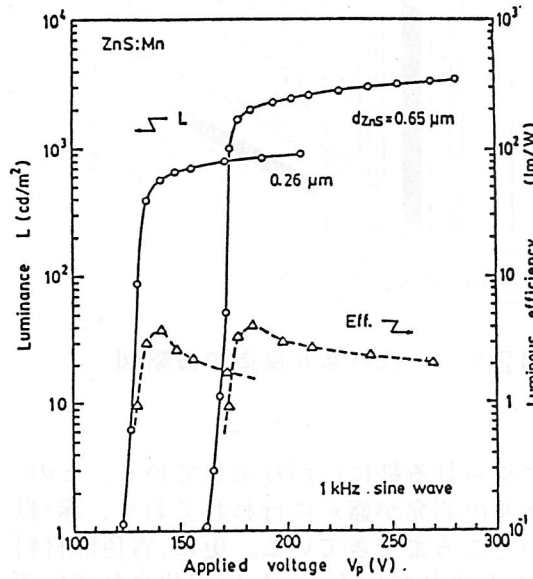


図22 ハライドCVD法で作製したパネルのEL特性

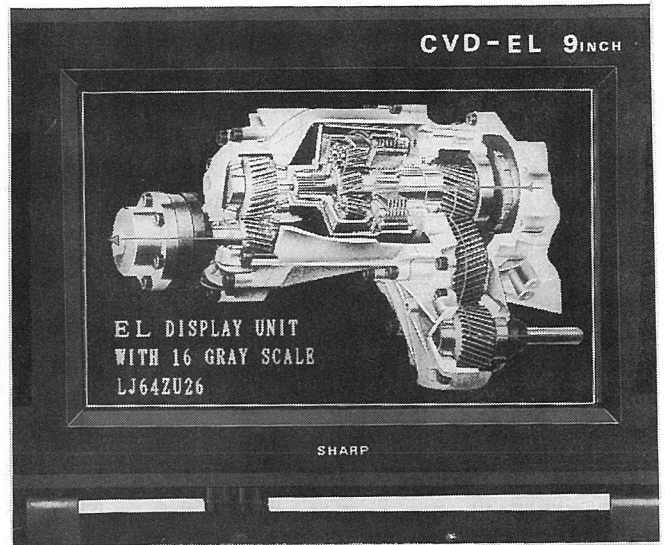


図23 16階調機能付き9インチサイズTFELパネル

図24は大面積用コンベヤ式MOCVD装置の概略図を示す¹⁹⁾。ガラス基板を横方向に搬送しながら、下から原料ガスを吹き付けて膜成長を行う。基板は赤外線ランプによって加熱している。搬送方向の膜厚の均一化は基板を一定速度で搬送することにより実現される。また、搬送方向と直角方向の膜厚の均一化はノズル形状の最適化により実現し、17x12cm内で±2.5%が達成されている。作製したパネルの電圧-発光輝度特性は図25に示す様であり、1 kHzの駆動周波数での発光輝度は2000 cd/m²以上の値を示し、良好な表示を得ている。

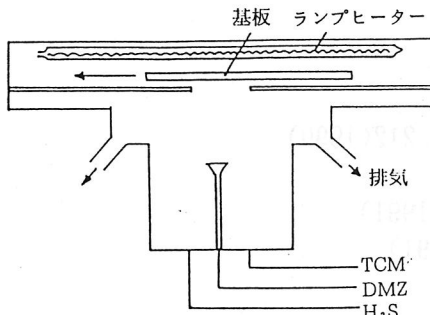


図24 コンベヤ式MOCVD装置の概略図

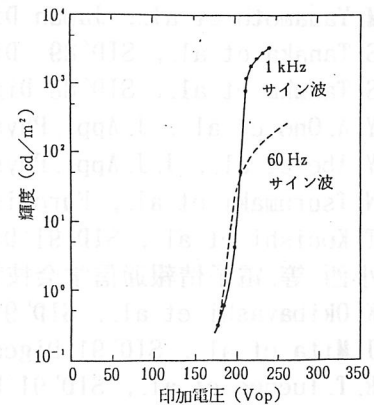


図25 パネルの電圧-発光輝度特性

7. 4. 3 薄膜トランジスターを用いることによる高性能化

液晶と同様に薄膜トランジスターを用いることによる高輝度化を図る試みがされている^{20, 21)}。図26に基本的な回路図を示し、図27にはTFELパネル構造の概略図を示している。この方法の利点は、①アドレスに必要な駆動回路において、TFELの駆動に必要な高電圧部と分離が可能であり、低電圧駆動ICが使用できる。②TFELパネルのフレーム周波数とELの駆動周波数が別々に設定可能な為、TFELパネルの駆動周波数を上げる事による高輝度化を図られる事である。64 x 64画素にCdSeの薄膜トランジスターを付与したTFELパネルが試作されている。

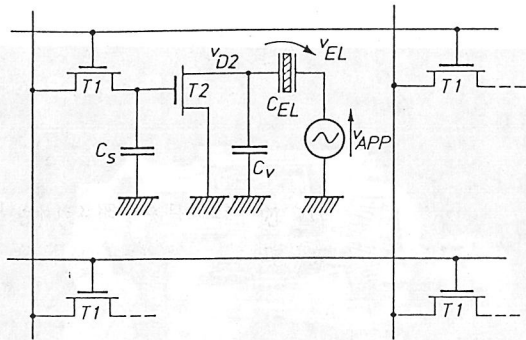


図26 基本的な回路図

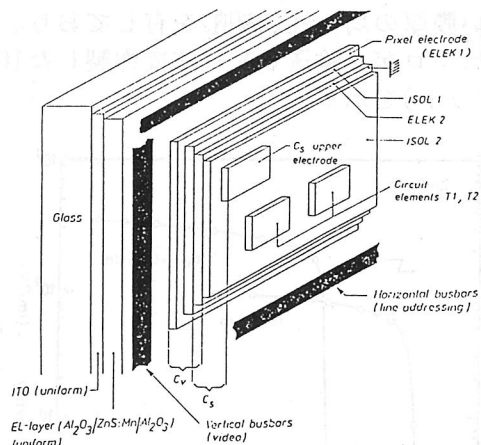


図27 ELパネル構造の概略図

7.5 まとめ

ELディスプレイの研究開発は有機EL等に見られる様に広がり示している。その中で薄膜ELについては、マルチカラーTFELパネルの開発が盛んに行われており、赤・緑色のマルチカラーについては、実用化レベルに近いところまできている。更に、青色EL材料開発の進展も見られており²²⁾、フルカラーへの試みがされている。又、実用化されている黄橙色のモノクロTFELパネルについても、低消費電力化等の高性能化が図られつつあるのが現状である。今後TFELパネルの高性能化とフルカラー化への研究開発が更に進展していくものと思われる。

参考文献

- 1) N.Yamauchi et al., SID'87 Digest, p.230 (1987)
- 2) C.N.King et al., Eurodisplay'87 Digest, p.14(1987)
- 3) W.A.Barrow et al., SID'88 Digest, p.284(1988)
- 4) M.Yamamoto et al., Japan Display'89, p.228(1989)
- 5) S.Tanaka et al., SID'89 Digest, p.228(1989)
- 6) S.Tanaka et al., SID'88 Digest, p.293(1988)
- 9) Y.A.Ono et al., J. Appl. Phys. 66, 5564(1989)
- 8) Y.Abe et al., J. J. Appl. Phys. 28, 373(1989)
- 9) N.Tsurumaki et al., Eurodisplay'90 Digest, p.212(1990)
- 10) T.Konishi et al., SID'91 Digest, p.271(1991)
- 11) 小西 等, 電子情報通信学会技報 EID90-112, p.71(1991)
- 12) K.Okibayashi et al., SID'91 Digest, p.275(1991)
- 13) J.Mita et al., SID'91 Digest, p.290(1991)
- 14) R.T.Tuenge et al., SID'91 Digest, p.279(1991)
- 15) C.laakso et al., IDRC'91 Digest, p.43(1991)
- 16) R.O.Törnqvist et al., SID'91 Digest, p.63(1991)
- 17) A.Mikami et al., SID'89 Digest, p.309(1989)
- 18) A.Mikami et al., J. Cryst. Growth 110, 381(1991)
- 19) 平林, 信学会技報 EID 89-83, p.55(1989)
- 20) J.Vanfleteren et al., IDRC'91 Digest, p.134(1991)
- 21) J.Vanfleteren et al., Eurodisplay'90 Digest, p.216(1990)
- 22) S.Tanaka et al., IDRC'91 Digest, p.137(1991)

(吉田 勝)

8. 蛍光表示パネル(VFD)

8-1 はじめに

本報告書(発光ディスプレイデバイス研究調査委員会報告書)は、1988(昭和63)年3月に発行されたディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会報告書、JIER-013(以下、前報と略す。)の続編といった性格を持つので、前報の3-7.節と対比することを前提に、主に1988年以降1992年3月までの技術的進展を中心に記述し、1987年以前の時期を含む一般的な事項についても補足した。なお、前報に代わるものとしては、照明学会誌の「ディスプレイ用材料デバイスとその応用」特集号を参照されたい¹⁾。

ここでまず最初に蛍光表示パネル(以下、特に必要のある場合を除いてVFDと略記する。)のメーカーと各メーカーにおける呼び名について簡単に触れておく。前報ではVFDが国産品であることと、略称としてもVFD(Vacuum Fluorescent Displayの略)しか記されていないが、主要なメーカーは世界的にも双葉電子工業、日本電気、伊勢電子工業の日本の3社であり、それ以外では最近の新聞に10数年ぶりの新規参入として、韓国の三星電管のことが紹介された²⁾程度である。呼び名については、VFDのほかに伊勢電子工業のアイترون(*itron*[®])³⁾や日本電気のFIP[®](Fluorescent Indicator Panelの略)⁴⁾があり、それぞれのカatalogや発表論文にも散見されるが、世間一般では、VFDがSID(Society for Information Display)やSAE(Society of Automotive Engineers)などの国際的な学会等でも広く用いられている略称になっている⁵⁾。

また、前報の3-7-8.項で前面発光型蛍光表示管及びFL-VFDとして記述されている、言わば透過形ともいふべき構造のものは、伊勢電子工業においてはリパースビュー⁶⁾、日本電気においては平面発光(英文ではSurface Light Emitting⁴⁾)形⁷⁾などと別の呼び方がされており、FLVFDは双葉電子工業の登録商標名である。

次に、前報及びその抄録ともいふべき照明学会誌の資料¹⁾においては、発光輝度 $L(\text{cd}/\text{m}^2)$ の算出式として、

$$L=3.2 \cdot E_p \cdot J_p \cdot Du \cdot \eta \quad (8-1)$$

と記されていたが、3.2という定数の持つ物理的意味の説明がなく、分かりにくいので以下のとおり解説しておく。

すなわち、3.2という数値は、 $10/\pi$ を有効数字2桁で表したもので、分母の $\pi(\text{sr})$ は立体角、分子の10は電流密度 J_p の単位を A/m^2 ではなく、 mA/cm^2 としたための換算係数である。

従って、電流密度 J_p の単位が A/m^2 であれば、上式は本来次のとおりである。

$$L=E_p \cdot J_p \cdot Du \cdot \eta / \pi \quad (8-2)$$

次節以下、1988年以降の技術的進展について記述する。

8-2 蛍光体とその利用技術の改善

VFDにとって、最も重要な材料の筆頭に上げられるものは、蛍光体に外ならないといつてよいであろう。しかし製品としてのVFDの発光効率を左右するものは、蛍光体そのものによる部分も勿論少なくはないが、それ以外にも導電性を付加するために混合される In_2O_3 や、蛍光体ペーストとして厚膜スクリーン印刷し、焼成した上、VFDとしての製造工程中の雰囲気や熱履歴など、多分にノウハウ的な部分である蛍光体の利用技術に負うところも極めて大きい。

ここではまず、前報の表3-7-3が、現時点ではどのように変わってきているかを、表8-1に示す。矢印のあるものは左側が前報における蛍光体の組成と発光効率の値である。

なお、表8-1において、青の蛍光体の組成については単なる表記方法の変更で実体は変わっておらず、緑以外のものに添加される導電物質の In_2O_3 は記入を省略してある。また、*印を付けた部分のうち、黄緑の発光効率については、アノード電圧20Vでの使用を推奨していないため空欄にしてあるもので、赤みの橙の発光効率については、前報では1.8となっていたが現状の値から見て正しくはこの程度であったのではなかったかと推定される。

一方、青系の蛍光体の新顔として、非硫化物系の ZnGa_2O_4 ⁸⁾が開発されて実用化を急いで

表8-1 VFD用蛍光体の発光効率の向上

発光色	蛍光体の組成	発光効率(lm/W)
緑	ZnO:Zn	10.0 → 16
青	ZnS:[Zn] → ZnS:Cl	1.2 → 1.8
黄みの緑	ZnS:Cu, Al	2.8 → 3.42
黄緑	ZnS:Au, Al → (Zn _{0.55} , Cd _{0.45})S : Ag, Cl	3.2 → —*
緑みの黄	(Zn _{0.9} , Cd _{0.1})S : Au, Al → (Zn _{0.50} , Cd _{0.50})S : Ag, Cl	2.8 → 4.85
黄みの橙	(Zn _{0.8} , Cd _{0.2})S : Au, Al → (Zn _{0.40} , Cd _{0.60})S : Ag, Cl	2.2 → 4.21
橙	(Zn _{0.30} , Cd _{0.70})S : Ag, Cl	2.0 → 2.73
赤みの橙	(Zn _{0.2} , Cd _{0.8})S : Ag, Cl → (Zn _{0.22} , Cd _{0.78})S : Ag, Cl	1.0* → 1.23

注) *印付きの部分の説明は本文参照。

おり、CIE色度座標値が $x=0.170$, $y=0.130$ と、色調としてはZnS:Clよりもやや紫がかっているが、硫化物系のもののように寿命試験によるカソードエミッションや輝度の劣化が激しくなく、温度消光特性も比較的平坦でZnS:Clよりも優れているので、これに取って代わるものとして期待されている。発光効率は現在直流30Vで0.7lm/Wとまだ不十分な値であるが、今後の改善が望まれる。

さらに前報における図3-7-9に代わるものとして、主要メーカー3社で使用されている蛍光体について併記した図や表が(社)日本電子機械工業会(EIAJ)の技術レポート¹⁰⁾に示してあり、前報における図3-7-10に代わるものについても、前出の文献⁵⁾の図5.14が対応する現在の姿であるので、必要に応じて参照されたい。

8-3 スペースファクタの向上とその背景となった技術

VFDの表示パターンは、表面実装デバイスなど、半導体技術の目覚ましい発展に支えられて、年々性能の高度化とは裏腹に軽薄短小化が進んできたため、より狭い面積に高密度で多機能の表示が要求されるようになり、それに付随して、VFDのパッケージサイズに対する表示に利用できる有効面積の割合も、できるだけ余分なデッドスペースを切り詰めることが必要になってきた。

そのような面積的並びに体積的なスペースファクタの向上を可能ならしめた技術としては、すでに前報でも触れられたFLVFDを実現するための要素技術ともなったアルミニウムの薄膜形成技術が、従来の銀ペーストの厚膜スクリーン印刷技術に比べてガラス基板上の配線パターンの微細化と複雑な引き回しを可能にしたこともあるほか、FLVFD自体が通常のVFDよりもパッケージサイズに対する表示に利用できる有効面積の割合の向上に効果があったが、見逃すことのできないものとしてVFDの各メーカーがこぞって採用している(新)中付けあるいは自立形(Self Standing Grid)などと称するグリッドによる面積的なスペースファクタの向上と、VFDのパッケージの背面や側面につきものの空気を抜いて内部を真空にした後始末としての排気管(ティップオフ部)を背面の排気穴に金属円板などに置き換えて体積的なスペースファクタの向上を図った排気管(ティップ)レスの技術がある¹⁰⁾。

前述の中付けグリッドは、スペースファクタの向上のほかにも、集積回路(IC)におけるリードフレームのような金属製のスペーサーフレームと呼ばれる部品にグリッドを溶接する方式に比べて、一部のメーカーが英語で“Grid positioning free”と称しているように、各電極のリード配列(並び順)に制約を受けず、顧客(セットメーカー)の希望通りに設計することができるという利点もある。

ここでは図8-1として中付けグリッドの分割例と、図8-2として排気管(ティップ)レス

VFDの写真を示す。

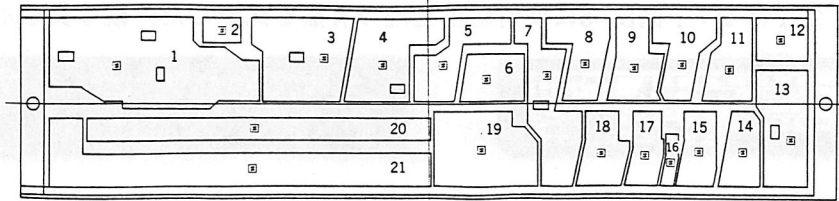


図8-1 中付けグリッドの分割例¹¹⁾

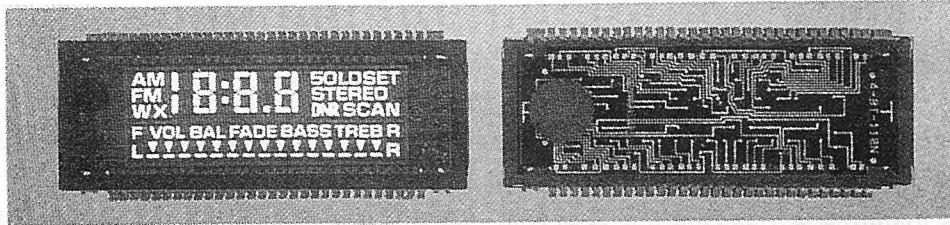


図8-2 排気管(ティップ)レスVFDの外観写真⁵⁾

さらに厚膜フォトリソグラフィーを微細な蛍光体パターンの形成に適用することによって、セグメント表示部とグラフィック表示部を1個のパッケージの中に兼ね備えたハイブリッドVFD¹²⁾も表示内容の高密度多機能化の一つの方向であり(図8-3にその一例を示す。), また、VFDにつきものの直熱形フィラメントカソードの端部冷却(エンドクーリング)部分のデッドスペースを有効活用するために、VFDの駆動用ICのベアチップをそこに搭載したチップイングラス(CIG)技術も、周辺回路まで含めたスペースファクタの向上策として注目されているが、完成した暁には真空容器内にあるために耐湿特性の劣化などを心配する必要のないICチップも、VFDの製造工程中の熱履歴に耐え得ることが必要な点で、通常のICチップよりも要求性能が厳しくなる面はあるものと思われる。

図8-4には、チップイングラス(CIG)VFDの構造の模式図¹³⁾を示す。

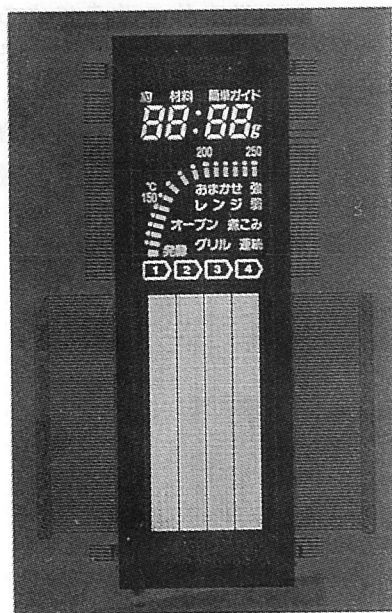


図8-3 ハイブリッドVFDの外観の一例

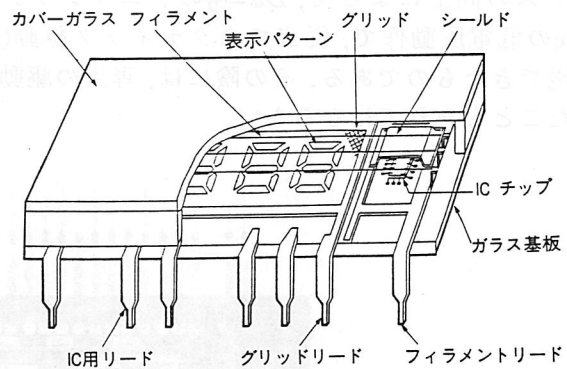
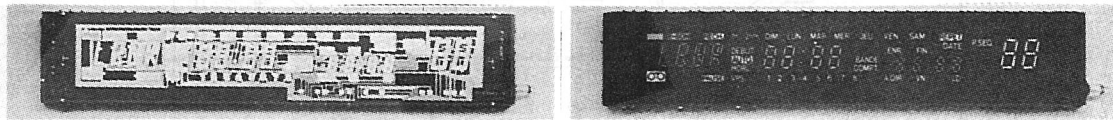


図8-4 CIGVFDの構造の模式図¹³⁾

なお、蛇足になるきらいはあるが、前述のようにそれ自体がスペースファクタの向上の効果を持つFLVFDについては、前報の段階では裸の状態でのパネルが外観上アルミニウム膜の鏡面反射が目立つという欠点があったのに対して、各メーカーそれぞれに独自の方法でガラス基板とアルミニウム膜の境界面に多層の反射防止膜を形成することによって反射率を低減させる処理を顧客の求めに応じて行っている。しかし、VFDを電子機器に実装する場合には、例外なくVFDをむき出しにしないでアクリル樹脂系の着色したフィルターが前面に

配置されるので、VFDの価格の上昇を容認してまで反射防止処理を施した製品を望まれる場合は必ずしも多くはない。図8-5に反射防止処理の有無を比較した外観写真を示す。



(a) 反射防止処理なし (b) 反射防止処理あり

図8-5 反射防止処理の有無によるFLVFDの外観の比較¹³⁾

8-4 車載用VFDの技術動向

VFDの市場は、メーカー3社を総合すると統計の出所によって若干の数字の出入りはあるものの、VTRなどが約3割弱に音響関係が約2割強と、民生電子機器の代表格といえるAV(Audio Visual)関連ではほぼ半分を占めるが、3番目に多いものとして約2割弱の車載用がある。そして自動車産業の今後の電子化の動向を考えれば、このところ、内外の自動車産業に翳りは見えるものの、車載用市場の重みは将来的に益々増えていくことは間違いない。

車載用VFDに要求される、一般の民生用VFDと比べて異なる条件としては、

- ① 輝度が高いこと。(少なくとも2倍以上)
- ② 低電圧(望ましくは12Vdc)で動作すること。
- ③ 消費電力がなるべく少ないこと。
- ③ 振動や衝撃に強いこと。
- ④ より広い保存(放置)温度範囲や動作温度範囲に耐え得ること。
- ⑤ 限られた実装スペースに装着できること。

といった点があげられよう。

これらのうち、はじめの方の3点については、すでに8-2節で述べた蛍光体絡みの技術の向上が寄与する部分が少なくない。

図8-6に示した高輝度12VデュプレックスVFDは、そのような蛍光体の改良による発光効率の向上のほかに、これもすでに8-3節で述べた中付けグリッド構造の採用によるパーピアンスの向上によって、 $Du = \frac{1}{2}$ のデュプレックス駆動にして周辺回路を簡略化しても、12Vdcの低電圧動作で、従来のスタティック駆動($Du = 1$)と同等の $1,400\text{cd/m}^2$ 以上の高輝度が実現できたものである。その陰には、専用の駆動ICの開発における半導体メーカーの協力があったことも忘れてはならない。

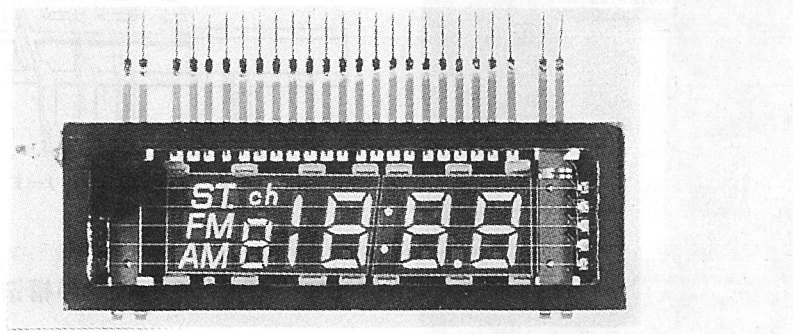


図8-6 高輝度12VデュプレックスVFD¹⁴⁾

また、只でさえ高輝度が要求される車載用の中でも、超高輝度といってもよいような、通常の車載用より約1桁上回る輝度が必要な用途としてヘッドアップディスプレイ(HUD)用VFDがある。これは図8-7にそのシステムの概要を示したように、スピードメータなどの表示を乗用車の風防ガラスへの反射虚像として運転者に観測させるものである。HUD用VFDは、そのシステムの光学系によってパターンとしては図8-8に示すような反転文字を表示させる。



図8-7 HUDシステムの概要⁵⁾

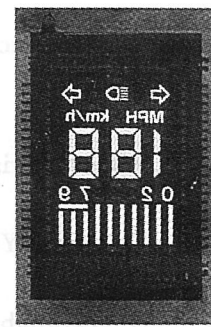


図8-8 HUD用VFD⁵⁾

ではこれらの車載用VFDの需要は国内向けと海外向けのどちらが多いかといえ、それは図8-9から明らかなように、圧倒的に米国の方が電子化率も高いし、その中での液晶(LCD)とのシェア争いでもVFDに歩があるのは米国においてである。

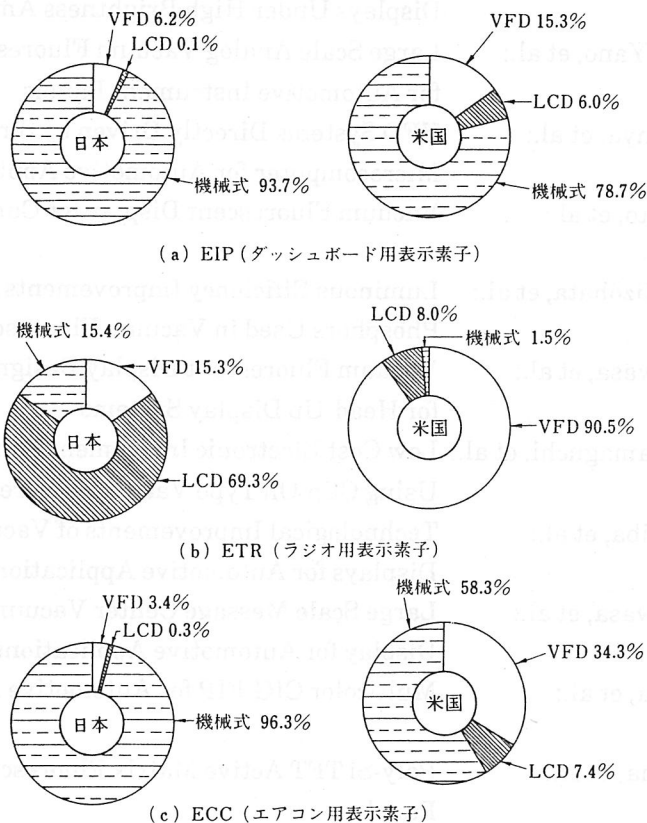


図8-9 日本国内及び米国自動車用表示素子の比率(1989年)⁵⁾

したがってVFDメーカーとしての自動車業界へのPR活動も、自ずから米国を主要な標的として行われることになる。

表8-2には、そのような事情を明らかに示すものとして、毎年2月末から3月初めにかけてデトロイトで行われるSAE(8-1節前出)に発表されたVFD関連の技術論文のここ5年間(1988~1992年)分の一覧表を示した。これらの中にはVFDメーカーからの提案として、まだ製品には結び付いていないものも勿論含まれているが、VFDメーカーの目指している方向はある程度浮き彫りになっているといえよう。

なお、近年、VFDに限らず、ディスプレイ全般に亘ってSAEにおける発表が注目されるようになってきており、テレビジョン学会の情報ディスプレイ研究会がSID(8-1節前出)日本支部との共催で、米国でのSAEの会期の約3週間後に、ホットニュースとしてSAE国際会議報告会を開催することが1990年から本格的に定例化している。(初回は1989年であったが、同年は急に話が具体化したため、予稿集も発行されなかった。)

表8-2 SAE Technical Paper Series の VFD関連論文(1988~1992年)一覧表

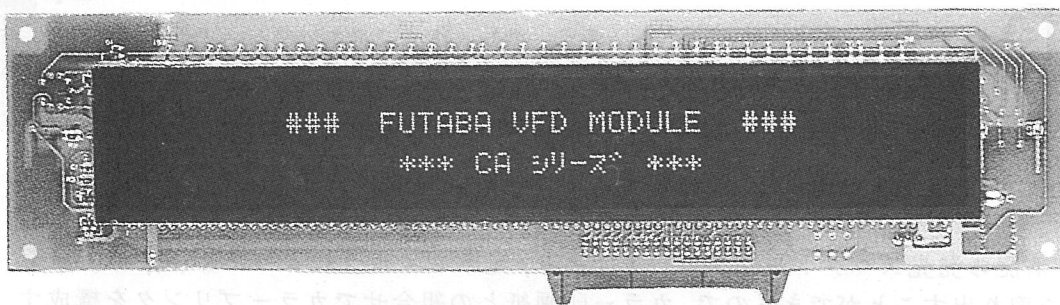
No.	著者(連名の場合, 筆頭者) 及び 標題
880243	Robert Davis, et al.: Twelve Volt Multi Color Vacuum Fluorescent Display
880450	Yukitoshi Yoshida, et al.: Graphic Fluorescent Indicator Panel (FIP®) for Automotive Applications
880453	H. Watanabe, et al.: High Resolution Graphic Front Luminous Vacuum Fluorescent Display
880454	Minoru Katayama, et al.: Vacuum Fluorescent Display for Head-Up Display
890123	Satoshi Tsunozumi, et al.: High Performance Vacuum Fluorescent Display for DIN Size Audio Entertainment System
890284	Tadashi Mizohata: The Readability of Various Color Vacuum Fluorescent Displays Under High Brightness Ambient Conditions
890285	Kazuyuki Yano, et al.: Large Scale Analog Vacuum Fluorescent Displays for Automotive Instrument Panels
890286	Soichi Shinya, et al.: VFD Systems Directly Driven by Single Chip Microcomputer for Automotive Applications
900239	Satoru Kato, et al.: Vacuum Fluorescent Display for Car Audio Systems
900669	Tadashi Mizohata, et al.: Luminous Efficiency Improvements of Color Phosphors Used in Vacuum Fluorescent Displays
900670	Tadashi Iwasa, et al.: Vacuum Fluorescent Display Design Considerations for Head-Up Display Systems
900671	Hiroshi Yamaguchi, et al.: Low Cost Electronic Instrument Panel Systems Using Clip-On Type Vacuum Fluorescent Displays
910349	Nobuo Akiba, et al.: Technological Improvements of Vacuum Fluorescent Displays for Automotive Applications
910350	Tadashi Iwasa, et al.: Large Scale Message Center Vacuum Fluorescent Display for Automotive Applications
910352	Y. Yoshida, et al.: Multicolor CIG-FIP for Automotive Applications
910353	T. Akiyama, et al.: Poly-Si TFT Active Matrix Fluorescent Indicator Panel
920597	Hiroyuki Iwase, et al.: Single Vacuum Fluorescent Display, Full Featured Cluster Panel
920598	T. Akiyama, et al.: Chip in Glass Fluorescent Indicator Panel with a 128 X 32 Dot Matrix
920742	Robert J. Davis, et al.: Color Shift Vacuum Fluorescent Display System
920749	M. Ishizuka, et al.: Chip in Glass Fluorescent Indicator Panel Having Functions of Keyboard Scan and Dimming for Automotive Application

8-5 モジュール化の進展

前報においては、3-7-10. グラフィック蛍光表示管の項で、主としてVFDパネルについての説明をしながらも、製品の姿としてはモジュールの形態をとることが示されていた。これはグラフィックVFDの場合、アノードやグリッドのリード線の本数が各々数100本程度と

なることから、パネル単体のままVFDの直接ユーザであるセットメーカーに供給しても、周辺回路との接続に難渋することは明らかであり、少なくとも駆動回路、望ましくは制御回路まで組込んだモジュールの形で、VFDメーカーで面倒を見るのが親切だということになり、当然の成り行きと言える。このようなモジュール化の動きは、近年の半導体技術の目覚ましい発展が、半導体部品の低価格化とSMT(面実装技術)タイプによる軽薄短小化を可能にしたため、単にグラフィックVFDだけに止まらず、表示パターンが汎用性の高い5×7あるいは5×12ドットマトリクス構成のキャラクタ表示VFDなどにも広く適用されるようになってきた。また、さきに8-3で触れたチップイングラス(CIG)VFDも、モジュール化の一つの方向である。

図8-10及び表8-2には、40文字×2行の5×7ドット(カーソル付)のキャラクタ表示VFDモジュールの新旧を比較した一例を示す。CAシリーズに比べて、GAシリーズではプリント基板の小形化と片面実装化が実現されていることがよく分かる。



(a) M402SD04CAシリーズ



(b) M402SD07GAシリーズ

図8-10 40文字×2行キャラクタ表示VFDモジュール外観の新旧比較

表8-2 40文字×2行VFDモジュール外形寸法の新旧比較

外形寸法	M402SD04CA	M402SD07GA
(W×H×D)mm	265×65×23	240×43×28

8-6 VFD技術のディスプレイ以外の分野への応用

VFDの世界的な市場規模の推移は、数量的には年率5~6%程度、金額的には年率10%前後の成長を予測する向きもあるが¹⁵⁾、この数字は絶えずコストダウンを要求されるメーカーにとって、大量生産によるスケールメリットを期待するには十分な値とはいえないため、ディスプレイの分野での新しい販路や用途を開拓することは勿論であるが、それ以外の分野にもVFDの技術を取り入れた、付加価値の高い製品の開発が進められてきた。

その具体例の一つとして、VFDの発光原理を応用した蛍光プリントヘッド(VFPH)をあげることができる^{16), 17), 18)}。

この製品は、電子写真方式によるページプリンタなどに使用される光書き込み素子として、半導体レーザやLED(発光ダイオード)を用いたものに比べて、

- ① 高輝度(15,000cd/m²)で短波長($\lambda_p=505\text{nm}$)の発光により、プリントの高速化ができる。
- ② 小型なため、プリンタへの実装の自由度が高く、機能の複合化が容易になる。
- ③ 光量の補正が簡単で、光量のばらつきを±6%以下にすることができる¹⁹⁾。

といった特徴を持っている。

①はVFDで最も広く用いられている緑色蛍光体(ZnO:Zn)の発光スペクトルが、通常のPPC用感光体に極めて良く適合することに着目したものであり、②は富士ゼロックスが1990年3月に発売したコピー機兼プリンタ「4209」で実証済みである²⁰⁾。③はデバイス(VFD)単体では実現不可能なばらつきの抑え込みを、モジュール化によって実現したものである。図8-11には、その外観を示す。

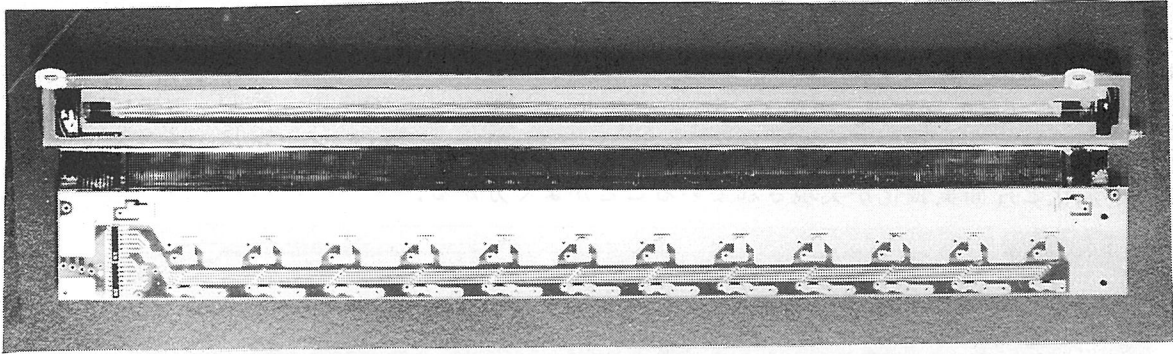


図8-11 蛍光プリントヘッドの外観写真¹⁶⁾

また、前記の発光スペクトルがブロードであり、光学フィルタによって赤(R)、緑(G)、青(B)の光を取り出すことができるので、カラー印画紙との組合せでカラープリンタを構成することもできる。実験した例を図8-12に示す。

この写真は、インスタントカメラのフィルムにパルス幅変調を用いた256階調制御で毎分10枚以上の高速印画した銀塩写真方式のフルカラープリントであり、記録密度は1インチ当たり160ドット、印画面積は640×400ドットに対して101.6mm×63.5mmである。VFDの技術のディスプレイ以外の新たな分野への応用として、今後の実用化が望まれる。

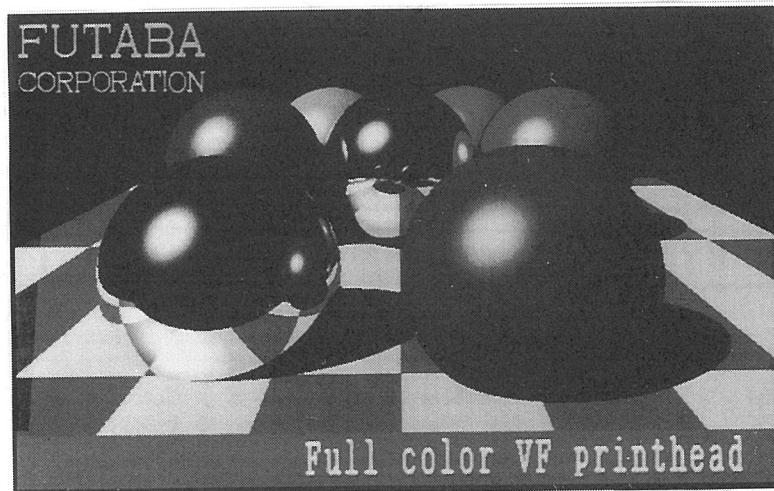


図8-12 フルカラー蛍光プリントヘッドの印画例

8-7 マイクロチップス蛍光ディスプレイ(MFD)^{21), 22), 23), 24)}

VFDに適用される要素技術としては、

- ① 蛍光体を励起発光させるための電子源
- ② 蛍光体
- ③ 真空外囲器
- ④ 半導体実装技術

などが重要項目として挙げられるが、②についてはすでに8-2節で述べたとおりであり、③

と④についても8-3節で触れた排気管(ティップ)レスやチップイングラス(CIG)技術がすでに一部実用化されているほか、薄膜トランジスタ(TFT)を用いたアクティブマトリクスVFDも開発されており²⁵⁾、そのメモリ機能によって低電圧で高輝度が得られる点で注目される。

他方、①については、熱電子放射を利用するものとして在来の直熱形カソードと対比される傍熱形カソードや偏向形カソードも試みられているが²⁶⁾、最近特に注目を集めているものとして特別な加熱用電源を必要としない電界放射カソード²⁷⁾の応用が挙げられる。

スピント型カソードとも称せられるモリブデンのミクロンサイズの円錐状のエミッタとゲートをマトリクス状に無数に並べたカソード基板と、蛍光体を塗布したアノード基板とをスペーサを介して液晶ディスプレイ(LCD)にも匹敵するほどの厚みに組み合わせたパネル構造で、単色ながら画面サイズ110×90mm(対角6インチ)、256×256画素でテレビジョン画像を自発光表示させた例がフランスのLETIから報告されている。図8-13にフルカラーの場合のパネル構造を、また図8-14にはまだ欠陥が目立つもののTV受像例の写真を示す。

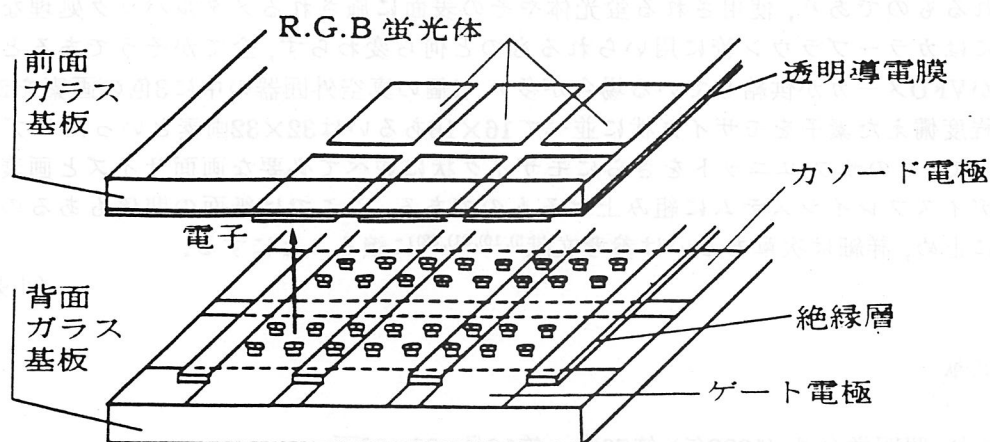


図8-13 マイクロティップス蛍光ディスプレイの構造²⁸⁾



図8-14 マイクロティップス蛍光ディスプレイによるTV受像例²⁹⁾

図8-14に見られる画面の欠陥については、カソード基板の構造を工夫することによってほぼ解決できたと報告されている²⁴⁾ほか、赤(R)、緑(G)、青(B)の三色の蛍光体を用いたフルカラー表示についても、同じLETIのグループから1991年10月中旬に米国サンディエゴで開かれたIDRC(International Display Research Conference)で報告された²⁹⁾が、初期的にも寿命的にも輝度や色再現範囲など改善の余地が残されており、蛍光体や真空外囲器といった他の要素技術とともに製品化までには検討すべき課題が多い。

電界放射カソードの要素技術は、半導体関連で発達してきた微細加工技術と、電子の輸送媒体としてもう一度見直された真空の組合せによる極微小真空管ともいべき真空マイクロエレクトロニクス³⁰⁾という一つの技術分野として世界的にも認知され、1988年6月以来毎年夏に国際会議(International Vacuum Microelectronics Conference)が開催されるようになっており、1991年8月下旬にはその第4回が日本で初めて滋賀県長浜市で開かれた。

8-8 その他

VFDの発光原理を、低速電子線による蛍光体の励起に限定したとすればVFDの仲間に入れるわけにはいかず、むしろ特殊なブラウン管といった方が妥当かもしれないが、次章に述べられる大画面ディスプレイの色々な種類のものの中には、その構成要素として高速電子線によって蛍光体を励起させる高輝度の3色蛍光発光素子として形状や製造プロセスがVFDに類似したものがある。具体的にはソニーのジャンボトロンに使用されるトリニライトや三菱電機のダイヤモンドビジョンあるいはオーロラビジョンに使用されるFM-CRTと呼ばれるものであり、使用される蛍光体やその表面に施されるメタルバック処理などは基本的にはカラーブラウン管に用いられるものと何ら変わらず、全てがそうであるとは言えないがVFDメーカーが供給している場合が多い。1個の真空外囲器の中に3色の画素を2組乃至16組程度備えた素子をモザイク状に並べて16×16あるいは32×32画素といったサブユニットにして、そのサブユニットをさらにモザイク状に並べて必要な画面サイズと画素数の大画面ディスプレイシステムに組み上げるものである。ここでは紙面の関係もあるのでこの程度に止め、詳細は次章あるいは参考文献^{5), 10), 31), 32)}に譲ることにする。

(小泉 直彦)

参考文献

- (1) 森本: 照明学会誌 (1989年) 第73巻 第12号, 28~33頁
- (2) 日刊工業新聞 1991年2月18日, 11面
- (3) 中村, 清住: 蛍光表示管とその応用, 日刊工業新聞社 (1977年), 1頁
- (4) 例えば Y. Yoshida, et al.: SAE Technical Paper Series 800359 (1980) など
- (5) 岸野 編著: 蛍光表示管, 産業図書 (1990年)
- (6) 日本電子機械工業会 電子デバイスの技術動向 1991, 58頁
- (7) 例えば, 赤羽: 電子材料 (1982年4月), 109~111頁など
- (8) 佐藤 ほか: 第229回蛍光体同学会講演予稿集 (1990年), 27~32頁
- (9) 日本電子機械工業会技術レポート EDR-2302, (1989年3月), 4頁及び6頁
- (10) 日本電子機械工業会 電子デバイスの技術動向 1989-1990, 48~51頁
- (11) 佐伯, 山口: NEC技報 Vol. 41 No.5 (1988), 9頁
- (12) 岸野 ほか: テレビ学技報 ITEJ Technical Report Vol. 10, No.46, (1987年2月), 1~6頁
- (13) 吉田: NEC技報 Vol. 43 No.10 (1990), 5頁
- (14) 電波新聞 1989年10月13日
- (15) E. Schlam: SID SEMINAR LECTURE NOTES, 1991 VOL. II, p. F-1/8
- (16) 電波新聞, 日刊工業新聞など 1991年4月11日
- (17) 電波新聞 1991年9月5日, 38~39面
- (18) 渡辺: 蛍光プリントヘッド(VFPH), 発光型ディスプレイ研究会資料(1992年1月16日)
- (19) Y. Shimizu, et al.: SID 91 DIGEST 11.3 pp.185~188
- (20) 日経メカニカル, 1990 11-12 (no. 336), 32~42頁
- (21) R. Meyer, et al.: JAPAN DISPLAY '86 13.7 pp.512~515
- (22) A. Ghis, et al.: IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 38, No. 10, pp.2320~2322 (1991)
- (23) R. Meyer: EURODISPLAY '90 LP 09 pp.374~377
- (24) R. Meyer: IVMC 91 Technical Digest K-2, pp.6~9
- (25) NEC技報 増刊号 テクノ'90 (1990), 234頁

- (26)S. Itoh, et al.: SID 89 DIGEST 16.4 pp.274~277
(27)C. A. Spindt, et al.: J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 12, pp.5248~5263 (1976)
(28)テレビ誌 Vol. 45, No. 4, (1991年4月), 558頁
(29)F. Lévy, R. Meyer: Conference record of the 1991 IDRC, pp.20~ 23
(30)金丸, 伊藤: テレビ誌 Vol. 45, No. 5, (1991年5月), 612~617頁
(31)H. Kamogawa, et al.: SID 91 DIGEST 28.4 pp.573~576
(32)龍田ほか: 信学技報 Vol.91, No.114, (1991年6月), 15~20頁

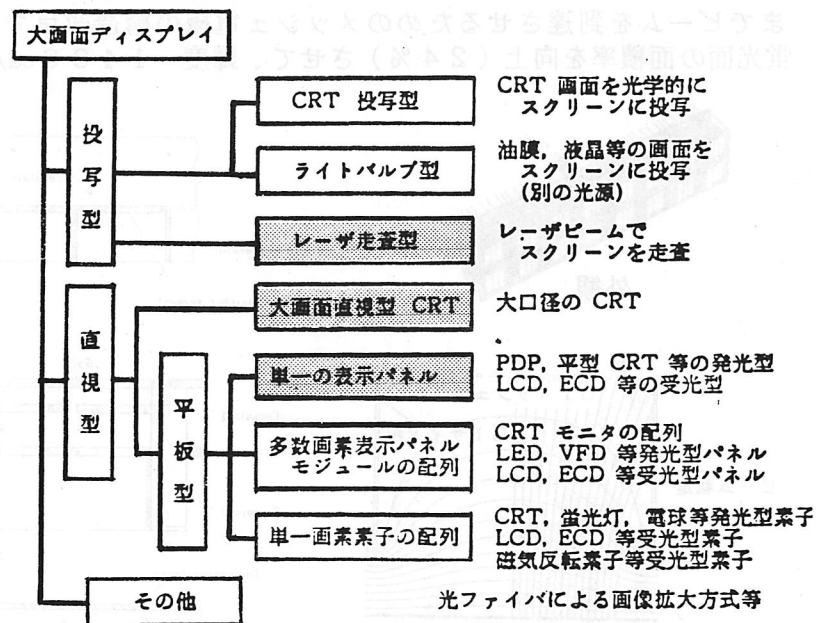
9. 大画面ディスプレイ

1. はじめに

大型映像の歴史は古く、既に1900年のパリ万国博覧会において大画面への映写技術が紹介されている。そして現在、筑波万博において紹介された様々な種類の大画面ディスプレイ技術が、屋内映像から屋外映像、公共映像からパーソナル映像まで広範囲にわたって実用化が進められてきた。特に、フルカラー映像技術の大画面化により、不特定多数の人々の集まる大型施設においては、大画面ディスプレイによるサービスが不可欠なものとなり、映像情報メディアの一分野を形成するに至っている。また、大画面ディスプレイを実現するディスプレイデバイスの方式も多種多様なものが実用化されており、さらに、映像技術の高度化と併せて、それぞれのデバイスにおいて高解像度化、高輝度化などの開発が活発に進められている。ここでは、大画面の範囲をほぼ100インチ（対角）以上のものと考え、開発・実用化が進められている各種のフルカラーディスプレイ方式の技術動向について、その概要を紹介する。

2. 大画面ディスプレイの方式

現存するディスプレイ方式の多くが、大画面化に関する開発・実用化を進めている。これらの方式を図9-1にまとめて示す¹⁾。大きくは、投写型と直視型に分類され、前者は屋内用途を主体とし、後者は屋外用途の超大画面を主体として開発されてきた。投写型の屋外（昼間）への応用は、画面の明るさの点で困難であるが、直視型では屋外だけでなく屋内の用途にも十分対応できる方式が開発され、すでに多くの実施例がある。ここでは、図9-1に示した方式のうち大画面直視型CRTと単一の表示パネルによる方式を除く直視型大画面ディスプレイを中心に、大画面ディスプレイの特殊性に関わる画面の大きさ、明るさ、および映像の精細さについての開発動向を概説する。



([影線] で示す方式は、ここでは取り上げない。)

図9-1 大画面ディスプレイの方式¹⁾

3. 各種フルカラーディスプレイ方式の画素例

図9-1に示した大画面ディスプレイの各方式の代表的な画素例について、その特長と構造を概説する。

3.1 直視型

(1) 単一画素配列方式

[放電管]

図9-2：屋外用の高輝度放電管（CHD管：Colored High-brightness Discharge tube）は、希土類蛍光体を使用した小形U字状蛍光ランプで、フード内面の白色反射膜とメナスカス型凸レンズによる効率改善で、 5000cd/m^2 の高い画面輝度を得ている。また、レンズは着色された高耐熱樹脂で成形され、外光によって生じる反射光を低減し、高い輝度コントラストを実現している²⁾

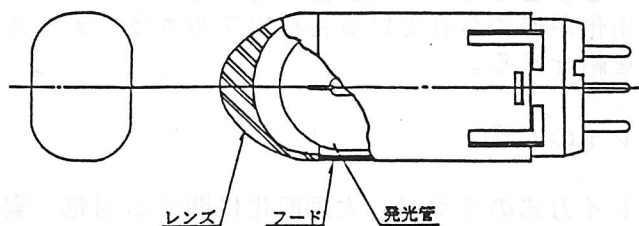


図9-2

(2) 多数画素モジュール配列方式

[CRT]

図9-3：画素を高密度（ 15mm ピッチ）に実装したCRT素子である。画素密度を上げることともなう、電子ビームのより精細な制御を電極構造の改良により実現した。電極は、リードフレーム化された3つのメッシュ電極で構成され、エミッションの取り出しとビームの制御の機能を分離した。画素の周辺までビームを到達させるためのメッシュ電極の構造改良で、有効に発光する蛍光面の面積率を向上（ 24% ）させて、輝度 1400cd/m^2 を得てる³⁾。

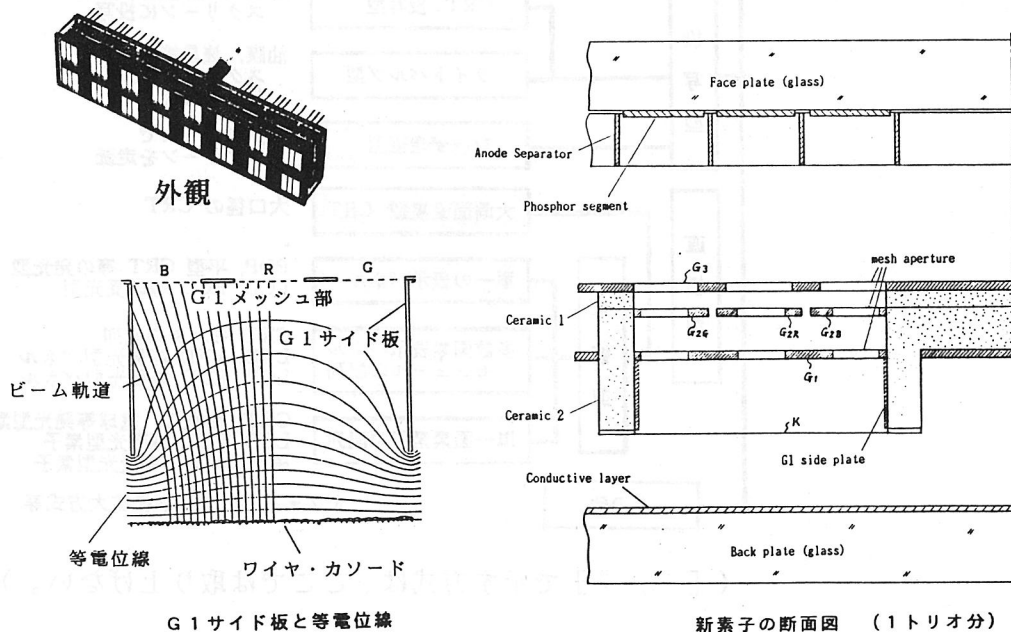


図9-3

図9-4：屋外用の高輝度で解像度を向上したフラットマトリクスCRT（FMCRT）素子である。高輝度化に対して、画素を不等ピッチに配列し、開口率を42%にできた。また、集光効果をもつレンズと、外光反射率を低下させるカラーフィルタを一体化したレンズフィルタにより、 4000cd/m^2 の高輝度とコントラストの向上を実現した。画素ピッチは 40mm である^{4) 5)}。

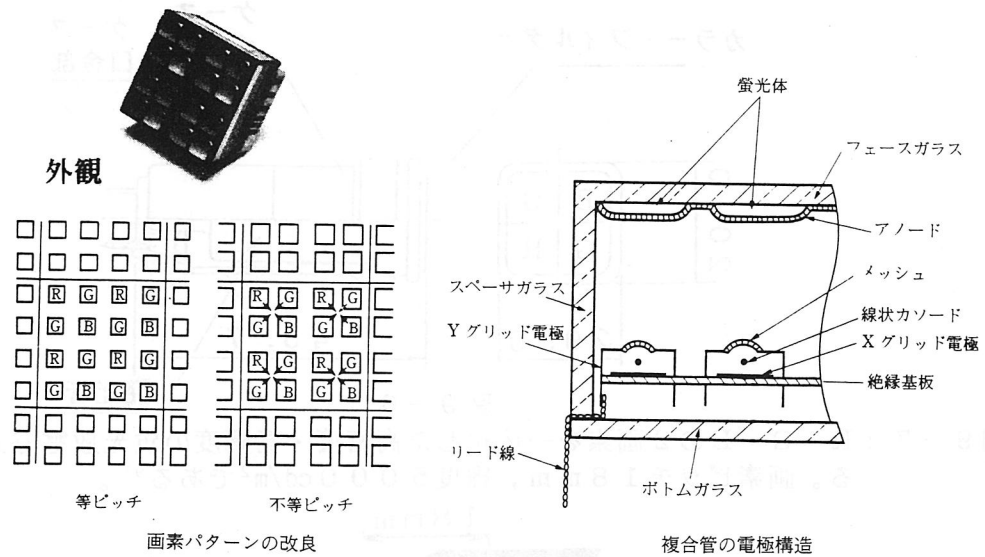


図9-4

[放電管]

図9-5：屋外の比較的近距離（10～50m）で使用可能な小形・高輝度の蛍光放電方式の素子（DL：Multi Anode Discharge Lamp）である。R-G-G-Bの4色を一体のセラミックハウジングに収め、これを25mmピッチで配列する。高輝度化に対しては、表示面ガラスへの蛍光体塗布厚みの最適化、放電路断面形状の最適化を行った。これらにより 5000cd/m^2 の高輝度を得ている⁶⁾。

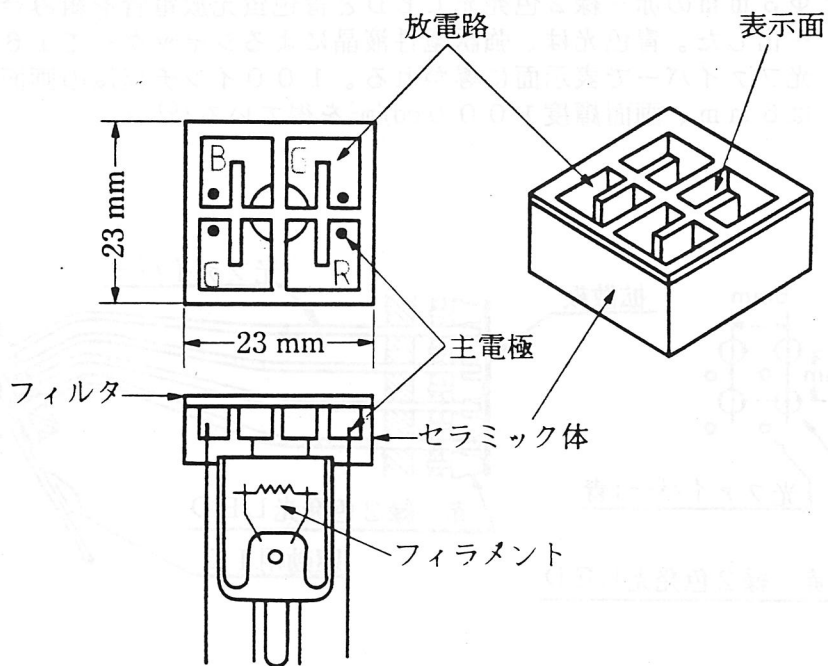


図9-5

図9-6：屋外用高密度・高輝度の蛍光放電管（MCD管：Multi Colored Discharge tube）である。ボディを薄い金属で構成することで発光面の開口率を向上し、また、内部に反射板を設けて高輝度化（ 5000cd/m^2 ）を実現した。同時に、 22mm の高密度に配列できる。さらに、希土類蛍光体とカラーフィルタの組み合わせで優れた色再現性を得ている^{7) 8)}。

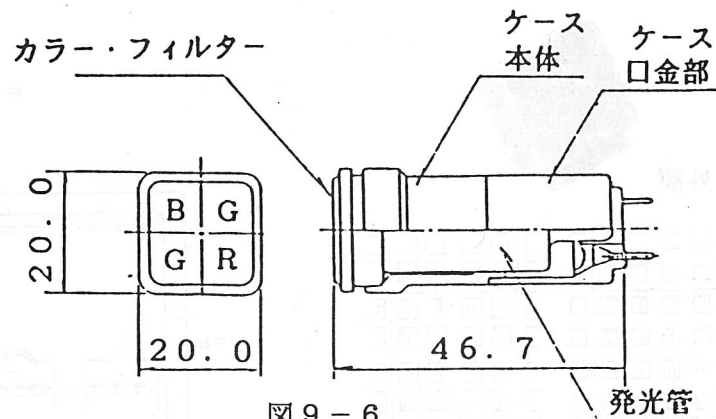


図9-6

図9-7：R-G-Bの2画素を一体化した高密度・高輝度の蛍光放電方式の素子である。画素ピッチ 18mm 、輝度 5000cd/m^2 である⁹⁾。

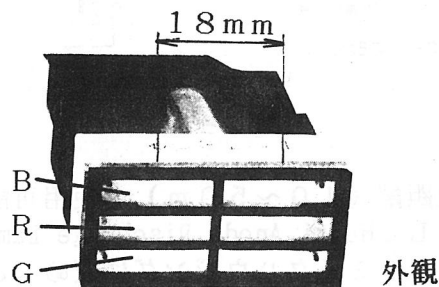


図9-7

[LED]

図9-8： $\Phi 3\text{mm}$ の赤-緑2色発光LEDと青色蛍光放電管を組み合わせフルカラー化した。青色光は、強誘電性液晶によるシャッターで16階調に制御され光ファイバーで表示面に導かれる。100インチ程度の画面で、画素ピッチは 6mm 、画面輝度 1000cd/m^2 を得ている¹⁰⁾。

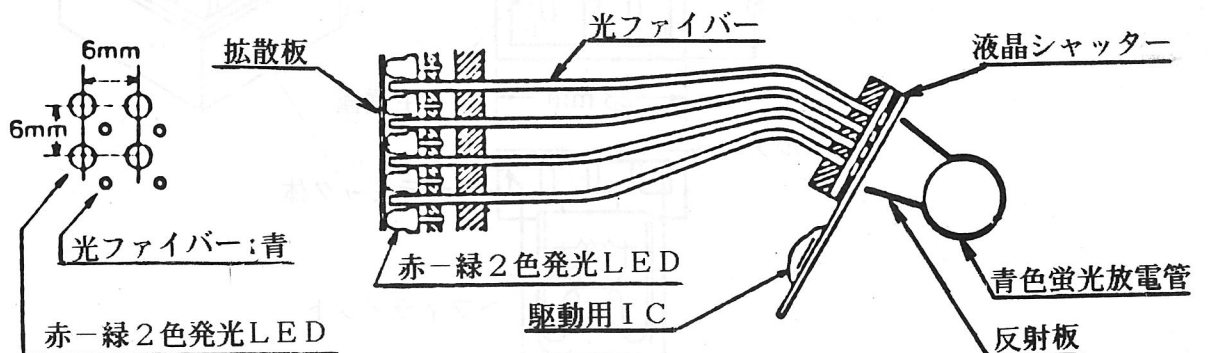


図9-8

[LCD]

図9-9：複数の液晶パネルを配列する方式では、パネルのつなぎ目部分のブラックマトリクスの幅を、パネル内部の幅の1.2倍以下とすることで、つなぎ目を目立たなくできる。また、希土類蛍光体を用いたコンパクト形蛍光ランプと反射鏡形状により輝度分布の均一なバックライトを内蔵した液晶モジュールを開発し、画面輝度300 cd/m²を得ている¹¹⁾。

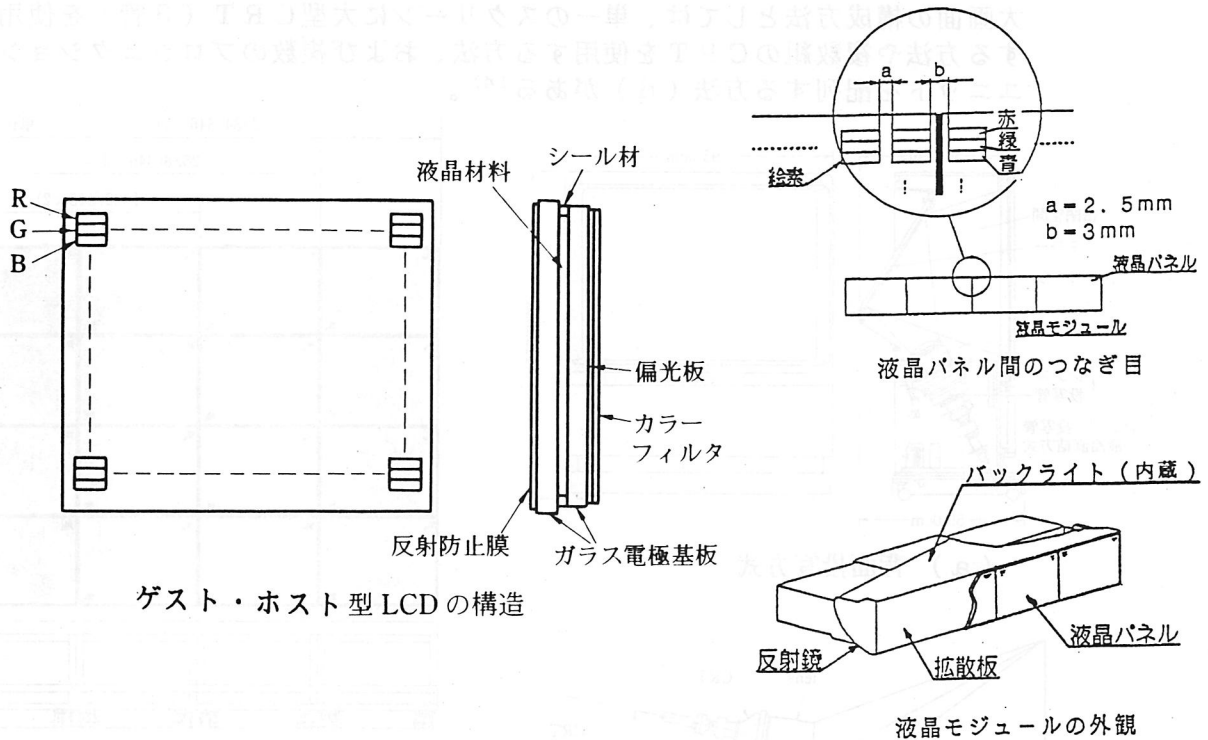


図9-9

図9-10：図9-9と同様なシステムで、ユニットを密閉構造とし、内部の発熱をヒートパイプを用いて熱交換する方式が開発されている¹²⁾。

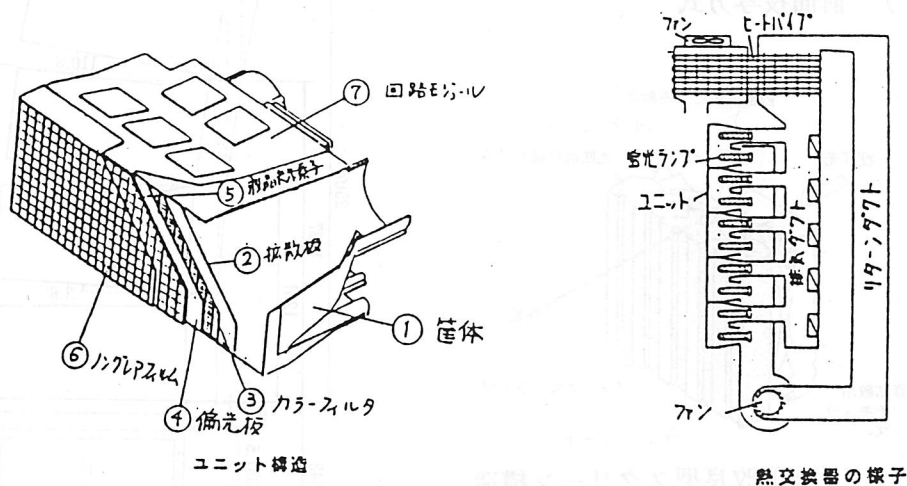


図9-10

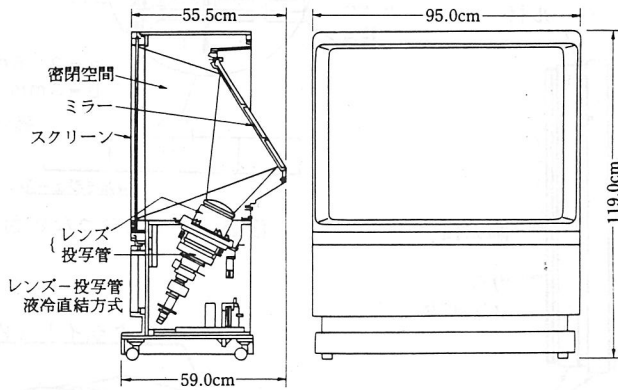
これらは、いずれもゲスト・ホスト型液晶を使用し、視認角は左右各60°と広い。

3.2 投写型

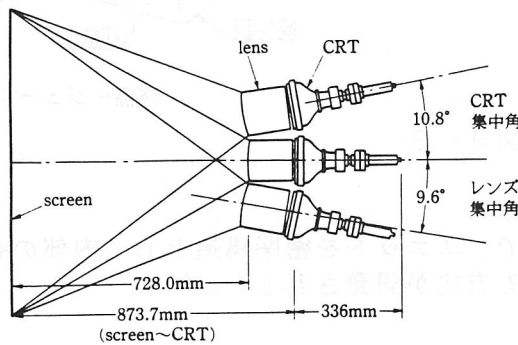
(1) CRT 投写方式

図9-11：構造上は、透過型スクリーンの背後から投写する背面投写方式（a）と、反射スクリーンを使用する前面投写方式（b）に分類できる。背面投写方式では、スクリーンの改良（c）により外光による影響を軽減し、コントラストの向上がはかられている¹³⁾。

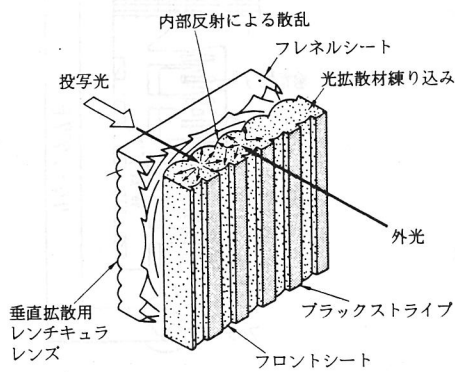
大画面の構成方法としては、単一のスクリーンに大型CRT（3管）を使用する方法や複数組のCRTを使用する方法、および複数のプロジェクションユニットを配列する方法（d）がある¹⁴⁾。



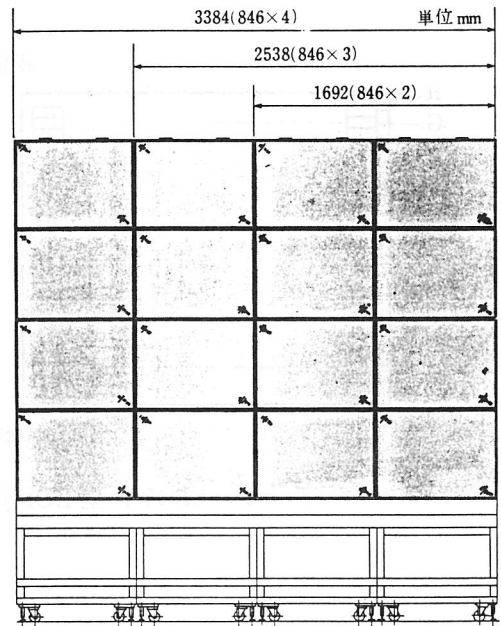
(a) 背面投写方式



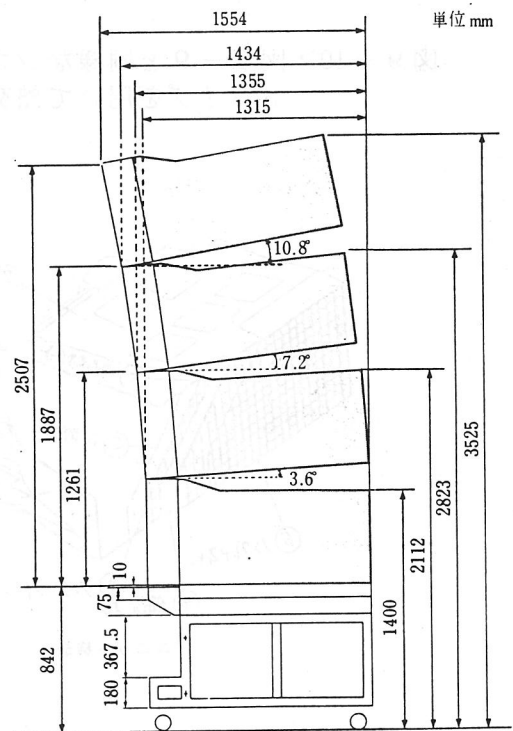
(b) 前面投写方式



(c) 改良型スクリーン構造



16面システム正面図



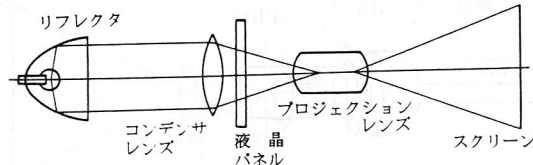
16面システム側面図

(d) ユニット配列方式

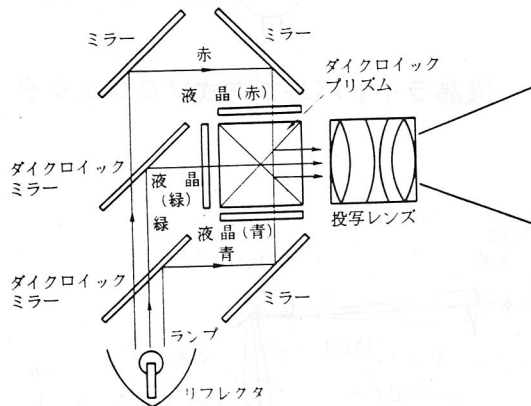
図9-11

(2)液晶投写方式

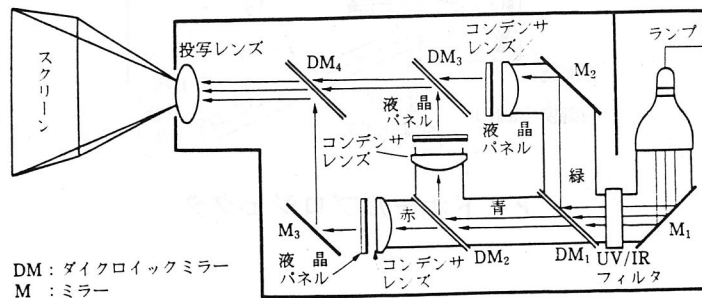
図9-12：前面投写方式では、液晶パネルを1枚使用する方式(a)、液晶パネルを3枚使用する方式(b)、(c)がある¹⁵⁾。後者は、画素数が3倍になる、明るさが向上するなどの特長がある。背面投写方式は、CRTの方式に比べ薄型化・軽量化されたものが開発されている(d)¹⁶⁾¹⁷⁾。



(a) 単板式光学系

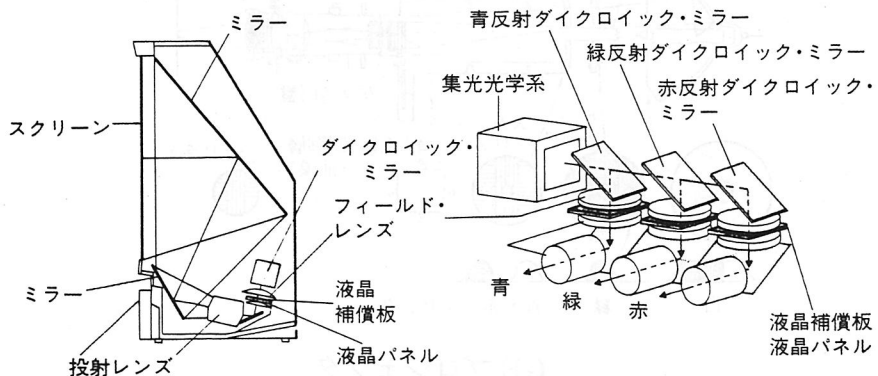


(b) プリズム方式光学系



DM：ダイクロイックミラー
M：ミラー

(c) ミラー順次配置方式

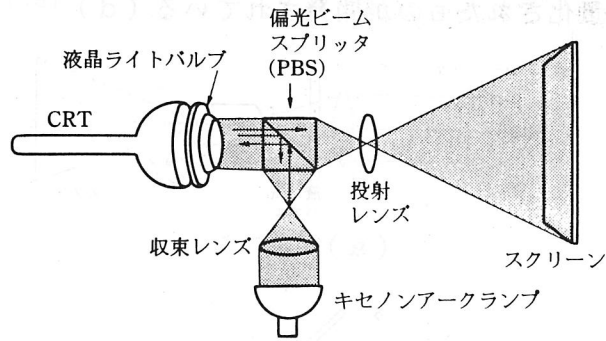


(d) 背面投写方式

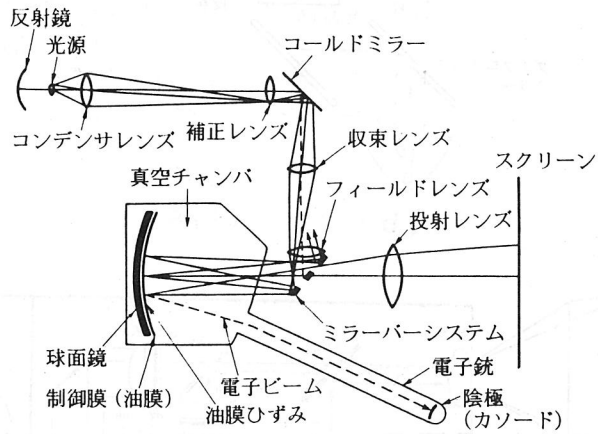
図9-12

(3)ライトバルブ方式

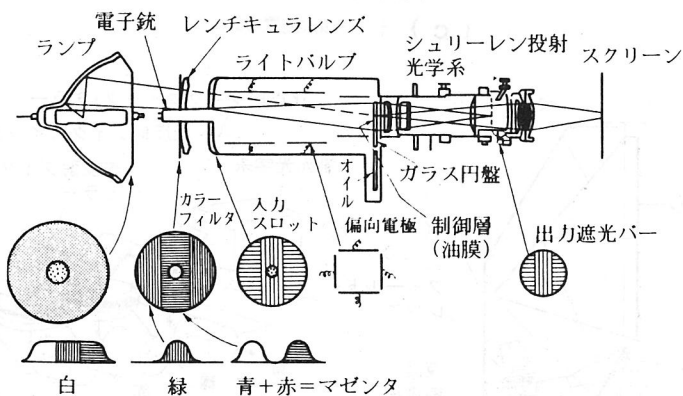
図9-13：実用化されている方式の構造例を示す¹⁸⁾。



液晶ライトバルブ方式プロジェクタ



アイドホールプロジェクタ



GE プロジェクタ

図9-13

3.3 光ファイバー方式

図9-14: $\Phi 0.5\text{mm}$ のプラスチック光ファイバーを 3mm ピッチで配列してスクリーン面を構成する。ファイバー外面には拡散反射層を設けて、光出力の向上と、視認角の拡大をはかっている。(a) 画像はファイバーにより、36倍(面積)に拡大され、120インチ(対角)までの大画面を構成できる。(b)¹⁹⁾

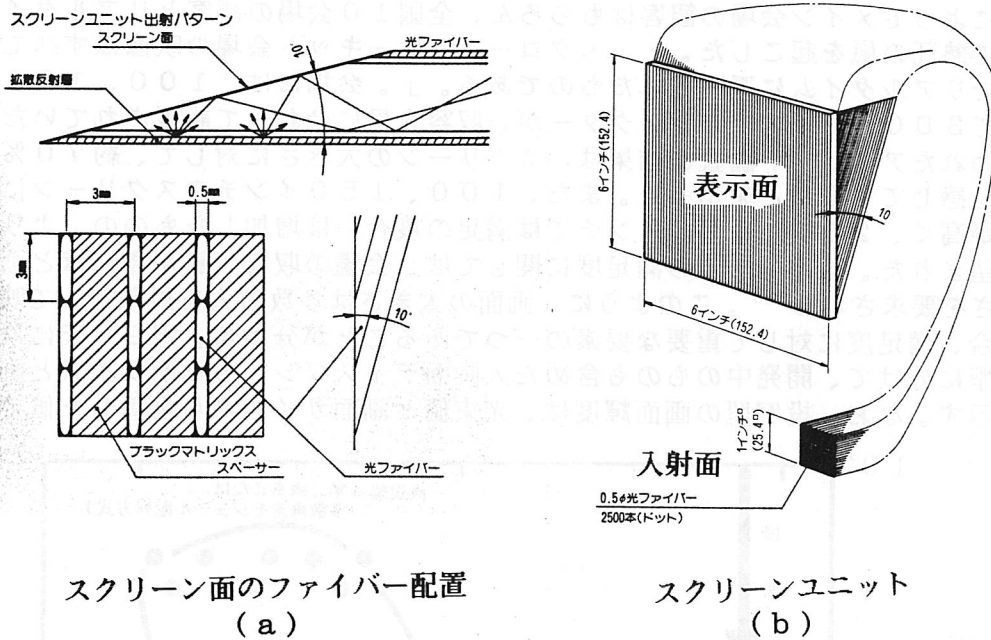


図9-14

図9-15: 映像入力部に液晶テレビを使用する方式のものもある²⁰⁾。

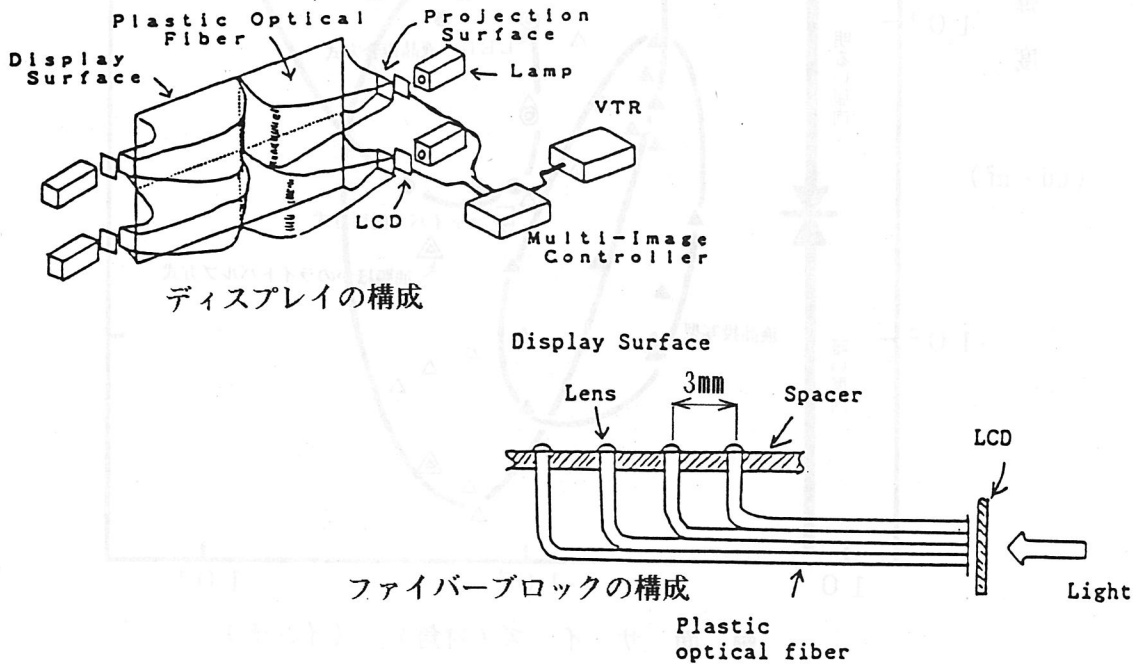


図9-15

4. 画面の大きさ

映像から受ける迫力には、その圧倒されるような画面の大きさによるところが大きい。その大画面を屋外の大空間で実現し、屋内のイベントホールへも取り込み、そして今、パーソナル・スペースへも大画面化が浸透しつつある。このような空間における画面の大きさに対する意義とはなにか。先にあげた迫力の大きさであり、遠くのを拡大して見せてくれる拡大鏡効果の便利さであり、目の前には実在しないさまざまな情景の大画面映像を通じて味わう感動であり、臨場感である。最後にあげた例として、『猪俣謙次著：映像化ビジネス』に次のような記述がある。「横浜アリーナのステージが、クローズドサーキットによってメイン会場の観客はもちろん、全国10会場の観客とリアルタイムにシンクロして熱狂の嵐を起こした。・・・クローズドサーキット会場の映像はすべてプロジェクターでリアルタイムに再生されたものである。」。会場には、100、150、250、そして300インチのプロジェクターが、収容人員に合わせて設置されていたが、その場で行われたアンケート調査の結果は、スクリーンの大きさに対して、約70%の参加者が不満を感じていることを示した。また、100、150インチのスクリーンに対しては不満度が高く、250、300インチでは満足度合いは増加したものの、より以上の大画面が望まれた。そして、この満足度に関しては、会場の収容人員が多いほど画面サイズは大きさを要求される²¹⁾。このように、画面の大きさは多数の人を対象として映像を提供する場合、満足度に対して重要な要素の一つであることが分かる。図9-16には、投写型、直視型に分けて、開発中のものも含めた大画面ディスプレイの画面サイズと画面輝度の関係を示す。なお、投写型の画面輝度は、光束値と画面サイズから換算した値である。

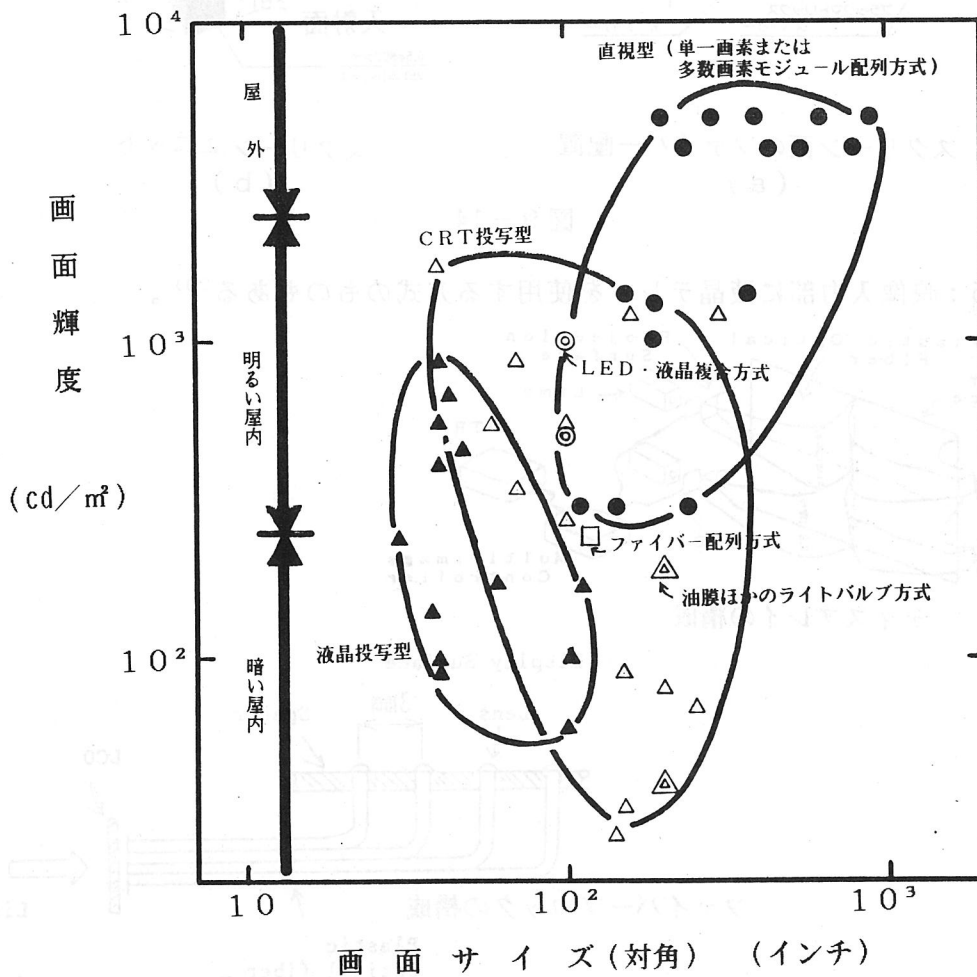


図9-16 大画面ディスプレイにおける画面サイズと画面輝度の分布

4.1 直視型（多数画素モジュール、単一面素配列方式）

実用されている画面サイズは、100～300インチ（対角）のものが多い。単一面素の方式では、蛍光灯（高輝度放電管）方式により、常設の大画面ディスプレイとしては最大級の約900インチ（対角）、213m²の画面が実用化されている²²⁾。ただし、この種の超大画面の実施例では、観察距離が100～300mと大きく、画面幅に対する画角としては約4～11°と必ずしも大きくはない。

4.2 投写型

商業用ビデオシアターや家庭用の分野で、開発・実用化が進められている。

CRT投写型においては、40～300インチ（対角）まで実用化されている^{23) 24) 25)}。最も大型の例としては、複数のCRT投写型画面を積み上げて大画面を構成する方式があり、300インチまで実用化されている¹⁴⁾。

液晶投写型では、40～200インチ（対角）までで、現在のところ40インチが中心となっている^{16) 17) 26) 27)}。

なお、HDTV対応の200インチのものがCRT、液晶の各方式で発表されている^{28) 29) 30)}。

5. 画面の明るさ

大画面ディスプレイを屋外に施設して、昼間の非常に明るい環境下で、その大画面効果を発揮するためには、自然光に対抗できるだけの画面の明るさを持たなければならない。また、屋内施設においては展示場やイベント会場などの明るい照明環境のもとでも鮮明な映像を提供する必要性が増えており、そのために画像の明るさの向上が求められている。各方式の画面の明るさ分布を図9-16に示す。

5.1 直視型

多数画素モジュールや単一面素を配列する方式では、CRT、および放電管素子の明るさ向上の開発が進められた。表示画面の輝度は、白色を表示した状態（最大値）で4,000～5,000cd/m²の高輝度を得るものが実用化されている^{2) 4) 6) 7) 9)}。

屋外においては、太陽光などが画面に与える影響は、非常に大きく、輝度コントラストの低下などにより映像の見え方を低下させる。この場合、太陽光によって生じる画面の明るさ（映像を表示していない場合）を、放電管方式のディスプレイについて測定した例を図9-17に示す²⁾。図から、太陽光によって生じる画面の明るさが、最大約1,000cd/m²に達することが分かる。この明るさを克服するには4～5倍以上の明るい画面が必要である。図9-16に示されるように、直視型のCRT方式や放電管方式では、この値を実現している。

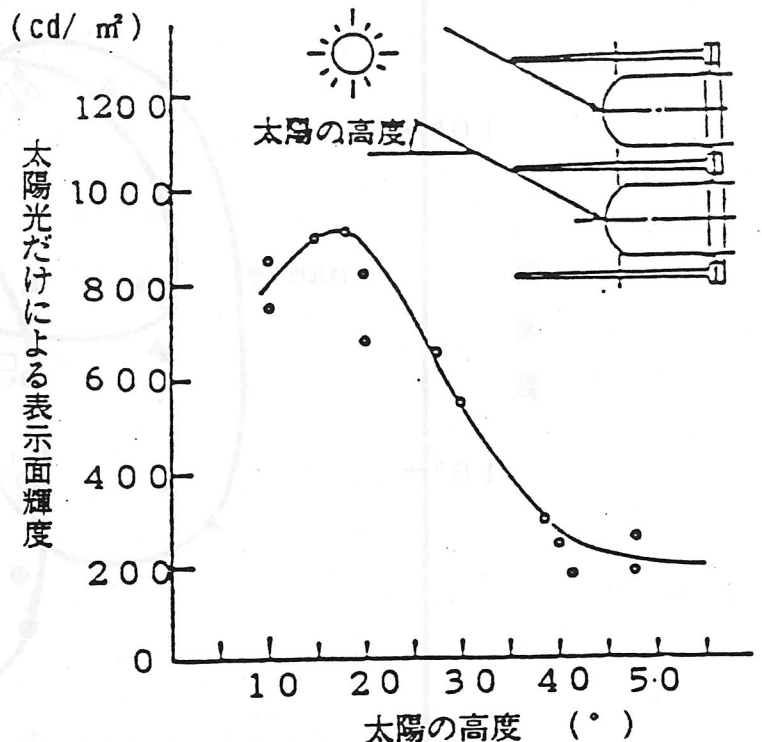


図9-17 太陽光による画面輝度

5.2 投写型

図9-16に示される通り、画面面積が増大するほど画面の明るさが低下する傾向となっ

ている。これは、投写型の原理からやむをえない。

CRT投写型では、CRTの本数を増やして明るさを増加する方法があるが、複数のCRT投写型画面を積み上げて大画面を構成する方式では、1,000cd/m²程度を得ている¹⁴⁾。

液晶投写型の表示輝度の向上には、液晶パネルの開口率を大きくする方法と、バックライトの光学系の高効率化の方法があり、それぞれについて開発が進められている。表示輝度としては開発中のものを含め40インチ程度の画面で100~1,000cd/m²を得るものが中心となっており、明るい屋内での視認性は向上している。ただし、高精細な画像を要求されるもの(例えばHDTV用)に関しては、明るさの面からは十数cd/m²(光束値をもとに、画面サイズが100インチ相当の場合の輝度換算値)と十分なレベルとはいえない²⁹⁾³⁰⁾。

6. 画像の精細さ

各種の方式について、画素数の実態をまとめて図9-18に示す。投写型にくらべ、直視型の画素数は少ない。ただし、直視型の実用される分野が、開発当初の屋外大型施設からビル壁面や各種イベント会場など屋内施設も含めた比較的至近距離で使用する機会が多くなり、このための解像度向上が求められている。さらに、映像ソフトとしてもHDTVに代表される高画質化が進み、今後一層ハードの高画質化が必要になっている。

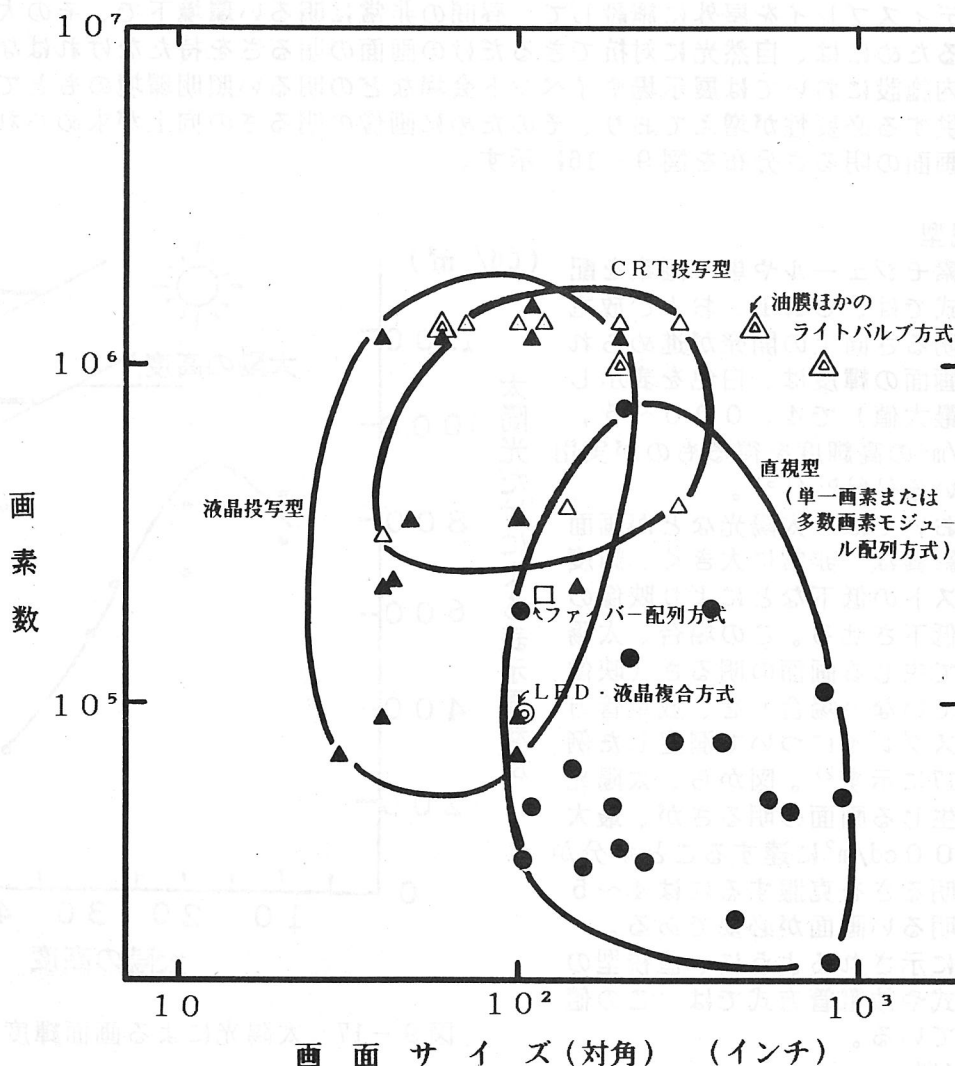


図9-18 大画面ディスプレイの画素数

6.1 直視型

精細な映像を実現するには、映像表示の最小単位であるドット寸法を小さくし、その密度を高くすることである。画素配列方式では、配列構造が大型で複雑となるため、画素を高密度に実装することが非常に困難である。そこで高密度化の方法として、画素を複合化する構造が開発され実用化されている^{3) 4) 6) 7) 9)}。直視型における画素配列方式の高密度化の現状を、最近の開発例³¹⁾を含めて図9-19に示す。

このようなハード側の画素数の増加により映像信号の情報量が不足を生じるケースがある。これは、この種の大画面ディスプレイにおいては、NTSC信号の片フィールドの情報のみを表示する方式がとられていることによる。このため、画面の大型化や至近距離からの観視条件では、走査線の粗さが目だつ(走査線間の隙間が大きい)場合や、その走査線の隙間を上・下の走査線と同一の情報でうめてしまうために斜め線がギザギザになる場合などがある。このため画面の大型化や画素の高密度化にともなって映像信号を精細化する必要を生じている。NTSC方式の映像信号に対しては、走査線の補間方法の改良により精細化を実現している。特に、動きのある映像における走査線の補間方法としては、EDTV用に開発された絵柄適応走査線補間³²⁾などがある。この種の映像信号処理技術を利用して大画面ディスプレイの高画質化の実施例がある^{8) 33) 34)}。

7. おわりに

今後一層、大画面ディスプレイはその応用分野を広げ、さまざまな環境条件(立地条件、ソフトの高度化など)のもとで使用されることとなる。ここでは、画面の大きさ、明るさ、そして精細さに対するより高度な要求が生まれ、これらを満足する方式の改善や開発が進められるものと考えられる。

(岡田 茂)

参考文献

- (1)倉橋浩一郎：大画面ディスプレイ、NHK-E S技術セミナー資料、(昭62) 8-5
- (2)柴野、浜口、中島、高橋、福原：放電管を使用した屋外大型ディスプレイ装置、信学技報 89-181、EID89-34、(平1) 21
- (3)林、鞭、大関、政時、荒江：15mmトリオ・ピッチ ジャンボトロン素子、信学技報 89-181、EID89-32、(平1) 13
- (4)白松、中野、岩田、佐能、二石、原：フラットマトリクスCRTを配列した大画面ディスプレイの高画質化、信学技報 89-181、EID89-33、(平1) 17
- (5)中野、岩田、二石、佐能、上坂：大画面ディスプレイの高コントラスト化、画像工学コンファレンス 9-6 (1989) 293-296
- (6)塩浜、今村、浪越、坂口、和田、東方：大形カラーディスプレイ用高輝度光源素子、照学 光関連材料・デバイス研究会、MD-89-10、(1989) 65-71
- (7)中島、福原、新沢、石光：3色発光型放電管による大型映像表示装置、照学 光関連材料・デバイス研究会、MD-91-16、(1991) 91-94
- (8)岡田 茂：高密度型カラー高輝度放電管による大型表示装置、電気四学会関西支部講演会、(平2) 9-12
- (9)後藤喜行：アストロビジョンのしくみと運用、ビデオα 12-1990、(1990) 41-48
- (10)S.Nakagawa,H.Kashiwabara: Full Color LED Display Utilizing Blue Fluorescent Lightsource Controlled by FLC Shutter、SID 90 Digest, 17A.4 (1990)
- (11)近藤、中島、福原：大型液晶表示装置、平成2年電気設備学会研究発表会予稿、B-10、(平2) 63-64
- (12)斎藤敬公：液晶型による大型表示装置、電気四学会関西支部講演会、(平2) 21-25

- (13)大沢、吉川、竹田、浅野：CRT投写型ディスプレイ、テレビ誌Vol.45 No.2
(1991) 164-170
- (14)西村義弘：マルチディスプレイによるイベント利用、ビデオα 12-1990
(1990) 59-65
- (15)合田、原、富岡、林：液晶投写型ディスプレイ、テレビ誌Vol.45 No.2
(1991) 170-175
- (16)連、小高、田中、川崎、村尾、宮武、三木、堀田：クリアビジョン対応液晶投写型
テレビの開発、テレビ学全大(1989) 81-82
- (17)K.Fukuda,S.mori,K.Sato,K.Ando:100-in. Extra-Slim Liquid-Crystal Rear-
Projection Display、SID 91 Digest, 20.4 (1991)
- (18)若月一晃：ライトバルブ、テレビ誌Vol.45 No.2 (1991) 175-179
- (19)ファイバービュー：三菱レイヨン(株)カタログ
- (20)K.Taguchi,N.Kojima,M.Oosumi:A Large Scale Optical Fiber Display Using
Active Matrix LCD、Japan Display '89, P3-11 (1989)
- (21)猪俣謙次：映像化ビジネス、東洋経済新報社 (1991) 144-147
- (22)井手、岡田、柴野、太田、大淵、今村：蛍光放電管式大型表示装置、電気・情報関連
学会連大、18-6 (1989) 3-91~3-95
- (23)岩崎、安藤、荻野、竹澤：高精細投写形ディスプレイ、日立評論Vol.72 No.2
(1990) 9-16
- (24)山崎映一、安藤久仁夫：CRTプロジェクション、照学 光関連材料・デバイス研究
会、MD-89-6、(1989) 39-46
- (25)進藤、奥田、田中、山辺、大西、吉田、小浦：200形ハイビジョンビデオプロジェ
クタ、三菱電機技報Vol.63 No.3 (1989) 5-10
- (26)宮武、村尾、堀田：明るく高解像な液晶投射形ディスプレイを目指して、フラットパ
ネル・ディスプレイ1991、日経エレクトロニクス・日経マイクロデバイス編
(1991) 194-206
- (27)両角伸治：投射型液晶ディスプレイ、テレビ学全大(1989) 563-566
- (28)200インチハイビジョンプロジェクションディスプレイ：(株)東芝 カタログ
- (29)液晶ハイビジョン：シャープ(株)カタログ
- (30)K.Takeuchi,Y.Funazo,M.Matsudaira,S.Kishimoto,K.Kanatani:A 750-TV-Line-
Resolution Projector Using 1.5-Megapixel a-Si TFT LC Modules、SID 91 Digest,
20.2 (1991)
- (31)H.Kamogawa,K.Tatsuda,Y.Seko,S.Uemura.T.Shimojo:A Lighting Element for High-
Resolution Large-Screen Video Display、SID 91 Digest,28.4 (1991)
- (32)石井、川井、牧野：クリアビジョン対応テレビ用LSIシステム、東芝レビュー
Vol.44 No.11 (1989) 902-905
- (33)森田俊二、富松則行：最新映像技術による次世代大型映像表示装置、三菱電機技報
Vol.64 No.8 (1990) 41-44
- (34)中瀬幸雄：高画質化の進む最新映像ディスプレイ、クロマ 平成3年1月 26-29

10. 3次元ディスプレイ

10-1. はじめに

我が国における立体テレビジョンの研究はハイビジョンと共に1960年代より開始されたが、ハイビジョンはすでに実用段階に達しており、立体テレビジョンは取り残された感がある。その理由としては入力技術の難しさ、両眼に提示する左右画像の分離表示技術の難しさ、情報量の多さ等々があげられる。

しかし、3次元画像は奥行き情報から実在感や臨場感が得られる、多量の情報量から形状や動きの把握が容易である、空間に対象物を構築できるなどの特徴が注目されており、近年、これらの問題に対する基礎研究が、コンピュータ・グラフィックス (CG) の表示技術へのニーズの高まりと共に、再び活発化した傾向にある^{1,2)}。

現在、3次元ディスプレイの研究は両眼の視差を利用した立体画像 (2次元画像2枚) によるディスプレイと複数枚の2次元画像から構成された3次元画像ディスプレイに分類される。

立体画像ディスプレイは偏光式あるいは時分割式のようにメガネを使用する方式とレンチキュラ・レンズ板を使用してメガネを必要としない方式の研究が盛んである。

一方、3次元画像ディスプレイの研究はレンチキュラ・レンズ板による多眼式、多くの2次元画像を重ねる奥行き標本化式、さらにホログラフィによる3次元ディスプレイが試みられている。

10-2. 立体画像ディスプレイの研究動向

立体画像によるディスプレイは情報量の最も少ない方式とされており、特定の方向に対して立体感を与える方式である。この方式は立体テレビジョンや立体テレビ電話、あるいはCGの表示用などへの応用を目標にした研究が現在進められている。

メガネ式には偏光板を用いて光の振動方向や回転方向の違いを利用して同時に提示された左右の画像を分離する偏光メガネ方式、時分割によって交互に切り換えて提示された左右画像をこの画像に同期した電子的シャッタのようにメガネ側で選択分離するシャッタメガネ方式とこの選択を画像の表示側でおこなう偏光メガネ方式が提案されている。

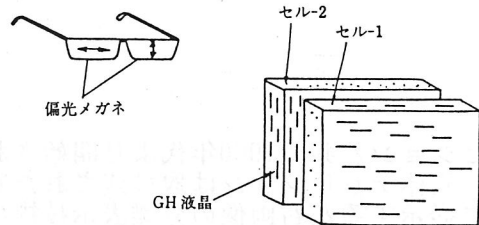
これらの方式はメガネを使用しなければならぬ煩わしさを残すが、特に時分割式は現在使われているテレビ受像機や投射型テレビにアダプタを付加すれば楽しめる特徴を有しており、この手軽さとあいまって実用性の高い方式である。

10-2-1. 偏光メガネ式によるディスプレイ

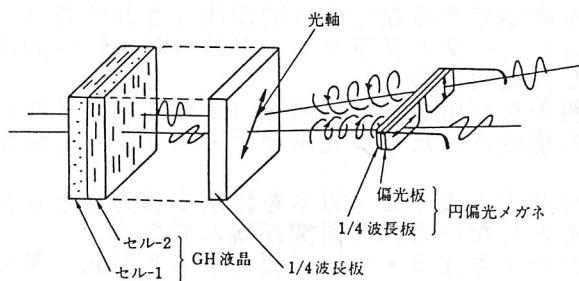
新しいディスプレイ用パネルの開発が盛んであるが、これらの中には液晶のように外部から電界の制御によって通過する光の偏光状態等の性質を変えることのできるデバイスが多くある。

図10-1 (a) はゲスト・ホスト (GH) 形液晶セル1と2の分子配向方向が互いに直交するように重ね合わせ、左右眼に対応する映像信号で変調するとGHセルは直交して透過する直線偏光の一方のみを着色する。したがって、偏光軸が互いに直交した偏光メガネを通して左右の画像を分離することができる。しかし、この方法はセルとメガネの偏光軸が一致していないとクロストークが生ずる。また、同図 (b) はこのセルの後に液晶分子の配向方向と光軸を45度傾けた1/4波長板を配置し、2つのセルで変調された左右の変調光を左回りと右回りの円偏光に変換し、1/4波長板と偏光板で構成された円偏光メガネを通して左右の画像を分離させ、頭の傾きによってクロストークが生じないように改良している³⁾。

図10-2は2台のプロジェクタの前に互いに直交する偏光板を配置し、スクリーンへ同時に投影された左右画像を複数の観察者が偏光メガネをかけて見る立体ビデオディスク



(a) 直線偏光形



(b) 円偏光形

図10-1 GH形液晶による表示原理

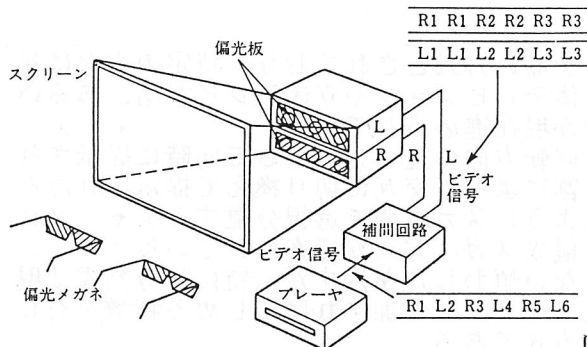


図10-2 プロジェクタによる立体ビデオ

10-2-2. 時分割メガネ式によるディスプレイ

時分割式の原理を図10-4に示す。同図(a)はシャッターメガネ方式であり、メガネの構成は2組の偏光板の間に偏光素子を挿入し、画面に同期した素子ドライバからの切り換え信号によって偏光板を通過した直線偏光を90度回転させ、後ろに置かれた偏光板との組み合わせで光の開閉をおこなっている。また、同図(b)は偏光板と偏光素子を表示側に配置して、偏光板に対応する偏光メガネのみをかけて観察できるようにした時分割式の偏光メガネ方式である⁶⁾。

図10-5は時分割式のシャッターメガネ方式によるVHD立体ビデオディスク装置の例である⁴⁾。この方式はVHDプレーヤにアダプタを付加するだけでモノ画像と立体画像との両立性を持たせることができる。ブラウン管には1/60秒間隔で左右画像を交互にフィールド表示させ、液晶シャッターメガネをアダプタでフィールド毎に開閉制御して画像を分離する方法である。

図10-6はプロジェクタの前に円偏光液晶シャッターを配置した100インチCG画像表示用プロジェクション形立体ディスプレイ装置の構成を示す⁷⁾。

装置である⁴⁾。なお、プレーヤの再生画像は左右画像情報を時分割で交互に読み出し、フィールドメモリを用いて画像の補間をおこない、プロジェクタへ常に左右画像を送り出している。

図10-3は2枚の液晶パネルを用いた投射形立体表示装置光学系の構成を示す。光源からの光束は偏光ビームスプリッタによって互いに直交する直線偏光の2光束に分割され、左右眼用の透過形液晶テレビパネルで変調された後、再び1光路に合成される。この後左右の円偏光に変換されてスクリーンへ投射された画像を偏光メガネをかけて観察する方法である。この方法は光学系が小型になり、光源の光利用率が高く明るく表示できる特徴を有している⁵⁾。

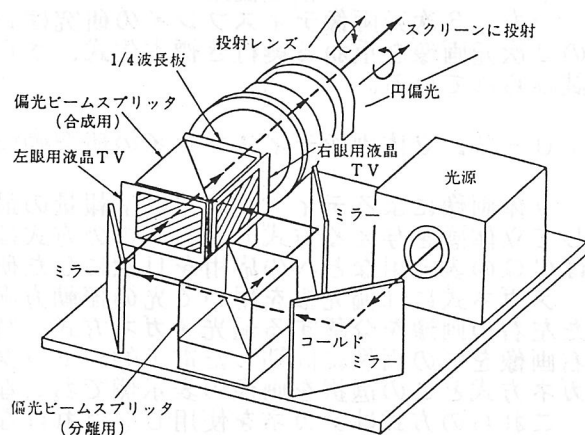


図10-3 投射形立体表示装置光学系の構成

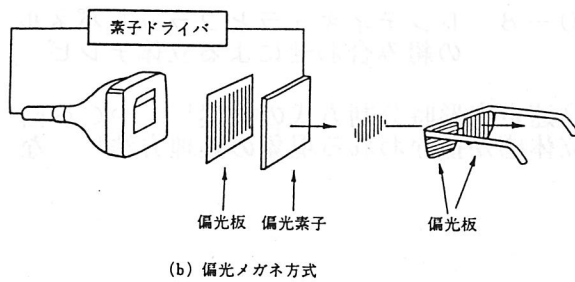
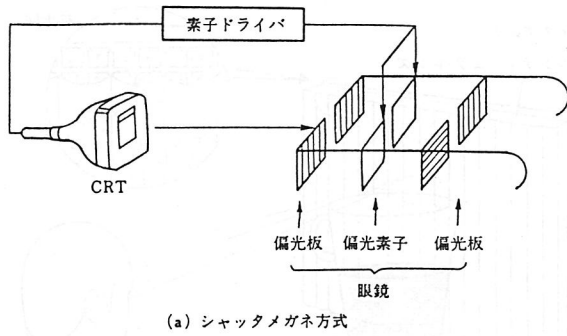


図10-4 時分割メガネ式の原理

10-2-3. メガネなし式によるディスプレイ

他方、メガネを使用しないで見るためには表示側で左右眼に対応した画像を分離して提示できる指向性を備えていなければならない。古くはパララックス・バリヤが使われたが、半円筒レンズを配列したレンチキュラ・レンズ板を一般には用いている。

図10-7のように、レンズ板の焦点面に縦縞状に分割された左右眼に対応する画像を配置し、このレンズ板を通して観察するとレンズ板の指向特性に応じて左眼と右眼に画像が分離されて立体視できる。この方法は縦縞状に分割された画像をレンズ板に対して精密に合わせる必要があり、またレンズ板のピッチが広いと眼の位置によって像が不連続になる”とび”現象が起こる⁸⁾。

図10-8はカラーLCDとレンチキュラ板を組み合わせた立体テレビ電話用表示装置のパネルの様子を示している⁹⁾。最近では頭部追跡機能が加わり、”とび”現象の改善がおこなわれている¹⁰⁾。この他にもPDP¹¹⁾やVFD¹²⁾を用いた同様な

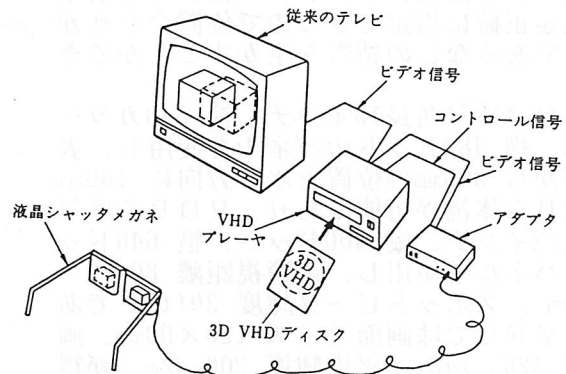


図10-5 VHD立体ビデオディスク

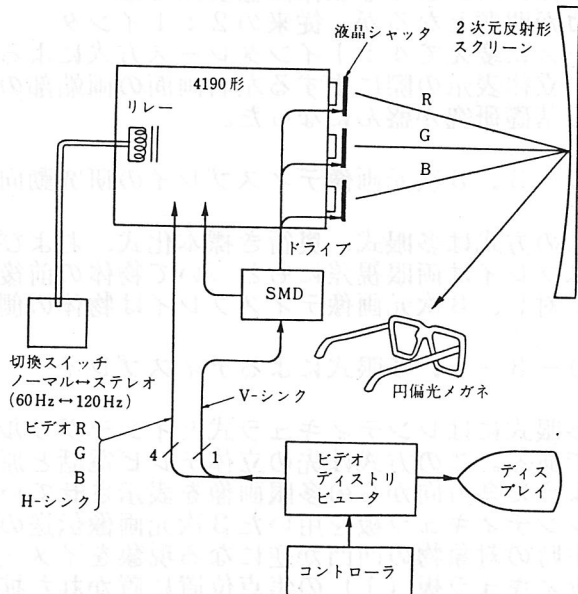


図10-6 立体プロジェクタの構成

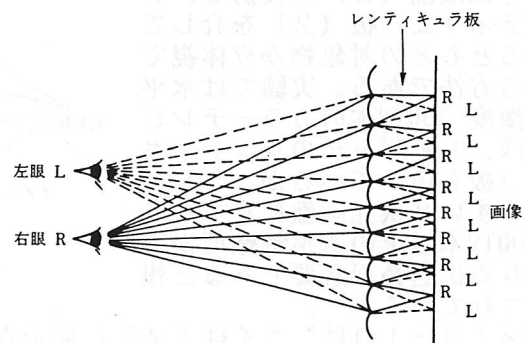


図10-7 レンチキュラ式の原理図

装置が試作されている。フラットパネルディスプレイはX、Yアドレスによって表示位置を正確に指定できるので位置合わせが容易であるなどの特徴を生かすことができる。

LCDは対角長15インチ、縦640カラー画素、横480ドットのパネルを使用し、表示面から800mmの位置で水平方向に180mmに渡り立体視が可能であり、PDPでは対角長12インチ、縦400ドット、横640ドットのパネルを使用し、最適視距離80～120cm、スポットピーク輝度30ft-Lであり、VFDでは画面サイズ120×90mm、画素数320×240、平均輝度200cd/m²が得られたとそれぞれ報告されている。

また、このような立体画像表示ではフリッカが問題となるが、従来の2:1インタレースに変えて4:1インタレース方式による高速走査形時分割方式の提案¹³⁾やCG画像の立体表示の際に生ずる左右画面の両端部の立体感が損なわれる現象の処理方法¹⁴⁾などの基礎研究が盛んになった。

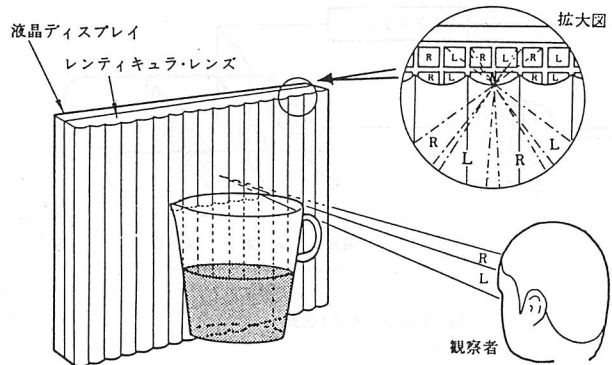


図10-8 レンティキュラとフラットパネルの組み合わせによる立体テレビ

10-3. 3次元画像ディスプレイの研究動向

この方式は多眼式、奥行き標本化式、およびホログラフィに分類できる。2次元画像ディスプレイは両眼視差にもとづいて物体の前後情報のみを再現させることが主体であったのに対し、3次元画像ディスプレイは物体の側面も表示できる能力を有している。

10-3-1. 多眼式によるディスプレイ

多眼式にはレンティキュラ式とインテグラル式があるが、研究の主流はレンティキュラ式である。この方式は先の立体テレビ電話と原理は同じであるが、物体の側面も表示できるように多方向からの多眼画像を表示させている。

レンティキュラ板を用いた3次元画像伝送の原理図を図10-9に示す。同図において、再生時の対象物の凹凸が逆になる現象をイメージコンバータによって逆視像変換の後、レンティキュラ板(1)の焦点位置に置かれた拡散面(1)に結像された画像を1台のテレビカメラで撮影してモニターテレビに表示させる。この画像はレンズ(2)によって拡散面(1)に結像されたと同じ画像を拡散面(2)へ投影し、レンティキュラ板(2)を介して見るともとの対象物が立体視できる方法である。実験では水平解像度350TV本のカラーテレビ画像、3mmピッチのレンティキュラ板を用いているが、さらに見やすい3次元画像にするには2000TV本以上の水平解像度が得られる伝送系が必要であると報告されている¹⁵⁾。

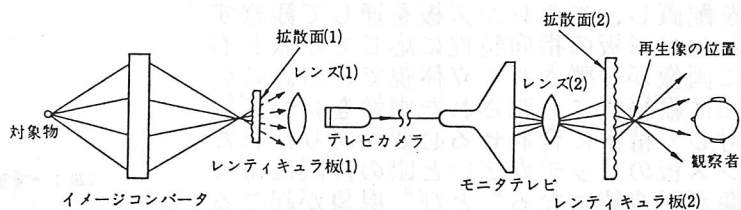


図10-9 3次元画像伝送の原理図

図10-10は“つくば万博”に展示された透過式の立体テレビジョンシステムの例である¹⁶⁾。5台のカメラで撮影された映像を5台のVTRに記録し、このVTRを同期再

生ずる。画面は両眼間隔の半分の間隔に配列されたと等価になるようにハーフミラーで5台の投射ユニットからの像を合成し、透過式二重レンティキュラ・スクリーンに画像を拡大投影する。レンティキュラ・スクリーンの前のフレネルレンズは視域を倍に拡大する働きをする。この立体テレビは14インチ、解像度は300TV本、最適視距離は75～150cm、立体視認角は16度と報告されている。

図10-11は4台のプロジェクタを使ってよりコンパクトになるように光学系を工夫した例である¹⁶⁾。ここではプロジェクタの間隔が両眼間隔に対応しており、1-2, 2-3, 3-4間の位置から立体視ができる。

この他にも、指標付高解像力ブラウン管の表面に二重レンティキュラ板を置いた8眼式のブラウン管直接表示装置¹⁷⁾などが研究されている。

10-3-2. 奥行き標本化式によるディスプレイ

3次元画像を空間に再現する代表的な例として、図10-12に示すように種々な方式が提案されている。同図(a)は薄膜ミラーをスピーカの振動で凹凸に変形させ、ブラウン管上の各切断面画像をミラーに同期させて反射させると焦点の変化で奥行きを持って観察できる。ただし、像の倍率が変わるので補正が必要である¹⁸⁾。

同図(b)は反射形液晶パネル(L, R)を等間隔に配置し、各切断面像に対応した液晶セルの前にある π セルを制御して画像をもとの方向へ反射させる¹⁹⁾。

同図(c)は回転する円盤上に垂直に立てたアルキメデスの螺旋スクリーンを一定方向から観察すると前後に振動しているように見えるので、このスクリーン上にレーザー光で画像を投影すれば空間に3次元画像が再生できる²⁰⁾。

また、同図(d)は円筒中の1回転の螺旋スクリーンを回転させるとレーザー光の光点は上下に振動する²¹⁾。

同図(e)は2次元LEDアレイの回転によって得られる円筒空間にそれぞれ3次元画像を表示させている²²⁾。

奥行き標本化式で再生される3次元空間像はすべての切断面画像の表示操作を眼の残像時間内に完了しないとちらつき感が残り、本質的に手前の再生像に隠れているはずの裏面または内部の像が透けて見えるファントムイメージング現象が生ずる。この特徴は内部構造まで見たい航空管制用²³⁾、CG、CTなどの出力表示用に適しており、当面はコンピュータで処理された画像のディスプレイ用として有望である^{24, 25)}。

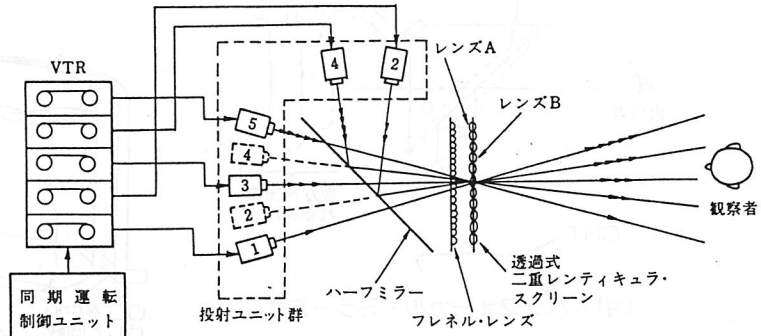


図10-10 多数のプロジェクタを用いた立体テレビシステム

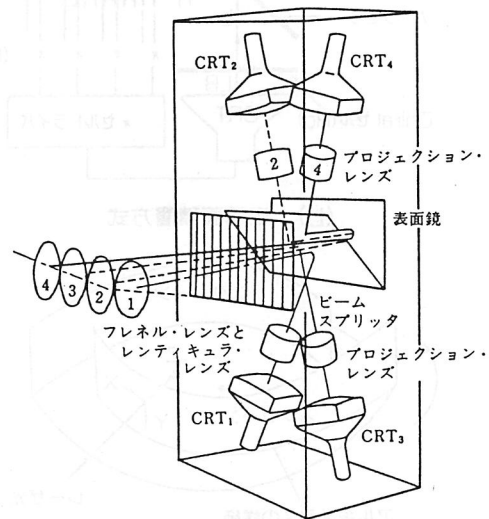
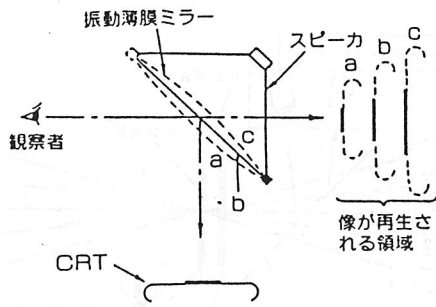
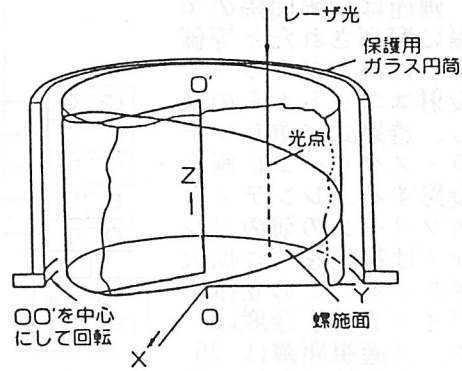


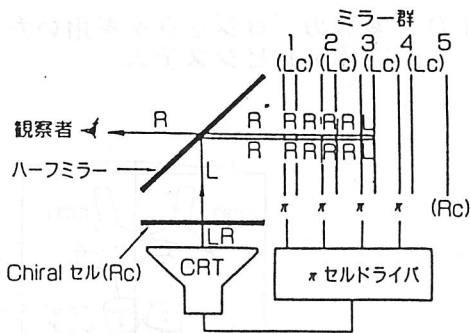
図10-11 透過式立体テレビ



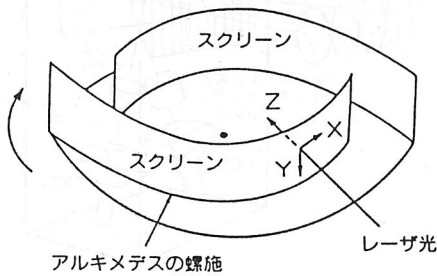
(a) パリフォーカル・ミラー方式



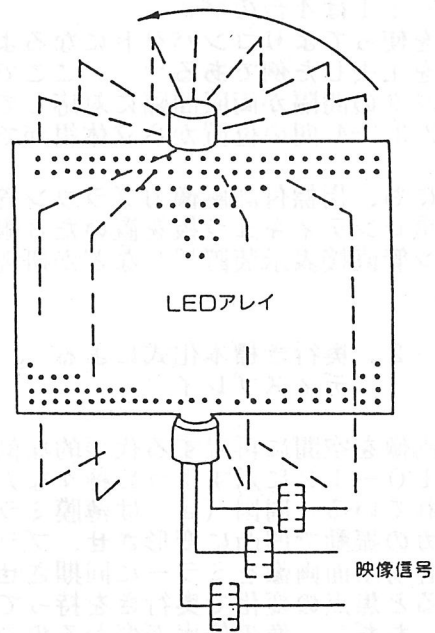
(d) 螺旋スクリーン方式



(b) 表示面積層方式



(c) アルキメデスの螺旋スクリーン方式



(e) LEDアレイ方式

図10-12 各種奥行き標本化方式の例

10-3-3. ホログラフィによるディスプレイ

1948年に考案されたホログラフィは3次元ディスプレイの最も優れた方式であり、種々改良が加えられてきた。しかし、その表示の即時性に難点があった。

図10-13はレーザー光再生円筒形ホログラフィック・ステレオグラムを自動的に作成するシステムの構成例を示す²⁶⁾。透過形液晶テレビパネルにコンピュータで生成した画像を書き込み、2分割されたレーザー光の一方をこのパネルに照射して空間変調させる。これが物体光となって拡散板、スリットを経て他方のレーザー光(参照光)とともに円筒フィルム面で要素ホログラムを形成する。この合成過程は画像と円筒フィルムの角度をコンピュータで制御して自動的にできるが、現在のところ空間変調器の画素数、コントラスト、階調表現などに問題が残されている。

実験では縦 146画素、横 160画素の単純マトリックスTN透過形LCDを使用し、4～5階調のCG画像 180枚を記録したと報告されている。

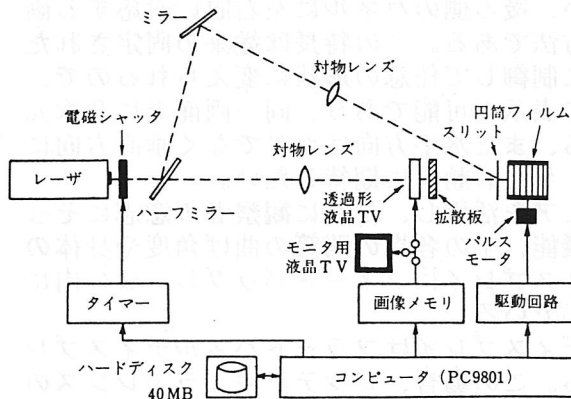


図10-13 ホログラフィック・ステレオグラム合成システム

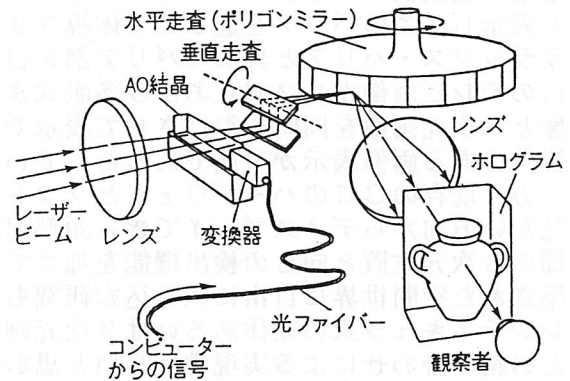


図10-14 動く3次元ホログラム画像の表示システム

図10-14は動く3次元ホログラム画像の表示システムの概念図を示す。一般に、ホログラフィは写真乾板にホログラムを記録・現像し、この乾板に照明光をあてて再生される像は上下、左右方向に立体感が得られるが、ここでは左右方向のみのホログラムをコンピュータで計算している。同図はこのホログラム乾板に対応する部分を音響光学(AO)変調器と垂直および水平走査用のミラーでおこなわせている。すなわち、CG合成されたホログラムをテレビと同様な走査方法でホログラムの映像信号を順次にAO変調器へ送り出す。このホログラム信号はAO変調器の結晶内をトランスジューサ(変換器)側から粗密波となってレーザー光を回折させながら結晶固有の音響速度で進行する。したがって、このままではホログラム信号が移動しているために、再生された画像は音響速度と同じ速度で移動してしまうので、水平走査用のポリゴンミラーを画像の移動方向に同期させて逆方向に回転すれば画像は静止した状態で観察される。この走査をホログラム信号に同期した垂直走査用ミラーで上下方向に順次走査すれば、写真乾板に記録されたホログラムの再生と同様の効果が得られる。

実験で表示されるカラー画像は1辺が40mmで12度の水平視野角を持ち、画面は40Hzで更新され、画面当たり6メガバイトに相当する192行の垂直解像度で、鮮明さも充分できわだった立体感が得られたと報告されている²⁷⁾。

10-4. まとめ

3次元ディスプレイの研究が進につれてその可能性が膨らみつつあるように思われる。メガネ式による立体画像ディスプレイは立体カメラ一体形VTRや立体ビデオディスクがすでに商品化されている⁸⁾。

また、ハイビジョンの大画面による立体表示の調査研究²⁸⁾も進められており、偏光メガネ式は画質的に優れているが、送出・表示系が2系統必要である、偏光保存性のスクリーンが要求されるのに対し、時分割メガネ式は装置およびスクリーンを変更する必要がないことなどから、現時点では時分割メガネ式が適すと示唆している。なお、1991年の研究所の公開では偏光メガネ式によるハイビジョン立体映像システム、液晶投射形ディスプレイとレンチキュラ・レンズ板を組み合わせた4眼式メガネなし式立体テレビジョン・ディスプレイ装置が展示され注目を集めた²⁹⁾。また、12月にはパララックス方式による

現行テレビ画像と立体テレビ画像表示との両立性のある新しいメガネなし式3次元ディスプレイ装置に関する報道がおこなわれた。すなわち、2枚の透過形液晶パネル(9.6インチ、640(H)×400(V)ドット、ドットピッチ 0.3mm×0.3mm)を重ね合わせ、観察側の手前のパネルを細い縦縞状のスリット・バリア部として使い、後ろ側のパネルに左右眼に対応する画像を表示し、このバリアを通して立体視させる方法である。この特長は従来の固定されたパララックス・バリアと異なりバリア部を自由に制御して任意の形状に変えられるので、現行のテレビ画像から2眼式および多眼式までの表示が可能であり、同一画面上に2次元画像と3次元画像を同時に混在させて表示できる、また水平方向ばかりでなく垂直方向にも視差のある画像表示が可能であるとしている。今後の動向に期待したい。

一方、既存のCGのハードウェアとソフトウェアを活用し、これに観察者の意志にそって見たい方向からディスプレイできる頭部追跡機能、手の各指の関節の曲げ角度や身体関節の3次元位置と向きの検出機能を加えてディスプレイにフィードバックし、CG内に構築された空間世界に自由に入り込む研究も進んでいる²⁾。

レンティキュラ式の立体あるいは3次元画像ディスプレイはフラットパネルディスプレイとの組み合わせによる実現性が高いと思われる。この場合、レンティキュラ・レンズの最適ピッチは0.1～0.5mmであり、この中に最小でも2～5画素分の表示が要求される。

奥行き標準化式は電子的な表示機構の開発が望まれており、現在のテレビと同等の画質を得るには映像周波数や走査速度などに問題を残している。

ホログラフィによるディスプレイに即時表示の可能性が見い出されたので、今後の展開が楽しみである。また、入射した光に2次元的な変調を与える空間光変調素子、高速で光書き込みのできるライトバルブのようなインコヒーレント/コヒーレント変換素子、あるいはホログラム記録・再生素子などの開発に期待したい⁸⁾。

(増田 千尋)

参考文献

- (1) 立体映像システムに関する調査研究会編：立体映像システムに関する調査研究報告書，郵政省（1987）または立体画像システム（3D）研究会編：情報化社会の90年代展望に関する調査研究報告書，通産省（1988）
- (2) 特集立体感と3次元情報，TV学誌（1991）Vol.45, No.4 または S.S.Fisher: VIRTUAL ENVIRONMENTS, PERSONAL SIMULATION & TELEPRESENCE, 3D映像（1989）Vol.4, No.4
- (3) 内田：液晶による3次元ディスプレイ，TV学全大（1987）S1-5
- (4) 鈴木、平田：立体ビデオディスクシステム，3D映像（1989）Vol.3, No.4
- (5) 今井、坂本、窪田：液晶TVパネルを用いた投射形立体表示装置，電子情報通信学全大（1989）C-84
- (6) 首藤：液晶シャッタを用いたフィールドシーケンシャルステレオ表示装置，TV学誌（1989）Vol.43, No.8
- (7) 100インチ・スクリーンで高精細立体イメージ，3D映像（1989）Vol.3, No.4
- (8) 増田：3次元ディスプレイ，産業図書（1990）
- (9) NTT：立体テレビ電話用表示装置，3D映像，（1990）Vol.3, No.4
- (10) 一之瀬、鉄谷、小松、秋山：直視型15インチ立体ディスプレイの開発，3D映像，（1991）Vol.5, No.4
- (11) 磯野、安田、日下：3Dプラズマディスプレイの一方式とその視覚特性，TV学技報（1988）ID 88-7
- (12) 渡辺、鶴沢：蛍光表示管による3D表示，3D映像，（1989）Vol.3, No.4
- (13) 磯野、安田：時分割立体視の成立条件，TV学誌（1987）Vol.41, No.6
- (14) 安居院、長尾、山崎、中嶋：2眼式立体画像のためのステレオクリッピング，

- TV学誌 (1991) Vol.45, No.1
- (15) H. Higuchi, J. Hamasaki: Real-time transmission fo 3-D images forme by parallax panoramagrams, Appl. Opt. (1978) Vol.17, No.24
 - (16) 木谷: 立体テレビジョン, TV学誌, (1982) Vol.36, No.12
 - (17) 濱崎: 多眼式3次元映像表示, TV学誌, (1989) Vol.43, No.8
 - (18) E. G. Rawson: 3-D Computer-Generated Moving Using Varifocal Mirror, Appl. Opt. (1968) Vol.7, No.8
 - (19) T. S. Buzak : A Field-Sequential Discrete-Depth-Plane Three-Dimensional Display, SID Symp. Digest (1985) 18.4
 - (20) 山田他: レーザと移動スクリーンを使用した3次元ディスプレイ, TV学技報 (1984) Vol.8, No.25
 - (21) U. Brinkman : A laser-based three-dimensonal display, Lasers & Applications (1983)
 - (22) T.F.Budinger: An analysis of 3-D display strategies, SPIE (1984) Vol.507
 - (23) R. D. Williams, F. Garcia, Jr : A Real-Time Autostereoscopic Multiplaner 3D Display System, SID Digest (1988) 7.1
 - (24) 日経産業新聞: 立体画像、発光ダイオードで, (1990,3,13)
または松本: スペクトラムビジョンの開発, 3D映像, (1990) Vol.4, No.4
 - (25) 日本経済新聞: どの方向からも立体像, (1990,7,30)
 - (26) 木下: ホログラフィック・ステレオグラムによるCG画像の表示, TV学技報 (1990) IPU 90-36
 - (27) S. A. Benton: Experiments in Holographic Video Imaging, 3D映像 (1991) Vol.5, No.2、または 動く3D-ホログラム, O Plus E (1990) No.130
 - (28) 本間、種田、村崎、渡辺、捧、日下、河野、丸田: 大画面ハイビジョンディスプレイ3次元化の調査研究, 放送文化基金研究報告, (1990,2,25) Vol.13
 - (29) NHK放送技術研究所公開資料, (1991)

1 1 . あとがき

以上、最近の約5年間における発光型ディスプレイデバイスの研究開発の動向についてまとめた。先に報告されたディスプレイ用材料・デバイス研究調査委員会の報告書（J I E R - 0 1 3）と同様、本報告書が有効に活用されることを切望する。

しかし、本文の中でも述べているように、この分野の進展は日進月歩で今後もますます発展していくことが確実である。その発展の中で本学会と関連する新しいテーマが生ずることも考えられる。また、本学会と密接なテーマであるLCD用バックライトや大型ディスプレイの発展、及びディスプレイデバイスと関連する環境や観視条件に関わる研究の発展も十分期待される。従って、これらの分野について今後も引き続き調査しまとめていくことが本学会にとって重要と思われる。このような活動を通じて本学会がより一層躍進することを期待したい。

（村上 宏）