

情報機器光源に関する研究調査委員会
報 告 書

平成 9 年 3 月

社団法人 照 明 学 会
情報機器光源に関する研究調査委員会

目 次

1. まえがき	1
2. 光源が使われる情報機器	4
2.1 情報機器と使われる光源の機能の概要	4
2.2 読み取り機器	8
2.2.1 イメージスキャナー	8
2.2.2 バーコードリーダー	20
2.3 記録機器	24
2.3.1 複写機・光学式プリンター	24
2.3.2 光ディスク	32
2.4 伝達機器	40
2.4.1 ファクシミリ	40
2.4.2 光通信	42
2.5 表示機器	46
2.5.1 プラズマ・ディスプレイパネル	48
2.5.2 液晶ディスプレイ	55
2.5.3 液晶プロジェクタ	68
2.5.4 DMD	79
2.5.5 大型ディスプレイ	81
3. 情報機器用光源の現状と動向	86
3.1 H I Dランプ	86
3.1.1 H I Dランプの動作と原理	86
3.1.2 情報機器用H I Dランプ	91
3.2 水銀蛍光ランプ	98
3.2.1 冷陰極水銀蛍光ランプ	98
3.2.2 熱陰極蛍光ランプ	106
3.2.3 平板型蛍光ランプ	108
3.3 希ガス蛍光ランプ	111
3.3.1 有電極	111
3.3.2 外部電極	114
3.4 ハロゲン電球	117
3.5 発光ダイオード	122
3.6 半導体レーザ	131
3.7 E L	139

4. 情報機器用光源の駆動回路	147
4.1 H I Dランプの点灯回路	147
4.2 蛍光ランプの点灯回路	151
4.3 ハロゲンランプの点灯回路	155
5. 話題の光源	161
5.1 青色半導体レーザー	161
5.2 S H G	162
5.3 有機E L	166
6. 関連規格動向	170
7. あとがき	173

1. まえがき

今日、社会は情報化社会と呼ばれ、それを支える情報機器は日々めまぐるしく進歩発展を続けている。中でもその中枢をなすIC（半導体）類は信じられない程の速度で進歩しており、止まるところを知らないと言っても過言ではあるまい。

しかし、周辺機器ではメカニカルな部分、熱的プロセス、光学的プロセス等を含み、半導体関係に比べると開発速度はかなり遅く感じられる。情報機器のレベルはシステム全体で評価されるものであり、足並みを揃えるためにも周辺機器の開発速度の上昇が望まれている。光を用いる情報機器では技術開発が光源に制約されている点もある。光源に対しては、

- (1)高光束・高輝度化（光源の光束・輝度は表示装置の見え方、データの処理速度などに大きな影響を与える。）
- (2)小形軽量化（機器のサイズを小さくするため）
- (3)光源の動作安定化および耐振性等の機械的強度（機器の安定な動作のために）
- (4)光源の長寿命化。（情報機器の構成要素の中で光源部分の寿命は短い部類に入る？）
- (5)コストダウン

等々多くの改善・性能向上が求められている。

一方、光源にとっても単なる一般照明用だけでなく、新しい用途を開拓して行くことは市場の拡大のみならず、光源技術の進歩発展のためにも極めて重要なことである。

このような状況の中で、「光の発生・関連システム研究専門部会」の発議により、平成6年4月に当委員会が設置されることとなった。参考までに委員会設置の主旨を掲げておく。（平成6年度照明学会理事会資料より）

近年、社会の情報化の進展に伴って各種の情報機器が開発されてきた。これらの機器にはその用途に合わせて、ディスプレイ、印刷、文字読み取り用等に各種の光源が利用されている。

これらに使用される光源を、情報関連光源として調査整理し、その技術開発の動向を調査するとともに今後の方向を探る。委員会では以下の点について調査する。

1. 光源の使用されている情報機器の調査
2. 使用光源と点灯システムの分類
3. 関連する周辺技術の調査
4. 技術開発の動向調査
5. 将来動向への提案
6. その他

このような設立主旨を受け、平成9年4月までに12回の委員会と2回の公開研究会を開いて調査研究を進め、本報告書の発行に至った。内容は以下の通りである。

- 第2章 光源が使われている情報機器
- 第3章 情報機器用光源の現状と動向
- 第4章 情報機器用光源の駆動回路（方法）の現状と動向
- 第5章 話題の光源
- 第6章 関連規格の動向
- 第7章 あとがき

「情報機器光源に関する研究調査委員会」構成

委員長	竜子 雅俊	明石工業高等専門学校
幹事	石神 敏彦	東芝ライテック(株)
	塩浜 英二	松下電工(株)
委員	鈴木 義一	ウシオ電機(株)
	一ノ瀬 修一	セイコーエプソン(株)
	伊藤 一也	日本電気ホームエレクトロニクス(株)
	尾木 純	ハリソン電機(株)
	小林 健一	日本電気(株)
	西勝 健夫	三菱電機(株)
	重田 照明	松下電器産業(株)
	中澤 育男	日立照明(株)
	宮下 栄明	三洋電機(株)
	外川 昭夫	富士通(株)
	吉池 久夫	岩崎電気(株)
	安藤 孝一	新電元エンタープライズ(株)
	石川 正	キヤノン(株)
	松本 秀一	ソニー(株)
鈴木 八十二	東海大学工学部	
永井 芳文	日亜化学工業(株)	

上記委員の他、次の方々に報告書の執筆をご担当いただきました。

松本泰夫氏	テック(株)	2.2.2	バーコードリーダー
和辻浩一氏	松下電子工業(株)	2.5.1	PDP
渡辺昭男氏	東芝ライテック(株)	3.2.2	熱陰極
吉岡正樹氏	ウシオ電機(株)	3.2.3	平板型
山崎 繁氏	岩崎電気(株)	3.7	EL
		5.3	有機EL
中道昌夫氏	岩崎電気(株)	4.1	HIDランプの点灯回路
長野信久氏	東芝ライテック(株)	4.3	ハロゲンランプの点灯回路

委員会審議経過報告

◎第1回幹事会（平成6年6月）

委員会の調査範囲、委員構成、委員会の進め方等について審議。

◎第1回委員会（平成6年9月）

委員会設立の主旨説明に引き続き、委員会の進め方、調査対象範囲、過去・現在の類似委員会の把握などについて討議。対象範囲に照らして戦力の不足している複写機などの分野で委員を補充していくことを確認。

◎第2回委員会（平成6年11月）

OA機器に使用されている光源およびバックライト用光源、冷陰極放電管についての現状と動向について討議。また、情報機器としては、液晶プロジェクター、3Dディスプレイ、イメージスキャナーの技術動向について、メーカーのカタログ等に基づいて紹介。更にこれらの機器における光源の果たす役割とか望ましい光源等についての提案・討議。

公開研究会「情報機器光源の現状と今後の動向」について企画・検討。

◎第3回委員会（平成7年2月）

半導体レーザ、液晶プロジェクタ用メタルハライドランプ、熱陰極形低圧希ガス放電ランプ、OA機器用無電極蛍光ランプ、LCD用バックライトなどの現況報告を数社のカタログや技報等に基づいて説明。

半導体レーザ関連機器を担当できる委員を補充することで合意。

◎公開研究会（平成7年2月、光の発生関連システム研究専門部会との共催）

「情報機器光源の現状と今後の動向」

◎第4回委員会（平成7年4月）

情報機器用に提供されている光源、蛍光ランプを画素とする大型ディスプレイ装置等について製品・技術を紹介。委員会の調査範囲・項目について討議。プラズマ・ディスプレイ関係の委員を補充すべく心当たりを打診していくことを確認。

◎第5回委員会（平成7年7月）

複写機について構造・機能の説明と光源の使われ方、光源に望まれる条件などについて紹介・提案。液晶用バックライトについて現状の紹介。幹事より報告書の第一次の目次案が提案され、討議。

◎第6回委員会（平成7年10月）

住宅用照明器具のエレクトロニクス化技術の動向について紹介。高輝度青色LEDの開発経緯、応用製品等について実演付の詳細な紹介と質疑応答。開発中の新しい技術として、SHGによる青色光源について紹介と解説。PDP委員は断念せざるを得ない方向。

◎第7回委員会（平成8年1月）

ハロゲン電球の現状と展望、HIDランプ照明器具のエレクトロニクス化技術の動向についての紹介。LCD表示装置技術の詳細および現状と将来の見通し等について豊富な資料に基づいて紹介・解説。

◎第8回委員会（平成8年4月）

委員会報告書の第二次目次案および執筆担当者、ページ数等について討議。委員の中で執筆適任者のいない分野については、委員外の方から適任者を捜して依頼する方向。

◎第9回委員会（平成8年7月）

委員会報告書の各委員担当部分の構成案（草稿）について審議。

◎第10回委員会（平成8年10月）

委員会報告書の第1次原稿を持ち寄り、審議。

◎第11回委員会（平成9年1月）

委員会報告書の第2次原稿を持ち寄り、審議。

◎第12回（最終）委員会（平成9年2月）

報告書の最終原稿についてチェックと確認をし、印刷に回して委員会を終了。

◎公開研究会（平成9年4月、照明学会全国大会シンポジウム）

「情報機器光源に関する研究調査報告」

2. 光源が使われる情報機器

財団法人光産業技術振興協会の調査¹⁾によると、光産業の生産額は1986年に1兆円に達し、その後も順調に伸び、1995年には前年比6.8%増の4兆3380億円に達した。

光産業は今後も情報化、マルチメディア社会を支える基幹産業として成長していくと考えられ2000年には5兆5千億円～7兆1千億円との試算もある。(図1)

1995年度の全体生産規模のうち、約70%に当たる3兆910億円が機器・装置であり、約30%の1兆2470億円が光部品である。

機器・装置の約50%(1兆6200億円)が光ディスク、約30%(8980億円)が光入出力装置、約10%(3310億円)が光電送機器・装置となっている。光部品の、約50%(6270億円)がディスプレイ素子、約15%(1910億円)が発光素子、光ファイバ(1410億円)と受光素子(1270億円)がそれぞれ約10%となっている。これらを分野別にみると、情報分野が84.3%(3兆6560億円)、通信分野が13.6%(5910億円)、その他エネルギー分野が2.1%(890億円)となっている。

(図2)

そして世は、マルチメディアの話題で賑わっており、インターネット、イントラネットと情報関連の話題が多い。従来からのメタリック系の伝送路で音声メディアに加え非音声メディアであるデータ通信やファクシミリ通信さらには画像・動画通信が行われてきたが、更に光ファイバーが基幹以外にも使われ始めその広帯域・小減衰という特性を生かし大量の情報扱える環境が整った。加えて半導体やデジタル信号処理技術、コンピュータの進化は著しい。その結果、音声・文字・記号・静止画・動画等を一元的に扱うマルチメディアに対する期待が高まっている。情報メディアには前記のように各種あるが表現のし易さ、情報の量、理解にし易さはそれぞれ特徴があり効率的に伝達する為に、場面により使い分けたり組み合わせたりして用いれば、より正確、よりスピーディ、リアルに伝達できる。これらでは各種の情報をコンピュータや、デジタル系に取り込み処理や伝達されている。これらに代表されるように情報をデジタル化し処理伝達することが主流に成ろうとしている。これを支える情報機器には情報を読み取り、情報を処理し、記録、伝達、表示(ディスプレイ又はプリントアウト)する機能が必要とされる。これらの機能を達成するために、光が使われ、各種の光源が使われており、光源の能力を最適に引き出すために、駆動回路が使われている。

2.1 情報機器と使われる光源の機能の概要

本章では、光源を使う情報機器の機能、機器の種類、光源の種類、機器の中での光源が果たす役割(機能)と、読み取り機能を持つ機器の光源への要求について概説する。光源を使う情報機器の機

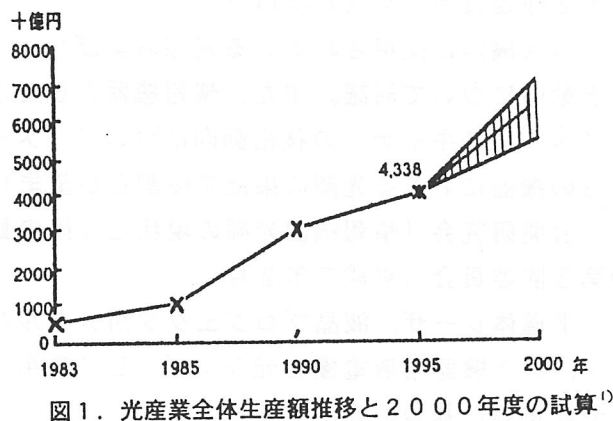


図1. 光産業全体生産額推移と2000年度の試算¹⁾

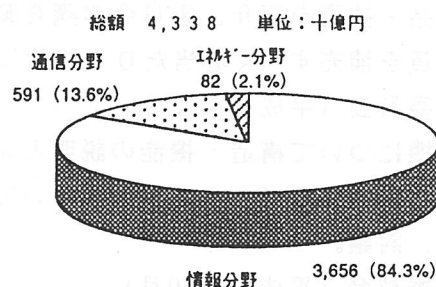


図2. 光産業の1995年度分野別生産額¹⁾

能としては読み取り機能，記録機能，伝達機能，表示機能があり，読み取り機器としてはイメージスキャナ，バーコードリーダ，記録機器としては複写機，光学プリンタ，光ディスク，伝達機器にはファクシミリ，リモコン，光通信が，表示機器としてはプラズマディスプレイ，液晶ディスプレイ，液晶プロジェクタ，DMD ディスプレイがある。表1 に光源を使う情報機器の機能，機器の種類，光源の種類，機器の中での光源が果たす役割（機能）の概略の関係を示す。

表1. 機器の機能と使われる光源および機器の中での光源の機能

機器の機能と使われる光源			機器の中での光源の機能			
機能	機器の種類	光源の種類	読取 照明	書込	伝達	表示 照明
読取	イメージスキャナー バーコードリーダ	蛍光灯ランプ，希ガスランプ，ハロゲンランプ，LED レーザー，LED	○ ○			
記録	複写機 光学プリンタ 光ディスク	ハロゲンランプ，蛍光灯ランプ，希ガスランプ 半導体レーザー LED，半導体レーザー 半導体レーザー	○	○ ○ ○		
伝達	ファクシミリ リモコン 光通信	蛍光灯ランプ，希ガスランプ，ハロゲンランプ，LED LED 半導体レーザー	○	○	○ ○	
表示	プラズマディスプレイ 液晶ディスプレイ 液晶プロジェクタ 大型ディスプレイ DMDディスプレイ	自己発光 蛍光灯ランプ，LED，EL メタルハライドランプ，ハロゲンランプ 発光ダイオード，蛍光灯ランプ，CRT キセノンショートアークランプ，メタルハライドランプ				(○) ○ ○ ○ ○

2. 1. 1 読み取り機器

(1) イメージスキャナ

紙や写真等の2次元情報から画像上の画素の位置情報と分光反射（透過）率に相当する情報をデジタルデータに変換しパーソナルコンピュータ（PC）等へ出力する機器である。光源の役割は原稿照明である。種類は大別すると、フラットベッドスキャナ：平らなガラス等で出来た台に原稿を置き、CCDを含む光学系を動かしてCCDの画素と直角方向の走査（副走査）を行い情報を読み取る方式、シートフィードスキャナ：CCDを含む光学系を固定し、原稿を動かし副走査を行い情報を読み取る方式、フィルムスキャナ：写真フィルム（35mm/AP S etc）の情報を読み取る小型のスキャナ、ドラムスキャナ：現行を円筒状のドラムに取り付け軸中心に回転させ走査を行う方式である。光源への要求としては、光量，配光分布，分光特性，フリッカ，発光効率（消費電力），始動性，寿命寸法，エコロジー，コスト等である。

(2) バーコードリーダ

紙等に印刷されたバーコードと喚ばれる串歯状の1次元情報の反射率に相当する情報を光学系を通し

てCCDラインセンサ等で読み取りバーの白黒に応じた2値のデジタルデータに変換しコンピュータ等へ出力する機器である。ここでの光源の役割は原稿照明にある。ペンスキャナ・タッチスキャナ・ハンドヘルド式・シングルライン式固定式・マルチライン固定式等の種類があり、ペンスキャナ・タッチスキャナにはLEDが、ハンドヘルド式・シングルライン式固定式・マルチライン固定式にはレーザーが使われる。ペンスキャナは手動で副走査をするが、残りは手動走査は不要である。光源への要求としては①ハンディ機器用：高輝度で効率の良いLEDが望まれている。②据え置き機器用：He-Neと同程度の波長(633nm)で現状の660~680nmの可視半導体レーザーと同様のコスト、寿命の可視半導体レーザーで高出力化は5mW程度の光源が望まれている。

2. 1. 2 記録機器

(1) 複写機

紙や写真等の2次元画像情報の位置と分光反射率に相当する情報を他の紙に複写する機器。ここでの光源の役割は読み取りにおける原稿照明、書込、表示のバックライトにある。大別するとアナログ複写機とデジタル複写機の2種類であり、ゼログラフィ方式が主流で使われる。①アナログ複写機：初期から使われてきた方式で原稿の反射光情報を光学系を通してプリント機構に送り、紙へ出力する方式。②デジタル複写機：原稿の反射光情報をデジタル情報に変換してから、プリント機構に送り、紙へ出力する方式。原稿照明光源への要求は、イメージスキャナでの要求に加えて機械的特性である耐振性が加わる。デジタル複写機の書込部は光プリンタと同様である。

(2) 光プリンタ

デジタル化された電気信号から光の強弱、位置情報を再現し、紙等に2次元画像情報を復元する機器であり、画像の復元や書込光源にレーザーやLED、蛍光ランプが使われ、定着用にはハロゲン等のヒータやフラッシュランプが使われる。ゼログラフィ方式が多く使われ書込光源から分類すれば①レーザープリンタ②LEDプリンタ③液晶プリンタ(蛍光ランプ)等がある。

(3) 光ディスク

円盤状の記録媒体に光を使って情報を記録したり、読み出したりする記録機器。記録や読取り光源には半導体レーザーが使われる。光ディスクの種類としては再生専用型、書換型(光磁気、相変化型)、追記型(金属型・色素型)等がある。光源への要求としては情報密度向上に対しては短波長化、高速化に対しては高出力化が望まれている。

2. 1. 3 伝達機器

(1) ファクシミリ

ファクシミリとはスキャナとプリンタに送受信機能を加えたものであり、光源への要求もスキャナ、プリンタと同様である。

(2) リモコン

屋内光空間伝送により家電製品等の制御を離れた場所から行うための装置で送信側の光源には赤外発光ダイオードが、受信側にはフォトダイオードが使われる。最近ではこの延長としてPC等でのデータ伝送にも応用が広がっており、今後光インターフェースが広範囲に使われる可能性を持つ。

(3) 光通信

光空間伝送に対して光ファイバー伝送はその特徴を生かし、大量・遠距離・高速のデータ伝送を可

能にすると同時に各種ノイズの影響を受けにくい信頼性の高い伝送手段として基幹の海底ケーブルから構内LANまで使われている。幹線系やアクセス系では、伝送路媒体としては遠距離では石英の1.25~1.6 μm の低損失帯を生かしIn-GaAsPレーザ(波長1.0~1.7 μm)が使われ、近距離用にはGa-Al-Asレーザ(波長0.72~0.9 μm)が使われている。これまでの直接強度変調を使った時間分割多重(TDM)方式での情報量や伝送距離の限界を越えるためにコヒーレント光通信が検討され、石英の1.25~1.6 μm の低損失帯での波長分割多重(WDM)方式による超大容量伝送や、中継距離増加のために直接変調、直接検波方式に対してヘテロダイン検波方式を使い感度を1~2桁向上させ、中継距離を従来の約5倍の100Kmでの長距離伝送の期待がされている。このため単一周波数発信の分布帰還型(DBF)半導体レーザが期待されている。LAN等の極近距離ではプラスチック光ファイバー(POF)の性能が向上し、ツイストペアや同軸線とコスト的に競合できるように成りつつある。光源のLDやLEDにはPOFの低損失波長(0.57 μm および0.65 μm)での信頼性向上が求められている。

2. 1. 4 表示機器

(1) 液晶ディスプレイ

液晶デバイスの種類はSTN, TFT, カラー, 白黒, 反射型, 透過型その他材料の違いなど各種あるが、何れにせよ液晶自身は小さなシャッターの集合体で、非発光であり電卓等に使われる反射型液晶を除けば、バックライト(BL)が必要である。BLの方式は最近では導光板方式が主流となっている。12型以下のPCやビデオカメラを始めとしたモバイル機器では機器の小型化、薄型化、軽量化の要求が強く、導光板も薄型化が進行している。この光源には細管の冷陰極水銀蛍光ランプが主に使われている。光源への要求は一層の小型化、高効率化、高輝度化であり、細管冷陰極蛍光ランプでは外形が $\Phi 2$ 程度まで細管化が進行している。20型以上の大型分野に対して液晶ディスプレイの進出もはかられている。この場合もBLは導光板または直下型が使われ、光源には大光量、高輝度、高効率、長寿命が要求されている。2型以下の小型分野ではビデオカメラのEVF(電子ファインダ)やデジタルカメラのモニタには平面蛍光ランプが、携帯電話等の小型機器ではLEDが導光板とともに使われている。その他BLとしてELが使われることもある。

(2) 液晶プロジェクタ(DMDプロジェクタも基本的には同様)

液晶の小型で高精細可能の特徴を生かし、大画面を達成するために、映写機のフィルムに相当する部分に液晶を置き、高輝度の光源を使い100型もの大画面に投影する。最近、フロントプロジェクタ(FPJ)ではAV(ビデオ)用途以上にPCのデータを大きく拡大投影しビジネスのプレゼンテーションに使うデータプロジェクタ(DPJ)が盛況である。DPJでは画面の高輝度化の要求が強く、さらに従来の据え置き型以外にモバイル型の要求も強まっている。他方、外観的にはテレビジョンのような大型の液晶リアプロジェクタ(液晶RPJ)も市場に現れ始め、プラズマディスプレイやPALCD, 液晶RPJと各種の技術が大型画面市場の制覇をめざし賑やかになっている。使われる光源の種類はメタルハライドランプ、キセノンランプ、ハロゲンランプ、超高圧水銀ランプが使われており、光源への要求としてはFPJのモバイルには小電力で高輝度、据え置きには一層の光量が、液晶RPJではモバイルでの要求に加えてCRT並の寿命が要求される。

参考文献

1) オプトロニクスNO.5 P-1~7 財団法人光産業技術振興協会 平成8年9月20日

2. 2 読み取り機器

2. 2. 1 イメージスキャナー

(1) イメージスキャナの定義

イメージスキャナとは、「機械的な走査により、取り込む対象となる原稿（写真・文字・線画・立体物等）上の位置情報とその個所の色情報をデジタルデータに変換する、照明装置を内蔵した装置」である。原稿上の位置情報：平面画像を2次元に格子分割した各要素を画素(pixel)と呼ぶ。既定の面に原稿を設置することにより、原稿上の寸法を正確にサンプリングするデジタルデータの機能を有する。色情報：肉眼は、可視光域(380nm~780nm)の電磁波を感じる際に、3つの独立した色として感じる能力を持つことが明らかにされている⁽¹⁾。一般に青、緑、赤の3種類の色を独立情報として扱う。デジタルデータ：歴史的に、スキャナは、謄写ファックスと同様、原稿から得られる電気信号をリアルタイム処理により色分解を行いY/M/C/K各版を作成する製版装置として始まった。しかし、デジタルデータの利点（メディア依存の無い保存性、劣化の無い複写性、編集加工性）を画像データにおいても引き出せるほどに、メモリの低価格化とコンピュータの処理能力の向上が近年急激に起こった事により、コンピュータへ画像を取り込むだけの単機能な装置が普及した。現在は、こうした「コンピュータへ画像を入力する、照明装置を内蔵した装置」を一般的にイメージスキャナという名で呼ぶ。現在主流のコンピュータは、色情報を1画素あたり最大24bitのデジタルデータとして扱う。独立した色数にして1670万色(=2²⁴)、Blue、Green、Redの3原色の情報にして各色256段階の強度(256階調：8ビット情報)を持つ。

イメージスキャナの分類

[ドラムスキャナ]

原理：原稿を1画素ごとに時系列的に取り込む。光学系は、1点を集中的に照明する微小かつ強力な点光源と注目する画素の像をセンサーへ結像するレンズ、光センサ(フォトマルチプライヤ)からなる。図1参照⁽²⁾。原稿を取り付けた透明なガラス円筒を軸中心に回転させ、円筒の円周をセンサがスパイラル状(またはステッピング円状)に走査することにより2次元画像を得る。

原稿：反射原稿(印画紙、印刷物、線画など平面情報であれば全て)、透過原稿(フィルム)。解像度：フィルムの持つ画像情報を引き出すために20,000ppi(1インチ=25.4mm

当たり2万画素を発生する解像度)クラスが存在する。すなわちミクロンオーダーを取り込む。

価格：100万円～5000万円。

光源には、点光源(1点で発光すること)が望ましいためハロゲンランプが用いられる。

[フラットベッドスキャナ]

原理：複写機と同様に原稿を透明なガラス板の上に下向きに置く。光学系は、線状に照明する光源と、注目する1列の像をセンサへ結像するレンズと1次元にフォトダイオードを配列したセンサ(CCDリニアイメージセンサ)からなる。原稿上の1列分の画素を丸ごと取り込み、その配列とは直角な方向に順次、原稿を相対移動させて時系列的に2次元画像を得る。

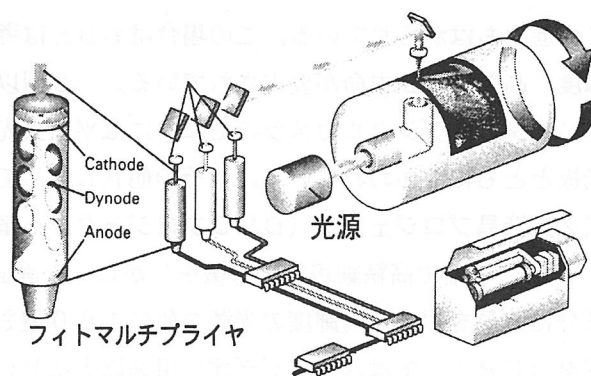


図1：ドラムスキャナ⁽²⁾

センサの配列方向を主走査、相対移動の方向を副走査と呼ぶ。図2参照⁽³⁾

原稿：反射原稿、透過原稿、などの平面原稿に加え、立体物（電子回路基板、腕時計、絵画、花）なども数センチくらいまでであればピントが合うため取り込みが行われる。

解像度：300 ppi ~1200ppi。出版専用機ではズームレンズ機構を搭載することにより 4,000ppi クラスが存在する。**価格**：普及機は5万円～20万円。出版専用機は750万円～2000万円。価格差の主要因は、取り込みサイズ、解像度、専用オプション類やソフトウェアによる作業効率性の違いに有る。取り込み速度、階調再現性等のデバイス（光源、CCD）に依存するスキャナ機能については、普及機と出版専用機との差が縮まりつつある。

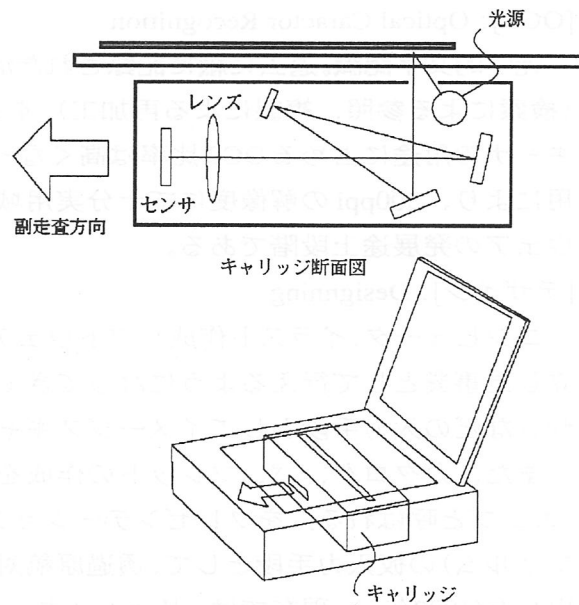


図2：フラットベッドスキャナ⁽³⁾

[フィルムスキャナ]

写真機により撮影された35mm等のフィルムに特化したイメージスキャナは、フィルムスキャナと呼ばれる。**原理**：透過原稿取り込み可能なフラットベッドスキャナと原理は同じ。35mmフィルムにて2700ppi相当の解像度を実現するために、2700画素のCCDが用いられる。これは、300ppi/A4フラットベッドスキャナのCCD相当である。**原稿**：35mmネガフィルム、ポジフィルムが主流。96年よりAPS式フィルムの普及により35mm/APS兼用フィルムスキャナが発売されている。**解像度**：1200 ppi ~ 3000 ppi。A4/300dpiで印刷出力するために、2700 ppiクラスのスキャナが多い。

[Tips-1 : dpi と ppi]

dot per inch：プリンタやディスプレイ等の物理的な表示装置において用いられる単位。1インチ(25.4mm)あたりに何ドットの独立した色情報が有るかを示す。

pixel per inch：コンピュータが画像情報をデジタルデータとして扱えるようになった結果、画素という概念は、物理的な寸法を持たないものとなった。そこで、画像入力装置において、原稿上の所定長さ当たりの画像情報をいくつの画素に分割取り込むかを表す単位として、ppiが用いられる場合がある、本稿では、入力系をppi、出力系をdpiで表記する。

(2) 用途・市場

[印刷、出版]: Printing

印刷用の画像取り込み装置としては、ドラムスキャナがまず開発された。センサの感度範囲(ダイナミックレンジ)が非常に広いため、出版業務用として現在でも主流を占める方式である。ファクシミリ(FAX)の低価格化により誕生したCCDセンサの応用として始まったフラットベッドスキャナは、性能向上と共に、ドラムスキャナの代わりに使われだした(1995年~)。性能向上の主要因は、CCDの画素数の増加による解像度向上、並びにCCDのダイナミックレンジ向上による、ノイズの低減である。反射原稿においては、フラットベッド式のイメージスキャナでも必要十分な品質に達した(1995~)⁽⁴⁾。また、光学濃度(Optical Density)3.0相当のフィルムの画像入力品質が印刷に耐えるレベルに近づきつつある。

[OCR]: Optical Caractor Recognition

光学的文字認識。過去に紙に記録された活字情報を文字コードとしてデジタル化して再利用（検索による参照、複製による再加工）する。低価格なOCRソフトウェアの普及により、スキャナの用途に占めるOCR比率は高くなっている。英文は電子辞書を用いた推論機能との併用により、300ppiの解像度にて十分実用域に達している。日本文は、400ppiを主流にソフトウェアの発展途上段階である。

[デザイン]: Designning⁽⁵⁾

コンピュータ、イラスト作成ソフトウェアと通信環境の普及によりデザイン業務を個人が独立した事業として行えるようになってきている。文字フォント、ロゴなどの図版、手書きデザインなどの入力手段としてイメージスキャナが用いられる。

また、カタログ、パンフレットの作成を依頼してくる顧客に対して、最終仕上がり予想物（カンパと呼ばれる）をプレゼンテーションするために、挿入するフィルム（4x5インチポジフィルム）の仮入力手段として、透過原稿対応のフラットベッド型イメージスキャナが使われ出した（1992年～）。現在では、ドラムスキャナに替わり、最終画像データ（直接出版に使うデータ）のための取り込み手段としても使われている（1995年～）。

[画像ファイリング]: Filing

インターネットの普及（1996年）と情報公開を求める市民の動きが、公的（国会、地方自治体、公共機関）な情報を自由に閲覧可能とする仕組みを作りつつある。

また、企業内においては、情報共有機構の構築に力が注がれている。必要な者に必要十分な情報が行き渡り、絶間なく変化する市場環境に柔軟に、かつ素早く適応する仕組みの構築が目的である。従来の紙を基本とした企業内情報伝達の仕組みをコンピューターサーバとネットワークにより代用するものである。原理的に完全に開かれた場であるインターネットに比べ、情報発信者、閲覧者に応じて機密管理レベルを設定するこれらの機構はイントラネットと呼ばれている。ここで、網の目の様に相互接続されたコンピューターに接続されたイメージスキャナは、従来の複写機の機能を代替することが予測される。

[DTP]: Desk Top Publishing⁽⁶⁾

コンピュータ、ページレイアウトソフト、カラープリンタの組み合わせにより、従来、印刷をするにはコストが見合わなかったフルカラーでの小部数出版（200～2000部）が可能となっている。社内報などの企業内出版やホテルや自営業者が日々、毎週行うイベントの広告、チラシ、ポスター、メニューなどに使われる。

[教育]: Education

独自の図書館機能や出版機能を個人でも持てる時代になっている。'homepage'とよばれるインターネットサービスの1つである。イメージスキャナは手元に有る原稿をhomepage画像として入力するために使われている。

イリイチは、1970年にその著書にて、個人が網の目のように繋がり合った知的環境が整備された場合、従来の固定的な教育体系の欠点を克服できる可能性を示唆した⁽⁷⁾。教育することを職能とする者（教師）と教育される者（生徒）という固定的な人間関係、特定の場所（学校）にて、特定の年齢の者（小学生～大学生）に対して、特定の知識（カリキュラム）が伝達される、という近代が産み出した教育システムを変革する思想を語った。インターネットの普及は、イリイチの夢みた世界を4半世紀を越えて現実のものとしつつある。すなわち、いつでも、誰もが、その時に自分が最も関心を持つ知識分野に対して、年齢や居住場所とは無関係に、その分野において最高の知識を持つ者、または、求める者にとって最適な伝達能力を持つ者から、直接的に教育を享受する環境が実現しつつある。

(3) スキャナ機能と、光源機能の相関

イメージスキャナの光学部品の構成要素は、光源、結像系、センサーからなる。光源は、イメージスキャナの取り込み速度、階調再現性などを決める重要な要素部品である。表にイメージスキャナの機能と光源の機能との相関をまとめた。⁽⁸⁾

表1：イメージスキャナの機能と光源の機能の相関
S：スキャナ側で行われている対策。L:光源側で行われている対策

スキャナ機能 光源機能	取り込み速度	階調再現性	解像度	色再現性	寸法	消費電力
光量、発光効率	◎	◎	◎	—	○S:排気ファン	○S:ESP
発光分光特性	—	—	—	○L:連続光	—	—
光量安定性	○S:始動待機	○S:副走査の光量補正	—	○S:色毎の光量補正	—	—
寸法	—	○S:シェーディング補正	—	—	○L:電極構造	—
寿命	—	—	—	—	○S:交換機構	—

[スキャナ機能]

取り込み速度：

取り込み速度は、下式で決まる。⁽⁹⁾

$$\text{取り込み速度} = \text{原稿面照射光量} \times \text{レンズの光伝達効率} \times \text{センサ感度} \quad \text{---- 式(1)}$$

レンズの光伝達効率は、解像度の項目で述べる。

<センサ感度>

センサ感度は、下式で決まる。

$$\text{センサ感度} = \text{センサ出力値} / \text{CCD 上の単位時間当たりの照射光量} \quad \text{---- 式(2)}$$

CCDメーカーのカタログスペックに謳われる数値を信用してはいけな。CCDに内蔵されるアンプの倍率如何で、容易に感度を上げたように見せかけることができるからである。従って、感度の定義を次の様に考えると現実的である。

$$\text{感度} = \text{センサダイナミックレンジ} / \text{CCD 上の単位時間当たりの照射光量} \quad \text{---- 式(3)}$$

ここでのセンサダイナミックレンジは、S/N比と呼ばれる。有効信号出力電圧値(Signal)を暗時出力電圧値(Noise)で割った値である。初段の光電変換部のフォトダイオードの量子効率はほぼ1に近く、1つの光子で1つの電子が発生する。

センサの現在の開発課題は、アナログ処理の過程でいかにノイズ成分を信号成分に載せずS/N比を上げるかにある。CCDメーカーの努力によりS/N比の向上は目覚ましい。現在、S=4V,N=数ミリV相当となっている。すなわち、10bit(=1024階調)階調再現性を確保することができるようになった。しかし、ここにも壁は有り光ショットノイズと呼ばれる光の量子性に因るノイズが顕著になる。いずれにせよ、十分な光が必要となる由縁である。

<原稿面照射光量>

原稿面照射光量は、ランプの光量に比例する。しかし、光エネルギーの利用効率を計算すると殆どの光を無駄にしていることが解る。例えば、300ppiのイメージスキャナは、原稿上で、□83μm程のエリアをCCDセンサ上の1つのフォトダイオードにて画素として取り込む。もしランプが原稿上で15mm程の副走査方向の幅を照射しているとすると200倍以上の利用しない無駄な光があることになる。これらの不要光は、迷光となって取り込み画像品質を低下させる原因となる。

原稿上での照射幅を83μmにできない理由は、原稿の浮きを許容する必要があるためである。原稿は、ランプにより斜めから照明される。CCD側の結像系は、原稿面に対して垂直な

光軸にて結像される。そのため、わずかな原稿浮きがあるだけでランプの照射位置は、取り込もうとする位置から外れてしまう。図3参照。⁽¹⁰⁾

原稿面に対してランプを斜めから照明する理由は、拡散光を読み取るためである。原稿を垂直に照明すると、正反射光と呼ばれる光沢原稿の表面反射光をCCDと一緒に受光してしまい、コントラストは低下する。図4は、「光沢度」の解説図である。指向性の高い平行光を矢印の方向から試料に照射した場合の、反射光の幾何学的な強度分布(=配光分布)を示す。光沢度の大きい順に $a>b>c$ の配光分布を示す。印画紙や写真集な等、光沢を有する原稿の配光分布はこの図のaに相当する。試料Pの箇所を取り込むためには、矢印方向から光を照射し、試料(=原稿)に垂直な方向に結像系の光軸を配置する。

現在達成している取り込み時間は下記の通り。白黒にて、主走査1列当たり、1ミリ秒以下。300ppi/A4にて $300 \times 12 \times 1 = 3.6$ 秒。複写機と同じ標記をすると17ppm(page per minuts)相当である。フルカラーにて、主走査1列当たり、5ミリ秒以下。300ppi/A4にて $300 \times 12 \times 5 = 18$ 秒。3.3ppm。目標値は、白黒で40ppm以上。フルカラーで5 ppm以上。

光源の光量安定まで時間を要する場合、スキャナソフトウェアドライバーにて10秒~30秒の「ウォームアップ時間」を用意するイメージスキャナもある。

階調再現性: (ダイナミックレンジ、ノイズ)

階調とは、白から黒への反射率(または、透過率)変化を表現する際の有効刻み数を意味する。従って階調再現性とは、白から黒へ滑らかに変化する情報を忠実に再現するための指標である。厳密には、リニアリティ(原稿の反射(透過)率に比例した信号を取り出すこと)と、S/N比(信号出力に対するノイズ出力比率、またはダイナミックレンジ)の2つの指標に分解する必要のある指標である。現在多くのイメージスキャナは、R,G,B、各色8ビット、即ち各色256階調の出力をうたっている。また専用のアプリケーションソフトウェアでは、各色16bitをサポートし始めており、スキャナ側の階調再現性としては、4096階調(12bit)以上の能力が要求されている。8 bit(OD濃度2.4)以上の階調性が要求される由縁は、ポジフィルム(OD濃度3.0以上)取り込みのためである。[TIPS-2 : bit,OD,ダイナミックレンジ]の解説参照。

<主走査の補正>

センサ出力値は下式で決まる。

センサ出力値 = 原稿面照射光量 × 原稿反射率 × (その他の要因) ----- 式(4)

イメージスキャナは一種の反射率(透過率)測定装置であるので、センサ受光量(時間積分値)とセンサ出力値とが比例しているセンサ特性域を利用して、原稿反射率の数値化が行われる。光量を取り込み過ぎると「ブルーミング」と呼ばれる電子アフレを生じ画像劣化につながる。式(4)より、センサ出力値を定量化して原稿反射率に相当する数値を得るために、要因「原稿面照射光量」と「その他の要因」は、目標とする精度内で一定でなければならない。つ

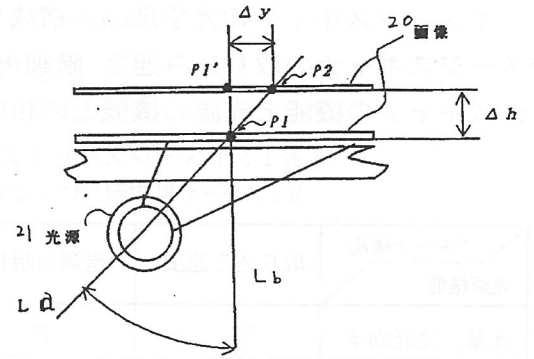


図3: スキャナの照明方法⁽¹⁰⁾

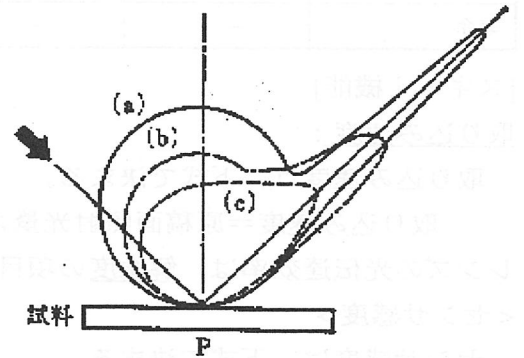


図4: 光沢度の違いによる反射光の配光分布⁽¹¹⁾

まり、256階調の数値化をするのであれば[1/256=0.4%の変動]に抑えなければならない。ここで「その他の要因」とは、「レンズの周辺光量低下」と「センサー感度の画素間バラツキ」である。これらの要因は、量産時の「個体差:n」や、環境温度や長時間使用時といった「経時変化:T」により変動する。個体差であれば、出荷時の個別調整という対策を取ることが可能である。しかし、経時変化に対しては、動的な校正手段（毎回取り込み時に補正作業を行う）を必要とする。

一般に、ランプの管長方向(主走査)の光量分布のパターンは、ランプ個体差や長時間点灯により異なる。即ち、n,T共に変動する。レンズとセンサの変動要因はnのみ。通常の蛍光ランプについて、管長方向の光量分布(=光量一様性)を0.4%の範囲に抑え、かつ量産に見合う価格で製造することは不可能である。そこで、個体差:n、経時変化:Tの2つの要因を校正する手段として「シェーディング補正」と呼ばれる主走査方向(ランプ管長方向)の校正手段を用いる。

(シェーディング補正の原理)

原稿を取り込む前に、主走査方向に配置した反射率が既知である「白基準」と呼ばれる原稿を取り込み、変動要因を記憶する。式(4)を変形して、

$$\begin{aligned} \text{変動要因} &= \{ \text{原稿面照射光量} \times (\text{その他の要因}) \} \\ &= \text{センサ出力値}(\#) / \text{既知の原稿反射率} \end{aligned} \quad \text{--- 式(5)}$$

(#)既知の原稿を取り込んだ時のセンサ出力値。この記憶した変動要因を(4)式に代入することにより、原稿反射率を算出可能とする。実際の設計では、白基準だけでなく「黒基準」のサンプリングも行う。ただし、シェーディング補正により補正可能であるからといって、いくらでもランプの光量分布に不均一性があっても良いかということそうでは無い。センサのノイズは照射光量に因らず存在する。S/N比率を目標階調数以上に上げるためには、一定量以上の信号光量が必要となる。例えば、光量分布において最大値と最小値とで2倍の差があれば、最大光量箇所に対して最小光量箇所のS/N比は、1ビットの階調再現性低下を生じる。センサ出力を有効に利用するためには、上限が有ることは既に述べた。従って、光源の光量一様性は均一な程良い。

<副走査の補正>

以上述べた様に、主走査方向のランプ光量分布のムラは、シェーディング補正により補正できる。これがアナログ式の複写機用光源に要求される仕様と異なる点である。しかし、もし取り込みを行っている最中(副走査時)の変動が有れば、原稿反射率変化との分離は原理的に不可能となる。(4)式に示した要因の内、副走査時の最大の変動要因は、原稿面照射光量、即ち取り込み最中でのランプの光量変動である。

この対策として下記2つの手段がある。

1)光量変動の極めて少ないランプを採用する。

2)光量変動を実時間にて測定して、原稿面(照射)光量の補正又は光量制御を行う。

1)は、水銀の変わりに希ガス(キセノンやネオン)を封入使った希ガス蛍光ランプが登場したことにより、現実的な対策となっている。2)の手段は、水銀を封入した蛍光ランプを十分な待機時間無しに点灯直後から使うためには、特に必須技術となる。2)の方式は更に2つに分類される。

2)-ア. 1変数による補正または光量制御。

2)-イ. シェーディング補正と同様に毎回全域の補正を行う。

2)-イ.の方法は、別途ランプ光量を計測する1次元センサーを要するため低価格化には向かない。2)-ア.の方法は、副走査方向の原稿の端に、別途白基準板を設け、その基準板の反射出力

値にて1変数補正、または光量制御をする方法である。

しかし、2)-ア.の方法を用いても補正できない変動が存在する。ランプ長方向の場所による変動差である。主走査取り込み中ランプ全域にて全く同じ傾向で光量変動が起きることが要求される。すなわち、点灯後の光量変動(光量変動率と呼ぶ)を許容するとしても、主走査方向(ランプ長軸方向)での中央と端部にてその変動率を比較した場合、その差(光量変動率差と呼ぶ)を0.4%以内に抑えることが要求される。光量変動を計測する時間は約1~3分間である。

[TIPS-2 : bit, OD, ダイナミックレンジ]	
スキャナの階調数、bit、最大光学的濃度[OD]、ダイナミックレンジ[db]は、下式にて算出される。	
階調数 = 2^{bit}	--- 式 (6-a)
最大光学的濃度[OD] = $-1 * \log(1/\text{階調数}) = [\text{bit}] / 3.322$	--- 式 (6-b)
$3.322 = 1/\log(2)$	--- 式 (6-c)
ダイナミックレンジ[db] = $20 * [OD]$	--- 式 (6-d)

解像度：

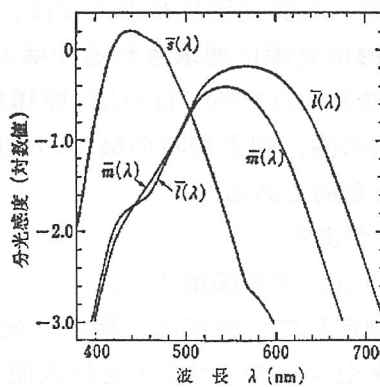
レンズの光伝達効率⁽¹²⁾は、下式で決まる。

$$E_c = E_s \times \tau / \{4 F^2 \times (1 + \beta)^2\} \quad \text{--- 式 (7)}$$

E_c : CCD面照射光量。 E_s : 原稿面照射光量。 τ : レンズ透過率。 F : レンズ絞り(口径比)。 β : 倍率。 β は取り込み原稿側での基本光学解像度と使用するCCDの画素ピッチで決まる縮小倍率である。現在、基本光学解像度はA4サイズ原稿対応のフラットベッドスキャナで300ppi~600ppi、CCD画素ピッチは7 μ m~12 μ mであり、 β は0.125前後である。センサの画素を細かくすることにより解像度を上げようとする、CCD面照射光量(E_c)が減少するため取り込み速度が落ちる。取り込み速度を下げずに解像度を上げる方法としては、(1)、(7)式より1)光源の光量を上げる。2)結像系の口径比(F値)を下げる。3)センサの感度を上げる。4)階調再現性を劣化させる。の4通りの方法がある。Fを下げる(レンズを明るくすると、収差と呼ばれるレンズ性能劣化が生じる。またレンズ径が大きくなるのでスキャナの小型化が困難となる。センサの感度は、階調再現性の項目で述べた通り発展途上である。従って、「階調再現性を確保しつつ、取り込み速度を下げずに、解像度を上げる方法」は、原稿面照射光量(E_s)を上げる以外に方法は無い。スキャナの取り込み画像品質の向上は、ランプの光量アップにかかっているといっても過言ではない。

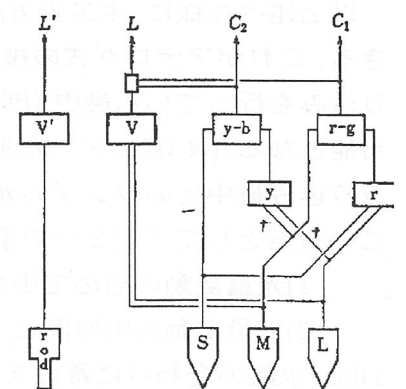
色再現性：

色再現性を確保するため、イメージスキャナの分光設計が行われる。コンピュータにとって目の替わりをするカラーイメージスキャナは、本来人間の肉眼と同様な分光特性を持つことが理想である。色覚の研究から人間の目が3つの異なる分光感度を有する受光素子としてモデル化できることが確認された。図5、図6参照⁽¹³⁾。色を定量的に表すことを目的として1931年、CIE(Comimition International del' Eclairage)により三刺激値による表記が提唱された。この定義により、X,Y,Zが等しい2種類の色は、人間の目には同じ色であるとさ



L, M, S 錐体の分光感度曲線

図5：肉眼網膜、錐体の分光感度⁽¹³⁾



色覚モデルの1例

図6：色感覚モデル⁽¹³⁾

れる。図7参照。⁽¹⁴⁾色再現性は、各色(R,G,B)での階調再現性はもちろんのこと、イメージスキャナ自体の分光感度特性の2点に由来する。色差の指標 ΔE の算出用の変数 Lab 値は、このXYZ値から計算により求められる。⁽¹⁴⁾

イメージスキャナの分光特性は、次の要因からなる。1) 光源の分光発光特性。2) 原稿台ガラス、反射ミラー、結像系等の分光透過率、分光反射率。3) 色分解光学部品(干渉フィルタ、色フィルタ)の分光透過率。4) センサの分光感度特性。このうち、2) 4) は可視域にて、比較的平坦な特性を有する。センサの分光感度を図8に示す。⁽¹⁴⁾3) の設計上の自由度は高い。従って、光源の分光発光特性が、総合的なカラーイメージスキャナの分光感度特性を決めると言っても過言ではない。

寸法:

光源の発光効率が低いと発生する不要な熱を排出するための空間(スキャナ本体内)や排気ファン等を必要とする。

消費電力:

Energy Star Program における目標値(案)は、A3 スキャナにて待機時に52W 以下。

それ以外のスキャナは待機時に12W 以下。97年3月適用開始を目標に進められている。

[光源機能]

光量:

光源の明るさであり、上述したようにスキャナの取り込み速度を決める要因の1つ。スキャナ機能: 取り込み速度の節参照のこと。

発光効率:

一般に全光束/投入電力、または光源のエネルギー効率(光エネルギー/投入電気エネルギー)で表す。イメージスキャナにおける光源の役割は、可視光での効率的な発光であるので、発光効率は高いほど良い。ただし、肉眼が最終受光部となることを想定した照明器具の発光効率の指標は、 $\lambda = 550\text{nm}$ にピークを持つ「視感度分布」(図7のyで示したグラフ)を関数とした指標であり、センサの場合はあくまで可視光域全域においてほぼ平坦なエネルギー感度を有することを忘れてはならない。つまり、発光効率が高いからと言って、トンネルに用いるナトリウムランプでは、イメージスキャナの光源として、分光発光特性的に適当ではない。

分光発光特性:

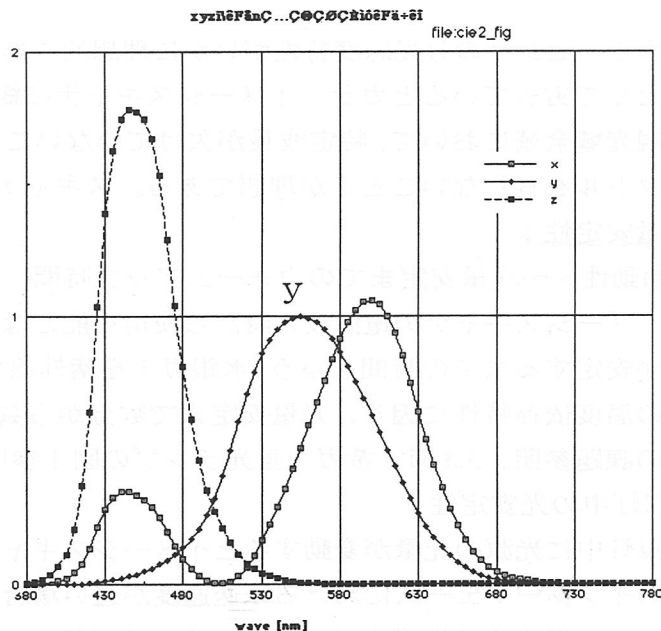


図7: CIEにより定義されたXYZ等色関数⁽¹⁴⁾

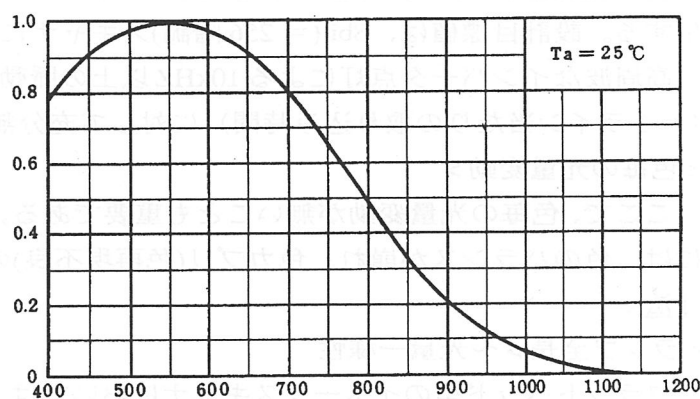


図8: CCD センサの分光感度特性⁽¹⁵⁾
横軸[nm]、縦軸は相対感度

カラーセンサの分光感度特性がいかに理想的であっても、原稿を照明する光源が分光発光特性として劣っているとカラーイメージスキャナの総合分光感度特性が劣化する。具体的には、可視光域全域において、特定波長が欠けていないこと。可視光域全域において、特有の輝線スペクトルを有しないこと。が理想である。スキャナ機能：色再現性の節参照のこと。

光量安定性：

< 始動性 > ～光量安定までのウォームアップ時間。

イメージスキャナの電源投入時から使用可能となるまでの時間、主に電源投入から光源の光量が安定するまでの時間を言う。水銀ガスを紫外線発生手段に用いる蛍光ランプは、水銀蒸気圧の温度依存特性に因り、光量安定まで数分から数10分の時間を要する。2.2.1.4 節：現状光源の課題参照。3.3 節：希ガス蛍光ランプの図1参照。

< 点灯中の光安定性 >

点灯中に光源の光量が変動するとイメージスキャナの階調再現性に影響する。コンピュータとのインターフェースにおける転送速度が遅い場合、取り込みを行っている最中に自動的に取り込みを停止する機構をイメージスキャナは持っている。この停止期間における（最大30秒程度）光量変動が設計目標値よりも大きいと、明確な階調ズレが認められるという不具合が発生する。設計目標値は、8bit(=256階調)スキャナにおいて、0.4%(=1/255)である。

高周波なインバータ点灯による10kHz以上の脈動する光量変動は、CCDの光量積分時間(=1ライン当たりの取り込み時間)に対して充分無視できる周波数であれば問題無い。

< 色毎の光量変動 >

ここで、色毎の光量変動が無いことも重要である。R,G,Bの色色毎に光量変動が異なる場合には、色のバランスが崩れ、色カブリ(色再現不良)の発生原因となる。

寸法：

< ランプ全長 > ～光量一様性

フラットベッド型のイメージスキャナにおいては、ランプの全長が本体の主走査方向の寸法を決める。ランプの全長は、原稿を均一に照明する機能(光量一様性)を確保するために、有効照射範囲を越えて十分に長いことが理想である。その結果、両端部にて光量低下を発生する要因をなるべく無くす努力が続けられている。これは、主に電極の構造の改良によって、改善がなされてきている。具体的には、ハロゲンランプ同様に、電極部にフィラメント構造を持つ「熱陰極(Hot Cathode)型」から、高い電圧にて点灯を行う「冷陰極(Cold Cathode)型」に改良することにより、数センチの短縮が実現した。第3.3.1節の図7、図4を参照のこと。更に、外面電極構造とすることにより、更に数センチの短縮が実現した。第3.3.2節の図を参照。

< ランプ直径、点灯回路寸法 >

ランプの管径はスキャナの寸法を考慮すると小さいほど良い、原稿の照射光量を考慮すると、取り込み位置へ光源を近づける程良い、と一般に考えられている。しかし、原稿に対してランプを近づけ過ぎると2次光源効果と呼ばれる現象が発生し、階調再現性が劣化したりゴーストの発生を招く⁽¹⁶⁾。また、イメージスキャナの小型化を狙って、取り込み動作において点灯回路を光源部分から分離し、移動させずに延長したコードによって点灯電力を光源部分に供給する方法が実施される。この際は、1kV以上の高周波印可電圧による放射ノイズの増加に留意を要する。

寿命：(不点灯、輝度劣化)

情報機器における機械的動作の設計寿命は、10万回スキャン程度を目標としている。これから、ランプ寿命を逆算すると取り込み時間×10万回スキャンを最低限度保障する必要がある。電極の破損による不点灯が発生する時間は、熱陰極型の蛍光ランプで、500時間程度で

あり、メンテナンス設計上は光源部分の交換機構が必要となる。冷陰極型では、1万時間以上の寿命を持つため、ランプ交換は不要である。更に、外部電極型では、原理的に電極の磨耗による寿命は無くなったと言える。ランプ全長の短縮と合わせランプ技術史上の快挙である。

(4) 現在の光源の課題

[水銀蛍光ランプ]

発光原理: 水銀ガスによるエレクトロルミネッセンス (electro-luminescence) + 蛍光体によるフォトルミネッセンス (photo-luminescence)。a)放電->b)加速された電子による真空中の水銀ガスの「励起」->c)紫外線 (253.7nm)発光->d)蛍光体励起->e)可視光の発光。補足: d)に使う蛍光体の種類を選択することにより、可視光の発光波長を選択する。

長所: 現存する光源では、メタルハライドランプについて水銀蛍光ランプが最も発光効率が高い。フィルムスキャナにおいては、十分な光量を確保できることにより拡散光照明が実現できる。また、連続光を発する蛍光体を選択できる。

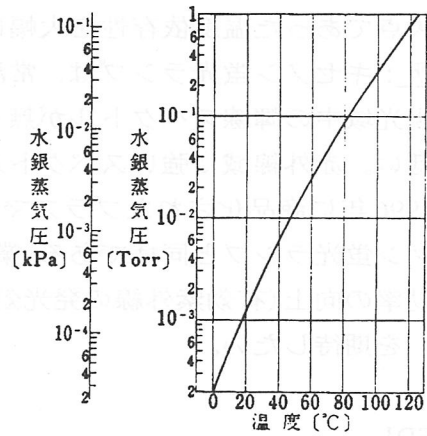
短所: 水銀蛍光ランプは、常温では液相の水銀を用いるため、紫外線光量の温度依存性が非常に大きい。図9、図10参照。水銀ガス自体の発光(水銀輝線スペクトル)が可視域に存在する。図11参照。

[ハロゲンランプ]

発光原理: タングステンフィラメントを通电加熱することによる黒体輻射発光。2700~3000K。

長所: 連続光である。始動性は良好で数百ミリ秒程度。

短所: 光エネルギーバランスは、青、緑、赤の順に強くなり赤外線域に最大強度の波長を持つ。分光発光特性としてblueの成分がRed成分に対して非常に低いため、ネガフィルムなどの取り込みに対しては取り込み速度が非常に遅くなる。ピーク波長は、赤外線域のためCCDと組み合わせる場合、赤外カットフィルタ等が必要である。点光源のハロゲンランプを線状光源として使うには、点->線変換光学部品が必要。⁽²⁰⁾ 高速な複写機に使われるライン状ハロゲンランプは、発光効率が低い(20 lm/W 以下)、振動に弱い、寿命が短い、排熱設計が複雑である等の理由で、イメージスキャナ用光源としては敬遠される。画像ファイリングシステム専用機など、高速な取り込み速度が要求される高級機に使われている。



水銀の温度と飽和蒸気圧

図9: 水銀蒸気圧の温度依存性⁽¹⁷⁾

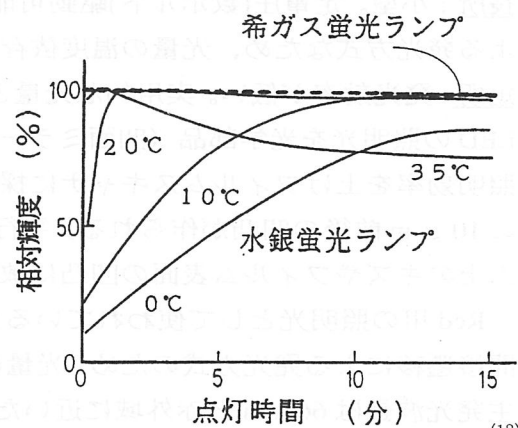


図10: 水銀蛍光ランプの点灯後の光量変動⁽¹⁸⁾

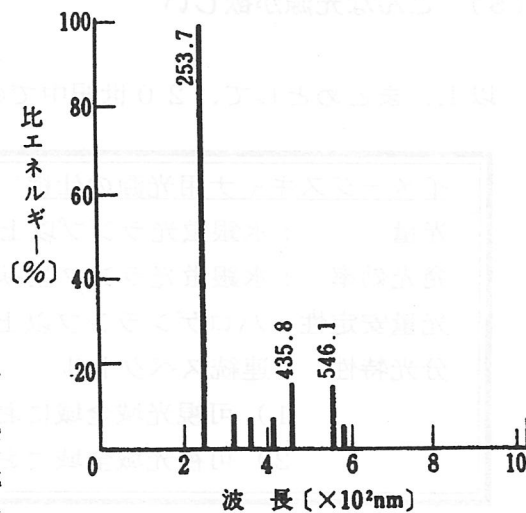


図11: 可視光域中の水銀輝線スペクトル⁽¹⁹⁾

[キセノン蛍光ランプ]

発光原理: 水銀蛍光ランプと同質。キセノンガスによる励起紫外線の波長は、 $\lambda = 147 \text{ nm}$ 。水銀蛍光ランプの水銀をキセノンやネオン等の希ガスに入れ替えることにより、水銀蛍光ランプの欠点であった温度依存性を大幅に取り除くことが可能となった。3.3節、文献(1)参照。

長所: キセノン蛍光ランプは、常温では気相なため、紫外線光量の温度依存性が無い。可視光域中の輝線スペクトルが無く、蛍光体のみで発光スペクトルが決まる。**短所:** 発光効率が低い。赤外線域に強いスペクトルが有り赤外カットフィルタが必要。

1996年に商品化されたプラズマディスプレイ（壁掛けカラーTV）の発光原理は、このキセノン蛍光ランプと同様である。業界の知恵が結集することにより、キセノン蛍光ランプの発光効率の向上（有効紫外線の発光効率向上、キセノン紫外線による励起効率の高い蛍光体の開発）を期待したい。

[LED]

発光原理: エレクトロルミネッセンスによる発光。窒化炭素（CN）系の開発により実質的に可視光全域に対して実用的な光量に達した。3.5節参照。今後、LEDフルカラーディスプレイや信号機などに応用が拡大され、量産による低価格化と機能向上が期待される。

長所: 小型。定電圧(数ボルト)駆動可能。応答性良好。窒化炭素(CN)は、2元系の直接遷移による発光方式なため、光量の温度依存性が非常に低く優れた発光素子である。

短所: 発光効率が低い。実用的な光量とするために素子数が増加し、高価となる。少ない数のLEDの照明光を光学部品（凹面ミラー）を用いて集光し、平行光照明方式とすることにより照明効率を上げフィルムスキャナに採用された。しかし、通常フィルム表面には乾燥時に無数の $10 \mu \text{ m}$ 前後の凹凸が作られる。平行光照明方式は、拡散光照明方式と比較すると、フィルム上のキズやフィルム表面の凹凸に敏感となる欠点を持つ。

Red用の照明光として使われているガリウム・ヒ素・アルミニウム（GaAsAl）は3元系の間接遷移による発光方式のため、光量の温度依存性が大きく冷却が非常に重要となる。また、主発光波長は 660 nm と赤外域に近いと、分光設計上問題がある。

(5) こんな光源が欲しい

以上、まとめとして、20世紀中での量産を目標とした光源の仕様を記してみたい。(^^)

イメージスキャナ用光源の仕様

光量 : 水銀蛍光ランプ以上の光量

発光効率 : 水銀蛍光ランプ並みの発光効率

光量安定性 : ハロゲンランプ以上の始動性と点灯中の光安定性

分光特性 : 連続スペクトル

- 1) 可視光域全域において、特定波長が欠けていないこと。
- 2) 可視光域全域において、特有の輝線スペクトルを有しないこと。

参考文献

- (1) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」,朝倉書店,1986,pp6
- (2) The Agfa Guide to Digital Color Prepress
- (3) dos/V Magazine,1995-12.15,pp245
- (4) 玄光社,SuperDesign vol.10,pp68
- (5) Super Designing,vol.9~16
- (6) JAGAT(日本印刷技術協会),1995 コンピュータ to プレートデジタルプリンティング
- (7) イリイチ (IVAN ILLICH):脱学校の社会(DESCHOOLING SOCIETY)東京創元社[1970]
- (8) 松下ら、カラーイメージスキャナ設計技術、トリケップス,pp31
- (9) 一ノ瀬,照明学会シンポジウム,96.2.24
- (10) 特許,特願平 4-155082
- (11) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」,朝倉書店,1986,pp88
- (12) 久保田、光学技術ハンドブック、朝倉書店、1990
- (13) 応用物理学会光学懇話会編,「色の性質と技術」,朝倉書店,1986,pp53
- (14) JIS ハンドブック 色彩,JISZ 8701-1982,
- (15) 東芝 CCD リニアイメージセンサー資料、1990
- (16) 特許,特開平 1-155766
- (17) オーム社,照明工学,1986,pp78
- (18) 照明学会研究会資料,MD-91-5
- (19) オーム社,照明工学,1986,pp103
- (20) 特許,特開昭 60-118806

他、参考資料

<スキャナ関連>

映像情報、Vol.19,1987/7

<http://www.valley.or.jp/~ichinose/index.html>

<分光設計>

日本色彩学会編,色彩科学ハンドブック、東大出版会,1985

佐柳ら、色彩再現の基礎と応用技術、トリケップス

若林、太田ら、カラーイメージスキャナにおける3色分解系の分光感度設計法、

電子情報通信学会論文誌,1987/2 vol.J70-CNo.2,pp251-pp262

2. 2. 2 バーコードリーダー

(1) 概要

バーコードは当初スーパーマーケットのチェックアウトを安価に行うために考案された方法であるが、現在ではその利便性によりPOS、物流、FA、OA、医療等様々な分野で利用されるようになってきている。

また、このような利用分野の広がりにあわせて、バーコードリーダーも用途に応じて、図1に示すように種々の形態のものが使われている。

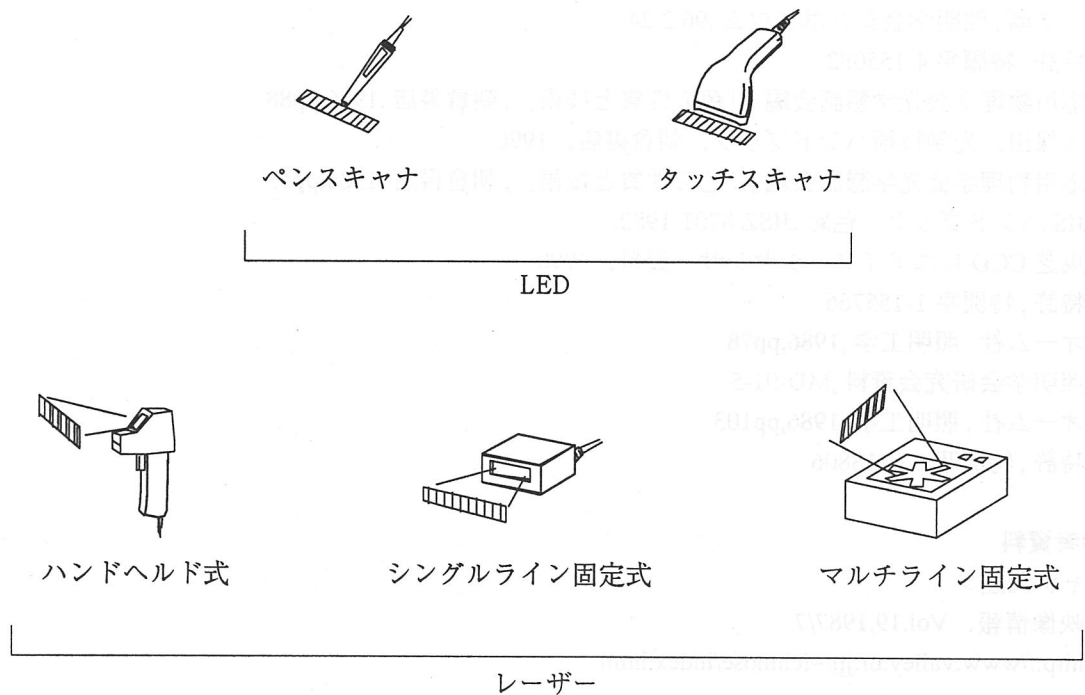


図1

ペンスキャナは、最も低価格、低消費電力のリーダーでバーコードを手動で走査することによって読取りを行う。ハンディターミナル、電子レンジやビデオ等の家電製品、その他入力頻度の比較的小さい用途での入力装置として使われる。

タッチスキャナはCCDラインセンサでバーコードを読取るため手動走査が不要である。POS端末の入力装置が主な用途であるが、物流、FA等の伝票や物品の管理にも使われる。

レーザーを光源を使用したリーダーは離れたバーコードを高速に読取ることができる。用途により、ハンドヘルド式、シングルライン固定式、マルチライン固定式がある。

ハンドヘルド式リーダーは主として物流、FA等でハンディターミナルの入力装置として使われる。シングルライン固定式リーダーは物流、FA等でベルトコンベアで運ばれる物品に付帯したバーコードの読取りに使われる。マルチライン固定式リーダーは主としてPOS端末の入力用に使われ、角度の異なる複数のレーザー走査線を用いて色々な角度で進入してくる物品のバーコードを読取ることができるようになってきている。また、固定式リーダーと同様、物流やFAのベルトコンベアラインでも使われる。

(2) リーダーの構造と動作原理

バーコードリーダーは一般的に、光源部、光学部（投光レンズ、集光レンズ、ミラー等）、

光電変換部、デコード処理（解読処理）部、データ出力部の各部分から構成される。光源で発生した照明光は光学部（投光系）を通してバーコード面を照射し、その散乱反射光は光学部（受光系）を通して光電変換部で受光されバーの白黒に応じたデジタル信号に変換される。変換されたデジタル信号はデコーダ部に送られそこで解読処理され英字、数字等のコードとして読取られデータ出力部からホストコンピュータ等の上位機器へ送信される。

バーコードリーダーの一般的な構造と動作原理は以上の通りであるが、その形態に応じて以下に示すような様々な具体的な構造をとる。

図2はペンスキャナーの先端読取り部の構造を示したものである¹⁾。照明光源に赤色LEDを使い、レンズでバーコード面に集光する。バーコード面からの反射光はフォトデテクタにより検出される。バーコードを手動走査すると反射光強度がバーコードパターンに従って変調されバーコードが読取られる。このような構成の他にも、先端部にボールレンズを使い照明用と受光用のレンズを共用にしたもの等、様々な構成のペンスキャナーがある。

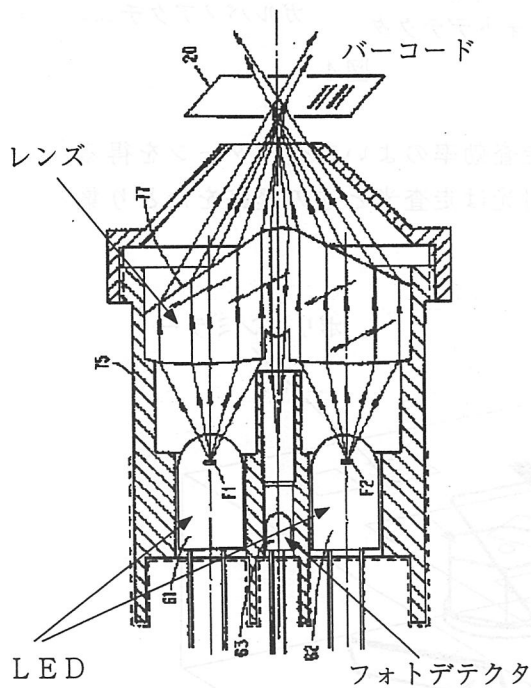


図2

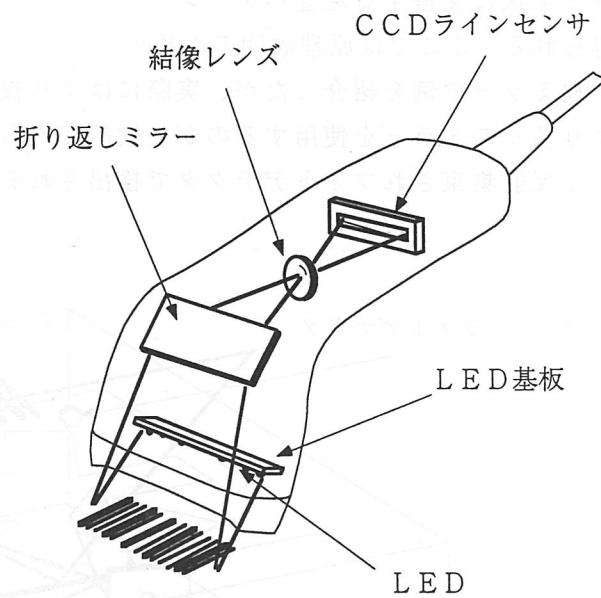


図3

図3はタッチスキャナの構造を示したものである²⁾。照明には通常、基板上に一行に配置された複数の赤色チップLEDが使用される。照明光をバーコードに効率的に集光するためシリンダーレンズをLED列の前方に配置するのが一般的である。反射光は折り返しミラーを介して結像レンズによりCCDラインセンサに結像する。この方式では、CCDラインセンサでバーコードの線像を検出するので手動操作は不要である。

図4はハンドヘルド式リーダーの構造を示したものである³⁾。半導体レーザーで発生したレーザー光はコリメータレンズ等で集束光にされた後、走査ミラーにより偏向されバーコードを走査する。バーコードからの反射光は集光ミラーによりフォトデテクタに集光される。走査ミラーは集光ミラー中央に固定され、両者が一体となって揺動し走査時と受光時の光軸がほぼ一致するようになっているので、効率よく反射光を集めることができる。多段式のバーコードの読取りを目的として第二のガルバノミラーを組込みラスタ走査ができるようにしたものもある。シングルライン固定式リーダーも概略同様の構造をとる。

図5はマルチライン固定式リーダーの構造を示したものである。半導体レーザーで発生したレーザー光はコリメータレンズ等で集束光にされた後、回転ポリゴンミラーで偏向される。ハンドヘルド式リーダーやシングルライン固定式リーダーでは偏向されたレーザービームはそのままバーコードを走査したが、このリーダーでは様々な角度のバーコードを読取るために、偏向後のレーザービームは角度等の異なる複数のミラーで構成された走査パターン生成ミラーで反射され、複数の走査線からなる走査パターンを形成する。この図の例では3枚の走査パターン生成ミラーで*状に交差する走査パターンが得られる。ここでは原理説明のために3枚ミラーの例を紹介したが、実際にはより複雑で走査効率のよい走査パターンを得るためにより多くのミラーを使用するのが一般的である。反射光は走査光と逆の経路をたどり集光ミラーで反射集束されフォトデテクタで検出される。

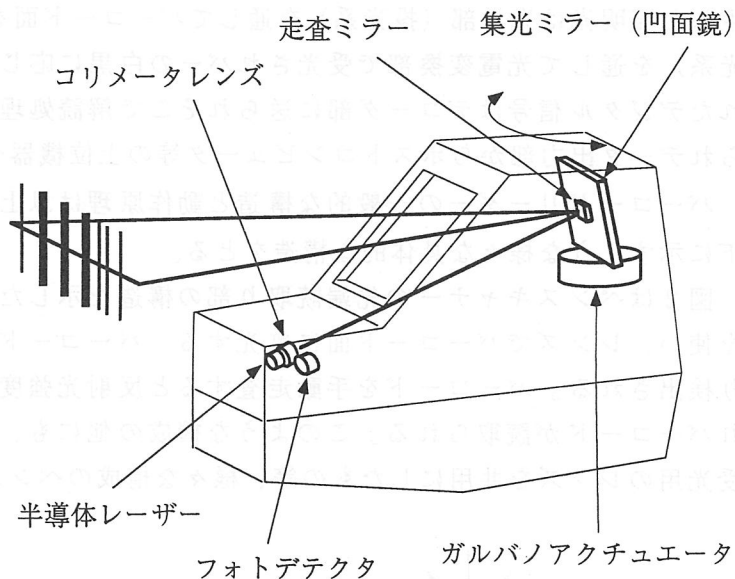


図4

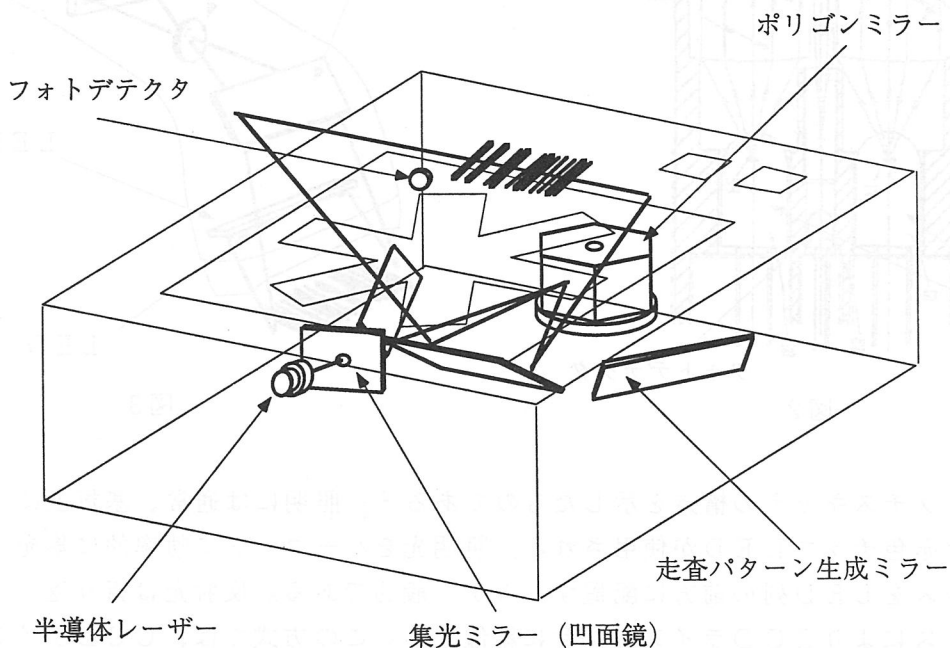


図5

(3) 光源への要望

バーコードリーダーに使われる光源に対する要望は、光源の種類、使用する機器によって様々であるが、要約すると表1のようになる。

表1 バーコードリーダー光源への要望

光源	要望	備考
L E D	省電力化	バッテリー駆動機器への対応
L E D	高輝度化	非接触式リーダーの照明
半導体レーザー	短波長化	HeNeレーザーの波長633nmが理想
半導体レーザー	長寿命化	稼働時間の長い小売店舗用リーダーでは15,000時間以上
半導体レーザー	高集束特性	シングルモード半導体レーザーでは、ほぼ良好

ハンディ式のリーダーはハンディターミナル等の携帯端末に接続され端末の内蔵バッテリーから電源供給を受けるため省電力化の要求が大きい。特にタッチスキャナでは照明に使用するL E Dの省電力化が望まれる。また、最近では図3と同様の構成で焦点距離の長いレンズを使用して、数10cm～1m程度の距離にあるバーコードを離れて読取るリーダーが使われるようになってきている。このようなリーダーでは照明光を遠くまで到達させる必要があるため高輝度で効率のよいL E Dが必要となる。

レーザーを光源としたリーダーでは以前はH e N eレーザーや赤外半導体レーザーが使用されていたが、近年、安価で高性能の可視半導体レーザーが利用できるようになったため、現在では大半のリーダーで発振波長660nm～680nmの可視半導体レーザーが使用されている。しかし、この波長域では感熱紙等一部のバーコード記録材料の分光特性との相性が悪く、またレーザー走査線の視認性があまりよくないので、H e N eと同程度の波長(633nm)の半導体レーザーを使用すれば読取り性能や操作性の向上が期待できる。このような短波長の可視半導体レーザーが現状の660nm～680nmの可視半導体レーザーと同等のコスト、寿命になれば、バーコードリーダーの光源として広く利用されるようになると思われる。

レーザーの寿命については、特にマルチライン固定式リーダーで要求が厳しい。小売店舗のチェック用に使われるため一日の稼働時間が10数時間と長いためである。少なくとも15,000時間程度の寿命が望まれるが、現状では不十分であるためリーダーに物品検出センサーを組み込む等して、レーザーの不要な点灯を極力避けるようしている。

レーザーの出力は5mW程度のもが使われる。特に小売店舗等での使用では安全性に配慮しなければならないため高出力化の要求は少ない。

バーコードを高解像度で、かつ広い距離範囲で読取るためにレーザービームには高い集束特性が要求される。例えばP O S用の固定式リーダーではレーザービームは通常100mm程度の距離範囲で直径200 μ m以下のビーム径を維持する。このために、以前はH e N eレーザーのようにコヒーレンシーのよいレーザー光源が必要であった。現在では可視半導体レーザーでもシングルモードレーザーが利用できるため、ビームの集束特性についてはほぼ問題のないレベルになっているが今後さらなる改善を期待したい。

参考文献

- 1)United State Patent No. 5,278,397(1994).
- 2)木村博幸、月刊バーコード、Vol.3、No.11(1990).
- 3)United State Patent No. 5,250,792(1993).

2. 3 記録機器

2. 3. 1 複写機・光学式プリンター

複写機やレーザービームプリンターに代表されるいわゆる光学式ページプリンターはそのほとんどが電子写真法により画像形成される。以下複写機や光学式プリンターを総称して電子写真システムと称する。

電子写真は複雑なプロセスを行うため、たとえば近年普及の目覚ましいインクジェットプリンターに比較するとコスト的に不利であり現実台数ベースでは大きく離されつつある。

しかしながら数年前に比べるとコストダウンが進み、かつ本質的にシリアルプリンターであるインクジェットプリンターに対し、4枚/分を最低速レンジとする電子写真システムは印字スピードが圧倒的に早く、オフィス需要を中心としてさらには個人でもハードユーザー向けに十分通用する価格帯になってきている。

またカラー化も進展してきており、オフィスユース、プロユースに適した機種が開発されている。

(1) 作像原理

下図1に従い簡単に作像の原理を述べる。

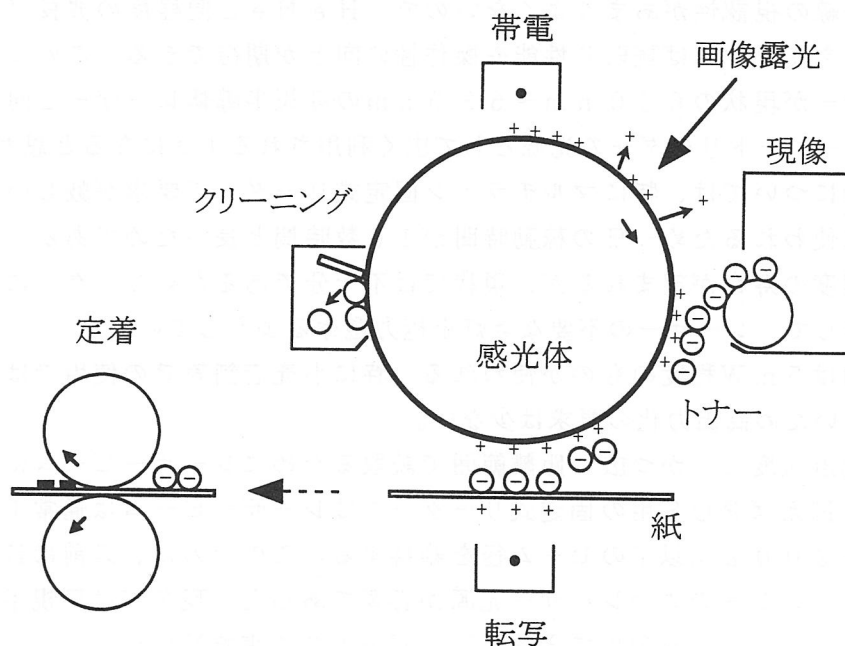


図1. 電子写真の作像原理

- ① 帯電工程：帯電器により感光体を一様に帯電させる。
- ② 露光工程：画像露光する。光が照射された部分は電荷が減少し、照射されない部分は電荷が残留する。この結果像状に静電荷のパターンが形成され、静電潜像と呼ばれる。
- ③ 現像工程：帯電した現像材（トナー）を静電潜像に電氣的に付着させ可視像化する。
- ④ 転写工程：感光体上のトナー像を紙に転写する。
- ⑤ 定着工程：紙上のトナーを熱溶解し、固着させる。
- ⑥ クリーニング工程：感光体上の残留トナーを除去して感光体を再使用する。

感光体は現在ではドラム状やベルト状の基材上にS e（セレン），有機半導体（O P C），アモルファスシリコン（A - S i）等の感光材料を用いた光半導体が形成され、そのそれぞれに適した極性或表面電位に帯電される。

アナログ機の画像露光は原稿の反射光を光学系を通して感光体まで導き行われる。またデジタル複写機は、画像をC C D等のリニアイメージセンサーでスキャンし、一旦電子信号に変換され各種の信号処理を施された画像信号をレーザーやL E Dにより露光される。プリンターの場合はデジタル複写機 of 原稿スキャンとそれに伴う特有の処理を除けば同一のプロセスである。

アナログ複写機の場合は原稿の白地部分の電荷が除去されるが、普通デジタル複写機、プリンターの場合は原稿の文字やイメージの部分の電荷が除去される。従ってアナログ複写機は電荷が残留している部分に、またデジタル複写機、プリンターは電荷が除去された部分にトナーによる可視像化が行わなければならない、そのために現像・転写工程の極性が決定される。

図1は+帯電の感光体のアナログ複写機を前提に書かれているが上記のように像形成条件は種々変化する。

また図1における定着工程は熱定着を説明しているが、圧力のみによりトナーを紙上に固着させる圧力定着という方法もある。

このほか例えば転写後の紙を感光体から剥離させる為の分離工程に代表される複写機、プリンターとしての性能を確保するための各種補助工程があるが各機種 of 個別事情に依存しており、本来的な電子写真プロセスは上述の工程に集約される。

（2）市場動向⁽¹⁾

下表1から表3に複写機・ページプリンターの最近の市場動向と市場予測をあらわす。

表1. モノクロ複写機の世界市場動向 (千台)

	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
30枚/分以下	3493	3524	3584	3556	3518	3467	3433
31～69枚/分	728	825	869	899	932	949	963
70枚/分以上	82	78	80	83	86	91	96
合計	4302	4426	4533	4538	4536	4507	4492

表2. 日米欧のカラー複写機の市場動向 (千台)

1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
62	71	92	108	124	139	155

表3. 米国におけるページプリンターの市場動向(千台)

1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
2923	3117	3291	3470	3490	3504	3518

複写機としての市場規模は表1による予測では飽和傾向を示している。また市場が低速機から徐々に高速機側に推移しつつあることを示している。一方で表2ではカラー複写機の成長が著しいとも予測している。これとは別に最近の新聞等の調査ではデジタル複写機の高成長が報道され、97年の日本市場ではデジタルとアナログの比率が逆転するといわれている。

表3は米国におけるページプリンターの市場動向と予測をあらわす。詳細は示さないが、こ

ちらは安定的に成長しているとともに複写機と同様に高速機への需要シフトとカラー機の高成長が期待されている。

このことから今後の市場動向のキーワードはデジタルとカラーであることは明白であろう。

またデジタル複写機が例えばファクシミリ機能やプリンター機能を複合化しているものがあるように、単に複写機、プリンター、ファクシミリといった単体商品ジャンルで市場を見ても動向を把握することは困難になりつつある。

さらには急激なデジタル化のような技術的なブレークスルーによって市場の動向は極めて流動的になると予想される。

(3) 光源への要望

どこまで光源に期待するのか、どこまでを装置の設計でカバーするのかは微妙な問題である。コスト的な制限、装置の法規制などの外的な制限、性能的な要求事項等から各種のトレードオフの上に装置が実現されているのである。

また光源は物性的にその特性の多くが規定されてしまうことから、本来達成不可能な要望事項と可能な事項があるだろうが、光源技術が専門ではない装置側からの技術的な具体的提案というものはなかなか困難と思われる。したがって現実には光源ありきで設計しているのが実状ではある。

しかしながら装置の設計ではカバー不可能或いは困難な項目が存在することも事実で、そのためにコスト的に多大な負荷がかかったり装置性能を割り切るといった事態を生じさせる。

光源に過大な仕様を求めてコスト的に全く成立しないものができても装置としては失敗であろう。かといって、魅力的な光源を求める努力がなされないなら、いつまで経っても技術の進歩はなく、付加価値の低い光源を使いこなしていくであろう。

今回の報告を概観すると、装置側から見た光源の光としての特性は基本的に安定性が最大のポイントであることが判ると思う。この場合の安定性は量産したときのバラツキといった意味と装置のライフにおける環境や耐久に伴う意味を含む。

逆にいえば光としての特性が安定していれば、それ程無理なく設計的にこれを補正するように光学系やドライブ回路を構成することが可能であることを示す。

それに対し、寿命や信頼性（市場故障率）といった項目は複写機や光学プリンターの商品特性から或程度以上の設計的なカバーができず、光源自体の性能に依存せざるを得ない。

1. 発光光量

先ず原稿照明ランプとしては、最大の光源選択の基準は発光光量であり、現状では大光量が必要な場合ハロゲンランプ、中程度の光量が必要ななら蛍光灯、比較的低光量でも十分な場合キセノンランプを選択されることが多い。

発光光量はアナログ複写機の場合はドラム感度、デジタル複写機の場合はCCDセンサーの感度が支配的である。但し、レンズ、光学系の設計次第で境界領域においては選択肢として2種以上の光源が選択可能であり、システムとしての要求仕様やコストによりどの光源を選択するかを決定する。

原稿照明において、光量の立ち上がりは早くなくてはならないため、メタルハライドランプは現状実用化されていない。（光源の長尺化がされていないこともある）

蛍光灯も光量立ち上がりの観点では満足いくレベルではないがフィラメント予熱の方法や

管の温調等で一応使いこなしている状態である。

なおハロゲンランプ、キセノンランプは光量が安定しており調光回路は必要ないといわれており、蛍光灯は光量変動が種々要因により大きいため調光回路は必須になっているが、画質の観点から例えばキセノンランプの若干の光量変動が許容できない場合がある。

また感光体露光手段としての光源は現状ではレーザーとLEDアレーに集約されている。特にレーザーはCDをはじめとするレーザーダイオードの民生機器への普及に伴うレーザーチップ自体のコストの低下とポリゴンスキャナーのコスト低下が進行し、市販初期に比較すると劇的なコスト低減に成功し市場を急激に拡大した。近年の複写機のデジタルへの移行にともないさらに高度な使いこなしが求められている。

またLEDアレーは全固体スキャンが可能で、レーザーのようにメカ的なスキャン機構が不要であるため機械の小型化や高速化に適しているといわれている。LEDは原理的に紙幅分の長尺が必要であり、たとえばメモリーのような半導体プロセスの進展に伴う急激なコスト低減は期待できないが、徐々にコスト低減が進行しており適応範囲が広がりつつある。

さらに、レーザーが点光源であることから高精度の制御が容易であるのに対し、LEDアレーは原則的に分解能分の発光素子を必要とし、その制御は実質的には2値制御が現実的である。今後の高分解能化がどこまで進展するかによりどの程度の光量（点灯速度）、光量精度が必要かは変化するであろう。レーザーかLEDかはその守備範囲により共存していくと思われる。

2. 配光

配光に関しては極端に悪いものでない限り、光学系の設計で吸収できる。特にデジタル系の場合はCCDの感度補正いわゆるシェーディング補正を行うことから光量ばらつきを含めて補正してしまうため、少々の配光分布は吸収してしまう。またアナログ複写機の場合も数%程度の配光は画像として問題にならない。

問題はその安定性であり、連続画像形成中もしくはシェーディング制御の実行タイミング間に配光特性が変化してしまうとすれば画像濃度の変動として現れてしまう。この変動は通常比較的low周波の変動であることから連続コピーの始めと終わりの画像が濃い／薄いといった問題を惹起する。

またランプ間の配光分布のばらつきが許容以上であると特にアナログ複写機の場合は、その補正手段が通常ないことから問題になる。

レーザーやLEDの書き込み系の素子の場合は配光という表現が正確ではなくドループや温度特性といった方がよいであろうが、現象的には同様の画像問題に直結する。また、画像全体の濃度変動だけでなく、主走査方向の画像濃度変動になることもある。

一般的に発光光量を安定化するか、素子温度を安定化するかの制御を行うが、主走査1ラインの画像形成時の光量変動は補正不可能である。

LEDの場合はビットばらつきが光量の変化として画像に影響するかどうかは採用の決定的要因になる。

以上のような問題点に対して、もちろん設計的にこれを回避するようにはするがより安定性の高い素子や光源の開発が望まれる。

また長尺光源であることから線光源としてのメカ的精度も要望としてあげておく。具体的にはハロゲンランプのそりや蛍光灯のアパーチャーの精度が現行より改善されれば光学系の設計が容易になる。

3. 分光分布

カラー複写機の場合は分光感度に関して色再現性の観点からブロードであることが望ましいが、それ以上に安定性に注目され、感度補正後のスペクトル変動がないことが要求される。

耐久や環境により色味が変動してはならないからである。

一般にハロゲンランプは青の感度が低く、蛍光灯は青の劣化が早いといわれている。よってこれらの改善が望まれる。

レーザーはドラム感度にもよるが短波長であればあるほど装置設計的には有利になる。スポット径が小さくでき高精細化が容易になるためである。

4. 消費電力

近年のデジタル化の進展とともに機器の消費電力は増大の傾向にある。

これは従来のアナログ機と基本的な画像形成プロセスが大きくは変化のない上に、画像信号処理回路が必須となりさらにはFAXやプリンター機能が付加され、またファイル機能やPDL（ページディスクリプションランゲージページ記述言語）処理回路といったデジタル機器ならではの付加価値を付与していくためである。

民生機器として、大規模オフィスだけではなく事業所の大部分を占める小規模オフィスや個人オフィスに設置されるためには100V/15Aのコンセントに適合する電力であることが必須である。ところが、定着ヒーターがたとえば600から800W消費し、機器として単体でもかなりの消費電力になっているうえに、元々複写機の付加価値として単に複写するという単機能だけではなく、原稿処理、排紙処理がある（いわゆるドキュメントフィーダーやソーターと呼ばれるもの）。その消費電力も急峻な電力変動を伴い、そのためアナログ複写機に於いてさえ電力がしばしば問題になっている。

よって低消費電力の光源が望まれる。この場合、必要光量とのトレードオフになり、現状原稿照明系では、一部の応用を除きハロゲンランプか熱陰極蛍光灯が一般的な選択肢であり、おおよそ20～30枚/分を境として、それ以上はハロゲンランプ、それ以下は蛍光灯が選択される。しかしながら、消費電力が問題になるのは通常高速機であり、この選択は消費電力の観点からは矛盾している。蛍光灯のより光量増大が望まれ、高速機分野への応用が期待されている所以である。

またハロゲンランプは後述の耐振動性の観点から効率を低減させて使用することがあり、これも高速機の方がその可能性があることから電力的な矛盾になる。

5. 耐振動性

電子写真の処理スピードを決定するのはいわゆるプロセススピードと呼ばれる感光体に画像形成するスピードが支配的である。またシステムの外形寸法やコストは感光体の外形が支配的である。従って枚数/分のランクにより感光体材料や径が選択され、それに応じた光源、レンズや処理回路が選択される。

しかしながらコストや小型化要求からより小型で簡易なシステムでできる限り高速処理するように設計される。よって、原稿スキャンは極めて高速にされる。高速スキャンはスキャン開始から定速までの時間及びスキャン終了から再スキャンまでの時間を短縮するために大きな加速度がランプに印加されることを意味する。

従って特にハロゲンランプのような長尺フィラメントにメカ的なストレスと振動を恒常的に与え続けるため、後述のように短寿命という結果を招くことがある。これを少しでも改善するにはたとえばフィラメントの移動制限構造等が採用されているが決定的な解はなく、今のところ効率を低下させる、すなわちフィラメントの径を太くしメカ的な強度を向上させるしかなく、これは逆に消費電力や昇温を犠牲にすることになることからその改善が望まれている。

6. 寿命

機器としての設定寿命はローエンド複写機を除き、数10万枚から100万枚、高速機及びプリンター上位機種で100万枚以上が要求される。これに対し原稿照明系の現状の光源寿命は20万枚程度から40万枚程度が限度である。このことは保守サービスのコストから本来容認できる数値ではなく、寿命改善が強く望まれる。

さらに寿命以上に問題なのは、特にハロゲンランプの場合、寿命の分布が極めてブロードであることである。製造上のバラツキに起因すると思われるが、市場データから概略数千枚から50万枚以上の寿命分布になっており、サービス負荷の見通し及びコスト設定に混乱を生じさせる大きな要因になっているのが現状である。

またレーザーやLEDの寿命は周囲温度の影響が大きい、現状ではぎりぎりの寿命であり、装置設計で何とか辻褃をあわせているのが実状である。より高寿命になると、装置側は設計的にマージンをとりやすくなる。さらに寿命というより破壊耐性であるが、レーザーダイオードは極めてデリケートで、わずかな静電気や過電流で破壊することがある。装置側からすればもちろん破壊耐性が向上するのが望ましく、また素子の仕様としての規格をデリケートである分より詳細に規定する必要がある。

7. コスト

この場合は駆動回路を含んだトータルコストを示す。

蛍光灯の場合は、フィラメント予熱と点灯開始電圧と点灯電流の関係からその駆動回路は複雑になり、また寿命を満足するためには発生する電圧波形や精度も要求が高く、なかでも予熱条件は極めて厳しい。予熱条件を逸脱したときのフィラメントのダメージが大きく即刻黒化につながり、それを回避するコストと割り切りのトレードオフの判断は難しい。

さらに、蛍光灯は調光回路が必須になりコスト的に不利になる。また蛍光灯の場合は耐久及び温度による光量変動を考慮した点灯電流に設定しなければならず制御範囲が広くなりコストに影響するのみならず寿命保証にも影響する。通常調光によるデューティ点灯は寿命的に不利になり、またコピーサイクルに従って点灯/消灯を繰り返すのでこれも寿命に悪影響を及ぼすといわれている。

ハロゲンランプの場合は光量が安定していることから印加電圧実効値を一定にする制御が一般的であり、現状位相制御が主流であり比較的安価に構成されているが、後述の高調波規制問題で位相制御が困難になる可能性がある。

またアナログ高速機では商用周波数のサイクリムラが画像上容認できなくなり、さらにはデジタル機ではモアレを考慮してDC点灯または高周波点灯を行っており、コスト的には高いものになっている。なおかつ通常コンデンサインプットの点灯回路であるため、後述の高調波規制上問題になることは位相制御の場合と変わらない。

高調波対策はワッテージに比例してコストがかかるといっておく、ハロゲンランプは消費電

力が大きいいため必然的にその対策のコストは高くなることが予想される。

以上から蛍光灯に関しては点灯、寿命に対するラチチュードの拡大が望まれる。

ハロゲンランプに関しては今後DCもしくは高周波点灯に主流が移行すると思われるがより高効率で低消費電力ランプの開発により規格クリアーを含んだ低コスト化が望まれる。

8. 始動性

蛍光灯のような放電を利用したランプの場合は放電開始電圧が長尺化と細管化に伴い上昇する。

また点灯開始予熱条件、デューティー点灯中の再点灯条件は大光量、長寿命化に伴い要求スペックが厳しくなりつつある。また光量変化を考慮して点灯電流の設定は大電流化する。

このことは、点灯回路の発生する基本的な電力の増大を招き、回路設計と保護回路の設定をシビアにならざるをえなくし、コストの増大とともに信頼性（故障率）の悪化を招く。

また大電流化がストレートに光量に反映されなくなりつつあることからより効率の高い蛍光灯材料やガス圧の安定制御、高寿命フィラメントの開発がまたれる。

ハロゲンランプの場合は始動性に関してはソフトスタート回路の追加を除くと特に問題はないが、始動時の電流はかなり大きくドライブ回路は十分にマージンをもった設計が必要である。またその電力から1次側での点灯回路の構成を普通なされており、安全規格対応と保護回路の設定が重要になっている。また蛍光灯が電力的に2次側に回路構成できるのに対して殆ど1次側に限定されるため100V系と200V系で設計を変える必要がある。定着ヒーターに関しては後述する。

冷陰極管は表示の液晶ディスプレイのバックライトとして複写機でも多用されている。またFAXやプリンターにおいても高機能になればなるほどマンマシンインターフェースの重要性が増加し、ディスプレイとして液晶が使われる傾向がある。

ところで液晶ディスプレイの主要な用途としてはノートパソコンであろうから、冷陰極管の開発動向として低消費電力化と小型化（細管化）の方向にあるが、複写機やプリンター、FAXとしては低消費電力化や小型化といっても現行以上のものはほとんど必要ない。もちろん冷陰極管の市場の流れに沿わないと管自体のコスト変化の流れに乗ることができないが、むしろ細管化にともなう始動電圧の上昇はドライバーのコストアップ要因と直結することから本来望む方向からは若干逸脱している。さらには発生電圧が高いと危険性が增大することからPL意識の高まりを考慮すると、低始動電圧化が望まれる。

9. 環境特性

この項目も一般的には放電管において問題となる項目である。

例えば、蛍光灯の低温での光量低下を見込んだ光量設定になるため必要以上に大光量にする必要性がある。

さらには点灯後の特性変化により安定するまでの間に光量が上下する。この場合もその最低光量をもって仕様にせざるを得ないために最大光量が必要以上のものになる。

またどうしても要求仕様を満足できない場合は温度を一定にする必要があることから常夜通電して管を温度制御することがある。これは省エネルギーの観点と基本的には加熱素子を常夜通電することによる安全性への影響を考慮すると望ましくない方向である。

10. 規格規制対応

現状一部の機種を除き定着ヒーターの熱源としてはハロゲンランプが使用されている。本報告が情報機器光源に関するものであり、熱源としてのハロゲンランプに言及するのが適当であるかは議論の余地があるが、定着ヒーターとしての市場規模がハロゲンランプ全体に占める割合は相当大きなものであることは間違いのない所であることから、ここに言及する。

また、電子写真システムとして最も電力を消費しているのが定着ヒーターであり、その制御方法が直接消費電力上限を決定しているといっても過言ではなく、電力規格をクリアする上で大きな要因になっている。

さらには近年の各種規制においても大きなウェイトを留めている。

特に

1. エナジースター
2. 高調波規制
3. フリッカー規制

は定着ヒーターの制御をどう行うかで規格をクリアできるかどうかは殆ど決定される。

高調波規制とフリッカー規制はいわば対立する規格であり、従来の位相制御は高調波規制でNGになる可能性があり、従来のON/OFF制御はフリッカー規制でNGになる可能性がある。高調波規制とフリッカー規制は欧州においては98年6月から強制適用になる予定であり、早急な対応が迫られており規格クリアするための種々の方法が模索中である。

エナジースターに関しては低電力モードが最大の問題になりつつある。これは枚数/分で決められる消費電力以下に複写機のモードを変えなおかつ複写可能状態への復帰を30秒以下でなければならないというもので定着器の設計と同時に熱源の改善が必要である。

またPL法の制定にともない急速に製品の安全性に対する意識が高まっている。製品の安全性を確保する上では高電圧及び大電力の部分の設計が最重要であり、そのため定着及び原稿照明ランプのドライバーの設計は重大な影響を及ぼす。

その中でも定着ヒーターは極めて大電力であり、製品安全性から決定的な影響をもつ。よって2重3重の保護システムを具備させているが、基本になるのはヒーター自体の特性であり、特にヒーターの起動時のラッシュ電流の低減と明確な規定が望まれる。

1.1. 外形

装置の小型化のためには光源と光学系の小型化も大きな要因になる。

ハロゲンランプの場合はその発熱量のためにランプ周辺の排熱処理系が必須である。

蛍光灯の場合はフィラメント分装置奥行きが長くなってしまふ。この傾向は高輝度化にともない顕著になる。フィラメントがある限り不可避ではあろうが、構造的な改善により全長の短縮化が計られるように望む。

また電極がないというキセノン管のメリットは全長だけでなく、寿命に対する影響も多大なメリットであることからその光量の増大化により応用範囲の拡大が期待できる。

(参考文献)

- (1) Dataquest 1996
- (2) 静電気学会編、静電気ハンドブック、オーム社(1981)

2.3.2 光ディスク

光ディスクシステムの代表とも言える CD(Compact Disk) は 1982 年秋に市場に導入され、以来、デジタル情報化社会の先兵として深く社会に普及・浸透してきている。そのメディア市場も、1988 年に LPレコードのシェアを抜き、1995 年にはコンパクトカセットを含む全オーディオソフト市場の 52% を占めるに至った。1992 年には、記録/消去可能な MD(Mini Disk) システムが加わり、新たな光ディスクメディアとして、現在、需要拡大期にある。また昨今では、光ディスクメディアの持つ、大容量デジタルデータの可搬性、ランダムアクセス性、安価な大量複製能力、等が評価され、CD-ROM(Read Only Memory) が、コンピュータソフトウェアの配布媒体として、不可欠な存在となっている。

光ディスクシステムがこのように社会に受け入れられてきた要因は、ひとえにその「使い易さ」にあり、レーザーを光源とし、その高い空間コヒーレンスを十分に利用したシステム設計の結果である。また、同じ光学的原理の上にたち、ユーザー自身がデータを記録/消去できる新規媒体を付加する事で、同じ使用環境・形態で、より高次の機能を実現してきた点も見逃せない。1996 年秋にデビューした DVD(Digital Video Disk) システムが同様の思想から、技術的困難を越えて CD システムとの上位互換を実現した事は記憶に新しい。

本節では、情報機器として社会生活に根付き始めた光ディスクシステムについて、その基礎技術(光再生、サーボ)と、MDをはじめとした種々の光ディスク記録媒体を概観する。その後、光源である半導体レーザーに求められる基本的な必要条件を考察する。現在も、更なる記録密度の向上を目指した技術開発が続けられているが、光ディスクシステムの基本原理に変更点は見られず、光源に関する必要条件は波長を除いて本節の考え方を適用できる。

(1) 光ディスクの基礎技術

光ディスクシステムは、図 1 に示したように、光源から発せられた光をレンズで集光し、メディア上に 1 次元配列されたピット列上にこれを照射/走査し、ピットの有無(反射率、位相深さ等)を情報担体として、それらの反射光量から情報を読みとる事を基本原理としている。従って、(i) いかに小さな領域まで光を集め、(ii) どのように集光スポットをピット列上にガイドするか、の 2 点が技術課題であり、基本原理となっている。

機構的には、1 次元ピット列を平面基板上に同芯螺旋配列し(→ディスク形状)、光スポット(→光ピックアップ)の 1 次元移動[半径方向]と螺旋ピット列[ディスク]の回転を組み合わせて、光スポットが連続して 1 次元螺旋ピット列上を走査する形式を採っている。回転運動と直進運動へ機構を単純化し、非接触で信号検出する事から、ランダムアクセスが容易に行える構造となっている(図 2)。

写真 1 に CD と DVD のピット列を示した。CD で、最小ピットは $\sim 0.5[\mu\text{m 幅}] \times 0.87[\mu\text{m 長}]$ であり、隣接するピット列の間隔も $1.6[\mu\text{m}]$ と小さくなっている(DVD は、最小ピット $\sim 0.3[\mu\text{m 幅}] \times 0.4[\mu\text{m 長}]$ 、トラック間隔 $0.74[\mu\text{m}]$)。回転軸と螺旋中心の偏芯は、一般に $\pm 70[\mu\text{m}]$ ほどもあり、集光した光スポットを正しくピット列上にガイドするには、何らかの手段でスポット位置を知り、積極的にトラックする必要がある。また、現実のディスクには回転運動に伴う「振

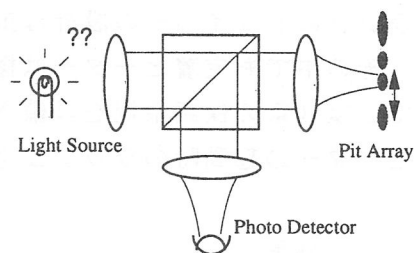


図 1 光ディスクの原理

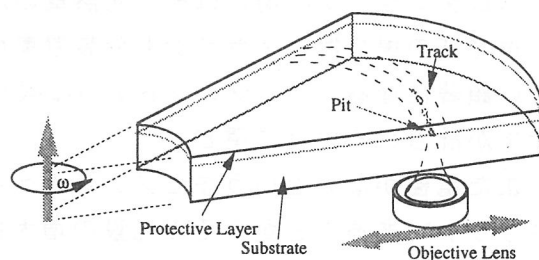


図 2 光ディスクの構成

動]や反りなどの「基板変形」があり、ピット上に正しく光スポットを結ばせるフォーカサーボも不可欠である。

また、レンズで光を絞る非接触読み出し方式は、レンズと光スポット間の空間を利用して情報ピットを透明基板の裏面に形成する事ができ、情報記録面へのホコリの付着やキズつきを回避して読み出しエラーを防いでいる。この機能は、メディアの可搬性と高い信頼（耐久）性を保証しており、光ディスクシステムの「使いやすさ」の一面を担っている（図2）。

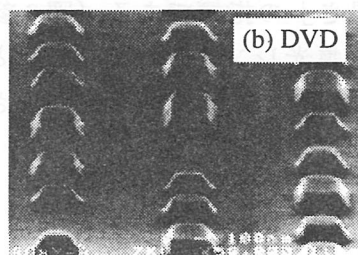
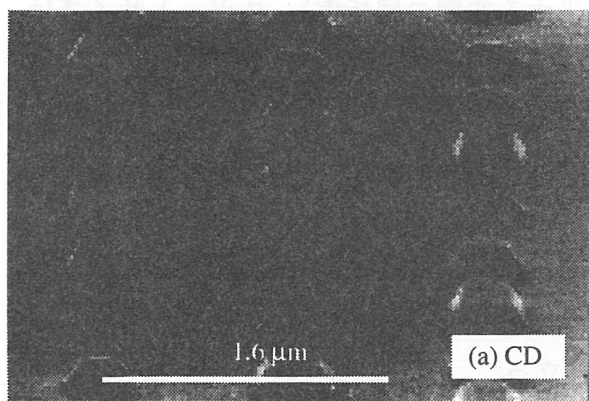


写真1 光ディスクのピット列
(Niスタンパ-のSEM像)
(a) CD, (b) DVD

さらに近年では、レーザー光のエネルギーを熱の形で利用し、スポット照射部分に物性変化を生じさせ、ユーザー自身のデータを記録/再生可能とするシステムが多く開発され、市場投入されている。情報担体 [物性変化] として磁化を用い偏光読み出しする光磁気記録や、結晶状態 [結晶⇄非晶質] の差に伴う反射率差を用いる相変化記録があり、前者はミニディスクやコンピューター用光磁気ディスクとして既に大きな市場を形成するに至っている。

以下に、光ディスクシステムの要素技術を述べ、記録ディスクシステムも含めて光源の必要条件をまとめる。

光スポットサイズ

集光レンズで小さなスポットを結ぶ過程は、入射光がレンズによって位相の揃った収束球面波に波面変換される過程であり、一般には、図3に示したように、位相の揃った平面波が凸レンズを透過し、その焦点位置に収束する過程で理解されている。

このような平面波を与える光源には、光の位相が空間的に強い相関を持つことが求められ、具体的には、点光源（もしくは、平面波光源）である事が必要である。電球や蛍光灯等の一般的光源は、有限の大きさを持つ発光源であり、且つ、様々な波長の光が全く無相関で発せられるため、光源の実像が形成され、一点に光を集める事は困難である（Hgランプ等の特定スペクトル線を光源とし、ピンホールを用いることで実験的には対応できるが、光量や大きさ等の実用性を解決できない）。一方、高いQ値を持つ光共振器の中で特定の波長と横モードの光だけを選択/増幅して作られるレーザー光は、時間的にも空間的にも高いコヒーレント（可干渉）性を持ち、高いエネルギー（輝度）を兼ね備えた、光ディスクの理想的な光源となっている。

さて、光スポットサイズの制限要素は、光源の性質の他、レンズの収差や材料の屈折率分散が知られているが、「波動光学」によれば、理想的な集光レンズと光源を仮定しても、光スポッ

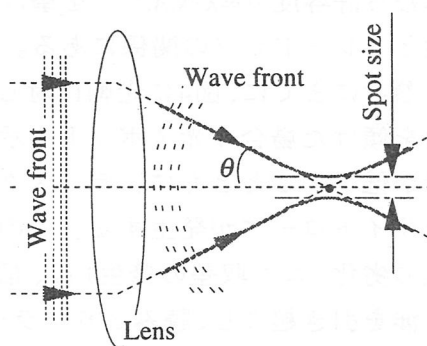


図3 レンズによる光の集光

トサイズが有限の大きさにとどまる事が知られている。光の波動性のためにレンズ（開口）縁辺の回折が重畳するため、一様な光強度分布を持った平面波が入射した場合、(1)式の d が最小スポットサイズとして与えられる。光スポットは、エアリーディスクの名で知られる図4に示した断面強度分布を持ち、外周に向かって周期的に変動しながら減少するプロファイルに特徴がある。(1)式では最初に光強度が0となる直径を d と定義した。この内側に84%の光エネルギーが含まれる。 $N.A.$ （開口数：Numerical Aperture）は(2)式で定義されるレンズの属性で「光の集め易さ」の指標である（図3参照； n は集光する空間の屈折率）。スポットサイズは、光源の波長と集光レンズの $N.A.$ の関数となっており、より短波長で回折が小さく、また、より大きな $N.A.$ で回折の影響が相対的に小さくなる事から、最小スポットサイズを得る(1)式の条件も定性的に理解できる。

$$d = 1.22 \frac{\lambda}{N.A.} \quad (1)$$

$$N.A. = n \sin \theta \quad (2)$$

光ディスクシステムの集光光学系は、レーザー光源と収差をほとんど無くした対物レンズで成り立っており、小型で安価、堅牢・高効率で長寿命、さらに低電圧駆動で直接高速変調が可能、など多くの利点から、CDシステム以降、半導体レーザーダイオード(LD)が光源として用いられている。CDの場合、GaAlAs LDの発振波長780nmと開口数0.45の対物レンズを用い $d=2.1[\mu\text{m}]$ が代表値であり、DVDでは、AlGaInP LDの発振波長650nmと開口数0.6の対物レンズから、スポットサイズは $d=1.3[\mu\text{m}]$ となっている。

光ディスクシステムの性能は、単純にスポットサイズの小ささに求める事はできず、後述の各サーボシステムの安定動作が保証されなければ意味がない。集光光学系の持つ他の重要因子として、焦点深度($=\lambda/N.A.^2$)、ディスクのスキュー[傾き]許容度($\propto\lambda/N.A.^3$)、ディスクの厚みむら許容度($\propto\lambda/N.A.^4$)、を挙げておく。光学システムとして、 $N.A.$ の増加はシステムの安定性とトレードオフの関係にある。

参考までに、図4に光軸に対して僅かにディスク面を傾けた場合の光スポットを示した。中心の光強度が低下するとともに、ディスクの傾き方向に大きなサイドローブが発生する。このような光スポット形状の劣化(コマ収差の発生)は、信号再生時に符号間干渉を引き起こし、読みとりエラーの原因となる。この収差は、ディスク基板の厚さに比例するため、高い $N.A.$ の対物レンズを使用するDVDシステムでは、基板厚さが0.6[mmt]と薄く規格化されている(CDは1.2[mmt])。

また、光スポットの振幅分布が対物レンズ瞳面上の光振幅分布のフーリエ変換で与えられるため、対物レンズに入射する平面波の光強度分布がスポットサイズに影響する。LDの出射光強度の放射角分布がガウス分布であるため、高い $N.A.$ のレンズでコリメートすると、対物レンズへの入射光強度が周辺で低くなり、光スポットが大きくなる。光スポットサイズが、対物レンズのみならず光源とコリメートレンズの設計にも依存する事は留意すべきである(図10参照)。LD出射光強度の放射角分布が活性層と平行な方向と垂直方向で一般に異なる事を付記しておく。

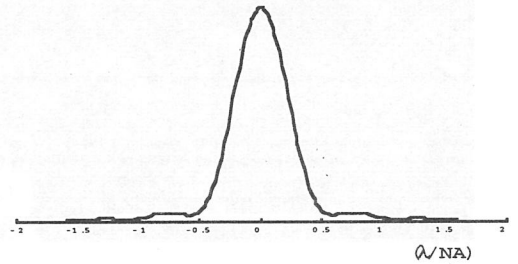


図4 集光スポットの光強度分布

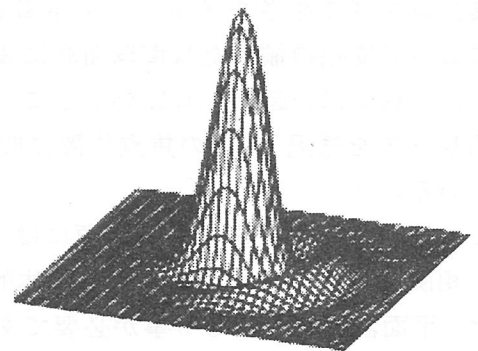


図5 ディスクに傾きのある場合の集光スポット

光スポット位置検出とサーボ機構

ここでは、 μm サイズのピット列上へ光スポットを安定して集光／走査するための、フォーカス／トラッキングサーボ技術を紹介する。写真2に、Mini Diskに用いられている対物レンズのアクチュエーターを示した。磁気回路中に、コイルの付加された対物レンズホルダーがプラスチックヒンジで支えられている。コイルへの電流駆動により、レンズホルダーに光軸方向とディスク半径方向の独立した電磁力を発生でき、所望の位置へレンズを変位させる構造になっている。また、図6に示したように、アクチュエーター全体がディスク半径方向にリニアモーター等でスライドする構造になっており、トラッキング誤差信号の内、高域成分をアクチュエーターへ、低域成分をリニアモーターへ帯域分割して帰還／駆動する事で、ディスク全面にわたってのトラッキングを実現している。

以降、誤差（位置情報）信号検出方式について概観するが、信号検出にあたっては、(i)感度が高く、(ii)ディスクの傾き、対物レンズの光軸ズレや傾き、等に鈍感で、(iii)ディスク表面の塵埃や傷に鈍感である、方法が求められる事になる。

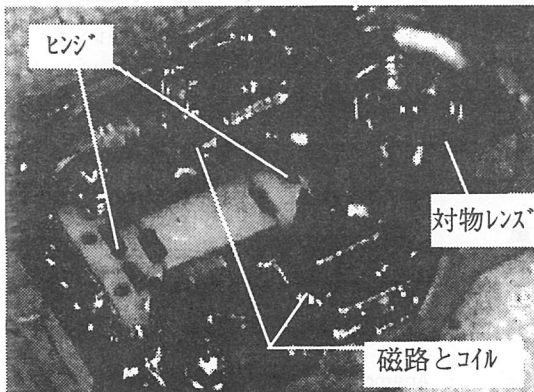


写真2 MDの対物レンズアクチュエーター

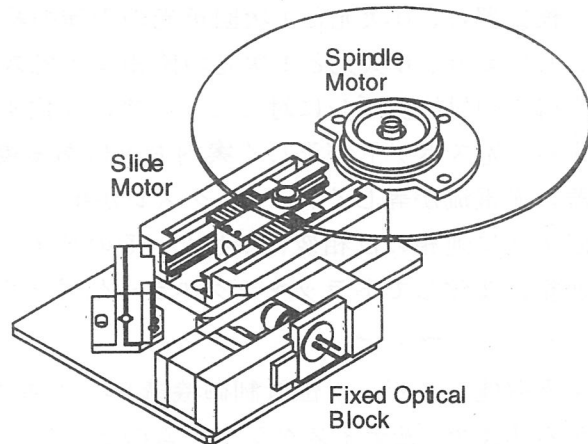


図6 対物レンズのスライド機構
(光磁気ディスク用分離光学系の場合)

・フォーカスエラー信号検出

光ディスクの面振れが $200\sim 300[\mu\text{m}]$ 程度ある中で、CDシステムにおける対物レンズの焦点深度は僅か $1.93[\mu\text{m}]$ であり、システムマージンを考慮したレンズ位置制御精度は $1[\mu\text{m}]$ 以下とされている。

図7に、構成が簡単で安定性に優れた非点収差法の原理図を示した。戻り収束光路中に円筒レンズを配置して非点収差を発生させ、縦焦線と横焦線の中間点に、4分割光検出器をその分割線が焦線に対して 45° 傾くように配置する。合焦時には円形のスポットが、ディスクに近い場合と遠い場合では互いに直交する方向に長軸を持つ楕円スポットが結ぶため、4つの検出光量に対して、(3)式の演算を行うことで誤差信号が得る事ができる。

$$\text{Focus Error} = (A + B) - (C + D) \quad (3)$$

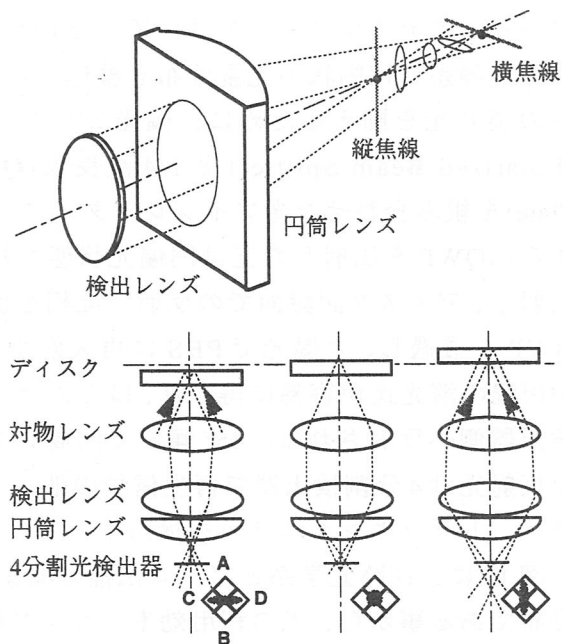


図7 非点収差法によるフォーカス誤差検出

一般に、合焦位置から $\pm 5[\mu\text{m}]$ 程度が誤差信号の検出範囲であり、サーボはこの範囲外では成り立たない。この他のフォーカス誤差検出法には、ナイフエッジ法や、差動同心円法、スポットサイズ検出法、等がある。

・トラッキングエラー信号検出

ディスクの偏芯量 $\sim 140[\mu\text{m}]$ に対して、 $\sim 0.5[\mu\text{m}]$ 幅のピット列へ光スポットを正しくガイドするためのトラッキング精度は $\pm 0.1[\mu\text{m}]$ である。CDでは、トラックピッチ $1.6[\mu\text{m}]$ に対して光スポット径は $2.1[\mu\text{m}]$ であり、光スポットの変位は、単に再生信号を減少させるのみならず、隣接トラックとのクロストークを発生させる点に注目する必要がある。

図8に、ピットや案内溝からの回折光を利用するプッシュ・プル(PP)法の原理図を示した。回折のイメージを得易い案内溝を例とした。PP法では、ピットや案内溝で反射回折された光をトラック中心に対して対称に配置された2つの光検出器(2分割PD)で受け、それらの光電流の差出力として誤差信号を演算する。検出器は、0次光と1次回折光の干渉の結果を光電流としており、0次光と1次光の位相差が光スポットと案内溝の相対位置ズレに対してリニアに変化する事を利用する。光スポットが正しく案内溝上にある場合は2検出器の光電流が等しく、トラックズレが生じた場合に ± 1 次回折光に逆相の位相変化が生じ、その結果、検出光量も逆相に変化してトラッキングエラー信号となる。

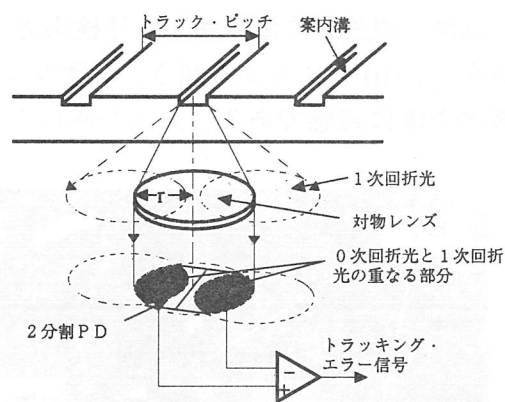


図8 Push-Pull法によるトラッキングエラー検出

・光ピックアップ

集光機能とスポット位置制御機構(含:誤差信号検出)を組み込んで、光ディスクシステムのピックアップが形成される。機能の理解を考慮した、ピックアップの基本光路図を示した(図9)。

LDを出射した光はコリメートレンズによって平行光にされ、アナモルフィックプリズムでLD出射光に固有の非点隔差や楕円状の光量分布を整形する。その後、LDへの戻り光を抑えるために、偏光ビームスプリッター(Polarized Beam Splitter)と1/4波長板(Quarter Wave Plate)を組み合わせた光アイソレーターに、S偏光で入射する。QWPを出射した光は円偏光状態で対物レンズに入射し、ディスク記録面での反射で位相を反転して再びQWPを透過し、P偏光でPBSに再入射する。PBSは、 $\sim 10^4$ 程の消光比が容易に得られ、ほとんどの反射光は光検出器側へ反射される。45°傾いた円筒レンズを透過した反射光は4分割検出器で再生信号の他、フォーカスエラー、トラッキングエラーを検出する。

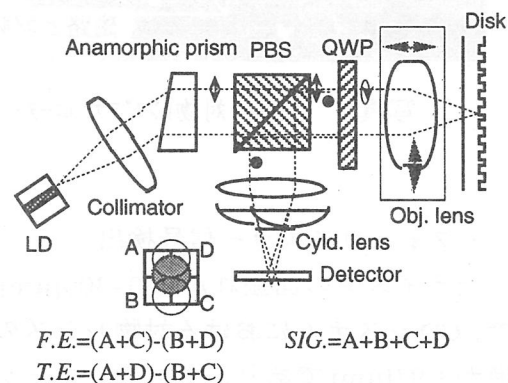


図9 再生専用光ディスクピックアップ光学系

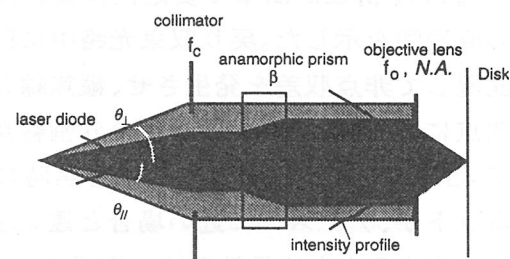


図10 往路光学系の概念図

図10に、往路光学系とビーム伝播の概念図を示した。LD出射光強度の放射角分布がガウス分布である事から、光の利用効率とレンズ瞳内の光振幅分布の一様性は相反関係にあり、高い光出力を必要とする記録ディスク用ピックアップでは、光スポットサイズと光エネルギーをバランスさせた光学設計が必要になる。

ポータブルCDに見られるように、装置の小型／低消費電力化への要求が、ピックアップの小型化や光学系の簡素化を促している。機能のコストバランスを追求する中で、(i)有限共役系レンズの利用、(ii)収束光路中へのPBSの設置、等が行われ、LD自体の性能向上もあって、近年のCDピックアップでは、アイソレーターもアナモルフィックプリズムも用いられていない。

またCD用途では、ホログラムや複合プリズムを用いてLDとPDを複合機能化したデバイスが開発され²⁾、個別の光学部品を高精度で組み立てる従来の方法を駆逐しつつある。LDへは、単純な光源から OEIC(Opto-Electronic Integrated Circuit)のような機能化が求められている。

記録可能な光ディスクシステム

可搬型大容量メディアである光ディスクにとって、ユーザーが自由にデータを記録／再生／消去できる機能は時代の要請であり、光ディスクの開発当初からの主要テーマであった。ここでは、MDの記録原理である光磁気記録と、最近注目されている相変化ディスクやCD-R(CD-Recordable)の原理を述べる。

光磁気記録は、図11に示したように磁性薄膜中に磁化の反転した領域を形成し、磁化の方向を情報担体とする。信号記録にあたっては、(i)記録部を光スポットの照射でキュリー温度程度に加熱し、外部磁場の補助を受けて磁化反転を行う方法と、(ii)回転するディスクの記録トラック上に、一定の記録パワーの光照射を行い、加熱部分がキュリー温度を経て冷える過程でユーザーデータで変調された外部磁場によって記録ピットの磁化方向を決定する方法、の2つがある。コンピュータ用の記録媒体である光磁気ディスクが前者を、MDは後者を採用している。図12には、MD上に記録された磁化パターンを示した。信号再生はKerr効果により、磁気ピットからの反射光の偏光が磁化方向で僅かに変化する事を利用する。記録媒体に高い信頼性が得られる反面、わずかに $\pm 0.3[^\circ]$ という偏光角のズレをS/N(Signal to Noise ratio)よく検出する必要があり、光学系が複雑になる欠点を有している。

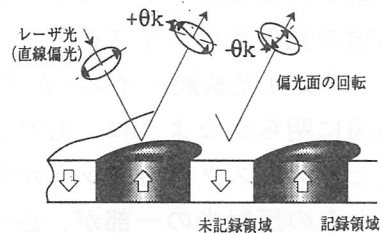


図11 光磁気再生の概念図

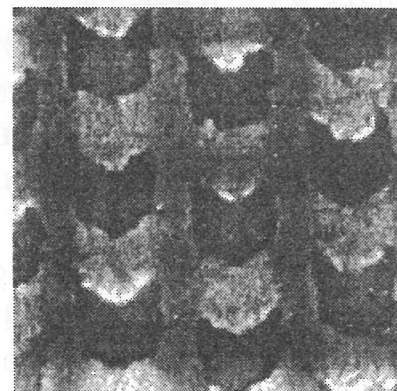
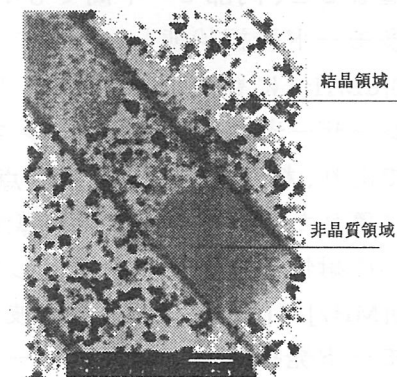


図12 Mini Diskの記録マーク
(磁界変調記録マーク)
偏光顕微鏡による観察像

相変化ディスクは、記録媒体の結晶状態を情報担体とし、光スポットによる加熱後の冷却速度で結晶状態と非晶質状態を区別して記録する(図13)。信号再生は、双方の状態の反射率差を利用するため簡便な光学系でピックアップを形成できるメリットがある。しかしながら、記録／消去過程で物質移動が避けられないため、媒体の信頼性が鍵となっている。



CD-Rは近赤外に感度を持つ有機色素などを記録媒体とし、熱吸収による媒体の形状変化(膨らみなど)を記録原理とする。このため、記録ピットを消去できない追記型媒体であるが、記録容量の大きさと低コスト、及び、CDシステムとのコンパチビリティが近年の需要を支えている。信号再生はCD同様、位相ピットからの戻り光量の差にを利用する。

いずれの媒体も、光スポット照射部分の温度上昇を利用する熱記録であり、現時点で、LD光源へは35~40[mW]程度の光出

図13 相変化記録の記録マーク

力が求められている。しかしながら、CD-ROM装置に見られる n 倍速再生機能のように、データ転送速度の高速化は時代の要請であり、記録ディスクも例外ではない。熱記録では、記録媒体の蓄熱特性により若干の緩和が期待できるものの、高いディスク回転数（線速度）では、回転数に比例した高光出力のLD光源が求められる事になる。

ノイズ

よりエラーの少ない信号検出には、高いS/Nでの光学検出が必要である。光ディスクシステムにおけるノイズ生成要因は、(i) 光量変動ノイズ、(ii) 媒体ノイズ、(iii) アンプノイズ、(iv) ショットノイズ、等に分類できる。(i)項は、光源の光量揺らぎや媒体の反射率等の変動に起因する物で、(ii)項はディスク媒体に由来し、一般にはディスク記録面の微細な凹凸によって生じるとされる。光磁気記録では基板複屈折等の偏波面への摂動が、相変化記録では結晶粒径の揺らぎなどが、支配的になる。(iii)、(iv)項は基本的に設計マターであり、ここでは議論しない。

(i)項の光量変動ノイズの内、LDと光学系に起因する物として「戻り光誘起ノイズ」がある。図9のピックアップ光路図に明らかなように、光ディスク光学系ではLDの射出点と光ディスク上のピットが共焦点の関係にあり、ディスクからの反射光の一部が、必ず、LDの光共振器内に戻る構成になっている。一方、LDは、出射端面（光共振器の出力ミラー）反射率が低く、また、温度や戻り光等によってレーザー利得分布や屈折率が変動し発振波長が動きやすい等、本質的に戻り光に敏感な構造をもっている。

戻り光ノイズはRIN(Relative Intensity Noise)で表され、デジタル光ディスクシステムでは $-130[\text{dB}/\text{Hz}]$ が必要条件とされている。

ノイズの発生機構は、LD自体の光共振器（内部共振器）と光ディスク反射面とLD後方端面がなす外部共振器が複合光共振器を形成し、本来単一の内部縦モードで発振すべきものが、時間的に変動する「戻り光の強度と位相」によって、不規則に外部モード間をホップするためとされる。さらに戻り光量が増えたり、LDチップ温度等の条件が重なると、内部モード間でもホッピングを繰り返す「複合多モード発振状態」に至り、ノイズレベルはRINで $-120[\text{dB}/\text{Hz}]$ にも達する（図14）³⁾。

レーザー光の時間コヒーレンスが「戻り光ノイズ」の原因であり、横モードが安定で非点隔差も少ないなど、基本的に優れた性能を持つ屈折率導波型単一モードLDに戻り光への耐性を持たせる方法として、(i) LDの電流駆動に $500[\text{MHz}] \sim 1[\text{GHz}]$ 程度の高周波を重畳し、強制的にマルチモード発振させて時間コヒーレンスを落とす、(ii) クラッド層へ可飽和吸収機能を付加して(Teドーピング等)

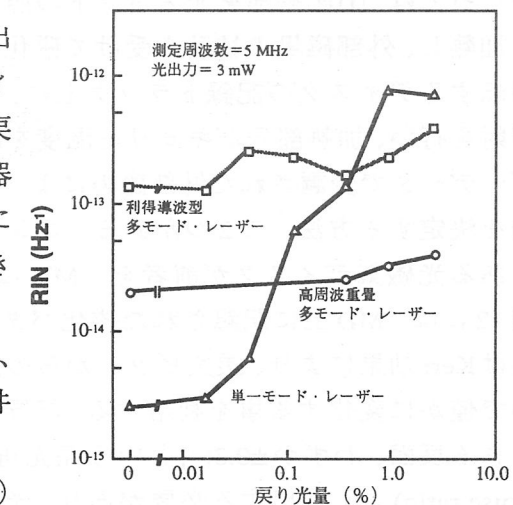
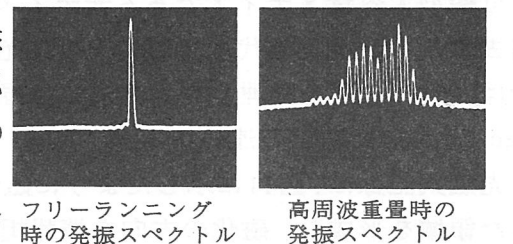


図14 RINの戻り光量依存性

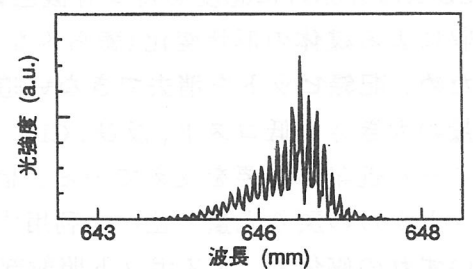
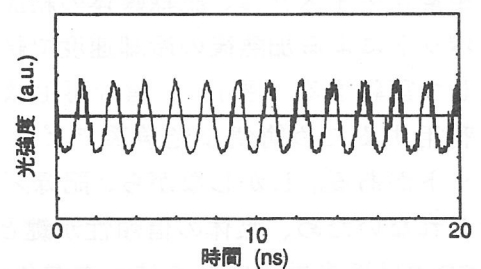


図15 自励発振LDの特性

特定の内部モードの選択性を上げる、等が行われている。図14に高周波重畳法によるRIN改善の様子を示した。

また近年になって、DC電流駆動でありながら外部変調をかけられたように数100[MHz]~数[GHz]で光出力が明滅する自励発振LDが開発されている。図15に光出力の時間変化と発振スペクトルを示した⁴⁾。このLDでは高周波重畳などの付加回路は不要であり、3~5[mW]の光出力時で20%の戻り光までRIN~-130[dB/Hz]を保っている。

(2) 光ディスク光源の必要条件

現行の光ディスクシステムはレーザー光の空間コヒーレンスを活用して、(i)波長程度の回折限界の光スポットを得、(ii)回折現象からサーボ誤差信号を検出しており、このシステム構成に変化がない限り、光源はレーザー光であれば要件を満たす事になる。ポストDVDを始めとした高密度・高速システムを目指した開発が継続されているが、ディスクシステムとして光源へ求める機能や考え方は変わらない。

直接変調など他のレーザー光源に対して優れた機能を持つLDを、光ディスク光源として利用するための要求事項を以下にまとめる。

空間コヒーレンスの観点では、(i)出射光強度の放射角分布の等方化、(ii)非点隔差の低減、があり、機能面では、(a)発振波長の短波長化、(b)戻り光誘起ノイズに対する耐性向上、(c)光出力の高出力化[記録ディスクシステムや高転送レート対策]、(d)低消費電力[高効率、低閾値]、(e)高信頼性[動作環境温度、長寿命]、(f)小型化、等が挙げられよう。LD開発のフロンティアでは、赤色、青色LDなど(a)項の短波長化が主要テーマとなっているが、実用の観点からは、(b)~(f)項の技術開発も不可欠である事をコメントしておく。

近年では、コスト低減の観点から、発光/受光素子の複合化が進んでおり、CD用途など需要の大きなデバイスでは、LD単体の利用は減少していく傾向にある。また、装置(ピックアップ)小型化の要求から、光源とディスク間の距離が狭まっており(現状で数cm程度)、記録ディスク等の高光出力を考えると、「戻り光ノイズ」もより厳しい方向に向かっている。

さらに、社会生活へのコンピューターの急速な普及で、家電と情報機器の融合が進んでおり、光ディスクシステムも従来以上の高い信頼性を求められている。光源も、70[°C]程度の環境温度での長期間のライフ保証など、より厳しい条件が科せられる事となろう。光ディスクシステムの普及に伴って、今後も、LDへの更なる機能向上が求められ続けるものと考えられる。

参考文献

- (1) "コンパクトディスク読本：第3版", 中島平太郎、小川博司著, オーム社出版局(1996)
- (2) 遠藤清, "ミニディスクにおける光技術", O plus E, No.163, 77(1993)
- (3) 茅根直樹 他, "高周波発振回路を付加し、戻り光による雑音を許容値以下に抑えた半導体レーザー", 日経エレクトロニクス, 173, (1983 October 10)
- (4) 小林健一, "DVD用赤色半導体レーザー", 光学, vol. 26, 16 (1997)

2. 4 伝達機器

2. 4. 1 ファクシミリ

ファクシミリは原稿を走査して電気信号に変換するという機能に関してはイメージスキャナーやデジタル複写機の画像走査と本質的な差異はない。

また受信した画像データをプリントするという機能においてはプリンターであることに変わりない。

現状ではプリンター部分は感熱、インクジェット、電子写真等の方式が用いられているが、感熱やインクジェットに関する解説は光源に着目した本報告書の主旨とは逸脱している。

従って、光源に関する話題はイメージスキャナーや複写機・光学式プリンターのそれぞれの節で開示されていることから、本節ではファクシミリの原理と市場動向について簡単に述べるに留める。

(1) 動作原理

下図1に従い簡単に動作原理を述べる。

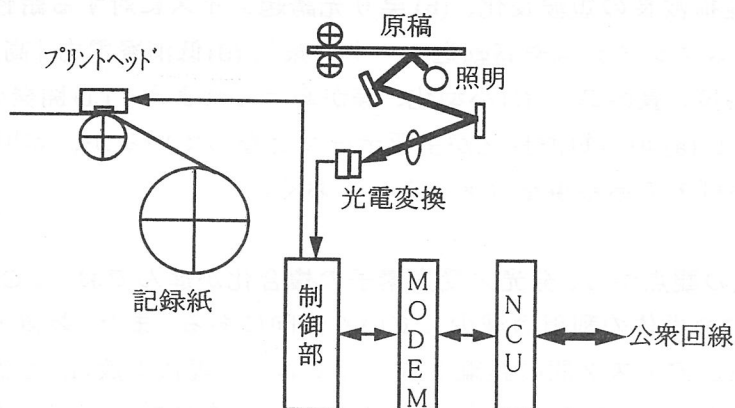


図1. ファクシミリの概略構成図

ファクシミリはメーカーに依存せず通信できることが前提であるために国際的な通信規格がCCITT(国際電信電話諮問委員会)により定められ、CCITT勧告と呼ばれている。ここでは現在の標準的ないわゆるG3規格に従ったファクシミリを例にとる。

① 照明で原稿を照射し光学系を介して光電変換素子に反射光を導く。照明は通常蛍光灯かキセノン管が用いられ、光電変換素子はCCDが用いられる。

上記のような構成であると光路長が長く機器の小型化に限度があるため一部の機種で原稿と等長で原稿の極近傍に配置できる密着センサーを用いることがある。この場合はLEDアレーを光源にすることが多い。

② 光電変換素子により画像を画素に分解する。主走査線密度は8画素/mm, 副走査線密度は3.85 lines/mm (CCITTスタンダード標準) 及び7.7 lines/mm (CCITTオプションライン) である。

③ 画素分解された画像信号をA/D変換して2値化する。

④ 得られた画像データを符号化する。

画素分解された信号をそのまま通信すると膨大な通信時間を要する。

そこで一般の原稿は白地に書かれた文字データであり、意味のある画像はごく限られた情報量であることを利用して情報量を圧縮する。白レベルの連続する画素数、黒レベルの連続する画素数をランレングスと呼び、主走査方向に交互に画素数をカウントする。G3では、その情報をもとにMH符号化、MR符号化により情報を圧縮する。

また逆に受信されたデータを復号することも行われる。

⑤ 電話回線で送受信できるようなアナログ信号に変換する。

G3では300Hzから3400Hzの帯域の一般アナログ電話回線を通じた通信を行うために、それに適合した変調(modulation)、復調(demodulation)を行う。これを総称してMODEMと呼ぶ。

G3の変調方式としてはPSK(Phase Shift Keying:位相偏移方式)が規格になっている。

⑥ 公衆回線を制御するNCU(網制御:Network Control Unit)を介して通信する。

この他に各社独自モードを設け、高速通信や高精細通信が可能にしている場合がある。

(2) 市場動向

図2に米国における市場動向と予測を示す。

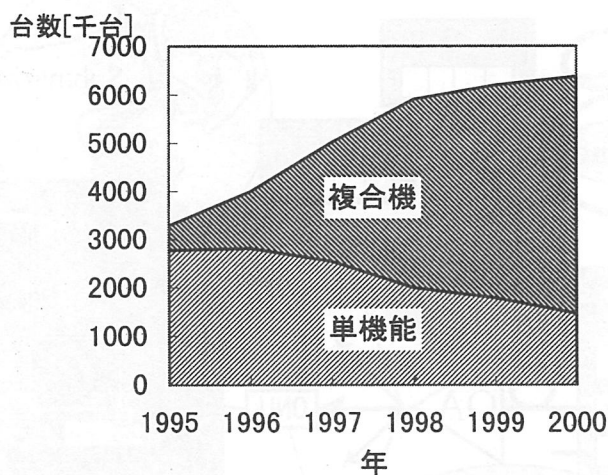


図2. 米国における市場動向⁽¹⁾

図2から市場規模は順調に拡大する傾向にあることが判る。

しかしながら単機能のファクシミリは縮小傾向にあり、ファックス機能を有する複合機が急速に浸透することが予測されている。

ここで注意すべきなのは、上図の複合機がファックス機能を有する機械を合算していることである。すなわち複写機、プリンター、ファクシミリといった商品の境界がなくなり、単純な商品別の市場予測が成立しなくなりつつある。それゆえ複写機やプリンターの市場予測と場合によっては矛盾することがあることを指摘しておく。

参考文献

- (1) CAP Ventures 11/19/96

2. 4. 2 光通信

マルチメディア社会の基盤として、情報通信網が急速に整備されつつある。通信網には、規模や目的（対象）により、無線・有線の各種システムがあり、それらが有機的に統合されてマルチメディアネットワークが形成される。無線では、衛星を使った通信・放送から、携帯端末そして Ir-Da まで、有線では、媒体により同軸ケーブル、ツイストペア、そして光ファイバを使ったシステムがあり、その特徴に合わせて実用化が進んでいる。特に最近、伝送容量の増大により、有線のシステムでは光ファイバ通信網が幅広く応用され、2010年頃には各家庭へ光ファイバを導入する動きがある。マルチメディア社会における光通信網の概略イメージと用いられる光源を図1に示した。通信網の形態や伝送容量等によって使われる光源及びその機能は異なってくる。

通信網には大容量の情報を伝送する基幹回線（幹線系：Trunk Line）、基幹回線の中継局と端末加入者やローカルネットワーク（LAN）の間を結ぶアクセス網（Access Line）、ビルやオフィス・事業所内のネットワークである LAN のように、階層的に通信網は構成されている。LANの最小形態ともいえる家庭内ネットワーク（Home Network）も検討されるようになってきた。また、コンピュータ間や内の配線にも光通信が検討されている。

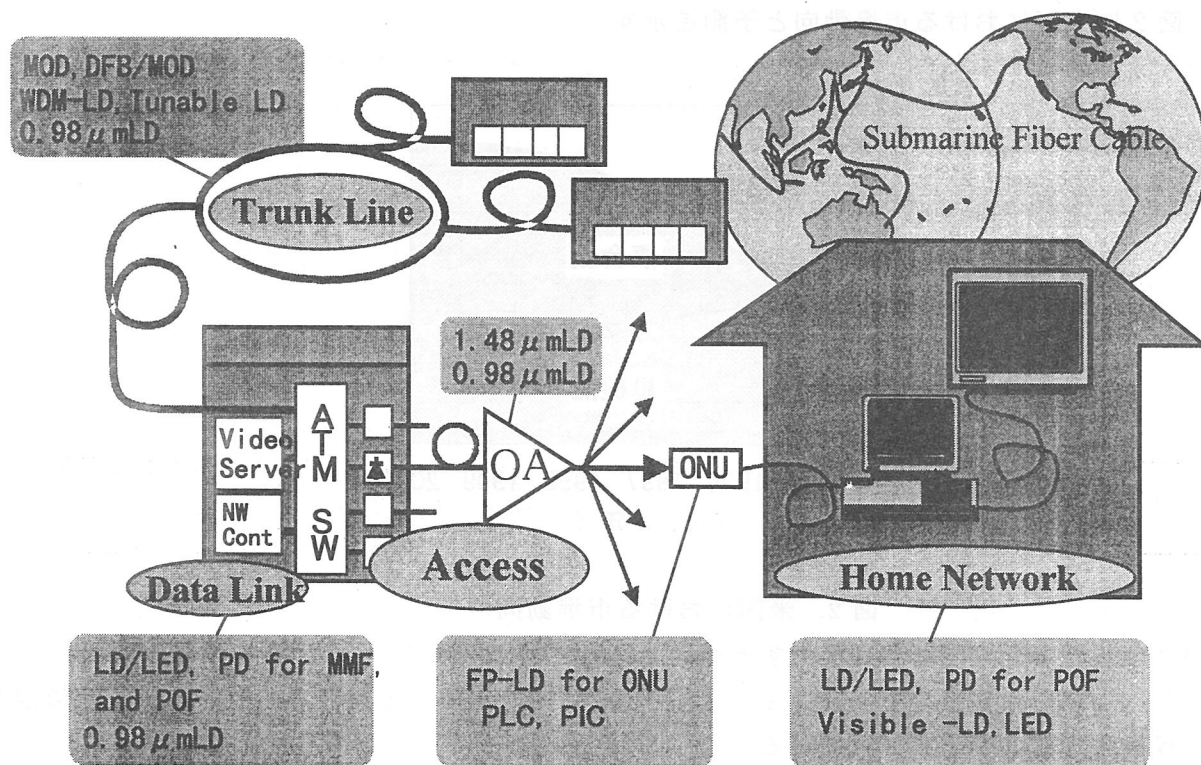


図1. 光通信網の概略イメージと用いられる光源

(略語説明)

LD：半導体レーザ、 DFB/MOD：分布帰還型半導体レーザと変調器集積素子
 LED：半導体発光素子、 MOD：変調器、 WDM-LD：波長多重伝送用半導体レーザ
 Tunable LD：波長可変（調整）半導体レーザ、 PD：光検出器、 OA：光増幅器
 MMF：マルチモードファイバ、 POF：プラスチックファイバ、 PIC：光集積素子
 PLC：プレーナ光導波路ハイブリッド集積素子 ONU：オプティカルネットワークユニット、

(1) 幹線系

光ファイバ通信網の幹線系の伝送容量は、1981年に32Mb/sのシステムが実用化されて以来、急速な勢いで増大してきた¹⁾。現在、10Gb/sのシステムが実用化に至っている。今までの開発・実用化の経緯を図2に示した。

媒体である光ファイバの分散と損失の低減、光源では直接変調速度の向上、変調時の発振波長幅の狭帯化により、1 Gb/sクラスの伝送速度をもつシステム

が実用化された。それ以上速度では直接変調での波長揺らぎが大きな課題で、半導体レーザは一定出力で動作させ、外部変調素子で変調をかける方式が用いられている。この方式に用いられる分布帰還型(DFB)レーザ、光変調器、DFBレーザと光変調器を集積した光源(DFB-MOD)等の高性能化が現在も引き継がれている課題である。媒体側では分散補償ファイバの導入が図られている。また、光ファイバアンプによる信号増幅技術がシステムの重要技術の一つとして位置づけられる。ファイバにドーピングしたEr元素を励起し誘導放出により信号光を増幅する方式であり、その励起光源として0.98 μmレーザでのより高出力で高信頼な動作が強く望まれている。

幹線系の伝送容量は、さらに増大していくものと考えられる。今までは、時間分割多重(TDM)方式でのデジタル技術により大容量化が図られてきた。これからの数10Gb/s以上のシステムにおいては波長分割多重(WDM)方式が積極的に取り入れられていくものと考えられる。そのWDM方式に対応した高性能光源の開発が光源の一つの大きな開発の流れになるものと考えられる。WDM方式では、高性能なDFBレーザ、波長調整が可能なDFBレーザ、レーザ変調器集積素子、多波長集積レーザ等が必要となる。研究開発レベルでは、132波の波長(光アンプ対応幅内)を用いた2.6Tb/sの伝送が実証されている²⁾。

(2) アクセス系

光ファイバを用いたアクセス系には、表1に示すようにいくつかの形態がある³⁾。最近よくFTTH(Fiber To The Home)という言葉が使われ、2010年頃には各家庭までFiberをつなぐことが検討されている。

アクセス系ではオプティカルネットワークユニット(ONU)を構成するのに適した光源が必要になる。さらに、

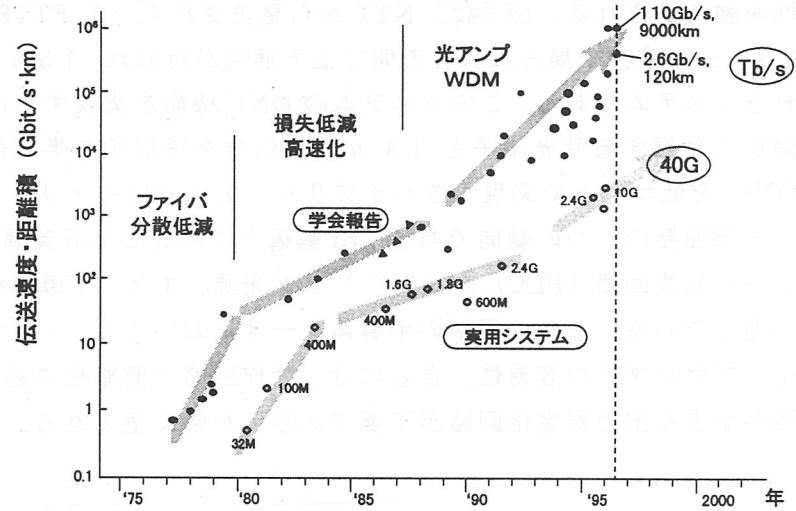


図2. 幹線系の伝送容量の推移

表1. 光ファイバを用いたアクセス系の種類³⁾

FTTC	
FTTH	
HFC	

加入者の数に匹敵する回線が必要で回線の低コスト化が大きな課題であり、光源にも低コスト性が強く望まれる。図3に、NTTから発表されているFTTHの1形態の概略構成を示す⁴⁾。1.3 μm の波長で局と加入者の間で上下通信が行われ、1.5 μm の波長で局から映像情報が送られるシステムである。このシステムのONU機能を実現するには、1.3 μm と1.5 μm の信号を個別に受信する受光素子と1.3 μm で信号を送信する半導体レーザーが必要である。これらのONUを低コストで実現するハイブリッドあるいはモノリシックな集積素子開発がアクセス系の光源開発の一つの動向である。Si基板上に形成した石英導波路により光素子を結合集積（プレーナ光波回路（PLC）の技術⁵⁾）した光源、また、半導体導波路を用いた集積素子⁶⁾の開発が進んでいる。また、個別の半導体レーザーにおいても、ハイブリッド集積部品としての低価格化、アセンブリの容易性、さらには、動作回路の簡略化に必要な高性能特性（例えば、温度特性が小さく出力安定化回路が不要である）が強く望まれる。

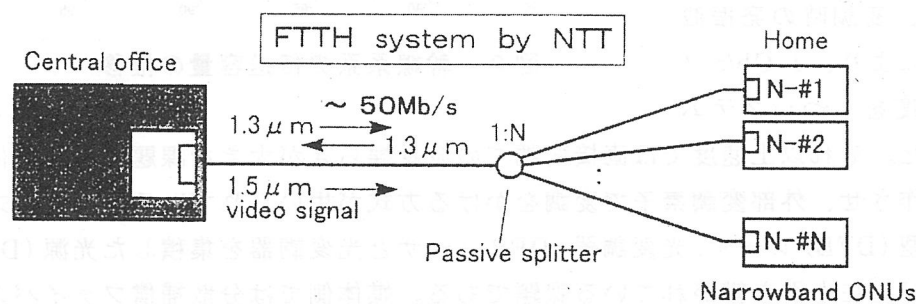


図3. FTTHシステムの形態

さらに、加入者と局とを結ぶ通信として、ケーブルTV (CATV) の配信網があり、このシステムにおいても光通信の導入が進んでいる。このシステムは、幹線系や上述のアクセス系でのデジタル方式とは異なり、アナログ方式の伝送網である。電気信号波形をそのまま電気-光 (E-O) 変換し、ファイバを伝送し、光-電気 (O-E) 変換するもので、変換素子の変復調歪みと雑音伝送に強く影響する。光源 (E-O 変換素子) として、モード競合雑音と変調歪みが小さい半導体レーザーが必要となる。

(3) LAN、ホームネットワーク

図4. に現在普及しているLANの伝送速度と距離を、図5に主要伝送媒体の適用領域を示す。伝送速度が100Mb/s以下で距離が100mと短い領域ではツイストペア線に対応でき、伝送速度が速くなると同軸線 (Coax.) を媒体とする。一方、光ファイバはこれら従来の媒体の伝送特性を大きく越える特性を持っている。近年のパーソナルコンピュータの普及と処理速度の高速化により大容量の情報を大量に扱うようになり、高速のLANへの要望が高まっている。そこではマルチモード光ファイバを用いた光通信の導入が急速進んでいくものと考えられる。光源としては最も基本的なファブリペローレーザーが主に使われ、その低コスト化が求められ、光源の開発動向としては、アクセス系の光源の動向に重なる。さらに、アレイ素子化、送受信モジュールの簡易アセンブリを考慮して面発光デバイスも光源として検討されていくものと考えられる。

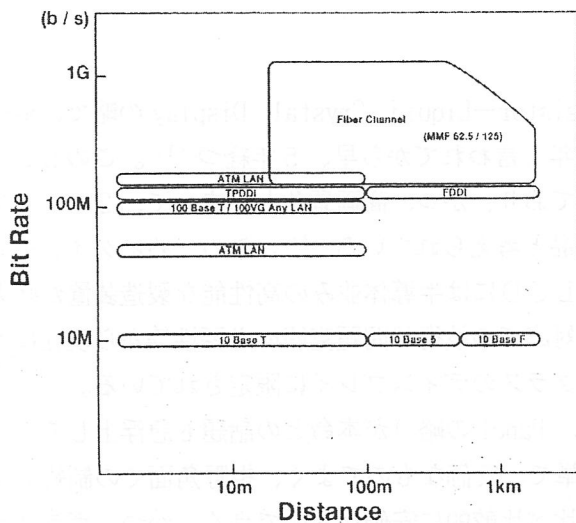


図4. LANの伝送速度と距離

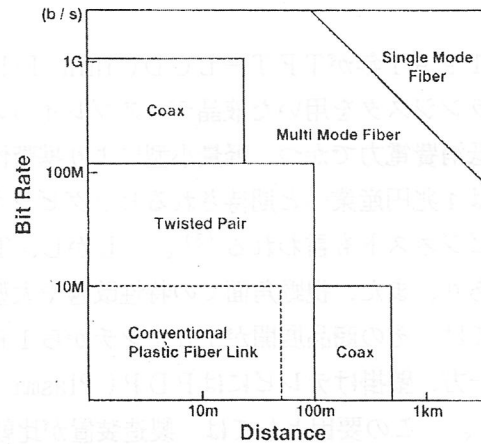


図5. 主要伝送媒体の適応領域

LANの領域では従来媒体を光ファイバに置き換えようとする動きもある。石英系マルチモード光ファイバは他の媒体と比較して高価であったが、近年安価なプラスチック光ファイバ(POF)の性能が向上し⁷⁾、その適用によりツイストペア線の領域や同軸線の領域で光通信がコスト的に競合できるようになりつつある。帯域では $1\text{Gb/s}\cdot\text{km}$ 以上の性能を有する。その高速性と電磁誘導や電磁放射に対する光通信のメリットから、POFを用いたデータリンク開発が精力的に進められている⁸⁾。光源にはPOFの低損失波長(570nmあるいは650nm)での信頼性が高い動作が求められる。さらにPOFは、その低価格性と高帯域性から、ホームネットワークへの適用が検討され始めている。

以上、光通信の動向を光源の観点から、簡単にまとめた。

参考文献

- 1) 三木：情報通信学会 論文B-1, Vol.77, No.5, (1994) p.251.
- 2) Y.Yano, et al., Proceeding of ECOC'96, ThB.3.1 (1996) p.5.3
- 3) 金田：光・マイクロ波半導体応用技術 第2部、第1章、第1節、サイエンスホーラム(株)、(1996) p.119.
- 4) 山下：光学、第24巻、第5号、(1995) p256.
- 5) 吉田：光学、第24巻、第5号、(1995) p270.
- 6) T.Takeuchi, et al., IEEE J. Photon. Technol. Lett., 8, No.3, (1996) p.361
- 7) Y.Koike, Proceeding of ECOC'92, (1992) p679.
- 8) 丹生他：電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会 (1995) p.358.

2.5 表示機器

1991年がTFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Displayの略で、薄膜トランジスタを用いた液晶ディスプレイ)の量産元年と言われてから早、5年経つ⁽¹⁾。このLCDは低消費電力でかつ、軽量小型により携帯性を誇っており、かつ、高画質化と相まって、2010年には4兆円産業へと期待されるビッグビジネスな商品と考えられている⁽²⁾。このためにダイヤモンドビジネスとも言われる⁽³⁾。しかし、TFT-LCDには半導体並みの高性能な製造装置が必要であり、また、視野角面での特性改善や大型画面化対応での技術的問題克服の必要性等から現在においてはその商品展開が10インチから16インチクラスのディスプレイに限定されている。

一方、壁掛けテレビにはPDP(Plasma Display Panelの略)が本命との話題も急浮上している⁽⁴⁾。この要因としては製造装置が比較的簡単で、安価なものでよく、視野角面での制約もなく、用いるガラス基板も液晶ディスプレイのそれに比べ比較的安価なもので良く、かつ、ガラス基板の厚さも厚いもので良いこと等からである。

このPDPは1964年に米イリノイ大学 Slottow 氏らによって発表されてから約30年後の脚光であり⁽⁵⁾、今後の技術改良とその商品化が平面型表示機器(Flat Panel Display略してFPD)の一方を決める重要なキーファクターと考えられる。

これ以外の表示機器としては液晶ディスプレイを用いたプロジェクタ(投写型表示機器)、また、画素動作状態を記憶するメモリー付きマイクロミラー搭載のCMOSシリコンチップによるプロジェクタ(Digital Micromirror Device略してDMD)⁽⁶⁾、発光ダイオード(Light Emitting Diode略してLED)や光ファイバーを用いた大型ディスプレイ等がある。前者のプロジェクタはオーディオビデオ用以外にプレゼンテーション用に商品化がなされ始め、パソコンなどの情報機器の出力装置としてビデオプロジェクターの名称で市場を急激に拡大しはじめている⁽⁷⁾。また、後者の大型ディスプレイは各種競技場や大規模イベント会場などの設備の一つとして実用に供され始めている⁽⁸⁾。

この節においてはこれらの表示機器(PDP、LCD、プロジェクタ、DMD、大型ディスプレイなど)について発光ダイオード(Light Emitting Diode略してLED)を除いて調査した研究結果を報告するものである。なお、各表示機器の比較を表に示すので参照されたい⁽⁹⁾。

表. 画面サイズ別各表示機器の特性比較

画面サイズ	～10型	～20型	～40型	～80型	～160型	コメント
アプリケーション	PC端末用	EWS端末用	テレビ用	室内用 (除暗室用)	屋外用	
LCD	○	△	×	×	×	～40型は、背面PJで対応できる可能性大
PDP	×	△	△	×	△	直視型では、60型程度まで
EL	×	△	×	×	×	～20型が有望市場
LED	×	×	×	×	△	～160型では、多くのLEDを並べて使用する
VFD	×	×	×	×	×	
FED	×	△	×	×	×	
CRT	○	○	×	×	△	～40型では、大型化、重量に難点がある

注) ○：すでに達成された技術。△：現在技術開発を進めている技術が含まれており、金と時間を掛ければ達成できる。×：ブレークスルーが要求され、他のディスプレイとの特性比較をするのは尚早である。
出所)「プラズマディスプレイ最新技術」御子柴茂夫著、1996年5月、EDリサーチ社刊

参考文献

- (01) 鈴木紘一、“91年はカラーTF T量産「元年」価格削減は標準化が必須”、フラットパネル・ディスプレイ '92、日経BP社、pp 78~79
- (02) 鈴木八十二、“TAB実装の概要”、月刊ディスプレイ、'96年8月号、pp 19~
- (03) 川西 剛、“水平、垂直的パートナーシップを推進”、フラットパネル・ディスプレイ '93、日経BP社、pp 98~
- (04) 96年2月5日付、電波新聞、“壁掛けテレビの本命「PDPテレビ」”、電波時評
- (05) 奥村博己、小原睦生、“プラズマ・ディスプレイ、原理、構造、素材、製法、装置”、フラットパネル・ディスプレイ '90、日経BP社、pp 200~
- (06) J. B. Sampsel, “All Overview of the Digital Micromirror Device (DMD) and Its Application to Projection Displays”, SID 93, May 18~20, 1993, pp1012~1015 & 新地 修、林田正尚、“デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD)”、1996年電子情報通信学会総合大会、エレクトロニクス 2、pp 375~337、1996年3月28日~31日、
- (07) 96年8月15日付、電波新聞、“ビデオプロジェクション、国内出荷大幅に伸長、今年40%増 (前年比) ベース、12万台需要を見込む”、
- (08) 岡田 茂、“大画面ディスプレイ”、照明学会誌、ディスプレイ特集、第78巻、第12号、平成6年、pp 662~、
- (09) 石井久夫、“LCDとカラーPDPの市場動向と今後の展望”、電子技術、1996年7月号、日刊工業新聞社、pp 8~12、

2.5.1 プラズマ・ディスプレイパネル

(1) 特徴と用途

プラズマ・ディスプレイパネル（PDP）は、放電による発光を利用したディスプレイ・デバイスである。各種の平面型ディスプレイの中でも最もブラウン管の面質に近く、かつ40型以上の大型パネルが実現可能であることから最近、特に注目を集めている。

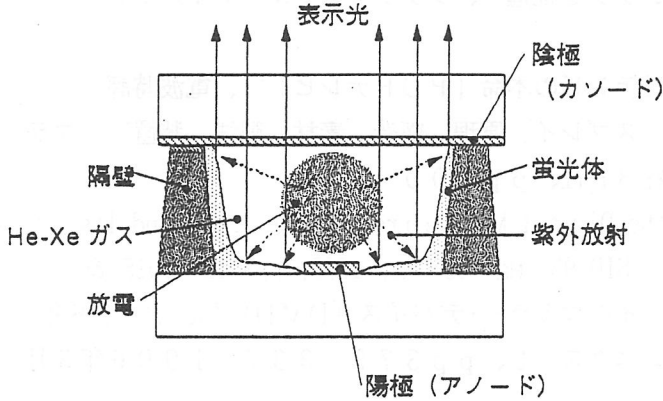


図1 カラーPDPの発光原理

PDPの発光原理は蛍光ランプと同じく、放電からの紫外放射で蛍光体を励起発光させるものである。2枚のガラス板の間に小さな蛍光ランプを敷き詰めた構造をしている。図1に模式的な断面構造と発光原理を示す。放電セルの間隔は0.2~0.6mm程度、電極間の距離は約0.2mmである。放電ガスとしては、キセノンとヘリウム、またはネオンのペニングガスを用いる。バッシェン曲線で放電電圧が最低値を示すのは、pd積が数万 $\text{cm} \cdot \text{Pa}$ の範囲であり、ガスは数十 kPa

の圧力で封入される。放電は冷陰極グローで、主に負グローからの紫外放射を利用する。

蛍光体は通常、蛍光ランプ用と類似のものが用いられる。キセノンの共鳴放射は147nmであり、水銀の254nmに比べて蛍光体の励起効率が悪く、陽光柱の利用や水銀の封入も検討されたが、前者は電極間の距離が長くなり微細化しにくいこと、また後者は大型のパネルで水銀蒸気圧を上げる方策が見当たらないことなどから実現していない。

カラーPDPは蛍光体スクリーンを採用できたことで、ブラウン管に匹敵する色再現性と視野角を特徴とする。また、放電の応答性の早いことを利用してパルス変調によって色階調の表現が極めて正確に行える。このことから、いわゆる壁掛けテレビを実現するものとして近年、非常に期待されているデバイスである。

その一方で、発光効率の改善が今後の課題である。放電の発光効率、蛍光体の励起効率の他にも、セル構造の制約から光の取り出し効率にも限界がある。表1に蛍光ランプと比較した効

	PDP	蛍光ランプ	PDP効率の根拠
駆動回路			
回路損失			
入力電力			
放電電力			
放電			
熱、不要放射			
紫外線			
蛍光体塗布面積			
隔壁等への吸収			
有効紫外線			
蛍光体			
内部ロス			
可視光			
構造			
隔壁等への吸収			
表示光			
回路効率	70%	90%	実測
放電効率	2%	65%	シミュレーションによる推定値
紫外線利用率	60%	98%	設計値
蛍光体効率	15%	65%	設計値
可視光利用率	60%	70%	設計値
総合効率 (%)	0.08	15%	

表1 カラーPDP、蛍光ランプの効率分析

率の分析を示す。光源として見れば、蛍光ランプの2桁以下の効率是非常に低い。しかし、PDPでは液晶用のバックライトなどと異なり、発光効率はそのまま表示として利用できるため、現状でも最低限、実用的な値に達していると言える。ただし、現状の40型のパネルでは400W近い消費電力となり、家庭用として普及させるためにはさらに2倍以上の効率向上が必要とされる。

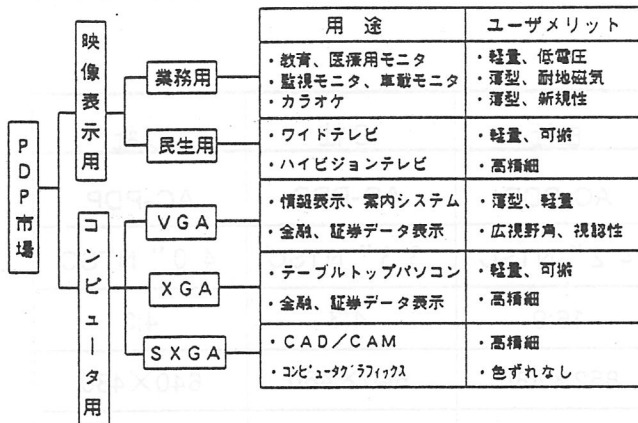


図2 カラーPDPの応用範囲

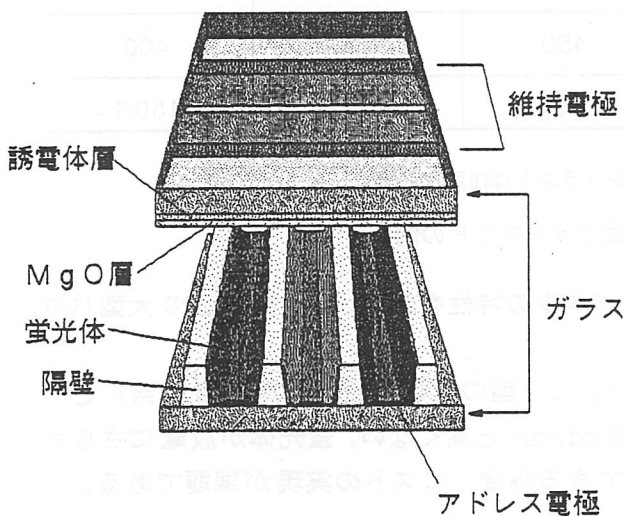


図3 AC方式の構造

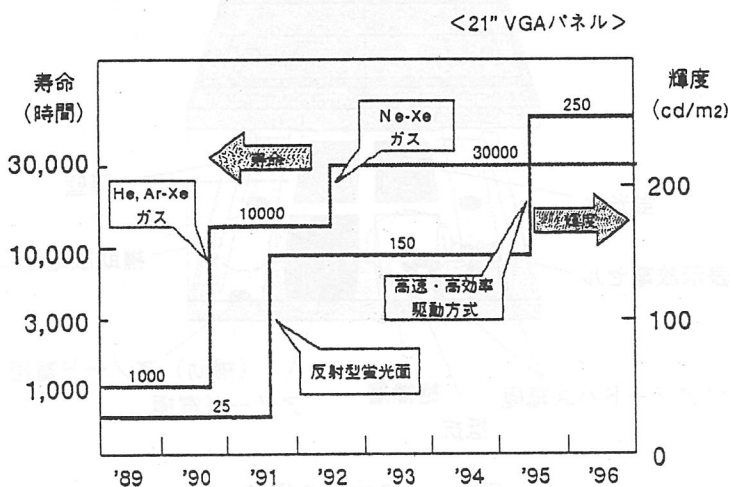


図4 AC方式の進歩

図2にPDPの応用範囲を示す。昨今のPDP開発は、テレビ用の大型パネルの量産技術を確認しようとする動きが目立っている。将来はハイビジョン用壁掛けテレビへの展開が期待されている。

(2) パネル開発の動向

(a) AC方式パネル

最初に実用化されたフルカラーPDPは、面放電形AC方式と呼ばれるものである。その構造を図3に示す。表示側のガラス板には誘電体層に覆われた一対の維持電極が設置されている。誘電体層の表面にはMgO(酸化マグネシウム)膜が形成され、誘電体層を保護している。MgOは電子放出係数が高く、放電電圧を低くする働きもある。背面側のガラス板には書き込み電極、隔壁、蛍光体がストライプ状に形成されている。

面放電形は構造がシンプルで、作り易いことが特徴である。従来の構造では蛍光面が表示側のガラス窓に形成されていたので、蛍光体膜自身の光吸収があった。面放電形では蛍光体の発光面を上側から見る反射型構造のため、従来より高い輝度が得られる。さらに蛍光体が維持放電に直接さらされないため、蛍光体の劣化が起りにくい。

AC方式ではMgO膜がイオン衝撃を受け、電子を放出することで放電を維持する。MgOは耐スパッタ性に優れた材料であるが、PDPのような高繰り返し放電のもとではスパッタによる損傷を受ける。当初、可視発光の少ないキセノン-ヘリウム混合ガスが用いられたが、キセノン-ネオンとす

ることで、実用的な寿命が達成された。放電中、主に電離しているのはキセノンであるが、母体ガスとしてヘリウムより重いネオンを用いることで、キセノンイオンのエネルギーを緩和できるためである。図4にAC方式の輝度・寿命の改善の経過を示す。

MgO膜の形成方法もAC方式の課題の1つである。現在は電子ビーム蒸着が主流となっているが、より簡便な方法も模索されている。スパッタ法、厚膜印刷法などが検討中されているが、成膜速度や膜質に課題を残している。

	A社	B社	C社	D社
方式	AC-PDP	AC-PDP	AC-PDP	AC-PDP
画面サイズ	42" NTSC	42" NTSC	33" NTSC	40" NTSC
アスペクト比	16:9	16:9	4:3	4:3
画素数	852×480	852×480	640×480	640×480
画素サイズ(H×V)	1.08x0.36	1.08x0.36	1.05x0.35	1.29x0.43
色数	1,670万色	1,670万色	26万色	1,670万色
輝度 cd/m ²	300	450	330	400
コントラスト	70:1	200:1	120:1	150:1

注) 輝度はフィルタを含まず。コントラストは暗所での値。

表2 最近のAC方式カラーPDPの例

表2に発表されている面放電形AC方式のパネルの特性を示す。40型以上の大型パネルが標準となってきていることがわかる。

欧米では対向形AC方式も開発されている²⁾。19型のXGA(1024×768画素)という高精細のパネルも試作されているが、輝度は50 cd/m²と高くない。蛍光体が放電にさらされる欠点もある。今後、この領域では液晶に対抗できる輝度、コストの実現が課題である。

(b) DC方式パネル

DC方式では放電空間中に金属電極が露出しており、直流的に放電する。しかし、実際の放電はパルス状に順次、画素に画像データを書き込んでいく方式で、駆動波形はAC方式と比べて大きな差異はない。また、発光の原理もAC方式と全く同じといってよく、それぞれの特徴によって使い分けられている。

図5にパルスメモリーDC方式のセル構造を示す³⁾。この方式では空間に残留する荷電粒子、準安定

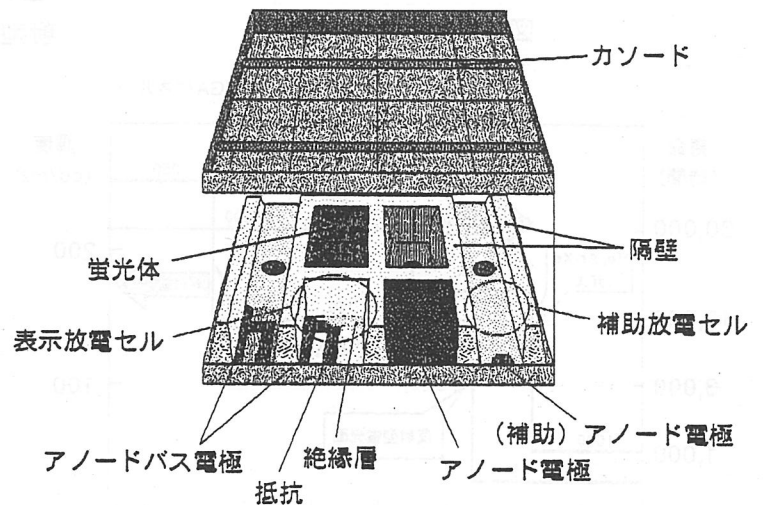


図5 DC方式の構造

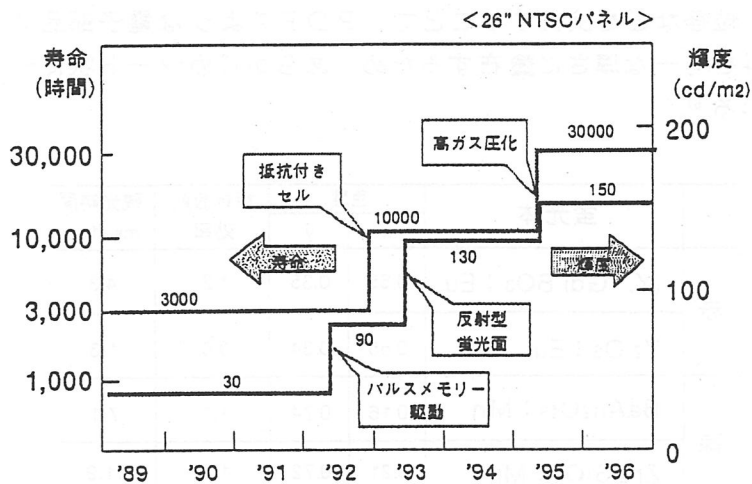


図6 DC方式の進歩

粒子を利用して、放電を一定期間維持して輝度を向上させている。NHK放送技術研究所において開発され、96年には26型パネルが商品化された。DC方式では放電セルの浮遊容量が小さく、高速で変調できる。ハイビジョンのような大容量の動画を表示させることもでき、本格的なハイビジョン時代に不可欠な方式として開発が続けられている。

DC型の課題は放電によって電極物質がスパッタされ、輝度劣化寿命が短いとされていたことである。

一般にスパッタによる輝度半減寿命 L とガス圧 P 、放電電流 I との間には次の関係がある⁴⁾。

$$L \propto P^{4-5} \cdot I^{-2-3} \quad (1)$$

このことから、各セル毎に電流制限抵抗を設けて放電電流を従来の $1/3$ にすると共に、封入ガス圧を約 300 Pa から 500 Pa に高めることで、従来の千時間程度から3万時間以上に輝度半減寿命を改善できた。

カソード材料としてはアルミ、ニッケルなどがあるが、カラーPDPではアルミが用いられている。式(1)はアルミカソード、キセノン-ヘリウム混合ガスについてのものである。より耐スパッタ性が高い材料として $La_xSr_{1-x}CoO_3$ 、 $La_xSr_{1-x}MnO_3$ などとも検討されている⁵⁾。

なお、DC方式ではヘリウムを母体ガスとして上記のように実用上、十分な寿命が得られているので、ネオンガスの利用は考慮されていない。このため、色再現性はAC方式より優れており、テレビ表示には最適と考えられる。しかし、各セルに抵抗を設けるなど、構造が複雑になっており、付加価値の高いハイビジョン用に開発ターゲットが絞られている。図6に最近のDC方式の特性改善の歩みを示す。

(3) PDP用材料

(a) 隔壁材料とその工法

隔壁の形成はスクリーン印刷が主流であったが、量産パネルにはサンドブラスト法などより生産性の高い工法が採用される傾向にある。スクリーン印刷は設備コストが安く、また各種のペースト材料が供給されており、隔壁のほか電極、蛍光体の形成にも広く使われている。隔壁については、スクリーン印刷を何度も繰り返す必要があること、大型パネルではスクリーンの変形によって精度が低下することなどから、露光法によるパターンの形成が試みられている。幅 $80 \sim 100 \mu m$ 、高さ $150 \mu m$ とアスペクト比が高い隔壁を、一度のパターン露光によって形成することが検討されているが、実用化には至っていない。それに代ってサンドブラスト法によって大型パネルの隔壁を作る方式が製造工程で既に採用されている。サンドブラスト法は、隔壁材料の上にパターンを露光・現像したレジストフィルムを密着させ、研磨粉を吹き付けることによって、材料をエッチングする工法である。従来、鋳物のバリ取りやガラスの装飾などに

使われていた手法だが、研磨粉の種類・粒径などを検討することで、PDPのような電子部品にも用いられるようになった。隔壁材料を均一な厚さに塗布するため、あらかじめシート状に形成したガラスペーストも開発されている⁶⁾。

(b) 蛍光体

PDPの放電ではキセノン原子の共鳴放射 147 nm が最も強く、173 nm 近辺のキセノン分子線も放射されている。PDP用蛍光体の研究開発は、このような励起波長に対して効率を最大にすること、画像表示用として要求される色度、残光特性を実現することを目指してきた。

表3にPDP用として採用されている主な蛍光体を示す⁷⁾。赤色蛍光体は(Y,Gd)BO₃:Euが比較的高い発光効率を示すが、発光色はハイビジョンレベルの画像表示には不十分

でY₂O₃:Euなども用いられている。緑色蛍光体は残光時間が長いことが課題であった。Zn₂SiO₄:MnではMn量を増加させ、輝度を損なうことなく残光時間4msが実現されている。青色蛍光体のBaMgAl₁₄O₂₃:Euは、寿命中あるいは焼成工程中の色度変化や輝度劣化が課題であったが、最近では組成をBaMgAl₁₀O₁₇:Euに変更してこれらの課題はほぼ解決された。

蛍光体はペースト状にして、スクリーン印刷などの技法で放電セル内に塗布、形成する。最近のカラーPDPでは隔壁の内側にも蛍光体を塗布し、発光面の面積を増やしている。壁面への塗布も基本的にはスクリーン印刷の応用である。ペーストの粘度を調整して壁面へ蛍光体を流し込むような手法が開発されている。

(c) 基板ガラス

ガラス基板は20型クラスまでのPDPにおいてはソーダライムガラスが用いられていた。40型以上の大型パネルでは、何度かの焼成工程における変形を緩和するため、より歪点の高いガラスが採用される傾向にある。PDPの製造では最大600℃の熱焼成工程を経るが、PDP用ガラスでは歪点を600℃前後にまで上げている。一方、ソーダライムガラス用に開発されたペースト材料をそのまま利用できるように、膨張係数をソーダライムのそれに近づけた。PDP用ガラスはガラスメーカー数社が開発を終えているが、連続生産は始まっておらず、今後の需要とコストの兼ね合いが一つの課題といえる。

(4) 駆動回路

(a) DC方式の駆動

DC方式では表示セルとは独立した補助セルに種火放電を走らせることで、放電の確実な立ち上がりを確認している。パルス変調で画像の階調(濃淡)を表現するPDPでは、応答速度が画質に大きく影響する。DC方式は本質的に放電セルの容量が小さく、補助放電を採用したこととも合わせてハイビジョンレベルの高精細、大画面パネルでも十分な階調表現が可能となった。

階調表現はサブフィールド法と呼ばれる手法で各色256階調、1670万色の表示が実現

	蛍光体	色度		相対放射効率	残光時間 ms (1/e)
		x	y		
赤	(Y, Gd) BO ₃ :Eu	0.65	0.35	1.2	4.3
	Y ₂ O ₃ :Eu	0.65	0.34	0.67	1.3
緑	BaAl ₁₂ O ₁₉ :Mn	0.16	0.74	1.1	7.1
	Zn ₂ SiO ₄ :Mn	0.21	0.72	1.0	11.9
青	BaMgAl ₁₄ O ₂₃ :Eu	0.14	0.09	1.6	—

村上由紀夫：電気学会誌、116(8)p511 (1996)

表3 PDP用蛍光体

されている。サブフィールド法では、テレビ画像の1フィールド(1/60秒)をさらに8つのサブフィールドに分割し、2倍ずつ輝度の重みが異なる8枚の画像を順次表示する。図7にそのタイムチャートを示す。サブフィールド法は、放電電流に対して輝度の線形性に乏しいカラーPDPにおいて、パルス変調を取り入れることで正確な階調表現を実現したものである。

(b) AC方式の駆動

AC方式では電極を覆う誘電体の表面に蓄積された壁電荷によって、印加された電圧以上の内部電圧が放電セルに加わる。したがって、補助放電セルなしでも比較的低電圧で放電が開始する。しかし、放電セルなしパネルが大きな容量を持つので、高速パルスに対する応答性はDC方式に劣る。

実用化されているACパネルでは、書き込み期間と放電維持期間を分離したサブフィールド法を採用して、実質的に8サブフィールド、256階調を可能としている。図8にそのタイムチャートを示す。まず全画面に書き込みパルスによって壁電荷を蓄積し、その後画面全体を一括して持続放電させる。図7に示した方法では、書き込み/維持/消去のパルスを各ラインに位相をずらして与えていたため、応答速度の遅いAC方式では階調制御に必要な時間が足らなくなった。図8の方法により、AC方式においてもテレビ表示に十分な階調性が確保できた。

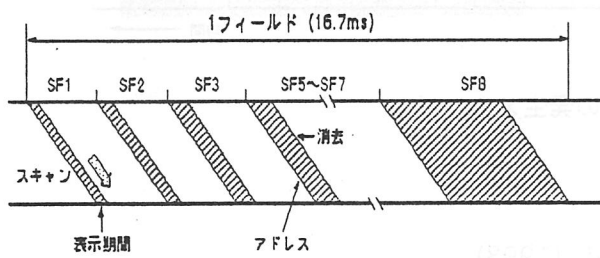


図7 サブフィールド法 (DC方式)

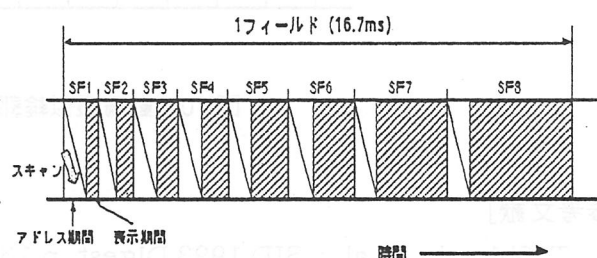


図8 サブフィールド法 (AC方式)

(c) 階調制御の課題

PDPに動画を表示すると、擬似輪郭と呼ばれる等高線状のノイズが中間調の部分に現われることが知られていた。その原因はデジタル信号処理に起因するものと言われていたが、最近ではそのメカニズムが解明され、サブフィールド法に本質的な現象であることが明らかになっている。サブフィールド法では明るさの異なる画像が時間的に前後して提示される。このため、画像(正確には観測者の視線)が動いた場合、階調性が崩れる。図9に簡単な事例を示す。たとえば127階調と128階調の部分隣り合っているような時、その間を視線が動くときある瞬間、254階調の輝度が発生する。これによって等高線状の輝線ノイズが生じる。

動画における擬似輪郭の解消のためには、サブフィールド法の改良が必要である。輝度の高いピットを2つ以上のサブフィールドに分割する、各ピットの順序を並びかえる、あるいはその組み合わせなど、各種の手法が検討されている。

最近、ハイビジョン用DC方式パネルにおいて、サブフィールドの発光期間を短くして動画における擬似輪郭を許容レベルにまで改善できることが報告されている⁹⁾。これは図7で消去から次のアドレスまでの期間が均等に分布していることを利用し、この期間を圧縮したもので、D

C方式の駆動法の特長を活かしている。AC方式でも種々の検討がなされているが、ハイビジョンの走査線数、画質に適用できるまでには至っていない。

発光効率の向上と動画の擬似輪郭の解消が今後のPDPに課せられた課題である。

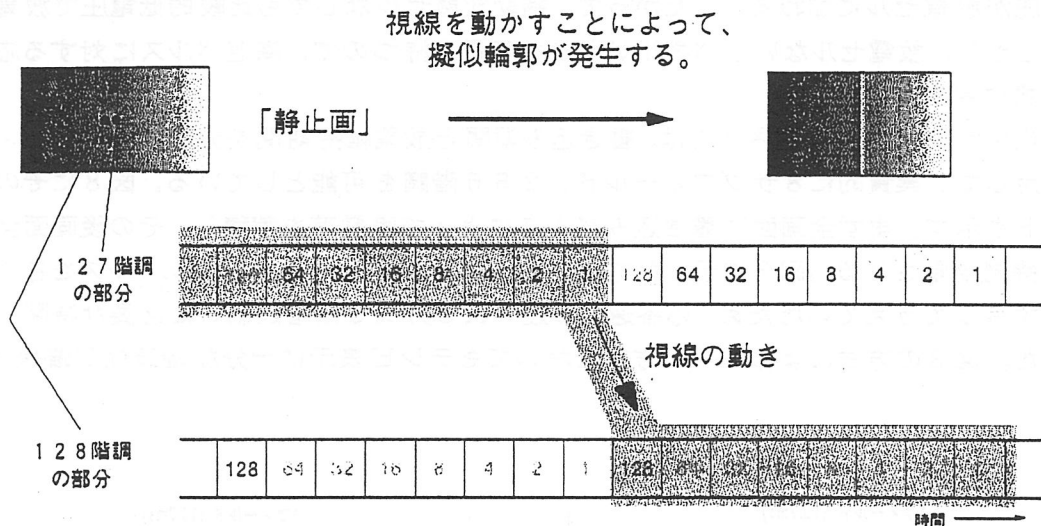


図10 動画擬似輪郭の発生メカニズム

【参考文献】

- (1) T. Shinoda, et al. : SID 1993 Digest, p.164 (1993) .
- (2) J. Deschamps and H. Doyeux : Proc. 3rd Int.Display Workshops (IDW'96) 2, p.275 (1996) .
- (3) M. Seki, et al. : IEEE Trans. Broad., 42 (3) p.208 (1996) .
- (4) T. Sakai, et al. : Proc. EuroDisplay'93, p.289 (1993) .
- (5) 渡辺ほか : 照学研資, MD-92-19 (1992) .
- (6) J.J.Felten et al. : Proc. 2rd Int.Display Workshops (IDW'95) , p.47 (1995) .
- (7) 村上由紀夫 : 電気学会誌, 116 (8) p.511 (1996) .
- (8) T. Kurita, et al. : Proc. 3rd Int.Display Workshops (IDW'96) 2, p.287 (1996) .

2.5.2 液晶ディスプレイ

液晶ディスプレイには表示諸方式によって図1に示すように直視型と投写型（プロジェクション）とがある。この項においては前者の直視型について研究調査を行ない、後者の投写型については後の項において報告する。

なお、液晶ディスプレイの構造上による分類を図2に示すが⁽¹⁾、現在、主流になっているのはアモルファスシリコン（a-Si）を用いた薄膜トランジスタ（TFT）によるTFT-LCD（このLCDを一般にアクティブマトリクス方式LCDと呼ぶ）とネマティック液晶を用いた単純マトリクスによるSTN-LCD（このLCDを一般にパッシブマトリクス方式LCDと呼ぶ）である。したがって、この報告書においてはこの2種類の液晶ディスプレイを中心に述べる。

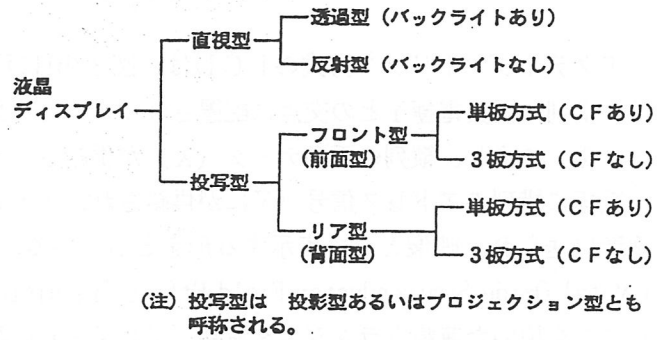
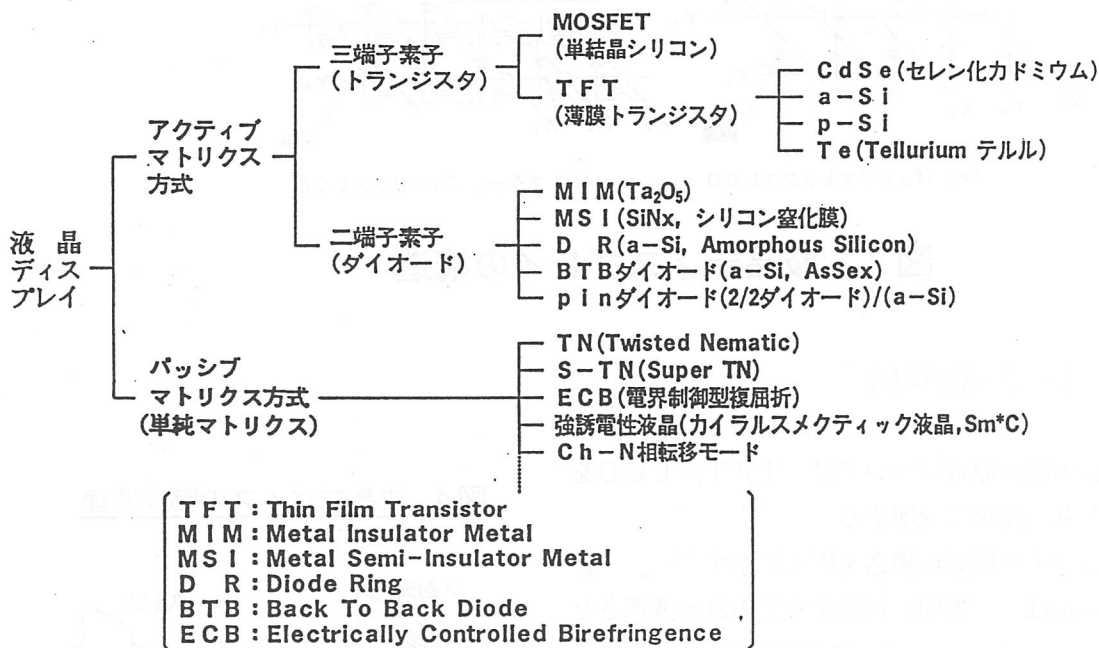


図1. 液晶ディスプレイの表示諸方式による分類

図2. 構造上からくる液晶ディスプレイの分類



(1) 液晶ディスプレイの構造

(a) パッシブマトリクス方式液晶ディスプレイ

パッシブマトリクス方式のLCDは受動素子のみの液晶ディスプレイであり、図3(a)に示すように縦列の画素電極Xと横列の画素電極Yのみから成り、その電極Xと電極Yとの交点には平行板コンデンサが入り、そのコンデンサと並列に液晶の画素が入る構造になっている。

(b) アクティブマトリクス方式液晶ディスプレイ

アクティブマトリクス方式のLCDは 図3 (b)に示すように能動素子が前述した縦列の画素電極Xと横列の画素電極Yとの交点に配置されている。 具体的には その能動素子のドレイン電極にデータ線 つまり、縦列の画素データ (X) が供給され、ソース電極にLCDの画素が接続され、ゲート電極に横列のアドレス信号 (Y) が供給され、アドレス信号にしたがいデータが能動素子を介して画素に送られ、映像として表示する形をとっている。 ここで、能動素子は 古くはMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) が使用されたが、現在は アモルファスシリコンを用いた薄膜トランジスタ液晶 (TFT-LCD) が用いられている。 また、ダイオードを用いるものもある。

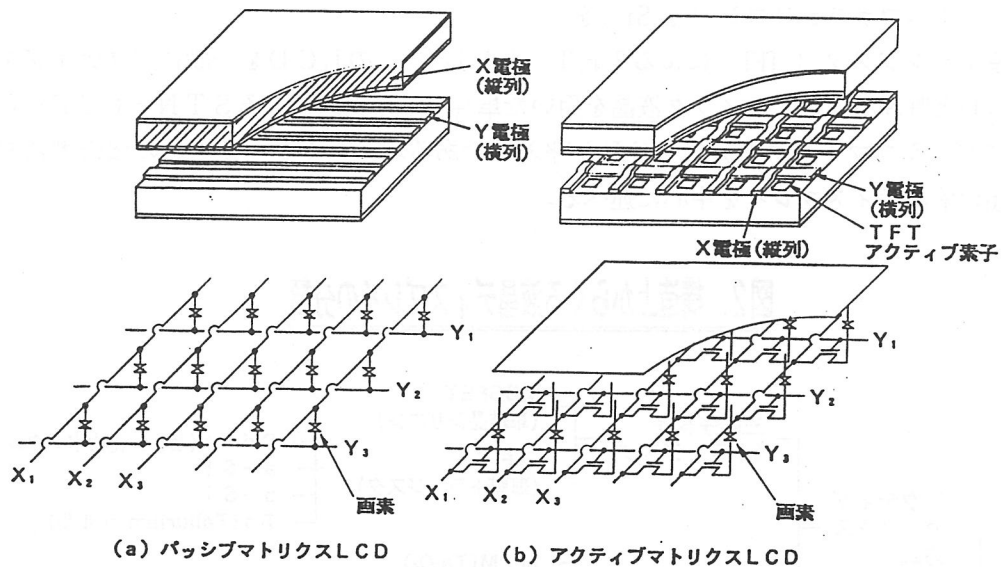


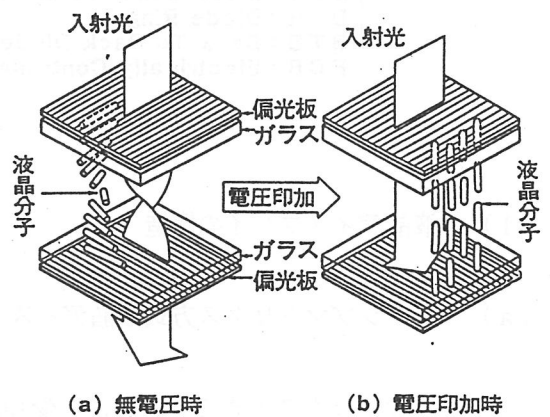
図3. 液晶ディスプレイの構造

(2) LCDの動作原理

LCDの動作原理については TFT-LCDを一例にとり、簡単に説明する。

LCDパネル部分の構造を図4に示す⁽¹⁾。 LCDパネルは 一方向に振動する光のみを通過させる性質をもつフィルム(これを偏光板と呼ぶ)を液晶分子の封入されている2枚のガラス板の上下に軸方向が直角になるような形で貼り付けた構造になっている。いま、液晶にかかる電圧が0Vとすると、液晶パネルに封入された液晶分子は 上側のガラス板にきざまれた溝(これを配向溝と呼ぶ)に沿って配列する。また、下側のガラス板にきざまれた溝にも配列する。したがって、液晶パネルの上下のガラス板中にある液晶分子は 図4 (a)のように90° 曲げられながら封入された形態をとる。 このような状態において バックライトから放たれた光が上側か

図4. 液晶デバイスの動作原理



ら照射されると、上側の偏光板によって一方向に振動する光のみを図4 (a)のように通過し、次に液晶パネルの中にある液晶分子の注入配列に従い屈折されて下側の偏光板にあたる。ここで、下側の偏光板の軸方向は90°屈折しているため液晶パネル中の液晶配列に曲げられた一方向に振動する光は通過していく。この通過光を白と定義する。次に液晶にプラスの電圧が印加されたとすると、液晶パネルに封入された液晶分子は上側のガラス板にきざまれた溝や下側のガラス板にきざまれた溝に無関係に図4 (b)のように電界に沿って立ち上がり、同じ方向に配列する。このような状態において光が上側から照射されると、上側の偏光板によって一方向に振動する光のみを図4 (b)のように通過し、次に液晶パネルの中にある液晶分子の一方向配列にしたがい真っ直ぐのまま下側の偏光板にあたる。ここで、下側の偏光板の軸方向は90°屈折しているため一方向に振動する光は通過できない。この遮断された光を黒と定義する。

以上のように液晶パネル中の液晶分子の配列が電圧の有無によって、その配列を変えるため上下偏光板の軸方向が90°あると、一方向に振動する光は通過するか否か電圧によって決定され、その通過有無を白と黒に対応させ、液晶の表示を行なうのである。勿論白と黒との中間色は印加電圧を中間電位に設定して得ている。

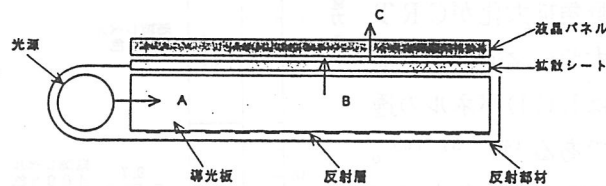
以上のような動作を行う液晶をノーマリホワイト型液晶ディスプレイと呼ぶ。これに対して上下偏光板の軸方向を同一にし、電圧印加時に照射光を通過させ、その光を白とし、電圧無印加時に照射光を遮断させ、その光を黒とするタイプをノーマリブラック型液晶ディスプレイと呼んでいる。カラー化はこれに赤緑青色(RGB色)のフィルムつまり、カラーフィルターを介すことによって得ている。

(3) LCDの透過率

液晶ディスプレイはその動作原理からわかるように光源となるバックライトから放たれた光が偏光板や液晶パネル(液晶分子)等を通して光の明暗で認識できるデバイスである。このために光量の減衰が至るところで発生する。

光の通過する率をパネルの透過率と呼ぶが、その透過状態は9.5吋カラーTFT-LCD、9.5吋カラーSTN-LCD、9.5吋モノクロSTN-LCDを例にとり見てみると表1になる⁽²⁾。

表1. 9.5吋LCD透過率比較
(透過率と光源となるサイドライトの構造)



LCD品種別	集光部 A	導光部 B	液晶部 C	パネル透過率 η
9.5" TFT (8411)	28500 cd/cm ² (5 mA × 2, 5.1 W)	1820 cd/cm ²	70 cd/cm ²	3.8 %
* 9.5" CST (8051)	20000 cd/cm ² (5 mA × 2, 4.5 W)	2060 cd/cm ²	62 cd/cm ²	3.0 %
9.5" EST (5155)	26000 cd/cm ² (4.6 mA, 2 W)	480 cd/cm ²	70 cd/cm ²	14.5 %

* : プリズムシート使用

このパネルの透過率 η は 次式で与えられる⁽³⁾。

$$\eta = \eta_T \times \eta_P \times \eta_{CF} \times \eta_{ITO} \times \eta_{LC}$$

- ここで η_T ; T F T画素の開口率 (約50%)
 η_P ; 偏光板の透過率 (約35%)
 η_{CF} ; カラーフィルター (CF) の透過率 (約30%)
 η_{ITO} ; 透明導電膜 (ITO) 電極の透過率 (約95%)
 η_{LC} ; 液晶材の透過率 (約100%)

よって $\eta = 0.0499$

となり、約5%の透過率となる。パネルの表面輝度を70 nitあれば良しとすると、バックライトの出力輝度は約1400 nit 必要になる。このパネルの表面輝度を200 nit にしたいとすると、パネルの透過率が5%のままであればバックライトの出力輝度は約4000 nit 必要になる。

一方、各部品材料の透過率を表2に示すように向上したいとすると、パネルの透過率は約10%となる。ここでパネルの表面輝度を200 nit 得たいとすると、その時のバックライトの出力輝度は約2000 nit 程度あれば良いことになる。つまり、パネルの表面輝度はパネル透過率の向上化とバックライトの出力輝度の向上化との相互関係になる。このようにバックライトは液晶パネルにとってその表面輝度を規する重要な部品材料なのである。このバックライトに関しては次の項において詳細に述べる。

表2. 10.4吋VGA用TFT-LCDの明るさの改善

項目	現状値	目標値
T F T画素の開口率 η_T	50%	75% (80%)
偏光板の透過率 η_P	35%	42%
カラーフィルタの透過率 η_{CF}	30%	35% (38%)
I T Oの透過率 η_{ITO}	95%	95%
液晶材料の透過率 η_{LC}	100%	100%
液晶表示パネルの透過率 η	5%	10% (12%)

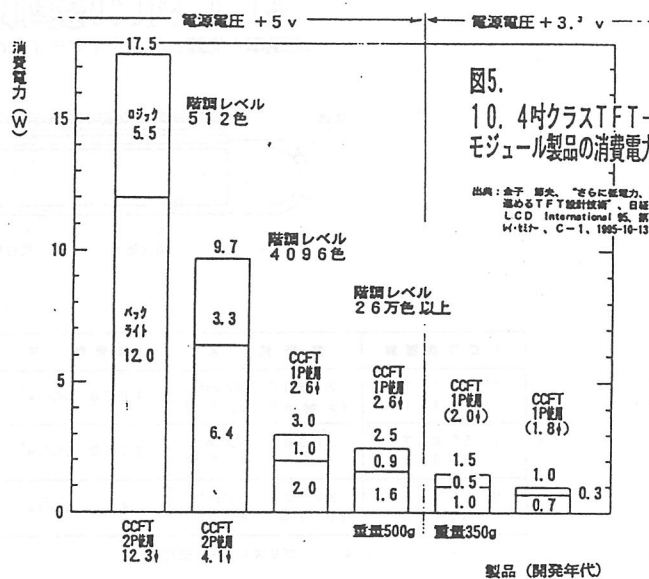
あるいは

バックライトの出力輝度	1400 cd/m ² (4000 cd/m ²)	2000 cd/m ²
液晶表示パネルの表面輝度	70 nit (200 nit)	200 nit (240 nit)

(4) LCD技術動向と製品動向

LCDの技術動向はLCDパネルの表面輝度アップと視野角拡大化がCRTに比べて不可欠な2大テーマである。前者の輝度アップ化にはLCDパネルの透過率の向上化が必要である⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。一方、バックライト輝度の向上化も不可欠な項目であり、さらに用いる光学的部品材料(例えばカラーフィルターや偏光板等)の性能向上も必要な事項となる。

後者の視野角拡大化には補正フィルム貼り付け⁽⁷⁾や液晶材料そのものの改良(例えばIPS方式の液晶技術導入化など⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾)やUV照射による液晶



分子配向の補正⁽¹¹⁾ (12) (13) (14)あるいは マスクラビング方式による液晶分子配向の補正⁽¹⁵⁾ (16)などの技術改良によって視野角を向上化することが考えられている。LCDデバイスは、低消費電力かつ、小型軽量の表示体としての存在価値が高いため輝度アップの他に消費電力の低減化をはじめとして、軽量化、小型化（これには画面の狭額縁化も含む）が要求されている。代表的製品にてその性能推移をみてみると図5に示すようになっており⁽¹⁷⁾、究極の技術変遷をたどっていることがわかる。中でも低消費電力化、軽量化そしてパネル厚を薄くする技術として光源であるバックライトの技術に大きく依存していることを附記しておく。

(5) LCDの市場動向とバックライト市場

LCDの市場は、当初2000年に4兆円といわれていたが、LCDパネルの価格低下やその主要製品であるパソコン市場の変化等により、図6に示すように2010年に4兆円になるものと推定され始めている⁽¹⁸⁾。その内訳としては図7に示すように約25%がパソコン市場であるが⁽¹⁹⁾、大きな市場としてはモニターが約40%占める。また、約25%が壁掛けテレビである。このようなデータを見てみると、輝度アップ化、低消費電力化、小型軽量化はもとより広視野角化も必要であることがわかる。

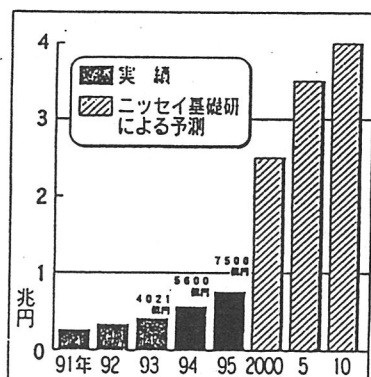


図6. LCDの市場規模

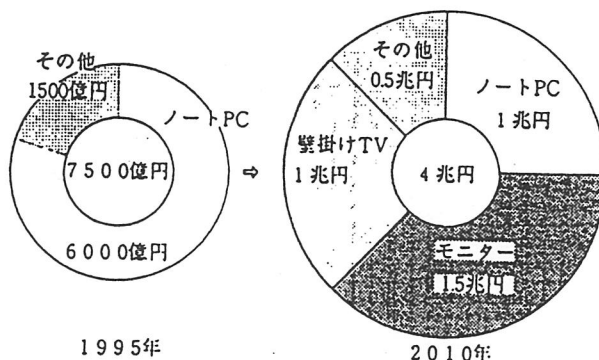


図7. LCDの生産金額の市場予測の内訳

この市場においてバックライトの市場をみてみると、図8に示すように95年度の見込みで数量1440万台、金額263.5億円となっており⁽²⁰⁾、バックライト1台当たり約1830円である。95年度のLCDデバイスの総売り上げ高が約7500億円であるからLCDデバイス総売り上げ高に対して約3.5%がバックライトの売り上げ高になる。実際はLCDデバイス総売上高(約7500億円/95年)の約半分が材料費(約3750億円/95年)であるから総材料費売上高に対して約7%がバックライトの売り上げ高となり、図9に示すような材料費構成と一致する⁽²¹⁾。バックライト(BL)は

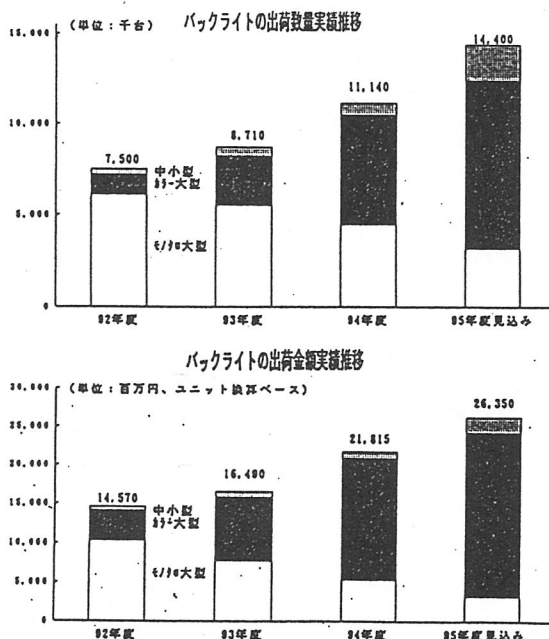


図8. バックライトの市場予測

LCDデバイスにとって輝度、消費電力、重量、パネル厚等を決定する重要な部品であり、その売上高も図10に示すようにガラス基板(GLASS)、カラーフィルタ(CF)、ドライバーIC(DRIVER)などの部品材料と同様に約4倍の伸び率をもっており⁽²¹⁾、将来、有望な市場を持っているのである。

図10. 部品材料の市場予測

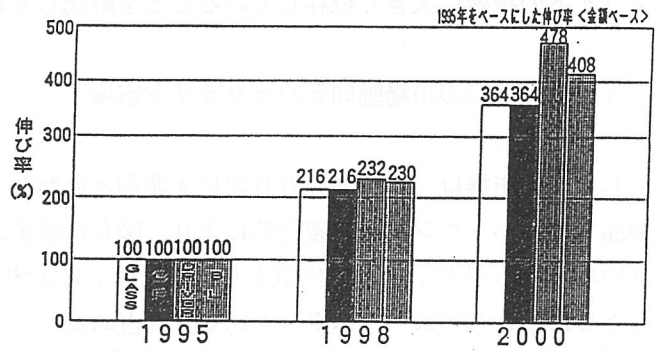


図9. 直接材料費の構成 (1994年度)

カラー フィルター	液晶 ドライバー	ガラス基板	バックライト	その他
40%	33%	8%	7%	12%

(6) 液晶に用いるバックライト

液晶ディスプレイ(LCD)はCRTやPDPなどと異なり自ら発光しないため、その画像表示にはバックライト(背面照明)を必要とする。LCDが社会に普及しつつある中、その要求性能(大画面、高精細、高輝度、低消費電力、薄型・軽量、フルカラーなど)に合わせ、バックライトに要求される性能もより厳しくなり、この要求を実現する努力が継続されている。

(a) バックライトに要求される性能⁽²²⁾

カラーLCD用バックライトに要求される性能には、①輝度(3,500~7,000cd/m²)、②輝度均斉度(85%以上)、③色再現性(三波長域発光)、④色温度(6,000~10,000K)、⑤寿命(10,000時間以上)、⑥調光性(連続調光)、⑦温度均一性(3~4°C以内)、⑧低温始動性(-10°C、車載用-30°C)、⑨消費電力(10インチ・5W以下)、⑩薄型(5mm以下)などがある。

(b) バックライトの光学系方式⁽²²⁾

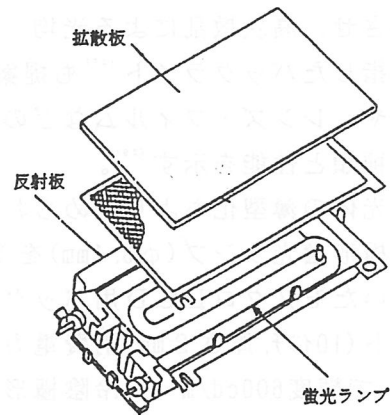
バックライトには図11と表3に示すように、(1)反射板(直下)方式、(2)導光体(エッジライト)方式、(3)平板(面状光源)方式、(4)外光方式などの光学系の種類と特徴がある。薄型、軽量、低消費電力などへの要求から、最近では導光体方式が主流になってきたが、車載用ナビゲーションやワークステーション用LCDなどの普及により、反射板(直下)方式も再び採用されつつある。

① 反射板(直下)方式

反射板(直下)方式は、光源(蛍光ランプが主流)の下部に配置した反射板により、光源からの照射光を面状化してLCDを照明する方式で、高輝度化への対応として、蛍光ランプの複数併置や、W字型やU字型に屈曲させた蛍光ランプと反射板との組み合わせにより、バックライトを構成^{(23)~(25)}している。反射板方式は複数の光源が見かけ上併置され、かつ、光源とLCDとが近接しており、他方式に比べて輝度均一化が問題となる。

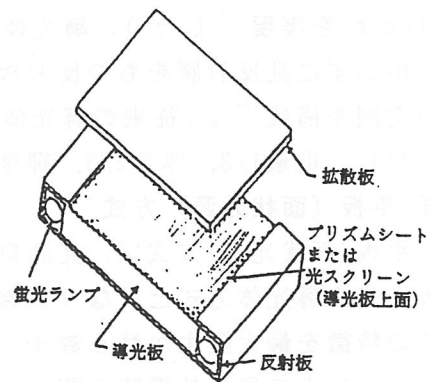
表3 バックライト方式の種類と特徴⁽²²⁾

種類	特徴(○長所, ×課題)	使用光源
反射板(直下)	○ 高輝度, 低コスト × 輝度均一化・薄型化	冷陰極形蛍光ランプ [°] 熱陰極形蛍光ランプ [°] など
導光体(エッジライト)	○ 薄型, 輝度均斉度 × 高輝度化	冷陰極形蛍光ランプ [°] 熱陰極形蛍光ランプ [°] LEDなど
平板(面状光源)	○ 高輝度, 薄型, 構造簡単 × 大型化	平板形蛍光ランプ [°] EL FEDなど
外光	○ 構造簡単 × 高輝度化	自然光 一般照明光 など



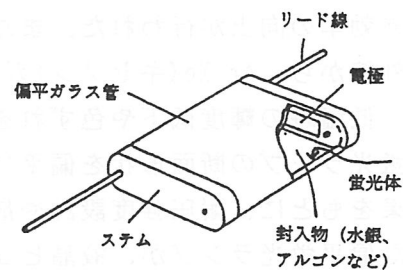
(1) 反射板(直下)方式の例

[W字型蛍光ランプ[°]を使用]



(2) 導光体(エッジライト)方式の例

[両端に蛍光ランプ[°]を使用]



(3) 平板(面状光源)方式の例

[平板蛍光ランプ[°]を使用]

図11 バックライト方式の種類⁽²²⁾

このため、反射板形状や反射率の最適化、光拡散部材や光均一部材(ドット、ストライプパターン形成)との併用、蛍光ランプの円周方向の配光に指向性を持たせる⁽²³⁾などの輝度均一化が行われている。また、高輝度対応といえども導光体方式なみの薄型化が要求されるため、蛍光ランプの細管化に対応している。

② 導光体(エッジライト)方式

導光体(エッジライト)方式は、光源の側面に配置した導光体により、光源からの照射光を面状化してLCDを照明する方式で、導光体の光均一化や光拡散化改善の取り組みとして、導光体に設けた光均一部材を、従来のドット印刷パターンに代わり、円錐状の穴(コーン加工)や基盤の目状の切込み(ネルフ加工)⁽²⁴⁾、凹凸状のエンボス模様⁽²⁵⁾などを形成し、導光体内部の光反射を均一化したり、導光体内部にマイクロオーダーの不均一構造を有した光散乱ポリマーを溶解させ、高次散乱による光均一化効果を利用して、従来の導光体に対して約50%の輝度向上を目指したバックライト⁽²⁶⁾も提案された。このような改善により、将来的にはプリズム・シートや、レンズ・フィルムなどの光制御部材を不要にすることができる。表4に代表的な導光体の種類と性能を示す⁽²⁷⁾。

導光体の薄型化もより進められ、冷陰極形蛍光ランプ(φ3.1mm)を1本用いたモノクロLCD用バックライト(10インチ, 厚さ2mm, 消費電力1.8W)で輝度600cd/m²を、冷陰極形蛍光ランプを2本用いたカラーLCD用バックライト(10.4インチ, 厚さ3.7mm, 消費電力7W)で輝度3,000cd/m²を実現⁽³⁰⁾したり、導光体を用いずに乱反射層をもつ反射板で空洞を構成⁽³¹⁾し、従来の導光体に対し、重量1/3, 厚さ2/3, 輝度20~40%向上, 消費電力10~20%低下を実現した。

表4 導光体の種類と性能⁽²⁹⁾

構造	フラット型 (平板型)	クサビ型	空気層導光板 (仮称)
ユニット重量(g)	110~130	70~75	40以下
ユニットの厚み(mm)	4.5	4.5~1.5	4~3
輝度(cd/m ²)	1,500~2,500	1,800~2,500	2,500~3,000
冷陰極管(mmφ) (外径/内径)	3~	2.6/2.0	2.6/2.0
消費電力(W) [STN] [TFT]	3以下 2.5以下	3以下 2.5以下	2.8以下 2.5以下

③ 平板(面状光源)方式

平板(面状光源)方式は、光源自体を平板化した光源により、LCDを照明する方式で、反射板方式や導光体方式と異なり、導光体や光制御部材(反射, 光拡散, 光均一部材など)が不要で、その特徴を最大限生かせる数インチ程度の小形LCDの分野で多用されている。

6~12本の屈曲放電路の間に、くさび状反射部材を配置した平板ランプ(10インチ, 輝度9,780cd/m²)⁽³²⁾、複数の対向電極を高周波点灯させた平板ランプ(5インチ, 輝度3,260cd/m²)⁽³³⁾、航空機計器用平板ランプ(3インチ, 輝度10,300cd/m²)⁽³⁴⁾など、種々の平板蛍光ランプの高輝度化や、発光効率の向上が行われた。また、蛍光体の励起発光をAr(アルゴン)-Hg(水銀)ガス中のHgの紫外線から、Ar-Xe(キセノン)ガス(陰極のスパッタ防止のためにHgも封入)のXeの紫外線に変更し、低温時の輝度低下や色ずれを抑制した平板蛍光ランプ(0.7インチ)が開発⁽³⁵⁾された。

蛍光ランプの断面形状を扁平にし、この扁平構造の三次元構造解析を有限要素法で解析した結果をもとに、耐圧強度設計や最適な蛍光膜厚設計を行い、その扁平率(短径/長径)を0.23とした扁平蛍光ランプが、液晶ビューファインダ(0.7インチ)用に開発⁽³⁶⁾されている。

また、図12に示すように、透光性厚膜誘電体ガラス板に一对の厚膜銀ペースト電極を配置し、パルス電圧印加と周波数変調で点灯させ、輝度2,600cd/m², 輝度均斉度93%以上, 調光範囲2~100%を実現した平板ランプ(5.6インチ)⁽³⁷⁾、Xe誘電体バリア放電を利用して、低温時の始

動性を向上させた平板ランプ⁽³⁸⁾、カソードルミネセンスで発光する平板ランプなども開発され、4電極構造(背面電極,カソード電極,2つのグリッド電極)で、グリッド電極に加えるパルス電圧幅を制御することにより、0~100%の調光が可能で、緑色発光で輝度70,000cd/m²(3.7インチ,消費電力35W)を達成⁽³⁹⁾した。なお、平板方式にELも使用されているが、詳細は3.7ELの章を参照願いたい。

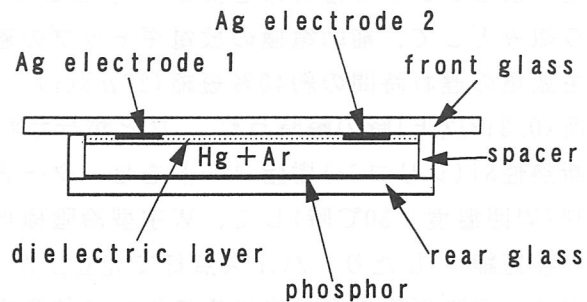


図12 外部電極を用いた平板ランプ⁽³⁷⁾

(c) バックライトの構成要素

① 光源および点灯回路

この章では光源および点灯回路の最近の技術動向を概説し、詳細についてはそれぞれ別章(3.2水銀蛍光ランプ, 3.3希ガス蛍光ランプ, 4.2蛍光ランプの点灯回路)を参照願いたい。

バックライトには輝度,発光効率,光色の選択範囲,色再現性などの条件を満たす光源として、主に冷陰極形や熱陰極形蛍光ランプが用いられている。LCDの種類や用途により、薄型・低消費電力・長寿命が重視されるバックライトには冷陰極形蛍光ランプが、高輝度が重視されるバックライトには熱陰極形蛍光ランプや、複数灯の冷陰極形蛍光ランプが用いられ、両蛍光ランプとも発光効率の向上や寿命,始動性の改善⁽⁴⁰⁾などが行われている。

これらの蛍光ランプを点灯制御する点灯回路として、従来の巻線トランスに代えて圧電トランスを用いて薄型・軽量化を図る⁽⁴¹⁾など、新しい試みもされている。また、平板形蛍光ランプの放電安定性を改善するために、点灯回路に周囲温度や電源電圧変動などを検知する機能を持たせ、インバータの出力電圧をPWM(パルス幅変調)制御して輝度補正し、安定条件を維持する回路方式⁽⁴²⁾が提案された。

①-1 冷陰極形蛍光ランプ

冷陰極形蛍光ランプを用いたバックライトの最大の課題は、熱陰極形蛍光ランプ並みの発光効率の確保である。冷陰極形蛍光ランプのランプ管径,封入ガスの種類とガス圧を最適化し、管面輝度を向上⁽⁴³⁾させたり、蛍光ランプの細管化(φ2.6mm)と薄肉化(0.3mm)で管壁温度を上昇させ、管径φ5.0mm,肉厚0.8mmのランプに対し、約1.94倍の発光効率(ランプ電流2.3mA,ランプ電力0.4W,管面輝度17,700cd/m²:ビューファインダ用)を実現⁽⁴⁴⁾した。また、ランプ長150mmの管径をφ4.6mmからφ2.0mmに縮小し、管面輝度で3倍、発光効率で1.32倍に、またランプ長25mmの管肉厚を0.5mmから0.3mmに薄くすることで、発光効率を約9%向上⁽⁴⁵⁾させた。

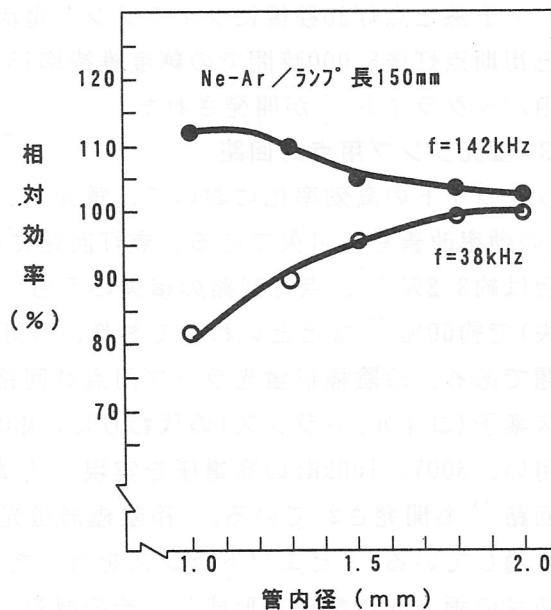


図13 管径と発光効率の関係⁽⁴⁶⁾

管径はφ2mm前後が発光効率の点で有効であるが、点灯周波数を40kHzから140kHz前後に高めると、図13に示すように、最適管径がφ1mm前後に下がり効率も10数%向上する⁽⁴⁶⁾。ただし、周波数を高めると不安定点灯領域も広がる⁽⁴⁷⁾ため、点灯周波数の選定には注意を要する。

長寿命化への取り組みとして、Ti(チタン)とHgを合金化して必要Hg量を正確に充填し、Hg不

足によるランプの短寿命を抑制⁽⁴⁴⁾することも行なわれている。また、暗所始動性改善への取り組みとして、補助電極の放電ギャップの適正化と補助放電回路インピーダンスの選定により、主放電の遅れ時間の約40%短縮(27 μ sec)⁽⁴⁵⁾や、Cs₂O(酸化セシウム)含浸の焼結電極による暗所(0.3lx以上)時の瞬時点灯⁽⁴⁴⁾などが行われている。低温始動性改善への取り組みとして、高断熱性Si(シリコン)樹脂コートヒーター表面に施し、反射ケースの温度上昇を20度以内に抑制(周囲温度-30℃時)して、W字型冷陰極形蛍光ランプ(Ar-Hgガス封入)の光立上がり時間を約10秒短縮⁽⁴⁶⁾したり、パルス点灯で光立上りを改善⁽⁴⁷⁾した。別の試みとして、冷陰極形の長寿命と熱陰極形の高発光効率の両方の特徴を狙った冷陰極形蛍光ランプ(セミホット管)も開発された⁽⁴⁸⁾。

図14のように、焼結電極を囲むカップ電極(同心円状の金属や焼結体)で、発光効率が約15%向上し、寿命15,000時間(管電流10mA)を確保⁽⁴²⁾した。

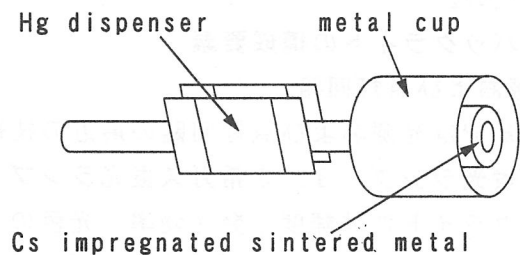


図14 複合電極の構造⁽⁴²⁾

①-2 熱陰極形蛍光ランプ

熱陰極形蛍光ランプを用いたバックライトの課題に、冷陰極形蛍光ランプ並みの寿命の確保(5,000~10,000時間)がある。

熱陰極形蛍光ランプの寿命はエミッタの消耗量に依存するが、バックライトの薄型化に対応させるため、ランプ管径の細管化とイル寸法の縮小により、エミッタ量が減少し寿命が短くなる。現状での管径 ϕ 8mm以下のランプ寿命は1,000~3,000時間⁽⁴³⁾であり、冷陰極形蛍光ランプの寿命に近づけるため、長寿命化が図られている。

このような要求に対し、導光体と熱陰極形蛍光ランプ(ϕ 15.5mm)を組み合わせ、3秒のフィラメント予熱と点灯30秒後にフィラメント電流をカットする回路方式で、25万回以上のON-OFF寿命と初期点灯後5,000時間での輝度維持率75%(最終寿命10,000時間、輝度3,000cd/m²)のパソコン用バックライト⁽⁴⁴⁾が開発された。

①-3 蛍光ランプ用点灯回路

バックライトの高効率化において、蛍光ランプや光学系の効率改善に加え、点灯回路(インバータ)の効率改善も不可欠である。点灯回路に投入された電力のうち、バックライト光に寄与する割合は約8.2%⁽⁴⁵⁾、点灯回路の損失のうち、インバータ(鉄損)とトランジスタ(スイッチング損失)で約60%⁽⁴⁶⁾などといわれており、点灯回路との組み合わせによる高効率化も重要な検討課題である。冷陰極形蛍光ランプ用点灯回路の小形・軽量化への取り組みとして、インダクタンス素子(コイル、トランス)の代わりに、MOSFETとキャパシタで構成した変成器と極性反転回路を用い、600V、100kHzの高電圧を実現⁽⁴⁷⁾した。また、圧電セラミックストランスを用いた点灯回路⁽⁴⁸⁾も開発されている。冷陰極形蛍光ランプのように、高電圧・小電流を必要とする場合に適している。 piezotransを用いた方式⁽⁴⁹⁾は、平板状の圧電セラミック素子に、厚みと長さの両方向に電極を形成し、その厚み方向に長さ方向で決まる固有周波数の電圧を加え、長さ方向の電極からの圧電効果により、高電圧が発生することを応用している。

①-4 蛍光ランプの基本特性解明

蛍光ランプの細管化における物性的特性の解明も行われ、陽光柱のAr-Hg放電の励起機構の定量的な解明と、プラズマ中の電子温度、電子密度、電子強度などのパラメータについて検討⁽⁵⁰⁾したり、蛍光ランプの高輝度化への取り組みとして、蛍光ランプ(ϕ 4mm)中の管軸上のHg⁺基底イオン密度を改良形吸収法にて測定⁽⁵¹⁾し、Hg₂⁺分子イオン密度を分離させるなど、蛍光ラン

プの基礎的な特性解析も継続的に取組まれている⁽⁶²⁾。

② 光制御部材

光源からの照射光を均一にする光制御部材の分野でも、光反射の構造の改善や、反射率の向上などにより、発光面の高輝度化や光均一化がより進められている。

②-1 光反射、光拡散、光均一部材

光均一部材にはポリエステルフィルムにアルミ蒸着パターンを形成したものや、光拡散部材に直接白色インキパターンを印刷したものなどがあり、導光体方式や反射板方式のバックライトに用いられる。これらの高輝度化、光均一化方式として、“微小節理”と呼ばれるドットパターンをABS, ACS, ポリカーボネート樹脂(微小節理を形成時の反射率は96.9%)などの反射部材や、アクリル樹脂(微小節理を形成時の透過率は44.5%, 光拡散率は92.1%)などの光拡散部材に形成することが提案⁽⁶³⁾された。また、プリズムシートのプリズム頂角やプリズムアレイのピッチ幅を解析⁽⁶⁴⁾し、最大輝度が得られる頂角(90度)を見い出すとともに、法線方向の輝度を約1.45倍(10.4インチ, 輝度4,500cd/m², 消費電力12.6W,)に向上⁽⁶⁵⁾させた。

②-2 光線追跡による光学特性解析

光源からLCDまでの導光過程を、光線追跡追跡法で解析することも行われている。

図15と表5に示すように、光源からの照射光を導光体に効率よく導くためのリフレクター(反射部材)の解析⁽⁶⁶⁾⁽⁶⁷⁾や、導光体端部の断面形状をR状やV状にして導光体の入射光損失を抑え、輝度2,000cd/m²(従来比1.4倍, 10.4インチ, 消費電力7.2W)を実現⁽⁶⁸⁾したり、導光体の光射出面に配置した光制御シートから導光体への戻り光の効果を解析し、ランダム凹凸と波形シートを組み合わせ、実測値に対して97.2%の精度で配光計算⁽⁶⁹⁾している。

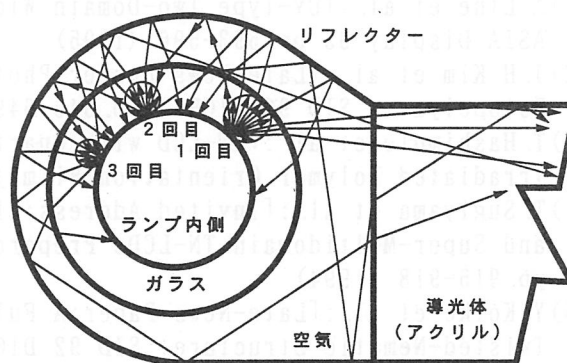


図15 リフレクターの光学解析例⁽⁶⁶⁾

(d) バックライトの性能向上技術

バックライトは以上述べてきたように、LCD側からの性能向上の要求に対応するため、種々の改善がなされてきた。しかし、これからも表6に示すように、各要素技術ごとの改善が継続⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾されていく。このような要求に対し、複数の導光体を重ねて光利用効率を高め、調光範囲を拡大する⁽⁷²⁾、RGBの各画素に対応させたバックライトを、個別に発光させて高輝度化をはかる⁽⁷³⁾、超小型のフィールドエミッションランプを用いてバックライトの薄型化をはかる⁽⁷⁴⁾など、バックライトの性能向上に向けて、種々の新しいコンセプトのバックライトが提案されている。

表5 光学解析による計算結果例⁽⁶⁵⁾

表6 バックライトの明るさ改善⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾

項目	比率
アクリルへの透過光	35.4%
アクリルでの反射光	2.6%
ランプ内径でのロス	30.6%
ランプと空気の境界でのロス	17.3%
リフレクターでの吸収ロス	9.4%
光の大きさが設定値以下のロス	4.7%

項目	現状	改善
蛍光ランプ	~15%	~20%
インバータ	70~85%	~90%
導光板 (集光・反射部材込)	40~70%	~80%
光拡散部材	90~130%	~140%

【参考文献】

- (1) 鈴木八十二:「液晶ディスプレイ入門、第1回 液晶とは?」, 電子技術 1992年8月号 日刊工業新聞社 pp. 73- (1992)
- (2) 鈴木八十二:「液晶技術の新しい展開」, 工業調査会 M&E 1993年7月号 &1993年8月号 pp. 60-69 & pp. 108-113 (1993)
- (3) 鈴木八十二:「液晶技術の最新動向と応用」, 電子技術 1992年6月号 日刊工業新聞社 pp. 10-17 (1992)
- (4) T. Kitazawa et al.:「A 9.5-in. TFT-LCD with an Ultra-High Aperture Ratio Pixel Structure」, '94 International Display Reserch Conference, Oct. '94, Monterey California, by SID pp. 365-368 (1994)
- (5) K. Suzuki:「Invited Address:High-Aperture TFT Array Structures」, SID 94 DIGEST pp. 167-170 (1994)
- (6) S. S. Kim et al.:「High-Aperture and Fault-Tolerant Pixel Structure for TFT-LCDs」, SID 95 DIGEST pp. 15-18 (1995)
- (7) S. Zimmerman et al.:「Viewing Angle Enhancement System for LCDs」, SID 95 DIGEST pp. 793-796 (1995)
- (8) M. Oh-e et al.:「Principles and Characteristics of Electro-Optical Behaviour with In-Plane Switching Mode」, ASIA Display' 95 pp. 577-580 (1995)
- (9) M. Ohta et al.:「Development of Super-TFT-LCDs with In-Plane Switching Display Mode」, ASIA Display '95 pp. 707-710 (1995)
- (10) 1996年4月17日付、日経産業新聞「視野角CRT並、上下左右140度、17インチカラー-LCD開発、TFT方式NEC年末量産へ」, (1996)
- (11) A. Line et al.:「UV-type Two-Domain Wide Viewing Angle TFT/LCD Panels」, ASIA Display' 95 pp. 593-596 (1995)
- (12) J. H. Kim et al.:「Late-News Poster:Photo-Alignment of Liquid Crystal using a New Potopolymer」, SID 96 DIGEST pp. 646-649 (1996)
- (13) T. Hashimoto et al.:「TN-LCD with Quartered Subpixels using Polarized UV-Light Irradiated Polymer Orientation Films」, SID 95 DIGEST pp. 877-880 (1995)
- (14) T. Sugiyama et al.:「Invited Address:Electro-Optic Characteristics of Amorphous and Super-Multidomain TN-LCDs Prepared by a Non-Rubbing Method」, SID 94 DIGEST pp. 915-918 (1994)
- (15) Y. Koike et al.:「Late-News Paper:A Full-Color TFT-LCD with a Domain-Divided Twisted-Nematic Structure」, SID 92 DIGEST pp. 798-801 (1992)
- (16) J. Chen et al.:「Four-Domain TN-LCD Fabricated by Reverse Rubbing of Double Evaporation」, SID 95 DIGEST pp. 865-868 (1995)
- (17) 金子節夫:「さらに低電力、薄型、軽量化、進めるTFT設計技術」, 日経BP社主催 LCD International 95, 第3回液晶ディスプレイ・セミナー, C-1, 1995年10月13日(金) (1995)
- (18) 1995年1月13日付、日経産業新聞「LCD生産額 2010年に4兆円規模 TFTが急拡大、コスト削減課題に」, (1995)
- (19) 日経BP編「液晶パネル・応用動向、(脱ノートPC宣言)へ挑む、2000年に4兆円目指す新シナリオ」, 日経マイクロディスプレイ別冊, フラットパネル・ディスプレイ'96 pp. 60-69 (1995)
- (20) ヤノ・レボート「LCD用バックライト、成長のなか構造が変わる」, 1995年8月25日号 pp. 3-12 (1995)
- (21) 宮田健治 他:「Production Cost Saving(PCS)への取り組み」, 電子ディスプレイフォーラム 95, Session 6, 1995年4月28日(金) pp. 251- 日本電子機械工業会&SEMIジャパン PCS/FPDフォーラム (1995)
- (22) 小原章男:「液晶表示用バックライトの光源」, 照学研究会 MD-94-1 pp. 1-10 (1994)
- (23) 中村浩積, 沖 雅博:「液晶表示装置用バックライトユニット」, 平成6 照学全大 No. 44 (1994)
- (24) 富田保男, 野口英彦:「液晶バックライト用W型冷陰極蛍光ランプ」, 平成4 照学全大 No. 43 (1992)
- (25) 野口英彦, 沖 雅博:「液晶表示装置用バックライトユニット」, 平成5 照学全大 No. 42 (1993)
- (26) 朝倉博史:「TFTカラーのバックライト製造コスト半減にメト* 立てる導光板加工技術を開発」, 日経マイクロディスプレイ 2 pp. 88-89 (1994)
- (27) 鹿島啓二:「LCD用導光方式バックライト」, 新素材 4-3 pp. 26-28 (1993)
- (28) 小池康博, 二瓶栄輔, 出原 潤:「高輝度ホ*リマ-導光体の散乱原理」, 高分子学会予稿集 42-3 p. 670 (1993)
- (29) 児島 健:「LCD用バックライトの薄型化設計技術」, エレクトロニクス実装技術 11-7 pp. 20-22 (1995)
- (30) S. Lu, T. Kuo, J. Huang, F. Lin:「Bright and Thin LCD Backlights for Monochrome and Color LCDs」, SID 93 DIGEST pp. 33-36 (1993)
- (31) 児島 健:「導光板をなくしたバックライトを開発 薄型軽量化と同時に低コスト化の切り札に」, フラットパネル・ディスプレイ 1994 p. 137 (1993)
- (32) W. Coleman, J. Lynn, B. Mercer:「Development and Production of a Flat Fluorescent Lamp for LCD Backlighting」, SID 92 DIGEST pp. 430-432 (1992)
- (33) M. Anandan, D. Ketchum, J. Brain:「Electro-Optical Characteristics of a Multi-Channel Flat Fluorescent Lamp」, SID 92 DIGEST pp. 433-436 (1992)

- (34) M. Anandan, D. C. Ketchum, H. Etlinger, R. Kirker, W. N. Carr: 「Design of a Multichannel True Flat Fluorescent Lamp for Avionic TFT-LCD Backlighting」, SID 93 DIGEST pp. 25-28 (1993)
- (35) 吉岡正樹, 高谷 泉, 藤原邦彦, 大嶋啓史, 数永健二, 友行昭夫: 「液晶ハックライト用小型希カ⁺ス平面蛍光ランプ」, 照学研究会 MD-94-2 pp. 7-12 (1994)
- (36) 本田久司, 池田武志: 「液晶ハックライト用偏平蛍光ランプの開発」, 平成5 照学全大 No. 159 (1993)
- (37) K. HIROSE, K. IGARASHI, S. MIKOSHIBA, S. SHINADA: 「High-and Uniform-Luminance Flat Discharge Lamp with Insulated Electrodes for LCD Backlighting」, 信学技報 95-335 EID95 39-60 pp. 113-118 (1995)
- (38) 浦壁隆浩, 原田茂樹, 西勝健夫, 狩野雅夫: 「Xe誘電体ハ⁺リア放電を利用した平面型蛍光ランプ」, テレビ^{*}学技報 20-9 IDY96-54 pp. 7-12
- (39) 清岸五郎, 寺田克美, 坂田政弘, 八木裕之, 岸本俊一: 「カソード^{*}ルミネセンス高輝度平面光源」, テレビ^{*}学会誌 47-5 pp. 690-695 (1993)
- (40) 細谷勝幸: 「蛍光ランプを使用した液晶ハックライトの動向」, 照学研究会 MD-94-2 pp. 11-17 (1994)
- (41) 水谷, 橋口, 藤沢, 堀内, 石川: 「液晶ハックライト用インハ⁺ータ, 圧電トランス採用で厚さ4.5mm」, 日経エレクトロニクス 1994. 11. 7 No. 621 pp. 147-157 (1994)
- (42) 尾崎光哉: 「[平面型蛍光灯]フルカラー-液晶ディスプレイ(LCDs)用ハックライト」, NSG Tech Rep 6 pp. 93-97 (1993) (1996)
- (43) 井村光宏, 富田保男: 「液晶ハックライト用細管蛍光ランプ」, 平成4 電気関係学会 四国支部 No. 11-4 (1992)
- (44) 山崎治夫, 井関幸人, 能見和正, 服部政男, 堤 清志: 「液晶ヒューファイナ^{*}-用小形冷陰極蛍光ランプの開発」, 平成4 照学全大 No. 42 (1992)
- (45) 中平康雄, 山崎治夫, 井関幸人, 山下博文: 「液晶ハックライト用蛍光ランプの高効率化」, 平成5 照学全大 No. 158 (1993)
- (46) 井関幸人, 山下博文, 山崎治夫, 古屋哲夫: 「ハ⁺ックライト用蛍光ランプの高効率化」, 平成7 照学全大 No. S-4 (1995)
- (47) 上野貴史, 井村光宏: 「細管冷陰極蛍光ランプの管電流-輝度特性」, 平成7 照学全大 No. 43 (1995)
- (48) 大西安夫, 若畑康彦: 「チタニウム水銀合金の製造方法」, 平成5 照学全大 No. 41 (1993)
- (49) 本田久司, 湯浅邦夫: 「冷陰極蛍光ランプの始動性の改善」, 平成4 照学全大 No. 41 (1992)
- (50) 西村 潔, 湯浅邦夫: 「低電力ハックライトの高効率化」, 平成7 照学全大 No. 44 (1995)
- (51) 数永健二: 「カラー-液晶ハックライト用細管蛍光ランプ」, 電球工業会報 387 pp. 7-10 (1994)
- (52) 辻 斉, 佐藤冬季, 前嶋 剛, 大久保好幸, 内山政男, 下条徳英: 「複合電極を用いた高輝度・長寿命冷陰極管とハックライトへの応用」, テレビ^{*}学技報 18-68 IDY94-176 pp. 61-65 (1994)
- (53) 三軒正剛: 「液晶ハックライトシステムの動向」, 光技術コンタクト 30-10 pp. 45-52 (1992)
- (54) 鈴木 優, 中野正士, 渡辺巖, 榊澤文久: 「カラー-LCD用ハックライトの開発」, 平成4 照学全大 No. 40 (1992)
- (55) Y. Mesaki, A. Sotokawa, A. Tanaka, M. Tomatsu, K. Kaiwa, H. Yuza, M. Kato: 「New Backlighting Technologies for LCDs」, SID 94 DIGEST pp. 281-284 (1994)
- (56) 小野寺 義伸: 「ハ⁺ックライト用点灯回路(インハ⁺-タ)の低電力化」, 平成7 照学全大 No. S-5 (1995)
- (57) 上野文男, 井上高宏, 大田一郎, 原田一孝, 仲田健二, 董 以輝: 「コイルレスの冷陰極蛍光放電管点灯回路」, 信学技報 PE92-76 pp. 51-55 (1993)
- (58) 若生直樹, 佐藤宏行, 塩谷太志, 猪 義博: 「冷陰極管用圧電インハ⁺-タ」, 信学技報 95-151 EMD95 16-23 pp. 17-21 (1995)
- (59) 井上忠介, 加藤義人: 「圧電セラミックトランスによる冷陰極蛍光ランプの点灯について」, 平成6 照学全大 No. 12 (1994)
- (60) 酒井隆行, 後藤みき, 荒井俊彦: 「液晶ハックライト用細管低圧水銀ランプの電子温度及び電子密度」, 平成4 照学東京支部 No. 11 (1992)
- (61) 後藤みき, 酒井隆行, 荒井俊彦: 「液晶ハックライト用低圧水銀ランプ中のイオン密度」, 平成5 照学全大 No. 39 (1993)
- (62) 後藤みき, 村上雅彦, 荒井俊彦: 「低圧Ar-Hg放電中のAr準安定原子密度」, 平成6 照学全大 No. 6 (1994)
- (63) 諸橋久雄: 「微小節理を有するハックライト用部材」, 電子材料 30-11 pp. 58-62 (1991)
- (64) 大江 誠: 「ハ⁺ックライトの性能向上と光学理論」, 平成7 照学全大 No. S-3 (1995)
- (65) 目崎義憲, 外川昭夫, 田中 章, 戸松正宏, 海輪和正, 加藤雅之: 「液晶ディスプレイ用ハックライト(II)」, 信学技報 EID93-33 pp. 45-50 (1993)
- (66) 稲垣幸男: 「光線追跡法による液晶ハックライト用リフレクターの光学設計」, 平成7 照学全大 No. S-2 (1995)
- (67) Kozo OGAWA, Ryuichi KAIDA, Koichi IKEDA, Tomishige ISHIWATA, Junichi NAKAJIMA: 「Design of Highly Efficient Optical Reflector for Sidelight Type Backlighting System」, 平成7 照学全大 No. 45 (1995)
- (68) 目崎義憲, 外川昭夫, 田中 章, 戸松正宏, 海輪和正: 「液晶ディスプレイ用ハックライト(I)」, 信学技報 EID92-126 pp. 83-90 (1993)
- (69) 藤上 真, 横田知宏: 「光線追跡法を用いた液晶ハックライト用光線制御シートの光学設計」, 平成5 照学全大 No. 43 (1993)
- (70) 鈴木八十二: 「液晶技術の新しい展開」, 工業調査会 M&E 1993-7 pp. 60-69 (1993)
- (71) 鈴木八十二: 「液晶技術の新しい展開」, 工業調査会 M&E 1993-8 pp. 108-113 (1993)
- (72) C. -Y. Tai: 「A Stacked Flat-Collimator Backlight for High Brightness and Enhanced Dimming」, SID 96 DIGEST pp. 753-756 (1996)
- (73) 重田照明, 西浦 毅, 北村幸二: 「カラー-液晶用ハックライトの高効率化の検討」, 平成8 照学全大 No. 163 (1996)
- (74) A. I. Akinwande, B. R. Johnson, J. O. Holmen, D. Murphy, D. K. Arch: 「Field-Emission Lamp for Avionic AMLCD Backlighting」, SID 96 DIGEST pp. 745-748 (1996)

2.5.3 液晶プロジェクタ

(1) 市場動向

(a) フロントプロジェクタ

液晶プロジェクタは1989年に初めて商品化され、手軽に大画面映像が楽しめることからホームシアタ、カラオケ、ゲーム用などに用途が広がり、数社でフロント投写型のビデオプロジェクタが生産されてきたが、大きな市場にはならなかった。

その後、パソコン画面が表示できるデータプロジェクタが開発され、パソコンのマルチメディア化、ノートパソコンの普及に伴って、企業のプレゼンテーション、営業、教育用などに広く使われるようになってきた。この市場拡大によって、1995年頃から新規参入メーカーが増加し、高輝度化、小型、軽量化、及び低価格化競争が激しさを増しプロジェクタの性能は著しく向上した。この結果、高性能プロジェクタが手頃な価格で供給されるようになりアメリカを中心に市場が急速に拡大している。

図1は1996年から2000年までデータプロジェクタの成長率を30%と想定して数量を予測している¹⁾。その予測によると1996年は

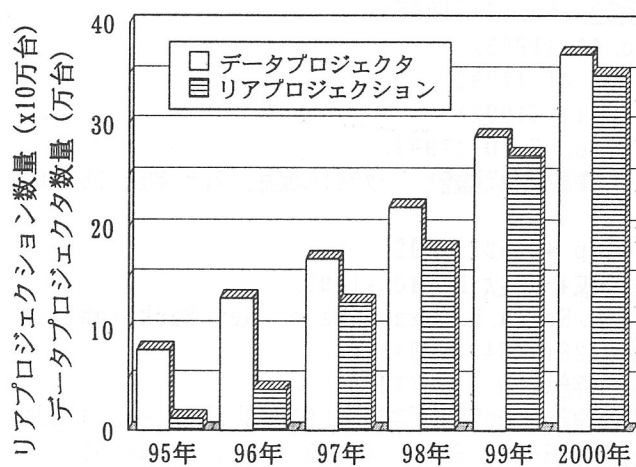


図1 液晶プロジェクタ市場動向

13万台であるが、現時点の業界予測では20万台を越える見込である。EIAJ『電子ディスプレイ産業の2000年ビジョンに関する調査研究報告書』では、2000年のOHPパッド出荷台数は15万台を予測している¹⁾。このOHP市場の置き換えにとどまらず、動画や音声によるマルチメディア・プレゼンテーションの新市場を形成し大きな伸長が期待できる。本格普及のためにはXGA、500mm以上でシステム価格が50万円を切ることが条件である¹⁾。

(b) リアプロジェクションテレビ

カラーテレビはアスペクト比16:9のワイドテレビ、及びハイビジョンテレビの普及に伴い、今後大型スクリーン化へ急速に進展していくと予測されている。現在の主流である直視型CRTの大型化は技術的にも、重量、セットサイズなどの要因でも一般家庭への普及は困難とされている。この分野でも液晶リアプロジェクションテレビが期待されている。EIAJ『AV機器国内需要予測中期シナリオ』が予測する国内のカラーテレビ数量予測では2000年時点でHDTVを含むワイドテレビの数量が1000万台を超えるとしている¹⁾。ワイドテレビには直視型CRT、3管式CRTプロジェクタ、直視型プラズマディスプレイ、DMD(デジタル・マイクロミラー・デバイス)など有力な方式があるが、この中で液晶リアプロジェクションのシェアは35%、350万台と推定されている。図1はp-SiTFT1.3型液晶パネルを3板使用するリアプロジェクションテレビの予測数量である。

1995年のエレクトロニクスショーにアスペクト比16:9の本格的な液晶リアプロジェクションテレビが2社から発表、商品化された。液晶方式は従来のCRT方式に比べ画面の鮮明度が良く、地磁気の影響を受けない、レジストレーション調整が不要、セットの奥行きが短い、セットが軽いなどの特長があり、家庭用大型テレビとして本命視されている。

(2) 液晶プロジェクタの基本構成

光源の光を液晶画面に集光させ、その映像を投写レンズによってスクリーンに拡大投影する。原理的には映写機やスライドプロジェクタなどに使うフィルムが液晶パネルに換わったものである。現在は、透過型液晶パネルを用いた透過型プロジェクタが主流であるが、反射型は光利用効率を高められる大きな特長があり、研究開発が積極的に進められている。次に各種プロジェクタの構成について述べる。

(a) 3板式液晶プロジェクタ

RGB各々に液晶パネルを用いる3板式液晶プロジェクタには、ミラー順次、クロスプリズム、L字プリズムなどを用いる方式がある。3板式は解像度、スクリーン照度、色純度に優れているが、液晶パネルを3枚使い、光学系が複雑で高価なため中高級機に採用されている。ここで代表的な2例について述べる。

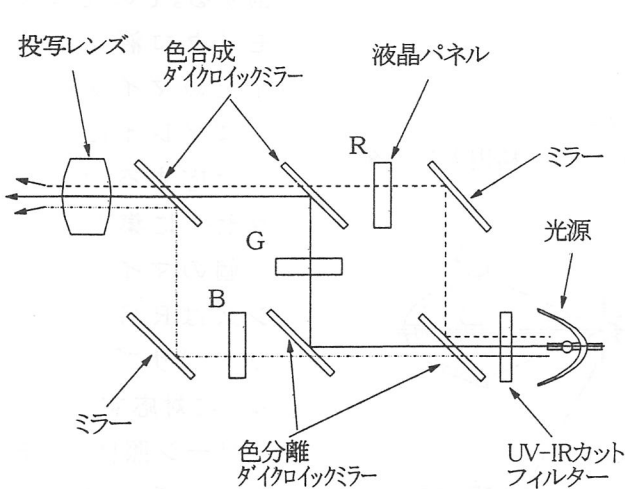


図2 ミラー順次方式の構成

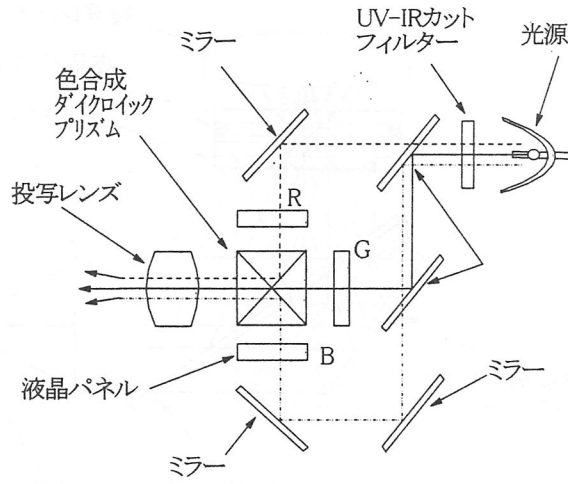


図3 クロスプリズム方式の構成

① ミラー順次方式

図2に示すように、色分離系、色合成系に各々2枚のダイクロイックミラーを用いる方式である。本方式はプリズムを使用しないため光学系が比較的安価で1.3~6型程度の液晶パネルを用いるプロジェクタに広く採用されているが、1.3型程度の高精細液晶パネルに採用する場合、ダイクロイックミラーの板厚を薄くして非点収差の影響を軽減させ、さらに反射面の平面精度を向上させる必要がある。

従って、ミラー順次方式は3型程度以上の中大型パネルに適している。

② クロスプリズム方式

図3に示すように、色合成系にダイクロイッククロスプリズムを用いる方式でミラーの板厚による非点収差の発生がなく、反射面の平面精度が高く、1.3型程度の小型高精細液晶パネルでも鮮明な映像が得られる。但し、クロスプリズムは4個の直角プリズムを用い、その貼り合わせ面にダイクロイックコーティングを施し、貼り合わせたものである。製造工程が複雑で高度な研磨技術と接合精度が要求されるため高価で2型以上の中大型パネルには適さない。

(b) 単板式液晶プロジェクタ

① カラーフィルタ方式

図4に示す単板カラーフィルタ方式は直視型カラー液晶パネルをスクリーン上に拡大投影するので、構造がシンプルで低価格である。しかし、カラーフィルタによって2/3の光が吸収

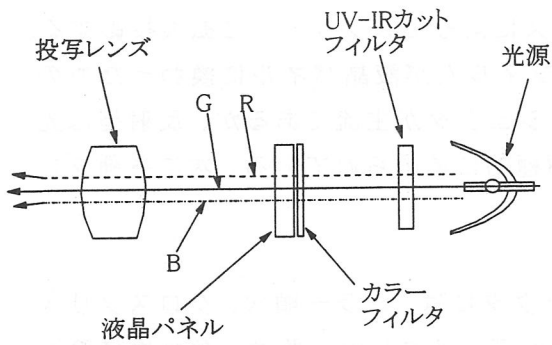


図4 カラーフィルタ方式の構成

されるためスクリーン照度は3板式に比べ暗い。また、RGB 3ピクセルで1画素を形成するために3板式の3倍の画素数が必要になる。これらの弱点を補うために、単板式データプロジェクタでは6.5~10型程度の大型液晶パネルを使用して、3板式と同等程度の明るさを実現している製品もある。

② 新単板方式²⁾

光学系を図5に示すように、カラーフィルタを用いない単板方式である。光源からの平行光を3枚のダイクロイックミラーによってRGB各々異なった

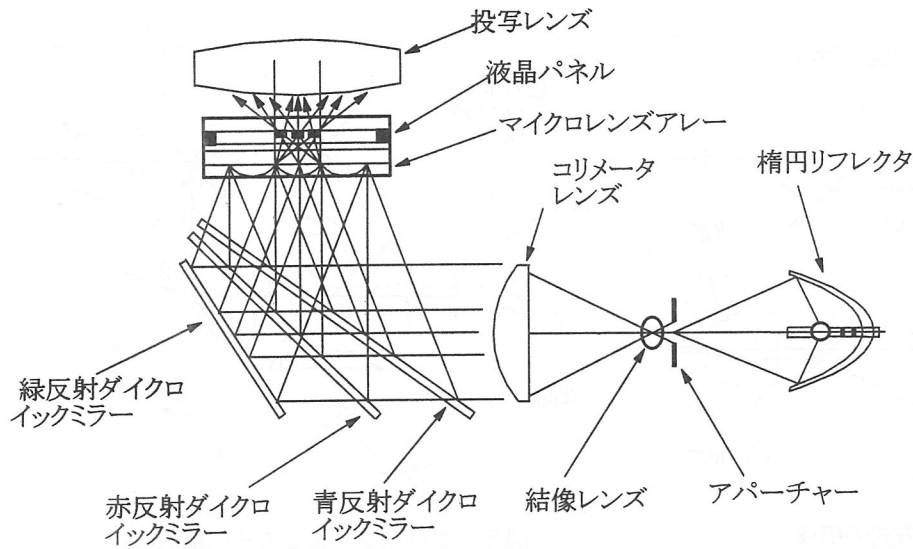


図5 新単板方式の構成図

角度の光束に色分割する。その光束はモノクロ液晶パネル上のマイクロレンズアレイによって対応するサブピクセルに集光する。1個のマイクロレンズはRGB 3ドット(サブピクセル)に対応する。スクリーン照度は、従来のカラーフィルタを用いる単板式液晶プロジェクタの3倍以上に改善されるという。

(c) フロントおよびリアプロジェクタ方式

図6に示すフロントプロジェクタはスクリーンに投写してその反射光を鑑賞するため周囲を暗くする必要があるが、手軽に大画面映像が得られるため商品化が先行している。図7のリアプロジェクタはスクリーンの透過光を鑑賞するため周囲の明るさの影響が少なく、家庭に

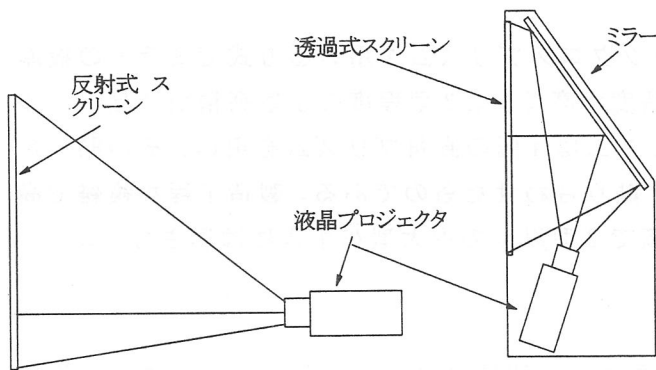


図6 フロントプロジェクタ

図7 リアプロジェクタ

受け入れやすい構造である。しかし、先行しているCRTプロジェクタと競合し、企業の採算性が悪いため商品化が遅れていたが、95年に注目される製品が開発され、商品化された。

(3) 高輝度化技術動向

(a) 液晶パネル

スクリーンの明るさは液晶パネルの透過率に比例する。液晶パネルの透過率を向上させるためには開口率の向上、および偏光板を用いない方法などがある。

ここではプロジェクタ用の液晶パネルの高輝度化に関連する技術動向について述べる。

① p-Si 液晶パネル

p-SiTFT-LCDはドライバ回路を画像表示部の周辺に作り、画素が高密度にできるため高精細、高開口率、小型化を併せて実現できる大きな特長がある。

新しく開発された超薄膜ポリシリコン技術、高密度配向技術、AL膜と遮光膜を組み合わせたブラックマトリックスをTFT基板上に形成する要素技術などにより1.3型VGA(640×480)パネルで開口率63%を達成し、従来製品の1.5倍以上の明るさが実現している³⁾。さらに、最近では70%に迫る高開口率パネルが商品化され、800ANSIルーメンの液晶プロジェクタの商品化が発表されている。

現在、液晶プロジェクタはVGA(画素数=640×480)からSVGA(800×600)に移行しつつあり、さらにノート型パソコンの高精細化に伴いXGA(1024×768)、SXGA(1280×1024)、EWS(1280×1024)対応のプロジェクタが開発されているが、一般に画素数を増やすと液晶パネル、および光学系が大きくなるためコストアップ、またはスクリーン照度の低下が避けられない。今後の主流がXGAに移行するかどうかは推測できないところである。

② a-Si 液晶パネル

a-SiTFT-LCDについては、3型～6型で10万～150万画素程度の液晶パネルを用いたプロジェクタが商品化されている。主流となっているVGAパネルでもデータおよびゲートバスライン2重TFT構造⁴⁾や3枚マスク構造など新しい要素技術の開発により開口率が従来品の1.5倍以上、開口率50%以上のパネルが開発され、3.1型で800ANSIルーメン以上、5.8型で2500ANSIルーメンのプロジェクタが商品化されている。中大型プロジェクタ用としてはa-Si液晶パネルは健在で、今後さらに光利用効率の改善、低消費電力化への技術開発が進められている。

③ 反射式液晶パネル

反射式TFT-LCDは反射面にTFTやバスラインなどが存在しないため原理的には反射率を100%にできる。反射式液晶は高輝度化と高精細化が両立できるため活発な研究開発が続けられている。

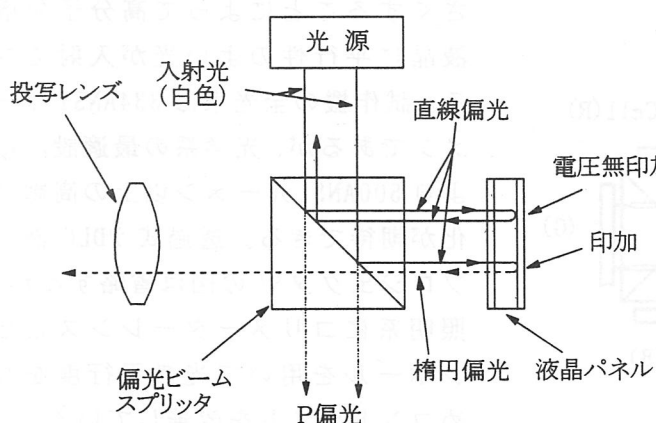


図8 反射型液晶パネルの動作原理

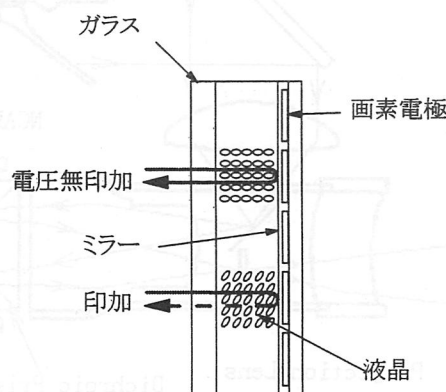


図9 DRIデバイスの構造

図8に示すように光源から平行な白色光が偏光ビームスプリッタ(Polarizing Beam Splitter以下PBSと略す)に入射する。PBSはP偏光成分のみを透過させ、S偏光成分を反射させる性質をもっている。PBSで反射し直線偏光(S偏光)の光束が液晶パネルに入射する。液晶パネルに電圧無印加の場合、光軸が液晶分子長軸と一致しているため、入射した直線偏光

は液晶パネルで複屈折を受けずに直線偏光でPBSに反射して投写レンズに入射しない。液晶パネルに信号電圧を印加していくと、入射した直線偏光は液晶分子の複屈折によって位相差が生じ楕円偏光となり光はPBSを透過しスクリーン照度が上昇する⁵⁾。

図9は96年5月に発表されたXGA対応のデスクトッププロジェクタ用の反射型液晶素子(DRI(Digital Reflective Imaging))の原理図である。小型・高電圧C-MOSチップ上に光学的ミラーを生成し、この基板とガラス板の間に、新開発の高コントラストの垂直配向タイプの特殊な液晶を注入した液晶パネルである。量産品はドライバ回路を内蔵し、対角0.937インチ、開口率95%を実現している⁶⁾。

また、画素電極構造をもたない光書き込み式液晶ライトバルブが既に商品化され、光源に大出力キセノンランプを用いて大画面映写の業務用として実績がある。

④ 高分子分散液晶パネル

高分子分散液晶(Polymer-Dispersed Liquid Crystal=PDLC)は偏光板を使用しないため光利用効率が高いことで広く知られている。コントラスト比が低い、高い駆動電圧、大きなヒステリシス現象などの弱点があったが、これらの問題は解決され実用化が近づいている。ここで、表1に示す高分子分散液晶パネルの反射式と透過式の開発実例について簡単に述べる。

表1 PDLCプロジェクタの主な仕様

	NCAP/MOS	PDLC
投写方式	反射式	透過式
液晶パネル	1.4型	3.1型
画素数	640x480	640x480
開口率	91%	41%
反射率	58%	
光源	150W	200W
アーク長	3mm	3mm
スクリーン全光束	334ル-メン	460ANSIル-メン
コントラスト比	>43:1	>50:1
投写効率	2.3ル-メン/w	2.3ル-メン/w

図10に示すNCAP/MOS反射式液晶パネルを用いるプロジェクタは、投写レンズ内に挿入する

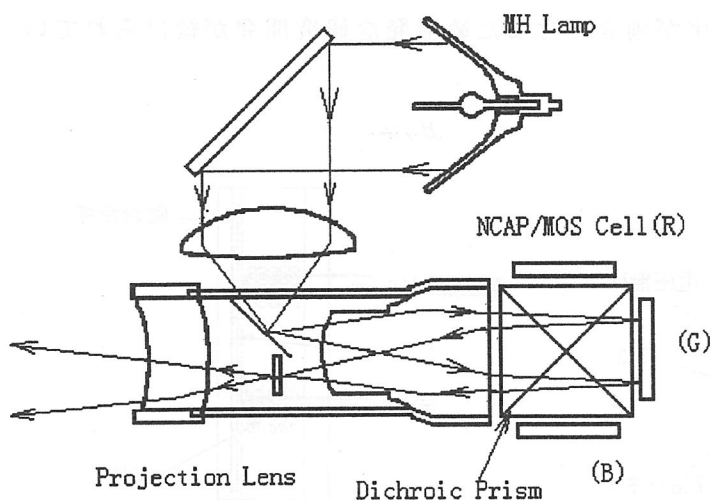


図10 NCAP/MOS プロジェクタ光学系

(b) 光源

投写画面を明るくする手段として、光源を明るくすることがもっとも手っ取り早く、生産コストの上昇も比較的少ないため、液晶プロジェクタにおいては、商品化させた当時の150Wメタルハライドランプから、最近では250Wが一般的になっている。しかしながら、これ以上、光源を明るくすることは光源用電源の体積、重量、消費電力、光源用の冷却ファンの騒音など

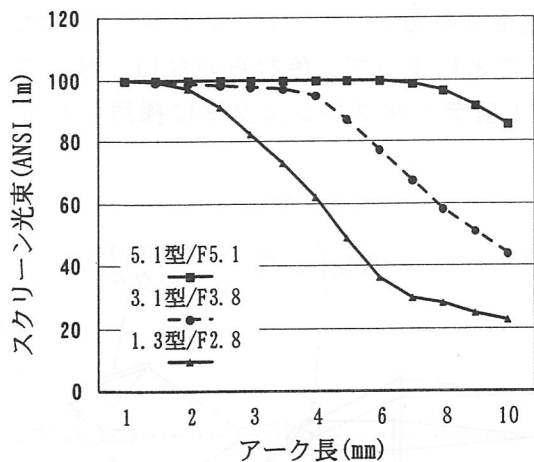


図11 アーク長とスクリーン光束

により一般家庭やオフィスのプレゼンテーション用として好ましくない。そこで、少ない消費電力で明るい画面を得るために集光効率の高いショートアークランプの研究開発が活発に進められている。

① アーク長と集光効率

図11はメタルハライドランプのアーク長と集光効率のシミュレーションである。図に示すように液晶パネルの表示サイズ（照射面積）が小さいほどショートアークランプの効果が大きい。1.3型パネルを用いた液晶プロジェクタの場合、アーク長を5ミリから3ミリに短縮することにより約1.7倍の高輝度化が可能である。但し、アーク長を短

くすると一般に発光効率が低下し寿命が短くなる。したがって、アーク長はパネルの表示サイズ、レンズの口径比（F）、照明系の設計、要求寿命などを考慮し決定する必要がある。

② 新ショートアークランプ

一般にメタルハライドランプは集光性を上げるためにアーク長を短くすると寿命が短くなり、明るさと寿命はトレードオフの関係がある。表2に示す新ショートアークランプは高集光効率と長寿命を両立させる新しいランプとして注目されている。既に、リアプロジェクタとフロントプロジェクタに搭載した製品が商品化され、後者は100Wランプで400ANSIルーメン(4.0ANSIルーメン/W)を実現している。この明るさはメタルハライドランプの150Wから250Wに匹敵する明るさである。また、リフレクタの前面にカバーガラスを装着した密閉構造で、万一ランプが破裂した場合でもガラス片、封入物などが周囲に飛散しないよう安全面に配慮されている。この効率を維持して120Wから150W程度の高入力化が期待されるが、現行の100Wランプでも高集光性を活用して偏光変換方式の採用、マイクロレンズによる実質開口率のアップなどの光学技術により、さらに高輝度化できる可能性がある。

表2 新ショートアークランプの特性⁹⁾

Arc gap	<1.4mm
Lamp Wattage	100W
Luminous flux	6000lm
Average luminance	560Mega cd/m ²
Color temperature Tc	8500K
Peak intensity in the bundle at 3m distance	200,000lux, >1.8 10 ⁶ cd
Full width beam half angle	2°
Color rendering index Ra	60
Average rated life	>4000hours (target 8000hours)
Bundle maintenance	75% after 4000hours

(c) 照明系

① オプチカルインテグレート照明方式

図12に示すオプチカルインテグレート照明方式は光源、リフレクタ、レンズアレー板1、およびレンズアレー板2から構成されている。レンズアレー板1は液晶パネルのアスペクト比に対応した矩形で十数枚から数十枚の凸レンズが配列されている。この凸レンズによって光

源のアーカをレンズアレー板2に集光させる。そしてレンズアレー板2によってレンズアレー板1の各々凸レンズを通過する光束が液晶パネル上に畳重される。このインテグレート照明法と光利用効率の高いショートアークランプを併用することによって、色むらのない、均一で明るい画面が得られるため、最近発表されるほとんどの小型データプロジェクタに採用されている。

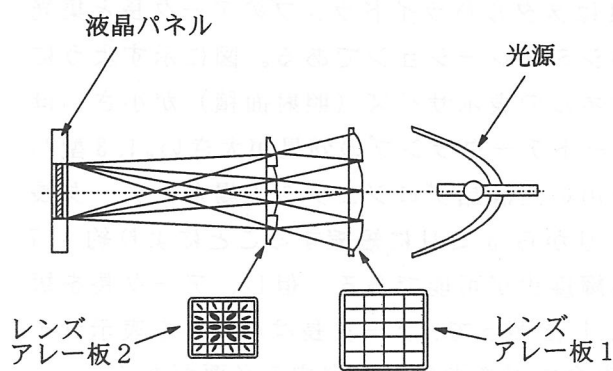


図12 インテグレート照明方式の構成図

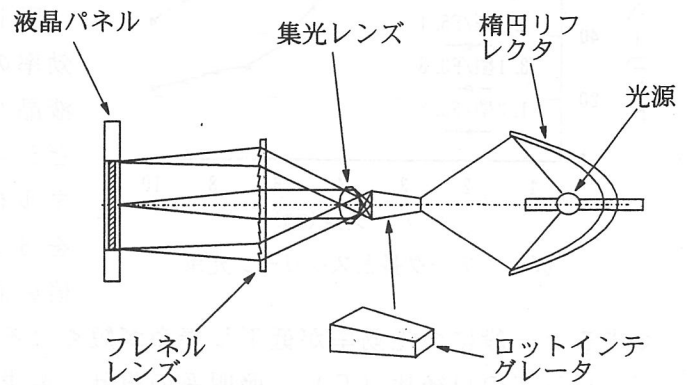


図13 ロットインテグレート照明方式の構成図

② ロットインテグレート照明方式

図13に示すロットインテグレート集光方式は、長さ40~100ミリ程度の梯形、または矩形のガラスロットの中に光束を集光させ、ロット壁面で反射を繰り返し均一な照明を得る方式である。インテグレート集光方式に比べ光の平行性が高いことが特長である。

③ 偏光変換照明方式

図14に示す偏光変換照明方式は前項インテグレート照明にPBSを巧みに組合せ、光利用効率の向上と小型軽量化を実現させる照明方式である¹⁰⁾。

光源からの自然光は放物面鏡で反射し、平行な光はレンズアレー板1の凸レンズによってレンズアレー板2に集光する。レンズアレー板2を透過した光はPBSアレー板の45度反射面に蒸着された偏光膜によってS偏光は反射して進行方向を90度変え、次の全反射面でさらに90度変わりPBSを透過する。先の偏光膜でP偏光はそのまま透過しPBSの出射側に貼付されている位相差板によってP偏光からS偏光に変換される。よって光源からの自然光はすべてS偏光に変換され、集光レンズによって液晶パネル全面を照射する。

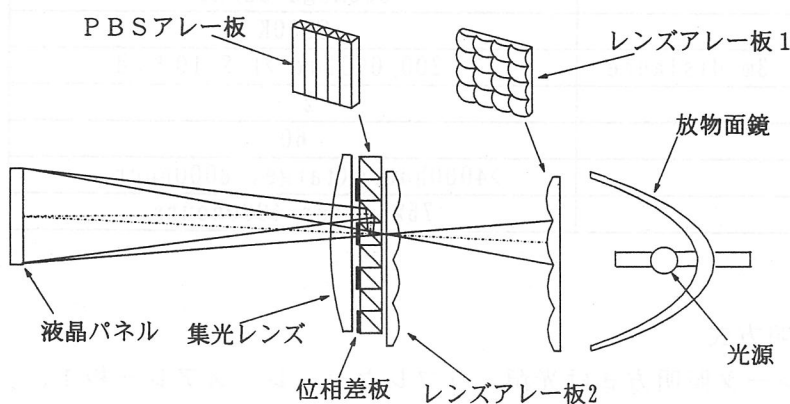


図14 偏光変換照明方式の構成図

光を有効利用するためには、光源から出射される光をレンズアレー板2に集光する複数の2次光源像をPBSの入射口以内にする必要がある。この2次光源像を小さくするためには、アーク長の短い(発光領域の小さい)光源、高い精度の放物面鏡とレンズアレー板(凸レンズ)が要求される。

④ リフレクタ

液晶プロジェクタ用のリフレクタには、放物面ミラー、楕円ミラ

ーが通常用いられている。反射面には可視光が効率よく反射して、有害な赤外線を透過させる薄膜が蒸着されている。

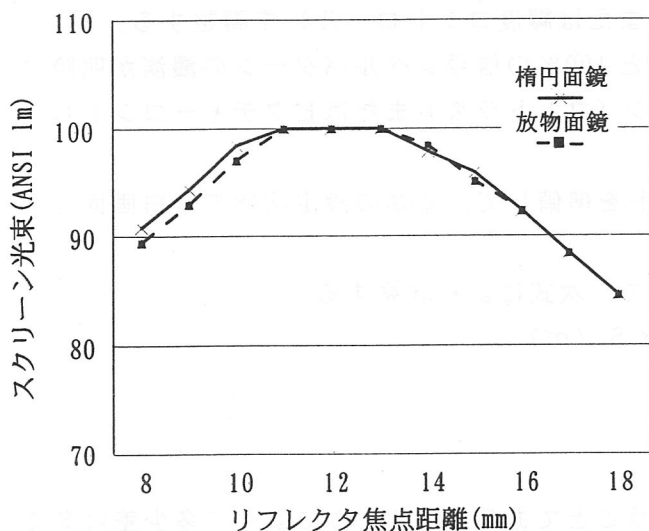


図15 リフレクタとスクリーン光束

表3 シミュレーションに用いた光学系

	放物面鏡	楕円面鏡
液晶パネル	3.1型	1.3型
集光方式	インテグレタ	インテグレタ
アーク長	5mm	3mm
投写レンズ	F3.8	F2.8

リフレクタの形状は、セットの小型化やランプ冷却効率の目的で角型、小判型が多く用いられているが、反射面の精度、光の有効利用の点では丸型が適している。またリフレクタの焦点距離 (f) は光を有効利用するための重要なファクタである。図15は表3に示す光学系によりリフレクタの焦点距離 (f) とスクリーン上の光束をシミュレーションしたものである。放物面鏡、楕円面鏡いずれの場合も f 12mm 付近が最適であるが、入力の大いランプを使用すると発光管とリフレクタの反射面が接近して、表面温度が上昇して薄膜が剥離することやリフレクタが割れることがある。よってランプ温度、冷却効率などを考慮してリフレクタの焦点距離を決める必要がある。

(4) プロジェクタの明るさ表示

液晶プロジェクタの売り値は『明るさによって決まる』とまで言われるほど、明るさはもっとも重要なセールスポイントである。

しかしながら、そのカタログ表示は各メーカーまちまちで一概に比較できないのが現状である。ここでは、フロントプロジェクタで用いられている単位 (ANSI lm, lm, lux) について述べる。

(a) ANSI lm (アンシルーメン)

アメリカの標準規格、データプロジェクタの試験方法、光出力の測定法¹¹⁾によるもので、最近日本でもよく用いられている。その測定法の要点は以下である。

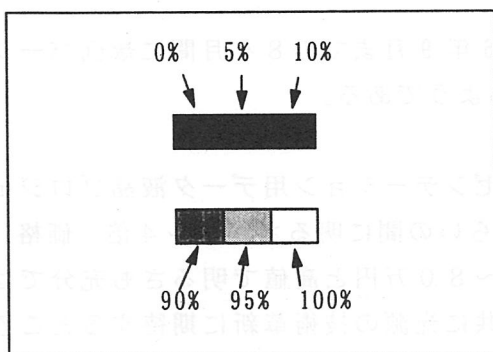


図16 階調パターン

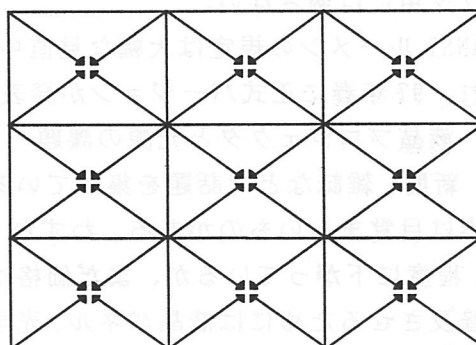


図17 9ポイント測定チャート

- ①図 16 に示す特別なテストパターン（階調パターン）を使い、スクリーンに投影する。
- ②5%信号レベルパターンが確認でき、0%と10%の信号レベルパターンの濃淡が明瞭に確認できるように、プロジェクタの黒レベル（または輝度コントロール）を調整する。
- ③95%信号レベルパターンが確認でき、90%と100%の信号レベルパターンの濃淡が明瞭に確認できるように、プロジェクタのビデオゲイン（コントラストまたはピクチャーコントロール）を調整する。
- ④図 17 に示すスクリーン光束測定用チャートを準備して、②③の設定状態で全白画面をチャート一杯に投影する。
- ⑤照度計を使い9点の照度を測定し、平均して、次式により計算する。

$$M \text{ (ANSI lm)} = L \text{ (lux)} \times S \text{ (m}^2\text{)}$$

M：求めるスクリーン光束

L：9点の平均照度

S：投影面積（図 16）

ここで、大切なことは②③の設定を正確に行うことである。各メーカーによって多少差はあるがこの②③の設定がプロジェクタ出荷時のノーマル設定の映写状態である。

(b) lm (ルーメン)

日本電子機械工業会規格による明るさの測定法¹²⁾で、その要点の抜粋は以下である。

照度計を用いてスクリーン中央の照度を測定する。その照度にスクリーンの面積を乗じた値（光束）を明るさとし、次式で表す。

$$M \text{ (lm)} = L \text{ (lux)} \times S \text{ (m}^2\text{)}$$

M：求める明るさ

L：スクリーン中央の照度

S：スクリーンの面積

(c) lux (ルクス)

ビデオ液晶プロジェクタの発売当初から、明るさの表示に lux がよく使われているが、スクリーンサイズの大きさによって明るさが変わるため、一般に40型スクリーン（一部に30型もある）に投影した中央（最大）の明るさが表示されている。このときノーマリーホワイト時と注記されているものは、液晶パネルに信号が入らない状態（液晶パネルの透過率が最大になる時）の明るさである。上項（b）、（c）の規格は、中央の明るさのみを規定するためスクリーン全体の明るさが表現できない。特に、画面の周辺や隅部の明るさを重視する、データプロジェクタ用には適さない。

注）ANSI ルーメンの規定は大幅な見直し中で、96年9月までの8ヶ月間に数回バージョンアップされ、97年春に正式バージョンが発表されるようである。

(5) 液晶プロジェクタと光源の課題

最近、新聞、雑誌などで話題を集めているプレゼンテーション用データ液晶プロジェクタの技術進歩は目覚ましいものがある。わずか2年ぐらいの間に明るさが3～4倍、価格、重さも2分の1程度に下がっているが、まだ価格は70～80万円と高値で明るさも充分ではない。さらに普及させるためには液晶パネル、光学系と共に光源の技術革新に期待するところが大きい。ここで、数年後をターゲットにした光源に関連する液晶プロジェクタの開発目標の一例とその光源に対する課題および優先度を◎○△の記号で示す。

表4に示す液晶プロジェクタ開発目標の明るさは現時点で実力の約2倍である。光源、液晶パネル、および光学系要素技術の開発によって実現可能なレベルと考えるが、発光効率、色温

度の経時変化、寿命、点灯回路の小型化などランプメーカーの技術改革に依存するところが大きい。

表4 液晶プロジェクタの開発目標の一例・光源に対する課題

		フロントプロジェクタ			民生用リアプロジェクタ
		モバイル	デスクトップ	ホール用	
開発目標	精細度	SVGA	SVGA, XGA	SVGA~	SVGA相当
	明るさ(ANSI lm)	500	1000	2000以上	300
	セットサイズ	A4以下	A3相当		
	重量(Kg)	4.5以下	8以下	30以下	30以下
	価格(万円)	40以下	50以下	200以下	20以下
光源の課題と優先度	ランプ入力	100~150	100~200	800以下	100~120
	アーク長(mm)	1.5以下	1.5~3	5.0以下	1.5mm
	高発光効率(lm/W)	70	75	80	70
	安全性	◎	◎	○	◎
	色温度(K)	6000以上	6000以上	6000以上	6000以上
	経時色温度変化	○	○	◎	◎
	半減値寿命(h)	1000以上	2000以上	2000以上	10000以上
	点灯回路の小型化	◎	○	△	△
	瞬時再点灯性	◎	○	△	◎
	低価格化(円)	◎	◎	○	◎

参考文献：

- (1) 電子ディスプレイ産業の中期ビジョンに関する調査研究報告書, p7-27, EIAJ (1995. 11)
- (2) 中西、浜田、船田、栗根 モザイクカラーフィルタを用いない高輝度単板プロジェクション方式 信学技報 TECHNICAL REPORT IEICE, EID94-127, ED94-155SDM94-184 (1995-02)
- (3) 河村 明士、液晶ディスプレイセミナーテキスト
- (4) M. sakamo, T. Ukita, A. Maeda, S. Ohi: SID 96 Digest, p. 681-684 (1995)
- (5) 佐々木 正、両角伸治監修、液晶ビデオプロジェクタ技術、トリケップス p. 56-57 (1990)
- (6) パイオニア(株)報道資料、反射型データ液晶プロジェクタ(1996.5.13)
- (7) Y. Nagae, K. Ando, A. Asano, I. Takemoto SID 95 Digest, p. 223-226 (1995)
- (8) S. Shikama, H. Kida, A. Daijogo, S. Okamori, H. Ishitani, Y. Maemura, M. Kondo: SID 95 Digest, p. 231-234 (1995)
- (9) E. Schnedler, H. V. Wijngaarde: SID 95 Digest, p. 131-134 (1995)
- (10) 公開特許広報 特開平 8-304739 公開日 平成 8 年 (1996) 11 月 22 日
- (11) ANSI (American National Standard Institute) IT7. 215, American National Standard for Audiovisual-Data Projection Equipment and Large Screen Date Displays-Test Method and Performance Characteristics
- (12) 日本電子機械工業会規格、投写形テレビジョン受信機試験方法 (EIAJ CP-4101)

2.5.4 DMD^{1~3)}

(1) はじめに

DMD (Digital Micro-mirror Device) は約 20 年前にテキサス・インスツルメンツ社 (TI) によって発明され、それ以来継続的に DMD チップとそれを応用した DLP (Digital Light Processing) の研究開発が続けられている。1995 年大阪で開かれた「エレクトロニクスショー'95」に於いて DMD を搭載したリアプロジェクタ、そして 1996 年 1 月東京でフロントプロジェクタが公開された。次いで 96 年インフォーカムショーに於いて、9 社から 10 数台の DMD を搭載した VGA・SVGA 対応のデスクトッププロジェクタ、及び業務用高輝度・高精細大型プロジェクタなどが一挙に公開され注目を集めた。その後、数社のデスクトッププロジェクタと大型業務用プロジェクタが相次いで発売されている。

参考文献によると；

- ① 色再現性：8ビットで2670万色のフルカラー映像を忠実に再現する。
- ② ノイズフリー：すべてデジタル信号処理のためノイズによる画像の乱れがない。
- ③ 高精細・高開口効率：スクリーン上に画素が目立たないシームレス映像が得られる。
- ④ 高輝度：DMDの反射率が高く、LCDに比べ光の利用効率が3倍高いなどの特長がある。

(2) DMDの構造

DMDは静電界作用により動作させるマイクロミラーデバイスである。モノリシック化するためにウエハー上に直接アルミニウム蒸着を行い高反射率 (>90%)、約16ミクロン角のマイクロミラーを作り込む、その構造を図1に示す。このミラーは15ミリ角のシリ

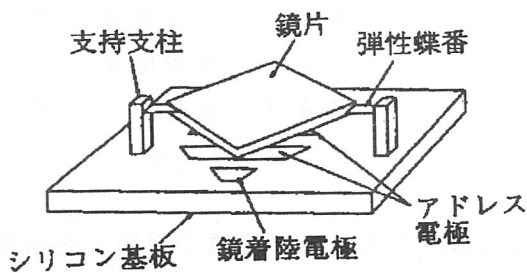


図1 DMD構造原理図

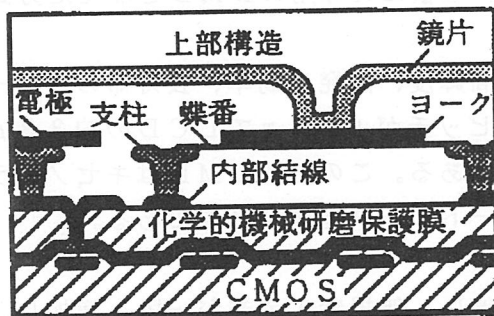


図2 DMD構造模式図

ン・メモリー・チップ上に約45万個敷き詰められている。それぞれのミラーは対角線上のミラー保持支柱で支えられて、水平方向に±10度程度、約10μSのオーダーで回転する。ミラーの面積利用率（開口率）や光利用効率、コントラスト比を改善する目的で支持支柱と弾性蝶番は、図2に示すように鏡片の下に完全に隠れる構造になっている。

(3) ディスプレイへの応用

光源からの光束が20度の角度でDMDに照射され、映像データによってマイクロミラーが回転し、反射した光（DMD像）は投写レンズを通してスクリーンに明るく投影される。一方、回転しないマイクロミラーで反射した光は投写レンズに集束されないの、スクリーン上では黒点となり映像とはならない。つまりDMDは投写型ディスプレイを提供する。

① 単板方式

図3に示すように光源からの光は第1コンデンサレンズによって回転するカラーフィルタ

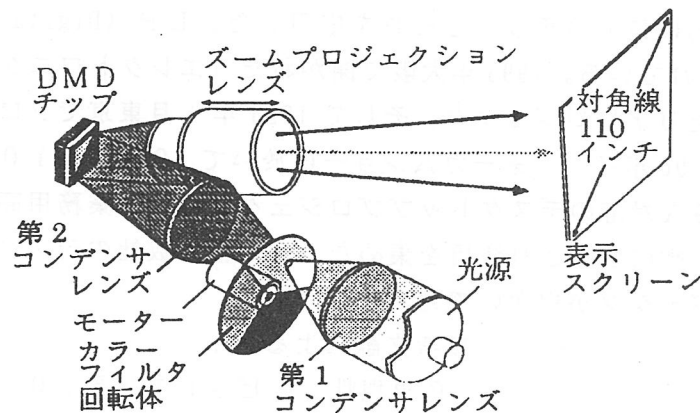


図3 DMD応用ディスプレイシステムの一例

に集光する。光束はフィルタによって時間軸でRGBに分割され、第2コンデンサレンズを通過し、DMD全体を均一に照射する。DMDはRGBのビデオ信号出力に応じてオン/オフの時間を制御する。映像は間欠的にスクリーンに投影されるが、目の残像効果により自然なカラー映像として鑑賞できる。単板方式は100型スクリーン程度のプレゼンテーションや家庭用フロントまたは40～60型リアプロジェクタに適している。

② 3板方式(2板方式)

RGB各々に専用のDMDを使用する3板方式は、システムが複雑で高価なため高輝度、高精細化が要求される業務用大型プロジェクタに採用されている。光学系はプリズムを用いてRGBを合成する方式が一般的であるが、ミラーだけで構成する光学系も開発されている。また、2板方式は単板方式と3板方式の中間で、単板にR専用のDMDを加えた方式である。

(4) DMDプロジェクタ用光源

DMDプロジェクタ用光源はLCDと同様に高輝度、高発光効率、長寿命のショートアーク光源が求められる。特にDMDの場合は、画素ピッチが $17\mu\text{m}$ でLCDの約 $33\mu\text{m}$ (1.3" SVGA p-Si TFT)に比べ面積比で約4分の1である。このためDMDはキセノンランプなど点光源に近い、平行光線が得られやすいショートアーク光源が必要である。

(5) まとめ

ビジネスプレゼンテーション市場の急拡大に伴い、新規参入企業が一段と増加し、性能、価格競争が一段と激化している。この市場にDMDも96年から本格参入してきた。最近、完成度が著しく向上している液晶プロジェクタに比べ、DMDは小型軽量化などの点でやや見劣りする。しかしながら、光利用効率、小型軽量化などにおいて、原理的に優れている点が多く、半導体と同じように量産効果も大いに期待できる。DMDの大幅なコストダウンが実現できれば、液晶プロジェクタのみならずCRTプロジェクタをも凌駕する可能性をも秘めている。ランプの点光源化、高輝度化、長寿命化などDMDの進展はランプメーカーに期待するところが多い。

参考文献：

- (1) Digital Light Processing World Wide Web site: <http://www.ti.com.dlp>
- (2) The State of the Art in Projection Display. An Introduction to the Digital Light processing(DLP™)Technology, DLP0007 May 1996.
- (3) 新地修、林田正尚：デジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)、日本テキサス・インスツルメンツ試料

2.5.5 大型ディスプレイ

近年、各種競技場や球技場、またビル壁面などには画面サイズが200インチを越すような大型フルカラー映像表示装置の設置が着実に進んでいる。主に屋外に設置されるこれらの大型ディスプレイは自発光タイプの表示素子を多数並べて画面を構成している。

表示素子の発光方式としては大きくは放電管（蛍光ランプ）方式とCRT方式、そして、現在注目を浴びている発光ダイオード（LED）方式に分類される。発光ダイオード（LED）方式については別の章で詳述されているので、ここでは放電管方式とCRT方式を中心に述べる。

(1) 大型ディスプレイの素子の仕様

大型ディスプレイの表示素子を設計する際、次のような項目に留意しなければならない。

- (a) 設置周囲環境（例えば、屋外で風雨・太陽直射光にさらされる）
- (b) 画質（輝度、コントラスト、色再現など）
- (c) 経済性（初期投資、運用費など）

(2) 表示素子の種類と画素構成

図1に1985年から1994年に発表された自発光フルカラー表示素子の種類を示す。

既に述べたように、発光方式は放電管方式とCRT方式に分けることができる。また、それぞれについて単管単色方式と単管多色方式という分け方もできる。

この図で87年までは絵素ピッチが30mmと小さい（視認距離が短い）素子では画面輝度は2000cd/m²以下であり、主に屋内あるいは半屋外で使用された。これに対し、画面輝度が4000cd/m²と高輝度の表示素子は絵素ピッチが大きく（視認距離が長い）、主に画面に太

発表年度	単管単色素子		単管多色素子		放電管素子		CRT素子	
	輝度	ピッチ	輝度	ピッチ	輝度	ピッチ	輝度	ピッチ
85			1800 cd/m ²	22				
86			1300 cd/m ²	30				
87	4000 cd/m ²	50	4000 cd/m ²	50				
88	5000 cd/m ²	36	1400 cd/m ²	15	4000 cd/m ²	5000 cd/m ²	50	5000 cd/m ²
89					5000 cd/m ²	18	5000 cd/m ²	5000 cd/m ²
90					5000 cd/m ²	22	5000 cd/m ²	5000 cd/m ²
91			1500 cd/m ²	15				
92								
93					5000 cd/m ²	40	5000 cd/m ²	2000 cd/m ²
94					2000 cd/m ²	14		

単位：mm

図1 自発光フルカラー表示素子の寸法

陽直射光が当たるような競技場など屋外で使用されてきた。

ここで、88年に絵素ピッチが小さく、 5000 cd/m^2 の高輝度表示素子が発表され、屋外の近距離でも十分視認できるディスプレイが実現された。これ以降表示素子としては、高輝度を保ったまま高解像度となる絵素サイズの小型化がなされてきている。

絵素の構成についていえば、R-G-Bの3ドットを1絵素とした構成、R-G-B-Gの4ドットを1絵素とした構成に分けられる。これらは、各々の素子の長を生かしながら映像信号のサンプリング方法を工夫することによって見かけの解像度を向上させている¹⁾。

(a) 放電管方式

図2～図4にDL素子 (Display Lamp) と呼ばれる表示素子の外観、構造、放電経路を示す。この素子の放電空間は陰極部とセラミックスで形成された陽光柱部からなり、この陽光柱部のセラミック体には希土類蛍光体が塗布されており、放電路を屈曲させたことと、その前面ガラスをアパーチャ構造にしたことにより輝度を向上させ、加えてカラーフィルタを前面ガラスに設置しカラーTV用の色再現性を向上させている。この構造にて絵素ピッチ25mmと50mmタイプで、いずれも輝度 5000 cd/m^2 を実現している^{2) 3)}。

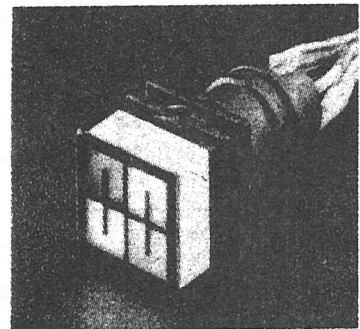


図2 高輝度放電管 (DL素子) の外観

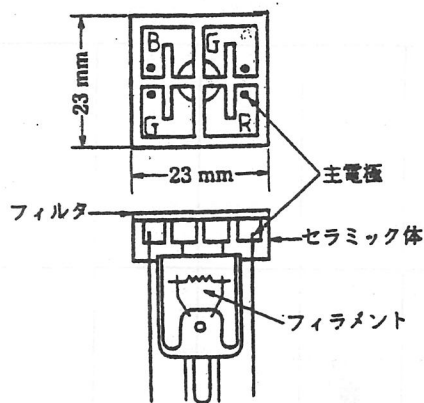


図3 高輝度放電管 (DL素子) の構造

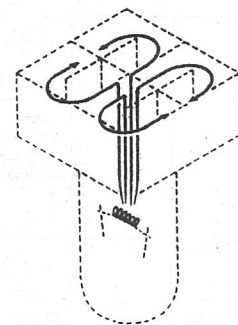


図4 高輝度放電管 (DL素子) の放電路

図5、図6にMCD管 (Multi Colored Discharge Tube) と呼ばれる表示素子の外観、構造、を示す。この素子は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内部に反射板を設けて高輝度を実現している。さらに、希土類蛍光体とカラーフィルタの組み合わせで色再現を向上させている。この素子も輝度 5000 cd/m^2 で絵素ピッチ22mmと39mmタイプ (LMCD管: Large Multi Colored Discharge Tube) がある^{4) 5) 6)}。

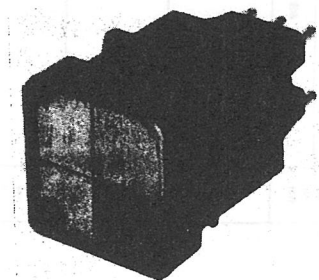


図5 高輝度放電管 (MCD管) の外観

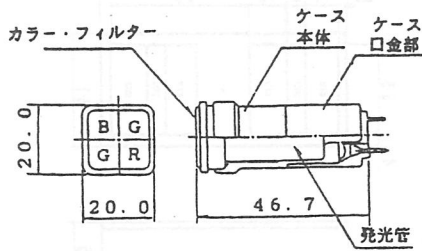


図6 高輝度放電管 (MCD管) の構造

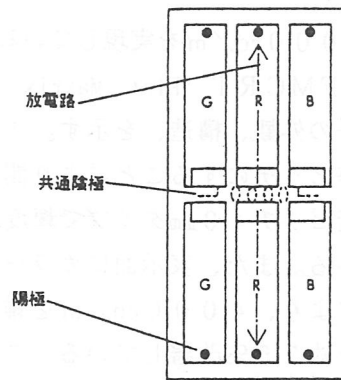


図7 高輝度放電管

図7に示す表示素子は、後方に設置したフィラメントコイルを共通陰極とし、互いに平行な放電路6本で形成されている。これら6本の放電路は、上下2組それぞれG-R-Bに発光する希土類蛍光体が塗布され、3ドットを1絵素とし、1つの表示素子は2絵素もっている。新しい緑色の蛍光体の採用とカラーフィルタにより色再現を向上させている。また、カラーフィルタにシリコン系ゴムを用いることにより断熱機能も兼ね備えさせ非発光部である後方に最冷部をつくり外気の影響を小さくしている。表示素子は絵素18mmピッチで5000 cd/m²を実現している⁷⁾。

図8に示す表示素子は、外形23mm×23mmで、これを絵素ピッチ27mmで配列し輝度5000 cd/m²を達成している。始動放電パルスとPWM (Pulse Width Modulation) 方式を組み合わせて輝度制御を行なっている⁸⁾。

図9に示す表示素子は放電路を表示面に垂直に長くすることで発光効率の良い陽光柱部を長くし、テーパ状にすることで光利用率を向上させ高輝度化を実現している⁹⁾。

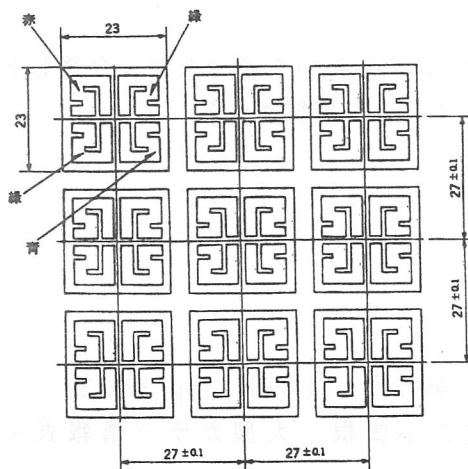


図8 表示素子配列

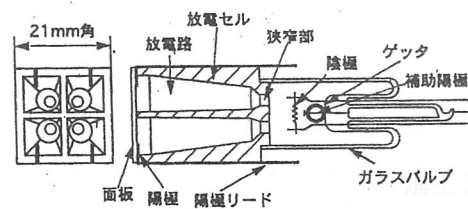


図9 表示素子の構造

(b) CRT方式

図10に概略構造を示すこの表示素子は、1個の素子にR-G-B絵素を2絵素組み込んでいる。蛍光体の配列、および面積比率を、B:R:G=0.85:0.46:1とすることにより蛍光体の電流密度がそれぞれ近い値となり、また、緑色の発光面積を増すことで高輝度化を得ることができ、絵素

ピッチ50mmで4000cd/m²を実現している¹⁰⁾。

図11、12にFMCRT (Flat Matrix CRT) と呼ばれる表示素子の外観、構造、を示す。この素子は画素パターンを不等ピッチにすることにより開口率を42%に向上させ絵素ピッチ40mmタイプで輝度4000cd/m²を実現している。また、表示面にカラーフィルタをとりつけることにより、4000cd/m²を維持しながらコントラスト比を約75%改善している。この素子は絵素ピッチ25mmで5000cd/m²のものも開発されている^{11) 12)}。

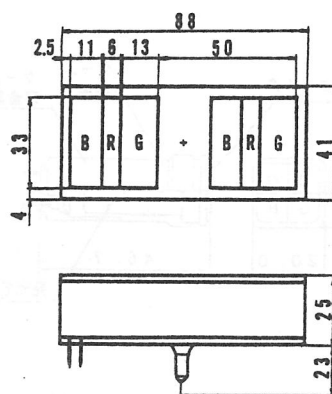


図10 表示素子の構造

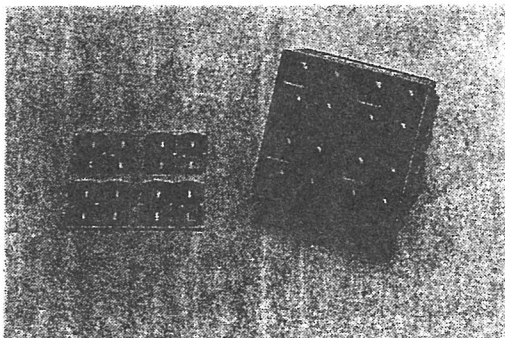


図11 表示素子 (FMCRT) の外観

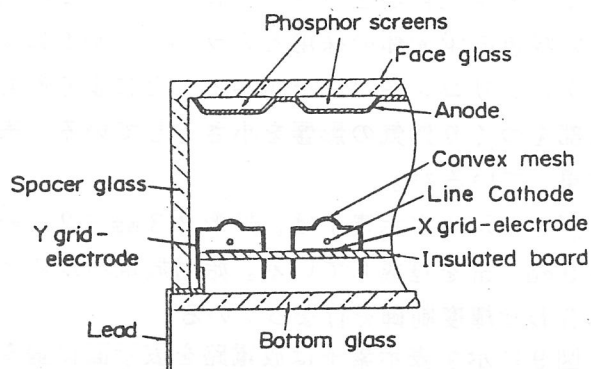


図12 表示素子 (FMCRT) の電極構造

以上、放電管方式とCRT方式を中心に大型ディスプレイの動向を述べたが、今後LEDも含め、設置環境、用途に適した表示素子が開発されていくものと期待される。

参考文献

- 1) 岡田：大画面ディスプレイ 照明学会誌 第78巻 第12号 (平6) pp.32-36
- 2) 塩浜、今村、阪口、和田、東方、小川、浪越、小曾根：大型カラー情報表示装置「Skypix」 松下電工技報 No.39 (Nov.1989) pp.13-16
- 3) 塩浜、今村、浪越、阪口、和田、東方：大型カラーディスプレイ用高輝度光源素子 照明学会 光関連材料・デバイス研究会 MD89-10 (1989) pp.65-71
- 4) 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 照明学会 光関連材料・デバイス研究会 MD91-16 (1991) pp.91-94
- 5) 岡田：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) pp.9-12
- 6) 中島：放電管方式の大型映像表示装置 平成8年度照明学会全国大会 p.333

- 7) 望月、飯田、奥野：高輝度放電管大型映像表示装置” アストロビジョン” National Technical Report Vol.38 No.4 Aug.1992 pp.78-84
- 8) 木村、石渡、佐藤、秋山、田中、木内、吉枝、石田、斉藤、安福：フルカラー大型表示盤「スーパースクリーン」 NEC技報 Vol.48 No.12 1995 pp.154-159
- 9) 土屋、木滑、品田、新井、生田、大塚：大型ディスプレイ用放電表示素子の特性検討 平成8年度照明学会全国大会 p.280
- 10) 大越、中川：大画面表示用素子の高輝度化 第216回蛍光体同学会講演 (昭62) pp.1-6
- 11) 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 EID89-33
- 12) 岩田：CRT方式の大画面ディスプレイ 平成8年度照明学会全国大会 p.331

氏名	所属機関	発表題目	発表日	発表場所
A				
A				
A				

3. 情報機器用光源の現状と動向

3. 1 H I Dランプ

3. 1. 1 H I Dランプの動作と原理

(1) H I Dランプの種類と構成¹⁾

H I D (High Intensity Discharge) ランプは高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプの総称であり、一般に次の特徴を持つ。

- (1) 1灯当たりの光束が大きい
- (2) ランプ効率が高い
- (3) 寿命が長い
- (4) 輝度が大きく形状がコンパクト

表1に各ランプの構成材料を示す。

表1 H I Dランプの構成材料

ランプ	発光管材料	主発光物	封入物質	希ガス
高圧水銀ランプ	石英	H g		A r
メタルハライドランプ	石英	金属ハロゲン化物	H g	A r
高圧ナトリウムランプ	透光性アルミナ	N a	H g	X e

ランプの種類により、封入物や構成材料が異なるが、基本構造、原理はほぼ同一である。図1に高圧水銀ランプの構造模式図を示すが、硬質ガラス製の外管①の中には、石英ガラス製の発光管②と、その発光管を支えながら電気を供給する金属部材③が収容されている。発光管②の両端には、放電を発生させるための電極④を装着、内部には発光物質の水銀と始動ガスのアルゴンガスが封入されている。外管の中に封入された窒素ガスは、ランプ点灯中の発光管の高温化に伴う金属部品の酸化を防止する。そして発光管内の両電極間で起こる放電により水銀原子が発光する。メタルハライドランプでは、発光物質として水銀の他にN aやS cなどの金属ハロゲン化物

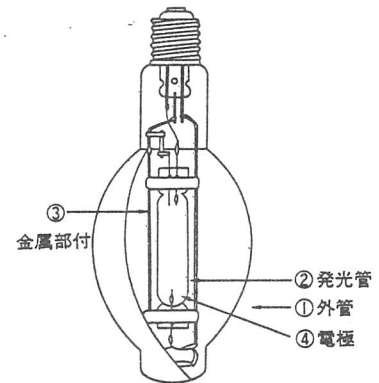


図1 H I Dランプの構造

(N a I, S c I₃ など)を封入し、それらの金属の広範囲に渡るスペクトルを利用する。高圧ナトリウムランプでは発光物質としてN aを封入、発光管には石英ガラスの代わりに、高温のN a蒸気に耐える透光性アルミナセラミックスを使用する。

H I Dランプを点灯するには、蛍光灯と同様に安定器が必要である。安定器の役割は放電を開始することと放電を維持することである。放電を容易にするために、時に高圧のパルス電圧を電極間に印加する。パルス発生装置はランプまたは安定器に内蔵される。

H I Dランプでは、スイッチを入れてから高温状態に達するまで通常数分を要するので光束の立上がりは遅い。また消灯直後では発光管の中は温度が高く、水銀蒸気により高圧になっているので始動に比べて再始動（消灯短時間後に始動）は困難である。

(2) メタルハライドランプの動作原理と光特性

情報機器用光源としてはH I Dランプの中ではメタルハライドランプが一番使用される可能性が大きいので、これからの(2)~(4)ではメタルハライドランプについて述べる。

(a) メタルハライドランプの発光

まず発光管の中は水銀と金属ハロゲン化合物とArガスが封入されている。Arガスはランプの始動を容易にする機能をもつ(始動ガス)。水銀は高圧水銀ランプの場合は主発光物質であるが、メタルハライドランプの場合ではランプの電気特性とアーク放電による最適温度特性を維持する働きをする。金属ハロゲン化合物は図2に示すような蒸気圧²⁾を持ち、一般に該当する金属よりずっと蒸気圧が高い。メタルハライドランプでは発光管の最冷部温度(普通650~850℃)でこのように金属ハロゲン化合物として蒸発することで、アーク中に十分発光させるに足る量の金属を供給する。図3

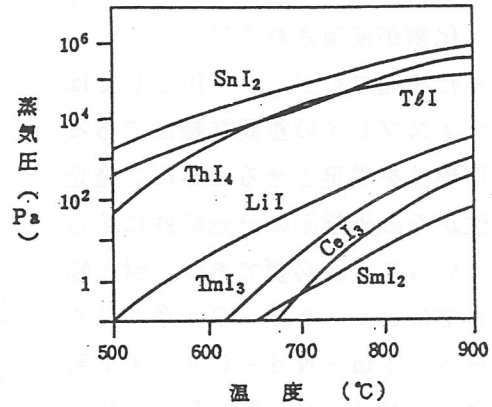


図2 金属ハロゲン化合物の蒸気圧

にこの関係を示す。すなわち金属ハロゲン化合物(MX)は発光管の管壁温度で蒸発し(MXガスとなる)、アーク中の高温(アーク中心では5000~6000K)で解離(金属MとハロゲンXに分解する)して、金属がアーク中の高温により励起され発光する。このようなアーク中のガス温度に対する分圧分布は熱平衡の理論から計算でき、図4にNaI-ScI₃封入系の計算結果²⁾を示す。

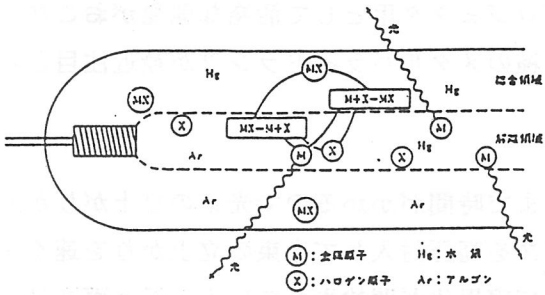


図3 アーク中の金属ハロゲン化合物の解離

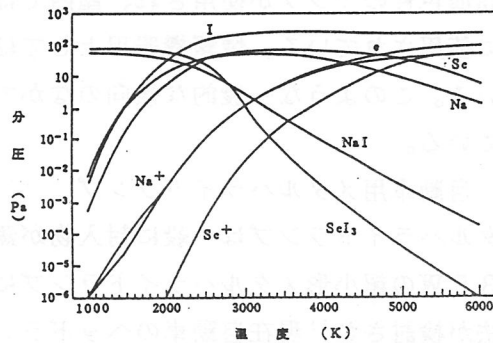


図4 アーク中のガスの分圧分布

(b) メタルハライドランプの光特性

メタルハライドランプは封入金属ハロゲン化合物がアーク中で解離した金属が発光するので封入金属ハロゲン化合物の選択、組み合わせがランプの光特性でキーポイントとなる。表2に現在良く使用されている4つの封入物系の特性を示す³⁾。

表2 メタルハライドランプの特性

封入物	効率(lm/W)	相関色温度 (K)	平均演色評価数
Na-Tl-In系	80	5,500	70
Sc-Na系	90~130	4,000	60~70
Dy-Tl系	70~80	6,500	90
Sn系	50~60	5,000	92

この4つの封入物系の分光分布を
図5に示す³⁾。また特殊用途には
それに適した封入物系がありたとえ
ば製版用としてはGaやFeのハロ
ゲン化物が使用される⁴⁾。

また液晶プロジェクタ用としては
、ディスプレイの重要な特性である
色再現性を満足させるために、発光
特性がその光学系の分光特性に適合
していることが必要であり、封入物
としてはDy-Tl-Cs系、Dy
-Ho-Tm-Nd-Cs-Tl系
、Dy-Nd-Cs系、Dy-Sn
-Cs-In-Tl系、Lu-Li
系、Gd-Lu系などが検討されて
いる。

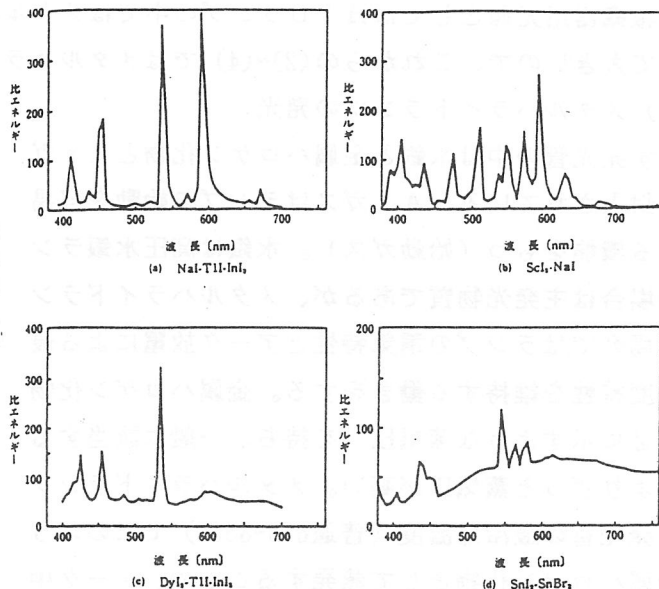


図5 封入物系と分光分布

(3) メタルハライドランプの開発動向

メタルハライドランプの開発動向は高効率・高演色性と低ワット・コンパクト化の方向に
あり、屋外ではハイビジョン (HDTV) によるスポーツ中継の流れの中でスポーツ競技場な
どで高演色性のランプが使用され、屋内では店舗照明などで低ワットで高演色性のランプが
盛んに使用されている。情報機器用としては液晶プロジェクタ用として活発な開発がおこなわ
れている。このような一般的な傾向のなかで次の3種のメタルハライドランプが最近注目され
てきている。

(a) 自動車用メタルハライドランプ

メタルハライドランプは一般に封入物が蒸発するまで時間がかかるので光束の立上りが遅
い。35Wの超小形メタルハライドランプにXeガスを高圧封入して光束の立上りを速くす
る方法が検討され⁵⁾ 現在自動車のヘッドランプとして実用化が開始されている。Xeガスはス
イッチオン直後に光るとともにランプ電圧を維持する働きをする。Xeガスは効率が低く、ま
たランプ電圧も小さいので、始動時ランプ電力を定常時の数倍入れるためにランプ電流を定状
時の7倍程度流して時間とともに絞っていく。このようにして図6⁶⁾のように5秒以内に光束
が100%になる。図7に自動車ヘッドライト用メタルハライドランプの構造を示す⁷⁾。

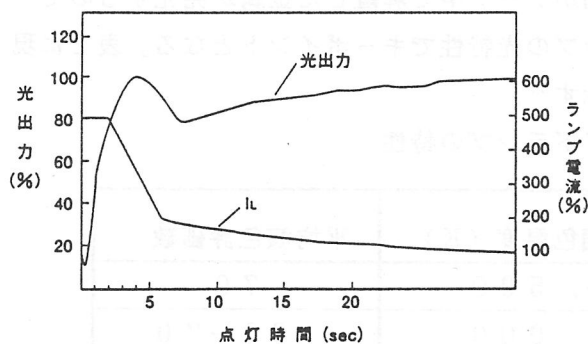


図6 光出力の時間変化

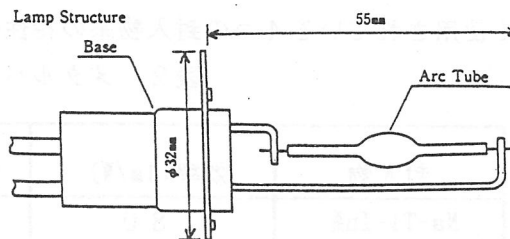


図7 自動車ヘッドライトの構造

(b) 無電極メタルハライドランプ

これまで述べたメタルハライドランプは電極を有するが、電極がない無電極メタルハライドランプも最近活発に開発が行われている。

無電極メタルハライドランプの特徴は⁸⁾

- (1) 電極との反応、電極自身による寿命の制限がなく長寿命である。
- (2) 封入物の制約が大幅に小さくなり、高効率・高演色性の特性を持つ材料を選択できる。
- (3) 電極損失がなく、また発光管を球状にでき、表面積を小さくできるため、表面からの熱損失が少なく、高効率である。
- (4) 構造、構成が簡単で熱容量も小さくできる。それ故光束立ち上がりが速い。

従来無電極メタルハライドランプはマイクロ波放電によるものが知られている⁹⁾。添加に物としてはFeやGaのハロゲン化物であり紫外域に効率良く発光し、印刷の写真製版用や樹脂硬化用等産業用に用いられている。マイクロ波放電光源装置の例を図8に示す⁹⁾。

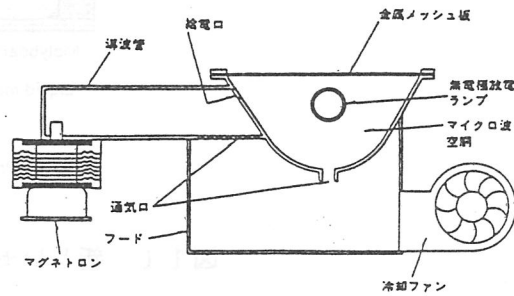


図8 マイクロ波放電光源装置

最近 13.56MHz で点灯するタイプの無電極メタルハライドランプの開発が盛んである。

図9に示すような無電極HIDランプ点灯システム

が示されている¹⁰⁾。このランプは起動時から安定点灯に至までの間、ランプ特性(インピーダンス)大きく変化するため、実用化するためには、強く小型かつ廉価な高効率パワーアンプを開発されていることが望まれている。

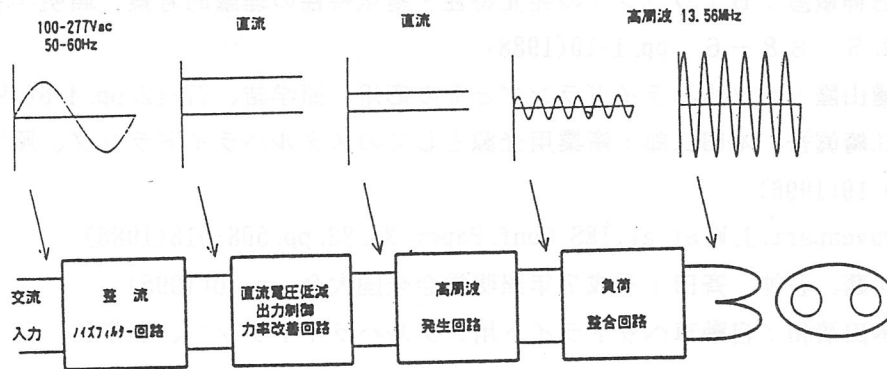


図9 無電極HIDランプ点灯システム

(c) セラミック発光管のメタルハライドランプ

メタルハライドランプは発光管材料としては石英を使用している。現在高効率・高演色性の特性を得るために希土類金属のハロゲン化物を使用し、しかもその蒸気圧を上げるために管壁負荷を大きくしている。このために発光管の温度が上昇し、石英と希土類金属の反応が顕著になり、寿命特性が悪くなる。そこで高圧ナトリウムランプの発光管材料である透光性アルミナを発光管材料とするセラミック発光管のメタルハライドランプが検

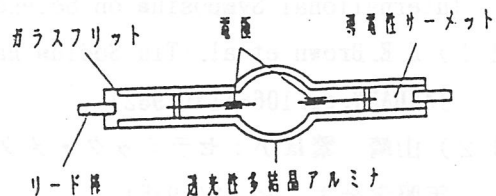


図10 セラミック発光管の構造

討された^{10) 11)}。新しい電流導入材料としてタングステンとアルミナの混合焼結体であるサーメットが検討された。この種のランプ構造を図10に示す。しかしこのタイプのランプはいろいろな問題がありまだ実用化されていない。最近このようなサーメットを使用しない図11のような構造のランプが開発され、店舗用などで一部商品化されてきている。

The Ceramic Metal Halide lamp

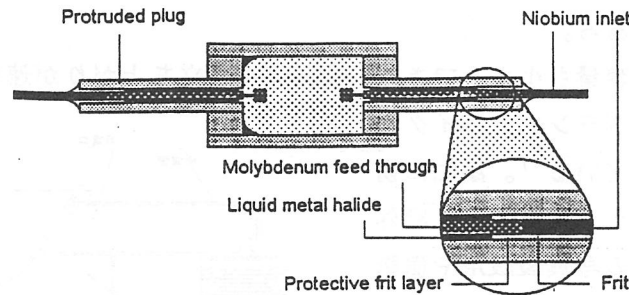


図11 新しいセラミック発光管の構造

参考文献

- (1) 東芝ライテック(株) ランプ総合カタログ(1996年)
- (2) 石神敏彦: HIDランプの発光特性・電気特性の理論的考察、照明学会公開研究会 LS-88-6 pp.1-10(1988)
- (3) 浦山隆: メタルハライドランプとその応用、照学誌、77-12, pp.4-6(1996)
- (4) 江崎眞吾、本田二郎: 産業用光源としてのメタルハライドランプ、照学誌、77-12 p.19(1996)
- (5) Davenport, J. M. et al: IES Conf. Paper No. 26, pp. 508-518(1988)
- (6) 伊藤、石神、斉田: 平成7年照明学会全国大会、p.70(1995)
- (7) 本田清和: 自動車ヘッドライト用メタルハライドランプ、照学誌、77-12, p.31(1996)
- (8) 井上昭浩: 無電極メタルハライドランプ、照学誌、77-12, p.31(1996)
- (9) K. Yoshizawa: New Light Source Using Microwave Discharge, J. Illum. Engng. Soc. 14, p. 283(1984)
- (10) Stewart, C. N. et al.: Inductively Coupled HID Lighting Systems, 6th International Symposium on Science and Technology of Light Sources, No. 78(1992)
- (11) K. E. Brown et al.: Tin Sodium Halide Lamps in Ceramic Envelopes, J. of IES, 77 JANUARY, pp. 106-114(1982)
- (12) 山崎 繁ほか: セラミック・メタルハライドランプの特性とその新しい構造、昭60年照学全大、No. 32(1985)

3. 1. 2 情報機器用H I Dランプ

小形の液晶やマイクロミラーデバイスを画像表示素子として用いて、素子上の画像をレンズ系を用いて拡大投影する投射型ディスプレイ装置（液晶プロジェクタ）は、ビデオ機器やパソコン等で処理された情報を手軽に大画面表示できるため、OHP、スライドプロジェクタ等と共に会議や催し物会場等大勢の集まる場所での情報伝達機器として欠かせない存在となっている。

液晶プロジェクタの光学系は図1に示すように、光源から放射される白色光をダイクロイックフィルタによって赤、緑、青の三原色に分離し、ライトバルブとして動作する3枚の液晶パネルを透過させることによって形成された赤、緑、青の各モノクロ色画像を再び合成し、投射レンズを用いてスクリーン上に拡大投影することでフルカラーの大画面映像を得る構成が一般的である。1)

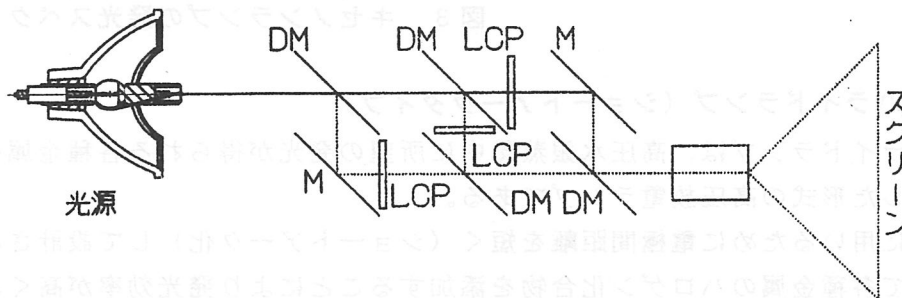


図1 液晶プロジェクタの光学系例

液晶プロジェクタ用光源は、一般には図1に示すように回転放物面や回転楕円面を有する反射鏡を一体的に位置合わせして発光管からの光を効率良く液晶パネルに照射するように設計されている。

光源に要求される特性は、概ね下記の通りである。2)

- (1) 光学系の特性に適合した赤・緑・青に対応する発光スペクトル特性を有すること。
- (2) 高輝度で、点光源に近似しており、光の利用効率が高いこと。
- (3) 発光効率が高く、熱損失が少ないこと。
- (4) 点灯時間に対して特性が安定しており、長寿命であること。
- (5) その他（安全性、点灯用電源の小形化、適正コスト等）

現在のところこれらの要求を全ての点で満足する光源は存在せず、重視する要件によりハロゲン電球、キセノンランプ、メタルハライドランプ等の光源が選択、使用されている。

(1) キセノンランプ

キセノンランプは、従来より映写機用光源として用いられており、図2に例示する発光管構造を有する高輝度の点光源として代表的なH I Dランプである。3)

キセノンランプは一般に直流点灯され、図3に示すように可視域では太陽光に近い発光スペクトル分布特性を有するが、赤外域に大きな発光ピークを持つため、

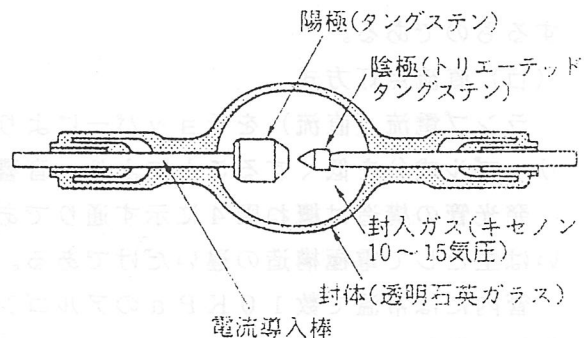


図2 キセノンランプの構造例

発光効率が低く、またプロジェクタ装置本体での熱対策が必要となる。

内部には常温で10～15気圧のキセノンガスが封入されており、動作時の内圧は30～40気圧に達し取り扱いが難しい等の理由から高度な機能を要求される高級機種を除いて後述のショートアークタイプのメタルハライドランプに置き換えられつつある。

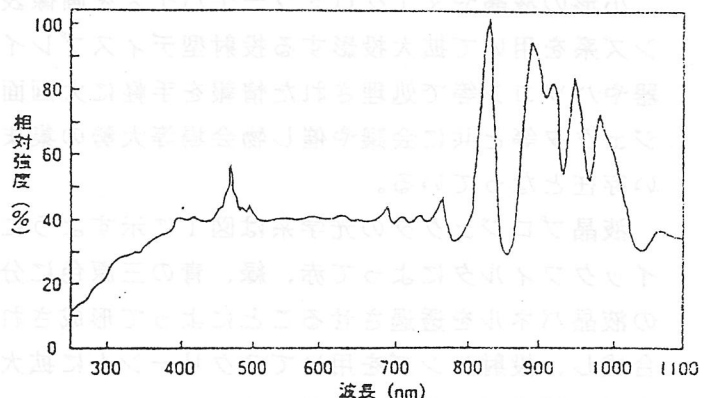


図3 キセノンランプの発光スペクトル分布例

(2) メタルハライドランプ (ショートアークタイプ)

メタルハライドランプは、高圧水銀蒸気中に所望の発光が得られる各種金属のハロゲン化合物を添加した形式の高圧放電ランプである。

光学用途に用いるために電極間距離を短く(ショートアーク化)して設計されているが、水銀に加えて各種金属のハロゲン化合物を添加することにより発光効率が高く、赤緑青の各色分離フィルタの分光特性に対応した発光スペクトル分布特性が得られることからプロジェクタ用光源として広く用いられており、また添加する金属ハロゲン化合物により発光スペクトルが種々変えられることから、最も可能性を秘めた光源として改善、研究が続けられている。

ショートアークタイプのメタルハライドランプは点灯方式により矩形波交流点灯用ランプと直流点灯用ランプが実用化されている。

(イ) 矩形波交流点灯方式

メタルハライドランプは、高周波で点灯するとある周波数範囲でアークが揺らいだり、立消えしたりする不安定状態を誘発する場合がある。

この現象は音響的共鳴現象と呼ばれており、主にランプ発光管内に存在する水銀蒸気の粗密波が特定の周波数で共鳴し、圧力の定在波の分布形状によってアークが曲げられたり不安定になる現象である。

この現象を回避する方法として実用化された方式が矩形波交流点灯方式であり、低周波(ランプによって異なるが数10Hz～数100Hz)の矩形波電流によりランプを点灯するものである。

(ロ) 直流点灯方式

ランプ電流(直流)をチョッパーにより制御する点灯方式であり、ランプ電流の高周波リップル成分を低くすることにより、音響共鳴現象を避けることができる。

発光管の構造は概ね図4に示す通りであり、交流点灯用ランプと直流点灯用ランプの違いは主として電極構造の違いだけである。

管内には常温で数10KPaのアルゴンガスとともに水銀および金属ハロゲン化合物を添加してある。

ランプ動作時の内圧は主として封入された水銀量と発光管の内容積、動作時の発光管内

温度に依存するが、電極間距離が5 mmクラスで10数～20数気圧、後述の短アーク化に伴って30～40気圧に達するものもある。

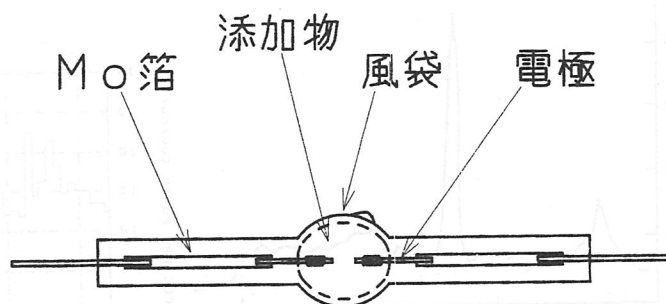


図4 メタルハライドランプの構造例

表1に現在市場で用いられているメタルハライドランプの特性例を示す。

電力	ランプ電圧	電極間距離	全光束	色温度
AC 120W	65 V	3.0 mm	9,000 lm	7,000 K
AC 150W	80 V	5.0 mm	12,000 lm	7,000 K
AC 150W	65 V	3.0 mm	10,000 lm	6,500 K
AC 250W	80 V	5.0 mm	18,000 lm	7,000 K
AC 250W	65 V	3.0 mm	15,000 lm	6,500 K
DC 150W	50 V	1.5 mm	8,500 lm	6,500 K
DC 180W	60 V	3.0 mm	11,000 lm	7,500 K
DC 250W	60 V	3.0 mm	15,000 lm	6,500 K

表1 メタルハライドランプ（ショートアークタイプ）の特性例

(a) 発光スペクトル特性

投射画面上での良好な色再現性を得るには、プロジェクタ用光源の発光スペクトル分布が液晶プロジェクタ装置の光学系全体の分光特性に適合していることが重要である。

メタルハライドランプでは各種金属の組合せによる発光スペクトル分布の改善が試みられており、Dy-Tl-Cs系4)、Dy-Nd-Cs系5)、Dy-Sn-Cs-In-Tl系6)、Lu-Cs-Li系7)、Gd-Lu-Cs系8)等の希土類金属を含んだ添加物系が報告されている。

希土類金属は、可視域の広い範囲に密集した線スペクトルを有しているために高効率で演色性の良いランプが得られ、色分離フィルタ等他の光学部品の設計裕度も大きくなる特徴を有している。

特にDyやNdを含んだ系では赤緑青のいずれもNTSC三原色に近似した純度の高い単色光が得られることが報告されている。4)

また、青緑赤に対応したIn-Tl-Li系の添加物もアルカリ金属に対する耐性の大きいセラミック容器内で発光させる技術と共に報告されている。9)

各添加物系の発光スペクトル分布例を図5～図10に示す。

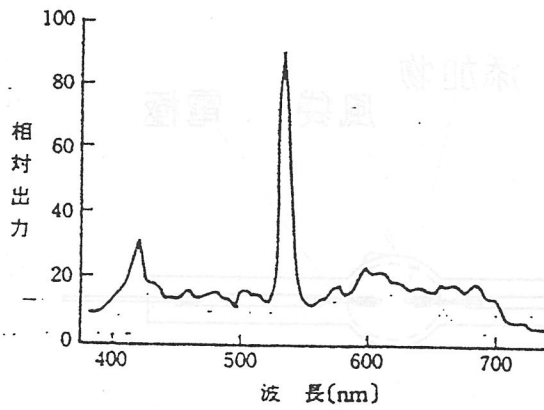


図5 Dy-Tl-Cs系

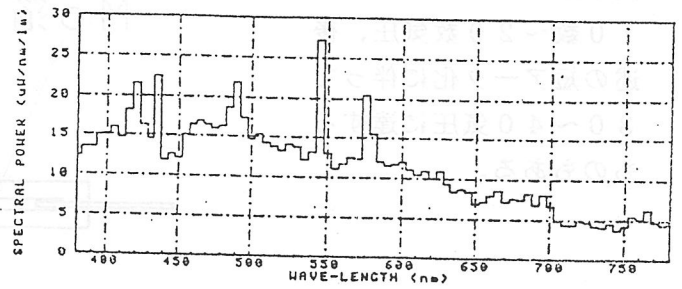


図6 Dy-Nd-Cs系

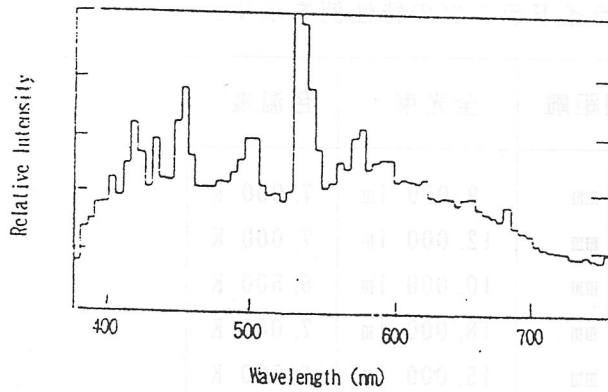


図7 Dy-Sn-Cs-In-Tl系

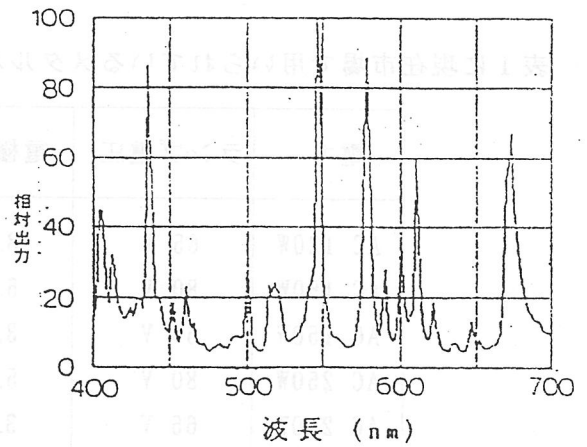


図8 Lu-Cs-Li系

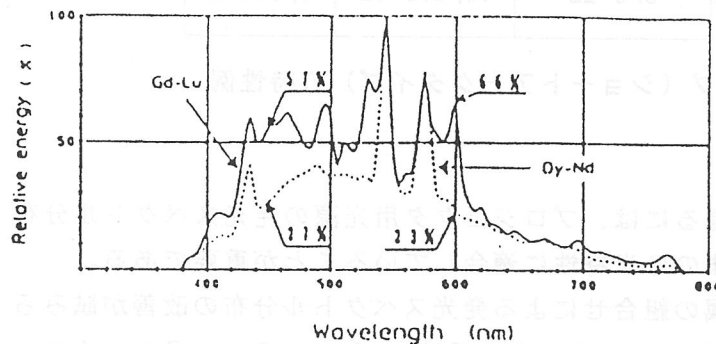


図9 Gd-Lu-Cs系

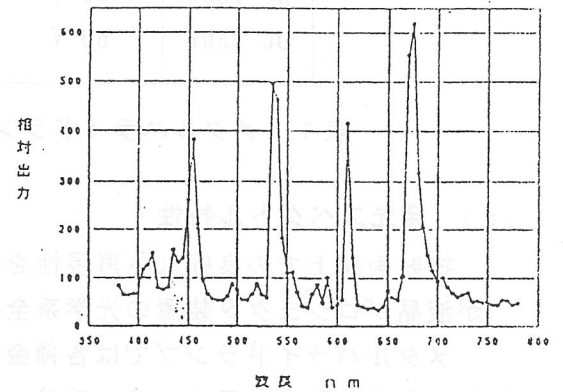


図10 In-Tl-Li系

(b) 点光源化

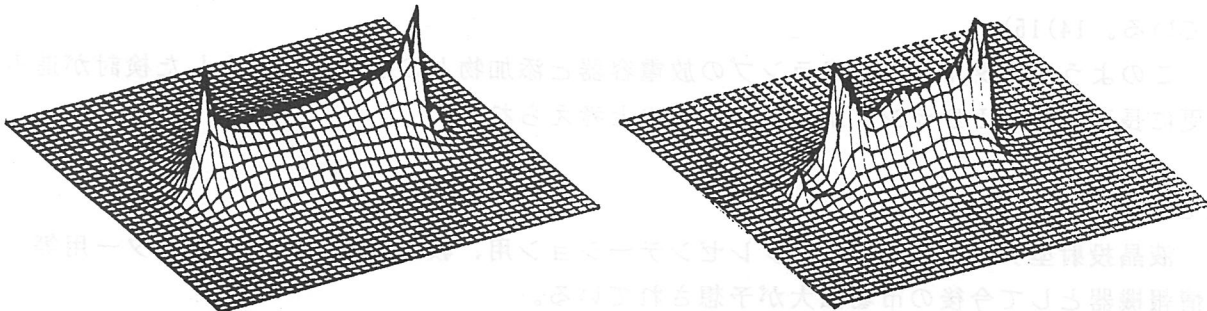
投射形ディスプレイにおいて光学的な効率を増大させるためには、発光部を出来るだけ点光源に近似させることが必要である。

メタルハライドランプは、当初5mm～7.5mm程度の電極間距離のランプであったがパネルサイズが3インチクラスの場合、利用光量の増大を図るためには電極間距離を3～4mmとする必要があることが報告されている。10)

交流点灯用150Wメタルハライドランプの電極間距離が5mmの場合と3mmの場合

のアーカの輝度分布例を図11(a)、(b)に示す。

電極間距離を短縮することによって輝度分布がより点光源に近づく様子が分かる。



(a) 電極間距離 ; 5 mm

(b) 電極間距離 ; 3 mm

図11 150Wメタルハライドランプの輝度分布例

最近ではポリシリコン-TFTを用いた1インチクラスの液晶パネルを使用し、オプティカルインテグレート光学系を搭載した液晶プロジェクタが多くなっており、パネルサイズおよび装置の小形化、軽量化の要求に伴いメタルハライドランプの短アーク化が急速に進行している。

しかしながら、電極間距離を短くすることは、

- 1) 電極損失増大に伴う発光効率、発光スペクトル特性の低下
- 2) 電極物質のスパッタリングに起因する管壁の黒化等による寿命特性の悪化
- 3) ランプ電流が大きくなり、安定器の大形化によるトータルコストの上昇

等の問題を伴い、最適な設計ポイントを模索しているのが実状である。

(c) 長寿命化

放電容器材料として石英ガラスを用い、希土類金属を主体とするハロゲン化合物を添加したメタルハライドランプでは、点灯中石英ガラスと添加物との化学反応によって放電容器の内壁が失透することが知られている。11)

反射鏡との組み合わせで光を制御する液晶プロジェクタ用メタルハライドランプでは、この放電容器の失透は、光の散乱を生じて集光効率が低下するために投射画面上の照度低下を引き起したり、発光管の温度分布を変化させることによって発光スペクトル特性を変化させる等の大きな原因となっている。

放電容器の失透を回避、低減する方法として、

- 1) 鉛直点灯の場合、上側電極を延長して発光管上部の温度分布の平準化を図った例 12)
- 2) 水平点灯の場合、発光管上部のみを局所空冷する機構を設けた例 13)
- 3) Dy-Nd-Cs系添加物においてCsの比率を高くしてアークの均一化を図った例 5)
- 4) 添加物を沃化物系から臭化物系に変更し、寿命改善を確認した例 6)

等が報告されてる。

また、石英製容器に変えて多結晶のアルミナセラミックスを用いたランプの試みも行わ

れている。9)

一方メタルハライドランプを直流で点灯した場合には、放電によって分解された金属蒸気が陰極側に多く集まり、発光色や輝度に偏りが生ずる現象（カタホリシス現象）が発生するものの、石英内壁の失透を陰極側に限定できるので反射鏡開口部側に陰極を位置させることにより交流点灯の場合に比べて長期間スクリーン照度を維持できることが報告されている。14)15)

このようにメタルハライドランプの放電容器と添加物との挙動を中心とした検討が進み、更に長寿命のH I Dランプが出現するものと考えられる。

(3) 今後の展望

液晶投射型ディスプレイは、プレゼンテーション用、教育機器用、監視モニター用等の情報機器として今後の市場拡大が予想されている。

これらに用いられるプロジェクタ用H I Dランプは、メタルハライドランプを中心に更にショートアーク化、長寿命化が進行し、高輝度の液晶投射型ディスプレイ装置が出現するものと思われる。

また、表2に示す特性を有する金属のハロゲン化合物を用いないショートアークタイプの超高圧水銀ランプの開発16)、硫黄をマイクロ波で励起する無電極ランプ17)等の新しい機構のH I Dランプも報告されており、既に前者を搭載した液晶プロジェクタが製品化されている。

Arc Gap	< 1.4 mm
Lamp Wattage	100 W
Luminous Flux	6,000 lm
Average Luminance	560×10^6 cd/m ²
Color Temperature Tc	8,500 K
Peak Intensity in the Bundle at 3m	200,000 lx, $>1.8 \times 10^6$ cd
Full Width Beam Half Angle	2°
Color Rendering Index Ra	60
Average Rated Life	>4,000 Hrs (target 8,000 Hrs)
Bundle Maintenance	75% after 4,000 Hrs

表2 超高圧水銀（UHP）ランプの特性

参考文献

- (1) 大江 均他；液晶ビジョンXV-100Z、シャープ技法、43、103(1989)
- (2) 増井、金井、漆原、柵木；液晶プロジェクタ用光源、第231回蛍光体同学会、21(1990)
- (3) 浅田茂；液晶プロジェクションテレビの設計技術、トリケップス、WS 107、119(平1)
- (4) 友清他；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、照学研究会資料 MD-90-5、31(1990)
- (5) 北原、諏訪、渡辺、友清；液晶プロジェクタ用メタルハライドランプ、National Techn. Rep.、38-6、605(1992)
- (6) 川島、田中、本田；プロジェクタ用光源に適したメタルハライドランプについての一考察、

照学全大、24(平4)

- (7) 成田他; 液晶OHP用メタルハライドランプ、照学研究会資料 LS-90-4、25(平2)
- (8) N. Takeuchi, et al; SHORT ARC METAL HALIDE LAMP WITH NEW INGREDIENTS FOR LCD PROJECTOR, LS-7 No. 28、111(1995)
- (9) 高津他; 映像機器用セラミックメタルハライドランプの開発、照学研究会資料 MD-90-37、40(平2)
- (10) 吉池、漆原、大河原、柵木; 液晶プロジェクタ用メタルハライドランプの省電力化、照学全大、218(平5)
- (11) 大村他; 希土類系メタルハライドランプにおける封入物と石英ガラスとの反応、照学全大、35(平2)
- (12) 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、S11-2(平3)
- (13) 柵木教一; 光学機器組込用メタルハライドランプ、照学誌、77-12、24(1993)
- (14) 東忠利; 短アークメタルハライドランプの直流点灯と寿命特性、照学全大、24(平5)
- (15) 東、有本; 液晶投射形ディスプレイ用直流点灯メタルハライドランプの寿命特性、照学全大、25(平6)
- (16) E. Schnedler, H. V. Wijngaade; Ultrahigh-Intensity Short-Arc Long-Life Lamp System, SID 95 DIGEST, 11.1(1995)
- (17) D. A. MacLennan, J. T. Dolan, M. G. Ury; New Long-Lived Stable Light Source for Projection-Display Applications, SID 92 DIGEST, 24.5(1992)

3. 2 水銀蛍光ランプ

3. 2. 1 冷陰極水銀蛍光ランプ

(1) 種類と用途

情報機器に用いられる冷陰極水銀蛍光ランプは熱陰極蛍光ランプに比べ効率では劣るものの、長寿命、且つ電極構造が簡単で容易に小形化（細管化）出来、その形状から直管型、屈曲型、及び平板型が実用化されている。直管型は最近発展著しいパソコン、ワープロ等の導光板方式（サイドライト方式）液晶バックライト光源の他、ファクシミリ、イメージスキャナ等の読取り用光源に、又、W字、U字、コ字型等の屈曲型は液晶TVや車載用ナビゲーター等の直下式（反射板方式）バックライト用光源として広く用いられている。形状の違いから見た適用機器の一例を表1にまとめる。

表1 冷陰極水銀蛍光ランプの応用例

形状	使用機器	用途	大きさ
直管型	ワープロ	導光板方式 バックライト	φ2.0~6.5mm L70~300mm
	パソコン		
	ファクシミリ	読取り用	φ6~15.5mm L70~460mm
	イメージスキャナ		
屈曲型	液晶TV	反射板方式 バックライト	対角3~6.5インチ (76~165mm)
	ナビゲーター		
平板型	8mmビデオ	ビューファインダー	対角2.5インチ
	スチルカメラ	バックライト	

ランプの発光色は機器の要求に応じて比較的自由に選択出来、カラー液晶バックライト用ではユニットに使われる光学部材の分光特性に合わせて3波長の種々の色温度が用いられている。寿命は5mAで平均寿命15,000~20,000時間が標準である¹⁾。冷陰極水銀蛍光ランプは熱陰極水銀蛍光ランプと同様に、管内水銀蒸気圧で諸特性が決まるため、特に始動特性と明るさが周囲温度によって著しく影響される。冷陰極水銀蛍光ランプを用いている機器側からの要求項目を表2にまとめて示す。

表2 光源に対する機器側からの要求

用途 要求	バックライト		PPC 露光	ファクシミリイメージスキャ 読取り	
	導光板方式	反射板方式			
小形化	○	△	○	◎	◎
高出力	注1	○	△	△	△
色再現性	◎	◎	○	◎	△
省電力	△	○	◎	○	○
輝度上がり	◎	○	△	◎	◎
特性変動低減	○	△	○	○	○
長寿命	注1	◎	○	◎	◎
追加要求 機能	ノートPC → 細径化、省電力、高輝度 大型モニター → 長尺化、高出力、長寿命				

◎：現状で十分

○：現状から若干の改善

△：現状からの大幅改善

注1 ノートパソコンでは○ 大型モニターでは△

(a) 導光板式バックライト

携帯用パソコンではバッテリー駆動の必要性から低電流駆動（低消費電力）での高輝度の実現と、更に薄型化と軽量化のための細管化の要求が極めて強い。一方、液晶の技術的改善と大型化に伴いモニター分野でのCRT置換えへ機運が高まっている。この分野では携帯用パソコンと異なり、大電流、高出力、長寿命への要求が強く、この長寿命化は携帯用パソコンの分野にも波及している。

(b) 直下式バックライト

この方式は輝度ムラは出やすいもののランプからの光出力を効率よく利用出来、高い板面輝度を要求される車載用ナビゲーターや液晶TV等に用いられている。この用途には一般的な直管形状からU字型、W字型等特殊な形状にすることで光学ユニットとしての効率面の利点を生かしたランプが実用化されている。冷陰極ランプでは発光に寄与しない陰極損失が1本分で済み、直管ランプを複数本並べた場合よりも発光効率を高く出来、且つインバーターも1個で済みコスト的利点もある。これらW字型冷陰極蛍光ランプでは展開長さが余り長いと始動電圧が高くなり現在表示対角長6.5インチ（165mm）程度まで実用化されている。更に、-30℃~40℃の低温で高輝度を要求される車載用では低温での高い始動電圧と点灯後の輝度立上り時間を短縮するためにランプに低温補償用ヒーターを取付けているものもある²⁾。最近エッジライト方式で導光板の隣接する辺に当接するL字型、或いはコ字型管が普及しようとしている。これらは表示対角長4~6.5インチ（102~165mm）クラスの直下型に対する薄型化に応えるものである。

(c) P P C露光用

アナログ式P P Cでは高い光出力の必要から主としてハロゲン電球が用いられて来たが最近のデジタル化の普及に伴い熱陰極、冷陰極水銀蛍光ランプの適用が進みつつある。

(d) 読取り用

多様な要求性能を満たすために希ガス放電ランプを含め、種々の光源が使用される分野である。

(2) 細管冷陰極水銀蛍光ランプ

ノート型パソコンのLCDモジュール厚さは過去5年間でほぼ40%減少し7.5mm程度になっている（図1）。この内バックライトが50%強を占め、現在では4mm弱にまで薄くなっている。主流となるランプ径はほぼ2年毎に縮小し、10インチサイズに換算したランプ消費電力も大幅に低下している（図2）。この傾向はLCDの技術的な改善と相俟って最近ではスピードを早めている。

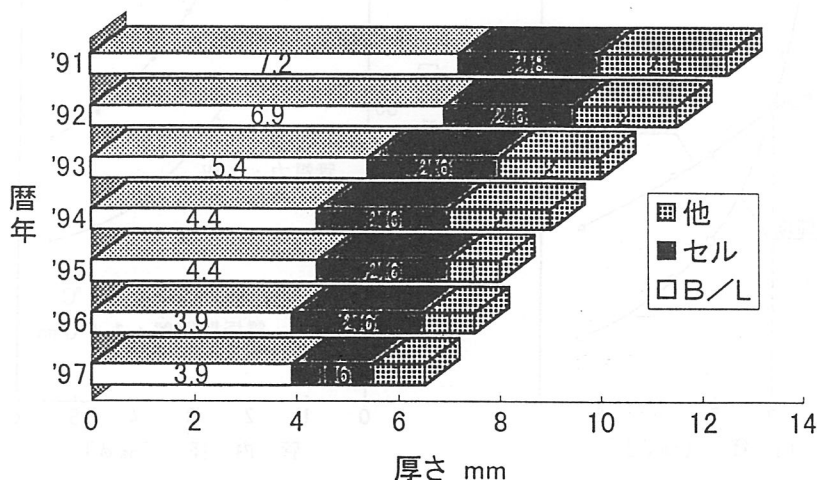


図1 LCDモジュール厚さのトレンド

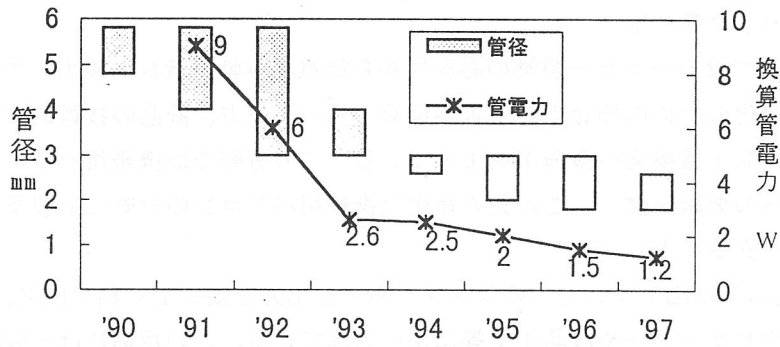


図2 冷陰極蛍光ランプ細管化のトレンド

'92年頃から市場に浸透し始めたφ3.0mmは'94年にはφ2.6mm、更に'95年にはφ2.4mmとなり'96年～'97年中にはφ2.0mmが主流になるものと思われる。モジュール厚は2000年には5mmにという要望もあり、更に細いφ2mm未満(1.5~1.8mm)の開発も進められている。

細管化は導光板方式バックライトの導光板の薄型化に伴う光の利用率を改善し、板面輝度を高めるのに有効で、導光板の薄型化とお互いに追従する形で進展してきた。しかし、反面始動電圧や管電圧の上昇、高周波点灯に伴う周波数の影響、更には始動性の悪化等従来には無かった実用面での影響を伴っている。

(a) ランプ特性

輝度はほぼ管径に反比例して増加する(図3)。このことは特に導光板方式のバックライトでは細管化に伴い導光板への入射効率の向上に加えて、高いランプ輝度が板面輝度を高め細管化を促進した理由である。一方、ランプの発光効率は管径が細くなるに従って増加し、内径2.0mm付近でほぼピークを示し、それ以下では飽和し徐々に低下する(図4)の)。これは管径が細くなるに従って陽光柱での電力の上昇から水銀蒸気圧が高くなり発光効率が增加するが、管壁温度が高くなり過ぎると過度の水銀蒸気圧の上昇が紫外線の放射効率を低下させ、効率が低下することによる。この陽極電力の上昇は始動電圧や管電圧の上昇(図5)を意味し、細管化により点灯回路を難しくしている。

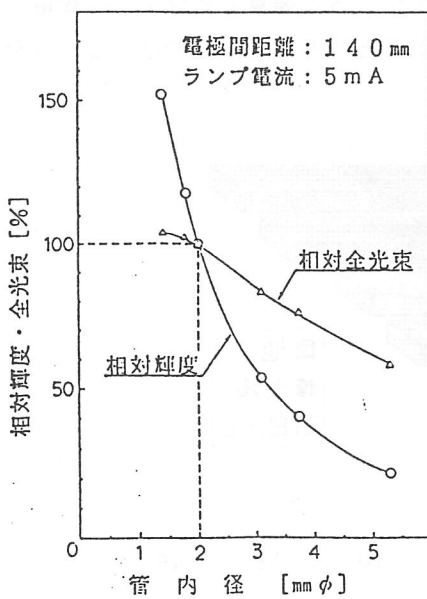


図3 管内径と相対輝度

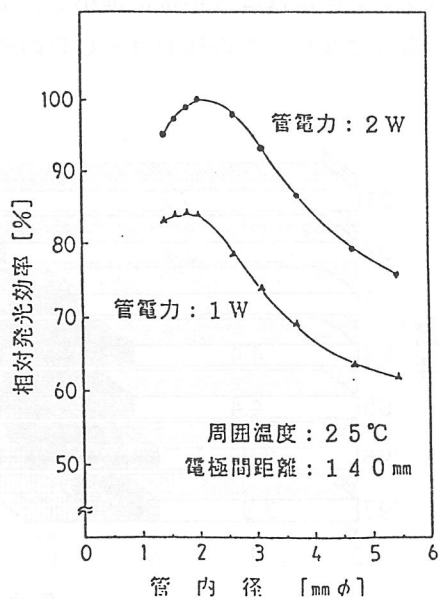


図4 管内径と相対発光効率

しかし、この効率のピークの様子は電流に依存し、より低電流ではピークより細い管径での効率の低下は緩和され、より細い管径にピークが移る傾向がある。この低電流駆動が細管化を促進したもう一つの要因である。

管電圧・始動電圧の上昇と効率の低下の対策として封入ガス (Ne-Ar 混合ガス) の混合比と封入圧による温度コントロールで適正な状態を得ている⁴⁾。実際のランプではランプ長、ランプ電力等によって温度飽和の状態が異なり、ランプの使用条件を考慮しながらガス種、ガス圧を管径に合わせて最適化する方法が取られている (図6)⁵⁾。

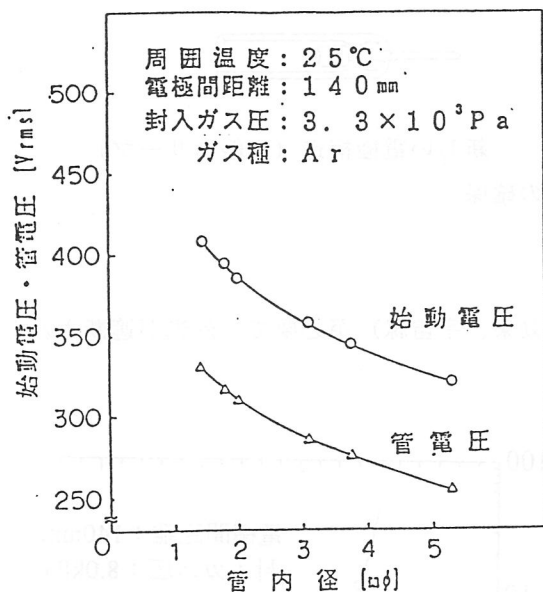


図5 管径と始動電圧・管電圧

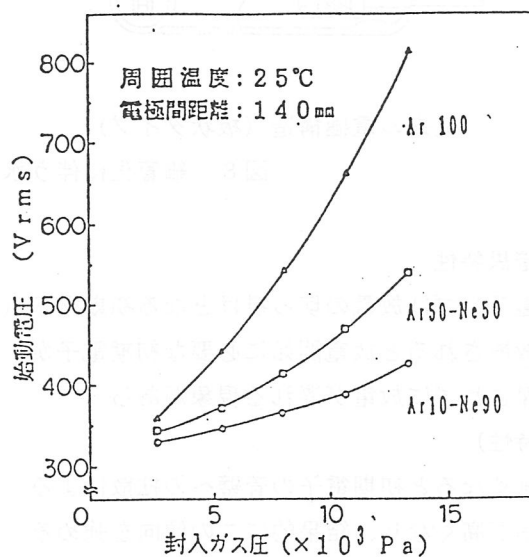


図6 封入ガスと始動電圧

(b) 機械的強度

管径が細くなるに従い軟質ガラスではガラス管の実用的な強度は低下し、加えて封着に必要なガラスの肉厚と、狭額縁化の要求から封着長さも十分には取れなくなり、封着部の信頼性の確保も難しくなる。このことから2.4mmクラス以下では硬質ガラス系でバルブ強度を確保すると共に封着金属もガラスとの最適の封着金属として、複合金属から単一金属に変えて封着部の信頼性を高める方法が取られつつある。現在のランプは給電のためのハーネス付きが主流ではあるが、2mm程度に迄細管化が進行すると長いリード線はランプのハンドリングを難しくし、ランプへの給電方法の改善が望まれる。この一つの方法としてランプ端面に取付けた導電性平板Capにハーネスを後工程で取り付ける製品もある (図7)。

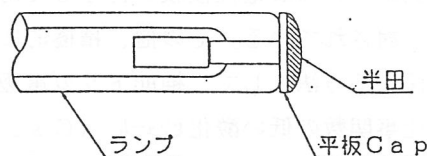


図7 平板Cap付きランプ

(c) 電極の小形化

管内径が小さくなると必然的に電極は小さくなり、加えてノート型パソコンの狭額縁化の傾向から短い電極長が要求される。冷陰極放電灯では一般に水銀を封入する手段として電極に水銀ディスペンサーを設置しているが電極が小さく、短くなることで水銀ディスペンサーも小形化し、水銀封入量も少なくなる。この対応には、板状ディスペンサーから水銀量の多いスリーブタイプの電極を用いるか (図8)、管外から水銀蒸気を送込み封入する新しいプロセスを採用している。

電極の小形化は電流密度を上昇させ必然的に電極のスパッタリングによる黒化も増加する。更に、

電極近傍のバルブ温度は上昇し液晶の熱劣化を引き起こす。しかし、ノート型パソコンでは低電流駆動の強い要求もあり電極の小形化に伴うこれらの問題は少なく、低電流で高輝度を実現することと、管電圧を下げ電力を削減することが今後の大きな課題となっている。

一方、バルブ内径と電極外形のギャップは小さくなり、ランプ製造では熱加工による電極取付け位置精度をいかに確保するかが問題になり、製造プロセス、設備を含めた開発が行われている。



図8 細管化に伴う水銀量の確保

(d) 暗黒特性

冷陰極ランプは放電の切っ掛けとなる初期電子（光電効果、宇宙線）が必要で、外光が遮断された暗所に放置されると放電開始に必要な初期電子が十分確保されずに放電が遅れる現象がある

（暗黒特性）。

管径が細くなると初期電子の管壁への拡散による消滅確率が高くなり、結果的にこの傾向を強める（図9）。特に透過率の低いカラーLCDの場合や、密閉されたランプハウジングで使用される時に問題となる場合がある。

点灯時間の増加に伴う電極からのスパッタリングで電極近傍のバルブ内壁に導電性金属被膜が形成されるとこの現象は無くなる。初期段階で同様の効果を持つ導電性被膜を付与して対策することが検討されている。その他、積極的に初期電子を確保する方法として、補助トリガ電極を設けたり、仕事関数の低い酸化セシウム（ Cs_2O ）を焼結電極に含浸させる等の方法や酸化セシウムや酸化アルミニウム等の金属酸化物をランプ内に配置する方法が取られている。⁶⁾

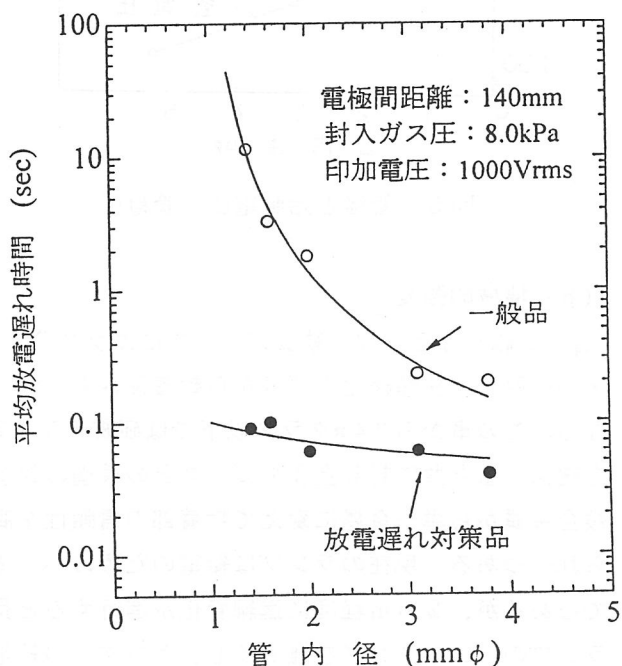


図9 平均放電遅れ時間の管内径依存性

(e) 輝度の不安定現象

通常ランプの輝度は管電流の増加に伴い上昇するが、管内径、封入ガス圧、点灯周波数によっては管電流に対して輝度が低下する領域が存在する⁷⁾。点灯周波数をパラメータにした管電流と輝度の関係を内径φ 1.4mmのランプを例に図10に示す。50KHzと、40KHzの場合には管電流の増加に伴い輝度は単調に増加するが30KHzと20KHzの場合には4~6mAの範囲で輝度は不規則に変化する。このような現象はランプ内径が異なると発生する点灯周波数が異なり、ランプ内径が小さい程高い周波数領域まで発生する（図11）。

これは、細管化に伴いイオンのガラス管内壁への拡散が大きくなり、電圧の極性が反転する際に陽光柱の導電性が失われて再点孤が困難になる現象と考えられている。

コンデンサーをバラストにした高周波点灯ではこの要因による正負非対象の電流波形が維持される状態になり輝度低下や水銀のカタホリシス現象を引き起こす。この対策としては管径に応じてガス圧や点灯周波数を最適化する必要がある。例えば外径2mm（内径1.4mm）では40kHz以上の点灯周波数が必要である。この高い周波数は電流リークを伴いランプを使い難くしている。

線路の浮遊容量には十分な注意が必要である。

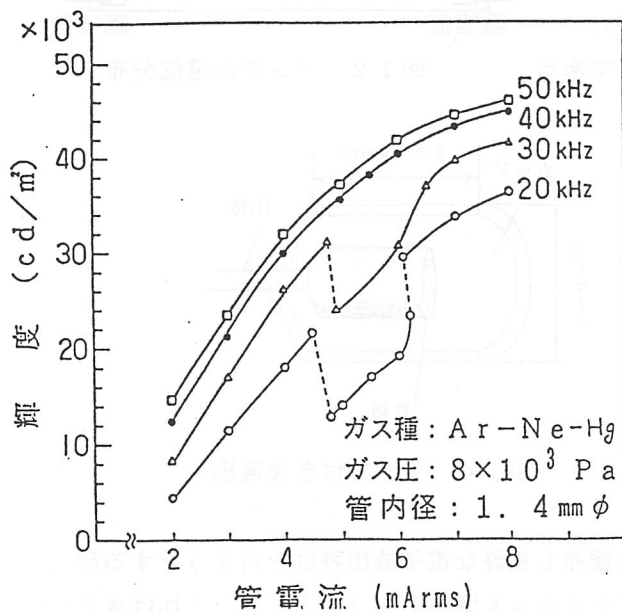


図10 輝度の不安定現象

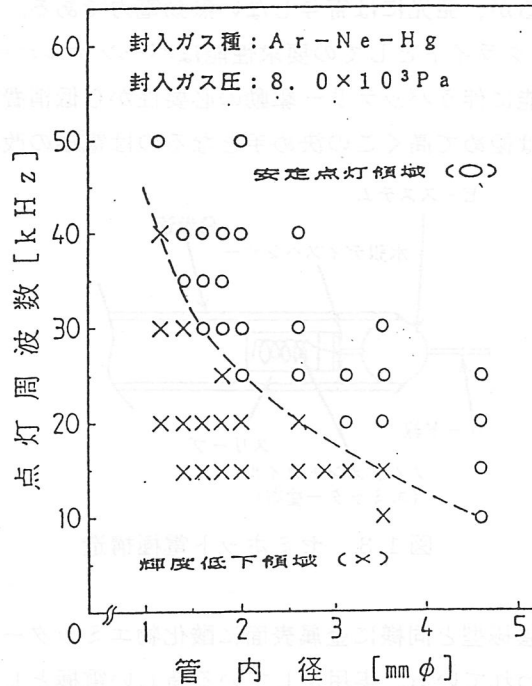


図11 輝度低下が起こる領域

(f) 高輝度化

冷陰極水銀蛍光ランプの輝度は管電流にほぼ比例して増加する。しかしバックライト用光源としては細径化の要求から電極は小形化し、電極の電流密度は大きくなり必然的に電極のスパッタリングによる黒化も増加する。更に、電極近傍のバルブ温度は上昇し液晶の熱劣化を引き起こす。

従って、電流を増やすこと無く高輝度化を図ることが必要でこれには紫外線強度を増やし、可視光への変換効率を高める蛍光体の改良とその適正な膜厚の制御が必要となる。実用化されている蛍光体の量子効率ランプ光束からの換算で70%前後である。この改良には原料の高純度化、組成の最適化、粒度制御技術の改善等で行われ、年率5%程度の輝度改善が地道ではあるが進められている。

現在三波長型の青色蛍光体としてはハロリン酸塩蛍光体が標準的に用いられている。これに対しアルミン酸塩蛍光体を青色蛍光体として用いた蛍光体は色シフトが大きいという欠点はあるものの7%程度の輝度改善が可能で一部では使用されている。

適正な膜厚制御は細管化に伴い困難さを増し、新たな蛍光体塗布技術と製造プロセスの開発が必要となっている。ランプだけでの高輝度化の他に、点灯回路を含めて効率よく紫外線強度を増やし高輝度化を図る検討も行われている。一般に、駆動波形の立上がり急峻なほど、発光効率は向上し、正弦波に比べ矩形波では約20%程度向上する。これは水銀原子を励起する際の平均電子温度を抑え弾性損失によるエネルギーのロスを防ぎ効率よく励起することによる⁹⁾。

(g) 無効電力の低減

冷陰極蛍光ランプでは熱陰極に比べ陰極降下電圧が大きい(図12)。この陰極降下電圧は電極の材質、形状、ガス組成、圧力等に影響されるが通常100~120Vと高くランプ長200mmのランプではランプ電力の約1/4を陰極損失で占めている。この陰極損失は放電の維持には必要であるが、発光には寄与しない無効電力である。

バックライトとしての要求性能はパーソナルユーズ、携帯機能に伴うバッテリー駆動の必要性から低消費電力の要求は極めて高くこの決め手となるのは電極の改善である。

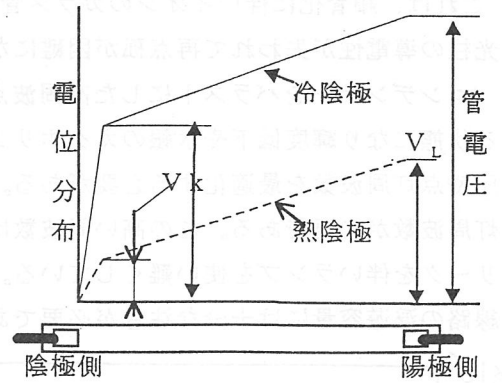


図12 ランプの電位分布

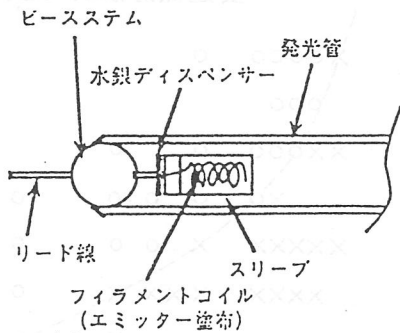


図13 セミホット電極構造

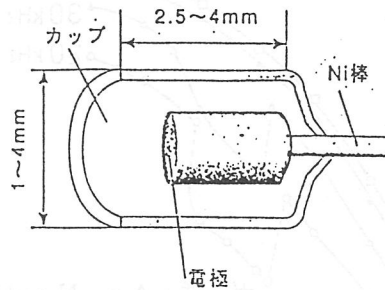


図14 カップ付き複電極

熱陰極型と同様に金属表面に酸化物エミッターを塗布し良好な電子放出特性を得ようとする研究が行われている。実用化している新しい電極としてセミホット型がある(図13)。これはスリーブ内にエミッターを塗布したフィラメントコイルを配置し放電電流による自己加熱で熱陰極動作を行い細管化を実現したもので始動時には冷陰極、点灯中は熱陰極動作を行い、管電流20mAで陰極降下電圧約20V、寿命8,000時間を達成している⁹⁾。更に、エミッタ物質を含浸した焼結電極を囲む様に同心円状のカップ電極を配置した電極(図14)で通常電極の冷陰極に比べ発光効率15%向上し、電流10mAで寿命15,000時間を達成している¹⁰⁾。

これらの電極を動作させるためには通常の冷陰極ランプに比べ2.5~5倍程度の電流が必要となるが陰極損失を低減した特徴ある光源といえる。

更に、バックライト用としては5mA程度の低電流領域で良好な電子放射特性を持つ電極の開発が望まれている。

一方、酸化物エミッター程の効果は無いが円筒状電極や、タングステン電極等電極の形状・材質の工夫によって地道に無効電力の低減が図られている。(図15)

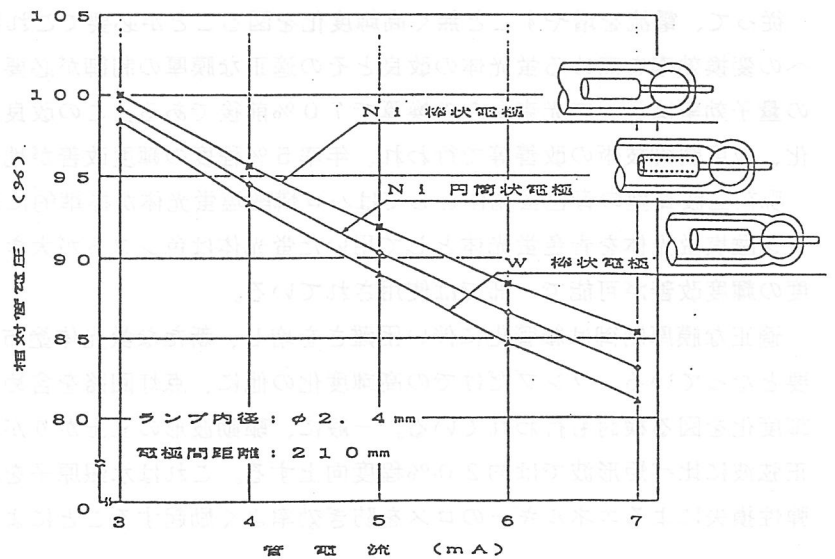


図15 電極による管電圧の比較

(3) 大型モニター用冷陰極水銀蛍光ランプ

ディスプレイとしてCRTが液晶に比較して優位であった大画面、高視野角、高輝度、色再現性、階調特性等は液晶の技術的な改善で遜色なくなり、CRTの独壇場であったモニター、ワークステーション、テレビの分野に液晶が進出しようとしている。

これに伴い、冷陰極水銀蛍光ランプは今までのノート型パソコンでの細管化と低消費電力を中心とした技術開発とは別の開発要素が出ている。

(a) 長尺化

画面サイズの大型化に伴い長尺化が要求される。CRTモニターの最大の市場である17型の置き換えを狙った14～15型液晶モニター用には300～320mm、21型の代替の17～21型液晶では360～450mmのランプが必要になる。長尺化に伴い管電圧の上昇をいかに低下するか。又、長手方向の蛍光体の塗布厚をいかに均一にするかが課題となる。

(b) 長寿命化

冷陰極ランプの寿命を決定するのは水銀の消耗と蛍光体の劣化である。蛍光体は紫外線によるダメージと水銀の吸着により劣化し、光変換効率の低下から光束の減衰を生ずる。電極からのスパッタリングにより飛散した金属と水銀がアマルガム化するか、又は直接蛍光体に吸着して水銀は消耗し、管内の水銀蒸気が無くなった時点で完全な寿命となる。従って、長寿命化を実現するには保証寿命中の水銀の消耗要因を取除き適正な水銀量を確保することが必要である。このため大電流で電極スパッタリングの少ない電極材質、形状の選択が行われる。蛍光体の劣化については蛍光体の改善が行われている。

(c) 高輝度化

モニター用としては、ノートパソコンと異なり電流の制限は少なく必要な輝度を得るために電流を増やすことが可能である。しかし、電流の増加に伴い3.2.2項で述べた弊害を生じ短寿命と液晶へのダメージを与える要因になる。

この改善のためには電極からの電子放出をより活性化する新たな電極の開発が望まれる。一方では熱陰極蛍光ランプの長寿命化の検討が進められている。

参考文献

- 1)ハリソン電機カタログ
- 2)仁枝他：カラー液晶表示用バックライト，平成3年 照学全大(1991),No.166.
- 3)井関他：液晶バックライト用極細管冷陰極蛍光ランプ，平成3年 照学全大(1991),No.107.
- 4)長田他：φ4mm冷陰極蛍光ランプの開発，平成3年 照学全大(1991)No.51
- 5)井村 他：液晶バックライト用細管蛍光ランプ 平成4年電気関係四国大 No.11-4
- 6)高木 他：冷陰極蛍光ランプの放電開始時間遅れの検討 平成3年度照学創立75周年記念全大
- 7)上野 他：細管冷陰極蛍光ランプの管電流-輝度特性，平成7年 照学全大(1991),No.43
- 8)梶原 他：省電力形蛍光ランプの諸特性(3) 昭和58年照学全大(1983),No.9
- 9)数永：カラー液晶バックライト用細管蛍光ランプ，電球工業会報，No.87 1994-10
- 10)下条：カップ付き複合電極を採用，発光効率を冷陰極管比15%向上，寿命は1万時間へフラットパネルディスプレイ，1994，P 121～122

3. 2. 2 熱陰極蛍光ランプ

(1) 用途

熱陰極蛍光ランプは、冷陰極蛍光ランプに比較して大きな光量が得られるのが特徴であり、主として複写機、ファクシミリ、スキャナー、OCR等のOA機器の原稿読み取りのための露光光源、および15インチ以上の大型LCDのバックライト用光源として利用されている。

(2) 露光用光源

管径が25mm～10mmと比較的管径の太いランプが利用されている。基本的なランプ構造は、一般照明用ランプと変わらないが、原稿面の照度を高めるため、図1のようにガラスバルブ内面に反射膜を設けたアパーチャー形構造が採用されることが多い。アパーチャー形構造では、反射膜はガラスバルブに開口部を残した形で構成され、蛍光体膜で発光した光をこの反射膜で拡散反射させ、開口部からランプ外部に照射させる構造になっている。反射膜材料としては、 Al_2O_3 や TiO_2 等の金属酸化物が使用され、その拡散反射率は約90%程度である。さらにガラスバルブへの水銀の吸着による光量の減少を防ぐため、ガラスバルブ面に Al_2O_3 等の金属酸化物の保護膜を設ける場合もある。表1に反射膜の有無による照度比較例として、管径15.5mmランプの照度測定を示す。

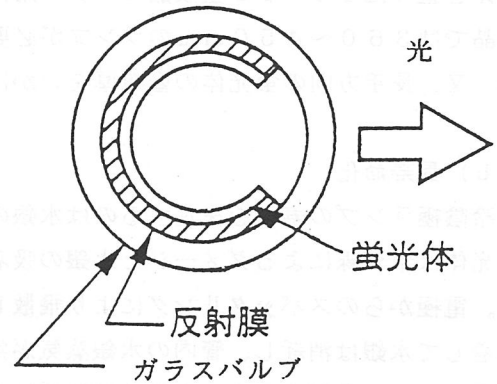


図1 アパーチャー形構造

表1 管径15.5mmランプの照度比較例

周囲温度25℃、測定距離5cm

管長(mm)	反射膜	ランプ電流(A)	ランプ電圧(Vrms)	ランプ電力(W)	照度(lx)
390	有り	0.40	60	20	78700
390	無し	0.40	60	20	35900

露光用ランプは、ハロゲンランプの代替えとして使用されることが多く、大きな光量が要求されるため、電極には大電流に適したトリプルコイルが使用されている。

蛍光体は、基本的には読み取り用センサーの感度波長に対応したものを使用するが、モノクロ用の露光ランプには、発光効率が高く、寿命特性の良い $LaPO_4 : Ce^{3+}$ 、 Tb^{3+} 緑色発光蛍光体が用いられている。カラー用としては、上記蛍光体に加え、やはり寿命特性の良い $Y_2O_3 : Eu^{3+}$ 赤色発光蛍光体と $(Sr, Ca, Ba)_5(PO_4)_3 \cdot Cl : Eu^{2+}$ 青色発光蛍光体が一般的に使用される。

調光方式としては、100%から10%程度まで広い範囲で調光が行えるPWM調光方式が使用される。調光点灯では、ランプ電流が減少しても電極スポット温度を一定温度に保ち電極寿命を確保するため、外部からの電極加熱が必須である。

(3) バックライト光源

最も多く使用されるランプの管径は9mm～6mmである。基本的なランプ構造は一般照明

ランプと同じである。

バックライト用ランプ設計のポイントは電極構造であり、管径9mm～6mmランプで使用される電流30mA～60mA、電極長さ6mm～4mmの範囲にて長寿化のための電極構造が検討されている。現在は、ダブルコイル、トリプルコイル両者が併用されている状態である。後者は、多量の電子放射物質が塗布可能で、電極寿命を長くすることができるが、小さな電流で点灯するためには常時予熱点灯する必要がある。前者は、点灯時の予熱が必要ないため管壁温度を低くできるが、塗布可能な電子放射物質量が少なく電極寿命は相対的に短い。

ランプ構造としては、ランプ管長に対する有効発光長を長くするため、一般的に使用される図2のフレアシステムと共に、電極高さを低くできる図3のボタンシステムが使用されている。

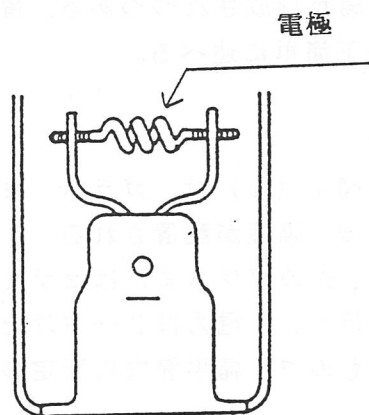


図2 フレアシステム

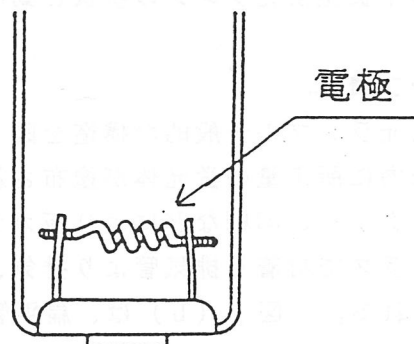


図3 ボタンシステム

調光方式としては、ランプ電圧を制御し光量を調節する電圧調光点灯方式が使用される。電圧調光方式の調光可能範囲は100%～50%とPWM調光点灯に比較して狭いが、電氣的雑音が少なくLCD画面への影響が小さいのが特徴である。

(4) 今後の課題

情報機器用の熱陰極蛍光ランプには、一般照明用ランプと同様に、小型化、大光量化、および寿命特性の改善が望まれている。このためには、電極、蛍光体、保護膜材料の改善が必要である。また従来の一般照明用ランプの技術転用だけでなく、光量立ち上がり特性の改善等の情報機器特有の要求性能をさらに満足させるための独自技術の開発が必要となっている。

3.2.3 平板型蛍光ランプ

平板型蛍光ランプは、面発光することが最大の特長であり、冷陰極細管蛍光ランプ（以下CFL）のように導光板を必要とせず液晶に直接取り付けバックライトとして使用できることから光の利用効率が高い。平板型蛍光ランプは、CFLに替わって1991年頃からカメラ一体型ビデオのカラー液晶ビューファインダのバックライトとして採用され始めている。1996年現在、国内販売のカメラ一体型ビデオのビューファインダの9割以上が、また海外においてもビューファインダのカラー化が進んでおり、そのバックライトには平板型蛍光ランプが搭載されている。一方1995年には電子スチルカメラのカラー液晶モニターのバックライトに平板型蛍光ランプが採用され、新しい市場が形成されつつある。情報機器用光源としての平板型蛍光ランプの現状と動向について以下簡単に述べる。

(1) ランプ構造

平面型蛍光ランプの一般的な構造を図1に示す。図1(a)は、ガラス、またはセラミックス容器内に所定量の蛍光体が塗布されており、陰極、陽極が配置される。あらかじめ蛍光体をスクリーン印刷などにより板ガラスに塗布し、先のガラスまたはセラミックス容器と低融点ガラスで封着し排気管より排気、ガス封入を行う。電力はリード片を介して各電極に供給される。図1(b)は、扁平管を利用するもので、扁平管内に所定の蛍光体を塗布し両端をガラス成形したステムで封着する構造で(a)のように排気管を利用せずいわゆるチップレスが一般的である。1) 平板型蛍光ランプに封入されるガスは、初期にはAr/Hgが一般的であったが、水銀からの紫外光(254nm, 185nm)を利用して蛍光体を発光させるため環境温度が低い場合、水銀の蒸気圧が著しく下がり輝度低下、発光色の変化を起こす。このためキセノンを主体とするガスを封入し、キセノンからの真空紫外光(147nm)を主に利用することで、周囲温度による輝度変動、色温度の低下が著しく改善されている。2)

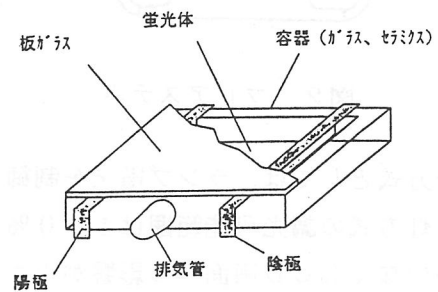


図1(a)

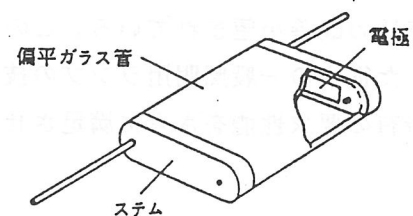


図1(b)

(2) 点灯方式

平板型蛍光ランプは、直流パルス放電で駆動する。直流駆動させることから、ランプの構造でも触れたように電極には陰極、陽極の極性があり使用にあたっては確認が必要である。直流パルス放電は、過渡グロー放電の一種であり、各パルス放電のランプピーク電圧が増加するとランプピーク電流も増加する。このような放電の電気的特性は正特性と呼ばれる。正特性を有する放電の特徴として放電空間内にプラズマが広がる性質がある。正特性の性質が失われる前に放電を終了し、これを繰り返すことにより、均一な面放電を得ている。各パルス放電の期間にキセノンからの真空紫外光により蛍光体が発光するが、さらに各パルス放電の合間に後述するアフターグローからの真空紫外光の寄与もあり、実用上、時間、空間的に均一な面光源が得られる。平板型蛍光ランプを直流あるいは高周波点灯させた場合、瞬

時的には面放電を呈するが、直ちに陰極上の電子供給がされやすい箇所を起点に線状放電となり面放電は得られない。一般に平板型蛍光ランプを駆動する直流高圧パルスを得る手段としてフライバック方式の回路が利用される。スイッチング素子としてはMOS-FETを使用し、ゲートのオン時間に比例したエネルギーがトランスの1次側のコイルに蓄積されMOS-FETがOFFした瞬間にトランス2次側コイルに高電圧パルスとして開放される。繰り返しこの高電圧パルスを平板型蛍光ランプに供給することで点灯する。

(3) 平面型蛍光ランプの特性

平板型蛍光ランプの特性を簡単にまとめると、入力電力に対して高輝度効率、常温から低温にかけての安定した輝度および輝度均斉度の良さなどである。図2は、輝度の周囲温度依存性についてAr/Hg系とAr/Xe/Hg系の場合を示したものである。²⁾キセノンに水銀を封入しているのは、陰極のスパッタを防止する目的であるが、周囲温度が40℃を越えると水銀からの紫外光により輝度が増加する効果もある。高輝度効率、低温での輝度立ち上がり特性の改善などは、キセノンからの真空紫

外光を利用していることが主因であるが、パルス放電の場合には、過渡グロー放電の直後にアフターグローを伴う。キセノンを放電ガスとして使用する場合は、このアフターグローによる真空紫外光の放射効率の向上も輝度効率の改善に寄与している。³⁾アフターグローとは、放電終了後、外部からの電力供給がない状態で残存するプラズマであり、外部から電力の供給を受け定期的に存在するプラズマには見られない

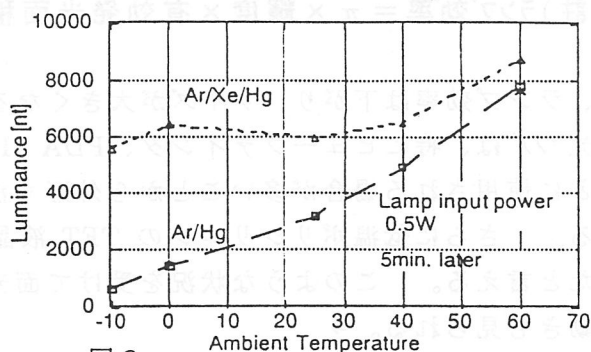


図2 Luminance dependences of flat fluorescent lamps in Ar/Xe/Hg system and Ar/Hg system at different ambient temperatures.

特性がある。輝度均斉度は、ランプの有効発光面を9等分し、各マスの中央部の輝度の最小輝度/最大輝度の比で定義される場合が一般的で、通常70%以上が得られる。通常ビューファインダ内は、外光が期待できない暗黒下の場合が多い。一般に、放電ランプは長時間放置するとランプ内部に放電のきっかけとなる初期電子数が極端に減少することから始動遅れ(統計的時間遅れ)を起し易くなる。特に暗黒下では、初期電子を創る光電効果が期待できないため著しい始動遅れを起し易い。いわゆる「暗黒不点灯」は、カメラ一体型ビデオのビューファインダのバックライトとしては致命的な欠陥となる。平板型蛍光ランプの放電破壊は、タウンゼント理論により説明できることから、⁴⁾この始動遅れを回避するには、初期電子を供給するか、少ない初期電子を確実に放電に結びつけるかのいずれかである。放射性物質(RI)を利用する手段があるが、平板型蛍光ランプでは利用されない。平板型蛍光ランプでは局部的に電界強度を強くするなどにより少ない初期電子を確実に放電に結びつけることが一般的であり、各社独自の工夫がなされている。最近のデジタル機器は低電圧駆動の傾向にあることからランプの始動電圧を下げる要求があり、始動遅れに対する対策は今後も重要と言える。

(4) 形状とサイズの動向

平板型蛍光ランプは、6インチ程度まで商品化されているが、3インチクラスになると厚

み、重さの面で実用的ではない。表1は、現在ビューファインダ、電子スチルカメラなどの用途に使用されている標準的な平板型蛍光ランプの対角インチサイズと平均的なインバータ入力における輝度、ランプ効率の関係を示したものである。なおここで言うランプ効率は、厳密な意味でのランプ効率ではなくインバータの1次側の入力に対するもので、表脚註の0.85は、輝度均斉度等を考慮した係数である。実際のランプ効率はこの数値より高いと推定される。表中にはあわせて、厚み及び重さを示す。サイズが小さいと高い輝度が得られる

表1 平板型蛍光ランプのサイズと諸特性

サイズ[in.]	有効発光面[mm ²]	輝度[cd/m ²]	インバータ入力[W]	ランプ効率[lm/W]	ランプ厚み[mm]	ランプ重さ[g]
0.5	10.6 x 13.2	6000	0.4	5.6	4.1	2
0.7	12.7 x 16.2	6000	0.5	6.6	4.1	3.5
1.3	22.8 x 29.4	6000	1	10.8	4.4	9
1.8	30.4 x 39.6	4000	1	12.9	4.6	13
2.5	41.1 x 53.8	2400	1	14.2	5	25

註)ランプ効率 = $\pi \times$ 輝度 \times 有効発光面積 \times 0.85 \div インバータ入力

反面、ランプ効率は下がり、サイズが大きくなると輝度が下がりランプ効率が上がる。平板型蛍光ランプは、特にビューファインダ、PDA (Personal Data Assistant)、電子スチルカメラなどに使用される場合が多いことから外形寸法、重さに関しては、軽薄短小が今後も求められる。さらに低温ポリシリコンの TFT 液晶が実用段階に入り、ますますこの傾向が強まったと言える。このような状況を受けて面光源として、構造、点灯方式そのものから見直す動きも見られる。⁵⁾

(5) CFL+導光板との棲み分け

平板型蛍光ランプは、液晶の背面に直接取り付けることができることから光の利用率高く、液晶モジュール全体の簡素化、薄型化が可能である。一方、CFL+導光板も、CFLの細管化、導光板及び駆動用インバータの薄型化が進み総厚みで4 mm程度のバックライトユニットが実現している。CFLは、効率面で平板型蛍光ランプより良いが、サイズが小さくなると、ランプ効率は落ちる。現状では、コスト面も加味すれば、0.5~1.8インチ程度までは平板型蛍光ランプが適しているが、1.8~2.5インチクラスは、今後しばらくは用途による両タイプの混在、2.5インチ以上はCFL+導光板が適していると言える。

参考文献

- 1)本田、池田：平成5年度照明学会全国大会 159(1993)
- 2)吉岡、高谷、藤原、大嶋、数永、友行：信学技報 EDI93-100 Vol.93 No.428 (1994)
- 3)岡本：第3回光源物性とその応用研究会資料 P48-55 LS-88-19 (1988)
- 4)本多、湯浅：第7回光源物性とその応用研究会資料 P20-29 LS-92-9 (1992)
- 5)浦壁：照明学会研究会資料、光関連材料・デバイス研究専門部会 MD-96-15(1996)

3. 3 希ガス蛍光ランプ

3. 3. 1 有電極

希ガス蛍光ランプは、水銀の代わりに希ガスの放射する紫外線によって蛍光体を発光させる蛍光ランプである。水銀の蒸気の放電を利用する一般の蛍光ランプと異なり、周囲温度の影響を受けない安定した特性が最大の長である(図1)¹⁾。これは水銀の場合、温度によって蒸気圧が変化、すなわち放電するガスの密度が変化するのに対して希ガスの場合、常にガス密度が一定であるためである。ただし図1にみられるように蛍光体の温度特性などの影響を受けてランプの設計によって多少は温度特性をもつが、水銀の蛍光ランプに比べて温度に対する変化は極めて少ない。また温度依存性がほとんどないことから図2¹⁾にみられるように周囲温度にあまり影響されずに点灯直後からほぼ一定の光量を得ることができる。これらの長は情報機器の安定動作、即時動作を可能にする。しかし水銀の蛍光ランプに比べて効率は数分の1程度と低いため一般照明には不向きである。このような特性から希ガス蛍光ランプは情報機器に適した光源としてファクシミリの読み取り用などに使用されている。

紫外線を放射する希ガスとしてはキセノン(Xe)が用いられている。Xeは紫外線の放射効率が優れており、希ガスの中ではもっとも波長の長い147nmの共鳴紫外線を放射するため蛍光体の励起に適している。Xeの圧力が低い場合は共鳴紫外線がほとんどであるが、圧力が高くなるにつれて長波長の分子線が増加する(図3)²⁾。希ガスの放射する紫外線は水銀に比べて波長の短い真空紫外線である。このため蛍光体としては真空紫外線に対して効率の高い蛍光ランプ用の一部やプラズマディスプレイ用などが使用されている^{3, 4)}。

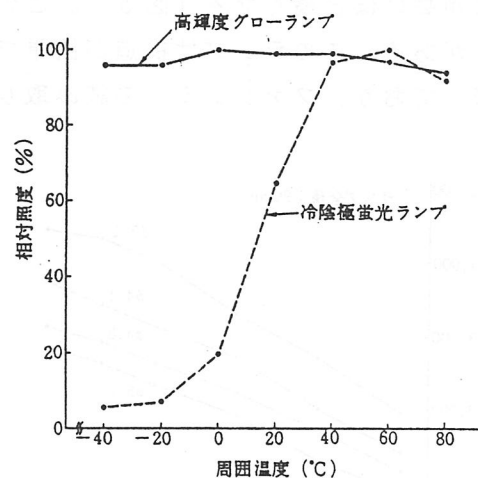


図1. 周囲温度による光出力の変化

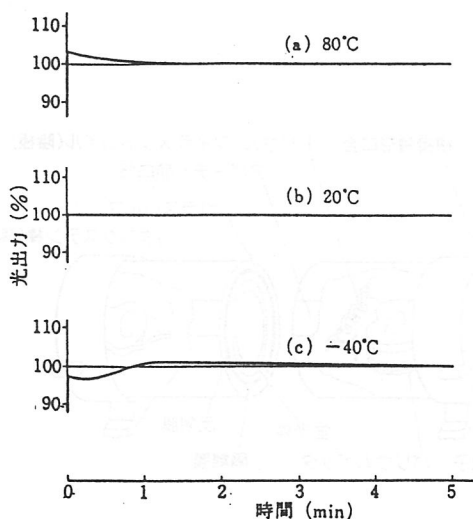


図2. 光出力立上がり特性

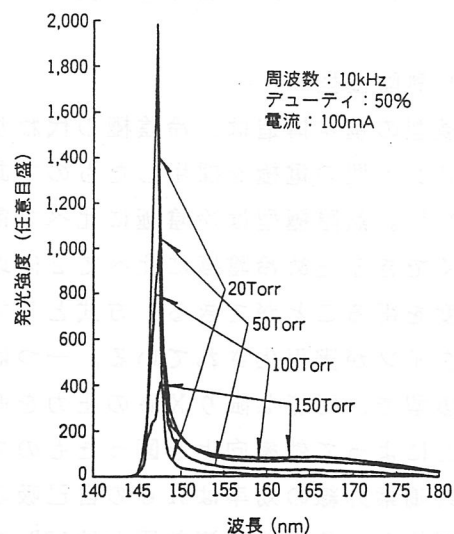


図3. 真空紫外線の分光分布

(1) 冷陰極型

もっとも早く実用化されたタイプで、水銀の冷陰極蛍光ランプとほぼ同様の構造である(図4)¹⁾。管径は数mmで、数kPa~十数kPaのXeが封入されている。外面にはほぼ全長にわたる帯状の始動補助電極がある。Xeの圧力が高いために陽光柱は収縮しており、やや不安定である。点灯周波数によっては高圧放電ランプにみられるような音響的共鳴現象も発生する。補助電極は、電氣的に片方の電極と直接またはコンデンサーを介して接続されており、始動補助のほかに陽光柱の安定や輝度を改善する効果も兼ねている。

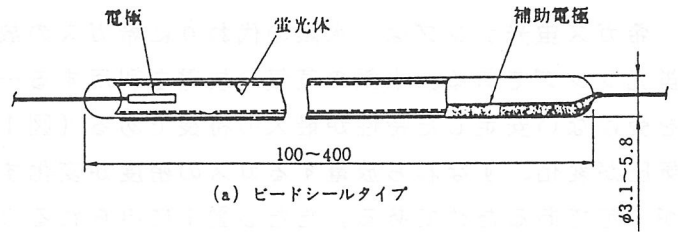


図4. 冷陰極型のランプ構造

輝度はガス圧が高いほど高くなる傾向を示す(図5)。ただし消費電力も増加するため効率的にはあまり上昇しない。またランプ電圧は通常の水銀の冷陰極蛍光ランプより高めであり、圧力が高いほど高くなる(図6)。このため使用できる圧力が制限され、高い輝度を得るには限界がある。このランプは構造が簡単で低コストであり、あまり高い輝度を必要としない用途に適しており、ファクシミリや複写機の除電用などに広く用いられている。

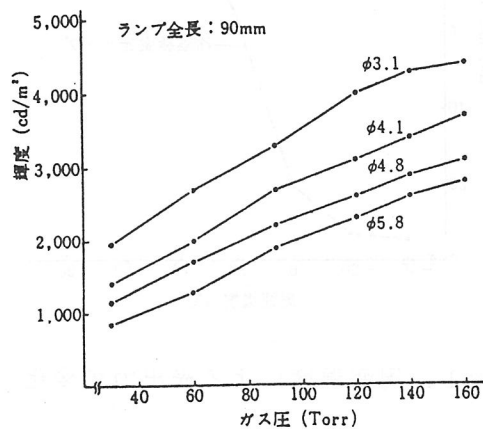


図5. ランプ封入圧力と輝度¹⁾

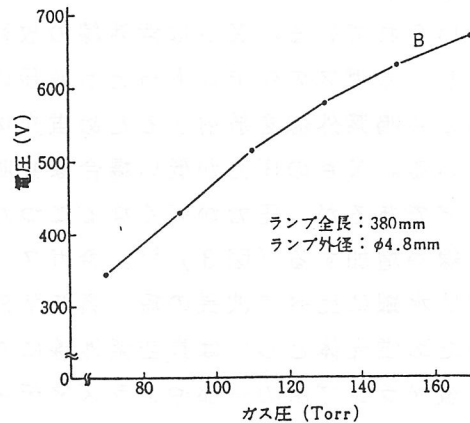


図6. ランプ封入ガス圧と放電電圧¹⁾

(2) 熱陰極型

熱陰極型の基本構造は、冷陰極の代わりにフィラメント型の電極を採用したものである(図7)⁵⁾。熱陰極型は冷陰極に比べて電流を大きくできるため冷陰極に比べて2倍以上の高輝度を得ることができる。方式としては二つのタイプが実用化されている。一つは低圧熱陰極型で、可能な限りXeの圧力を低くすることによって効率向上を図ったものである⁵⁾。共鳴紫外線の効率はXeの自己吸収によって制約されるため最適な圧力は10Pa以下の低いところにある。低い圧力では点灯中の

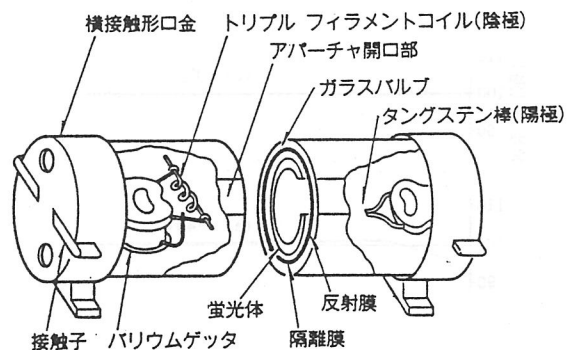


図7. 熱陰極型のランプ構造

Xeの消失が問題になるが、ガラスにTiO₂隔離膜を設けることや点灯条件を最適化することでこの現象を抑制している。このランプではXeの分圧を10Pa程度まで下げたXeとNeの混合ガスを使用して、一万時間以上の安定した動作を可能にしている。また低圧の希ガス陽光柱では移動縞の現象が発生し、インバータ点灯時にちらつきの原因になり好ましくない。このため全波整流波形の直流放電を行い、移動縞を一方向に高速に移動させることにより移動縞の影響を解消している。

もうひとつの方式は、数kPaのXeにパルス的な電圧を印加して休止期間のある電流を流すパルス放電型である⁶⁾。このランプでは電流の休止期間中に、電流が流れている期間よりも強いアフターグローの紫外線放射が生じて効率、輝度が上昇する。このため同じ圧力のXeを直流点灯や高周波点灯した場合に比べて、2倍以上の効率・輝度が可能になる(図8)。またこの方式では半端整流波形で点灯することにより、簡単な回路でパルス放電の効果を得ている。

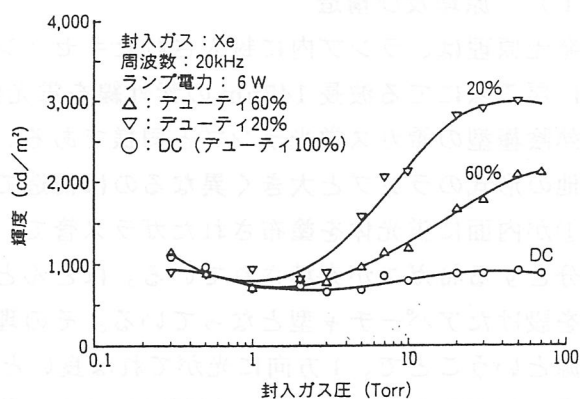


図8. パルス点灯の封入ガス圧と輝度の関係

(3) 将来の課題

(a) 真空紫外線用蛍光体の開発

これまで真空紫外線で発光させる用途が少なかったため真空紫外線用蛍光体の開発は少なく、実用化されている種類も少ない。ほとんどの蛍光ランプ用の蛍光体は真空紫外線でも発光するが、良好な特性を示すものは少ない。また比較的良好な特性を示す蛍光体も必ずしも真空紫外線に対して最適化されているとは言えず改良の余地があると考えられる。また赤・青・緑の3原色について一応は使用可能な蛍光体があり混合による白色も可能ではあるが、カラー読み取りなどの用途では連続的なスペクトルをもつものが望まれており、今後の開発が期待される。

(b) 光量・効率の向上

希ガス蛍光ランプは効率が低く、そのため効率を重視しない用途に用いられている。しかし効率が低いことから用途によっては必要な光量が得られないことがある。このため用途が限られており、効率と輝度の向上が望まれている。

参考文献

- 1) 吉池：高輝度グローランプ、東芝レビュー、40, N0.12, 1079-1082(1985)
- 2) 櫻井、他：平成5年度照明学会全国大会講演予稿集、N0.12(1993)
- 3) 橋本、他：平成3年度照明学会全国大会講演予稿集、N0.56(1991)
- 4) 小池、他：第161回蛍光体同学会、1-13(1976)
- 5) 大澤、他：三菱電機技術報告、65, N0.4, 394-398(1991)
- 6) 西勝、他：三菱電機技術報告、67, N0.6, 604-608(1993)

3.3.2 外部電極

外部電極型希ガス蛍光ランプは、主として情報機器の読みとり用光源として開発された。これより以前に冷陰極型の希ガス蛍光ランプが商品化されていたが、光量が少なく広範囲には使用できなかった。使用用途を広げるために光量アップを計り、かつ情報機器の使用方法に合わせて点滅寿命の改善を計ったのが外部電極型希ガス蛍光ランプである。

(1) 原理及び構造

発光原理は、ランプ内に封入されたキセノンガスが励起され、励起されたキセノンが基底状態に戻る際にでる波長 147nm の紫外線を蛍光体が可視光に変換するというもので冷陰極型、及び熱陰極型の希ガス蛍光ランプと同様である。

他の形式のランプと大きく異なるのは構造で、簡略に図-1に示す。

①が内面に蛍光体を塗布されたガラス管で、両端部がシールされ内部にはキセノンガスを主成分とする希ガスが充填されている。ほとんどの場合、ランプは蛍光体の一部を無くして開口部を設けたアパーチャ型となっている。その理由としては、主な使用用途が原稿の読みとり用光源ということで、1方向に光ができれば良いと言うことがあげられる。

②が外部電極で、主として材質はアルミ、銀などが使用される。この電極はほぼ対向する位置に一对が設けられていることが多い。

③が電極と点灯回路を接続する電線で、接続はランプの一端又は両端のどちらでも良い。点灯は専用の点灯回路が必要で、二次電圧 2,000~3,000(V)、周波数 10(kHz)以上の印加で安定して点灯する。一般の蛍光ランプと異なるのは、二次側に必ずしも抵抗、コンデンサ、コイル等のバラストは必要ないことである。

②の電極間に上記の電圧を印加することにより放電が開始するが、一般の蛍光ランプと異なりランプの長さ方向に放電するのではなく、ランプの軸方向に放電が発生する。放電はランプの内部に、陽光柱が 2~10mm ピッチで並ぶ。放電は長さが短いためかなり低い電圧より発生するが、電圧が低い状態では放電位置が安定せず、縞状放電の移動が起こる。

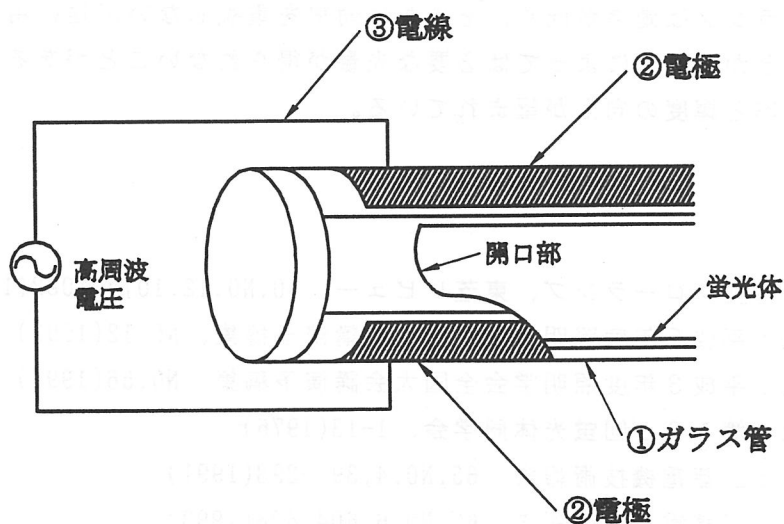


図-1 構造

(2) 特徴

キセノンガスの発生する紫外線を利用して発光することから、前述の冷陰極、熱陰極希ガス蛍光ランプと同様の特徴を持つ。光出力の立ち上がりが速い、光出力が周囲温度の影響を受けにくい、水銀を使用していないので廃棄が容易などは共通の特徴である。

外面電極という構造からくる特徴を下記に示す。

(a) 長寿命

蛍光ランプには絶対寿命と光束寿命の2種類があり、このうちの絶対寿命（点灯しなくなるまでの時間）が長くなる。通常絶対寿命は、主に電極の消耗によって起こるが、外部電極の場合は放電空間内に電極が無く、電極の消耗がほとんど起こらないため絶対寿命が長くなる。

電極からのスパッタリングもなく点灯中にランプ端部が黒化して暗くなるといったこともない。しかしながら、蛍光体は一般の蛍光ランプと同じく紫外線による劣化を起こすため、光束寿命はほとんど変わらない。

また内部に電極が有る場合は、点滅サイクルが短いほど点灯時の電極へのダメージにより寿命が短くなる傾向があったが、外部電極の場合は、寿命はほとんど点滅サイクルに影響されない。

(b) 給電方法

一般の蛍光ランプは、両端部に電極があるため給電は必ず両端部よりする必要があったが、外部電極の場合は、対向する位置に電極があるため給電は片端部より一括、両端部よりのどちらからでもおこなえる。どちらの給電方式をとっても明るさには大きく影響はしない。

また電極を分割し、給電を複数にすることにより1本のランプを長さ方向に分割して点灯させることも可能である。

(c) 負荷

一般の蛍光ランプは負荷としては負特性をもつが、外面電極蛍光ランプの場合はほぼ容量性の負荷となりかなり特性が異なる。ランプの電圧と電流は位相がほぼ90°ずれている。

一般の蛍光ランプの場合は、始動時に高い電圧を必要とするが、点灯すればランプ電圧がかなり下がる。が外面電極ランプの場合は、始動時と点灯時の電圧はほとんど変わらない。

(3) 用途

(a) 白黒用の原稿読みとり用光源

FAX、FAXをベースとした複合機、モノクロのスキャナー、モノクロのデジタルコピー機に読みとり用の光源として使用されている。FAX等には比較的光量の低いランプでも使用可能であるが、デジタルコピー機については読みとり速度が速いため、光量が不足している。

(b) カラー用の原稿読みとり用光源

カラースキャナー（フラットベッド、ハンディー、シートフィード型）の読みとり用光源として使用されている。主としてフラットベッド型に使用される。

(c) アミューズメントの装飾用光源

ゲーム機等の装飾用光源として使用される。頻繁な点滅、長寿命が求められる場所での使用となる。

(4) 今後の課題

(a) 光量および発光効率のアップ

外部電極ランプは、キセノンガスの励起を利用しているため、水銀封入の蛍光ランプに比較して発光効率が悪い。また光量も水銀封入の蛍光ランプに比較してかなり低いいため使用できる分野が限られている。さらなる普及のためには光量アップが不可欠である。

(b) 低電圧での点灯

点灯中も二次電圧がかなり高いため、使用される場所が限定される。またUL等の規格において絶縁距離を大きくとる必要がある。一般用途での使用を考えれば数百Vでの点灯が必要である。

参考文献

- 1) 藤岡、他：『外面電極型希ガス蛍光ランプの特性』平成3年度照明学会全国大会予稿集
- 2) 筒井、他：『外部電極Xe蛍光ランプの特性について』平成4年度照明学会東京支部大会予稿集
- 3) 伊藤、他：NEC技報、Vol.47 No.1 (1994)

3.4 ハロゲン電球

3.4.1 ハロゲン電球の動作原理

タングステンフィラメントの熱放射を利用した白熱電球はフィラメントの点灯温度を高くすれば効率は高くなるがタングステンの蒸発速度が早くなり、寿命を短くする。更に、蒸発したタングステンが管内壁に沈着しフィラメントからの放射光を吸収し、徐々に光出力を低下すると共に管壁温度の上昇をもたらす（黒化現象）。

ハロゲン電球は管内に窒素やアルゴン等の不活性ガスと共に微量のハロゲン物質（フッ素、臭素、塩素等）を添加し、蒸発したタングステンとハロゲンとの間に起こる、熱力学的な循環反応—ハロゲンサイクルによって寿命中に生ずる黒化現象を防止した白熱電球である。

図1にハロゲンサイクルのメカニズムを示す。¹⁾

フィラメントから蒸発したタングステン (W) はハロゲン (X) と結合し揮発性のタングステンハライド (WX_2) を形成する。このタングステンハライドは封入ガスの対流や熱拡散でガラス管内壁に到達する。この時ガラス管がある温度以上に保持されていればその揮発性のためにタングステンハライドは管壁に付着すること無くそのまま高温のフィラメント近傍に戻り、タングステン (W) とハロゲン (X) に解離する。解離したタングステンはフィラメント上、又はその近傍に沈着し、ハロゲンは管壁に向かい拡散して再び蒸発したWと結合するという循環反応を繰り返す。

この様なハロゲンサイクルを円滑に行うためには管壁を $250^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ に維持することが必要でこのため耐熱性の高い石英ガラス等を用い、管を小形化することで高温を維持している。

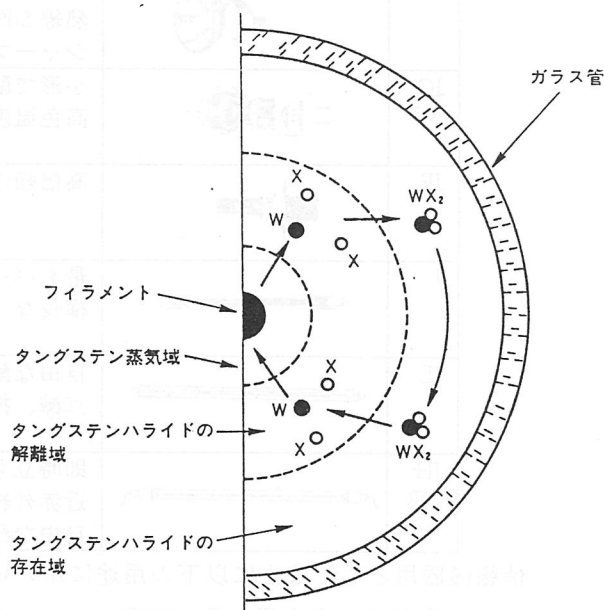


図1 ハロゲンサイクルのメカニズム

3.4.2 ハロゲン電球の特徴

(1) 小形で管壁黒化がない

黒化がなく、寿命期間中光出力の低下がほとんど無い。更にランプサイズの小型化はフィラメントからの放射光の光学的なコントロールを容易にする。

(2) 高効率、長寿命







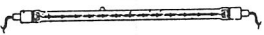
管壁温度を高温に維持するため石英等の機械的に強い高融点ガラスを用いることは初期封入圧を高め、加えて高い管壁温度は点灯時の圧力をより高める。更にランプサイズの大幅な減少は封入ガスとしてクリプトン、キセノン等より密度の高い高価なガスの使用を経済的に可能にする。

高い圧力とより密度の高い封入ガスはフィラメントからのタングステンの蒸発速度を減少し、寿命を延長すると共に封入ガスの対流による損失（ガスロス）が減少し効率は向上する。

3.4.3 ハロゲン電球の種類と用途

ハロゲン電球は両端子型と片端子型に大別出来、主な用途と特徴を表1に示している。小形で、光出力のコントロールが容易なことから初期の頃から片端子型はフィルム投影用光源として用いられた。更に高密度で分布を自由にコントロール出来る熱源としての用途もある。

表 1 ハロゲン電球の種類と用途

品 種	特 徴	主 な 用 途							
		屋内一般照明	店舗照明	投光照明	スタジオ照明	ビデオライト	OHP	飛行場	複写機
JD	 店舗用として最も普及 赤外反射膜付きで熱線 40%カット スクリュー口金で使い勝手良	○	○	○	○				
JR	 ダイクロミックミラーと一体型 熱線 80%カットのクールな光 シャープな配光を実現	○	○						
JC JCD	 小形で配光制御が容易 高色温度					○	○		
JF	 高信頼性							○	
J	 最もベーシックなハロゲン電球 横長なワイド配光可		○	○					
JE	 自由な配光分布 点滅、振動に対し信頼性大								○
JH QIR	 即時立ち上り 近赤外線が主で高効率 自由な配光分布								○

情報機器用としては主に以下の用途に用いられている。

- (1) 複写機の露光用、及び定着（トナー溶融）用
紙幅と光学特性に応じて全長とフィラメントの構成を最適にした両端子型で露光用 200~800W、定着用は 300~1500W 程度が用いられている。
- (2) OHP、プロジェクター、マイクロフィルムリーダー・プリンター等フィルム投影用光源
光学的に制御しやすい片端子型で 50W~650W、分布温度は 3000~3400K が用いられている。
- (3) 特殊なOCR用光源

3.4.4 ハロゲン電球の一般的特性

(1) エネルギー損失

タングステンの温度放射に基づく白熱電球の入力に対するエネルギー消費の割合を図2に示している。フィラメントから放射される可視光は入力の高々10%程度で72%は赤外線として放射され、残り18%は封入ガスによるフィラメントの冷却（ガスロス）、フィラメント端部からの熱伝導による損失（端子損）に消費され最終的にはランプ自身の温度上昇をもたらす。

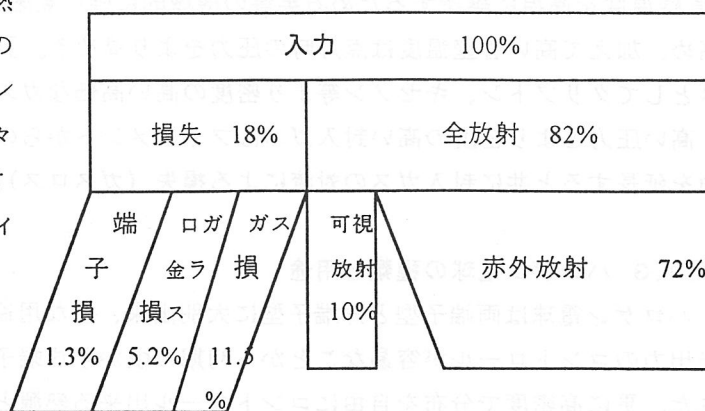


図2 放射と損失の割合例（一般電球）²⁾

(2) 分光分布

電球の放射は温度だけで決まる連続スペクトルでその分光分布はプランクの放射則に従う(図3)。フィラメント温度が高くなるほどピークは短波長側に移行し可視光が増加し、逆に温度が低くなるほど赤成分が増加する。

(ウィーンの変位則)

同じランプの点灯電圧を変化して使用する場合には光束の変化の他に、この分光分布も変化するので特に露光用では注意が必要である。

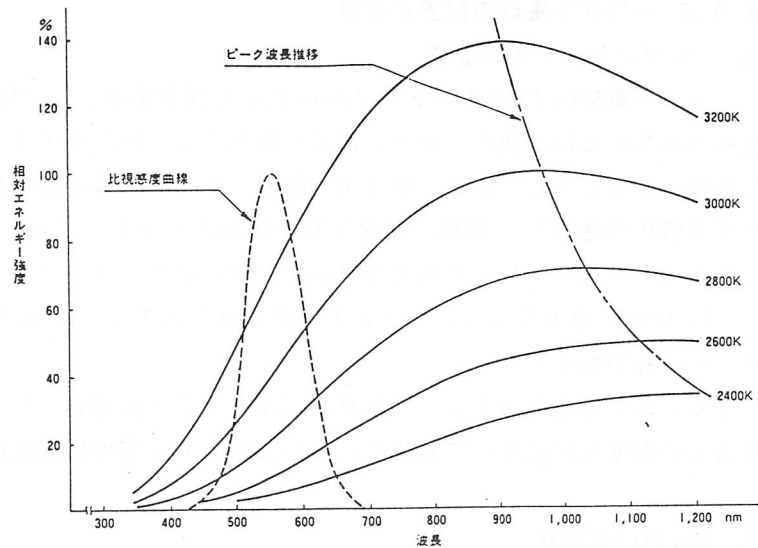


図3 分光分布の計算例

(3) 点灯電圧と寿命

一般に点灯電圧と寿命との間には白熱電球と同様に $L/L_0 = (V_0/V)^{10 \sim 14}$ の関係が成り立つ。しかしこの関係は定格電圧から $\pm 10\%$ 程度の狭い範囲が必要条件で、大幅な電圧変化は適正なハロゲンサイクルの動作を阻止する。

即ち、電圧を下げすぎた場合は過剰なフリーハロゲンによるエッチング作用でフィラメント低温部やインナーリードが浸蝕され短寿命の傾向となる。逆に電圧を上げすぎた場合は蒸発したタングステンと化合する必要な量のハロゲンが不足し黒化を生じやすくなる。

(4) 封止部温度と寿命

ハロゲン電球に使用される石英の線膨脹係数は $5.5 \times 10^{-7} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$ と非常に小さく、又高い加工温度 ($\sim 2000^\circ\text{C}$) に耐える適切な金属はない。このため両端をナイフエッジ状にした厚さ $30 \mu\text{m}$ 程のモリブデン箔を使用し、モリブデンの優れた延展性で石英ガラスに生ずる歪みを吸収し破壊を防いでいる。(図4)

しかし、外部導入線(モリブデン)からモリブデン箔の溶接点に至るまでは微細な隙間があり大気に晒されている。このため封止部温度が高くなるとモリブデン箔の酸化が進行し、箔の体積増加で石英ガラスとの界面に剥離を生じスローリークを起こしたり、封止部にクラックを生じたりする。寿命 2000H で封止部温度は 350°C が目安である。特に密閉して使用される長寿命のランプでは十分考慮する必要がある。

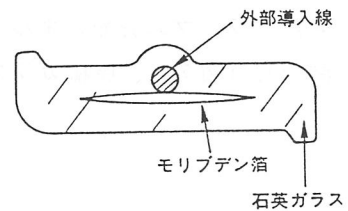


図4 封止部断面

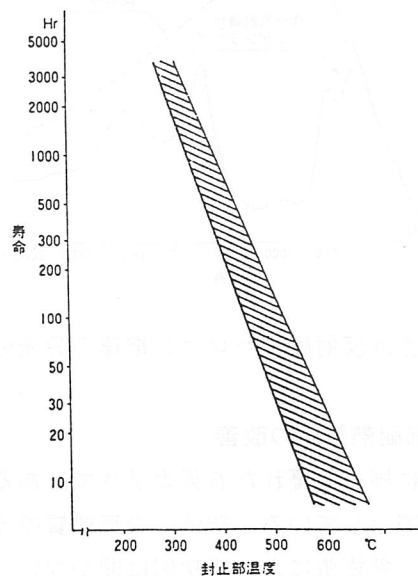


図5 封止部温度と寿命³⁾

3.4.5 ハロゲン電球の限界と改善

(1) ハロゲンサイクルの改善

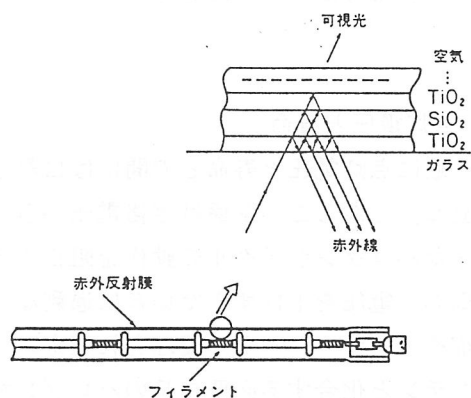
ハロゲン電球は1959年G EのZublerによる沃素電球として始まった⁴⁾。沃素は1965年頃まで使用されたがこれは他のハロゲンに比べ活性でなく再生サイクルに必要な量は多すぎても弊害が起こらないことによっている。その後、酸素、水素、炭素を含む臭素、塩素による再生サイクルの熱力学的解析が進み⁵⁾、各種の用途に適した封入ハロゲンのコントロールが可能となった。

1977~80年頃弗素による研究が盛んに行なわれた。タングステン弗化物(6弗化タングステン)は3400K迄安定でフィラメント上のホットスポットに選択的に沈着し常に一定の線径を維持する可能性がある⁶⁾。

しかしながら実際のランプでは弗素によるガラスの浸食、フィラメント中央部から導入線までの著しい温度勾配によって実現されていない。もし実現出来れば極めて長寿命の電球が可能となる。

(2) 赤外線の利用

入力の70%程度を赤外線として放射する電球の効率改善のためエンベロープ外面に可視光を透過し、赤外線を反射する選択多層膜を付与する試みは、中心軸上にフィラメントを配置した円柱状エンベロープを持つハロゲン電球では実用的で種々の応用が展開されている。ランプからの発熱を嫌う情報機器用として複写機用露光ランプでの実施例を図6に示す。バルブ径、発光長によって赤外線の帰還率は異なるが効率はおよそ5~10%は向上する。



更に、ランプの分光エネルギー分布は赤外域が減少し(図7)、原稿ガラス板面上の温度上昇が低下する(図8)と特長のある光源になっている。

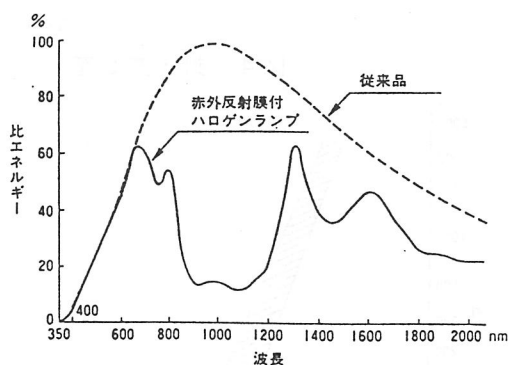


図7 赤外線反射膜付ハロゲン電球の分光分布⁷⁾

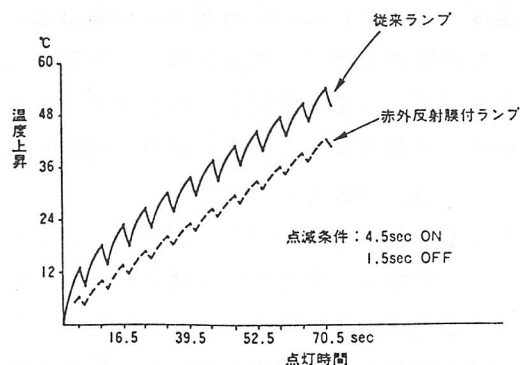


図8 原稿ガラス面温度上昇比較⁷⁾

(3) 封止部耐熱強度の改善

耐熱的に極めて優れた石英ガラスではあるが外部導入線との空隙からのモリブデン箔の酸化は使用範囲を限定している。空隙への無機質の充填による酸化防止の試み等過去には行なわれて来たが高温に伴う熱膨張により成功例は聞かない。ソケット(受金)との熱伝導による封止部温度の低減などの改善を含み実用的な対策が取られている。

(4) 材料面の改善

ハロゲンサイクルを維持するためにランプに使用する材料は制約を受けてきた。用途の拡大とハロゲンサイクルの理解から、石英ガラスと管内部材としてのタングステンに限定されていた材料もエンベロープについては硼硅酸ガラス、管内部材にはモリブデンの使用が可能となっている。

更に、情報機器部用光源として電球の特徴を生かし拡大するためには可視域での輻射能がより大きく、機械的に強く加工性の良い高融点発熱材料、又はタングステンの改良とハロゲンに浸食されない安定な材料が期待される。

3.4.6 情報機器用光源としてのハロゲン電球

(1) 複写機用露光ランプ

アナログ複写機では必要であったレンズ特性に応じた原稿面の照度分布、ドラムの感度とコピー速度に応じた高いランプ光束も複写機のデジタル化に伴い、一様な照度分布で良く、又発熱と大きい消費電力からハロゲン電球はその使命を終え、放電灯に移行していくように思われる。

ハロゲン電球としては発熱が少なく、低消費電力、長寿命の方向を志向しこのために封入ガスにXeを用い赤外線反射膜を付け特性の改善に努めている。この低消費電力化に伴う、フィラメントの機械的強度の改善と幾何学的な寸法精度の確保が技術的な課題となる。

(2) 複写機定着用ヒーター

トナーを用いた静電写真のプロセスではトナー溶融による定着は必要である。低速機ではセラミックヒーター（印刷抵抗）等の熱源に変わりヒートローラーを用いた方式では管径の縮小による高密度のランプに移行している。このためには振動を伴う寿命期間中、ランプ全長に亘り、フィラメントをバルブ中心に正確に維持する技術が必要となる。

(3) プロジェクター、OHP

ハロゲン電球では寿命の制約があり、小型メタハラがこの分野で使用され始めている。瞬時再点灯には問題があるものの高輝度で高い色温度はハロゲン電球に比べて使いやすく、この分野でもハロゲン電球の使命は終わったように見える。

参考文献

- 1) Von G.M. Neumann : Abhandlungen der OSRAM-Gesellschaft 10、p49~65 (1969)
- 2) 照明ハンドブック, P155(1978)
- 3) CIE : Technical Report TC2.1 New Light Sources(未出版)
- 4) Zubler E.G. and Mosby: F.A: Illum. Eng., 1959, 54, pp74~740
- 5) Von G.M. Neumann: Lichttechnik 24(1972) p605-607
- 6) Schroder J., Philips Technical Review, 26, 11., 1965
- 7) 東芝ライテック (株) カタログ

3.5 発光ダイオード

3.5.1 はじめに

可視発光ダイオードは1960年代後半に実用化されて以来、電子機器のパイロットランプや数字表示機、レベルメータや面発光素子等の広い分野の機器の光源として用いられている。また中大型サイズのディスプレイとしてもすでに宣伝広告用のビルボードや高速道路上の道路情報板、駅・空港などの発着案内ボード等に広く実用化されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。このような背景には、他の発光素子に比べ低電圧・低電流駆動が可能であり、小型軽量で、応答速度が速く、振動や衝撃にも強く、長寿命で、信頼性が高い点などが認知された為と考えられる。しかし、最近までは赤色以外ではカンデラ級の高輝度が得られなかっただけでなく、発光色は赤から黄緑までに制限されていたので、その応用分野も限定せざるを得なかった。ところがここ数年の間に発光ダイオード(LED: light emitting diode)の高輝度化と多色化が著しく進展しており、応用分野も急速に拡大しつつある。

3.5.2 可視発光ダイオードの現状

(1) 発光ダイオードの種類と性能

(a) LEDの発光波長と光度

図1は現在実用化されている可視LEDの発光波長と光度の関係である。すでに光の3原色と言われる青、緑、赤色で1cd以上の高輝度化が達成されている。

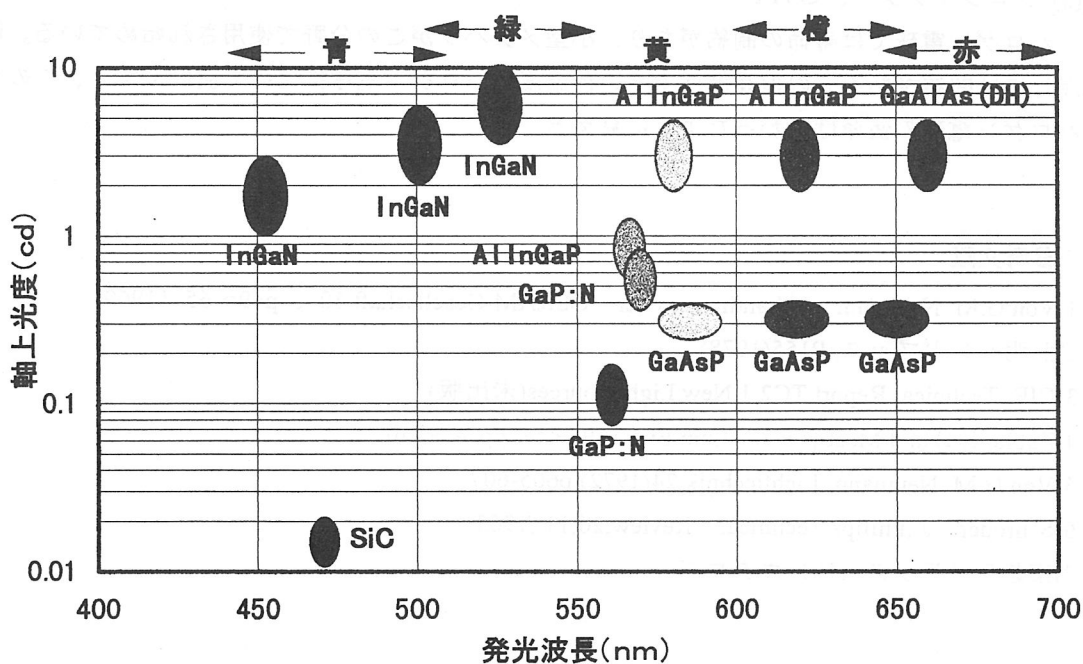


図1 発光波長と光度

(b) 代表的なLEDの発光色と特性

図2に代表的なLEDの発光色と特性を示す。

材 料	発 光 色	CIE色度座標		主波長 nm	半値幅 nm	素子構造	量子効率 %	視感効率 lm/W
		x	y					
GaAlAs	赤 RED	0.72	0.28	640	25	DH	15	6.6
AlInGaP	黄赤 ORANGE	0.57	0.43	590	15	DH	5	20
AlInGaP	黄緑 GREENISH YELLOW	0.46	0.54	572	12	DH	1	6
GaP:N	黄緑 YELLOW GREEN	0.45	0.55	570	30	HJ	0.4	2.4
GaP	緑 YELLOWISH GREEN	0.37	0.63	560	30	HJ	0.1	0.6
InGaN	緑 PURE GREEN	0.17	0.70	525	40	SQW	4.0 [*]	12 [*]
InGaN	青緑 BLUISH GREEN	0.08	0.40	495	35	SQW	5.0 [*]	8 [*]
InGaN	青 BLUE	0.13	0.08	470	30	SQW	5.6 [*]	3.6 [*]
InGaN	青 BLUE	0.15	0.09	470	70	DH	4.5 [*]	3.6 [*]

順方向電流20mAでの測定値を示す、*印は市販品の標準データ

素子構造：HJ=ホモ接合、DH=ダブルヘテロ構造、SQW=単一量子井戸構造

図2 発光色と特性

(2) 発光ダイオードの最新技術

(a) 4元素系AlInGaP(赤、橙、黄色LED)

赤から黄色でAlInGaP(アルミニウムガリウムリン)を発光材料にした4元素系LEDの製品化が相継いでいる。AlInGaPは赤から黄色までの広い範囲で直接遷移型である。一般的に格子整合するGaAs(ガリウム砒素)基板にMOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)法でAlInGaPを活性層とするダブルヘテロ構造が形成されている。GaAs基板は発光波長に対して透明ではないので図3(a)のように基板上に反射層を設けたり⁽⁴⁾、図3(b)のようにGaAs基板を一度除去した後透明なGaP(ガリウムリン)基板にウエハーボンディングする⁽⁵⁾などの取り出し効率を高める等の工夫が施されている。また、最近では結晶成長技術を改良し活性層中の不純物である酸素濃度を低減する事でも発光効率の向上がはかられている。

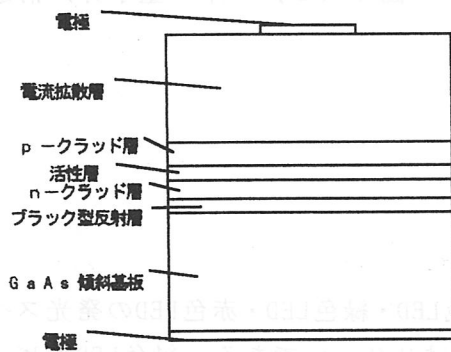


図3 (a)

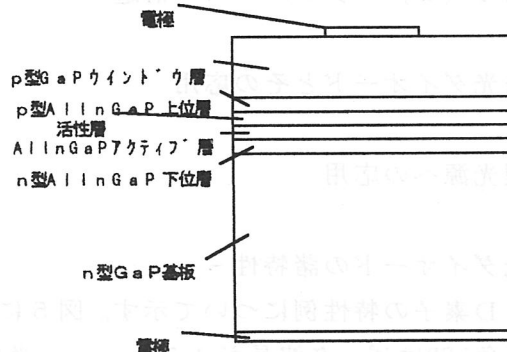


図3 (b)

(b) 3元素系 InGaN (青、青緑、緑色LED)

発光材料のGa₂N (ガリウムナイトライド)はエネルギーバンド構造が直接遷移型であることやバンドギャップエネルギーが大きいことから高輝度青色LED材料の有力な候補の一つであった。しかし結晶成長がうまくいかなかったことや、格子整合する基板結晶が見当たらなかったこと、PN接合がなかなか実現できなかったことなどの理由で、実用化にはかなりの距離があると考えられていた。ところがTWO-FLOW MOCVD法と称する新規なGa₂N膜の結晶成長方法が発明され、またバッファ層を形成することによりサファイヤ基板との格子不整合の問題が解決され、アニーリングにより低抵抗のp型Ga₂N層が得られるなど、いくつかの技術的ブレークスルーによりGa₂N系LEDの製造技術が確立されるに至っている⁽⁶⁾。1993年に最初に製品化された高輝度青色LEDは活性層にZnドープのInGa₂N (インジウムガリウムナイトライド)を用い、図4(a)に示すダブルヘテロ構造が形成されている⁽⁷⁾。1995年にはダブルヘテロ構造をさらに発展させ、発光層を30オングストロームまで薄くして単一量子井戸構造(SQW: single-quantum-well-structure)とした図4(b)に示すLEDが製品化された⁽⁸⁾⁽⁹⁾。その結果、発光再結合の確率がさらに高まり発光出力が大きく向上している。またバンド間発光なので発光スペクトルがシャープになり色純度が改善された。そして現在までに、活性層のIn混晶比をかえることにより、青色から緑色領域までの発光色でInGa₂N系LEDが製品化されている。

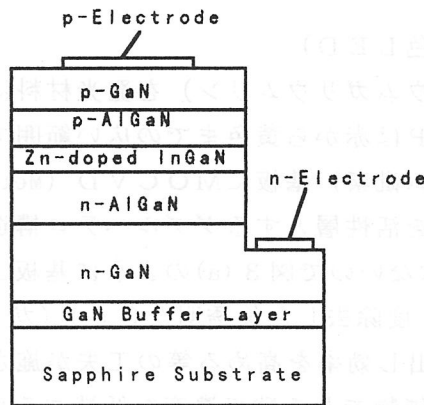


図4 (a) ダブルヘテロ構造

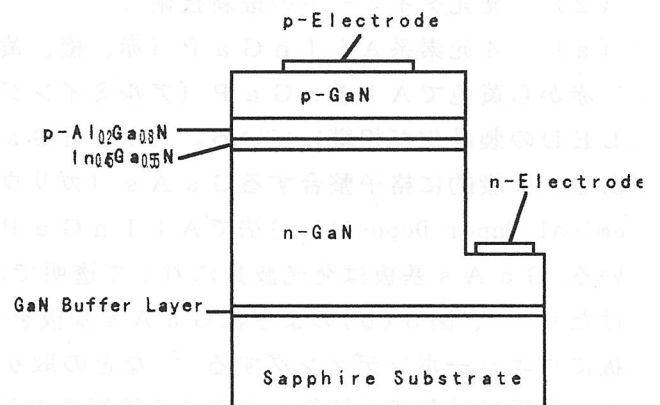


図4 (b) 単一量子井戸構造

3.5.3 発光ダイオードとその応用

(1) 小型光源への応用

(a) 発光ダイオードの諸特性

最近のLED素子の特性例について示す。図5に青色LED・緑色LED・赤色LEDの発光スペクトルを示す。青色LEDはピーク波長が470nm、半値幅は30nmである。緑色LEDはピーク波長が525nm、半値幅は40nmである。赤色LEDはピーク波長625nm、半値幅は17nmである。

図6に順電流－順電圧特性を示す。図7に順電流－相対高度特性を示す。また図8に周囲温度－相対高度特性を示す。

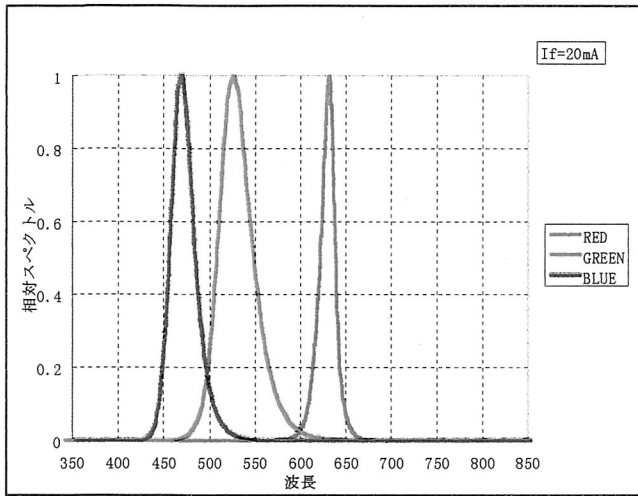


図5 発光スペクトル

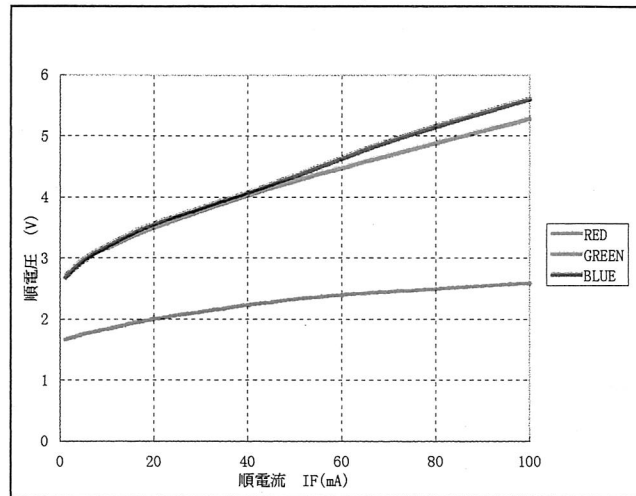


図6 順電流－順電圧特性

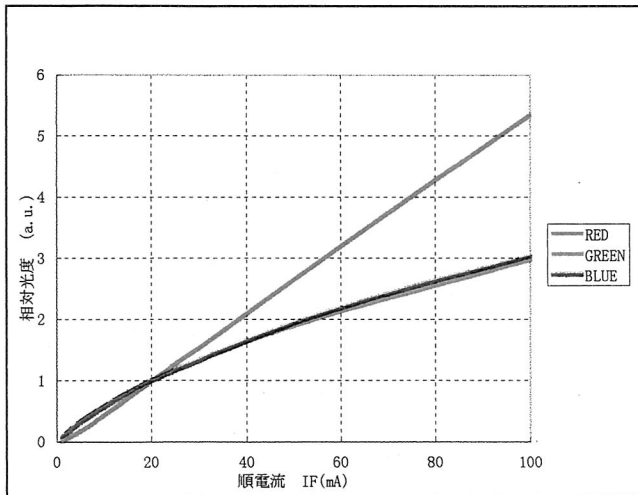


図7 順電流－相対高度特性

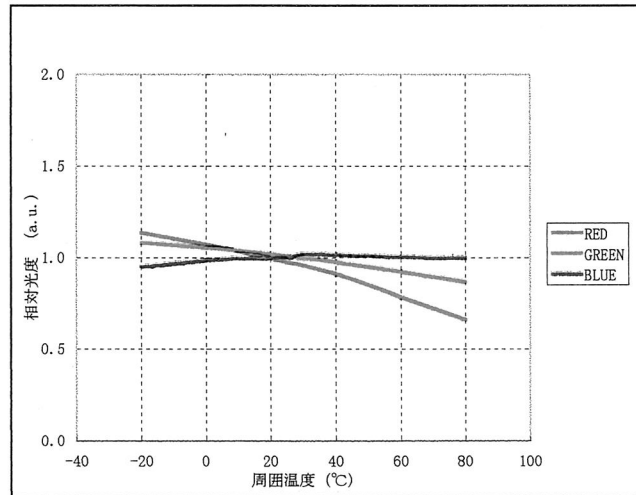


図8 周囲温度－相対高度特性

(b) 白色LED

白色LEDは青色LEDとYAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）系蛍光体を組み合わせた従来にない新しい方式の白色光源である⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。この白色LEDは電球と比較すると色再現の自由度が広く色温度の高い高級感のある白色が作れる。R、G、Bの3原色LEDを組み合わせて白色を得る方法に比べ混色調整の必要がなく、1チップ2端子と構造が簡単な上色バランスが崩れる心配がない。また、熱の発生が少なく配光特性の設計自由度も大きいなどのLED本来の特徴も兼ね備えている。白色LEDの代表的な特性は、半値角15度の配光特性を持つランプで、順電流20mA時に光度3cd、効率5lm/wで、色温度8000kの純白色、色調(x、y) = (0.29, 0.30)、平均演色評価数Ra = 85である。

また応答速度も120 nsecと高速である。図9は白色LEDの構造図である。LEDチップが発する青色光で蛍光体を励起して補色である淡黄緑色の光が得られる。そして、元々の青色と蛍光体が発する淡黄緑色が合成されて白色光が取り出されるよう工夫されている。蛍光体には耐候性にも優れている無機蛍光体YAG系が使用されている。図10は白色LEDの発光スペクトルである。また、図11は蛍光体構成元素の組成比率を変えて得られる白色LEDの色再現範囲である。白色LEDは情報表示板、照明、車載光源、液晶バックライトなどの分野で用途拡大が期待される。

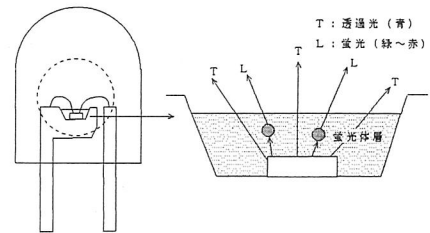


図9 白色LEDランプの構造

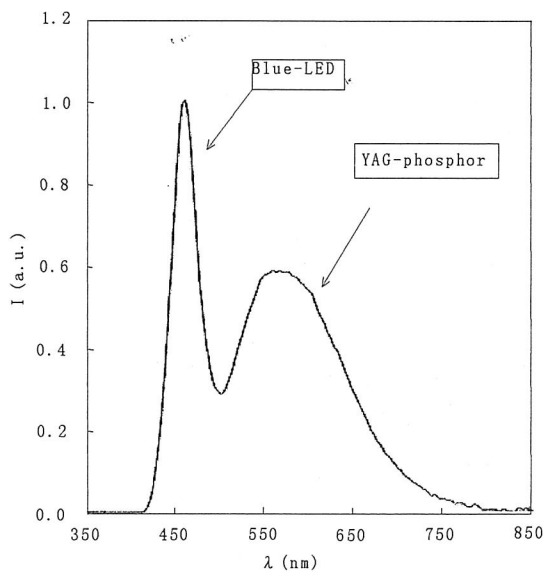


図10 白色LEDの発光スペクトル

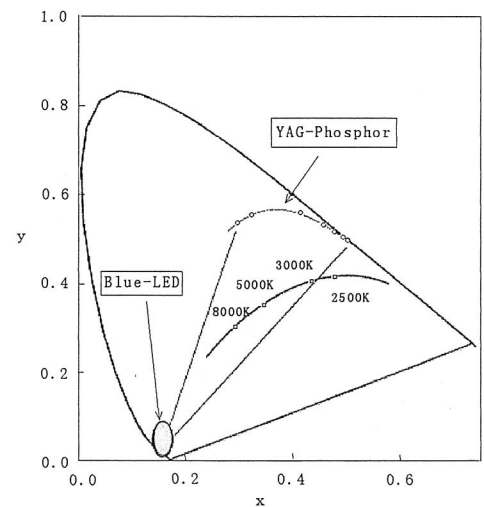


図11 青とその補色合成による白色LED

(c) LCDバックライト用光源

LED方式バックライトはその他の光源に比べ駆動回路が簡単で直流駆動することができ、インバータが不要であるためノイズや音の発生がない。低温や高温でも安定しており、始動直後から安定した特性を示す、また長寿命でありメンテナンスが軽減されるなどの長所がある。最近の高輝度R,G,B3波長LED光源や白色LED光源を応用したLED方式バックライトはこれらの長所を活かしながらLED方式の弱点と見られていた演色性や輝度不足の問題を大幅に改善できることから、主に小型サイズのものから徐々に実用化が進んでいる。

(d) フルカラー画像処理用光源

同様にLED光源はファクシミリ、プリンター、コピー、スキャナーなどのカラー読みとりや書き込み用光源としても徐々に実用化が進んでいる。

(2) 交通信号機への応用

InGa_N系青緑色LEDとAlInGaP系の黄色と赤色LEDを組み合わせることにより交通信号機のLED化が可能になった。LED交通信号機はカラーフィルターが不要なため西日などで生ずる疑似点灯が防止でき誤認識による事故発生が抑制できる。従来の電球方式は断線すると滅灯して機能が失われるがLED方式はLEDランプ数百個で構成されるのでたとえ1個が故障しても滅灯することはない。また、個々のLED自体も長寿命であり、低消費電力で大幅な電力の削減が期待できるなどの特徴を有している⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

写真1は1994年7月に名古屋市に試験設置された矢印信号機の例である⁽¹⁴⁾。従来の電球方式の消費電力60wに対してLED方式は16wと約1/3以下に省電力化されている。また、矢印もハッキリと見やすいと評価も上々のようだ。写真2は1994年10月に徳島市に試験設置された3色信号機の例である⁽¹⁵⁾。このような試験設置例はこの他にも見られるが、まだ国内においてはLED方式信号機の規格化が検討されている段階であり本格的な普及には到っていない。一方、欧米では日本以上にLED方式の信号機を導入する動きがみられる。

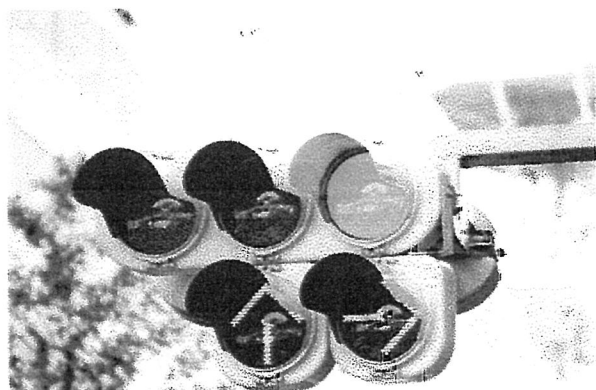


写真1 矢印信号機

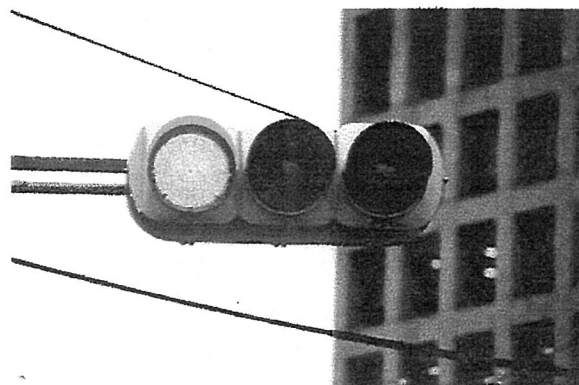


写真2 3色信号機

(3) 大型ディスプレイへの応用

(a) LEDディスプレイの特長

LEDディスプレイは薄型軽量で振動や衝撃にも強く画面サイズの設計が自由であり設置場所を選ばない、また屋外でも十分な視認性を確保でき、低消費電力、長寿命などの特長がある。また図12の色度図から理解できるようにLEDディスプレイは通常のTV信号(NTSC方式)をほぼ忠実に再現することが可能である。LEDディスプレイの適用に有利な範囲は一般的にはプラズマディスプレイや投射管等と競合しにくい100インチ以上の比較的大型タイプとされている。しかし実際にはドットピッチが3mm以下の実装パネルも開発されており高解像度化はさらに進展する可能性がある。一方、屋内外向けの中大型サイズでは高輝度放電管やCRT方式などの先行技術レベルに迫る勢いで実用化が進展している。これまでのLEDディスプレイは情報表示板としての用途が中心であったが、今後はフルカラー映像表示装置としての表示品質の要求が強くなると考えられる。

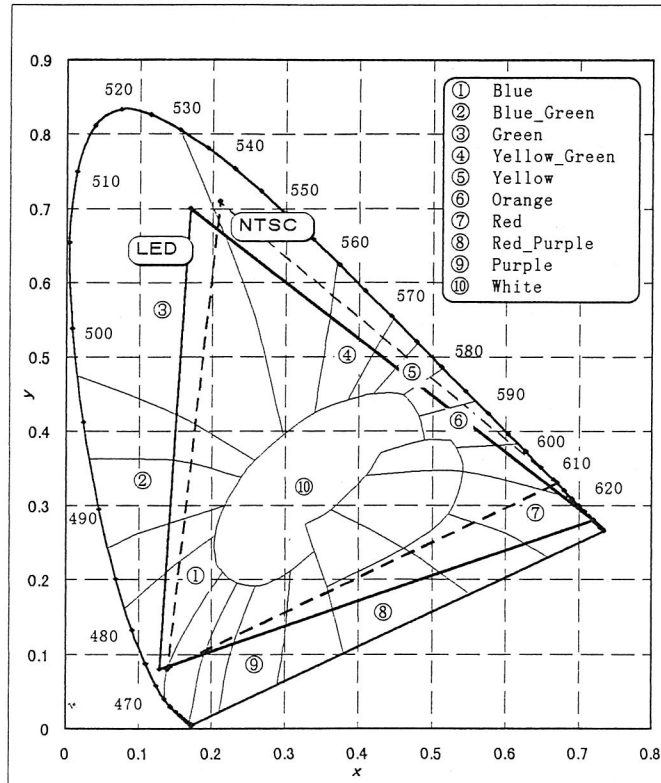


図 1 2 LEDディスプレイの色再現範囲

(b) LEDディスプレイの構成

大画面の表示パネルは数画素から数百画素単位にまとめられた基本単位を縦横に並べて構成される。例えばよく使われる基本単位に 16×16 ドットマトリックスパネルがある。図 1 3 はフルカラーLEDディスプレイシステムの基本的な構成例を示している。LEDディスプレイコントローラはコンピュータ等から画像信号や制御信号を受けてフルカラーLEDパネルの表示を制御するハードウェアである。このシステム例ではTVやVTR、LDなどのNTSC信号もVGA信号に変換し合成して表示するようになっている。そして専用コンピュータから画面の表示位置や γ 補正、素子ばらつき補正やその他の映像調整等が行われる。ディスプレイコントローラの出力は分配ボードに転送され、表示信号を数ブロックに分配すると共に、ここでLEDドットマトリックスユニットの駆動回路にインタフェースされるのが一般的である。

(c) LEDの階調制御及び駆動方法

LEDの階調駆動制御の方法としては、LEDの動作電流または導通時間を制御する方法が考えられる。ここではデジタル制御が容易で緻密な画像表示を実現しやすいパルス幅変調駆動の例を上げている。図 1 4 に $1/16$ デューティダイナミック駆動のフルカラーLEDドットマトリックスの回路構成例を示す。 $1/8$ デューティやスタティック駆動等の場合も原理は同じである。ドットマトリックスパネルのコモンラインはラインデコーダの出力に応じて順次選択される。またセグメントドライバーはR、G、B別々に16チャンネルの定電流回路で構成されている。シフトアンドラッチ回路にはR、G、Bそれぞれ8bitパラレル映像データがフレーム毎に取り込まれる。階調制御回路は映像データに対応した時間幅のパルスを生じ定電流回路の導通時間を制御することにより画素毎に階調駆動が行われる構成になっている。

ディスプレイシステム構成例

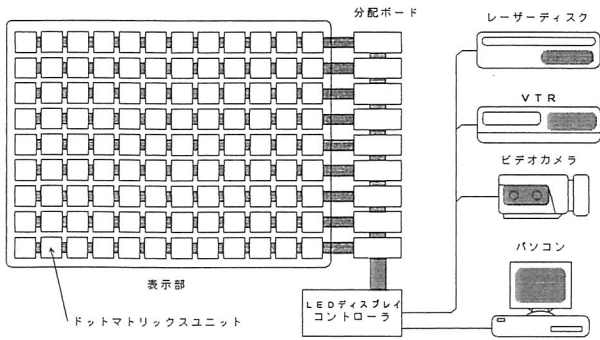


図13 LEDディスプレイの構成例

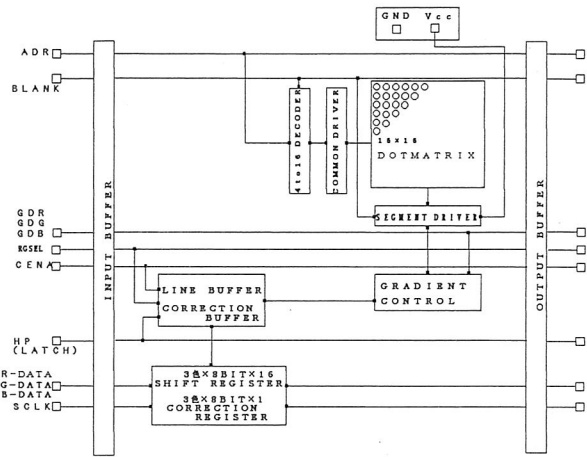


図14 ドットマトリックスの回路構成例

(d) フルカラーLEDディスプレイの実用化例

写真3は1995年1月に近鉄上本町駅に設置された屋内型フルカラーLEDディスプレイの例である⁽¹⁶⁾。発光波長と輝度がそれぞれ青色が470nm、1cd相当、緑色が約525nm、2cd相当のいずれもGaN系ダブルヘテロ構造LEDが採用されている。

写真4は1996年5月に有楽町駅前に設置された屋外型フルカラーLEDディスプレイの例である⁽¹⁷⁾。発光波長と輝度はそれぞれ青色が470nm、2cd相当、緑色は525nm、6cd相当のGaN系単一量子井戸構造LEDが採用されている。



写真3 屋内型フルカラーLEDディスプレイ



写真4 屋外型フルカラーLEDディスプレイ

3.5.4 まとめ

LEDでフルカラーを実現するための大きな課題とされていた高輝度の青色と純緑色がInGaN系LEDで実現された。従来からあった赤色や黄色もAlInGaPにより高輝度化が達成された。これらの高性能LEDは新たな用途を切り開きLEDの市場を拡大しつつある。その一方で交通信号機や鉄道信号機に見られるように交通システムの安全を守るキーデバイスとしての役割を求められるなど、品質に対する要求は厳しさを増している。また、映像を表示するフルカラーLEDディスプレイへの応用においては、従来のLEDには求められなかったレベルでの輝度や色調の均一性、さらには温度特性、劣化特性、配光特性等におけるRGB間の調和が必要になってきている。このような市場ニーズに答えていく努力を続けることがLEDの新しい用途を定着させていくことにつながるであろう。

参考文献

- (1) 西澤潤一監「発光ダイオードとその応用」(産業図書 '88)
- (2) 奥野保男著「発光ダイオード」(産業図書 '93)
- (3) 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書 昭和63年3月
- (4) 野口宗昭 「超高輝度InGaAlP-LEDランプ」東芝レビュー 1993 vol.48 no.12
- (5) 大庭祐司 「超高輝度AlInGaP-LED技術とその応用」月刊ディスプレイ Vol.2 No.6 (1996)
- (6) 中村修二 「実現した青色の高輝度発光ダイオード」日経サイエンス 第24巻 第10号 通巻277号 1994年.10月
- (7) Shuji Nakamura, Takashi Mukai and Masayuki Senoh. "Candela-class high-brightness InGaN/AlGaP double-heterostructure blue-light-emitting diodes" Appl. Phys. Lett. 64(13).28 March 1994
- (8) Shuji Nakamura, Masayuki Senoh, Naruhito Iwasa and Shin-ichi Nagahama: "High-power InGaP single-quantum-well-structure blue and violet light-emitting diodes" Appl. Phys. Lett. 67(13).25 september.1995
- (9) Shuji Nakamura, Masayuki Senoh, Naruhito Iwasa and Shin-ichi Nagahama: "Super-Bright Green InGaP Single-Quantum-Well-Structure Light-Emitting diodes" Jpn. J. phys. vol. 34 (1995) pp. 11332-11335
- (10) 日経産業新聞 1996年9月13日付
- (11) 第264回蛍光体同学会講演会予稿集(1996)
- (12) 佐藤英雄 「信号機応用への新展開」エレクトロニクス 1994年6月号
- (13) 岡崎英治 「LED信号灯器」月刊ディスプレイ Vol.2 No.6 (1996)
- (14) 中日新聞 1994年7月27日付
- (15) 徳島新聞 1994年10月22日付
- (16) 柏原 豊、西田好徳、馬場保男、小山博之、「大型フルカラーLED表示装置の開発」近畿日本鉄道技術研究所技法 平成7年 第26巻
- (17) NIKKEI ELECTRONICS「電球になる発光ダイオード」1996.10.21 (no.674)

3. 6 半導体レーザー

半導体レーザーは、光通信システムの光源としてマルチメディア情報インフラのキーデバイスあると共に、CDやMD等の光ディスクやレーザープリンタに代表されるコンシューマ情報機器用の光源として、一般ユーザが半導体レーザーそのものを直接目にする機会は非常に少ないが、身近なところで大量に使われている。この半導体レーザーの現状と動向を報告する。

3. 6. 1 動作波長域と用途

半導体レーザーが用いられる大きな応用分野として、現在、次の5つの応用領域があげられる。

- 1) 光ディスク用光源
- 2) レーザプリンタ
- 3) バーコードリーダー
- 4) 光ファイバ通信用光源
- 5) 光計測用光源

それぞれの応用領域によって、半導体レーザーに求められる発振波長は異なる。半導体レーザーの発振波長は、半導体材料によって異なり、同じ半導体材料でも組成・構造を変えることにより発振波長が細かく調整されている。図1に、現在実用化あるいは開発中の半導体レーザーの発振波長域と半導体材料を示す。

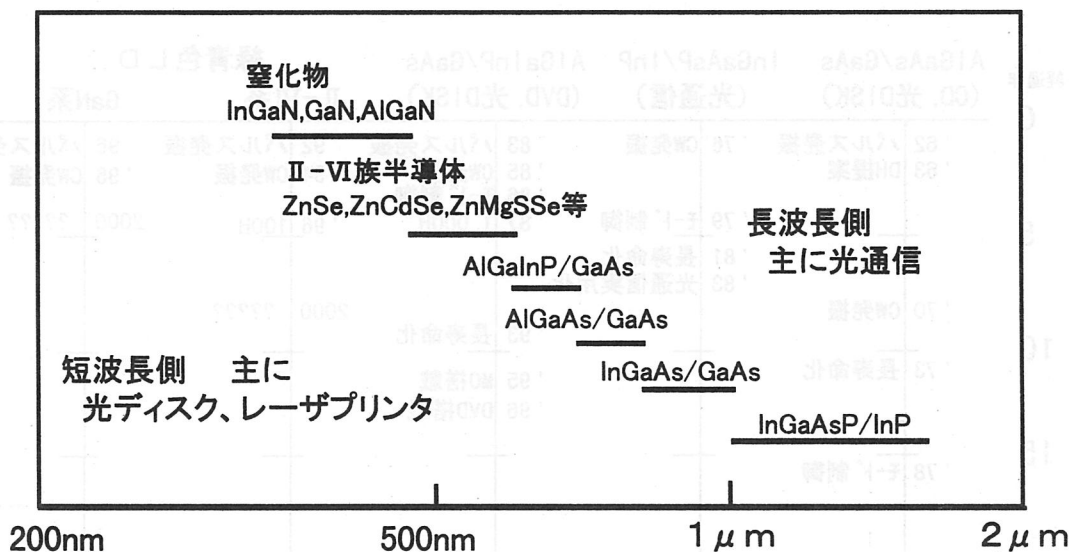


図1. 動作波長域と半導体レーザー材料

半導体材料としては、主にIII-V族半導体が用いられ、~500nmの緑青色域ではII-VI族半導体が材料として採用されている。現在実用化されている半導体レーザーは600nmより長い波長域のものであり、600nm以下の波長域の半導体レーザーは現在積極的に開発が進められているものである。

応用領域1)、2)では、集光スポット径が光ディスク容量やプリンタの高精細性を決めるため、発振波長が短いレーザーが望まれる。現在、最も広く用いられているレーザーはAlGaAsの近赤外レーザー(780nm~860nm)である。CD、CD-ROM、光磁気ディスク用の光源として、数多く用いられている。最近では、光ディスク装置の高密度・大容量化にともない600nm

帯の AlGaInP 赤色半導体レーザが用いられるようになってきた。最近話題となっている DVD にはこの AlGaInP 赤色半導体レーザが搭載されている。さらなる光ディスクの高密度・大容量化の向けて緑青色レーザが強く望まれている。

応用領域 3) のバーコードリーダでは、波長 632.8nm の He-Ne レーザで装置が規格されているため、600nm 帯の AlGaInP 赤色半導体レーザが用いられる。

応用領域 4) の光ファイバ通信では、光ファイバの低損失波長域である 1.3 μm と 1.55 μm で発振する InGaAsP 半導体レーザが主流である。AlGaAs 赤外半導体レーザや AlGaInP レーザもコンピュータ内の配線や短距離のローカルエリアネットワーク (LAN) では検討されている。980nm で動作する InGaAs レーザもファイバアンプ用励起光源として、実用化が進められている。

応用領域 5) の光計測は計測対象によって非常に大きな幅があるが、代表的なものとして測距が考えられる。視認性が重要とされる領域では AlGaInP 赤色半導体レーザが、視認性を必要としない領域ではアイセーフティが考慮され長波長の InGaAsP 高出力レーザが用いられている。

以上応用領域別にどのような材料のレーザが用いられているかを記述した。その中で代表的な半導体レーザの開発経緯を図 2 にまとめた。

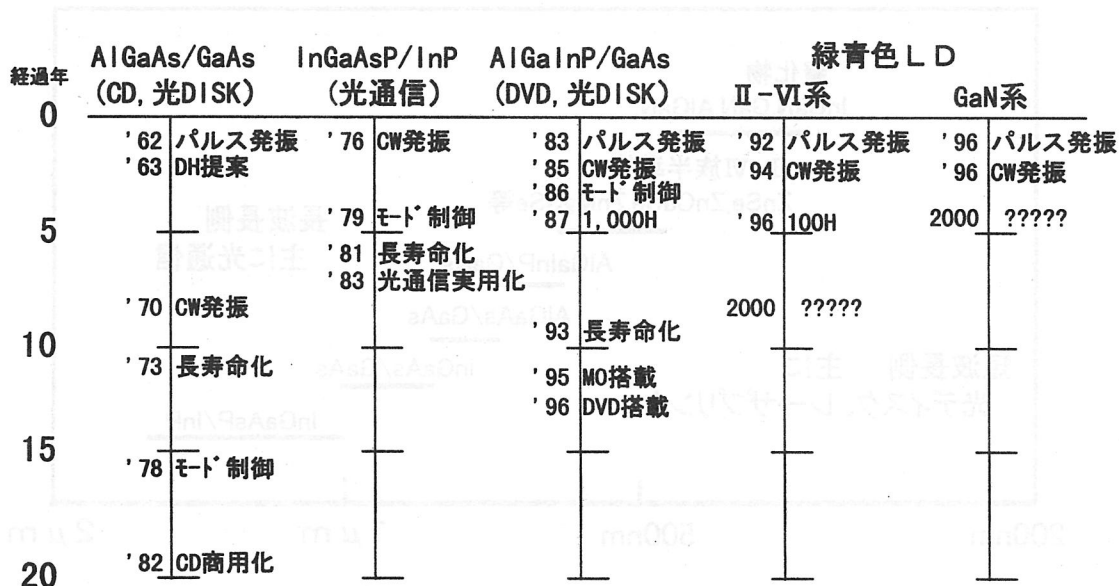


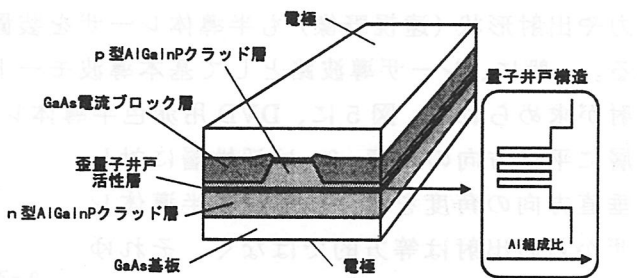
図2. 主要半導体レーザの開発経緯

近年、緑青色レーザの進展が著しく、その進展が開発の加速している。いつ実用化されるかが、大きな関心事となっている。

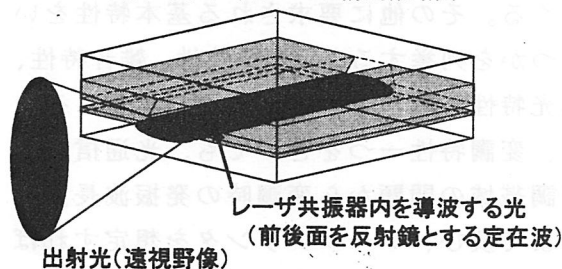
以下では、半導体レーザの動作及び基本特性と、応用分野別に現状と動向を述べていく。
1)、2) 及び 3) の応用領域の半導体レーザでは、動作波長以外の特性に対する要求性能としては類似している。以下では、これらの半導体レーザを単体情報機器用レーザ光源としてとらえる。実際に、光ディスク用光源とレーザプリンタ用光源あるいはバーコードリーダ用光源には、ほぼ同等な構造のレーザが用いられている。光ファイバ通信用半導体レーザでは光ディスク用光源への要求性能に加えて異なった性能が求められ、さらに、集積光源も検討されている。計測用のレーザにおいても大出力性が重視され構造的にも異なってくる。

3.6.2 半導体レーザーの動作と基本的特性

半導体レーザーの構造概略図を図3に示す。図3(a)に示したものは波長600nm帯で動作するAlGaInP赤色半導体レーザーの具体的な構造概略図である¹⁾。半導体レーザー素子は長さ数100 μm ~1mm、幅数100 μm 、厚さ100 μm の非常に小さなチップである。光を発光・増幅する層を活性層と呼び、その活性層は、活性層をなす半導体のバンドギャップより大きな半導体層(クラッド層と呼ぶ)により上下から挟み込まれている。この構造をダブルヘテロ構造²⁾といい、活性層にキャリアを有効に閉じこめかつ光の導波路を形成するもので、すべての半導体レーザーの基本的構造である³⁾。また、半導体レーザーは横方向にも導波構造が作りつけられている。その導波構造には、利得導波型と屈折率導波型の2種類がある。今までにそれぞれに対して数多くの具体的な構造が提案されてきた。図2(a)の構造は埋め込みリッジ構造と呼ばれる代表的な屈折率導波構造の一つである。光通信用半導体レーザーでは埋め込みヘテロ構造がよく用いられている。レーザー導波路の構造は、多くの専門書に記述されている⁴⁾、⁵⁾。詳細はそれらを参照されたい。



(a) 具体的な半導体レーザー構造概略図



(b) レーザ共振導波路の概略図

図3. 半導体レーザーの概略構造図

図3(b)は、半導体レーザーをさらに概略的に書いたものである。半導体レーザーには、上述のように光を増幅する活性層を含む1本(場合によっては複数)の導波路が作りつけられ、素子の端面が反射鏡をなしている。レーザーの基本構造が、結晶組成の異なる半導体を幾重にも積層することにより、形成されている。活性層で発光した光は導波路を増幅されながら全面と後面の端面で反射され定在波を形成する。活性層へキャリアを注入し反転分布を大きくし増幅利得を増大させて、その利得がレーザー共振器の損失と一致したとき発振動作が得られる。

半導体レーザーの基本特性として第一にあげるべきものは電流-光出力特性である。半導体レーザーに電流を注入するとある電流値で発振を開始する。この電流値を発振しきい値電流という。この電流が小さいことがあらゆる用途で低消費電力の観点から強く望まれる。さらに、動作雰囲気温度によりこの発振しきい値電流は異なる。この温度依存性が小さいことも強く望まれることである。これらの特性を向上するために、量子井戸構造の活性層への採用がほとんどの半導体レーザーでなされている⁶⁾、⁷⁾。この量子井戸構造はその他の特性例えば変調特性等にも大きく寄与している。具体的な電流-光出力特性の一

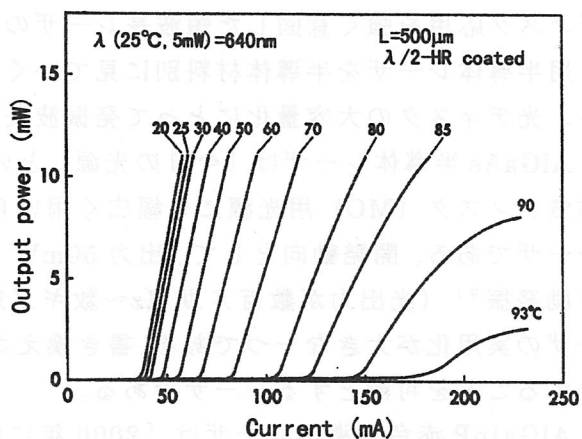


図4. 電流-光出力特性 (DVD用赤色半導体レーザー)

例として、DVD 用 AlGaInP 赤色半導体レーザ⁸⁾の例を図4に示す。また、出射される光の出力や出射形状(遠視野像)も半導体レーザを装置やシステムに使う上では重要な基本特性である。一般に、レーザ導波路として基本導波モードだけが励振され光出力に対して安定した光出射が求められる。図5に、DVD 用赤色半導体レーザでの遠視野像の一例を示した。 θ_{\parallel} は活性層に平行方向の角度、 θ_{\perp} は活性層に対して垂直方向の角度を示す。一般に半導体レーザからの出射は等方的ではなく、それゆえに、各用途により出射形状への要求が出てくる。その他に要求される基本特性をいくつかを列挙すると、変調特性、雑音特性、集光特性、動作信頼性があげられる。そして、変調特性一つをとっても、光通信では変調帯域の問題から変調時の発振波長変動にまで及び、レーザプリンタを想定すればドループと呼ばれる変調時の発熱による出力変動もあり、用途によってその内容は着目点を変えていく。それぞれの用途に合わせて、必要な特性が追求される。

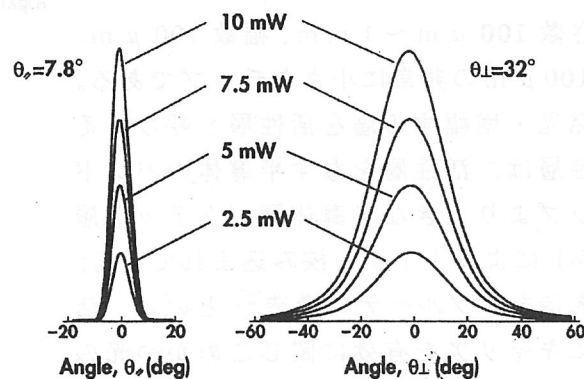


図5. 光出力特性(遠視野像)
(DVD 赤色半導体レーザ)

3. 6. 3 単体情報機器用半導体レーザ

(光ディスク用、レーザプリンタ、バーコードリーダ用)

光ディスク用半導体レーザ、レーザプリンタ、バーコードリーダ用の光源として求められる主要な特性は、1) 集光特性、2) 低駆動電流特性(低しきい値電流、高効率)、3) 高信頼動作特性である。書き換え可能な光ディスクでは高出力特性が、レーザプリンタでは良好なドループ特性がさらに求められる。低価格も強く求められる応用分野である。

これらの用途では、最初に出射された光をコリメートする。コリメート光は対物レンズで集光される。バーコードリーダではコリメート光がそのまま使われるが、安定した基本横モードでの発振での出射形状が強く望まれる。そのためにレーザ導波路構造の設計が重要となっている。集光スポット径は発振波長に比例して小さくなる。そのため短波長での発振が望まれ、光ディスク応用を強く意図した短波長レーザの開発が一つの大きな流れとなっている。光ディスク用半導体レーザを半導体材料別に見ていくと、図6のように位置づけられるものと考えられる。光ディスクの大容量化にとって発振波長の短波長化は大きな技術課題となっている。

AlGaAs 半導体レーザは「今日の光源」といえ、CD や CD-ROM に、その高出力レーザは光磁気ディスク(MO)用光源にも幅広く用いられている。ほぼ実用面では成熟域に達しているレーザである。開発動向として、出力 50mW クラスの高出力レーザで 5mW 程度の低出力時に自励発振⁹⁾(光出力が数百メガ Hz~数ギガ Hz で振動し、コヒーレンシが低い動作)するレーザの実用化が大きな一つである。書き換えが可能な光ディスクでの雑音特性を低コストで向上することを可能とするレーザである。

AlGaInP 赤色半導体レーザは「2000 年に向けての光源」といえ、今後 DVD の流れのもとに広く普及することが期待されるレーザである。バーコードリーダ用には 1988 に実用化され、性能の向上により光ディスクへと応用範囲が拡大してきたと言える。この材料系の半導体レーザは波長が短いほど技術難易度が高くなるレーザで、現在光出力 5mW の低出力レーザでは

図5及び図6に示したように640nmにおいても良好な特性が得られ、690nmから635nmまでの範囲で実用化が達成されている。光磁気ディスク等の書き換え可能な装置に適用される30~50mWのAlGaInP高出力レーザは、680nm台での実用化が図られたばかりである¹⁾。より短い波長での高出力化が今後の課題であり、DVD-RAM用光源を見据えた650nm帯での高出力レーザの開発が積極化している。

緑青色半導体レーザは世の中に普及する時期までを考えれば「21世紀の光源」と考えられる。どちらも室温連続発振が達成され^{10), 11)}、現在の最大の課題は動作信頼性である。光ディスクに必要とされる動作信頼性は、60℃で1万時間動作が必要といわれる。現状は室温で数時間で、この向上に期待がされている。これと平行して800nm台のAlGaAs高出力レーザ(構造は6.3.5光計測用半導体レーザでのブロードレーザを参照)の二次高調波を用いた緑青色光源の開発も進められている。

レーザプリンタ用の半導体レーザとしては、現在AlGaAs近赤外レーザが主に採用されてい

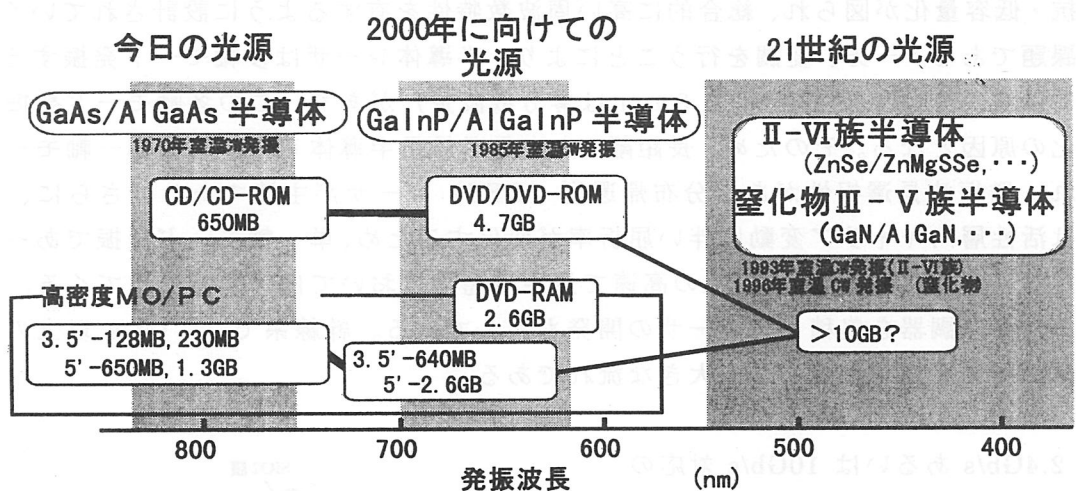


図6. 光ディスク半導体レーザと光ディスクの高密度化

る。光ディスク用半導体レーザと構造はまったく同じといってよい。図7に示すパルス応答波形での自己発熱による光出力低下(ドループ特性)を抑えられるように、必要に応じて、光ディスク用半導体レーザを基準にして、温度特性、放熱特性、出力効率に設計変更が施されている。高精細性の要求とAlGaInP赤色レーザの低価格化が進むことにより、赤色半導体レーザのレーザプリンタへの応用は進んでいくものと考えられる。

バーコードリーダ用では635nmにより近い波長で発振するレーザが求められてきた。現状は670nmでのAlGaInPレーザが主流であるが、635nmレーザの実用化がされた現在では、その要求は満たされようとしている。光ディスク用の赤色半導体レーザの動向と、バーコードリーダ用のレーザ動向には重なるものがあり、短波長の光ディスク用AlGaInP赤色半導体レーザはそのままバーコードリーダへと適用されていくものと考えられる。

3. 6. 4 光通信用半導体レーザ

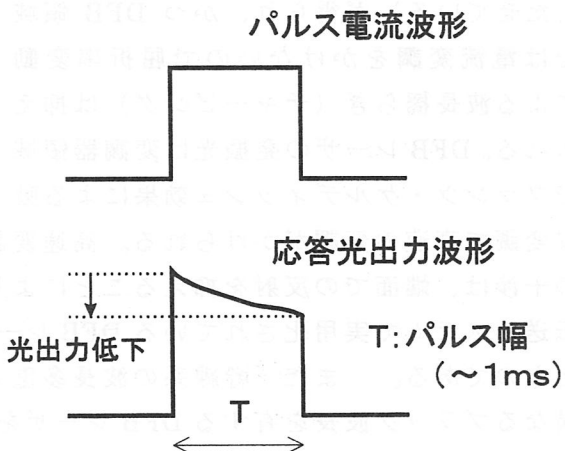


図7. ドループ特性

光通信用半導体レーザでは、先に述べたように、石英系光ファイバの低損失波長帯が $1.3 \mu\text{m}$ と $1.55 \mu\text{m}$ にあり、この波長帯に発振波長を有する InGaAsP 半導体レーザが主に用いられる。光通信網には、幹線系、アクセス系、ローカルエリアネットワーク (LAN) 等のいくつかの形態あり、それぞれで半導体レーザに要求される性能は異なっている。

光通信用半導体レーザでは、すべての通信網において光ファイバ等との結合の問題から、単体光情報機器用光源と同様にモード安定度が要求される。高い動作信頼性も要求される。それに加えて、変調動作時の特性が重要となっている。大容量・長距離の幹線系では特に重要な特性である。半導体レーザは駆動する電流を変調することにより光出力も電流に追従して変調される。この変調方式は直接変調と呼ばれる。半導体レーザの直接変調の限界は、レーザ動作そのものの周波数特性と素子の寄生容量による電氣的な周波数特性の2つによって決められる。前者は光子・キャリア寿命、微分利得によって制限され、この特性を向上するために微分利得を増大させる等の構造が検討されている。後者に対しては、素子構造、電極構造の検討により低抵抗・低容量化が図られ、総合的に高い周波数特性を有するように設計されている。一つの開発課題である。一方、変調を行うことにより、半導体レーザは多軸モード発振する。光ファイバには波長分散特性（但し、 $1.3 \mu\text{m}$ は零分散波長）があり、この多軸モード発振は伝送波形劣化の原因となる。そのため、長距離・大容量通信用半導体レーザには単一軸モード発振が望まれ、発振波長選択性がある分布帰還型 (DFB) レーザが主流である。さらに、直接変調時には活性層内キャリア変動に伴い屈折率が変化するため、単一軸モード発振であっても波長変動があり、これも、Gb/s 以上の高速で長距離通信においては問題となってくる。これに対応する外部変調器を集積したレーザの開発も進んでいる。幹線系では、Gb/s 以上の高速変調レーザの開発・実用化が一つの大きな流れである。

図8に 2.4Gb/s あるいは 10Gb/s 対応の DFB-変調器集積レーザ (DFB-MOD)¹²⁾ の構造図を示す。この集積レーザは、DFB-LD 領域と変調器領域に分かれ、DFB レーザ¹³⁾ の発振光を変調領域で変調する。DFB 領域では回折格子のブラッグ波長で選択された単一軸モード発振（レーザの反射鏡を回折格子に置き換え、波長選択性をもたせている）が得られ、かつ DFB 領域では電流変調をかけないので屈折率変動による波長揺らぎ（チャープング）は抑えられる。DFB レーザの発振光は変調器領域でフランチ・ケルディッシュ効果による吸収変調で高速の変調がかけられる。高速変調の阻害要因となる DFB-LD 領域と変調器領域との干渉は、端面での反射を抑えることにより、抑制されている。 $1.55 \mu\text{m}$ での数 100Mb/s の伝送システムで実用化されている DFB レーザは、図8の DFB-MOD で変調器領域を取り除いたものである。また 幹線系の波長多重方式による大容量化も検討されている。そのため、異なるブラッグ波長を有する DFB レーザをアレイ化する試みも行われている。

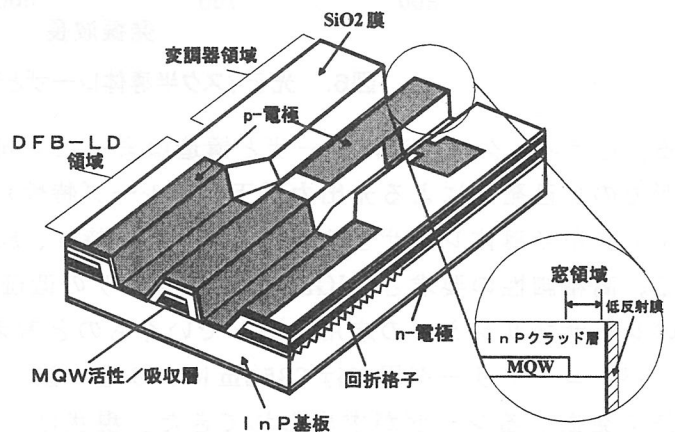


図8. DFB-MOD の構造図

アクセス系では、非常に速い高速変調特性よりも、温度特性が小さな半導体レーザが強く望まれている。有効な電流及び光閉じ込めを可能にするレーザ導波路構造や量子井戸活性層の導入及び最適化が図られ、80℃での低駆動電流動作可能なレーザの開発が進められている。この領域は LAN 用の半導体レーザと同様に低価格性も求められ、容易に作成できるレーザ構造も必要となる。この低価格は素子単体だけでなく送受信ユニットとして必要であり、光ファイバや光導波路への結合を容易にして低価格化をはかるスポットサイズ変換レーザ¹⁴⁾の開発も進められている。図9にスポット変換レーザの概略構造図を示す。レーザ共振器の中で導波路幅を徐々に変化させ、光増幅部では、良好な発振特性を得るために光閉じこめを大きくとり、光出射部では、導波路内の光分布を広げて狭出射光を得る構造をとっている。

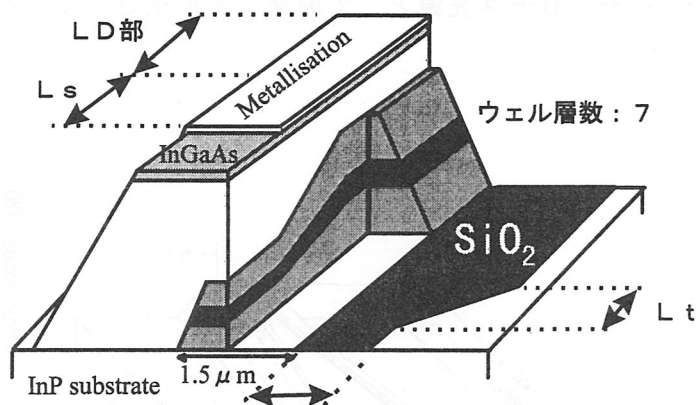


図9. スポットサイズ変換レーザの構造図

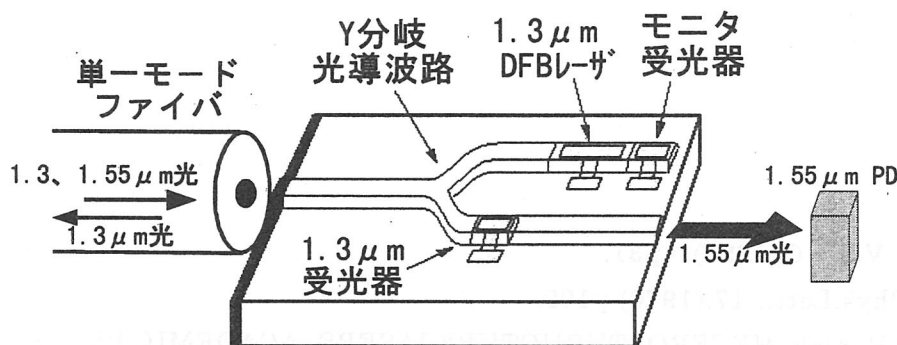


図10. 送受信用光集積素子の一例

DFBレーザや受光素子を集積したものであり、送信には1.3 μmの波長を用い、受信は1.55 μmの波長で行うことを想定したものである。

3.6.5 光計測用半導体レーザ

赤色域でのAlGaInPは照射スポットを確認できる(目に見える)ため、ラインマーカや水準器等にも用いられている。遠方物体の確認と測距には、波長1.5~2 μm程度のアイセーフ波長の高出力レーザが開発されている。その用途には数Wクラスの大出力特性が求められる。そのためレーザの構造は従来のものとは異なり、導波路幅の広い(いわゆるブロードレーザ)利得導波路構造が採用される。図11に、アイセーフ高出力レーザ構造と光出力特性を示す。出射端面での導波路幅は100 μmと広く、光出力はパルス動作で5W以上が得られている¹⁷⁾。このレーザ構造はフレアタイプと呼ばれ、後端面に向かってテーパ形状をなしている。その他に、大出力導波路構造として、導波路幅が一様に広いものや数μm幅の導波路をアレイ化した構造がある。さらに、出力向上のために、複数の素子を重ねたスタック構造も検討されている。また、ブロード構造レーザはAlGaAs近赤外レーザやAlGaInP赤色半導体レーザでも励起用

また、送受信を一つのチップ集積する、あるいは石英導波路上に半導体素子組み付けてハイブリッド集積する研究開発も進められている^{15)、16)}。図10に、モノリシックに集積した送受信光集積素子の一例を示す。半導体上に形成された導波路上に

光源やレーザプロセス光源として開発・実用化されている¹⁸⁾。

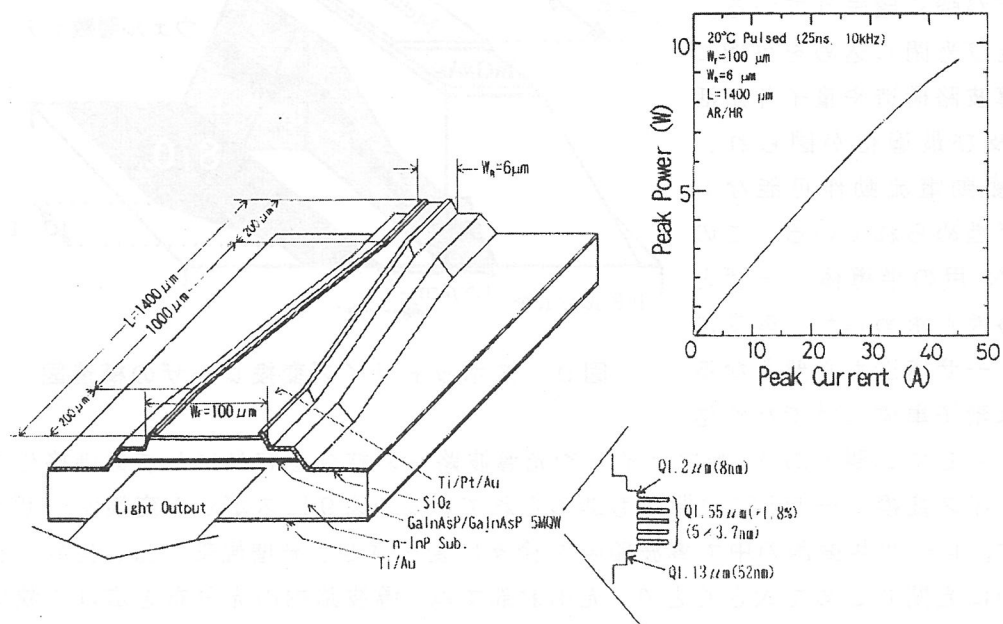


図 11. アイセーフ高出力半導体レーザ

参考文献

- 1) 小林：光アライアンス Vol. 6 (1995)、p31.
- 2) I.Hayashi, et.al., Appl.Phys.Lett., 17,(1970) p109.
- 3) H.C.Casey, Jr. And M.B.Panish, HETEROSTRUCTURE LASERS, ACADEMIC PRESS, (1978)
- 4) 米津宏雄著：光通信素子光学 光学図書 (株)
- 5) 伊藤良一、中村道治共編：半導体レーザ 培風館 (株)
- 6) 榊裕之編著、江崎玲於奈監修：超格子ヘテロ構造デバイス 工業調査会 (株)
- 7) 岡本紘著：超格子構造の光物性と応用 コロナ社 (株)
- 8) 鳥養他：電子材料 Vol35、No.5 (1996) p28.
- 9) 山田：信学技報 OQE92-12
- 10) S.Taniguchi, et.al., Electron. Lett., 32, No.6, (1996) p.552.
- 11) S.Nakamura, et.al., LEOS'96, 9th Annual Meeting, PDP1.1.
- 12) T. Kato, et.al., Electron. Lett., 28, (1992) p.153.
- 13) 応用物理学会編：半導体レーザの基礎 動的単一モード半導体レーザ (6章) .
- 14) T.Yamamoto, et.al., Electron. Lett., 31, No. 25, (1995) p. 2178.
- 15) T.Takeuchi., et al., IEEE J. Photon. Technol. Lett., 8, No.3, (1996) p.361.
- 16) Y.Yamada, et.al., Electron. Lett., 31, No.16,(1995) p1366.
- 17) T. Tamanuki, et.al., Optical and Quantum Electron., 28,(1996) p.513.
- 18) 内田：光アライアンス Vol.6 (1995)、p35.

3. 7EL(エレクトロルミネッセンス)

3. 7. 1 ELの種類

ELには三十数年前に蛍光灯にとって替わり得る固体発光素子として注目を集め、最近では主として液晶バックライト用として実用化された無機蛍光体を高誘電率の有機分散材で分散させた発光層からなる有機分散型ELと十数年前にディスプレイとして実用化された無機蛍光体を蒸着法によって薄膜化した薄膜ELがある。最近それに加えて有機発光材料から成る有機ELがELの仲間として登場してきたのが現状である。

ELとは一般的に高電界下での発光現象を総称し、p-n接合部での電子-正孔の再結合によるキャリア注入型発光をLEDとして分類されている。このような定義からすると最近話題になっている有機ELの基本的な発光機構はキャリア注入型であり、LEDに分類され'94の国際シンポジウムにおいても本素子のDH/SH構造化による高輝度化の火付け役となったTan g氏によっても有機LEDとして報告されるようになってきており、別項にて紹介したい。

3. 7. 2 有機分散型EL

(1) 基本構造⁽¹⁾

一般的に分散型ELの断面構造は図1のようなものであり、発光層にはZnSにCu及びClを附活した5~30 μ mの粒子径からなる蛍光体を使用し、その蛍光体に高電界を印加できるように高誘電率で誘電正接が小さい糖類、セルロースやシアノエチル化物で構成されたバインダー中に蛍光体粒子を分散した後にバーコーター印刷法によって厚膜層が形成されている。

さらにより高い電界を蛍光体に印加するためにチタン酸バリウムと上記のバインダーとの混成物から成る絶縁層或いはアルマイト処理されたアルミ板⁽²⁾等が設けられ寿命中も含めて安定した絶縁性能を維持するために重要な役割を果たしている。さらには後述する保護層としてのフィルムをラミネートする際のクッション層の役割としても有効になる。このように構成された発光層及び絶縁層は水分や外光特に紫外線に弱くさらに図に示すような保護層としてのナイロン6/66フィルムから成る捕水層その外郭にはPTCFE系のフッ素樹脂とエチレンアクリレートから成る防湿層で構成されているが、最近では蛍光体に酸化物コートした蛍光体が開発され⁽³⁾高価なフッ素樹脂を使用しないテフロン樹脂や塩化ビニリデン樹脂を使用した、より薄型で低価格の素子が開発されているが、このようなカプセル型蛍光体を使用しているとは言え、大幅な寿命改善には繋がらずその用途は限定されるのが実状である。

(2) 発光機構⁽⁴⁾

分散型ELの発光機構についてはいまだに不明な点があり現在ではFischerのモデルが一般的に支持されている。図2にFischerのモデルを示す。⁽⁵⁾ZnS蛍光体粉末の粒子径は比較的大きく5~30 μ mであるので通常1個のZnS粒子内には点欠陥や線欠陥が存在する。電界を印加するとZnS1個を観察した場合、発光は2個のスポットから始まる。さらに電界を高めると、それらが次第に伸びて互いに向かい合うコメット状の発光となる。このような現象が観察される理由は、次のように考えられている。ZnS粒子内の線欠陥に沿って

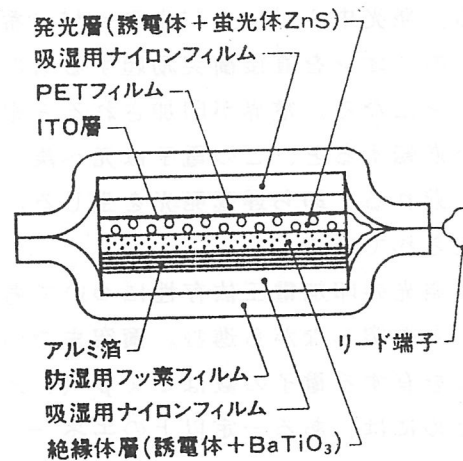


図1 分散型ELの基本構造

Cuが析出しCu_xSが生成されるが、このCu_xSはかなり大きな電気伝導度を示す。

このような状態のエネルギーバンド図を図3に示す。ZnS内に存在するCu_xSはZnSとヘテロ接合を形成する。このときにCu_xSは非常に伝導性の高いp型または金属的になっているものと考えられる。従って、ZnS粒子に電界が印加されると、このCu_xS-ZnS界面には平均電界よりも高い電界(10⁵~10⁶V/cm)が生じる。この高電界によって界面準位から一次電子がトラップされている正孔と再結合して発光する。

この他にも電子はCu_xS-ZnS接合のショットキーバリアを通じて注入されるとの考え方もある。発光中心がMn²⁺やRe³⁺(希土類)イオンの場合にはこのようにして生じた電子がこれらのイオンを直接衝突励起するものと考えられている。従って、発光は線欠陥に沿って生じることになる。電界が印加されると電子は一方向的に移動し、後には正孔が残される。そして、電界が逆転すると、この電子は元へ戻り正孔と結合して発光する。このために発光は電圧の位相から遅れる。即ち遅延発光を生じる。これは電子が戻るのにいくらかの時間遅れが伴うためと考えられている。

次に発光の印加電圧依存性について考えると、ZnS中の電子は電界によって加速され、フォトンと衝突しながら進む。衝突までの距離は自由行程と呼ばれ、その値をλ_uとすると、自由行程λを有する電子の数はexp(-λ/λ_u)に比例する。加速された電子が発光中心を励起できるためには、ある一定以上のエネルギーε_uを持たなくてはならない。すなわち、少なくともλ_{min.} = ε_u/qE以上の距離を加速させなければならないので、λ > λ_{min.}の自由行程を持つ電子のみが発光に寄与することになり、その数はexp(-ε_u/qEλ_u)に比例する。ここで、qは電子の電荷、Eは電界強度である。一方、電界Eについては、ZnS中に空乏層が生じていると考えられ、√Vに比例する。これらを考慮すると、発光はexp(-(Vu/V)^{1/2})に比例することが分かる。以上の考え方が、輝度と電圧の関係を示す一般式、

$$L = L_u \exp\left(-\left(\frac{Vu}{V}\right)^{1/2}\right)$$

の由来になっており、実験の結果を良く説明できることが知られている。

(3) 点灯特性

○ELの明るさは蛍光体の粒径、結晶構造や印加する駆動条件によって大きく異なる。⁽⁶⁾点灯周波数が高くなるほど素子に加わる電流(電力)は大きくなり、前述の発光機構でも述べたように発光サイクルが増しその積分量が増大し、輝度は高くなる傾向にある。周波数の上限値は高くなりすぎると電氣的に導通状態となり素子はショートし破壊する。一般的な素子では略5KHzが上限値である。又、印加電圧によっても輝度は変化し、前述のような関係式に従っ

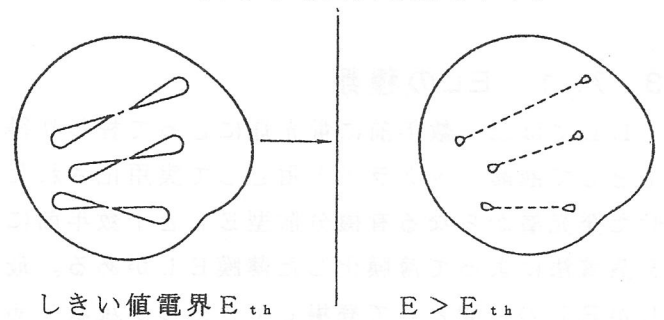


図2 Fischerモデル

ZnS1個を観察したときのコメント状発光

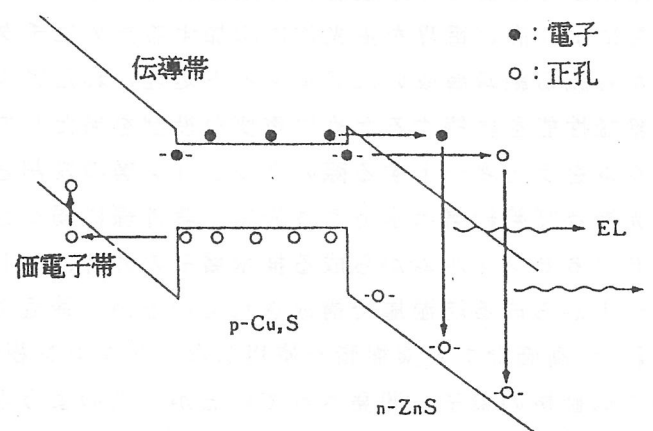


図3 Fischerモデルのエネルギーバンド図

て高電圧になるほど輝度は高くなる。勿論そのときの素子電流、電力も上昇する。

○同一面積のEL素子を大容量電源から電力を供給して点灯した場合と、極めて限られた容量即ち容量一杯の電源から電力を供給した場合とでは発光強度が必ずしも一致しない。

さらに、小容量のインバータで点灯した場合これに寿命中の素子特性変化（ $\tan \delta$ 変化による容量変化）によって寿命特性変化の激しいものになる。

○点灯周波数によって発光色は変化するが、点灯電圧が低い場合、あまり発光色は変化しない。一般的に周波数が高くなるほど短波長側即ち青色側に発光色がシフトする。

しかしながら、その発光色の変化の度合いは黄色→青色、緑色→青色といったドラスチックなものではなく青緑色→青色、緑色→青緑色といったせいぜい20~30nm程度の変化で可変色ディスプレイを期待できるものではない。

○冷陰極管のような放電灯では低温時における始動性及び輝度が極端に低下し、実用上問題になるが、ELは-40℃の極寒状態でも常温時と同じように容易に点灯でき、且つ輝度低下は使用しているバインダーによっても異なるが10~20%程度に留まる。

○ZnSを母体とする蛍光体からは附活する元素によって種々の発光色が得られるが、現状は寿命特性からZnSに銅と塩素を添加したものだけが実用に供されるレベルにあり、その発光色は青緑色である。種々の発光色を得るためには蛍光顔料を発光層に添加したり、蛍光顔料で着色したフィルムをELの発光面上に置くことによって青~オレンジ或いはピンク色までの発光が可能となる。このようなことから分散型ELで得られる白色発光は青緑色とオレンジ色のバランス発光による二色発光でありRGB発光による白色は得られていない。

(4) 点灯回路

分散型ELの基本点灯回路として、自励式と他励式インバータがある。その自励式の中にも一石式と二石式が実用化されている。一石式の特徴は駆動電圧変化や発信周波数変化が大きいものの輝

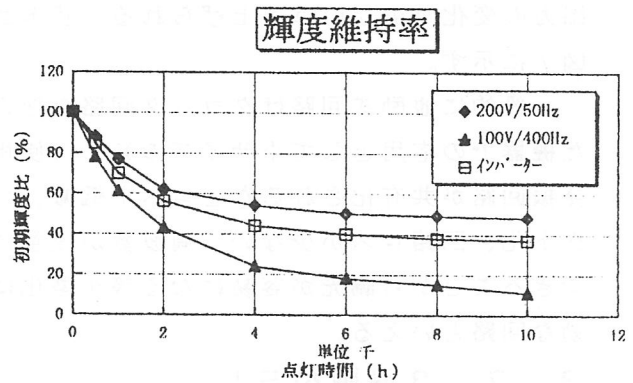


図4 寿命特性

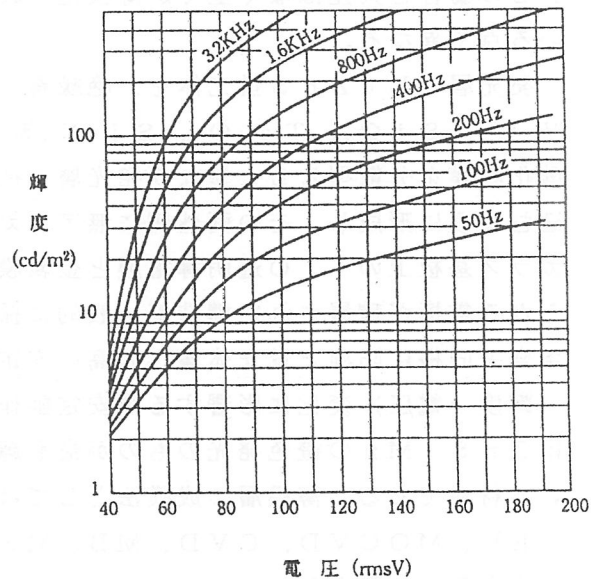


図5 輝度-電圧特性

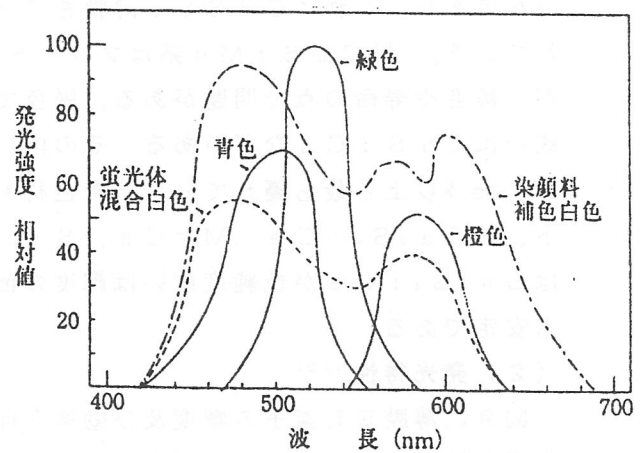


図6 発光特性

度維持率が良い点が上げられる。一方、二石式は一石式よりも回路ロスが少なく総合効率が高く、出力の変化が少ない点が上げられる。基本回路を図7に示す。

一般的に他励式回路はクロック回路を抱え込んだ機器での応用として小サイズのELに使用され、発振回路が共有化されるなどコスト低減、コンパクト化、回路ロスが少ない、周波数が任意に設定できることから調光が容易になる等小型化には有効な回路といえる。

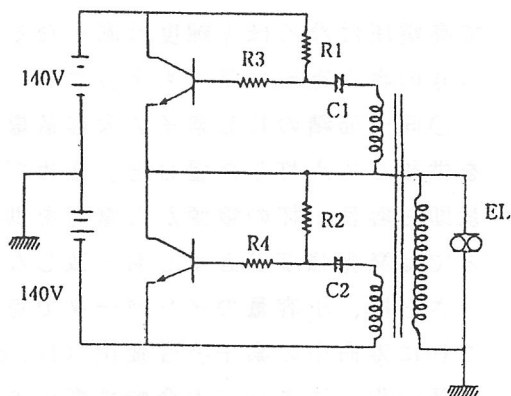


図7 自励式二石インバータ回路

3. 7. 3 薄膜型EL

(1) 基本構造⁽⁷⁾

図8に示すように基本構成は前述の分散型ELの場合と大差はなく全てが薄膜化されている点で異なる。

発光層としてZnS蛍光体を、絶縁層には Y_2O_3 、 SiO_2 、 Ta_2O_5 、 Si_3N_4 等の酸化物膜を分散型ELと異なり発光層を挟み込むように形成し、その両外側に無アルカリガラス基板上のITO透明導電膜と金属膜からなる電極が積層された構造が一般的に採用されている。

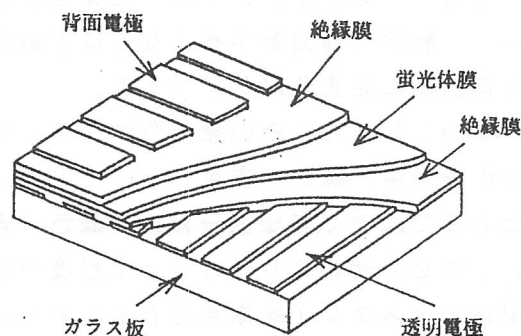


図8 薄膜ELの基本構造

ここで絶縁層の役割は分散型ELの場合と同様に防湿と蛍光体層への高い安定した電界を印加し、さらに寿命中におけるしきい値(輝度-電圧)変化に影響する等安定動作に関わる。発光層に使用されている発光材料としてはZnS:Mnの橙色発光のものが最も輝度が高く、長寿命であることから唯一実用化されている材料である。薄膜層の成膜法としては電子ビーム、スパッター、原子層エピタキシー(ALE)、MOCVD、CVD、MB、MSD法等が採用されている。

赤色発光材料としてはZnS:Sm/F、CaS:Euなどがあり、ZnS:Sm/F蛍光膜はZnSとSmF₃とを出発原料として蒸着法で形成する。さらに色純度を上げるには共附活材でもあるFに替わってClを用いることによって改善され、CRTの色純度と遜色のないレベルであり、これにCdSSe薄膜をフィルターとして使用したものが最も輝度、効率面で優れている。⁽⁸⁾ CaS:Mn系はブロードではあるが650nmに発光中心があり色純度も良いが、輝度や寿命の点で問題がある。緑色で発光する材料としてはZnS:Tb、ZnS:Er、或いはCaS:Csなどがある。その内、ZnS:Tbは輝度が60Hz時で100Cd/m²効率が1lm/W以上と最も優れている。青色材料としては'93年にアルカリ土類金属のチオガレイト、MgGa₂S₄:Ce (M=Ca, Sr, Ba)系が開発された。⁽⁹⁾ SrGa₂S₄:Ce或いはCa₂S₄:Ceが色純度或いは輝度の面で一步抜け出ており、さらに耐湿面でもZnSよりも安定である。

(2) 発光特性⁽¹⁰⁾

図9に薄膜EL素子の輝度及び効率と印加電圧との関係を示す。発光開始のしきい値電圧は有機分散型よりもはるかに高く150~200Vである。これは、絶縁体層の比誘電率に依存し、PbTiO₃、SrTiO₃等が性能指数が高い。薄膜ELの性能はこの絶縁層の作製方法

にも大きく関係し、前述の発光層への安定した電界供給、しきい値の低減化を始めとして、膜への水分吸着或いは含有、ガス放出特性によって素子の寿命特性が大きく影響され信頼性を決定する隠れた要因の一つといえる。

(3) パネル駆動技術

薄膜ELは分散型ELのような面光源としての用途よりもディスプレイとしての用途が殆どであることからマトリクス点灯回路について述べる。

X-Yマトリクス型ELパネルの駆動回路部の結線図を図10に示す。ELの各電極には高耐圧のMOS FETとアノードコモンダイオードがおのおの一個ずつ結線されている。駆動方法としては、次に示す1~4段階の駆動を行っている。

図11は各画素に印加される波形を示したものである。

第一段階：予備充電駆動

第二段階：非発光画素に対する放電駆動及び発光画素に対する引き上げ駆動

第三段階：書き込み駆動

第四段階：リフレッシュ駆動

第一、第二段階は入力データにより発光、非発光を決定する変調駆動期間であり、発光開始電圧以下の十分低い電圧で駆動を行う。第三段階では変調振幅差を発光開始電圧以上に引き上げる。この第一から第三段階の駆動を走査電極側各ラインに対し、順次駆動し全ラインが終了した後、書き込みパルスとは逆極性のリフレッシュパルスをELパネル全面に印加する。各パルスは消費電力低減のためにステップ状に2分割で印加されている。一画面の交流サイクルは書き込みパルスとリフレッシュパルスにより構成され、この交流サイクルを繰り返すことによって画像表示を行っている。この駆動方式は分極効果を持つELパネルの特性を生かし、高輝度で信頼性の高く、低電力で駆動するのに適している。又、最近では発光輝度をより高めるために付加駆動パルス方式も検討され各フィールド間に分極電荷を利用する付加パルスを入れることによって発光回数を増やし、高輝度化を実現しようとする試みも成されている。⁽¹¹⁾

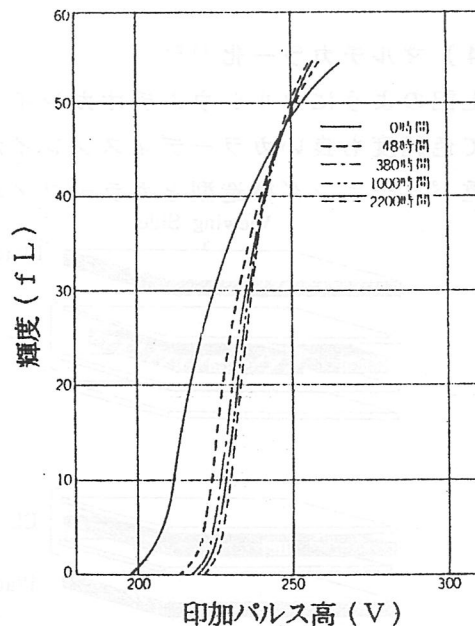


図9 輝度-電圧特性

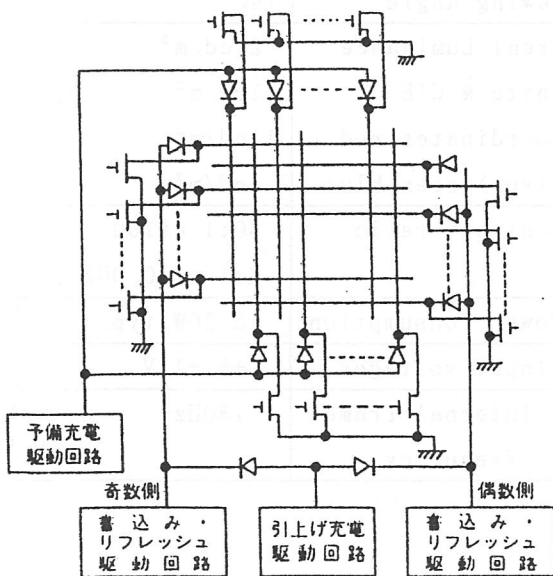


図10 駆動回路

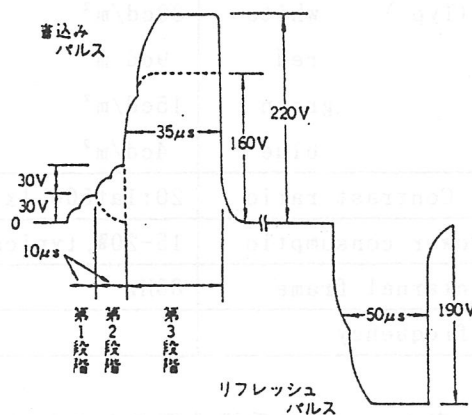


図11 画素印加波形

(4) マルチカラー化⁽¹²⁾

上記のようにカルシウムチオガレイトのような高輝度の青色蛍光材料が開発されたことによって色純度も良いカラーディスプレイが提案されている。その代表的な構造として単板型及び二重パターンニング構造型とカラーフィルター型構造があり、図10(a, b)に一例を示す。

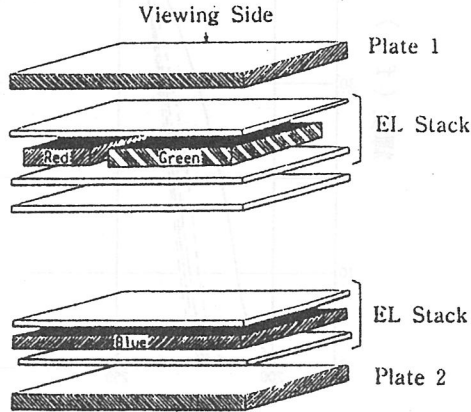


図10-a 二重構造型構造

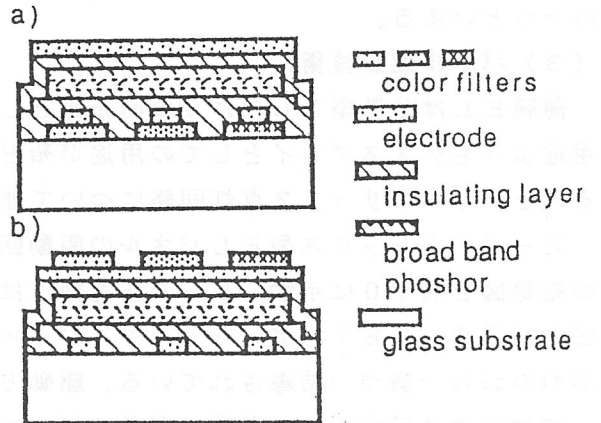


図10-b カラーフィルター型構造

図10-aの二重構造型は赤色としてZnS:Sm系とCdSSe薄膜フィルターを組み合わせ、緑色としてZnS:Tb系を配列したセルと青色としてCaGa₂S₄:Ce系のセルを向かい合わせに配置した構造のELパネルで、白色点灯時の輝度は30cd/m²である。一方、図10-bの白色蛍光膜にカラーフィルターを組み合わせたELパネルは白色蛍光膜用蛍光材料として、SrS:Ce, Eu、(SrS:Ce/SrS:Eu)多層膜、(ZnS:Mn/SrS:Ce)多層膜等が考案されている。この内、SrS:Ce/ZnS:Mnの9層膜によるパネルが発表されAPL法で作製された素子において、白色時輝度が60Hzで470cd/m²の高輝度ディスプレイが得られている。

上記二方式による諸元を表1a、1bに示す。

Pixel number	20(×3).256
Pixel pitch	.300×0.300mm
Colors	16
Viewing Angle	140°
Fill Factor red	13%
green	35%
blue	48%
Areal Luminance (Typ.)	
white	30cd/m ²
red	9cd/m ²
green	15cd/m ²
blue	4cd/m ²
Contrast ratio	20:1at500 lx
Power consumption	15-20W, typical
Internal frame frequency	80Hz

表1-a 二重構造型ELの諸元⁽¹³⁾
320(×3)×256ドット

Pixel number	512(×3).256
Pixel pitch	0.381×0.381mm
Pixel size:R+G+B	0.331×0.261
Colors	16
Viewing Angle	140°
Areal Luminance	21cd/m ²
white & CIE	71cd/m ²
Coordinates:red	11cd/m ²
(typ.)green blue	3cd/m ²
Contrast ratio	30:1 at100 Lx 4:1 at10,000 Lx
Power consumption	15-20W, typ.
Input voltages	+5, +12V
Internal frame frequency	180Hz

表1-b カラーフィルター型ELの諸元
512(×3)×256ドット

3. 7. 4 まとめ

○有機分散型EL

30数年前のガラスサンド型の無機分散型ELからパッケージに樹脂を採用した有機分散型ELが軽薄短小の時代要請によって復活した感があるが、寿命特性、輝度、価格、インバータサイズ等の面から携帯端末機器や時計などに用途限定されて実用化されている。

この理由としてはほとんど改善されない寿命特性と輝度特性にあるといえる。使用している蛍光体は前記したような改良が成されてきているものの30数年前と基本的には変わっていない現状がある。本素子の用途拡大には単に時代の変化を待つのではなく、革新的な蛍光体の出現に負うところ大と言える。又、このカラー化時代には赤色発光の高効率蛍光体の開発も今後の用途拡大には重要な要素といえる。

○薄膜EL

全固体自発光型ディスプレイとして、表示品質、視認性、信頼性、耐環境性に優れたディスプレイとして注目されモノクロームディスプレイの実用化からフルカラーディスプレイの開発へと推移してきている。薄膜ELの欠点でもある高電圧駆動やフルカラーのための積層化技術或いはさらに高精細化への技術開発が成されていくのではないか。今後も視認性や耐環境性といった他のディスプレイでは得にくい特長を活かしてヘッドアップディスプレイ、ナビinマルチメータ等の車載用ディスプレイを始めとした各種ディスプレイへの応用が期待できる。

[参考文献]

- (1) 山崎 繁「バックライト用ELランプの開発」：JIECセミナー資料（'94）
- (2) 特開平4-349389
- (3) 高橋 英行、吉田 利明、山崎 繁「有機分散型ELランプの高輝度、長寿命化」
電子情報通信学会、EID91-93
- (4) 平林、小沢口、辻山「分散型ELの劣化とs空孔との関係」、電子通信学会、
CPM82-12
- (5) A. G. Fischer, J. Electrochem. Soc.
110(7)733-747 ('63)
- (6) 高橋、吉田、山崎「有機分散型ELランプの特性」、電子情報通信学会、
EID90-102
- (7) 大西 秀臣「EL：21世紀の展望」月刊ディスプレイ、1(1) ('95) p57
- (8) R. T. Tuenge, J. Kane "Bright Red EL Using a Thin-Film Filter", SID91 Digest p279,
('91)
- (9) W. A. Barrow, R. C. Coover, E. Dickey,
C. N. King, C. Lookso, S. S. Sun, R. T. Tuenge,
R. Wentross, J. Kane: SID Digest p761 ('93)
- (10) 大塩 祥三、松岡 富造「無機薄膜ELの絶縁膜と発光特性」
月刊ディスプレイ、3(1)、('95)、p46
- (11) 小野田 貴稔、祖川 久茂、大観 光徳、田中 省作、小林 洋志「付加パルスを用いた薄膜ELパネルの駆動方式」、電子情報通信学会発光型、非発光型合同研究会、
MD-96-6、('96)
- (12) 中西 洋一郎「フルカラーEL」月刊ディスプレイ、1(2) ('96) p59

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

4. 情報機器用光源の駆動回路

4.1 HIDランプの点灯回路

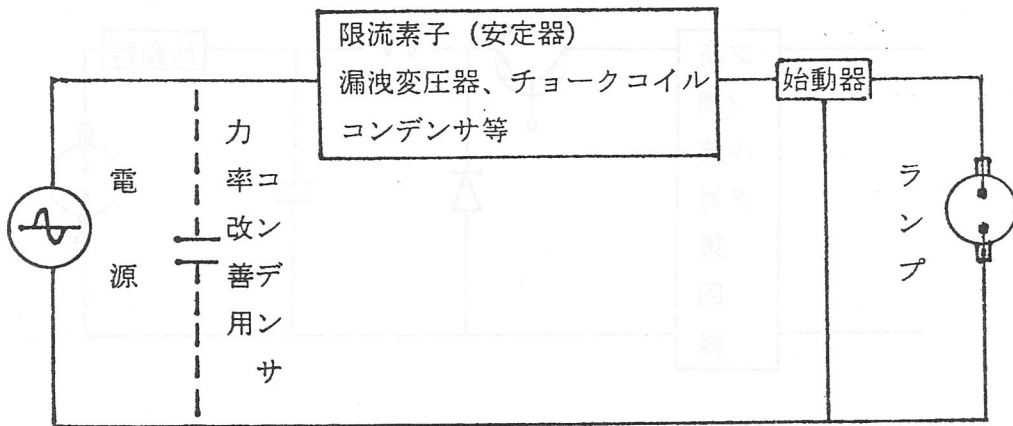
4.1.1 HIDランプの点灯回路の現状

HIDランプの点灯回路は、一般照明用としては磁器回路式安定器（図1参照）が主流であるが情報機器用光源用としては

- ① ランプの特殊性（低ランプ電圧、大電流、直流点灯のもの等）
- ② ランプの特性を十分引き出すために、ランプの状態に合わせた制御が必要
- ③ 情報機器装置の小型、軽量化

等の要求から、電子回路式のもの主流となっている。

図1 磁器回路式安定器の基本回路



4.1.2 点灯方式の種類

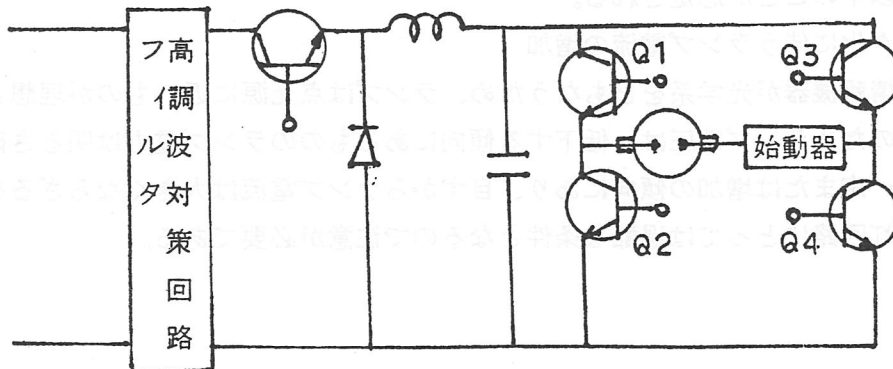
情報機器用 HID ランプの点灯回路としては、現在以下の点灯回路が実用化されている。

(1) 矩形波（低周波方形波）点灯回路

図2に示すような基本回路で構成され、直流を負荷側のトランジスタのフルブリッジ回路を設けて、Q1、Q4とQ2、Q3をそれぞれ交互に同通、遮断を繰り返して、ランプを矩形波交流点灯するものである。

この方式による点灯では、商用周波数点灯よりも発光効率が高く、ランプ電流中の高周波成分が少ないのでノイズも少なくなる。

図2 矩形波点灯基本回路

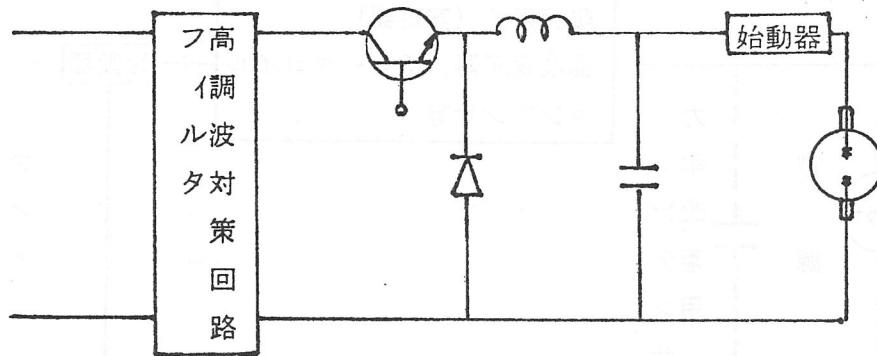


低周波（ランプによっても異なるが数十 Hz～数百 Hz）点灯であることとあいまって音響共鳴現象を避けられるという特徴があるが、後述の直流点灯方式に比べ回路が複雑になるという欠点がある。

（2）直流点灯回路

図3に示すような点灯回路で構成され、ランプ電流（直流）をチョッパーにより制御するものである。この方式も商用周波数よりも発光効率が高く、ランプ電流の高周波リップル成分を低くできるため、音響共鳴現象を避けることができる特徴があるが、直流点灯により陰極側に金属蒸気が多く集まり、発光色や輝度にムラを生じる現象、いわゆるカタホリシス現象が発生するため、使用出来るランプが限定される。

図 3 直流点灯基本回路



いずれの電子回路にも各種の付加回路が必要であるが、EMC対策はとくに必要と思われるので、フィルタ、高調波対策回路のみを付加してある。

4.1.3 ランプの要求への整合

ランプ点灯回路が一般の電源と異なる点は、その負荷が（放電）ランプであり負性抵抗を有していること、点灯直後から安定に点灯するまでインピーダンスが大きく変化する負荷であること、及び点灯回路の寿命に比べてランプの寿命が短く、異なる特性の負荷に取り替えられることである。

また、情報機器の進歩に伴って、光源も次々に新しい仕様のもものが市場に投入されている。このため、点灯回路もこれらの新しいランプとの整合性が望まれるが、設計上の問題点としては以下のことが想定される。

（1）短アーク化に伴うランプ電流の増加

多くの情報機器が光学系をともなうため、ランプは点光源に近いものが理想とされる。このためランプ電圧は、低下する傾向にあるもののランプ電力は明るさ確保の観点から一定または増加の傾向にあり、自ずからランプ電流は大きくならざるを得ない。点灯回路にとっては過酷な条件となるので注意が必要である。

(2) ランプの異常に対する対応

点灯回路にとってランプは交換される負荷であることは先に述べた。

このことは、ランプ単体間のバラツキによるストレスに耐えること（ランプはその素材の加工が困難ということもあってバラツキが小さいとは言えない。）、ランプの故障モードは多岐に亘るが、その際のストレスに点灯回路は耐えること、ランプ働程における特性変化のストレスに耐えることなどが求められる。

(3) 始動性

適当な高さの無負荷電圧（放電維持電圧）にパルスを重ねし、点灯するのが通例であるが、始動性は単にパルス高さのみ規定すれば事足りるわけではなく、パルス幅、繰り返し周波数、始動後のランプ電流などの多くの要素によって変わるため、ランプの設計者との協議が必要となる。

特にランプの始動にとってぎりぎりの性能や、逆にあまりに過度の始動性は、ランプの寿命を損なったり、ランプが寿命を迎えたのちの使用を強制することにもつながり安全性のうえからも好ましいこととは言えない。

(4) ランプ電流（波形）

点灯後のランプのインピーダンスは大幅に変化があり、点灯回路の限流作用の方式によって始動直後から、安定点灯時までランプ電流は変化する。

この値も大電流に過ぎればランプの寿命を損ない、過少になれば、ランプが安定状態になる時間が長くなったり、極端な場合安定しないことも考えられる。

また、インピーダンスの変化に伴う、ランプ電流波形（高周波や電源周波の重畳）の変化も考えておく必要がある。

(5) 色の変化

点灯回路のサイドの問題とは言えないが、ランプ電圧のバラツキに対し一定範囲の電力を供給することが必要で、ランプによってはランプ電圧－ランプ電力の特性曲線を特定の範囲の曲線とすることも必要である。

ランプ電圧が中心値±20%程度変化してもランプ電力は±5%以下に制御されていることが望ましい。

4.1.4 HID ランプの点灯回路の展望

点灯回路の現状について、実用化されているものを含めて紹介したが、この情報機器への応用は新規のランプが拡大するに従い、拡大することが予想される。

点灯回路の今後の展望としては、技術的課題の他に装置の小型化に伴う、より小形で効率の良い回路の採用、さらには高機能化が必要となる。

このためには、点灯回路サイドの開発努力のみならず、ランプサイドにおけるランプの改良、例えば音響共鳴現象の起きにくいランプ、始動性の良い（低電圧で始動する）ランプ、ランプ電圧の高いランプ、製造工程や働程にバラツキや変化の少ないランプ等の改良が必要となろう。

4.2 蛍光灯の点灯回路

4.2.1 インバータ回路の現状と動向

(1) インバータ回路方式

表1はインバータ回路の代表的な例である(1)。

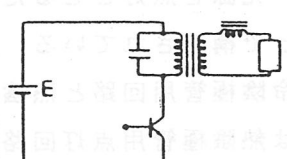
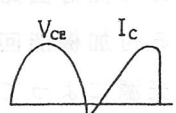
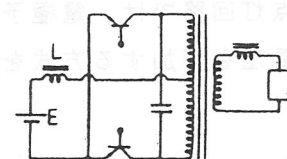
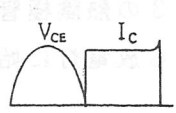
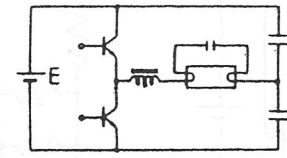
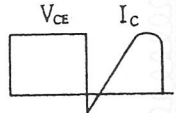
(a)は1石電圧共振型である。この方式は比較的low出力の蛍光灯に使用されている。回路構成が最もシンプルでランプ出力の制御も可能であり、スイッチング損失も少ない。しかし、電圧共振を利用しているためスイッチング素子の耐圧が高くなってしまふ。

(b)は定電流プッシュプル型である。この方式は中高出力の蛍光灯に使用されている。入力側のインダクタンスLの定電流効果によりスイッチング素子の電流は台形波状となり、ピーク値は小さい。よって、電流容量の小さなスイッチング素子が使用できる。

(c)はハーフブリッジ型である。この方式は中高出力の蛍光灯に使用されている。スイッチング素子に印加される電圧が電源電圧Eと同じであるため素子の耐圧が低く、調光も含めた各種制御が比較的容易に行なえるが、スイッチング損失は大きい。

以上、3つの方式があるが、情報機器用の回路方式としては(b)の定電流プッシュプル型が一般的に使用されている。

表1 インバータ回路の代表的方式(1)

	回路構成	波形	素子耐圧
(a)	<p>1石電圧共振型</p> 		3~4E
(b)	<p>定電流プッシュプル型</p> 		πE
(c)	<p>ハーフブリッジ型</p> 		E

(2) スwitching周波数

蛍光灯を高周波で点灯されると、発光に寄与しない再点孤エネルギーが不要になるため、発光効率が10~20%向上することが知られている。この傾向は数百Hzから現れるが、スイッチング周波数は、可聴領域等を避けた40~100kHzが一般的に使用されている。

(3) 使用されるパワーデバイス

スイッチング周波数の高周波にともない、従来のバイポーラトランジスタではスイッチング損失が大きすぎるため、MOSFETが使用されることが多くなってきた。MOSFETはス

イッチングスピードが速いだけでなく、2次降伏がないことや駆動回路が簡単に構成できるなどの理由から今後も多く使用されると考えられる。

MOSFETの開発は、その重要特性であるON抵抗の低減を命題とし、最小のチップ面積の上にかに達成するかという集積・微細化技術の向上に力点が置かれてきた。図1にユニット・セルの実装密度及びON抵抗の低減・改善の過程を示す(2)。また、今後の技術開発は高速化・低容量化、低電圧駆動化といった性能の向上・改善が目標になる。

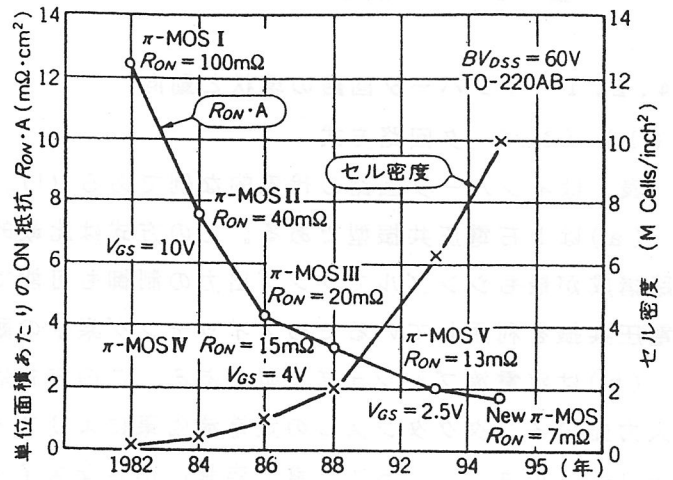


図1 ユニット・セルの実装密度及びON抵抗の低減・改善の過程(2)

4.2.2 具体的な点灯回路

低圧放電灯が情報機器に用いられている例としては、ノート形パソコンやワードプロセッサ等に搭載されている液晶ディスプレイのバックライト用光源、複写機やファクシミリの読み取り及びトナー等の定着用光源等がある。

これらの光源を点灯するための点灯回路は、光源を点灯させるためのインバータ回路と、点灯機能以外の付加機能を有する付加機能回路とで構成されている。

インバータ回路は使用する光源によって、冷陰極管用回路と熱陰極管用回路とに分けられる。図2は冷陰極管用点灯回路の例であり、図3は熱陰極管用点灯回路の例である。両方とも定電流プッシュプル型の方式を用いている。図2の冷陰極管用点灯回路では、電極予熱用の回路を設けていないのに対して、図3の熱陰極管用点灯回路では、電極予熱用の回路を設けて始動時に一定時間電極を予熱してから放電灯に始動電圧を印加する方式を用いて、放電灯の点滅寿命の改善を行っている(3)。

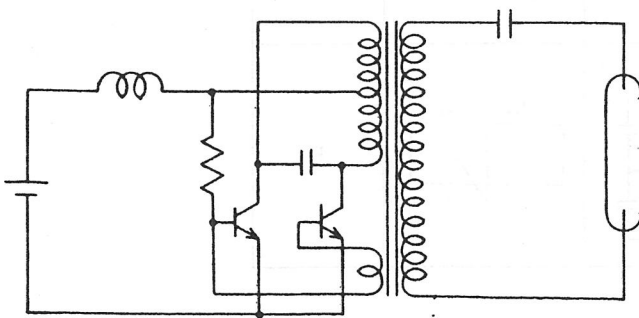


図2 冷陰極管用点灯回路(3)

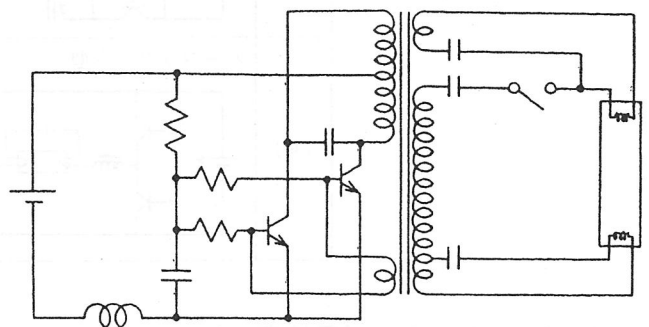


図3 熱陰極管用点灯回路(3)

付加機能回路はインバータ回路が適用される用途によって多様であり、以下にその用途に応じてまとめた。

(1) 大型モノクロ液晶用バックライト

ラップトップ型及びノート型のパソコンやワードプロセッサ等に搭載されている大型モノ

クロ液晶用バックライトには、長寿命かつ細型化に有利な冷陰極管が使用されている。これに使用される点灯回路には、薄型・電池対応機能・調光機能等が要求される。

(a) 薄型

液晶ディスプレイの特徴は薄型であることが挙げられる。よって、点灯回路に対しても薄型化の要求が強い。しかし、現状では冷陰極管を始動させるにはトランスの2次側に約1 kV前後の電圧が必要であり、トランスの絶縁性能を確保すると薄型化が困難になっている。このため、絶縁性能を確保し、薄型化をしている例として、2次側をセパレータで分割する方法等が開発されている(3)。

(b) 電池対応機能

ラップトップ型及びノート型のパソコンやワードプロセッサ等の情報機器は持ち運びが可能なる点に特徴がある。よって、電源には電池が使用される場合が多い。電池には電圧降下が大きいため、電圧降下による輝度の変化を防止する必要がある。図4は大型モノクロ液晶用バックライトの点灯回路の例で、定電流プッシュプル型のインバータ回路の前段にDC-DCコンバータ部を置き、電圧の安定化を図っている(3)。

(c) 調光機能

情報機器には調整つまみにより液晶画面の明るさを調整する機能がある。図4の点灯回路では、DC-DCコンバータ部の出力電圧を変化させて、冷陰極管に流す電流を変えている。また、消費電力の低減のため、より広範囲の調光が求められており、この方面の研究が行われている(3)。この例として、マイコンを使用し調光範囲を100%~10%にした点灯回路のブロック図を図5に示す(4)。

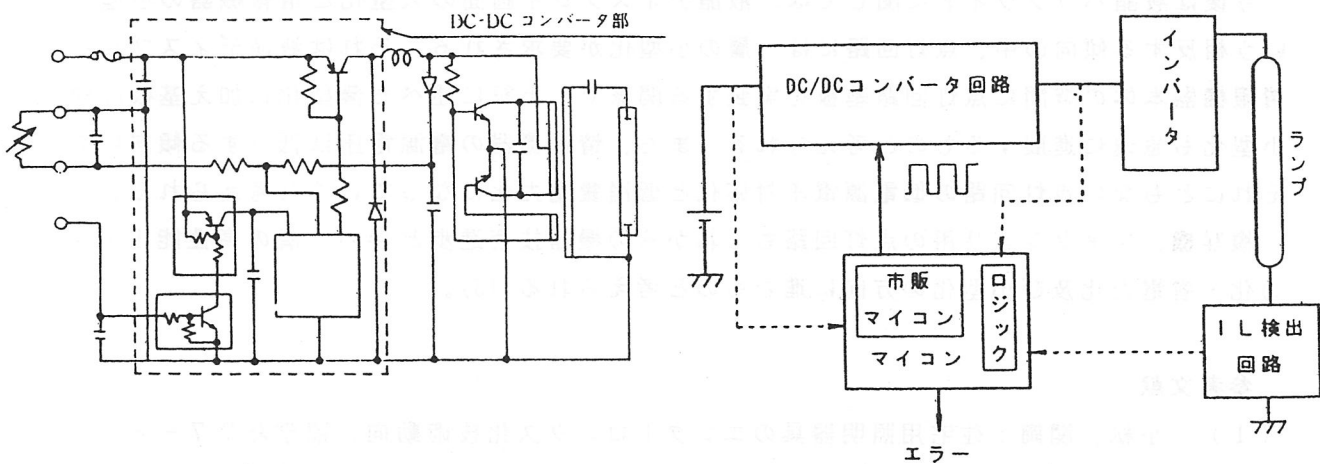


図4 液晶バックライト用点灯回路(3) 図5 マイコン制御による回路ブロック図(4)

(2) 大型TFTカラー液晶用バックライト

TFTカラー液晶は透過率が5%前後と低く液晶表示画面の輝度を確保するために、高輝度のバックライトが要求される。このような用途では、発光効率の高い熱陰極管が用いられる例がある。

熱陰極管は調光を行うと電極の温度が低下して寿命が短くなってしまふ。電極に流す電流を制御することにより、寿命特性を改善する方法等について研究が行われている(3)。

(3) 複写機、ファクシミリ

文字や図形等を読み取り用の光源に使用するものは、放電灯の周囲温度や経時による明るさの変化を補償するため、放電灯の明るさを検出しフィードバックする機能をもつものが開発されている。図6に光出力フィードバック式点灯回路を、表2に光出力フィードバック式点灯回路の仕様を示す(5)。

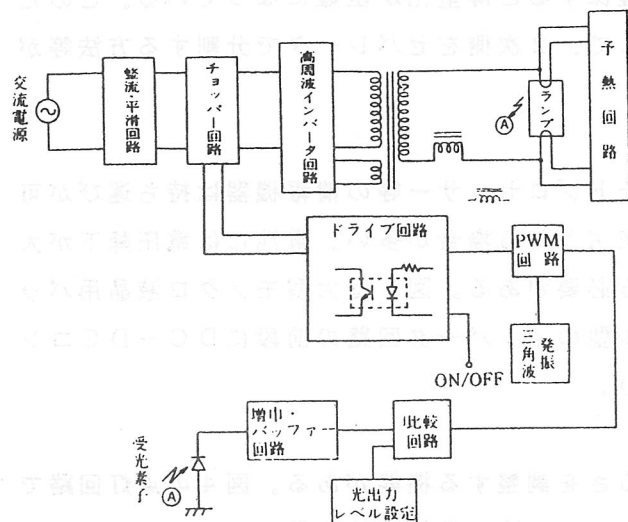


表2 光出力フィードバック式点灯回路の仕様(5)

項目	仕様
入力電圧 (V)	85 V ~ 115 V
入力電力 (W)	130以下
入力電流 (A)	2.0以下
ランプ電流 (A)	0.08 ~ 0.8
点灯周波数 (KHz)	50
形状 (mm) (L×W×H)	200×150×55

図6 光出力フィードバック式点灯回路(5)

今後は液晶バックライトに関しては、液晶ディスプレイ画面の大型化と情報機器の小型化という相反する傾向の中、点灯回路には一層の小型化が要求される。それは液晶ディスプレイと情報機器本体の隙間に点灯回路基板を実装する関係で、上記に述べた薄型化に加え基板面積の小型化も急速に進展するものと考えられる。また、情報機器の電源電圧は低下する傾向にあり、それにもとない点灯回路の低電源電圧対応化と低消費電力化になっていくと考えられる。

複写機、ファクシミリ用の点灯回路もこれからの機器技術進歩に伴い一層の高性能化・大出力化・省電力化及び小型化の方向に進むものと考えられる(3)。

参考文献

- (1) 小松、関岡：住宅用照明器具の電子化技術動向、照学誌77-8、pp225-228(平5)
- (2) 菅原久男：MOS系パワー・デバイスの機能と特徴、トランジスタ技術3月号、pp291-294(平8)
- (3) 古田、岡田、小野、川端、本田、柳：我が国における低圧放電灯関連の技術動向、照学誌77-8、pp560-566(平5)
- (4) 岡田、川端、池田、杉野、渡辺：液晶バックライトインバータのマイコン制御、平8照学全大33、pp94(平8)
- (5) 笠作、中野：情報電子機器用光源点灯回路、照学誌73-5、pp256-259(平1)

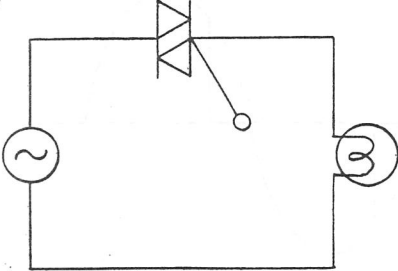
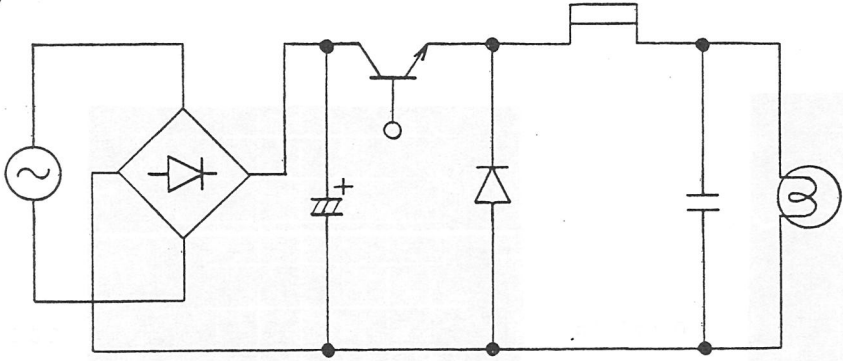
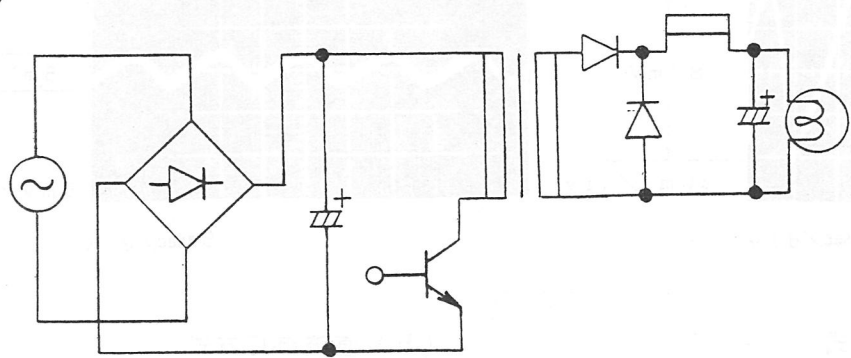
4.3 ハロゲンランプの点灯回路

4.3.1 ハロゲンランプ点灯回路の現状

(1) 点灯回路方式

情報機器（主に読み取り用）光源として使用されるハロゲンランプ点灯回路に要求される第一の性能は、定電圧特性である。この定電圧を得るための代表的方式を表1に示すとともに、以下に説明する。

表1 各種ハロゲンランプ点灯方式¹⁾

回路構成	特徴
<p>(a)</p> 	<p>小型、高効率、 低コスト 光リップル大</p>
<p>位相制御方式</p>	
<p>(b)</p> 	<p>サイズ大、 高コスト、 ノイズ大、 光リップル小</p>
<p>直流点灯方式（非絶縁型）</p>	
<p>(c)</p> 	<p>サイズ大、 高コスト、 ノイズ大 光リップル小、 SELV対応可</p>
<p>直流点灯方式（絶縁型）</p>	

(a) 位相制御方式

この方式は、トライアック（双方向サイリスタ）を用いて導通角を位相角制御することにより、AC商用電源及び負荷の変動に対して一定の出力を得ることができる。回路構成は簡素であり、小型・安価・回路効率もよい。但し、AC商用電源を図1の様に位相角にて断続通電させるため、実効値的には定電圧であるが電圧の変化幅が大きく、光出力に変換した際の光リップルが図2の通り大きい。これは現在デジタル画像処理をする際、読み取りに使用されるCCD（Charge Coupled Device）の感度に対して好ましくなく、このような用途に採用することは難しい。²⁾

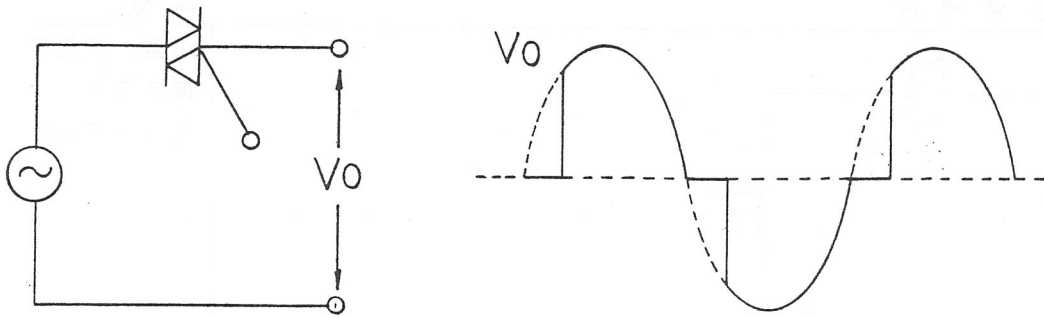
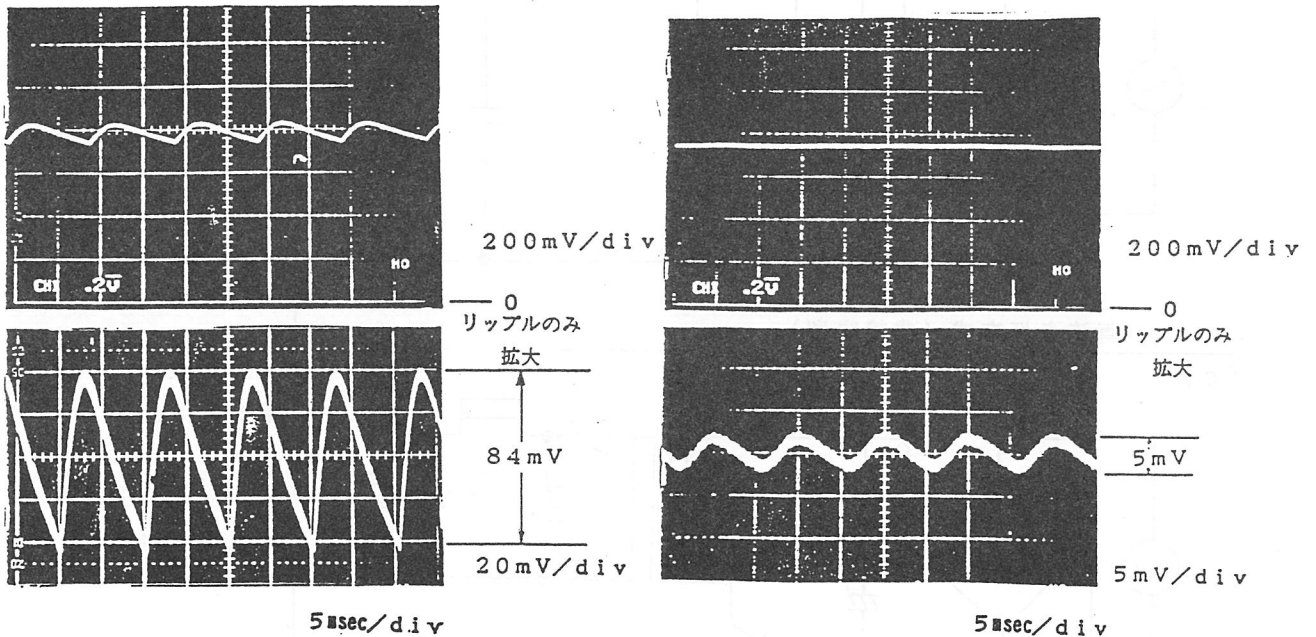


図1 トライアック位相制御方式



(a) 位相制御方式

(b) 直流点灯方式

図2 光リップル波形比較

(b) 直流点灯方式（非絶縁型）

この方式は、(a) 位相制御方式の欠点であった光リップルを抑えるために使用される。回路方式としては、直流定電圧を得られればどんな方式でも構わないが、半導体スイッチを使用した降圧チョッパ回路が広く採用されている。この回路構成は、(a) 位相制御方式と比較して複雑であり、大きく・高コスト・雑音ノイズが多い等デメリットが多いが、前述した通りデジタル画像読み取り用ハロゲンランプ点灯回路には必要不可欠である。尚、非絶縁型とはAC商用入力に対して出力を絶縁トランスで絶縁せず、出力も1次側とするタイプのことである。

(c) 直流点灯方式（絶縁型）³⁾

この方式は、負荷となるハロゲンランプに12V～36Vの低圧ハロゲンランプを使用した場合に採用する。特に、情報機器用組み込み電源の国際規格IEC950に規定されているSELV (Safety Extra Low Voltage) 回路の負荷としてハロゲンランプを使用する場合は、この方式が採用される。回路方式としては、一般に広く使用されているスイッチング電源の回路方式がそのまま採用されており、その具体的な方式はランプの消費電力にもよるが、多岐に渡る。ここではフォワードコンバータ方式を例にあげる。この回路構成は、(b) 非絶縁型と比較して、更に大きく・高コストであり、回路効率も悪くなる。尚、SELV回路方式を採用すると、ランプ周辺の絶縁仕様が簡略できるメリットがあり、低圧ハロゲンランプを負荷とする情報機器の場合、ほとんどがこの方式をとる。また、従来よく使用されていた商用ダウントランスについては、回路効率・形状・重量の問題により現在は余り使用されていない。

4.3.2 ハロゲンランプ点灯回路の具体例

ハロゲンランプが使用されている情報機器としては、読み取り用光源・トナー定着用光源として使用される複写機、投射光源として使用されるOHP (Over Head Projector)等である。以下にそれら具体例を示す。

(1) アナログ複写機

アナログ複写機の画像読み取りは、硫化カドミウム(CdS)等の光半導体を用いた感光ドラムへ原稿に照射した露光ランプからの光をミラーで集光し、帯電する箇所としない箇所を構成し、帯電した箇所にトナーを付着させることで行っている。一般に感光ドラムの光に対する感度は余り良くなく、多少の光リップルでは、画像に影響を与えない。したがって、点灯回路は位相制御方式がとられる。また、ランプの調光にはPWM (Pulse Width Modulation) 信号を二次側の制御回路からフォトカプラを介して一次側の位相制御回路へ伝達し、デューティーによるランプ調光を実現している。(図3参照)

トナー定着用に使われるハロゲンヒーターランプの点灯回路は、同様にトリアックを使用しているが、露光ランプと比較して、消費電力が3～5倍と大きく、1kWを超えるものが多い。したがって、トリアックに負担をかけない様位相制御は行わず、ゼロクロス回路を内蔵したフォトトリアックカブラーによるON/OFF制御が使用されている。(図4参照)

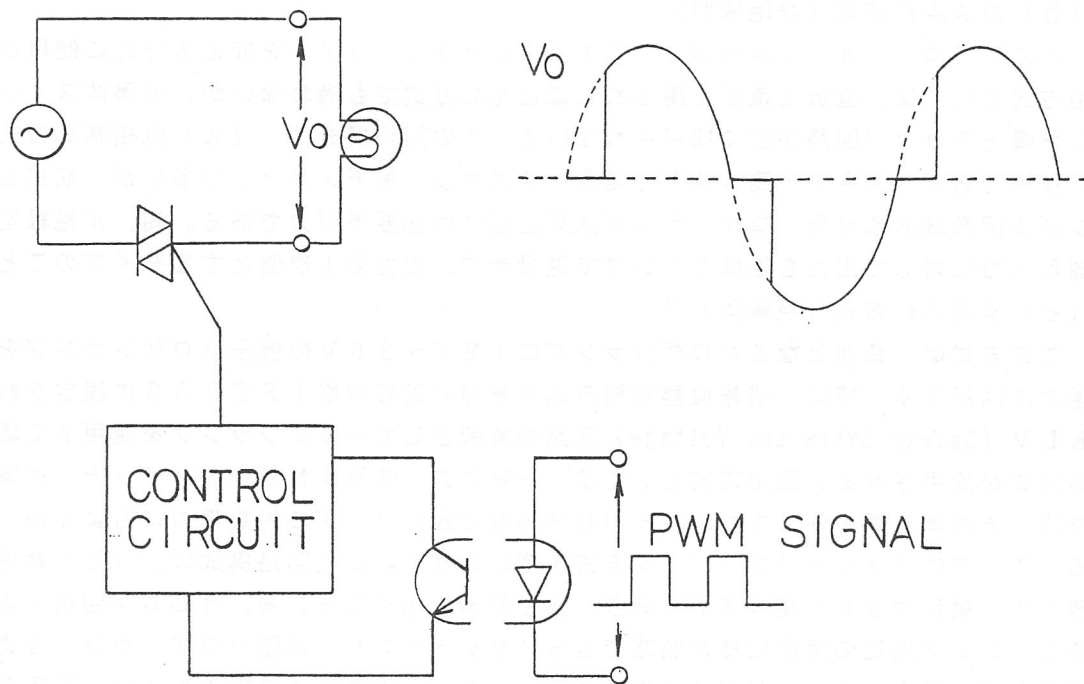


図3 アナログ複写機露光ランプ点灯回路

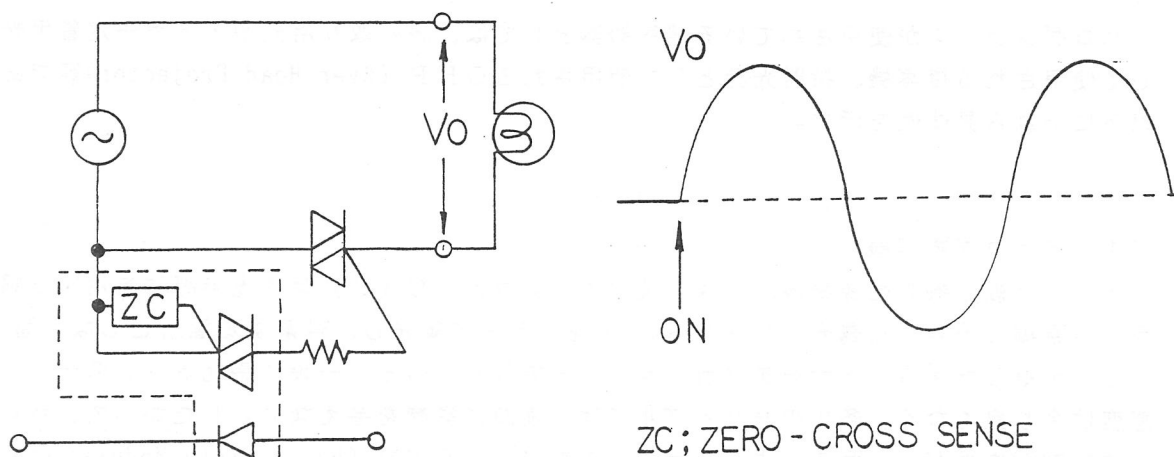


図4 複写機定着ヒーターランプ点灯回路

(2) デジタル複写機

デジタル複写機の画像読み取りは、原稿に照射した露光ランプからの光を直接CCDで読み取っているため、従来から使用されている位相制御方式では、光リップルが大きく画質に影響する。したがって、直流点灯方式が採用されている。また、使用されるランプ電圧も60～150V程度と高いため非絶縁型が主流である。ランプの調光にはPWM方式に加えて、DC電圧レベルによる調光方式がある。(図5参照) 尚、最近の動向として、CCDの感度バラツキがかなり抑えられてきており、固定出力でも対応できるようになってきている。

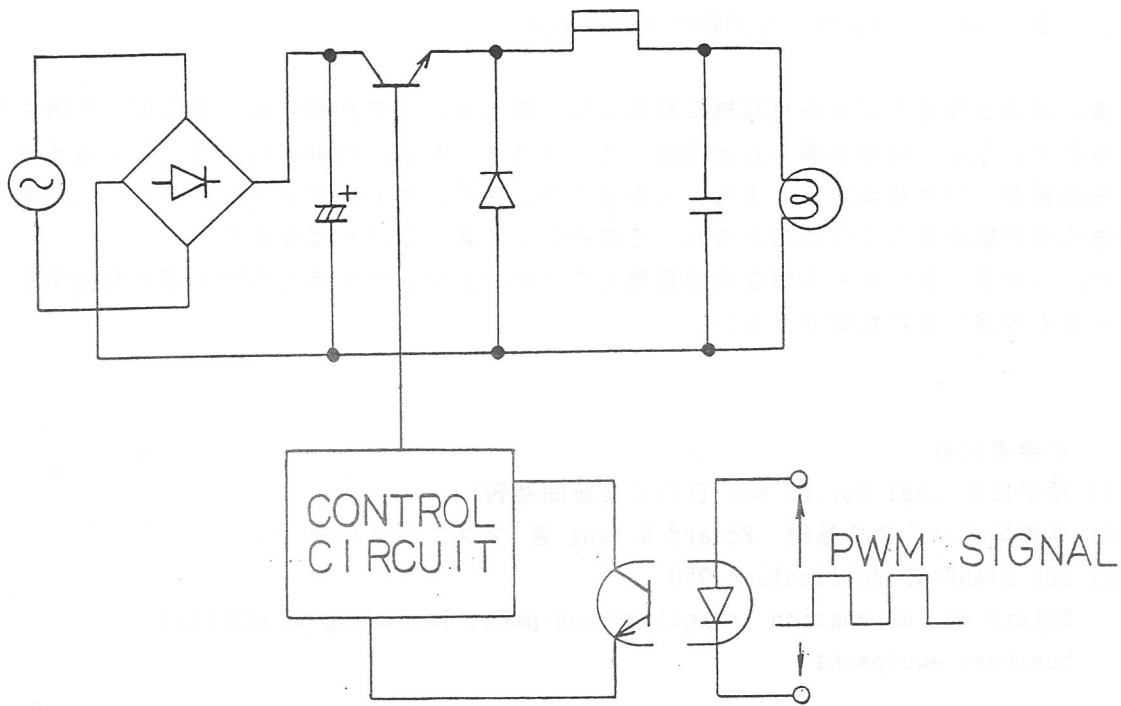


図5. デジタル複写機露光ランプ点灯回路

(3) OHP (Over Head Projector)

OHPの場合、光源としてのハロゲンランプは、点光源の高出力タイプ（24V250W, 36V400W等）がよく使われる。また、このランプはユーザーがランプ交換を行うこともありえるため、感電の危険性を配慮し、点灯回路としては入力側と出力側を絶縁したタイプがよく使われている。従来は、ダウントランスによるランプ点灯が主流であったが、効率、大きさ、重量、定電圧化が難しい等の理由により、スイッチング電源方式が多く使用されている。回路方式は、様々あるが特徴として平滑コンデンサを備えず、その分だけ小型化・低コスト化を図ったものが多い。一例をハーフブリッジ方式で、図6に示す。

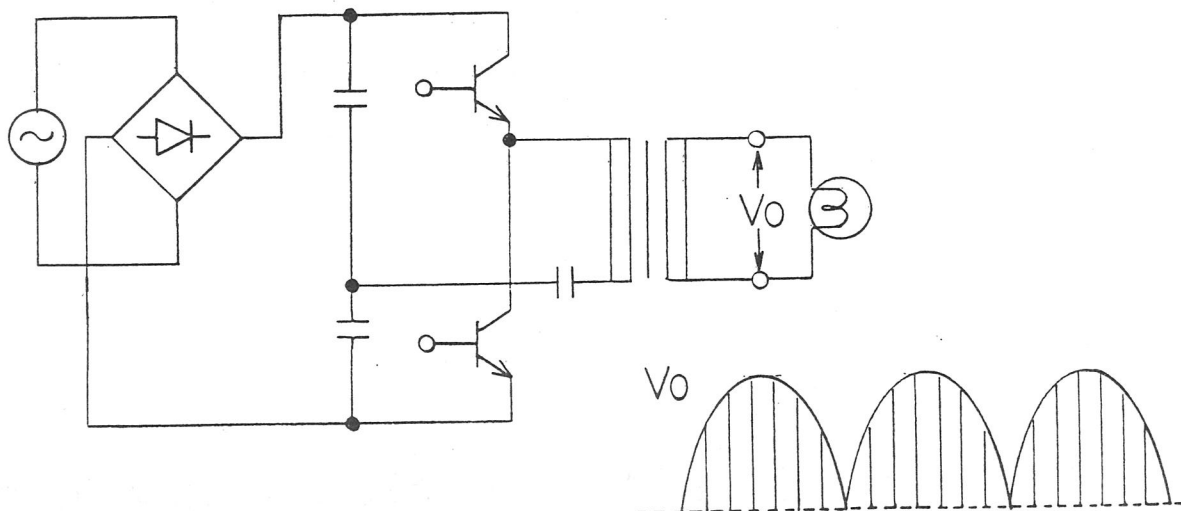


図6 OHP用点灯回路

4.3.3 ハロゲンランプ点灯回路の今後の動向

今後、主流となるデジタル複写機に対応して、露光ランプの直流点灯は更に要求が増えると考えられる。但し、位相制御方式と比較して、コスト、形状、効率どれをとっても劣るため、それら改善が、今後望まれる。また、その多くがコンデンサインプット型のため、入力電流の高調波歪の問題が新たに付け加えられ、その対応も考慮しなければならない。

更に、ハロゲンヒーターの様な大消費電力のハロゲンランプを点灯させる際に発生する電力フリッカも考慮しなければならない。

<参考文献>

- 1) 電子技術 1991 Vol.33 No3 日刊工業新聞社刊
- 2) 半導体デバイスの基礎 Edward S.Yang 著 マグロウヒル刊
- 3) IEC STANDARD Publication 950
Safety of information technology equipment including electrical
business equipment

5. 話題の光源

5. 1 青色半導体レーザー

光ディスクの記憶密度は一般にレーザー光の発振波長の逆数に比例すると言われている。このため波長が短いほど記憶密度は高くなり半導体レーザーの短波長化は世界中で研究されている。発振波長が500nm前後の青緑色半導体レーザーはセレン化亜鉛系で多くの研究が行われ、連続発振時間はまだ短いですがすでに室温連続発振に成功している。一方、最近注目されているのが青色発光ダイオードの実用化で話題になっている窒化ガリウム系を用いた青色半導体レーザーの開発である。そして1995年12月には世界で初めて半導体レーザーでは最短波長の発振波長410nmの室温パルス発振に成功している。

図1は窒化ガリウム系青紫色半導体レーザーダイオードの構造である。活性層の部分に多重量子井戸(MQW: Multi-Quantum-Well)構造が形成されている。図2はその順方向電流と発光出力との関係である。

また写真1は窒化ガリウム系MQWレーザーダイオードのレーザー光をレンズで集光した状態である。また、1996年12月にはまだ連続発振時間は短いものの窒化ガリウム系青紫色半導体レーザーも室温連続発振に成功したことが報告された⁽³⁾。何れにしても、次世代の映像・情報記録媒体において、波長の短い半導体レーザーが切望されており、これらの成果はその可能性をもたらしたといえる。

参考文献

- (1) shuji Nakamura, Masayuki Senoh, Shin-ichi Nagahama, Naruhito Iwasa, Takao Yamada, Toshio Matushita, Hiroyuki Kiyoku and Yasunobu Sugimoto: "InGaN-Based Multi-Quantum-Well-Structure Laser Diodes" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35(1996) pp. L74-L76
- (2) 中村修二: 「GaN系発光素子の現状と将来」応用物理 第65巻 第7号(1996)
- (3) shuji Nakamura, Masayuki Senoh, Shin-ichi Nagahama, Naruhito Iwasa, Takao Yamada, Toshio Matushita, Hiroyuki Kiyoku and Yasunobu Sugimoto: IEEE Laser and Electro-optics society 1996 Annual Meeting, Postdeadline Papers. Nov. 1996

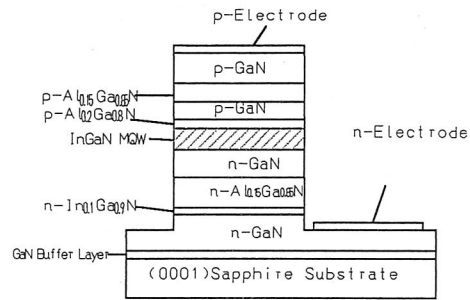


図1 窒化ガリウム系レーザーダイオードの構造

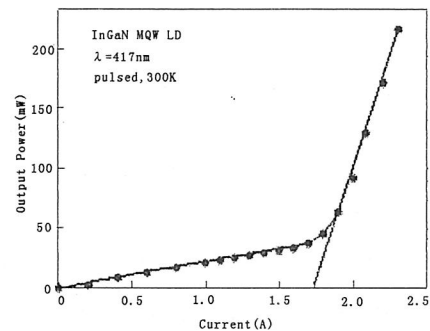


図2 順方向電流対発光出力特性

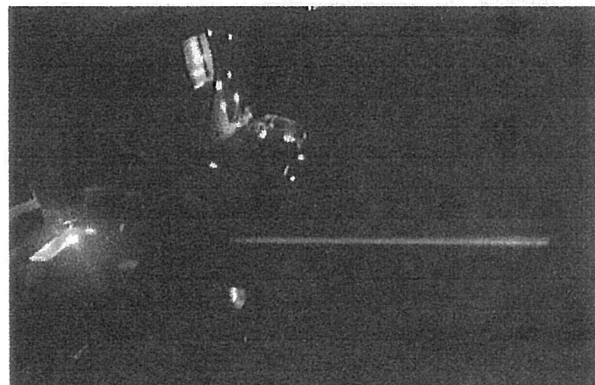


写真1 窒化ガリウム系MQWレーザー

5.2 SHG (Second Harmonic Generation : 第2次高調波発生)

SHG (第2高調波発生: Second Harmonic Generation) は非線形光学効果応用の一つであり、非線形光学結晶に入射する Laser 光から2倍の振動数(波長は1/2)の出射光を効率よく取り出す技術である。技術開発の背景には大光出力の GaAlAs Gain Guide 型半導体レーザーの開発⁽¹⁾と、KTP (KTiPO₄) やβ-BBO (β相 BaB₂O₄) 等の扱い易く高効率な新規非線形光学結晶の開発がある⁽²⁾。特に前者は、発振波長を Nd:YAG (Neodymium doped Yttrium Aluminum Garnet [発振波長 1.064μm]) 固体 Laser 媒質の吸収線 (808nm) に合わせて高効率光励起光源として利用した点が大きく、小型で安定した Watt クラスの光出力が得られる完全固体レーザーを実現した点で画期的であった^(3,4)。近年では、光出力で 100W クラスの物が工業用(主に加工)に研究されつつある⁽⁴⁾。

また、光ディスクへの応用では、記録密度向上を目指した短波長 Laser 光源が求められ、GaN や II-VI 族等の Wide Gap 半導体レーザーの開発とともに、Nd:YAG Laser の SHG による緑色 Laser (532nm=1064/2) や半導体 LD の直接 SHG による青色 Laser (430nm=860/2) 等、非線形光学効果をベースとした波長変換技術の開発が活発に行われてきた。

1995年には、SHG 緑色 Laser 光を波長変換の基本波として用い、更なる SHG により、光出力の安定な Watt クラスの紫外 Laser (266nm=1064/2/2) 等が実現されている。

近年、Laser を光源とする応用は多岐にわたっており、発振波長の多様化の他、光出力や発振波長の高安定性、発振波長の連続掃引、狭発振線幅など、従来の Laser 光源では得ることのできなかった機能が求められ、そして実現されてきている⁽⁶⁾。

本節では、SHG の原理に触れ、SHG 技術の応用例を紹介する。

SHG の原理

SHG のベースである非線形光学効果は、Laser 光のような強い電磁場が物質中を伝播する際に、分極がその電場に応答しきれず非線形分極波を輻射する事に起因する(図1)。極めて当たり前のこの現象は、Maiman による Ruby Laser の発明(1960年)の僅か1年後に、水晶により Ruby Laser の赤色が 347nm の紫外光へ変換されることが、Franken 等によって確認されている。

しかしながら、個々の分極から発せられる高調波は極めて微弱であり、加えて、媒質の屈折率分散のために、その励起源である基本波と異なる位相速度で伝播する。このため、有意な光強度まで積分される前に励起波と位相が反転し相殺する過程に至り、以降、高調波は低い光強度レベルで増減を繰り返す事になる(図2(a))。

SHG は高調波の中の第2高調波成分を効率的に取り出す技術であり、何らかの方法で基本波と2次高調波の位相速度を合致させ、個々の分極で発せられる2次高調波を損なう事なく積分し、工学的に有意な光強度にまで積み上げる技術と言えよう。このように位相速度を合わせる事を位相整合と呼び、高効率非線形光学結晶の開発と共に、SHG に於ける最重要技術の一つとなっている。

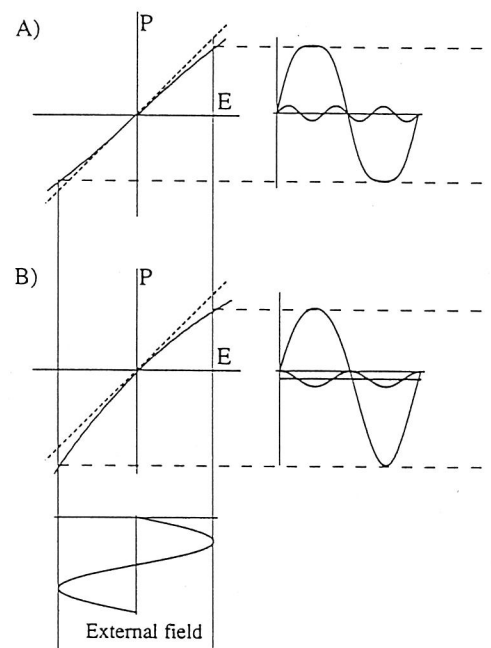


図1 分極の非線形応答

- a) 中心対称性のある媒質→3次
- b) 中心対称性のない媒質→2次

(1)式に、結晶内を距離 L だけ伝播した際の基本波から2次高調波への変換効率を示した。

$$\eta_{\text{SHG}} = \frac{P^{2\omega}}{P^{\omega}} = 2 \left(\frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{3/2} \frac{\omega^2 (d'_{ijk})^2 L^2}{n^3} \left(\frac{P^{\omega}}{\text{area}} \right) \frac{\sin^2 \left(\frac{1}{2} \Delta k L \right)}{\left(\frac{1}{2} \Delta k L \right)^2} \quad (1)$$

効果的なSHGのためには位相整合($\Delta kL=0$)が不可欠であり、基本波の光強度を上げ(強度に比例)、長い距離にわたって相互作用(2乗に比例)させる、等が求められる事がある。

具体的な位相整合技術には、非線形光学結晶の光学異方性を用いる「角度整合法」や位相速度の温度依存性を用いる「温度整合」があり、また近年では、非線形光学結晶の周期的な分極反転とともに分極波の符号を反転させて相殺を避ける擬位相整合法(Quasi Phase Matching)などが利用されている(図2)。特に、数 μm 周期で分極反転させる工学的手法の確立⁽⁷⁾は、古典的手法であるQPMを蘇らせた点で特筆に値する。非線形光学の詳細は文献⁽⁸⁾を参照されたい。

SHGの応用

(i) 光ディスク用短波長 Laser

光ディスクの更なる記録密度の向上のために、Laser波長(現行780nm)の緑や青色領域への短波長化が求められている。ここでは、LD → Nd:YAG → (SHG) → Green Laserの2段階波長変換を経るものと、LD → (SHG) → Blue Laserの2種類を代表して紹介する。前者の光学系を図3に示した。光源のミニチュア化を意図し、KTP結晶をNd:YAG Laserの共振器内部に配置する構成を採用している。10 cm³程度の体積内にペルチェ温調素子を含む全ての素子を納め、6 mWまでの緑色光出力が得られている。同光源を用いた光ピックアップで、CD比6倍密度の高密度光ディスクの再生が確認されている⁽⁹⁾。TEM₀₀の高品質なLaser光が得られる反面、光学部品点数の多さと高速変調性に乏しい等の欠点を有している。

一方、Laser Diode開発の進展によりSHG励起光源に不可欠な横シングルモード発振条件下での光出力が100mW程度まで増加し、また、LiNbO₃やLiTaO₃等の

強誘電体非線形光学結晶の分極反転技術の開発と相俟って、光導波路中に擬位相整合構造を組み込んだ小型高効率のSHGデバイスの開発が行われた⁽⁷⁾。図4,写真-1にデバイスの概念図とLiNbO₃の周期的分極反転の様子を示した。前述の内部共振器法と異なり、小さな領域(導波路)に光を閉じこめる事で基本波の光強度を高め、また、回折による光束の広がりを抑

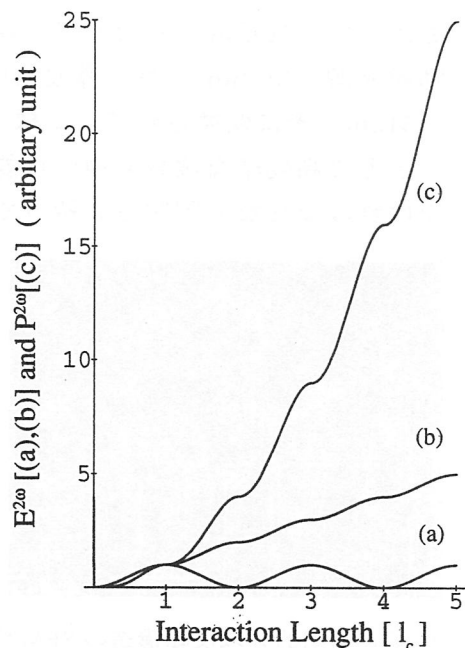


図2 擬位相整合法(QPM)の原理

- (a) 不整合状態
- (b) QPM 整合状態の $E^{2\omega}$
- (c) QPM 整合状態の $P^{2\omega}$

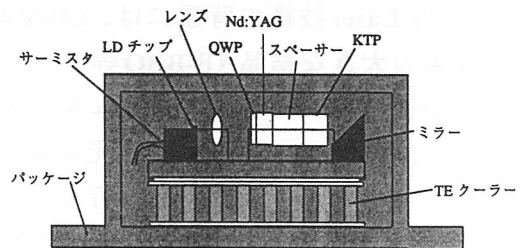


図3 ミニチュア・グリーンレーザーの構成

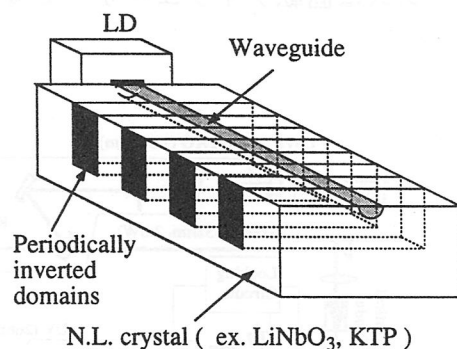


図4 QPM 導波路 SHG 素子の構成

さえながら長距離にわたって非線形相互作用する構成となっている。写真2は、100mWの励起光源（862nm）が、導波路中の6mm程の非線形相互作用の結果、約10mWの青色（431nm）光に変換されている様子を示している。

小型で高効率な波長変換が可能であるが、QPM位相整合波長と基本波光源波長を合わせなければならない困難さを持っている。

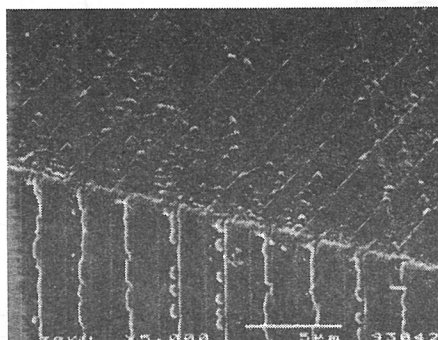


写真1 周期的分域反転構造のSEM像



写真2 SHG光のFar Field Pattern

(ii) 光リソグラフィー用 UV 光源

半導体の高機能化と微細化とは等価であり、この意味で、微細加工を支える露光装置の開発は半導体産業の死命を制しているといつてよい。現在、次世代光源として、より短波長のKrF (248 nm)やArF (198 nm)エキシマレーザーに照準が当てられ、活発な研究／開発が行われている。ここでは、メンテナンスや毒性等運用上難のあるエキシマレーザーに代わり、2段階SHGを原理とする全固体紫外線Laser (266nm)を紹介する。

UV Laser技術の背景には、LD励起Nd:YAG Laserの高出力化と、短波長域で非線形光学効果の大きな結晶(β-BBO等)の作製技術の発展があり、高効率なSHGを実現する光路設計や種々のサーボ／アクチュエーター技術が支えている。図5にUV-Laserの光路図を示した。2.8WのGreen (532nm)光から、1.5Wの紫外光をCWで得る事ができる。Table-1でエキシマレーザーとの比較を行った。

また、写真3には同UV-Laserを光源とした縮小投影露光装置で作製したレジストパターンの断面写真を示した。0.26μm Line/Spaceの良好な形状が得られている⁽¹¹⁾。光源のコヒーレンスは回転ディフューザーで減じられ、スペックルパターンは全く問題になっていない。

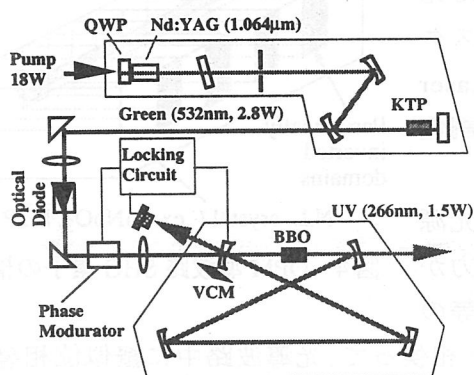


図5 全固体 UV Laser の光学系

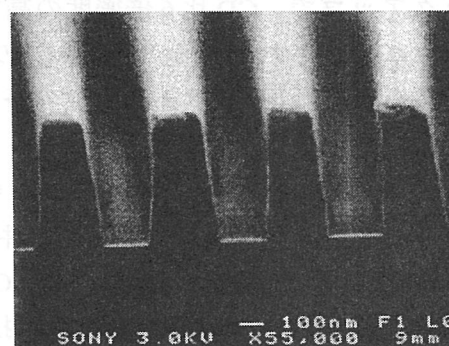


写真3 化学増幅レジストの断面
(位相シフトマスク使用)

表-1 4倍波 UV-Laser と典型的な KrF-Excimer Laser の比較

	Typical KrF Excimer Laser	FHG Nd:YAG Laser
Wavelength (nm)	248	266
Operation	Pulse (400 Hz)	Continuous Wave
Power (W)	~ 4	1.5
Gain Material	Gas	Crystal
Linewidth (FWHM)	~ 2 pm	< 0.2 pm
Coherence Length	250 mm	1 km
Longitudinal & Transversal Mode	Multi Mode	Single Mode
Foot Print	1.8 x 0.8 m ²	A4 size (this page)
Facility	Gas cooling/purification, etc.	Nothing Special

参考文献

- (1) 本報告書 第3.6節、半導体レーザー
- (2) 佐々木 孝友, "新固体レーザー材料と非線形光学結晶", 応用物理, vol.64, 878 (1995)
- (3) T. Y. Fan and R. L. Byer, "Diode laser-Pumped Solid-State Lasers", IEEE J. Quantum Electron., vol.24, 895, (1988)
- (4) L. Y. Liu, M. Oka, W. Wiechmann and S. Kubota, "Longitudinally diode-pumped continuous-wave 3.5-W green laser", Opt. Lett., vol.19, 189, (1994)
- (5) 藤川他, "高効率 150W 級 LD 側面励起 Nd:YAG Laser", 応用物理学会, 秋期学術講演会 No. 3, 7p-M-5 (1996)
- (6) Technical Digest of Optical Fiber Conference 等に詳しい
- (7) M. Yamada et. al., "First-order quasi-phase matched LiNbO3 waveguide periodically poled by applying an external field for efficient blue second harmonic generation", Appl. Phys. Lett, vol. 62, 435 (1993)
- (8) F. Zernike and J. E. Midwinter, "Applied Nonlinear Optics", John Wiley & Sons, (1973)
- (9) N. Eguchi and Y. Akiyama, "", Jpn. J. App. Phys., vol.32, 5307 (1993)
- (10) M. Oka et. al. "All Solid-State Continuous-Wave Frequency-Quadrupled Nd:YAG Laser", IEEE J. Sel. Top. in Quantum Electron. vol.1, 859 (1995)
- (11) H. Suganuma et. al., "Deep UV lithography using continuous-wave 266nm radiation from all solid-state frequency quadrupled Nd:YAG laser", Proc. SPIE, vol. 2440, 126 (1995)

5. 3 有機EL

有機物に電界を加えての発光の歴史は古く1950年に有機色素に高電界を印加したときの発光を観察した等の報告やPETに数百ボルトの交流電界を印加しての発光、アントラセン発光等がよく知られている。又、発光原理についての解析も多く成され有機絶縁体へのキャリア注入から発光するキャリア注入型ELの動作機構が解明されたが、実際的な発光デバイスへの展開は容易ではなく、漸く'87年にコダックのt.w. tangによってデバイスとしての可能性が報告され注目を浴びるようになった。

(1) 動作原理⁽¹⁾

有機分散型ELや無機ELに発光体として使用されているZnS系蛍光体の場合と動作機構上も全く異なり、キャリア濃度が大きく違うもののp-n接合を利用するキャリア注入型発光である発光ダイオードと略同様といえる。違いを挙げるならば、少数キャリア発光である点と分子励起子を経由しての発光といった相違点がある。

電極からの電子と正孔の注入→電子と正孔の固体中の移動→電子と正孔の再結合と一重項励起子の生成→一重項励起子からの発光といった四段階を経て発光する。

さらにT.W.Tangによってシングルヘテロ(SH)構造或いはダブルヘテロ(DH)構造の素子が提案されたことによって電極からの注入する電子と正孔のバランスが取れるようになり発光効率の大幅な向上が図られたとことにより有機EL素子の実用化に大きな前進が見られるようになったが、その作成方法上の問題から単一での大型素子の作製やパネルの継ぎ合わせによる大型化等が困難でありこの点も今後の課題として残っている。

(2) 基本構造⁽²⁾

素子構造としてはSH型とDH型があるが、ここではSH型構造の一例を示す。

図1はITO透明導電性膜付きのガラス基板上にホール輸送層としてのトリフェニルアミン誘導体(TPD)を真空蒸着法にて500Åの膜厚で形成し、その上に発光層としてアルミキノリノール錯体(Alq3)に蛍光量子収率の高い色素をドーブし数百Åの厚さに成膜し、さらにその上に陰極としてのMg、Ag、In等低仕事関数物質を共蒸着した構造が良く知られている。

さらに、発光層の上に電子輸送層を設けたDH構造の素子も開発されている。

(3) 多様な発光材料

発光材料として優れた特性を示すAlq3は、キノリノール系金属錯体の一種であり、分子内錯塩構造をとっている。従って、Alq3以外の分子内錯塩型キノリノール系金属錯体も良好な発光材料になりうる。図2にキノリノール系金属錯体の分子構造を示した。

これらの材料は全て蛍光材料であり、均一で良好な蒸着膜を形成させることが出来る。

EL素子としてホール輸送層にTPDを使用したときのSH構造での発光特性例を表2に示す。

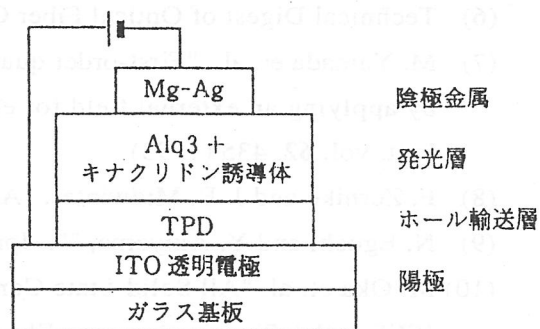


図1 有機ELの基本構造

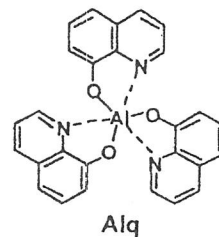


図2 キノリノール錯体の構造

発光材料	中心波長 (nm)	発光色	最高輝度 (cd/m ²)
MgMq2	527	黄	5600
Znq2	554	黄	16200
ZnMq2	539	緑	8900
Alq3	525	緑	5800
AlPrq3	550	黄緑	3000
Gaq3	543	黄緑	7200
GaMq3	503	青緑	5700
Beq2	528	緑	8700
BeMq2	521	緑	8800
BePrq2	544	緑	5600
Mgq2	516	緑	3700

一般的には上記のように低分子材料が使用されているが、共役系、非共役系ポリマーを発光層或いはキャリア輸送層に分散材として用いることによって、素子作製時にスピコート法などの簡単な手法で素子化が可能な点や耐熱性や耐湿性を向上できる可能性もあるなどの点から長寿命化が期待できるが、まだ実用レベルには至っていない。

このほかにも非平面構造を有するジスチルアリーレン誘導体による青色から黄緑色発光やアゾメチン金属錯体による青色発光、ポルフィリン系錯体による赤色発光な

表2 キノリノール系錯体を用いた素子特性⁽³⁾などを始めとして書き切れないほど種々発光材料が提案されている。

実用に近い材料としては、Alq3にキナクリドン誘導体を添加したものとジスチルアリーレン誘導体ジスチルアリールアミン誘導体を添加したものなどが発表されており、後者については初期輝度100 cd/m²で1万時間の寿命が確認されるなど、設置条件によっては実用に近いレベルまで来ていると言える。

(4) 劣化機構

有機ELは初期輝度は他の素子よりも高いものが容易に得られるものの、研究当初から劣化現象が問題視されてきている。実際に、素子に電流を流すと時間と共に輝度低下、ダークスポットの発生と駆動電圧上昇が生じる。これらに付いて、発熱による構造変化(結晶化)、有機層と陰極金属との界面、陰極の酸化、光劣化など様々な要因が報告されているが、まだ不明な点が多い。

その中で最も大きな要因は金属と有機層との界面の接合効率が極端に小さいことが上げられる。このことがMIS型構造と同様の発光過程となり界面の安定性のためには厳密な制御が要求される。このほかにも、素子作製時における含有水分や湿度や環境温度といった要因も挙げられる。

(5) 発光特性⁽⁴⁾

発光特性は発光層、ホール輸送層、陰極金属の各材料設計及び膜厚や積層数などによって特性は大きく異なる。発光特性の一例として積層構造を変化させたときの特性の違い及び陰極材料と特性の関係を図3、4に示した。この結果からSH構造よりもDH構造の方が発光効率は高く、陰極金属に仕事関数の低いLi

(2.9 eV)を用いた素子のしきい値及び輝度が高いことが分かる。

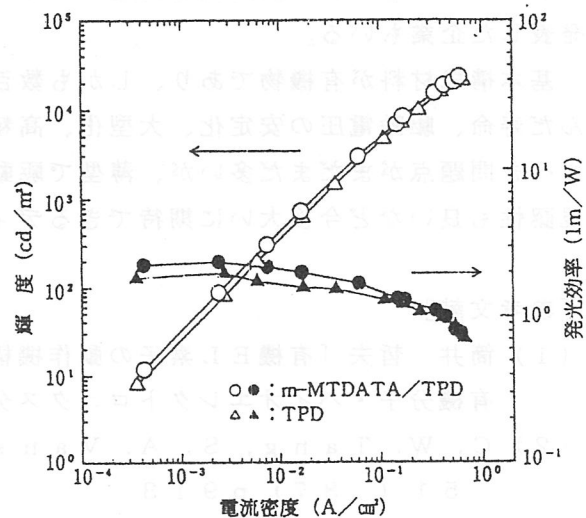


図3 素子構造と輝度、発光効率

(6) フルカラー化⁽⁵⁾

フルカラー化のための方法として3つの方式が考案されている。①RGB三色の発光層を1画素として使用、②発光層に各種色素を添加して白色発光層を使用し、これにカラーフィルターを使用したもの、③青色発光層のおみ使用してB→G、R変換する色変換層を透過させることで三色の表色を得るものがある。現状ではまだ①の構造に使用される赤色発光材料の寿命特性がまだ数千時間と短くまだ実用に共せる段階ではない。一方、③の構造に使用されているB→R変換における色再現性が多少悪いが寿命時間としては使用限定される場所はあるが実用レベルに達している。②の構造については発光効率の面で他の2素子よりも低く効率面でまだ問題が残る。参考までに各方式による構造を図5に示した。

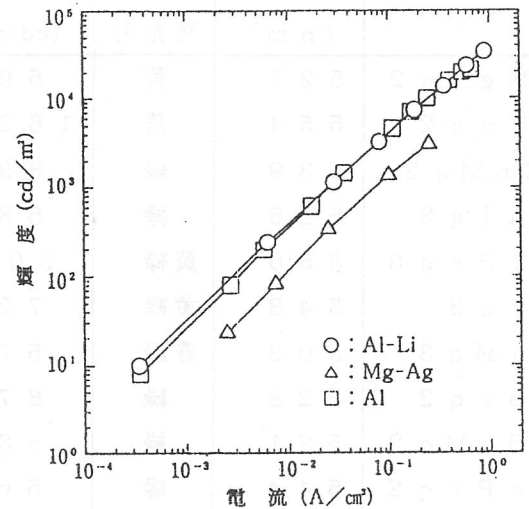


図4 陰極材料と特性

参考までに各方式による構造を図5に示した。

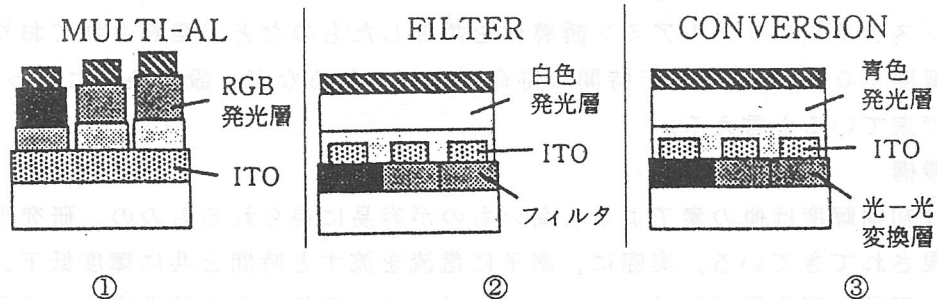


図5 各方式によるフルカラー有機ELの構造

(7) まとめ

Tang氏の発表から既に10年程になるが、その開発意欲は過熱気味ともいえるくらいに注目を集めると同時に研究発表数も増大してきている。そのような中で最近初期輝度100 cd/m²、発光効率3 lm/Wで寿命1万時間の最大10インチのフルカラーディスプレイが発表されるようにまでなっており実用化も間近ではないかとの期待が高まっている中で、早くも量産化を発表した企業もいる。

基本構成材料が有機物であり、しかも数百～数千Åという薄膜を扱うことから耐環境性に絡んだ寿命、駆動電圧の安定化、大型化、高精細化、色純度等フルカラーディスプレイへの解決すべき問題点がまだまだ多いが、薄型で駆動が低電圧DC電源で良い点や消費電力も少なく、視認性も良いなど今後大いに期待できるディスプレイの一つと言える。

[参考文献]

- (1) 筒井 哲夫「有機EL素子の動作機構と発光効率」応用物理学会、有機分子・バイオエレクトロニクス分科会、第三回講習会資料、('93) P 31
- (2) C. W. Tang, S. A. Vanslyke: Appl. Phys. Lett. 51 ('87) p 913
- (3) 浜田 裕次「キレート金属錯体を用いた有機EL素子」高分子学会、第25回高分子錯体研究会、p 11

- (4) 仲田 仁「有機EL素子の高輝度、高効率化」応用物理学会、
有機分子・バイオエレクトロニクス分科会第三回講習会資料（'93）p31
- (5) 日経エレクトロニクス「FEDと有機ELが液晶パネルに挑戦」1.29日号、
（'96）p99

6. 関連規格動向

最近の情報機器や光源機器の規格の動向は欧州の動向が最新状況を的確に表現しているように思われるのでその分野を中心的に追隨していきたいと思う。同時に地域展開として欧州、日本、アメリカの三極についても触れた上で商品展開まで進めたいと意識しているが時間の許す限り述べる。

特に昨今の関連規格についてはISO9000, ISO14000, IEC国際規格（安全規格、ノイズ規格など）までもが人体への影響等を考慮する点を含めEUで規格化が進められておりそれを日本、アメリカが追従している形になっている。日本はそれらの規格が欧州の貿易障壁であったりした時代が長かったが、輸出立国の情けなさからそれらのいずれにも、製造品国家としていち早く対応せざるを得ない状況であった。ノイズとしての物離れが叫ばれて久しいが、物作り製造業中心からソフト創造製造業への転換が遅れている状況下では製品規格の先進国である欧州の動向には目が放せない状況である。

技術先進国の「E-Z」 と「E-Z」委員会以来の地球を保護する意識のなかでの欧州の活動は説得力があるように感じられる。最近の話題になっている規格は安全（SAFETY）とノイズ（EMISSION, IMMUNITY, HARMONICS）であろう。それらについても触れていきたい。尚、水銀や蛍光体などの物質的な規格は環境保全のための照明システム研究会に譲る。

6.1. 国際及び欧州規格

国際規格：

ISO: 国際標準化機構

IEC: 国際電気標準会議

CISPR: 国際無線障害特別委員会

ITU-T: 国際電気通信連合、電気通信標準化セクター

MIL: MIL STANDARD情報処理規格としてのMIL は特殊な規格（信頼性等）で使われるだけで一般にはIEC が適用される。

欧州規格（EN規格）：

EN規格番号は、下記の構成になる。

EN規格	EN	50	X X X
	欧州規格記号	規格分類番号	連続番号
EN50000シリーズ	一般の欧州規格		
EN55000シリーズ	CISPR 関係の欧州規格		
EN60000シリーズ	IEC 関係の欧州規格		

一例CISPR 22 ---- EN55022 * 光源に使われている情報機器はCISPR22 が該当
16 ---- EN55016

6.2. 低電圧指令（安全規格）

欧州市場で流通する電子機器に97年1月から機器の安全性を定めた低電圧指令が強制適用される。具体的にはCEマーキングが適用される。このCEマーキングについて述べる。

6.2.1. CE MARKING : 新しい安全規制がEU（欧州連合）97年1月より開始、マーキングのない製品はEU国内で販売、流通できなくなる。これは欧州各国別の規制を統一し安全性が保証された製品の円滑な流通を目的としている。

適用範囲：電圧定格が交流(AC)50~1000Vと直流(DC)75~1500Vの範囲のすべての製品に適用される。

適用製品：1. テレビ、ラジオなどの家電製品

2. 複写機などの事務機器

3. オシロスコープなどの測定機

4. 照明器具

5. 電動工具

6. 電子ピアノやカラオケなどの娯楽製品

準拠法：欧州連合(EU)の低電圧機器の安全性に関する指令73/23/EEC及びCEマーキングに関する指令93/68/EEC

罰則規定：別途あり。

認証手続：1. 製品の説明やテストレポートなどの技術書類

2. 製品に適合するEU指令やCEマーキングを添付（自己認証証書）

6.3. EMC 指令（ノイズ）：

EMI エミッション, EMS イミュニティー, HARMONICS ハーモニクス（包括してEMC指令と呼ぶ89/336/EEC）

6.3.1. EMI EMISSION（電磁波放射）（一例としてSW電源）（A 要求される事項, B 規格概要）

雑音端子電圧 A 機器が発生する雑音が他の機器に

雑音電界強度 悪影響を与えない。

B 雑音の発生レベルを規定

電圧変動

（電気照明機器の規格はEN55015）

（情報処理装置の規格はEN55022）

6.3.2. EMS IMMUNITY（電磁感受性）

静電気放電 A 他の機器から発生する雑音の

放射電磁界 影響を受けない

トランジェントバースト B 雑音の感受性レベルを規定

雷サージ

ほか：イミュニティーの規格は沢山あり（電源関係で7種類適用）

（情報処理機器の製品群規格EN55024）

6.3.3. HARMONICS

(高調波) 電源高調波歪を抑制する規格。EMC 指令の規格としてはEN60555-2 (改版 EN61000-3-2)がある。日本では通産省資源エネルギー庁公益事業部で発行した平成6年9月の家電、汎用品高調波抑制対策ガイドラインがありEN規格を日本の事情に合わせて、一部修正した内容となっているが“電圧300V,MAX. 電流20A,MAX.”の電気電子機器、(家電、汎用品)に適用され照明機器の測定条件での表示は、照明器具として製造されたまま測定(点灯中)、グロー付きの場合はJIS C7603を適用する等の表示がある。適用はクラスCで特殊なものはクラスDの限度値を適用。また情報機器はクラスAまたはDが適用となる。

6.4. CEマーキング :

CEマーキングは製品の品質や性能を保証するものではなく、消費者のための表示でもない。製品がEU指令に適合しEU域内を自由に流通できることを確認するためのものである。

このニューアプローチ指令(93/68/EEC)では電気製品の流通開始に先立ち例外なく一連の認証手続きをメーカーや輸入業者に要求し、電気用品上に、CEマークを表示する必要があると定めている。

7. あとがき

内容的に大学関係の研究者が少なく、メーカー主導の分野であるため、大多数の委員がメーカーに籍を置いている。各委員、自らの「企業秘密」と戦いながら精一杯の努力を続けた結果が本報告書である。

本報告書は大学・企業で一応最前線の研究・開発に従事している委員が、各々の専門分野を分担して、(1)情報機器、(2)情報機器用光源、(3)光源点灯回路、(4)話題の光源、(5)関連法規、等について執筆したが、委員だけでは網羅できない分野もあり、委員以外の方にも執筆を依頼した。ご協力いただいた方々に深く感謝いたします。

執筆者各位の熱意により、報告書は約170ページという力作となった。委員自身必ずしも満足できない点もあるが、全体としてはある程度最新の情報を網羅できたと思っている。

各方面のより多くの方々に、研究・開発・教育等の一助としてご活用いただければ委員一同望外の幸せである。

「近年とんと新しい光源が生まれていない」との嘆きが多いこの頃であり、技術革新の激しい情報機器側から次々と新しい要望が出されても、そう容易くは新しい光源が開発できる状況ではなく、各々の機器に適合するように現在の光源を改良・設計していくしかない。

そう遠くない将来には新しい原理に基づく真に新しい光源も必ずや開発されることと信じて止まないが、当面は「情報化社会」の主役である「機器」をしっかりと支えるべく、ランプ・点灯回路の改良を積み重ねていくことが重要な社会的責務と考える。

その意味でも、学会委員会あるいはシンポジウム等種々の機会を利用して、今後とも情報機器側から光源に対する問題点・要望を厳しく出して欲しいものである。

最後に、情報機器と光源技術が相携えて共に一層進歩・発展することを祈ってやまない。

