情報電子機器へのLEDおよびELの応用[†]

大 西 勝*

1. は じ め に

EL (エレクトロルミネセンス, Electroluminescence) は表示素子としては古い歴史をもっている。1960年代の前半までは照明用の平板光源としての狙いで研究開発が行われたが、十分な輝度、効率が得られず期待はずれに終わった。1960年代より現在まで分散型のELが表示用に細々と実用されていたが、1974年の薄膜型のAC駆動ELの発表を契機に、情報機器の表示素子として改めて注目を集めている。

LED (発光ダイオード, Light Emitting Diode) が電卓用の表示に用いられたのは、1970年代であるが、現在も高輝度化とカラー化の研究が活発に行われている。また、1980年初頃¹⁾より光プリンタの書き込み光源への応用開発が注目を集め、1984年頃より本格的な実用化が始まっている。そして、デスクトップパブリッシングの流行に伴うここ数年来の小型のレーザーページプリンタの急激な普及に呼応して、LEDを光源としたプリンタも増加しつつある。

さらに、1980年頃^{2),3)}よりファクシミリの密着型イメージセンサの固体化照明光源としてLEDが用いられるようになった。このように、LEDが情報入出力光源として本格的に採用されだしたのは比較的最近のことである。

情報電子の範疇に含まれる機器は余りにも多いので、本稿では記録、読取、表示の分野に絞ってLEDおよびELの応用について紹介する。

2. LEDとELの原理

ここでは情報電子機器へのLEDやELの応用を理解するのに必要最小限の範囲で各々の原理とその分類について概説する。

2.1 LED

現在、製品化されているLEDの発光のほとんどは、Ⅲ—Ⅴ族の化合物半導体のp—n接合における電子と正孔の再結合時の発光を外部に取り出したものである。Ⅲ—Ⅴ族の化合物がもっぱら使われるのは、エネルギーギャップ

E_g が広く可視光が得られること、直接遷移型あるいは不純物添加により発光再結合の確立が高いこと、結晶が安定して作れること、などの条件を最も満たしている材料であることによる。Ⅲ—Ⅴ族の中でLED材料として、現在重要な化合物はGaAsP系、GaP ($E_g \approx 2.26$ eV, 室温) およびGaAlAs系である。これらの母材の組成比の変化と添加不純物との組合せで、表1に示したように緑から赤までのLEDが製品化されている。これらの母材の内、ダブル

図1 超高輝度GaAlAs LEDの断面構造

表1 LEDチップの性能一覧表

LED	製造方法	発光色	ピーク波長 (nm)	スペクトル視感度 (lx/W)	発光効率(%)		明るさ (lx/W)	
					最高値	市販品	最高値	市販品
GaAs0.6P0.4	気相成長+拡散	赤	650	70	0.2	0.1	0.14	0.07
GaAs0.35P0.65	"	赤橙	632	190	0.2		0.42	
GaAs0.15P0.85	"	黄	590	450	0.04	0.01	0.18	0.045
GaAs0.65Al0.35As	液相成長+拡散	赤	670	30		0.1		0.03
GaP:Zn, O	液相成長	赤	695	20	12.6	1~3	2.4	0.2~0.6
GaP:N	"	緑	565	610	0.7	0.02~0.05	4.2	0.1~0.3
GaP:N	気相成長+拡散	"	565	610	0.05	0.01	0.3	0.06
GaP:N($N > 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)	"	黄	590	450	0.1		0.45	
GaN(MIS構造)	—	青	490		0.03		2mcd	
SiC	—	青	480		0.004		2mcd	
ZnS(MIS構造)	—	青	460		0.007		2mcd	

へテロ構造(図1)のGaAlAsを使ったものでは数cd以上の極めて高い輝度が得られており、高輝度を生かした新しいLEDの応用分野を拓きつつある。

再結合する E_g (eV)と発光波長 λ (nm)の間には(1)式の関係がある。

$$\lambda = 1240 / E_g \cdots \cdots (1)$$

[†] Applications of LED and EL for Information Electronic Devices

* 三菱電機㈱ 生活システム研究所 Masaru Ohnishi
〒247 鎌倉市大船2-14-40

青色のLEDについては、GaPよりさらに E_g の広い母材が必要であり、Ga_{0.4}N_{0.6}、SiC、ZnSeやZnSが検討されている。先の表1に示したようにGa_{0.4}N_{0.6}やSiCの青色LEDについてはすでに製品化されているが、輝度が数mcd程度と低い。青色発光の低輝度がLEDのカラー分野への応用の最大の障害になっている。青色LEDの母材のうち、SiC以外はp-n接合が形成できないので、Ga_{0.4}N_{0.6}⁴⁾やZnSにおいてはMIS (Metal-Insulator-Semiconductor) 構造を使い、電極よりの注入励起により青色発光を得ている。

図 2 薄膜 EL 素子の断面構造

2.2 EL

ELは製法により、薄膜型(図2)と分散型とに大別できる。ELは分散型から実用化が始まったものであるが、その後、期待ほどの輝度の向上がなかったため、現在では高輝度の薄膜型が情報機器用ディスプレイ応用の主流になっている。薄膜型はZnS:Mn蒸着層を絶縁物で挟み、かつAC駆動することにより高耐電圧・高輝度化と高信頼度化を達成して、実用化に成功したものである。薄膜ELの実用化は、どちらかといえばDC駆動を狙って開発していた、それまでの薄膜ELの障害を見事に乗り越えた快挙であった。遷移金属のMn²⁺の励起発光であるオレンジ色(発光中心波長約580nm)を使う薄膜ELが最もよい発光効率を現状では達成しており、実用化が進んでいる。

カラー化のためZnSにTb(緑)、Sm(赤)やTm(青)などの希土類の不純物を添加した高効率薄膜ELの開発⁵⁾が盛んに行われている。緑と赤については実験室的には実用的な輝度に近づきつつあるが、青色についてはなお2桁以上の改良が必要である。

図 3 有機分散型 EL の構造

表 2 各方式 E L の特徴方式				
項目	方式	薄 膜 型	有機分散型	無機分散型
表示方法		ドットマトリクス発光	面 発 光	面 発 光
製 法		蒸 着	溶剤塗布	塗布後焼結
駆動電圧		100V以上	50V以上	100V以上
実用化された発光色		オレンジ	多 色	多 色
形 状		平 面	曲面も可	平 面
輝度半減寿命(時間)		2×10 ⁴	5×10 ³	5×10 ³
発光効率(ルーメン/W)		1	3	3
価 格		高	安	中

表2は代表的な薄膜型と分散型のELの特徴を比較したものである。分散型にはZnS蛍光体をホーロー中に分散し焼結する無機分散型と、有機樹脂中に分散する有機分散型とがある。図3に有機分散型のELの構成を示す。輝度も無機分散型より高く、プラスチック化されているため低コストで、液晶のバックライトなどに用いられている。現在実用化されているELの発光の原理は、いずれも高電場中で加速された電子による発光中心の衝突励起発光だといわれている。有機分散型では不純物の選択により、輝度は低いが青、緑、オレンジ、白などの発光色のものが製品化されている。

3. 記録装置への応用

3.1 LEDプリンタ用ヘッド

図4にLEDプリンタの構成を示す。作像の原理は現

図 4 LED プリンタの構成

在複写機で多用されている電子写真方式であり、書き込み光源にLEDアレイヘッドを用いたものである。当初、小型低価格のページプリンタ用として機械走査のレーザプリンタに替わる電子式走査方式のデバイスを狙って、LEDプリンタヘッドの提案が行われた^{1),6),7)}。しかし、半導体レーザダイオード、レンズおよびポリゴンミラーなどからなるレーザ光の走査ユニットのコストが量産化技術の確立により、大幅に低減されたことにより、LEDプリンタは低価格ページプリンタの分野の主流方式になるに至っていない。

図 5 LED プリンタヘッドの構成

図5にLEDヘッドの構成を示す。セラミック基板な

どの絶縁性基板の上に、64～128ドットのLEDを紙面に垂直方向に集積したLEDアレイチップを直線状に順次並べて、A4～A2サイズ程度の幅のヘッドができ上がる。チップ間を10 μ m以下のピッチ不整で接続できるチップの接続技術が進み、480 DPI（インチあたりのドット数、Dots per Inch）までの解像度のヘッドはチップを現在では直線配列している。また、LEDの点灯を制御するための1ライン分のシフトレジスタとラッチを含む駆動回路もIC化されてヘッドに組込まれている。記録画像に応じて点灯されるLED光は焦点性ロッドレンズアレイにより感光ドラム上にフォーカスされる。

LEDの高電流駆動による3420 LPM（1分あたりの印字できる文字行数、Lines per Minute）の高速日本語LEDプリンタの実用化⁸⁾を契機に、LEDの高速化のための開発が活発化している。高速用LEDヘッドには従来のGaAsPチップを高電流駆動するもの⁸⁾と発光効率の良いGaAlAs^{9,10)}を使うものが各々報告されている。

図6 LEDヘッド外観図

図7 LEDの発光部の電極構造

図6は3420 LPMのLEDプリンタに使用した高電流駆動タイプのGaAsPチップを使ったLEDヘッドの外観図を示す。このヘッドでは放熱特性の改善のため、ヒートパイプにより冷却を行っている。また、図7のLEDの発光部の拡大図のように、電流の局所的な集中による破壊を避けるため電流の注入電極を両端、2カ所にしている。これらの工夫により、それまでのLEDヘッド^{1,5)}の10倍近い800 A/cm²程度の高電流駆動が可能になった。このLEDヘッドの発光波長は660 (nm)、解像度は240 DPIで

ある。

また、GaAsP系より発光効率の良いGaAlAs系のチップを使って、従来はガスレーザ使われていた10000 LPM以上の高速記録プリンタの試作も進んでいる。平根ほかによれば、20000 LPM程度の超高速プリンタの実現も可能と報告¹¹⁾している。GaAlAs系では発光中心波長が780 nmと長く、利用できる感光体がOPC (Organic Photoconductor)、SeTe、アモルファスSiなどに限られる欠点があるが、超高速化可能な点から注目されているヘッドである。

LEDヘッドのもう一つの特徴は、広幅化が容易な点にある。今後、静電記録方式の普通紙化の分野での応用展開が期待されており、すでにA2サイズの普通紙プロッタとして実用化されている。

また、LEDの代わりに、指向性の強い薄膜ELの端面発光を利用した記録ヘッドの試作が米国で報告されているが、LEDで超高速分野までのプリンタの実現が確認された現在、ドライブ電圧の低いLEDよりヘッドとして低価格化可能か否かが今後に残された問題であろう。

LEDヘッドの今後の課題には次のようなものがある。

第一には低速分野ではLEDチップの低価格化である。

第二には、光量補正をなくしドライバICの低価格化を可能にするための発光のパラッキの低減である。これらのいずれもが素材であるGaAs結晶の段階での低コスト化、高品質化を必要とするものである。現在、超高速ICなどへのGaAsの応用が拡大しつつあり長期的には解決が期待できるだろう。これらの問題が解決されればLEDは、小型化と信頼性及び組立の無調整化の特徴をもっており、充分半導体レーザに対抗し得ると考える。特に、無調整化と小型化の特徴は、後述するCCDと密着イメージセンサの競合関係と同様に、デバイスだけの値段でなく装置のトータルなコストと性能の点から採否が検討されるべきデバイスである。

3.2 除電ランプ

図4のLEDプリンタの構成中に除電ランプを示したが、プリンタだけでなく複写機の分野においても除電ランプとしてLEDアレイを使うことが多い。これは小型化、直流点灯および長寿命のLEDの特徴に加え、部分消去などの最近の複写機のインテリジェント指向によるものである。このような、出力より小型化が長寿命化が重要視される低照度の露光用ランプの分野へ、蛍光灯や白熱電球に代わってLEDの応用が拡大してゆくと思われる。

4. 読取装置への応用

4.1 密着型イメージセンサ

密着型イメージセンサはファクシミリ画像読取の小型化の目的で開発されたものである。従来のCCD (Charge Coupled Device) やフォトダイオードアレイなどのIC型のイメージセンサでは原稿を高輝度の蛍光灯で照明し、レンズで縮小し、センサに照射して光電変換を行っていた。

現在のところセンサのコストは密着型の方が高いが、無調整化や小型化の特徴があり、かつ CCD のように外国特許

図 8 密着イメージセンサの構成

の問題が無い場合、ファクシミリ読取デバイスとして採用するメーカーが急速に広がりつつある。密着型イメージセンサの構成例を図 8 に示した。密着型イメージセンサでは小型化と高信頼性の目的で、原稿の照明に LED を一定間隔毎に並べて線上にアレイ化した光源と、直線状の等倍型レンズである焦光性ロッドレンズアレイを用いる。この例では焦光性ロッドレンズアレイの両側に棒状の LED 光源を配置している。光学系の特徴から、IC 型を縮小型、密着型を等倍型と各々称することもある。

LED の原稿面照度を上げるため LED 列の前面には半円筒状のシリンダレンズが設けられている。また、LED 間の発光バラツキの調整は LED と直列に接続した抵抗体で予め行われている。しかし、中間調画像の読取では発光のバラツキがそのまま読取画像の濃度変化として現れるため、読取センサでのバラツキの補正がさらに必要になる。また、2 値画像でも地色のあるものは、LED の発光バラツキが読取画像に現れる。バラツキの補正は、予め白い基準面を読み取ったときの信号レベルで補正値を求める方式が一般に用いられている。

4.2 密着型イメージセンサの読取方式

密着型は光電変換の原理から、蓄積型と光導電型とに分類できる。蓄積型は照射光の吸収により発生した自由電子による電荷を一定時間の間だけ蓄積した後に、読みだして電気信号に変換している。CCD イメージセンサがその蓄積型の代表例である。蓄積型は面素を選択していない時も信号電荷を蓄積でき、高感度が得られるので、フォトダイオードアレイなどの光導電型のラインセンサでも、通常は蓄積型で動作させている。

光電変換センサ部の形成法から、密着イメージセンサは薄膜型とマルチチップ型とに分類できる。薄膜型では光電変換センサ部に CdS-CdSe を使うものと、非晶質シリコンを使うものが実用化されている。マルチチップ型は CCD 型や MOS (Metal Oxide Semiconductor) 駆動のフォトダイオード型のイメージセンサ・アレイを形成したシリコン結晶チップを、所定の幅だけ順次接続したものである。

センサだけでなく、走査回路を含んだ全体の回路を基板上に形成できれば、薄膜型は低コスト化の可能性が大きい。しかし、現状では走査回路用 IC チップ別に搭載するより、128〜256 ビット程度のセンサと走査回路を一体に

集積したシリコンチップを直線上に搭載する方が多い。これは、シリコンプロセスの量産化製造技術が確立しており、かつマルチチップ実装ヘッドの製作が容易である特徴を有するためである。また特に、カラーや高解像度の用途にはマルチチップ型が専ら用いられている。

カラーの密着型イメージセンサの開発が活発に進められている。カラーの読取方式にはセンサ自体にカラーフィルタを形成したカラーセンサを用いるものと、センサ自体はモノクロでフィルタ切り替えあるいは 3 色の光源を時分割点灯してカラー信号に変換するものがある。高速の読取を必要とする分野にはカラーイメージセンサが、低速・低価格分野にはフィルタ切り替えか光源の時分割方式が、各々適している。

3 色の時分割光源としては通常は放電管を使っているが、LED アレイを使った密着型カラーイメージセンサユニット構成例を図 9 に示す。R (赤) と G (緑) は各々の発光色の LED を交互に並べた棒状光源である。発光効率の低い B (青) は青色フィルタを重ねた蛍光パネルを使用している。LED をカラー密着イメージセンサの用途に応用するためには、困難な課題であるが青色の高出力 LED の開発が不可欠であろう。一方、モノクロの密着イメージセンサについては LED が照明光源の主流である。ドロップアウトカラーを防止し、赤色の文字原稿読取のため、光源色には緑色の LED が用いられている。

図 9 カラー密着イメージセンサの構造

5. 表示装置への応用

表示の原理は、自発光 (アクティブ) 型表示と非自発光 (パッシブ) 型表示とに大別できる。LED および EL は CRT、蛍光表示管、プラズマディスプレイに次ぐ自発光型の表示デバイスである。以下、LED、EL の表示装置への応用について紹介する。

5.1 LED の表示装置への応用

LED の表示素子にはウエハをそのまま表示に使うモノリシック型と複数の LED を組み合わせて表示するハイブリッド型とがある。電卓などに当初用いられてきたモノリシック型はウエハサイズで制限されて大画面化ができないので、現在では低消費電力化と低コスト化の容易な液晶ディスプレイに置き替わっている。以下ではハイブリッド型

についてのみ紹介する。

図 10 に英数用ハイブリッド型 LED 表示デバイスの構成例を示す。このタイプの表示デバイスは低電流駆動と自発光型で見やすい特徴を併せもつので、暗所で使用する計測器やオーディオ機器の表示などに多く使用されている。

ハイブリッド型 LED のパネルモジュールを使い、画像表示用の平板型ディスプレイへの応用が図られている。図 11 に 2 色のパネルモジュールの構造例を示した。16×16 画素の LED モジュールのを縦に 15 個、横に 20 個並べて

図 10 ハイブリッド型表示デバイスの構造例

図 11 2 色 LED パネルモジュールの構造

240×320 画素の 20 インチ表示パネルの試作が報告¹²⁾されている。

表示デバイスの表示性能は次の項目で評価される。

- ① 解像度と表示サイズ
- ② 輝度、コントラスト
- ③ 階調数
- ④ 色調と再現色数

LED の表示デバイスとしての問題点は①と④にある。特に、青色の輝度の高い LED が無いためカラー化できない点が、その応用範囲を単純なデータやグラフの多色表示に限定している。

GaAlAs の発光効率の向上により、LED の屋外での表示装置への応用が広がりつつある。信号機や自動車のテールランプとしての実用化の成功は、LED の今後の表示素子としての応用範囲の屋内外への拡大の可能性を実証するものである。

5.2 EL の表示装置への応用

EL はそれ自体を平板型の表示デバイスとして使うものと、液晶表示デバイスのバックライトなどの補助光源として使うものとがある。主として前者には薄膜型が、後者には有機分散型の EL が各々用いられる。

図 12 に交流駆動の薄膜 EL を使ったマトリックスパネ

図 12 薄膜マトリックスパネルディスプレイの構成

ルディスプレイの構造図を示す。実際のパネルにはマトリックス電極の駆動と制御用の IC が周縁部に実装されて、ユニット化されている。512×256 画素までのディスプレイユニットが製品化されている。また最近、18 インチサイズの 1024×800 画素の高解像度 EL ディスプレイ・モジュールも発売開始され、高解像度 CRT 相当の分野までその用途が広がりつつある。現在実用化されているものは最も発光効率の良い ZnS:Mn のオレンジ発光を使うものである。薄膜 EL は完全固体ディスプレイであり、コストより高信頼性を重視する用途に適している。コントラストも 20：1 程度が得られ視野角も 160° 程度と広く、平板ディスプレイとして優れた性能を有しているので低コスト化できれば将来を期待できる。

一方分散型 EL は輝度が低いので、バックライトや表示灯などの補助照明灯に用いられている。分散型では低コストで比較的輝度の高いものが得られる有機分散型が主流と

表 3 EL の表示分野への応用例

素 子	応 用 例
分散型 EL	LCD のバックライト 計器パネルのバックライト SW や非常口表示灯
薄膜型 EL	パソコンなどのディスプレイ 航空機や自動車の計器パネル 機器の制御表示部

なっている。駆動法は薄膜型、分散型のいずれもが交流駆動である。

表 3 に EL の表示分野への応用例をまとめて示す。表示デバイスとしての EL デバイスの今後の課題は LED と同じくカラー化である。特に、励起エネルギーの大きな青色光の高出力化が共通の課題である。

6. お わ り に

以上、LED と EL の応用について概説したが、情報処理装置、特にワークステーションやパソコンの普及により画像を扱う技術は重要性を増すと共に身近なものになりつつある。ここで紹介した記録、読取、表示分野を支える固体の高信頼度の光源である LED と EL デバイスもまた、今後益々その応用分野を広げて行くだろう。そして、カラー化に対応できるようにすることが、古くてかつ最新の開発課題である。薄膜 EL が絶縁層と AC 駆動により、高輝度化と長寿命化に成功したように、また、ダブルヘテロの

GaAlAs で超高輝度化に成功したように、新しい解決の突破口の出現を期待して、結びとしたい。

参 考 文 献

(1) 立石和義ほか：信学技報, IE-80-71, (昭 55) 65

(2) 小宮ほか：信学技法, IE-80-72, (昭 55) 72

(3) 小宮ほか：画像電子学会全国大会, 講演 No. 27, (昭 56)

(4) Ohki, Y., et al: Just. Phys. Conf. ser, 63, 479 (1981)

(5) 小林ほか：学振光電相互変換第 125 委員会第 109 回研究会資料, 415 号 (昭 59)

(6) 立石和義ほか：電子写真学会誌, 23 (昭 59) 60-65

(7) Takasu, H., et al: SPSE 2nd Int. Cong. (1984) 168

(8) 大西 勝ほか：16 回画像工学コンファレンス, 9-12 (昭 60)

(9) 平野英夫ほか：信学全大, 1256 (昭 61) 5-110

(10) 平野英夫ほか：信学全大, 1268 (昭 62) 5-160

(11) 平野英夫ほか：第 4 回 NIP シンボ論文, 5-8, (昭 62)

(12) 市川ほか：テレビジョン学会誌, 38-4, (昭 59) 51

6 月 号 掲 載 予 定 目 次

(論 文 号)

論 文	○状態方程式を用いたメタルハライドランプの数式モデル
	○事務所照明における照度と輝度の好ましいバランスに関する研究 (その 1)
	○照度レベルによる表面色の明るさ知覚
	○街路・防犯照明における顔の見え方と照明レベル
	○効率を主眼とした可変共振型高周波インバータによる H I D ランプの点灯制御回路
研 究 資 料	○ C R T ディスプレイ上の光源の反射像の許容度
	○信号灯の色の測定
	○傾斜天窓の立体角投射率計算法と媒介透視図法の電算化
	その他