液晶ディスプレイ用冷陰極蛍光ランプの技術動向

Technical Trends of Cold-Cathode Fluorescent Lamps for L.C.D. Display

1960年生。1980年新居浜工業高等専門学校卒。現在、ハリソン東芝ライティング㈱放電灯技術部にて冷陰極蛍光ランプの研究・開発に従事。

正会員 真部直喜 Naoki Manabe

キーワード：冷陰極蛍光ランプ，細管化，長寿命化，高効率化，EEFL，希ガス放電

1. はじめに

液晶ディスプレイの市場は、情報機器の高性能化・多機能化・大型化に伴い、急激に拡大している。従来は主としてノート PC を中心に実用化されてきたが、最近では携帯電話に代表されるモバイル機器用の小型用途から CRT 置き換えを狙った大型 TV 用途まで幅広く採用されるようになってきている。

これらのディスプレイのバックライト光源として、冷陰極蛍光ランプが主流として用いられている。近年ではディスプレイ用途が拡大するにつれ冷陰極蛍光ランプにも用途に応じた機能が求められるようになってきており、さらに位置づけもディスプレイの表示性能はもちろん、消費電力・厚さ・重量などに大きな影響を与えるので、その商品価値を決定するキーパーツとなっている。

本稿ではバックライト用冷陰極蛍光ランプの最近の技術動向について述べる。

2. バックライトユニットの方式

バックライトユニットの構造は、大別してサイドライ

ト方式と直下方式の2種類があり各々の用途に応じて使い分けられている。

図1、表1にそれぞれのバックライトユニットの構造例や使用ランプを示す。各々、用途に応じたバックライトユニット方式やそれに使用されるランプの管径/本数が使い分けられている。

2.1 サイドライト方式

導光板の側面にランプを配置する方式である。光の利用効率は50%前後であるものの、薄型で輝度の均斉度に優れ、軽量のため持ち運びできる利点がある。従来はランプ1本を具備した15インチ以下のモバイル機器・中小型機器に用いられてきた(図1(a))。最近では大型モニター用途の15インチから20インチサイズにまで採用されているが、ランプ1本では必要な光量が得られないため、両サイドに各1~3本(合計2~6本)のランプを配置した方式がとられている(図1(b))。

2.2 直下方式

拡散板の直下に複数のランプを配置する方式である(図1(c))。光利用効率は60%以上あり、主に高輝度を要求される大型モニター・大型 TV 用途に採用されている。

(a) サイドライト方式 (1灯使用)

[モバイル機器, 中・小型民生機器]

(b) サイドライト方式 (多灯使用)

[大型モニター・大型TV用途]

(c) 直下方式 (多灯使用)

[大型モニター・大型TV用途]

図1 バックライトユニットの構造・ランプ使用例

表1 バックライトユニットのランプ使用例

用途		モバイル機器 中・小型民生機器	大型モニター (大型 TV)	大型 TV (大型モニター)
液晶ディスプレイサイズ		15インチ以下	15~20インチ	20インチ以上
バックライト方式		サイドライト方式	サイドライト方式	直下方式
冷陰極 蛍光 ランプ	使用本数	1本	(片側1~3本) 合計2~6本	8~20本
	ランプ径	φ1.6~2.0mm	φ2.2~2.6mm	φ2.6~4.0mm

3. モバイル機器・中小型民生機器への対応

3.1 細管化

図2にランプ内径別相対輝度・全光束の関係を示す。輝度はランプ内径にほぼ反比例して増加する。サイドライト方式ではこのことが細管化に伴う導光板への光の入射効率の向上と相まって板面輝度を高める点で有効となった。

薄型化が重要視されるサイドライト方式のバックライトユニットにおいては、15インチクラスで外径 $\phi 1.8\sim 2.0\text{mm}$ のランプが主流を占めており、8インチ以下のクラスでは外径 $\phi 1.6\text{mm}$ までが使用されている。今後、ユニットの薄型・軽量化はさらに加速されると考えられ、外径 $\phi 1.2\sim 1.4\text{mm}$ の極細管冷陰極蛍光ランプが検討されている。

3.2 高効率化

(1) ガラス管肉厚の最適化

冷陰極蛍光ランプは管内に封入されている水銀の紫外線放射を利用しているため、発光効率の水銀蒸気圧、つまりランプ管壁温度に大きく依存される。また、その温度が約 65°C の時に発光効率はピークを示す。従って、高効率化を実現するためにはランプが使用される条件に応じて管壁温度を 65°C に近づける必要があり、ランプ径や封入ガス種などのランプ設計を最適化することが重要である。

低電力領域での高効率化を狙い、ガラス管の薄肉化が行われている¹⁾。図3にガラス管肉厚の異なるランプをバックライトユニットに組み込んだ際のランプ電力別相

図3 ランプ電力と相対板面輝度の関係

対板面輝度を示す。ランプ電力が低い領域ではガラス管肉厚が薄い程高効率になっている。これは、肉厚を薄くすることにより管壁温度、すなわち水銀蒸気圧が上昇しやすくなりランプ自体の発光効率が上昇し、さらにランプ外径の縮小による導光板への光の入射効率向上も寄与していると考えられる。現在では、モバイル機器・中小型民生機器に採用される外径 $\phi 2.0\text{mm}$ 以下のランプではガラス肉厚 $0.2\sim 0.25\text{mm}$ が主流である。

(2) 陰極降下電圧の低減

冷陰極蛍光ランプは、電極に高電圧を印加して2次電子放出によって電子を放電空間へ放出させる機構のため陰極降下電圧は $130\sim 140\text{V}$ と高い。この対策として、仕事関数の低い物質(以下、「エミッタ」と称す。)を電極上に形成して陰極降下電圧を低減させる試みが続けられている²⁾³⁾。物質はイットリウム化合物、バリウム化合物、ランタン化合物、セシウム化合物などがあるが、冷陰極蛍光ランプの場合、イオン衝撃による電極のスパッタリングの影響でエミッタが飛散してしまう。このため、エミッタによる陰極降下電圧低減効果を10000時間以上確保することが困難であり、ゲーム機器やビデオカメラなどそれほど長寿命を要求されない分野で採用されている。今後も、低電力化の要求に対してエミッタ塗布電極は有力な手段であり、より一層の長寿命化が望まれている。

最近では電極構造を有底円筒型にしてホローカソード効果による陰極降下電圧低減を狙った構造が主流である。さらに電極材質を変更する開発も進んでいる⁴⁾。図4に各種電極材質別電流-電圧特性を示す。従来のニッケ

図2 ランプ内径別輝度・全光束特性

図4 電極材質別ランプ電流とランプ電圧の関係

図5 電極材質別点灯時間と水銀消耗量の関係

ル電極をモリブデンに変更することにより約20Vのランプ電圧低減が可能である。

4. 大型モニター・大型TVへの対応

4.1 高光束化

大型モニター・大型TV用途では、LCD上輝度がノートパソコンの約3倍以上必要である。従って、ランプも高電流で動作させ光束を増やす必要がある。高光束を得るにはランプ電流を増やせばよいが、大きくしすぎるとランプ温度が高くなり水銀蒸気圧が上昇しすぎて光束は飽和してしまう。

現在ではランプ管径を太くすると共に、ランプ封入ガス種・ガス圧を最適化し、高電流で動作させても光束が飽和せずさらにバックライトの薄型化が可能である外径 $\phi 2.2 \sim 3.0 \text{mm}$ のランプが主流となっている。

4.2 長寿命化

大型モニター・大型TV用途においては、高光束を得るために高電流で動作させ、なおかつ長寿命(50000時間以上)が要求される。一般的に冷陰極蛍光ランプの寿命モードは、水銀消耗による光束低下(希ガス放電モード)と蛍光体の劣化による光束低下の2つのモードがある。

従来の冷陰極蛍光ランプは高電流で動作させると電極のスパッタリングが激しくなり、飛散した電極物質と水銀の化合による水銀消耗が急激であった。よって、寿命モードは水銀消耗による光束低下(希ガス放電モード)が支配的であった。今日では水銀封入量を増やす方策として、外部より任意の水銀量を封入する方法が開発された。

電極表面積の拡大は、ランプ点灯中の水銀消耗量を低減できる。従来では製造方法の問題で電極表面積に制限があった。しかし、現在では製造技術の改良により電極表面積の拡大化が進み、ガラス管内径いっぱいまで大きくした電極(ガラス管内径と電極外径の間隙: 0.15mm 程度)が対応可能となっている。さらに、スバッタリングしにくい電極の開発も進んでいる。図5に電極材質別水銀消耗量の一例を示す。電極材質をMoにすることによりスバッタリングが抑制され、長寿命化に有効である。現在では外径 $\phi 2.4 \text{mm}$ クラスの細管蛍光ランプながら70000時間を保証したランプが商品化されている。

今後は大型モニター・大型TV分野でも細管化・狭領域化による電極長の短縮化の要求があり、電極表面積・電極材質の改良はさらに加速するものと考えられる。

4.3 光束維持率の向上

LCD(液晶デバイス)の輝度維持率はランプ自体の光束維持率の他にLCDの構成部材であるリフレクターや導光板・拡散板の劣化が相乗され低下する。従って、冷陰極蛍光ランプの光束維持率に比べ、バックライトの輝度維持率はさらに低下することになる。大型モニター・大型TV用途の場合、要求寿命時間は50000時間以上と長く、従来の冷陰極蛍光ランプのこの時の光束維持率は55~60%でありバックライトとしての輝度維持率は50%を切る可能性がある。この対策として

- (1) ガラス管内面への保護膜、蛍光体粒子間への保護膜形成によるガラス管着色防止
- (2) 蛍光体の組成改良・表面処理・製造技術の改良による蛍光体劣化防止

(3) 電極表面積拡大、電極材質の改良による電極のスパッタリング抑制などの開発が進められている⁵⁾。

図6に従来のランプと上記(1)～(3)の手段を施したバックライトの輝度維持率を示す。従来品に比べ約15%の維持率の改善がされているが、CRT置き換えのためにはさらなる光束維持率の改善が必要である。

4.4 高効率化

オフィス・家庭生活に浸透してきた大型モニター・大型TV用途においても、最近では、より一層の高効率化要求が強く、モバイル機器や中小型民生機器と同様な曲げ管で、かつ、長尺タイプのランプが採用され始めている。図7にエッジライト方式で直管ランプを片側2本(両側4本)とL字管ランプを4本使用した場合、さらに図

図6 バックライトユニット輝度維持率特性

図7 消費電力別LCD輝度特性

図8 消費電力別バックライト輝度特性

8に直下方式で直管ランプ6本とコの字管ランプ3本使用した場合のそれぞれの消費電力別LCD輝度特性・バックライト輝度特性を示す。冷陰極蛍光ランプは電極部で消費される電力が大きいいため、ランプ効率(全光束/ランプ電力)はランプ長が長いほど有利になる。従って、L字管ランプやコの字ランプを使用する方がバックライト上でも高効率となり、また、ランプ本数を減らすことができるのでバックライトのコストダウンも可能となる。

しかし、本手法はランプ1本あたりの始動電圧・ランプ電圧の上昇を招くため、開発・設計にあたっては長尺ランプの配置方法・点灯回路・ユニット設計を含めた総合的な設計開発が重要である。

4.5 外部電極冷陰極蛍光ランプ (EEFL)

最近、内部電極の代わりにランプ両端のガラス管外壁に電極を設け、ガラス管壁をキャパシタンスとして利用する誘電体バリア放電型蛍光ランプ (EEFL: External Electrode Fluorescent Lamp) の開発が進められている⁶⁾。従来の冷陰極蛍光ランプはランプ1本に対し個々に高周波点灯回路(インバーター)が必要であるのに比べ、EEFLではランプ個々がキャパシタンスバラストを持つことになるため、インバーター1台で多数のEEFLを点灯することができる。

発光効率は従来の冷陰極蛍光ランプと同等であるが、高輝度を要求される多灯使用のバックライトにはシステムトータルでコストダウンが可能となり、主として大型LCD用バックライト光源として採用が検討されている⁷⁾⁸⁾。図9にEEFLを多灯使用した場合の一例を示す。

図9 EEFLの多灯使用例

図10 Xe冷陰極蛍光灯の構造例

4.6 色再現範囲の拡大

冷陰極蛍光灯をLCDバックライト光源として用いる場合、従来は発光効率（高効率）が最重要項目であり、蛍光体も発光効率のよい蛍光体が採用されてきた。標準的な $R \cdot G \cdot B$ 蛍光体の組成を示す。

$R : Y_2O_3 : Eu$

$G : LaPO_4 : Ce, Tb$

$B : BaMg_2Al_{15}O_{27} : Eu$

これらの蛍光体を用いた冷陰極蛍光灯をカラーLCDディスプレイに組み込んだ場合の色再現範囲をNTSC規格と比較すると、色再現範囲が狭く、特に R 、 G が劣っている。

この対策方法として、より色純度の高い R 、 G の蛍光体を使用する方法があるが、標準的な蛍光体を使用した場合に比べ約65%の光束しか得られない。CRTにとって替わるためには色再現範囲の拡大は重要項目のひとつであり、現行並みの発光効率を維持しつつ色再現範囲を拡大できる新しい蛍光体の開発が待望されている。

5. 環境問題への対応

LCDディスプレイを構成している部品として冷陰極蛍光灯にも環境保全の要求がある。冷陰極蛍光灯に使用される材料で環境への影響が懸念される物質はガラス管とはんだに含まれている鉛、及びランプ内に含まれている水銀である⁹⁾。鉛についてはガラス管の鉛フリー化、および、はんだの鉛フリー化、または、はんだ以外の接続方法への転換が進められている。ランプ内の水銀についてはランプデザインの改良による水銀消費量の低減化、封入水銀量のバラツキ制御などで含有水銀量の低減化が進められている。

近年では環境保全の立場から水銀を使用しない冷陰極蛍光灯が望まれており、この解決方法として水銀の代わりに希ガス（Xeガスなど）を封入したランプの開発が活発化している。形状としては平面型や管型がある。

Xeタイプの冷陰極蛍光灯は水銀タイプに比べ発光効率が劣るが、電極構造や点灯方法の工夫、蛍光体の改良などで、効率は水銀冷陰極蛍光灯の65%程度まで上昇してきた。さらに、Xeガス放電特有の周囲温度に影響されない発光効率、光出力の早い立ち上がりなどのメリットもあり、車載用を中心にまもなく市場投入されると予想される。図10に一方の管端部に内部電極を配置し、もう一方の電極としてらせん状の外部電極を組み合わせたXe冷陰極蛍光灯の構造例を示す¹⁰⁾。

6. まとめ

以上 LCDバックライト用冷陰極蛍光灯の技術動向について述べてきた。LCDディスプレイは様々な分野で使用され続けていくと考えられるが、LEDや有機ELなどの他光源もバックライト光源として実用化が進んでいる。今後も冷陰極蛍光灯がLCDバックライト用光源の主流としてあり続けるためには、より一層の性能・効率改善はもちろん省エネルギー・省資源化に対応した高効率・長寿命化の開発がより重要になると考えられる。

参考文献

- (1) 富田ほか：H9照学大全，p.230（平9）。
- (2) Noguchi, H. et al.：SID 98, pp.243-246（1998）。
- (3) 池田ほか：平成9年度電気関係学会四国支部連合大会 p.88（平9）。
- (4) 菅原ほか：H13年照学大全，p.57（平13）。
- (5) Nishihara, T. et al.：IDW 00, pp.379-382（2000）。
- (6) Takeda, Y. et al.：SID 02, pp.346-349（2002）。
- (7) H-S.Kim. et al.：SID 01, pp.687-689（2001）。
- (8) N-O.Kwon. et al.：Asia IDW 01, pp.687-689（2001）。
- (9) 照明学会編：平成9年「環境保全と照明システム」，環境保全のための照明システム研究調査委員会（平9）。
- (10) 矢野ほか：H12照学大全，p.55（平12）。