

解説

投射型液晶ディスプレイ

窪田 恵一*・今井 雅雄*・松本 隆幸**

* 日本電気(株)光エレクトロニクス研究所 〒216 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

** 日本電気(株)高度映像メディア開発本部 〒258 神奈川県足柄上郡大井町西大井 686-1

(1995年8月11日受理)

Liquid Crystal Projection Display

Keiichi KUBOTA,* Masataka IMAI* and Takayoshi MATSUMOTO**

* Opto-Electronics Research Laboratories, NEC Corporation, 4-1-1, Miyazaki, Miyamae-ku, Kawasaki 216

** Advanced Visual Media Development Division, NEC Corporation,
681-1, Nishi-ohi, Ohimachi, Ashigarakami-gun, Kanagawa 258

1. はじめに

投射型液晶ディスプレイ (LCD) は液晶表示素子をライトバルブ (light valve : 光の弁) として用い、その表示画像をスクリーンに拡大投射するディスプレイで、高解像、高輝度、大画面ディスプレイとして研究開発が行われている。従来、CRT (cathode-ray tube) プロジェクターや種々の LV^{1,2)}を用いた大型の投射型ディスプレイが劇場、イベント等の大画面表示装置として使用されてきた。しかし、最近のマルチメディアの急速な進展によって、高精細 TV (HDTV) や CAD (computer aided design) 対応の高精細大画面ディスプレイ (100万画素以上) やプレゼンテーション用ディスプレイ (30万画素以上) としての需要から、手軽に AV 機器、ワークステーション (WS)、パーソナルコンピューター等に接続できる小型の投射装置が求められてきている。投射型 LCD は小型装置でフルカラーでかつ高解像度、大画面投射ディスプレイが可能であり、これからのマルチメディア用ディスプレイとしての期待が高い。

本稿では、投射型 LCD の概要について述べた後、高解像度、高輝度化技術を解説し、それらを適用した例として筆者らが開発した WS 対応液晶プロジェクターを主に装置例を紹介する。

2. 投射型 LCD の構成と種類

投射型 LCD の代表的な構成例を図 1 に示す。光源か

らの白色投射光はダイクロミックミラー (DM) で赤、緑、青の 3 原色 (RGB) に分離され、各 RGB に対応した画像を表示する液晶ライトバルブ (LCLV) に入射される。各 LCLV を透過した光は、再び DM で合成され、投射レンズでスクリーンに拡大投射される。投射型 LCD には LCLV の種類、書込み方式や表示原理、光学系等によって、表 1 に示すような方式が現在までに開発されてきた。光書込み型¹⁾、レーザー熱書込み型²⁾は 2000 走査線以上の高解像度の大型ディスプレイを目指して、開発が行われた。電気書込み (アクティブマトリクス) 型は、当初液晶 TV の低画素数の LCLV を用いた投射型 LCD の開発から始まったが、最近では高画素数の TFT (thin film transistor) 駆動 LCLV を用いた高精細ディスプレイの開発が進んでいる。

本稿では投射型 LCD として、電気書込み型を取り上げ、光書込み型、レーザー熱書込み型については上記表 1 の参考文献を参照していただきたい。

3. 高解像・高輝度表示技術

マルチメディア用ディスプレイとして投射型 LCD に求められる主な性能として次の項目が挙げられる: ① 高解像度, ② 高輝度, ③ マルチシンク, ④ 小型, 軽量, 低消費電力。

これらの性能を満たした、高画素数で、明るく、どんな装置にも接続できるハンディーなディスプレイが理想的である。図 1 に示した投射型 LCD の構成では、投射

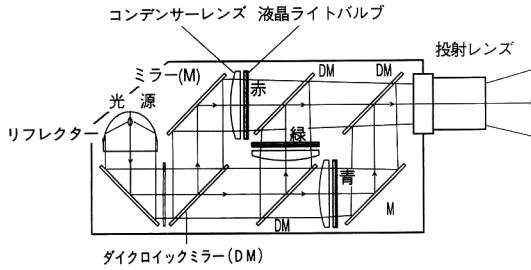


図1 投射型LCDの構成

画面の解像度はLCLVの画素数と光学系の解像度で決まり、投射画面の明るさは次式で得られる投射光束 L に比例する。

$$L = L_0 \times \eta \times A \quad (1)$$

ここで、 L_0 は光源の出射光束、 η は光学系効率、 A はLCLVの開口径で単位画素面積中の配線部分やTFTを除いた表示部面積の割合で定義される。高画素数になるほどLCLVの単位画素面積を小さくする必要があるため、開口径 A は低下する。例えば L_0 を1としたとき、 η は0.07、 A は0.3程度で、式(1)から L は0.02程度と、光源の2%程度の光しか有効に投射表示に使用できていない。このため高輝度な光源、高開口率のLCLV、高光利用率の投射光学系について、以下のような様々な試みがなされている。

3.1 高輝度光源

投射型LCDの光源には白色光源で点光源に近いランプが使われている。高輝度でかつ可視域にスペクトラムの広い光源としては、表2に示すキセノンランプ、ハロゲンランプ、メタルハライドランプがある³⁾。キセノンランプは点光源で高輝度のために最適な光源であるが、点灯に必要な高圧電源と大電流のDC電源が必要なた

め、大型ディスプレイのみに使われている。ハロゲンランプは簡易な投射用光源として使われてきたが、現在は、より色温度が高く、発光効率の高いメタルハライドランプが採用されている。メタルハライドランプは2000時間以上の長寿命、5mm以下のショートアーク長化がなされ、小型、AC電源のため広く使われるに至っている。

3.2 高開口率LCLV

投射型LCDに用いられるTFTアクティブマトリクス型LCLVは直視型のTFT液晶パネルと原理は同じであるが、小型で高画素数、かつ耐光性を要求される。これはLCLVのサイズから装置サイズがほぼ決まることと、高輝度の投射光に対して誤動作を起こさない耐光性が必要とされるためである。図2はアモルファスシリコンTFT(a-SiTFT)を用いたLCLVの断面図を示したものであり、(a)が従来の構造、(b)が高開口率の構造を示す。図2(a)において、LCLVは捻れネマティック(TN)液晶をTFT基板と対向基板とではさんだ構造をもち、TFT基板側では各画素をスイッチするTFT、画素電極、および信号ラインであるバスラインとゲート電極がある。対向基板側では対向電極および遮光マスクがある。遮光マスクはTFTや画素配線部に投射光が入射しないように遮光する。LCLVの実質的な表示画素サイズは、単位画素面積から遮光マスク面積を除いた大きさになる。遮光マスクの寸法は、投射光が遮光部へ回り込まない十分な面積と、液晶セルの組立精度(10 μ m程度)のマージンを加えて決められる。このため開口径 A は、LCLVの全寸を同じとしたとき、高画素数のLCLVになるほど画素ピッチが小さくなるので、開口径は低下する。例えば4.2" a-SiTFTでは画素ピッチ80 μ mで開口径 A が30%、65 μ mピッチ(100万

表1 投射型液晶ディスプレイの種類

液晶ライトバルブ	書込み方式	書込み原理	光変調原理	文献
光書込み型	CRT結像	光伝導効果+ハイブリッド効果	偏光回転	1)
レーザー熱書込み型	レーザー走査	液晶相変化+過冷却	散乱	2)
電気書込み型	マトリクス電極	電界+ツイストネマティック効果	偏光回転	本文中

表2 投射光源の性能比較

性能項目	光源		
	メタルハライドランプ (150 W)	ハロゲンランプ (150 W)	キセノンランプ (150 W)
光効率 (lm/W)	76	20	25
色温度 (K)	7500	3200	6500
寿命期待値 (時間)	2500	200	1000
サイズ	小	小	大
安全性	良	良	問題有

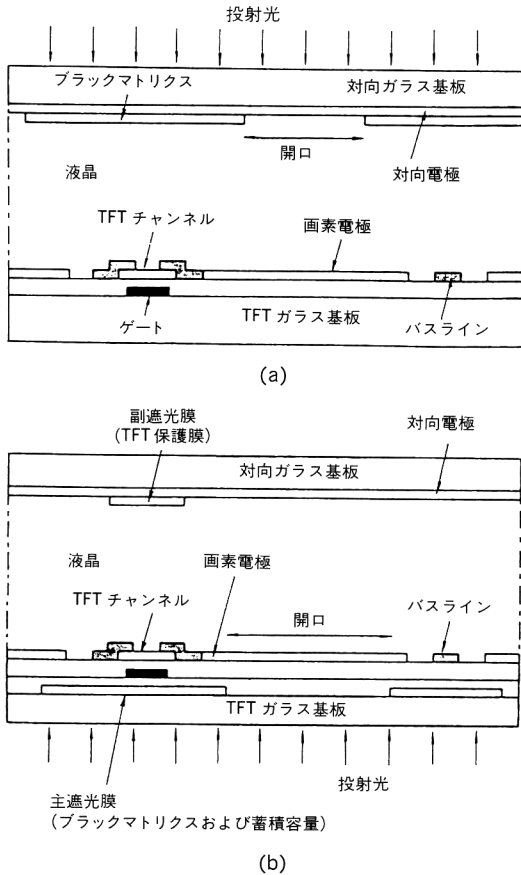


図 2 a-Si TFT 型 LCLV 断面構造
(a) 従来構造, (b) 高開口率構造.

画素相当)で20%と小さくなる。開口率が小さいと投射光が損失し、明るい画面が得られないだけでなく、損失した光が熱に変わり LCLV の温度を上げて特性に影響を与えることになる。図 2 (b) の高開口率の構造では遮光マスクを TFT 側基板の TFT 素子の下部に構成し、TFT 基板側から投射光を照射する構成をとっている。この構成では、遮光層をリソグラフィーの精度 1 μm 程度で配置できることから遮光エリアを最小限の大きさに設定でき、画素ピッチ 65 μm で開口率 35% を実現している⁴⁾。また、このとき対向基板側の遮光マスクは光学系から戻る迷光の入射を阻止する働きをもち、小さいサイズでも有効である。

また、多結晶シリコン (p-Si) TFT 型 LCLV を用いることにより、耐光性に強く、かつ液晶駆動回路を同一基板に作り込んだ LCLV が開発されている。p-Si TFT はモビリティ (電子移動度) が a-Si TFT に比べて高く、耐光性が大きいので、遮光マスクが不要になり開口

率を上げることができる。後述するように、p-Si TFT 型 LCLV はすでに HDTV 用に実用化されており^{5,6)}、開口率は 140 万画素で 30% が報告されている。最近では VGA (video graphic array, 640 \times 480 画素) 用の投射型 LCD の大部分は 2" 程度の p-Si TFT 型 LCLV が使われ始め、開口率は 40% 以上が得られている。

3.3 高輝度投射光学系

投射型 LCD の標準的光学系はすでに図 1 に示したが、光量損失は以下の要因が代表的であり、それぞれの損失量を分析すると () の割合になる。

- ① 光源から投射レンズまでの集光損失 (50%)
- ② 偏光損失 (68%)
- ③ LCLV 開口による損失 (65%)
- ④ 色分離合成光学系による損失 (50%)
- ⑤ 投射レンズの透過率、口径食による損失 (20%)

以上の効率をすべて掛け合わせると、すでに述べたように投射型液晶プロジェクターの光利用効率は約 2% と非常に小さな値となる。そこで、特に支配的である②、③による光量損失を光学的に減らす方式が開発されている。

1) 偏光変換光学系

LCLV に用いる TN 液晶は直線偏光をスイッチして表示を行うので、投射光は直線偏光であることが要求される。白色光源からの出射光は自然光であり、これを直線偏光化するのに通常は偏光板が用いられ、偏光板を用いた場合、約 60% の光量は吸収損失され、光利用効率が著しく低下する。さらに吸収された光が熱に変わり、偏光板の性能を劣化させる問題があり、光源の高出力化の制約も生じる。したがって、光源からの自然光をすべて直線偏光に変換することができれば、それは単に効率を 2 倍にするだけでなく、偏光板の性能劣化の問題も解消することができる。図 3 に偏光変換光学系を示す。偏光ビームスプリッター (PBS)、ミラー、1/2 波長板からなる偏光変換光学系を光軸に対称に配置している。光源からの自然光は、PBS で偏光方向が互いに直交する 2 つの直線偏光 (p 偏光, s 偏光) に分離される。PBS を透過した p 偏光光は、直接 LCLV の中央領域を照明する。一方、PBS の斜面で反射した s 偏光光は、ミラーで光路を折り曲げた後、1/2 波長板でその偏光方向が 90° 回転され、p 偏光光の偏光方向と等しくなる。そして、LCLV の左右両端近傍を照明する。この結果、合成光束の断面は楕円形状となり、矩形の LCLV を照明する際、円形状に比べて損失が小さい。そして、3 光束による LCLV の照明位置をそれぞれず

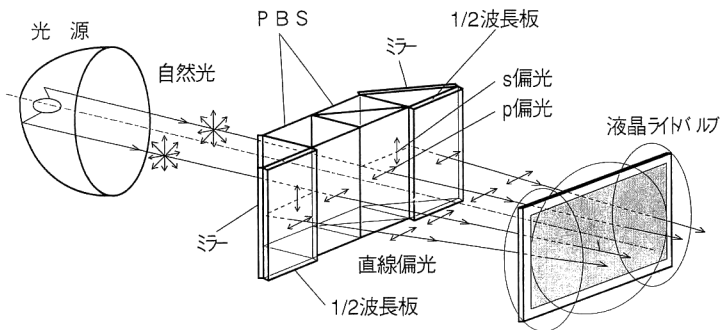


図3 偏光変換光学系

らしているの、照明光の照度分布の均一性が良い、ミラーの反射角度を調整すると、様々なアスペクト比をもったLCLV(5/4, 4/3, 16/9)を効率良く照明することに対応できる。スクリーン上照度分布を測定した結果を図4に示す。p偏光光は画面中央部を、偏光回転したs偏光光は画面両端近傍を照明しており、合成光(p偏光光+s偏光光)の照度分布は、偏光変換光学系を用いない場合(p偏光光の照度分布にほぼ相当)に比べて、均一なものになっている。図5はこの結果得られる投射画面の均一性と光束の関係、偏光変換素子の有無について測定した結果である。均一性と光束の関係はほぼ反比例している。均一性を40%に設定すると、偏光変換光学系を用いない場合が200ルーメン(lm)であるのに対して、偏光変換光学系がある場合は400lmと2倍の高輝度化が得られている⁷⁾。

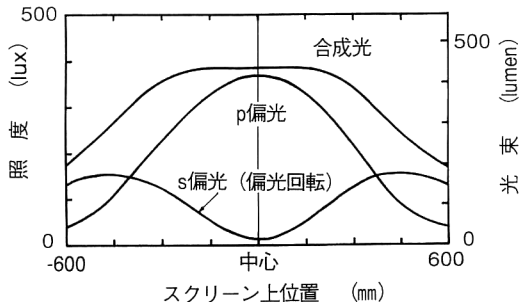


図4 スクリーン上照度分布

また、偏光変換光学系に用いる1/2波長板は耐久性が劣ることと色度変化が生じる欠点をもつが、本光学系では、耐久性に優れたポリカーボネイトフィルムの使用と、さらに2枚のフィルムを光学軸をずらして貼り合わせることで屈折率の波長分散を補償し、色度変化の問題点を解決している。

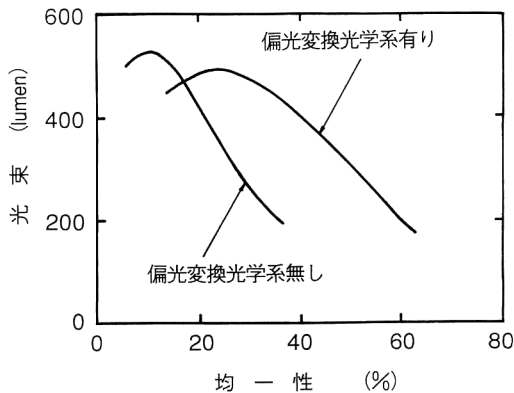


図5 光量均一性と光束

2) 散乱型LCLV方式

散乱型液晶を用いれば、散乱、透過のスイッチによる画像表示で、投射光源に無偏光光をそのまま使用でき、偏光損失を原理的に受けない。散乱型液晶に高分子液晶を用いて、コントラストが数十の投射型LCDが実現されている⁸⁾。投射光学系としてはシュリーレン光学系を用いるので、明るさとコントラストはトレードオフになり、光源には短アーク長光源が必要である。高駆動電圧(数十V程度)やコントラストの改良が待たれる。

3) マイクロレンズアレイ光学系

LCLVの画素開口によるケラレ損失は、もし各画素開口に光束を絞り込むことができれば、なくすことがで

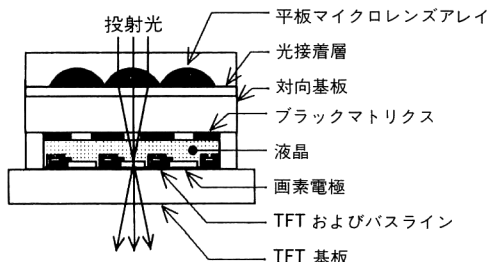


図6 マイクロレンズアレイを用いた高輝度光学系

きる。図6はマイクロレンズアレイを用いた投射光学系を示す。マイクロレンズアレイがLCLV基板の投射光側に接合され、各レンズ焦点に各画素の開口が位置するように配列されている。この構成で投射光量は2倍以上が得られたと報告されている⁹⁾。この方式では、開口部に光源像が結像されるので、光源は短アーク長である必要や液晶に斜入射するためのコントラスト低下、等を考慮した設計が必要である。画素数の多くない液晶プロジェクターには有効な方式の一つである。

4. 投射型 LCD 装置

4.1 WS 対応液晶プロジェクター

4.2" a-Si TFT LCLV と 1/2 波長板による薄型偏光変換光学系を用いた WS 対応高精細液晶プロジェクター¹⁰⁾が製品化されている。光源として 250 W のメタルハライドランプを用い、4.2" a-Si TFT LCLV は図 2 (b) に示した構造で開口率が 35% で 1280×1024 画素を有しており、WS の高精細画面を高輝度投射表示できる。また、1/2 波長板による薄型偏光変換光学系により、投射輝度の従来比 2 倍化を図っている。また種々の周波数の入力信号に対応するためのマルチシンク回路や、LCD の階調特性を補正するデジタル信号処理回路、および液晶パネルと高速駆動回路を一体化した LCLV モジュールを採用している。装置仕様を表 3 に示す。投射距離 1~6 m に応じて 35"~200" の画面サイズが得られ、電動ズームレンズにより画面サイズの縮小拡大が可能である。図 7 にリヤ投射 (コンソール) 型にした WS 対応液晶プロジェクターを示す。高精細ピッチ (0.42 mm) のモアレレスレンチキュラースクリーンを使用したクリアな 70" ディスプレイを実現している¹⁰⁾。

4.2 HDTV 液晶プロジェクター

HDTV 用に p-Si TFT LCLV を用いた液晶プロジェクターが開発されている。p-Si TFT 方式は a-Si TFT 方式と比較して高温プロセスが必要で、大面積化が難しいが、耐光性があり、高開口率で駆動回路一体型ができ

表 3 WS 対応液晶プロジェクターの仕様

項目	諸元
液晶パネル	a-Si TFT 対角長 106.6 mm (4.2 型)
投射レンズ	f 130-180 mm/F 3.8-4.5
明るさ	400 ルーメン (中央光束) 以上
照度比	40%以上 (中央/周辺)
コントラスト比	100 以上
サイズ (mm)	420(W)×743(D)×522(H)
重量 (kg)	53

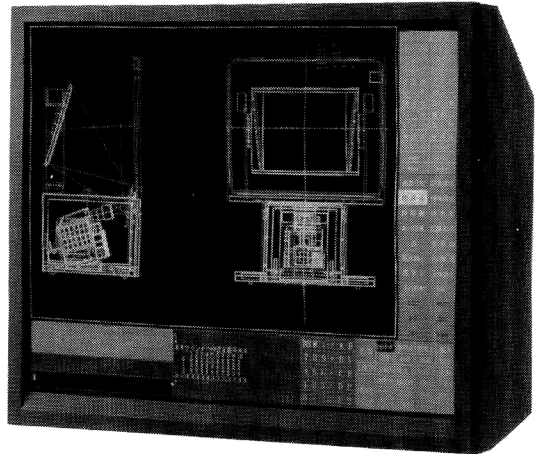


図 7 リヤ投射型 WS 対応液晶プロジェクター

表 4 HDTV 液晶プロジェクターの仕様

表示サイズ	1.9 インチ対角
画素数	1472×1024
画素ピッチ	29×24 μm
周辺ドライバー	完全集積化
ビデオ入力数	4
開口率	23%
コントラスト比	>200 (スクリーン上)
解像度 (水平)	>850 TV 本

る利点をもっている。4.5" で 140 万画素 LCLV (画素数 1439×960, 開口率 30%)⁹⁾や、小型の 1.9" LCLV (画素数 1472×1024, 開口率 23%)⁹⁾を用いた HDTV 液晶プロジェクターが開発されている。表 4 に 1.9" p-Si TFT 型液晶プロジェクターの装置仕様を示す。投射光学系は図 1 と同様の光学系を用いるが、横長の 16:9 アスペクト比の画面のため光量損失が大きくなり、2 台の装置を使つての合成高輝度表示も行われている。

5. その他液晶プロジェクター

TV・ビデオ表示用やパソコン画面表示 (VGA, 画素数 640×480) のディスプレイとして 30 万画素クラスの投射型 LCD の開発が盛んである。3" クラスの a-Si TFT 型と 2" クラスの p-Si TFT 型が用いられ、開口率が 40% を越え、さらに小型化、高輝度化が図られている。また、究極的な 1 枚の LCLV だけで表示を行う単板式の開発も始まっている¹¹⁾。さらに、投射型 LCD を用いたレンチキュラー式立体ディスプレイの商品化も試みられている¹²⁾。

6. おわりに

投射型 LCD はフルカラー、高解像度の画面ディスプレイとして最適であり、CRT プロジェクターを超えた有用性が評価されている。会議用、CAD 用、教育用、等の業務用のマルチメディアディスプレイ端末として重要な位置を占め始めており、さらに小型化、低コスト化によって家庭用シアターや VR (virtual reality) 用のディスプレイとしても発展が予想される。今後、マルチメディアの中心的なディスプレイとしての役割を担い、投射型 LCD は様々な応用が図られていくことを期待したい。

文 献

- 1) R. D. Sterling, *et al.*: "Video rate liquid crystal light valves using an amorphous sillicon photoconductor," *SID '90 Digest*, No. 11 (1990) p. 2.
- 2) A. G. Dewey, *et al.*: "A 64-million PEL liquid crystal projection display," *SID '83 Digest* (1983) pp. 36-37.
- 3) K. Kawai, *et al.*: "Short arc metal halide lamp suitable for projector application," *Proc. SPIE*, **2407** (1995) 23-35.
- 4) N. Takahashi, *et al.*: "A high aperture ratio pixel structure for high density a-Si TFT liquid crystal light valve," *SID '93 Digest* (1993) pp. 610-613.
- 5) I. Yudasaka, *et al.*: "Mo-polycide gate high-temperature poly-Si TFTs for HDTV LCDs," *Japan Display '92, Tech. Digest Papers* (1992) pp. 451-454.
- 6) Y. Takafuji, *et al.*: "A 1.9-in. 1.5-M pixel driver fully integrated poly-Si TFT-LCD for HDTV projection," *SID '93 Digest* (1993) pp. 383-386.
- 7) M. Imai, H. Shiratori, Y. Tashiro, M. Sakamoto and K. Kubota: "A novel polarization converter for high-brightness liquid crystal light valve projector," *Proc. Eurodisplay '93* (1993) p. 257.
- 8) H. Kunigida, *et al.*: "A full-color projection TV using LC/polymer composite light valves," *SID '90 Digest* (1990) p. 227.
- 9) H. Hamada, *et al.*: "Brightness-enhancement of a liquid-crystal projector by a planar microlens array," *SID '92 Digest* (1992) pp. 269-272.
- 10) K. Kubota, *et al.*: "High resolution high brightness liquid crystal projector for work station," *Proc. SPIE*, **2407** (1995) 9-14.
- 11) T. Takamatsu, *et al.*: "Single-panel LC projector with a planar microlens array," *Japan Display '92 Digest* (1992) p. 875.
- 12) 金山秀行, ほか: "メガネなし 3D 液晶ディスプレイ", *SANYOU Tech. Rev.*, **26**, 2 (1994) 8-15.