

液晶ディスプレイ

Liquid Crystal Displays

Because of their low operating voltage and small power consumption liquid crystal displays are being studied for application in battery driven portable display devices and power consuming large square display devices. However, before they can be used for such practical purposes there are quite a few problems to be solved concerning improvement of the electrical and optical properties of the LC materials, making process of the LC device, multiplexing method and circuits. Several attempts to solve these problems and a trially manufactured LC display device are introduced in the article.

佐藤幹夫* Mikio Satô
金子英二** Eiji Kaneko
石橋 正*** Tadashi Ishibashi
三谷英介**** Eisuke Mitani
室井 忠***** Tadashi Muroi

1 緒 言

液晶が光学的に異方性を有することは古くから知られていたが、この性質をディスプレイに応用する検討がなされるようになったのは比較的最近のことである⁽¹⁾。

液晶がディスプレイ用材料として注目されるようになった理由としては、まず、表示に要する電力が極めて少ないという点である（表示素子 1 cm^2 当たりの消費電力は数マイクロワット程度で、Cathode Ray Tube (CRT) の $1/1,000$ 以下である）。この性質のために、腕時計あるいは、卓上計算機の数字表示、更には、電子計算機端末用の大形ディスプレイへと、その応用に関する研究が活発に行なわれるようになってきた。

現在においては、液晶に関する各種の光学的励起状態が明らかにされ、それに応じて各種の動作原理に基づくディスプ

レイが研究されている⁽²⁾⁻⁽⁷⁾。しかし、現状で最も一般的な液晶ディスプレイは、ネマチック液晶の2種の光学的励起状態、すなわち動的散乱モードと電界効果モードを利用したものである。図1は動的散乱モードの表示原理を示したものであり、電圧印加部では平行入射光が散乱して白濁して見える。図2は電界効果モードの表示原理である。液晶パネルを直交偏光子ではさみ、光を当てると液晶が励起されていない部分では光がしゃ断され、電界によって励起された部分では光が透過する。これらの原理を用いて表示を行なうことができるが、パネルに反射板を設けることにより、反射光を利用して表示する場合もある。前述の腕時計あるいは卓上計算機などでは、むしろ反射形のほうが一般的である。

次にディスプレイという観点からみた両表示方式の得失比

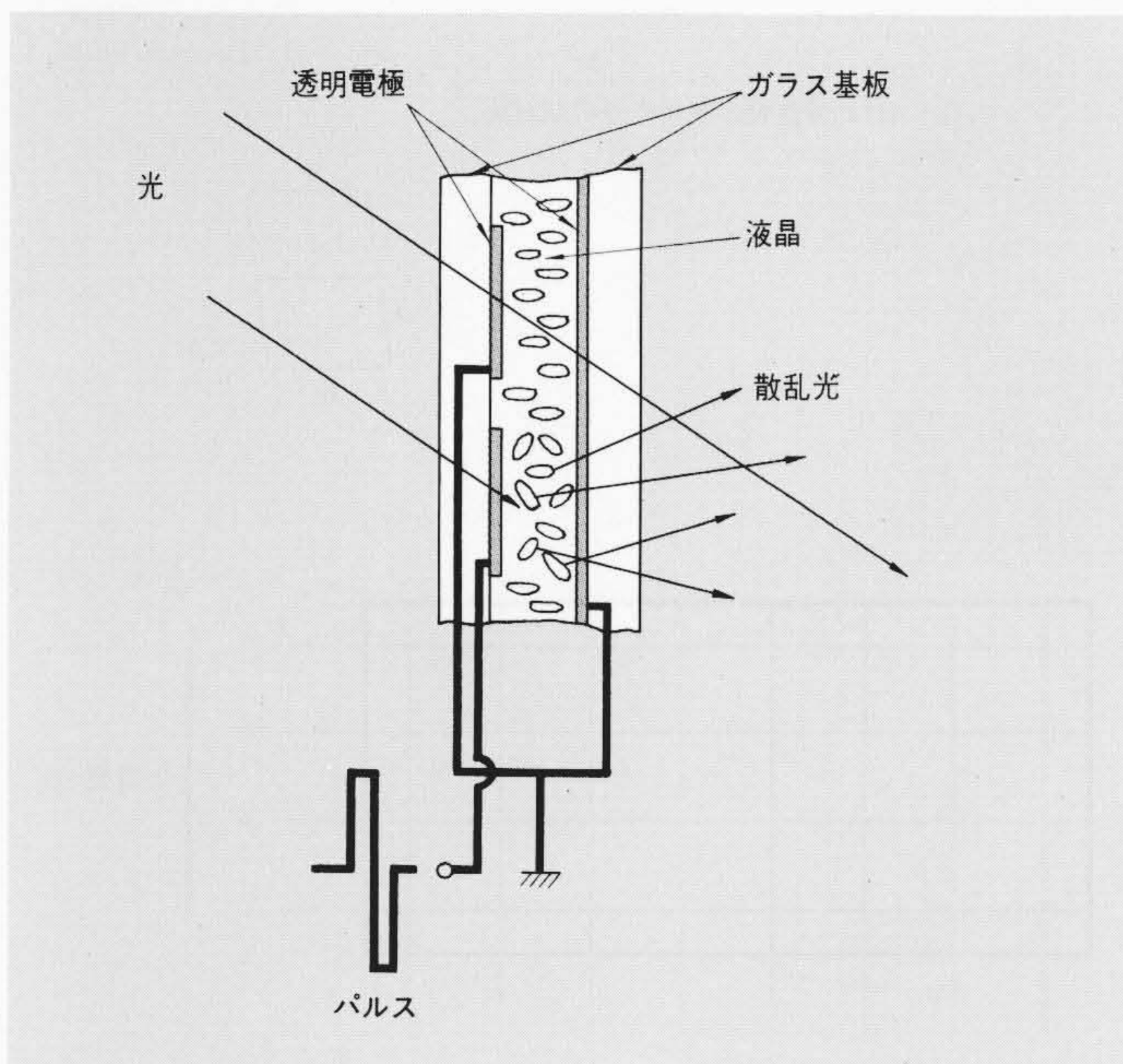


図1 動的散乱モードの表示原理 電圧が印加されると微量のイオン電流によって液晶分子がかく乱され、光は散乱する。

Fig. 1 Schematic Diagram of Dynamic Scattering Mode

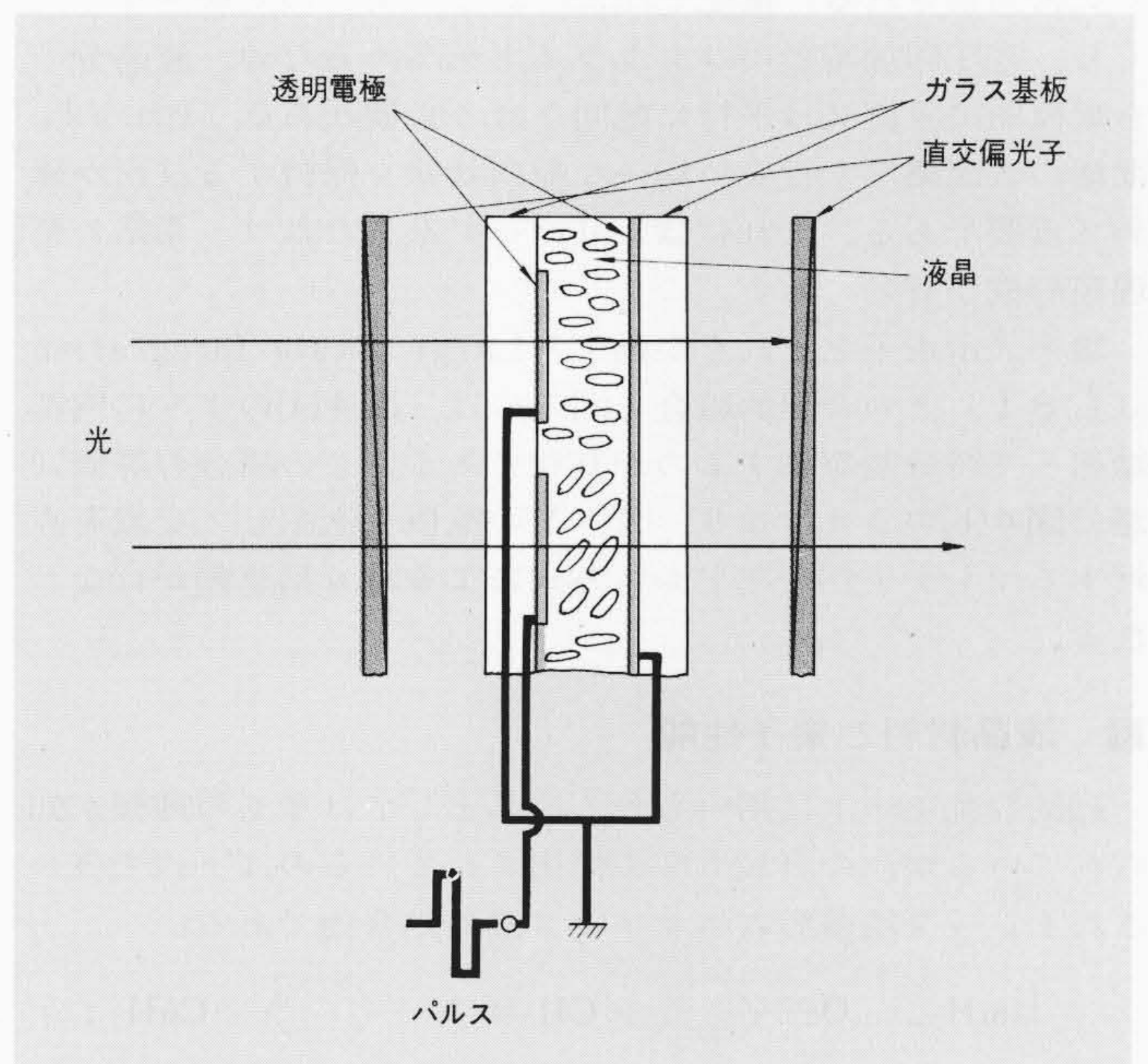


図2 電界効果モードの表示原理 液晶分子の配向が印加電圧によって変形し、直線偏光の光は長円偏光となって透過する。

Fig. 2 Schematic Diagram of Field Effect Mode

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立研究所 工学博士

*** 日立製作所電子管事業部

**** 日立製作所中央研究所

***** 日立製作所中央研究所 理学博士

表1 電界効果モードと動的散乱モードを用いた表示方式の特性比較 動的散乱モードは、動作電圧、消費電力の面では不利であるが、技術的困難度は比較的低い。

Table 1 Comparison of Field Effect Mode Displays and Dynamic Scattering Mode Displays

区 分	電界効果モード	動的散乱モード
項 目		
応 答 速 度	遅 い	速 い
動 作 電 圧	低 い	高 い
消 費 電 力	小	大
表 示 画 面	大形化が困難	大形化が容易
表 示	カラー表示可能	モノクロ
偏 光 板	要	不 要

較は表1に示すとおりである。電界効果モードの特長は、動作電圧が低く(3~7V)、カラー表示が可能であるという点にある。これに対し動的散乱モードは、動作電圧はやや高い(10~20V)が応答速度が速く、表示画面の大形化が比較的容易であり周辺技術の蓄積も多いため、現状ではより実用性に富んでいる。

以下に、動的散乱モードによる液晶ディスプレイの開発について、液晶素子に要求される性能と駆動方式を中心に解説する。

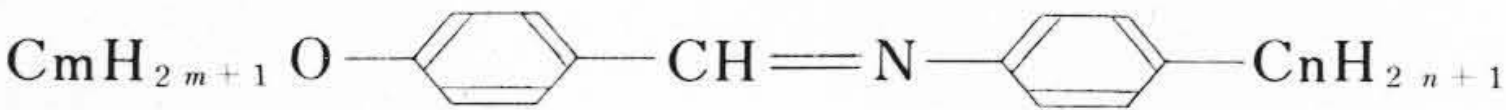
2 液晶表示素子の構成

液晶表示素子は、一般的に図3の模式図で表わされるような構成になっており、液晶は電極を設けた2枚のガラス板間にサンドイッチされ、フリットガラス又は有機接着剤によって気密封止される。電圧が印加されない場合の光透過性を良くし、電圧印加時とのコントラストを高めるため、液晶分子を電極面に垂直又は平行に配向させる必要がある。それゆえ、電極の表面処理を行ない均一な配向状態を保持する技術が極めて重要である。これにはシリコン系またはフッ素系の処理膜形成が有効である。

数字表示素子とそれを駆動するLarge Scale Integration (LSI)との合理的結合を図るには、図4(a)のように内部結線して時分割駆動するのが有利である。この場合の等価回路は図4(b)のようになり、X、Yの電極を選択して交点を点灯するマトリックス アドレス方式による時分割駆動が行なわれる。

3 液晶材料と素子性能

動的散乱モードに用いられる液晶としては多くの種類が知られているが、今日最も広く使用されているのは下式で表わされるシッフ塩基形のネマチック液晶化合物である。



炭素数、m及びnの異なる数種の化合物を適当に混合することによって、かなり広域な液晶温度範囲を示す組成物を得ることができる。

上述の時分割駆動を行なうためには、間欠的なパルス電圧印加によって動作しなければならない。液晶は本質的に応答が遅いが、後述するように液晶の履歴現象に基づく累積応答性を利用することにより、十分なコントラストと応答速度が得られる。この累積応答性は微量の添加剤に大きく依存し、

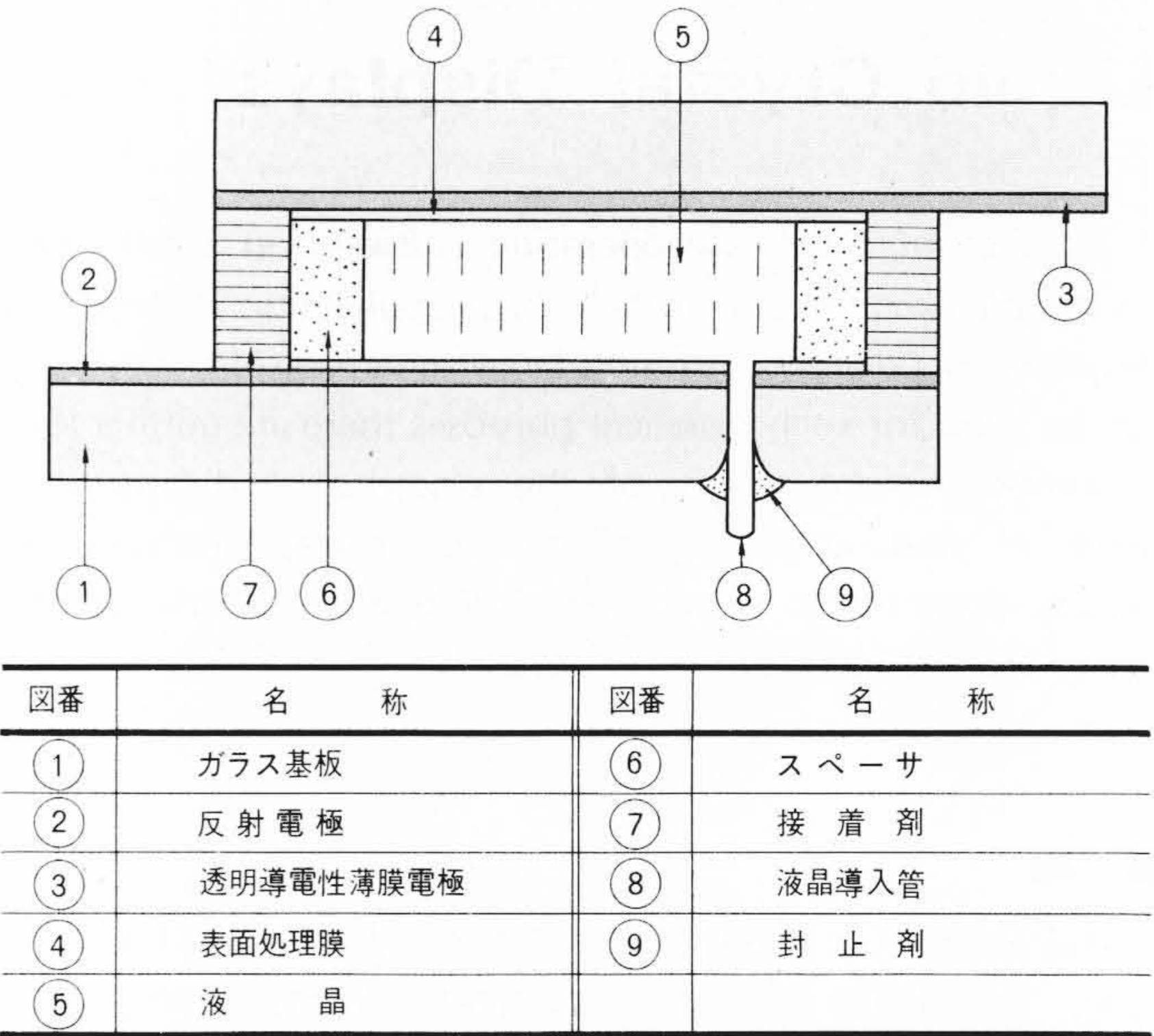


図3 液晶表示素子の断面模式図 液晶は2枚のガラス板の間にサンドイッチされる。液晶層は通常10~20μに保たれる。

Fig. 3 Sectional Pattern of Liquid Crystal Display Device

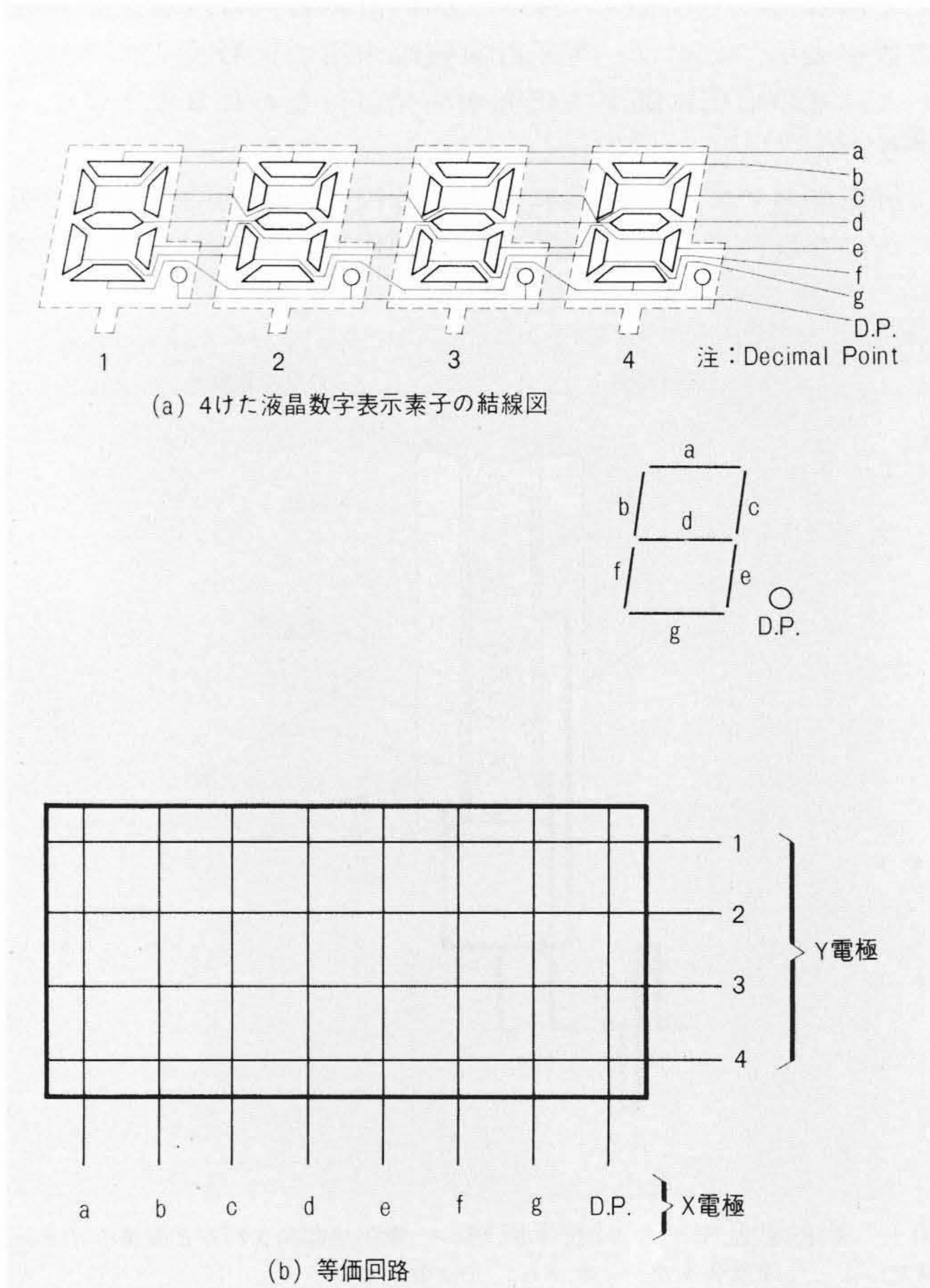


図4 液晶数字表示素子(時分割形)のモデル 時分割駆動を行なうため、内部結線した数字表示素子においては、回路的にX-Yマトリックスと等価である。

Fig. 4 Circuit Model of Liquid Crystal Numeric Display Device

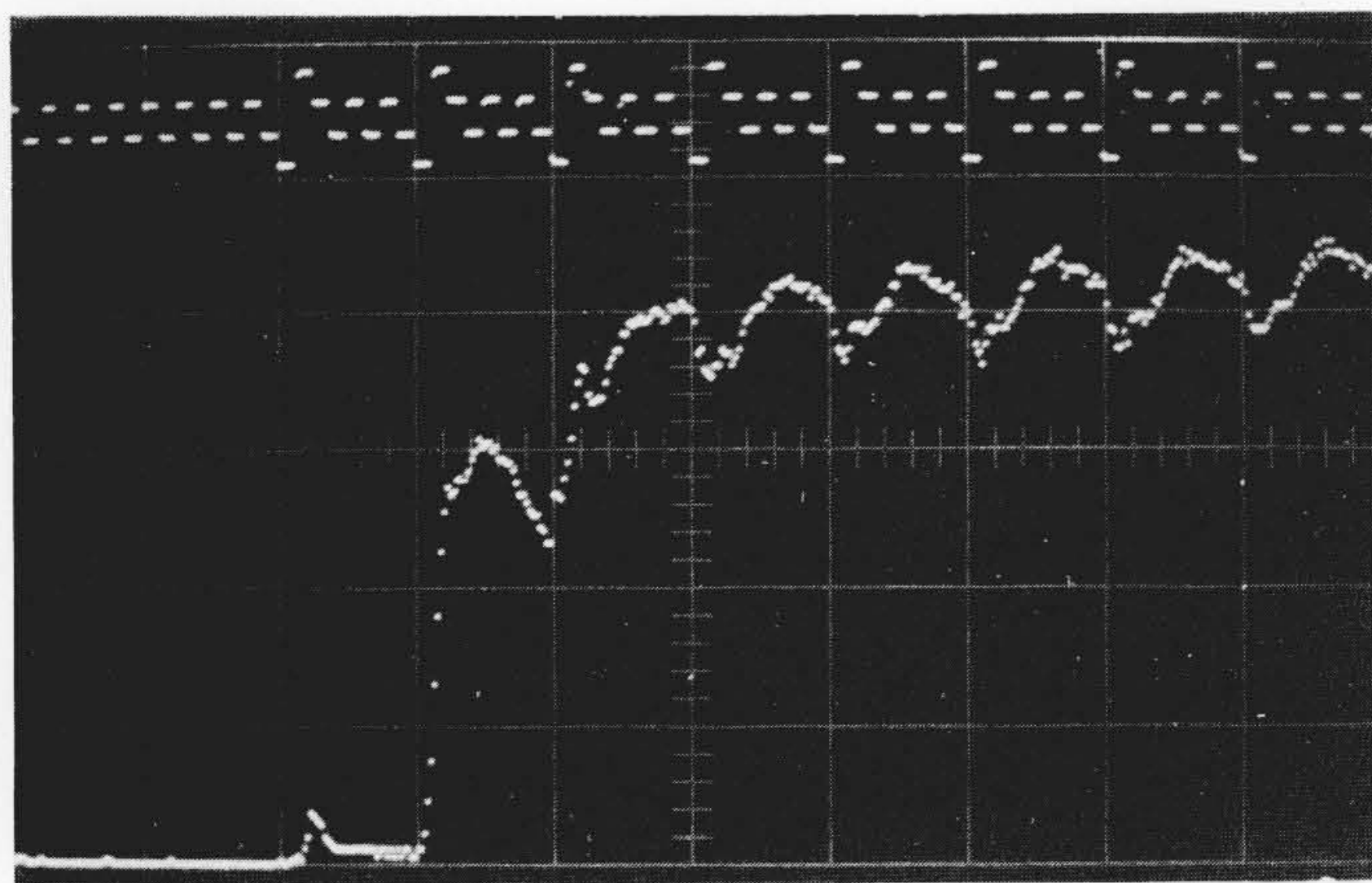


図5 累積応答性 電圧平均化法によって駆動したとき、液晶の累積応答波形を示す。

Fig. 5 Accumulated Response

有機イオン性化合物と更に補助添加剤とを加えることによって所望の性能を発現することが可能となった。

液晶素子においては、長時間の電圧印加で劣化が進み、液晶の配向が乱れたり特性が変化することが最大の問題である。液晶組成と電極表面の相互作用、電気分解反応について検討した結果、液晶化合物の純度と劣化しにくい添加剤の選定、電極表面処理法などの技術を確認し、劣化抑止に有効な駆動回路の採用と相まって長寿命の液晶表示装置を開発した。

4 液晶表示装置の駆動方式

4.1 累積応答性

液晶の動的散乱モードでは、連続パルス信号の印加時にパルス電圧を数回加えると、散乱輝度は徐々に高くなり飽和する現象が見られる。これを液晶の累積応答性と称する。

後述する電圧平均化法（ $\frac{1}{3}$ バイアス法）によって駆動したときの動作例は、図5に示すとおりである。液晶は累積的に

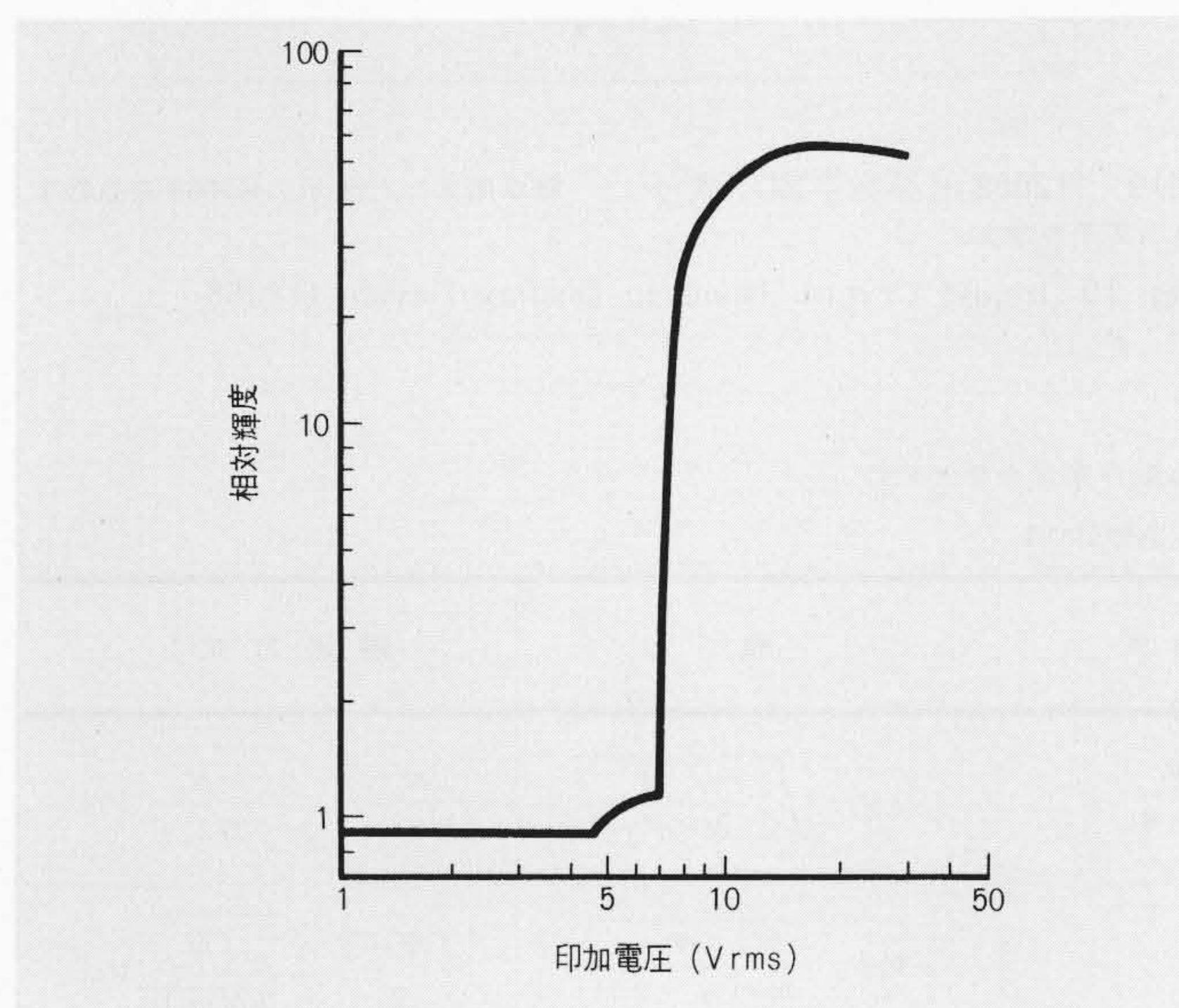


図6 動的散乱形液晶の輝度特性 動的散乱形液晶の印加電圧に対する散乱輝度特性を表わし、顕著なしきい値を示すことが特徴的である。
 $V_{th} \approx 7V$

Fig. 6 Voltage-Brightness Characteristics of Dynamic Scattering Mode

応答し5回の選択信号を加えた後、散乱輝度の飽和する様子が見える。

このとき、散乱輝度の平均値は印加電圧の実効値に依存し、輝度の実効電圧依存性が成り立つ。また、電圧対輝度特性は図6に示すようになり、初期状態が垂直配向を示す液晶セルでは動的散乱モードのしきい値電圧 V_{th} が顕著に現われる。

4.2 マトリックス アドレス方式^{(8)~(10)}

液晶マトリックス表示装置だけでなく、電子式卓上計算機用（以下、電卓用と略す）液晶数字表示装置においても、電極の結線はマトリックス状になるため、駆動方式として液晶のマトリックス アドレス方式を開発した。

これを電圧平均化法と称し、液晶表示装置に発生するクロストーク電圧を平均化し、選択点と非選択点の電圧差によりクロストークを防いだ表示を行なうものである。

一例として、クロストーク電圧を選択電圧の $\frac{1}{3}$ に平均化した電圧平均化法（ $\frac{1}{3}$ バイアス法）について動作条件を求める。本方式では図7の駆動波形を用い、選択点、非選択点の実効電圧 V_{s1} 、 V_{s2} は次のようになる。

$$V_{s1} = \frac{1}{3} V_0 \sqrt{1 + \frac{8}{N}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{s2} = \frac{1}{3} V_0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

但し、 N ：マトリックス アドレスにおける走査線数

クロストークを防いだ表示をする条件は $V_{s2} \leq V_{th} \leq V_{s1}$ であるから、 V_0 について整理をすると次式のようなになる。

$$V_{th1} \leq V_0 \leq V_{th2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{th1} = 3 V_{th} \sqrt{\frac{N}{N+8}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$V_{th2} = 3 V_{th} \quad \dots\dots\dots(5)$$

クロストークを生じない V_0 の動作電圧範囲について、動作マージン α を次式のように定義する。

$$\alpha = \frac{V_{th2}}{V_{th1}} = \sqrt{1 + \frac{8}{N}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

実験によって、 N を変えたときの V_{th1} 、 V_{th2} 及び α を求

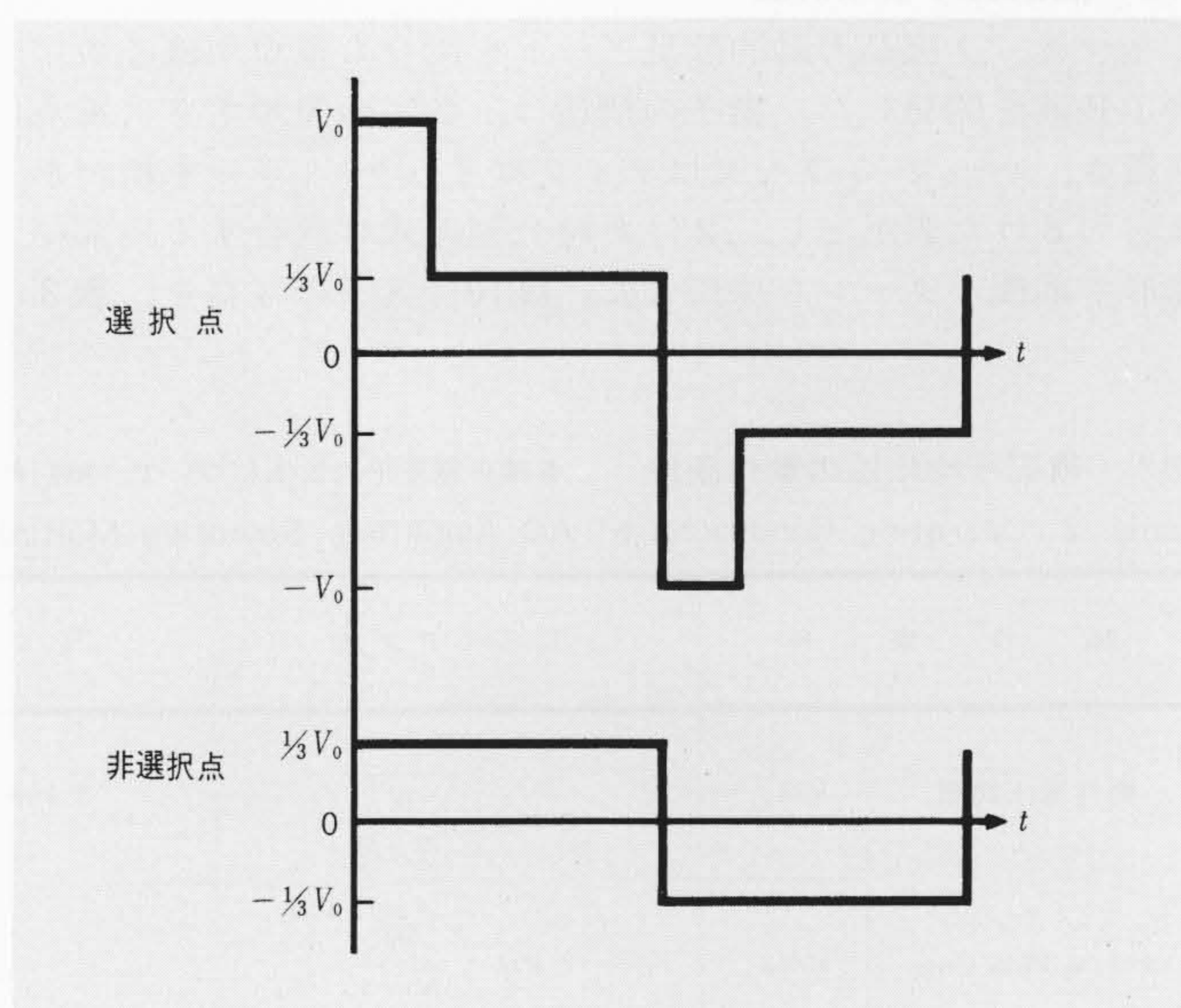


図7 電圧平均化法（ $\frac{1}{3}$ バイアス法）の駆動波形 液晶の時分割駆動方式である電圧平均化法（ $\frac{1}{3}$ バイアス法）において、液晶に加わる駆動波形を示す。

Fig. 7 Waveform of 3-to-1 AC Amplitude Selective Multiplexing Method

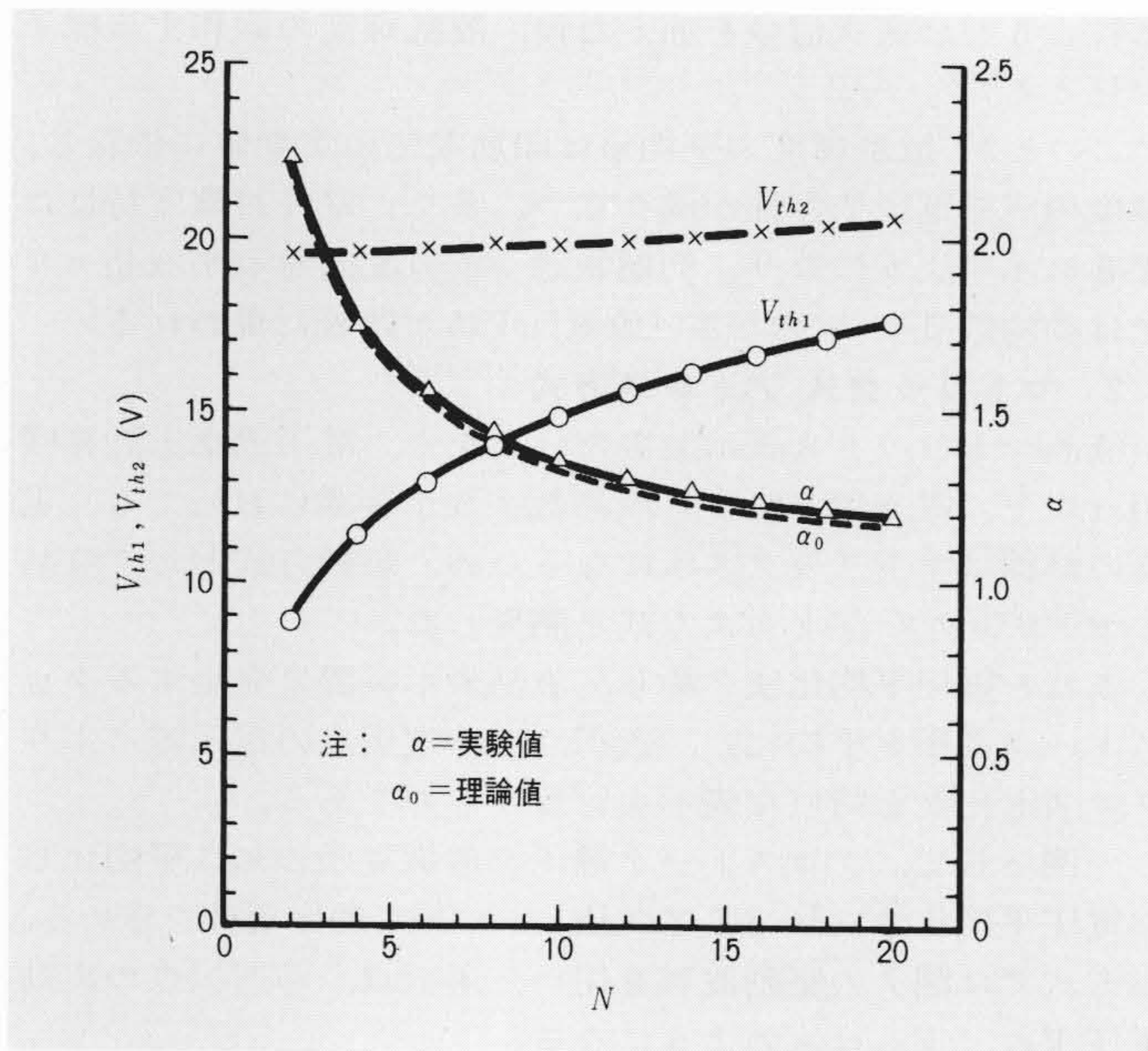


図8 電圧平均化法($\frac{1}{3}$ バイアス法)の動作条件 電圧平均化法($\frac{1}{3}$ バイアス法)を用いたとき、選択点、非選択点のしきい値電圧および動作マージンの実験値と理論値を示す。

Fig. 8 Operating Conditions of 3-to-1 AC Amplitude Selective Multiplexing Method

めた結果は図8に示すとおりである。同図から α の実験値と計算値はよく一致した。

また、電圧平均化法を一般化した場合の駆動波形は図9に示すとおりである。また表2は各種の電圧平均化法について動作条件をまとめて示したものである。この中で、電卓用液晶数字表示装置に対しては $\frac{1}{2}$ バイアス法及び $\frac{1}{3}$ バイアス法が適しており、マトリックス液晶表示装置に対しては最適動作条件で一般形を使用する必要がある。

5 液晶表示装置

5.1 液晶数字表示装置

ネマチック液晶の動的散乱モードを用いた電卓用液晶数字表示装置を開発した。素子の構造は、数字の見やすさに重点を置き、ハーフミラー又はダイクロイックミラーを用いた反射形8けた表示とし、2けた時分割方式に適合する内部結線形の電極パターンを採用した。図10は素子の写真を、表3

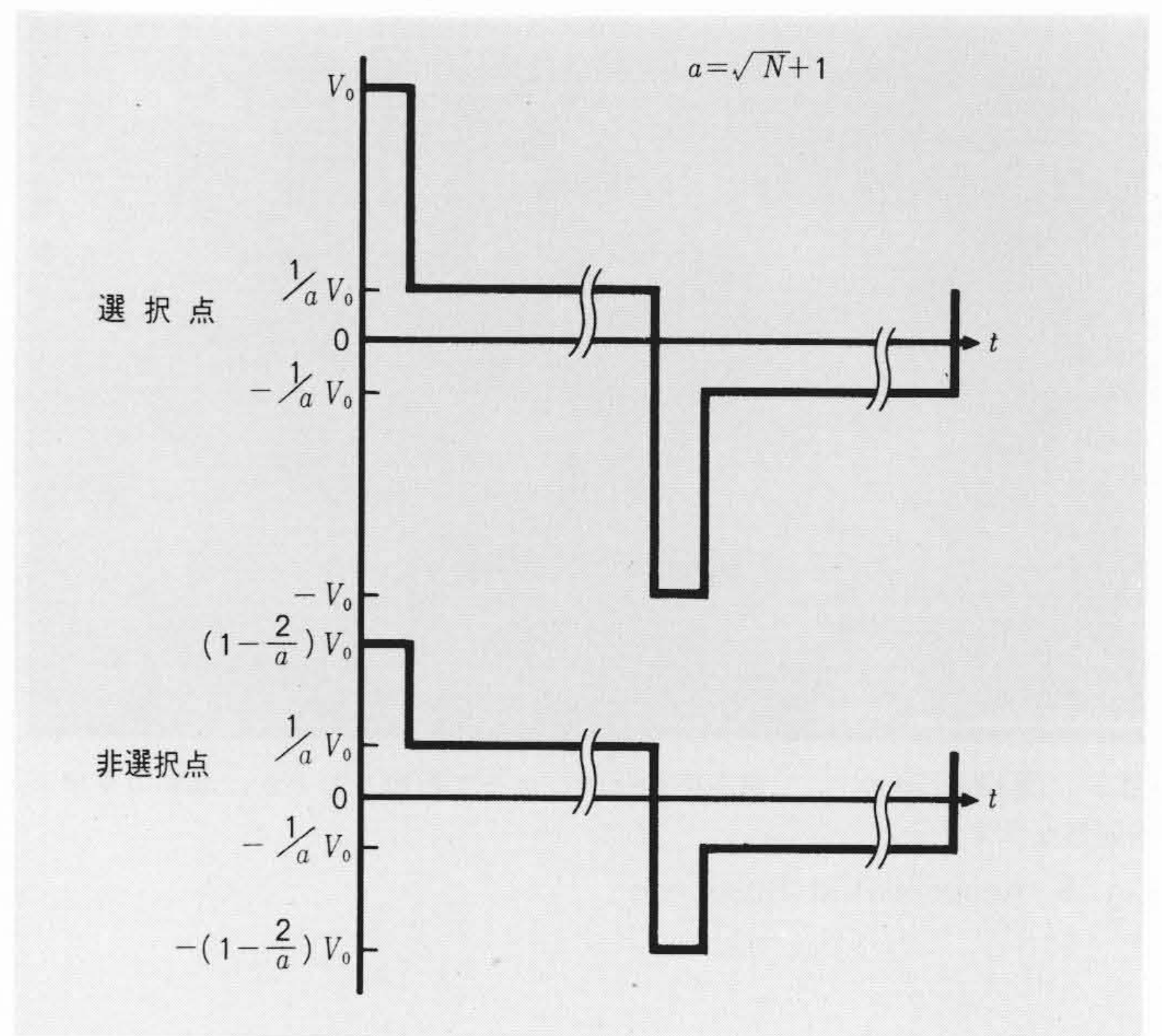


図9 電圧平均化法の一般形 マトリックス液晶表示装置に用いる電圧平均化法の駆動波形を表わす。

Fig. 9 Waveform of Generalized AC Amplitude Selective Multiplexing Method

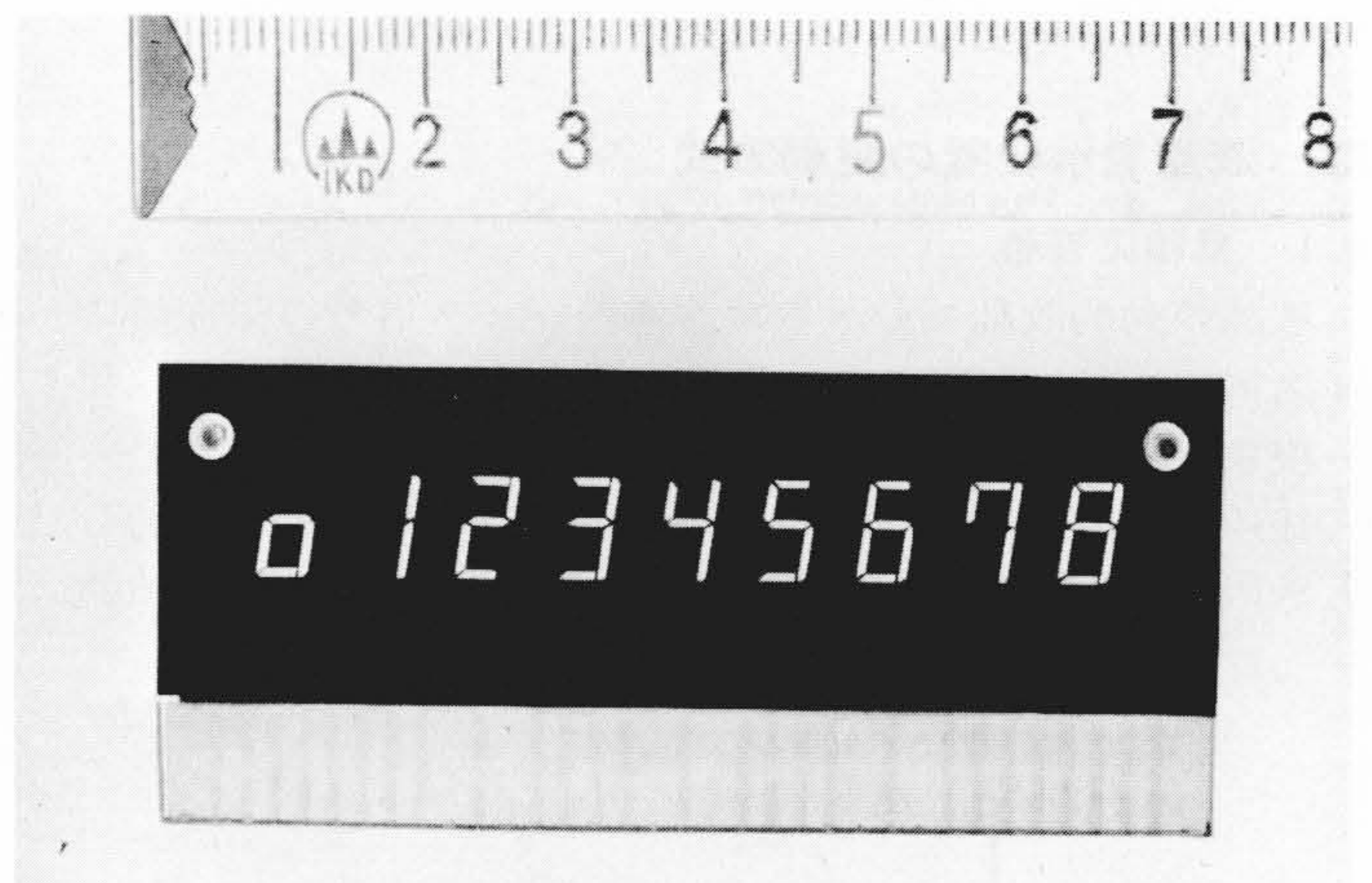


図10 H2068 液晶数字表示素子 電卓用8けた表示のH2068 液晶数字表示素子を示す。

Fig. 10 Liquid Crystal Numeric Display Device H2068

表2 電圧平均化法の動作条件 各種の電圧平均化法について、解析結果から動作条件をまとめた。

Table 2 Operating Conditions of AC Amplitude Selective Multiplexing Method

動作条件		$\frac{1}{2}$ バイアス法	$\frac{1}{3}$ バイアス法	一般形	最適方式*
動作電圧範囲	V_{th1}	$2 V_{th} \sqrt{\frac{N}{N+3}}$	$3 V_{th} \sqrt{\frac{N}{N+8}}$	$\alpha V_{th} \sqrt{\frac{N}{N+\alpha^2-1}}$	$\frac{\sqrt{N+1}}{2} \sqrt{\frac{\sqrt{N}}{\sqrt{N+1}}} V_{th}$
	V_{th2}	$2 V_{th} \sqrt{\frac{N}{N-1}}$	$3 V_{th}$	$\alpha V_{th} \sqrt{\frac{N}{N+(\alpha-2)^2-1}}$	$\frac{\sqrt{N+1}}{2} \sqrt{\frac{\sqrt{N}}{\sqrt{N-1}}} V_{th}$
動作マージン α		$\sqrt{\frac{N+3}{N-1}}$	$\sqrt{1+\frac{8}{N}}$	$\sqrt{\frac{N+\alpha^2-1}{N+(\alpha-2)^2-1}}$	$\sqrt{\frac{\sqrt{N+1}}{\sqrt{N-1}}}$

注：*動作マージン α が最大になる方式

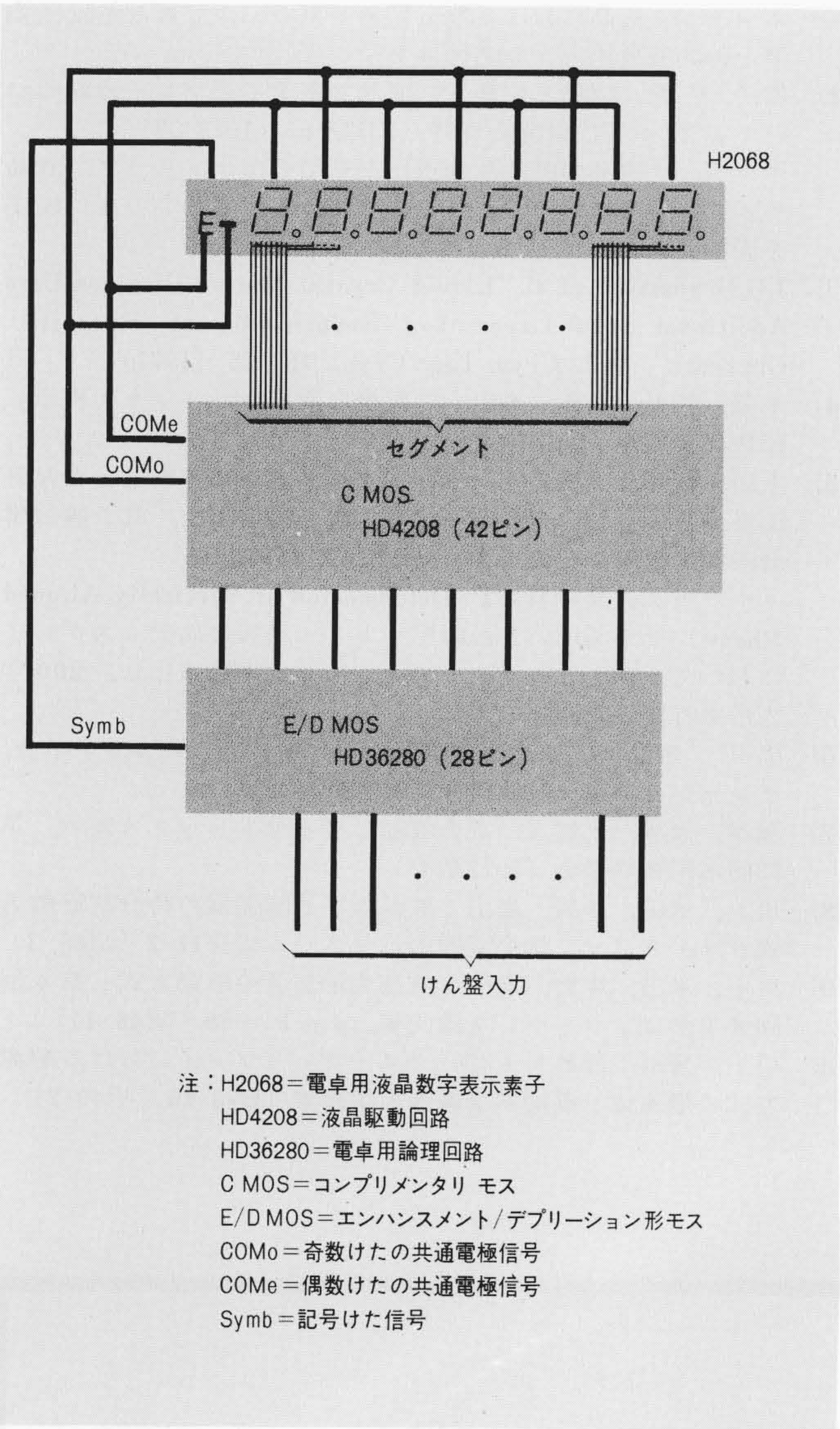


図11 液晶数字表示装置のブロック図 電卓用液晶数字表示装置 H2068と液晶電卓用LSI HD4208, HD36280を用いたブロック図を示す。
Fig. 11 Block Diagram of Liquid Crystal Numeric Displays

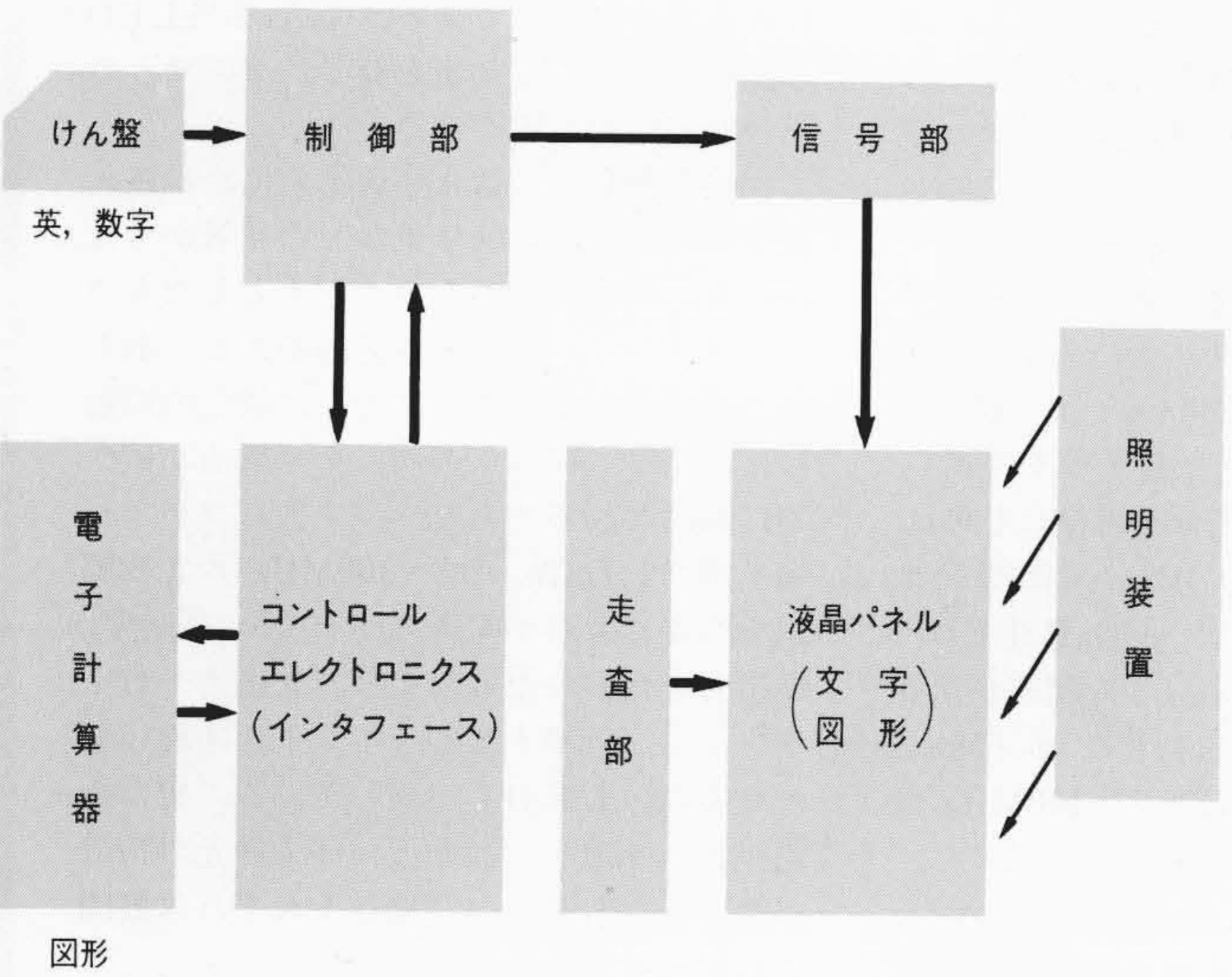


図12 液晶マトリックス表示装置のブロック図 電子計算機の端末として液晶マトリックス表示装置を用いたときのブロック図を示す。
Fig. 12 Block Diagram of Liquid Crystal Matrix Displays

表3 H2068液晶数字表示素子の電氣的, 光学的特性 電卓用液晶数字表示素子H2068の電氣的, 光学的特性を示す。

Table 3 Electrical and Optical Characteristics of Liquid Crystal Numeric Display Device H2068

用途		小形電子式卓上計算機の数字表示			
区分		単位	最小	標準	最大
電気光学的特性	駆動電圧	V	12.6	14.0	15.4
		V	6.3	7.0	7.7
残留直流電圧		V	—	—	0.5
フレーム周波数		Hz	40	55	70
液晶抵抗	セグメント側	MΩ	2.5	—	—
	共通電極側	kΩ	160	—	—
容量	セグメント側	pF	—	20	—
	共通電極側	pF	—	320	—
応答時間	立上時間	ms	—	200	—
	立下時間	ms	—	100	—
コントラスト		—	—	25 : 1	—
使用温度範囲		℃	0	—	+40
保存温度範囲		℃	-20	—	+70
表示色		—	—	黄色	—

は、一般規格を示すものである。

また、本素子を電池駆動の小形電卓に適用するために、駆動用LSIは液晶駆動回路をC-Metal Oxide Semiconductor (C-MOS)、電卓用論理回路をE/D-MOSで構成し、低消費電力化を図った。そのシステムは図11に示すとおりである。なお、4けた時分割方式による1チップLSI化についても液晶表示及びLSIの製品化に見通しを得た。

5.2 大形マトリックス装置

大形マトリックス装置は電子計算機端末用ディスプレイとしての応用に期待が持たれている。図12は通商産業省重要技術研究開発費補助金^(*)の交付を受けて試作した装置のブロック図を示すものであるが、文字表示のほかに、電子計算機制御による図形表示も可能である。

本装置においては、表示方式としてネマチック液晶の動的散乱における累積応答効果を利用し、装置の動作条件もその動作マージンが最大になる点に設定されており、走査方式によって大画面表示が可能であるという点に大きな特徴がある。図13は同装置による文字表示の一例であるが、表示面積は10×15cm²、表示文字数約200字である。最終的には表示面積40×50cm²、表示文字数約600字の装置を試作することになっている。

6 結 言

液晶の動的散乱モードに適した液晶材料、素子形成技術、駆動回路について検討を進め、電卓用の時分割駆動数字表示装置を開発した。また、10×15cm²の画面に文字数約200字を表示し得るマトリックス表示装置を試作した。

終わりに、液晶材料及びマトリックス液晶パネルに関する協同研究の遂行に御尽力いただいている大日本塗料株式会社

(*) 日立製作所, 旭硝子株式会社, 大日本塗料株式会社の3社による協同研究であり、研究期間は昭和47年4月～同50年3月までである。



図13 文字表示例 液晶マトリックス表示装置に10行20字を表示した例を示す(走査線数70本)。

Fig. 13 Displayed Characters with the Prototype

藤井昭治氏及び旭硝子株式会社古内重正氏に対し深謝する次第である。

参考文献

- (1) G.H.Heilmeier et al, "Dynamic Scattering : A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals", Proc. IEEE, 56, 1162 (1968)
- (2) 加治, 三友, 福島, 佐藤, 「液晶文字ディスプレイ装置について」, 電子装置研究会資料, ED72-65 (1973-02)
ネマチック液晶の動的散乱モードを用いたマトリックス液晶ディスプレイにおいて, リアルタイム方式で20字の英, 数字を表示した。
- (3) J.G.Grabmaier et al, "Liquid Crystal Matrix Displays Using Additional Solid Layers for Suppression of Parasite Currents", Mol. Cryst. Liq. Cryst, 15, 95 (1971)
- (4) 小暮, 村瀬, 加藤, 高田, 「記憶形液晶マトリックス表示」昭和48年度電子通信学会全国大会
- (5) 上田, 新井, 「最適化マトリックスアドレス方式による大画面液晶表示」, テレビジョン学会, 電子通信学会, 電子通信学会画像工学研究会資料番号 IE73-31 (1973-11)
ネマチック液晶のDAP(Deformation of Vertically Aligned Phase)効果を用いた投射形マトリックス液晶ディスプレイにおいて, マトリックス・アドレス方式を最適化し, 200字表示を行なった。
- (6) 黒田, 「液晶によるカラー表示の一方式」, テレビジョン学会, テレビジョン電子装置研究学会 (1974-2)
- (7) 塚本, 大塚, 土屋, 「混合液晶によるマトリックス表示」第33回応用物理学会 (1972秋季)
- (8) 川上, 米田, 中野, 鳥山: 液晶数字表示装置の時分割駆動方式; テレビジョン学会画像表示システム研資11-2 (昭48-3)
- (9) 川上, 米田, 中野, 鳥山: 液晶表示装置の駆動方式; 第4回画像工学コンファレンス論文集, p. p. 85~88 (昭48-11)
- (10) 川上, 米田: 液晶マトリックス・ディスプレイにおける駆動方式の最適化; 電通学会画像工学研資 IE73-46 (昭49-2)



発光ダイオード

日立製作所 梅田淳一

電子通信学会誌 56—4, 471 (昭48-4)

本文は, 順バイアスしたpn接合からの注入発光を利用する可視近赤外域の発光ダイオード(以下, LEDと略す)を対象とする。LEDに用いる半導体材料は, 禁止帯幅が適当で, 且つp, n両導電形たり得るものが必要である。電子帯構造の面からは直接遷移形材料が発光に有利であるが, 有効な発光中心があれば間接遷移形材料でも高い発光効率を得られる。一般に前者での発光は応答が速く発光強度は高電流密度でも飽和しない。可視発光材料は, III-V族化合物半導体では窒化物ホウ化物系の新材料を除けば, GaP, 又はGaP, AlAs, AlPのいずれかを含む混晶系に限られる。赤外発光には, GaAs又は上記の混晶系が用いられる。

LEDの外部量子効率(η_{ext})は, 結晶母体内での少数担体の発光量子効率(η_b), 順電流に占める拡散電流の割合(η_{inj}), 発光が外に出る割合(η_{opt})の積となる。 η_b を支配する結晶の点欠陥, 非添加不純物の把握制御は, 結晶成長技術における現在の

最も困難な問題に属する。 η_{inj} は, 禁止帯幅の広いLED材料では一般に小さく, 深い準位のいっそうの低減を要する。 η_{opt} は素子構造が支配するが, 特に現状のチップ構造と形状, 電極の構成については大幅に見直す必要がある。

GaPの緑色LED(発光波長565nm)は視感上有利な位置にあり, 主に表示用途をもつ。赤色LED(同700nm)は, 視感度上不利な位置にあるが発光量子効率は高く, 表示のほかセンサとの組合せ用途にも向く。しかし, 高速応答(>1MHz)高輝度発光を要する用途には適さない。GaP LEDの素子構造設計では特に η_{opt} への配慮が重要である。GaAs_{1-x}P_x赤色LED(同650nm)は, 走査表示など高速応答(<100MHz)瞬時高輝度発光を要する応用に特に適する。結晶成長上の事情(GaAs基板使用)から, η_{opt} が小で, 今後に大きな改善の余地を残す。Ga_{1-x}Al_xAs LEDの大きな特徴は良質のヘテロ構造を持ち込める点にあり, 高

電流密度での高速, 高輝度, 高出力発光をねらうものに最適である。GaAs赤外LEDは比較的高い量子効率を有し, センサとの組合せ応用が主眼となる。

今後LEDは, 数文字表示のほかに注入発光の特徴を積極的に生かした発展が考えられる。高輝度発光をポイントとしたものでは光ファイバ通信用の光源がある。限られた領域での高電流密度動作, 放熱の問題には, Ga_{1-x}Al_xAs系のヘテロ構造が積極的に活用されるであろう。すでにファイバ端光出力1.7mW, DC~100MHzの光変調域を有するものが報告されている。高効率, 高出力をねらったものでは, 光出力十数ミリワット, 効率十数パーセントの半導体レーザ並みのLEDも出現している。更に少電流表示を追うものなど, 注入発光の特徴を追求したLEDの開発がそれぞれに展開され始める時点にきている。