

Display Device 에의 液晶의 應用*

丁 元** · 姜 光 男

1. 序 論

液晶이란 주로 긴 사슬모양의 有機化合物 分子에서 固體와 普通의 等方性液體와의 中間 狀態로 混濁한 流體相이 存在하여 液體처럼 流動하지마는 分子들 사이의 配列은 維持되어 結晶固體에서와 같은 異方性을 갖는 狀態를 말한다. 그러므로 한마디로 異方性液體(anisotropic liquid) 또는 mesophase 라고 말할 수 있다.

이와 같은 物質이 처음으로 發見된 것은 1888年 Austria의 植物學者 Reinitzer가 cholesteryl benzoate 라는 有機化合物이 두個의 融點을 갖는다는 것을 알게 되었을 때이다. 이 物質은 室溫에서는 固體이고 145°C에서 一旦 녹아서 混濁한 液體가 되는데 이것을 더 加熱하면 179°C에서 다시 한번 相轉移가 일어나서 맑은 液體로 바뀐다. 物理學者 Lehmann은 이 特異한 液體狀態가 光學的 異方性을 나타내는 것을 알아내고 液體와 固體의 性質을 다 갖추고 있는 狀態라는 意味에서 이것을 液體結晶(liquid crystal)이라는 一見 矛盾된 이름을 붙였다. Reinitzer의 發見以後 數 많은 物質에서 液晶狀態가 發見되었고 現在 有機化合物 200個中에 하나 程度의 比로 液晶物質들이 알려져 있다. 이들 液晶物質은 거의 모두 작대기모양(rod like)의 긴 分子들이며 液晶特有的 異方性은 이들 分子들이 나란히 配列하기 때문이라고 理解되고 있다.

이와 같은 液晶狀態가 溫度變化 때문에 생기는 경우에는 이것을 thermotropic 液晶이라고 부르고, 有極性溶媒에 適當한 濃度로 溶解시켰을 때 생기는 경우에는 lyotropic 液晶이라고 부른다.

液晶物質에 對한 知識이 蓄積됨에 따라서 生物體의 細胞膜도 一種의 液晶狀態이며 液晶이 生命現象과 密接한 關係를 가지고 있다는 것이 알려졌다. 또 하나의 卑近한 例로는 비눗물이 lyotropic 液晶이다.

1922年 Friedel은 液晶物質을 그 分子配列狀態에 따라서 nematic, smectic, cholesteric의 세 가지 種類로 分類하였다. 即, 그림 1에서 보는바와 같이 nematic 液晶은 그 分子들이 一次元的 秩序단을 維持하고 配列되어 있는 狀態이고 smectic 液晶은 그 分子들이 가로 方向으로 二次元的으로 面을 形成하고 이 面들이 規則적으로 쌓인 配列을 하고 있다. 한편 cholesteric 液晶은 分子들이 세로 方向으로 平面狀으로 配列하고 分子軸이 조금씩 廻轉하면서 겹쳐지고 이 廻轉의 pitch가 一定하게 維持되는 配列을 하고 있다. Nematic 液晶에 對해서는 아래에서 詳述하겠고 smectic 液晶은 細胞膜이나 비눗물膜에서 흔히 볼 수 있고 化學工業에서 表面活性劑로 널리 使用되고 있다. Cholesteric 液晶中에 그 pitch가 可視光線 波長과 비슷한 것은 그 特有的 色彩를 나타내고 溫度나 壓力, 電氣場에 의해서 그 pitch가 달라지는데 따라서 色彩變化를 나타낸다.

最近 有機合成技術이 發展함에 따라서 여러가지의 새로운 液晶物質이 合成되었고. 또 이와 併行하여 原子核磁氣共鳴과 같은 새로운 有機分析方法으로 이들 液晶物質分子的 構造가 研究되고 分子軌道論에 의한 構造의 解明이 試圖되고 있으

*이 記事의 土臺가 된 "Nematic 液晶의 物理的 性質에 關한 研究"는 蓬庵文化財團의 研究費支援에 의하여着手되었음을 明記하고 여기에 謝意를 表하는 바이다.

**正會員, 韓國科學技術研究所 半導體材料研究室
Semiconductor Materials Lab., Korea Institute of Science and Technology.

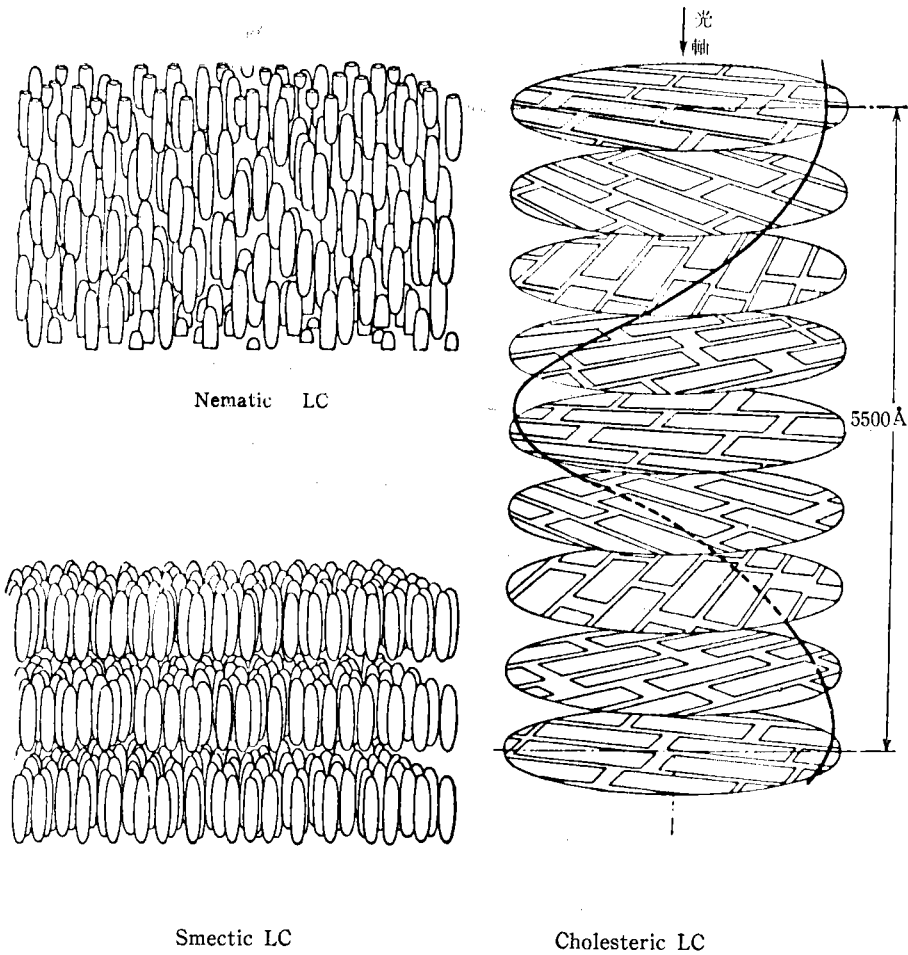


그림 1. 液晶分子의 配列

며, 液晶分子間的 相互作用, 彈性體理論에 의한 液晶의 形態學, 熱力學 및 統計力學的인 相轉移 現象, 또한 液晶의 電氣磁氣學的 性質과 電氣場 이나 磁氣場 또는 變形力場에 의한 液晶의 不安 定性(instability)은 有機化學 및 理論化學의 研究 課題로 關心이 集中되고 있다. 1965年 以來 Kent State University의 Liquid Crystal Institute 主管으로 隔年 International Liquid Crystal Conference가 開催되고 있다.

1960年代 後半期에 이르러 IC 技術의 發展과 더불어 桌上電算機나 數字式計測器와 같은 數字 式 電子裝置가 研究開發됨에 따라서 Nixie 管 螢 光表示管, filament 表示管, 發光다이오드(light

emitting diode) 表示方式과 같은 새로운 display device 方式이 차례차례로 開發되어 普及되었다.

1970年代 初期에 LSI 技術이 急激하게 發達하 여 電子裝置가 더욱 小型化되고 携帶用化 되어감 에 따라서 携帶用電算機, 電子손목時計, 携帶用 計測器의 數字式化가 實現段階에 到達하여 새로 운 表示方式의 開發이 促求되었고 液晶의 電氣光 學的 效果를 電子裝置表示方式에 應用할 可能性 이 注目되어 새로운 液晶의 開發과 液晶表示方式 의 研究가 加一層 促進되고 있다.

最近 數年동안에 液晶을 利用한 表示裝置의 여 러가지 方式의 開發과 變遷을 年代順으로 列記해 보면 表1과 같다.

이러한 液晶表示方式의 特徵은 (1) 放電管方式에 比해서 낮은 電壓에서 動作하여 IC 에 直結할수 있고 (2) 消費電力이 LED 方式보다 越等하게 작고 (3) 數字의 크기나 모양의 design 에 制限이 없다는 點이고 또한 (4) 光의 散亂이나 透過를 利用하기 때문에 어두운 곳에서는 自體發光方式에 比해서 contrast 가 떨어지지마는 直射光線아래와 같은 밝은 곳에서는 周圍가 밝을수록 contrast 가 좋아진다는 點이다. 特히 消費電力面에서 電子손목時計의 數字表示에는 液晶表示方式이 가장 有望視되고 있고 또 이미 2,3 個會社에서 試作品을 내어놓고 있는 段階이다. 表2에 위에 말한 各種表示裝置의 特性을 要約比較해 보았다.

液晶表示方式에 關해서는 最近 數年동안에 尨대한 研究結果가 蓄積되어 筆者들이 參照한 主要論文만세어도 60篇이 넘고 있고 또 이에 對한 綜合解說記事도 10篇이 넘는다. 이러한 研究動向의 全貌를 紹介한다는 것은 不可能한 일이므로 主要文獻을 附錄으로 列擧하기로 하고 여기에서는 主로 電子工學分野의 讀者를 對象으로 하고 本研究室에서 그동안 液晶의 物理的性質의 測定研究를 遂行해 온 經驗을 土臺로 하여 電子裝置表示方式에의 應用에 가장 直接的으로 關聯되는 資料들만을 重點의으로 紹介하고 筆者들의 測定結果의 一

部도 紹介하고자 한다.

2. 室溫液晶物質

現在 display device 에 實用化되고 있는 液晶物質은 거의 全部가 thermotropic nematic 液晶이다. Nematic 과 cholesteric 液晶의 混合物를 利用한 記憶方式이나 情報貯藏方式에 對해서는 뒤에서 言及하겠고 여기에서는 thermotropic nematic 液晶만을 다루기로 한다.

純粹한 物質로 室溫에서 nematic 液晶狀態를 갖는 것으로 最初로 알려졌고 따라서 그 物性이 가장 잘 알려져있는 物質은 N-(p-methoxybenzylidene)-p-n-butylaniline(MBBA)이다. 그 化學構造式은 $CH_3O-C_6H_4-CH=N-C_6H_5$ 이며

$19^{\circ}C$ 에서 固體→液晶 轉移가 일어나고 $45^{\circ}C$ 에서 液晶→等方性液體 轉移가 일어난다. 이때의 示差溫度分析結果는 그림 2와 같다. 이 物質의 合成方法과 精製方法은 Kashnow and Cole⁽¹⁸⁾이 比較的 仔細히 報告하고 있다. 本研究所에서도 有機合成研究室의 蔡永福博士팀이 이것을 合成·精製하여 核磁氣共鳴으로 그 構造를 確認하고 分子軌道論計算에 의하여 二個의 benzene 環의 面이 約 30° 度 틀어져 있음을 알아냈고 이것

表 1. 液晶 Display Device 의 여러가지 方法

年 代	液 晶 (1)	効 果 (2)	研 究 機 關
1964	C	熱	Westinghouse
1966	C	電氣場	Westinghouse
1968	N(n 型)	電氣場·電流(DS)	RCA
1968	N, C 混合	電氣場	RCA
1969	N	電氣場(GH)	RCA
1971	N(n 型)	電氣場(DAP, DVN)	Telefunken
1972	//	//	日本三菱電機
1971	C	電氣場, 相變化	Xerox
1972	N(p 型)	電氣場(FE, DTN, BR)	LIXCO, Hoffmann, Leica-Maxson, 日本理化研
	N(n 型)	電氣場·熱	日本京都大
	N, C 混合	電氣場·熱	BTL

(1) C=Cholesteric, N=Nematic.

(2) DS=Dynamic Scattering, GH=Guest-Host, DAP=Deformation of Aligned Phases of Nematic, DVN=Deformation of Vertically Aligned Nematic, FE=Field Effect, DTN= Deformation of Twisted Nematic, BR=Birefringence.

表 2. Performances of Various Displays

Display Devices	Response Time	Operation(cm ²)		Light Output	Color	Impedance (ohms)
		Voltage	Watts			
Neon	100μs	180	0.5	Low	Red-Orange	100k
Fluorescent Segment	10μs	25	0.2	Low	Blue-Green	1 to 10k
L. E. Diode	1μs	5	5	Medium	Red	5
Nematic LC Scattering Mode	5ms	25	10 ⁻⁴	None	Yellow or White	1M
Nematic LC Guest-Host	10ms	50	10 ⁻⁴	//	Primary Colors	1M
Nematic LC Birefringence	10ms	3-5 20-25	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵	//	} Can be voltage controlled over the visible spectrum	1M
Cholesteric LC	10ms	80-100	10 ⁻⁹	//		100M
Cholesteric LC Thermal Mode	100ms	—	10 ⁻³	//		—

LE: Light Emitting
LC: Liquid Crystal

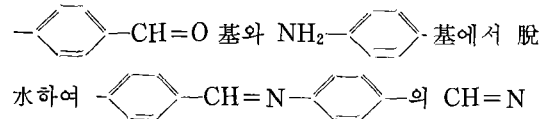
J. L. Ferguson et al.: Electro-Technology, Jan. 1971, p. 41.

이 比較的 낮은 溫度에서 液晶狀態를 갖는 原因이라고 생각된다.^[C7] 電氣比抵抗을 測定하여 그 純度の 尺度로 잡고 있으며 25°C에서 5×10¹⁰ ohm-cm의 것이 市販되고 있고 이것을 더 精製하여 5×10¹¹ ohm-cm의 것을 얻을수 있다. 1972 年末 現在 Princeton Organics에서 5×10¹⁰ ohm-cm 純度の 것을 5g 당 60弗에 市販하고 있고^[C10] Eastman Organic Chemicals에서는 5g 당 12.35弗로 供給하고 있다^[C8]. 本研究室에서의 液晶研究도 MBBA를 主對象으로 하고 있다.

MBBA는 C-O-C와 C=N-C 結合의 電荷分布에 따르는 電氣雙極子能率의 總和가 分子의 長方向(分子軸)에 거의 垂直하게 생긴다. 그리하여 1kHz 近傍의 低周波數에서 分子軸方向의 誘電常數는 ε_p=4.75~4.95이고 그 直角方向으로는 ε_n=5.25~5.26이다.^[D10, H4] 이와 같이 誘電常數의 異方性이 陰性(negative anisotropy)이라는 意味에서 이 物質은 n-type nematic(N_n)라고 부른다.

MBBA에서 methoxy 基(CH₃O-)를 ethoxy 基(C₂H₅O-)로 바꾸어 놓은 EBBA, N-(p-ethoxy benzylidene)-p-n-butylaniline: CH₃CH₂O-
COC(=O)C1=CC=C(C=C1)C=C(C2=CC=CC=C2)C3=CC=CC=C3C4=CC=CC=C4도 MBBA와 비슷한 性質을 가지고 있고 35°C와 80°C 사이에서 n-type nematic 液晶狀態를 갖는다. MBBA와 EBBA를 55:45로 混合한 共融物質은 그

融點이 -20°C 以下로 내려가서 -20°C와 50°C 사이에서 液晶狀態를 維持하여 液晶 display 實用化에 가장 有望視되고 있다. 相轉移溫도와 混合比의 關係는 그림 3과 같다. MBBA와 EBBA와 같은 所謂 Schiff 基化合物은 그 合成過程에서



2重結合을 形成하므로 다시 水分을 吸收하여 分解하는 傾向이 있어서 濕氣에 弱하다는 短點이 있다. 中間 bridge 基를 -COO-나 -CH=CH-로 바꾸어 보려는 實驗이 試圖되고 있으나 現在 公表된 結果로는 모두 液晶溫度가 室溫보다 훨씬 높다. 密封한 液晶 display의 有用壽命은 1萬時間(1年 2個月)程度로 推算되고 있다.

이 밖에 現在 市販되고 있는 室溫 n-type ne-

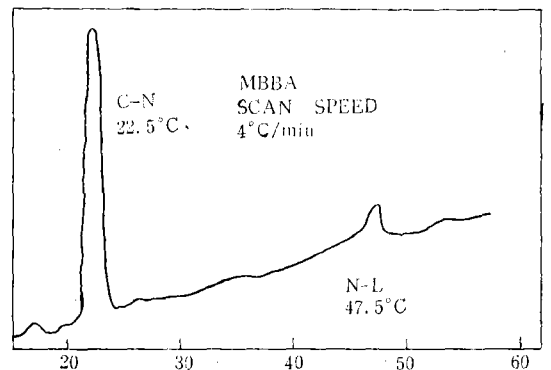


그림 2. MBBA의 相轉移(示差溫度分析結果).

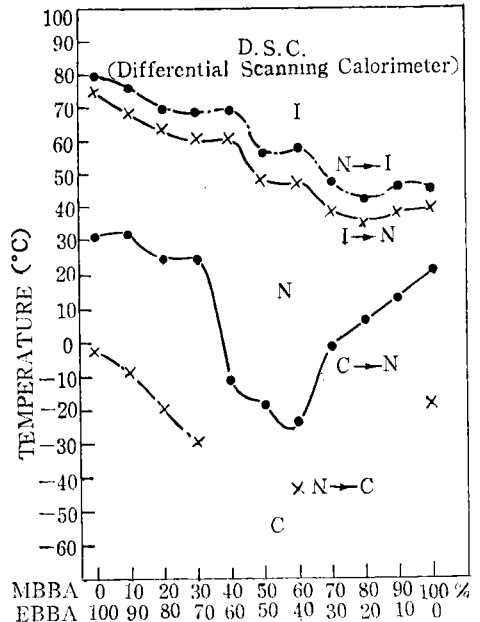
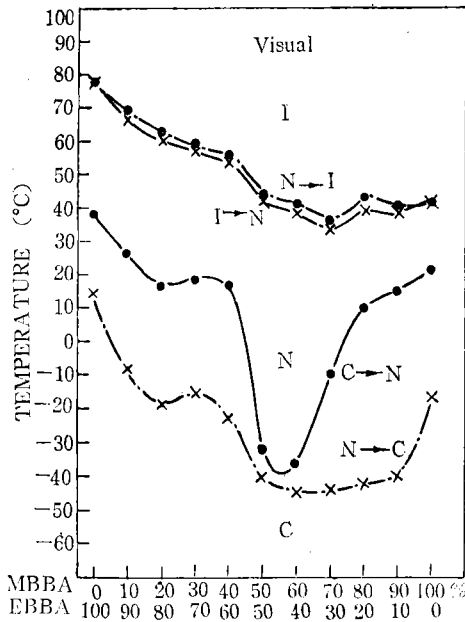
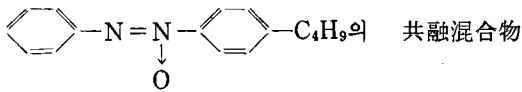
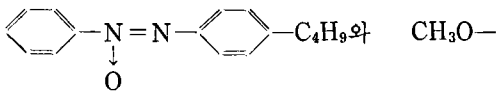
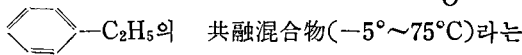
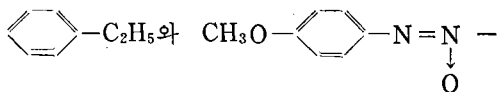


그림 3. MBBA-EBBA 混合物の 相轉移(Ref. L2)

matic 液晶으로는 Merck 會社에서 開發한 azoxybenzene derivative 들이 NLC N4(16~76°C), NLC N5(-5°~75°C)라는 商品名으로 5g當 20弗 内外의 價格으로 供給되고 있다. NLC N4는 4-methoxy 4'-n-butylazoxybenzene: $\text{CH}_3\text{O}-$



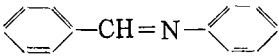
(16~76°C)이고 NLC N5는 4-methoxy 4'-ethyl azoxybenzene: $\text{CH}_3\text{O}-$



것만이 밝혀져 있고 誘電常數나 化學的 安定度에 對해서는 資料가 나와있지 않다. 이 以外에도 液晶溫度가 높은 物質에 化學反應을 이르기까지 않고 共融하는 여러가지 化合物을 配舍하여 液晶溫度

를 室溫以下로 降下시키는 方法이 있겠으나 이들의 組成이나 物理的性質은 各會社의 秘密로 公開되지 않고 있다.

한편 低周波數에서의 分子軸方向의 誘電率이 큰 p-型 nematic(N_p) 液晶들은 그 化學構造式과 混合比들이 發表된 것이 몇가지 있으나 그 合成方法은 公開되어 있지 않다. 그 代表的인 例는 Boller, Scherrer, Schadt, and Wild^(H3)에 의해서 發表된 것으로 4'-cyanophenyl-4-n-heptyl benzoate: $\text{C}_7\text{H}_{15}-$
CCCCCCCC(=O)c1ccc(cc1)/N#N/c2ccc(cc2)C#N
 와 4'-cyanophenyl-4-n-butylbenzoate: C_4H_9-
CCCC(=O)c1ccc(cc1)/N#N/c2ccc(cc2)C#N
 을 2:1로 混合하여 25°~50°C 사이에서 $\epsilon_p=20\sim 21$, $\epsilon_n=6\sim 7$ 의 p-type nematic 液晶을 얻었다고 한다. 또 같은 論文에 4-(4'-n-hexylbenzylidene amino)-benzotrile: $\text{C}_6\text{H}_{13}-$
CCCCCC=Cc1ccc(cc1)/N#N/c2ccc(cc2)C#N
 CN과 4-(4'-n-propylbenzylidene amino)-benzotrile: C_3H_7-
CCCC=Cc1ccc(cc1)/N#N/c2ccc(cc2)C#N
 을 2:1로 混合하여 -30°C~62°C에서 液晶狀

態를 갖는 物質을 얻었다는 것도 發表되어 있다. 이 以外에 Schadt and Helfrich^[11]는 R-
-CN 構造에서 R₁=n-C₄H₉O-, R₂=n-C₆H₁₃-, R₃=n-C₇H₁₅-COO-의 세가지를 置換한 物質들을 1:1:1로 混合하여 20°~94°C 사이에서 液晶이 되는 物質에 對해서 그 電氣光學效果를 報告하고 있다. 이들 物質은 모두 -C≡N-의 강한 電氣雙極子能率이 分子軸方向으로 配列하고 있어서 ε_p=20~21이라는 큰 誘電常數를 갖고 있다. 이들 物質은 아직 商品으로 供給되고 있지 않으며 그 合成과 精製가 매우 힘들다. 本研究所 有機合成研究室에서 이들의 合成을 試圖하고 있으나 아직 所期의 效果를 거두지 못하고 있다.

n-type 와 p-type nematic 液晶은 위에서 말한 바와 같이 低周波數에서의 誘電常數의 異方성이 陽陰으로 區別되며 交流電氣場에서의 分子軸의 配列이 달라지지만은 可視光波長領域의 周波數에서의 光學的異方性은 모두 陽性이라고 생각되고 (ε_p(ω) ≫ ε_n(ω)) 따라서 液晶分子들의 光學的性質은 單一軸性結晶에서와 같다고 생각하고 있으나 이點에 對해서는 뒤에 다시 言及하겠다.

3. 液晶 Display Cell

液晶의 電氣光學效果를 測定하기 위해서는 透明電極物質을 입힌 玻璃板 두장사이에 液晶을 채우고 密封하여 cell을 만든다. 玻璃基板은 顯微鏡用 slide glass와 같은 光學平面 玻璃板을 쓰는데 液晶에 따라서는 普通의 soda 玻璃板은 多少 녹아 나와서 化學적으로 反應을 이르게 變質하는 수가 있다. Ampoule 用의 玻璃材質이 液晶 cell에 가장 適合하다고 한다.

透明電極物質로는 550°C로 加熱한 玻璃板위에 SnCl₄ 100 gr 와 SbCl₃ 1 gr 을 HCl 40 cc에 溶解시키고 蒸溜水로 3배로 稀釋하고 微量의 methyl-alcohol을 添加한 溶液을 15秒 동안 噴霧하여 SnCl₄를 高溫分解(pyrolysis)시켜 SnO₂ 膜을 입히는 方法이 가장 손쉬운 方法이다. 均一하게 微小水滴으로 噴霧하고 또 反應溶液蒸氣가 加熱된 玻璃板에 接觸하기 前에 豫熱되도록 注意함으로

써 좋은 透明電極膜을 얻을 수 있다. 여러가지 比抵抗의 SnO₂ 膜을 미리 입힌 玻璃板이 NESAGlass 라는 商品名으로 市販되고 있다. 高溫分解 方法에 의하지 않고 眞空蒸着 方法으로 SnO₂ 膜을 입힌 것은 可視光透過特性和 電氣傳導도가 優秀하여 NESATRON glass 라는 이름으로 Pittsburgh Plate Glass Industries, Inc. 會社에서 販賣되고 있다. InO₂를 眞空蒸着한 것도 化學的安定도와 電氣傳導도가 좋다고 알려져 있다. 反射型의 경우에는 電極의 한 쪽을 金屬蒸着膜을 써서 거울을 兼用시킨다. 金屬에 따라서 液晶物質과 反應하는 경우가 있으며 金과 크롬의 合金을 쓴다고 하나 合金組成이나 實際被覆 方法은 公開되어 있지 않다. 液晶物質의 化學作用으로 보아 金屬酸化物의 透明電極膜이 가장 널리 쓰이고 있다.

透明電極膜을 文字나 數字表示를 위하여 願하는 pattern으로 蝕刻하는 方法은 photoresist나 接着테이프로 保護膜을 입힌 다음 (1) 電解還元 方法으로 金屬酸化物을 金屬으로 還元하여 酸으로 處理해서 除去하는 方法과 (2) thiocyan 酸나 트롬과 개미酸나트륨의 混合物를 400°C에서 熔融시킨 것으로 處理하여 露出된 金屬酸化物膜을 除去하는 方法(日本特許 昭 44-14830)이 알려져 있다. 電解還元 方法은 電極膜의 溶解가 電解液 液面附近에서만 進行하는 傾向이 있고 이部分이 除去되고 나면 나머지 部分은 電氣적으로 接觸이 안되므로 除去되지 않고 남는다는 短點이 있다. (2)의 方法은 大量處理에 適合하지만은 普通의 保護膜이 400°C에서의 高溫處理에 견뎌 낼수 없으므로 銅을 化學鍍金한 위에 크롬을 電氣鍍金하여 保護膜을 補強해야 된다. 또한가지 方法은 (3) 透明電極膜을 입히기 前에 이것을 除去할 部分에 크롬을 選擇적으로 입히고(또는 크롬을 입힌 다음 透明電極膜이 必要한 部分만 크롬을 除去하고)그 위에 透明電極膜을 입히고 透明電極膜의 pin-hole을 通해서 酸으로 크롬을 除去하여 이部分의 透明電極膜이 玻璃板에서 뜨게하여 벗겨내는 方法인데 미리 크롬을 입혀야 하고 하나 하나 벗겨야 하기 때문에 大量處理에는 適合하지 못하다. 本研究室에서 찾아낸 方法(特許出願 1973-383號)은 (4) 透明電極膜위에 保護膜을 입힌 다음 Zn 나 그

amalgam과 같은 活性金屬을 接觸시키고 鹽酸으로 處理하면 化學作用으로 金屬酸化물이 金屬으로 還元되어 透明電極膜이 아주 손쉽게 除去된다.

願하는 pattern으로 透明電極膜을 입힌 玻璃板은 다시 液晶分子의 配列을 均一하게 하는 特殊處理를 해야 된다. 液晶分子를 玻璃板面에 平行하게 一定한 方向으로 配向(homogeneous alignment)시킬 때에는 脫脂綿으로 配向시키려는 方向으로 고르게, 힘차게 문질러주는 方法이 쓰이고 있다. 이때 液晶物質을 潤滑劑로 쓰기도 한다. 이러한 處理에 의해서 液晶分子가 配向되는 機構는 아직도 完全히 理解되지 않고 있다. 液晶分子를 玻璃板面에 垂直하게 配列(homeotropic 또는 vertical alignment)시키기 위해서는 lecithin이나 HTAB(hexadecyltrimethylammonium bromide)와 같은 表面活性劑(surfactant)의 얇은 膜을 입힌다. 玻璃板에 바로 바른 다음 닦아내는 方法도 있고 液晶物質에 0.5% 添加하기도 하며 클로로포름에 2% 溶解시킨 溶液에 玻璃板을 5分間 담가 두었다가 말린 다음 닦아내는 方法도 報告되고 있다^[45].

이와 같은 表面處理를 마친 玻璃板 두장을 普通 10 μm 內외의 mylar spacer를 끼워서 接着劑로 假封하고 말린 다음 液晶에 接觸시켜 毛細管形象으로 玻璃板사이에 스며 들어가게 하고 密封한다. 接着劑로는 epoxy resin을 쓰고 있으나 接着劑나 그 溶媒의 蒸氣가 液晶物質과 反應하는 수가 있으므로 細心한 注意가 必要하고 또 密封層의 水分透過도가 液晶 cell의 有用壽命을 支配하므로 接着劑의 選擇에도 많은 經驗이 必要하다. 最近에는 適當한 合成樹脂를 spacer로 쓰고 이것을 加熱하여 密封하는 方法도 研究되고 있고 또 低溫에서 녹는 유리로 密封하는 方法도 試圖되고 있다.

4. 液晶層의 電氣光學效果

液晶 cell의 透明電極사이에 電壓을 걸었을 때 液晶層의 光學的 性質 即 電氣光學效果는 다음의 여섯가지로 分類할 수 있다.^[43] 即 (1) domain formation, (2) dynamic scattering(DS), (3) guest-host interaction(GH), (4) fast turn-off

mode, (5) twisted structure effect, (6) deformation of aligned phases(DAP)이다.

(1) Domain formation은 誘電常數와 電氣傳導度の 異方性으로 말미암아 電氣場內에서 hydrodynamic instability가 誘起되어 液晶分子의 渦流運動이 일어나서 작은 區域들로 分割되는 現象이며 連續彈性體理論으로 定量的으로 說明되고 있다^[47]. 이때 생기는 domain 무늬는 낮은 電壓에서는 顯微鏡으로 判別할수 있다. 電壓이 높아지면 domain이 더욱 細分되고 그 크기가 可視光線波長에 가까워지면 平行單色光線을 쪼일때 이들 domain 境界에서의 回折로 直線上의 光點이나 格子모양의 干涉斑點이 投影되는 것을 볼수있다. 白色光線의 경우에는 波長에 따라 斑點의 位置가 달라지므로 여러가지 色彩가 변진 무늬가 나타난다.

(2) Dynamic scattering은 domain formation 段階에서 電壓이 더 높아지면 液晶物質에 包含된 不純物 ion에 의한 電氣傳導가 일어나고이에 따르는 液晶分子의 torque로 亂流(turbulence) 現象이 나타나 白濁해지고 光이 散亂되는 現象이다^[48](그림 4). 이와 같은 動的散亂現象은 液晶表示方式에서 가장 먼저 實用화된 方式이며 RCA에서 透過型과 反射型의 두가지를 市販하고 있다. 動作電壓은 不純物含有量에 따라서 다르지마는 15 V 內외이다. 0.1乃至 1 μA 程度의 電流가 흘러야 되므로 適當한 添加物質에 의하여 電氣傳導度を 調節함으로써 動作電壓을 낮게 할 수 있다. 그리고 이 방식에 의한 display의 contrast도 液晶分子의 配列과 添加物質에 의하여 向上시킬 수 있다. Kurabashi, Sasaki, and Takagi는 APA PA 液晶(81.5 $^{\circ}$ ~108 $^{\circ}\text{C}$)의 경우 dodecyl isoquinolonium bromide를 0.5~1% 添加하여 contrast를 顯著하게 높게 할 수 있었다고 報告하고 있다.^[41] 電壓이 걸리지 않은 部分의 透過度는 液晶分子의 配列이 잘되어 있을수록 커지므로 玻璃板과 透明電極膜의 表面處理에 의하여 contrast를 좋게 할 수 있다.^[43]

直流電壓으로도 dynamic scattering이 일어나나 透明電極附近에 不純物 ion이 蓄積되어 polarize 될 것이 豫想되며 液晶物質의 有用壽命이

顯著하게 短縮된다는 것이 알려져 있다. 交流電壓으로 動作시키는 경우에도 그 波形이 完全히 對稱의이 아니면 動作壽命에 影響을 미친다고 한다. RCA 나 OPTEL 會社에서 市販하고 있는 液晶 display cell의 保障壽命은 1萬時間이 지마는 直流電壓으로 動作시키는 경우에는 5千時間으로 잡고 있다.

交流電壓으로 動作시킬 때 그 周波數가 너무 높으면 dynamic scattering이 抑制된다. 이 cut-off 周波數는 液晶物質의 純度和 密接한 關係가 있으며 5×10^{11} ohm-cm 程度에서는 數百 Hz 이고 普通純度에서는 數 kHz 이다. 이와 같은 cut-off 現象을 거꾸로 利用하여 여러個의 display cell을 2個의 周波數로 動作시켜서 multiplexing 하여 數字 4個의 경우에 導線의 數를 36個에서 12個로 줄일 수 있는 方法이 發表되고 있다. [E6]

다른 液晶 display 方式에서도 共通의인 特性이지마는 特히 dynamic scattering에 있어서 液晶物質의 粘性때문에 $\sigma^{-\frac{1}{2}}L$ (σ 는 電氣傳導度, L는 cell 두께)에 比例하는 relaxation time이 따르

게되어 電壓을 걸었을 때 數十msec 程度의 delay time이 있고 數十乃至 數百 msec 程度의 rise time이 지난 다음에 光의 散亂이 일어나고 또 電壓을 除去했을 때 數百 msec 程度의 decay time이 따른다는 것이 또 하나의 問題點이다. 添加物質에 의하여 電氣傳導度を 높이고 또 粘性을 調節하면 液晶溫度가 내려갈 뿐아니라 이러한 time constant를 短縮시킬 수 있어서 이 方面의 研究가 活潑히 進行되고 있다. 이러한 比較的 느린 response 特性은 multiplexing 하는데 適合하다고 볼 수 있다. 電流電壓特性, 光의 透過率 對 電流密度特性 등은 原文獻을 參照하기 바란다.

(3) Guest-host interaction은 液晶物質에 二色性染料物質을 添加하면 染料物質分子가 液晶分子와 함께 配列하여 電氣場에 의한 液晶分子의 再配列로 色彩를 바꿀 수 있다는 性質을 利用한 color switching 表示方式이다 [E7] (그림 5). 適當한 染料物質을 選擇함으로써 여러가지 色彩를 낼 수 있다는 融通性이 있다. 그러나 液晶分子와 染料物質과의 化學反應의 可能性에 細心한 注意가 必要하며 實用化段階까지에는 많은 開發研究가 必要하다.

(4) Fast turn-off mode는 dynamic scattering 過程에서 짧은 電壓 pulse나 一定周波數의 cw signal을 걸어서 液晶分子들을 配向시킴으로써 電氣傳導에 의한 torque를 抑制하고 液晶分子配列 domain의 振動을 誘起하여 dynamic scattering에서와 같은 白濁이 일어나되 decay time(또는 turn-off time)이 1 msec 以下로 짧게 하는 새로운 方式이다. [E8] 이와 같은 domain oscillation은 一種의 parametric excitation 때문이라고 생각되고 있다. 이와 같은 光散亂方式은 一定周波數範圍內에서만 나타나고 이보다 낮은周波數에서는 decay time이 顯著하게 길어지고 이보다 높은 周波數에서 光散亂이 일어나지 않는다. 이 周波數範圍는 液晶物質의 純度나 溫度, 電氣傳導도에 依存하고 電氣傳導도가 커질수록 周波數가 높아지며 電氣傳導도가 너무 커지면 이 效果가 나타나지 않는다. 이 方式은 매우 興味있는 效果이기는 하나 動作電壓이 높다(12.5 μm 두께 일 때 85 Vrms)는 것이 實用化에 있어서의 短點

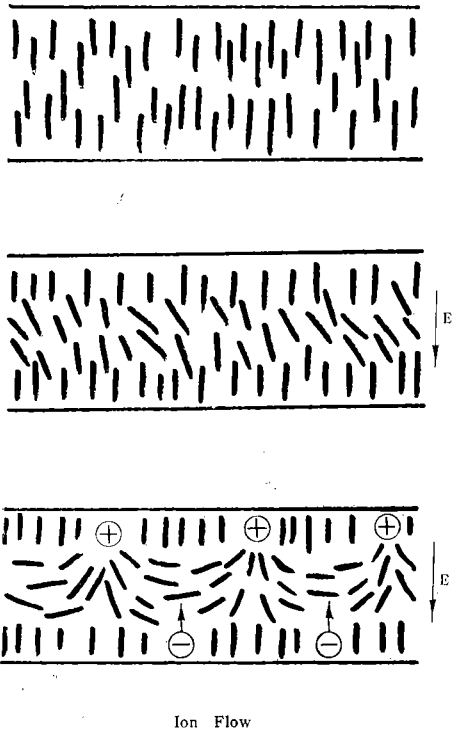


그림 4. Dynamic scattering.

이다.

(5) **Twisted structure effect** 는 表 1에서 言及한 바와 같이 當初 field effect 라고도 불리우고 deformation of twisted nematic, birefringence effect 라고도 불리우는 方式으로 電極面에 平行한 一定한 方向으로 液晶分子를 配向하도록 (homogeneous alignment) 表面處理한 유리板 두 장을 配向方向이 直角이 되도록 對置시켜서(90° twist) cell 을 만들면 直線偏光이 이 cell 을 通過하는 사이에 液晶分子軸을 따라서 偏光軸이 90度 廻轉하는 效果를 利用한 方式이다(그림 6). 여기에 電壓을 걸면 p-type nematic 液晶의 경우 電極雙極子能率의 方向과 分子軸의 方向이 거의 一致하므로 分子軸이 電氣場方向으로 再配向하게 되어 液晶分子의 90°twist 된 配向이 무너진다 (deformation). 이에 따라서 偏光軸의 廻轉이 보

다 작아지고 電壓이 充分히 높아지면 偏光廻轉이 없어져 버린다. 그러므로 偏光板과 分析板(analyzer)를 直交시킨 경우에는 透過하던 光線이 電壓에 의하여 遮斷되고 反對로 偏光板과 分析板을 平行하게 놓았을 때에는 遮斷되었던 光線이 電壓에 의해서 透過하게 된다. 이 方式은 偏光板 두 장을 液晶 cell의 앞뒤에 붙여야 된다는 短點이 있으나 偏光 polaroid 板을 選擇하기에 따라서 顯하는 色彩를 낼 수 있고 또 背景과 數字의 色彩가 서로 補色이 되고 또 分析板의 方向에 따라 背景과 數字의 明暗을 交替할 수 있으며 이 效果의 문지방 電壓(threshold voltage)이 2V 以下일 뿐 아니라^(H3) 이것이 完全히 電氣場效果이기 때문에 電力消耗이 μw 下이어서 電子손목時計用途로 가장 適合한 方式이다. 動作壽命도 dynamic scattering 方式에 比해서 越等하게 길 것으로 豫想된다. 이 方式에 適合한 p-type nematic 液晶을 合成하는 일과 電極表面處理方法和 適當한 偏光板物質을 選擇하여 色彩調和를 調節하고 contrast 를 높게 하는 研究가 活潑하게 進展되고 있다. 그리고 液晶分子軸이 時計針方向으로 90度 twist 해서 配列할수도 있고 反時計針方向으로 twist 할 수도 있어서 그 境界가 肉眼으로 判別되고 色彩가 均一하지 않는 수가 있다. 液晶 cell 內의 液晶分子全部가 한 方向으로 twist 되도록 하는 所謂 single domain 또는 "single crystal"로 만드는 方法도 研究課題의 하나이다.

(6) **Deformation of vertically aligned phases** 도 deformation of twisted nematic에서와 같이 電氣場效果의 하나이지만은 n-type nematic 液晶分子를 電極面에 垂直하게 配向(vertical 또는 homeotropic alignment)시킨 경우에 나타나는 效果이다⁽⁷⁾(그림 7). n-type nematic 液晶에서는 그 電氣雙極子能率が 分子軸에 垂直한 方向으로 놓여있으므로 電壓을 걸면 分子軸이 元來의 配列方向에서 기우러진다. 이 기우러지는 角度에 따라서 複屈折이 일어나고 正常光線과 異常光線의 位相差에 따라서 入射한 線偏光光線이 液晶層을 通過하는 동안에 偏光軸이 回轉하고 橢圓偏光이 되어서 나온다. 그리고 波長에 따라서 屈折率이 조금씩 다르므로 分析板을 통해서 보면 極

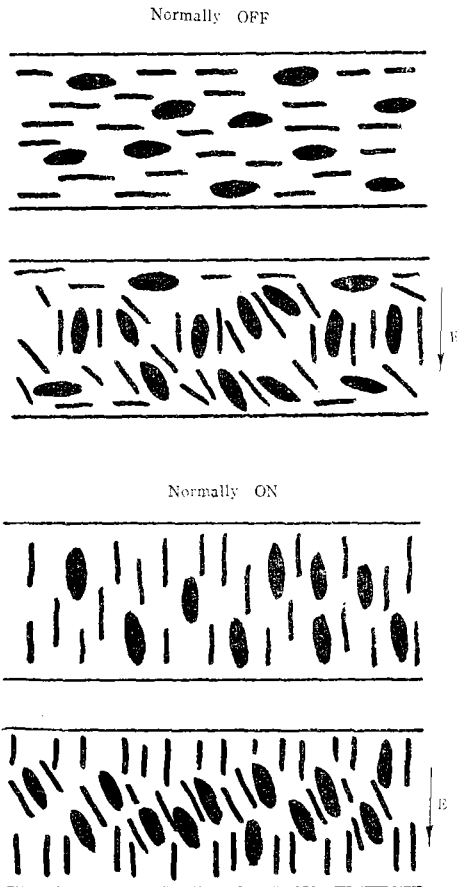


그림 5. Guest-Host Interaction.

Homogeneous (Parallel) N_p

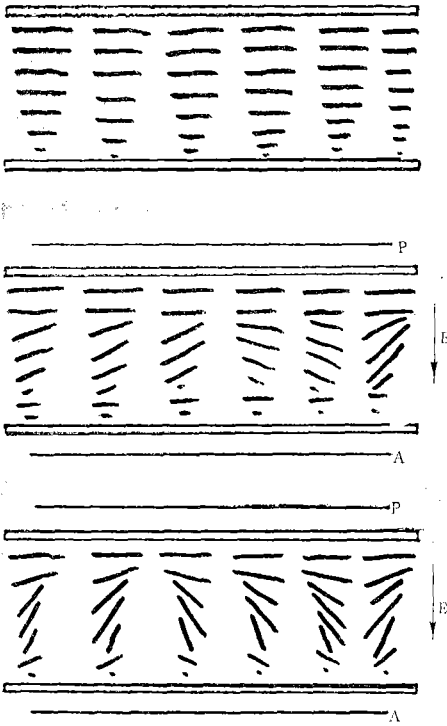


그림 6. Twisted Structure Effect.

Homeotropic (Vertical) N_n

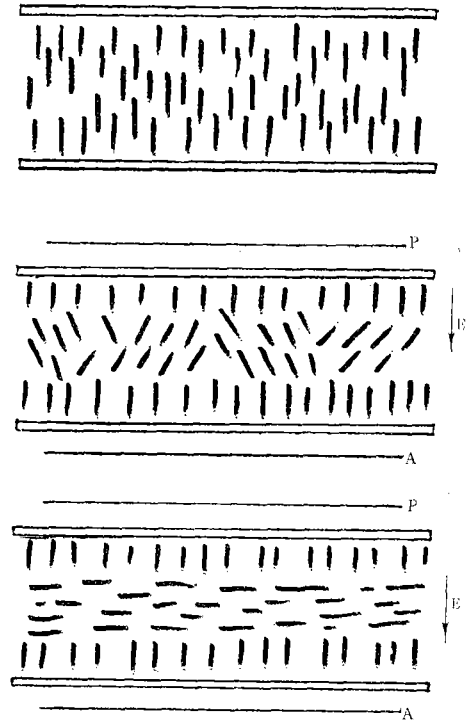


그림 7. Deformation of Aligned Phase

히 작은 電壓範圍內에서 여러가지 色彩가 차례차례로 나타난다. 各波長에 對해서 電壓에 따르는 透過光 強度를 測定한 例를 그림 8에 보인다. 이 角이 좁다는 것이 短點이다. 그리고 透過光 強度 對 電壓曲線에서 透過 peak에서는 거의 完全한 圓 偏光이 되어서 나온다^[7]. 한편 液晶 cell全體를 기우려서 線偏光이 液晶分子軸이 비스듬하게 入射하는 경우나 10 kgauss까지의 磁氣場을 걸어서 液晶分子軸을 한 方向으로 기우린 경우에도 橢圓偏光이 나타나는 것이 觀測되었다. 이와 같은 結果를 綜合하여 이 現象의 本質의 理解하는 일이 아직도 研究課題로 남아있다.

위에 列舉한 여러가지 液晶表示方式中에서 實用化에 가장 有望視되고있는 dynamic cattering, twisted nematic, deformation of vertically aligned phases의 세가지 방식에 對해서 그들의 特性을 要約해보면 表3과 같다.

이 以外에도 nematic과 cholesteric 液晶을 混合하여 記憶型 또는 情報蓄積方式으로 動作시킬

수 있다.^[7] Dynamic scattering을 이룰 수 있는 nematic 液晶에 cholesteric chloride와 같은 cholesteric 液晶을 9:1比로 混合한 物質의 層은 比較的 透明하다. 여기에 20V 以上の 直流나 낮은 周波數電壓을 걸면 dynamic scattering에서와 마찬가지로 白濁해지고 光의 散亂이 일어난다. 그러나 이 混合物에서는 電壓을 除去해도 數週日동안 이 白濁狀態가 維持된다. 이것을 지워서 다시 原狀의 透明狀態로 回復시키기 위해서는 4 kHz 50V의 電壓을 걸면된다. 이 交流電壓에 의하여 ion들은 平衡位置를 中心으로 振動한다고 液晶들이 再配列하여 秩序가 回復되므로 다시 透明해진다. 이 방식에는 記憶을 保存하는데 電力供給이 必要하지 않으며 continuous read-out가 可能하여 address 回路에 指示器로서 有用하리라고 생각된다. 反射 contrast를 現在의 7:1문지방 電壓은 4.5Vrms 近傍이며 極히 작은 電壓範圍에서 色彩가 바뀌는 것을 投影해서 보면 매우 印象的이다. MBBA와 같은 室溫液晶을 쉽게

表 3. Nematic Liquid Crystal Displays

Mode	LC	Alignment	Mechanism	Color	Voltage	Power $\mu\text{w}/\text{cm}^2$	Response Time	Viewing Angle
Dynamic Scattering	N_n	homeo. homog.	Turbulence	white	15V	100	10ms	120°
Field Effect (Polarizer)	N_n	homeo. homog.	Deformation of Medium	blackrainbow iridescence	2-25 V	10	200	30°
	N_p	homeo. homog.		various color	6V	10	10	100°

LC	Electric Dipole Moment	Organic Compounds
N_p		$\text{CPBB}-\text{C}_6\text{H}_4\text{O}-\text{COO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CN}$ ($63-106^\circ\text{C}$) $\text{HBAB}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CN}$
N_n		$\text{MBBA}-\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_6\text{H}_5$ ($39-45^\circ\text{C}$) $\text{EBPA}-\text{C}_6\text{H}_4\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_6\text{H}_5$ ($35-80^\circ\text{C}$)

入手할 수 있고 色彩效果와 contrast가 좋아서 손쉽게 實驗해볼 수 있는 方式이다. 但 色彩效果가 너무 電壓에 銳敏해서 制御하기가 어렵고 또 視에서 더 向上시키는 일이 남아있는 課題이다.

또 이러한 液晶混合物과 CdS 와 같은 光電導物質層과는 結合하여 光이 쬐인 部分만 電流가 흐르게 해서 **optical image transfer** 를 시킬 수 있다.⁽⁷⁶⁾ 이것을 또 第2의 光源으로 screen에 投影해서 보게 할수 있으며 또 microfilm의 願하는 部分만을 複寫해서 읽도록하여 master file은 恒常 待機狀態로 維持할 수 있다. 光電導物質의 感度を 높이고 複寫時間(50~100 msec)를 短縮시키는 研究가 進行되고 있다.

그리고 **cholesteric** 液晶의 pitch를 電氣場에 의해서 늘어나게 할 수 있고 200 kV/cm의 電氣場에서는 그것을 無限히 크게하여 nematic 液晶으로 바꿀 수 있다는 것도 앞으로 새로운 表示方式으로서 注目되고 있다.^(K) 이 以外에도 cholesteric 液晶에 電子 beam을 쬐었을 때 그 強度에 따라서 赤色에서 靑色으로 바뀌는 것을 利用하여 電子 beam을 色彩로 記錄하고 이것을 保存, optical readout, 그리고 電子 beam으로 지우는 方法이 研究되고 있으며, 쓰고 지우는 速度는 現在 1/30 秒까지 實現되고 있다.^(K3)

위에서 說明한 液晶 cell의 電氣光學效果中에서도 dynamic scattering, twisted nematic, deformation of vertically aligned phases 方式들이 文字數字(alphanumeric) 表示나 graphic display에 應用되고 있다.

數字表示에는 7-segment 方式이 가장 많이 쓰
To 7-SEGMENT DRIVER

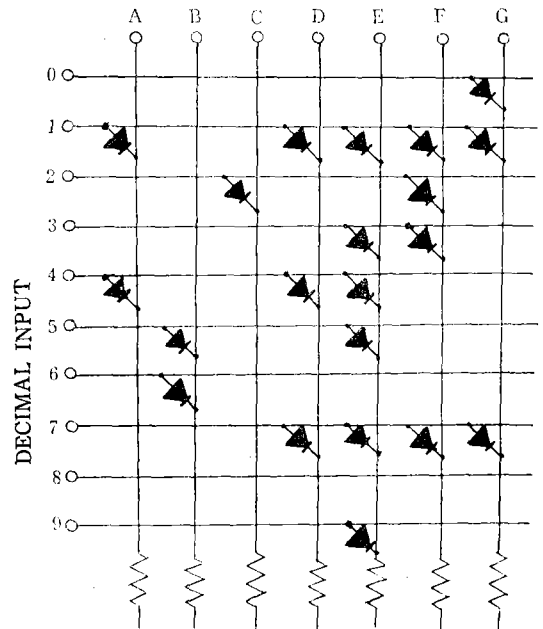


그림 10. Diode를 利用한 Decimal to 7-Segment Decoder 回路

5. 液晶 Display Cell의 驅動方式

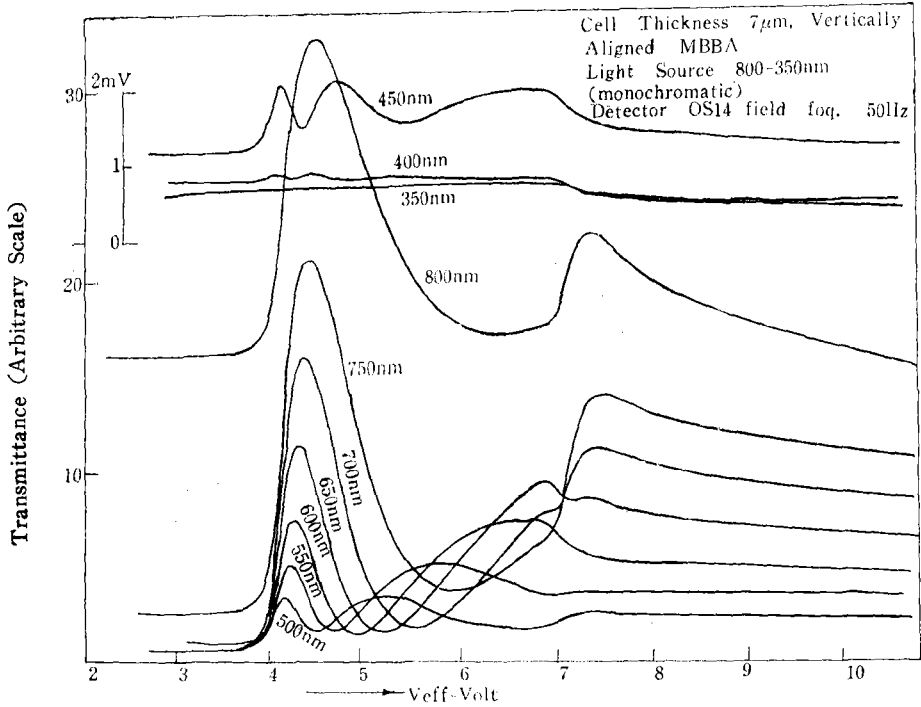


그림 8. 單色光源의 波長에 따르는 電壓 對 透過線曲線(DAP 方式 MBBA 두께 7μm)

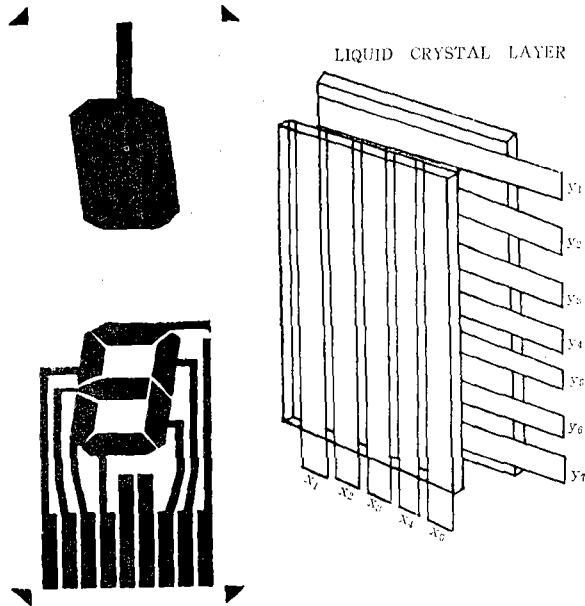


그림 9. (a) 7-Segment 方式의 Photo Mask의 例 (b) 5×7 Matrix 方式

이고 있고 文字表示를 兼할 때에는 5×7 matrix 方式이 使用된다(그림9). 7-segment 方式은 螢光表示管(Itron)이나 filament 表示管(Minitron),

LED 表示方式과 같아서 同一한 BCD-to-7segment decoder/driver나 decimal-to-7segment decoder/driver 를 使用하고 또 動作電壓에 따라

서는 따로 booster driver 回路를 붙일 必要가 있으나 거의 標準動作方式이므로 仔細한 說明은 省略한다.

Matrix 方式은 DAP 方式과 같이 문자방電壓이 뚜렷한 경우 x 軸에거는 電壓과 y 軸에 거는 電壓의 代數和가 動作電壓이 되도록 하여 그 交叉點에서만 信號가 나오도록 할수 있다. 이와 같은 驅動方式에서는 한쪽 電極은 x 軸方向의 strip, 또 하나의 電極은 軸方向의 strip로 만든다. 이 方式은 strip 數를 늘리기가 容易하므로 $N \times M$ matrix 로 얼마든지 擴張할수 있다.

液晶表示方式은 自體發光方式이 아니고 슬라이드나 印刷物과 같이 光의 透過나 散亂을 利用하는 passive display 이므로 그 電極모양設計에 따라서 display pattern 의 design 이 매우 flexible

하여 여러가지 **graphic display** 에도 매우 有用하다. 特히 周圍가 밝을수록 contrast 가 좋아진다는 點이 다른 自體發光方式과 判異한 點이며 슬라이드처럼 映寫幕에 投影해서 display 할수 있다는 點은 液晶表示方式의 特異한 應用方途로서 그 活用展望이 매우 밝다.

液晶表示方式은 電力消耗가 작다는 特徵때문에 數字式電子손목時計나 電池式 携帶用電算機나 携帶用數字式計測器에의 實用化가 急速度로 進展되고 있다. 그리고 그 色彩效果와 pattern 의 모양이나 크기之 design flexibility, 投影用 display 로서의 有用性때문에 電子廣告板이나 電子揭示板과 같은 large screen display 로 널리 普及되리라고 생각된다.

Diode array 나 IC 를 利用한 液晶數字表示方

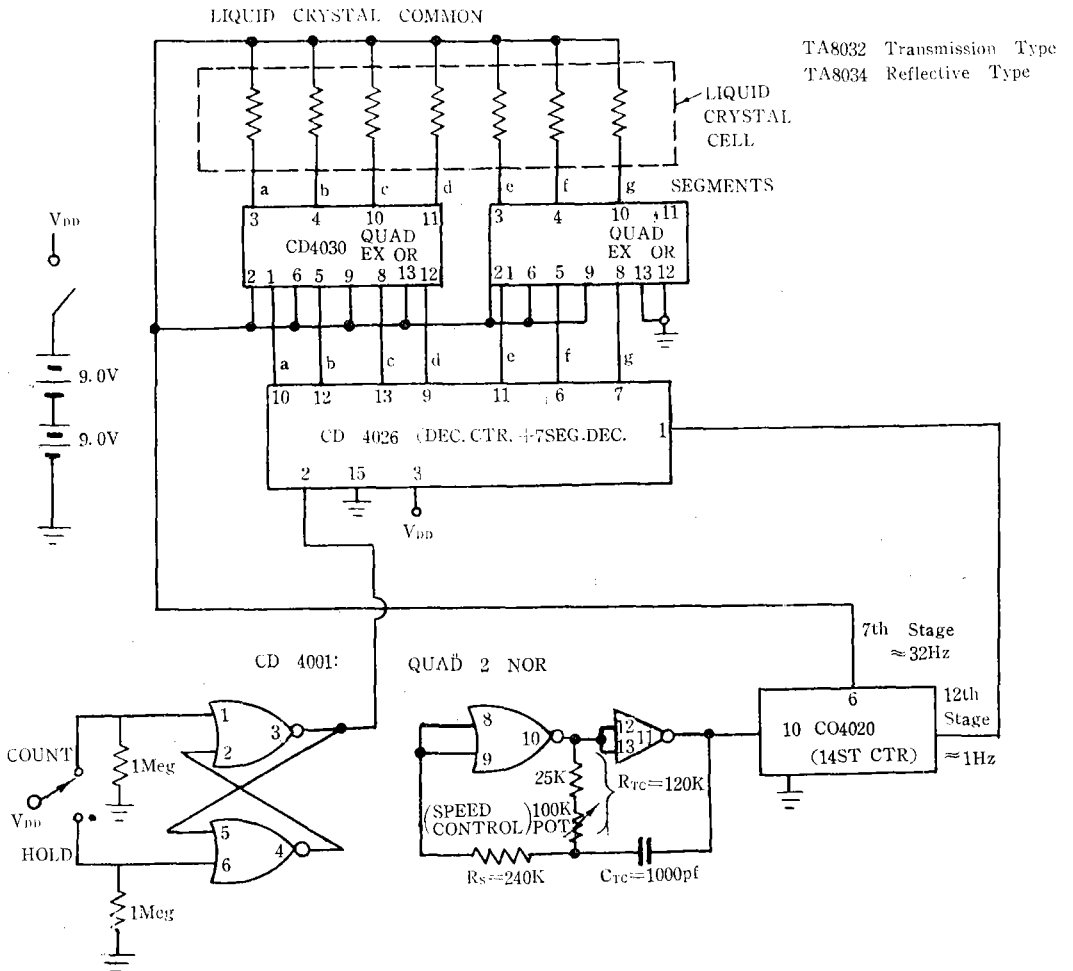


그림 11. Single Character Liquid Crystal Display 回路(RCA 方式)

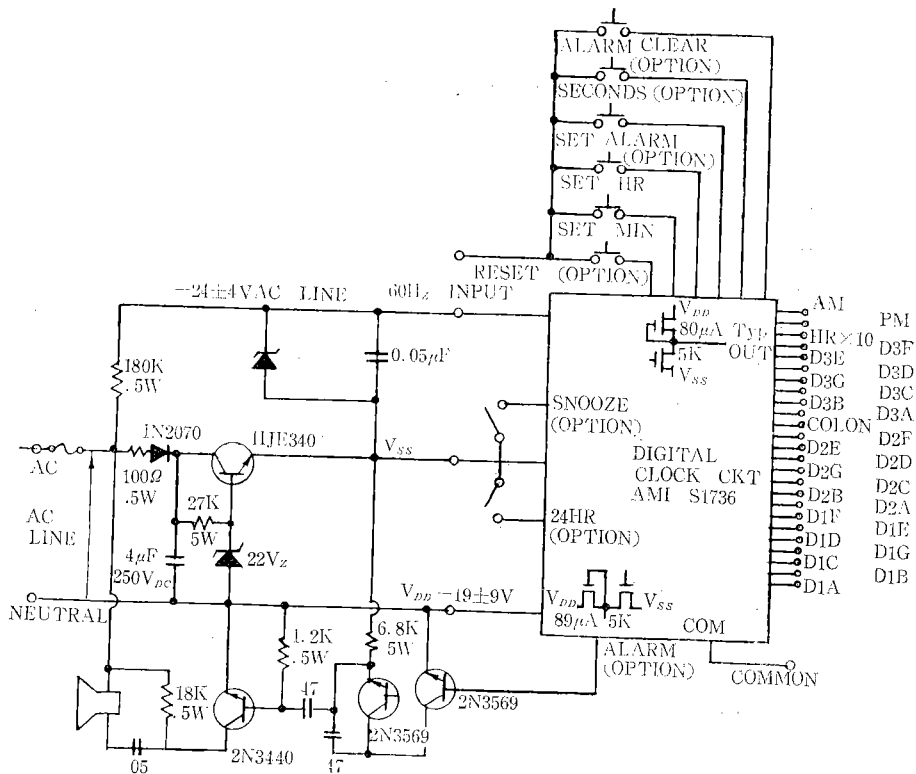


그림 12. AMI Digital Clock Circuit LSI 를 이용한 General Purpose Alarm Clock 回路

式과 LSI 를 이용한 電子時計의 電子回路構成의 例를 各各 그림 10, 11, 12에 보인다.

6. 앞으로의 研究課題

以上으로 여러가지 段階에서 實用化가 推進되고 있는 液晶表示方式에 對해서 그 効用性에 重點을 두고 說明해 보았다. 앞으로의 研究課題로서는 液晶分子의 構造와 電氣光學의 性質과의 關係를 理解함으로써 (1) 새로운 液晶物質을 開發하고 또 (2) response time, 色彩 contrast, 動作電壓과 같은 動作特性을 改善하는 添加物質의 研究, 또 製造技術面에 있어서 (3) 電極表面處理

技術과 (4) 密封物質과 密封方式의 改良에 의한 動作壽命과 信賴度の 向上이 繼續研究 되어야 하겠고 또 한편으로는 (5) 現行各方式의 動作機構를 더 徹底하게 理解하여 (6) 새로운 動作方式의 探究가 繼續되어야 할 것이다. 특히 (7) 交流電氣場內에서의 液晶分子의 應答과 緩和現象의 理解는 重要한 研究課題로 남아 있다.

끝으로 本研究室에서 液晶研究에 着手할 수 있도록 研究費를 支援해준 蓮庵文化財團에 眞心으로 感謝드리고 液晶物質을 合成해준 本研究所 有機合成研究室 蔡永福博士팀에 謝意를 表하는 바이다.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

液晶文獻一覽

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

1. 綜合解説

A. 單行本

- (1) G. W. Gray: "Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals," Academic Press, New York, 1962.
- (2) Liquid Crystal Institute, Kent State University: "Proceedings, First International Conference on Liquid Crystals," Gordon Breach Science Publishers, New York and London, 1965.
- (3) I. G. Chistyakov: "Liquid Crystals." Nauka Press, Moscow, 1966.
- (4) G. H. Brown et al.: "Liquid Crystals," Gordon Breach Science Publishers, New York, 1967.
- (5) Liquid Crystal Institute, Kent State University: "Proceedings, Second International Liquid Crystal Conference," Gordon Breach Science Publisher, New York and London, 1968.
- (6) G. H. Heilmeyer, L. A. Zannoni, and J. E. Goldmacher: "Liquid Crystals and Ordered Fluids," Plenum Press, New York, 1970.
- (7) 小林駿介: "液晶その性質と應用," 日刊工業新聞社, 東京, 1970.
- (8) Society for Information Display: "Digest of Technical Papers, 1972 SID International Symposium." Lewis Winner, New York, 1972.
- (9) 岩柳茂夫・岡野光治・龜井裕孟 責任編集: "物理學論文選集 180 液晶," 日本物理學會 1972.
- (10) Society for Information Display: "Digest of Technical Papers, 1973 SID International Symposium." Lewis Winner, New York, 1973.

B. 液晶表示方式 解説

- (1) 野村彰: "液晶の基礎物性と その應用," 物性 **10**(7), 385-395(1969).
- (2) J. L. Ferguson, T. R. Taylor, and T. B. Harsh: "Liquid Crystals and Their Applications," Electro-Technology (1970. 1).
- (3) G. H. Heilmeyer: "Liquid-Crystal Display Devices," Scientific American **222**(4), 100-106 (1970. 4).
- (4) J. A. Castellano: "Now that the heat is off, liquid crystals can show their colors everywhere," Electronics **43**(14), 64-70(1970. 7. 6).
- (5) G. H. Brown: "Liquid Crystals Draw Intense Interest," Chemical Engineering News, Nov. 1, 1971, pp. 20-24.
- (6) E. Stepke: "Liquid Crystals: Perspectives, Prospects, and Products," Electro-Optical Systems Design, Feb. 1972, pp. 20-31.
- (7) P. Franson: "Liquid crystals begin to turn on," Electronics **45**(10), 73-76(1972. 5. 8).
- (8) G. R. Luckhurst: "Liquid Crystals," Phys. Bulletin **23**, 279-284(1972. 5).
- (9) R. W. Curtler and C. Maze: "Liquid Crystal Displays," IEEE Spectrum **9**(11), 25-29(1972. 11).
- (10) 小林駿介: "液晶の應用," 表面 **9**(8), 499-504(1972).
- (11) 小林駿介: "Nematic 液晶の Display Device への Technology Transfer," エレクトロニクス, 昭和 48年 4月號, 446-450(1973).
- (12) S. E. B. Petrie, H. K. Bücher, R. T. Klingbiel, and P. I. Rose: "Aspects of Physical Properties and Application of Liquid Crystals," Eastman Organic Chemical Bulletin **45**(2), 1-10(1973).

C. 液晶物質の化學

- (1) A. Saupe: "Recent Results in the Field of Liquid Crystals," Angew. Chem. Internat. Edit.

- 7(2), 97-112(1968).
- (2) J. A. Castellano et al.: "Liquid Crystals. II--Effects of Terminal Group Substitution on the Mesomorphic Behavior of Some Benzylideneaniline" J. Org. Chem. **33**, 3501(1968).
 - (3) G. H. Brown: "Liquid Crystals and Some of Their Applications in Chemistry," Analytical Chemistry **41**(13), 26A-39A(1969. 11).
 - (4) M. B. Girsdansky: "Low-Temperature Nematic Liquid Crystals Synthesized," IBM Research Notes **1**(11), 1-2(1971).
 - (5) W. R. Young and A. Aviram: "Stilbene Derivatives: A New Class of Room Temperature Nematic Liquids," IBM Research RC 3559, Sept. 30, 1971.
 - (6) H. Kelker and B. Scheurle: "A Liquid-Crystalline(Nematic) Phase with a Particularly Low Solidification Point," Angew. Chem. Int. Ed. English **8**, 884(1969).
 - (7) J. A. Castellano: "Liquid Crystals for Electro-Optical Applications," RCA Review **33**, 296-310(1972. 3).
 - (8) 金雲燮·蔡永福·全武植·金宜洛: "Liquid Crystal MBBA 와 EBBA 의 합성과 NMR 및 HET Conformation Analysis," 大韓化學會 第30回年會 研究發表(1972. 11).
 - (9) J. P. Van Meter: "Chemistry of Liquid Crystals," Eastman Organic Chemical Bulletin, **45**(1), 1-8(1973).
 - (10) Eastman Kodak Informational JJ-15. "Bibliography of Liquid Crystals in Nuclear Magnetic Resonance(NMR) (1969. 6).
 - (11) Eastman Kodak Informational JJ-14 on Liquid Crystal Compounds (1971. 3).
 - (12) Princeton Organics: Ultra-pure Organic Reagents and Single Crystals Catalog (1973. 1).
 - (13) Liquid Crystal Industries, Inc.: Liquid Crystal Catalog (1972).

2. 研究論文

D. Domain Formation

- (1) R. Williams: "Domains in Liquid Crystals," J. Chem. Phys. **39**(2), 384-388(1963).
- (2) G. H. Heilmeyer: "Transient Behavior of Domains in Liquid Crystals," J. Chem. Phys. **44**(2), 644-647(1968).
- (3) W. Helfrich: "Conduction-Induced Alignment of Nematic Liquid Crystals: Basic Model and Stability Considerations," J. Chem. Phys. **51**(9), 4092-4105(1969. 11).
- (4) W. Helfrich: "Orientation Pattern of Domains in Nematic p-Azoxyanisole," J. Chem. Phys. **51**, 2755-56 (1969).
- (5) P. A. Penz: "Voltage-Induced Vorticity and Optical Focusing in Liquid Crystals," Phys. Rev. Letters **24**(25), 1405-1409(1970. 6).
- (6) Orsay Liquid Crystal Group: "Hydrodynamic Instabilities in Nematic Liquids under ac Electric Fields," Phys. Rev. Letters **25**(24), 1642-43(1970. 12).
- (7) E. W. Aslaksen and B. Ineichen: "Two-Dimensional Order in a Nematic Liquid Crystal Sample near Threshold for Dynamic Scattering," J. Appl. Phys. **42**, 882(1971).
- (8) S. Lu and D. Jones: "Light Diffraction Phenomena in an ac-Excited Nematic Liquid-Crystal Sample," J. Appl. Phys. **42**, 2138-40(1971).
- (9) R. A. Kashnow and H. S. Cole: "Electrohydrodynamic Instabilities in a High-Purity Nematic Liquid Crystal," J. Appl. Phys. **42**, 2134-35(1971).
- (10) G. Assouline, A. Dmitrieff, M. Hareng, and E. Leiba: "Scattering of Light by Nematic Liquid Crystals," J. Appl. Phys. **42**, 2567-69(1971).
- (11) G. H. Connors and K. B. Paxton: "Oscillation Modes of Nematic Liquid Crystals," J. Appl.

Phys. **43**(7), 2959-64(1972. 7).

- (12) R. A. Kashnow and J. E. Bigelow: "A Nematic Liquid Crystal as a Phase Grating of Electrically Variable Spatial Frequency," 1972 SID Technical Papers, pp. 96-97(1972).

E. Dynamic Scattering

- (1) G. H. Heilmeyer, L. A. Zanoni, and L. A. Barton: "Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals", Proc. IEEE **56**(7), 1162-71(1968. 7).
- (2) C. Deutsch and P. N. Keating: "Scattering of Coherent Light from Nematic Liquid Crystals in the Dynamic Scattering Mode," J. Appl. Phys. **40**(10), 4049-54(1969. 9).
- (3) G. H. Heilmeyer, L. A. Zanoni, and L. A. Barton: "Further Studies of the Dynamic Scattering Mode in Nematic Liquid Crystals," IEEE Trans. on Electron Devices ED-**17**(1), 22-26(1970. 1).
- (4) D. Jones, L. Creagh, and S. Lu: "Dynamic Scattering in Room-Temperature Nematic Liquid Crystals," Appl. Phys. Letters **16**, 61(1970).
- (5) S. Lu and D. Jones: "Electric Field Distribution Associated with Dynamic Scattering in Nematic Liquid Crystals," Appl. Phys. Letters **16**, 484(1970).
- (6) G. Assouline, M. Hareng, and E. Leiba: "Electrical Measurements in Nematic Liquid Crystals," IEEE Trans. on Electron Devices ED-**18**(10), 959-64(1971. 10).
- (7) C. R. Stein and R. A. Kashnow: "A Two-Frequency Coincidence Addressing Scheme for Nematic-Liquid-Crystal Displays," Appl. Phys. Letters **19**(9), 343-345(1971. 11).
- (8) F. E. Wargoeki and A. E. Lord, Jr.: "Variation of dc Domain Threshold in a Nematic Liquid Crystal under Continual Dynamic Scattering," J. Appl. Phys. **44**(1), 531(1973. 1).

F. Guest-Host Interaction

- (1) G. H. Heilmeyer and L. A. Zanoni: "Guest-Host Interaction in Nematic Liquid Crystals: A New Electro-Optic Effect" Appl. Phys. Letters **13**, 91(1968).
- (2) G. H. Heilmeyer, J. A. Castellano, and L. A. Zanoni: "Guest-Host Interactions in Nematic Liquid Crystals," Mol. Cryst. Liquid Cryst. **8**, 295(1969).

G. Fast Turn-Off Mode

- (1) G. H. Heilmeyer and W. Helfrich: "Orientational Oscillations in Nematic Liquid Crystals," Appl. Phys. Letters **16**(4), 155-157(1970. 2).

H. Twisted Structure Effect

- (1) M. Schadt and W. Helfrich: "Voltage-Dependent Optical Activity of a Twisted Nematic Liquid Crystal," Appl. Phys. Letters **18**(4) 127-128(1971. 9)
- (2) C. J. Gerritsma, W. H. De Jeu, and P. Van Zanten: "Distortion of a Twisted Nematic Liquid Crystal by a Magnetic Field," Phys. Letters **36A**, 389-90(1971. 9).
- (3) A. Boller, H. Scherrer: M. Schadt and P. Wild: "New Electro-optic Threshold in New Liquid Crystals," Proc. IEEE **60**(8), 1002-1003(1972. 8).
- (4) D. Jones and S. Lu: "Field Effect Liquid Crystal Display Devices", 1972 SID Technical Papers, pp. 100-101(1972).

I. Deformation of Vertically Aligned Phases

- (1) W. Haas, J. Adams, and J. B. Flannery: "New Electro-Optic Effects in a Room-Temperature Liquid Crystal," Phys. Rev. Letters **25**(19), 1326-27(1970. 11).
- (2) H. Mailer, K. L. Linkins, T. R. Taylor, and J. L. Ferguson: "Effect of Ultrasound on a Nematic Liquid Crystal," Appl. Phys. Letters **18**(4) 105-107(1971. 2).
- (3) M. F. Schiekkel and K. Fahrenschon: "Deformation of Nematic Liquid Crystals with Vertical Orientation in Electric Fields," Appl. Phys. Letters **19**(10), 391-393(1971. 11).

- (4) F. J. Kahn: "Electric-Field-Induced Orientational Deformation of Nematic Liquid Crystals: Tunable Birefringence," *Appl. Phys. Letters* **20**(5), 199-201(1972. 3).
- (5) I. Haller: "Elastic Constants of the Nematic Liquid Crystalline Phase of p-Methoxybenzylidene-p-n-Butylaniline (MBBA)," *J. Chem. Phys.* **57**(4), 1400-1405(1972. 8).
- (6) M. F. Schiekel and K. Fahrenschon: "Multicolor Matrix-Displays Based on the Deformation of Vertically Aligned Nematic Liquid Crystal Phases," 1972 SID Technical Papers, pp. 98-99 (1972).
- (7) W. Jung, K.N. Kang, Y.B. Chae, and Q.W. Choi: "Electro-Optical Rotation of Vertically Aligned Nematic Liquid Crystal Layers," 韓國物理學會 第26回 總會 研究發表: to be presented at 1973 Internat. Conf. on Solid State Devices, Tokyo, Japan, August, 1973.

J. Nematic-Cholesteric Mixtures

- (1) G.H. Heilmeyer and J E Goldmacher: "A New Electric Field Controlled Reflective Optical Storage Effect in Mixed Liquid Crystal Systems," *Proc. IEEE* **57**(1), 24-38(1969. 1).
- (2) W. Haas, J. Adams, and J.B. Flannery: "ac-Field-Induced Grandjean Plane Texture in Mixtures of Room-Temperature Nematic and Cholesterics," *Phys. Rev. Letters* **24**(11), 577-578(1970. 3).
- (3) T.D. Beard, W.P. Bleha, Jr., M. Braunstein, A.D. Jacobson, J.D. Margerum, and S.Y. Wong: "Real-time and Reversible Stored Imaging with Photo-activated Liquid Crystal Cells with Applications for Optical Data Processing and Large Screen Displays," *IEEE Papers* (Presented at Internat. Electron Devices Meeting, Washington, D.C.) October, 1971.
- (4) P.J. Wild and J. Nehring: "Turn-on Time Reduction and Contrast Enhancement in Matrix-Addressed Liquid Crystal Light Valves," *Appl. Phys. Letters* **19**(9), 335-336(1971.11).
- (5) W. Haas, J. Adams, and G. Dir: "Optical Storage in Mixtures of Nematics and Non-Mesomorphic, Optically-Active Compounds," 1972 SID Technical Papers, pp.94-95 (1972).
- (6) A.D. Jacobson: "Photoactivated Liquid Crystal Light Valves," 1972 SID Technical Papers, pp. 70-71(1972).
- (7) S. Sato and M. Wada: "Molecular Orientation Effects in Compensated Liquid Crystals," *Japan. J. Appl. Phys.* **11**(10), 1566-70(1972. 10).

K. Cholesteric Liquid Crystals

- (1) E. Sackmann, S. Meiboom, and L. Snyder: "On the Relation of Nematic to Cholesteric Mesophases," *J. Am. Chem. Soc.* **89**, 5981(1967).
- (2) J.J. Wysocki, J. Adams, and W. Haas: "Electric-Field-Induced Phase Change in Cholesteric Liquid Crystals," *Phys. Rev. Letters* **20**(19), 1024-25(1968. 5).
- (3) J.R. Hansen and R.J. Schneeberger: "Liquid Crystal Media for Electron Beam Recording," *IEEE Trans. on Electron Devices* **ED-15**(11), 896-906(1968. 11).
- (4) R. Meyer: "Effects of Electric and Magnetic Fields on the Structure of Cholesteric Liquid Crystals," *Appl. Phys. Letters* **12**, 281(1968).
- (5) G.H. Conners: "Electromagnetic Wave Propagation in Cholesteric Materials," *J. Opt. Soc. Amer.* **59**(7), 875-79(1968).
- (6) F.J. Kahn: "Electric-Field-Induced Color Changes and Pitch Dilation in Cholesteric Liquid Crystals," *Phys. Rev. Letters* **24**, 209(1970).
- (7) W. Helfrich: "Deformation of Cholesteric Liquid Crystals with Low Threshold Voltage," *Appl. Phys. Letters* **17**, 531(1970).
- (8) F.J. Kahn: "Cholesteric Liquid Crystals for Optical Applications," *Appl. Phys. Letters* **18**

- (6), 231-33(1971. 3).
- (9) J. Adams, W. Haas, and J. Dailey: "Cholesteric Film as Optical Filter," J. Appl. Phys. **42** (10), 4096-98(1971. 9).
- (10) F.J. Kahn and J.T. Lamacchia: "The Cholophor: A Passive Polarization-Switched Liquid Crystal Screen for Multicolor Laser Displays," IEEE Trans. on Electron Devces ED-**18**(9), 733-38(1971. 9).
- (11) A. S. Marathay: "Matrix-Operator Description of the Propagation of Polarized Light Through Cholesteric Liquid Crystals," J. Opt. Soc. Amer. **61**(10), 1363-72(1971. 10).

L. Molecular Alignment

- (1) D. T. Teaney and A. Migliori: "Current and Magnetic-Field-Induced Order and Disorder in Ordered Nematic Liquid Crystals," J. Appl. Phys. **41**(3), 998-99(1970. 3).
- (2) 倉橋敬三・佐々木昭夫・高木俊宜: "電解質による液晶の電氣光學効果の改善," 昭和 47年 電氣關係分會 關西支部連合大會抄録(1972).
- (3) S. Kobayashi: "Preparation of Alphanumeric Indicators with Liquid Crystals," 1972 SID Technical Papers, pp. 68-69(1972).
- (4) L. T. Creagh and A. R. Kmetz: "Performance Advantages of Liquid Crystal Displays with Sufactant- Produced Homogeneous Alignment," 1972 SID Technical Papers, pp. 90-91(1972).
- (5) S. Aftergut and H. S. Cole: "Effect of Boundary Conditions on the Performance of Nematic Liquid Crystal Displays," 1972 SID Technical Papers, pp. 92-93(1972).
- (6) T. Uchida, H. Watanable, and M. Wada: "Molecular Arrangement of Nematic Liquid Crystals," Japan. J. Appl. Phys. **11**(10), 1559-65(1972. 10).