

BATA LAJOS\*  
ÉBER NÁNDOR\*

## Bevezetés

A 60-as évek végén mutattak rá, hogy a folyadékkristályok, a szerves anyagok különleges szerkezettel és tulajdonságokkal rendelkező csoportja, felhasználhatók az optoelektronikában kis feszültséggel működő, kis fogyasztású kijelzők készítésére. Minthogy e kijelzőknek a hordozható elektronikus eszközökben ma már szinte nincs versenytársa, új iparág alapjai teremtődtek meg és a folyadékkristályok megindultak hódító útjukra a technikában. Manapság a vegyészek, fizikusok, biológusok és fejlesztőmérnökök szoros együttműködése eredményeképpen a folyadékkristályok felhasználására egyre újabb lehetőségek nyílnak meg, mégis a kutatások fő hajtóerejét ma is a kijelzőtechnika igényei jelentik.

A Magyar Kémikusok Lapjában a közelmúltban megjelent két közleményben [1, 2] illusztráltuk, hogy az új folyadékkristályok előállítását és vizsgálatát hogyan motiválják az alkalmazások támasztotta követelmények.

Közleményünkben az egyes folyadékkristály fázisok jellegzetességeinek ismertetésére nem térünk ki (ez a szakirodalomban [1, 3–5] megtalálható), ellenben szeretnénk példák segítségével részletesebben bemutatni a folyadékkristályok főbb alkalmazási területeit, hangsúlyozva az utolsó évtizedben elért eredményeket.

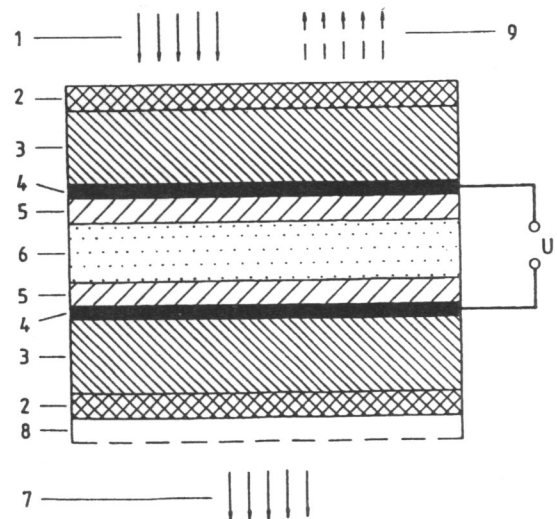
## Folyadékkristályok az elektronikában

### A folyadékkristály kijelzők

A folyadékkristály kijelző (LCD, liquid crystal display) olyan eszköz, mely elektromos feszültség hatására megváltoztatja fényáteresztő (vagy fényvisszaverő) képességét [6]. Tipikus felépítését az 1. ábra mutatja.

A kijelzőcellában a folyadékkristály két, átlátszó elektrodával és orientáló bevonattal ellátott üveglap között található, 1,5–15  $\mu\text{m}$  vastagságú réteg formájában. Az orientáló rétegek biztosítják a cella feszültségmentes állapotában a homogén direktoreloszlást. Ha a direktor a felülettel párhuzamos irányban áll, *planáris orientációról*, ha arra merőlegesen, akkor pedig *homeotróp orientációról* beszélünk.

A folyadékkristályra jellemző küszöbértéket meghaladó feszültség hatására a direktor iránya a minta belsejében megváltozik, a cella bekapcsol. A feszültség megszűnésekor a rugalmas forgatónyomatékok hatására visszaáll a felületi orientációnak megfelelő (kikapcsolt) alapállapot. A cella optikai tulajdonságainak a direktor elfordulásával együttjáró megváltozását általában a cella elé és mögé elhelyezett (az üveglapokra felragasztott) polarizátor-fóliák teszik láthatóvá. Ha a kilépő oldali polarizátor mögé tükröző felületet (pl. alumínium-



1. ábra. Folyadékkristály-kijelző tipikus felépítése

1 megvilágító fény; 2 polarizátor-fólia; 3 üveglap; 4 átlátszó elektróda; 5 orientáló bevonat; 6 folyadékkristály; 7 átengedett fény; 8 tükröző felület (reflexió típusnál); 9 visszavert fény; U meghajtó feszültség

fóliát teszünk, a kijelző reflexió üzem módban működhet, vagyis a visszavert fény intenzitása függ a feszültségtől.

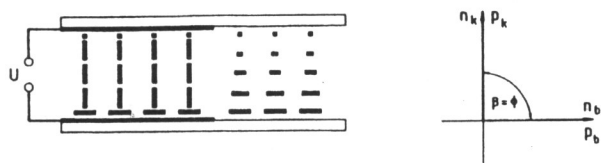
A fenti általános működési elvet különböző cellegeometriákban, eltérő tulajdonságú folyadékkristályanyagok és elektrooptikai jelenségek felhasználásával lehet megvalósítani [6–24]. Közülük itt csak a legelterjedtebb csavart nematikus, illetve az újabb fejlesztésekkel foglalkozunk, amelyeket az 1. táblázatban foglalunk össze.

*A csavart nematikus kijelző — a karórák kijelzője.* A csavart nematikus (TN, twisted nematic) kijelző [6–8] felépítése az 1. ábrán bemutatottak felel meg. Az orientáló rétegek planáris orientációt biztosítanak, de a direktor iránya a két felületen egymáshoz képest 90 fokkal elfordítva áll. A polarizátor fóliákat mindkét felületen úgy állítjuk be, hogy csak a direktorral párhuzamos polarizációjú fényt engedjék át (2. ábra). Kikapcsolt állapotban a felületi orientáció miatt a folyadékkristály rétegben a direktor 90°-kal elfordul és eközben az anyagba belépő fény polarizációsíkját magával forgatja, így a kilépő polarizátoron a teljes fényintenzitás átmehet. Bekapcsolt állapotban az elektromos tér a pozitív dielektromos anizotrópiájú nematikus folyadékkristály direktorát a felületekre merőleges irányba forgatja. Ezáltal a fény polarizációsíkjának elfordulása megszűnik, így a kilépő polarizátoron fény már nem juthat át. Alacsony küszöbfeszültsége (1–2 V), jó kontrasztja és a kijelzőparamétereknek a cellavastagság változásával szemben mutatott érzéketlensége eredményeképpen e kijelzési mód ma gyakorlatilag egyeduralgó a kis felbontású (pl. a hétszempenses, azaz hét egymástól függetlenül vezérelhető szegmensre osztott elektródú) folyadékkristály ki-

\* MTA KFKI Szilárdtestfizikai Kutató Intézet, Budapest

## Folyadékkristály kijelzők típusai és főbb jellemzőik

Folyadékkristály kijelző típusa	Év	Fázis	Optikai effektus	Orientáció	Vastagság	Optikai úthossz	Polari-zátorok	$U = 0$ állapot	$U > U_k$ állapot	Dielektromos anizotrópia
Csavart nematikus (TN) [7,8]	1971	$N$	polarizáció forgatás	planáris $90^\circ$ csavar	6–10 $\mu\text{m}$	0,48 $\mu\text{m}$ 1,09 $\mu\text{m}$	$0^\circ, 90^\circ$ ( $0^\circ, 0^\circ$ )	fehér (fekete)	fekete (fehér)	$\Delta\epsilon > 0$
Supertwist (SBE) [8,10]	1984	$N^*$	kettőstörés	kissé dőlt $270^\circ$ csavar	$\sim 5 \mu\text{m}$	0,9 $\mu\text{m}$	$-30^\circ, 30^\circ$	sárgás (kékes)	fekete (fehér)	$\Delta\epsilon > 0$
Supertwist (STN) [8,11]	1986	$N^*$	kettőstörés	planáris $180^\circ$ csavar	$\sim 5 \mu\text{m}$	0,95 $\mu\text{m}$	$45^\circ, 45^\circ$	sötét	világos	$\Delta\epsilon > 0$
Supertwist (OMI) [8,12]	1987	$N^*$	kettőstörés	planáris $180^\circ$ csavar	$\sim 5 \mu\text{m}$	0,5 $\mu\text{m}$	$0^\circ, 90^\circ$	fehér	fekete	$\Delta\epsilon > 0$
Kétrétegű supertwist (DSTN) [8,13]	1987	$N^*$	kettőstörés	2 planáris $\pm 270^\circ$ csavar	$2 \times \sim 5 \mu\text{m}$	0 $\mu\text{m}$	$0^\circ, 90^\circ$	fekete	fehér	$\Delta\epsilon > 0$
Ferroelektromos (SSFLC) [15,16]	1980	$SmC^*$	kettőstörés	planáris	1,3–2,6 $\mu\text{m}$	0,26 $\mu\text{m}$	$0^\circ, 90^\circ$	$U < 0$ sötét	$U > 0$ világos	$P_s$
Antiferroelektromos (AFLC) [18]	1990	$SmC_A^*$	kettőstörés	planáris			$0^\circ, 90^\circ$	sötét	világos	
Polimer diszperz (PDLC) [19,20]	1986	$N$	fényszórás	cseppek polimerben	$\sim 20 \mu\text{m}$		nincs	fényszóró	átlátszó	$\Delta\epsilon > 0$
Királis smektikus $A^*$ (EC) [22]	1987	$SmA^*$	kettőstörés	planáris			$-22,5^\circ$ $77,5^\circ$	fénymodulátor		



2. ábra. Csavart nematikus kijelző direktoreloszlása bekapcsolt és feszültségmentes állapotban (baloldalt); a kijelző optikai vázlatja (jobbaldalt)

$U$  meghajtott feszültség,  $n_b$  és  $p_b$  a direktor, ill. a fénypolarizáció iránya a belépő oldalon;  $n_k$  és  $p_k$  a direktor, ill. a fénypolarizáció iránya a kilépő oldalon;  $\beta$  a polarizátorok szöge ( $\beta = 90^\circ$ );  $\phi$  a direktor csavarodási szöge ( $\phi = 90^\circ$ )

jelzők (pl. órák, kalkulátorok, kéziműszerek megjelenítői) piacán.

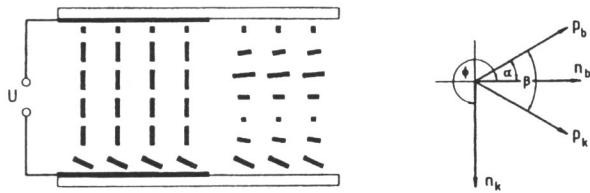
**Aktív mátrixkijelzők — a zsebitelevíziók képernyői.** Már az első folyadékkristály kijelzők megjelenésekor felmerült az ötlet, hogy segítségükkel a lapos televízióképernyő is megvalósíthatóvá válhat. Élvezhető tv kép megjelenítéséhez legalább  $200 \times 300$  (de inkább több) képelemből álló mátrixkijelzőt kell készíteni. Mivel e kijelzőkben a képelemek egyedi vezérlése a szükséges kivezetések nagy száma miatt megoldhatatlan, a képelemek elektródjait az egyik határoló lapon soronként, a másikon oszloponként összekötik. Egy képelem be-, ill. kikapcsolása a hozzá tartozó sor és oszlop kivezetésekre egyidejűleg adott alkalmas feszültséggel történhet. Így módon viszont a teljes kijelző vezérlése csak időosztásos alapon, soronkénti letapogatással oldható meg.

E multiplex vezérlés lényegéből adódik, hogy egy képelem mind a kikapcsolt, mind a bekapcsolt állapotban feszültség alatt van, e feszültségek különbsége pedig fordítottan arányos a multiplexelt sorok számával. A kijelző csak akkor használható, ha a ki-, ill. a bekapcsolt állapotok között elég nagy a kontraszt. Közöséges csavart nematikus multiplex kijelzővel ez nem teljesíthető, mert

a küszöbfeszültség felett a cella fényáteresztőképessége a feszültséggel csak lassan változik.

A megoldást a folyadékkristály technológiák összeházasítása hozta. Az egyik üveglapra felvitt félvezető rétegbe minden képelem alá egy tranzisztort (vagy diódát) integrálhatunk a hozzá tartozó multiplex vezérlő elektronikával együtt. A félvezető kapcsolóelem (a cella egyik elektródja) már lehetővé teszi a folyadékkristály közvetlen vezérlését és a csavart nematikus kijelzési mód alkalmazását. A manapság kapható (színes) folyadékkristály zsebitelevíziók (6–16 cm képátló) szinte kivétel nélkül ezen aktív mátrix technológiát használják [9]. Sajnos e bonyolult és drága technológia költségei a képernyő méretének növelésével hatványozottan emelkednek.

**Supertwist kijelzők — a lap-top számítógépek képernyői.** A folyadékkristály kijelzők multiplex lehetőségét a fényáteresztés-feszültség karakterisztika meredekségének növelésével nagymértékben javíthatjuk. A supertwist kijelzőkben [8, 10–12] ezt a direktor felületek közötti csavarodási szögének  $90^\circ$ -ról  $180^\circ$ – $270^\circ$ -ra növelésével érték el. Pusztán felületi orientáció segítségével ilyen nagy csavarodási szögeket nematikus folyadékkristályokban nem lehet létrehozni (pl. párhuzamosan orientált felületek esetén  $180^\circ$  csavar helyett csavarmentes direktoreloszlást kapnánk), ezért e kijelzőkben kolesterikus ( $N^*$ ) folyadékkristályokat kell alkalmazni, melyek csavarállandója illeszkedik a mintavastagsághoz és a megkívánt csavarodási szöghöz. Mivel a csavart nematikus kijelzőkhöz képest nagyobb csavarodási szög következtében a direktor deformáció karakterisztikus távolsága lecsökken, a cellában a fényterjedési viszonyok sokkal bonyolultabbá válnak (lineáris helyett elliptikusan polarizált sajátmódusok). A cella fényáteresztőképességét a kettőstörés következtében a kilépő oldali polarizátorban fellépő fényinterferencia határozza meg. Meg-



3. ábra. Supertwist kijelző direktoreloszlása bekapcsolt és feszültségmentes állapotban (baloldalt); a kijelző optikai vázlata (jobbaldalt)

$U$  meghajtó feszültség,  $n_b$  és  $p_b$  a direktor, ill. a fénypolarizáció iránya a belépő oldalon;  $n_k$  és  $p_k$  a direktor, ill. a fénypolarizáció iránya a kilépő oldalon;  $\beta$  a polarizátorok szöge ( $\beta = 60^\circ$ ); a direktor csavarodási szöge ( $\phi = 270^\circ$ );  $\alpha$  a direktor és a fénypolarizáció szöge a belépő oldalon ( $\alpha = 30^\circ$ )

felelő kontrasztot a direktor csavarodási és felületi dőlésszögének, a (nem feltétlenül keresztezett) polarizátorok irányának, a cella meghajtó feszültségének, a multiplexelhető sorok számának ( $> 100$ ) és a  $\Delta n \cdot L$  optikai úthosszkülönbségnek az optimális beállításával kaphatunk. A 3. ábra egy lehetséges konfigurációt mutat be.

A kijelző optimalizálása megköveteli a mintavastagság igen pontos értéken tartását ( $< 0,1 \mu\text{m}$  megengedett változás). További problémát jelent, hogy a kettőtörés miatt a cella fényáteresztőképessége hullámhosszfüggő, így az egyik állapot általában kissé színes, pl. a polarizátorok beállításától függően a cella fekete és világszárga, vagy fehér és sötétkék állapotok között kapcsol. Ezt kiküszöbölendő az ún. kétrétegű supertwist kijelzőkben [13] a kijelzőcella és a polarizátor közé egy kompenzáló kettőtörő réteg kerül, ami lehet alkalmas polimer fólia, vagy egy második supertwist cella, amelyet nem vezérelnek és amelyben a direktor az elsőhöz képest ellenkező irányba csavarodik. Így lehetővé válik a ténylegesen fehér és fekete állapotok közötti kapcsolás, ami a színes grafikus képernyők készítéséhez elengedhetetlen.

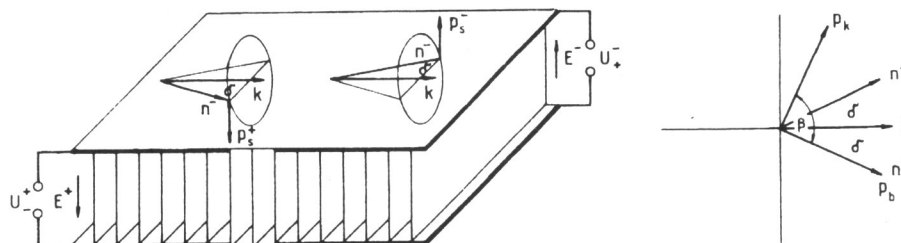
Bár a supertwist kijelzők technológiája a csavart nematikuséhoz képest bonyolult, közvetlen multiplexelhetőségük miatt még mindig egyszerűbben és olcsóbban gyárthatók, mint az aktív mátrix képernyők. Így a supertwist kijelzők a hordozható (lap-top) számítógépek nagyméretű ( $> 25 \text{ cm}$  képátló) és nagyfelbontású (VGA) képernyőjeként egyre jobban terjednek.

**Ferroelektromos kijelzők — a jövő televízió képernyője?** A nematikus (és koleszterikus) folyadékkristályokra épülő kijelzők egyik nagy hátránya, hogy viszonylag las-

súak, a bekapcsolási idejük az anyagtól és a használt feszültségtől függően 3–100 ms, kikapcsolási idejük pedig általában hosszabb, 20–300 ms. Ez a fő oka annak, hogy a folyadékkristály zsebtelevíziók felbontása (a képelemek száma) ma még nem éri el a hagyományos tv képernyőkéét.

A gyors kijelzés területén lényeges előrelépést a ferroelektromos csavart szmektikus  $C^*$  ( $SmC^*$ ) folyadékkristályok alkalmazása hozott [14–16]. Az  $SmC^*$  fázis elektromos térbeni viselkedését a dielektromos anizotrópia helyett a direktorra merőleges, a szmektikus rétegekkel párhuzamos spontán polarizáció és a tér kölcsönhatása határozza meg. A ferroelektromos folyadékkristály kijelzőkben [15] a szmektikus rétegek a felületre merőlegesen állnak, míg a felületkezelés a direktor felülettel párhuzamos beállását részesíti előnyben. Ha a mintavastagság a folyadékkristály csavarállandójánál lényegesen kisebb, a felületi kölcsönhatások következtében a csavarszerkezet eltűnik és a direktornak a felületen a rétegnormálisra szimmetrikus, azzal  $\vartheta$  szöget bezáró két ekvivalens beállása lehet, a felületekre merőleges irányba mutat (4. ábra). Küszöbértéket meghaladó elektromos térrel e két direktorirány egyikét, a térrel megegyező irányú polarizációját választhatjuk ki. Ha a cellát keresztezett polarizátorok közé tesszük úgy, hogy az egyik polarizátor az egyik lehetséges direktoriránnyal párhuzamos legyen, ezen állapotban a cella a fényt nem eresztí át. A tér előjelváltásával a direktor átfordul a másik irányba, azaz a direktor és a fénypolarizáció iránya  $2\vartheta$  szöggel megváltozik, a cella a kettőtörés értékétől függő mértékben fényáteresztővé válik [15, 16].

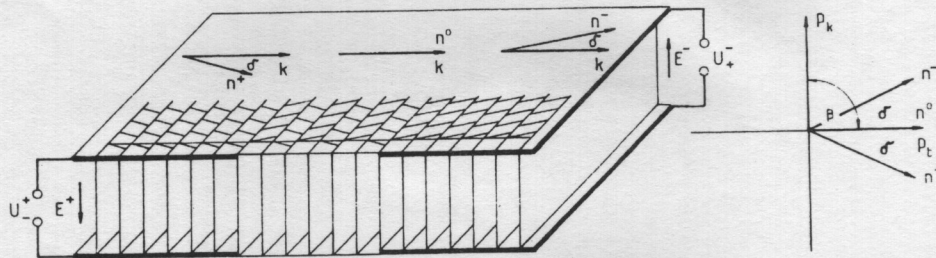
A speciális felületkezelésnek köszönhetően e kijelző-típus bistabil, a tér megszűnése után is megtartja ki-, vagy bekapcsolt állapotát, melyet csak ellenkező polaritású elektromos térrel lehet átkapcsolni. Ez a multiplexelhetőség szempontjából előnyös. Másrészt az átkapcsolást mindig az elektromos tér váltja ki, így a ki- és bekapcsolási idők között nincs különbség (ellentétben a nematikus kijelzőkkel). Mivel a szosásos cellafeszültségeknél a ferroelektromos kölcsönhatás a dielektromosnál sokkal erősebb, a kapcsolási idők a nematikuséhoz képest több nagyságrenddel kisebbek (10–100  $\mu\text{s}$ ). A sebességnövekedés ára, hogy e szmektikus folyadékkristályok nehezebben kezelhetők és rendezhetők, továbbá



4. ábra. Ferroelektromos folyadékkristály-kijelző direktoreloszlása pozitív ( $U > 0$ ) és negatív ( $U < 0$ ) meghajtó feszültség esetén (baloldalt); a kijelző optikai vázlata (jobbaldalt)

$k$  szmektikus rétegnormális iránya;  $\vartheta$  a direktor és a rétegnormális közötti dőlésszög;  $E^+$ ,  $E^-$  az elektromos tér,  $n^+$ ,  $n^-$  a direktor,  $p^+$ ,  $p^-$  a spontán polarizáció iránya különböző polaritású meghajtó feszültség esetén;  $p_b$  és  $p_k$  a fénypolarizáció iránya a belépő, ill. kilépő oldalon,  $\beta$  a polarizátorok szöge ( $\beta = 90^\circ$ )





5. ábra. Antiferroelektromos folyadékkristály kijelző direktoreloszlása pozitív ( $U > 0$ ), nulla és negatív ( $U < 0$ ) meghajtó feszültség esetén (baloldalt); a kijelző optikai vázlata (jobbaldalt)

$k$  szmektikus rétegnormális iránya;  $\vartheta$  a direktor és a rétegnormális közötti dőlésszög;  $E^+$ ,  $E^-$  az elektromos tér,  $n^+$ ,  $n^-$  a direktor iránya különböző polaritású meghajtó feszültség esetén;  $n_0$  a direktor iránya a feszültségmentes állapotban;  $p_+$  és  $p_k$  a fénypolarizáció iránya a belépő, ill. kilépő oldalon,  $\beta$  a polarizátorok szöge ( $\beta = 90^\circ$ )

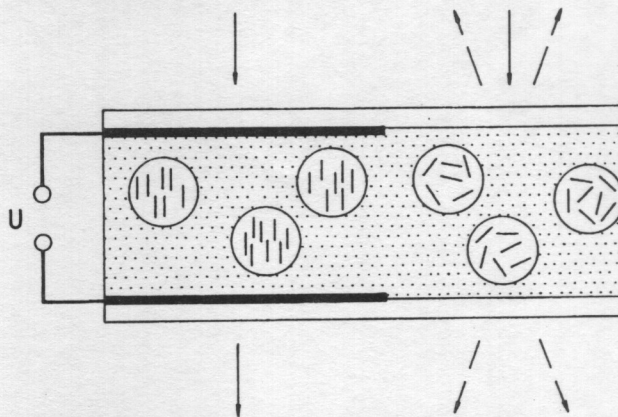
a szükséges kontraszt biztosításához a mintavastagságot a törésmutatókkal összehangolva kb.  $1,5 \mu\text{m}$  értéken kell ( $< 1\%$  eltéréssel) tartani. E technológiai nehézségek ellenére VGA felbontású színes, ill. annál nagyobb (kb.  $2000 \times 2000$  képelem) felbontású fekete-fehér ferroelektromos folyadékkristály számítógépképernyők már kaphatók a piacon és ferroelektromos sorkijelző cellák előfordulnak lézernyomtatókban is. A jelenlegi fejlesztések a jövőbeli nagyfelbontású televízió lapos képernyőjének megvalósítására törekszenek.

**Antiferroelektromos kijelzők.** Az antiferroelektromos folyadékkristályok ( $SmC_A^*$ ) [17] felfedezése az utolsó tíz év eredménye. Szerkezetük az  $SmC^*$  folyadékkristályokhoz hasonló, de a szomszédos szmektikus rétegekben a direktor a rétegnormálishoz képest ellenkező irányba dől és így a spontán polarizáció is ellentétes irányba mutat, azaz kiátlagolódik. Az antiferroelektromos állapotban az optikai tengely a rétegnormális irányba mutat. Kellően nagy elektromos térben ezen antiferroelektromos állapotban az optikai tengely a rétegnormális irányba mutat. Kellően nagy elektromos térben ezen antiferroelektromos szerkezet átalakul ferroelektromossá, melyben az optikai tengely direktor irányú. Az antiferroelektromos folyadékkristályokból a fent leírt ferroelektromoshoz hasonló planáris cellát készítve (5. ábra), de a polarizátor irányát a rétegnormálissal párhuzamosra beállítva a tér nélküli (antiferroelektromos) állapot sötét, míg a tér hatására kialakuló ferroelektromos állapot fényáteresztő lehet [18]. Noha a pozitív és negatív terekhez tartozó direktorhelyzet nem azonos, a két irány a rétegnormálishoz képest szimmetrikus, azaz fényáteresztőképességük azonos. E kijelző így a nematikus folyadékkristályhoz hasonlóan vezérelhető (van tér – nincs tér), de az orientációtól függetlenül, legelőbb adódóan bistabil, mert az antiferroelektromos-ferroelektromos fázisátalakulás hiszterézissel rendelkezik. A fejlesztők gyors munkáját dicséri, hogy a közelmúltban már az antiferroelektromos folyadékkristályt tartalmazó színes televízió képernyő prototípusát is bemutatták.

### Folyadékkristály – polimer kompozit-rendszerek

A folyadékkristály kijelzők fejlesztésének teljesen más irányát képezik a folyadékkristály-polimer kompozit-

rendszerek [19, 20]. Előállításukhoz átlátszó polimer monomerjét alkalmas, (pl. nematikus) folyadékkristállal elegyítjük. A polimerizáció során fázisszeparáció következhet be, a folyadékkristály a polimer belsejében apró (néhány  $\mu\text{m}$  átmérőjű) cseppecskékben kiválik (6. ábra). Feszültségmentes állapotban a folyadékkristály a cseppecskékben rendezetlen, a törésmutató helyről helyre változik, az erős fényszórás miatt a cella átlátszatlan. Elektromos térrel a folyadékkristály rendezhető, a direktor a tér irányába mutat. Ha az izotróp polimer törésmutatója megegyezik a folyadékkristály ezen rendezett állapotában mérhető törésmutatójával, a közeg a fény számára optikailag homogén és így átlátszó lesz. E kijelzési mód előnye, hogy nincs szükség a felületi orientációs eljárások és polarizátorok használatára. Másrészt a polimer révén e kompozit-rendszerből nagyméretű, ön-hordó, hajlékony fólia készíthető, melynek felületére az átlátszó elektród is felvihető. Ha ilyen fóliát pl. egy ablakra felragasztunk, elektromos térrel az ablak fényáteresztőképességét vezérelni tudjuk.



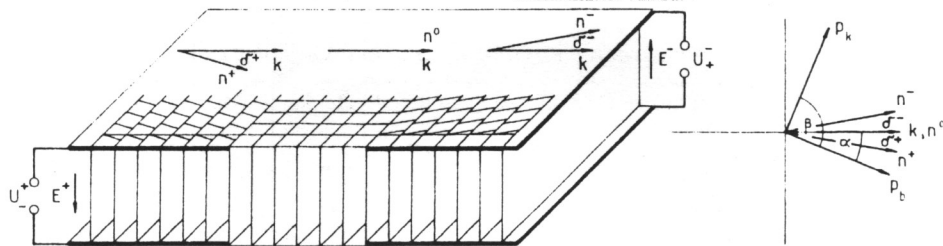
6. ábra. Polimer diszperziós kijelző szerkezete és direktoreloszlása bekapcsolt (átlátszó) és feszültségmentes (fényszóró) állapotban

A pöttyözött tartomány a folyadékkristály cseppecskét körülvevő izotróp polimer;  $U$  meghajtó feszültség

### Video-kivetítők

Előadótermekben gyakran merül fel az igény, hogy a televízió vagy számítógép képét nagyméretű ernyőre kivetítsék. A folyadékkristály kijelzők felépítésükből





7. ábra. Királis szmektikus  $A^*$  fénymodulátor direktoreloszlása pozitív ( $U > 0$ ), nulla és negatív ( $U \leq 0$ ) meghajtó feszültség esetén (baloldalt); a modulátor optikai vázlata (jobbaldalt)

$k$  szmektikus rétegnormális iránya;  $E^+$ ,  $E^-$  az elektromos tér,  $n^+$ ,  $n^-$  a direktor iránya különböző polaritású meghajtó feszültség esetén;  $n_0$  a direktor iránya a feszültségmentes állapotban;  $p_b$  és  $p_k$  a fénypolarizáció iránya a belépő, ill. kilépő oldalon,  $\beta$  a polarizátorok szöge ( $\beta = 90^\circ$ );  $\vartheta^+$ ,  $\vartheta^-$  az elektromos térrel indukált dőlésszög ( $\vartheta \sim E$ );  $\alpha$  a rétegnormális és a belépő oldali polarizátor szöge ( $\alpha = 22,5^\circ$ )

adódóan ideálisak ilyen video kivetítők készítéséhez, hiszen az elektromos tér a cellán átmenő fény intenzitását változtatja meg. Így elegendő a kisméretű folyadékkristály mátrixkijelzőt intenzív fényforrással megvilágítani és alkalmas optikával az ernyőre leképezni [21]. Három (fekete-fehér) kijelző és alkalmas színszűrők felhasználásával a színes kivetítés is egyszerűen megoldható. A felbontást a kijelző, a képméretet a használt optika és fényforrás határozza meg.

## Folyadékkristályok az optikában

### Királis szmektikus $A^*$ fénymodulátor

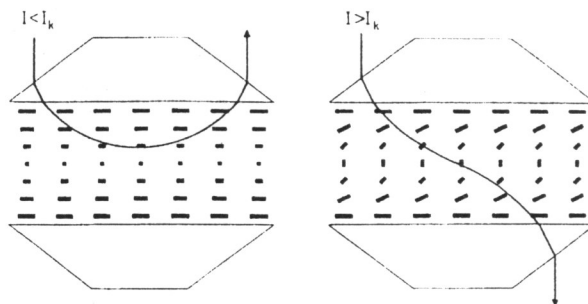
Optikai méréshez vagy a fénytávközlésben gyakran van szükség lineáris fénymodulátorra. A folyadékkristály-kijelzők erősen nemlineáris fényáteresztés-feszültség karakterisztikájuk miatt ilyen célra nemigen használhatók. A királis szmektikus  $A^*$  ( $SmA^*$ ) folyadékkristályok lineáris elektrooptikai jelensége éppen ilyen fénymodulátor készítésére a legalkalmasabb [22]. A planáris  $SmA^*$  cellában a szmektikus rétegek a felületre merőlegesek, a direktor (az optikai tengely) a felülettel párhuzamos. Elektromos tér hatására a direktor a rétegnormálishoz képest kihajlik, a kihajlás szöge egyenesen arányos az elektromos tér nagyságával, iránya a térre merőleges és polaritásfüggő (7. ábra). Ha a kereszttezett polarizátorok úgy vannak beállítva, hogy a polarizátor iránya a rétegnormálissal  $22,5^\circ$  szöget zár be, a cella fényáteresztőképességének megváltozása a szokásos kis dőlésszögek esetén egyenesen arányos a dőlésszöggel, azaz az elektromos térrel. Ezen jelenség a folyadékkristályok körében eddig megfigyelt leggyorsabb elektrooptikai effektus, kb. 2 MHz felső határfrekvenciával rendelkezik. Segítségével kiválthatók az igen nagy (kV) feszültséggel működő Kerr-cellák.

### Elektromosan vezérelt optikai elemek

A folyadékkristály-kijelzők készítését lehetővé tevő elektrooptikai effektusok az optikában esetenként közvetlenül is felhasználhatók. Elég egy alkalmasan választott kijelzőtípus polarizátorait elhagyni és máris rendelkezésünkre áll a vezérelhető nagyságú kettőstörést, vagy

a fénypolarizáció irányának megváltoztatását biztosító eszköz.

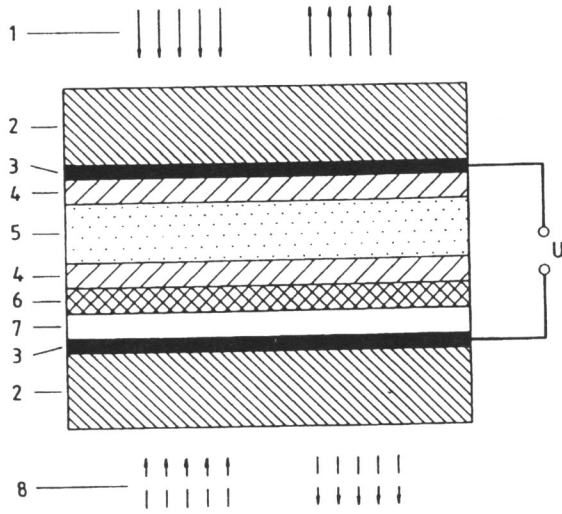
A folyadékkristályok nemlineáris optikai anyagként is felhasználhatók, mert a direktor irányát (és így az anyag törésmutatóját) a fény elektromos tere is megváltoztathatja. Ha a kijelzőknél megszokott üveglapok helyett üvegprizmák között hozunk létre kolesterikus folyadékkristályból  $180^\circ$ -os elfordulású planáris csavarszerkezetet, optikai kapcsolóelemet készíthetünk [23]. A prizma  $n > n_e$  törésmutatóját és a fény beesési szögét alkalmasan megválasztva a prizmáénál kisebb törésmutatójú folyadékkristályban a kis intenzitású beeső fény teljes visszaverődést szenved (8. ábra). A direktorral párhuzamos polarizációjú beeső fény intenzitását egy küszöbérték fölé emelve a direktor elfordul, a folyadékkristály törésmutatója megnő, így a fény a fénytörés törvénye szerint a cellán áthalad. A fény terjedési irányát így a fényintenzitás változtatásával átkapcsolhatjuk.



8. ábra. Optikai kapcsolóelem felépítése és direktoreloszlása. Kis ( $I < I_k$ ) fényintenzitásnál a fény visszaverődik (baloldalt); nagy ( $I > I_k$ ) fényintenzitásnál a fény áthalad a cellán (jobbaldalt)

### Optikai számítógépelemek

Napjainkban intenzív kutatások folynak az optikai számítógépek megalkotására, mert az adatok fény segítségével történő párhuzamos feldolgozása a jelenlegi elektronikus számítógépekénél nagyobb sebességet ígér. A folyadékkristály kijelzőket felhasználhatjuk ilyen optikai számítógépek bemeneti fokozataként, mivel segítségükkel az elektronikus információkat térbeli fényintenzitás modulációvá alakíthatjuk.



9. ábra. Optikai számítógép elem tipikus felépítése

1 kiolvasó fény; 2 üveglap; 3 átlátszó elektróda; 4 orientáló bevonat; 5 folyadékkristály; 6 dielektromos tükör; 7 fotovezető réteg; 8 beíró fény; U meghajtó feszültség

A tulajdonképpeni optikai számítógépelemek a bemenő fény intenzitásától függő intenzitást produkálnak. Folyadékkristály – fotovezető kompozit-rendszerekkel (9. ábra) ilyen elemek is megvalósíthatók [24]. A cellában az elektródok között a fotovezető és a folyadékkristály sorba van kapcsolva, így rajtuk az ellenállásuk arányában esik a feszültség. Ha a fotovezetőre nem esik fény, ellenállása igen nagy, így a folyadékkristály gyakorlatilag feszültségmentes állapotban van. Ha a beíró fény intenzitása megnő, a fotovezető ellenállása lecsökken és a teljes feszültség a folyadékkristályon esik, megváltoztatva annak optikai tulajdonságait. A fotovezető és a folyadékkristály között található dielektrikum-tükör biztosítja, hogy a kiolvasó fény a fotovezetőre ne legyen hatással, azaz a kimenő intenzitás csak a bemenőtől függjön. Mivel a beíró és a kiolvasó fény hullámhossza nem szükségszerűen azonos, az eszköz felhasználható képátalakításra is (pl. infravörösből láthatóvá). Ilyen felépítésű eszközökkel optikai logikai kapuáramkörök és tárolócellák is megvalósíthatók, melyekben a bináris információnak vagy a fény intenzitása, vagy a fénypolarizáció iránya felel meg. A ferroelektromos folyadékkristályok alkalmazása e területen különösen ígéretes [25].

### Hőmérsékletkijelzés folyadékkristályokkal

A nem tükörszimmetrikus, kolesterikus folyadékkristályok csavarszerkezettel rendelkeznek, mely a csavarállandótól ( $p$ ) függő hullámhosszú ( $p \cdot n_o < \lambda < p \cdot n_e$ ) fényt visszaveri [3–5]. Ha a visszavert fény a látható tartományba esik, ezen anyagok színesek. A kolesterikus folyadékkristályok csavarállandója általában a hőmérséklet növekedésekor csökken és így a szín is változik, tipikusan  $0,1 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletváltozás hatására sötét végig a látható spektrumon. Alkalmos anyagválasztással e hőmérsékletintervallum  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  és  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  között bárhol lehet.

A kolesterikus folyadékkristályt a gyakorlatban általában mikroenkapszulázva festék, vagy vele bevont lapok formájában használják [26]. Ezekben a folyadékkristály levegőtől elzárt cseppek formájában van jelen, hogy az esetleges szennyezések (pl. vízpára) a színeket ne tolják el. A digitális hőmérsékletkijelzésnél az egyes számok más-más hőmérsékletre hangolt folyadékkristályt tartalmaznak.

Mint hogy a hőmérséklet-eloszlás színeltérésekben jelentkezik, a jelenséget hőmérséklet-térképezésre is fel lehet használni, pl. a mikroelektronikában kimutatható a chippek esetleges zárlata, az orvosi, állatorvosi gyakorlatban pedig gyorsan diagnosztizálhatók egyes lokális melegedéssel járó betegségek, pl. gyulladások, rándulások, daganatok [26, 27].

A kolesterikus festékek már megjelentek a divat és a művészet területén is, hiszen textilek, bizsuk díszítésére, valamint a festészetben egyaránt felhasználhatók [28].

## Folyadékkristályok a kémiában

### Folyadékkristályok szintézise és elegykészítés

Az egyre terebélyesedő alkalmazások következtében a különböző tulajdonságú folyadékkristályok iránt állandóan növekvő igény nagy kihívást jelent a szerves kémia számára, minthogy a folyadékkristályok többsége a természetben elő nem forduló, mesterségesen előállított vegyület. Minden egyes alkalmazás sajátos igényt támaszt a folyadékkristály fázis típusa és annak fizikai tulajdonságai (hőmérséklet-tartomány, dielektromos anizotropia, törésmutatók, rugalmas állandók, viszkozitások, csavarállandó, spontán polarizáció stb.) iránt. Az optimális paraméterekkel általában egy vegyület rendelkezik, így a gyakorlatban többnyire sok komponensű elegyeket használnak. A molekulák szerkezete és a fizikai tulajdonságok közötti pontos kapcsolatot sajnos még nem ismerjük, így az optimalizálás általában a korábbi tapasztalatokra épülő próbálkozások alapján történhet. Esetenként folyadékkristály állapottal nem rendelkező anyagok (pl. dikroikus festékek, királis adalékok) elegyhez adása is lényeges szerepet játszhat. A Magyar Kémikusok Lapjában a közelmúltban megjelent közleményekben [1, 2] mutattunk példákat az új anyagok előállítását célzó kutatásokra.

A folyadékkristályok mind jobb rendezhetőségére törekvés speciális felületaktív anyagok és polimerek iránt támaszt növekvő igényeket.

A folyadékkristályokat előállító cégek (Európában a Merck, a BDH, a Hoffmann-La Roche és a Hoechst) általában az adott célra optimalizált elegyeket hozzák kereskedelmi forgalomba, melyek összetételét gyártási titokként kezelik. A folyadékkristály kijelzők anyagigénye meglehetősen csekély (egy óráé nem több, mint 3 mg, de a lap-top képernyőé is csak kb. 0,4 g), így bár évente sok millió folyadékkristály kijelző készül világszerte, a folyadékkristályok éves termelése nem mérhető millió tonnákban, mint sok más vegyszereké.

A különböző (NMR, ESR, optikai) spektroszkópiai módszerek számos hasznos információt szolgáltatnak a folyadékkristályok, ill. molekuláik szerkezetéről. A folyadékkristályok azonban nem csak vizsgálati anyagként, hanem más anyagok (molekulák) tanulmányozásánál oldószerként is felhasználhatók [29]. A folyadékkristályok más oldószerektől abban különböznek, hogy irányrendezettek és ezáltal a bennük oldott anyag is orientálható. Mivel a direktor iránya külső hatásokkal (elektromos vagy mágneses terekkel) megváltoztatható, a vizsgált (nem folyadékkristály) anyagról kiegészítő (orientációfüggő) adatokat nyerhetünk.

A kromatográfiai alkalmazások szintén a folyadékkristályok irányrendezettségen alapulnak. A különböző folyadékkristály-állapotú álló fázisok a gáz-, az oszlop- és esetenként a folyadék-kromatográfiában hasznosnak bizonyultak egyes anyagok izomereinek szétválasztásánál, vagy a vékonyréteg kromatográfiában az anyagok jelenlétének detektálására [30].

#### Folyadékkristályok alkalmazása a szintézisben

Folyadékkristályokat oldószerként felhasználhatunk fotokémiai és termikus reakciókban más anyagok előállításánál is [31]. A folyadékkristályban az irányrendezettségből (illetve szmektikusoknál a rétegszerkezetből is) következően az oldott reagenek is orientálódhatnak, diffúziójuk pedig anizotróp. Az oldhatóságot a reagenek és a végtermékek alakja és mérete egyaránt befolyásolja. Mindezen hatások eredményeképpen egyes kémiai reakciókban a folyadékkristály-környezet eltolhatja a kémiai egyensúlyt és megváltoztathatja a reakciósebességeket.

A folyadékkristály-állapotból kiinduló polimerizáció elősegítheti rendezett szerkezetű műanyagok előállítását. Ezt felhasználhatjuk pl. polarizátor-fólia készítéséhez is. A folyadékkristály a benne oldott hosszúkás alakú festékmolekuláknak is irányrendezettséget kölcsönöz. Dikroikus festéket használva adalékként, az ilyen elegy fényelnyelése a fény polarizációjának irányától függ. A polimerizáció során a festékmolekulák irányrendezettsége megőrizhető, így elegendően vastag réteg esetén csak a minimális elnyeléshez tartozó polarizációjú fény jut át a mintán.

A modern, nagy szilárdságú műanyagokban (pl. kevlar) felhasznált szénszálak előállításánál ugyancsak célszerű irányrendezett folyadékkristály állapotú alapanyagból kiindulni [32, 33].

#### Folyadékkristályok a biológiában

A szerves anyagok egy másik csoportja oldószer (pl. víz) jelenlétében képes folyadékkristály szerkezetek létrehozására. E liotrop folyadékkristályokat a természet

az élet megjelenése óta „alkalmazza”, mert az élő szervezetek membránjainak alkotóelemei [34].

A technika számára jelentőségük abban rejlik, hogy a liotrop folyadékkristályokból a biológiaiánál egyszerűbb összetételű modellmembránok készíthetők, melyeken számos biofizikai jelenség (pl. iontranszport), vagy egyes gyógyszerek hatásmechanizmusa is tanulmányozható.

#### Befejezés

E közleményben ismertetett alkalmazások egyáltalán nem merítik ki a folyadékkristályok nyújtotta összes lehetőséget. A fenti példák is meggyőzően mutatják azonban, hogy a folyadékkristályok a tudomány és a technika szinte minden területével kapcsolatba hozhatók, így a szerves anyagok e csoportjának gyakorlati jelentősége a jövőben csak növekedni fog.

#### IRODALOM

- [1] Bata L. – Éber N. – Fodorné Csorba K. – Vajda A.: Magyar Kémikusok Lapja 52, 176 (1997).
- [2] Bata L. – Éber N. – Fodorné Csorba K. – Vajda A.: Magyar Kémikusok Lapja 52, 226 (1997).
- [3] Bata L.: Folyadékkristályok. – Új anyagok a tudományos kutatás és a gyakorlati alkalmazás számára. A szilárdtestkutatás újabb eredményei 7, Akadémiai Kiadó, Budapest (1980).
- [4] Bata L.: Folyadékkristályok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1986).
- [5] de Gennes, P. G.: The Physics of Liquid Crystals. Clarendon Press, Oxford (1974).
- [6] Véghely T. – Seyfried É. – Faragó I.: Folyadékkristályos kijelzők a gyakorlatban, Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1984).
- [7] Schadt, M. – Helfrich, W.: Appl. Phys. Lett. 18, 127 (1971).
- [8] Scheffer, T. – Nehring, J.: Chapter 10 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 1, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1990), p. 232.
- [9] Luo, F. C.: Chapter 15 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 1, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1990), p. 397.
- [10] Scheffer, T. J. – Nehring, J.: Appl. Phys. Lett. 45, 1021 (1984).
- [11] Kinugawa, K. – Kando, Y. – Kanasaki, M. – Kawakami, H. – Kaneko, E.: SID 86 Digest, 122 (1986).
- [12] Schadt, M. – Leenhouts, F.: Appl. Phys. Lett. 50, 236 (1987).
- [13] Katoh, K. – Endo, Y. – Akatsuka, M. – Ohgawaea, M. – Sawada, K.: Jpn. J. Appl. Phys. 26, L1784 (1987).
- [14] Goodby, J. W. – Blinc, R. – Clark, N. A. – Lagerwall, S. T. – Opiso, M. A. – Pikin, S. A. – Sakurai, T. – Yoshino, K. – Zeks, B.: Ferroelectric Liquid Crystals. Principles, Properties and Applications. Gordon and Breach, Philadelphia (1991).
- [15] Clark, N. A. – Lagerwall, S. T.: Appl. Phys. Lett. 36, 899 (1980).
- [16] Dijon, J.: Chapter 13 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 1, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1990), p. 307.
- [17] Fukuda, A. – Takanashi, Y. – Isozaki, T. – Ishikawa, K. – Takezoe, H.: J. Mater. Chem. 4, 997 (1994).
- [18] Yamada, Y. – Yamamoto, N. – Mori, K. – Nakamura, K. – Haiwara, T. – Suzuki, Y. – Kawamura, I. – Orihara, H. – Ishibashi, Y.: Jpn. J. Appl. Phys. 29, 1757 (1990).
- [19] Drzaic, P. S.: J. Appl. Phys. 60, 2142 (1986).
- [20] Doane, J. W.: Chapter 14 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 1, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1990), p. 362.
- [21] Shields, S. E. – Bleha, W. P.: Chapter 16 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 1, Ed. B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1990), p. 439.
- [22] Bahr, C. – Heppke, G.: Liquid Crystals. 2, 825 (1987).



- [23] Csillag, L. — Jánossy, I. — Kitaeva, V. F. — Kroó, N. — Sobolev, N. N.: Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett. 102, 1 (1984).
- [24] Clark, N. A. — Johnson, K. M.: Chapter 17 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 3, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1992), p. 210.
- [25] Kerekasztal megbeszélés az 5. Nemzetközi Ferroelektromos Folyadék-kristály Konferencián, Cambridge, 1995. július 23–27.
- [26] Sage, I.: Chapter 20 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 3, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1992), p. 302.
- [27] Lelik F. (szerk): Kontakt termográfia, Medicina Könyvkiadó (1980).
- [28] Makow, D.: Chapter 21 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 2, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1991), p. 122.

- [29] Khetrapal, C. L. — Weiss, R. G. — Kunwar, A. C.: Chapter 25 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 2, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1991), p. 226.
- [30] Witkiewicz, Z.: Chapter 26 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 2, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1991), p. 310.
- [31] Leigh, W. J.: Chapter 27 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 2, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1991), p. 358.
- [32] Otani S.: Mol. Cryst. Liq. Cryst. 63, 249 (1981).
- [33] Prevorsek, D. C.: Chapter 11 in book: Polymer Crystals, Eds.: A. Ciferi, W. R. Kriebaum, R. B. Meyer, Academic Press, New York (1982), p. 329.
- [34] Chapman, D.: Chapter 24 in book: Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 2, Ed.: B. Bahadur, World Scientific, Singapore (1991), p. 186.

Az irodalomgyűjtés lezárva: 1995. október 1.

## ÖSSZEFOGLALÁS

*Bata Lajos — Éber Nándor: Folyadék-kristályok a modern technikában, III.*

A folyadék-kristályok hasznosítása az egyszerű órák vagy zsebszámológépek területéről egyre növekvő mértékben terjed ki újabb alkalmazásokra. Folyadék-kristályok segítségével készülhetnek fekete-fehér vagy színes számítógép képernyők, vagy akár a gépkocsik, repülőgépek műszerfala. A folyadék-kristály képernyők a fő jelöltek a fejlesztés alatt álló lapos, nagyfelbontású televíziókhoz. Alkalmazást nyernek a vetített képű televíziókban, optikai számítógépekben, nemlineáris optikában, spektroszkópiában, kromatográfiában és másutt is. A közlemény ezeknek az alkalmazásoknak az alapjait, elveit tekintti át.

[Magy. Kém. Lapja, 52, 321 (1997)]

## SUMMARY

*L. Bata — N. Éber: Liquid Crystals in Modern Technics, III.*

The application of liquid crystals is expanding rapidly beyond the field of watches or calculators. Monochrome and colour computer displays, cockpits of aircrafts and other vehicles can be manufactured using liquid crystals. LCDs are main candidates for the high density television being developed. Liquid crystals are used in video projectors, optical computing, nonlinear optics, spectroscopy, chromatography and in other branches. This paper overviews the principles of these applications.

**OMIKK**  
KÖNYVTÁRKÖZI KÖLCSÖNZÉS KÜLFÖLDRŐL

SZAKKÖNYVEK - KÖLCSÖN

FOLYÓIRATCIKKEK ÉS EGYÉB  
DOKUMENTUMOK - MÁSOLATBAN

OC LC

EBSCO/doc™

**80% KEDVEZMÉNY**  
A NYÍLT TÁRSADALOM INTÉZET  
REGIONÁLIS KÖNYVTÁRPROGRAMJA TÁMOGATÁSÁVAL

Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár Könyvtárközi Kölcsönzés  
1088 Budapest, Múzeum u. 17. Tel.: 138-2300/146 Fax: 118-0109 E-mail: kmsz@omk.omikk.hu