

FOLYADÉKKRISTÁLY-TELEVÍZIÓK – A 21. SZÁZAD KÉPERNYŐI

Éber Nándor
MTA SZFKI, Budapest

A szerkezetük és tulajdonságaik alapján a folyadékok és a szilárd anyagok között sajátos átmenetet képező folyadékkristályok felfedezésük (1888) után sokáig csak kevesek érdeklődését felkeltő kuriózumnak számítottak. Mióta 1968-ban megmutatták, hogy belőlük elektrooptikai kijelző (*Liquid Crystal Display*, LCD) készíthető, a kutatás a folyadékkristályok számos ígéretes tulajdonságát tárta fel, melyek némelyike alkalmazásra kerülhetett. Folyadékkristályokkal ma már nap mint nap találkozunk, hiszen a folyadékkristály-kijelző számos használati tárgyunk nélkülözhetetlen alkatrészévé vált.

A kis teljesítményigényű LCD-k első sikereiket az elemes készülékek (karórák, kalkulátorok) számkijelzőiként aratták, de már a kezdeteknél felsejlett a remény, hogy a folyadékkristályok a lapos televízió elkészítését is lehetővé teszik majd. Az első LCD zsebtelevíziók már 1984 táján megjelentek ugyan, de ezek még sem kis (1"–3") méretűk, sem gyenge képminőségük miatt nem lehettek a katódsugárcsöves televíziók versenytársai. Mára azonban már a nagyfelbontású grafikus képernyők széles méretválasztéka áll rendelkezésünkre. A legkisebbek (1"–8") fő felhasználási területe a mobiltelefonok, digitális kamerák, video-kivetítők, vagy például a repülőgépek ülésébe épített televíziók. A közepes méreteket (10"–21") a hordozható számítógépek képernyői és az LCD-monitorok reprezentálják. Az utóbbi két évben pedig már megvásárolhatók a nagy (15"–57") képernyős, lapos LCD-televíziók: egy régi álom megvalósult. A méret növelésének felső korlátját még nem értük el, prototípusként már 82" (több mint 2 m) széles óriásképernyőt is készítettek.

Az alábbiakban e közel három évtizedes intenzív kutató-fejlesztő munka néhány állomását mutatjuk be, majd felhívjuk a figyelmet néhány érdekes alapkutatói eredményre, nemrég felfedezett folyadékkristály szerkezetre.

Miért használhatók a folyadékkristályok kijelzőnek?

A folyadékkristály elnevezés hosszú távú irányrendezettséggel jellemezhető fázisok ma már több mint 30 tagot számláló családját takarja. A főbb folyadékkristály-fázisok (nematikus, koleszterikus, szmektikus) szerkezetét, tulajdonságait és a bennük fellépő fizikai jelenségeket bőséges irodalom taglalja [1–3]. Itt csak a kijelző működését meghatározó legfontosabb tulajdonságokra térhetünk ki.

A forgalomban levő LCD-k túlnyomó többsége az irányrendezett folyadéknak tekinthető nematikus folyadékkristályt tartalmazza, melynek hosszúkás molekulái átlagosan egy irányt tüntetnek ki, az \mathbf{n} direktort. A nematikusok alapállapotának a térben állandó direktor felelne meg ugyan, a valóságban azonban a direktor körülbelül μm távolságokon már változhat, azaz a direktor helyfüggő $\mathbf{n}(\mathbf{r})$ eloszlást mutathat. E deformált

állapotban a direktorra az alapállapot felé visszatérítő rugalmas forgatónyomaték hat.

Az irányrendezettségből adódóan a folyadékkristályok anizotrop közegek, fizikai tulajdonságaik a kristályokéhoz hasonlóan irányfüggők. A nematikusok optikai tengelye egybeesik a direktorral, mely körül hengersizmetriát tapasztalunk. Ennek következtében a direktorral párhuzamosan (ϵ_{\parallel}) és az arra merőlegesen (ϵ_{\perp}) mért dielektromos permittivitás értékei eltérőek, különbségük, $\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$, az anizotrópia mértékét jellemzi. \mathbf{E} elektromos térben a direktorra $\epsilon_a \epsilon_0 (\mathbf{n} \cdot \mathbf{E}) (\mathbf{n} \times \mathbf{E})$ dielektromos forgatónyomaték hat, melynek iránya a dielektromos anizotrópia előjelétől függ. E forgatónyomaték a direktort $\epsilon_a > 0$ esetben a térrel párhuzamos, míg $\epsilon_a < 0$ esetben a térre merőleges irány felé forgatja.

Az LCD-kben a folyadékkristály két üveglap között található 5–10 μm vastag réteg formájában. Az üveglapok belső felületén átlátszó, elektromosan vezető réteg teszi lehetővé, hogy a folyadékkristályra feszültséget kapcsolhassunk. Az elektródákat orientáló bevonat borítja, mely kijelöli a direktor irányát a felületeken és ezáltal biztosítja a kijelző feszültségmentes (kikapcsolt) állapotának homogenitását. Az elektródákra egy U_b küszöbértéket meghaladó U feszültséget kapcsolva a dielektromos forgatónyomaték a direktort a cella belsejében elfordítja (a felületeken a direktor iránya nem változik), a kijelző bekapcsolt állapotba kerül. Az optikai tulajdonságoknak a direktor elfordulása miatti megváltozása polarizált fényben detektálható a legjobban. A kijelző megfelelő kontrasztjának biztosítására ezért az üveglapok külső felületére polarizátorfóliát ragasztanak, melyek polarizációs irányai többnyire egymásra merőlegesek. A feszültség lekapcsolásakor a kitérítő dielektromos forgatónyomaték megszűnik, így a rugalmas forgatónyomaték hatására a kijelző visszatér alapállapotába.

A fenti általános működési elvet sokféle cellageometriával (elektródaelrendezés, orientáció), különböző optikai effektusok (polarizációforgatás, kettőtörés, fényszórás) felhasználásával lehetséges realizálni [3]. E kijelzési módok közös jellemzője, hogy a kijelzők saját fényt nem bocsátanak ki, csak a rajtuk áthaladó fény tulajdonságait változtatják meg. Sötét környezetben így háttérvilágításról is gondoskodnunk kell. Fényforrás lehet egy világító dióda (pl. a mobiltelefonokban), vagy vékony fluoreszcens lap (pl. a monitorokban). Ha a kijelző mögé tükröt helyezünk, a kijelző reflexiók üzemmódban működik. Ezeket az LCD-ket annál jobban lehet látni, minél erősebb a ráeső fény.

A folyadékkristály-kijelzési módok szinte mindegyike monokróm, így színes kijelzést additív színkeveréssel valósíthatunk meg. Ehhez a három alapszínnek megfelelő színszűrőket kell az elektródákra megfelelő mintázatban felvinni. A külön-külön vezérelt vörös, zöld és kék képelemeket szemünk színes képpontként észleli.

A továbbiakban a jelenleg is forgalomban lévő kijelző-típusokat igyekszünk bemutatni.

A csavart nematikus kijelző

A folyadékkristály-kijelzők sikertörténete a csavart nematikus (*Twisted Nematic*, TN) kijelzővel kezdődött 1974-ben. A TN-kijelző működési elvét az 1.a ábra szemlélteti. A direktor a felülettel párhuzamos, de a két elektródánál egymásra merőleges irányú, ezáltal a folyadékkristályrétegben 90 fokos csavar alakul ki. Az üveglapokra ragasztott polarizátorfóliák polarizációs irányai szintén egymásra merőlegesek. A csavarszerkezet a megvilágító fény polarizációsíkját 90 fokkal elforgatja, így a keresztezett polarizátorokon a fény áthaladhat. A feszültségmentes (kikapcsolt) állapot tehát világos.

A TN-kijelzőben használt nematikus folyadékkristályban $\epsilon_a > 0$. A kijelzőre küszöbértéket ($U_k \approx 1-3$ V) jóval meghaladó feszültséget kapcsolva, a direktor az elektromos térrel párhuzamos irányba fordul. Ezáltal megszűnik a fény polarizációsíkjának elfordulása, a keresztezett polarizátorokon a fény nem jut át, a bekapcsolt állapot sötét. A köztes $U_{10} < U < U_{90}$ feszültségtartományban a direktor elfordulási szöge, és vele az átérésztett fény intenzitása folyamatosan változik (1.b ábra), így különböző szűrkeségi szintek is megvalósíthatóak.

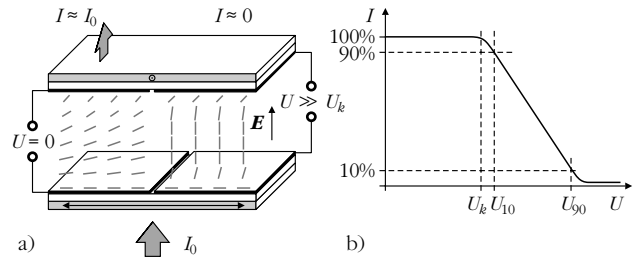
A csavart nematikus kijelző testesítette meg először az LCD-k előnyeit versenytársaikkal szemben. Kis küszöbfeszültségük jól illeszkedik a modern elektronika igényeire, áramfelvételük, teljesítményigényük minimális. Egyszerűen gyárthatók, a cellavastagság esetleges változása a kijelző optikai tulajdonságait alig befolyásolja. A kis bonyolultságú számkijelzők így ma is ezzel a technológiával készülnek.

Multiplexelhetőség és a szupercsavart kijelző

A grafikus képernyők sok ezer képelemből állnak, melyek elektródáit már nem lehet külön-külön kivezetéssel ellátni és függetlenül vezérelni. Ilyenkor úgynevezett mátrixkijelzőt használunk, amiben az $N \times M$ képelem az N sorelektroda (egyik felületen) és az M oszlopelektroda (másik felületen) metszéspontjaiban található. Adott képelem be- vagy kikapcsolása a hozzá tartozó sor- és oszlopelektrodára egyidejűleg kapcsolt megfelelő feszültségimpulzussal történhet meg, a képernyő tartalmának frissítése tehát időosztásos (multiplex) vezérlést igényel. Egyszerre csak egy sornyi képelem vezérelhető, a többi sorra csak időeltolódással kerülhet sor. E vezérlési módszerből adódóan nemcsak a címzett (be- vagy kikapcsolt), hanem a többi (éppen nem címzett) képelemen is van feszültség. A különböző állapotokhoz tartozó feszültségértékek annál közelebb vannak egymáshoz, minél több sort kell multiplexelni.

A TN LCD 1.b ábrán bemutatott $I(U)$ karakterisztikájának meredeksége túl kicsi, így már kevés ($N < 5$) sor esetén is drasztikusan lecsökken a be- és kikapcsolt állapotok közötti intenzitáskontraszt, a csavart nematikus kijelző gyakorlatilag nem multiplexelhető.

E probléma megoldására fejlesztették ki a *szupercsavart* (*SuperTwisted Nematic*, STN) kijelzőket, melyekben a direktor a két felület között nem 90, hanem 180–270 fokot csavarodik. Ez esetben ugyanis az $I(U)$ karakterisztika meredeksége megnő, így a multiplexelhető sorok száma



1. ábra. a) Csavart nematikus kijelző kikapcsolt (balra) és bekapcsolt (jobbra) állapota, és b) intenzitás–feszültség karakterisztikája

$N > 200$ lehet. Ez a technológia tette először lehetővé a nagyfelbontású grafikus képernyők megjelenését. A megkívánt nagy csavarodási szögek létrehozására a nematikushoz királis (tükrösszimmetriát nem mutató) vegyületet adalékolnak, ami spontán csavarszerkezetű koleszterikus fázist eredményez. Az adalék mennyiségével állítható be, hogy a kívánt fél- vagy háromnegyed csavar pont a mintavastagságnak feleljen meg.

Az STN kijelzési mód fényterjedési viszonyai a direktor nagyobb csavarodási szöge miatt bonyolultabbak, az átérésztett fény intenzitását elsődlegesen a kettőtörés határozza meg. Mivel a cellavastagságot a folyadékkristály törésmutatójának anizotrópiájával össze kell hangolni, a vastagság pontossága iránti igény megnő. Másrészt, a ki-, illetve bekapcsolt állapotok valamelyike színes lesz (a kapcsolás sárga és fekete, vagy átlátszó és sötétkék állapotok között történik), de szerencsére ez kettőtörő polimer fóliával kompenzálható. Ma a mobiltelefonok nagy részében ilyen STN-kijelzőt találunk.

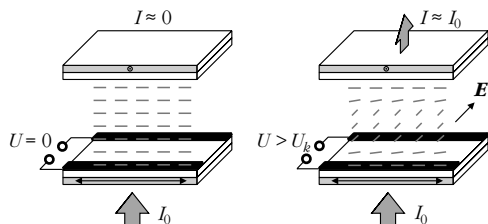
Folyadékkristályok és félvezetők összeházasítása – az aktív mátrix (AM) kijelző

A multiplexelhetőség megvalósításának másik útja az úgynevezett aktív mátrix kijelző. Ennek lényege, hogy az időosztásos vezérlés az egyik üveghordozóra felvitt félvezető vékonyréteg áramkörben történik. A címzés az egyes képelemek alá integrált tranzisztoros (*Thin Film Transistor*, TFT) kapcsolóelem állapotát állítja be. A folyadékkristálynak így minden képeleme közvetlenül vezérelt, így az aktív mátrix kijelzőben a TN kijelzési mód is alkalmazható.

Kezdetben e módszerrel csak kisméretű (1"–3" képátlójú) LCD-zsebtélevíziók készülhettek. A félvezető-technológia fejlődése mára lehetővé tette, hogy az AM-képernyőket az LCD-televíziókhöz szükséges méretekben is előállítsák.

Látószög növelése – új kijelzési módok

A TN- és STN-kijelzők bekapcsolt állapotában a direktornak a felületekkel bezárt szöge helyfüggő, a felületeken közel nulla, a cella közepén közel merőleges. E kijelző kontrasztja maximális, ha merőlegesen nézünk rá. A kijelzőre ferdén nézve a direktor és a fény terjedési iránya különbözik, így a kettőtörés mértéke megváltozik. Ezáltal a kontraszt szögfüggővé válik és lecsökken, sőt a sötét és világos állapotok felcserélődhetnek, a színek



2. ábra. IPS-kijelző kikapcsolt (balra) és bekapcsolt (jobbra) állapota

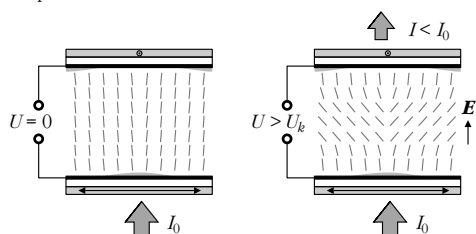
megváltozhatnak. E jelenség a képernyő használhatóságát jelentősen korlátozná, így olyan kijelzési módo(ka)t kellett találni, mely(ek)nek nagyobb a látószöge.

A Hitachi és az LG–Philips által kifejlesztett *síkbeli kapcsolás* (*In-Plane Switching*, IPS) kijelzési mód [4] esetében az elektromos teret létrehozó mindkét elektróda ugyanazon a felületen található, azaz a tér a felülettel párhuzamos lesz (2. ábra). A direktor a feszültségmentes alapállapotban az elektródákkal párhuzamos, a tér hatására (bekapcsolt állapotban) az elektródákra merőleges irányba fordul, de a felülettel mindvégig párhuzamos marad. A kereszttezett polarizátorok között áteresztett fény intenzitását itt is a kettőtörés határozza meg. E geometriában az optikai tulajdonságok a beesési szögtől csak kis mértékben függenek, így az IPS-kijelző látószöge 150–170 fokra növekedett.

A Fujitsu és a Samsung kutatói a *többszörös merőleges orientáció* (*Multidomain Vertical Alignment*, MVA) kijelzési módot dolgozták ki [5], melynél alapállapotban a direktor iránya a felületre közel merőleges, az elektródák az átellenes felületeken vannak (3. ábra). Mivel a kezdeti direktorirány az elektromos térrel párhuzamos, olyan nematikusot kell használni, melyben $\epsilon_a < 0$. A feszültség bekapcsolásakor a direktor a térre merőlegesen kidől, a kettőtörés megváltozik. A dőlés felületekkel párhuzamos irányát a felület enyhe anizotrópiája szabja meg. Ez a geometria még ugyanúgy érzékeny lenne a fény beesési szögére, mint a TN-kijelző, ha minden egyes képelemet nem osztanánk tovább olyan kisebb tartományokra, melyekben a dőlés iránya különböző. Ezt például a 3. ábra szerint a felületen képelemenként kialakított kitüremkedésekkel lehet megvalósítani. Így bár minden tartomány külön-külön látószögfüggő, a képelem egészére ez kiátlagolódik, így 150–170 fokok látószög is elérhető.

Az IPS és MVA kijelzési módok hasonló, nagy látószögű képernyők gyártását teszi lehetővé, természetesen aktív mátrix kivitelben. A jelenleg forgalomban levő LCD-monitorok és a nagyfelbontású digitális televízió (HDTV) követelményeit kielégítő, 1920×1080 képelemszámú LCD-televíziók többsége e két technológia valamelyikével készül.

3. ábra. MVA-kijelző kikapcsolt (balra) és félig bekapcsolt, szűrke (jobbra) állapota



Videokivetítők

Nagyobb képméreteket nemcsak a kijelző méretének növelésével, hanem kivetítő optikát használva is elérhetünk. Az LCD-kivetítők egy részében 3 db 1”–2” átmérőjű TFT- vagy STN-képernyőt találunk, melyeket vörös, zöld, illetve kék színű fényel világítanak át. A kijelzők által modulált fényt a kivetítő optika egyesíti az additív színkeverés újabb példájaként.

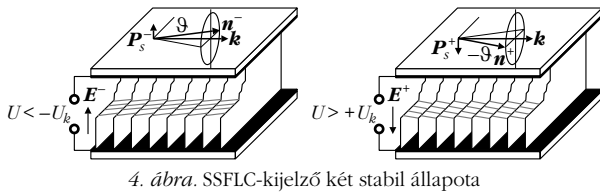
Az utóbbi években a kivetítők céljára egy újabb technológiát is kifejlesztettek. A *folyadékkristály a szilíciumon* (*Liquid Crystal On Silicon*, LCOS) eszközökben a folyadékkristályt egyik oldalról az a szilícium-egy kristály határolja, amiben a vezérlő elektronikát és a folyadékkristályra feszültséget kapcsoló tranzisztort is kialakították. E kijelző lapka nem átlátszó, ezért reflexiók üzemből használják. A megvilágító fény a folyadékkristályon áthalad, visszaverődik a szilícium felületéről és ismét áthalad a folyadékkristályon. A kétszeri áthaladás jelentősen növelheti a kijelző lapka kontrasztját. Míg a TFT AM képernyőknél az átláthatóság igénye miatt a képelemek mérete jóval nagyobb kell, hogy legyen a kapcsoló tranzisztorénál, az LCOS-chipekben postabélyegnél kisebb méretű, nagy (minimum 1365×1024) felbontású mikroképernyők is készíthetők.

Gyors kapcsolás – ferroelektromos kijelzők

A nematikus folyadékkristályokat hasznosító kijelzők kezdetben viszonylag lassúak, néhány száz ms kapcsolási idejűek voltak. Mozgókép megjelenítéséhez e kapcsolási időket lényegesen csökkenteni kellett. A bekapcsolás az alkalmazott feszültség növelésével jelentősen gyorsítható ugyan, a kikapcsolás ideje viszont csak a folyadékkristály rugalmas állandóitól, viszkozitásától, valamint a kijelző geometriájától (a direktor orientációjától és a folyadékkristály-réteg vastagságától) függ. Vékonyabb minta ugyan gyorsabban kapcsol, de a cellavastagság csökkentésének a kontraszt változása korlátot szab. Kis viszkozitású, főleg fluortartalmú nematikusokkal a kapcsolási időt az optimális (kb. 5 μm) cellavastagság esetén is a tv-kép élvezhetőségéhez szükséges 20 ms alá lehetett csökkenteni.

Ferroelektromos szmeztikus folyadékkristályok segítségével a fenténél lényegesen gyorsabb kapcsolás is megvalósítható. Ferroelektromosság a *királis* molekulákból felépülő *dőltszmeztikus* (pl. SmC*) fázisokban léphet fel [6]. Ezen anyagok elektromos tér hiányában is fellépő \mathbf{P}_s spontán polarizációja a \mathbf{k} rétegnormálisra és a vele $0^\circ < \vartheta < 90^\circ$ dőlésszöget bezáró direktorra egyaránt merőleges forgástengely irányába mutat. A királyság másik következménye a fázisok csavarszerkezete; a direktor és vele együtt a spontán polarizáció a rétegnormális irányában haladva körbefordul. E folyadékkristályokra elektromos térben a dielektromos forgatónyomaték mellett $\mathbf{P}_s \times \mathbf{E}$ ferroelektromos forgatónyomaték is hat, sőt a szokásos tereknel ez utóbbi dominál.

A gyors kapcsolást 1980-ban a *felületstabilizált ferroelektromos folyadékkristály* (*Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal*, SSFLC) kijelző megalkotásával



4. ábra. SSFLC-kijelző két stabil állapota

demonstráltak [7]. Kis ($< 2 \mu\text{m}$) cellavastagság és a felületre merőlegesen beállított szmektikus rétegek esetén az SmC^* -fázisra jellemző csavarszerkezet a cellában nem tud kialakulni (4. ábra). A cellára adott feszültséggel az elektromos tér és a spontán polarizáció közötti lineáris kölcsönhatás miatt a direktor a felülettel párhuzamos két, polaritásfüggő ferroelektromos állapot között átkapcsolható. Keresztezett polarizátorok között az egyik állapot sötét (fényzáró), a másik a kettőtörés miatt világos (fényáteresztő) lehet. A kapcsolás bistabil, a feszültség lekapcsolásakor a beállított állapot megmarad, így a közvetlen multiplexelésnek nincs akadálya. Bár a tér merőleges a felületre, a kapcsolat síkban történik, így nagy a látószög. Az átkapcsolás a tér polaritásváltásakor, vagyis feszültség hatására következik be, így a be- és kikapcsolási idők (néhány μs) megegyeznek.

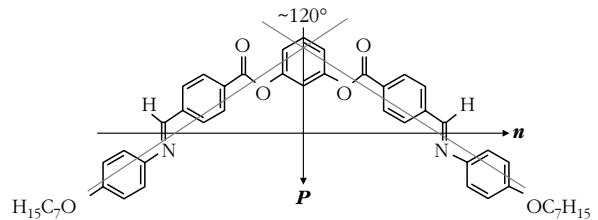
Az SSFLC-kijelző fejlesztése azonban a gyártástechnológia radikális megújítását tette volna szükségessé (kis mintavastagság, más meghajtó elektronika). Problémák adódtak a kontraszttal és a mechanikai érzékenységgel is, így a nematikus technológiák gyors fejlődése kiszorította az SSFLC-kijelzőket a nagyméretű képernyők területéről. Kisméretű, a gyorsaságot kihasználó speciális alkalmazásoknál találkozhatunk velük, így például már kapható ferroelektromos folyadékkristály tartalmazó LCOS-mikrokijelző.

Anti-ferroelektromos folyadékkristályok

1989-ben fedezték fel, hogy az SmC^* -folyadékkristályok egy csoportjának a hőmérséklet csökkenésekor *anti-ferroelektromos* (SmC_A^*) fázisa is van. Az SmC_A^* -fázisban a szomszédos rétegek spontán polarizációja ellentétes irányú, a direktor rétegenként váltakozva a rétegnormálishoz képest ellentétes irányba dől [6]. Ez az optikai tulajdonságokat is kiátlagolja, így az SmC_A^* -fázisban a látszólagos direktorirány a rétegnormálissal esik egybe.

Egy hőmérsékletfüggő küszöbértéket meghaladó elektromos tér hatására a direktor minden rétegben ugyanabba az irányba fordul, azaz a térrel anti-ferroelektromos-ferroelektromos fázisátalakulást idézhetünk elő. E fázisátalakulás reverzibilis, de hiszterézis jellemzi.

Anti-ferroelektromos folyadékkristállyal a 4. ábra felületstabilizált kijelző geometriájában háromállapotú kapcsolást tapasztalhatunk; a két ferroelektromos mellett a feszültségmentes anti-ferroelektromos állapot a harmadik. A keresztezett polarizátorokat a rétegnormálisához igazítva az anti-ferroelektromos állapot sötét lesz, míg a két ferroelektromos egyformán világos. Az anti-ferroelektromos kijelző így a nematikushoz hasonlóan polaritásfüggetlenül vezérelhető, de gyorsabb. Alkalmazásának egyelőre korlátot szab az orientáció (a rétegnormális irányának) gyakori



5. ábra. Hajlott törzsű molekula szerkezete, hossz tengelye (\mathbf{n}) és dipólmomentuma (\mathbf{P})

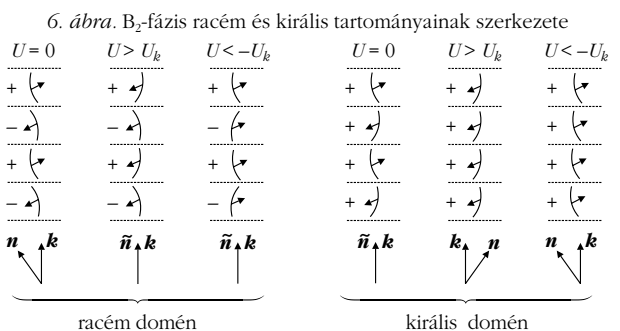
inhomogenitása miatt lecsökkent kontraszt. Megoldást jelenthetnek a közelmúltban előállított, $\vartheta = 45^\circ$ dőlésszögű anti-ferroelektromos folyadékkristályok. Bár a dőlt szmektikusok optikailag kéttengelyűek, kivételesen e 45° dőlésszög esetén az anti-ferroelektromos állapot egytengelyű; az optikai tengely a rétegnormálisra és a direktorra egyaránt merőleges [8]. Így a 4. ábra geometriájában az anti-ferroelektromos állapotban a fény az optikai tengely irányában terjed, a keresztezett polarizátorok között a rétegnormális irányától függetlenül teljes kioltást, azaz megnövelt kontrasztot kaphatunk.

A fenti optikai tulajdonságok polarizátorok nélküli kijelző készítését is lehetővé tehetik [8]. Ehhez szándékosan hozunk létre olyan inhomogén orientációt, ahol a rétegnormális iránya kisméretű tartományokban véletlenszerűen változik. Az anti-ferroelektromos állapotban az egyes tartományok optikai tengelyei egybeesnek, a fény intenzitásvesztés nélkül áthaladhat, míg a bekapcsolt, ferroelektromos (kéttengelyű) állapotban a tartományok eltérő optikai tengelyei miatt erős fényszórást kapunk.

Hajlott törzsű folyadékkristályok

Folyadékkristály-állapotra általában rúd, vagy korong alakú molekuláknál számíthatunk. 1996-ban fedezték fel, hogy hajlott törzsű – banán (íj) alakú – molekulák is lehetnek folyadékkristályok [9].

A banán alakú folyadékkristályok kétdimenziós építőelemek, a molekula két fele egymással körülbelül 120° tompaszöget zár be (5. ábra). A direktort kijelölő „hossztengelyt” a molekula végeit összekötő egyenessel (az íj húrvál) párhuzamosnak tekinthetjük, az eredő molekuláris dipólmomentum általában erre merőleges. E molekula-geometria a legszorosabb térkitöltés esetén poláros elrendeződést eredményezhet, mely korábban ismeretlen, úgynevezett *banánfázisokban* (B_1, B_2, \dots, B_8) testesülhet meg.



Ha a poláros elrendeződés dőlt szmektikus szerkezettel jár együtt (pl. B_2 -fázis, melynek modelljét a 6. ábrán mutatjuk be [10]), anti-ferroelektromos, illetve ferroelektromos viselkedést annak ellenére is kaphatunk, hogy a molekulák nem királisak (a korábban ismert ferroelektromos folyadékkristályok szükségszerűen mind királis molekulákat tartalmaztak). A szoros térkitöltés a molekulák hossztengetely körüli szabad forgását meggátolja. Így poláros rend jön létre, melyben a molekuláris dipólmomentum (és ezáltal a szmektikus réteg polarizációja) a rétegnormálissal és a molekula hossztengetelyével vagy jobb- (+), vagy bal-rendszer (-) képez, azaz a szerkezet kiralitást eredményezett.

Nem királis folyadékkristály esetén a kétfajta molekula (antipód) azonos számban van jelen. Racém szerkezetet kapunk, melyben a rétegek felváltva a (+) és (-) antipódot tartalmazza. Tér hiányában a struktúra anti-ferroelektromos, a szomszédos rétegek polarizációja ellentétes, de a dőlés iránya megegyezik. A rétegekkel párhuzamos elektromos tér hatására a rendszer átkapcsol ferroelektromos állapotba, ahol a polarizáció minden rétegben a tér irányába mutat, de a dőlés iránya rétegenként alternál.

A polarizációs mikroszkópos megfigyelések azonban kimutatták, hogy a fenti kapcsolat mellett a B_2 -fázisban spontán királis szeparáció is bekövetkezhet. Ennek során a mintában királis domének alakulnak ki, melyek vagy csak (+), vagy csak (-) antipódot tartalmaznak (minden rétegben). A kétfajta domén összetérfogátának természetesen meg kell egyeznie. A térmentes anti-ferroelektromos struktúra a királis doménben alternáló dőlésiránnyal jár

együtt, míg a ferroelektromos állapotban a dőlés iránya minden rétegben megegyezik. E spontán királis szeparáció nem visszafordíthatatlan folyamat; a racém, illetve királis doménekből álló textúra megfelelően alkalmazott elektromos terekkel egymásba átvihető.



Jelen írás csupán némi ízelítőt adhatott a folyadékkristályokra épülő kijelző-technológiákból és az új kutatási eredményekből. A folyadékkristályoknak sok olyan tulajdonságuk van, melyek megfelelhetnek új, fejlesztés alatt álló, technológiák igényeinek, így a jövőben a folyadékkristályok még szélesebb körű elterjedésére számíthatunk.

Irodalom

1. BATA LAJOS: *Folyadékkristályok. Új anyagok a tudományos kutatás és a gyakorlati felhasználás számára* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1980
2. BATA LAJOS: *Folyadékkristályok* – Műszaki Kiadó, Budapest, 1986
3. ÉBER NÁNDOR, BATA LAJOS: *Folyadékkristályok az optoelektronikában* – Fizikai Szemle 46 (1996) 117
4. M. OH-E, K. KONDO – Appl. Phys. Lett. 67 (1995) 3895
5. Y. KOIKE, K. OKAMOTO – FUJITSU Sci. Tech. J. 35 (1999) 222
6. BATA LAJOS, ÉBER NÁNDOR, JÁKLI ANTAL: *Ferroelektromos folyadékkristályok* – Fizikai Szemle 46 (1996) 59
7. N.A. CLARK, S.T. LAGERWALL – Appl. Phys. Lett. 36 (1980) 899
8. K. D'HAVE, A. DAHLGREN, P. RUDQUIST, J.P.F. LAGERWALL, G. ANDERSSON, M. MATUSZCZYK, S.T. LAGERWALL, R. DABROWSKI, W. DRZEWINSKI – Ferroelectrics 244 (2000) 115
9. T. NIORI, T. SEKINE, J. WATANABE, T. FURUKAWA, H. TAKEZOE – J. Mater. Chem. 6 (1996) 1231
10. A. JÁKLI, L.-C. CHIEN, D. KRÜCKER, H. SAWADE, G. HEPPKE – Liquid Crystals 29 (2002) 377

ARCKÉPVÁZLAT GOMBÁS PÁL RÓL

Füstöss László
BME TTK Fizika Tanszék

Három év múlva lesz száz éve, hogy *Gombás Pál* megszületett. Nem kötelez tehát semmilyen kerek szám, hogy adatokkal teli ismertetés vagy munkatársi visszaemlékezés születessen.

Ezek megvannak többfelé, a legjobbak éppen a *Fizikai Szemle* egyes számaiban.

A következő néhány oldal arra keresi a választ, hogy mire emlékezünk Gombás Pálban.

A hatvan évnél fiatalabbak közül kevesen ismerik a nevét, és ha igen, alig tudják hová tenni. Ebben a félig elfelejtett helyzetben nincs egyedül – *Jánossy Lajos, Novobátzky Károly, Szalay Sándor* – így, találomra és ábécérendben sorolva fel néhány nevet – ugyancsak az előző század második harmadának meghatározó szerepű fizikusai voltak, akik azonban nem kaptak Nobel-díjat, sem az amerikai televízióban nem szerepeltek rendszeresen.

Gombás Pál Selegszántón született 1909-ben. A születési hely, a manapság békés burgenlandi falu, a nyelvi meghatározottság szempontjából érdekes; gyerekkorát csaknem kizárólag német és horvát anyanyelvű falubeliekkel töltötte. Ezért volt az, hogy Gombás, ha tehette, szívesen fordította a szót németre.

Apja halálakor egyéves volt, ezért gyerekkorát özvegyen maradt édesanyjával viselhető, de meghatározó

szegénységben töltötte. Tanulni eszmélésétől fogva szeretett, de mert a tandíjmentesség sokszor nem volt elég a megélhetéshez, ezért a tanítva tanulást kellett választania, ami hatásossága miatt ajánlott, ugyanakkor kevésbé élvezetes bevétekenység.

A budapesti egyetemre beiratkozni se volt könnyű egy vidéki fiúnak, de a neheze azután jött. Az albérleti költségekkel súlyosbított napi kiadások nélkülözhetetlenné tették a házi tanítóskodást. Szerencsére akadt elég ambíciózus polgár, és a gimnáziumok szigorúak voltak, így egy halk szavú, szelíd arcú, matematikához értő, németül tudó egyetemista könnyen talált fizető tanítványokat. Pontosabb, ha reménybeli tanítványokat mondunk, mert Gombás csak annyit tanított, amennyinek a bevételéből ő maga a legtöbb szabadidőhöz juthatott. Ez már önmagában egy feltételes szélsőérték-feladat volt, aminek helyes megoldása vezetett a szabadidőért vásárolt tudáshoz.

1933-ban megkapta matematika-fizika szakos tanári oklevelét, megnyílt az út a szolid polgári életkezdéshez. Gombás azonban több kedvet érzett a fizika műveléséhez, mint tanításához, ezért vállalkozott arra, hogy a pesti tudományegyetem elméleti fizika intézetében díjtalan gyakornok legyen. Ennek a díjtalan gyakornokságnak a belátható perspektívája a díjtalan tanársegédség volt –