

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 zsebitelevíziók már 1984 táján megjelentek ugyan, de ezek még sem kis (1"–3") méretük, 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 alapkutatási 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 irányrendezettségéből adódóan a folyadékkristályok anizotrop közegek, fizikai tulajdonságaik a kristályokéhoz hasonlóan irányfüggők. A nematikusok optikai tengelye egybeesik a direktorral, mely körül hengerszimmetriát 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 $\epsilon_0 \epsilon_a (\mathbf{n} \cdot \mathbf{E}) (\mathbf{n} \times \mathbf{E})$ dielektromos forgatónyomaték hat, melynek iránya a dielektromos anizotrópia előjelétől függ. E forgatónyomaték a direktort $\epsilon_a > 0$ esetében a térrel párhuzamos, míg $\epsilon_a < 0$ esetében 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_k 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, kettőstörés, 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 reflexiós üzemmódban működik. Ezeket az LCD-eket 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 irányjai szintén egymásra merőlegesek. A csavarszerkezet a megvilágító fény polarizációsíkját 90 fokkal elforgatja, így a kereszttezett polarizátorokon a fény áthaladhat. A feszültségmentes (kikapcsolt) állapot tehát világos.

A TN-kijelzőben használt nematikus folyadékkristályban $\epsilon_a > 0$. A kijelzőre küszöbértéket ($U_k \approx 1\text{--}3\text{ V}$) jóval meghaladó feszültséget kapcsolva, a direktor az elektromos térrel párhuzamos irányba fordul. Ezáltal megszűnik a fény polarizációsíkjának elfordulása, a kereszttezett 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 áteresztett fény intenzitása folyamatosan változik (1. *b* ábra), így különböző szűrkeségi szintek is megvalósíthatóak.

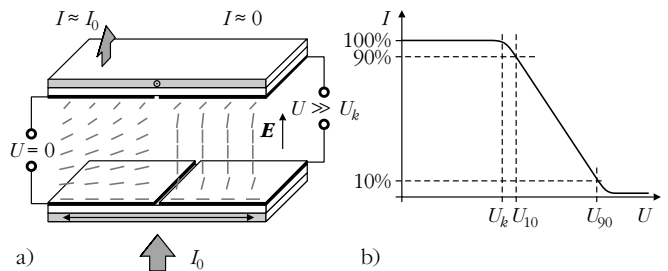
A csavart nematikus kijelző testesítette meg először az LCD-k előnyeit versenytársaikkal szemben. Kis küszöbfeszültségük jól illeszkedik a modern elektronika igényeihez, áramfelvételük, teljesítményigényük minimális. Egyszerűen gyárthatók, a cellavastagság esetleges változása a kijelző optikai tulajdonságait 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) vezérést 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 kolesterikus 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 áteresztett 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.

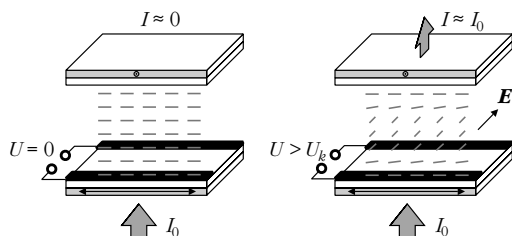
Folyadékkristályok és félvezetők összeházasítása – az aktív mátrix (AM) kijelző

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-televíziókhoz 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

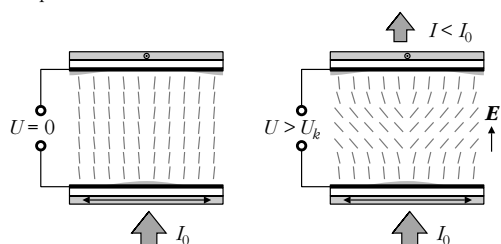
megváltozhatnak. E jelenség a képernyő használhatóságát jelentősen korlátozná, így olyan kijelzési módo(ka)t kellett találni, mely(ek)nek nagyobb a látószöge.

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 keresztezett 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 *többdoménes 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 fokos 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, szürke (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 fényvel világítanak át. A kijelzők által modulált fényt a kivetítő optika egyesíti az additív színkeverés újabb példájaként.

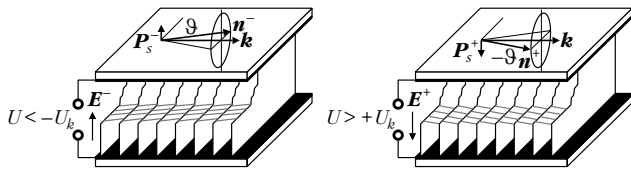
Az utóbbi években a kivetítők céljára egy újabb technológiát is kifejlesztettek. A *folyadékkristály a szilíciumon* (*Liquid Crystal On Silicon*, LCOS) eszközökben a folyadékkristályt egyik oldalról az a szilícium-egyikristály határolja, amiben a vezérlő elektronikát és a folyadékkristályra feszültséget kapcsoló tranzisztort is kialakították. E kijelző lapka nem átlátszó, ezért reflexiók üzemban 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 idejük 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 szmektikus folyadékkristályok segítségével a fenténél lényegesen gyorsabb kapcsolás is megvalósítható. Ferroelektromosság a *kiralis* molekulákból felépülő *dőltszmektikus* (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 kiralitás másik következménye e 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 tereknél 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 kapcsolás 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.

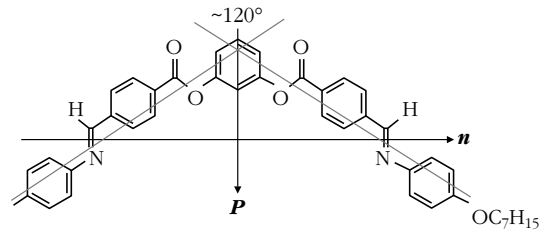
Az SSFLC-kijelző fejlesztése azonban a gyártástechnológia radikális megújítását tette volna szükségessé (kis mintavastagság, más meghajtó elektronika). Problémák adódtak a kontraszttal és a mechanikai érzékenységgel is, így a nematikus technológiák gyors fejlődése kiszorította az SSFLC-kijelzőket a nagyméretű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

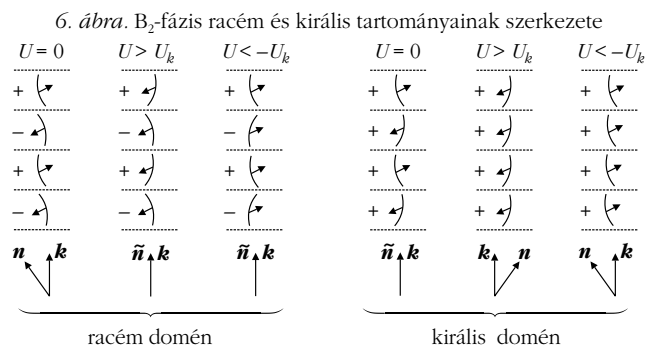
inhomogenitása miatt lecsökkent kontraszt. Megoldást jelenthetnek a közelmúltban előállított, $\vartheta = 45^\circ$ dőlésszögű anti-ferroelektromos folyadékkristályok. Bár a dőlt szmektikusok optikailag kéttengelyűek, kivételesen e 45° dőlésszög esetén az anti-ferroelektromos állapot egytengelyű; az 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° tompaszöveget zár be (5. ábra). A direktort kijelölő „hossztengelyt” a molekula végeit összekötő egyenessel (az íj húrjával) 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_n) testesülhet meg.



Ha a poláros elrendeződés dőlt szmektikus szerkezettel jár együtt (pl. B₂-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 hossz tengely körüli szabad forgását meggátolja. Így poláros rend jön létre, melyben a molekuláris dipólmomentum (és ezáltal a szmektikus réteg polarizációja) a rétegnormálissal és a molekula hossz tengelyével 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 tartalmaznak. 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 kapcsolás mellett a B₂-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 összetérfogatának 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. KRÜERKE, H. SAWADE, G. HEPPEKE – 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 szülessen.

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

A következő néhány oldal arra keresi a választ, hogy kire 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, találmányra 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 tehetné, 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 tevékenység.

A budapesti egyetemre beiratkozni se volt könnyű egy vidéki fiúnak, de a neheze azután jött. Az albréleti 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 –