



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЛЈЕНО	6. 07. 2011
ОПРЕДЈЕЉЕНО	БРОЈ
0603	9/667

Дипломски рад
Физичке карактеристике фероелектричних
течних кристала

Ментор:
Др Маја Стојановић

Кандидат:
Тијана Аксентијевић

Нови Сад, 2011.

САДРЖАЈ

УВОД	1
ТЕОРИЈСКИ ДЕО	
1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ	3
Класификација и структурна грађа течних кристала	5
2. ОСНОВНЕ ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕЧНИХ КРИСТАЛА	8
Изотропна фаза	8
Плава фаза	8
Нематска фаза	9
Смектички течни кристали	11
Холестерички течни кристали	15
Структура и особине течних кристала са диполним уређењем	16
Фероелектрична смектичка С* фаза	16
Антифероелектрична смектичка С*А фаза	18
Фериелектрична С* смектичка фаза	18
Течни кристали облика банане	19
3.ТЕЧНО КРИСТАЛНЕ ТЕКСТУРЕ	20
4.ПРИМЕНА ТЕЧНИХ КРИСТАЛА	21
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	
5.ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ТЕХНИКЕ И МЕТОДЕ	23
Оптичка испитивања	23
Дифракција Х-зрака на течним кристалима	26
6.ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАНИХ СУПСТАНЦИ	28
7.ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И ЊИХОВА АНАЛИЗА	29
Оптичка микроскопија	29
Дифракција Х-зрака на течним кристалима	30
8.ЗАКЉУЧАК	39
9.ЛИТЕРАТУРА	41

УВОД

Поље испитивања течних кристала је заиста интердисциплинарно са обзиром на то да комбинује основне аспекте физике, хемије, науке о материјалима, математике, биологије и инжењерства. Течни кристали су органске материје, које у одређеном температурном опсегу поседују прелазну фазу-мезофазу. Течно кристално стање одликује се како особинама течности, флуидности, тако и карактеристикама чврстог кристалног стања. Област истраживања течних кристала последњих деценија заузима значајно место у експерименталној физици кондензоване материје. Основна особина која ове материјале чини погодним за примену, је могућност управљања њиховим оптичким особинама, спољашњим електричним или магнетним пољима. Најзначајнија примена течних кристалних супстанци остварена је код течних кристалних дисплеја (LCD).

Да би истакао специфичности које разликују овакве супстанције (течни кристали, полимери, форофлуиди, колоидална зрна, супстанције које смањују површински напон, сапуни, детерџенти, гелови...) од уобичајених кондензованих система (кристали, чврсти аморфни материјали...), француски научник де Жен (P.G. de Gennes-Нобелова награда 1991. године) овакве материјале сврстава у групу "меке материје" – *soft matter*.

Од бројних, до сада утврђених различитих типова течних кристалних супстанција, последњих година посебан интерес посвећен је испитивању **фероелектричних течних кристала**. Прво фероелектрично једињење (хирално смектичко SmC*) синтетизовано је радом Мејера, Либерта, Стржеleckог и Келера (R.V.Meyer, L.Liebert, L.Strzelecki i P.Keller) [1]. Много напора је уложено да би се добили поларизовани течни кристални материјали који одговарају захтевима уређаја у којима их треба применити. Још већи напор је уложен у циљу разумевања односа хемијске структуре и физичких особина фероелектричних течних кристалних материјала. Од открића фероелектричних течних кристала 1975. године, њихове јединствене физичке особине су отвориле врата разним електрооптичким применама у оптичким процесима у реалном времену, компјутерима, уређајима за контролу и мерење, мини дисплејима итд.

За разлику од нематских, течни кристали са диполним уређењем имају значајне предности: брз одзив сигнала и бистабилну операцију. Комбинција ове две особине даје могућност производње високо мултиплексираних равних дисплеја који су широкоугаони, имају велики контраст и способни су да приказују висок садржај информација видео сигнала. Могућност примене фероелектричних течних кристала



у пасивним матичним „matrix-addressed“ течно-кристалним дисплејима први су уочили Кларк (Clark) и Лагервал (Lagerwall).

Задатак овог рада је био да се испита структурне особине фероелектричних течних кристала са 2-алкоксипропионат хиралном групом и једним хиралним центром, првобитно синтетизованих у циљу добијања поларних течних кристалних материјала који могу одговорити захтевима апликација за електрооптичке уређаје. У оквиру испитивања примењене су експерименталне методе: метода оптичке микроскопије и метода дифракције X-зрака.

Извршена је анализа и интерпретација експериментално добијених резултата за пет фероелектричних узорака. Мерења су обављена на Департаману за физику, Природно-математичког факултета у Новом Саду.

У теоријском делу овог рада приказане су основне карактеристике течних кристалних супстанци и дат је приказ неких основних течних кристалних текстура. Посебна пажња посвећена је течним кристалима са фероелектричним својствима.

У експерименталном делу рада приказани су резултати добијени испитивањем фероелектричних својстава течних кристалних супстанци.

На слици 1, приказани су примери употребе течних кристалних материјала код разних дисплеја.



Слика 1. примена течних кристала

1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ

Пре скоро 150 година, откривени су течни кристали али њихов значај долази до изражаја тек стотинак година касније. Средином XIX века Виршов (R. Virchow), Метенхајмер (C. Mettenheimer), и Валентин (J.W. Valentine), открили су да се нервна ћелија необично понаша кад се остави у води и посматра у поларизованој светлости. 1877. године, Леман (O. Lehmann) је користио поларизациони микроскоп са постољем које се загревало да би посматрао промену фаза супстанци приликом промене температуре. Дошао је до закључка да је једна супстанца из чисте течности прелази у мутни растоп а даљим загревањем у кристалну фазу, у ствари не кристалише директно из течне фазе. Леман је мислио да је узрок томе несавршеност у промени фазе.

Аустријски ботаничар Рајницер (F. Reinitzer) је 1888. године проучавајући утицај различитих супстанци на раст биљака, извео сличне експерименте. Приметио је да поједине супстанце естри-холестерола, топљењем у одређеном темепретурном интервалу формирају мутни растоп. Рајницер је, у случају холестерил-бензоата, запазио да он при топљењу не прелази директно из чврсте у течну фазу, већ у одређеном температурном интервалу (од 145,5 °C до 178,5 °C) образује мутни раствор са оптичким својствима једносног кристала. Изнад горње температурне границе овог интервала оптичка анизотропија је нестајала и полако се формирала изотропна течност. У недостатку адекватнијег објашњења, закључио је да је у питању смеша два једињења при чему је у мутном расту присутна кристална фаза једног од једињења. Рајницер је покушао на много начина да раздвоји ова једињења, али није успео у томе што је указивало да његов заључак није био тачан.

Рајницер је 1888. године затражио помоћ од физичара Ото Лемана (Otto Lehmann). Леман је 1889. године доказао да једињење које је добио Рајницер савршено чисто. Посматрањем кроз поларизациони микроскоп, он је утврдио и то да се запажена мутна међуфаза, у температурном интервалу од око 34°C, састоји од оптичких анизотропних области, које подсећају на кристале. Сличне особине, у то време, Леман је запазио и код других супстанци. Пронашао је читав низ органских једињења која образују мезофазу при топљењу, а чије су особине делимично као код чврстих, кристалних тела, а делимично као код течности.

Све до 1890. године све испитиване течно-кристалне супстанце биле су природне, те године синтетисана је прва течно-кристална супстанца, *p-azoksanizol*, произвели су је Гетерман (L.Gatterman) и Ричи (Ritschke).

Почетком 20.века француски физичар Фридел (G. Freidel) је први објаснио оријентационе карактеристике течно-кристалних супстанци у електричном пољу и присуство дефеката у течним кристалима. Фридел је 1922. године предложио класификацију течних кристала базирану на разликама у оријентацији молекула у овим супстанцама. Дао је детаљну оптичку студију течно-кристалних фаза и поделио их у три основне групе: смектике, нематике и холестерике. За мезофазно стање увео је нови термин – мезофаза (од грчке речи *μεξος* – прелазни, интермедијарни).

Осин (C.W.Oseen) је у периоду између 1922.године и почетка II светског рата поставио математичке основе течно-кристалних супстанци. Мејер (R.R.Maier) и Соуп (A.Saure) формулисали су микроскопску теорију течних кристала, а касније су Лесли (J.Leslie) и Ериксен (J. Ericksen) развили теорију квантинума за статичке и динамичке системе.

Први течни кристални дисплеј – LCD (liquid crystal display) је откривен 1968. године. Њиме је Хајлмајер (G.H. Heilmeyer) указао на могућност примене течно-кристалних супстанци за испис података. Тако су течни кристали заузели посебно место примене у електронској индустрији. Ханс Келкер (Hans Kelker) је 1969. године успео да синтетизује супстанцу која има нематску фазу на собној температури, такозвану MBVA, која је једно од најпопуларнијих питања у истраживању течних кристала.

Течни кристали су нашли примену и у мерењу температуре, захваљујући својој термичкој осетљивости. Пошто могу мењати боју под притиском, користе се и за фотографисање ултразвучног простора.

Да би истакао специфичности које разликују супстанце попут течних кристала, полимера, итд. од уобичајених кондезованих система (кристали, чврсти аморфни материјали...), француски научник Дежен је 1991.године овакве материјале сврстао у групу „меких материја“ (soft matter). 1996.године откривена је нова течно-кристална фаза, чији су молекули ахирални у облику банане [2].

Интересовање за течне кристале је нагло почело да расте и данас су занимљиви многим истраживачима широм света, делом захваљујући великом броју откривених феномена у вези са њима, али највећим делом због њихове успешне комерцијализације и предностима које течно-кристални дисплеји показују.

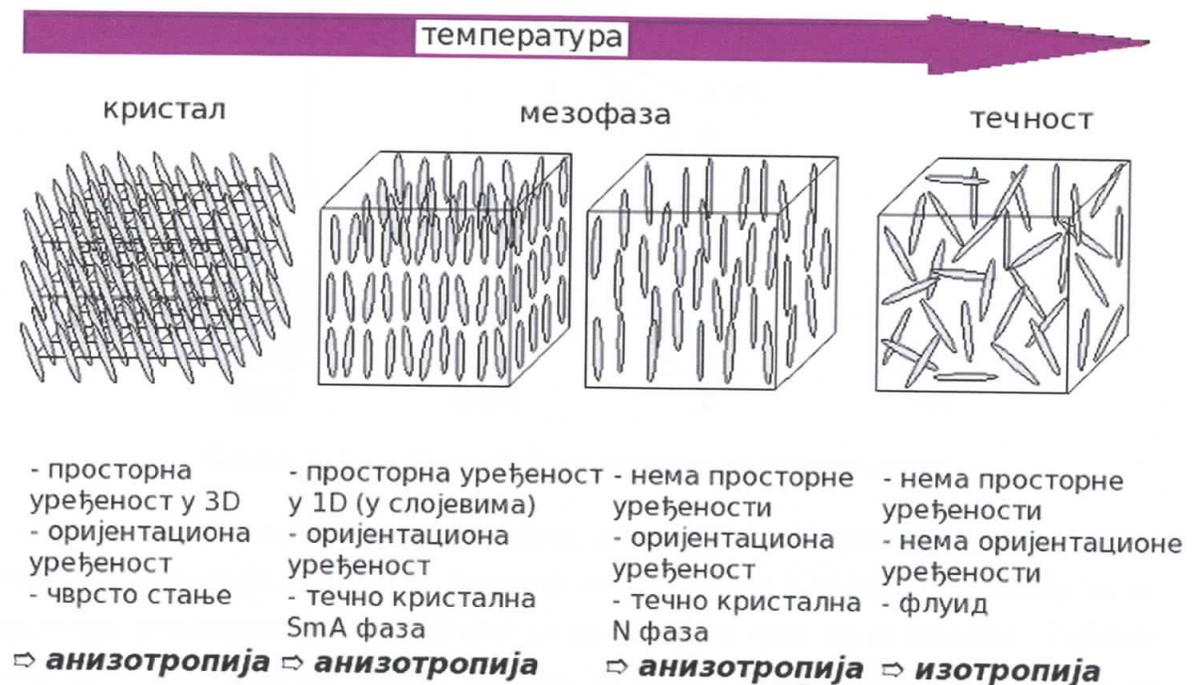
1.1. Класификација и структурна грађа течних кристала

Течни кристали по својим механичким особинама подсећају на течности, вискозност се мења у широким границама а распоред тежишта молекула поседује само уређеност на близину.

По оптичким својствима течни кристали су оптички анизотропни а осе молекула су уређене по правцу што потврђује њихову сличност са једињењима кристалног карактера [3].

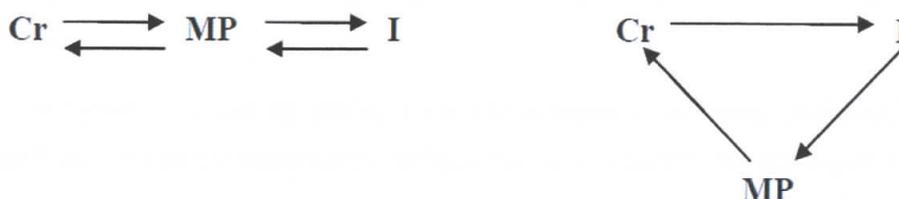
Молекули течних кристала су најчешће дуги, у виду штапића или дискова.

Мезогена једињења се могу класификовати у две групе: анфифилна и неанфифилна једињења. Анфифилна једињења формирају групу лиотропних течних кристала који мезофазу образују растварањем у води или органским растварачима, при чему температурни интервал образовања мезофазе зависи искључиво од концентрације раствора. Неанфифилна једињења мезофазу образују у процесу грејања или хлађења и формирају групу термотропних течних кристала (слика 2.)



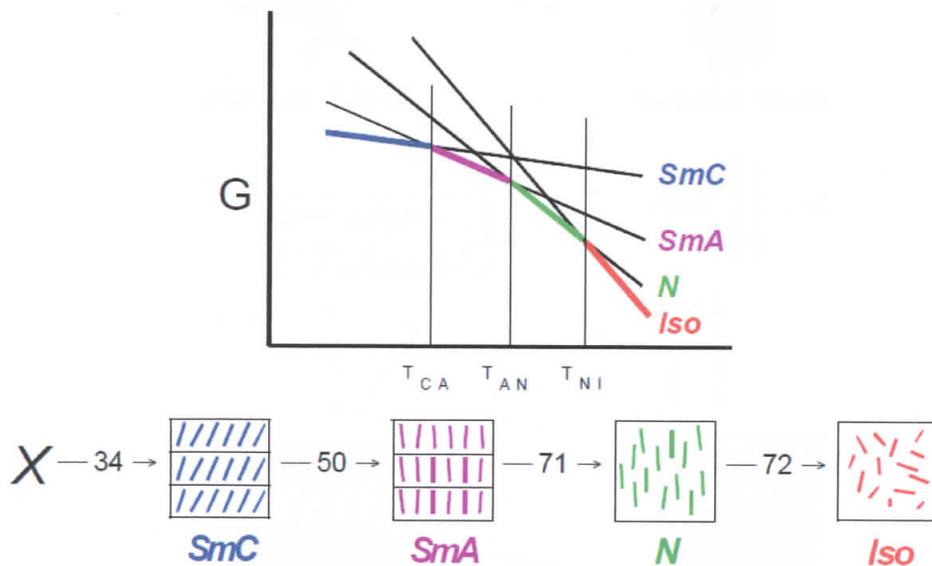
Слика 2. Термотропни течни кристали

Неке од термотропних супстанци, при загревању не пролазе кроз мезофазу, већ се течно-кристални карактер остварује тек у процесу хлађења из изотропне фазе. То су монотрони течни кристали. Супстанце које и при загревању и при хлађењу пролазе кроз мезофазу, познате су као енантиотропни течни кристали (слика 3.).



Слика 3. Фазни дијаграм енантиотропних и монотропних течних кристала

Редослед фазних прелаза у процесу загревања почев од чврстог кристалног стања врши се тако да се прво образују фазе вишег степена уређености. Пример могућих фазних прелаза, као и графички приказ зависности Гибсове енергије од температуре, односно на температурама фазних прелаза, приказан је на слици 4.

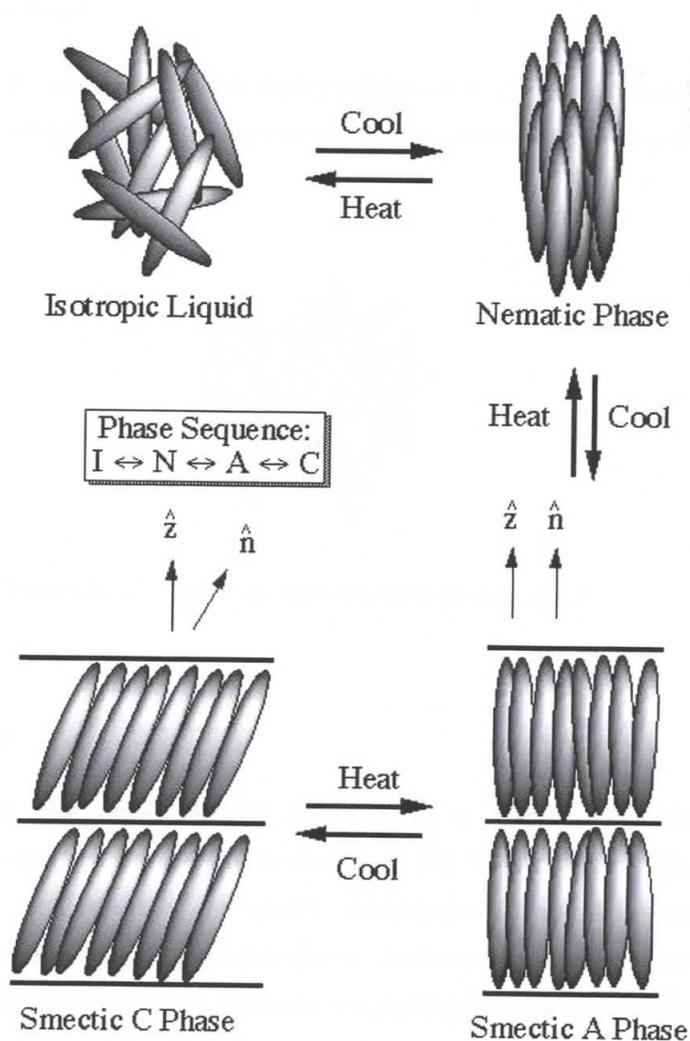


Слика 4. Зависност Гибсове енергије од температуре

Гибсова енергија у себи садржи два члана, енталпијски, који узима у обзир промену унутрашње енергије система, и ентропијски који узима у обзир вероватноћу да се реализује посматрани систем. Пошто се са слике се види да је вредност Гибсове енергије на температури фазног прелаза из SmC у SmA највећа у поређењу са температурама фазног прелаза из SmA у N, и из N у Iso, може се закључити да је највећи допринос енталпијски.

Постоје три основне фазе течних кристала (слика 5), а то су:

- Нематска (грчка реч «νημα» - конач - молекули су уређени у једном правцу, а тежишта молекула су хаотично распоређена;
- Сметичка (грчка реч – сапуница) - молекули уређени у паралелним равнима, а уздужне осе молекула су нормалне на равни, или стоје под одређеним углом;
- Холестеричка (назив су добила по холестеролу-његовим естрима). У једној равни молекули су паралелни међусобно а у односу на молекуле у суседним равнима заокренуте су за мали угао; на тај начин је образована какарактеристична спирална структура.



Слика 5. Течно-кристалне фазе

Данас су у употреби смеше чисто течно-кристалних супстанци, као и течно-кристалне супстанце са примесом (допанти). Утврђено је да додавањем вискозно-анизотропних супстанци, без течно-кристалне фазе може се значајно побољшати карактеристика смеше.

2. ОСНОВНЕ ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕЧНИХ КРИСТАЛА

Дуге осе молекула термотропних супстанци теже да се уреду у једном правцу. Просечан правац оса молекула дефинисан је јединичним вектором правца-директором, n . Правац директора често се поклапа са оптичком осом.

2.1 Изотропна фаза

У изотропној (I) фази не постоји уређеност уздужних оса молекула у одређеном правцу, а не постоји ни дугодометно уређење тежишта молекула (слика 6.).



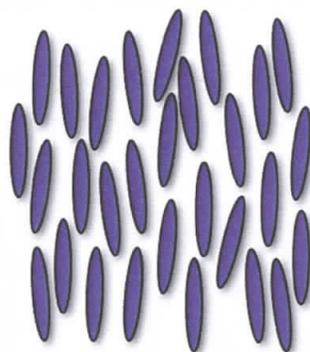
Слика 6. Шематски приказ изотропне фазе

2.2 Плава фаза

Плава фаза (BP, Blue Phase) пронађена је код појединих течно-кристалних супстанци, непосредно испод тачке топљења [4]. Она се уобичајено образује у уском температурном интервалу од само неколико степени, између изотропне и холестеричке фазе. Због појаве расејања светлости од изотропних честица чије су димензије приближне таласној дужини видљиве светлости је добила име.

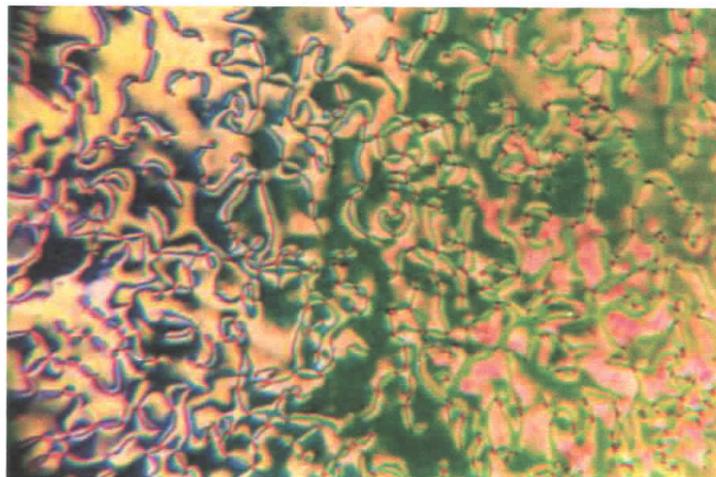
2.3 Нематска фаза

Молекули нематских течних кристала имају форму у виду нити. Молекули немају фиксне правце, и аналогни су дислокацијама у кристалима, па се зато називају дисклинацијама. (слика 7. и 7а.)



Nematic

Слика 7. Нематски течни кристали: шематски приказ



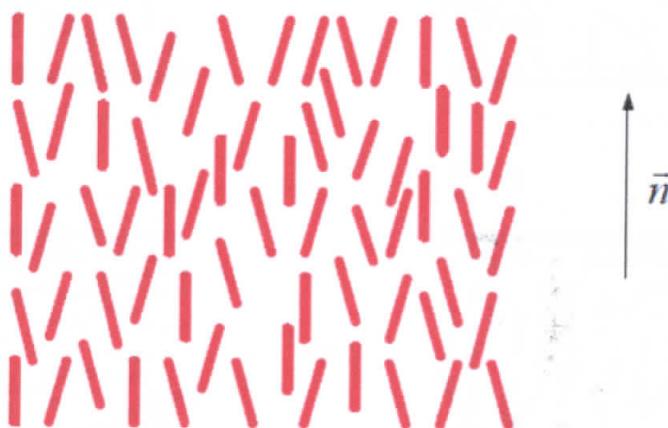
Слика 7а. Линијска текстура нематске фазе

Нематска мезофаза дозвољава translацију молекула у произвољном смеру и због тога је ова мезофаза течнија од других. Вискозност нематика је истог реда величине као и код течности.

Уопштене особине нематика су:

- У распореду тежишта молекула не постоји уређеност дугог домета. Управо због тога изостају „браговски пикови“ на дифрактограму;

- Распоред тежишта молекула подсећа на распоред тежишта молекула у обичној течности. То узрокује велику вискозност нематика, око 0,01 Pas;
- Правци молекула показују извештан степен уређености, они теже да се поставе паралелно некој оси која је окарактерисана јединичним вектором (директором) \bar{n} . Ова карактеристика утиче на сва тензорска својства;
- Правац директора (слика 8) је произвољан у простору и практично је одређен слабим силама (на пример утицај зидова посуде) ;

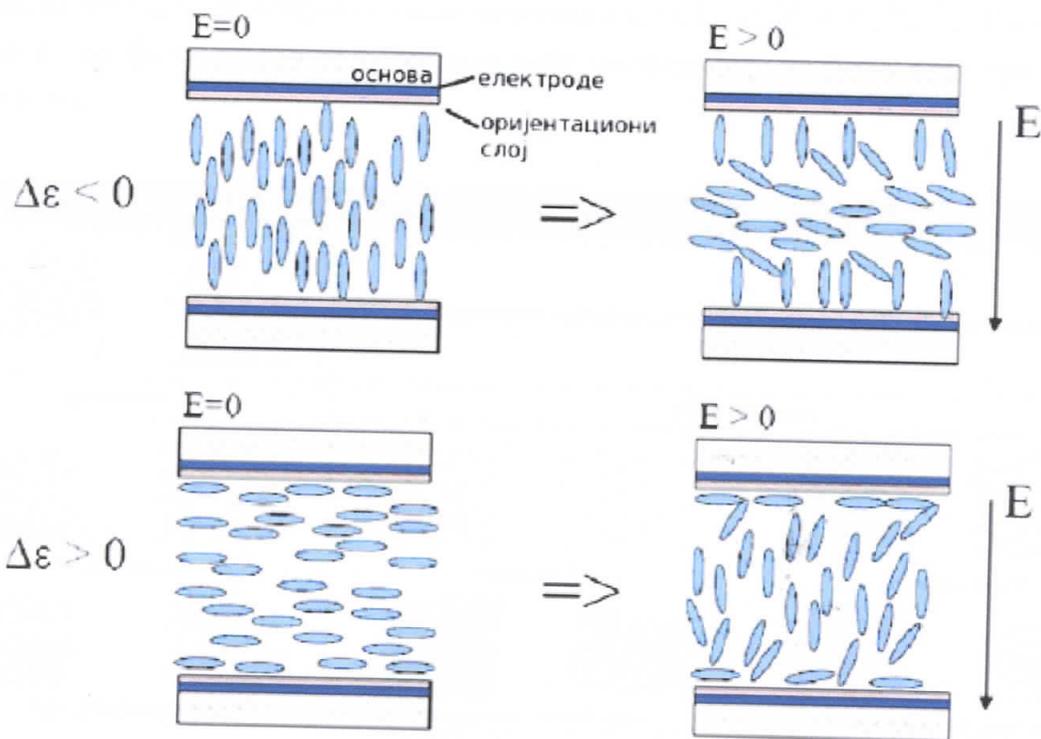


Слика 8. Положај молекула и директора у нематичку

- Да би неки молекули могао да уђе у састав нематске фазе, мора поседовати особину да се не разликује од свог огледалског lika. Карактеристике их једноосна уређеност дугог домета, без поларизације и управо је то разлог за макроскопске особине нематика. Дебљина нематских слојева је реда величине 1mm;
- Приликом хлађења, ако се из нематске фазе образује смектичка онда је то обично SmA или SmC а образовање фазе са молекуларним уређењем дуж слоја, SmB, јавља се у појединим случајевима.

У електричном пољу нематички испољавају особине динамичког расејања светлости. Молекули течних кристала поседују диполни момент, под утицајем електричног поља принуђени да се окрену тако да се смер поља и оса диполних момента поклапају. Ако се смер диполног момента поклапа са уздужном осом молекула (супстанца је са позитивном диелектричном анизотропијом), јони на путу до електрода не проузрокују веће промене. У случају не поклапања диполног момента молекула и његове уздужне осе (негативна диелектрична анизотропија), јони који су

усмерени ка електродама проузрокују велика подручја турбуленције, а та подручја расипају видљиву светлост (слика 9)



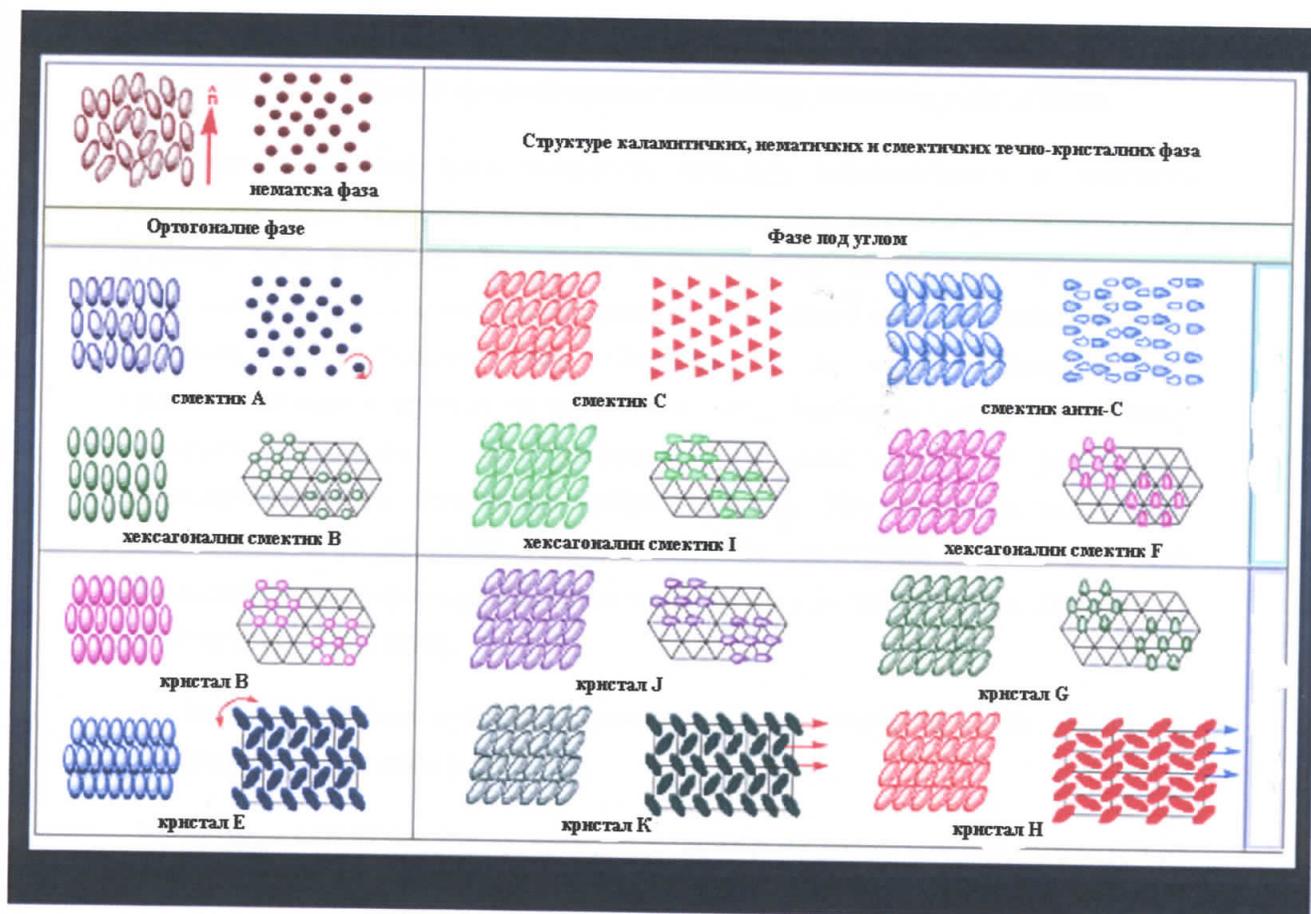
Слика 9. Понашање течног кристала са негативном и позитивном диелектричном анизотропијом у електричном пољу

Услед динамичког расејања ова појава има широку примену у техници за израду индикатора (дисплеја), светлосних прекидача... За испис информација се користи динамичко расејање [5].

2.4 Смектички течни кристали

Смектички течни кристали имају пуно сличности са механичким особинама сапунице. Спољашња и унутрашња опна мехура од сапунице се састоји од смектичких слојева. Они су уређенији од нематика. Смектичку мезофазу граде искључиво једињења која поседују поларну групуна једном крају молекуларног ланца, или на оба краја ланца, или у чврстом стању имају слојеве међусобно паралелних молекула. Међу течним кристалима смектици имају највећи степен уређености. Растојање између слојева је најчешће 2-3 nm. Оно се може одредити методом дифракције.

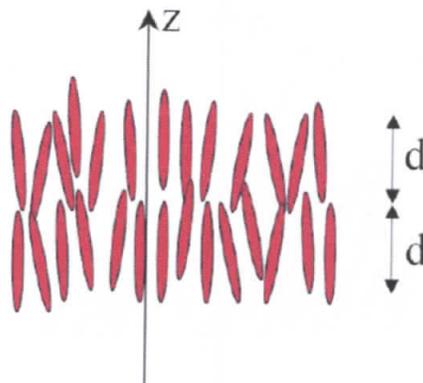
Осе молекула са нормалама слојева заклапају одређене углове, у оквиру једног слоја оне су истог правца. Између слојева се јављају релативно слабе привлачне силе, па се они померају један у односу на други и тако образују смектичку мезофазу са механичким особинама раванског, димензионог флуида. У зависности од положаја молекула разликује се више смектика (А, В, С, D, E, F, G, H, I). Најчешће су прве три фазе, а преостале представљају комбинацију особина прве три фазе (слика 10).



Слика 10. Врсте смектичких фаза

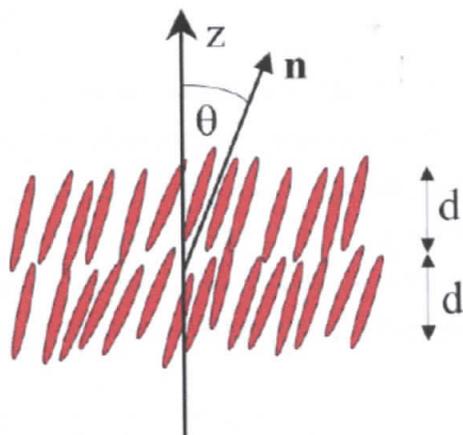
Врсте смектичких течних кристала:

- *Сметик А.* Ова врста смектика се одликује слојевитом структуром, при чему су уздужне осе нормалне на слојеве. Тежишта молекула у оквиру једног слоја нису уређена и сваки слој се може слободно кретати у односу на остале. Смектичка А фаза је оптички једноосна, а слојеви у оквиру у ње су равни (слика 11).



Слика 11. Просторна и оријентациона расподела мезогена у *Sm A* фази

- *Смектик В.* У овој фази молекули показују периодичност и чврстину кристалног тела. Тежишта молекула су уређена тако да образују хексагоналну решетку, али у правцу уздужних оса молекула не постоји дугометна уређеност. Тежишта молекула су уређена у три димензије, али молекули могу ротирати око уздужних оса. Смектик В се може третирати као тродимензионални кристал са ротационом неуређености. Слојеви *SmB* нису изражено савитљиви и при дифракцији X-зрака опажа се рефлексција карактеристична за унутрашњу уређеност слоја. Микроскопска слика овог типа смектика је мозаичка текстура. Између смектичке В фазе и чврсте кристалне фазе микроскопска слика није понекад јасно уочљива. Познате су две структуре *SmB* фазе:
 - *SmB_A* - осе молекула су нормалне на раван слоја и у том случају је структура оптички једноосна;
 - *SmB_C* – осе молекула су нагнуте у односу на раван слоја и структура је оптички двоосна.
- *Смектик С.* Смектик С има сличну структуру смектику А, разлика је у томе што су осе молекула нагнуте у односу на нормалу равни слојева (слика 11а).

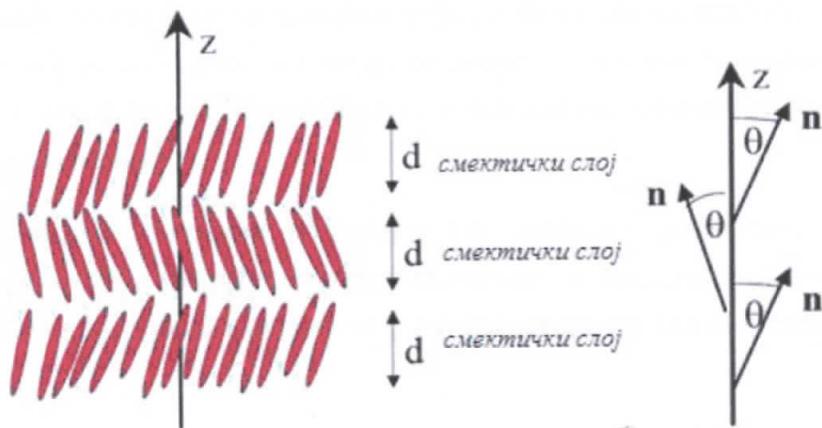


Слика 11а. Просторна и оријентациона расподела мезогена у SmC фази

Основне карактеристике смектичке C фазесу:

- Сваки слој је дводимензионо течан, односно тежиште молекула у оквиру слојева су неуређена;
- Смектик C је оптички двоосан;
- Супстанце овог типа су оптички неактивне, али ако им се додају оптички активни молекули, у структури се јавља спирална конфигурација, што доводи до изражене оптичке активности.

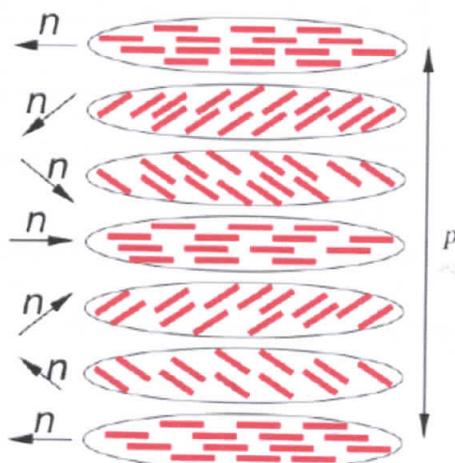
Смектичка SmC_A фаза је уређенија од SmC фазе. У овој фази молекули мењају угао нагиба θ у суседним слојевима. Ако један слој има угао нагиба θ , следећи слој је нагнут за минус θ , и тако редом. Пројекција директора n на смектичке равни има исти правац, а наизменично мења смер по слојевима (слика 12).



Слика 12. Просторна и оријентациона расподела мезогена у SmC_A фази

2.5 Холестерички течни кристали

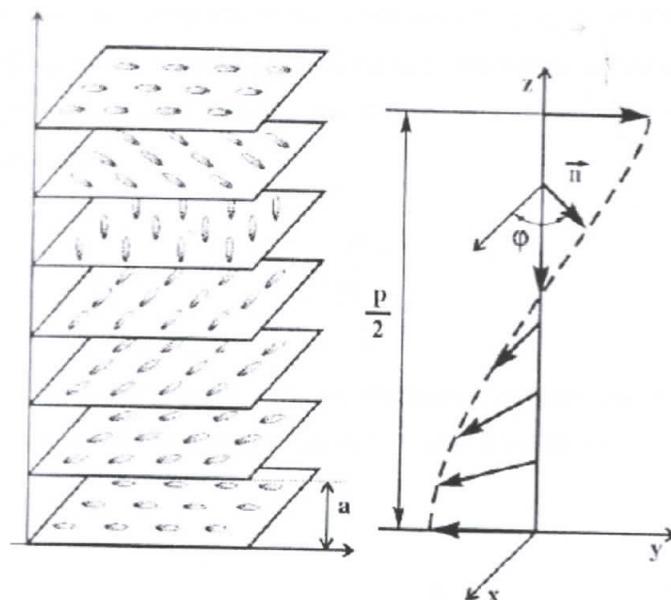
Добили су име по холестеролу, односно његовим естрима. Њихова специфична просторна конфигурација доводи до образовања хеликоидалне структуре. Код холестерика је присутна уређеност по правцу само у молекуларним равнима, а молекули у једном слоју заокренути су за изврстан угао у односу на молекуле суседног слоја. Због великог броја слојева смер уздужних оса молекула описује завојницу, а оса завојнице лежи нормално на граници слојева (слика 13)



Слика 13. Шематски приказ холестеричке фазе

Холестерична фаза може се посматрати као нематска творевина са одређеном структуром у виду завојнице, која настаје захваљујући оптичкој активности молекула. Док се нематици могу посматрати као холестерици са бесконачним коракном спирале. Нематици и холестерици се често сматрају подкласама једног истог система, тако да многе опште теорије изведене за нематике важе и за холестерике као специјалан случај. Различити субституенти које граде холестерик излазе из равни молекула према доле или горе, па се због тога молекули у суседним слојевима морају заокренути за изврстан угао да би се обезбедило густо паковање. Према правцу обртања спирале разликују се десни и леви ход завојнице. Мешањем супстанци са левим и десним ходом може се мењати корак спирале холестерика, па и његове оптичке особине.

Холестерици се оптички понашају као локално једноосни, испољавају селективну рефлексију, велику оптичку активност и циркуларни дихроизам. На слици 14, шематски је приказано како се формира завојница код холестерика [6].



Слика 14. Формирање завојнице код холестерика

Пошто се корак холестеричке спирале мења са темературом оптичке особине такође испољавају зависност од температуре.

2.6 Структура и особине течних кристала са диполним уређењем

Основна какарактеристика течно-кристалних фаза са диполним уређењем је висока симетрија која не дозвољава спонтану поларизацију (локализовани електрични диполни моменти). Висока симетрија је основна карактеристика фероелектричних материјала. Мејер (В.Мeуер) је 1974. године користио аргумент о симетрији и закључио да SmC фаза, која је састављена од хиралних молекула (огледалски асиметричних), мора бити фероелектрик [7]. Он је 1975. године закључио да једино SmC* фаза има довољно ниску симетрију, која задовољава постојање хирално-индукованог фероелектричног уређења [8].

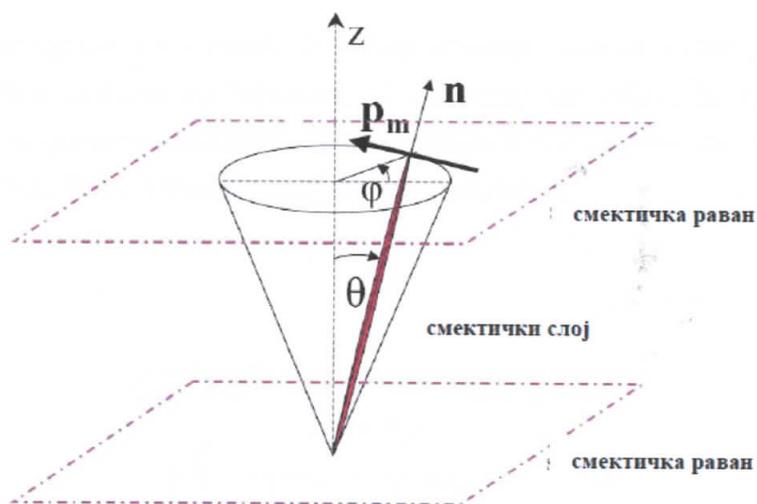
2.7 Фероелектрична смектичка C* фаза

У ахиралној SmC фази молекули су нагнуте у односу на раван слоја. Елементи симетрије су: огледалска раван, двострука оса симетрије, и центар инверзије. SmC* фаза се назива фероелектричном фазом [9,10]. Хиралну SmC* фазу карактерише угао θ ~ угао нагиба директора у односу на нормалу на смектички слој. Раван нагиба

чини директор, \mathbf{n} , његова пројекција на смектички слој и јединични вектор \mathbf{z} . Сваки смектички слој поседује спонтани електрични диполни момент, P , нормалан на директор и паралелан са равни смектичког слоја. Локална макроскопска поларизација је дата изразом:

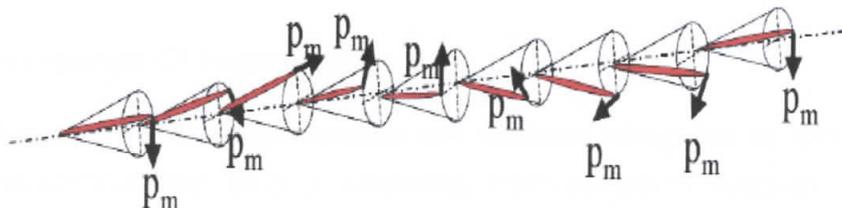
$$\bar{P} = P_s \frac{\bar{n} \times \bar{z}}{|\bar{n} \times \bar{z}|}$$

Због хиралности, SmC^* фаза има хеликоидну структуру која се карактерише кораком спирале \mathbf{p} и азимуталним углом ϕ [11,12]. Слика 15.



Слика 15. Фероелектрична SmC^* фаза

Оса спирале је нормална на слојеве. Услед обртања директора дуж осе спирале, оса ротације C_2 и вектор поларизације смектичког слоја P_s ротирају у простору и описују пун круг за један корак спирале (Слика 16).

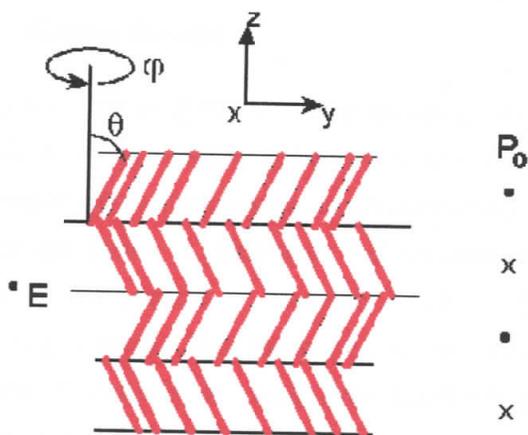


Слика 16. Ротација директора \mathbf{n} и вектора поларизације \mathbf{p}_m у смектичким слојевима SmC^* материјала дуж корака спирале

Електрично или магнетно поље примењено паралелно са смектичким слојем може довести до разматавања спиралне структуре, а то се манифестује макроскопском спонтаном поларизацијом у равни. Код чврстих кристалних фeroелектричних материјала диполи молекула стварају снажно унутрашње поље које кумулативно преорјентише преостале молекуле и тако утиче на њихов диполни момент. Фeroелектрични материјал нагло поларише при температури испод Киријеве температуре. Код SmC^* спонтана поларизација расте испод температуре прелаза, али је почетни механизам спонтане поларизације диктиран интермолекуларним силама, а није последица поларизације.

2.8 Антифeroелектрична смектичка C^*A фаза

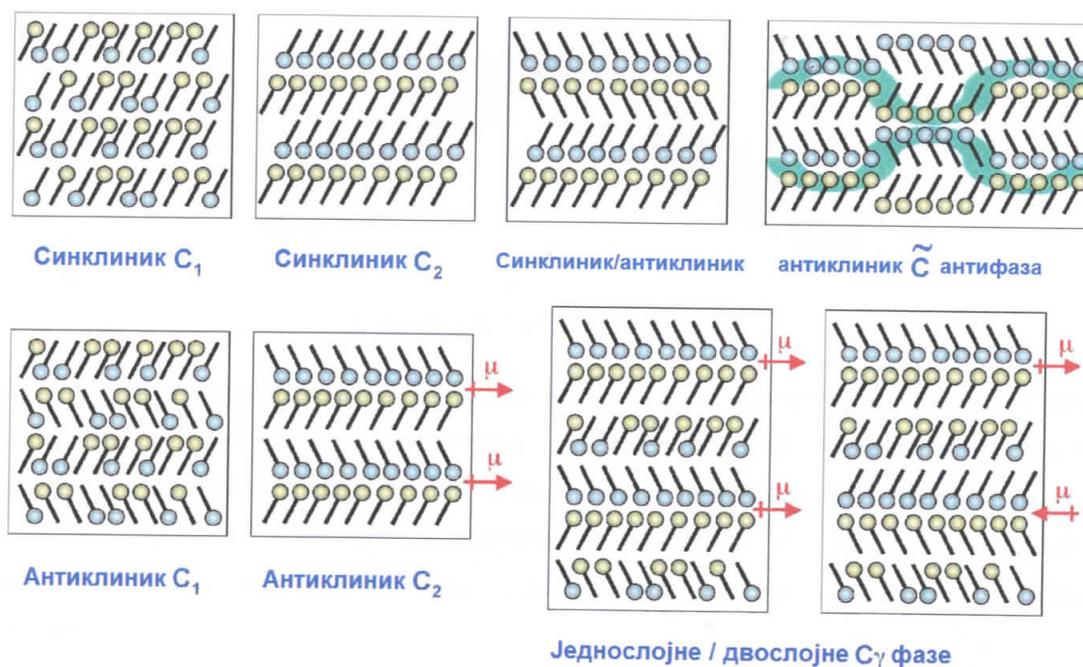
Антифeroелектрици су слични фeroелектричним течним кристалима иако се молекули окрећу супротно по нивоима. Последица ове појаве је то да су тачке поларизације у супротним правцима. Ови материјали тек почињу да се примењују у уређајима пошто су брзи и уређаји могу бити бистабилни.



Слика 17. Антифeroелектрична смектичка фаза

2.9 Фериелектрична C^* смектичка фаза

Фериелектрици су изразито вредни као основни материјал за дисплеје, пошто показују фериелектричну фазу у широком температурном распону. Они такође показују брз одзив упркос својој малој спонтаној поларизацији.

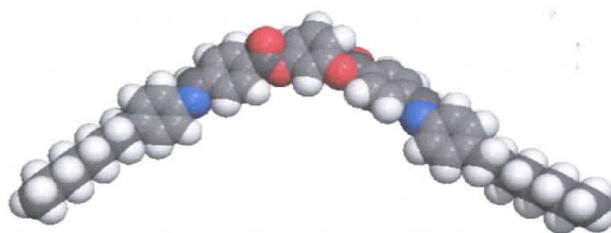


Слика 18. Фериелектрична C^* смектичка фаза

2.10 Течни кристали облика банане

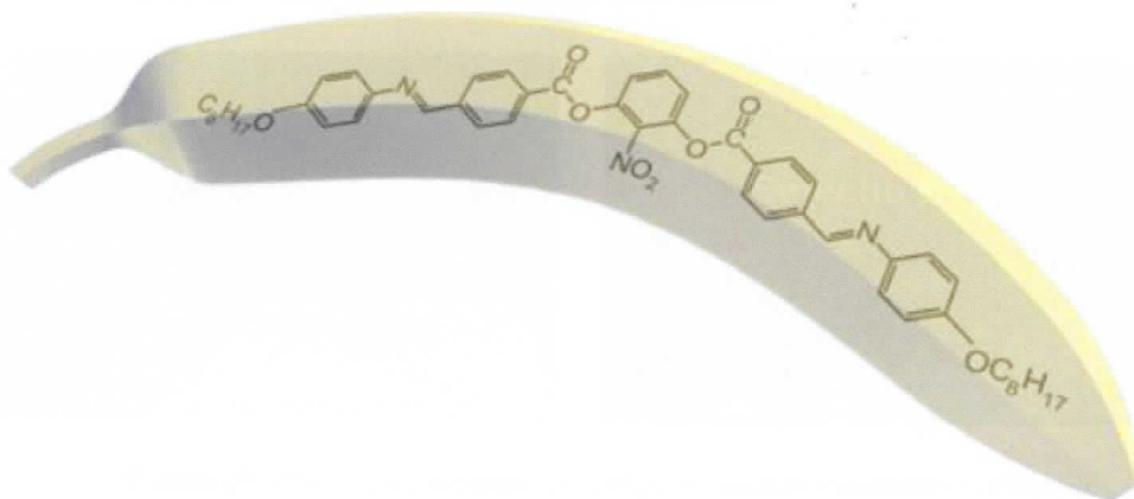
Постојање течно-кристалних фаза у материјалима са увијеним (бананоликим) молекулама (слика 19) први је открио и презентовао 1929.године Форлендер (D. Vorlander) [13]. Течно-кристалне супстанце са молекулама облика банане, одликује се изузетно лепим текстурама. Супстанце са бананоликим молекулама могу формирати поларне смектичке слојеве са фероелектричним или антифероелектричним својствима. Запажено је да се молекули савијеног језгра подвргавају компактном паковању и тиме губе слободу ротације, чиме је овим молекулама омогућено да се организују у нове типове течно-кристалних фаза.

Усвојено да се ове нове мезофазе обележавају словом **В**. Основна разлика међу овим фазама базирана је на оптичким карактеристикама, и они се разликују како у самом изгледу текстуре, тако и по дијаграмима добијеним дифракцијом X -зрака. Временом је утврђено да супстанце са бананоликим молекулама могу формирати поларне смектичке слојеве са фероелектричним или антифероелектричним својствима [14].



Слика 19. Увијени молекул

Веома значајна примена ових молекула је у електрооптичким уређајима. Применом довољно јаког електричног поља бананолики материјал прелази из рацемског у хирално стање, а оба стања су се показала стабилним у одсуству електричног поља. Овакви материјали могу бити од великог интереса за пијезоелектричну, пироелектричну, електро-оптичку и не-линеарну оптичку примену.



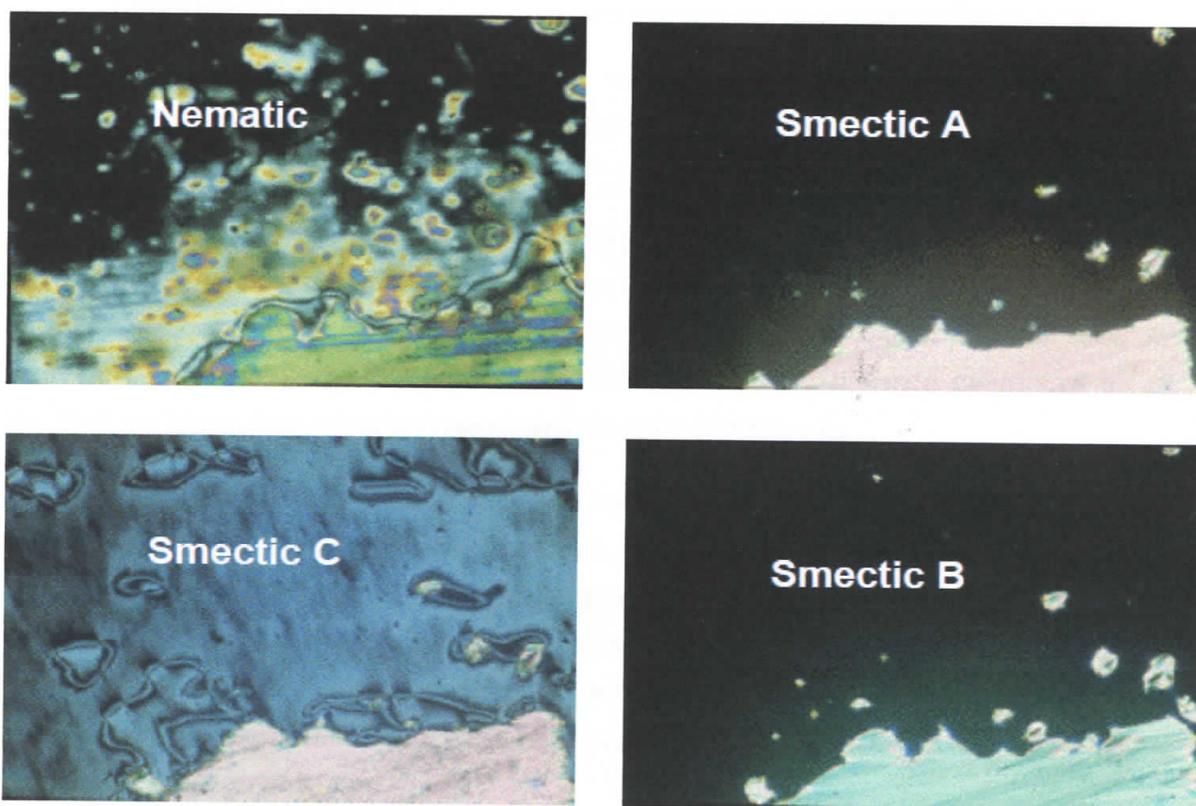
Слика 20. Структурна формула молекула течних кристала облика банане

3. ТЕЧНО КРИСТАЛНЕ ТЕКСТУРЕ

Термин текстура увео је Фридел (С. Friedel), овај термин дефинише слику танког слоја течног кристала видљиву под поларизационим микроскопом при ортоскопском посматрању. Испитивање течно-кристалне супстанце подразумева и одређивање њене текстуре. Због различитих врста дефеката имамо разнолике текстуре. Течно-кристалне структуре се могу сврстати у две основне групе: планарне

и непланарне [15]. Код планарних структура мезофазе се одликују линијским, мозаичким текстурама степенастих капи и линијским текстурама. Код непланарних структура мезофазе се одликују структуром Дипонових циклоида, одликују се полигоналним, лезеастим, штапићастим текстурама,...

На слици 21 показани су различити типови текстура по течно кристалним фазама.



Слика 21. Различити типови текстура по течно кристалним фазама.

4. ПРИМЕНА ТЕЧНИХ КРИСТАЛА

Основно својство течних кристала, које омогућава њихову успешну примену је могућност контролисања њихових оптичких особина електричним и магнетним пољем. Примењено спољашње поље делује на орјентацију молекула а самим тим и на оптичке особине материјала. Међу значајније примене спадају течно-кристални дисплеји, термометри и оптичко сликање.

Течно-кристални дисплеји широко су примењиви. Првобитна намена екрана са течним кристалима била је, пре свега у разним преносним уређајима где су се

показали веома погодним због мале потрошње енергије и малог простора којег заузимају. Напретком технологије њихова намена је значајно проширена и на друге области (компјутери, телевизори, ...). Основни састојак LCD екрана је течни кристал. Постоје четири битне чињенице које су омогућиле постајање оваквих екрана:

- Светлост се може поларизовати
- Течни кристали поседују могућност промене равни поларизације светлости
- Течни кристали се могу контролисати електричним и магнетним пољем
- Употребом проводних материјала електрична струја се може једноставно довести до течно-кристалне супстанце

Да би се направио један LCD монитор потребно је распоредити молекуле течних кристала у матрицу тако да свака ћелија матрице образује један пиксел (pixel) затим до сваке ћелије матрице треба довести напон. За екран у боји потребни су још и филтери за боје. Тако је добијен LCD панел. Један такав панел сам по себи не емитује светлост и обично је само црн, зато је потребан и извор светлости па се постављају једна, или више флуоросцентних цеви иза панела.

Код израде великих, равних дисплеја са нематским ћелијама један од основних проблема је релативно спора реакција на примењено електрично поље, односно недовољно брз одзив молекула. За разлику од нематика, молекули у хиралној SmC* фази много брже мењају своје оптичке карактеристике у електричном пољу али ни они нису погодни за велике дисплеје пре свега због температурне нестабилности ове мезофазе. Течно-кристалне фазе са молекулима облика банане карактерише се брзим одзивом у електричном пољу [16].

За израду једног комплетног дисплеја поред много средстава неопходно је учешће мултидисциплинарних знања и технологија.

Течно-кристални термометри имају, такође, широку примену и раде на следећем принципу. Хирални нематик (холестерик), рефлектује светлост таласне дужине која одговара кораку спирале. Корак спирале директно зависи од температуре, па и боја која ће бити рефлектована зависи од температуре. Холестерици омогућују тачно мерење температуре само посматрањем боје термометра.

Најзначајнија употреба оваквих инструмената је развијена како у електроници тако и у медицини. Специјално течно-кристални уређаји могу се прикачити на кожу болесника и они ће показати «температурну мапу». Течни кристали се могу употребити и за проналажење лоших електричних конекција, детекцијом типичне високе температуре.

Оптичко сликање је метода која је још у развоју. У оквиру ове технологије течно-кристална ћелија се поставља између два слоја фотопроводника. Светлост се усмерава на проводник и долази до побољшања проводљивости материјала. То изазива успостављање електричног поља у течном кристалу које је пропорционално интензитету примљене светлости. Узорак се може повезати са електродом, која омогућава да се слика сними. Ова идеја је још увек у фази развоја, али представља једну од веома значајних примена течних кристала.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ТЕХНИКЕ И МЕТОДЕ

У оквиру испитивања феро-електричних супстанци, примењене су следеће експерименталне методе: методе оптичке микроскопије и метода дифракције Х-зрака на узорцима.

5.1. Оптичка испитивања

Оптичка испитивања су вршена помоћу поларизационог микроскопа у транспарентној светлости са посебним додатком-столом за грејање, односно хлађење узорка. Поларизационим микроскопом се испитују оптичке особине анизотропних супстанци. Шема поларизационог микроскопа приказана је на слици 22. За разлику од обичног микроскопа овај микроскоп, садржи поларизатор и анализатор. Линеарно поларизована светлост, добијена пролазом природне светлости кроз поларизатор, пролази кроз слободним отвор на предметном сточићу и пада на анализатор. Ако су оптичке осе поларизатора и анализатора паралелне анализатор пропушта светлост. Тиме се добија светло видно поље, а ако су укрштене, не пропушта светлост, односно добија се тамно видно поље. Када се при укрштеним полароидима на предметни сточић постави изотропан провидан препарат-видно поље остаје тамно, ако се постави оптички анизотропан препарат, видно поље постаје светлије и тако се посматра оптичка структура препарата.

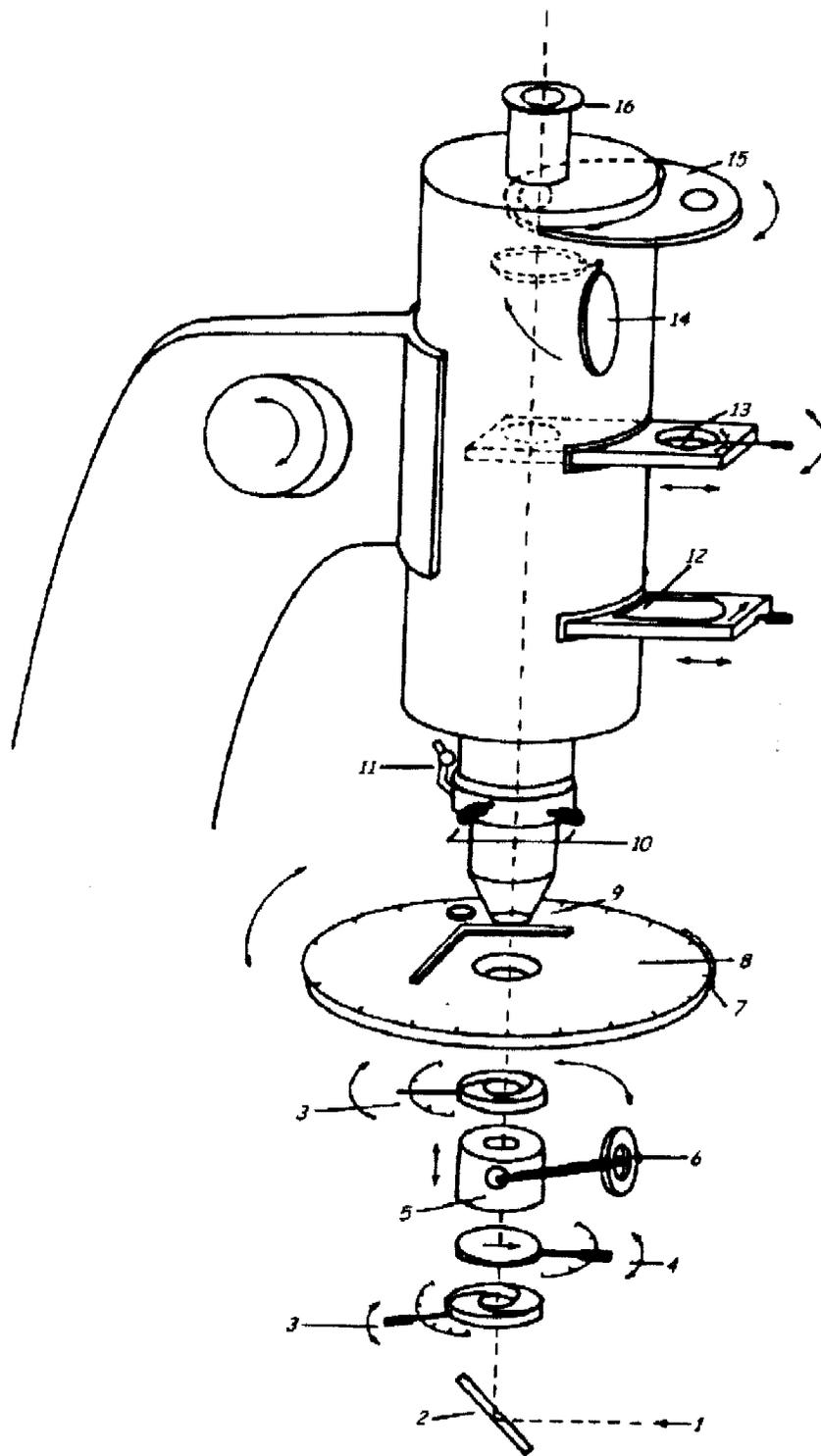
Ако се течно-кристална супстанца посматра на собној температури то је кристална фаза. Загревањем течни кристал улази у мезофазу. Апаратура је подешена тако да омогућава да се узорак неко време одражава на константној температури како би се посматрала и фотографисала добијена мезофаза. Кад прође кроз све карактеристичне мезофазе, узорак прелази у изотропну фазу и видно поље постаје тамно.

Узорци се постављају на стаклену микроскопску плочицу и поклапају покровном плочицом. Тако припремљен препарат стави се на грејни сто, који је смештен на обртном постољу поларизационог микроскопа. Испитивања су вршена у ортоскопској техници са укрштеним поларизатором и анализатором.

Фотографија поставке апаратуре коришћене за оптичка испитивања приказана је на слици 22.



Слика 22. Фотографија поставке апаратуре за оптичка испитивања



Слика 23. Шема поларизационог микроскопа

На слици 23, бројеви су редом означени и представљају: 1. извор светлости, 2. огледало, 3. ирис бленда, 4. поларизатор, 5. кондезатор, 6. допунско сочиво за коноскопију, 7. нонијус, 8. предметни сточић, 9. објектив, 10. завртник за центрирање објектива, 11. брава за објектив, 12. кварцни клин, 13. анализатор, 14. Бертраново сочиво, 15. диск са филтрима, 16. окулар.

5.2. Дифракција X-зрака на течним кристалима

Испитивањем течно-кристалних супстанци методом дифракције X-зрака, добијају се информације о стању угљоводоничних ланаца, као и о уређености кристалне решетке. За добијање потпунијих информација о структури неопходно је податке добијене овом методом комбиновати са подацима о величини, изгледу, и хемијским особинама молекула. Информације добијене дифракцијом нису довољне за потпуно одређивање структуре кристала али ипак омогућују формирање приближне слике о уређености молекула унутар мезофазе, дебљини слојева, као и међумолекуларним растојањима.

Дифракциони спектри неоријентисаних узорака снимљене су аутоматским дифрактометром, на који је монтиран грејач узорка. Положај рефлекса се конвертује у међураванско растојање коришћенем Браговог закона:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

где је λ -таласна дужина коришћене светлости, d -међураванско растојање између суседних идентичних кристалографских равни, θ - дифракциони угао и n - ред рефлексије. Из основних поставки Брагове методе дифракције, познато је да ако је узорак постављен под неким упадним углом θ актуелно је мерење на двоструко већем углу 2θ у односу на иницијални зрак. Због тога је неопходно да се приликом скенирања обезбеди синхронизација при којој обртање узорка прати обртање бројача за двоструко већи угао.

Узорак је обично у прашкастој форми и наноси се у танком слоју директно на грејач у комори, на који је претходно нанет специјални лепак, тзв. шелак. Елемент за грејање је платинска шина димензија 132x9x1 mm, а у њеном центру се налази Pt-10%RhPt термопар дијаметра 0.35 mm и дужине 90 mm (слика 24).

Достизање одговарајуће температуре, односно њено одржавање, омогућено је преко НТК- контроле за грејање, фирме Anton PAAR. Контрола се може извести у температурном интервалу од собне до 1600 °C са грешком од 0,1 °C до 1 °C. Контрола адаптера се перманентно хлади водом. То омогућава апсолутно мерење температуре, а такође и програмирано хлађење узорка.



Слика 24. Високотемпературна камера - комора дифрактометра

При извођењу експеримента на конкретним узорцима услови рада су били следећи:

- врста зрачења: $CuK\alpha$ ($\lambda = 0,154 \text{ nm}$); - врста филтра: никал; - напон: 30 kV;
- струја 30: mA; - почетни угао: $2\theta=2^\circ$

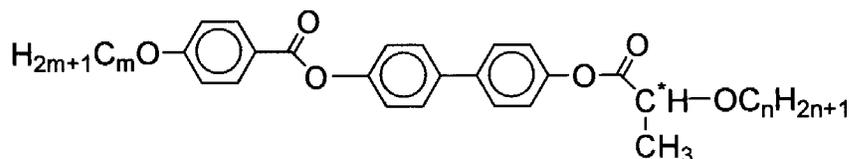
Фотографија поставке апаратуре коришћене за испитивање испитиваних узорака методом дифракције X-зрака приказана је на слици 25.



Слика 25. Фотографија поставке апаратуре за испитивање узорака методом дифракције X-зрака

6. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТИВАНИХ СУПСТАНЦИ

Генерална хемијска формула фероелектричних течних кристала са 2-алкоксипропионат хиралном групом и једним хиралним центром је приказана на слици 26.



Слика 26. Хемијска формула испитиваних течно-кристалних супстанција

Узорци су означени као $\mathbf{H\ m/n}$ где је $\mathbf{m} = 12$ и $\mathbf{n} = 4, 5, 7, 8, 10$, а симболи \mathbf{m} и \mathbf{n} представљају бројеве C атома у нехиралним и хиралним низовима.

Циљ овог рада је да се проучи утицај дужине хиралног ланца на мезоморфне структурне особине у циљу доприноса бољем разумевању односа молекуларне структуре и физичких особина.

7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И ЊИХОВА АНАЛИЗА

Сви узорци испитани су методом оптичке микроскопије, у циљу идентификације температура, температурних интервала и типова фазних прелаза у процесу грејања и процесу хлађења.

Методом дифракције X-зрака на кристалном праху неоријентисаних узорка испитани су сви узорци. Према испитивању дифракције X-зрацима растојања између слојева (d) у SmC* и SmB фази рачунато је на бази података угловних положаја дифракционих максимума 2θ за мале углове. Средње латерално растојање између паралелних дугих оса молекула (D) израчунато је на бази података 2θ за средину широког дифузног пика. За израчунавање редом за све фазе са изузетком (SmX фазе) коришћен је Брагово закон ($n\lambda = 2x\sin\theta$), где је $x = d$ или D .

Течно кристална фаза при ниским температурама SmX фаза била је идентификована код узорак **H12/7**, **H12/8** и **H12/10**, као ортогонално хексагонална SmB фаза, и за њу је просечно међумолекуларно растојање између дугих оса суседних паралелних молекула израчунато као $b = 2D / 3^{1/2}$ [17]. Код преосатала два узорка **H12/4** и **H12/5** идентификована је као CrB.

Грешке мерења рачунате су као:

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \Theta \cdot \operatorname{tg} \Theta} \cdot \Delta \Theta \frac{\pi}{180^\circ}, \Delta \Theta = 5 \cdot 10^{-2} (^\circ)$$

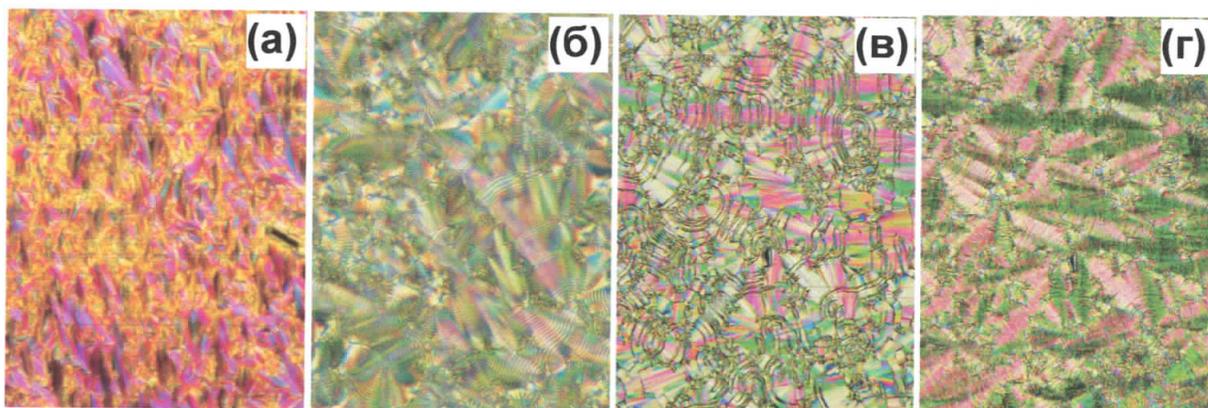
7.1. Оптичка микроскопија

Добијени резултати температура и температурских интервала фазних прелаза приказани су у табели 1. Узорци **H12/4** и **H12/7** показују хиралну нематску N* фазу, док сви испитивани узорци показују фероелектричну смектичку SmC* фазу и нискотемпературну SmX фазу. Температуре промене фаза утврђене су на основу карактеристичних текстура и њихових промена током посматрања под поларизационим микроскопом.

Табела 1. Температуре и температурски интервали фазних прелаза. Редослед фаза и температурне промене фаза (°C) су мерене при хлађењу.

узорак	Cr	°C	SmB	°C	SmC*	°C	N*	°C	Iso
H 12/4	•	80.9	—		•	141.0	•	144.6	•
H 12/5	•	73.5	—		•	136.0	—		•
H 12/7	•	57.9	•	80.7	•	144.7	•	148.0	•
H 12/8	•	59.5	•	73.0	•	137.1	—		•
H 12/10	•	57.0	•	63.8	•	127.4	—		•

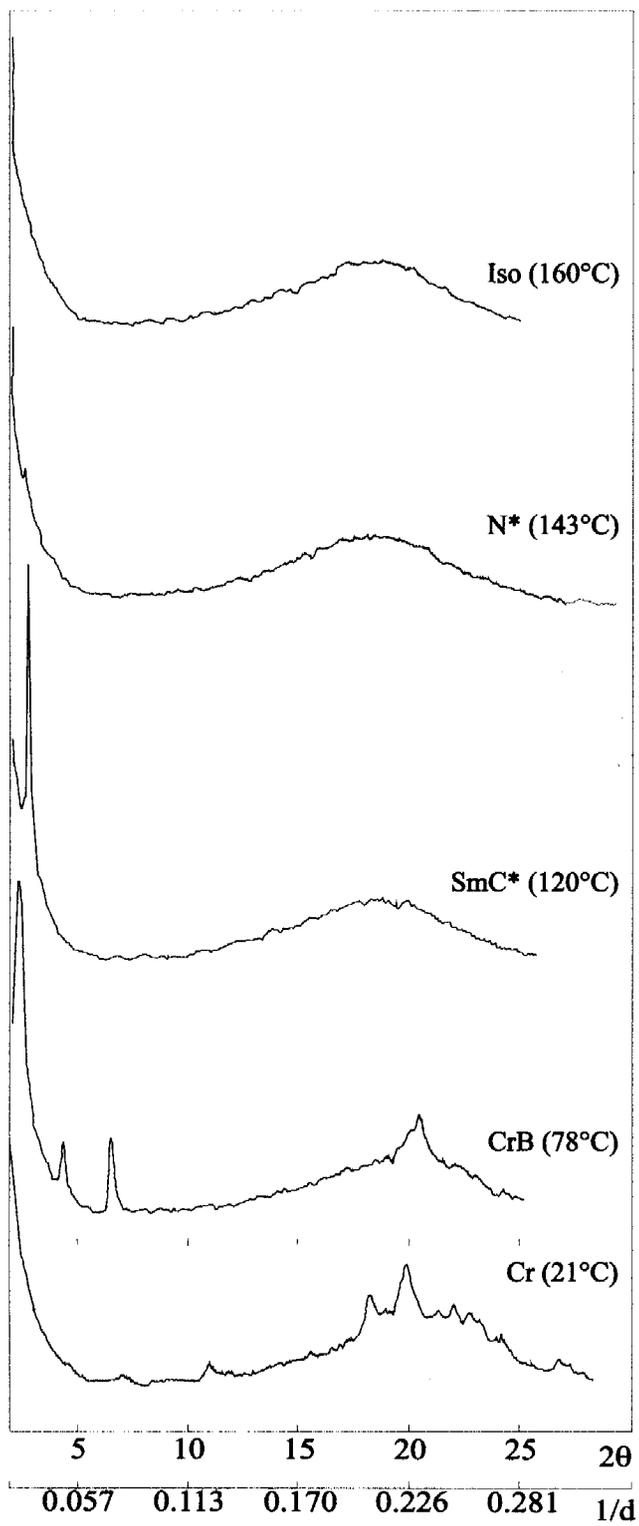
Микрофотографије карактеристичних текстура добијених на испитиваним узорцима при хлађењу су представљене на слици 27.



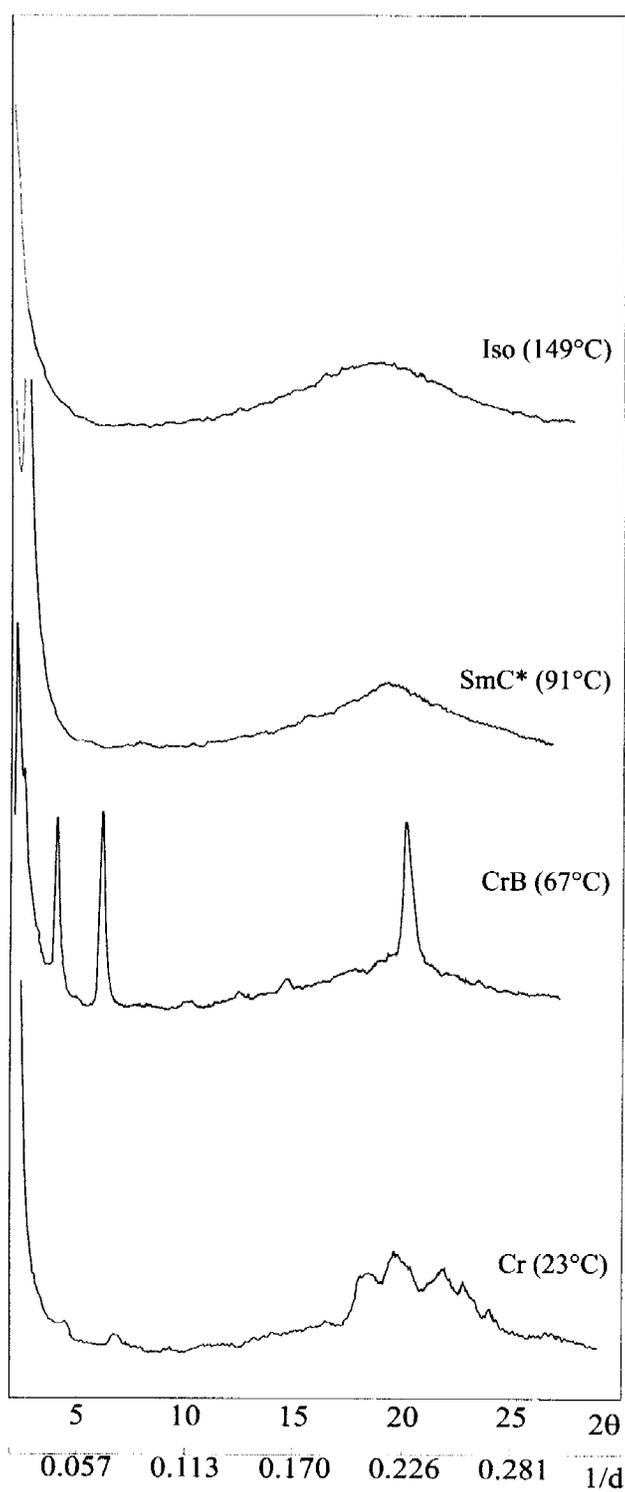
Слика 27. а) лезеаста (fan/like) текстура узорак је **H12/4** на 142°C ; б) линије дехирализације **H12/5** на 130°C ; в) делимично одмотана SmC^* за **H12/8** на 85°C ; г) текстура SmB фазе за **H12/8** на 69°C

7.2. Дифракција X-зрака

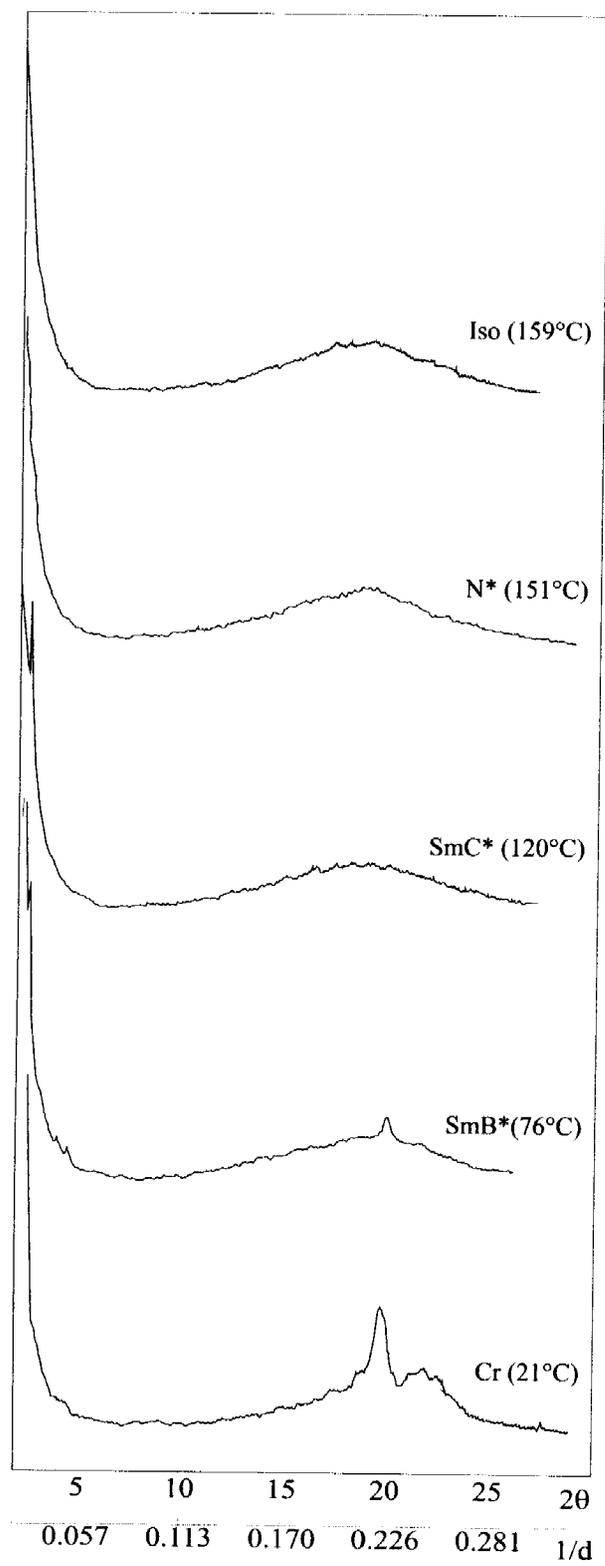
Методом дифракције X-зрака на кристалном праху неоријентисаних узорака испитани су сви узорци. Карактеристични дифрактограми свих испитиваних узорака су приказани на сликама 28 – 32. Анализа дифрактограма X-зрака показује да сва једињења испољавају широк распон температура за фероелектричну SmC^* фазу.



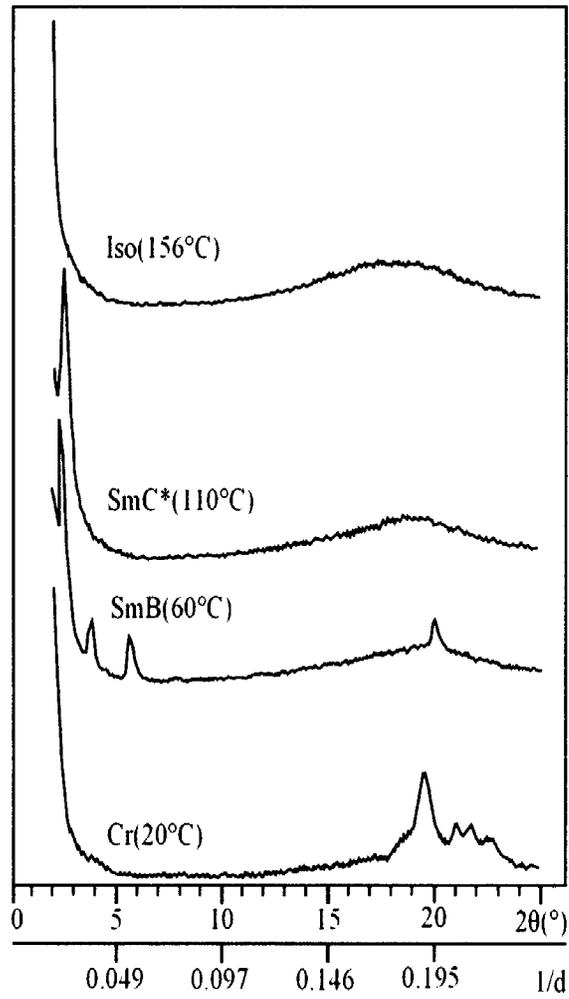
Слика 28. Дифрактограм за узорак Н 12/4.



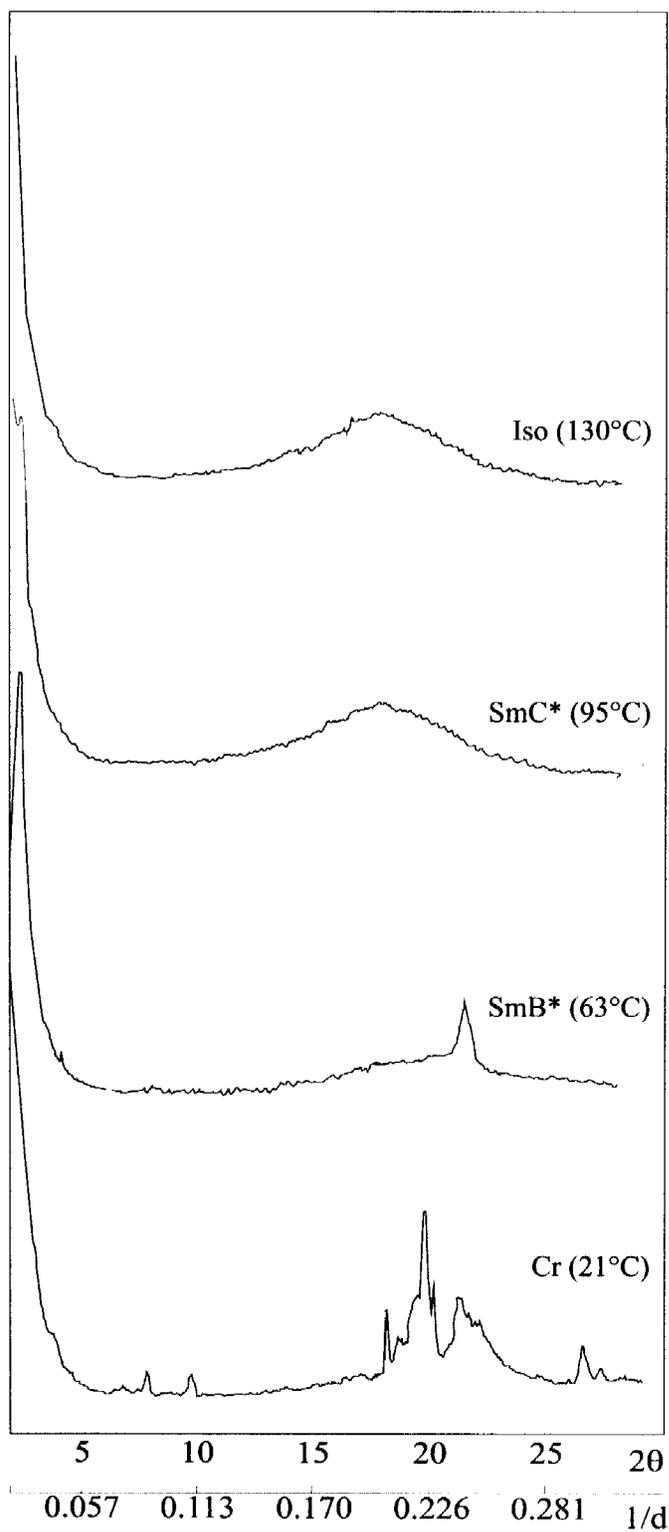
Слика 29. Дифрактограм за узорак Н 12/5.



Слика 30. Дифрактограм за узорак Н 12/7



Слика 31. Дифрактограм за узорак Н 12/8



Слика 32. Дифрактограм за узорак Н 12/10

Молекулски параметри свих испитиваних узорака на датим температурама су приказане у табели 2.

Табела 2. Молекулски параметри свих испитиваних узорака **H m/n** серије на датим температурама T °C, углови који одговарају рефлексивним пиковима 2θ у степенима, ефективна дебелина слоја d [Å] (грешка мерења δ_d је приближно ± 0.05 Å), просечно растојање D [Å] (грешка мерења δ_D је приближно ± 0.002 Å), међумолекуларно растојање b [Å].

	фаза	T (°C)	2θ (°)	d (Å)	D (Å)	b (Å)
H 12/4	Iso	160.0	18.50	–	5.572	–
	N*	143.0	2.60	39.48	–	–
			19.00	–	5.427	–
	SmC*	120.0	2.70	38.02	–	–
			19.30	–	5.344	–
CrB	78.0	2.60	39.48	–	–	
		4.35	23.60	–	–	
		6.60	15.56	–	–	
		19.90	–	5.184	5.986	
H 12/5	Iso	149.0	18.60	–	5.542	–
	SmC*	91.0	2.60	39.48	–	–
			19.20	–	5.371	–
	CrB	67.0	2.55	40.26	–	–
			4.00	25.67	–	–
6.10			16.84	–	–	
20.10			–	5.133	5.927	
H 12/7	Iso	159.0	18.70	–	5.513	–
	N*	151.0	19.00	–	5.427	–
	SmC*	120.0	2.55	40.26	–	–
			19.20	–	5.371	–
	SmB*	76.0	2.50	41.06	–	–
3.90			26.32	–	–	
4.40			23.33	–	–	
19.90			–	5.184	5.898	

H 12/8	Iso	156.0	18.0	–	5.726	–
	SmC*	110.0	2.40 19.00	42.77 –	– 5.427	–
	SmB*	60.0	2.50 3.90 5.70 20.00	41.06 26.32 18.02 –	– – – 5.158	– – – 5.956
H 12/10	Iso	130.0	20.50	–	5.033	–
	SmC*	95	2.40 21.00	42.77 –	– 4.900	–
	SmB*	63	2.35 4.20 21.30	43.68 24.44 –	– – 4.840	– – 5.589

У случају H 12/4 (слика 28) идентификована је хирална смектичка (SmC*) и нематска фаза (N*). Анализа дифрактограма SmC* фазног прелаза показује присуство јасно израженог пика при малим угловима $2\theta \sim 2.7^\circ$, као и присуство широког дифузног пика чији се максимум јавља на $2\theta \sim 19.3^\circ$. Прорачун међураванског растојања d и средњег латералног растојања између дугих оса паралелних оса молекула D на 120°C , даје 38.02\AA и 5.344\AA , респективно. При снижењу температуре интензитет пика при малим угловима расте, а вредност међураванског растојања опада. Код овог узорка при фазном прелазу SmC* \rightarrow CrB (78°C) поред два максимума при малим угловима ($2\theta \sim 2.6^\circ$, 4.35°) појављује се и трећи на $2\theta \sim 6.6^\circ$. Ова фаза идентификована је као CrB фаза.

У случају H 12/5 (слика 29) идентификована је хирална смектичка фаза (SmC*) и кристална CrB фаза. Анализа дифрактограма SmC* фазе показује присуство јасно израженог пика при малим угловима $2\theta \sim 2.6^\circ$, као и присуство широког дифузног пика који се јавља на $2\theta \sim 19.2^\circ$. Прорачун међураванског растојања d и средњег латералног растојања између паралелних оса молекула D на 91°C , даје $39,48\text{\AA}$ и $5,371\text{\AA}$ респективно. При фазном прелазу SmC* \rightarrow CrB на 67°C појављују се три максимума на $2,55^\circ$, $4,00^\circ$ и $6,10^\circ$. Ова фаза идентификована је као CrB фаза.

У случају H 12/7 (слика 30) идентификована је хирално-смектичка фаза и смектичка SmB* фаза. На дифрактограму видимо да SmC* фаза показује јасно изражено присуство пика при малим угловима $2\theta \sim 2,55^\circ$, као и присуство широког дифузног пика који се јавља на $2\theta \sim 19,2^\circ$. Вредности d и D на $120,0^\circ\text{C}$ су $40,26\text{\AA}$ и 5.371\AA респективно. Претходно се на дифрактограму види нематска N* фаза која на температури 151°C при углу $2\theta \sim 19^\circ$ показује средње латерално растојање између

паралелних оса молекула $D \sim 5,427 \text{ \AA}$. При прелазу из SmC^* фазе у SmB^* фазу на 76°C имамо три максимума на $2,5^\circ$, $3,9^\circ$ и $4,4^\circ$.

У случају **H 12/8** (слика 31) идентификована је SmC^* фаза и SmB^* фаза. На дифрактограму видимо присуство SmC^* фазе при малим угловима $2\theta \sim 2,40^\circ$, као и присуство широког дифузног пика $2\theta \sim 19^\circ$. На температури од 110°C међураванско растојање d износи $42,77 \text{ \AA}$ док средње латерално растојање између паралелних оса молекула D износи $5,427 \text{ \AA}$. У SmB^* фази на 60°C имамо три максимума $2,4^\circ\text{C}$, $3,9^\circ\text{C}$ и $5,70^\circ\text{C}$, респективно.

У случају **H 12/10** (слика 32) идентификована је SmC^* фаза и SmB^* фаза. SmC^* фаза је присутна при малим угловима $2\theta \sim 2,4^\circ$ као и присуство широког дифузног пика на $2\theta \sim 21^\circ$. На температури 95°C међураванско растојање d износи $42,77 \text{ \AA}$ а средње латерално растојање између паралелних оса молекула D износи $4,840 \text{ \AA}$. У SmB^* фази на 63°C имамо два максимума на $2,35^\circ\text{C}$ и $4,2^\circ\text{C}$, респективно.

Поређењем добијених резултата може се закључити да се са повећањем дужине ланца мења односно расте дебљина слоја d .

8. ЗАКЉУЧАК

У овом раду су испитане структурне особине фeroелектричних течних кристала са 2-алкоксипропионат хиралном групом и једним хиралним једињењем у циљу добијања поларних течних кристала, односно материјала који одговарају захтевима апликација за електрооптичке уређаје. Испитано је пет узорака означених као **H 12/4**, **H 12/5**, **H 12/7**, **H 12/8** и **H 12/10**. Поред уводног дела, у теоријском делу дат је кратак приказ мезоморфних фазних прелаза, њихова класификација и основне карактеристике.

У експерименталном делу дат је приказ експерименталних техника и метода, као и опис потребне опреме неопходне за одређивање основних карактеристика течних кристала са диполним уређењем, као што су: тип мезоморфног фазног прелаза и молекулски параметри. Коришћене су методе оптичке микроскопије и дифракције X-зрака. Такође су приказани експериментални резултати и њихова интерпретација. За свих пет испитиваних узорака идентификован је тип мезоморфног фазног прелаза, одређене су температуре и температурни интервали фазних прелаза, као и молекулски параметри.

Оптичка микроскопија је показала да сви испитивани узораци имају широк температурски интервал SmC^* .

Дифракцијом је утврђена SmC^* фаза у свим узорцима, док се N^* појављује код два узорка **H 12/4** и **H 12/7**. Течно кристална фаза при ниским температурама SmX фаза била је идентификована код узорака **H12/7**, **H12/8** и **H12/10**, као ортогонално хексагонална SmB фаза, док је код преостала два узорка **H12/4** и **H12/5** идентификована је као CtB .

Анализом резултата добијених дифракцијом утврђено је да у SmC^* фази ефективна дебљина слоја d [Å] расте са повећањем броја C атома у хиралном низу. Код узорака **H 12/4** и **H 12/5** у идентификованој CtB фази, такође повећање броја C атома у хиралном ланцу доводи до повећања дебљине слоја.

Средње латерално растојање D опада са снижењем температуре за све испитиване узорке при прелазу из изотропне, кроз све уочене мезо фазе, до кристалне. На температури фазног прелаза $SmC^* \rightarrow SmB$, код узорака **H12/7**, **H12/8** и **H12/10** издужење алифатичног ланца и повећање оријентационе уређености дугих оса молекула узрокује скок вредности d .

Фероелектрични течни кристали у хиралној SmC* фази одликују се са много бржим електро-оптичким одзивом. Међутим, уређаји базирани на овим материјалима су температурно нестабилни и имају високу цену, што представља велики проблем за њихову ширу употребу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. M. Seddon, In D. Demus, J. Goodby, G. W. Gray, H.W. Spiess, V. Vill, eds. Handbook of Liquid Crystals, 1, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH. 63 (1998)
- [2] D. M. Walba, "Liquid Crystals from Bent-Core Molecules", 8th Int. Conf. on Ferroelectric Liquid Crystals, Washington D.C., August 2001.
- [3] J. W. Goodby et al., "Ferroelectric liquid crystals: principles, properties and applications", Gordon and Breach Science Publishes (1991)
- [4] D. Coates and G.W. Gray, *J. Phys. Lett.* 51A, 335 (1975)
- [5] G. H. Heilmeyer, L. A. Zanoni, L. A. Barton, "Dynamic Scattering in Nematic Liquid Crystals", *Appl. Phys. Lett.* 13, 46 (1968)
- [6] D.Ћ. Obadović, M. Stojanović, S. Jovanović-Šanta, D. Lazar, A. Vajda and N. Éber, "The Influence of D-seco-estrone derivatives on the behavior of the Cholesteric Liquid Crystals Binary Mixtures" *International Journal of Modern Physics B*, 20, No. 21(2006) 2999-3013 (Online).
- [7] R.B. Meyer, Paper presented at the 5th ILCC, Stockholm, June (1974)
- [8] R. B. Meyer, L. Liebert, L. Strzelecki, P. Keller, *J. Phys. Lett.* (Paris), 36, 69 (1975)
- [9] Маја Стојановић, "Испитивање фероелектричних течних кристала са хиралним лактатним групама", ПМФ, Универзитет у Новом Саду, докторска теза, (2008)
- [10] D.Ћ. Obadović, A. Vajda, M. Garić, A. Bubnov, V. Hamplová, M. Kašpar, and K. Fodor-Csorba "Thermal analysis and x-ray studies of chiral ferroelectric liquid crystalline materials and their binary mixtures," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, ISSN: 1388-6150 (Paper) 1572-8943 (Online), 82, No.2, 519 – 523 (2005).
- [11] R.B. Meyer, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 40, 33 (1977)
- [12] D. Ћ. Obadović, M. Stančić and M. Glogarova, "Solid State Phenomena", 61-62, 105 (1998)
- [13] D. Vorlander, A. Apel, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 62, 2831 (1929).
- [14] Y. M. Huang, "Photosensitive banana-shaped antiferroelectric liquid crystal" in *Photorefractive Effects, Materials, and Devices*, Trends in Optics and Photonics, Optical Society of America, 288 (2005).
- [15] Душанка Обадовић, Милена Станчић и Тибор Тот – Катона, "Течни кристали и примена", Универзитет у Новом Саду, Едиција "Универзитетска научна књига", ПМФ, МП STYLOS, 19 – 37 (1999)
- [16] G. Pelzl, S. Diele, S. Grande, A. Jakli, Ch. Lischka, H. Kresse, H. Schmalfuss, I. Wirth and W. Weissflog, "Structural and Electro-optical investigations of the smectic phase of chlorine-substituted banana-shaped compounds", *Journal of Liquid Crystals*, vol.26, No.6, 401-413 (1999)
- [17] Kašpar, E. Gorecka, H. Sverenyák, V. Hamplová, M.Glogarová and S.A. Pakhomov, *Liquid Crystals*, 19, 589 (1995)



Биографија



Тијана Аксентијевић, рођена је 16.12.1975. године у Новом Саду. Основну школу „Јован Грчић Миленко“ завршила је у Беочину. Природно-математички смер Гимназије „Исидора Секулић“ завршила је у Новом Саду. Била је полазник научно-истраживачке станице Петница, на семинарима физике.

1994. године уписала је Природно-математички факултет у Новом Саду, Департмант за физику, на смеру: дипломирани физичар-истраживач.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

član:

član:

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Diplomski rad

Tijana Aksentijević, br.dos. 217/94

dr. Maja Stojanović

Fizicke karakteristike feroelektričnih tečnih kristala

srpski (ćirilica)

srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

2011

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Broj poglavlja/broj strana/broj literat. citata/broj tabela/broj slika/broj grafika/broj priloga

9/41/17/2/32/1/nema

Fizika

Fizika kondenzovane materije

Tečni kristali, feroelektrici

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

Cilj ovo rada je da se prouči uticaj dužine hiralnog lanca na mezomorfne strukturne osobine kod feroelektričnih tečnih kristala, zbog boljeg razumevanja odnosa molekularne strukture i fizičkih osobina.

24.06.2011.

12.07.2011.

Dr Dušanka Obadović, redovni profesor

Dr Milica Pavkov – Hrvojević, vanredni profesor

Dr Maja Stojanović, docent

Dr Dušanka Obadović, redovni profesor

Dr Milica Pavkov – Hrvojević, vanredni profesor

Dr Maja Stojanović, docent

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:
ANO

Identification number:
INO

Document type: Monograph publication
DT

Type of record: Textual printed material
TR

Content code: Final paper
CC

Author: Tijana Aksentijević
AU

Mentor/comentor: dr. Maja Stojanović
MN

Title: Physical characteristics of ferroelectric liquid crystals
TI

Language of text: Serbian (cyrilic)
LT

Language of abstract: Serbian/English
LA

Country of publication: Serbia
CP

Locality of publication: Vojvodina
LP

Publication year: 2011
PY

Publisher: Author's reprint
PU

Publication place: Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
PP

Physical description: 9/41/17/2/32/1/no
PD

Scientific field: Physics
SF

Scientific discipline: Condensed Matter Physics
SD

Subject/ Key words: Liquid crystals, ferroelectric
SKW

UC

Holding data: Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4
HD

Note: none
N

Abstract: The aim of this work was to study the influence of chiral chain length on mesomorphic structural properties of ferroelectric liquid crystals, due to a better understanding of the relations between molecular structure and physical properties.
AB

Accepted by the Scientific Board: 24.06.2011.
ASB

Defended on: 12.07.2011.
DE

Thesis defend board: Dr Dušanka Obadović, full professor
DB Dr Milica Pavkov – Hrvojević, associate professor
Dr Maja Stojanović, assistant professor

President: Dr Dušanka Obadović, full professor

Member: Dr Milica Pavkov – Hrvojević, associate professor

Member: Dr Maja Stojanović, assistant professor