

## FİZİKA

УДК 535.5

**BaTiO<sub>3</sub> NANOHİSSƏCİKLƏRİN 5CB MAYE KRİSTALININ ASTANA XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ****M.Ə.RAMAZANOV, A.R.İMAMƏLİYEV, Ş.Ə.HÜMBƏTOV***Bakı Dövlət Universiteti*  
*shirxan-humbatov@mail.ru*

*İşdə volt-farad xarakteristikasına əsaslanaraq BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin 4-pentil 4-sianobifenil (5CB) nematik maye kristalında baş verən planar-homeotrop keçidin astana gərginliyinə təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, maye kristala BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcikləri əlavə olunduqda planar-homeotrop keçid iki mərhələdə baş verir:  $U_{th1} = 0,4V$  gərginliyində zəif,  $U_{th2} = 2V$  gərginliyində kəskin keçid müşahidə olunur. Bundan əlavə, BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin əlavə olunduğu maye kristal yuvacığının volt-farad xarakteristikasından görünür ki, 6 V-dan başlayaraq tutum bir qədər azalır.*

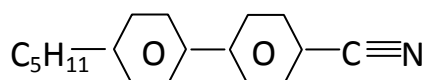
**Açar sözlər:** maye kristal, BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcik, astana gərginliyi

Maye kristalların unikal xassələri bir çox texnoloji problemlərin həllində, xüsusilə cihazqayırma texnologiyasında ciddi sıçrayış yaratmışdır [1-4]. Lakin maye kristalların əsas tətbiqi maye kristal displeylərlə bağlıdır. Müasir televizorların, kompüter və noutbukların, mobil telefonların və planşetlərin, ölçü cihazlarının ekranlarının maye kristal displeydən ibarət olması onların daha kiçik ölçüdə və çəkiddə düzəldilməsinə imkan verir. Maye kristallarda həyata keçirilən sürətli elektrooptik effektlər əsasında yüngül işıq modulyatorları düzəldilir. Texnikanın durmadan inkişafı adı çəkilən qurğuların texniki xarakteristikalarının davamlı yaxşılaşdırılmasını tələb edir. Bunun yollarından biri də daha yaxşı texniki parametrlərə malik olan maye kristalların sintez olunmasıdır ki, bu imkan getdikcə məhdudlaşır. Digər yol isə maye kristallarla başqa funksional materialların xassələrini konstruktiv şəkildə uzlaşdırmaqdır. Bunun üçün ya maye kristalı başqa mühitdə dispersiya etmək (məsələn, polimerdə dispersiya olunmuş maye kristal), ya da maye kristalda müxtəlif təbiətli hissəcikləri (ferromaqnit hissəciklər, polimer hissəciklər və s.) dispersiya etmək olar [5]. Maye kristalda dispersiya olunan hissəciklər submikron ölçüdə olduqda (ferromaqnit və ya seqnetoelektrik nanohissəciklər, karbon

nanoboruları və s.), xüsusilə bu ölçülər maye kristalların sinqulyarlıq oblastının ölçüsü ilə müqayisə olduqda yeni maraqlı effektlər müşahidə oluna bilər [3, 6]. Təqdim olunan BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin 4-pentil 4-sianobifenil (5CB) nematik maye kristalının əsas elektrooptik parametrlərindən biri olan astana xassələrinə təsiri öyrənilmişdir.

### Eksperiment

Eksperimentdə nematik maye kristal olaraq geniş yayılmış 4-pentil 4-sianobifenildən (5CB) istifadə olunmuşdur:

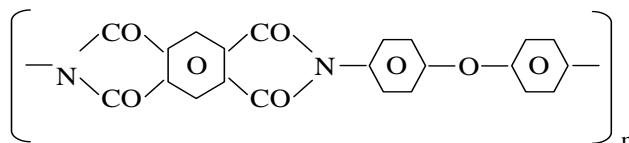


Bu maddədə nematik maye kristal fazası 22 °C - 36 °C temperatur intervalındadır və müsbət dielektrik anizotropiyasına malikdir:  $\varepsilon_{||} = 19,5$ ,  $\varepsilon_{\perp} = 6,7$ ,  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp} = +12,8$ . Bu maye kristalın əsas maddi parametrlərini maye kristallara aid bir çox monoqrafiyalardan [7] tapmaq olar.

Barium titanat yüksək spontan polyarlaşmaya (otaq temperaturunda  $P_S = 0,26 \text{ Kl}/m^2$ ) malik olan seqnetoelektik material olub Küri temperaturu 120°C-dir [8, 9]. BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin ölçüsü 100 nm-dən kiçik olduqda onlar seqnetoelektik xassəsini itirir.

Bizim eksperimentdə istifadə olunan BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin orta ölçüsü 600 nm-dir. Bu nanohissəciklərin maye kristalda dispersiya olunması məlum texnologiya əsasında həyata keçirilir [10]. BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcikləri, olein turşusu və heptan 1:2:10 çəki nisbətində qarışdırılır. 10 dəq ərzində ultrasəs disperqatorunun təsiri ilə BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcikləri sistemdə bərabər paylanır və stabilləşdirilir. Alınan kolloid sistem nematik maye kristalla ehtəs nisbətdə qarışdırılır ki, BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcikləri ilə 5CB 1:99 nisbətində olsun. Sonda alınan qarışıq 1 gün ərzində 60°C temperaturda saxlanır. Bu heptanın buxarlanaraq tamamilə aradan çıxmasına səbəb olur.

Maye kristalın dielektrik və elektrooptik xassələrinin tədqiqi elektrooptik yuvacığın köməyiylə aparılır. Elektrooptik yuvacıq təbəqəli (sendviç) quruluşa malik olub, bir-birindən dielektrik arakəsmə ilə ayrılmış, daxili səthi şəffaf və keçirici (nazik In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) təbəqə ilə örtülmüş iki parallel müstəvi şüşə lövhədən ibarətdir. Planar (maye kristalın molekulları səthə parallel olur) oriyentasiya almaq məqsədilə keçirici təbəqənin üzərinə nazik oriyentant təbəqəsi çəkilir. Bu eksperimentdə oriyentant təbəqə olaraq səthə çəkilmə texnologiyası yaxşı mənimsənilmiş polimid lakı



istifadə edilmişdir [11]. Polimid lakı dimetilformamiddə və yaxud dimetilasetamiddə həll (5%-li məhlul) edilir və məsələlərinin ölçüsü 16 mkm olan şüşə filtdən keçirilir. Alınmış məhlulun damcısı şüşə lövhənin səthinə salınır və bərabər qalınlıqlı örtük alınması üçün lövhə mərkəzdənqaçma maşınında (sentrifuqada) 3000 dövr/dəq tezliyi ilə fırladılır. Həlləyici (dimetilasetamid) tam buxarlandıqdan sonra şüşə lövhələr quruducu şkafda 300 °C temperaturda 30 dəq müddətində saxlanır. Bu termik emal (polimerləşmə) mərhələsindən sonra şüşə lövhənin səthində bərabər qalınlıqlı polimid təbəqəsi alınır. Sonra şüşə lövhənin səthi yumşaq parça ilə bir istiqamətdə silinir. Polimer örtükdə alınan mikroşırımlar səthdə cırlaşmanı aradan qaldırmaqla maye kristal molekullarının bircins oriyentasiyasını təmin edir (Şatlen metodu).

Elektrooptik yuvacığa doldurulacaq maye kristal təbəqəsinin qalınlığı teflon arakəsmə ilə nizamlanır və boş yuvacığın elektrik tutumunu ölçməklə

$$d = \frac{\varepsilon_0 S}{C_0}$$

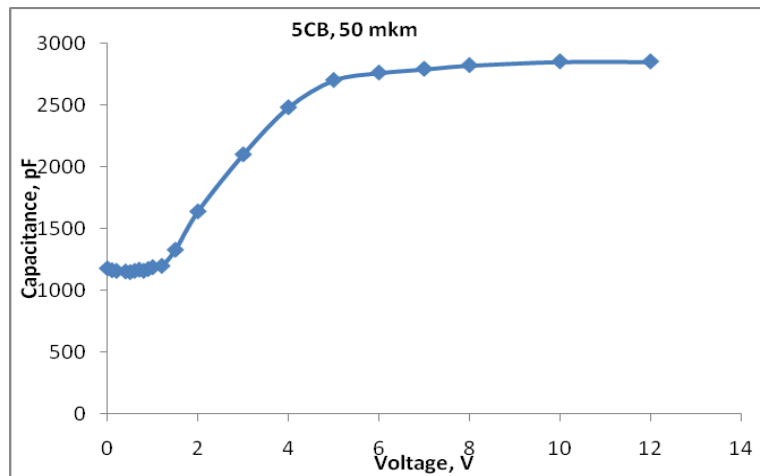
düsturu ilə dəqiq təyin edilir. Burada  $\varepsilon_0 = 8,85 \text{ pF} / \text{m}$  -elektrik sabiti, S- elektrooptik yuvacığın işçi sahəsidir,  $C_0$  - boş yuvacığın elektrik tutumudur. Bu halda qalınlığın təyin edilməsində dəqiqlik 0,5 mkm təşkil edir. Qalınlığın bircinsliyi xüsusi sıxıcı qurğuda şüşə lövhələri dörd nöqtədən bir-birinə sıxaraq interferensiya zolaqlarını aradan qaldırmaq yolu təmin edilir. Elektrooptik yuvacığa maye kristalın doldurulması izotrop fazada kapilyar metodla yerinə yetirilir.

Maye kristal displeylərdə və işıq modulyatorlarında tətbiq baxımından elektrooptik yuvacığın əsas parametrlərindən biri  $U_{th}$  astana gərginliyidir. Bu parametri elektrik tutumunun gərginlikdən asılılıq qrafikindən (volt-farad xarakteristikası) təyin etmək olar. Elektrooptik effekt maye kristal mühitin effektiv dielektrik nüfuzluğunun, bunun nəticəsində yuvacığın elektrik tutumunun ( $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} = \varepsilon C_0$ ) dəyişməsinə səbəb olur. 5CB maye kristalı müsbət dielektrik anizotropiyasına malik olduğundan elektrooptik effekt planar-homeotrop keçid şəklindədir. Bu keçiddə maye kristalın dielektrik nüfuzluğu artdığından tədqiq olunan yuvacıqda astana gərginliyi olaraq elektrik tutumunun artmağa başladığı gərginlik götürülür.

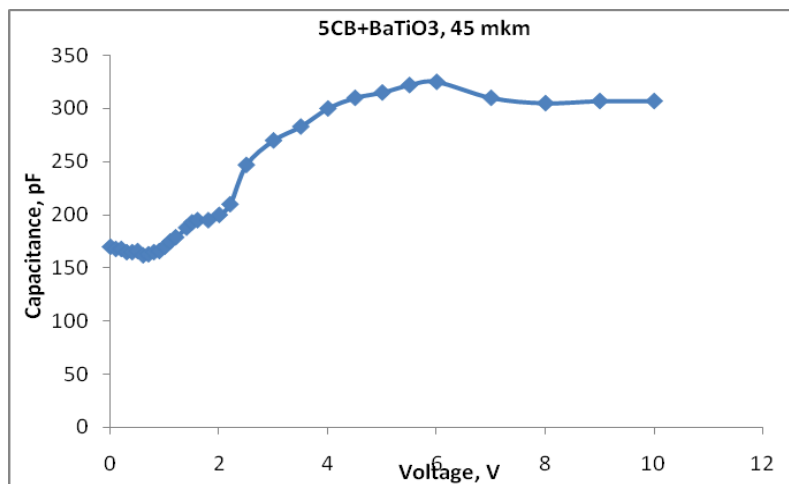
### **Eksperimental nəticələr**

Şəkil 1 və 2-də uyğun olaraq təmiz 5CB maye kristalı və BaTiO<sub>3</sub> nano-hissəcikləri əlavə olunmuş maye kristal kompozitlə doldurulmuş elektrooptik yuvacıqların volt-farad xarakteristikaları göstərilmişdir. Göründüyü kimi, təmiz maye kristal olan yuvacıqda  $U_{th} = 1,2V$  gərginlikdən başlayaraq elektrik tutumunun artması müşahidə olunur. Bu, yuxarıda qeyd olunduğu kimi, maye kristalın planar oriyentasiyadan homeotrop oriyentasiyaya keçməsi nəticəsində

effektiv dielektrik nüfuzluğunun artması ilə bağlıdır. Male kristala BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin əlavə olunması volt-farad xarakteristikasında əhəmiyyətli dəyişiklik yaradır: tutumun  $U_{th1} = 0,4V$  gərginliyindən başlayaraq zəif,  $U_{th2} = 2V$  gərginliyindən başlayaraq kəskin artması müşahidə olunur. Bundan əlavə, BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcikləri əlavə olunduğu maye kristal yuvacığın volt-farad xarakteristikasında 6 V-dan başlayaraq tutumun bir qədər azalması görünür.



Şəkil 1. 5CB doldurulmuş elektrooptik yuvacığın volt-farad xarakteristikası



Şəkil 2. 5CB+BaTiO<sub>3</sub> doldurulmuş elektrooptik yuvacığın volt-farad xarakteristikası

Volt-farad xarakteristikalarından o da görünür ki, planar-homeotrop keçid zamanı elektrik tutumunun qiyməti təmiz 5CB halında  $\frac{C_{max}}{C_{min}} = \frac{2850}{1150} \approx 2,5$ ,

5CB+BaTiO<sub>3</sub> halında isə  $\frac{C_{max}}{C_{min}} = \frac{325}{165} \approx 2$  dəfə artır. Bu isə gözlənilən  $\frac{\varepsilon_{||}}{\varepsilon_{\perp}} = \frac{19,5}{6,7} \approx 2,9$  qiymətindən xeyli aşağıdır.

### Nəticələrin izahı

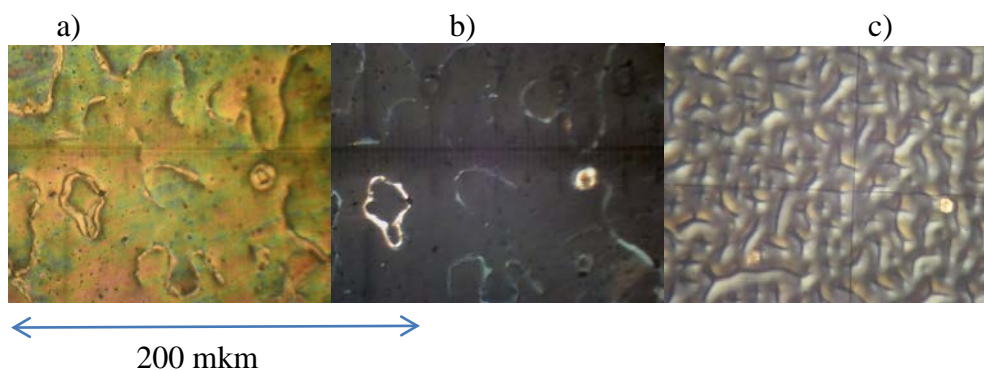
Molekulların səthə güclü ilişməsi halında müsbət dielektrik anizotropiyasına malik maye kristalda baş verən planar-homeotrop keçidin astana gərginliyi [7,12]

$$U_{th} = \pi \sqrt{\frac{K_{11}}{\Delta \varepsilon \varepsilon_0}}$$

düsturu ilə təyin olunur.  $K_{11}$  - maye kristalın direktor sahəsinin eninə əyilmə (splay) deformasiyasına uyğun elastik sabit,  $\varepsilon_0 = 8,85 \text{ pF} / \text{m}$  - elektrik sabiti,  $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp}$  - dielektrik nüfuzluğunun anizotropiyasıdır. Planar-homeotrop keçid həcmdə (yuvacığın ortasında) başlayır və gərginlik artdıqca səthlərə doğru yayılır. Güclü ilişmə halında səth yaxınlığındakı molekullar az dönür, nəticədə astana gərginliyindən dəfələrlə böyük gərginliklərdə belə alınan homeotrop oriyentasiya mükəmməl (tam) olmur və dielektrik nüfuzluğunun  $\varepsilon_{||} = 19,5$  qiyməti alınmır.

BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin əlavə olduğu maye kristal halında iki astana gərginliyinin alınması aşağıdakı kimi izah oluna bilər. Qiymətləndirmə göstərir ki, 1% çəki miqdarında BaTiO<sub>3</sub> nanohissəcikləri arasındakı orta məsafə 10 mkm tərtibində olur və elektrik sahəsi olmadıqda bu hissəciklər polidomen quruluşa malik olduğundan (bu halda hissəciklərin yekun spontan polyarlaşması sıfır olur) maye kristalın direktor sahəsini təhrif etmir. Elektrik sahəsi tətbiq etdikdə hissəciklər polyarlaşaraq öz lokal sahəsini yaradır. Yuvacığa verilən gərginlik birinci astana gərginliyindən böyük olduqda bu lokal sahə hissəciklərin bilavasitə səthi yaxınlığındakı maye kristal molekullarının oriyentasiyasını dəyişir. Bu, maye kristalın dielektrik nüfuzluğunu hiss olunacaq dərəcədə artırır. Gərginlik artdıqca polyarlaşmış hissəciklə maye kristal molekullarının oriyentasiyası daha böyük məsafələrdə dəyişilir. Gərginlik ikinci astana gərginliyindən böyük olduqda nanohissəciklərin təsir məsafəsi onlar arasındakı məsafə tərtibində olur və bütün həcmdə molekulların səthə perpendikulyar düzülüşü (homeotrop oriyentasiya) baş verir. Bu isə mühitin dielektrik nüfuzluğunun ikinci dəfə və kəskin artmasına səbəb olur. BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin əlavə olunmuş maye kristal yuvacığa planar-homeotrop keçidin iki mərhələdə baş verməsi elektrooptik ölçmələrlə də təstiqlənir<sup>13</sup>.

BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin əlavə olunmuş maye kristal yuvacığa böyük gərginliklərdə tutumun bir qədər azalması elektrohidrodinamik dayanıqsızlığın yaranması ilə izah olunur. Bunu polyarlaşma mikroskopunda aparılan vizual müşahidələr sübut edir (şəkil 3 c).



**Şək. 3.** BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin əlavə olduğu maye kristal yuvacığda elektrooptik effektlərin polyarlaşma mikroskopunda görünüşü: a)  $U = 0$  – ilkin planar hal; b)  $U = 4$  V – homeotrop hal; c)  $U = 8$  V - elektrohidrodinamik dayanıqsızlıq.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Kohki Takatoh, Masaki Hasegawa, Mitsuhiro Kodan, Nobuyuki Itoh, Ray Hasegawa and Masanori Sakamoto - Alignment Technologies and Applications of Liquid Crystal Devices, Taylor and Francis, London and New York, 2005, 251 p.
2. D.-K. Yang and S.-T. Wu - Fundamentals of Liquid Crystal Devices, John Wiley & Sons, Ltd., 2006, 378 p.
3. Liquid crystals beyond displays: Chemistry, Physics, and Applications Edited by Quan Li, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012, 573 p.
4. Томилин М.Г., Невская Г.Е. Дисплеи на жидких кристаллах. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, 108 с.
5. Chen, Robert H. - Liquid crystal displays: fundamental physics & technology, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011, 497 p.
6. Drzaic, Paul S.– Liquid Crystal Dispersions, World Scientific, Singapore, 1995, 429 p
7. Blinov L.M., Chiginov V.G. Electrooptic effects in liquid crystal materials. 1994, Springer Verlag, 488p.
8. M. M. Vijatović, J. D. Bobić, B. D. Stojanović History and Challenges of Barium Titanate: Part I Science of Sintering, 40 (2008) 155-165
9. M. M. Vijatović, J. D. Bobić, B. D. Stojanović History and Challenges of Barium Titanate: Part II Science of Sintering, 40 (2008) 235-244
10. Yuriy Reznikov - Ferroelectric Colloids in Liquid Crystals, Liquid Crystals Beyond Displays: Chemistry, Physics, and Applications Edited by Quan Li, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012, 573 p.
11. Jacques Cognard - Alignment of Nematic Liquid Crystals and their Mixtures, Gordon and Breach Science Publishers, 1982, 77 p.
12. Blinov L.M. Structure and Properties of Liquid Crystals, Springer Science+Business Media B.V., 2011, 439p
13. Ibragimov T. D., Imamaliyev A. R., Bayramov G. M.. Formation of Local Electric Fields in the Ferroelectric BaTiO<sub>3</sub> Particles-Liquid Crystal Colloids. The 15<sup>th</sup> International Conference on FLCC Prague, Czech Republic, 2015 28 June-3 July, p.120

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ $\text{BaTiO}_3$ НА ПОРОГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ 5 СВ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

М.А.РАМАЗАНОВ, А.Р.ИМАМАЛИЕВ, Ш.А.ГУМБАТОВ

### РЕЗЮМЕ

В этой работе на основе вольт-фарадной характеристики изучено влияние наночастиц  $\text{BaTiO}_3$  на пороговое напряжение планарно-гомеотропного перехода, происходящее в нематическом жидком кристалле 4-пентил 4-цианобифенила (5CB).

Было показано, что при добавлении в жидкий кристалл наночастиц  $\text{BaTiO}_3$ , планарно-гомеотропный переход происходит в двух этапах: при напряжении  $U=0.4\text{V}$  наблюдается слабый, а при напряжении  $U=2\text{V}$  резкий переход. Помимо этого, из ВФХ ячейки ЖК с добавленными  $\text{BaTiO}_3$  наночастицами, видно некоторое уменьшение емкости, начиная с  $6\text{V}$ .

**Ключевые слова:** жидкий кристалл,  $\text{BaTiO}_3$  наночастица, пороговое напряжение

## THE STUDY OF THE INFLUENCE OF $\text{BaTiO}_3$ NANOPARTICLES ON THE THRESHOLD VOLTAGE OF THE 5 CB LIQUID CRYSTAL

M.A.RAMAZANOV, A.R.IMAMALIYEV, Sh.A.HUMBATOV

### SUMMARY

The paper studies the influence of  $\text{BaTiO}_3$  nanoparticles on the threshold voltage of planar-homotrope transition which occurs in 4-pentyl 4-cyanobiphenyl (5CB) nematic liquid crystal on the bases of volt-farad characteristics.

It was shown that when  $\text{BaTiO}_3$  nanoparticles are added to liquid crystals, planar-homotrope transition occurs in two stages: at  $U_{th1} = 0,4\text{V}$  the weak transition, at  $U_{th2} = 2\text{V}$  the strong transition.

**Key words:** liquid crystals,  $\text{BaTiO}_3$  nanoparticle, threshold voltage

*Redaksiyaya daxil oldu: 03.12.2015-ci il*

*Çapa imzalandı: 12.02.2016-cı il*