

## BARIUM TİTANAT HİSSƏCİKLƏRİ VƏ OLEİN TURŞUSUNDAN İBARƏT QARIŞIĞIN VOLT-FARAD XARAKTERİSTİKASININ TƏDQIQI

A.R. İMAMƏLİYEV, G.F. QƏNİZADƏ

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu

Hüseyn Cavid pr. 131 Bakı, Azərbaycan

Rahimoglu@mail.ru

300 nm ölçülü monodispers barium titanat hissəciklərinin olein turşusu ilə qarışığının dielektrik xassələri eksperimental tədqiq olunmuşdur. Qarışığın nazik təbəqəsinin volt-farad xarakteristikası histerezis xassəsi göstərir. Barium titanat kristalının həcmi nümunəsi ilə müqayisədə qarışığın kohersitiv sahəsi xeyli böyükdür (1.5 kV/sm-dən 2.5 kV/sm-ə qədər), spontan polarizasiyası isə əhəmiyyətli dərəcədə kiçilir (26  $\mu\text{C}/\text{sm}^2$ -dən 0,3  $\mu\text{C}/\text{sm}^2$ -ə qədər). Barium titanat hissəciklərinin müasir modelləri əsasında alınan nəticələrin izahı verilmişdir.

**Açar sözlər:** barium titanat, dielektrik histerezisi, spontan polarizasiya, submikron hissəciklər.

**PACS:** 77.55.fe, 77.80.Dj, 78.20.Ci

### GİRİŞ

Perovskit tipli kristalların tipik nümunəsi olan barium titanat ( $\text{BaTiO}_3$ ) güclü seqnetoelektrik xassəsi göstərdiyinə görə (otaq temperaturunda spontan polarizasiyanın qiyməti  $P_s=26 \mu\text{C}/\text{sm}^2$ ) geniş tətbiqlərə malikdir. Onun əsasında müxtəlif cihazlar - operativ yaddaş qurğuları, qeyri-xətti və superkondensatorlar, infraqırmızı sensorlar, ultrasəs generatorları, müsbət temperatur əmsallı termistorlar, lazer şüasının tezliyini 2 dəfə artıran qurğu və s. düzəldilir [1-4].

Submikron  $\text{BaTiO}_3$  hissəcikləri onun böyük ölçülü kristalına xas olmayan xassələr göstərir. Bu xassələri digər funksional materialların xassələri ilə konstruktiv şəkildə uzlaşdırmaqla barium titanatın tətbiq sahələrini daha da genişləndirmək mümkündür. Məsələn, polimer və  $\text{BaTiO}_3$  hissəcikləri əsasında düzəldilən kompozitlərdən yükü saxlayan cihazlar, çoxsaylı keramik kondensatorlar, gərginlik sensoru və s. hazırlanmasında istifadə olunur [4]. Gələcəkdə  $\text{BaTiO}_3$  nanohissəciklərindən maye kristal displeylərdə istifadə olunma bilər, çünki maye kristala cüzi miqdarda  $\text{BaTiO}_3$  hissəciklərinin əlavə olunması onun elektrooptik xarakteristikalarının (astana gərginliyi, keçid müddəti və s.) əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmasına səbəb olur [5-8]. Tətbiq zamanı barium titanat əsaslı kompozit və kolloid sistemlərin xarakteristikalarını optimallaşdırmaq üçün  $\text{BaTiO}_3$  hissəciklərinin xassələrinin həcmi kristalla müqayisədə necə dəyişdiyini aydınlaşdırmaq lazımdır. Təqdim olunan işdə 300 nm ölçülü monodispers  $\text{BaTiO}_3$  nanohissəciklərinin dielektrik xassələri volt-farad ölçmələri (CV-measurements) metodu ilə tədqiq olunmuşdur.

### EXSPERİMENT

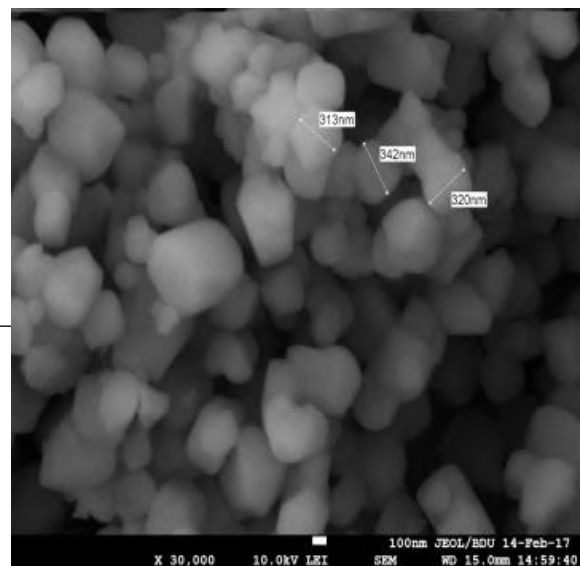
Təcrübədə istifadə olunan  $\text{BaTiO}_3$  hissəcikləri ABŞ-ın US Nano Research şirkətindən alınmışdır. Şəkil 1-də bu hissəciklərin JOEL JSM-767F cihazında çıxarılmış SEM (scanning electron microscope) şəkli göstərilmişdir.

Bruker D2-Phaser (CuK $\alpha$ ) cihazında 22°C temperaturda çıxarılan tozşəkilli rentgen difraktogram şəkil 2-də göstərilmişdir. LeBail üsulu ilə dəqiqləşdirilmiş

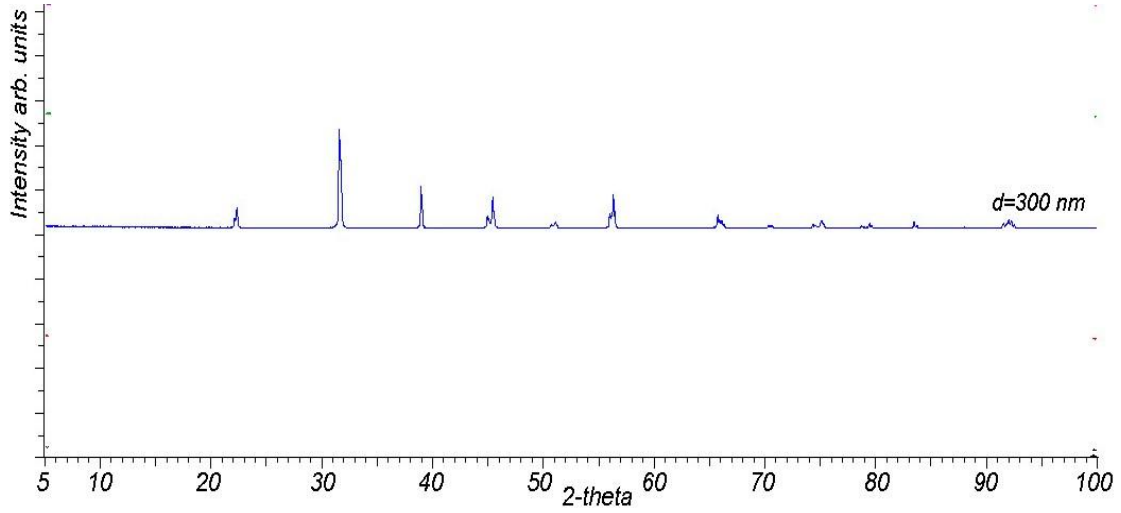
qəfəs parametrləri nümunənin tetragonal fazaya aid olduğunu təsdiq edir. Dəqiqləşmənin nəticələri belədir: fəza qrupu  $P4mm$ ; qəfəs parametrləri  $a=3.9944(1)\text{Å}$ ,  $c=4.0362(2)\text{Å}$ ,  $V=64.398(4)\text{Å}^3$ ,  $R\text{-Bragg}=0.776\%$ .

$\text{BaTiO}_3$  hissəciklərinin nazik təbəqəsini almaq və onların bir-birinə yapışmasının qarşısını almaq üçün quru (tozşəkilli) barium titanata 16% (çəki) olein turşusu əlavə olunmuşdur. Bu, qarışıqda  $\text{BaTiO}_3$  hissəciklərinin 43% həcm payına uyğun gəlir. Qarışıq mazutşəkilli (slurry-like) bir halda olur ki, bu da onun nazik təbəqəsini almaqda cətinlik törətmir.

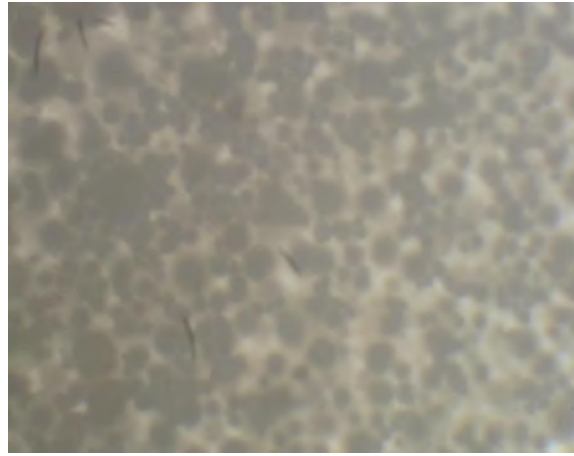
Qarışığın dielektrik nüfuzluğunu ölçmək üçün o xüsusi formalı yuvacığa doldurulur. Yuvacıq iç tərəfi şəffaf keçirici ITO (indium qalay oksidi) təbəqə ilə örtülmüş və bir-birindən 60 mkm qalınlıqlı teflon arakəsmə ilə ayrılmış iki müstəviparalel şüşə lövhədən ibarətdir. Yuvacıqın şəffaf olması keçən işıqda qarışığın şəklini çəkməyə imkan verir.  $\text{BaTiO}_3$  hissəcikləri – olein turşusu qarışığının AmScope kamerası (14 MP) ilə təchiz olunmuş Karl Zeiss Yena polyatizasiya mikroskopunda çəkilmiş mikrofotoqrafiyası şəkil 3-də göstərilmişdir (düzbucaqlı görüş sahəsinin ölçüləri 20mkm və 15 mkm-dir).



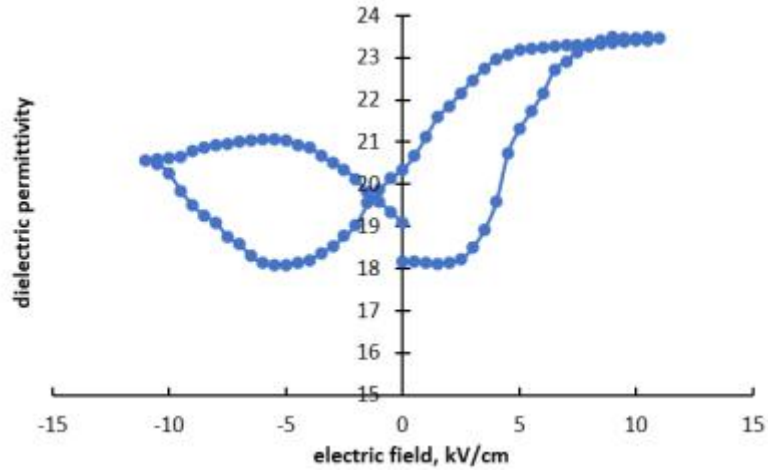
Şəkil 1.  $\text{BaTiO}_3$  hissəciklərinin SEM şəkli.



Şəkil 2. BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin tozşəkilli rentgen difraktoqramı.



Şəkil 3. BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri ilə olein turşusu qarışığının optik mikroskopda şəkli.



Şəkil 4. BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri – olein turşusu qarışığının dielektrik nüfuzluğunun elektrik sahəsinin intensivliyindən asılılığı.

Yuvacığın volt-farad xarakteristikası E7-8 rəqəmsal RLC-metrinin köməyi ilə ölçülmüşdür. Yuvacığa tətbiq olunan sinusoidal test siqnalı 1 kHs tezliyə və 1 V amplituda malikdir. Bundan əlavə, RLC-metr yuvacığa  $\pm 20$  V sabit sürüşmə gərginliyi tətbiq etməyə imkan verir.

Yuvacığın elektrik tutumunun ölçülməsi

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$$

düsturuna əsasən qarışığın dielektrik nüfuzluğunu ( $\epsilon$ ) təyin etməyə imkan verir.  $S=2 \text{ sm}^2$  - yuvacığın sahəsi,  $d=60 \text{ mkm}$  – lövhələr arasındakı məsafə (və ya BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri – olein turşusu təbəqəsinin qalınlığı),

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \text{ - elektrik sabitidir.}$$

## NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Yuvacığın volt-farad xarakteristikasından istifadə edərək BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri – olein turşusu qarışıqının dielektrik nüfuzluğunun elektrik sahəsinin intensivliyindən ( $E = \frac{U}{d}$ ) asılılıq qrafiki qurulmuşdur (şəkil 4).

Qrafikin təhlilindən aşağıdakı maraqlı nəticələr çıxarmaq olar:

- 1) gözlənilmədiyi kimi, dielektrik nüfuzluğunun xarici elektrik sahəsindən asılılığı histerezis xarakteri daşıyır və bu histerezis asimmetrikdir;
- 2) dielektrik nüfuzluğunun artması 2.5 kV/sm-dən başlayır;
- 3) dielektrik nüfuzluğunun qiymətinin maksimal qiymətə çatması (doyması) təxminən 10 kV/sm-də baş verir;
- 4) koersitiv sahə təxminən 5 kV/sm-dir.

Histerzisin mövcud olması göstərir ki, 300 nm ölçülü BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri seqnetoelektrik xassəsini saxlayır. Fərq ondadır ki, barium titanatın həcmi nümunəsində xaici elektr sahəsinin təsiri ilə polidomen haldan monodomen hala keçid astana xarakteri daşımır, lakin dielektrik mühitində dispersiya olunmuş BaTiO<sub>3</sub> hissə-

ciklərində bu keçid 2.5 kV/sm astana sahəsindən başlayır.

Heterogen qarışıqların dielektrik nüfuzluğu üçün

$$\frac{\varepsilon_p - \varepsilon}{\varepsilon_p - \varepsilon_m} \cdot \left( \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{3}} = 1 - f$$

düsturdan [9] istifadə edərək BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri–olein turşusu qarışıqının dielektrik nüfuzluğundan ( $\varepsilon$ ) BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin dielektrik nüfuzluğunu ( $\varepsilon_p$ ) hesablamaq olar. Burada  $\varepsilon_m=2,1$  - olein turşusunun dielektrik nüfuzluğu,  $f=0,43$  - BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin qarışıqdakı həcm payıdır. Düsturdan alınır ki, BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin polidomen halda (sahə olmadıqda) dielektrik nüfuzluğu  $\varepsilon_p^{\min} = 220$ , monodomen halda (sahə olduqda) isə  $\varepsilon_p^{\max} = 565$  olur.

Polyarlaşmış (monodomen) və polyalaşmamış (polidomen) BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin dielektrik nüfuzluqları arasındakı fərqə görə onların spontan polyarizasiyasını qiymətləndirmək olar:

$$P_S = \varepsilon_0 (\varepsilon_p^{\max} - \varepsilon_p^{\min}) E \approx 10^{-11} \frac{F}{m} \cdot 300 \cdot 10^6 \frac{V}{m} = 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^2} = 3000 \frac{\mu C}{m^2} = 0.3 \frac{\mu C}{sm^2}$$

Bu barium titanatın kristalının böyük ölçülü nümunəsindəki qiymətdən ( $P_S = 26 \frac{\mu C}{sm^2}$  [10]) çox kiçikdir. Bunun iki səbəbi var. Birinci (əsas) səbəb BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin ölçüsünün kiçilməsi ilə səth effektlərinin rolunun artması nəticəsində spontan polyarizasiyanın yaranması üçün cavabdeh olan tetraqonallıq dərəcəsinin ( $\frac{c}{a}$ ) azalmasıdır [11]. Digər səbəb isə bu hissəciklərin quruluşu ilə bağlıdır. Müasir təsəvvürlərə görə BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərini kötük-qabıq (core-

shell) modeli ilə xarakterizə olunur [12]. Bu modelə görə BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərin tetraqonal qəfəsə malik kötürkədən və kubik qabıqdan ibarətdir. Qabıq hissə spontan polyarizasiyaya pay vermədiyindən bu, hissəciyin spontan polyarizasiyasının azalmasına səbəb olur.

Dielektrik nüfuzluğunun artması BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin içərisində domen divarının hərəkəti, doyma hadisəsi isə polyarlaşmış hissəciklərin elektrik sahəsində dönmə prosesinin başa çatması ilə bağlıdır. Koersitiv sahənin böyüməsi də, hesab edirik ki, kiçik ölçülərdə domen divarlarının hərəkətinin çətinləşməsi ilə bağlıdır.

- [1] Yu. Garbovskiy, O.Zribi, A. Glushchenko. Emerging Applications of Ferroelectric Nanoparticles in Materials Technologies, Biology and Medicine. <http://dx.doi.org/10.5772/52616>
- [2] J. Scott. Ferroelectric Materials for Energy Applications. 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 376 p
- [3] K. Uchino. Ferroelectric devices, CRC Press, 2011, 361 p.
- [4] B. Ertuğ. Overview of Electrical Properties of Barium Titanate. American Journal of Engineering Research (AJER), 2013, v.02, 08, p.01-07
- [5] Y. 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.

- [6] T.D. Ibragimov, A.R. Imamaliyev, G.M. Bayramov. Influence of barium titanate particles on electro-optic characteristics of liquid crystalline mixture H-37, Optk 2016, v. 127, p. 1217.
- [7] T.D. Ibragimov, A.R. Imamaliyev, G.M. Bayramov. Formation of local electric fields in the ferroelectric BaTiO<sub>3</sub> particles-liquid crystal colloid, Ferroelectrics 2016, v. 495, p. 60.
- [8] A.R. Imamaliyev, Sh.A. Humbatov, M.A. Ramazanov. Effect of ferroelectric BaTiO<sub>3</sub> particles on the threshold voltage of a smectic A liquid crystal, Beilstein Journal of Nanotech. 2018, v. 9, p. 824.
- [9] G.R. Gorur. Dielectrics in the electric field (CRC Press, Taylor and Francis Group, 2017) 774p
- [10] J. Blakemore. Solid state physics, Cambridge University Press 1985, 517 p.

[11] *J. Yu, J. Chu.* Nanocrystalline Barium Titanate, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology Edited by H. S. Nalwa, v. 6, p. 389-416.

[12] *P. Sedyk, E. Michel, D. Charnaya, J. Haase.* Size Effects in Fine Barium Titanate Particles, Ferroelectrics 2010, v. 400, p. 135.

**A.R. Imamaliyev, G.F. Ganizade**

**INVESTIGATION OF VOLT-FARAD CHARACTERISTICS OF BARIUM TITANATE PARTICLES - OLEIC ACID MIXTURE**

In this work, the dielectric properties of a mixture of 300 nm sized monodisperse barium titanate particles and oleic acid are experimentally investigated. The volt-farad characteristic of the thin film of the mixture shows hysteresis property. The coercive field has a high value (2.5 kV/cm) compared to the bulk barium titanate crystal (1.5 kV/cm). And the value of spontaneous polarization of particles ( $0.3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ) is two orders of magnitude lower than that of the bulk crystal ( $26 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ). Explanations of the obtained results on the basis of existing models are given.

**А.Р. Имамалиев, Г.Ф. Ганизаде**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСИ ЧАСТИЦЫ ТИТАНАТА БАРИЯ – ОЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА**

В работе экспериментально исследовано диэлектрические свойства смеси монодисперсных частиц титаната бария с размером 300 нм и олеиновой кислоты. Вольт-фарадная характеристика тонкой пленки смеси показывает гистерезисное свойство. Коэрцитивное поле имеет высокое значение (2.5 кВ/см) по сравнению с объемным кристаллом титаната бария (1.5 кВ/см). А величина спонтанной поляризации частиц ( $0,3 \text{ мкКл}/\text{см}^2$ ) оказывается на два порядка ниже, чем у объемного кристалла ( $26 \text{ мкКл}/\text{см}^2$ ). Приведены объяснения полученных результатов на основе существующих моделей.

*Qəbul olunma tarixi: 06.10.2023*