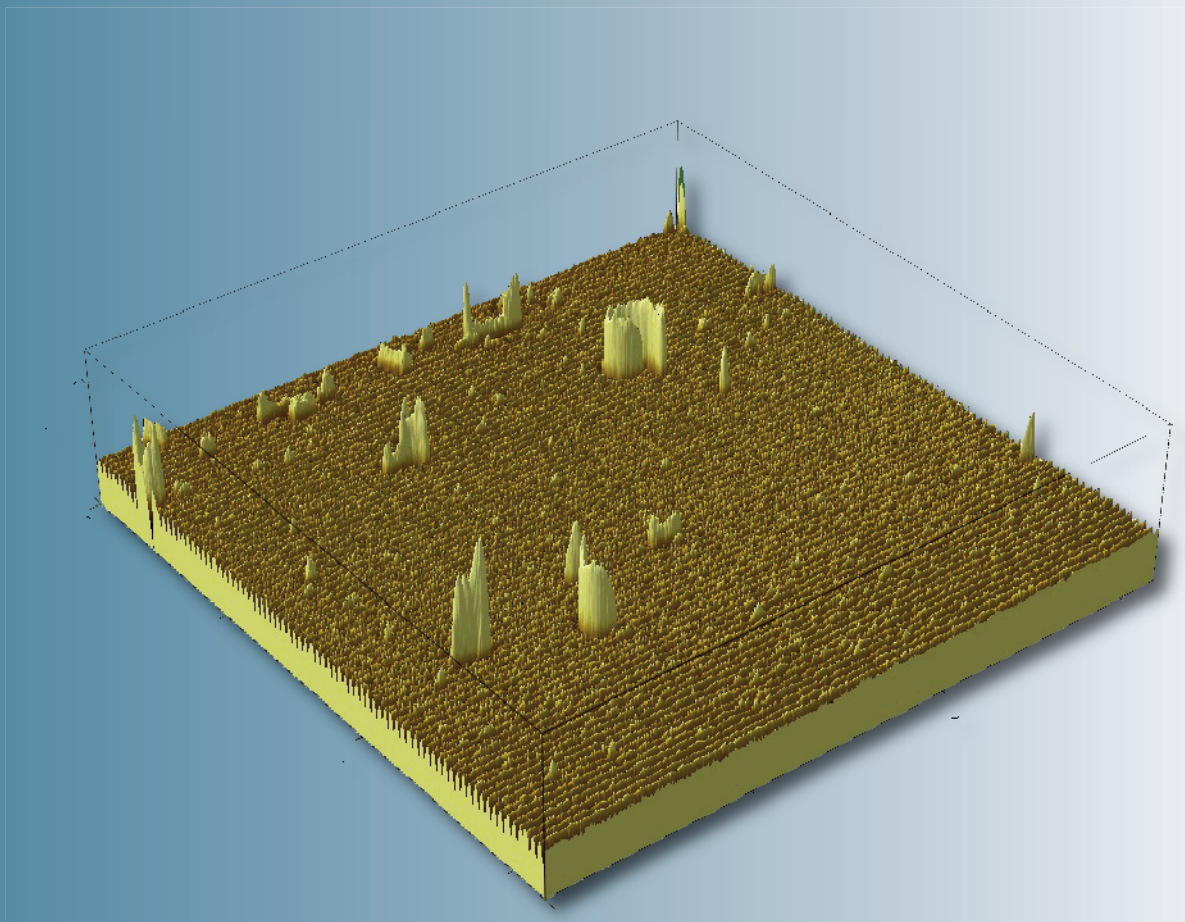
ISSN 1028-8546

Volume XIX, Number 3
Section: Az
October, 2013

Azerbaijan Journal of Physics

Fizika



www.physics.gov.az

G.M. Abdullayev Institute of Physics
Azerbaijan National Academy of Sciences
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences

Published from 1995
Ministry of Press and Information of
Azerbaijan Republic, Registration
number 402, 16.04.1997

ISSN 1028-8546
vol. XIX, Number 3, 2013
Series: Az

Azerbaijan Journal of Physics

FIZIKA

G.M.Abdullayev Institute of Physics
Azerbaijan National Academy of Sciences
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences

HONORARY EDITORS

Arif PASHAYEV

EDITORS-IN-CHIEF

Nazim MAMEDOV Chingiz QAJAR

SENIOR EDITOR

Talat MEHDIYEV

INTERNATIONAL REVIEW BOARD

Ivan Scherbakov, Russia
Kerim Allahverdiyev, Turkey
Mehmet Öndr Yetiş, Turkey
Gennadii Jablonskii, Buelorussia
Rafael Imamov, Russia
Vladimir Man'ko, Russia
Eldar Salayev, Azerbaijan
Dieter Hochheimer, USA
Victor L'vov, Israel
Vyacheslav Tuzlukov, South Korea
Majid Ebrahim-Zadeh, Spain
Firudin Hashimzadeh, Azerbaijan
Anatoly Boreysho, Russia
Mikhail Khalin, Russia
Hasan Bidadi, Tebriz, East Azerbaijan, Iran
Natiq Atakishiyev, Mexico
Maksud Aliyev, Azerbaijan
Bahram Askerov, Azerbaijan
Arif Hashimov, Azerbaijan
Vali Huseynov, Azerbaijan
Javad Abdinov, Azerbaijan
Bagadur Tagiyev, Azerbaijan
Tayar Djafarov, Azerbaijan
Talat Mehdiyev, Azerbaijan
Emil Guseynov, Azerbaijan
Ayaz Baramov, Azerbaijan
Tofiq Mammadov, Azerbaijan
Salima Mehdiyeva, Azerbaijan
Shakir Nagiyev, Azerbaijan
Rauf Guseynov, Azerbaijan
Almuk Abbasov, Azerbaijan
Iskender Djafarov, Azerbaijan
Yusif Asadov, Azerbaijan

TECHNICAL EDITORIAL BOARD

Senior secretary Elmira Akhundova, Nazli Guseynova, Sakina Aliyeva,
Nigar Akhundova, Elshana Aleskerova

PUBLISHING OFFICE

33 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics

Tel.: (99412) 439-51-63, 439-32-23
Fax: (99412) 447-04-56
E-mail: jophphysics@gmail.com
Internet: www.physics.gov.az

It is authorized for printing: 04.10.2013

Published at "**SƏRQ-QƏRB**"
17 Ashug Alessger str., Baku
Typographer : Aziz Gulaliyev

Sent for printing on: __.__. 201_
Printing approved on: __.__. 201_
Physical binding:_____
Number of copies:_____200
Order:_____

KVAZİBİRCİNS SAHƏDƏ HƏRƏKƏT VƏ BEYKER-KAMPBELL-HAUSDORF TİPLİ OPERATOR EYNİLİKLƏR

İ.H. CƏFƏROV, Y.V. ABDULLAYEVA
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Baki, Ü. Hacıbəyov kuç. 34

Ş.M. NAĞIYEV
AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Az-1143, Bakı, H. Cavid prospekti 33.
E-mail:smnagiyev@physics.ab.az

Kvazibircins sahədə kvant zərrəciyinin (relyativistik və ya qeyri-relyativistik) hərəkətinin öyrənilməsi zamanı alınan operator eyniliklər və onların xüsusi halları gətirilmişdir. Bu eyniliklər məşhur Beyker-Kampbell-Hausdorf düsturuna analojidirlər.

PACS: 02.30 Jr, 02.70. Bf, 03.65.Pn
Açar sözlər: kvant zərrəciyi, sonlu-fərq tənliyi, operator eyniliklər.

1. [1-6] işlərində relyativistik kvant mexanikasının sonlu-fərq variantı inkişaf etdirilmiş və elementar zərrəciklər fizikasının bir sıra məsələlərinin həllinə tətbiq olunmuşdur. Bu variant relyativistik $\vec{r}$ - konfiqurasiya fəzası anlayışına [1] əsaslanır. Relyativistik $\vec{r}$ -konfiqurasiya fəzasına kanonik qoşma $\vec{p}$ - impuls fəzası $p_0^2 - \vec{p}^2 = m^2c^2$, $p_0 > 0$ kütlə hiperboloidinin yuxarı budağında reallaşan üçölçülü Lobaçevski fəzasıdır. İmpuls fəzasının hərəkət qrupu Lorens qrupudur.

Məqalədə relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası çərçivisində zərrəciyin zamandan asılı olan kvazibircins sahədə birölçülü hərəkətinə baxılır. Birölçülü halda relyativistik x- konfiqurasiya fəzasına keçid $\phi(\vec{p},t)$ dalğa funksiyasını

$$\xi(p,x) = \left(\frac{p_0 - p}{mc}\right)^{ix/\lambda\!\!\!^{-}} = e^{ix\chi/\lambda\!\!\!^{-}} \qquad (1)$$

relyativistik müstəvi dalğaları üzrə sıraya ayırmaqla həyata keçirilir [1,4], yəni

$$\psi(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \int \xi(p,x)\phi(p,t)d\Omega_p . \qquad (2)$$

Burada $p_0 = mcch\chi,\ p = mcsh\chi,\ \chi = \ln\frac{p_0 + p}{mc}$ – cəldli k, $\lambda\!\!\!^{-} = \hbar/mc$ – Kompton dalğa uzunluğu, $d\Omega_p = mcd\chi$ – invariant inteqrallama elementidir. (1) funksiyaları ortoqonallıq və tamlıq şərtlərini ödəyir:

$$\frac{1}{2\pi\lambda\!\!\!^{-}} \int_{-\infty}^{\infty} \xi^*(p,x)\xi(p',x)dx = \delta(\chi - \chi'), \qquad (3a)$$

$$\frac{1}{2\pi\lambda\!\!\!^{-}} \int_{-\infty}^{\infty} \xi^*(p,x)\xi(p,x')d\chi = \delta(x - x'). \qquad (3b)$$

Relyativistik x - konfiqurasiya fəzasında $\psi(x,t)$ dalğa funksiyası aşağıdakı sonlu-fərq tənliyini ödəyir:

$$i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t} = \left[H_0 + V(x,t)\right]\psi(x,t), \qquad (4)$$

Burada $H_0 = mc^2ch(i\lambda\!\!\!^{-}\partial_x)$ – sərbəst Hamilton operatoru, $V(x,t)$ –qarşılıqlı təsir potensialıdır. (1) müstəvi dalğaları H_0 operatorunun məxsusi funksiyalarıdır:

$$H_0\xi(p,x) = p_0\xi(p,x). \qquad (5)$$

Biz aşağıda zamandan asılı olan kvazibircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin hərəkətini evolyusiya operatoru metodu ilə öyrənəcək və alınan operator eyniliklərini araşdıracağıq. (4) tənliyini impuls təsvirində yazaq:

$$i\hbar\frac{\partial\phi(p,t)}{\partial t} = H_0(p)\phi(p,t) + \int V(p - p',t)\phi(p',t)d\Omega_{p'} \qquad (6a)$$

burada $H_0 = cp_0 = c\sqrt{p^2 + m^2c^2}$, $V(p - p',t)$ – impuls təsvirində potensial enerjidir:

$$V(p - p',t) = \frac{1}{2\pi\hbar}\int V(x,t)e^{-ix(\chi-\chi')/\lambda\!\!\!^{-}}dx . \qquad (7)$$

Lokal potensial üçün $V(p-p',t)=V(p,t)\delta(p-p')$ olur və (6a) tənliyi aşağıdakı şəklə düşür.

$$i\hbar\frac{\partial\phi(p,t)}{\partial t}=\left[H_0(p)+V(p,t)\right]\phi(p,t) \qquad (6b)$$

Kvazibircins sahəyə p - təsvirində aşağıdakı ifadə uyğundur [8]:

$$V_\alpha(p,t)=-\frac{i\lambda\!\!\!^{-}}{2}F(t)\left(\chi^\alpha\frac{\partial}{\partial\chi}+\frac{\partial}{\partial\chi}\chi^\alpha\right)=-\frac{1}{2}i\lambda\!\!\!^{-}F(t)\alpha\,\chi^{\alpha-1}-i\lambda\!\!\!^{-}F(t)\chi^\alpha\frac{\partial}{\partial\chi},\ \ \alpha\in R. \qquad (8)$$

[8] işində göstərildiyi kimi, $\alpha=1$ olduqda $\chi=e^\eta$ əvəzləməsi, $\alpha\neq1$ olduqda isə $\chi=(\alpha_1\eta)^{1/\alpha_1}$ əvəzləməsi potensialın (8) ifadəsindəki ikinci həddi

$$V_{2\alpha}(p,t)=-i\lambda\!\!\!^{-}F(t)\frac{\partial}{\partial\eta} \qquad (9)$$

şəklinə salır (birinci həddi həmişə sərbəst Hamiltonian operaturuna daxil etmək olar).

2. (6) tənliyi əvəzinə daha ümumi tənliyə baxaq. Onda kvant zərrəciyinin (relyativistik və ya qeyri relyativistik) kvazibircins (8) sahəsində hərəkəti

$$i\hbar\frac{\partial u_\alpha(y,t)}{\partial t}=\left[H_0(y,t)-i\hbar a(t)y^\alpha\frac{\partial}{\partial y}\right]u_\alpha(y,t) \qquad (10)$$

tənliyilə təsvir olunacaqdır. Burada $H_0(y,t)-$ y- impuls təsvirində "sərbəst hamiltonian", $a(t)-$ dəyişən qüvvədir.

(10) tənliyinin simvolik həllini yazaq:

$$u_\alpha(y,t)=\hat{U}(y,t)\varphi(y),$$

$$\hat{U}(y,t)=Te^{-\frac{i}{\hbar}\int_0^t\left[H_0(y,t')-i\hbar a(t')y^\alpha\partial_y\right]dt'},$$

burada $\hat{U}(y,t)-$ sistemin evolyusiya operatoru, $\varphi(y)-$ başlanığıc zaman anında dalğa funksiyasıdır, yəni $\varphi(y)=u_\alpha(y,0)$. Qeyd edək ki, (11)-də T-hasilin açılışı aşağıdakı Beyker-Kampbell-Hausdorf tipli operator eyniliklərə gətirir:

a) $\alpha=1$ olduqda

$$e^A=e^{A_1}e^{-\delta(t)y\partial_y}=e^{-\delta(t)y\partial_y}e^{A_2},$$

$$A=-\frac{i}{\hbar}\int_0^t\left[H_0(y,t')-i\hbar a(t')y\partial_y\right]dt',$$

$$A_1=-\frac{i}{\hbar}\int_0^t H_0(ye^{-\delta(t)+\delta(t')},t')dt', \qquad (12a)$$

$$A_2=-\frac{i}{\hbar}\int_0^t H_0(ye^{\delta(t')},t')dt',$$

b) $\alpha\neq1$ olduqda

$$e^B=e^{B_1}e^{-\delta(t)y^\alpha\partial_y}=e^{-\delta(t)y^\alpha\partial_y}e^{B_2},$$

$$B=-\frac{i}{\hbar}\int_0^t\left[H_0(y,t')-i\hbar a(t')y^\alpha\partial_y\right]dt',$$

$$B_1=-\frac{i}{\hbar}\int_0^t H_0\left((y^{\alpha_1}-\alpha_1\delta(t)+\alpha_1\delta(t'))^{1/\alpha_1},t'\right)dt', \qquad (12b)$$

$$B_2=-\frac{i}{\hbar}\int_0^t H_0\left((y^{\alpha_1}+\alpha_1\delta(t'))^{1/\alpha_1},t'\right)dt',$$

burada $\delta(t)=\int_0^t a(t')dt'$ – qüvvə impulsudur.

3. İndi (12) eyniliklərinin xüsusi hallarına baxaq. Bunun üçün $b=\partial_y$, $b^+=y$ operatorları daxil edərək, $a(t)=a_0=const$ qəbul edək. Bundan başqa hesab edəcəyik ki, H_0 operatoru zamandan asılı deyil: $H_0(y,t)\to H_0(y)$. Aydındır ki, b və b^+ operatorlarının kommutatoru $\left[b,b^+\right]=1$.

1) $\alpha=0$. Bu halda H_0 operatorunu $H_0=\varepsilon_1y^n=\varepsilon_1(b^+)^n$, $n=1,2,3...$ şəklində seçək. Onda

$$B=\varepsilon(b^+)^n+\sigma b,\ \ \varepsilon=-i\varepsilon_1t/\hbar,\ \ \sigma=-a_0t,$$

$$B_1=\varepsilon\sum_{k=0}^n\frac{1}{k+1}C_n^k\sigma^k(b^+)^{n-k},$$

$$B_2=\varepsilon\sum_{k=0}^n\frac{(-1)^k}{k+1}C_n^k\sigma^k(b^+)^{n-k}$$

olur, burada C_n^k binomial əmsallardır. Ona görə (12b) eyniliyi

$$e^{\sigma b+\varepsilon(b^+)^n}=\exp\left(\varepsilon\sum_{k=0}^n\frac{1}{k+1}C_n^k\sigma^k(b^+)^{n-k}\right)e^{\sigma b}=e^{\sigma b}\exp\left(\varepsilon\sum_{k=0}^n\frac{(-1)^k}{k+1}C_n^k\sigma^k(b^+)^{n-k}\right) \qquad (13)$$

şəklinə düşür. (13) eyniliyini $n=1$ və $n=2$ qiymətləri üçün aşkar şəkildə yazaq:

$$\text{a)}\ e^{\sigma b+\varepsilon b^{+}} = e^{\varepsilon b^{+}} e^{\sigma b} e^{\varepsilon\sigma/2} = e^{\sigma b^{+}} e^{\varepsilon b^{+}} e^{-\varepsilon\sigma/2},\quad n=1;$$

$$\text{b)}\ e^{\sigma b+\varepsilon(b^{+})^{2}} = e^{\varepsilon\left[(b^{+})^{2}+\sigma b^{+}+\sigma^{2}/3\right]} e^{\sigma b} = e^{\sigma b} e^{\varepsilon\left[(b^{+})^{2}-\sigma b^{+}+\sigma^{2}/3\right]},\ n=2.$$

Qeyd edək ki, $n=1$ olduqda, (13) düsturu məlum düsturla üst-üstə düşür [9].

2) $\alpha=1$. Bu halda alırıq ki,

$$A=\sigma\hat{N}+\varepsilon(b^{+})^{n},$$

$$A_{1}=\frac{\varepsilon}{n\sigma}(e^{n\sigma}-1)(b^{+})^{n},$$

$$A_{2}=\frac{\varepsilon}{n\sigma}(1-e^{-n\sigma})(b^{+})^{n}.$$

Deməli, (12) əvəzinə

$$e^{\sigma\hat{N}+\varepsilon(b^{+})^{n}} = e^{\frac{\varepsilon}{n\sigma}(e^{n\sigma}-1)(b^{+})^{n}} e^{\sigma\hat{N}} = e^{\sigma\hat{N}} e^{\frac{\varepsilon}{n\sigma}(1-e^{-n\sigma})(b^{+})^{n}} \tag{14}$$

eyniliyini alırıq, burada $\hat{N}=y\partial_{y}=b^{+}b-$ zərrəciklər sayı operatorudur.

Qeyd edək ki, yuxarda alınan operator eyniliklər riyazi və nəzəri fizika məsələlərinin həlli zamanı geniş tətbiq oluna bilər.

[1] *V.G. Kadyshevsky, R.M. Mir-Kasımov, N.B. Skachkov*. Nuovo Cimento, 55A, 1968, 233.

[2] *M. Freeman, M.D. Mateev, R.M. Mir-Kasımov.* Nucl.Phys. B12, 1969, 197.

[3] *V.Q. Kadışevskiy, R.M. Mir-Kasımov,N.B. Skaçkov.* ЭЧАЯ, 2, 1972, 635. (Rusca).

[4] *N.M. Atakişiyev, R.M. Mir-Kasimov, Ş.M. Nagiyev.* TMF, 44, 1980, 47. (Rusca).

[5] *R.M. Mir-Kasımov.* J.Phys.A:Math.Gen. 24, 1991, 4283.

[6] *Sh.M.Nağiyev.* J. Phys.A:Math.Gen. 21, 1988, 2559.

[7] *Ş.M. Nagiyev, K.Ş. Cafarova, S.İ. Kuliyeva*. J.of Qafqaz University 33, 2012, 100. (Rusca).

[8] *Ş.M. Nagiyev.* AMEA Xəbərləri, fiz.-riyaz. və texnika elmləri seriyası, cild 32, №5, 2012, 16.

[9] A,S, Davıdov. Kvantovaya mexanika. M., “Nauka”, 1973. (Rusca).

I.H. Jafarov, Sh.M. Nagiyev, Ya.V. Abdullayeva

MOTION IN A QUASI-HOMOGENEOUS FIELD AND BAKER-CAMPBELL-HAUSDORFF- TYPE OPERATOR IDENTITIES

The operator identities and their particular cases obtained by considering of quantum particle (relativistic or nonrelativistic) motion in quasi- homogeneous field are presented. These identities are analogous to the known Baker-Campbell-Hausdorff formula.

И.Г. Джафаров, Ш.М. Нагиев, Я.В. Абдуллаева

ДВИЖЕНИЕ В КВАЗИОДНОРОДНОМ ПОЛЕ И ОПЕРАТОРНЫЕ ТОЖДЕСТВА ТИПА БЕЙКЕРА-КАМПБЕЛЛА-ХАУСДОРФА

Приведены операторные тождества и их частные случаи, полученные при рассмотрении движения квантовой частицы (релятивистской или нерелятивистской) в квазиоднородном поле. Эти тождества аналогичны известной формуле Бейкера-Кампбелла-Хаусдорфа.

Qəbul olunma tarixi: 12.07.2013

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ BƏRK MƏHLULLARIN İSTİLİK VƏ ELASTİKLİK XASSƏLƏRİ

Y.Y. HÜSEYNOV, C.C. BAYRAMOV, Ü.M. MUSTAFAYEVA, S.C. BAYRAMOVA
Sumqayıt Dövlət Universiteti
AZ 5008, Sumqayıt şəh., 43-cü məhəllə, Bakı küçəsi 1.

Ə.B. MƏHƏRRƏMOV
AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Az-1143, Bakı, H. Cavid prospekti 33.

$TlInTe_2$ – $TlGdTe_2$ sistem ərintilərinin istidən genişlənməsi (İXG) və izotermik sıxılması öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, $TlInTe_2$ kristal qəfəsində qadoliniumun miqdarı artdıqca bütün temperaturlarda İXG və izotermik sıxılma əmsalının qiyməti artır. Göstərilmişdir ki, İXG və izotermik sıxılma əmsallarının təcrübi qiymətləri əsasında hesablanmış istilik və elastiiklik parametrləri $TlInTe_2$ kristal qəfəsində qadoliniumun metallik payının artması ilə qanunauyğun şəkildə dəyişir.

PACS: 71.20.Nr; 71
Açar sözlər: bərk maəhlullar, krustal qəfəs, elastiiklik parametrləri.

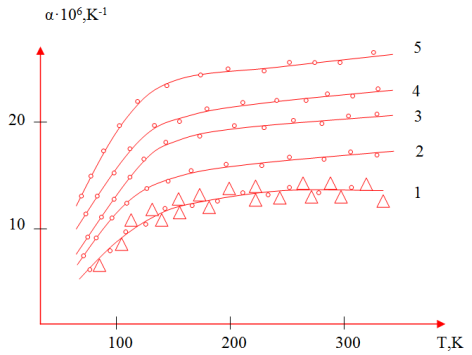
Həm $TlInTe_2$, həm də $TlGdTe_2$ birləşmələri ayrı-ayrılıqda optoelektronika sahəsində və müasir texnikanın digər sahələrində tətbiq olunmaları baxımından perspektivli materiallar hesab edilir. Bu birləşmələrin bütün fiziki xassələrinin tədqiqi ilə yanaşı onların əsasında alınan bərk məhlulların istidən genişlənməsi və izotermik sıxılmasının öyrənilməsi böyük maraq doğurur. Belə ki, bir sıra ədəbiyyatlarda [1÷3] göstərildiyi kimi, indium atomlarının qadolinium atomları ilə əvəz olunması qadağan olunmuş zonanın eninə, eləcə də atomlararası kimyəvi əlaqə qüvvəsinin qiymətinə təsir göstərir. Bu baxımdan işdə əsas məqsəd $TlInTe_2$ kristalının və onun əsasında alınmış $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların (77÷400)K temperatur intervalında təcrübi olaraq İXG və izotermik sıxılma əmsalının temperatur asılılığını öyrənməkdir.

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulları [2] işində göstərilən texnologiya əsasında stexiometrik çəki nisbətində götürülmüş başlanğıc komponentlərin havası sorulmuş xüsusi formalı ampulalara doldurularaq iki zonalı soba içərisində əridilmə yolu ilə sintez edilmişdir. Birinci zonada sobanın temperaturu ~ 1100 K-ə qədər qaldırılır, sonra ampula temperaturu nisbətən aşağı olan ikinci zonaya keçirilərək soyudulur. Qadoliniumun tərkibdə miqdarı artdıqca sistemin ərimə temperaturu 1050 K-dən 1200 K-ə qədər artır. Rentgenquruluş analiz göstərmişdir ki, alınan maddələr tetraqonal sinqoniyada kristallaşır və $TlInTe_2$-də qadoliniumun miqdarı artdıqca qəfəs parametrləri də qanunauyğun şəkildə artır.

Nümunəni dəyişmədən $TlInTe_2$ və onun əsasında alınmış $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların istidən genişlənməsi və izotermik sıxılması (77÷400) K temperatur intervalında məlum [4] metodika əsasında ölçülmüşdür. Qurğu etalon mis və alüminium nümunələrin istidən genişlənməsi və izotermik sıxılması əsasında dərəcələnmişdir. Nümunələrin 10Pa–10Mpa-a qədər təzyiq altında sıxılması üçün helium qazından istifadə olunmuşdur. İXG və izotermik sıxılma əmsalının təcrübi xətası uyğun olaraq 1.5% və 2.8% olmuşdur.

$TlInTe_2$ - $TlGdTe_2$ sistem ərintilərindən, istidən genişlənməni və izotermik sıxılmanı ölçmək üçün uzunluğu 0.3mm, diametri 0.005mm olan silindrik formalı nümunələr hazırlanmışdır.

$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların istidən xətti genişlənmə əmsalının (α) temperatur asılılığı şəkil 1-də, izotermik sıxılma əmsalının (χ_T) temperatur asılılığı isə şəkil 2-də verilmişdir. Göründüyü kimi İXG və izotermik sıxılma əmsalının temperatur asılılığında heç bir faza keçidi baş vermir. $TlInTe_2$ kristalında qadoliniumun miqdarı artdıqca α və χ_T-nin qiyməti də uyğun olaraq artır. Bu isə onunla əlaqədardır ki, $TlInTe_2$-də indium atomlarının tədricən qadolinium atomları ilə əvəz olunması kristal qəfəsdə metallik payın artmasına və, beləliklə, də istilik rəqslərinin anharmonikliyinin dəyişməsinə səbəb olur. $TlInTe_2$ kristalının istidən xətti genişlənmə və izotermik sıxılma əmsalının təcrübi qiymətləri [5]-də göstərilən nəticələrlə üst-üstə düşür. Şəkil 1-dən göründüyü kimi ~(80÷100) K aşağı temperaturlarda temperaturun artması ilə İXG əmsalının qiyməti kəskin artdığı halda, nisbətən böyük temperaturlarda praktiki olaraq onun qiyməti sabit qalır.



Şəkil 1. $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların α istidən genişlənmə əmsalının temperatur asılılığı. 1- x=0, 2- x=0.02, 3- x=0.04, 4- x=0.06, 5- x=0.10 Δ- [8] işində α üçün alınmış təcrübi qiymətlərdir.

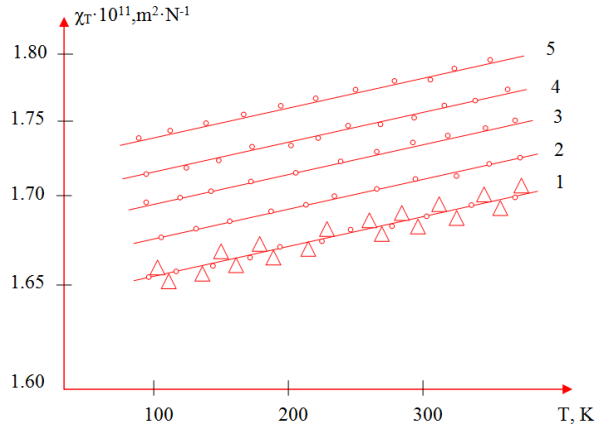
$TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlullarında qadoliniumun miqdarı artdıqca İXG əmsalının qiyməti də artır ki, bu da ümumi kimyəvi əlaqədə metallik əlaqənin artması və bərk məhlullarda istilik rəqslərinin anharmonikliyinin böyüməsi ilə izah olunur. Indium atomları (R_{In}=0.94Å) qadolinium atomları ilə əvəz olunduqca (R_{Gd}=0.96Å) elementar özəyin ölçüləri böyüyür. Bu isə qəfəsdə atomların rəqs amplitudlarının dəyişməsinə səbəb olur ki, bu da öz növbəsində anharmonikliyin dəyişməsinə gətirib çıxarır.

Cədvəl.

$TlInTe_2$ – $TlGdTe_2$ sistem ərintilərinin istilik parametrləri: Debay temperaturu, kristallik qəfəsdə atomların orta kvadratik yerdəyişməsi, istilik tutumlarının fərqi və elastiqiyyat parametrləri: Yunq modulu, sürüşmə əmsalı, Puasson əmsalının qiymətləri

T, K	$TlIn_{0.98}Gd_{0.02}Te_2$						$TlIn_{0.95}Gd_{0.05}Te_2$						$TlIn_{0.90}Gd_{0.1}Te_2$					
	θ K	$\sqrt{\overline{u^2}}$ Å	C_p-C_v C/kqK	E QPa	μ QPa	Σ	θ K	$\sqrt{\overline{u^2}}$ Å	C_p-C_v C/kqK	E QPa	μ QPa	σ	θ K	$\sqrt{\overline{u^2}}$ Å	C_p-C_v C/kqK	E QPa	μ QPa	σ
80	324	0.081	0.019	349.7	118.1	0.471	316	0.084	0.020	333.8	118.1	0.470	314	0.085	0.021	331.3	112.8	0.470
90	315	0.088	0.024	330.5	112.4	0.473	320	0.089	0.024	321.2	112.4	0.472	307	0.090	0.023	316.7	107.9	0.469
100	307	0.092	0.029	313.9	106.6	0.474	302	0.092	0.029	304.8	106.6	0.473	301	0.094	0.028	304.4	103.7	0.470
110	299	0.097	0.035	302.5	102.4	0.475	296	0.098	0.035	301.3	102.3	0.474	291	0.100	0.34	290.6	102.1	0.471
120	293	0.102	0.042	285.8	96.9	0.476	289	0.103	0.042	278.1	96.9	0.475	284	0.105	0.041	270.9	91.1	0.474
130	287	0.106	0.049	270.4	92.3	0477	283	0.108	0.049	265.3	91.6	0.476	277	0.110	0.052	257.6	90.3	0.475
140	281	0.112	0.057	262.9	89.1	0.478	278	0.113	0.056	258.1	89.1	0.477	270	0.116	0.60	244.8	82.1	0.476
150	275	0.116	0.065	250.5	88.3	0.479	273	0.118	0.064	249.5	87.7	0.478	265	0.121	0.071	238.6	80.8	0.477
160	271	0.121	0.074	244.4	82.7	0.480	269	0.122	0.072	241.6	82.7	0.478	261	0.127	0.075	228.7	77.8	0.478
170	267	0.127	0.084	23903	81.5	0.480	264	0.129	0.081	237.4	81.2	0.478	256	0.132	0.086	225.1	74.5	0.479
180	264	0.132	0.092	231.9	78.4	0.481	261	0.134	0.091	227.4	78.4	0.479	253	0.138	0.095	214.8	72.7	0.479
190	260	0.137	0.102	228.8	76.5	0.481	257	0.139	0.101	220.6	77.3	0.479	249	0.144	0.106	210.2	71.5	0.479
200	258	0.142	0.111	221.6	74.9	0.481	254	0.145	0.102	215.3	74.9	0.480	246	0.149	0.116	203.1	68.7	0.480
210	256	0.146	0.119	217.1	73.7	0.482	251	0.149	0.125	210.3	73.7	0.481	243	0.159	0.127	198.1	67.1	0.480
220	254	0.150	0.129	214.6	72.5	0.482	249	0.153	0.138	206.9	72.5	0.481	241	0.159	0.137	194.9	65.1	0.480
240	251	0.159	0.146	209.5	70.7	0.482	245	0.162	0.156	200.3	70.7	0.481	237	0.169	0.158	188.4	63.7	0.481
280	249	0.173	0.174	206.2	69.7	0.482	243	0.178	0.182	196.1	69.7	0.481	233	0.186	0.196	182.1	61.6	0.481
310	248	0.180	0.193	204.6	69.1	0.482	242	0.187	0.248	195.4	69.1	0.481	231	0.197	0.221	178.1	60.5	0.482
350	247	0.195	0.216	202.9	68.5	0.482	241	0.199	0.280	193.8	68.5	0.481	229	0.211	0.254	175.9	59.5	0.482

Şəkil 2-dən göründüyü kimi $TlInTe_2$-də Gd-un miqdarı artdıqca χ_T-nin qiyməti də artır. Eyni temperatur intervalında $TlIn_{0.98}Gd_{0.02}Te_2$ kristalı üçün χ_T-nin qiyməti $TlIn_{0.92}Gd_{0.08}Te_2$ kristalı üçün χ_T-nin qiymətindən kiçikdir. Bu isə onu göstərir ki, $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlullarında qadoliniumun payı artdıqca kristallik qəfəsdə kimyəvi əlaqə zəifləyir.



Şəkil 2. $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların χ_T izotermik sıxılma əmsalının temperaturdan asılılığı. 1- x=0, 2- x=0.02, 3- x=0.04, 4- x=0.06, 5- x=10 , Δ - [8] işində χ_T üçün alınmış təcrübi qiymətlərdir

İstidən genişlənmə və izotermik sıxılma əmsallarının temperatur asılılıqlarının eyni xarakterli olması onu göstərir ki, başlangıc $TlInTe_2$ və onun əsasında alınmış $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ ($0 \le x \le 10$) mol% bərk məhlulları eyni sinqoniyada – tetraqonal sinqoniyada kristallaşır.

Beləliklə, demək olar ki, qadoliniumun *f*-elektronlarının kimyəvi rabitədə rolu hesabına tədqiq olunan nümunələrdə İXG və izotermik sıxılma əmsalının qiyməti dəyişir.

İstidən genişlənmə və izotermik əmsalının təcrübi qiymətləri əsasında ədəbiyyat [6,7]-də verilən empirik düsturların köməyi ilə istilik parametrləri: Debay temperaturu $\theta = \dfrac{19{,}37}{\sqrt{\bar{A}V^{2/3}\alpha}}$, burada $\bar{A}$ - orta kvadratik atom kütləsi, V- atomar həcm, α -istidən xətti genişlənmə əmsalı; atomların orta kvadratik yerdəyişməsi $\sqrt{\overline{U^2}} = 4{,}3 \cdot 10^{-14}\left[\dfrac{D(\theta/T)}{\theta/T} + \dfrac{1}{4}\right] / \bar{A} \cdot D$, burada $D(\theta/T)$ Debay funksiyasıdır (bu funksiyanın qiyməti [8] ədəbiyyatından götürülmüşdür); sabit təzyiqdə və sabit həcmdə istilik tutumları fərqi $C_p - C_v = \dfrac{\beta^2 VT}{\chi_T}$, ($\beta \approx 3\alpha$ olub, həcmi genişlənmə əmsalıdır), həmçinin elastiklik parametrləri: Yunq modulu $\sqrt{E} = \dfrac{\theta \cdot m^{1/3}\rho^{1/6}}{1{,}68/8 \cdot 10^3}$, ($\rho$ - sıxlıq, m- kütlədir); sürüşmə əmsalı $\mu = E/3(1-2\sigma)$ və Puasson əmsalı $\sigma = 1-(E/3K)$ hesablanmışdır.

Hesablamaların nəticələri cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəldən göründüyü kimi, $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlullarında qadoliniumun miqdarı artdıqca istilik və elastiklik parametrlərindən Debay temperaturu və Yunq modulunun qiyməti azalır, Puasson əmsalı, sürüşmə modulu, kristal qəfəsdə atomların orta kvadratik yerdəyişməsi, sabit təzyiqdə və sabit həcmdə istilik tutumları fərqi isə artır. Bu isə $TlInTe_2$-də metallik əlaqənin artması ilə atomlararası kimyəvi rabitə qüvvəsinin azalması ilə əlaqədardır.

NƏTİCƏ

1. $TlInTe_2$ və onun əsasında alınmış $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların istidən genişlənmə və izotermik sıxılma əmsalının (77÷400) K temperatur asılılığında heç bir faza keçidi baş vermir. Müəyyən olunmuşdur ki, $TlInTe_2$ qəfəsində qadoliniumun miqdarı artdıqca bütün temperaturlarda istidən xətti genişlənmə və izotermik sıxılma əmsalının qiyməti artır.

2. Göstərilmişdir ki, istilik parametrləri: Debay temperaturu, kristallik qəfəsdə atomların orta kvadratik yerdəyişməsi, sabit təzyiqdə və sabit həcmdə istilik tutumlarının fərqi və elastiklik parametrləri: Yunq modulu, sürüşmə əmsalı, Puasson əmsalının qiyməti $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlullarında indium atomlarının hissə-hissə qadolinium atomları ilə əvəz olunduqca qanunauyğun şəkildə dəyişir.

[1] *E.M. Qojayev, M.M. Kurbanov, A.B. Naqiyev, D.D. Bayramov.* Nekotoriye svoystva tvyordix rastvorov $TlInTe_2$ – $TlLnTe_2$. Neroovnovesniye prosessi. Baku. Temat. sb. nauch. Trudov. 1989, 100. (Rusca).

[2] *E.M. Qojayev, D,D, Bayramov i dr.* Neorganicheskiye materiali, t. 25, 1989, 21. (Rusca).

[3] *Ya.Yu. Quseynov, D.D. Bayramov, U.M. Mustafayeva, A.B. Magerramov*. Neorganicheskiye materiali, t.48, 2012, 394. (Rusca).

[4] *E.M. Qojayev, M.M. Zarbaliyev, M.M. Kurbanov.* İzmerit. Tex. 1985, 44. (Rusca).

[5] *K.R. Allaxverdiyev, D.D. Guseynovi dr*. FTT, t.26, 1984, 2219. (Rusca).

[6] *N.N. Sirota*. Fizika i fiiko-ximicheskiy analiz. Vip. 1, Sudpromqaz, 1957, 185. (Rusca).

[7] *N.N. Fransevich*. Voprosi poroshkovoy metallurgii i prochnosti materialov. Kiyev, vip. III. İzd.-vo AN USSR, 1956, 22. (Rusca).

[8] *V,V, Tarasov*. Problemi fiziki stekla, M.: Stroyizdat, 1979, 225. . (Rusca).

Ya.Yu. Huseynov, D.D. Bayramov, U.M. Mustafayev, S.D. Bayramov, A.B. Maharramov

THERMAL AND ELASTIC PROPERTIES OF $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ SOLID SOLUTIONS

It is studied temperature dependence of thermal expansion and isothermal compressibility for the $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ system. It is revealed that with increase of gadolinium atom number in $TlInTe_2$ lattice the values of CTE and isothermal compressibility at all studied temperatures increase.

It was established the increase of gadolinium atom number in $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ lattice the thermal and elastic parameters change regularly.

Я.Ю. Гусейнов, Д.Д. Байрамов, У.М. Мустафаева, С.Д. Байрамова, А.Б. Магеррамов

ТЕПЛОВЫЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$

Изучена температурная зависимость коэффициента теплового расширения (CTE) и изотермической сжимаемости системы $TlInTe_2$ – $TlGdTe_2$.

Выявлено, что с увеличением содержания атомов гадолиния в решетке $TlInTe_2$ величина КТР и изотермической сжимаемости во всех исследованных температурах возрастает.

Установлено, что при увеличении содержания атомов гадолиния в решетке $TlInTe_2$ тепловые и упругие параметры изменяется закономерно.

Qəbul olunma tarixi: 18.06.2013

$TlInTe_2$ BİRLƏŞMƏSİ KRİSTALLARININ KOMPLEKS İMPEDANS SPEKTRİ

R.M. SƏRDARLI, O.Ə. SƏMƏDOV, R.Ş. AĞAYEVA, A.P. ABDULLAYEV
AMEA Radiasiya problemləri İnstitutu, AZ1143,Bakı, B.Bahabzadə,
e-mail o.samedov@rambler.ru

O.Z. ƏLƏKBƏROV, A.İ. NƏCƏFOV
AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,Az-1143, Bakı, H. Cavid prospekti 33.

$TlInTe_2$ kristalının elektrik xassələri 100÷450 K temperatur intervalında sabit və dəyişən elektrik sahələrində tədqiq olunmuşdur. Sabit elektrik sahənin təsiri altında elektrik keçiriciliyinin (σ) kinetik dəyişməsindən ion payı qiymətləndirilmişdir (80%). ($Z^*(f)$) kompleks impedans spektri $10^2 \div 10^6$ Hs tezlik intervalında tədqiq edilmişdir. Ekvivalent sxem əvəzləmələri üsulundan istifadə etməklə ($Z''-Z'$) kompleks müstəvi diaqramları analiz olunmuşdur və $TlInTe_2$ kristallının qodoqrammasından yüksək tezlikli oblastın sərhəddi təyin olunmuşdur (320K-də 10kHs; 360K-də 12.5kHs və 404K-də 50kHs). Göstərilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur və tezlik intervalında $TlInTe_2$ birləşməsinin elektrik xassələri Pt təcridedici elektrodu yaxınlığında yığılmış yükdaşıyıcıların və Tl ionlarının sıçrayışı ilə təyin olunur.

UOT: 537.226.4
Açar sözlər: Kompleks impedans spektri,ekvivalent sxem,faza sürüşməsi, elektrod/elektrolit, təcridedici elektrod, relaksasiya müddəti, qodoqramma, ion keçiriciliyi, elektrik relaksasiyası.

GİRİŞ

Ədəbiyyatda olan [1-4] işlərində $TlGaTe_2$, $TlInSe_2$, $TlInTe_2$ birləşmələrinin elektrik və dielektrik xassələri öyrənilmiş və 300K-dən yuxarı temperaturlarda, onlarda superion keçiriciliyi müşahidə olunmuşdur.

$TlInTe_2$ birləşməsinin strukturunu iki alt sistem kimi təsəffür etmək olar: kristalın optik oxuna paralel mənfi yüklənmiş ($In^{3+}Te^{2-}{}_2$) zənciri şəklində möhkəm sistem, mütəhərrik tallium ionları alt sistemi [5].

[6] işində $TlInSe_2$, $TlInTe_2$ və $TlGaTe_2$ üçqat monokristallarının yetişdirilməsi və sintezi metodları təklif olunmuşdur və ən effektiv yetişdirilmə metodu kimi zonalı əritmə metodu hesab olunmuşdur. Alınmış monokristallarda akustik fotovoltaik effekti tədqiq olunmuşdur. [7] işində otaq temperaturundan yuxarıda $TlInTe_2$ kristalında Holl effekti və elektrik keçiriciliyinin tədqiqi nəticələri verilmişdir. Alınan nəticələr [8] işində $TlInTe_2$ monokristalının zona sturukturu üçün hesablanmış nəticələrlə üst-üstə düşür. [9] işində $TlInTe_2$ zəncirvarı yarimkeçiricisinin həm zəncirlərə perpendikulyar, həm də zəncirlər istiqamətində xüsusi müqavimətinin temperatur asıllığı öyrənilmiş, aşqar keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır. Fermi səviyyəsi yaxinlığında lokalizasiya radiusu və hal sıxlıqları təyin olunmuşdur. [10] işində zona strukturuna əsaslanaraq kritik nöqtələrin analizi verilib və fundamental udma kənarında $TlInTe_2$ kristalının optik keçidləri interperetasiya olunmuşdur. Lakin bu deyilənlərə baxmayaraq $TlInTe_2$ birləşməsi kristallarının geniş tezlik intervalında $Z^*(f)$ kompleks impedans spektri tədqiq edilməmişdir.

Hazırki işdə TlInTe kristallarında ion keçiriciliyi prosesləri və həcmi-yük polyarizasiya effekləri öyrənilmiş, sabit elektrik sahəsində $\sigma(t)$ elektrik keçiriciliyinin dəyişmə kinetikası və $10^2 \div 10^6$ Hz tezlik intervalında $Z^*(f)$ kompleks impedans spektrinin ölçmələri verilmişdir.

EKSPERİMENTİN METODİKASI

$TlInTe_2$ birləşməsi vakuumda kvars ampulada ilkin komponentləri (təmizlik dərəcəsi 99,99%) əritməklə sintez olunmuş, onun monokristalı isə Bricman metodu ilə yetişdirilmişdir.

$TlInTe_2$ kristalının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığını ölçmək üçün tədqiq olunan materialdan müstəvi kondensator hazirlanmışdır. Kondensatorun səthinə platin (Pt) cərəyan keçirən kontakt çəkilmişdir. Birləşmənin elektrik xassələri bərk cism fizikasında geniş tətbiq olunan impedans spektroskopiya metodu ilə 100÷450K temperatur intervalında və 200Hz÷1MHz tezlik oblastında tədqiq olunmuşdur.

$TlInTe_2$ kristalının elektrik keçiriciliyi rəqəmli E7-25 immitans cihazı vasitəsi ilə tədqiq olunmuşdur.

EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

1. $TlInTe_2$ kristallının tam keçiriciliyində ion daşınmasının payının qiymətləndirilməsi

Keçiriciliyin elektron toplananı Vaqnerin polyarizasiya metodunun köməyilə təyin olunur. Vaqner metodu aşağıdakı hadisələrə əsaslanır: ion və ya elektron-ion xarakterli yük daşıyırıcılı bərk elektrolitlərdə, sabit elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyin zamandan asılı olaraq dəyişməsi müşahidə olunur. Bu hadisə özəkdə olan kristalda polyarizasiya prosesinin əmələ gəlməsinə əsaslanır. Yəni nümunə/elektrod sərhəddində ikiqat elektrik layı əmələ gəlir. Təcridedici elektrod nümunə/elektrod sərhəddində yük daşıyan ionlar tutulduğu üçün, elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində mobil ionlar mənfi yüklənmiş elektroda yığılır və kristalın həcmində konsentrasiyanin qradiyentini yaranır.

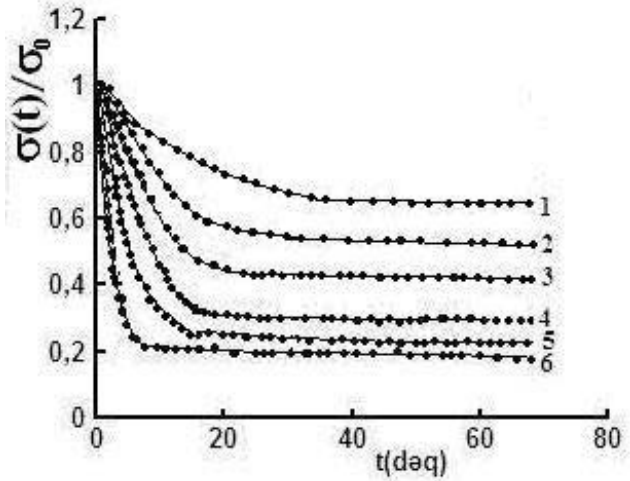
Müsbət yüklərin konsentrasiyasının qradiyentinin olması ionların dreyf selinin əksi istiqamətində onların diffuziya selinin yaranmasına gətirir. Stasionar halda diffuziya və dreyf selləri bir-birlərini kompensasiya etdikləri üçün, kristaldan təkcə elektron keçir. Qərarlaşmış polyarizasiya halında nümunənin keçiriciliyi $\sigma_\Sigma = \sigma_i + \sigma_e$ (ilk anda) qiymətdən σ_e qədər dəyişir. Beləliklə xüsusi

keçiriciliyin zamandan asillığından elektron və ion toplananlarının nisbətlərini tapmaq olar.

Yuxarıda göründüyi kimi kristala sabit potensiallar fərqi verməklə tədric edici elektrodlarda keçiriciliyin və ya müqavimətin zamandan asılılığından elektron və ion keçiriciliklərini bir-birindən ayırmaq olar.

Şəkil 1-də $TlInTe_2$ kristalının keçiriciliyinin zamandan asılılığı verilmişdir. Şəkil 1-dən göründüyi kimi elektrik keçiriciliyi əvvəlcə eksponensiol olaraq azalır və müəyyən zamandan sonra dəyişməz qalır. Elektrik keçiriciliyinin qeyri-xəttli düşməsi nisbətən yuxarı temperaturlarda sürətlə baş verir. Sabit elektrik sahəsində cərəyanın zamandan asılı düşməsi təcrid edilmiş elektrodların yaxınlığında həcmi yüklərin qarşılıqlı kompensasiyası hesabına olur.

Cərəyan sıxlığının zamandan asılılığı ikinci tərtib xətti differensial tənliklə təyin olunur və [11,12] onu kəsilməzlik şərtinə əsasən almaq olar. Əgər qəbul etsək kı, kvazidayanıqlı pozissiyaların sayının yükdaşıyıcılarin sayından çoxdur və həcmi yüklərin qeyri-bircins sahəsini nəzərə almasaq bu tənliyin həlli sadələşəcək.



Şəkil.1. $TlInTe_2$ kristallı üçün elektrik keçiriciliyinin kinetikası (1-200K; 2- 240K; 3-270K; 4-300K; 5-340K; 6-380K)

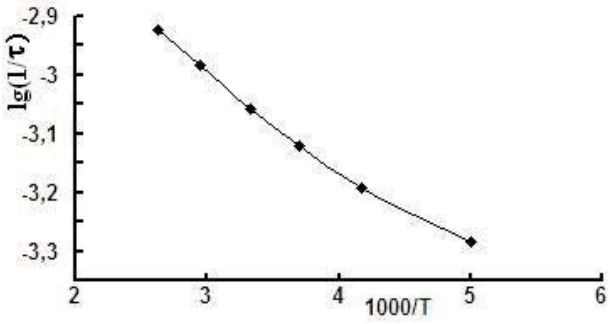
Həmçinin $t=0$ zaman anında d qalınlıqlı nümunədə q yüklərinin bərabər paylanmasını və elektrodların yük daşıyıcılar üçün tam keçilməzliyini qəbul etmək lazımdır. Diffuziya zonasının dərinliyi $2\sqrt{Dt} \geq d$ (D-diffuziya əmsalı) nümunənin qalınlığından çox olduqda böyük zaman intervalında bir istiqamətli hərəkətdə cərəyan sıxlığı üçün eksponensial asıllılıq almaq olar [13].

$$j=j_0 exp\ \{-\pi^2 Dt/d^2\} \qquad (1)$$

(1) -ə uyğun olaraq eksperimental nəticələri azalan eksponent kimi yazmaq olar.

$$\sigma=\sigma_{bgr} + \sigma_0 exp\{-t/\tau_{SC}\} \qquad (2)$$

Şəkil 1 və 2-nin nəticələrindən göründüyü kimi həcmi yüklərin polyarizasiyası temperaturdan asılı olaraq infraaşağı tezlik oblastında baş verir $1/(2\pi\tau_{sc}) \sim 10^{-3} \div 10^{-4}$Hs.



Şəkil.2. $TlInTe_2$ kristallının relaksasiya müddətinin $1/T$ – dən asıllığı.

Beləliklə platin elektroddan istifadə etdikdə, sabit elektrik sahəsində $TlInTe_2$ kristallında dreyf və diffuziya cərəyanlarının qarşılıqlı kompensasiyasına əsaslanan elektrik keçiriciliyinin kifayət dərəcədə azalmasi müşahidə olunur.

2. $TlInTe_2$ kristallının kompleks impedans spektri

Son 20 ildə fundamental proseslərin, xassələrin və tətbiqi tədqiqatların öyrənilməsində metod kimi impedans spektroskopiyasından geniş istifadə olunnurdur. İmpedans spektroskopiyasının mahiyyəti ondan ibarətdir ki, tədqiq olunan sistemə həyəcanlandırıcı kiçik amplitudlu sinusoidal siqnal verilir və çıxışda yaranan cavab siqnal öyrənilir. Əgər girişdə təsir edən impuls kimi $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ gərginliyi istifadə edilirsə (sistemə tətbiq olunan), çıxışda $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \upsilon)$ cərəyan şəklində siqnal qeyd olunur. Burada V_0 və I_0 uyğun olaraq cərəyanın və gərginliyin amplitudları, $\omega = 2\pi f$ – dairəvi tezlik, υ –faza sürüşməsidir.

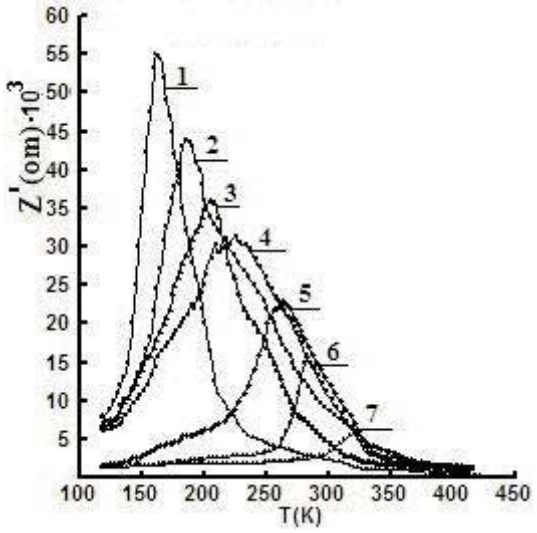
Sistemin reaksiyası bir çox amillərin cəmlərilə müəyyən olduğundan, tədqiqatçılar impedans məlumatlarını müxtəlif koordinatlarda verməyi üstün tuturlar. Həmçinin elektrik sahəsinin təsiri altında gedən prosesləri tam aydınlaşdırmaq üçün kompleks impedans məlumatları kompleks ədədlər səviyyəsində analiz olunmalıdır ($Z^*=Z' + jZ''$, $\sigma^* = \sigma' + j\sigma''$).

Dəyişən elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyinin ölçülməsinin əsas problemi alınan nəticələri düzgün təhlil etmək və ya ekvivalent sxemi seçməkdir (müqavimət və elektrik tutumunun kombinasiyasının sxematik təsviri). Çünki burada nümunə elektrodla birlikdə mürəkkəb "qara qutu" təşkil edir. Bəzən R və C sabit tezlikdə təyin olunmuş qiymətləri, nümunənin müqavimətinin və tutumunun real qiymətlərindən fərqlənir. Buna görə geniş tezlik intervalında ölçmələr aparmaq lazımdır ki, oradan nümunənin həqiqi həcmi müqavimətini müəyyən etmək mümkün olsun.

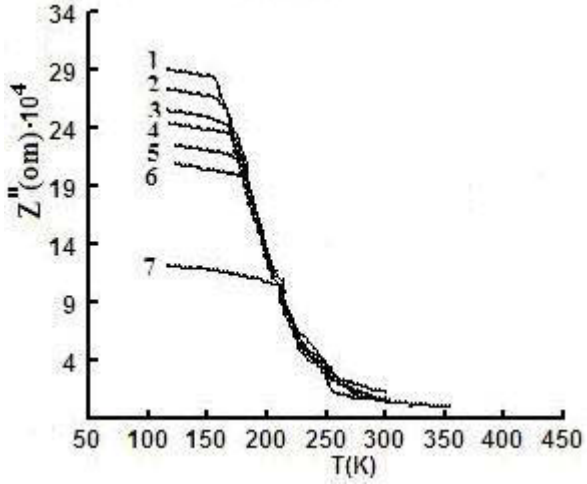
Dəyişən cərəyan ölçmələrində çox vaxt tədric edici elektrodlardan istifadə olunur (qızıl və ya platin). Bu halda elektrod-elektrolit sərhəddində ionların yük boşalması və ya başqa reaksiyalar baş vermir.

Şəkil 3 və 4-də $Z^*(f)$ kompleks impedansın uygun olaraq həqiqi və xəyalı hissələrinin temperaturdan asılılıqları müxtəlif tezliklər üçün verilmişdir (200Hs÷1MHs). Şəkil 3-dən göründüyi kimi Z' (impedansın həqiqi hissəsi) maksimal qiyməti ölçmə tezliyinin artmasılə yuxarı temperaturlar oblastına doğru sürüşür və onun amplitud

qiyməti azalır. İmpedansın xəyalı hissəsinin *(Z″)* temperaturdan asılılığı pilləkənvarı şəkildədir (şəkil 4). Ölçmə tezliyi artdıqca ″pilləkənin″ amplitud qiyməti azalır.



Şəkil.3. $TlInTe_2$ kristallının $Z^*(f)$ kompleks impedansının həqiqi hissəsinin temperaturdan asılılığı (1-200Hs; 2-500Hs;3-1kHs;4-10kHs;5-100kHs; 6-500kHs; 7-1MHs).



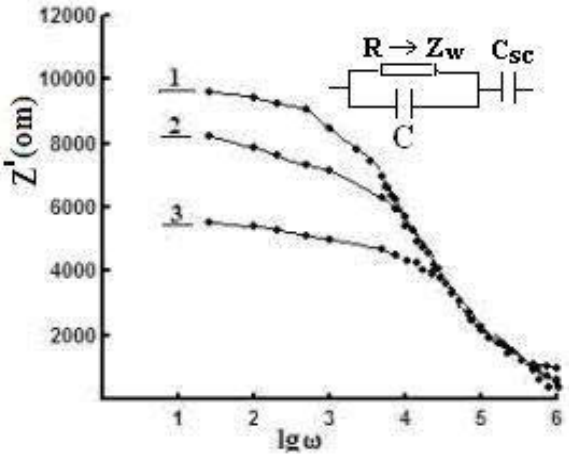
Şəkil 4. $TlInTe_2$ kristallının $Z^*(f)$ kompleks impedansının xəyalı hissəsinin temperaturdan asılılığı (1-200Hs; 2-500Hs;3-1kHs;4-10kHs;5-100kHs;6-500kHs; 7-1MHs).

Bu işdə həmçinin $TlInTe_2$ kristalında ion keçiriciliyi prosesləri və həcmi yüklərin polyarizasiyası effektləri tədqiq edilmişdir. $Z^*(f)$ Kompleks impedans spektri ölçmələri $10^2 \div 10^6$Hz tezlik intervalında aparılmışdır. Elektrik xassələrinin tədqiqi zamanı elektrod-nümunə sərhəddində baş verən proseslər eksperimental nəticələrə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir və nəticədə tədqiq olunan nümunənin elektrik keçiriciliyinin qiymətlərini təhrif edir. Tam keçiricilildən, elektrod proseslərinin keçiriciliyini ayırmaq üçün dəyişən cərəyan ölçmələrindən istifadə olunur.

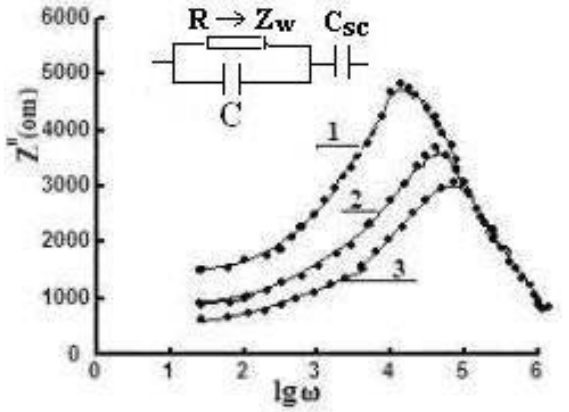
Ona görə qarşıya qoyulan məsələləri tam həll etmək üçün impedans spektroskopiyasından istifadə olunur. Bu metodun əsasında impedans qodoqrafinin qurulması və təhlili durur.

İmpedansın tezlikdən asıllığının nəticələrinin analizindən istifadə etməklə, elektrod impedansının təcrübi təyin olunan parametrlərə töhvəsi az olan, dəyişən cərəyan tezlik oblastını təyin etmək olar. Bu oblastdan seçilmiş tezlikdə aparılan elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığından alınan nəticələr materialın həqiqi xassələrini xarakterizə edəcək. Qeyd etmək lazımdır ki, göstərilən tezlik diapazonu xarici təsirlər altında dəyişə bilər (məsələn, temperaturun artması ilə tezlik oblastının sərhəddi yüksək tezlik oblastına sürüşə bilər).

Sabit elektrik sahəsində *σ(t)* elektrik keçiriciliyinin zamandan asılı olaraq düşməsi göstərdi ki, $TlInTe_2$ birləşməsinin elektrik xassələri həm həcmi xassələrdən, həm də elektrod üzərinə yüklərin yığılmasından asılıdır (şəkil 1). Həmçinin yuxarıda göstərdik ki, belə hallarda nümunənin elektrik keçiriciliyini geniş temperatur (şəkil 3 və 4) və tezlik intervalında ölçmək lazımdır.



Şəkil.5. $TlInTe_2$ kristallının $Z^*(f)$ kompleks impedansının həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılığı. Şəkil üstü ek vivalent dəyişmə sxemi (1-320K;2-360K;3-404K).

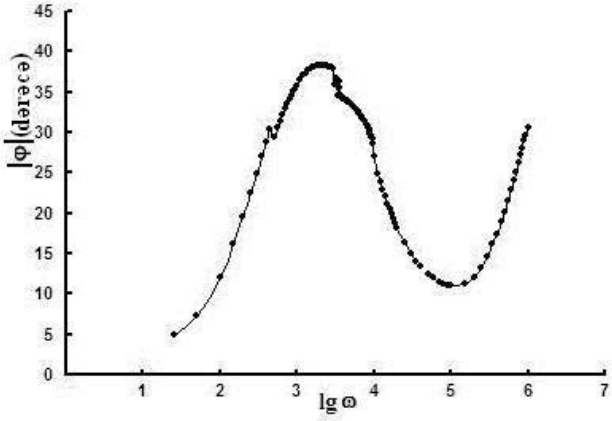


Şəkil.6. $TlInTe_2$ kristallının $Z^*(f)$ kompleks impedansının xəyalı hissəsinin tezlikdən asılılığı. Şəkil üstü ekvivalent dəyişmə sxemi (1-320K;2-360K; 3-404K).

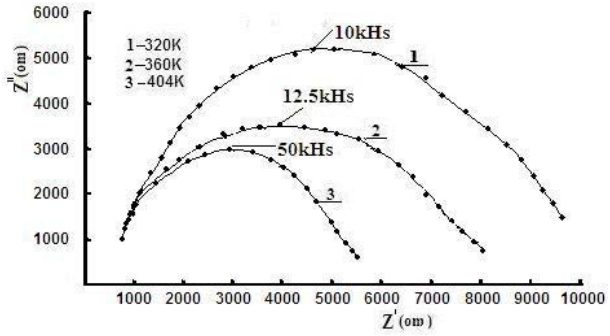
Şəkil 5 və 6-da $TlInTe_2$ kristallının $Z^*(f)$ kompleks impedansının uyğun olaraq həqiqi və xəyalı hissəsinin müxtəlif temperaturlarda ölçmə tezliklərindən asılılığı verilmişdir. Şəkillərdən göründüyü kimi *Z′(ω)* kompleks impedansının həqiqi hissəsi müxtəlif temperaturlarda tezlik asılılıqları "pilləkənvarı" dəyişir, *Z″(ω)* xəyalı hissəsi isə maksimumlarla müşayiət olunur. *Z″(ω)* xəyalı hissəsi-

nin maksimumlarının tezlik asılılıqları temperatur artdıqca yuxarı tezlik oblastına doğru sürüşür.

İmpedansın tezlik asıllığında, elektrik sahəsinin tezliyinin artmasılə onun qiymətinin azalması və dispersiya müşahidə olunur [13]. Aşağı tezlik oblastında faza sürüşməsi υ praktiki olaraq sıfıra yaxın olması, cərəyanla təsir edən gərginliyin fazaca eyni olmasını və nəticədə aktiv keçiriciliyin üstünlük təşkil etdiyini göstərir (şəkil 7). Lakin tezliyin artmasılə sürüşmə cərəyanının tezliklə dəyişməsilə xarakterik olan faza fərqi mənfi qiymət alır. İmpedansın dispersiyası elektrik relaksasiyası zamanı ilə xarakterizə olunur və adətən Naykvist qodoqrafılə təyin olunur. Bunun üçün impedansın xəyalı hissəsinin $Z''(f)=|Z| \sin \upsilon$ həqiqi hissəsindən $Z'(f)= |Z| \cos \upsilon$ asılılığı qurulur. Alınan yarımdairənin sağ hissəsi Z' oxuna söykənib elektrodla əlaqədar müqavimətə uyğundur. Yarımdairənin sol hissəsi, qiyməti elektrodun materialından asılı olmayan yüksək tezlikli impedansı göstərir. Qodoqramın maksimumu impedansın xəyalı hissəsinin ən böyük qiymətinə uyğundur.



Şəkil 7. $TlInTe_2$ kristallının faza fərqinin tezlikdən asılılığı (300K).



Şəkil 8. $TlInTe_2$ kristallının (Z″-Z′) kompleks müstəvisində qodoqraması (1-320K; 2-360K; 3-404K).

Şəkil 8-də *(Z′—Z″)* kompleks müstəvisində diaqramma (qodoqramma) verilmişdir. Yük daşıyıcılar, keçiriciliyin mexanizmi, elektrod yaxınlığında laylarda elektrik tutumu effektləri haqqında məlumat almaq üçün dəyişən elektrik sahəsində elektrik xassələrinin ölçülməsindən geniş istifadə olunur [14]. Real sistemlər üçün dielektrik və impedans spektrləri ekvivalent dəyişmə sxemləri köməyilə yazılır (dəyişən cərəyan sxemi). (Z '— Z ") kompleks müstəvisində paralel RC- birləşməsində qodoqraf yarımdairə şəklində olur [14-18].

R və *C* paralel birləşməsində impedansın həqiqi və xəyalı hissələri aşağıdakı kini təyin olunur:

$$Z' = \frac{R}{1+(RC\omega)^2} \quad \text{и} \quad Z'' = R\frac{RC\omega}{1+(RC\omega)^2}$$

Sadə rezistor və tutum əsasında ekvivalent sxem bütün tədqiq olunan tezlik oblastında eksperimental nəticələri təsvir etmir. Şəkil 8-dən göründüyü qodoqrafın aşağı tezlikli oblastında aşağıdakı uyğunsuzluqlar var. Eksperimental nöqtələr ideal yarımdairədən kənara çıxır (şəkil 8). Bu kənara çıxmalar diffuziya impedansı ilə əlaqədardır [15-17]. Yəni aşağı tezliklərdə yük daşıyıcıların qradienti əmələ gəlir. Dreyfin əks istiqamətində diffuziyanın artması impedansın həqiqi hissəsinin Z' qiymətini artırır. Bu yanaşma, eyni zamanda eksperimental nəticələrdə ideal yarımdairənin alınmamasını, yəni təhrif olunmasına gətirib çıxarır.

$TlInTe_2$ kristalının (Z″-Z′) kompleks müstəvisində qodoqramasından yüksək tezlikli oblastın sərhəddi təyin olunmuşdur (şəkil 8) (320K-də 10kHs; 360K-də 12.5kHs və 404k-də 50kHs). Şəkildən (şəkil 8) göründüyü kimi, (Z′—Z″) müstəvisində ion keçiriciliyinə yarımdairə uyğun gəlir.

Alınan nəticələr $TlInTe_2$ kristallının $Z^*(f)$ spektrini yazmaq üçün ekvivalent sxem təklif etməyə imkan verir. Əgər yük daşınması və həcmi-yük polyarizasiyası eyni tip daşıyıcılarla təmin olunursa, elektrod yaxınlığındakı oblastda yığılan həcmi yüklərin elektrik tutumunu *RC*-paralel dövrəsilə ardıcıl birləşmiş C_{sc} kimi yazmaq olar. Oxşar ekvivalent sxem tədric olunmuş elektrodlu bərk elektrolitlərin impedans spektrini modelləşdirmək üçün istifadə olunur.

Beləliklə kompleks impedans spektrlərinin öyrənilməsi göstərdi ki, tədqiq olunan temperatur–tezlik intervalında $TlInTe_2$ birləşməsi kristallarının elektrik xassələri iki əsas prosesin olmasılə müəyyən olunur. Bu proseslərdən biri düyünlərarası ionların sıçrayışlı keçiriciliyinə uyğundur, digəri isə təcrid olunmuş elektrodlar yaxınlığında yük daşıyıcılarının toplanması prosesidir.

[1] *R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, E.K. Guseynov, F.T. Salmanov, Q.R. Safarova*. Fizika i texnika poluprovodnikov, tom, 44, vip.5, 2010, s. 610-614. (Rusca).

[2] *R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, O.Z. Alekperov, E.K. Guseynov, N,A, Aliyeva*. Fizika i texnika poluprovodnikov, tom 45, vip. 11, 2011. s.1441-1445. (Rusca).

[3] *R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, E.K. Guseynov, E.M. Qocayev, F.T. Salmanov. R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, E.K. Guseynov*. tom 45, vip. 8, 2011. s.1009-1013. (Rusca).

[4] *R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, F.T. Salmanov, A. Urbanovic, F. Garet*. J-L. Superionic Conductivity in One-Dimensional Nanofibrous $TlGaTe_2$ Crystals. Japanese Journal of Applied Physics 50, 2011, 05FC09-1.

[5] *V.D. Muller, H. Hahn*. Z. Anorg. Allg. Chem. v.438, №1, 1978, p. 258-272.

[6] *E.M. Qocayev, E.A. Allaxyarov, A.M. Nazarov, K. D. Gyulmamaedov, X.S. Xalilova, E.M. Mamedov.* Neorqanicheskiye materiali, tom 43, №10, 2007, s. 1184-1189. (Rusca).

[7] *G.D. Guseinov, A.M. Ramazanzade, E.M. Kerimova, M.Z. Ismailov.* Phys. Stat. Sol., 1967, v.22, № 2, p. K117-122.

[8] *F.M. Qashimzade, Q.S. Orucev. DAN* Az SSR 36, 12, s.18, 1980. (Rusca).

[9] *F,N, Abdullayev, T,Q, Kerimova, N.A. Abdullayev.* FTT, 2005, tom 47, vip. 7, s.1180-1183. (Rusca).

[10] *N. Mamedov, S. Iida, N. Javadov, Tamao Matsumoto, S. Kagramanova.* Proc.of the 1 th Int.conf.on Ternary and Multinary compounds – ICTMC-11 (Salford,1997). Inst.Phys.Conf.Ser.N 152, 1998, p.629.

[11] *A. Lidyard*. İonnaya provodimost kristallov. İzd-vo İL, M., 1962. 222s. (Rusca).

[12] *V.N Çebotin*. Ximiçeskaya diffuziya v tvyordix telax. Nauka. M., 1989. 208 s. (Rusca).

[13] *M.D. Volnyanskiy, S.N.Plyaka, M.P. Trubitsin, Yaxya A.X. Obaydat.* FTT, 2012, tom, 54, vip.3, s.471. (Rusca).

[14] *A. Vest*. Ximiya tvyordoqo tela. MİR, M., 1988, 336 s. (Rusca).

[15] В.Н. Чеботин, М.В. Перфильев. Электрохимия твердых электролитов. Химия, 7М. (1978). 310 с.

[16] *Ian D. Raistrick.* Ann. Rev. Mater Sci. **16**, p.343 (1986).

[17] Impedance Spectroscopy, Emphasizing Solid Materials and Systems / Ed. *J. Ross MacDonald, J. Wiley & N. Y. Sons, 1*987.

[18] *Yu.M. Poplavko*. Fizika dielektrikov. Uçebnoye posobiye Vişa şkola, Kiyev, 1980, 398 s. (Rusca).

O.Z. Alekperov, R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.I. Nadjafov,
R.Sh. Aqayeva, A.P. Abdullayev

SPECTRA OF COMPLEX IMPEDANCE IN $TlInTe_2$ CRYSTALS

Electric properties of $TlInTe_2$ crystals in a constant and alternating measuring field at 100÷450K temperatures have been investigated. In a constant field it has been fixed essential reduction conductivity (σ) (80%). Spectra of complex impedance *(Z(f))* have been measured in a range of frequencies $10^2 \div 10^6$Hz. The analysis of diagrams in a complex plane *(Z ″− Z′)* has been carried out by the method of equivalent circuits and it has been defined the borders of high-frequency ranges of $TlInTe_2$ crystals (320K-- 10kHz; 360K-- 12.5kHz и 404K-- 50kHz) . It is shown that in the investigated interval of temperatures and frequencies electric properties $TlInTe_2$ are defined by jumps of ions Tl and accumulation of carriers of a charge near to blocking Pt electrodes.

О.З. Алекперов, Р.М. Сардарлы, О.А. Самедов, А.И. Наджафов,
Р.Ш. Агаева, А.П. Абдуллаев

СПЕКТРЫ КОМПЛЕКСНОГО ИМПЕДАНСА В КРИСТАЛЛАХ $TlInTe_2$

Электрические свойства кристаллов $TlInTe_2$ исследованы в постоянном и переменном измерительном поле при температурах 100÷ 450К. В постоянном поле зафиксировано существенное уменьшение электропроводности σ со временем и оценены ионная (80%) и электронная составляющие проводимости. В диапазоне частот $10^2 \div 10^6$ Hs измерены спектры комплексного импеданса $Z^*(f)$. Анализ диаграммы в комплексной плоскости *(Z″−Z′)* проведен с использованием метода эквивалентных схем замещения и определены границы высокочастотной области в кристаллах $TlInTe_2$ (320К- 10кГц; 360К-12,5кГц и 404К-50кГц). Показано что в исследованном интервале температур и частот электрические свойства $TlInTe_2$ определяются прыжковой проводимостью и накоплением носителей заряда вблизи блокирующих Pt электродов.

Qəbul olunma tarixi: 19.09.2013

InGaN/GaN ÇOXQAT KVANT ÇUXURLU MAVİ LED ÇİPLƏRİN METAL ORQANİK KİMYƏVİ QAZ FAZA EPİTAKSİYA ÜSULU İLƏ ALINMASI VƏ TƏDQİQİ

G.K. QƏHRƏMANOVA
Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,
AZ1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr., 33
e-mail: gulnaz_qehremanova@hotmail.com

Bu məqalədə, biz GaN əsaslı işıqlanan diodların (LED) yetişdirilməsindən danışmışıq. İlk olaraq, nanometr ölçülü çoxqat InGaN/GaN təbəqəli LED strukturları Metal Orqanik Qaz Faza Epirtaksiya (MOCVD) üsulu ilə 2- düym ölçülü (0001)-istiqamətində sapfir altlıq üzərində yetişdirilmişdir. Sonra, bir neçə mikroquraşdırma texnologiyaları, meza aşınma, metal çökdürmə vasitəsi ilə GaN əsaslı mavi işıqlanan diodlar (LED) hazırlanmışdır. LED çiplərin SEM tədqiqatları aparılmışdır. Sonra mavi InGaN/GaN LED-lərin VAX-sı ölçülmüşdür. VAX-sına əsasən işçi gərginliyinin 3.5V olduğu müəyyən edilmişdir. Onların elektrolüminessensiyası tədqiq edilmişdir. Nəticədə CIE 1976 rəng koordinatlarının x=0.156; y=0.216 və dominant dalğa uzunluğunun λ_d=451nm olduğu təyin edilmişdir.

UOT: 621.382.2
Açar sözlər: InGaN/GaN, mavi LED çiplər, Metal Orqanik Kimyəvi Qaz Faza Epitaksiya-OCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition).

GİRİŞ

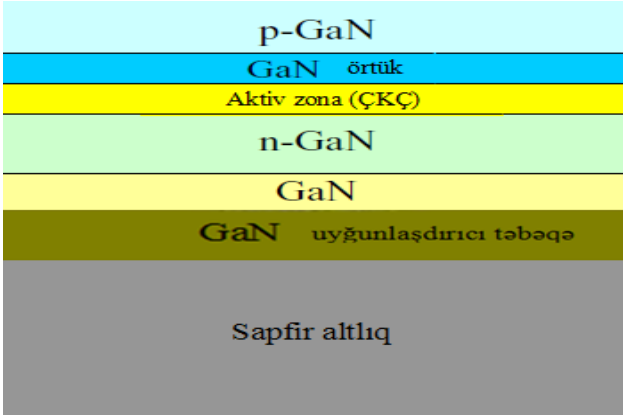
Son illərdə yarımkeçiricilər texnologiyası sahəsində III-N əsaslı birləşmələr daha çox öyrənilir və tətbiq olunur. Ağ işıq mənbələri üçün III-N birləşmələrin istifadəsinin iki əsas səbəbi var. Birinci səbəb bu birləşmələrin qadağan olunmuş zonasının eninin (E_g) AlN, GaN və InN üçün uyğun olaraq 6.2eV, 3.4eV və 0.7eV olmasıdır [1,2]. Belə ki, onların spektrləri ultrabənövşəyi oblastdan (UB) görünən oblasta qədər bütün dalğa uzunluğunu əhatə edir. III-N birləşmələrinin digər gen zonalı yarimkeçiricilərdən əsas üstünlüyü güclü kimyəvi rabitəyə malik olmasıdır, hansı ki, nitrid yüksək elektrik cərəyanı və yüksək temperaturda stabilliyi və deqrodasiyaya davamlılığı təmin edir. LED-lərdən müxtəlif işıqlanmalarda, küçə işıqlanmasında, reklam lövhələrinin işıqlanmasında, TV və böyük ekranlarda və.s. geniş istifadə olunur. Mavi LED-lərin digər tətbiqlərinə tibbi diaqnostik avadanlıq və fotlitoqrafiya da daxildir. Hal-hazırda, xüsusilə ümumi işıqlanmada tətbiqlər üçün mavi və UB-LED-lərdən fosfor çevirici ağ işıq diodlarının (LED) yaradılmasına başlanılmışdır [3,4].

Yüksək keyfiyyətli LED çiplərin yetişdirilməsinin iki müasir üsulu mövcuddur; Molekulyar Şüa Epitaksiya - MBE (molecular beam epitaxy) və Metal Orqanik Kimyəvi Qaz Faza Epitaksiya –MOCVD (metal organic chemical vapor deposition). Biz bu məqalədə MOCVD üsulu ilə əldə edilmiş strukturun optik xassələrindən və həmçinin də GaN əsaslı mavi LED-lərin alınma texnalogiyasından danışırıq.

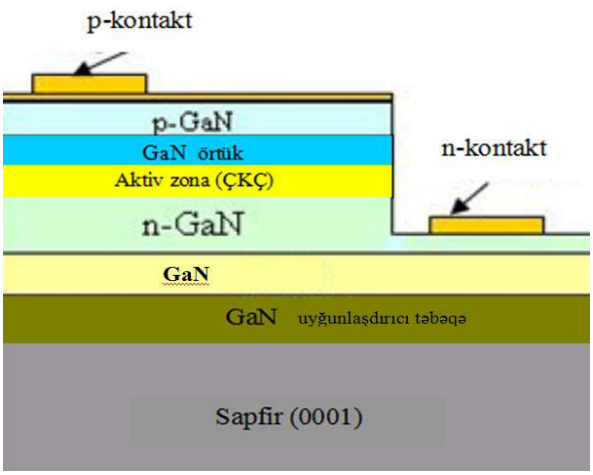
EKSPERİMENT

Nümunələr MOCVD üsulu ilə yetişdirilmişdir. Bu tədqiqatda (c-müstəvi) sapfir altlıq üzərində (0001) kristalloqrafik istiqamətində yetişdirilmiş nümunələrdən istifadə edilmişdir. Alüminium, qallium, indium və azot mənbəyi kimi uyğun olaraq trimetilalüminium (TMAl), trimetilqallium (TMGa), trimetilindium (TMIn) və ammonyak (NH_3), istifadə olunur. p-tip və n-tip aşqar mənbələri kimi uyğun olaraq Biscyclopentadienyl maqnizium (CP_2Mg) və disilan (Si_2H_6) istifadə olunmuşdur.

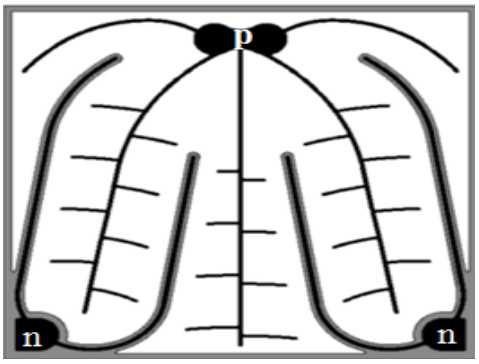
Yetişmə prosesi zamanı əvvəlcə altlıq H_2SO_4:H_2O_2 (3:1) məhlulunda 10 dəqiqə müddətində təmizlənmişdir, sonra 2%-li HF məhlulunda oyulmuşdur və deionizə olunmuş suda yaxalandırılmış və daha sonra N_2 mühitində qurudulmuşdur. Bu prosesdən sonra 1080°C temperaturda 10 dəq müddətində H_2 atmosferi altında təbii halda olan oksigeni kənar etməklə sapfir altlıqa termik təmizləmə prosesi tətbiq edilmişdir. Termik təmizləmədən sonra 525°C-də təxminən 30 nm ölçülü GaN qoruyucu təbəqəsi çökdürülmüşdür. Daha sonra temperaturu 1020°C-yə yüksəltməklə 1mkm qalınlıqlı Si-aşqarlı n-tip GaN layı yetişdirilmişdir. Növbəti mərhələdə altlıqın temperaturu aşağı salınmışdır, 715°C-də InGaN layı və 840°C-də GaN barrier layı yetişdirilmişdir. InGaN/GaN çoxqat kvant çuxurunun aktiv zonası 3 cüt 3 nm qalınlıqlı $In_{0.4}Ga_{0.6}N$ laylarından və 10nm qalınlıqlı GaN barrier laylarından ibarətdir. Aktiv zonanın yetişdirilməsindən sonra 30 nm qalınlıqlı GaN örtük layı yetişdirilmişdir və altlığın temperaturunu 727°C-yə yüksəltməklə 250 nm qalınlıqlı Mg-aşqarlı p-tip GaN layı yetişdirilmişdir (şəkil 1).



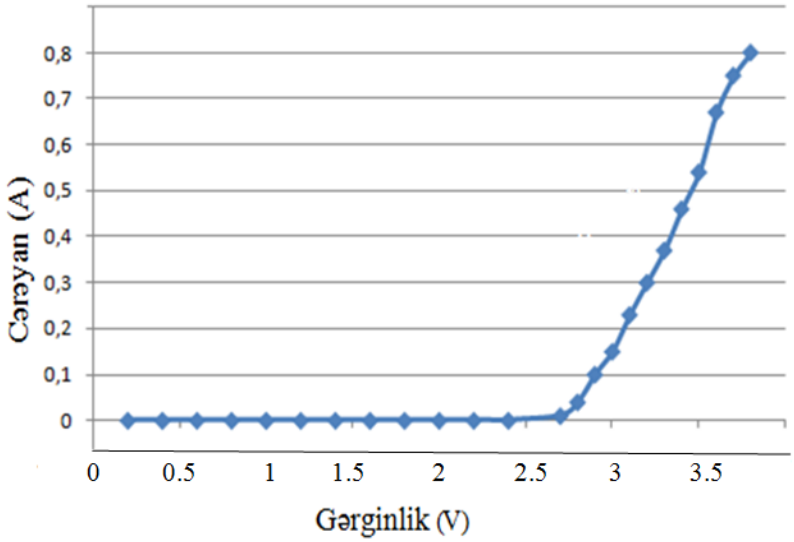
Şəkil 1. InGaN/GaN strukturunun sxematik təsviri.



Şəkil 2. InGaN/GaN mavi LED çipinin strukturu.



Şəkil 3. Alınan və tədqiq olunan InGaN/GaN mavi LED çipinin SEM-də görünüşü

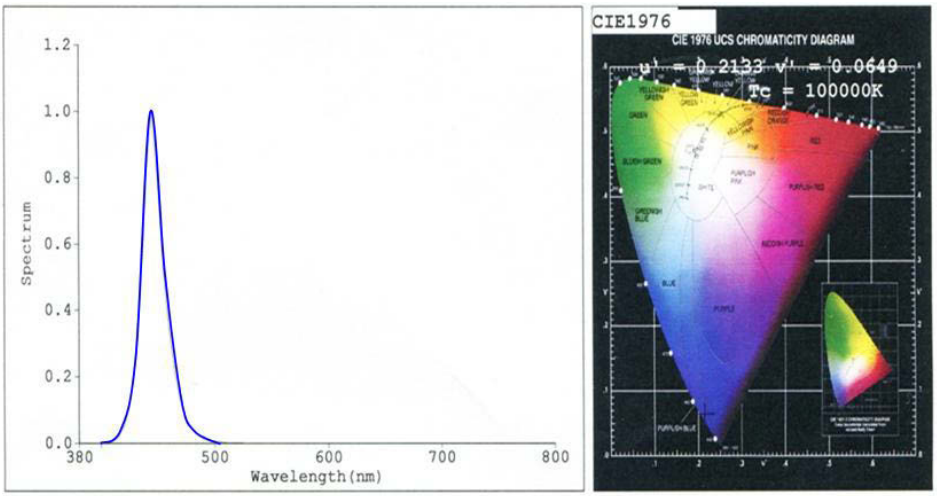


Şəkil 4. LED InGaN/GaN mavi LED çipin volt-amper xarakteristikası.

LED çipin *p* və *n* kontaktlarının SEM tədqiqatlarının nəticəsi və VAX-sı uyğun olaraq şəkil 3 və şəkil 4-də təsvir olunmuşdur.

Alınmış nümunədə *p*-tip GaN-ə *p*-elektrodu kimi 200 nm Au kontakt qoyulmuşdur. Digər tərəfdən, *n*- tip GaN-ə Au (100 nm) *n*-elektrodu kimi daxil edilmişdir. Nümunənin strukturu sxematik olaraq şəkil-2də göstərilmişdir

InGaN çoxqat kvant çuxurlu LED-lərin otaq temperaturunda elektrolüminessensiya spektri şəkil 5- də göstərilmişdir. Emissiyanın ən yüksək qiyməti 465 nm dalğa uzunluğuna uyğundur.



Şəkil 5. InGaN/GaN LED çipin Electrolüminessensiya spektri və CIE 1976 (x,y) rəng koordinatlarında təsviri.

NƏTİCƏLƏR

InGaN/GaN çoxqat kvant çuxurlu mavi LED çipləri Metal Orqanik Qaz Faza Epirtaksiya üsulu ilə sapfir altlıq (substrate) üzərində (0001)-istiqamətində yetişdirilmişdir. Alınan InGaN/GaN çoxqat kvant çuxurlu mavi LED çiplərə 200 nm Au kontaktlar qoyulmuşdur, SEM tədqiqatları aparılmışdır. VAX-sına əsasən işçi gərginliyinin 3.5V olduğu müəyyən edilmişdir və elektrolüminessensiya spektri otaq temperaturunda tədqiq edilərək CIE (*x, y*) rəng koordinatları müəyyənləşdirilmişdir. Alınan LED çiplərin elektrolüminessensiyasının tədqiqi nəticəsində (x=0.156; y=0.216) rəng koordinatları və dominant dalğa uzunluğu λ_d=451nm təyin edilmişdir.

İşin yerinə yetirilməsində Yüksək Texnologiyalar üzrə Tədqiqat və İnkişaf Mərkəzinə və elmi rəhbərim f.r.e.d. R.B. Cabbarova dərin minnətdarlığımı bildirirəm.

[1] *S.J. Chang, Y.C. Lin, Y.K. Su, C.S. Chang, T.C. Wen, S.C. Shei, J.C. Ke, C. Kuo, S.C. Chen and C.H. Liu.* J. Solid State Electron. 47 1539, 2003

[2] *S.D. Lester, F.Ponce, M.G. Craford and D.A.Steigerwald*. Phys. Lett. 66 1249, 1995 Appl.

[3] *R.Jabbarov, N.Musayeva, F.Scholz, T.Wunderer, A.N.Turkin, S.S.Shirokov, A.E.Yunovich.* Phys. Status Solidi A 206, No. 2, 287–292, 2009.

[4] *F.M. Steranka, J. Bhat, D. Collins, L. Cook, M.G. Craford, R. Fletcher, et al.* High power LEDs – technology status and market applications. Phys Status Solidi A;194:380–8, 2002.

G. K. Gahramanova

RESEARCH AND FABRICATION OF INGAN/GAN MULTIPLI QUANTUM WELL BLUE LIGHT EMITTING DIODES (LEDs) BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION

In this paper, we report on the fabrication of blue GaN based light emitting diodes (LEDs). Firstly, the multi-layers of nanometer thickness InGaN/GaN are grown on quarters of 2-inch diameter (0001)-orientation sapphire substrates by using metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) for a subsequent realization of the LED structures. Then, the blue GaN based LEDs are fabricated by using several standard microfabrication techniques, including mesa etching, metal deposition. LED chip was obtained by scanning electron microscopy (SEM). The current–voltage (*I–V*) characteristics of InGaN/GaN blue LED were measured. The results show that the turn-on voltage is about 3.5V. İts electroluminescence properties were investigated. The experimental results showed that color coordinates CIE 1976 were x=0.156; y=0.216 and the wavelength of blue emitting light was about 450 nm.

Г. К Кахраманова

ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ INGAN / GAN СИНИХ СВЕТОДИОДОВ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ МЕТОДОМ МЕТАЛООРГАНИЧЕСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ПАРОВОЙ ФАЗЫ

В данной работе мы сообщаем об изготовлении синих светоизлучающих диодов (СИД) на основе GaN. Во-первых, несколько слоев нанометровой толщины InGaN/GaN, выращенных на сапфировой подложке диаметром 2 дюйма с (0001)-ориентацией с помощью металлоорганического химического осаждения из паровой фазы (MOCVD) для последующей реализации светодиодных структур. Затем, синие светодиоды на основе GaN изготовлены с использованием нескольких стандартных методов микрообработки, в том числе меза травления, осаждения металла. Светодиодный чип был рассмотрен с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Были измерены вольт-амперные (I-V) характеристики InGaN / GaN синего светодиода. Результаты показывают, что напряжение включения составляет около 3.5V. Его электролю-минесцентные свойства были исследованы. Экспериментальные результаты показали, что цветовые координаты CIE 1976 были x = 0,156, y = 0,216, а длина волны синего излучаемого света была около 450 нм.

Qəbul olunma tarixi: 19.09.2013

FƏRQLİ XARİCİ AMİLLƏRİN TƏSİRİ İLƏ POLİPROPİLEN+NANOGİL KOMPOZİTLƏRİNDƏ PARÇALANMA PROSESLƏRİNİN KİNETİKASI

A.Ə. HADIYEVA
AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Az-1143, Bakı, H. Cavid prospekti 33.

Bu məqalədə polipropilen (PP) əsasında nanogil (NG) əlavə edilmiş nanokompozitlərin mexaniki yaşama müddətinin (τ_M) mexaniki gərginlikdən (σ_M) asılılığı fərqli temperaturlarda (T) ölçüldükdən sonra, mexaniki parçalanmanın aktivasiya enerjisi (U_0) və quruluşa həssas əmsalı (γ) hesablanmışdır. Saf PP və 2,0% miqdarında nanogil (NG) əlavəli optimal nanokompozitlər (PP+2,0 % NG) üçün xarici amillərin (elektrik sahəsi E) təsiri ilə baş verən quruluş dəyişmələri zamandan asılı olaraq İQ spektroskopiya, molekulyar çəkisi (MÇ) isə viskozimetriya metodu ilə öyrənilmişdir. Həm saf PP, həm də nanokompozitdə elektrik sahəsinin təsirindən sonra kimyəvi rabitənin qırılması ilə əlaqədar olaraq $C=C$ cüt rabitələr meydana gəlir, MÇ-nin zamandan asılı olaraq azalması görünür. Nanokompozitlərdə optik sıxlığın artma sürəti və MÇ-nin azalma sürəti PP-yə nəzərən azdır. t=60 saatdan sonra saf PP-də mexaniki möhkəmlik 14,3%, nanokompozitdə isə 7,0% azalmışdır.

Pacs: 541
Açar sözlər: nanokompozitlər, nanogillər, polipropilen, mexaniki xassələr, möhkəmlik.

Polimerlər sinfi içərisində geniş istifadə sahəsinə malik yüksək molekullu birləşmələrdən biri də polipropilendir. Elastik boru və kabel istehsalında istifadə edilən PP-dən alınan məhsullar fərqli xarici amillərin (mexaniki yük, elektrik sahəsi, elektrik boşalması, temperatur, radiasiya və s.) təsiri ilə yaşlanmaya, parçalanmaya məruz qalırlar. Parçalanmanın başlamasıyla yaşama müddətinin azalması müşahidə edilir. Bu prosesi dayandırmaq və τ_M-ni artırmaq üçün polimerlərə piqmentlər, antioksidantlar, plastifikatorlar və s. daxil etməklə məqsədəuyğun müxtəlif xassələrə malik kompozitlər hazırlayırlar.

Son zamanlarda polimerlər əsasında nanohissəciklər daxil edilmiş nanokompozitlərin alınması və araşdırılması həm praktiki, həm də elmi cəhətdən çox aktualdır. Aparılmış araşdırmalardan [1-6] polimerlər əsasında hazırlanan, üzvi və qeyri-üzvi əlavələr daxil edilmiş kompozitlərin dinamik-mexaniki, deformasiya və optik xassələrini öyrənməklə parçalanma mexanizmi haqqında az da olsa məlumat əldə etmək mümkündür.

Polimer nanokompozitlərin alınmasında gillərin nanoəlavə kimi istifadəsi polimerlərin bir çox xassələrini (parçalanma temperaturu, yanmaya dayaniqliği, elastiklik modulu, mexaniki və elektrik möhkəmliyi, qaz və nəm keçiriciliyi) dəyişdirir [7]. Nanohissəcik əlavə edilmiş nanokompozitlərdən alınan məhsullardan tələb olunan xüsusiyyətlər: sıxlığını qorumaqla yanaşı mexaniki, elektrik möhkəmliyini artırmaq və bir sıra xassələrini yaxşılaşdırmaqdır. Ədəbiyyatda [8-12], kiçik miqdarlarda əlavə edilmiş nanohissəciklərlə hazırlanan nanokompozitlərin daxilində hava boşluqlarının sayı azalır, qaz və nəm keçiriciliyi azalır. Eyni zamanda 2,0%-3,0%-li nanokompozitlərdə şüşələşmə ($T_ş$), ərimə ($T_ə$) və termoaktivləşmə (T_a) temperaturlarının, dinamik- mexaniki və deformasiya xassələrinin dəyişməsi müşahidə olunmuşdur [7].

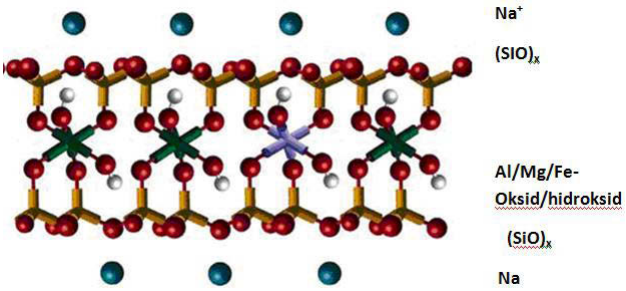
Nanohissəciklərin polimer matrisasında paylanması fiziki xassələri dəyişdirən amillərin ən vacibidir. Istər polimer kompozitlər, istərsə də polimer nanokompozitlər üç üsulla alınır: bərk polimeri həlledicilər vasitəsilə məhlul halına gətirməklə [13, 14], əritməklə [15, 16] və sintez yolu ile (polimerləşmə) [17,18]. Təcrübi araşdırmalarda [1, 2, 4, 5] daxil edilmiş əlavələrin makromolekullar arasında yerləşdiyi müşahidə olunmuşdur. Nanokompozitlər qaynar presləmə üsulu ilə (ərinti halında) alındığından nanohissəciklərin matrisada harada (zəncirdəmi yoxsa zəncir araliğındamı) oturduğunu öyrənmək üçün fərqli temperaturlarda mexaniki möhkəmliyi ölçmək lazımdır. Mexaniki parçalanmanın aktivasiya enerjisini hesablamaqla əlavənin polimer matrisasıyla qarşılıqlı əlaqəsini söyləyə bilərik. Eyni zamanda PP və PP+2,0% NG nümunələri üçün sürətli yaşlandırma prosesindən sonra τ_M -ni ölçməklə və birbaşa metodlarla quruluşda baş verən dəyişmələri öyrənməklə parçalanma mexanizmi haqqında məlumat əldə edə bilərik. Bu nəticələri nəzərə alaraq polimer materiallarının alınması və istifadəsi zamanı mexaniki parçalanmanı dayandırmaq və yaşama müddətini artirmaq yollarını göstərmək olar.

Mexaniki və elektrik parçalanmasında bir çox polimer və kompozitlər üçün temperaturun rolu təcrübi olaraq [1-6, 19] araşdırılmışdır. Nanokompozitlərin xarici amillərin təsirindən sonra parçalanmasında termofluktuasiya nəzəriyyəsinin doğru olmasını isbat etməklə nümunələrin yaşama müddətlərinin fərqli şəraitlərdə necə olacağını təxmin etmək olar.

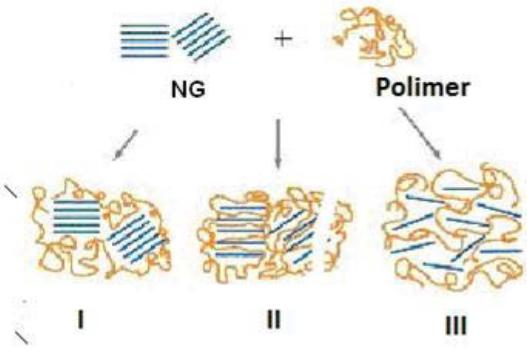
Təcrübə:

Nanogil müxtəlif faizlərdə (%1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0) toz şəklində polipropilenlə mexaniki qarışdırıldıqdan sonra qaynar presləmə üsulu ilə (150MPa, 445K, 10 dəq.) nazik (40-70mm) nümunələr əldə edilmişdir. Hər ikisi toz şəklində və sıxlıqları bir-birinə yaxın olduğundan homogen qarışıq alınır. PP-nin sıxlığı 0,920q/sm^3 (920 kq/m^3), nanogilin sıxlığı isə 0,500 g/sm^3 olduğundan kiçik faizlərdə nanokompozitlərin sıxlıqlarının dəyişməməsi hazırlanan nümunələrin yüngül olmasını təmin edər ki, bu da praktiki cəhətdən çox vacibdir. NG olaraq istifadə olunan əlavə montmorillonitli (MM) təbəqəli silikatlardır və təbəqələrin ölçüləri təxmini olaraq: uzunluğu 200 nm, eni 1 nm-dir [20, 21]. Şəkil 1-də MM kristalının qəfəsinin quruluşu göstərilmişdir. Mərkəzdə Al (alüminium), Mg (magnezium) və Fe (dəmir) atomları yerləşir və onlar silisium oksid təbəqəsi ilə əhatə olunur. Bu cür quruluşa malik gilin daxilində elektrostatik tarazlığın pozulması artır və təbəqənin xaricində mən-

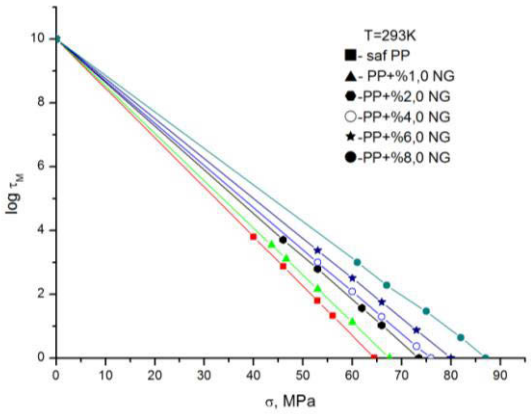
fi yüklü hissəciklərin artması gözlənilir. Na^{+}, Ca^{++} kationların absorbsiyası ilə mənfi yüklü hissəciklər neytrallaşır. MM hissəciklərinin belə müstəvi şəklində olması bu təbəqələrin bir-biri üzərinə düzülərək polimer matrisası ilə qat-qat təbəqəli quruluş yaratmasına gətirir. Bu cür quruluşlarda havanın və rütubətin keçməsi saf PP matrisasına nəzərən çətinləşir. Giannelisin apardığı araşdırmalara görə [22] nanokompozitlərin alınması bir sıra mərhələlərlə gedir (şəkil 2). I mərhələdə taktoid (tactoid) yaranır -polimer makromolekulu gilin aglomeratlarını (agglomerate) xaricdən örtür. II mərhələdə zəncir seqmentləri gilin təbəqələri arasındakı boşluğa girərək onların 2-3 nm aralanmasına səbəb olur [23]. III mərhələdə qismən ayrılmalar və təbəqələrin nizamsız düzülüşü (dezorientasiyası) başlayır. Sonuncu mərhələdə təbəqələr tamamilə ayrılır (exfoliation). Polimer daxilində gilin bərabər paylanması nanokompozitin quruluşunun mükəmməl olduğunun göstəricisidir. Gilin miqdarı artıq olduqca və paylanma eyni dərəcədə olmadıqda xassələrin dəyişməsi müşahidə olunur.



Şəkil 1. Montmorillonitin atom quruluşu.

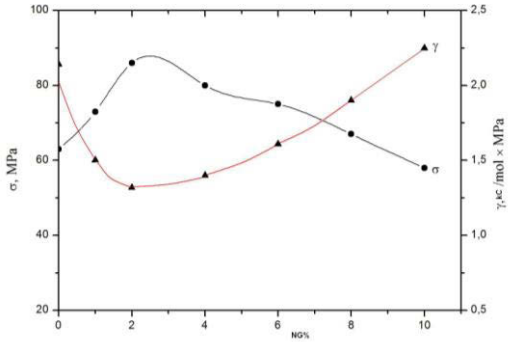


Şəkil2. Polimer nanokompozitlərin yaranması.

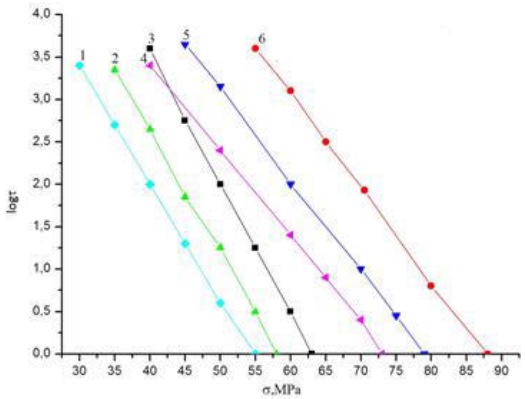


Şəkil3. log τ_M-nin σ-dan asılılığı.

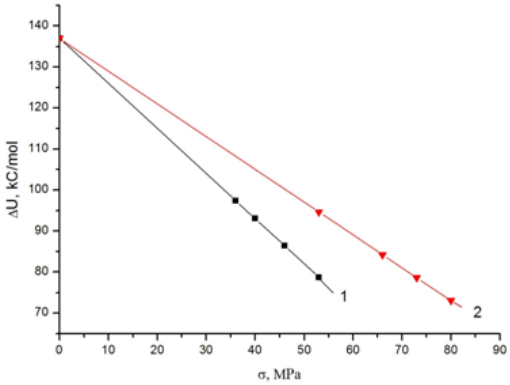
Xassələrin dəyişməsində əlavənin rolunu araşdırmaq üçün saf və PP+2,0% NG nümunəsi elektrik sahəsində zamandan asılı (5; 10; 20; 40; 60 saat) olaraq əvvəlcədən yaşlandırılmışdır. Əvvəlcədən yaşlandırmaq üçün diametri 50 mm olan iki elektrod arasında yerləşdirilən nümunələrə deşilmə elektrik gərginliyindən aşağı $E=2\cdot10^{7}$V/m qiymətində dəyişən elektrik sahəsi tətbiq edilmişdir. Yaşlanmadan sonra nümunədə yaranan quruluş dəyişmələrini tədqiq etmək üçün 400-2500 sm^{-1} tezlik aralığında İQ udulma spektrometriya metodu istifadə olunmuşdur. Saf və PP+2,0% NG nümunələri yaşlanmadan əvvəl və sonra MÇ vizkozimetriya metodu ilə araşdırılmışdır. Eyni zamanda yaşlanmadan sonra mexaniki möhkəmliyi və τ_M-si qırılma cihazı [4] vasitəsilə ölçülmüşdür. Ölçmələr üçün yaşlanmış nümunələrin orta hissəsi istifadə olunmuşdur. Nəticələrin doğruluğu üçün müxtəlif σ-larda τ_M-nin qiyməti 6-10 dəfə ölçülmüşdür.



Şəkil 4. σ ve γ-nın nanogilin faiz miqdarından asılılığı.



Şəkil5. log τ_M-nın σ-asılılığı:
1,2,3~PP; 4,5,6~PP+2,0%NG. 1,4 ~ 363K; 2,5 ~ 333K; 3,6 ~ 293K.



Şəkil 6. ΔU- nun σ-dan asılılığı: 1 ~PP, 2 ~ 2,0% NG

Təcrübi nəticələrin izahı: NG-in PP-nin mexaniki möhkəmliyə təsiri şəkil 3-de *log* τ_M~*f(σ)* asılılığı ilə göstərilmişdir. *log* τ_M - nin *σ*-dan asılılığı termofluktuasiya mexanizmi ilə izah oluna bilər. Yəni mexaniki yük təsir edən nümunələrdə qırılmalar temperaturun təsiri ilə əmələ gəlir, *σ* qırılmaya kömək edir:

$$\tau_M=\tau_0 exp\ [(U_0-\gamma\sigma)/RT]$$

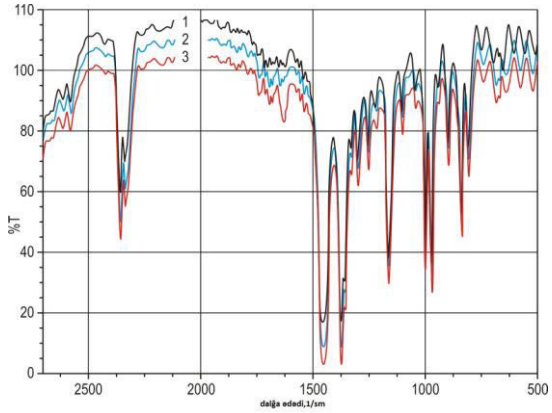
Bu asılılıq əvvəlki işlərimizdə də müşahidə edilmişdir [1,4,5,19]. τ_M~ *σ*-nın müxtəlif qiymətlərində mexaniki yaşama müddəti (nümunəyə mexaniki yükün təsiri anından qırılmasına qədər keçən vaxtdır); τ_0 ~ atomların tarazlıq vəziyyəti ətrafında rəqsinin periodu; *R* ~ universal qaz sabiti; U_0 ~ mexaniki parçalanmanın başlanğıc aktivasiya enerjisi; *γ* ~ quruluşa həssas əmsaldır. Bu parametrlər təcrübi olaraq hesablanmış və cədvəldə verilmişdir. *σ* nano-əlavənin miqdarından asılı olaraq əvvəlcə artır, sonra isə azalır (şəkil 4). Saf və PP+2,0 % NG nümunələrinin τ_M-si müxtəlif temperaturlarda ölçülərək (şəkil 5) U_0, *γ* və τ_0 hesablanmışdır. Şəkil 6-da isə mexaniki parçalanmanın aktivasiya enerjisinin (U_0) müxtəlif temperaturlarda *σ*-ya asılılığı göstərilmişdir. Üzvi əlavələr daxil edilmiş kompozitlərdə optimal xassəyə malik olan nümunələr əlavənin 15-20% miqdarında olduğu halda [1, 24, 25], qeyri-üzvi əlavələrlə alınan kompozitlərdə isə optimal xassələr əlavənin 0,5-3,0% migdarında müşahidə olunur [4, 5, 11, 12, 26]. NG əlavəli PP nanokompoziti üçün optimal xassəyə malik olan nümunələrin faiz miqdarı 2,0%-dir (şəkil 4). 2,0% miqdarında *σ*-nın qiymətinin artması NG hissəciklərinin PP matrisasında bərabər paylanaraq makromolekullararası qarsılıqlı təsiri artırmasının nəticəsidir [7].

Cədvəl.

PP/NG nanokompozitlərində mexaniki xassələrin parametrləri

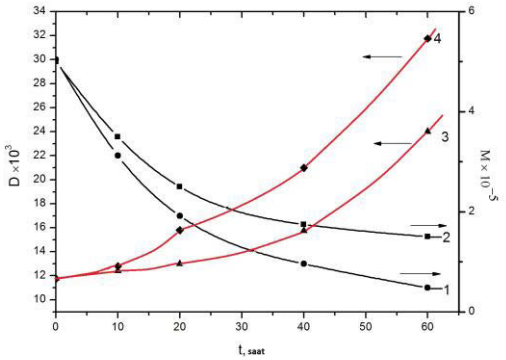
Samples PP/NG	*σ*, MPa (*T*=293K)	U_0, kj/mol	*γ*, (kj/mol)·MPa^{-1}	τ_0, s	τ_M, s (*σ*=60MPa)	*σ*,MPa *T*=293 *t*=60saat	τ_M, s *σ*=60MPa *t*=60saat
PP saf	63	135	2.14	10^{-13}	6	54	4
PP/1,0%	73	135	1.50	10^{-13}	76	66	54
PP/2,0%	86	135	1.32	10^{-13}	1350	80	1170
PP/4,0%	80	135	1.40	10^{-13}	470	72	380
PP/6,0	75	135	1.61	10^{-13}	180	65	120
PP/8,0%	67	135	1.90	10^{-13}	13	53	10
PP/10,0%	58	135	2.25	10^{-13}	-	41	-

Hər bir polimerin və onlar əsasında kompozitlərin hazırlanması zamanı şəraitdən (temperatur, mexaniki yük, nəm, radiasiya və s.) asılı olaraq qüsurlu nümunələr alınır. Mexaniki parçalanma zamanı bu qüsurların ölçüləri və miqdarı çox vacibdir. Şəkil 4-də *σ*-nın ən yüksək qiymətinə *γ*-nın ən kiçik qiyməti uyğun gəlir. Deməli, nanokompozitlərdə NG-in təsiri ilə qüsurların sayının və ölçülərinin dəyişməsi müşahidə olunur. Əlavənin sonrakı artımı onsuz da qüsurlu olan nümunələrdə qüsurların sayının artmasına səbəb olur.



Şəkil7. Nanokompozitin Fİ-İQ spektri: 1 ~ PP, 2 ~ 2,0% NG (*t*=60 saat);3 ~ PP (*t*=60 saat).

Şəkil 6 və cədvəldən göründüyu kimi saf PP və nanokompozitlər üçün U_0 dəyişmir. U_0~ makromolekulu əmələ gətirən atomlar və molekullar arasındakı rabitə enerjisidir. Eyni zamanda bu enerji mexaniki yükün təsiri ilə parçalanma zamanı əmələ gələn ilk aktivasiya enerjisidir (parçalanmanın aktivasiya enerjisi) [27]. U_0'-ın dəyişməməsi PP və nanokompozitlərdə qırılmaların kimyəvi rabitələrdə əmələ gəldiyini göstərir. PP-yə daxil edilmiş NG atomları ana zəncirə girmiş olsaydı, saf PP və nanokompozitlər üçün fərqli U_0-lar alınmalıydı. Toz şəklində olan PP və NG mexaniki qarışdırıldıqdan sonra qaynar presləmə üsulu ilə ərinti şəklindən nanokompozit hazırlanır. U_0-ın bütün nümunələr üçün eyni olması daxil etdiyimiz əlavənin zənciri əmələ gətirən atomlararası kimyəvi rabitəyə təsir etməməsiylə əlaqədardır. Mexaniki möhkəmliyin və τ_M-nın əlavənin miqdarına bağlı olaraq dəyişməsi makromolekullararası qarşılıqlı təsirlə əlaqədardır [1,4,5]. Saf və nanokompozitlər üçün təcrübənin nəticələrinə görə $\tau_0=10^{-13}$s'dir. Bu qiymət zənciri yaradan atom və molekulların tarazlıq vəziyyəti ətrafındakı rəqsinin periodudur.



Şəkil 8. D və M- in asılılığı: 1,2 ~ M; 3,4 ~ *D*; 1,4 ~ PP; 2,3 ~ PP+2,0% NG

Əvvəlki araşdırmalardan [1,4,5,27] belə bir nəticəyə gəlirik ki, mexaniki parçalanma makromolekuldakı atomlararası kimyəvi rabitədən başlayır. Birbaşa metodlarla aparılan təcrübələrin nəticələri bunu sübut edir. Xarici amillərin təsiri ilə polimerin quruluşunda yaranan dəyişikliyi öyrənmək üçün PP və PP+2,0% NG nümunələri 400-2500 sm^{-1} aralığında İQ udulma spektri analiz edilmiş və molekulyar çəki ölçülmüşdür. Nümunələr əvvəlcədən elektrik sahəsinin təsirinə məruz qalaraq sürətli bir şəkildə yaşlandırılmışdır. t=10 saatdan başlayaraq E-nin təsiri ilə həm saf PP və həm də nanokompozitlərdə 1640sm^{-1} dalğa uzunluğuna uyğun gələn $C=C$ qrupuna aid pikin boyu artır. Elektik sahəsinin t=0 və t=60 saat zaman içərisindəki təsir nəticələri şəkil 7-də göstərilmişdir. C=C qrupunun optik sıxlığının (D_{1640}) zamandan asılı olaraq artması elektrik sahəsinin dağıdıcı xarakterini göstərməklə zənciri əmələ gətirən atomlararası kimyəvi rabitələrdə qopmaların baş verməsinin nəticəsidir. Şəkil 7-dən hesablanan $C=C$ qrupunun D_{1640}-si şəkil 8-də göstərilmişdir. Şəkil 8-dən göründüyu kimi, PP-nin optik sıxlığının artma sürəti nanokompozitə nəzərən daha çoxdur. NG $C=C$ cüt rabitələrin sayının artmasına mane olur. $C=C$ cüt rabitələri makromolekulların qopmasının nəticəsi olduğundan, MÇ-nin azalması gözlənilməlidir. Hər iki nümunənin MÇ-nin E-nin təsiri ilə zamandan asılılığı şəkil 8-də göstərilmişdir. PP-nin MÇ-nin zamana görə azalması nanokompozitə nəzərən daha sürətlidir. D'nin artmasıyla MÇ'-nin azalması tərs mütənasibdir. t=60 saatda σ və τ_M-nin qiymətləri cədvəldə göstərilmişdir. Saf PP-də azalma 14,3%, PP+2,0% NG-də isə 7,0%-dir.

Nanokompozitlər qaynar presləmə metodu ilə alındığı üçün ərimiş polimerdə NG qarışır və təzyiq altında bir müddət saxlanılır. Bu zaman polimer zəncirinin yenidən yaranması zəncirin konformasiyası entropiyasını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Polimerlə NG-in qarışması zamanı matrisa ilə nanohissəciyin qarşılıqlı təsirində ən vacib amil olan entalpiyanın rolunun ehtimalı daha böyükdür [15,16]. Bu səbəbdən NG hissəciklərinin makromolekullar arası boşluqlara keçməsi asanlaşır. Homogen paylanma artır və nanohissəciklərlə makromolekullararası qarşılıqlı təsir artaraq xassələrin dəyişməsinə səbəb olur.

Nəticə:

PP əsasında hazırlanmış NG əlavəli nanokompozitlərdə mexaniki möhkəmlik və yaşama müddəti əlavənin 2,0% miqdarında artmışdır. Bu artma saf PP-yə nəzərən PP+2,0% NG kompozitində 36,5%-dir. U_0-ın saf PP və nanokompozitlərdə eyni qiymətə malik olması NG-in zənciri əmələ gətirən atomlararası kimyəvi rabitəyə heç bir təsir gostərməməsinin nəticəsidir. Mexaniki xassələrin əlavənin miqdarından asılı olaraq dəyişməsi makromolekullararası qarşılıqlı təsirə əsaslanmışdır. Həm saf PP, həm də nanokompozitdə elektrik sahəsinin təsirindən sonra kimyəvi rabitənin qırılması ilə əlaqədar olaraq $C=C$ cüt rabitələr meydana gəlir, MÇ-nin zamandan asılı olaraq azalması gözlənilir. Nanokompozitlərdə optik sıxlığın artma sürəti və MÇ-nin azalma sürəti PP-yə nəzərən azdır. t=60 saatdan sonra saf PP-də mexaniki möhkəmlik 14,3%,nanokompozitdə isə 7,0% azalmışdır.

[1] *Sh.V. Mamedov, V.A. Alekperov, Y. Lenger, D.Oren, S.A. Abasov, M.Subası and R.L. Bayramova.* Polymer.Compos.,1999, 20,216.

[2] *S.K. Khanna, R.M. Winter, P. Ranganathan, S.B.Yedlab, M.Kalukanimuttamb, and K. Paruchuri*. Composite Part A, 2003, 34, 53.

[3] *J.A. Epaarachchi and P.D. Clausen*. Compos. Part A-Appl. S., 2003, 34, 313.

[4] *F.Ş. Boydağ, Y.L.Özcanli, V.A.Alekberov and İ.Hikmet*. Compos.Part, 2006, B,37, 249.

[5] *Y.L. Özcanli, F.Ş. Boydağ, V.A. Alekberov, İ.Hikmet, and M. Cantürk*. Modern Physics Letters B, 2007, 21, 1415.

[6] *A.Akinci, J.Reinf.* Plast. Compos., 2010, 29, 957.

[7] *A.K. Mikitaev, A.A. Kaladjyan, O.B. Lednev, M.A. Mikitaev*. Elektronnıy jurnal «İssledovano v Rossii»,2004, 4, 912-922. (Rusca).

[8] *D.M. Deloizer, R.A. Orwoll, J.F. Cahoon, J.G.Smith, J.W. Connell*. Polymer, 2002; 43: 813-822.

[9] *J.H. Chang, S.J. Kim, Y.L.Joo, S.Im*. Polymer, 2004; 45: 919-926.

[10] *W.S. Chow, Z.A. Mohd Ishak, J. Karger-Kocsis, A.A. Apostolov, U.S. Ishiaku*. Polymer, 2003; 44: 7427-7440.

[11] *E.M. Antipov, M.A. Quseva, V.A. Qerasin, Y.M. Korolev, A.V. Rebrov, H.R. Fisher, İ.V.Razumovskaya.* Vısokomol. Soed. A. 2003. T.45. №11, s. 1885-1899.

[12] *E.M. Antipov, M.A. Quseva, V.A. Qerasin, Y.M.Korolev, A.V.Rebrov, H.R. Fisher, İ.V. Razumovskaya*. Vısokomol. Soed. A. 2003. T. 45, №11, s. 1874-1884. (Rusca).

[13] *Chang JH, Park KM*. Polym Eng. Sci. 2001; 41: 2226.

[14] *Chang JH, Park KM*. Polym Eng. Sci. 2001; 41: 2226.

[15] *Vaia RA, Ishii H, Giannelis EP*. Adv. Mater 1996; 8: 29.

[16] *Vaia RA, Jandt KD, Kramer EJ, Giannelis EP*. Macromolecules 1995; 28: 8080.

[17] *Y. Fukishima, A. Okada, M. Kawasumi, T. Kurauchi, O. Kamigaito*. Clay Miner 1988; 23: 27.

[18] *A. Akelah, A.J. Moet*. Mater Sci 1996;31:3589.

[19] *U. Alkan, Y. Özcanlı, V. Alekberov*. Fibers and Polymers 2013, Vol.14, No.1, 115-120.

[20] *K. Yano, A. Usuki, A. Okada*. J Polym Sci, Part A: Polym. Chem 1997; 35: 2289.

[21] *J.M. Garcia-Martinez, O.Laguna, S.Areso, E,P.Collar*. J.Polym Sci, Part B:Polym Phys 2000; 38: 1564.

[22] *E.P. Giannelis*. Adv. Mater. 8 (1996) 29-35.

[23] *H.R. Dennis, D.L. Hunter, D.Chang, S.Kim, J.L.White, J.W. Cho, D.R.Raul.* Polymer,2001, 42:9513-9522.

[24] *Sh. V. Mamedov, V.A. Alekperov, Y. Özcanlı*. The comparison of relaxation events with spectroscopic properties of polymer composites with fibrillar dopings on the basis of LDPE and PP. Macromolecular Symposia, 1999;146:55-69.

[25] *F.S. Boydağ, Sh.V. Mamedov, L.Y. Özcanlı.* Optical characterization of weakly absorbing PP,

PE an PP/PE films. Optics and Spectroscopy 2003; 95(2): 225-9.

[26] *F. Avasos, M.A. Lopez-Manchada, M. Arrayo.* Crystallization kinetics of polypropylene III. ternary composites based on PP LDPE blend matrices and short glass fibres. Polymer 1996;39:6173-8.

[27] *H.P. Blom, J.W. Tek, T. Bremmer, A. Rudin*. Isothermal and non-isothermal crystallization of PP: effect of annealing and of the addition of HDPE. Polymer 1998; 39, 17: 4011-4022.

A.A. Hadiyeva

THE KINETICS OF DEGRADATION OF COMPOSITES BASED ON POLYPROPILENE+NANOCLAY INFLUENCED BY EXTERNAL FACTORS

In this article is investigated the energy of activating of mechanical destruction and structure-sensitive coefficient of nanocomposites on the basis of polypropylene and nanoclays after measuring of mechanical longevity in different temperatures. The structural changes of clean PP and optimal nanocomposites PP+2% NC dependence of the external factors(the electric field *E*) are investigated with a help of IR spectroscopy and molecular weight with the method of viskozimetriya. And in clean PP, and nanocomposites after influence of electric-field arises up *C=C* double connection after destruction of chemical connection, it is visible,reduction of molecular weight from time. Increasing of speed of absorbancy and reduction of molecular weight in nanocomposites it is not enough than PP. After *t*=60 hour mechanical durability in clean PP and the nanocomposites on 14,3% and 7,0% decreases correspondingly.

А.А. Хадыева

КИНЕТИКА ПРОЦЕССОВ РАЗЛОЖЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕН + НАНОГЛИНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНЫХ ФАКТОРОВ

В этой статье исследовано энергия активации механической деструкции и структурно-чувствительный коэффициент нанокомпозитов на основе ПП и наноглинов после измерение механической долговечности в различных температурах. Исследовано структурные изменение зависимости от внешних факторов (электрическое поле *E*) чистого ПП и оптимального нанокомпозита ПП+2% НГ с помощью ИК спектроскопии, а молекулярный вес с методом вискозитметрии. И в чистым ПП, и нанокомпозите после воздействии электрического поля возникает *C=C* двойной связь после разрушения химической связи, видно уменьшение молекулярного веса от времени. Увелечение скорости оптической плотности и уменьшение молекулярного веса в нанокомпозитах относительно ПП мало. После *t*=60 час механическая прочность в чистом ПП на 14,3%, а в нанокомпозитах на 7,0% уменьшается.

Qəbul olunma tarixi: 30.09.2013

KİMYƏVİ ÇÖKDÜRMƏ YOLU İLƏ ALINMIŞ PbS NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN KRİSTALLİK QURULUŞU VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ

O.R. ƏHMƏDOV, M.H. HUSEYNƏLİYEV
AMEA Naxçıvan Bölməsi, AZ – 7700 Naxçıvan ş., H. Əliyev pr. 76.

N. M. ABDULLAYEV
Azərbaycan MEA- nın H. B. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,
AZ – 1143, Bakı ş., pr. H. Cavid, 33

İşdə məhluldan kimyəvi çökdürmə yolu ilə şüşə altlıq üzərində PbS nazik təbəqəsi alınmışdır. Aparılan rentgenoqrafik analiz nazik təbəqənin PbS olduğunu təsdiq etmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, alınmış PbS nazik təbəqələri B_1 strukturlu kubik quruluşa (fəza qrupu Fm3m), B_3 quruluşa və daha mürəkkəb quruluşa malik olurlar. Bu strukturda S kükürd atomları yalnız *4(b)* pozisiyalarında (Pb atomlarının altqəfəsinin oktaedrik düyün nöqtələri arasında) deyil, həmçinin *8(c)* pozisiyalarında, yəni tetraedrik düyün nöqtələrinin arasında yerləşir. PbS-in qadağan olunmuş zonasının eni spektrin infraqırmızı oblastına uyğun gəldiyindən, onu təyin etmək üçün PbS- i şüşə altlıqdan ayırmaq və ona məxsus udma spektrini bu oblast üçün səciyyəvi olan bir çox funksional qruplarının piklərinin fonundan ayırd etmək lazım gəlmişdir. PbS-in qadağan olunmuş zonasının tipinə əsasən (icazə verilmiş düz keçid) Tauç düsturundan onun qadağan olunmuş zonasının eni müəyyən edilmişdir: E_g = 0,37eV.

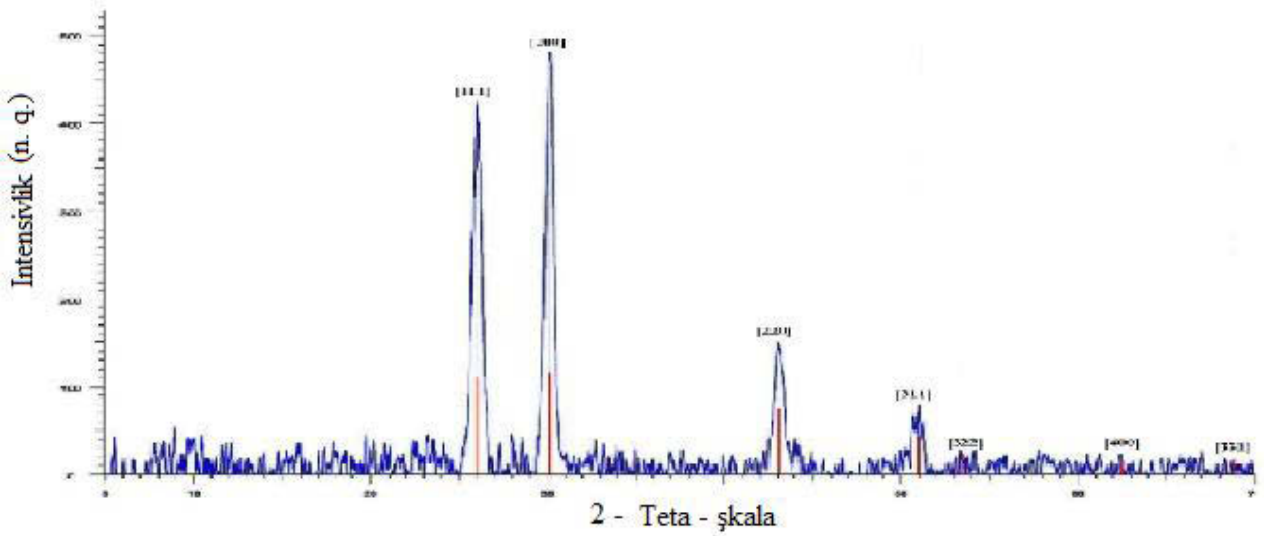
UOT: 537. 533. 3; 541. 1.
Açar sözlər: qurğuşun sulfid, rentgenoqrafik analiz, nazik təbəqələr, kristallik struktur, funksional qruplar, infraqırmızı spektr, qadağan olunmuş zona..

Qurğuşun sulfid (PbS) birləşməsi və nazik təbəqəsi darzonalı yarımkeçirici olaraq bir çox sahələrdə - spektrin infraqırmızı oblastında (850- 3100 nm) detektor materialı kimi [1, 2], nanotexnologiyada [3], fototermik çeviricilərdə selektiv örtük materialı kimi [4] və günəş elementlərində [5] istifadəsinə görə son vaxtlar intensiv şəkildə öyrənilməyə başlanmışdır. Bütün digər yarımkeçiricilərdən fərqli olaraq PbS-in qadağan olunmuş zonasının temperatur əmsalı müsbətdir [6]. Bundan başqa PbS-in nazik təbəqəsi alınarkən onun CdS-lə birlikdə çökdürülməsi şəraitində tərkibdə PbS-in faizindən asılı olaraq tamamilə yeni xassələrə malik yarımkeçirici material almaq mümkündür [7, 8].

PbS nazik təbəqəsinin kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınması üçün istifadə olunan məhlul aşağıdakı qaydada hazırlanmış məhlulların hər birindən eyni qədər (həcm ölçüsü ilə) götürülməklə hazırlanır: qurğuşun asetat $Pb(CH_3COO)_2$ - 0,07M; natrium hidroksid (NaOH)-0,3M; trietanolamin $N(CH_2CH_2OH)_3$-0,06M; tiomoçevina $(NH_2)_2CS$-0,17 M.

Kimyəvi çökdürmə prosesi 60 ml-lik laboratoriya stəkanının içərisində 40°C-aparılmışdır. Məhlulun içərisinə əvvəlcədən şaquli vəziyyətdə süsə altlıq yerləşdirilir və bütün proses müddətində məhlul maqnit qarışdırıcı ilə daima qarışdırılır. 20 dəqiqədən sonra şüşə altlıq məhluldan çıxarılır və distillə suyunda yuyularaq qurudulur.

Bu prosesdən sonra şüşə üzərində yaxşı adgeziyaya malik, bircins, tünd qəhvəyi rəngli PbS nazik təbəqəsi alınmışdır.



Şəkil 1. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbS nazik təbəqəsinin rentgen difraktometrik spektri .

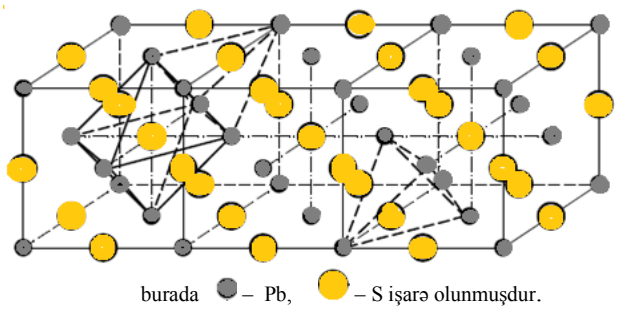
Şəkil 1-də kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbS nazik təbəqəsinin rentgen difraktometrik spektri göstərilmişdir. Bütün difraksiya piklərinin yeri və intensivlikləri PbS birləşməsinin rentgen standartları ilə tamamilə üst üstə düşmüşdür.

PbS nazik təbəqəsinin kristallik strukturu tədqiq olunmuşdur. Bir çox mənbələrdə nazik təbəqələrin strukturunun yalnız B_1 kubik quruluşlu (fəza qurupu *Fm3m*) olduğu haqqında məlumatlar verilir [9]. Lakin nazik təbəqələr B_3 və ya daha mürəkkəb quruluşa malik ola bilərlər. Aparılan araşdırmalar göstərmişdir ki. nazik təbəqələrin real strukturu *Fm3m* fəza qrupuna aid olur, lakin S kükürd atomları uyğun olaraq (1/4, 1/4, 1/4), (3/4. 3/4. 1/4), (3/4. 1/4. 3/4), (1/4. 3/4. 3/4), (3/4. 3/4. 3/4), (3/4. 1/4. 1/4), (1/4. 3/4. 1/4), (1/4. 1/4. 3/4) koordinatları ilə təkcə oktaedrik düyün nöqtələri arasında (4(*b*) pozisiyalarında) deyil, həm də tetraedrik düyün nöqtələri arasında (8(*c*) pozisiyalarında) yerləşir. Bu tip quruluşda 4(*b*) və 8(*c*) pozisiyalarının S kükürd atomları ilə tamamlanması uyğun olaraq *y* və (1- 2*y*) bərabər olur. Əgər Pb atomları ilə tamamlanmış 4(*a*) pozisiyasının və S kükürd atomları ilə tamamlanmış uyğun olaraq *y* və (1-2*y*) bərabər olması mümkünlüyü 4(*b*) və 8(*c*) pozisiyaları nəzərə alınarsa, onda kubik quruluşlu (fəza qurupu *Fm3m*) olan *F* amplitudasının strukturu aşağıdakı şəkildə olar:

$$F = f_{Pb}\{1 + \exp[-i\pi(h + k)] + \exp[-i\pi(h+l)] + \exp[-i\pi(k+l)]\}+$$
$$+yf_S\{\exp[[-i\pi(h + k + l)] + \exp(-i\pi h) + \exp(-i\pi k) + \exp(-i\pi l)]\}+$$
$$+[(1-y)f_S/2]\{\exp[-i\pi(h+k+l)/2 + \exp[-i\pi(3h + 3k + l)/2]+$$
$$+\exp[-i\pi(3h + k + 3l)/2]+\exp[-i\pi(h + 3k + 3l)/2] +$$
$$+\exp[-i\pi(3h + 3k + 3l)/2]+\exp[-i\pi(h + k + 3l)/2]+$$
$$+\exp[-i\pi(h + 3k + l)/2]+\exp[-i\pi(3h + k + l)/2]\}. \quad (1)$$

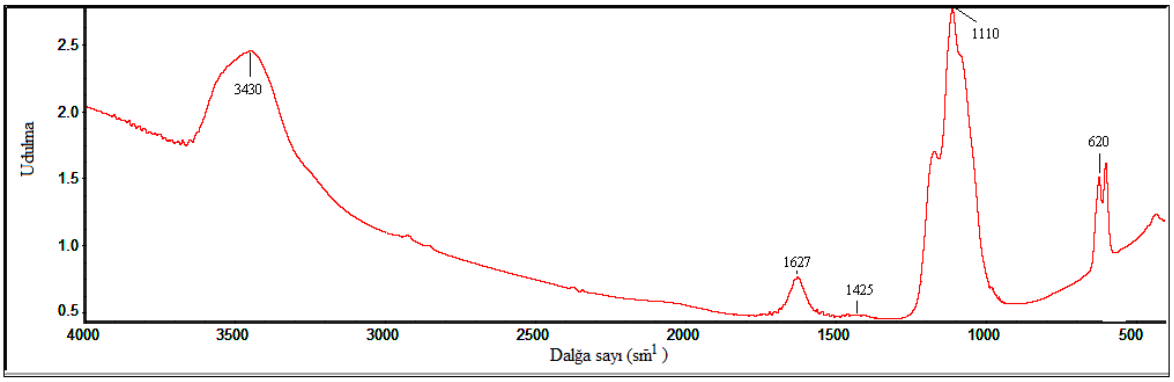
Tədqiq olunan PbS nazik təbəqələrinin kubik strukturunda (fəza qrupu *Fm3m*) oktaedrik və tetraedrik düyün nöqtələrinin radiusu uyğun olaraq $r_{oct} = a/2 - r_{Pb}^{2+}$ və $r_{tetred} = a\sqrt{3}/4$, qəfəs periodu *a* – 0,5940 nm, Pb^{2+} və S^{2-} ionlarının radiusu isə uyğun olaraq 0,121 və 0,184nm - ə bərabər olur [10-11]. Bunları nəzərə alsaq okta və tetraedrik düyün nöqtələrinin radiusu ~0,176 və ~0,136 nm kəmiyyətlərinə bərabər olar. 4(*b*) və 8(*c*) pozisiyalarının S atomları ilə tamamlanması o deməkdir ki, təxminən hər on iki oktaedrik düyün nöqtələri arası on S kükürd atomları ilə tamamlanmış, qalan ikisi isə boşdur. Kubik (fəza qrupu *Fm3m*) strukturlarda tetraedrik düyün nöqtələrinin sayı oktaedrik düyün nöqtələrinin sayindan iki dəfə çoxdur. Ona görə də 12 oktaedrik düyün nöqtələrinə 24 tetraedrik düyün nöqtələri düşür ki, bunlardan da yalnız ikisi S kükürd atomları ilə tamamlanmış, qalanları isə vakantdır. Bunlara uyğun olaraq şəkil 2-də B_1 tip PbS nazik təbəqələrinin kubik (fəza qrupu *Fm3m*) strukturu verilmişdir.

Şüşə altlıq üzərində alınmış PbS nazik təbəqəsinin optik xassələrini öyrənmək üçün "Nikolet İS-10" infraqırmızı spektrofotometrindən istifadə edilmişdir. Lakin infraqırmızı oblastda şüşə altlığın fonundan PbS nazik təbəqəsininin spektrini ayırd etmək mümkün olmadığından aldığımız PbS nazik təbəqəsini şüşə üzərindən mexaniki yolla ayırmaqla alınmış PbS narın tozunun (dolayısı ilə PbS nazik təbəqəsinin) optik xassələri öyrənilmişdir.



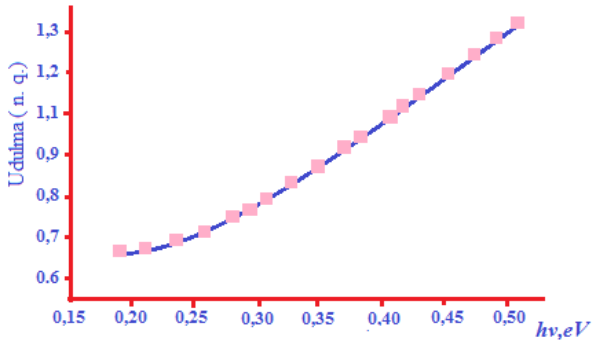
Şəkil 2. B_1 tip Pbs nazik təbəqələrinin kubik (fəza qurupu *Fm3m*) strukturu.

Şəkil 2-də PbS nazik təbəqəsinin infraqırmızı spektr oblastında mövcud olan funksional qrupların piklərinin fonunda optik udma spektri göstərilmişdir.



Şəkil 3. PbS nazik təbəqəsinin udma spektri.

Məlum olduğu kimi infraqırmızı spektr oblastında bir sıra funksional qruplar udma spektrində müəyyən piklərin ortaya çıxmasına səbəb olur. Şəkil 2-də böyük enerjilər oblastında aşkar şəkildə müşahidə olunan 3430sm^{-1}-ə uyğun pik PbS nazik təbəqəsi tərəfindən udulan suyun O-H qrupuna uyğundur və suyun səth tərəfindən udulması faktı həm də bu qrupun 1627 sm^{-1}-ə uyğun pikin olması ilə təsdiq olunmuşdur. 1425 sm^{-1}-də müşahidə edilən zəif pik prosesdə istifadə edilən metanolun CH_3 rəqsləri hesabına ortaya çıxır. Bu fikir həm də 3000 sm^{-1}-dən bir qədər kiçik qiymətlərdə metanolun CH_3 rəqslərinə aid pikin olması ilə təsdiq olunmuşdur. Metanol qrupunun C-O rəqsləri intensiv 1110 sm^{-1} pikini verir. C-H rəqsləri isə 620 sm^{-1} pikinin ortaya çıxmasına səbəb olur.

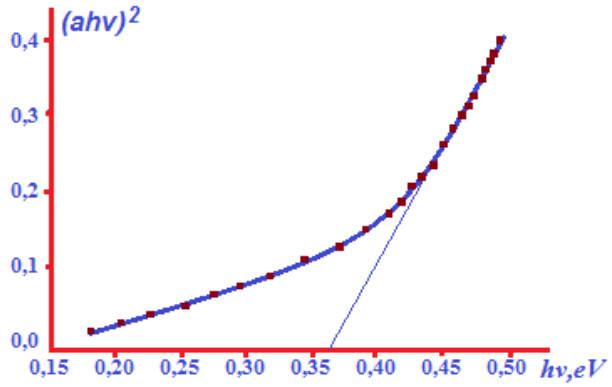


Şəkil 4. PbS nazik təbəqəsinin infraqırmızı spektr oblastında mövcud funksional qrupların fonundan ayırd edilmiş optik udma spektri.

Bu piklərin fonundan yalnız PbS birləşməsinə aid olan udulma ayırd edildikdən sonra PbS nazik təbəqəsi üçün $\alpha(\hbar\nu)$ asılılığı qurulmuşdur (şəkil 4). Bildiyimiz kimi yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının enini hesablamaq üçün Tauç düsturundan istifadə edilir [12]:

$$(\alpha\hbar\nu)^{\frac{1}{n}} = A(\hbar\nu - E_g)$$

Burada A-sabit ədəd, E_g- yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni, $\hbar\nu$ -fotonun enerjisidir. n-isə keçidin tipindən asılı olaraq dörd müxtəlif qiymət ala bilər. Belə ki, icazə verilmiş düz keçid üçün $n = 1/2$, icazə verilmiş çəp keçid üçün $n=2$, qadağan olunmuş düz keçid üçün $n = 3/2$, qadağan olunmuş çəp keçid üçün $n=3$ [13]. PbS düzzonalı yarımkeçirici olduğundan [14] bu birləşmə üçün $n=1/2$ münasibəti doğrudur. Birləşmənin qadağan olunmuş zonasının enini tapmaq üçün $(\alpha\hbar\nu)^2$ -nın $\hbar\nu$ -dən asılılıq əyriləri qurulmuşdur (şəkil 5).



Şəkil 5. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbS nazik təbəqəsi üçün $(\alpha\hbar\nu)^2 \sim f(\hbar\nu)$ asılılığı.

Bu asılılıqdan düz xətt oblastının absis $(\hbar\nu)$ oxu ilə kəsişməsinə əsasən kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbS nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının eni müəyyən edilmişdir: E_g=0,37eV. PbS nazik təbəqəsi üçün aldığımız bu qiymət ədəbiyyat göstəriciləri ilə üst-üstə düşür [14].

Beləliklə şüşə altlıq üzərində PbS nazik təbəqəsinin udma spektrinin tədqiqi prosesində iki xüsusi yanaşmadan istifadə edilmişdir. Birincisi, infraqırmızı spektr oblastında şüşə altlığın fonundan PbS nazik təbəqəsinin udma spektrini ayırd etmək mümkün olmadığından, nazik təbəqə materialının (PbS narın tozunun) udma spektri öyrənilmişdir. İkincisi isə PbS-ə aid udma spektrini infraqırmızı oblast üçün səciyyəvi olan bir çox funksional qrupların piklərinin fonundan ayırd etmək lazım gəlmişdir.

[1] *M.S. Ghamsari, M.K. Araghi and S.J.Farahani*. Mater. Sci. Eng. B, 133, 2006, 113.
[2] *H. Zhang, D. Yang and J. Niu*. J. Cryst.Growth, 246, 2002, 108.
[3] *A.M. Malyarevich et al.* J. Non-Cryst. Solids, 353, 2007, 1195.cvb
[4] *T.K. Chaudhuri*. Int. J. Ener. Res., 16, 1992,481.
[5] *S. Gunes et al.*. Solar Energy Mater. Solar Cells, 91, 2007, 420.
[6] *R.K. Das, S. Sahoo and G.S. Tripathi*. Semicond. Sci. Technol., 19, 2004, 433.
[7] *M. Gugliemi et al.*. J. Sol-Gel Sci. Technol., 11, 1997, 229.
[8] *H. Li et al.*. Proc. SPIE, 3899, 1999, 376.
[9] *S. B. Qadri, A. Singh, and M. Yousuf.* Thin Solid Films, 2003, 431- 432, 506.
[10] *A.A. Rempel.* Uspexi ximii, 2007, 76, 474. (Rusca).
[11] *H. Preier*. Semicond. Sci. Technol.1990, 5, S 122.
[12] *J.Tauc* (Ed.), Amorphous and Liquid Semiconductors, Plenum Press, New York, 1974, 159.
[13] *J.I. Pankove.* Optical Process in Semiconductors, New Jersey, 1971, USA 34.
[14] *J.J. Valenzuela-Jauregui, R. Ramrez-Bon, A. Mendoza-Galvan, and M. Sotelo-Lerma*. Thin Solid Films, 2003, 441.

O. R. Ahmadov, N. M. Abdullaev, M. H. Huseynaliev

CRYSTALLINITY STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF PbS THIN FILM OBTAINED BY CHEMICAL BATH DEPOSITION METHOD

The absorption spectrum of PbS thin film obtained by chemical bath deposition was investigated. Determined that the obtained thin films of PbS can be structured B1, B3, and a more complex cubic structure. In this structure, the sulfur atoms S stir not only in the positions 4 (b) (octahedral interstices sublattice lead atoms Pb), but also in positions 8 (c) , that is, in the tetrahedral interstices . The absorption spectrum relating to PbS was isolated from background peaks plurality of functional groups which are characteristic for the infrared region. The band gap of PbS thin film determined from the (Tauc formula) relationship $(\alpha\hbar\nu)^2 \sim f(\hbar\nu)$ was $E_g = 0{,}37eV$.

О. Р. Ахмедов, Н.М. Абдуллаев, М. Г. Гусейналиев

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОЙ ПЛЕНКИ PbS ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

Исследован спектр поглощения тонкой пленки PbS полученной методом химического осаждения. Проведенный рентгеноструктурный анализ подтверждает что полученный тонкий пленок соответствует PbS. Определено что, полученные тонкие пленки PbS могут иметь структуру B_1, B_3 и более сложную кубическую структуру. В этой структуре атомы серы S размешаются не только в позициях 4(b) (октаэдрических междоузлях подрешетки атомов свинца Pb), но и в позициях 8(c), то есть в тетраэдрических междоузлях. Спектр поглощения относящийся к PbS был выделен из фона пиков множества функциональных групп, которые характерны для инфракрасной области. Ширина запрещенной зоны тонкой пленки PbS определенная из соотношения Тауца – $(\alpha\hbar\nu)^2 \sim f(\hbar\nu)$ и составляла $E_g = 0{,}37eV$.

Qəbul olunma tarixi: 19.09.2013

ŞOTTKİ ÇƏPƏRLİ STRUKTURLARIN FOTOKEÇİRİCİLİYİNİN TƏDQİQİ

E.Ə. KƏRİMOV
Milli Aerokosmik Agentliyi Təbii Ehtiyatların Kosmik İnstitutu
AZ 1106, S.S. Axundov küç.1, korpus 2.

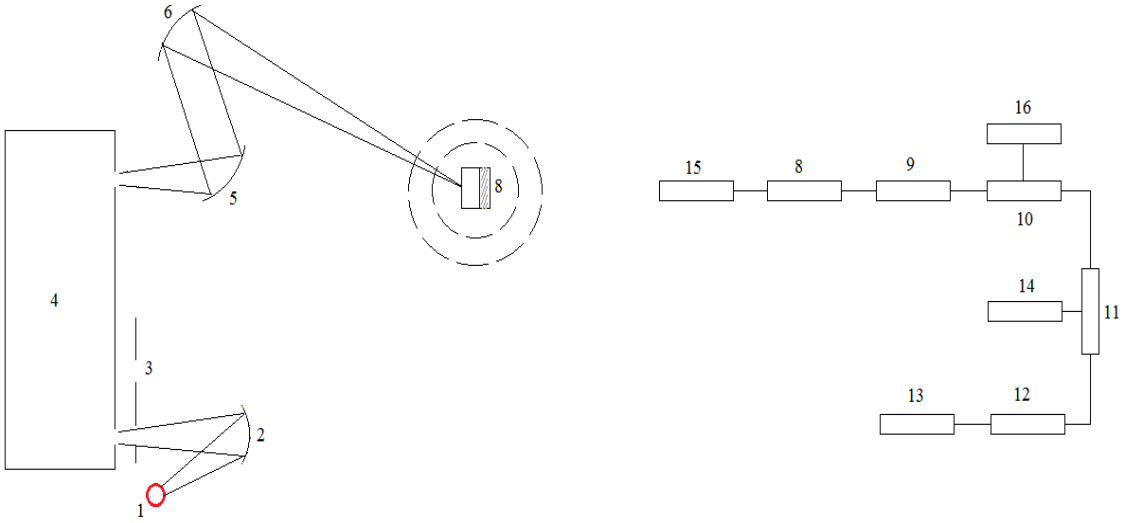
S.N. MUSAYEVA
Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ 1143, H. Cavid pr. 25

Müəyyən edilmişdir ki, etibarlı eksperimental nəticələr almaq üçün fotokeçiriciliyin tədqiqində istifadə olunan qurğu aşağıdakı tələbə cavab verməlidir: İKS-14A spektrofotometrində düşən şüalanma gücünün sabitliyini təmin etmək üçün dəliyin açılması nəzərdə tutulmuşdur.

UOT: 621.383.5
PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx, 78.20.-e
Açar sözlər: Şottki çəpəri, fotokeçiricilik, spektrofotometr, fotohəssaslıq.

Son zamanlar metal silisidi - silisium kontaktlı Şottki diodlardan ibarət çoxelementli matris fotoqəbuledicilər geniş yayılmışdır. Şottki diodu əsasında fotoqəbuledicilər digər qəbuledicilərdən ayri-ayri elementlərinin çox yüksək yekcins həssaslığa malik olması ilə fərqlənir. Digər tərəfdən işlənmiş silisium texnologiyasının köməyi ilə standart monokristallik silisiumda məntiq bloklarını, gücləndiriciləri, detektəedici elementləri və qidalandırıcı blokları da formalaşdırmaq olar. Bundan başqa yüksək həssas elementləri olan fotoqəbuledicilər eyni bir lövhədə yük əlaqəli cihaz (YƏC) qurğusu və metal-oksid-yarımkeçirici (MOY) strukturlarla birgə yaradıla bilər.

Şottki çəpərli strukturların fotokeçiriciliyini tədqiq etmək üçün qurğunun blok–sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir [1,2]. Monoxromator qismində birşüalı sxem üzrə qoşulmuş İKS – 14A spektrometri istifadə edilmişdir. İşıq mənbəyi kimi qlobar istifadə edilir. Həssaslığı artırmaq üçün ölçmələr dar zolaqlı gücləndirici və sinxron detektə sxemi istifadə edilməklə dəyişən siqnal ilə aparılmışdır. Nümunəyə (ŞÇFD) düşən işıq mexaniki işıqkəsici vasitəsilə ω=200÷800 Hs tezliklə modulyasiya olunur. Nümunə işıqlandırılan zaman yükdə yaranan dəyişən siqnal ω – tezliyinə köklənmış seleksiya gücləndiricisinə (V6-9; G2- 6 və ya G2-8) verilərək gücləndirilir və sonra sinxron detektora (SD) (V9-2) düşür. Eyni zamanda ω – tezliyinə köklənmış SD-yə ω - tezlikli dayaq siqnalı verilir. SD-nin çıxışında ölçülən siqnala mütənasib olan sabit siqnal alınır. SD-dən gələn siqnal özüyazan potensiometrdə yazılır. Özüyazan potensiometr kimi KSP-4 potensiometri götürülmüşdür. Qida mənbəyi kimi B5– 45, 47, 48 kimi mənbələr istifadə edilmişdir. Siqnalın vizual qiymətini nəzarətdə saxlamaq üçün S1 – 83 ossilloqrafı tətbiq edilir.



Şəkil 1. Şottki çəpərli strukturların fotokeçiriciliyini tədqiq etmək üçün qurğunun blok – sxemi. 1- İşıq mənbəyi (qlobar). 2,5,6 - Sferik güzgü. 3- İşıqkəsici mexanizm. 4- Monoxromator (İKS-14A). 7- Optik kriostat. 8 - Tədqiq olunan nümunə. 9 - Dəyişən yük. 10,12 - Selektiv gücləndirici (G2-6, G2-8). 11- Sinxron dedektor (B9-2). 13- Dayaq siqnalı mənbəyi. 14- Özüyazan potensiometr (KSP-4). 15 - Qida mənbəyi. 16 - Ossilloqraf.

Etibarlı eksperimental nəticələr almaq üçün fotokeçiriciliyin tədqiqi zamanı qurğu aşağıdakı şərtlərə cavab verməlidir: İKS–14A spektrofotometrində dəliyin açılması üçün düşən şüalanmanın sabitliyini təmin edən mexanizm nəzərdə tutulmuşdur. Spektral həssaslıq isə düşən şüalanmanın sabit gücündə nisbi vahidlərdə qeyd edilmişdir.

1) Fotokeçiriciliyin spektrində xüsusiyyətlərin enerji vəziyyətini düzgün təyin etmək üçün monoxromator dəqiq dərəcələnməlidir. Dərəcələnmə polistirolun, dixloretanın və ya 1-6 mkm oblastında dar udma (buraxma) xətlərinə malik digər maddələrin buraxma spektri üzrə aparılır. Şüalanma qəbuledicisi qismində Ge:Au, həmçinin, silisium fotoqəbulediciləri istifadə edilmişdir.

2) 1-5,5 mkm oblastında ölçmələri aşağı temperaturlarda (T=80÷180°K) aparmaq lazımdır, çünki daha yüksək temperaturlarda ŞÇFD işləmir. Tədiqiat üçün nümunələr azot optik kriostata yerləşdirilir ki, bu kriostat temperaturu 50°K-nə qədər azaltmağa imkan verir.

3) Qida mənbəyinin $R_{çıx.}$-müqaviməti elə seçilməlidir ki, $R_{çıx.} \leq R_y$ şərti ödənilsin. Burada R_y – yükün müqavimətidir.

4) Seleksiya gücləndiricisinin daxili müqaviməti $R_{güc.} > 10R_y$ şərtinə cavab verməlidir. Modullaşmamış şüalanma dəstəsi rejimində ölçmələr zamanı yükdə olan siqnalı ölçən voltmetr üçün də bu şərtlər ödənilməlidir.

5) Cərəyan ölçənin daxili müqaviməti $R_{dax.} \leq 0{,}02\ R_y$ şərtinə cavab verməlidir.

6) Darzolaqlı gücləndiricilər gücləndiricinin hər bir şkalası siqnalın qiymətinə görə dərəcələnməlidir.

Tədqiq olunan strukturların amper-vatt həssaslığını qiymətləndirmək olar. Qlobar tərəfindən cisim bucağına şüalanan, qlobarın soyutma çanağındakı dəliyin ölçüləri ilə təyin olunan güc aşağıdakı formul ilə hesablanır [3]:

$$F = \frac{2\pi dn \arcsin \frac{l}{D}}{360} R_{\lambda_1\lambda_2} \qquad (1)$$

$$R_{\lambda_1\lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_\lambda \lambda (d\lambda) \qquad (2)$$

burada, d – qlobarın diametri, l,n – çıxış dəliyin ölçüsü, D – soyutma çanağının diametri, $R_{\lambda 1\lambda 2}$ – şüa dəstəsinin λ_1 - λ_2 intervalında sıxlığı, η_λ – 1400 K temperaturda qlobarın şüalanmasının spektral sıxlığıdır.

Verilmiş dalğa uzunluğunda $R_{\lambda 1\lambda 2}$ – kəmiyyəti $\lambda = \lambda_1$ və $\lambda = \lambda_2$ xətləri ilə məhdudlaşmış $\eta_\lambda(\lambda)$ - əyrisinin altındakı oblastın sahəsi ilə qrafik inteqrallama metodu ilə təyin oilunur. λ_1 - λ_2 intervalı verilmiş dalğa uzunluğunda prizmabıb dispersiyasıdır. Dispersiyanın uyğun qiymətləri İKS - 14A cihazının pasportunda verilmişdir.

Güzgülərin sahəsinin işıq ləkəsi ilə tam örtülmədiyini, güzgülərin əksetmə əmsalını, kriostatın və silisiumun buraxma pəncərəsinin əmsalını nəzərə alsaq, hesablamalar üçün formul aşağıdakı kimi olar:

$$F = 1{,}20 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta_\lambda d\lambda \qquad (3)$$

Fotokeçiriciliyin ölçülməsini maksimal həssaslıq rejimində - yükün müqaviməti təxminən tədqiq olunan nümunənin müqavimətinə bərabər olduqda aparmaq lazımdır. Modullaşmış işıq seli ilə işıqlandırılan nümunədə yaranan dəyişən gərginlik:

$$U = \left(J - J_0\right) R_y \qquad (4)$$

Burada J_0 – kölgə cərəyanı, J – isə fotocərəyandır.

$$J = \frac{\varepsilon}{R_y + R_0 - \Delta R} \qquad (5)$$

$$J_0 = \frac{\varepsilon}{R_y + R_0} \qquad (6)$$

burada, R_0 - nümunənin kölgə müqaviməti, ΔR- işığın təsiri altında müqavimətin dəyişməsidir. U-gərginliyi gücləndirildikdən və detektə olunduqdan sonra özüyazan potensiometrdə yazılır.

$R(A/Vt)$ - həssaslığını təyin etmək üçün monoxromatordan çıxan işığın hər bir dalğa uzunluğunda U kəmiyyətini (və ya $J=U/R_y$ cərəyanı) düşən İQ – şüalanmanın gücünə bölmək lazımdır:

$$R = \frac{U}{P} \quad \left[\frac{V}{Vt}\right] \qquad (7)$$

$$R = \frac{J}{P} \quad \left[\frac{A}{Vt}\right] \qquad (8)$$

$R = f(\lambda)$ – asılılığından ŞÇFD-un Şottki çəpərinin hündürlüyünü təyin etmək olar ki, bu metod da Şottki çəpərinin hündürlüyünü ölçmək üçün ən düz və ən yaxşı metoddur. Fauler nəzəriyyəsində ŞÇFD-nin fotohəssaslığı aşağıdakı formul ilə təyin olunur:

$$R = \frac{(\mathrm{h}\nu - \psi_{ms})^2}{h\nu^2} \qquad (9)$$

$$\sqrt{R} \cdot h\nu = (h\nu - \Psi_{\mathrm{ms}}) \qquad (10)$$

$\sqrt{R} \cdot h\nu - f\left(h\nu\right)$ asılılığını enerji oxuna ekstrapolyasiya edərək çəpərin hündürlüyü təyin edilir. Bundan əlavə nümunələr işıqlandırıldıqda və şüalanma olmadıqda ŞÇ-li strukturların volt-amper xarakteristikaları ölçülmüşdür. Bu halda ölçmələr nöqtələr üzrə və ya C1–83 ossilloqrafı vasitəsi ilə aparılmışdır.

[1] *D.O. Filatov, I.A. Karpovich, T.V. Shilova*. Polarization dependence of the photocurrent in the Schottky barrier diodes based on the InGaAs/GaAs quantum well structures. Phys. LowDim. Struct. 2003, Issue 1/2 p.143

[2] *D.O. Filatov, İ.A.Karpoviç, T.V.Şilova, V.Ya.Demixovskiy, D.V.Xomitskiy.* izvestiya RAN, seriya fiziçeskaya, 2004, 68, 99. (Rusca).

[3] *A.V. Afanasyev, V.S. Lebedev, İ.Ya Orlov, A.Ye. Xrulev.* Приборы и техника эксперимента 2001. №2.C.155. (Rusca).

E.A.Kerimov, S.N.Musayeva

INVESTIGATION OF PHOTOCONDUCTIVITY OF STRUCTURES WITH SCHOTTKY BARRIER

For reception of reliable experimental data, installation on photoconductivity researches should satisfy to the following requirement: in the spectrophotometer IKS-14A mechanisms of disclosing of the crack, providing a constancy of capacity of submitting radiation are provided at spectrum sweep.

Э.А. Керимов, С.Н. Мусаева

ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОПРОВОДИМОСТИ СТРУКТУР С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

Для получения надежных экспериментальных данных, установка по исследованию фотопроводимости должна удовлетворить следующему требованию: в спектрофотометре ИКС-14А предусмотрены механизмы раскрытия щели, обеспечивающей постоянство мощности подающего излучения при развертке спектра.

Qəbul olunma tarixi: 27.09.2013

BURAXILIŞINDA DƏRC OLUNAN MƏQALƏLƏRİN QISA XÜLASƏSİ

L.İ. Vəliyeva, E.Z. Əliyev

ALLATOSTATİN MOLEKULLARININ ELEKTRON QURULUŞUNUN VƏ DİNAMİK XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏDQİQİ

İşdə MNDO və MM+ üsulları ilə allatostatin molekullarının elektron quruluşu və dinamik xüsusiyyətləri tədqiq edilmiş, fəza quruluşunun dayanıqlı elementləri tapılmış və dinamik dəyişikliklər prosesində peptid molekullarının əsas zəncirinin ikiüzlü bucaqlarının dəyişmə sərhədləri kəmiyyətcə qiymətləndirilmişdir.

N.Z. Cəlilov, Q.M. Dəmirov, M.A. Mahmudova

$YbBi_2Te_4$ VƏ $YbBi_4Se_7$ BİNAR BİRLƏŞMƏLƏRİNİN OPTİK PARAMETRLƏRİ

İşdə $YbBi_2Te_4$ və $YbBi_4Se_7$ nümunələrində işıq enerjisinin 1-6 eV intervalında səthə normal düşən işığın əksolunma əmsalı *R(E)* ölçülmüşdür. Ölçülən əksolunma əmsalının qiymətləri əsasında Kramers-Kroniq düsturunun köməyi ilə onların optik parametrləri: dielektrik yürüklüyü $(\varepsilon_1\varepsilon_2)$, elektrooptik differensiallar funksiyası (α, β), valent elektronların effektiv sayı $n_{ef}(E)$, həcmi $(-Im\varepsilon^{-1})$ və səthi $(-Im(1+\varepsilon)^{-1})$ elektronlar itkisi funsiyaları təyin edilmişdir.

S.H. Abdullayeva, N.N. Musayeva, R.B. Cabbarov, T. Matsuda

NEFT TULLANTISINI QAZLAŞDIRMAQLA KARBON NANOBORULARININ SINTEZI

Neft tullantısını (NT) karbon mənbəyi kimi istifadə etməklə karbon nanoboruları sintez olunmuşdur. NT-nin reaktorda müxtəlif pozisiyalarda yerləşdirilməsi və digər başqa faktorlar sintez olunan karbon nanoborularının miqdarının artmasına və kristallaşma, diametr, düzlük, və s. kimi xassələrinin dəyişməsinə gətirib çıxarır ki, bu da elektron mikroskopların (SEM və TEM) müşahidələri ilə təsdiq olunmuşdur. Si və SiO2 altlıqları üzərinə çökdürülmüş Fe katalist təbəqəsinin qalınlığı onun üzərində yetişdirilən karbon nanoborularının keyfiyyətinə, miqdarına, və bircinsliliyinə güclü təsirini göstərir. Yaş –çəkilmiş $FeCl_2$ nazik təbəqəsi katalist kimi çox yararlıdır, və KNB-ların kütləvi istehsalı üçün sərfəli ola bilər.

H.S. İbrahimova

ELEKTRİK SAHƏSİNDƏ ƏVVƏLCƏDƏN İŞLƏNMƏNİN POLİVİNİLİDENFTORİD ƏSASLI PYEZOKERAMİKALARIN MÖHKƏMLİK VƏ İSTİLİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

Təqdim olunan işdə polivinilidenftorid əsaslı romboedrik və tetraqonal quruluşa malik pyezokeramikalardan ibarət kompozitlərin elektrik sahəsində işlənmədən sonra elektrik möhkəmlikləri və istilik xassələri tədqiq olunmuşdur. Möhkəmlik və istilik xassələri arasında korrelyasiya təyin olunmuşdur.

ISSN 1028-8546

2013, volume XIX, №3
Section: Az

MÜNDƏRİCAT

1. Kvazibircins sahədə hərəkət və Beyker-Kampbell-Hausdorf tipli operator eyniliklər
İ.H. Cəfərov, Y.V. Abdullayeva 3
2. $TlIn_{1-x}Gd_xTe_2$ bərk məhlulların istilik və elastiklik xassələri
Y.Y. Hüseynov, C.C. Bayramov, Ü.M. Mustafayeva, S.C. Bayramova, Ə.B. Məhərrəmov 6
3. $TlInTe_2$ birləşməsi kristallarının kompleks impedans spektri
R.M. Sərdarlı, O.Ə. Səmədov, R.Ş. Ağayeva, A.P. Abdullayev,O.Z. Ələkbərov, A.İ. Nəcəfov 10
4. InGaN/GaN çoxqat kvant çuxurlu mavi LED çiplərin metal orqanik kimyəvi qaz faza epitaksiya üsulu ilə alınması və tədqiqi
G.K. Qəhrəmanova 15
5. Fərqli xarici amillərin təsiri ilə polipropilen+nanogil kompozitlərində parçalanma proseslərinin kinetikası
A.Ə. Hadıyeva 18
6. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alinmış PbS nazik təbəqələrinin kristallik quruluşu və optik xassələri
O.R. Əhmədov, M.H. Huseynəliyev, N. M. Abdullayev 23
7. Şottki çəpərli strukturlarin fotokeçiriciliyinin tədqiqi
E.Ə. Kərimov, S.N. Musayeva 27
8. **FİZİKA, 2013, vol. XIX №3, section: En** buraxılışında dərc olunan məqalələrin qısa xülasəsi 30

www.physics.gov.az