

ISSN 2521-6368

Volume 5
Number 1
2021

Journal of Baku Engineering University

P H Y S I C S

Journal is published twice a year
Number - 1. June, Number - 2. December

An International Journal

<http://journal.beu.edu.az>

Founder

Havar Mammadov

Editor-in-chief

Niftali Qocayev

Co-Editor

Razim Bayramov

Editorial advisory board

Azer Ahmedov (Baku State University, Azerbaijan)
Cahangir Huseynov (Azerbaijan, Azerbaijan Pedagogical University)
Eldar Qocayev (Azerbaijan, Technical University)
Eldar Masimov (Azerbaijan, Baku State University)
Enver Nakhmedov (Baku Engineering University)
Eyyub Guliyev (Azerbaijan, National Academy of Sciences)
Farhad Rustamov (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)

Gulnara Akhverdiyeva (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Izzet Efendiyeva (Azerbaijan, Baku State University)
Larisa Ismayilova (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Kerim Allahverdiyev (Azerbaijan, National Aviation Academy Of Azerbaijan)
Namiq Ahmedov (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Sajida Abdulvahabova (Azerbaijan, Baku State University)

International Advisory board

Ahmed Abdinov (Azerbaijan, Baku State University)
Anar Rustamov (Germany, Hote Frankfurt University)
Ali Javan (USA, Massachusetts Institute of Technology)
Adil R. Abduragimov (USA, University of California, Los Angeles)
Amrulla Mamedov (Turkey, BilkentUniversit)
Faig Mikailzade (Turkey, Gebze Technical University, Kocaeli)
Gulshen Agayeva (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Irada Aliyeva (Azerbaijan, Baku State University)
Garib Murshudov (York Akademy, UK, London)
Hamed Sari-Sarraf (USA, Texas Technik University)
Eden Mamut (Romania, Black Sea Universiteties Network Center)
Elsen Veli Veliyev (Turkey, Kocaeli University)
Edil Eyvazov (Azerbaijan, Azerbaijan Pedagogical University)
Kamran T. Mahmudov (University of Lisbon, Porugal)
Kev Salihov (Tataristan, Kazan University)
Khalil Kälantär (Displays and Optical Technologies, Japan, Tokio)
Konstantin Voldemarovich Shaitan (Russia, Moskov State University)
M.Iqbal Choudhary (University of Karachi, Pakistan)
Natiq M. Atakishiyev (Universidad National Antonoma de Mexico)
Nizami Gasanliy (Middle East Technical University, Turkey)
Oktai Gassumov (Azerbaijan National Academy of Sceince, Baku)

Oguz Gulseren (Bilkent University, Turkey)
Olgun Guven (Turkey, Hacettepe University)
Rasim Mamedov (Azerbaijan, Baku State University)
Rauf Jafarov (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Sebahattin Tuzemen (Turkey, Ataturk University)
Sevim Akyuz (Turkey, Istanbul University)
S.V. Chernyshenko (Germany, Koblenz University)
Suleyman I. Allahverdiyev (Russian, Akademy Science, Moscow)
Svetlana Demuhamedova (Azerbaijan, Institute of Physical Problems)
Takhmasib Aliyev (METU, Ankara, Turkey)
Taleh Yusifov (University of California, USA, Los Angeles)
Tariel Ismayilov (Azerbaijan, Baku State University)
Tarlan Efendiyev (Belarus, National Academy of Science)
Toshi Nagata (Japan, National Institute for Natural Science)
V. Thavasi (Singapore, National University of Singapore)
Vanin A.F. (Russia, National Academy of Science)
Vagif Nasirov (Azerbaijan, Azerbaijan Pedagogical University)
Vladimir Pashenko (Russia, Moskov State University)
Veli Gusseyinov (National Academy of Science, Baku, Azerbaijan)
Vladimir Gorbarchuk (Poland, Lyubel Polytechnic University)
Yusuf Sahin (Turkey, Ataturk University)

Executive Editors

Shafag Alizade

Assistant Editors

Ulker Agayeva

Lala Hajiyeva

Design

Ilham Aliyev

Contact address

Journal of Baku Engineering University
AZ0102, Khirdalan city, Hasan Aliyev str. 120, Absheron, Baku, Azerbaijan
Tel: 00 994 12 - 349 99 95 **Fax:** 00 994 12 349-99-90/91

e-mail: jr-physics@beu.edu.az

web: <http://journal.beu.edu.az>

facebook: [Journal Of Baku Engineering University](#)

Copyright © Baku Engineering University

ISSN 2521-6368

ISSN 2521-6368



Journal of Baku Engineering University

PHYSICS

Baku - AZERBAIJAN

Journal of Baku Engineering University

PHYSICS

2021. Volume 5, Number 1

CONTENTS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SURFACE STRUCTURES OF TRIBOELECTRIC MATERIALS ON THE TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR PERFORMANCE <i>Gulahmadov O.G.</i>	3
RELAXATION PROCESSES IN SUPERLATTICES IN STRONG MAGNETIC FIELDS DURING SCATTERING BY ROUGHNESS OF HETEROINTERFACES <i>Sophia R. Figarova, Mehdi M. Mahmudov</i>	10
EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON THE DIELECTRIC PARAMETERS OF Pd₂Si/n-Si SHOTTKY DIODE. ANALYSIS WITH THE USING OF ELECTRIC MODULE FORMALISM <i>İ.M. Afandiyeva, CH.G. Akhundov</i>	19
ВОДНО-ПОЛИМЕРНЫЕ ДВУХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ <i>Э.А. Масумов</i>	25
INFLUENCE OF THE SEASHELL ON THE MECHANICAL AND ELECTRICAL STRENGTH OF HIGH PRESSURE POLYETHYLENE <i>E.M. Gojayev, Sh.A. Zeynalov, K.J.Gulmammadov, R.S. Ragimov, N.F. Memmedzade</i>	39
RESEARCH OF THE RADIOTHERMOLUMINESCENCE SPECTRA OF COMPOSITES PP + x vol.% Na⁺ -MONTMORILLONIT <i>Gojaev Eldar Mekhraly, Mammadova Rasmiyya Latif, Akhmedova Arzu Musa</i>	45
ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА УДЕЛЬНОЕ ОБЪЕМНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ КОМПОЗИТОВ ПВДФ+ x об%TlInS₂ <i>A.H. Мирзоева</i>	51
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТРОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ TlInSe₂ И TlInTe₂ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ <i>Мамедова Г.Н.</i>	56
ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В КОМПОЗИТАХ ТИПА ПЭНП+ХОБ% ВI_{0.5}SB_{1.5}TE₃ <i>Д.М. Алескерова</i>	64

*UOT: 666.11.017**Pacs: 73.50.-h, 62.20. Qp, 61.41. +e, 68.37.-d, 68.35.Gy*

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SURFACE STRUCTURES OF TRIBOELECTRIC MATERIALS ON THE TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR PERFORMANCE

GULAHMADOV O.G.

Nanoscience Research Laboratory of the Center for Excellence in Research

Development and Innovation

Baku State University, Z.Khalilov str. 23, AZ-1148

Baku, Azerbaijan

ogulahmadov@bsu.edu.az

ABSTRACT

In modern times, with the development of science and technology, the creation of portable electronic devices and the development of convenient and safe energy sources for them is a very important issue. The application of triboelectric nanogenerators (TENG) as a source of energy in this area is also of great interest. It is important to study the effect of surface structures of dielectric materials used in triboelectric nanogenerators on its output parameters. The study examined how the dimensions of the wires on the surface of the nylon material affect the performance of the triboelectric nanogenerator. It was found that as the diameters of the wires on the surface of the nylon material decrease, the output parameters of TENG increase.

Keywords: triboelectric nanogenerator, polysiloxane, nylon, dielectric material, surface structure

TRIBOELEKTRİK MATERIALLARIN SƏTHİ STRUKTURLARININ TRIBOELEKTRİK NANOGENERATORUN PERFORMASINA TƏSİRİNİN ARAŞDIRILMASI

XÜLASƏ

Müasir dövrdə elm və texnologiyanın inkişafı ilə portativ elektronik cihazların yaradılması və onlar üçün rahat və təhlükəsiz enerji mənbələrinin inkişaf etdirilməsi çox aktual məsələdir. Belə enerji mənbəyi kimi triboelektrik nanogeneratorların (TENG) bu sahə də tətbiqi böyük maraq doğurur. Triboelektrik nanogeneratorlarda istifadə olunan dielektrik materialların səthi strukturlarının onun çıxış parametrlərinə təsirinin araşdırılması olduqca vacibdir. Tədqiq olunan işdə neylon materialının səthində olan tellərin ölçülərinin triboelektrik nanogeneratorun performansına necə təsir etdiyi araşdırılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, neylon materialı səthində olan tellərin diametrləri kiçildikcə TENG-in çıxış parametrləri artır.

Açar sözlər: triboelektrik nanogenerator, polisiloksan, neylon, dielektrik material, səthi struktur

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОГЕНЕРАТОРОВ

РЕЗЮМЕ

В современное время, с развитием науки и техники, создание портативных электронных устройств и разработка для них удобных и безопасных источников энергии является очень важным вопросом. Применение трибоэлектрических наногенераторов (ТЭН) в качестве источника энергии в этой области также представляет большой интерес. Важно изучить влияние структуры поверхности диэлектрических материалов, используемых в трибоэлектрических наногенераторах, на его выходные параметры. В исследовании изучалось, как размеры проводов на поверхности нейлонового материала влияют на производительность трибоэлектрического наногенератора. Установлено, что по мере уменьшения диаметров проводов на поверхности нейлонового материала выходные параметры ТЭН увеличиваются.

Ключевые слова: трибоэлектрический наногенератор, полисилоксан, нейлон, диэлектрический материал, структура поверхности.

1. Introduction

In modern times, the creation of new types of miniature portable electronic devices and sensors has become widespread. The fact that such systems can be used comfortably and safely also raises the issue of their power supply. Triboelectric nanogenerators (TENG) are of great interest as a power generation system. Such systems are an effective and safe system for collecting electricity from the environment (mechanical movements of people, water waves, wind, vibration, etc.) in everyday life. In addition to the power source, TENGs can also be used as self-powered sensors with a variety of applications (in health monitoring, electronic skin sensors, etc.) [1,2]. Triboelectric devices exhibit higher output performance than piezoelectric and pyroelectric devices. Thus, the electrical energy obtained during the contact and separation of triboelectric materials has the potential to cover the power supply of portable electronic devices and sensors [3,4]. TENGs have a wide range of applications in various portable electronic devices, with high output performance, simple and inexpensive manufacturing mechanism, sensitivity and flexibility compared to other technologies [1].

Triboelectric nanogenerators reflect two physical processes: contact electrification and electrostatic induction. During the contact of triboelectric materials due to mechanical impact, static charge carriers are formed on the surfaces of materials in accordance with the phenomenon of contact electrification. When a metal electrode is placed on the other side of such materials, positively and negatively charged charge carriers are formed on the surface of the electrodes in accordance with the electrostatic induction process, and current flows through the electrodes based on the resulting potential difference. The surface load density of the triboelectric materials used is a major factor influencing the performance of TENG. Thus, for a high-performance triboelectric nanogenerator, the efficiency of surface loads generated during contact-electrification and the efficient transmission of these loads during electrostatic induction are important. Given this, we can say that a high-power triboelectric nanogenerator can be obtained by selecting better triboelectric pairs during the design of the system and by designing the surface structures of the dielectric materials used. The formation of surface charge carriers occurs when materials interact with each other at the atomic level. The large number of such areas, ie contact areas at the atomic level, leads to an increase in the number of surface charges. An increase in surface load density can be achieved by using materials that are non-smooth compared to smooth structures, ie materials with a certain shape of micro or nanostructures [5-7].

Figure 1 shows a schematic representation of a triboelectric nanogenerator and its mathematical model. Given that a triboelectric nanogenerator is similar to a type of capacitor, its output performance (voltage, current, surface load density, capacitance, etc.) can be expressed as shown in Figure 1 (b). The potential difference across the electrodes when the triboelectric layers are in contact and separated is expressed by the formula V_{oc} (1), the voltage V_{oc} in the open circuit, the I_{sc} short circuit current, the amount of triboelectric loads Q_{sc} in the short circuit and the effective dielectric thickness d_0 (2). As shown in Figure 1a, the thickness of the dielectric layers is denoted by d_1 and d_2 , respectively, and the distance between them is denoted by $x(t)$. The expression (3) given in Figure 1b represents the surface load density σ and the capacity C , and the formula (4) represents the final capacity of the system. The surface area of triboelectric layers and their thickness are denoted by S and d , respectively. From these expressions, it can be concluded that in order to increase the output performance (voltage, current, output power, etc.) of a triboelectric nanogenerator, it is important to increase its surface load density and reduce

the thickness of dielectric materials, ie use relatively thinner layers. At the same time, the contact and separation of materials at smaller distances has a positive effect on the performance of TENG[1].

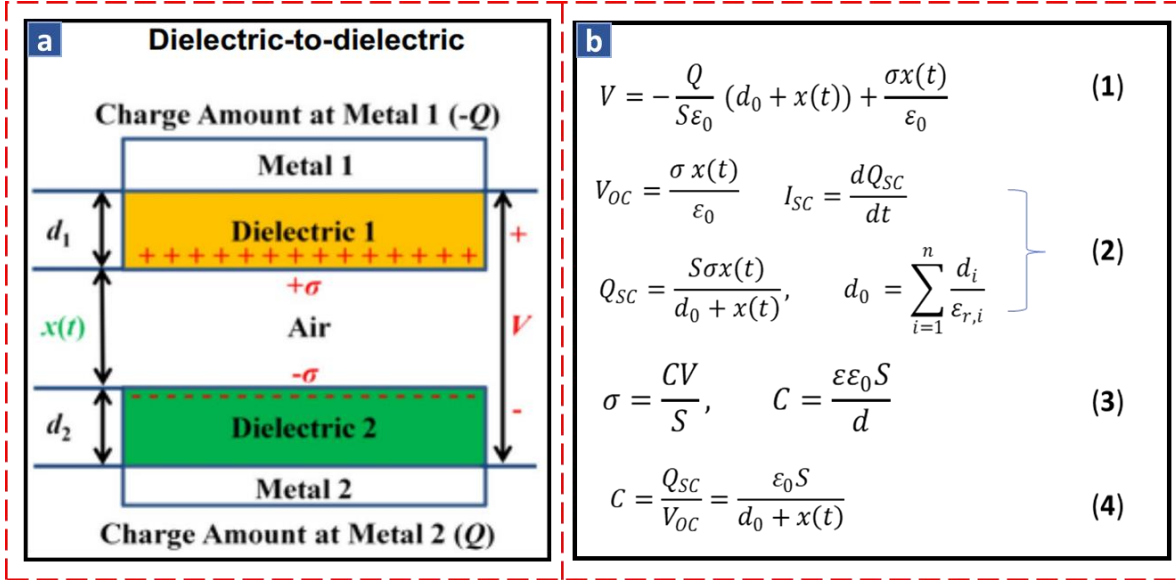


Figure 1. a)Schematic description of the dielectric-dielectric interaction in TENGb)Mathematical expressions of the parameters affecting the output performance of TENG

In the presented work, a triboelectric nanogenerator based on nylon and polysiloxane materials was developed. In order to determine how the surface structures of the materials affect the performance of the triboelectric nanogenerator, several TENG experiments were performed on nylon and polysiloxane of different sizes, and their results were plotted. Thus, based on the results obtained from the graphs, it was determined that as the size of the nylon wires with microstructure decreases, the voltage and current values of TENG increase.

2. Experience and materials

2.1 Fabrication of materials

Nylon films (nylon socks, nylon 90% and other polymer 10%) consisting of polysiloxane and wires of different diameters were used as triboelectric material in the study. For the preparation of polysiloxane samples 12.50 g of polysiloxane is mixed with 1.3 g of cross-linking agent (Organic tin catalyst) for 15 minutes. The well mixed polysiloxane is applied to the prepared aluminum foil by drop casting. The prepared sample is dried at room temperature for 24 hours. Both materials used are cheap and easy to obtain. Figure 2 shows microscopic images of nylon films. It is clear from the microscopic images that the nylon films have a structure in the form of interconnected wires, and their diameters are also shown in the figures. The diameter of such wires is given by (1) below [12].

$$\text{Diameter in microns} = 11.89 \times (\text{denier} / \text{density in grams per milliliter})^{1/2} \quad (1)$$

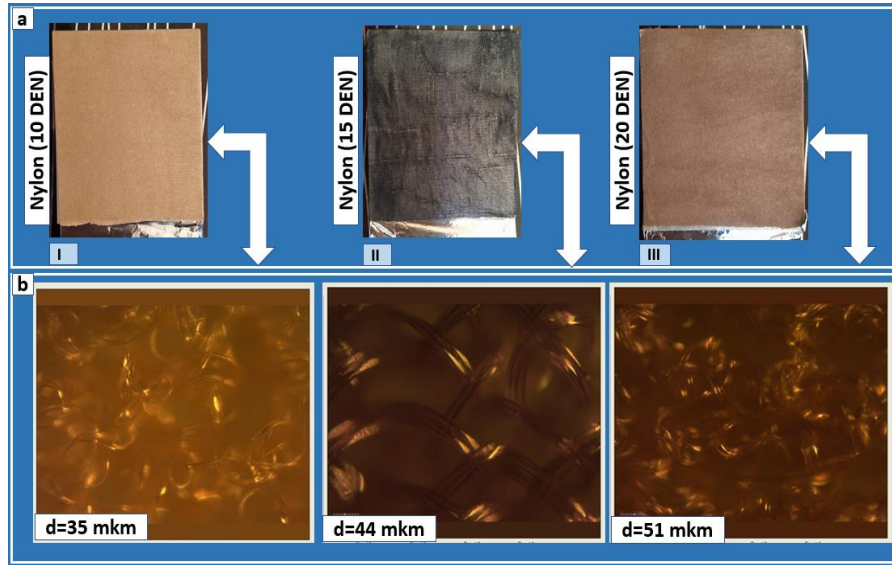


Figure 2. a) images of nylon films of wire of different diameters b) images of nylon films taken by optical microscope

2.2 Fabrication of triboelectric nanogenerator

Nylon and polysiloxane are used as dielectric materials, and aluminum foil as metal electrodes in the manufacture of triboelectric nanogenerators. Nylon and polysiloxane are considered good triboelectric pairs because of their distance from each other in the triboelectric series. Samples of both materials measuring 5.5x6 cm are cut and glued to the pre-prepared Al foil using double-sided glue. Figure 3 shows all these processes.

2.3 Characterization

Surfaces of nylon films were observed with an optical microscope (Metallographic - biological microscope CARL ZEISS AXIO LAB A1). Tests on a triboelectric nanogenerator based on polysiloxane and nylon materials were performed using a digital multimeter (DMM6500 6-1 / 2 digit multimeter, Keithley). Temperature and relative humidity during the analysis were 28 °C, 45%, respectively.

3. Results and discussion

Denier 10, 15 and 20 of nylon fabrics have been investigated as shown in Figure 2. We can determine the dimensions of nylon wires using the expression (1). Thus, $d = 51 \mu\text{m}$ for a 20 nylon layer, $d = 44 \mu\text{m}$ for a 15 nylon layer, and $d = 35 \mu\text{m}$ for a 10 nylon layer. Figure 4 shows the voltage and current graphs of TENG based on nylon films with wire diameters of 51 μm , 44 μm and 35 μm , respectively, and polysiloxane. The experiments were first performed for a case where the dimensions of the nylon wires were $d = 51 \mu\text{m}$. It is also clear from the graphs that in this case the maximum value of voltage was $V_{oc} = 63\text{V}$. Figure 4b shows the current graph of TENG based on nylon of the same diameter. From the graph, it can be said that the maximum value of the current was $I_{sc} = 6.3 \text{ m}\mu\text{A}$. The following graphs describe the current and voltage graphs of a triboelectric nanogenerator for cases where the sizes of nylon wires are reduced to $d = 44 \mu\text{m}$ and $d = 35 \mu\text{m}$. As shown in Figure 4a, for the case $d = 35 \mu\text{m}$, the maximum value of voltage was $V_{oc} = 85\text{V}$, and the maximum value of current was $I_{sc} = 8.5 \text{ m}\mu\text{A}$. It is clear from the graph that

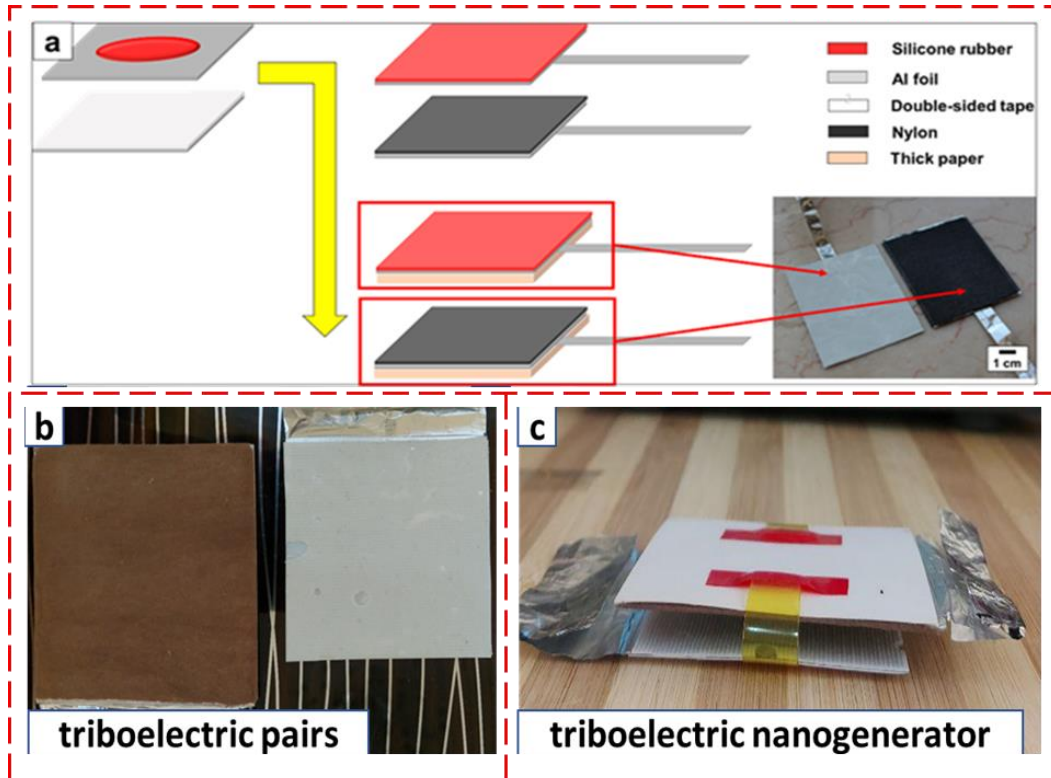


Figure 3. a) preparation of materials b) triboelectric pairs used c) triboelectric nanogenerator obtained

as the size decreases, the voltage and current value of the triboelectric nanogenerator increases. Thus, in the case of $d = 51 \mu\text{m}$, the voltage and current values are $V_{oc} = 63 \text{ V}$ and $I_{sc} = 6.3 \mu\text{A}$, respectively, while in the case of $d = 35 \mu\text{m}$, the voltage and current values of the triboelectric nanogenerator increase by decreasing the size of the nylon wires to its maximum $V_{oc} = 85 \text{ V}$. and $I_{sc} = 8.5 \text{ mA}$. From the graphs, it can be concluded that the reduction in the size of the wires made of nylon materials has a positive effect on the performance of the triboelectric nanogenerator. Thus, as the size decreases, its output parameters (voltage, current, output power, etc.) increase and receive their maximum values. This is explained by the fact that the reduction in the size of surface structures causes the materials to interact with each other at a more atomic level. Considering that the interaction of materials at the atomic level is more in non-smooth structures than in smooth structures [7]. At the same time, reducing the diameter of nylon wires leads to an increase in the number of wires per unit area. This, in turn, leads to more contact. Finally, an increase in the contact areas at the atomic level leads to an increase in the number of static charges accumulated on the surface.

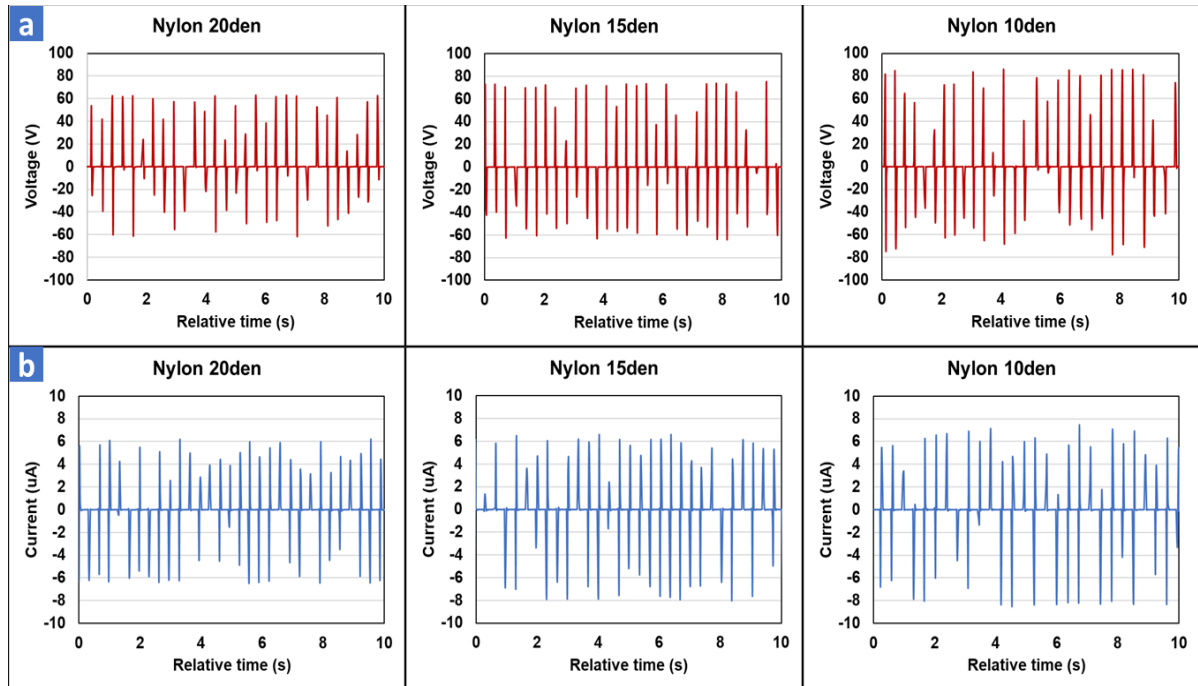


Figure 4. a) voltage-time graphs of the triboelectric nanogenerator based on nylon films of different sizes
b) current-time graphs of the triboelectric nanogenerator

4. Conclusion

In the presented work, a triboelectric nanogenerator based on polysiloxane sheets with nylon of different diameters was developed. In the study conducted to study the effect of the dimensions of surface structures, the maximum value of voltage and current of TENG with a diameter of nylon wires $d = 51 \mu\text{m}$ is $V_{oc} = 63 \text{ V}$ and $I_{sc} = 6.3 \mu\text{A}$, respectively. As the size decreased, this value increased and for $d = 35 \mu\text{m}$, the maximum voltage and current values of TENG were $V_{oc} = 85 \text{ V}$ and $I_{sc} = 8.5 \mu\text{A}$. From all these results, it is clear once again that the small size of the surface structures created on the materials has a positive effect on the performance of TENG.

REFERENCES

1. Kim, M.P., Um, D.S., Shin, Y.E. et al. High-Performance Triboelectric Devices via Dielectric Polarization: A Review. *Nanoscale Res Lett* 16. 2021, v.35
2. Daewon Kim., Il-WoongTcho., Yang-Kyu Choi. Triboelectric nanogenerator based on rolling motion of beads for harvesting wind energy as active wind speed sensor. *Nano Energy*. 2018, v. 52, p. 256-263.
3. Wang, Z. L. Towards Self-Powered Nanosystems: From Nanogenerators to Nanopiezotronics. *Adv. Funct. Mater.* 2008, v. 18, p. 3553–3567.
4. Wang Z. L., Zhu G., Yang Y., Wang S. H., Pan C. F. Progress in Nanogenerators for Portable Electronics. *Mater. Today*. 2012, v. 15, p. 532–543.
5. Riemer, R., Shapiro, A. Biomechanical energy harvesting from human motion: theory, state of the art, design guidelines, and future directions. *J NeuroEngineeringRehabil.* 2011, v. 8, p. 1-13.
6. Biutty, M.N., Yoo, S.I. Enhanced Performance of Triboelectric Nanogenerator by Controlled Pore Size in Polydimethylsiloxane Composites with Au Nanoparticles. *Macromol. Res.* 2021, v. 29, p. 98–104.

7. Jiseok Kim., OrkhanGulahmadov., Mustafa B. Muradov.Enhancement of performance of triboelectric generators by introduction of micro- and nano-structures on triboelectric films.Journal of Materials Science: Materials in Electronics. 2021, v. 32, p.24661–24680.
8. Z.L. Wang, A.C. Wang. On the origin of contact-electrification. Mater. Today. 2019, v. 30, p. 34–51.
9. Zou, H., Zhang, Y., Guo, L. et al. Quantifying the triboelectric series. Nature Communications. 2019, v. 10, p. 1-9.
10. H. Ghaednia, X. Wang, S. Saha, Y. Xu, A. Sharma, R.L.Jacksonş. A Review of Elastic–Plastic Contact Mechanics Appl. Mech. Rev. 2017, v. 69, 060804, p. 1-30.
11. J. Chun, J.W. Kim, W.S. Jung, C.Y. Kang, S.W. Kim, Z.L. Wang, J.M. Baik.Mesoporous pores impregnated with Au nanoparticles as effective dielectrics for enhancing triboelectric nanogenerator performance in harsh environments. Energy Environ. Sci. 2015, v. 8, p. 3006–3012.
12. <https://www.minifibers.com/documents/Choosing-the-Proper-Short-Cut-Fiber.pdf>

UDC:539.21PACS: 68.65. Cd, 73.50. Bk

RELAXATION PROCESSES IN SUPERLATTICES IN STRONG MAGNETIC FIELDS DURING SCATTERING BY ROUGHNESS OF HETEROINTERFACES

Sophia R. FIGAROVA, Mehdi M. MAHMUDOV

Baku State University

Z. Khalilov Street, 23, AZ1148, Baku, Azerbaijan

mehdimahmudov@bsu.edu.az

ABSTRACT

In this paper, the relaxation time is calculated for the scattering of conduction electrons on the surface roughness of a superlattice in a strong magnetic field. The probability of intrasubband and intersubband scattering is studied. Conditions are determined for the contribution of intrasubband and intersubband transitions to scattering, which depends on the degree of filling of the miniband and the period of the superlattice, as well as on the surface roughness. It is shown that in superstrong magnetic fields, the intrasubband relaxation time decreases in comparison with the intersubband one, i.e. intersubband scattering prevails.

Keywords: relaxation time, superlattice, intrasubband and intersubband scattering, density of states, roughness of heterointerfaces.

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СВЕРХРЕШЕТКАХ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ ПРИ РАССЕЯНИИ НА ШЕРОХОВАТОСТЯХ ГЕТЕРОГРАНИЦ

АННОТАЦИЯ

В работе вычисляется время релаксации при рассеянии электронов проводимости на шероховатостях поверхности сверхрешетке в сильном магнитном поле. Изучена вероятность внутриподзонного и межподзонного рассеяния. Определены условия вклада в рассеяние внутриподзонных и межподзонных переходов, которое зависит от степени заполнения минизоны и периода сверхрешетки, а также величины шероховатостей поверхностей. Показано, что в сверхсильных магнитных полях, внутриподзонное время релаксации уменьшается по сравнению с межподзонным, т.е. превалирует межподзонное рассеяние.

Ключевые слова: время релаксации, сверхрешетка, внутриподзонное и межподзонное рассеяние, плотность состояний, шероховатости гетерограниц.

GÜCLÜ MAQNİT SAHƏSİNDƏ İFRATQƏFƏSLƏRDƏ HETERO SƏRHƏD NAHAMARLIQLARINDAN SƏPİLMƏ ZAMANI RELAKSASIYA PROSESLƏRİ

XÜLASƏ

İşdə güclü maqnit sahəsində ifratqəfəslərdə yükdaşıyıcıların heterosərhəd nahamarlıqlarından səpilməsi zamanı relaksasiya müddəti hesablanmışdır. Alt zonalar daxili və altzonalarası səpilmə ehtimalı öyrənilmişdir. İfratqəfəsin minizonasının dolma dərəcəsi və periodundan, həmçinin səth nahamarlıqlarının qiymətindən asılı olan altzonalardaxili və altzonalarası keçidlərin səpilməyə hansı payın vermə şərti təyin edilmişdir. Göstərilmişdir ki, ifratgüclü maqnit sahəsində altzonalardaxili relaksasiya müddəti altzonalarası relaksasiya müddəti ilə müqayisədə azalır, yəni altzonalarası səpilmə üstünlük təşkil edir.

Açar sözlər: relaksasiya müddəti, ifratqəfəs, altzonalarası və altzonalardaxili səpilmə, hal sıxlığı, heterosərhəd nahamarlıqları.

1. Introduction

Particle scattering mechanisms are still the fundamental method for studying nanostructures. This is due to the fact that electron-electron, electron-phonon and electron-ion scattering, as

well as spin rotation, play a decisive role in transport phenomena. Among the most significant is the Landau quantization, as well as the Rashba spin-orbit splitting in low-dimensional electron systems. The broadening of the Landau levels leads to a limitation of the amplitude of the Shubnikov-de Haas oscillations and determines the small-angle scattering of electrons [1]. In this case, it is necessary to determine the role played by intrasubband and intersubband transitions.

At low temperatures, in structures with two-dimensional and quasi-two-dimensional electron gas, surface roughness and ionized impurities are effective electron scattering centers. However, it is necessary to take into account what contribution each of these mechanisms makes to the scattering, taking into account both intraband and intersubband scattering. A strong, quantizing magnetic field affects the process of relaxation of charge carriers in kinetic effects. The relaxation process in a strong, quantizing magnetic field is so closely related to the kinematics of the orbital motion of particles that the appearance of Larmor rotation significantly affects the relaxation rate. In a strong magnetic field, which is parallel to the electric field ($B // E$), and the strong field ($\Omega\tau \gg 1$, where Ω is the cyclotron frequency, τ is the relaxation time), condition is satisfied the circulation of an electron in stationary orbits $k_z = const$ on the Fermi surface is a faster process than diffusion. In a strong magnetic field, diffusion becomes one-dimensional across the Larmor orbits [2]. Therefore, when studying transport and optical phenomena in superlattices in a strong magnetic field, it is necessary to take into account the influence of the magnetic field on scattering.

It was shown in [3] that, at low temperatures, the mobility in heterostructures is largely determined by the concentration of charged centers at the boundary and the size of the roughness (average height and length). In the absence of a magnetic field, the relaxation time in low-dimensional electron systems was studied in [4-8], while in a strong magnetic field, which significantly affects the scattering of electrons, there are few such studies. A strong magnetic field quantizes the motion of current carriers and affects these two scattering mechanisms. Accounting for these scattering mechanisms and the influence of a magnetic field on them leads to such phenomena as negative longitudinal magnetoresistance and magnetotransport oscillations in low-dimensional orbit systems [9-16]. Therefore, it is necessary to take into account what contribution each of the scattering mechanisms (intrasubband and intersubband) contribute to the scattering. Of interest are the results of the theory and experiment obtained in the study of the magnetic field dependence of the transport coefficients of low-dimensional electron systems. In particular, it has been established that in a strong longitudinal and transverse magnetic field, a change of sign and oscillations of some transport coefficients, for example, magnetoresistance, magnetothermoelectric power, differential conductivity, are possible. Therefore, the precise determination of the scattering mechanism plays an important role in comparing experimental results with theory. In this paper, we determine the relaxation time for intrasubband and intersubband transition on surface roughness in superlattices in a strong magnetic field and study the influence of the magnetic field on this scattering.

2. Energy spectrum, electrons wave function in superlattice in a strong magnetic field, and a general expression for the relaxation time

In a strong magnetic field B , parallel to the superlattice axis z , Landau quantization takes place in the layer plane, and taking into account the electron spin leads to the Zeeman splitting of

the energy levels. In this case, the dispersion law of conduction electrons in the main (lower) miniband of the superlattice in the approximation of weakly interacting quantum wells in a magnetic field has the form:

$$\varepsilon(N, k_z, \sigma) = (2N + 1)\mu B + \varepsilon_0(1 - \cos(ak_z)) + g^* \sigma \mu_0 B, \quad (1)$$

where $N = 0, 1, 2, \dots$ is the oscillator quantum number, k_z is the wave vector component parallel to the superlattice axis, σ is the spin operator with eigenvalue $\pm 1/2$, $\mu = (m_0 / m_{\perp})\mu_0$, m_0, m_{\perp} are the mass of a free electron and its mass in the plane of the superlattice layer, respectively, $\mu_0 = e\hbar / 2m_0$ is the Bohr magneton, g^* is the spin splitting factor, $\frac{1}{m_{\parallel}} = \frac{\varepsilon_0 a^2}{\hbar^2} \cos(ak_z)$, m_{\parallel} is the longitudinal component of the effective mass, ε_0 is the width of the superlattice miniband, a is the period of the superlattice.

To estimate the width of the superlattice miniband, we will use the formula [5]:

$$\varepsilon_0 = \frac{8E_0}{\pi} \sqrt{\frac{m_L E_0}{m_w U_0}} \exp(sL), \quad (2)$$

here L, U_0 are the barrier width and height, m_L, m_w are the effective masses in the quantum well and in the barrier, $s = \sqrt{\frac{2m_L U_0}{\hbar^2}}$, E_0 is the energy of electron.

The density of states of the energy spectrum (1) has the form:

$$g_B(\varepsilon) = \frac{1}{2(\pi R_B)^2 a} \sum_{N, \sigma} (2\varepsilon_0 \varepsilon_z - \varepsilon_z^2)^{-1/2} = \frac{1}{2(\pi R_B)^2 a \varepsilon_0} \sum_{N, \sigma} \sin^{-1}(ak_z), \quad (3)$$

here $k_z = k_z(\varepsilon, N, \sigma)$, $\varepsilon_z = \varepsilon(N, k_z, \sigma) - (2N + 1)\mu B - g^* \sigma \mu_0 B$, $R_B = (\hbar / eB)^{1/2}$ is the magnetic length. The density of states has a singularity at $\varepsilon_z = 2\varepsilon_0$; if $\varepsilon_z > 2\varepsilon_0$, the density of states does not depend on the energy, and at a large value of g^* the factor depends linearly on the magnetic field.

When the conditions $\frac{\hbar}{\tau_{\parallel}} < \varepsilon_0 < k_0 T$ and $k_0 T \leq \mu B$, are fulfilled, we can introduce the relaxation time [2], here τ_{\parallel} is the effective scattering time, corresponding to the motion of an electron along the axis of the superlattice. These conditions imply weak scattering and a large mean free path along the superlattice axis, which is necessary for the formation of a miniband. The energy spectrum of superlattices is anisotropic, so it should be expected that the relaxation time will also be anisotropic. For anisotropic scattering, the general expression for the components of the inverse relaxation time tensor $\hat{\tau}^{-1}$, is calculated by the formula [17]:

$$\frac{1}{\tau_i} = \sum_{k'} \left| 1 - \frac{k'_i}{k_i} \right| W_{kk'}, \quad (4)$$

where $W_{kk'}$ is the probability of the transition of the conduction electron from \mathbf{k} - state to \mathbf{k}' - state, k_i are the components of the wave vector.

It can be seen from formula (4) that when calculating the expressions for the components of the inverse relaxation time tensor and determining their dependences on the wave vector components \mathbf{k} , it is necessary to use the explicit form of the transition probability $W(\mathbf{k}, \mathbf{k}')$.

The scattering probability is calculated quantum mechanically using the well-known formula:

$$W_{kk'} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle \mathbf{k}' | \hat{H} | \mathbf{k} \rangle|^2 \delta(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_k), \quad (5)$$

here \hat{H} is the transition operator equal to:

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} \left(\hat{p} + \frac{e}{c} \vec{A} \right)^2 - \frac{\mu}{s} \hat{s} \vec{B} + U(x, y, z), \quad (6)$$

where \hat{s} is the spin operator, \hat{p} is the momentum operator, \vec{A} is the vector potential, the calibration of which is chosen as $A_x = -By, A_y = A_z = 0$.

The real application of these formulae depends on which transition is being studied. In most cases, we can restrict ourselves to the lowest order of the perturbation theory (Born approximation) and then \hat{H} coincide with the perturbation operator \hat{U} responsible for the transition. To calculate the matrix element, it is necessary to know the wave functions of the conduction electron corresponding to the energy spectrum (1).

When calculating the matrix element of the perturbed Hamiltonian (5), the wave function has the form:

$$\Psi(\vec{r}) = \varphi(x - x_0) \phi(z) e^{ik_y y} \chi, \quad (7)$$

where

$$\varphi(x - x_0) = \frac{1}{\sqrt{R}} H_N \left(\frac{x - x_0}{R} \right) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_0}{R} \right)^2 \right], \quad (8)$$

here H_N is the Hermite polynomial N - order, $x_0 = -\frac{\hbar k_y}{\Omega m_n}$, due to quantization in a magnetic field. $\phi(z)$ is the wave function of an electron in a superlattice with the axis in the direction z equal to

$$\phi(z) = \sqrt{\frac{a}{V}} \sum e^{ik_z an} \xi(z - an), \quad (9)$$

here

$$\xi(z) = \begin{cases} \sin(\pi z/a), & 0 \leq z < a \\ 0, & b \leq z < 0 \end{cases}, \quad (10)$$

nis the number of layers, $a+b$ is the period of the superlattice,

$$\chi = s_z \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha, & 0 < \alpha < \pi/2 \\ e^{i\beta} \sin \alpha, & 0 < \beta < 2\pi \end{pmatrix}, \quad (11)$$

is the wave function associated with spin splitting in a magnetic field.

Taking into account formula (5) in (4), for the general expression of the inverse relaxation time we have:

$$\frac{1}{\tau_z} = \frac{2\pi}{\hbar} \sum_{k'} \langle k' | U | k \rangle^2 (1 - \cos \mathcal{G}) \delta(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_k), \quad (12)$$

where \mathcal{G} the angle between the vectors k' and k , U is the scattering potential, $\langle k' | U | k \rangle$ is the transition matrix element.

The specific dependence of the current density $j_z(B)$, electrical conductivity $\sigma_z(B)$, and other transport coefficients in a magnetic field is determined not only by the electron velocity v_z , but also by the dependence of the relaxation time on the magnetic field $\tau_z(B)$, which itself can have a singular character. The specificity of superlattice concludes in the fact that, due to the law of energy conservation, a particle with a wave vector k_z can be elastically scattered only into the state $-k_z$, and the dispersion law of electron $\varepsilon(k_z)$ in superlattice is non-quadratic.

Substituting formulas (6-9) into (12) and passing from summation to integration, for the inverse relaxation time we obtain:

$$\frac{1}{\tau_z(k_z)} = \frac{2\pi}{\hbar} g(\varepsilon_F) R_B^2 \int_0^{2k_F} q_{\perp} dq_{\perp} \left(\frac{1}{2} R_B^2 q_{\perp}^2 \right)^{N-N'} \exp(-R_B^2 q_{\perp}^2) |U_{q_{\perp}, -2k_z}|^2, \quad (13)$$

here $k_z = \frac{1}{a} \arccos\left(1 - \frac{\varepsilon_F}{\varepsilon_0}\right)$, U is the Fourier component of the scattering potential, the factor $\left(\frac{1}{2} R_B^2 q_{\perp}^2\right)^{N-N'}$ is responsible for intersubband transitions.

At scattering electron on surface roughness for the scattering potential, we have:

$$|U(q_{\perp})|^2 = \frac{\pi^5 \hbar^4 \Delta^2 \Lambda^2}{(m^*)^2 a^6} \exp\left(-\frac{q_{\perp}^2 \Lambda^2}{4}\right), \quad (14)$$

where Δ is the average height of roughnesses, Λ - characteristic length of roughnesses.

Under the condition of strong quantization in a magnetic field, when calculating the matrix element on the wave functions (8), which found from the solution of the Schrödinger equation, an additional factor proportional to $\left(\frac{1}{2} R_B^2 q_{\perp}^2\right) \exp\left(-\frac{1}{2} R_B^2 q_{\perp}^2\right)$ appears in the expression for the relaxation time.

3. Relaxation time for scattering electron by heterointerface roughness

Scattering from surface roughnesses in low-dimensional electron systems is significant, and low-temperature mobility is largely determined by the sizes of heterointerface roughnesses (average height Δ and characteristic length Λ). Spatial fluctuations of the heterointerface with characteristic dimensions Δ and Λ contribute to carrier scattering. The surface topology is

assumed to be Gaussian fluctuations with a certain period. The relaxation time is calculated in the Born approximation. In the absence of a magnetic field, the relaxation time is determined in [5].

Substituting the expression for the scattering potential on surface roughness (14) into the relaxation time formula (13) and integrating, we obtain the relaxation time when current carriers scatter on roughness in a strong magnetic field:

at intersubband transitions

$$\frac{1}{\tau_{\text{inter}}} = A_2 Z \left(\frac{a^2}{R_B^2} \right) g(\varepsilon_F) \varphi(\xi), \quad (15)$$

at intrasubband transitions

$$\frac{1}{\tau_{\text{intra}}} = A_2 Z^{-1} \left(\frac{a}{R_B} \right)^2 g(\varepsilon_F) \varphi(\xi), \quad (16)$$

where $\varphi(\xi) = \frac{2}{\xi} \int_0^\xi \sqrt{\frac{y\xi}{\xi^2 - y^2}} \exp(-y) dy$, here $\xi = k_z^2 \Lambda^2$, $A_2 = \frac{2\hbar\pi^6 (\Delta\Lambda)^2 \varepsilon_0}{ma^3}$.

Using the asymptotics of the integral $\varphi(\xi)$, we have:

at intrasubband transitions

$$\frac{1}{\tau_{\text{intra}}} = \frac{1}{\tau_0} Z^{-1} \left(\frac{a^2}{R_B^2} \right)^3 \frac{2}{k_z^2 \Lambda^2}. \quad (17)$$

This formula in the first Brillouin zone will have the form:

$$\frac{1}{\tau_{\text{intra}}} = \frac{2}{\tau_0} Z^{-3} \left(\frac{a^2}{R_B^2} \right)^3 \frac{a^2}{\Lambda^2}. \quad (18)$$

At intersubband transitions

$$\frac{1}{\tau_{\text{inter}}} = \frac{1}{\tau_0} Z \left(\frac{a^2}{R_B^2} \right)^2 \frac{1}{k_z^2 \Lambda^2}. \quad (19)$$

This formula in the first Brillouin zone will have the form:

$$\frac{1}{\tau_{\text{inter}}} = \frac{1}{\tau_0} Z^{-1} \left(\frac{a^2}{R_B^2} \right)^2 \frac{a^2}{\Lambda^2}, \quad (20)$$

where $\frac{1}{\tau_0} = \frac{\hbar\pi^4 (\Delta\Lambda)^2}{ma^6}$.

As follows from the formulas, the relaxation time decreases with increasing magnetic field both $\tau \propto B^{-3}$ - for the intrasubband and $\tau \propto B^{-1}$ - for the intersubband.

The ratio of intrasubband to intersubband relaxation time upon scattering by surface roughness is:

$$\frac{\tau_{\text{intra}}}{\tau_{\text{inter}}} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_B}{a} \right)^2 Z^2. \quad (21)$$

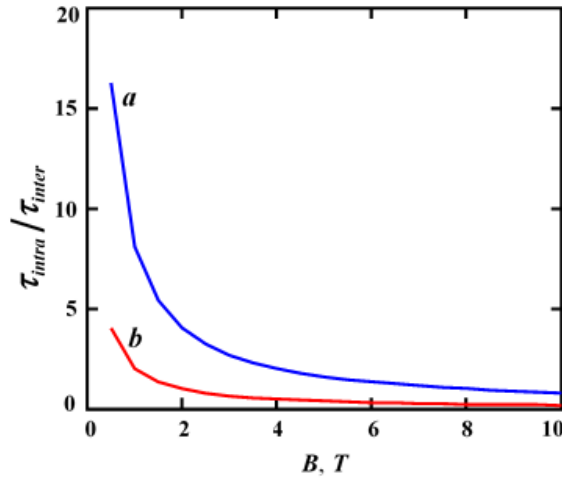


Fig.1. Dependence of the ratio of the relaxation time during intrasubband transitions to the relaxation time during intersubband transitions on the magnetic field:

$$a - Z = \pi, b - Z = \pi/2.$$

This formula in the first Brillouin zone will have the form:

$$\frac{\tau_{\text{intra}}}{\tau_{\text{inter}}} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_B}{a} \right)^2 Z^2 \frac{\Delta^2}{a^2}. \quad (22)$$

It can be seen from this relation that as the magnetic field increases, the ratio $\tau_{\text{intra}}/\tau_{\text{inter}}$ decreases as B^{-1} . In extremely strong magnetic fields ($B > 2\pi\hbar na/e$), for a degenerate electron gas $Z = ak_z = 2n\pi^2 R_B^2$, therefore, the intrasubband relaxation time decreases compared to the intersubband one, as B^{-3} , i.e. intersubband scattering prevails.

The contribution of one or another scattering mechanism will depend on the degree of miniband filling and the superlattice period also of the surface roughness value. To determine these dependencies a numerical calculation was made and graphs were plotted using the computer algebra system - Mathcad.

It is found that depending on the degree of miniband filling the contribution to the scattering of intrasubband and intersubband transitions changes. So from Fig.1 it follows that in magnetic fields $B < 3T$ at the ratio $\frac{\tau_{\text{intra}}}{\tau_{\text{inter}}} > 1$, i.e. intersubband scattering prevails, and with an

increase in the magnetic field at $B > 3T$, the ratio $\frac{\tau_{\text{intra}}}{\tau_{\text{inter}}}$ can be either greater or less than unity,

therefore, by changing the degree of minibandfilling one can change the contribution of the intrasubband or intersubband mechanism to relaxation processes. It can be seen from Fig.2 that at small surface roughness, intrasubband scattering prevails over intersubband scattering in the entire range of magnetic fields, while at great roughness values at low magnetic fields, intersubband scattering prevails, and with increasing magnetic field, intrasubband and intersubband scattering become of the same order.

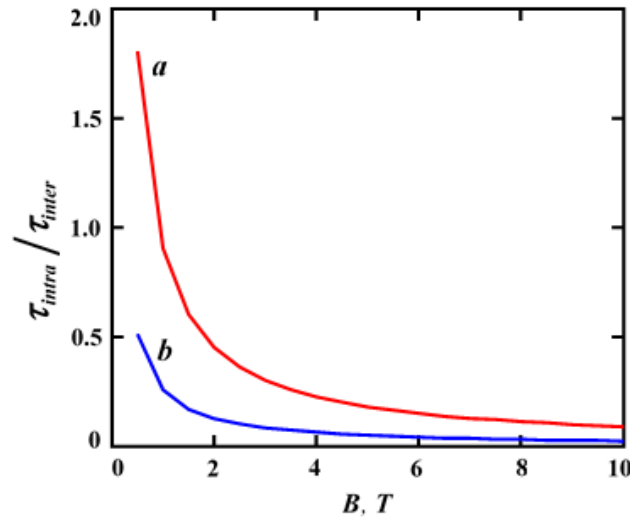


Fig.2. Dependence of the ratio of the relaxation time during intrasubband transitions to the relaxation time during intersubband transitions on the magnetic field:

a - at great surface roughness values, *b* - at small surface roughness values.

4. Conclusion

In this paper, we study the influence of intrasubband and intersubband transitions on the relaxation time of superlattices with a cosine dispersion law upon scattering of current carriers by heterointerface roughness in strong magnetic fields. It is shown that the reciprocal relaxation time is proportional to the density of states, which essentially depends on the magnetic field, and in extremely strong magnetic fields, the intrasubband relaxation time decreases compared to the intersubband relaxation time, i.e. intersubband scattering prevails. It has been found that in fields up to 3 T, in the case of scattering by surface roughness, the main contribution is made by intersubband transitions. In extremely strong magnetic fields, the opposite effect takes place: intersubband transitions prevail. The presence of intersubband transitions should lead to oscillations of the longitudinal conductivity with different periods of the same order or smear the oscillations.

REFERENCES

- [1] Афанасова М.М., Степанов В.А., Коржавчиков М.А. Исследование электрон-фононного взаимодействия в структурах *InAs/AlSb* в режиме квантующих магнитных полей. Наносистемы: физика, химия, математика, т.3(6), с.36-46, 2012
- [2] Gantmakher V.F., Levinson Y.B. Carrier scattering in metals and semiconductors. NorthHolland, NewYork, 2012, 459 p.
- [3] Быстров С.Д., Крещук А.М., Новиков С.В., Полянская Т.А., Савельев И.Г. Квантовое и классическое времена релаксации и свойства гетерограницы в селективно легированных гетероструктурах *InP/In_{0.53}Ga_{0.47}As*. Физика и техника полупроводников, т.27, в.4, с.645-653, 1993
- [4] Davies J.H. The physics of low-dimensional semiconductors. Cambridge University press, 1998, 438 p.
- [5] Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. Москва: Логос, 2006, 496 с.
- [6] Breitzkreiz M., Brydon P.M.R., Timm C. Transport anomalies due to anisotropic interband scattering. Physical Review B, 88(8), p.085103, 2013
- [7] Cheng-ang, Huang, Jeremy J.M. Law, Hong Lu, Debdeep Jena, Mark J.W. Rodwell, Arthur C. Gossard Two dimensional electron transport in modulation-doped *InGaAs/AlAsSb* ultrathin quantum well. Applied Physics, v.115, p.123711, 2014

- [8] Orr J.M.S., Gilbertson A.M., Fearn M., Croad O.W., Storey C.J., Buckle L., Emeny M.T., Buckle P.D., Ashley T. Electronic transport in modulation-doped *InSb* quantum well heterostructures. *Physical Review B*, 77, p.165334, 2008
- [9] Bryksin V.V., Kleinert P. Transport in semiconductor superlattices in quantizing parallel electric and magnetic fields. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, v. 269, Iss. 2, p. 163-176, 1999
- [10] Studenikin S.A., Rechkunov S.N., Toropov A.I. Koenraad P. Quantum magnetotransport oscillations of 2DEG in a short-period *InAs* lateral superlattice on a vicinal (001) surface in a *GaAs/AlGaAs* heterostructure. *Semiconductor Science and Technology*, v.17, p.1-7, 2001
- [11] Комник Ю.В., Андриевский В.В., Беркутов И.Б. Проявление спин-орбитального взаимодействия в пленках висмута в параллельном магнитном поле. *Физика низких температур*, т.33, в.1, с.105-114, 2007
- [12] Перов А.А., Пенягин И.В. Квантовые состояния носителей заряда и продольная проводимость двоякопериодических полупроводниковых решеточных структур *n*-типа в электрическом поле. *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, 148(1), 127-132. 110-114, 2015
- [13] Askerov B.M., Figarova S.R., Mahmudov M.M., Longitudinal magnetoresistance of layered crystals in quantizing magnetic field taking into account the spin splitting. *Physica E. Low-dimensional systems*, v.33, p.303-307, 2006
- [14] Kumar R.K., Chen X., Auton G.H., Mishchenko A., Bandurin D.A., Morozov S.V., Cao Y., Khestanova E., Ben Shalom M., Kretinin A.V., Novoselov K.S., Eaves L., Grigorieva I.V., Ponomarenko L.A., Fal'ko V.I., Geim A.K. High-temperature quantum oscillations caused by recurring Bloch states in graphene superlattices. *Science*, 357 (6347), p.181-184, 2017
- [15] Pal G., Apel W., Schweitzer L. Landau Level splitting due to grapheme superlattices. *Physical Review B*, 85, p.235457, 2012
- [16] Figarova S.R. Negative longitudinal magnetoresistance of layered crystals taking into account the spin splitting *Physica Status Solidi (b)*, v.243 (6), p.R.41-R44, 2006
- [17] Askerov B.M., Figarova S.R. *Thermodynamics, Gibbs Method and Statistical Physics of Electron Gases*. Berlin: Springer Verlag, 2010, 374 p.

UOT 537.9PACS 25.40-Ep

EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON THE DIELECTRIC PARAMETERS OF Pd₂Si/n-Si SHOTTKY DIODE. ANALYSIS WITH THE USING OF ELECTRIC MODULE FORMALISM

İ.M. AFANDIYEVA, CH.G. AKHUNDOV

Baku State University, Azerbaijan, AZ 1148

afandiyeva@mail.ru

ABSTRACT

The dielectric parameters of the Pd₂Si/n-Si Schottky diode were studied at room temperature and under illumination with the light with different intensities ($W=5\div 20\text{mWt cm}^2$). Based on the measurement of the dependences of the capacitance and conductivity on voltage, the dependences of the dielectric parameters ($\epsilon', \epsilon'', \tan \delta$) and series resistance on the illumination intensity of small diodes ($8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$), obtained by using such technological methods as thermal spraying and photolithography, were calculated. The dielectric parameters were analyzed by the using the method of the electrical module formalism. The dependences of the real (M') and imaginary parts (M'') of the complex electrical module on voltage and intensity on lighting have been analyzed.

Key words: Schottky diodes, Pd₂Si/n-Si, dielectric parameters, electrical module formalism, influence of the illumination, series resistance

İŞIĞ INTENSİVLİYİNİN Pd₂Si/n-Si ŞOTTKI DİODUNUN DİELEKTRİK PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİ. ELEKTRİK MODUL FORMALİZMİN TƏTBİQİ İLƏ ANALİZ

XÜLASƏ

Pd₂Si/n-Si Şottki diodunun dielektrik parametrləri ağ işığın müxtəlif intensivliklərində ($W=5\div 20 \text{ mWt/sm}^2$) otaq temperaturunda tədqiq edilmişdir. Termik buxarlanma və fotolitografiya texnoloji metodlarını tətbiq etməklə alınan kiçik ölçülü ($8 \times 10^{-6} \text{ sm}^2$) diodların tutum və keçiriciliyinin müxtəlif intensivlikli işığın təsiri altında gərginlikdən asılılığının ölçmələri əsasında dielektrik parametrlər ($\epsilon', \epsilon'', \tan \delta$) və ardıcıl müqavimət (R_s) hesablanmışdır. Dielektrik parametrlərin analizində elektrik modulunun formalizmi metodu tətbiq edilmişdir. Kompleks modulun real (M') və xəyali (M'') hissələrinin gərginlik və intensivlikdən asılılıqları analiz edilmişdir.

Açar sözlər: Şottki diodları, Pd₂Si/n-Si, dielektrik parametrlər, elektrik modulun formalizmi, işığın təsiri, ardıcıl müqavimət

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДИОДА ШОТТКИ Pd₂Si/n-Si. АНАЛИЗ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОРМАЛИЗМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

РЕЗЮМЕ

Диэлектрические параметры диода Шоттки Pd₂Si/n-Si были исследованы при комнатной температуре и при освещении белым светом с различной интенсивностью ($W=5\div 20\text{мВт/см}^2$). На основе измерения емкости и проводимости вычислены зависимости от интенсивности освещения диэлектрических параметров ($\epsilon', \epsilon'', \tan \delta$) и последовательного сопротивления диодов малого размера ($8 \times 10^{-6} \text{ см}^2$), полученных с применением таких технологически методов как термическое напыление и фотолитография. При анализе диэлектрических параметров был применен метод формализма электрического модуля. Проанализированы зависимости реальной (M') и мнимой частей (M'') комплексного электрического модуля от напряжения и интенсивности освещения.

Ключевые слова: диоды Шоттки, Pd₂Si/n-Si, диэлектрические параметры, формализм электрического модуля, влияние освещения, последовательное сопротивление

1. Introduction

The miniaturization of semiconductor devices requires the development of new technologies for the creation and application of micro- and nanostructures. In this regard, the creation, research and application of low-cost, multifunctional devices by the using of easy technological methods are relevant.

Silicide/silicon-based Schottky diodes are widely used in electronics and optoelectronics due to a number of advantages of metal silicides (thermal stability, low resistance) [1-3]. On the other hand, as a result of the formation of silicide film on the semiconductor the interface shifted deep into the semiconductor and thus the contact is protected from the environment. The characteristics and reliability of the contacts structures with the using silicides depend on the choice of metal silicide, the crystalline structure of the materials and the quality of the contact surface.

The properties of metal silicide/silicon ($ZrSi_2$, $RhSi$, $PtSi$, $PdSi$) contacts were first studied by Pellegrini [4]. The metallic and electrical properties of the thin layer of Pd_2Si in contact with n-Si were first studied by Kircher [5]. Shepela [6], Wittmer et al. [7] investigated the resistance of the Pd_2Si layer on the Si wafer. In the real case, it is possible that as a result of the technological process, uncontrollable characteristics appear and the properties of the diode change. On the other hand, the small geometric dimensions of the contact structure and external influences can result in fluctuations in parameters. It is known that the value of incompatibility coefficient of the crystal lattices parameters at the contact $Pd_2Si/n-Si$ (0.02) is smaller than the values of the coefficient characterizing other silicide-silicon contacts.

The study of the dielectric properties of semiconductors in relation to the absorption of visible light is defined as photoelectric phenomena. In this regard, the study of the dielectric parameters of Schottky diodes based on silicide/silicon can provide information on a number of properties required for the design of new electronic devices.

Based on the above, in the presented article, the effect of light intensity on the dielectric parameters of small ($8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$) $Pd_2Si/n-Si$ Schottky diodes was studied by the method of electrical modulus formalism.

2. Experimental procedures

Contact structure was fabricated on the silicon (111) wafer with a thickness of 3.5 microns and a special resistance of 0.7 Ohm cm. The surface of the semiconductor n-Si (111) plate was covered with an oxide layer and a light-sensitive photoresist after 10 minutes of two-step chemical cleaning [8]. Then a 0.34-0.36 μm thick SiO_2 layer was created on the wafer. Windows were opened to accommodate the diode and their quality was checked by the moisture deposition method. Using planar technology and standard photolithography methods, a matrix of 14 diodes was created as a result of a single technological process. Prior to precipitation of the silicon layer the n-S (111) plate was annealed in a 6×10^{-5} Torr vacuum at 573 K in the system chamber for 5 min. Palladium was precipitated on silicon by thermal dusting. The choice of method is due to the fact that the semiconductor surface is better protected than by using other methods.

To obtain a homogeneous silicide layer, the plates were annealed outside the system chamber in a special ampoule at 783K for 30 minutes in N_2 and H_2 gases. To clean the residual palladium, the matrix with $Pd_2Si/n-Si$ diodes was washed in tsar vodka. As an ohmic contact was chosen aluminum (Al), which is commonly used to create ohmic contacts. A thin layer of

Ti10W90 amorphous alloy was placed between Pd2Si and Al as a diffusion barrier to exclude the negative effects of Al, which has a high diffusion capacity [8,9].

In order to study the dielectric properties of the Pd2Si/n-Si Schottky diode, the C – V and G / ω -V characteristics of the diode were tested at room temperature (300K) with the help of HP 4192A LF impedance analyzer. Small sinusoidal test signal of 20 mVp–p (500 kHz) from the external pulse generator is applied to the sample in order to meet the requirement. Measurements were performed in the dark and under the influence of white light with an intensity of 5, 10, 15, 20 mW / cm².

3. Results and discussion

In a previously published article [10] was investigated capacitance and conductance (C-V and G/w-V) characteristics of Pd2Si/n-Si (111) Schottky diode at voltage from 0 V to 5 V with small ac signal 500 kHz (20 mVp-p) at room temperature in the dark and at different intensities of illumination (5, 10, 15, 20 mW/cm²). With the purpose of investigation of the influence of the illumination (intensities (5 ÷ 20) mW/cm²) on dielectric parameters of diodes the dependence of the real and imaginary parts of the complex dielectric constant on voltage were studied.

In the presented paper on the basis of above results the dependence of real (ϵ'), imaginary (ϵ'') parts of the dielectric constant and of dielectric losses constant $\tan \delta$ (c) of the Pd2Si/n-Si Schottky diode on the light intensity at different voltages diode was studied (Fig. 1a, b and c). It was found that in the dark ϵ' and ϵ'' are practically independent of voltage, whereas when the Pd2Si/n-Si diode is illuminated, the parameters increase depending on the voltage and intensity, and reach a maximum value at 15mW/cm². This dependence of the real and imaginary parts of the dielectric constant is similar to the changes that occur when the frequency of the test signal decreases. The increase in ϵ' and ϵ'' (15mW/cm²) is associated with the accumulation of charges between the dielectric and the electrode (electrode polarization or spatial charge region polarization) [11].

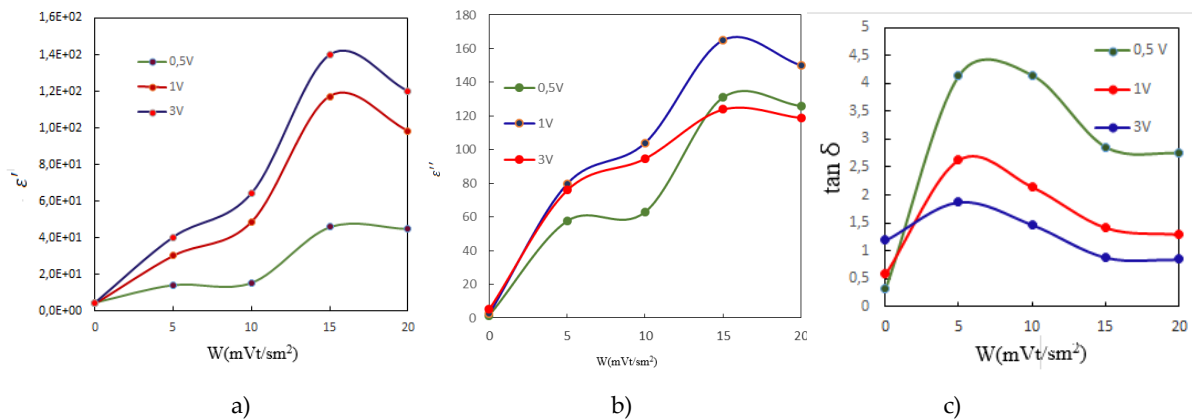


Fig.1 The dependence of real ϵ' (a), imaginary ϵ'' (b) parts and losses of dielectric constant $\tan \delta$ (c) on light intensity at different voltages.

Complex impedance (Z^*) and complex electrical modulus formalism (M^*) have been used by various authors for the analysis of dielectric materials for a more accurate study of conduction mechanisms. Complex electrical module described by the expression.

$$M^* = i\omega C_0 Z^* \quad (1)$$

Here C_0 is the capacitance of the empty capacitor, ω is the cyclic frequency, and i is the imaginary unit.

Formalism is usually used to distinguish between surface and volume events. A number of authors prefer the method of electrical modulus formalism in the analysis of dielectric properties of devices [12]. Complex impedance or complex dielectric constant electrical modulus formalism ($\epsilon^* = 1/M^*$) is given as follows:

$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} = M' + jM'' = \frac{\epsilon'}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} + j \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (2)$$

The main advantage of the method of formalism of the electrical module is that the polarization of the electrode is minimized. This method is widely used to determine the duration of relaxation. In the presented article, on the basis of the real (ϵ') and imaginary (ϵ'') parts of the dielectric constant of the Pd2Si/n-Si Schottky diode the depending of the real (M') and imaginary (M'') parts of the module on the voltage and light intensity was calculated (Fig.2).

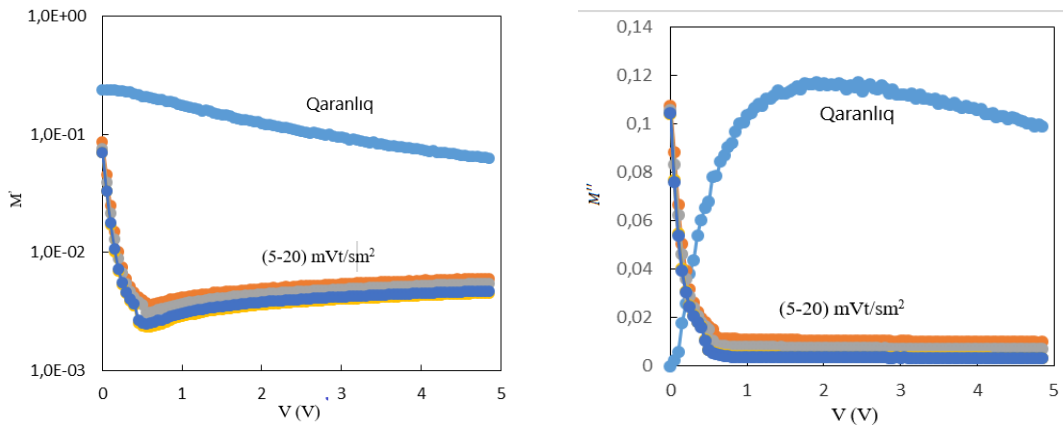


Fig. 2. The dependence of real (M') and imaginary (M'') parts of electrical modulus on voltage.

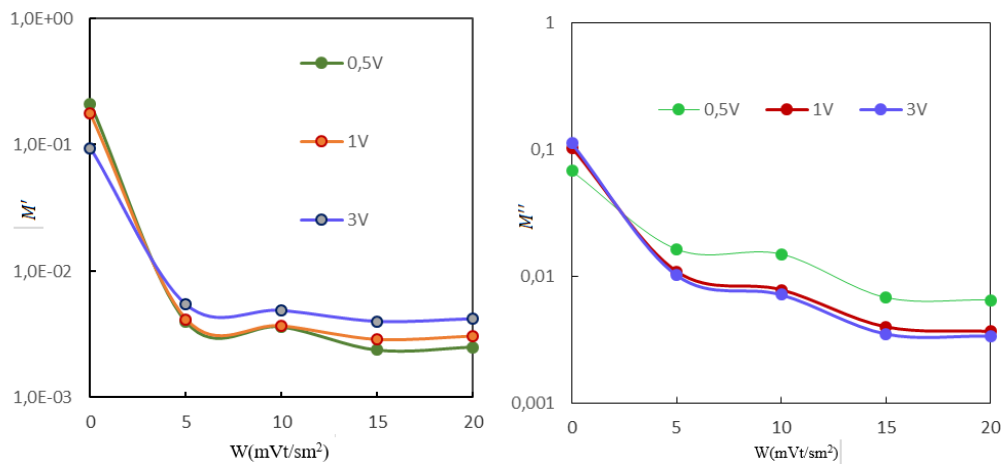


Fig. 3. The dependence of real (M') and imaginary (M'') parts of electric module formalism on light intensity at different voltages

The study [10] shows that at any illumination intensity ϵ' , ϵ'' and $\tan \delta$ increase sharply at 1V and 0,5 V respectively. While in the dark parameter ϵ' and ϵ'' are practically independent of voltage. The increase in $\tan \delta$ depending on the voltage in the dark is due to the energy losses present at that frequency. In the presented article, it was found that depending on the light intensity of these parameters, ϵ' , ϵ'' and $\tan \delta$ have maximum values at intensities of 15 and 5

mWt/cm², respectively (Fig. 1 a, b, c). Thus, as the light intensity increases, the dielectric constant and dielectric losses increase.

The increase of the imaginary (M'') part of the electrical modulus formalism in the darkness indicates that the polarization is related to volume processes. At the same time, a gradual decrease of M'' at different intensities of light, the absence of peak values indicates the uneven distribution of the load in the space charge region and the possibility of polarization around the electrode (Fig. 3). In recent years, a number of methods have been proposed to determine the series resistance (R_s) of metal-semiconductor contacts, metal-dielectric-semiconductor (MDY) and metal-oxide-semiconductor (MOY) structures [13]. In the method proposed by Nikolian and Brews for the calculation of the real series resistance of metal-semiconductor and metal-dielectric-semiconductor structures at high frequencies, R_s is described by the following expression

$$R_s = \frac{G_{ma}}{G_{ma}^2 + \omega C_{ma}^2} \quad (3)$$

In the presented article, the series resistance of the Pd₂Si/n-Si Shottki diode was calculated according to the formula (3) based on the characteristics of C-V and G/ω-V in the dark and at different intensities of white light.

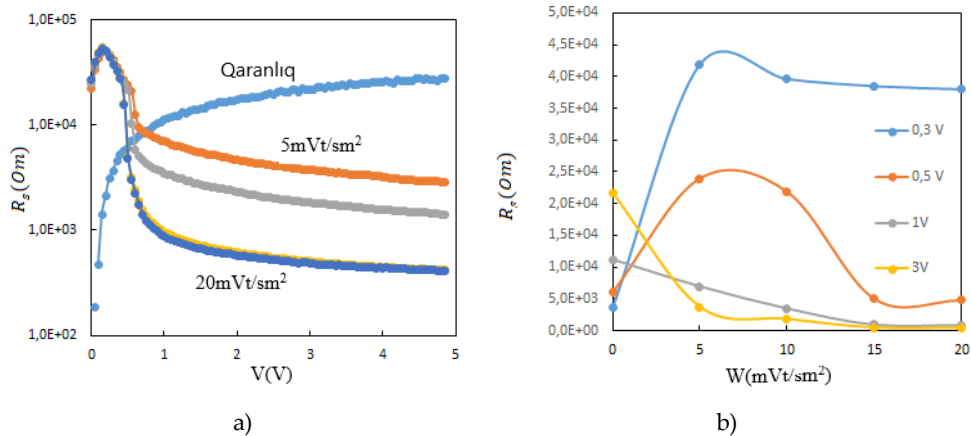


Fig.4. The dependence of Pd₂Si/n-Si Schottky diode resistance (R_s) on voltage (a) and light intensity (b)

The difference between the R_s -V dependence in the dark and under the influence of light is clear from Figure 4 (a). At illumination, the R_s -V dependence is similar to the characteristic obtained at different frequencies in scattered light [14]. At low voltages (0.3 ÷ 0.5V), the value of R_s obtained in the dark is close to the value observed when applying a high-frequency test signal. As the intensity increases in the range of 5 ÷ 20mW/cm², the resistance decreases. When the voltage value reaches (> 0.7V) in the dark, the resistance increases and reaches the series resistance value, due to the rectification of the barrier and the transfer of electrons directly from the bulk of the semiconductor. Due to the increase in light intensity, the resistance decreases at voltages above 0.7V due to the emergence of new photo carriers in volume.

The obtained results can be applied to the development of new devices using photocurrent in Schottky diodes in alternating electric fields.

4. Conclusions

In the presented article with the using of impedance method (20mV, 500kHz) and white light of different intensity (5 ÷ 20mWt/cm²) the influence of illumination on dielektrik

parameters (ϵ' , ϵ'' and $\tan \delta$) and series resistance (R_s) have been investigated. Electrical modulus formalism has been applied to more accurately analyze dielectric parameters. It was found that the increase in intensity is similar to the process of reducing the frequency of the test signal. The dependence of all parameters on light intensity reveals that the electrodes play a blocking role as a result of the formation of photocells.

REFERENCES

- [1] Стриха В.И. Теоретические основы контакта металл-полупроводник. Киев: Наукова думка, 1974, 264 с.
- [2] Бузанева Е.В. Микроструктуры интегральной электроники. М.: Радио и связь, 1990, 305 с.
- [3] Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984, часть 1, с.130-450.
- [4] Pellegrini B.//Current-voltage characteristics of silicon metallic-silicide interfaces //Solid State Electron.1975, v.18, pp.417-429.
- [5] Kircher C.J. Metallurgical properties and electrical characteristics of palladium silicide-silicon contact//Sol.St. Electr., 1971, v.14, pp.507-513.
- [6] Shepela A/ Solid-State Electron. 1973, 16 477.
- [7] Wittmer M, Smith D.L, Lew P.W and Nicolet M.A, Solid-State Electron. 1978, 21 573
- [8] I.M. Afandiyeva, SH.G. Askerov, L.K. Abdullayeva, SH.S. Aslanov, Solid-State Electronics, 2007, 51, 1096.
- [9] Kwak Joon Seop, Kang, Ki Man, Park Min Joo, Pyo. Myounggho, Science of Advanced Materials, 2014, 6,10, 2249.
- [10] İ.M.Əfəndiyeva, M.N.Ağayev, A.R.Rəsulova/ Pd₂Si/n- Si Şottki diodlarının dielektrik parametrlərinə işığın təsiri/SDU /"Təbiiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri" II Int. Sci konf, 12-13 nov. 2020, səh.104-109
- [11] Sidebottom D. L., Roling B., Funke K. Phys. Rev. B. 2000. 63. 024301.
- [12] Migahed M.D., Ishra M., Fahmy T., Barakat A., J. Phys. Chem. Solids, 2004, 65,1121/
- [13] Nicollian E.H, Brews I.R. MOS Physics and Technology. New York : John Wiley and Sons, 1982, p.352.
- [14] I.M. Afandiyeva, I. Dokme, S. Altındal et al. The frequency and voltage dependent electrical characteristics of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si structure using I-V,C-V and G/ω-V measurements Microelectronic Engineering 2008, 85, 365-370.

UOT 532PASC: 77.22.Ej,64.75Bc,31.70.Dk,61.70Og

ВОДНО-ПОЛИМЕРНЫЕ ДВУХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Э.А. МАСИМОВ

Бакинский Государственный Университет

masimovspektr@rambler.ru

В работе излагается очень важная проблема о роли и термодинамическое состояние воды и живых системах и разработанный для изучения этой проблемы метод основанный на неравномерном распределении вещества водно двухфазных системах. Изучены различные двухфазные системы на основе полиэтиленгликоль-соль-вода которые широко используются для разделения и очистки биологических материалов (фрагменты крови, клетки и др.) для отдельного исследования их свойств. Приведены значения разделительных способностей исследуемых двухфазной систем (n^*).

ключевые слова: вода, гидрофобность, разделительная способность

WATER- POLYMER TWO-PHASE SYSTEMS AND PROSPECTS FOR THEIR APPLICATION

The paper presents a very important problem about the role and thermodynamic state of water and living systems and developed to study this problem, a method based on the uneven distribution of matter in water-two-phase systems. Various two-phase systems based on polyethylene glycol-salt-water were studied, which are widely used for the separation and purification of biological materials (blood fragments, cells, etc.) for a separate study of their properties. The values of separation abilities of the studied two-phase systems (n^*) are given.

keywords: water, hydrophobicity, separating power

SU-POLIMER İKİFAZALI SİSTEMLƏR VƏ ONLARIN TƏTBİQ PERSPEKTİVLƏRİ

Təqdim olunan işdə su və canlı sistemlərin rolu və termodinamik vəziyyəti ilə bağlı çox mühüm problem ortaya qoyulur və bu problemi öyrənmək üçün, su iki fazalı sistemlərdə maddənin qeyri-bərabər paylanmasına əsaslanan bir metod işlənib hazırlanmışdır. Bioloji materialların (qan fraqmentləri, hüceyrələr və s.) xassələrinin ayrıca tədqiqi, ayrılması və təmizlənməsi üçün geniş istifadə olunan polietilenqlikol-duz-su əsaslı müxtəlif ikifazalı sistemlər tədqiq edilmişdir. Tədqiq olunan ikifazalı sistemlərin ayırma qabiliyyətinin qiymətləri (n^*) verilmişdir.

Açar sözlər: su, hidrofobluq, ayırdetmə qabiliyyəti

Широко известно, что к числу основных проблем общего медико-биологического значения относится вопрос о состоянии и роли воды в живых системах. Исследование состояния и роли воды в биологических системах с применением различных физических и физико-химических методов, таких как ЯМР, ЭПР, ультразвуковая спектроскопия, сканирующая калориметрия и т.д. позволили выявить ряд особенностей в структуре и состоянии воды в этих системах, свидетельствующие о том, что количество ее в разных био-объектах существенно различаются (от одного процента почти до 100%) и что свойство воды очень тесно связано с протекающими физиологическими процессами. Свойства воды определяют формирования биологически активных конформаций природных соединений, влияют на иммунохимические процессы, на взаимодействие природных соединений с рецепторами, лигандами, биологическими мембранами, на протекании различных ферментативных реакций, на транспорт химических веществ в организме посредством диффузии и осмоса. Вода обеспечивает постоянство температуры организма, сохранности клеток и органов от внешних различных воздействия.

В настоящее время очевидно, что проблема роли воды в живых системах охватывает широкий круг теоретических и практических вопросов молекулярной биофизики, молекулярной биохимии, фармакологии, медицины и биотехнологии.

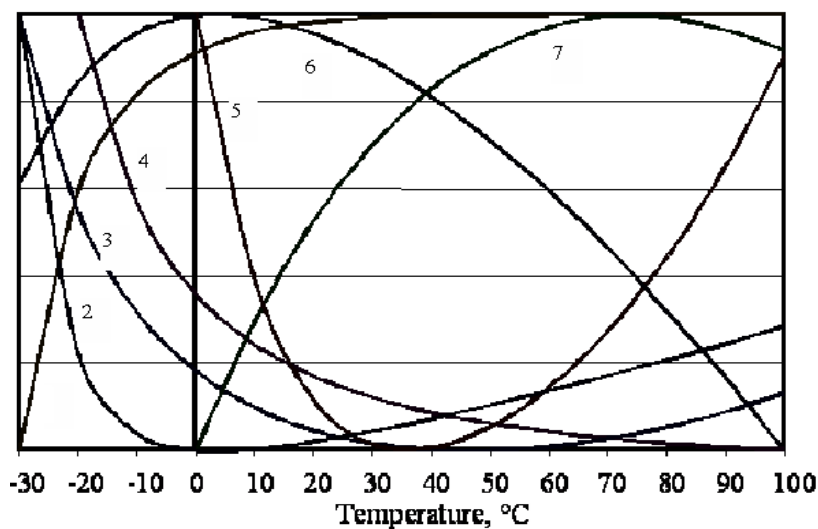
Сначала отметим, что необычно чудесные свойства воды обуславливаются разнообразными структурами, которые формируются в ней со специфическими взаимодействиями между ее молекулами.

Присутствия в воде ионных и неионных низкомолекулярных и высокомолекулярных добавок, как известно, изменяющих структуру и термодинамическое состояние воды, может воздействовать на биологические процессы.

В результате многочисленных исследований [1-3] было накоплено большое число фактов, свидетельствующих о важности термодинамического состояния воды для проявления в водной среде так называемого гидрофобного эффекта. В частности, большое количество экспериментальных данных, опубликованных в биофизической и фармакологической литературе, свидетельствует о том, что макромолекулярные компоненты биологических систем влияют на состояние (структуру) воды в этих системах, которое, в свою очередь, оказывает влияние на интенсивность проявления гидрофобного эффекта, и как следствие, на процессы функционирования и транспорта веществ в живых организмах.

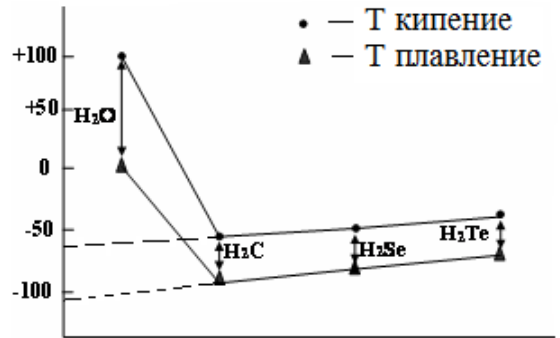
В связи с вышеизложенными, исследование изменения структуры воды под действием различных внешних факторов приобретает особую актуальность. По образному выражению лауреата Нобелевской Премии Джона Бернала изучение живых организмов равносильно изучению структуры и термодинамического состояния воды на различных молекулярных организациях.

Исключительно важные свойства воды связаны с наблюдаемыми на опыте, аномалиями на температурных зависимостях ее физических и физико-химических свойств. Таких аномалий в свойствах воды по сравнению с другими жидкостями очень много (свыше 30). Некоторые из этих аномалий представлены на рис. 1.



2-тепловое расширение; 3-сжимаемость; 4-вязкость; 5-удельная теплоемкость; 6-плотность; 7-скорость звука.

Рис. 1

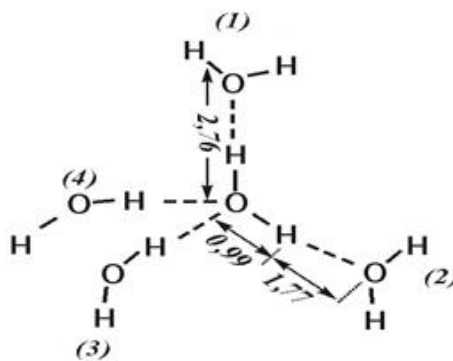


Температуры кипения и плавления
воды и ее аналогов

Рис. 2

Как видно из рисунка на температурных зависимостях теплового расширения, сжимаемости, вязкости, удельной теплоемкости, плотности и скорости распространения звука воды наблюдается экстремумы. Если сравнить температуру плавления и кипения воды и близких по химическому составу к воде жидкостей, то как видно, из рис.2, если продолжить кривую проходящую через точки плавления и кипения этих жидкостей, то, для точки плавления и кипения воды на этих кривых получили бы не реальные значения, -110°C и -60°C соответственно.

В результате анализа результатов многочисленных экспериментальных исследований стало известно, что между молекулами воды помимо известных видов взаимодействий имеет место специфические взаимодействия называемые водородной связью (рис.3.), значения энергии ($E \approx 5 \div 10$ ккал/мол) которых находится между значениями энергий химического (ковалентная, ионная и т.д. $E \approx 100 \div 1500$ ккал/мол) и не химического взаимодействия (Ван-дер-Ваалсовая, дисперсионная, и т.д. $E \approx 0,01 \div 1$ ккал/мол).

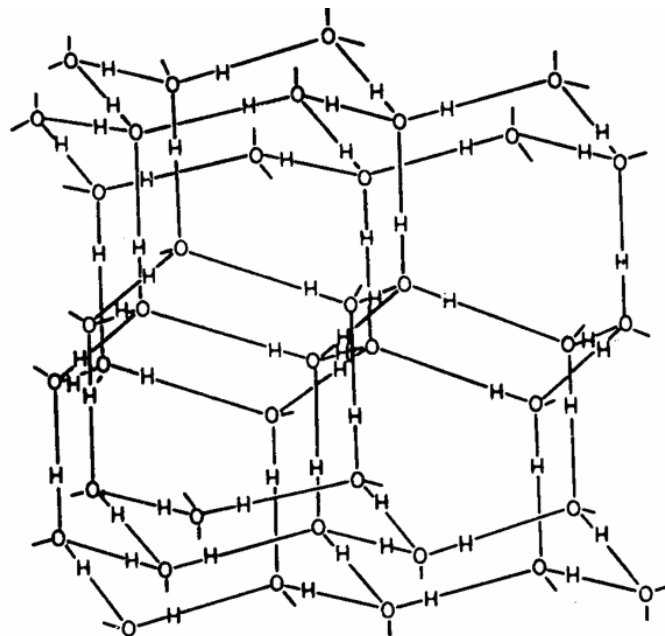


Водородная связь

Рис. 3

Отметим, что эти связи носят кооперативный характер, то есть образование водородной связи между двумя молекулами воды сопровождается образованием еще нескольких более прочных водородных связей этих молекул с другими соседними молекулами воды. Другими словами, большое количество молекул воды объединяясь, посредством водородных связей, образуют структуру, называемая в научной литературе кластерами, клатратами, над молекулярными частицами и т.д. Следует отметить, что

разрушение этих структур также происходит кооперативно. Каждая молекула воды образует максимально с четырьмя соседними молекулами воды водородные связи (рис.3.). В то время как структура льда представляет собой сплошную пространственную сетку образованную посредством водородных связей (рис.4.), в воде это структура частично разрушена, и по мнению многих ученых в воде одновременно сосуществуют льдоподобная и плотноупакованная, образованная свободными молекулами воды, структура (рис. 4.).



Структура льда

Рис. 4

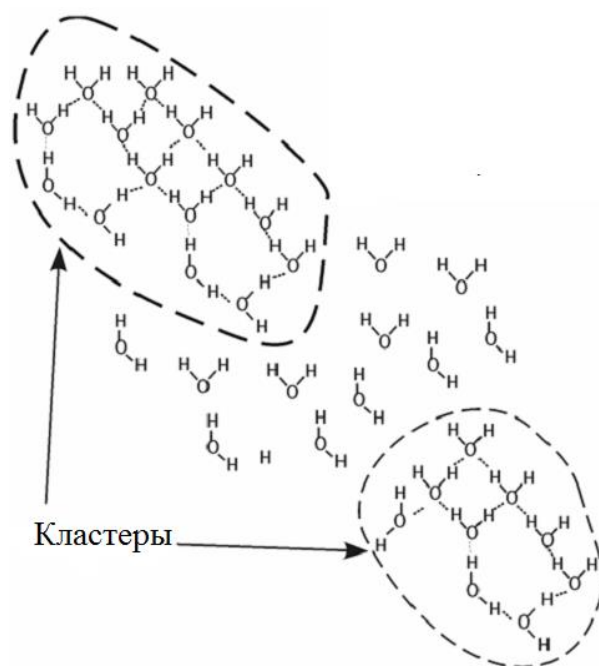


Рис. 5

Двухструктурная модель объясняющая многие экспериментальные факты в свойствах воды, была выдвинута в середине 20-го века Берпалом и Фаулером [4] (рис. 6.) и развита в работах Немети и Шерага [5]. По мнению Немети и Шерага по энергиям и внутреннему свободному движению (подвижности) молекулы воды можно разделить на 5 классов (рис. 6.).

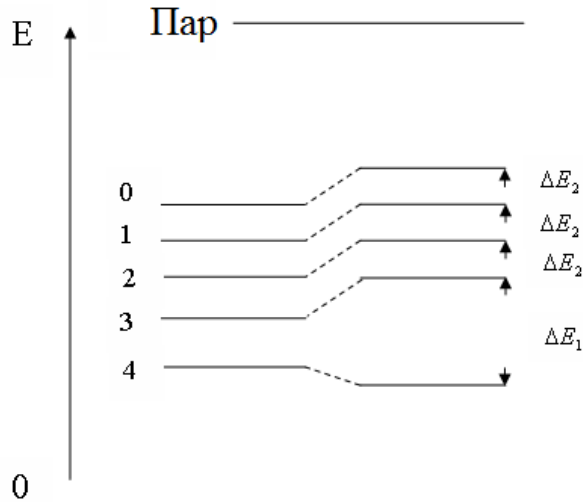


Рис. 6

Энергия молекул воды, у которых координационное число равно 4-ом (число соседних молекул воды с которыми данная молекула образует водородную связь), принимает минимальное значение. Молекул воды, у которых координационные числа равны 1, 2, 3, 4, принимают более низкое значение энергий E_1 , E_2 , E_3 , соответственно. Таким образом, молекулы воды распределяются по энергиям и подвижности и по двухструктурной модели значения величин энергии, плотности, энтропии и т.д. превосходят значения этих величин для льдоподобной структуры ($E_{\text{лед}} < E_{\text{вода}}$; $S_{\text{лед}} < S_{\text{вода}}$; $Q_{\text{лед}} < Q_{\text{вода}}$; $U_{\text{лед}} < U_{\text{вода}}$ и т.д.).

Однако, несмотря на то, что с помощью двухструктурной модели невозможно объяснить все особенности свойства воды, тем ни менее, она оказалась наиболее плодотворной, хотя имеются множество моделей с помощью которых можно объяснить те или иные свойства воды. Структура или термодинамическое состояние воды изменяется как при изменении температуры, так и при введении в воду различных низкомолекулярных и высокомолекулярных веществ и ионов. Под структурой воды и водной среды мы подразумеваем совокупность нескольких факторов – числа, энергии, плотность, ориентации (направленность) водородных связей и энергию теплового движения молекул. Изменение одного из этих параметров, означает изменение структуры, и состояние водной среды, другими словами, изменение степени проявления гидрофобного эффекта, и, впоследствии изменения растворяющей способности вещества водной средой. При этом структура состояния воды определяется тонким балансом всех взаимодействий, происходящих между всеми компонентами в водной среде. Нарушение этого баланса сопровождается изменением структуры водной среды и как следствие, влияет на протекании всех биологических процессов в живом организме. Поэтому исследования влияния различных химических соединений на структуру воды, т.е. для выяснения их структурирующих и деструктурирующих воду действия и системизация этих изменений представляет огромный интерес. Одной из наиболее важных особенностей

структуры воды является наблюдаемый на опыте так называемый «гидрофобный эффект» заключающийся в том, что при введении в воду неполярных или содержащем в своем составе неполярных функциональных групп вещества выталкиваются водной средой. Длительное время в научной литературе не совсем четко понимались такие термины как «гидрофобный эффект» гидрофобность, гидрофильность, гидрофобное взаимодействие и т.д.

По современным представлениям «гидрофобность» определяется свободной энергией взаимодействия Гиббса поверхности вещества или частицы с водой. «Гидрофильность» является обратной «гидрофобности», т.е. вещества обладающие большой гидрофобностью являются менее гидрофильными и наоборот. Следует отметить, что понятия гидрофобность и гидрофильность, относится не только к отдельным фазам, но и можно их отнести и к отдельным ионам, атомам и молекулам. Все заряженные частицы (ионы) и полярные группы гидрофильны, обладают большим сродством к воде и облегчают растворение вещества в воде, неполярные фрагменты молекул вещества ухудшают растворение их в воде. Баланс гидрофобных и гидрофильных взаимодействий этих групп, которые как правило имеются во всех биологических молекулах, определяет их растворимость в воде.

Таким образом, хорошо растворимая в неполярных растворителях и плохо растворимые в воде вещества называются гидрофобными. Поэтому, естественно, что относительное сродство вещества к воде, т.е. относительная гидрофобность вещества может характеризоваться разностью свободных энергий гипотетического переноса вещества из бесконечности к воде и неполярному растворителю, другими словами свободной энергией переноса вещества из воды в неполярное окружение.

Как уже было сказано при введении неполярных веществ в водную среду они отталкиваются этой средой гидрофобного эффекта вытолкнутые неполярные группы приближаются друг к другу на очень малые расстояния, они взаимодействуют между собой, т.е. имеет место гидрофобное взаимодействие. Необходимо отметить, что эти взаимодействия между неполярными частицами в водной среде не являются какими-то особыми взаимодействиями, а в сущности являются обычными Ван-дер-Ваалсовыми взаимодействиями.

Низкая растворимость неполярных веществ в воде т.е. их гидрофобность обуславливается уменьшением энтропии системы при растворении. Действительно, если принять двухструктурную модель воды, то очевидно, что неполярные фрагменты вещества (молекулы) к льдоподобной структуре приблизятся с большей вероятностью, поскольку такой процесс сопровождается выигрыш энергии. Этот процесс сопровождается сохранением сильного контакта вода-вода, разрушением более слабого контакта между неполярными молекулами вещества и возникновением нового, обеспечивающего выигрыш энергии контакта между молекулами льдоподобной воды и неполярной группы. При приближении неполярной группы к плотноупакованной воде не образуются контакты, поскольку замена сильного контакта вода-вода слабым вода-неполярная группа, энергетически не выгодна. Поэтому при растворении углеводов в воде неполярный углеводород лучше растворяется в структурированной воде, ещё более структурируя её. При этом энтропия системы уменьшается ($\Delta S < 0$), увеличивается свободная энергия системы ($\Delta G > \Delta H - T\Delta S$) и ухудшается растворения углеводорода. А это приводит к выталкиванию неполярных веществ водной средой, т.е. к гидрофобному эффекту.

При растворении веществ содержащих и полярных и неполярных групп (мыло, белок и т.д.) в воде неполярные группы выталкиваются водой, приближаются друг-другу на очень малые расстояния и притягивают друг-друга (гидрофобный эффект). Таким образом, образуются в водной среде образуются структуры (мицеллы) с наименьшими контактами молекул с молекулами воды.

Следует особенно отметить, что наиболее ярким проявлением гидрофобного взаимодействия является то, что при этом вода ещё больше структурируется, и соответственно нативные свойства биополимеров ещё больше стабилизируются. Как следует из вышесказанного, по видимому, одна из многочисленных гипотез о возникновении первичных живых организмов на дне морей и океанов становится более убедительной.

Прежде чем перейти к описанию разработанного нами метода количественной оценки относительной гидрофобности вещества отметим два важных момента.

I. Известно, что биологическая активность вещества, т.е. реакция организма на присутствие этого вещества определяется тремя факторами: 1) стерический, пространственный или геометрический фактор, т.е. соответствие размеров и конформаций молекулы вещества и молекулы мишени; 2) донорно-акцепторное взаимодействие между молекулами вещества и мишени; 3) направленный транспорт вещества к мишени зависящий от разности относительных гидрофобностей водной среды вещества (лекарства) и мишени.

II. Также известно, что формирование третичных и четвертичных структур белков и нуклеиновых кислот существенно зависит от гидрофобных взаимодействий в водной среде.

Как было отмечено, относительная гидрофобность вещества определяется свободной энергией переноса его из водной среды в неполярную среду. Ясно, что такая оценка относительной гидрофобности зависит как от выбора экспериментального метода, так и от природы растворителя для имитации неполярной среды. Поэтому, полученные результаты могут не совпадать с истинным значением гидрофобности биомолекул в организме. Несмотря на это, до последнего времени определение относительной гидрофобности практически всех веществ основывались на определении свободной энергии переноса вещества из воды в выбранный неполярный растворитель. Для этого обычно измеряют либо сравнительную растворимость вещества в водной и неполярной средах, либо использует метод неравномерного распределения вещества в двухфазной системах вода-неполярный растворитель, который имеет некоторое преимущество по сравнению с другими методами. Однако необходимо отметить, что до недавнего времени метод распределения в водных двухфазных системах использовался для определения относительной гидрофобности низкомолекулярных соединений.

Сравнительно недавно Заславским Б.Ю. и Масимовым Э. [6] был разработан метод, основанном на методе распределения вещества в водно-органических системах, позволяющий количественно оценить изменения состояния воды под влиянием любого растворимого в неё вещества, в том числе высокомолекулярных соединений.

Водно-двухфазные системы образуются при смешивании неполярного растворителя с водой. При введении в такую двухфазную систему бифильного веществ она распределя-

ется между фазами неравномерно и это распределение характеризуется коэффициентом распределения, определяемого как отношение концентраций (весовых) вещества в фазах системы $\left(K = \frac{C_{непол}}{e_{H_2O}} \right)$. Величина коэффициента распределения определяется взаимодействием частиц вещества со средой фаз системы и интенсивностью теплового движения (температурой).

При смешивании водных растворов полимеров (или раствора полимера и органического или неорганического электролита) отличающимися химическими свойствами, при определенной концентрации компонентов, также образуются двухфазные системы, называемыми водно-полимерными двухфазными системами (рис.7,8).

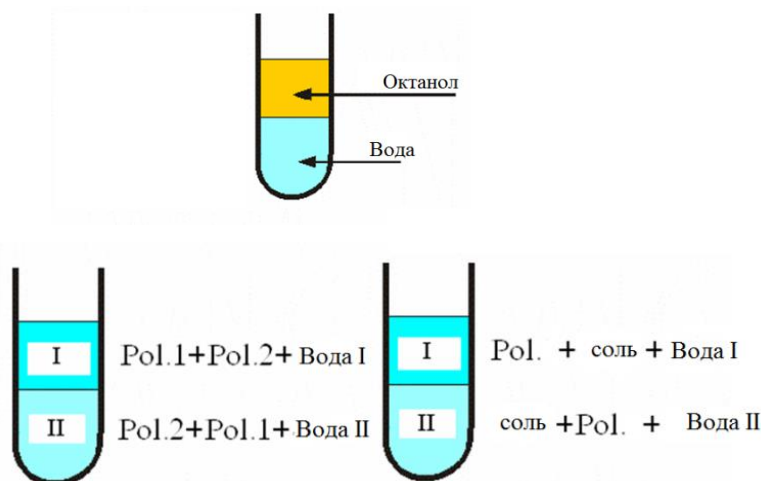


Рис. 7

В таких системах в обеих фазах присутствуют все компоненты и обе фазы обогащены водой (80%÷90%). Однако, одна фаза системы обогащена одним полимером, вторая другим полимером (или солью).

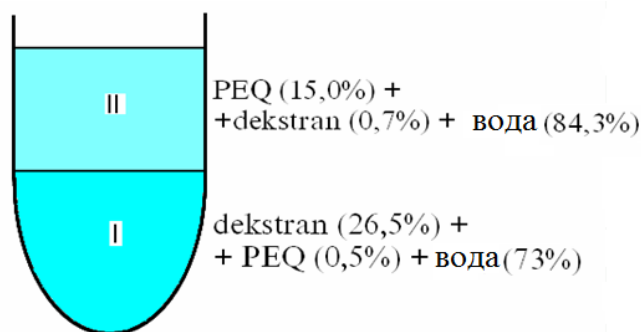


Рис. 8

Как следует из вышесказанного, в двухфазные система вода-неполярный растворитель напоминает системы мембрана – клоточная жидкость, мембрана – тканевая жидкость, а двухфазные системы полимер-вода системы кровь – тканевая жидкость, кровь – лимфа и другими словами такие двухфазные системы могут быть приняты как их модели.

В таких системах, как уже было упомянуто, коэффициент распределения вещества равен:

$$K = \frac{C_{окт}}{C_{H_2O}} \quad (1)$$

Учитывая малость энергии межфазного перехода вещества ($\Delta G_{\text{кри} \rightarrow \text{окт}}$) относительно энергии теплового движения (kT) молекул вещества и из равенства химических потенциалов каждого компонента в фазах системы можем написать:

$$K = e^{-\frac{\Delta G}{RT}} \quad (2)$$

Отсюда

$$\ln K = -\frac{\Delta G}{RT} \quad (3)$$

и
$$\Delta G = -RT \ln K \quad (4)$$

Как следует из (4) логарифм коэффициента распределения вещества в двухфазных системах характеризует свободную энергию межфазного переноса вещества, т.е. сродства вещества к воде или относительную гидрофобность вещества. Для экспериментального определения этой величины были распределены гомологический ряд натриевых солей динитрофенилированных α -аминокислот (таблица 1) в двухфазной системе вода-октанол. Были построены зависимость коэффициента распределения от количества метиленевых групп в указанном ряду (рис.9).

Таблица 1

№	Веществ-маркеров	Химический состав	n кол. мет. групп	$\mu_{\text{эф}}$
1	ДНФ-глицин	CH-COOH	0	0,36
2	ДНФ-аланин	CH-CH ₃ -COOH	1	0,94
3	ДНФ-норвалин	CH-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -COOH	3	2,57
4	ДНФ-норлейцин	CH-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -COOH	4	3,73
5	ДНФ-аминооктановая кислота	CH-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -COOH	6	5,98

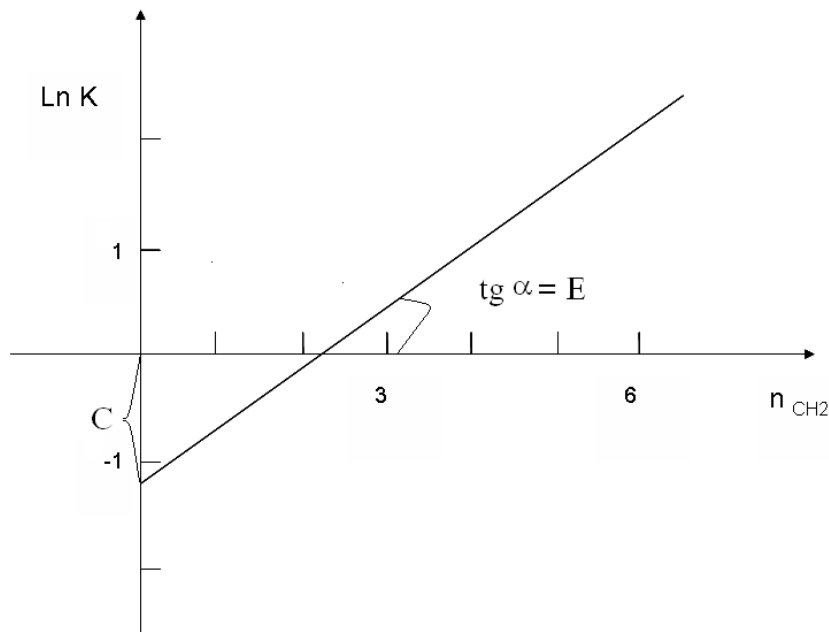


Рис. 9

Как следует из рисунка эта зависимость описывается линейным уравнением

$$\ln K = C + E \cdot n \quad (5)$$

Здесь E и C постоянные, n – количество метиленовых групп в веществах маркера. Из (5) получим:

$$kT \ln K = RTC + RT \cdot E \cdot n \quad (6)$$

Согласно (4) получим:

$$\Delta G_{H_2O \rightarrow окт}^{вещ} = -RTE \cdot n - RTC \quad (7)$$

Как видно из (7) параметр E характеризует энергию гипотетического переноса одной метиленовой группы из воды в октанол, а параметр C энергию гипотетического переноса неизменяющейся гидрофильной группы вещества маркера из воды в неполярную среду.

$$\Delta G_{H_2O \rightarrow окт}^{CH_2} = -RTE; \quad \Delta G_{H_2O \rightarrow окт}^{поляр} \quad (8)$$

Анализ научной литературы показывает, что при присутствии солей в водной фазе двухфазной системы (известно, что соли не могут находиться в неполярной фазе) значение коэффициента распределения распределяемого вещества (если даже оно незаряжено) и значения параметры E и C изменяются. Несколько позже Уберрейтер [7] исследуя «структурную температуру», характеризующую влияние различных низкомолекулярных соединений на структуру воды, обнаружил аналогию между изменениями параметров $\Delta G, E, C$ и изменением структурой температуры (T_0) воды под влиянием различных солей и таким образом, было установлено, что изменения энергии переноса вещества, а также его неполярного и полярного компонентов из воды в октанол, связаны с изменением структуры воды под влиянием этих химических соединений.

Дальнейшие исследования распределения веществ-маркеров в двухфазной системе вода-октанол показали, что присутствие полимеров различной концентрации и молекулярной массы по разному изменяют структуру воды. Как следует из вышеописанных экспериментальных фактов сродство вещества к водной среде, т.е. его относительная гидрофобность зависит от химического состава этой водной среды. Следовательно, можно рассмотреть сродства водной среды различного состава к веществу или его различным фрагментам.

В соответствии с этим для количественной оценки относительной гидрофобности водной среды в работе [6] предложено использовать разницу между сродствами этой среды к гидрофобной CH_2 группе, т.е. между свободной энергией гипотетического переноса метиленовой группы из водной среды в октанол и свободной энергией гипотетического переноса этой группы из чистой воды в октанол.

Из принципа адитивности свободных энергий следует, что разность между свободной энергией переноса одной CH_2 группы из воды в октанол и из раствора полимера в октанол равна свободной энергии гипотетического переноса CH_2 -группы из чистой воды в раствор полимера, и, что эта величина может характеризовать изменение структуры воды под влиянием того или другого полимера, т.е. относительную гидрофобность раствора полимера:

$$\Delta g_{H_2O \rightarrow H_2O+пол}^{CH_2} = \Delta G_{H_2O \rightarrow окт} - \Delta G_{H_2O+пол \rightarrow окт} \quad (9)$$

Естественно, это величина, которая не может быть определена непосредственно из опыта характеризует разницу в средствах воды и водного раствора к метиленовой группе, другими словами характеризует степень изменения структуры или термодинамическое состояния воды под действием полимера.

Очевидно, что эта величина определяет также разницу в степени проявления гидрофобного эффекта в водной среде и в чистой воде.

Из вышесказанных следует, что значения величины Δg^{CH_2} характеризует интенсивность взаимодействия полимера с водным окружением. Если, $\Delta g^{CH_2} < 0$, например для раствора P1 в воде процесс гипотетического перехода гидрофобной CH_2 группы из воды в водный раствор полимера P1. энергетически выгодно. Это означает, что под влиянием полимера (P1) вода стала более гидрофобной или менее гидрофильной и гидрофобный эффект ослаблен. А если Δg больше нуля ($\Delta g^{CH_2} > 0$, для полимера P2) происходит обратный, первому процессу.

Анализ полученный процесс разработанным методом результатов экспериментов показало, что введении в воду высокомолекулярные вещества, их молекулы, взаимодействуя с молекулами воды, изменяют структуру и термодинамическое состояния воды; одни полимеры структурируют (гидрофобизируют) другие разрушают структуру воды (гидрофилизуют). Все эти процессы в свою очередь, изменяют интенсивность проявления гидрофобного эффекта в водной среде.

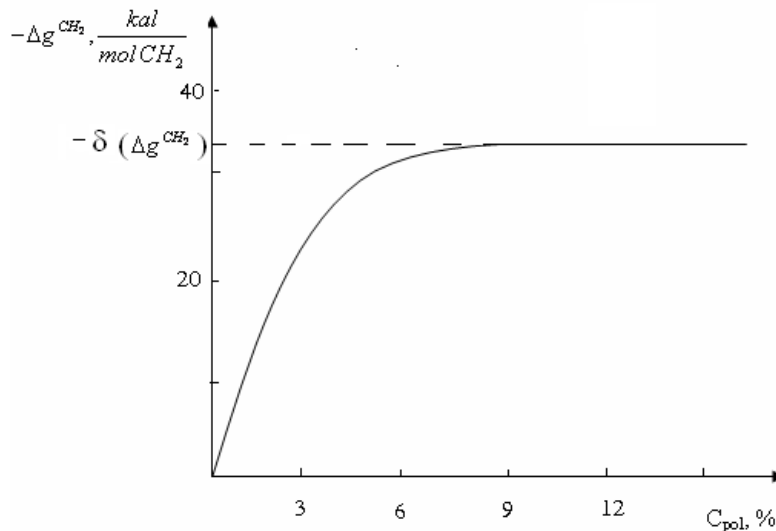


Рис. 10

Исследования относительной гидрофобности водных растворов большого количества (свыше 100) полимеров показало, что для большинства растворов относительной гидрофобности зависит от концентрации полимеров, причем для малых концентраций эта зависимость носит линейный характер, выше определенной концентрации Δg^{CH_2} принимает постоянное $[\delta(\Delta g^{CH_2})]$ значения (рис.10).

Важным выводом из полученных экспериментальных результатов является то, что разница в гидрофобных свойствах биологических жидкостей и тканей организма связаны с различием структуры и термодинамического состояния их водного окружения.

Очевидно, что метод распределения в двухфазных системах вода-октанол не может быть применен для изучения биологических систем, из-за демонстрирующим их влиянием октанола. Однако, можно предположить, что влияние макромолекул на структуру и термодинамического состояния воды связано со взаимодействием макромолекул с ближайшим окружением, т.е. относительная гидрофобности самих молекул в водной среде. Для ясности необходимо отметить, что относительно гидрофобность самих макромолекул, отличается от относительной гидрофобности их водных растворов. Изменения структуры воды под влиянием макромолекул, всегда сопровождается изменением сродства всего раствора к метиленовой группе, другими словами относительная гидрофобность раствора, является его объемной характеристикой, тогда как относительная гидрофобность макромолекул является характеристикой интенсивности взаимодействия макромолекул со своим ближайшим окружением. Эта сродство вещества к воде, т.е. его относительная гидрофобность (n^{CH_2}) как известно, определяется с помощью метода распределения вещества в двухфазной водно-полимерной системе [8] как:

$$n^{CH_2} = \frac{\ln K}{E} = \frac{RT \ln K}{RTE} \quad (10)$$

Здесь K – коэффициент распределения вещества в двухфазной водно-полимерной системе. $RT \ln K$ - энергия межфазного переноса вещества (или ее молекулы), в целом, а RTE одной метиленовой группы, n^{CH_2} - относительная гидрофобность макромолекулы выраженная относительной гидрофобностью определенного количества метиленовых групп.

Положительное значение этого параметра (n^{CH_2}) означает, что вещество гидрофобно и его гидрофобность равна гидрофобности n^{CH_2} -метиленовых групп, отрицательные значения означают, что вещество гидрофильно и его гидрофильность равна с обратным знаком гидрофильности n^{CH_2} метиленовых групп. Исследования относительных гидрофобностей большего количества полимеров (с использованием метода распределения вещества в двухфазной водно-полимерной системе) и их водных растворов (методом распределения в двухфазной системе вода-октанол) показало, что между этими двумя параметрами $\{\delta(\Delta g^{CH_2})\}$ и $\{n^{CH_2}\}$ существует следующая корреляционная взаимосвязь (рис 11)

$$\delta(\Delta g^{CH_2}) = -64,18 - 0,52 n^{CH_2} \quad (11)$$

Таким образом существование такой взаимосвязи, позволяет оценить относительную гидрофобность водного окружения биоструктур, которую определить с помощью двухфазной системы вода-октанол не представляется возможным.

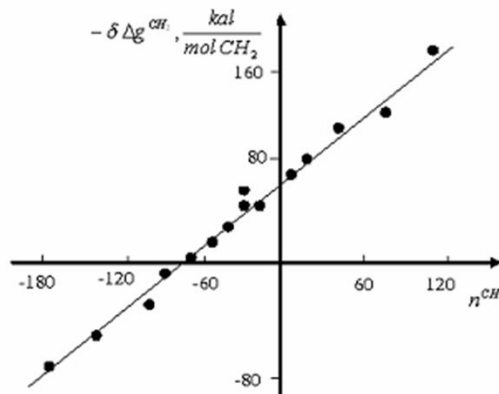


Рис. 11

Для этого с помощью двухфазной водно-полимерной системы (обе фазы обогащены мягкой средой - водой для биообъектов) определяют параметр n^{CH_2} , дальше из корреляционного уравнения (10) находят относительную гидрофобность в водной среде биологических жидкостей и тканей $[\delta(\Delta g^{CH_2})]$.

Рассмотрим экспериментальный подход к количественной оценке относительной гидрофобности биологических жидкостей и тканей. Согласно общепризнанной точке зрения, распределения химических веществ (экзо- и эндогенных) в живом организме можно рассматривать как процесс равновесного распределения веществ в многофазной водной системе, фазы которой характеризуются различными термодинамическими характеристиками. Различия в термодинамическом состоянии воды в разных биологических жидкостях и тканях организма.

Регистрируется различными методами (в частности методами ЯМР, ДСК и т.д.) Из анализа научной литературы можно сделать заключение о том, что структура и термодинамическое состояние воды в клетке (или ткани) в большой степени определяется макромолекулярным составом клетки (ткани, биологической жидкости и её физиологическим состоянием).

В качестве характеристики термодинамического состояния (или структуры) водно-солевой среды можно использовать величину свободной энергии гипотетического переноса метиленовой группы из водной среды в раствор макромолекул в той же среде. Можно предполагать, что эта характеристика отражает важные для биологических функций особенности состояния водной среды в биосистеме, поскольку эти особенности явно влияют на распределение химических веществ и в модельных водных полимерных двух или многофазных системах и в реальных биологических системах.

В силу ограничений, присущих предложенному методу экспериментальной оценки обсуждаемого параметра, его величина для реальных биологических систем не может быть определена экспериментально. Существование взаимосвязи между этим параметром и относительной гидрофобностью макромолекул ($\Delta g^{CH_2} - n^{CH_2}$ уравнение 11), однако, открывает определенные возможности для оценки относительной гидрофобности биологических сред.

Метод неравномерного распределения вещества в водно-полимерной двухфазной системе широко применяется в медицинской, фармакологической и пищевой промышленности для сепарации (разделение) различных биологических материалов.

Следует отметить, что различие в термодинамическом состоянии водной среды фаз двухфазной системы, которые широко используются для сепарации и очистки биологических объектов характеризуется разделительной способностью двухфазной системы, которая определяется по распределению веществ-маркеров (натриевых солей динитро фенилированных аминокислот) в двухфазной системе из зависимости $\ln K - n_{CH_2}$. При $\ln K = 0$, т.е. при $K = \frac{C_{верх}}{C_{ниж}} = 1$ следует, что $n^* = \frac{C}{E}$, n^* - это гипотетическая количество CH_2 -групп в ДНФ, при котором вещество в фазах системы распределяется равномерно. При таком распределении происходит полная взаимная компенсация вкладов в $\ln K$ (энергии переходов) эффектов ионной и гидрофобной гидратации, т.е. С и Е.

Удаление значение величины и n^* соответствующие, условию $\ln k = 0$, $k=1$ является критерием разделительной способности двухфазной системы.

Основываясь на вышеизложенном мы определили разделительную способность (n^*) различных двухфазных систем у которых разные фазообразующие компоненты. Полученные результаты приведены в таблице 2. Как следует из таблицы значения n^* для различных двухфазных систем отличаются и они используются в соответствии поставленной конкретной задаче ("тонкое" и "грубое" разделение).

Таблица 2.

систем	n^*
ПЭГ- $C_3H_5O_7Na_3-H_2O$	9,3
+ $NaNO_3$ (4,67 mol/l)	12,6
+ Na_2CO_3 (3,76 mol/l)	13,5
+ Na_2SO_4 (2,36 mol/l)	14,6
+ Na_2SO_4 (1,79 mol/l)	15,42
+ KCl (5,5mol/l)	7,19
+ KBr (3,53 mol/l)	6,98
+ KJ (1,04mol/l)	10,6
+ K_2SO_4 (0,47mol/l)	14,35

ЛИТЕРАТУРА

1. Синюков В.В. Структура одноатомных жидкостей, воды и водных растворов электролитов. М. : Наука, 1976, с.116-245.
2. Масимов Э.А. Вода и живой организм Баку, изд. БГУ, 2007, 116с.
3. Хиппел П., Шлейх Г. Влияние нейтральных солей на структуру и конформационную стабильность макромолекул в растворе «Структура и стабильность биологических макромолекул». М.: МИР, 1973, стр.320-480.
4. Бернал Дж., Фаулер Р. Структура воды и ионных растворов. Усп. Физических наук, т.14, 1934, стр.586-644.
5. Nemethy G., Scheraga H. Structure of Water and Hydrophobic Bonding in Proteins 1. Model for the Thermodynamic properties of Liquid Water // I.Chem. Physics, 1962, v.36, p.3382-4000.
6. Заславский Б.Ю., Масимов Э.А., Михеева Л.Б. Способ оценки относительной гидрофобности водных растворов полимеров. ДАН СССР, 1981, 261, стр.657.
7. Uberreiter K. Change of water structure by solvents and polymers / Colloid polymer Science, 260, 1982, N1, p.37-45.

UOT:539.12PACS: 68.35.BM -POLYMERS, ORGANICS71.20.RV POLYMERS AND ORGANIC COMPOUNDS

INFLUENCE OF THE SEASHELL ON THE MECHANICAL AND ELECTRICAL STRENGTH OF HIGH PRESSURE POLYETHYLENE

E.M. GOJAYEV, Sh.A. ZEYNALOV, K.J.GULMAMMADOV,
R.S. RAGIMOV, N.F. MEMMEDZADE

Azerbaijan Technical University

geldar-04@aztu.edu.az

ABSTRACT

In the paper given the results of a study of the mechanical and electrical strength of bio-composites based polyethylene low density modified with seashell, LDPE + x vol.% Seashell, where x = 0; 3; 5; 7; 10; 15 depending on the volumetric content of the bio-filler-seashell, on the electric field strength and on the magnitude of the mechanical deformation.

Samples obtained by hot pressing. The polymer + shell mixture is heated to the polymer melting point; at the same temperature, it is aged under pressure of 15 MPa for 15 minutes and cooled in an ice-water mixture.

It was revealed that for small values of the filler 3 vol.% Shell, the mechanical strength of the bio-composites increases, when the content reaches its maximum value. The maximum value of the electric strength of the films of bio-composites is achieved when 5 vol.% Shell are introduced into its composition. The increase in the electrical and mechanical strengths of the LDPE film with the introduction of the optimal amount of additive can be explained on the basis of changes in the physical structure of LDPE.

Key words: mechanical and electric strength, seashell, bio-composites, mechanical deformation, electric field strength.

ВЛИЯНИЕ РАКУШКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ И ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

РЕЗЬЮМЕ

В статье приведены результаты исследования механической и электрической прочности биокомпозитов на основе полиэтилена низкой плотности, модифицированного морской ракушкой (P), ПЭВД + x об.% P, в зависимости от объемного содержания бионаполнителя-морской ракушки, напряженности электрического поля и величины механической деформации, где x = 0; 3; 5; 7; 10; 15.

Образцы получены методом горячим прессованием. Смесь полимер+ракушка нагревают до температуры плавления полимера; при той же температуре его выдерживают под давлением 15 МПа в течение 15 минут и охлаждают в ледяной воде.

Выявлено, что при малых содержаниях наполнителя 3 об.% P механическая прочность биокомпозитов увеличивается, достигает максимального значения. Максимальное значение электрической прочности пленок биокомпозитов достигается при введении в их состав 5 об.% P. Увеличение электрической и механической прочности пленки ПЭВД при введении оптимального количества добавки можно объяснить изменениями в физической структуре ПЭВД.

Ключевые слова: механическая и электрическая прочность, морская ракушка, биокомпозиты, механическая деформация, напряженность электрического поля.

BALIQQULAĞININ AŞAĞI SIXLIQLI POLIETILENIN MEXANIKI VƏ ELEKTRİK MÖHKƏMLİKLƏRİNƏ TƏSİRİ

XÜLASƏ

Məqalədə aşağı sıxlıqlı polietilen (ASPE) əsasında balıq qulağı (BQ) ilə modifikasiya olunmuş, bio-kompozitlərin ASPE + x həcm.% BQ (x = 0; 3; 5; 7; 10; 15) mexaniki və elektrik möhkəmləkləri balıqqulağı doldurucusunun həcmi

miqdarından və elektrik sahəsinin intensivliyindən və mexaniki deformasiyanın qiymətindən asılı olaraq tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

Nümunələr istipresləmə üsulu ilə alınmışdır. Polimer -balıqqulağı qarışığı əvvəlcə polimerin ərimə nöqtəsinə qədər qızdırılır; bu temperaturda 15 MPa təzyiq altında 15 dəqiqə müddətində saxlanılır və əriməkdə olan buz vasitəsilə soyudulur.

Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, doldurucunun 3 həcm.% BQ qiymətində mexaniki möhkəmlik maksimal qiymətini alır. Biokompozitlərin elektrik dözümlülüklərinin maksimal qiymətləri isə tərkibində 5 həcm.%BQ olması halında müşahidə edilir. Doldurucunun optimal qiymətində ASPE – nin elektrik və mexaniki dözümlülüklərinin artması ASPE – nin fiziki quruluşunun dəyişməsi ilə izah oluna bilər.

Açar sözlər: mexaniki və elektrik gücü, dəniz qabığı, bio-kompozitlər, mexaniki deformasiya, elektrik sahəsinin gücü.

INTRODUCTION

The use of polymeric materials provides the opportunity to create a fundamentally new design and various types of products, helps to reduce their weight, operating and transportation costs, improve quality, physical and mechanical properties and appearance. It should be noted that the proportion of individual polymers among such materials is small. This is explained by the fact that for specific purposes, as a rule, polymers with a new set of properties are needed and it is preferable to solve this problem based on new materials with controlled properties. A convincing achievement to solve such problems is the creation of ordered heat-resistant, frost-resistant structural materials, as well as composite materials designed for use in harsh conditions [1-5].

The need to have any material with a specific set of properties led to the fact that when creating polymer compositions they were guided mainly by practical considerations [6-11].

For practical purposes, the most interesting is the determination of the electrical durability of the service life of polymer insulating materials and the effect on them of various modifying additives of various origins. Modifying additives leads to a change in many properties of polymers. In this case, the modified polymers change the mechanical tensile, bending and compression strengths of the respective elastic modulus, impact resistance, hardness, softening temperature and thermal conductivity. Depending on the origin and content of the fillers, the mechanical and electrical strengths of the composites can significantly change.[12-14]

We note that the introduction of additives into the polymer matrix has the following goals: modification of physical, mechanical, electrical properties: to prevent destruction from exposure to heat or ionizing radiation; material cost reduction; changes in color, transparency or other optical properties and appearance, improvement of technological properties. Therefore, the use of additives allows you to directionally adjust the properties of the final product. The effect of mechanical stress and additives on the change in the electrophysical properties of composite materials has been studied in many works[14,15].However, the change in the electrophysical properties of modified composite films in the presence of mechanical loading has not been studied enough.

The experimental technique

Samples obtained by hot pressing. The polymer + shell mixture is heated to the polymer melting point; at the same temperature, it is aged under pressure of 15 MPa for 15 minutes and cooled in an ice-water mixture.

Samples for testing the force dependence of mechanical durability and strength were cut out of the film in the form of a double blade, the length of the working part 10 mm wide 3 mm. Measurement of mechanical strength was carried out given in the work [15]. The installation for measuring mechanical durability should ensure the fulfillment of two basic requirements: the effective tensile stress and temperature should not change during each test.

Measurement of the electrical durability of the composite film, the following electrode design was used [16]. The test sample was made in a rectangular shape with dimensions of 40x50 mm. During the test, the sample was between the electrodes. Before the test, the thickness of each sample was measured for 6-8 work places, after which the arithmetic mean value was found.

RESULTS AND DISCUSSION

The electric strength of the LDPE + Shell film depending on the amount of additives was determined on the basis of studying the kinetics of the development of electrical breakdown according to the developed technique.

The obtained experimental results are shown in Figures. 1 and 2. The introduction of an additive from a shell into the composition of LDPE leads to a significant change in its electrical durability (Fig. 1). As follows from the experimental data, in the case under consideration, when a certain amount of filler is introduced into the composition of LDPE, its electric strength increases. The maximum increase is observed for a biocomposite with a volumetric filler content of 7%. This means that by increasing the lifetime of the LDPE film with the introduction of the additive, it is possible to determine the optimal conditions for the modification of the electrophysical properties of LDPE to determine the effect of the composition of the added additive on the change in the electric strength of the LDPE film. The data are shown in Fig. 3. It can be seen that the introduction of a shell additive in LDPE also leads to a change in its electric strength [16,17], as the electric field strength increases, it linearly supplies the logarithm of electric durability, i.e. the well-known relation $\tau = B \exp(-\beta E)$ holds, where parameters B and β depend on the nature of the polymer and the test temperature. However, their numerical values turn out to be different. For a clearer picture of the development of electrical failure in a modified polymer, Fig.2 shows the dependence of the electric strength of the LDPE film on the weight percent of this additive under other identical conditions ($\tau = \text{const}$, $t = \text{const}$). The dependence $E_{pr} = f(C)$ is constructed according to the data used for the graph (Fig.2). As can be seen from Fig.4, the electric strength of the LDPE film reaches its maximum value when 5 vol% of a shell is introduced into its composition. As follows from the obtained results, when the optimal content of the proposed additive is introduced into the composition of LDPE, its electric strength increases from $12 \cdot 10^7$ to $17 \cdot 10^7$ V / m.

Indeed, as follows from the experimental data, the optimum content of additives of biological origin in the composition of LDPE in the detected positive effect is only 5 vol.% Seashell.

Changing the mechanical strength of polymer composites with fillers seashells, were shown in Fig. 3. As follows from Fig. 5 at low contents of the shell (0-3 vol.%) in the composition of LDPE, the mechanical strength increases reaching a maximum at an optimum filler content of 0-3 vol.% Shell, with a further increase in the volumetric amount of the filler monotonously decreases.

Thus, analyzing the experimental results, it can be assumed that the increase in the electrophysical properties of the LDPE film with the introduction of the optimal amount of additive used can be explained on the basis of changes in the physical structure of LDPE. At the same time, due to physical structure formation, heterogeneity in the mutual arrangement of macromolecules seems to decrease, as a result of which the conversion process and ionization processes in them are significantly slowed down.

It is important to note that the equation

$$\tau = \tau_0 \exp\left[\frac{(U_0 - \gamma\sigma)}{kT}\right]$$

expressing the temperature - time dependence of the mechanical strength of polymers indicates that the destruction of polymers under the action of mechanical load is a kinetically activation process that develops in time and is controlled by temperature and mechanical stress. It indicates that, firstly, the time factor is a fundamental characteristic of polymer strength, and secondly, the breakdown is nothing more than an activation process, the rate of which is determined by the frequency of thermal fluctuations by the ratio of the average energy of thermal motion and the value of the energy barrier reduced by the applied external mechanical stress [18].

CONCLUSION

Investigations of the electrical durability and mechanical strength of bio-composites LDPE + Shell have established the optimum values of seashell additives that correspond to their maximum. It was shown that an increase in the strength of biocomposites is observed at a low volumetric content of the bio-filler from the seashell.

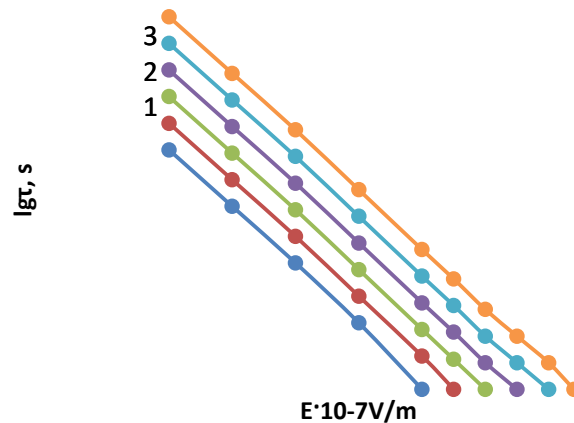


Figure 1. Dependence of the electrical durability of LDPE biocomposites + x vol.% Seashell on the electric field strength.

1-x = 0; 2 - x = 3; 3 - x = 5; 4-x = 7; 5 - x = 10; 6-x = 15.

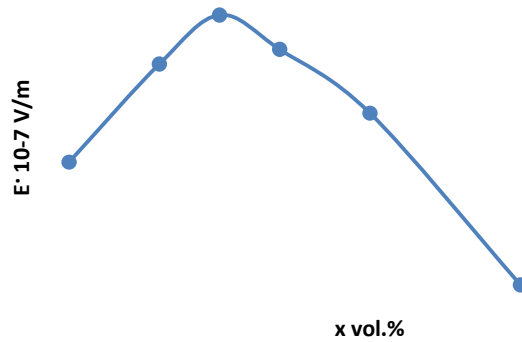


Figure 2. Change in the electric strength of LDPE biocomposites + x vol.% Seashell from the volume content of the filler.

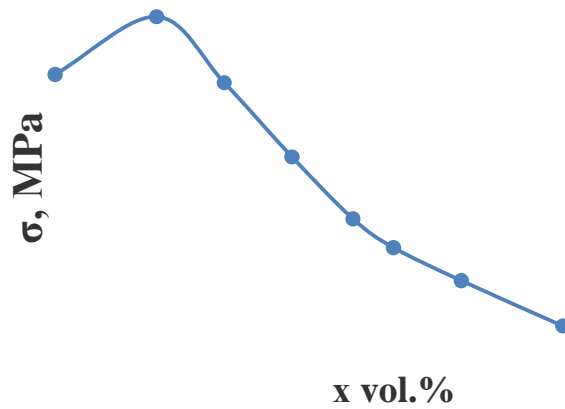


Figure 3. The dependence of the mechanical strength of LDPE biocomposites + x vol.% Shell on the volumetric content of the filler.

REFERENCES

1. Plastics Used in Medical Devices Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices, Plastics Design Library, p. 21-53, 2014.
2. Nurul, M.S.; Mariatti, M. Effect of hybrid nanofillers on the thermal, mechanical, and physical properties of polypropylene composites. *Polym. Bull.* 70, p.871–884, 2013.
3. Müller, M.T.; Krause, B.; Kretzschmar, B.; Jahn, I.; Pötschke, P. Thermal conductivity of hybrid filled HDPE nanocomposites. *AIP Conf. Proc.*, 1914, 030006, 2017.
4. Gojny, F.H.; Wichmann, M.H.G.; Fiedler, B.; Kinloch, I.A.; Bauhofer, W.; Windle, A.H.; Schulte, K. Evaluation and identification of electrical and thermal conduction mechanisms in carbon nanotube/epoxy composites. *Polymer*, 47, p. 2036–2045, 2006.
5. H. Y. Atay, Polymer Composites; Properties, Performance and Applications, Polymer science: research advances, practical applications and educational aspects (A. Méndez-Vilas; A. Solano, Eds.) p.420-428, 2016.
6. T. L. Hanley, R. P. Burford, R. J. Fleming, and K. W. Barber, "A general review of polymeric insulation for use in HVDC cables," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 19, Issue 1, p. 13–24, 2003.
7. S. Li, G. Yin, and J. Li, "Breakdown performance of low density polyethylene nanocomposites," in Proceedings of the 10th IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM '12), p.1-4, 2012.

8. K. Theodosiou, I. Vitellas, I. Gialas, and D. P. Agoris, "Polymer films degradation and breakdown in high voltage AC fields," *Journal of Electrical Engineering*, vol.55, p.225–231, 2004.
9. Olena Yakovenko, Ludmila Matzui, Ganna Danylova, Victor Zadorozhnii, Ludmila Vovchenko, Yulia Perets, and Oleksandra Lazarenko *Electrical Properties of Composite Materials with Electric Field-Assisted Alignment of Nanocarbon Fillers* *Nanoscale Res Lett.*; 12: p.471. 2017.
10. Kristina Rojdev, Mary Jane E O'Rourke, Charles Hill, Steven Nutt, William Atwell *Radiation effects on composites for long-duration lunar habitats* , *Journal of Composite Materials* Vol. 48 issue 7, p.861-878, 2014
11. Berlin A.A. *Modern polymer composite materials. - Soros Educational Journal. Issue 1*, p. 57-65, 1995.
P.-Y. Chen , A.Y.M. Lin , Y.-S. Lin , Y. Seki , A.G. Stokes , J. Peyras , E.A. Olevsky , M.A. Meyers, J. McKittrick, *Structure and mechanical properties of selected biological materials*, *Journal of the Mechanical Behavior Of Biomedical Materials*,1,p.208-226, 2008.
12. B. M. Primachenko, K. O. Strokin. *Study of the Mechanical Properties of Polymer Composite Material with Different Structures*, *Fibre Chemistry*, Vol. 50, Issue 4, p.368–372, 2018.
13. M. Olivaa,, A.A. Mifshella, L. Darmayantia, *Mechanical properties of seashell concrete*. *Procedia Engineering* 125, p.760-764, 2015.
14. K.Vignesh, K.Anbazhagan, E.Ashokkumar, R.Manikandan, A.Jayanth. *Experimental Analysis of Mechanical Properties of Sea Shell Particles- Polymer Matrix Composite*, *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, Vol. 3, Issue 1, pp.13-21, 2015.
15. State standard, R 56785-2015 *Polymer composites. Tensile test method for flat specimens*, 31p. (russia)
15. E.M.Gojayev, V.V.Salimova, P.F. Aliyeva // *Influence of fillers of biological origin and metal nanoparticles on the electrical properties of biocomposites*. *Eurasian Union of Scientists (ESU)* vol.62, Issue 5 part 5, p.9-13. 2019.(Russian)
16. V.G. Shevchenko *Fundamentals of the physics of polymer composite materials*. Moscow, 99p., 2010.
17. G.M. Bartenev, S.Ya. Frenkel *Physics of Polymers*. 1990, p. 433.

UDC: 541(64+15):537.7

PACS: 81.05.Qk Reinforced polymers and polymer-based composites

78.60.Kn Thermoluminescence

RESEARCH OF THE RADIOTHERMOLUMINESCENCE SPECTRA OF COMPOSITES PP + x vol.% Na⁺ -MONTMORILLONIT

GOJAEV ELDAR MEKHRALY^A

^A*Engineering Physics and Electronica Department, Azerbaijan Technical University, H.Javid Ave 25,
Baki, AZ1073 Azerbaijan
geldar-04@aztu.edu.az*

MAMMADOVA RASMIYYA LATIF^B

^B*Physics and its teaching methods Department, Sumgait State University, 43rd block Sumgait
Sumgait, AZ5008 Azerbaijan
Rasmiyyamammadova70@gmail.com*

AKHMEDOVA ARZU MUSA^C

^C*Physics Department, Azerbaijan State Economic University, Hasan Aliyev str.135
Baki, AZ1001 Azerbaijan
arzu.70@bk.ru*

ABSTRACT

The paper presents the results of a study of the radiothermoluminescence spectra of composite materials based on a PP matrix, filled with Na⁺ -montmorillonite (Na⁺ (MMT)) and irradiated with Co60 rays at an irradiation dose rate of 50 kGy / h. The effective activation energies of the processes of PP + x vol% Na⁺ (MMT) composites have been determined by the RTL peak half width methods.

Keywords: Na⁺ -montmorillonite, polypropylene, radiothermoluminescence spectra, composite materials.

KOMPOZİTLƏRİN RADIOTHERMOLUMİNESSENSIYA SPEKTRALARININ TƏDQIQI PP + x vol.% Na⁺ -MONTMORILLONİT

XÜLASƏ

Məqalədə Na⁺ -montmorillonit (Na⁺ (MMT)) ilə doldurulmuş və 50 kGy/saat şüalanma dozası ilə Co60 şüaları ilə şüalanmış PP matrisi əsasında kompozit materialların radiotermoluminesans spektrlərinin tədqiqinin nəticələri təqdim olunur. PP + x həcm% Na⁺ (MMT) kompozitlərinin proseslərinin effektiv aktivləşmə enerjiləri RTL pik yarım eni üsulları ilə müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: Na⁺ -montmorillonit, polipropilen, radiotermoluminesans spektrləri, kompozit materiallar.

INTRODUCTION

To study molecular mobility and relaxation phenomena in polymer composites, along with the methods of dielectric spectroscopy, the method of radio thermoluminescence (RTL) is also widely used.

The most systematic studies of the phenomenon of radiothermoluminescence (RTL) were carried out by the authors of [1-6]. The study of the processes of radiation modification of polymeric materials and products is of particular interest to the electronic, cable and electromechanical industries. Certain requirements are imposed on these materials, such as radiation and heat resistance, low dielectric losses, etc. [7-8]. No less important is the issue of radiation modification of composites based on polymers dispersed with fillers of various origins. No less important is the problem of predicting the degree of radiation-induced changes in the structure and properties of polymers.

The RTL method is based on observing the thermoluminescence of the test substances irradiated at low temperatures with fast electrons or gamma rays. This glow is associated with the recombination of ions stabilized in the substance during its irradiation. A characteristic feature of RTL is that the glow intensity increases sharply (passes through the maxima) in those temperature intervals in which the movement of segments of molecules or molecules as a whole begins. In particular, when irradiated crystals are heated, flashes are observed at the moment of crystal lattice rearrangement and during melting. This feature of RTL makes it possible to apply this method to study structural transitions in substances [9-10].

The aim of this work is to study the effect of Na⁺-montmorillonite filler on the RTL spectrum of composite materials based on propylene.

EXPERIMENTAL TECHNIQUE

The RTL method consists of three stages: irradiation of the sample under study at a low temperature, subsequent gradual heating of the irradiated sample and simultaneous registration of the glow.

The objects of research were compositions based on PP with a filler Na⁺ montmorillonite. Na⁺ montmorillonite is a clay formed by weathering, lichens and fungi. Its crystals have a grain size of less than 1-2 microns, and also, due to their complex structure, have negative and positive charges, as a result of which this material can bind both cationic and anionic substances. The non-ionic substance is often associated with montmorillonite through a side valence. Montmorillonite has the property of binding in large quantities with its surface area and the space between the crystal layers of various harmful substances.

Samples of composites in the form of a disk were obtained from a homogeneous mixture of PP + x vol% Na⁺ (MMT) powders with a particle size of up to 100 μm. Samples used for RTL analysis were placed on the bottom of an 8 mm stainless dish, covered with a stainless mesh to allow light to escape. Before irradiation, the samples in cups were evacuated in a glass ampoule to a pressure of 0.0133 Pa and cooled to a temperature of 77 K by immersion in a vessel with liquid nitrogen. The evacuation time *t* required to remove the gases dissolved in the sample was determined depending on the thickness of the films by the formula

$$t = \frac{d^2}{4k}$$

where *d* is the thickness of the films, *k* is the diffusion coefficient of air in the polymer ≈10⁻³ m² / s [9]. Irradiation was carried out with ⁶⁰Co γ-radiation on an RKh-γ-30 installation at a temperature of 77 K, the radiation dose rate was 50 kGy / h. RTL spectra were recorded on a TLG-69M device at a heating rate of 12 K / min in the temperature range from 77 to 500 K. The sample luminescence is recorded in the range of 300–820 nm using an FEU-51 photomultiplier tube. The sample temperature was recorded with a copper-constantan thermocouple. The effective activation energy *E_a* corresponding to the γ-process was determined by the RTL peak half-width method; individual *E_a* values were compared with the results obtained by the initial rate method. Calculations were made according to the formula

$$E_a \frac{E_- + E_+}{2} \text{ where, } E_- = \frac{0,98T_m T_+}{T_m - T_-}, E_+ = \frac{1,42T_m T_-}{T_+ - T_m}$$

Here T_m is the temperature of the maximum intensity on the RTL curve; T_- and T_+ are the temperatures of the low-temperature and high-temperature sides of the emission maximum at the point where the intensity is equal to half the maximum; k is the Boltzmann constant.

The block diagram of the measuring setup is shown in Fig. 1. A distinctive feature of the system shown in Fig. 1 is that one evacuated chamber (2) accommodates a TL excitation system by an electric field (4, 12) and a luminescence registration system (5) and (6), as well as the possibility of recording thermally stimulated currents (TST) through an amplifier (9) with subsequent registration of current and photocurrent (8) on one recorder (10). With the help of a motor (7), the film samples are alternately moved on a Teflon disk to the surface of a high-voltage electrode (4) pre-cooled to 77K and, after excitation of the TL, the same disk rotates to transfer the sample (1) under the photomultiplier to the surface of another electrode, where a heating system with temperature registration with a copper-constantan thermocouple (11). Note that on

In the given system, it is also possible to carry out the discharge treatment of the polymer, with the electrodes a certain distance to ignite the discharges.

Samples for research were prepared in the following sequence: ground filler Na⁺ (MMT) in the form of a powder was mixed with a different volume percentage of polymer binder PP. Then this powder mixture was pressed for 10 min under a pressure of 15 MPa, the pressing temperature $T_{np} = 430 \pm 5K$. The obtained pressed samples had a diameter of 7 mm and a thickness of 200 μm . The samples were fixed inside metal cells, the cells were placed in glass ampoules and evacuated at a pressure of 0.133 Pa in order to avoid the influence of oxygen dissolved in the polymer on the emission curve. RTL measurements of the PP + Na⁺ (MMT) compositions were carried out using the measuring setup described in Fig. 1.

RTL curves were recorded with smooth heating of the sample at a rate of 10-12 deg / min in the temperature range 77-400K (Fig. 2).

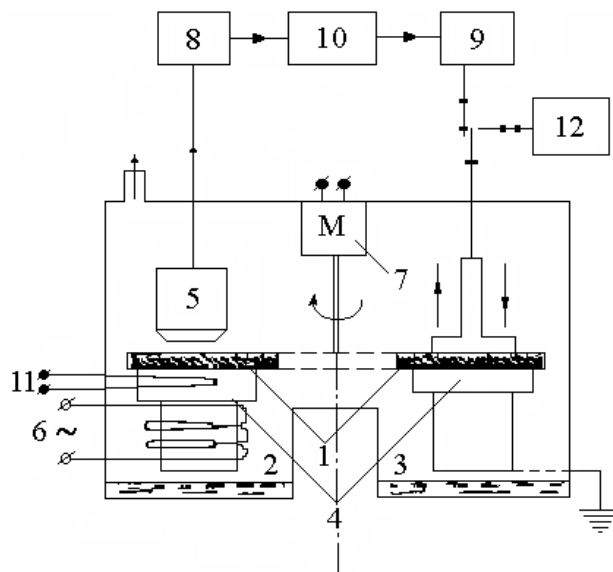


Fig. 1. Block diagram of RTL registration.

EXPERIMENTAL RESULTS AND THEIR DISCUSSION

The results of studying the RTL spectra of PP + x vol% Na⁺ (MMT) composites are shown in Fig. 2. The studies were carried out in composites with fillers 0, 10, 20, 30, 40 vol% Na⁺ (MMT). As follows from Fig. 2, a bright maximum is observed on the curve of pure propylene (x = 0) at a temperature of 150K, the spectral sensitivity range is 100-250K, on the RTL curve of the PP + 20 vol% Na⁺ (MMT) composite at a temperature of 108K, bright maxima are observed, at temperatures of 170-225K, blurred highs. The spectral sensitivity range corresponds to the temperature range 100-240K

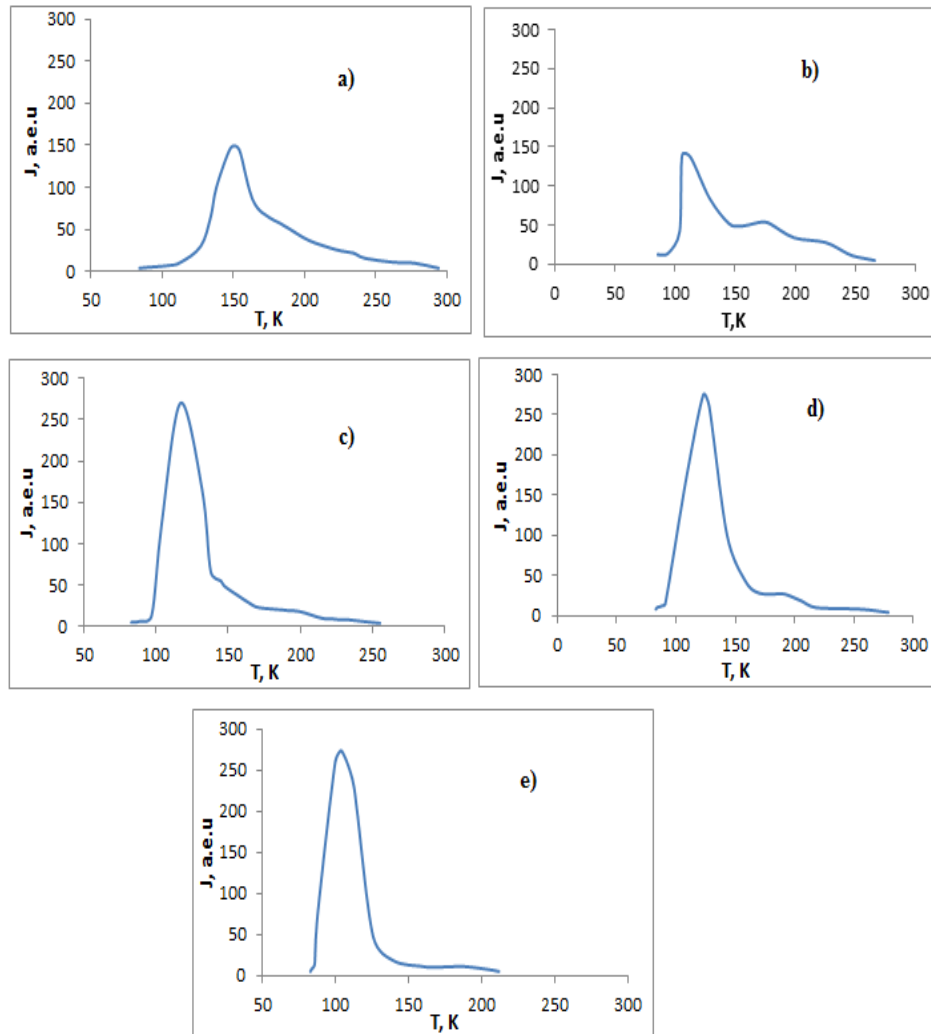


Fig 2. Radiothermoluminescence spectra of PP + x vol% Na⁺ (MMT) composites, where a-x = 0; b-x = 10; c -x = 20; d-x = 30; e-x = 40.

On the RTL curve of the composite with 30 vol% Na⁺ (MMT) filler, a bright maximum is observed at 125 K; for this composite, the second diffuse maximum is observed at a temperature of 190 K, and the spectral sensitivity region corresponds to the temperature range of 90-170 K. Bright maximum on the RTL curve with 40 vol% Na⁺ (MMT) is observed at a temperature of 106K, an insignificant diffuse maximum at 190K, and the spectral sensitivity range corresponds to a temperature range of 90-120 K. Intensity of RTL radiation of PP + x vol% Na⁺ (MMT) composites at a relatively low filler content (0- 10 vol% Na⁺ (MMT)) practically remains constant, and with an increase in the volumetric content of the

filler to 20 vol% Na⁺ (MMT) it sharply increases, however, with a further increase in the filler content it remains constant. It can be seen from the results obtained that for pure PP (Fig. 2a) the characteristic γ -relaxation peak at 150 K with an increase in the filler content to 10 vol% Na⁺ (MMT) shifts to the region of low temperatures (108 K). When the amount of filler in the composite is 20 vol%, the peak moves by 4K to the low temperature region. With a further increase in the filler content to 30 vol% Na⁺ (MMT), the maximum on the RTL curve shifts to the region of higher temperatures of 125K. For a composite with a filler of 40 vol% Na⁺ (MMT), a bright peak is observed at a lower temperature of 106 K. In addition, an increase in the glow intensity of the composites is observed. For the PP / Na⁺ (MMT) compositions, the corresponding luminescence peaks, as can be seen from Fig. 2, coincide with the PP luminescence region corresponding to the gamma relaxation processes of the polymer in the temperature range 100-200 K. Moreover, with an increase in the volumetric content of the filler to 20 vol%, a sharp increase in the intensity of RTL luminescence is observed in the composites; this increase in intensity remains constant for composites of 30 and 40 vol% Na⁺ (MMT).

Certain values of the activation energy show that with an increase in the volumetric content of the filler to 10 vol%, the activation energy of the composite increases sharply; however, with a further increase in the filler to 20 vol%, the activation energy decreases strongly and the value of the activation energy remains unchanged for composites with fillers 30 and 40 vol% Na⁺ (MMT) Fig.3.

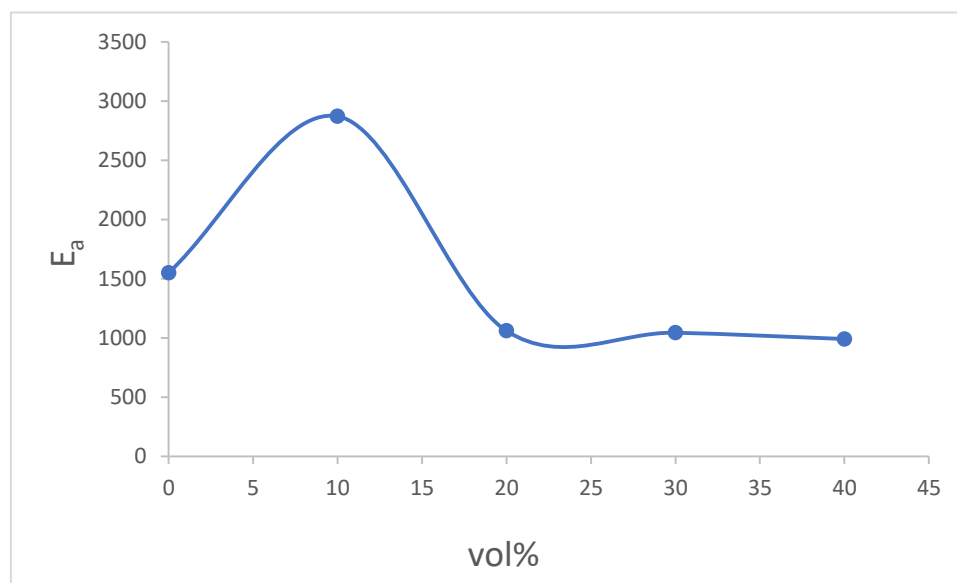


Fig.3. The dependence of the activation energy of composites PP+ x vol% Na⁺-MMT on the volume content of filler.

CONCLUSION

It was found that the radiation modification of the luminescent properties of PP / Na⁺ (MMT) composites is caused by changes in the supramolecular structure, as well as by processes occurring at the interface of the polymer matrix with the Na + montmorillonite filler.

FUNDING

The work was carried out in Azerbaijan Technical University, Institute of Physics and Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state the absence conflict of interest.

LITERATURE

1. Aulov VA, Kuchkina IO, Feldman VI, Ozerin AN. *High Energy Chemistry*, **B48**, 20 (2014).
2. A.M.Maharramov, R.S.Ismayilova, M.M.Kuliev, R.L. Mammadova. Radiothermoluminescence of the γ -irradiated compositions of the ultra-high-molecular-weight polyethylene with nano- α -SiO₂. *Problems of Atomic Science and Technology (VANT)*, Ukraine, **4**, 128, 31 (2020).
3. Yu.N.Smirnov, S.R. Allayarov, V.A. Lesnichaya, Yu.A.Ol'khov, G.P.Belov, D.A.Dixon, *Khimiya Vysokikh Energii*, **B43**, 6, 505 (2009).
4. N.Diène, T.Adams *Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2014) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **62**, Ningbo, China. 27-29 May, 012025 (2014)
5. A.Kh. Mubarak, A.Kh. Ruhul, Haydaruzzaman, S. M.Ghoshal, N. A. Siddiky, and M. Saha. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, **48** 542 (2009)
6. Albano, Carmen, Perera, Rosestela, & Silva, Pedro. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, **30**, 1, 3 (2010). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522010000100002&lng=en&tlng=en
7. J.Varga, *Crystallization, melting and supermolecular structure of isotatic polypropylene*. In: Karger-Kocsis J. (ed.), *Polypropylene: Structure, Blends and Composites*. London (UK): Chapman & Hall, , Vol. I: Structure and Morphology, 56 (1995)
8. R.A. Phillips, M.D.Wolkowicz, *Structure and Morphology*. In: Moore EP. (ed.), *Polypropylene Handbook*. New York (USA): Hanser, 113 p. (1996)
9. Hamour N., Boukerrou A., Djidjelli H., Yefsah R., Corn S., El Hage R., Bergeret A. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, **31**, 5, 598 (2017).
10. E.M. Gojayev, N.S. Nabiyev, M.A. Ramazanov, K.Sh. Kahramanov, Sh.V. Alieva, A.A. Ismailov. Investigations microrelief of the surface, dielectric properties and fluorescence spectrum of natural composite - fish scales *Physical Science International Journal* **6**, 1, 45, 9(2015), Article no.PSIJ.2015.032

UOT:53952.80.s Electric discharges in physics of plasmas51.50.v Electrical properties (ionization, breakdown, electron and ion mobility, etc.)

ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА УДЕЛЬНОЕ ОБЪЕМНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ КОМПОЗИТОВ ПВДФ+ x об%TlInS₂

А.Н. МИРЗОЕВА

Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит

aide-mirzeyeva@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В представленной работе изложены результаты исследования влияния сильного электрического поля на удельное электрическое сопротивление и углы диэлектрических потерь поливинилиденфторидных композитов, модифицированных полупроводниковыми соединениями TlInS₂. Исследования проводились в композитах, содержащих ПВДФ + x об. % TlInS₂ (x = 0; 1; 3; 5; 7) в интервале температур 290-450K. Результаты исследования показали, что с увеличением объемного содержания полупроводникового соединения TlInS₂ в композитах значения удельного объемного электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь композитов уменьшаются. Сравнительный анализ результатов показал, что зависимости $\rho_V(T)$ и $\text{tg}\delta(T)$ согласуются друг с другом.

Ключевые слова: удельное объемное электрическое сопротивление, ПВДФ+ TlInS₂, электрический разряд, полимерные материалы.

INFLUENCE OF A STRONG ELECTRIC FIELD ON SPECIFIC-VOLUME ELECTRIC RESISTANCE AND DIELECTRIC LOSS OF PVDF+x %TlInS₂ COMPOSITES

ANNOTATION

The results of the study of the effect of a strong electric field on the specific electrical resistance and dielectric loss angles of polyvinylidene fluoride composites modified with TlInS₂ semiconductor compounds are presented in this work. The studies were conducted in composites containing PVDF + x vol% TlInS₂ (x = 0; 1; 3; 5; 7) in the temperature range 290-450K. The results of the study showed that as the volume percentage of the TlInS₂ semiconductor compound in the composites increases, the value of the specific volume electrical resistance and the tangent of the dielectric loss angles of the composites decrease. A comparative analysis of the results showed that the dependences $\rho_V(T)$ and $\text{tg}\delta(T)$ are consistent with each other.

Key words: specific-volume electric resistance, PVDF+TlInS₂, electric discharge, polymeric materials.

PVDF+x HƏCM% TlInS₂ KOMPOZİTLƏRİNİN HƏCMİ ELEKTRİK MÜQAVİMƏTLƏRİNƏ VƏ DİELEKTRİK İTKİ BUCAQLARININ TANGENSİNƏ QÜVVƏTLİ ELEKTRİK SAHƏSİNİN TƏSİRİ XÜLASƏ

Təqdim olunan işdə TlInS₂ yarımkeçirici birləşməsi ilə modifikasiya olunmuş polivinilidenflüorid kompozitlərinin həcmi məxsusi elektrik müqavimətlərinə və dielektrik itki bucaqlarına qüvvətli elektrik sahəsinin təsirinə tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Tədqiqatlar 290-450K temperatur intervalında PVDF + x həcm%TlInS₂ (x=0; 1; 3; 5; 7) tərkibli kompozitlərdə aparılmışdır. Tədqiqatların nəticələri göstərmişdir ki, kompozitlərin təkibində TlInS₂ yarımkeçirici birləşməsinin həcmi faizi artdıqca məxsusi həcmi elektrik müqaviməti və kompozitlərin dielektrik itki bucaqlarının tangensinin qiyməti azalır. Alınmış nəticələrin müqayisəli təhlili göstərmişdir ki, $\rho_V(T)$ və $\text{tg}\delta(T)$ asılılıqları bir – biri ilə uzlaşır.

Açar sözlər: xüsusi həcmli elektrik müqaviməti, PVDF+ TlInS₂, elektrik boşalması, polimer materiallar

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что полимерные материалы при использовании в качестве различных изделий в зависимости от назначения подвергаются различным внешним воздействиям,

таким как электрические разряды, теплота ионизирующая излучение и т.д., при этом происходят изменения различных физико-химических, электрофизических и прочностных свойств. Эти изменения обусловлены, в основном, структурно-химическими изменениями в результате процессов деструкции сшивания и окисления полимерных цепей. Как правило, о протекании указанных процессов свидетельствуют появление в структурах исследуемых полимеров карбонильных гидроксильных и эфирных групп. Проблема старения и стабилизации полимеров составляет крупный раздел полимерного материаловедения – науки о создании полимерных материалов, сохранении и регулировании их физических свойств.

Старение — это ухудшение со временем физических свойств полимерных материалов вследствие деструктивных процессов. Поэтому предотвращение или подавление деструктивных процессов при отдельном или одновременном воздействии различных факторов: сильного электрического поля, температуры, разрядов, механической нагрузки, резких излучений и т.д., тем самым ухудшение физических свойств полимерных материалов и композиций на их основе является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения [1-6]. В связи с выше- изложенным в настоящей работе излагаются результаты исследования влияния сильного электрического поля на удельное объемное сопротивление и диэлектрические потери композиционных материалов ПВДФ + х об.%TiInS₂.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Электрическое старение композитов осуществляется в несимметричной ячейке с диэлектрическим барьером из стекла. Ячейка представляет систему металлических электродов, между которыми помещалась исследуемая композитная плёнка. В качестве нижнего электрода была взята гладкая пластинка из нержавеющей стали размерами 130x180мм (поверхность пластинки с одной стороны была никелирована). Испытуемая полимерная пленка до и после предварительной вытяжки, согласно методике, плотно натягивалась на эту пластинку, и служила в качестве заземленного электрода. Натягивание плёнки производилось с помощью небольших грузов, не вызывающих механической деформации образца. Верхним электродом ячейки служит металлизированная с внешней поверхностью стеклянная пластинка. Для того, чтобы создать воздушный зазор постоянной толщины между верхним электродом и полимерной плёнкой по краям помещались стеклянные прокладки толщиной 1,5мм. Когда старение плёнки производилось в атмосферных условиях, ячейка находилась в воздухе. Высокое напряжение промышленной частоты подавалось к электродам ячейки от аппарата АИИ-70. Тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) и емкость исследуемых образцов измеряли с помощью моста переменного тока Р-589 при частоте 1кГц в интервале температур 300-450К по методике, описанной в работе [7]. Интервалы измерений емкости 0,001пФ-100 мкФ по тангенсу угла потерь составляло 10^{-5} -0,5. Питание моста осуществляется от сети переменного тока при напряжении 220В и частоте 50Гц. Измерительными электродами в нем являлись отполированные латунные диски. Температуру образца измеряли с помощью термопар медь-константан с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Для измерения удельного объемного сопротивления (ρ_V) использовали тераомметр Е6-13А. Испытания проводятся на плоских образцах. Торцовые поверхности образцов должны быть строго параллельны друг другу и не иметь следов механической обработки, трещин, раковин, складок, вмятин, царапин, посторонних включений и других дефектов. Для каждого исследуемого материала используются не

менее трех образцов. Образцы перед испытанием должны быть выдержаны в течение 24 часа при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $65 \pm 5\%$. Для лучшего контакта электродов с образцами использовали алюминиевую фольгу толщиной 0,005мм, имеющую форму образца, которой покрывается образец. Фольгу притирают к образцам с помощью химически чистого конденсаторного вазелина. Удельное объемное сопротивление рассчитывают по формуле

$$\rho_V = \chi \frac{D_0^2}{4b} R_V,$$

где R_V измеряемые сопротивления, Ом, $D_0 = (d_A + d_B)/2$, где d_A диаметр измерительного электрода, см, d_B - внутренний диаметр электрода, см, b - толщина образца, см. За окончательный результат принимают средние арифметические значения ρ_V , полученные при трех измерениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Рассмотрим зависимость $\lg \rho_V = f\left(\frac{1}{T}\right)$ для пленок ПВДФ и их модификации до и после электрического старения. На рис.1 представлена зависимость $\lg \rho_V = f\left(\frac{1}{T}\right)$ для пленки ПВДФ и ее модификации. На рис.1 (кривая 1) - удельное сопротивление исходного образца с повышением температуры монотонно уменьшается. После введения ПInS₂, значение ρ_V пленки ПВДФ уменьшается во всем исследованном температурном интервале (рис.1). После воздействия электрических разрядов в воздухе температурная зависимость $\lg \rho_V(T)$ претерпевает существенные изменения (рис.2) соответственно, а именно, уменьшение удельного объемного сопротивления образцов проходит через максимум в интервале температур $20^\circ\text{C} \div 80^\circ\text{C}$. Так как температурное положение этого максимума соответствует положению новой области диэлектрических потерь, появляющейся после действия разрядов в воздухе. Вероятно, это вызвано тем, что вследствие того, что образовавшиеся при разрядах в воздухе химически активные вещества (озон, окислы азота), взаимодействуя с макромолекулами, вызывают появление рядановых низкомолекулярных групп и соединений: кетонов, альдегидов, кислот, перекисей, спиртов, эфиров и т.д. Согласно [7, 8] эти группы могут диффундировать в общем образце и тем самым способствовать увеличению электропроводности полимерных материалов.

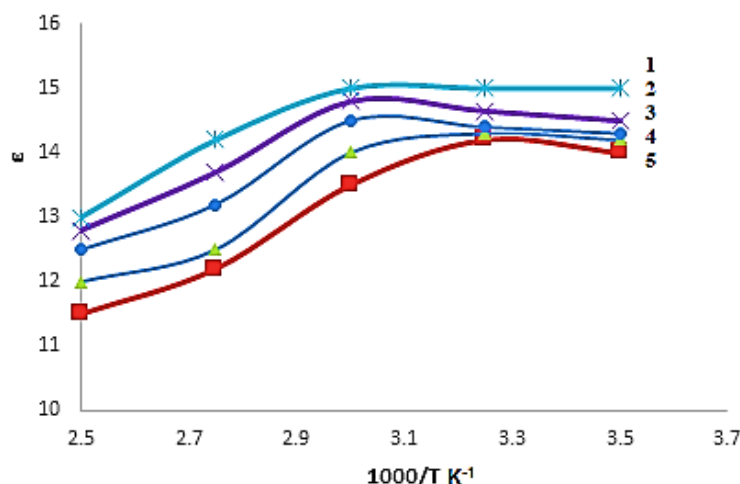


Рис.1. Температурная зависимость удельного объемного электрического сопротивления ПВДФ + ПInS₂ до электрического старения, где- 1-х=0, 2-х=1, 3-х=3; 4-х=5; 5-х=7.

Из сравнения кривых 2 и 4 (рис.1) видно, что значение модифицированного ПВДФ после воздействия электрических разрядов во всем исследованном температурном интервале больше. Кроме того, из рис.2 видно, что при действии электрических разрядов ρ_v модифицированного ПВДФ уменьшается незначительно, в то время как, у ПВДФ без добавки уменьшается на два порядка.

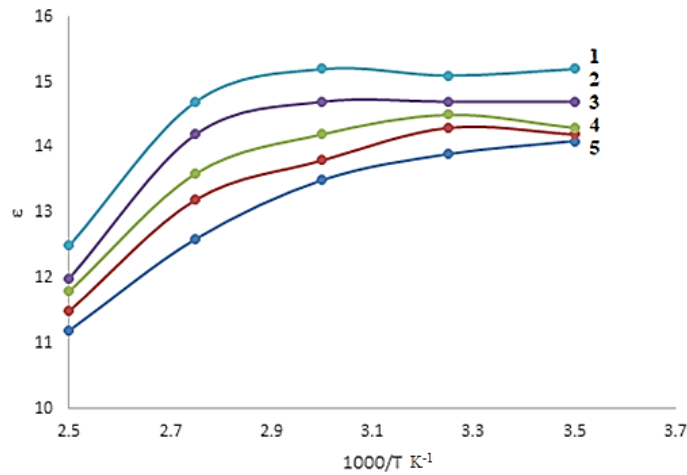


Рис.2. Температурная зависимость удельного объемного сопротивления для плёнок ПВДФ + PInSn₂ после воздействия электрических разрядов в воздухе при $U_{ст}=7$ кВ, $t_{ст}=5$ ч, где- 1- $x=0$, 2- $x=1$, 3- $x=3$; 4- $x=5$; 5- $x=7$.

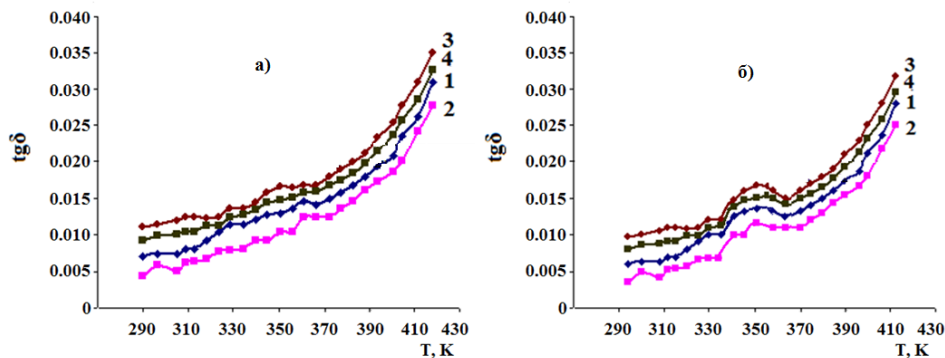


Рис.3. Температурная зависимость диэлектрических потерь ПВДФ и его модификаций до (а) и после (б) под действием электрических разрядов в воздухе при $U_{ст}=7$ кВ, $t_{ст}=5$ ч, где- 1- $x=0$, 2- $x=1$, 3- $x=3$; 4- $x=5$; 5- $x=7$.

На рис.3 показана температурная зависимость диэлектрических потерь ПВДФ и его модификаций до и после под действием электрических разрядов. Как видно из рис. 3а для ПВДФ + x об%PInSn₂ композитов в исследованном температурном интервале $tg\delta$ монотонно увеличивается. Увеличение наблюдается и с увеличением объемного содержания наполнителя. На $tg\delta(T)$ зависимости каких-либо откликов не обнаружено. После старения пленок ПВДФ + x об%PInSn₂ в температурной зависимости $tg\delta$ образуется новая область потерь, которая связана с появлением в данных полимерах кислородосодержащих групп с низкой температурой разрушения. При нагреве образцов $tg\delta$ уменьшается, вследствие чего, в области температур 365-370К $tg\delta$ образцов ПВДФ+ x об. %PInSn₂ после старения практически совпадает с $tg\delta$ образцов до старения. Вследствие электрических разрядов на температурной зависимости $tg\delta$ появляется новая область диэлектрических потерь, однако, как следует из рис. 3б у модифицированных образцов после старения при одних и тех же условиях изменение диэлектрических свойств идентичные, однако, величина $tg\delta$ в новой области потерь существенно отличается.

При этом эффект добавки проявляется в замедлении процесса окисления ПВДФ в зоне разрядов, так как основные потери в исследованных композитах в первую очередь вызывается релаксацией карбонильных групп. В температурных зависимостях tgδ пленок ПВДФ и их модификации после электрического старения в воздухе наблюдаются такие же изменения как после действия разрядов: появляется новая область диэлектрических потерь в максимуме дипольно-сегментальных потерь, в ПВДФ и его модификациях происходит процесс окисления. Однако, при введении в состав ПВДФ добавки из ПInS₂ после электрического старения изменения происходят незначительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годжаев Э.М., Магеррамов А.М., Османова С.С., Нуриев М.А. Зарядовое состояние композиций на основе полиэтилена с полупроводниковым наполнителем ПInS₂. ЭОМ. 2013, 49(4), 1–5.
2. Годжаев Э.М. Магеррамов А.М., Сафарова С.И., Нуриев М.М., Рагимов Р.С. Диэлектрические свойства полимерных композитов с полупроводниковым наполнителем ПInSe₂. ЭОМ. 2008, 44(6), 66–71.
3. Керимли Г. М. К механизму электрического старения полимерных изоляционных материалов Электронная обработка материалов, 2014, 50(6), 32–37.
4. Курбанов К.Б., Шоюбов Н.З. Роль структурных особенностей аморфно-кристаллических полимеров в процессах электризации. ЭОМ. 2000, (6), 47–49
5. Bowler N., and Liu Sh. Aging Mechanisms and Monitoring of Cable Polymers International Journal of Prognostics and Health Management, ISSN 2153-2648, 2015, 029.
6. Tanaka T., "Aging of polymeric and composite insulating materials. Aspects of interfacial performance in aging," in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 9, no. 5, pp. 704-716, Oct. 2002, doi: 10.1109/TDEI.2002.1038658.
7. Gojayev E., Zeynalov Sh., Kerimov F., Suleimanova A. Temperature-time dependence of the electrical strength of a polyethylene film and its composition at different temperatures, Physical sciences, Danish Scientific Journal №60, 2022, p.61
8. Багиров М.А., Абасов С.А., Аббасов Т.Ф., «Температурная и временная зависимость электрической и механической прочности полимерных плёнок», Физика твердого тела, 15, 1973, стр. 1579

UOT: 539

PASC: 73.61.r Electrical properties of specific thin films

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТРОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ $TlInSe_2$ И $TlInTe_2$ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

МАМЕДОВА Г.Н.

Нахчиванский государственный университет
gulsen3yasar@mail.ru

РЕЗЬЮМЕ

В работе изложены результаты исследования электропроводности тройных соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ в сильных электрических полях, в импульсном режиме в зависимости от температуры и напряженности электрического поля, в температурном интервале 77-300K при напряженностях 115кВ/м, 150 кВ/м, 180 кВ/м, 230 кВ/м. Определены изменения энергии активации носителей под влиянием электрического поля. Выявлено, что с увеличением напряженности электрического поля энергии активации носителей тока уменьшается в обоих соединениях. По температурной зависимости удельной проводимости при различных температурах показала, что с увеличением температуры происходит увеличения электропроводности. Определены энергия активации носителей тока в зависимости от напряженности электрического поля и электронная часть диэлектрической проницаемости указанных фаз. Установлены закономерности изменения параметров в зависимости от температуры и напряженности внешнего электрического поля.

Ключевые слова: соединения $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$, сильное электрическое поле, энергии активации, электронная часть диэлектрической проницаемости.

$TlInSe_2$ VƏ $TlInTe_2$ ÜÇQAT BİRLƏŞMƏLƏRİNİN GÜCLÜ ELEKTRİK SAHƏLƏRİNDƏ ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

XÜLASƏ

Təqdim olunan işdə $TlInSe_2$ və $TlInTe_2$ üçqat birləşmələrinin elektrik keçiriciliklərinin qüvvətli elektrik sahəsindən, impuls rejimində temperaturdan və elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olaraq tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Tədqiqatlar 77-300K temperatur intervalında və 115kV/m, 150 kV/m, 180 kV/m, 230kV/m sahə intensivliklərində aparılmışdır. Qüvvətli elektrik sahəsinin təsiri ilə aşqarların yükdaşıyıcılarının aktivləşmə enerjilərinin sahə intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsi və tədqiq olunan kristallarda dielektrik nefuzluğunun elektron toplananının dəyişməsi təyin edilmişdir. Hər iki birləşmədə elektrik keçiriciliyinin temperaturdan və xarici elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluqları müəyyən olunmuşdur.

Açar sözlər: $TlInSe_2$ və $TlInTe_2$ birləşmələri, güclü elektrik sahəsi, aktivləşmə enerjiləri, dielektrik nüfuzluğunun elektron toplananı

INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF TERNARY COMPOUNDS $TlInSe_2$ AND $TlInTe_2$ IN STRONG ELECTRIC FIELDS

ABSTRACT

The paper presents the results of a study of the electrical conductivity of triple compounds and in strong electric fields, in a pulsed mode, depending on temperature and electric field strength, in the temperature range of 77-300K at intensities of 115 kV/m, 150 kV/m, 180 kV/m, 230 kV / m. Changes in the activation energy of carriers under the influence of an electric field are determined. It was found that with an increase in the electric field strength, the activation energy of current carriers decreases in both compounds. According to the temperature dependence of the specific conductivity at different temperatures, it showed that with increasing temperature, an increase in electrical conductivity occurs. The activation energy of current carriers as a function of the electric field strength and the electronic part of the permittivity of these phases are determined. Regularities of parameter change depending on temperature and external electric field intensity are established.

Keywords: compounds and , strong electric field, activation energies, electronic part of permittivity.

Введение

Как известно, бинарные соединения $TlSe$ отличаются крайними специфическими особенностями и сами по себе представляют большой научный интерес: металлические атомы таллия проявляя одно- и трехвалентное состояние в решетке, принимают и два разных кристаллографических положения с октаэдрическими координациями. Решетки $TlSe$ образуются из двух самостоятельных структурных единиц: из восьмигранника с ковалентной связью между $Tl^+ - Se$ и тетраэдра с ковалентной связью между $Tl^{+3} - Se$. Таким образом, соединения $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$, при наличии их изоструктурности отличаются только соответствующими анионными радикалами $[Tl^+Se_2]^-$ и $[Tl^{+3}Te_2]^-$ [1,2]. Реальность существования и проявления полупроводниковых особенностей соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ представляется естественной с точки зрения электронной достройки соответствующих внешних оболочек составляющих компонент. Например, для $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ пары атомов халькогена могут достраиваться до нейтрального криптона $4s^24p^6$ и ксенона $5s^25p^6$ соответственно за счет $6p^1$ электронов таллия и $5s^25p^1$ электронов индия [3].

В литературе [4-19] имеются многочисленные научные работы, посвященные физико-химическому, рентгенографическому анализу исследованию электрофизических, тепловых, оптических и фотоэлектрических свойств тройных соединений типа $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$. Однако, данные по исследованию электропроводности в сильных электрических полях соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ отсутствуют.

В свете выше изложенного, целью настоящей работы является исследование электропроводности тройных соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ в сильных электрических полях.

Методика эксперимента

Как известно, при исследованиях эффекта сильного электрического поля в полупроводниках во избежание нагрева образцов в большинстве случаев измерения проводятся в импульсном режиме. Импульсный режим создает возможность получить значительную мощность генерируемых импульсов в сотни и тысячи раз превосходящую мощность источников постоянного напряжения. Это позволяет в сильных электрических полях исследовать проводимость низкоомных полупроводников.

Следует отметить, что применение импульсного режима имеет большое значение также при измерении электропроводности полупроводников в слабых полях, так как при этом исключается поляризация образцов и контактное сопротивление.

В зависимости от величины удельного сопротивления полупроводника с целью исключения тепловых эффектов, связанных с нагревом образца током, необходимо иметь возможность вариации параметров импульса (форма, частота следования, длительность, фронт).

Электропроводность исследованных нами сплавов в зависимости от напряженности электрического поля измерялась в интервале 77-300 К. Измерения проводились в специально сконструированном держателе, размещенном в стеклянном приборе, который находился в термостатирующем устройстве [3].

Перемещением прибора в сосуде Дьюара достигались разные температуры от комнатной до температуры жидкого азота. Однократное снятие зависимости электроп-

роводности образцов от напряженности электрического поля занимало 300-600с а температура в течении 1800сек практически не менялась с точностью до 0,5, К. При помощи 3-4 пробок из пенопласта удается поддержать температуру образца постоянной в течение часа.

Температура образца измерялась медь- константановой термопарой. Спай термопары непосредственно прижимался к образцу. Термо-э.д.с. термопары измерялись потенциометром типа ПП-63.

Учитывая то, что электропроводность исследуемых фаз резко увеличивается под влиянием видимого света, образцы тщательно экранировались.

Оценка погрешностей измерений проводилась на основании общеизвестной теории ошибок. Суммарная погрешность не превышала $\pm 10\%$.

Для нанесения электрических контактов применялся метод пайки.

Вольтамперные характеристики созданных контактов, в диапазоне использованных токов, были линейными, что свидетельствовало об омичности контактов.

Выбор длительности действия прямоугольного импульса напряжения на образец обуславливается величиной напряженности электрического поля, удельным сопротивлением образца и характеристиками материала, плотностью и теплоемкостью.

Практическое отсутствие нагрева образца током проверялось следующим образом.

При постоянной частоте следования длительность импульсов увеличивалась до тех пор пока не начинала изменяться электропроводность. Затем измерения проводились при длительностях значительно меньше, чем определенная таким образом критическая. Монокристаллы соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ выращивались по методике описанной в работе [20].

Результаты и их обсуждение

Электропроводность $TlInTe_2$ в сильных импульсных электрических полях исследовалась в интервале температур 77-300 К. Измерения проводились как вдоль, так и поперек слоев. Расстояние между электродами варьировалось в пределах $(0.5-2) \cdot 10^{-3}$ м. Омичность контактов проверяли по вольтамперной характеристике.

На рис.1. представлены спектры зависимости $\lg\sigma=f(E^{1/2})$ для образцов $TlInTe_2$ при различных температурах. Как видно из рисунка, наклон зависимости $\lg\sigma=f(E^{1/2})$ при понижении температуры от 300 до 77 К увеличивается.

В широком интервале температур и полей наблюдается экспоненциальный рост электропроводности в зависимости от напряженности электрического поля. Наклон $\lg\sigma=f(E^{1/2})$ при понижении температуры от 300 до 77 К увеличивается в хорошем согласии с формулой $\beta = (1/kT)\sqrt{e^3/4\pi\epsilon\epsilon_0}$, где e – заряд электрона, k , - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, ϵ - диэлектрическая проницаемость, ϵ_0 – электрическая постоянная.

На рис. 2. представлена зависимость коэффициента β от температуры для $TlInTe_2$. Во всем температурном интервале линейно растет с уменьшением температуры ($\beta \sim T^{-1}$). Подставляя экспериментально найденные значения β

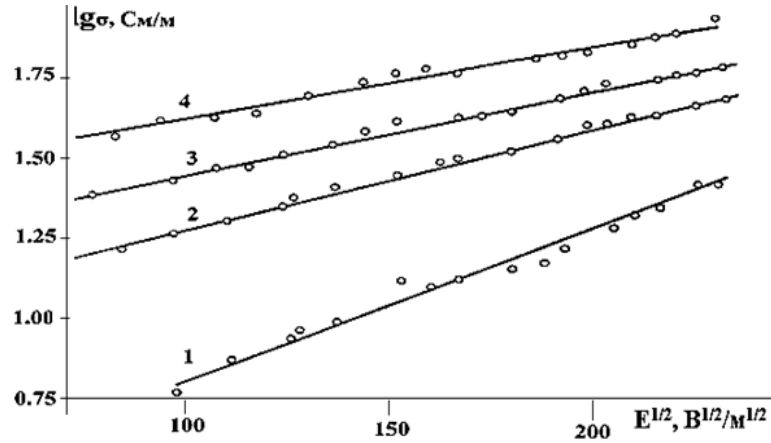


Рис.1. Зависимость электропроводности $TlInTe_2$ от напряженности электрического поля при температурах 115 (1), 150(2), 180 (3) и 230 К (4).

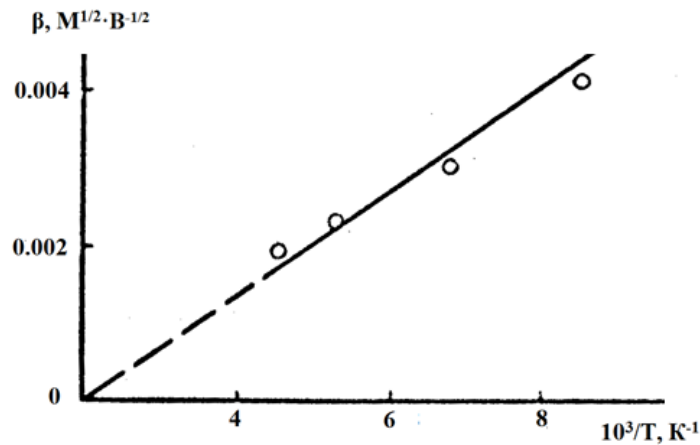


Рис.2. Температурная зависимость коэффициента β для $TlInTe_2$.

в приведенную формулу, мы определили значения электронной части диэлектрической проницаемости для $TlInTe_2$.

Температурная зависимость электропроводности исследована при различных электрических полях. Как видно из зависимости $lg\sigma=f(10^3/T)$ (рис. 3) величина электропроводности при данной температуре с ростом электрического поля увеличивается, причем наклон прямых $lg\sigma=f(10^3/T)$ уменьшится с увеличением напряженности электрического поля.

Этот наклон характеризует энергию активации носителей тока в сильных электрических полях. Зависимость энергии активации носителей тока от напряженности электрического поля показана на рис.4. Изменение энергии активации в зависимости от электрического поля согласуется с теорией Френкеля, согласно которой при термоэлектронной ионизации энергия активации линейно уменьшается с ростом напряженности поля:

y^*

$$\Delta E = \Delta E_g - 2e\sqrt{eE/\epsilon} = \Delta E_g - \Delta E_n$$

где ΔE_g -энергия активации в отсутствие электрического поля, ΔE - изменение энергии активации под влиянием электрического поля.

Исследование электропроводности монокристаллов TlInTe_2 показало, что проводимость в направлении, перпендикулярном к слоям тетраэдров (σ_{\perp}) намного меньше, чем в направлении, параллельном слоям (σ_{\parallel}), что находится в косвенном согласии с рассуждениями о зонной структуре и химических связях в TlInTe_2 [21]. Как видно из рис. 4. отношение $\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp}$ с ростом напряженности электрического поля и с уменьшением температуры увеличивается. Это свидетельствует о том, если вдоль слоев, как отмечалось выше, рассеяние носителей происходит в основном на акустических фоновых, то в перпендикулярном направлении начинает играть роль и другой механизм рассеяния или другой механизм переноса носителей тока.

Полученные результаты можно интерпретировать с позиции теории Френкеля-Пула, которая дает основание полагать, что рассмотренные зависимости электропроводности, энергии активации ΔE и коэффициента β

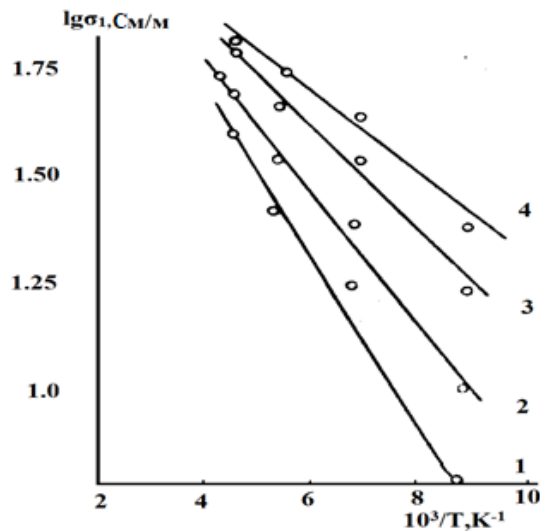


Рис.3. Температурная зависимость электропроводности TlInTe_2 при значениях напряженности: 2500 (1), 5600 (2), 10000 (3), 15600 В/м (4).

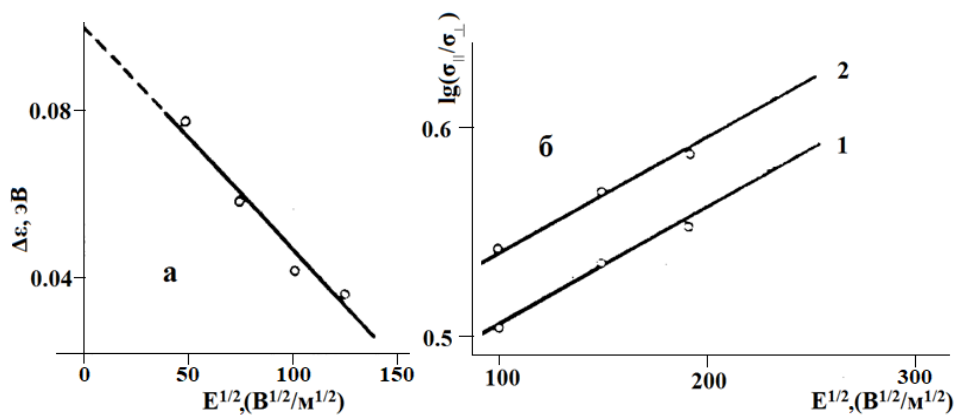


Рис.4. Зависимость энергии активации носителя тока (а) и $\lg(\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp})$ (б) от напряженности электрического поля образцов TlInTe_2 .

от напряженности электрического поля и температуры в сильных электрических полях обусловлены увеличением концентрации носителей тока в $TlInTe_2$ за счет действия механизма термоэлектронной ионизации. Согласно исследованию эффект Холла, электропроводности в слабых полях, подвижность носителей тока с уменьшением температуры возрастает, что также подтверждает изложенные рассуждения.

Аналогично предыдущему исследована электропроводность $TlInSe_2$ в интервале температур (77-300) К в сильных электрических полях.

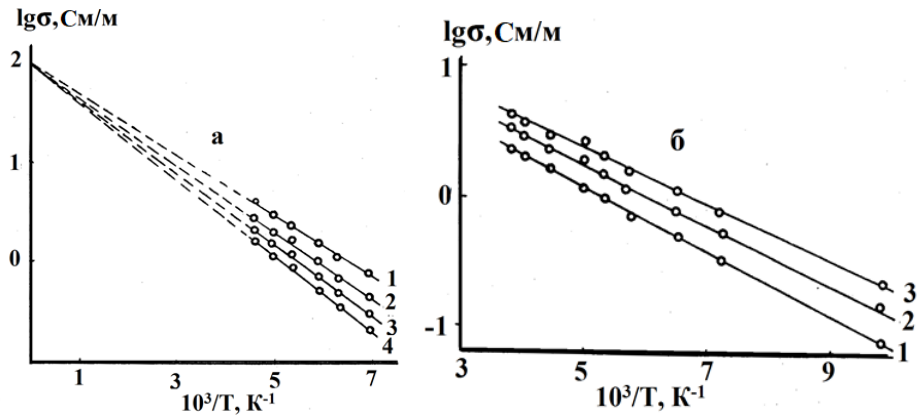


Рис. 5. Температурная зависимость электропроводности $TlInSe_2$:
 (а) $lg \sigma_{\perp}$, при $35 \cdot 10^5$ (1), $20 \cdot 10^5$ (2), $9 \cdot 10^5$ (3), $3 \cdot 10^5$ В/м (4).
 (б) $lg \sigma_{\parallel}$, при $3 \cdot 10^5$ (1), $9 \cdot 10^5$ (2), $20 \cdot 10^5$ В/м (3).

Как видно из рис. 5 наклон зависимостей с ростом напряженности электрического поля так, как и для $TlInTe_2$ уменьшается.

Зависимость энергии активации от \sqrt{E} представлена на рис.6. Видно, что энергия активации линейно уменьшается с ростом \sqrt{E} , т.е. изменение электропроводности в $TlInSe_2$ как в слабых, так и сильных полях носит такой же характер как $TlInTe_2$.

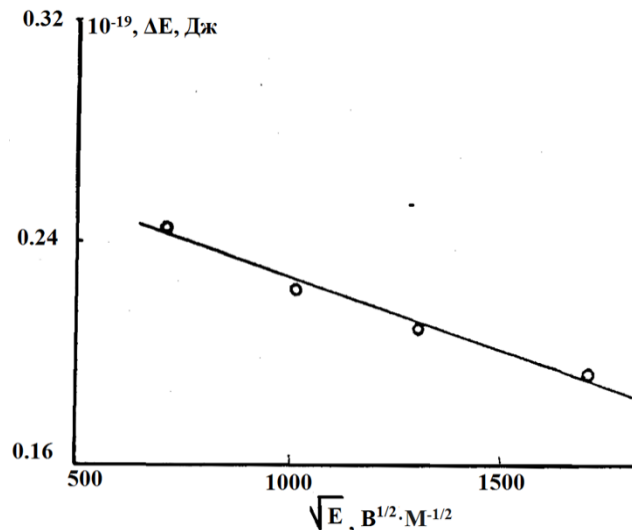


Рис.6 Зависимость энергии активации $TlInSe_2$ от \sqrt{E} в направлении перпендикулярном слоям.

В то же время, как видно из приведенных данных ширины запрещенных зон соединений $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ существенно различаются. Это отличие может найти

объяснение в рамках конфигурационной модели. Известно что, формирование и свойства соединений халькогенов с элементами III В подгруппы определяются типами Sp^3 - конфигураций изолированных атомов компонентов, способностью S-электронов к переходам на p- состояния, а также возможностями образования при взаимодействии с атомами халькогенов стабильных электронных конфигураций.

Взаимодействие атомов III В подгруппы Tl, In с халькогенами осуществляется за счет $6p'$ электронов таллия и $5s^2 5p'$ электронов индия.

Вероятность образования стабильных конфигураций (s^2p^6) при переходе от селенида к теллуриду уменьшается. В этой связи степень ионности химической связи уменьшается, т.е. уменьшаются статические веса s^2p^6 конфигураций и происходит уменьшение ширины запрещенной зоны.

Выводы:

Исследованиями электропроводности в сильных электрических полях выявлено, что изменение энергии активации и коэффициента β от температуры напряженности электрического поля обусловлены увеличением концентрации носителя тока в соединениях $TlInSe_2$ и $TlInTe_2$ за счет действия термоэлектронной ионизации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Müller D., Eulenberger G. und Hahn H. Über ternare Thalliumchalkogenide mit thalliums-selennid-struktur // Z. anorg. allg. chem. 1973, v. 398, №2, pp. 207-220.
2. Hahn H., Weltman B. Über ternare chalkogenide des Thalliums mit Gallium und Indium // Naturwissenschaften, 1967, v. 54, №2, pp.42.
3. Годжаев Э.М. Структура, электронные и тепловые свойства сложных полупроводников на основе sp и 4f элементов, автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Баку- ИФАН, 1985, 38с.
4. Годжаев Э.М., Оруджев Г.С., Кафарова Д.М. Зонная структура и диэлектрическая проницаемость соединения $TlGaTe_2$, ФТТ, 2004, т.46, в. 5, с. 811 – 813
5. Аллахвердиев К.Р., Гусейнов Д.А., Мамедов Т.Г., Мамедов Т.С., Эфендиева И.К. Тепловое расширение и изотермическая сжимаемость $TlInTe_2$ // Физика твердого тела, 1984, т.26, №7, с.2219-2221.
6. Виноградов Е.А., Гасанлы Н.М., Джавадов Б.М., Таиров В.И. Инфракрасные спектры отражения слоистых монокристаллов $TlGaTe_2$, $TlInTe_2$ и $TlInSe_2$ // ФТТ, 1979, т.21, №9, с.2793-2796.
7. Гасанлы Н.М., Джавадов Б.М., Таиров В.И. Спектры комбинационного рассеяния света монокристаллов $TlInSe_2$, $TlInTe_2$ и $TlGaTe_2$. Сб.: Физические свойства сложных полупроводников. Баку: 1982, с.86-90.
8. Годжаев Э.М., Кафарова Д.М. Тепловое расширение и изотермическая сжимаемость $TlGaTe_2$ // Неорганические материалы, 2004, т.40, №9, с.1060-1061 (Inorganic Materials. 2004, Vol.40, №9, pp.926-931).
9. Годжаев Э.М., Оруджев Г.С., Кафарова Д.М. Зонная структура и диэлектрическая проницаемость соединения $TlGaTe_2$ // ФТТ, 2004, том 46, в.5, с. 811-813 (Physics of the solid state, Vol. 46, №5, pp. 833-835). (2004)
10. Allakhverdiev K.R., Gasumov Sh. G. and Mamedov T.G. Effect of hydrostatic pressure on the electrical conductivity and Hall coefficient of $TlGaTe_2$ crystals // Phys. Stat. Sol. (a), 1986, 94, pp. K143.
11. Bakhysnov A.E., Agaeva M.F., and Darvish A.M. Electrical and optical properties of $TlInSe_2$ single crystals // Phys. stat. sol.(b), 1979, 91, pp.K31.

12. Haniyas M., Anagnostopoulos A.N. Negative –differential –resistance effects in the $TlGaTe_2$ ternary semiconductor // Phys.Rev. B, 1993, v.160, №8, pp. 4261-4266.
13. Okazaki K., Tanaka K., Matsuno J., Fujimori A., Mattheiss L.F., IIDA S., Kerimova E., and Mamedov N. Angle – resolved photoemission and band –structure results for linear chain $TlGaTe_2$ // Phys. Rev. B64, 2001, pp. 045210.
14. E.M. Gojayev, Z.A. Jahangirli Calculation of electronic structure of triple type compounds $A^{III}B^{III}X^{VI}_2$ with chain structure Advanced Physical Research Vol.2, No.1, 2020, p.26-36
15. A.Pashaev, A.Badalov, R.Sardarly, O.Samedov, N. Alieva, R.Agayeva, A.Orujova, A.Sardarli Avestia Publishing International Journal of Theoretical and Applied Nanotechnology Volume 2, Issue 1, Prospective Application of $A^3B^3C^6_2$ Type Semiconductors for Developing Nano-size Electronic Devices p. 9-17(2014)
16. E.M. Godzhaev, G.S. Orudzhev, D.M. Kafarova “Band structure and permittivity of the $TlGaTe_2$ compound”, Physics of Solid State, 46, 833-835 (2004)
17. O. Z. Alekperov, A. I. Najafov, E. Nakhmedov, O. A. Samedov, N. A. Aliyeva, and G. Jafarova High-temperature phase transitions in $TlInTe_2$ crystals, Journal of Applied Physics 123, 135701 (2018)
18. G. S. Orudzhev, É. M. Godzhaev, R. A. Kerimova & É. A. Allakhyarov Band structure and optical properties of the $TlInTe_2$ chain compound *Physics of the Solid State* **volume 48**, pages 42–46 (2006)
19. Eldar M. Gojaev, Sevda Kh. Agaeva, Samire O. Kulieva, Mahir T. Dadashov, Piezomodulation of Connection Conductance $TlInTe_2$ Open Journal of Inorganic Non-Metallic Materials, 2016, 6, 25-32
20. Годжаев Э.М., С.Р.Джафарова, К.Д.Гюльмамедов,Э.М.Мамедов,С.С.Османова Синтез выращивание монокристаллов $TlInSe_2$ и $TlGaSe_2$ Неорганические материалы, 2009, т. 45, №7, с.
21. Годжаев Э.М.,Г.С.Джафарова С.И.Сафарова Зонная структура $TlInTe_2$ и термоэффективность твердых растворов на его основе Ж.Термоэлектричество, №1, с.28-33, 2013, Украина.

*UOT: 539**PASC:78.30.J INFRARED AND RAMAN SPECTRA*

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА В КОМПОЗИТАХ ТИПА ПЭНП+ХОБ% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$

Д.М. АЛЕСКЕРОВА

Сумгаитский государственный университет

durdane.samedova@mail.ru

РЕЗЬЮМЕ

Методами горячего прессования были получены композиты ПЭНП+Х об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$. Был произведен рентгенофазовый анализ композитов, на основе рентгенографического анализа определены степень кристаллизации и выявлено, что с увеличением объемного содержания наполнителя степень кристаллизации увеличивается. С помощью атомно – силового микроскопа исследовались микрорельеф поверхности полученных композитов, а также исследовались спектры комбинационного рассеивания исходных соединений и композитов ПЭНП+Х об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, где $x = 15$ и 20 . Изменения спектров комбинационного рассеивания были проведены на фонкокальном рамановском микроскопе NanoFinder30. В качестве источником возбуждения использовался лазер Nd:YAG с выходной длиной волны излучения 532 нм и максимальной мощностью 10 мВт. Выявлено, что в спектрах Sb_2Te_3 ; Bi_2Te_3 и комбинационного рассеяния дополнительно появляются три ярко выраженных максимума. Интенсивности этих максимумов слабо зависят от содержания полупроводникового соединения.

Ключевые слова – микрорельеф поверхности, комбинационное рассеяние света композиты ПЭНП+Х об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$

FAZA ANALİZİ VƏ İŞİĞİN KOMBİNASİON SƏPİLMƏ SPEKTRİNİN ASPE+X HƏCM% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ TİP KOMPOZİTLƏRDƏ TƏDQIQI

XÜLASƏ

ASPE+x həc% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ kompozitləri isti presləmə üsulu ilə alınmışdır. Kompozitlərin rentgenofaza analizi aparılıb, analiz əsasında nümunələrin kristallaşma dərəcələri müəyyən edilmişdir ki, doldurucunun həcmi miqdarının artması ilə kristallaşma dərəcələri də artır. Atom qüvvət mikroskopundan istifadə etməklə, kompozitlərin səthlərinin mikirorelyefinin tədqiqi aparılmış, həmçinin ilkin birləşmələrin və kompozitlərin ASPE+x həc% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ ($x = 15$ və 20) Raman səpilmə spektrləri tədqiq edilmişdir. Raman spektrlərində Nanofinder 30 fonkokal Raman mikroskopunda aparılmışdır. Həyəcanlandırıcı mənbəyi kimi çıxış dalğası uzunluğu 532 nm və maksimum gücü 10 mVt olan Nd:YAG lazerindən istifadə edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, Sb_2Te_3 və Bi_2Te_3 birləşmələrindən fərqli olaraq onların əsasında alınmış kompozitlərin Raman spektrlərində əlavə 3 maksimum müşahidə edilir.

Açar sözlər: səthlərin mikirorelyefi, işığın kombinasion səpilməsi ASPE+x həc% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ kompozitləri

PHASE ANALYSIS AND INVESTIGATION OF THE RAMAN SCATTERING SPECTRUM IN LDPE+XVOL% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ COMPOSITES

ABSTRACT

LDPE + x vol% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ composites were obtained by hot pressing methods. An X-ray phase analysis of the composites was performed, the degree of crystallization was determined on the basis of X-ray analysis, and it was found that with an increase in the volume content of the filler, the degree of crystallization increases. Using an atomic force microscope, the microrelief of the surface of the obtained composites was studied, as well as the Raman scattering spectra of the initial compounds and composites LDPE + x vol% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, where $x = 15$ and 20 . Changes in the Raman spectra were carried out on a phonoccal Raman microscope NanoFinder30. An Nd:YAG laser with an output wavelength of 532 nm and a maximum power of 10 mW was used as the excitation source. It was found that in the spectra of Sb_2Te_3 ; Bi_2Te_3 and Raman scattering additionally appear three pronounced maxima. The intensity of these maxima weakly depends on the content of the semiconductor compound.

Keywords – surface microrelief, Raman scattering of light LDPE + x vol% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ composites

Введение

Как известно, соединения Bi_2Te_3 и твердые растворы на их основе нашли практическое применение в качестве термоэлектрических материалов. Для более широкого использования необходимо повышение термоэлектрической эффективности, что обычно достигается легированием этих соединений или подбором определенных составов твердых растворов. Теоретические расчеты [1] показывают, что значительного увеличения термоэлектрической эффективности можно достичь использованием низкоразмерных структур (тонкие пленки, нанонити, нанокристаллы и т. п.) на основе этих соединений. Из результатов теоретических [3] и экспериментальных [4,5] исследований следует, что значительного повышения этого параметра можно достичь в низкоразмерных структурах, полученных из этих материалов различными способами: например, в сверхрешетках твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ [3,4], в ультратонких пленках Bi_2Te_3 и Bi_2Se_3 , выращенных на подложках GaAs методом молекулярно-лучевой эпитаксии [6], в пленках Bi_2Se_3 на кремниевых подложках, полученных методом термического осаждения из химического раствора (polyol method) [7], а также в ультратонких слоистых чешуйках Bi_2Te_3 [8], полученных из объемного монокристалла механическим отслаиванием подобно получению графена из графита. Кроме того, в последнее время интерес к вышеуказанным материалам усилился в связи с тем, что соединения группы $\text{A}^{\text{V}}\text{B}^{\text{VI}}$ причисляют к топологическим изоляторам. Это — сравнительно недавно открытый новый класс материалов, проявляющих диэлектрические свойства в объеме, в которых, однако носители заряда могут свободно перемещаться у поверхности [9–12]. С учетом вышеизложенного нашей целью являлось получение композиционных материалов на основе ПЭВД, модифицированного твердым раствором $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, исследования комбинационного рассеяния света в композитах $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, где, $x=15; 20$.

2. Методика эксперимента

Для получения полимерного композита ПЭНП+ХОБ% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ в соответствии со стехиометрией порошок полимера (ПЭНП) перемешивают с порошком полупроводникового материала. Затем из смеси прессуют пленки толщиной 100 мкм при температуре плавления полимерной матрицы и давлении 10–15 МПа между алюминиевой фольгой. Изготовленные образцы с фольгой быстро охлаждают в воде и фольгу удаляют. Известно, что метод горячего прессования является более эффективным для формирования беспористых наполненных и высоконаполненных композиционных материалов. Спектры комбинационного рассеяния (КР) света проводились на трехмерном конфокальном романовском микроспектрометре Nanofinder 30 (Tokyo Instr.), длина волны возбуждения $\lambda = 532$ нм. Радиус сечения, падающего на нано композит лазерного луча, был равен 4 мкм. Исследования проводились в геометрии обратного рассеяния. Приемником излучения служила охлаждаемая CCD-камера (-70°C), работающая в режиме счета фотонов. Все измерения сделаны при времени экспозиции 20 с и мощности возбуждающего излучения 10 мВт. Точность определения положения спектральной линии была не хуже 0.5 см^{-1} .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Были проведены рентгенофазовый анализ полученных композитов (рис.1). Выявлено, что с увеличением объемного содержания наполнителя интенсивности максимумов увеличивается с увеличением степени кристалличности.

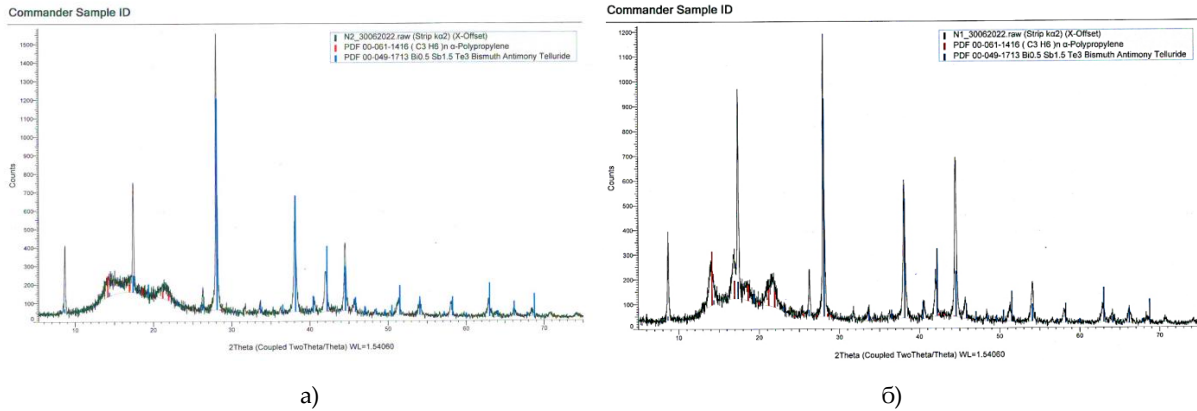


Рис.1. Рентгенограмма композитов ПЭНП+Хоб% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, где а) $x=15$, б) $x=20$.

Были изучены микрорельеф поверхности композитов в 2D и 3D режимах. Результаты приведены на рис.2, как показано из рис.2 с увеличением содержания наполнителя поверхности композитов сглаживается.

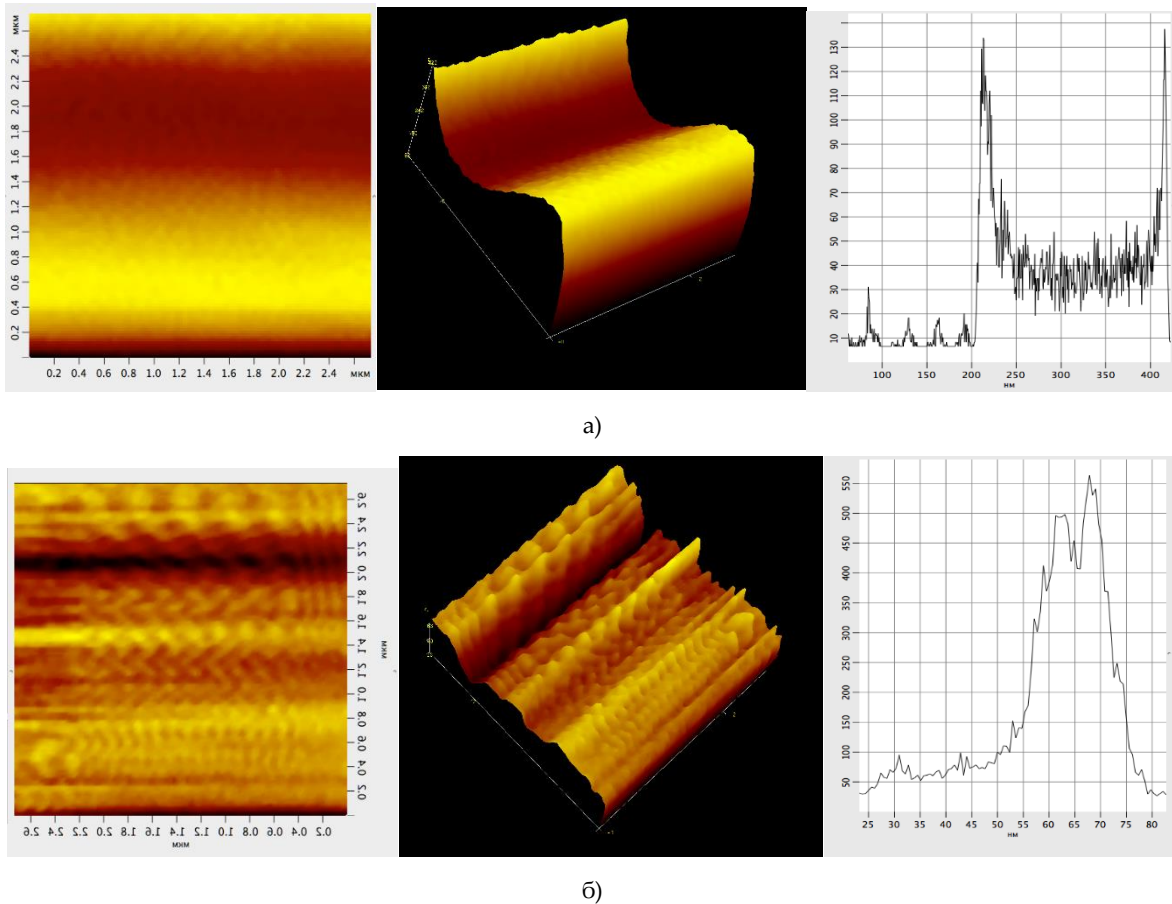


Рис.2. Исследования микрорельефа поверхности ПЭНП+Хоб% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ (где $x=15$ (а) и 20 (б)) композитов в 2D, 3D масштабах и их гистограмма.

Как известно, в элементарные ячейки Bi_2Te_3 Sb_2Te_3 содержатся 5 атомов и соответственно существует 15 решеточных колебательных мод в центре зоны Брюллиэна ($q=0$) три из которых акустические и 12 оптические моды. 12 оптические мод характеризуются симметрией $2E_g + 2A_{1g} + 2E_u + 2A_{1u}$, каждая из мод E_g и A_{1g} дважды

вырождена [13] показано, что при комбинациях E_g^1 и E_g^2 смещение атомов происходит перпендикулярно оси \vec{c} – оси симметрии. 3-20 порядка, т.е. плоскости слоев, а при A_{1g}^1, A_{1g}^2 смещение атомов происходит соответственно оси \vec{c} , т.е. перпендикулярно плоскости слоев (рис. 3).

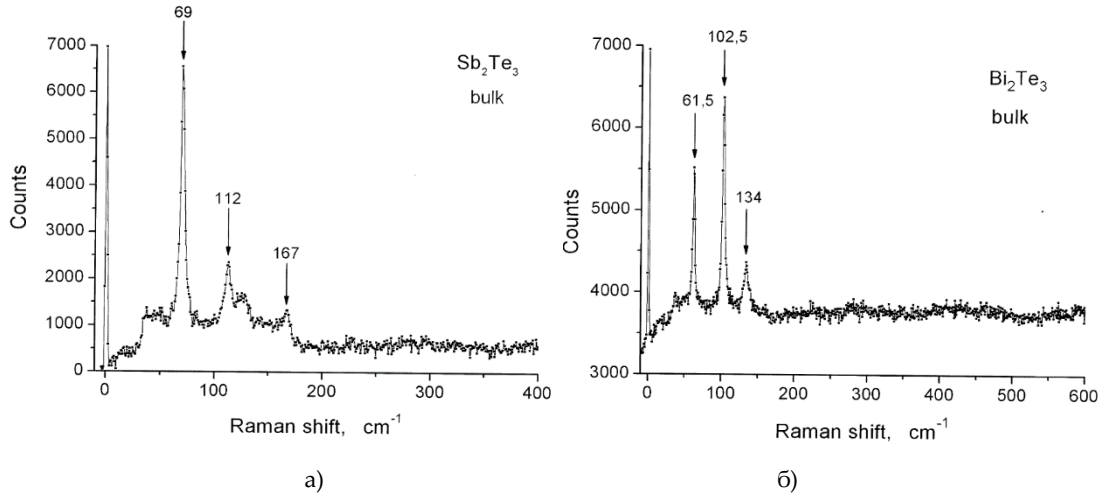


Рис.3. Спектры комбинационного рассеяния света в Sb_2Te_3 (а) и Bi_2Te_3 (б)

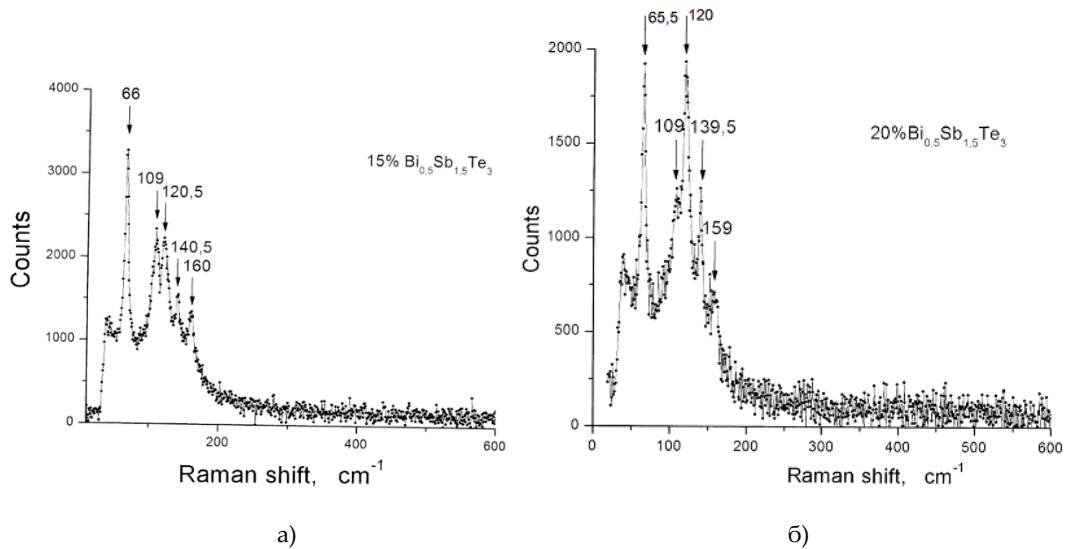


Рис.4. Спектры комбинационного рассеяния света в композитах ПЭНП+15об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ (а) и ПЭНП+20об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ (б)

На рис. 4. приведены результаты исследования спектров комбинационного рассеяния на композитах ПЭВД+15об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ и ПЭВД+20об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$. Из рис.2а в исследованных композитах наблюдаются три активных рамановских мод при частотах 62 cm^{-1} (A_{1g}^1). С увеличением объемного содержания наполнителя происходит увеличение число спектров рамановских мод. Эти максимумы соответствуют A_{1g}^2, E_1^2, g_1^2 модах для Bi_2Te_3 наблюдаются при частотах 61,5 cm^{-1} , 134 cm^{-1} , 102,5 cm^{-1} для Sb_2Te_3 при частотах 69 cm^{-1} , 160 cm^{-1} , 112 cm^{-1} на композите с наполнителем ПЭВД+15 об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ при 66 cm^{-1} , 109 cm^{-1} , 120,5 cm^{-1} , 140,5 cm^{-1} и 160 cm^{-1} , в композите с наполнителем ПЭВД+20 об% $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$

максимумы наблюдаются при частотах $65,5\text{см}^{-1}$, 109см^{-1} , 120см^{-1} , $139,5\text{см}^{-1}$ и 159см^{-1} , анализ результатов спектров комбинационного рассеивания показывает, что в исследованных композитов дополнительно наблюдается 3 ярко выраженных максимума. С увеличением объемного содержания существенных изменений спектра комбинационного рассеяния не наблюдаются. Однако под влиянием наполнителя появляются дополнительные максимумы. Интенсивности этих максимумов не значительно увеличивается содержания наполнителя. Эти результаты свидетельствует о том, что в этих материалах фазовые переходы не наблюдаются.

Заключение

Выявлено, что с увеличением объемного содержания наполнителя кристалличность композитов увеличивается. В спектрах комбинационного рассеяния появляются дополнительные три максимума.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б.М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов. *Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi₂Te₃* (М., Наука, 1972).
- [3] L.D. Hicks, M.S. Dresselhaus. *Phys. Rev. B*, **47**, 12 727 (1993).
- [4] R. Venkatasubramanian, E. Siivola, T. Colpitts, B. O'Quinn. *Nature*, **413**, 597 (2001).
- [5] W. Xie, X. Tang, Y. Yan, Q. Zhang, T.M. Tritt. *J. Appl. Phys.*, **105**, 113 713 (2009).
- [6] X. Liu, D.J. Smith, J. Fan, Y.-H. Zhang, H. Cao, Y.P. Chen, J. Leiner, B.J. Kirby, M. Dobrowolska, J.K. Furdyna. *Appl.Phys. Lett.*, **99**, 171 903 (2011).
- [7] J. Zhang, Z. Peng, A. Soni, Y. Zhao, Y. Xiong, B. Peng, J.B. Wang, M.S. Dresselhaus, Q. Xiong. *Nano Lett.*, **11**, 2407(2011).
- [8] D. Teweldebrhan, V. Goyal, A.A. Balandin. *Nano Lett.*, **10**, 1209 (2009).
- [9] Т.В. Меньщикова, С.В. Еремеев, Ю.М. Коротеев, Е.В. Чулков. *Письма ЖЭТФ*, **93**, 18 (2011).
- [10] S.V. Eremeev, G. Bihlmayer, M.G. Vergniory, Yu.M. Koroteev, T.V. Menshikova, J. Henk, A. Ernst, E.V. Chulkov. *Phys. Rev.B*, **83**, 205 129 (2011).
- [11] X.Q. Dong, Y.S. Hor, Jun Xiong, R.J. Cava, N.P. Ong. *Science*, **329**, 821 (2010).
- [12] Y.L. Chen, J.G. Analytis, J.-H. Chu, Z.K. Liu, S.-K. Mo, X.L. Qi, H.J. Zhang, D.H. Lu, X. Dai, Z. Fang, S.C. Zhang, I.R. Fisher, Z. Hussian, Z.-X. Shen. *Science*, **325**, 178 (2009).
- [13] W. Richter, H. Kohler, C.R. Becker. *Phys. Status Solidi B*, **84**, 619 (1977).

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

1. "The Baku Engineering University Journal-Physics" accepts original unpublished articles and reviews in the research field of the author.
2. Articles are accepted in English.
3. File format should be compatible with **Microsoft Word** and must be sent to the electronic mail (**journal@beu.edu.az**) of the Journal. The submitted article should follow the following format:
 - Article title, author's name and surname
 - The name of workplace
 - Mail address
 - Abstract and key words
4. The title of the article should be in each of the three languages of the abstract and should be centred on the page and in bold capitals before each summary.
5. **The abstract** should be written in **9 point** type size, between **100** and **150** words. The abstract should be written in the language of the text and in two more languages given above. The abstracts of the article written in each of the three languages should correspond to one another. The keywords should be written in two more languages besides the language of the article and should be at least three words.
6. **UDC** and **PACS** index should be used in the article.
7. The article must consist of the followings:
 - Introduction
 - Research method and research
 - Discussion of research method and its results
 - In case the reference is in Russian it must be given in the Latin alphabet with the original language shown in brackets.
8. **Figures, pictures, graphics and tables** must be of publishing quality and inside the text. Figures, pictures and graphics should be captioned underneath, tables should be captioned above.
9. **References** should be given in square brackets in the text and listed according to the order inside the text at the end of the article. In order to cite the same reference twice or more, the appropriate pages should be given while keeping the numerical order. For example: [7, p.15].

Information about each of the given references should be full, clear and accurate. The bibliographic description of the reference should be cited according to its type (monograph, textbook, scientific research paper and etc.) While citing to scientific research articles, materials of symposiums, conferences and other popular scientific events, the name of the article, lecture or paper should be given.

Samples:

- a) **Article:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjajev N.M.. *Spatial and electronic structure of monomerrik and dimeric conapeetes of carnosine üith zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
 - b) **Book:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
 - c) **Conference paper:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information – Commu-nication Technologies in Science and education. II International Conference."Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", *Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391*
References should be in 9-point type size.
10. The margins sizes of the page: - Top 2.8 cm. bottom 2.8 cm. left 2.5 cm, right 2.5 cm. The article main text should be written in Palatino Linotype 11 point type size single-spaced. Paragraph spacing should be 6 point.
 11. The maximum number of pages for an article should not exceed 15 pages
 12. The decision to publish a given article is made through the following procedures:
 - The article is sent to at least to experts.
 - The article is sent back to the author to make amendments upon the recommendations of referees.
 - After author makes amendments upon the recommendations of referees the article can be sent for the publication by the Editorial Board of the journal.

YAZI VƏ NƏŞR QAYDALARI

1. "Journal of Baku Engineering University" Fizika- əvvəllər nəşr olunmamış orijinal əsərləri və müəllifin tədqiqat sahəsi üzrə yazılmış icmal məqalələri qəbul edir.
 2. Məqalələr İngilis dilində qəbul edilir.
 3. Yazılar **Microsoft Word** yazı proqramında, (**journal@beu.edu.az**) ünvanına göndərməlidir. Göndərilən məqalələrdə aşağıdakılara nəzərə alınmalıdır:
 - Məqalənin başlığı, müəllifin adı, soyadı,
 - İş yeri,
 - Elektron ünvanı,
 - Xülasə və açar sözlər.
 4. **Məqalədə başlıq hər xülasədən əvvəl** ortada, qara və böyük hərflə xülasələrin yazıldığı hər üç dildə olmalıdır.
 5. **Xülasə** 100-150 söz aralığında olmaqla, 9 punto yazı tipi böyüklüyündə, məqalənin yazıldığı dildə və bundan əlavə yuxarıda göstərilən iki dildə olmalıdır. Məqalənin hər üç dildə yazılmış xülasəsi bir-birinin eyni olmalıdır. Açar sözlər uyğun xülasələrin sonunda onun yazıldığı dildə verilməklə ən azı üç sözdən ibarət olmalıdır.
 6. Məqalədə UOT və PACS kodları göstərməlidir.
 7. Məqalə aşağıdakılardan ibarət olmalıdır:
 - Giriş,
 - Tədqiqat metodu
 - Tədqiqat işinin müzakirəsi və onun nəticələri,
 - İstinad ədəbiyyatı rus dilində olduğu halda orijinal dili mötəzə içərisində göstərməklə yalnız Latın əlifbası ilə verilməlidir.
 8. **Şəkil, rəsm, grafik** və **cədvəllər** çapda düzgün, aydın çıxacaq vəziyyətdə və mətn içərisində olmalıdır. Şəkil, rəsm və grafiklərin yazıları onların altında yazılmalıdır. Cədvəllərdə başlıq cədvəlün üstündə yazılmalıdır.
 9. **Mənbələr** mətn içərisində kvadrat mötərizə daxilində göstərməklə məqalənin sonunda mətn daxilindəki sıra ilə düzəlməlidir. Eyni mənbəyə iki və daha çox istinad edildikdə əvvəlki sıra sayı saxlanmaqla müvafiq səhifələr göstərməlidir. Məsələn: [7,səh.15].

Ədəbiyyat siyahısında verilən hər bir istinad haqqında məlumat tam və dəqiq olmalıdır. İstinad olunan mənbənin biblioqrafik təsviri onun növündən (monoqrafiya, dərslik, elmi məqalə və s.) asılı olaraq verilməlidir. Elmi məqalələrə, simpozium, konfrans, və digər nüfuzlu elmi tədbirlərin materiallarına və ya tezislərinə istinad edərkən məqalənin, məruzənin və ya tezisnin adı göstərməlidir.
- Nümunələr:**
- a) **Məqalə:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjayev N.M.. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
 - b) **Kitab:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
 - c) **Konfrans:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ.. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions", Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391
- Mənbələr 9 punto yazı tipi böyüklüyündə olmalıdır.
10. **Səhifə ölçüləri:** üstədən 2.8 sm, altdan 2.8 sm, soldan 2.5 sm və sağdan 2.5 sm olmalıdır. Mətn 11 punto yazı tipi böyüklüyündə, **Palatino Linotype** yazı tipi ilə və tək simvol aralığında yazılmalıdır. Paraqraflar arasında 6 punto yazı tipi aralığında məsafə olmalıdır.
 11. Orijinal tədqiqat əsərlərinin tam mətni bir qayda olaraq 15 səhifədən artıq olmamalıdır.
 12. Məqalənin nəşrə təqdimi aşağıdakı qaydada aparılır:
 - Hər məqalə ən azı iki ekspertə göndərilir.
 - Ekspertlərin tövsiyələrini nəzərə almaq üçün məqalə müəllifə göndərilir.
 - Məqalə, ekspertlərin tənqidi qeydləri müəllif tərəfindən nəzərə alındıqdan sonra Jurnalın Redaksiya Heyəti tərəfindən çapa təqdim oluna bilər.

YAZIM KURALLARI

1. "Journal of Baku Engineering University-Physics" önceler yayımlanmamış orijinal çalışmaları ve yazarın kendi araştırma alanında yazılmış derleme makaleleri kabul etmektedir.
2. Makaleler İngilizce kabul edilir.
3. Makaleler Microsoft Word yazı programında, (journal@beu.edu.az) adresine gönderilmelidir. Gönderilen makalelerde şunlar dikkate alınmalıdır:
 - Makalenin başlığı, yazarın adı, soyadı,
 - İş yeri,
 - E-posta adresi,
 - Özet ve anahtar kelimeler.
4. **Özet** 100-150 kelime arasında olup 9 font büyüklüğünde, makalenin yazıldığı dilde ve yukarıda belirtilen iki dilde olmalıdır. Makalenin her üç dilde yazılmış özeti birbirinin aynı olmalıdır. Anahtar kelimeler uygun özeti sonunda onun yazıldığı dilde verilmekle en az üç sözcükten oluşmalıdır.
5. Makalede UOT ve PACS tipli kodlar gösterilmelidir.
6. Makale şunlardan oluşmalıdır:
 - Giriş,
 - Araştırma yöntemi
 - Araştırma
 - Tartışma ve sonuçlar,
 - İstinat Edebiyatı Rusça olduğu halde orijinal dili parantez içerisinde göstermekle yalnız Latin alfabesi ile verilmelidir.
7. **Şekil, Resim, Grafik ve Tablolar** baskıda düzgün çıkacak nitelikte ve metin içerisinde olmalıdır. Şekil, Resim ve grafiklerin yazıları onların alt kısmında yer almalıdır. Tablolarda ise başlık, tablonun üst kısmında bulunmalıdır.
8. **Kullanılan kaynaklar**, metin dâhilinde köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı, aynı sırayla metin sonunda gösterilmelidir. Aynı kaynaklara tekrar başvurulduğunda sıra muhafaza edilmelidir. Örneğin: [7, sch.15]. Referans verilen her bir kaynağın künyesi tam ve kesin olmalıdır. Referans gösterilen kaynağın türü de eserin türüne (monografi, derslik, ilmi makale vs.) uygun olarak verilmelidir. İlmî makalelere, sempozyum, ve konferanslara müracaat ederken makalenin, bildirinin veya bildiri özetlerinin adı da gösterilmelidir.

Örnekler:

- a) **Makale:** Demukhamedova S.D., Aliyeva İ.N., Godjajev N.M.. *Spatial and Electronic Structure of Monomeric and Dimeric Conapeetes of Carnosine Üith Zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Kıtap:** Christie ohn Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, p.386-398, 2002
- c) **Kongre:** Sadychov F.S., Aydın C., Ahmedov A.İ. Appligation of Information-Communication Technologies in Science and education. II International Conference. "*Higher Twist Effects In Photon- Proton Collisions*", Baki, 01-03 Noyabr, 2007, ss 384-391

Kaynakların büyüklüğü 9 punto olmalıdır.

9. **Sayfa ölçüleri**; üst: 2.8 cm, alt: 2.8 cm, sol: 2.5 cm, sağ: 2.5 cm şeklinde olmalıdır. Metin 11 punto büyüklükte **Palatino Linotype** fontu ile ve tek aralıkta yazılmalıdır. Paragraflar arasında 6 puntoluk yazı mesafesinde olmalıdır.
10. Orijinal araştırma eserlerinin tam metni 15 sayfadan fazla olmamalıdır.
11. Makaleler dergi editör kurulunun kararı ile yayımlanır. Editörler makaleyi düzeltme için yazara geri gönderilebilir.
12. Makalenin yayına sunuşu aşağıdaki şekilde yapılır:
 - Her makale en az iki uzmana gönderilir.
 - Uzmanların tavsiyelerini dikkate almak için makale yazara gönderilir.
 - Makale, uzmanların eleştirel notları yazar tarafından dikkate alındıktan sonra Derginin Yayın Kurulu tarafından yayına sunulabilir.
13. Azerbaycan dışından gönderilen ve yayımlanacak olan makaleler için, (derginin kendilerine gönderilmesi zamani posta karşılığı) 30 ABD Doları veya karşılığı TL, T.C. Ziraat Bankası/Üsküdar-İstanbul 0403 0050 5917 No'lu hesaba yatırılmalı ve makbuzu üniversitemize fakslenmelidir.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. «Journal of Baku Engineering University» - Физика публикует оригинальные, научные статьи из области исследования автора и ранее не опубликованные.
2. Статьи принимаются на английском языке.
3. Рукописи должны быть набраны согласно программы **Microsoft Word** и отправлены на электронный адрес (journal@beu.edu.az). Отправляемые статьи должны учитывать следующие правила:
 - Название статьи, имя и фамилия авторов
 - Место работы
 - Электронный адрес
 - Аннотация и ключевые слова
4. **Заглавие статьи** пишется для каждой аннотации заглавными буквами, жирными буквами и располагается по центру. Заглавие и аннотации должны быть представлены на трех языках.
5. **Аннотация**, написанная на языке представленной статьи, должна содержать 100-150 слов, набранных шрифтом 9 punto. Кроме того, представляются аннотации на двух других выше указанных языках, перевод которых соответствует содержанию оригинала. Ключевые слова должны быть представлены после каждой аннотации на его языке и содержать не менее 3-х слов.
6. В статье должны быть указаны коды UOT и PACS.
7. Представленные статьи должны содержать:
 - Введение
 - Метод исследования
 - Обсуждение результатов исследования и выводов.
 - Если ссылаются на работу на русском языке, тогда оригинальный язык указывается в скобках, а ссылка дается только на латинском алфавите.
8. **Рисунки, картинки, графики и таблицы** должны быть четко выполнены и размещены внутри статьи. Подписи к рисункам размещаются под рисунком, картинкой или графиком. Название таблицы пишется над таблицей.
9. **Ссылки** на источники даются в тексте цифрой в квадратных скобках и располагаются в конце статьи в порядке цитирования в тексте. Если на один и тот же источник ссылаются два и более раз, необходимо указать соответствующую страницу, сохраняя порядковый номер цитирования. Например: [7, стр.15]. Библиографическое описание ссылаемой литературы должно быть проведено с учетом типа источника (монография, учебник, научная статья и др.). При ссылке на научную статью, материалы симпозиума, конференции или других значимых научных мероприятий должны быть указаны название статьи, доклада или тезиса.

Например:

- a) **Статья:** Demukhamedova S.D., Aliyeva I.N., Godjajev N.M. *Spatial and electronic structure of monomeric and dimeric complexes of carnosine with zinc*, Journal of Structural Chemistry, Vol.51, No.5, p.824-832, 2010
- b) **Книга:** Christie on Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. Fourth Edition, Prentice Hall, 2002
- c) **Конференция:** Sadychov F.S, Fydin C, Ahmedov A.I. Application of Information-Communication Nechnologies in Science and education. II International Conference. "Higher Twist Effects In Photon-Proton Collision", Baki,01-03 Noyabr, 2007, ss.384-391

Список цитированной литературы набирается шрифтом 9 punto.

10. **Размеры страницы:** сверху 2.8 см, снизу 2.8 см, слева 2.5 и справа 2.5. Текст печатается шрифтом **Palatino Linotype**, размер шрифта 11 punto, интервал-одинарный. Параграфы должны быть разделены расстоянием, соответствующим интервалу 6 punto.
11. Полный объем оригинальной статьи, как правило, не должен превышать 15 страниц.
12. Представление статьи к печати производится в ниже указанном порядке:
 - Каждая статья посылается не менее двум экспертам.
 - Статья посылается автору для учета замечаний экспертов.
 - Статья, после того, как автор учел замечания экспертов, редакционной коллегией журнала может быть рекомендована к печати.