



UDK:537.621.5

Azamatbek ARSLANOV,

O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti

E-mail: azamat20296@gmail.com

Rafael NUSRETOV,

Toshkent davlat texnika universiteti O'zbek-Yapon yoshlar markazi katta ilmiy xodimi

Javohir XUDOYQULOV,

O'zbekiston Milliy universiteti magistranti

Shavkat YULDASHEV,

O'zbekiston Milliy universiteti Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi laboratoriya mudiri

*O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi huzuridagi Ilg'or texnologiyalar markazi katta ilmiy xodimi, f.m.f.n.
O.M. Tursunqulov taqrizi asosida*

WEAK FERROMAGNETISM IN $Zn_{1-x}Co_xO$

Annotation

To study the origin of ferromagnetism in $Zn_{1-x}Co_xO$ thin films the thermal diffusivity, additionally, to the magnetization measurements has been conducted. The thin films of $Zn_{1-x}Co_xO$ ($x = 0.03$) were deposited on Si (100) substrate by using ultrasonic spray pyrolysis. Magnetization $M(H)$ measurements at low temperature show a hysteresis loop which indicates an existence of ferromagnetic ordering in $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$. However, the magnetic moment per Co ion is much lower than expected. A comparison of $M(T)$ measured at zero-field-cooled (ZFC) and field-cooled (FC) conditions shows a superparamagnetic-like behavior and the blocking temperature is about 130K. Temperature dependence of the thermal diffusivity of $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ shows a pronounced lambda shaped minimum at 130K, which indicates an existence of a second-order phase transition at this temperature. The weak ferromagnetism in the $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ with the Curie temperature of 130 K is ascribed to the uncompensated magnetic moment at the surface of CoO nanoclusters.

Key words: Diluted magnetic semiconductor, thermal diffusivity, thin magnetic film, ultrasonic spray pyrolysis.

СЛАБЫЙ ФЕРРОМАГНЕТИЗМ В $Zn_{1-x}Co_xO$

Аннотация

Для того чтобы изучить природу ферромагнетизма в тонких пленках $Zn_{1-x}Co_xO$ была проанализирована их температуропроводность в добавление к измерениям намагниченности. Тонкие пленки $Zn_{1-x}Co_xO$ ($x = 0.03$) были осаждены на кремниевые подложки с помощью ультразвукового спрей пиролиза. Измерение намагниченности $M(B)$ при низкой температуре показало наличие кривой гистерезиса, что указывает на наличие ферромагнитного упорядочения в $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$. Однако, величина магнитного момента на один ион кобальта была намного меньше чем ожидалось. Сравнение температурных зависимостей намагниченности $M(T)$, измеренных при охлаждении в отсутствие магнитного поля и при охлаждении в магнитном поле показало суперпарамагнитное поведение с температурой блокировки около 130K. Температурная зависимость температуропроводности $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ показала наличие лямбда образного минимума при 130K, что указывает на существование фазового перехода второго рода при этой температуре. Слабый ферромагнетизм в $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ с температурой Кюри 130K может быть объяснен некомпенсированным магнитным моментом на поверхности CoO наносклатеров.

Ключевые слова: Магнитный полупроводник, температуропроводность, тонкая магнитная пленка, пиролиз ультразвуковым распылением.

$Zn_{1-x}Co_xO$ DAGI KUCHSIZ FERROMAGNETIZM

Annotatsiya

Ushbu ishda $Zn_{1-x}Co_xO$ yupqa qatlamining issiqlik diffuziyasi va magnitlanish o'chashlari natijalari tahlil qilingan. $Zn_{1-x}Co_xO$ ($x=0.03$) yupqa qatlami kremniy taglikka ultra tovushli spray periold usulida o'stirilgan. Past temperaturada $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ dagi magnitlanish o'chashlarida gesterezis mavjudligidan ferromagnit tartiblanish borligini ko'rish mumkin. Ammo, har bitta Co ioniga to'g'ri keluchi magnit moment kutilganidan ancha past ekani malum bo'ldi. Magnitlanishning temperaturaga bog'lanishi o'rganilyotganda magnit maydoni va magnit maydonisiz sovutilish natijalari 130 K da paramagnit-ferromagnit faza o'tishini ko'rsatdi. $Zn_{1-x}Co_xO$ ning issiqlik diffuziyasi natijalari kutilganidek aynan 130 K da lamda shaklidagi minimumga erishdi. Bunday past temperaturadagi ferromagnetizm $Zn_{1-x}Co_xO$ ning sirtidagi kompensatsiya bo'lmagan CoO klasterlar mavjudligi orqali tushuntirish mumkin.

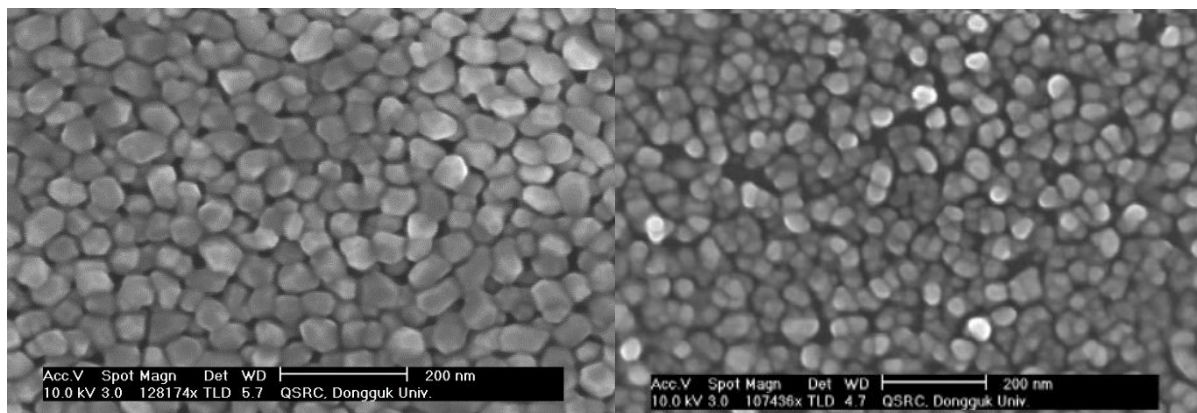
Kalit so'zlar: Magnit yarimo'tkazgichlar, issiqlik o'tkazuvchanligi, yupqa magnit qatlami, ultra tovushi spray perioldis.

Kirish. ZnO asosidagi magnit yarimo'tkazgichlar yuqori temperaturali ferromagnit yarimo'tkazgichlar uchun asosiy material sifatida ko'rilmogda. Shu sabab $Zn_{1-x}Co_xO$ ni o'rganish ancha dolzarb mavzuga aylangan bo'lsada, hozirgacha turli olimlar tomonida turli xulosalar aytilmogda. Bazi maqolalarda $Zn_{1-x}Co_xO$ xona temperaturasida ferromagnetik fazada bo'lishini ko'rsatsada [2], negadir har bir ionga to'g'ri keluvchi magnit momenti bu qadar kichik bo'lishini tushuntira olishmagan. Bundan tashqari ferromagnetizm hosil bo'lishi uchun $Zn_{1-x}Co_xO$ ga hech qanday qo'shimcha kirishmalar kiritilmagan va tok tashuvchilar deffektlar hisobiga paydo bo'lishi aytilgan[5].

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. Shu bilan birga yana ko'plab maqolalarda $Zn_{1-x}Co_xO$ materialida xona temperaturasida ferromagnetizm kuzatilmagani ko'rsatilgan [6]. Co bilan legirlangan ZnO yupqa qatlamini olishda Sol-Gel, kimyoviy gaz orqali o'stirish, pulstsatsiyalangan lazerli o'tkazish va boshqa ko'plab usullardan foydalanishgan. Ultra tovushli spray perioldiz usuli esa juda kam ishlatilgan.

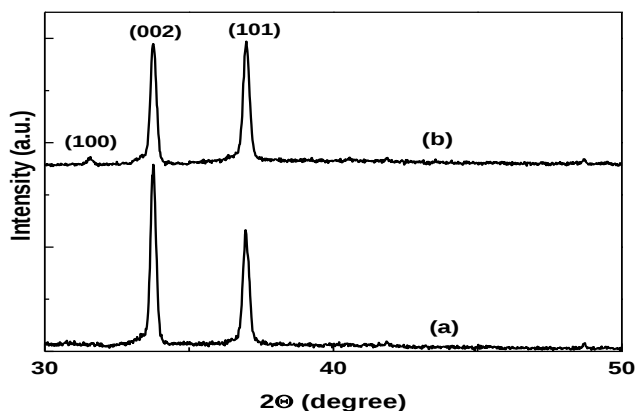
Ushbu ishda ultra tovushli spray perioldiz usulida olingan $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ dagi kuchsiz ferromagnetizm o'lchashlari natijalarini ko'rsatilgan. Yani, magnitlanishning temperaturaga bog'lanishi va issiqlik diffuziyasi o'lchangan. Chunki issiqlik diffuziyasi faza o'tishidagi kritik holatlarni o'rganishda asosiy metod hisoblandi. Issiqlik sig'imi va diffuziya koeffitsienti o'zaro teskari $C = K/\rho D$ (ρ -zichlik, K -issiqlik o'tkazuvchanlik) bog'lanishga ega[8]. Shu sabab ular faza o'tishida bir xil kritik xususiyatlarga ega bo'ladi. Demak, issiqlik diffuziyasini o'lchash orqali faza o'tishini kuzatish va kuryi temperaturasini aniqlash mumkin bo'ladi.

Tadqiqot metodologiyasi. $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ yupqa qatlami ultra tovushli spray perioldiz usulida Si taglikka o'stirilgan. Kerakli kimyoviy aralashmani tayyorlashda toza suvda eruvchi rux va kobalt atsetatlar ishlatilgan. O'stirish davomida taglikning temperaturasi $400^{\circ}C$ da ushlab turilgan. Elektron mikroskopda olinga tasvirlardan qatlam qalinligi 200 nm ekani o'lchangan. Solishtirish uchun Co kiritilmagan ZnO qatlami ham xuddi shunday qalinlikda o'stirilgan. Magnitlanishning tashqi magnit maydonga bog'likligi $M(B)$ va magnitlanishning temperaturaga bog'lanishi $M(T)$ SQUID magnetometrda o'lchangan. Namunaning strukturaviy tuzulishini rentgen spektrometrida kuzatilgan.



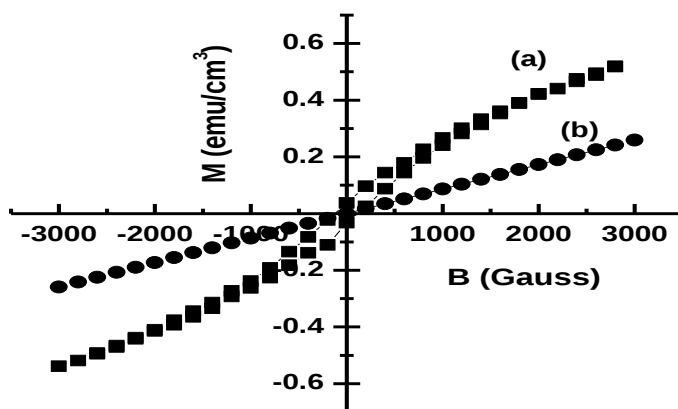
1-rasm. Elektron mikroskop tasvirlari a) ZnO va b) $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ yupqa qatlami uchun.

Tahlil va natijalar. 1-rasm ultra tovushli spray perioldizda Si taglikka o'stirilgan ZnO va $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ larni elektron mikroskopda olingan tasvirlarni ko'rsatadi. Bu tasvirlardan polokristal yupqa qatlam o'stirilganligini ko'rishingiz mumkin. Nanokristallar o'zaro juda yaqin joylashgan bo'lib ularning o'lchami taxminan 50 nm lar atrofida



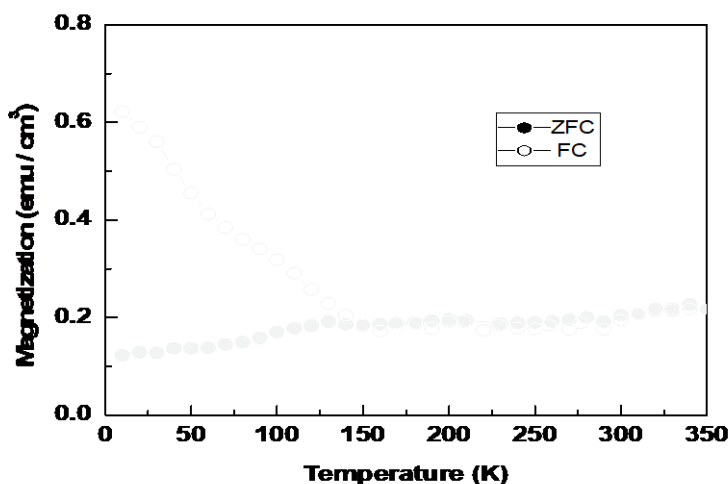
2-rasm. Rentgen spektrometrida olingan a) ZnO va b) $Zn_{0.97}Co_{0.03}O$ natijalari.

Rentgen spektrometrida olingan natijalarni 2-rasmda ko'rishingiz mumkin. Rasmlarda ko'rsatilgan natijalardan ikkichi faza ummuman yo'qligini kuzatishingiz mumkin. Ammo, ZnO bilan $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ lar natijalari solishtirilganda Co kiritilgan namunada asosiy o'q bo'yicha o'sish kamayganini kuzatishingiz mumkin. 3-rasm magnitlanishning temperaturaga bog'lanishini ko'rsatadi. Bunda namuna past a) $T=85\text{ K}$ va yuqori b) $T=300\text{ K}$ temperaturalarda namunaga parallel qo'yilgan magnit maydoni ostida o'lchangan. $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ namuna 85 K temperaturaldagi magnitlanishining tashqi maydonga bog'lanishidan namuna bu temperaturalda ferromagnit fazada ekanini kuzatish mumkin. Ammo, magnitlanishdan har bir Co^{+2} atomga to'g'ri keluvchi magnit moment $0.1\ \mu_B$ kutilayotgan $3\ \mu_B$ [10,11] dan ancha kichkina ekanini malum bo'ldi. Tashqi magnit maydoni oshirilsada magnitlanish to'yinishga erishmadi. Bunday hodisa superparamagnetiklarga xos hisoblanadi. 300 K temperaturaldagi magnitlanish esa chiziqli ko'rinishga ega va bu namuna xona temperaturasida paramagnetik ekanini ko'rsatadi.



3-rasm. $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ ning $M(B)$ bog'lanishi a) $T=85\text{ K}$ va b) $T=300\text{ K}$.

4-rasm $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ namunaning magnit maydoni bor va yo'q holatlar uchun magnitlanishning temperaturaga bog'lanishini ko'rsatadi. Bu grafik 130 K da katta temperaturalarda magnit qatlam paramagnetik fazaga o'tishini ko'rsatadi. Undan past haroratlarda ikki xil tashqi maydon bor va o'chirilgan holda olingan natijalarni solishtirishdan namunani superparamagnetik ekanini ko'rish mumkin. Bunday natijalar $\text{Zn}_{0.95}\text{Co}_{0.05}\text{O}$ alumini bilan qo'shimcha legirlanganda ham kuzatilgan va bu hodisa sirdagi kompensatsiyalanmagan Co nanoklasterlaridagi spinlar orqali tushuntirilgan [12].

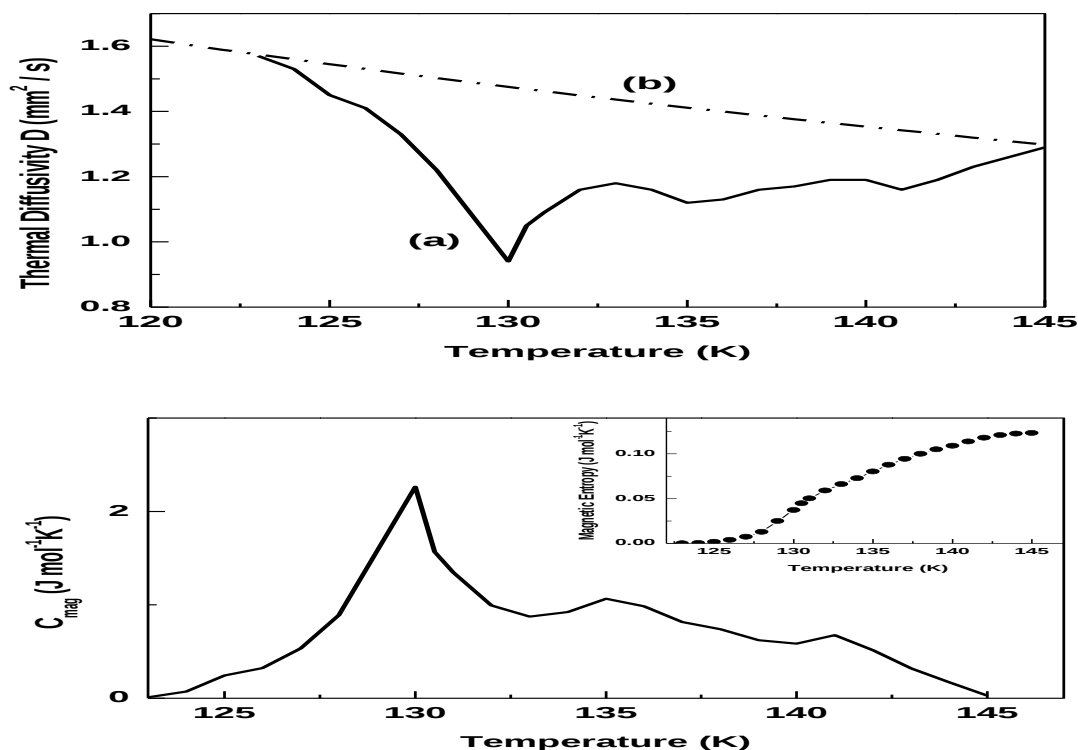


4-rasm. $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ namunaning tashqi magnitmaydoni bor va o'chirilgan hollarda magnit maydonining temperaturaga bog'lanishi.

Si taglikka o'stirilgan $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ va ZnO larning issiqlik diffuziyasining temperaturaga bog'lanishini 5-rasmda ko'rishingiz mumkin. Grafikdan ko'rinadiki 130 K da chuqur pasayish bo'lganini ko'rish mumkin. Bu issiqlik diffuzyasi minimumi xuddi 4-rasmdagi Co nanoklasterlaridagi faza o'tishidagi temperatura bilan mos tushushini ko'rishingiz mumkin. Demak, kuzatilyotgan bunday kichik ferromagnetizm Co nanoklasterlaridagi kompensatsiyalanmagan spinlar xisobiga paydo bo'lganini tushunish mumkin. CoO nanoklasterlari juda kichik o'lchamda bo'lganligi uchun rentgen spektrida ularni ko'rib

bo'lmaydi. 5-rasmda issiqlik diffuziyasining temperaturaga bog'lanishidagi 135 K va 141 K da kuzatilgan minimumlar Co^{+2} ioning uyg'ongan holatlariga mos kelgan[14].

Kirish qismida keltirilgan issiqlik diffuziyasi va issiqlik sig'imining teskari bog'lanishidan 6-rasmni olish mumkin. Rasmda ZnO uchun olingan fon natijasi olib tashlangan. Ushbu natijadan lokal magnit moment uchun tartiblanish entropiyasini hisoblash mumkin. Bog'lanish quyidagicha $\Delta S = C_m \frac{dT}{T}$ [15].



6-rasm. $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ namunaning issiqlik sig'imining temperaturaga bog'lanishi. Ichki grafikda faza o'tishidagi entropiyaning temperaturaviy o'zgarishi keltirilgan.

Hisoblash natijalari 6-rasmdagi ichki grafikda ko'rsatilgan. Entropiya natijalaridan $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ uchun topiladigan issiqlik sig'imi $0.12 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ chiqdi. Bu esa kutilayotgan $0.35 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ dan deyarli 3 marta kichik bo'lib chiqdi. Umumiy natijalar $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ dagi ferromagnetizmga juda kam Co ionlari qatnashyotganini xulosa qilish mumkin.

Xulosalar. $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ dagi kuchsiz ferromagnetizm magnitlanish va issiqlik diffuziyasining temperaturaga bog'lanishlari orqali o'rganildi. Issiqlik diffuziyasi 130 K da lamda shaklidagi minimumga erishishi ko'rsatildi va magnitlanishdagi superparamagnit klasterlarning faza o'tish temperaturasi bilan bir xil ekani ko'rsatildi. 135 K va 141 K larda issiqlik diffuziyasidagi minimumlar Co^{+2} ionidagi uyg'ongan spin holatlari hisobiga paydo bo'lishi aniqlandi. Bunday past kuriy temperaturasiga sabab $\text{Zn}_{0.97}\text{Co}_{0.03}\text{O}$ dagi juda kam sondagi ikkinchi faza CoO nano klasterlaridagi kompensatsiyalanmagan spinlar ekani ko'rsatildi.

ADABIYOTLAR

1. Dietl T., Ohno H., Matsukura F., Clibert J., and Ferrand D., Science 287, 1019 (2000).
2. Ueda K., Tabata H., and Kawai T., Appl. Phys. Lett. 79, 988 (2001).
3. Kittilstved K.R., Swartz D.A., Tuan A.C., Heald S.M., Chambers S.A., and Gamelin D.R., Phys. Rev. Lett. 97, 037203 (2006).
4. Kaspar T.C., Droubay T., Heald S.M., Engelhard M.H., Nachimuthu P., and Chambers S.A., Phys. Rev. B 77, 201303R (2008).
5. JCoey. M. D., Venkatesan M., and Fitzgerald C. B., Nature Mater. 4, 173 (2005).
6. Bouloudenine M., Viart N., Colis S., Kortus J., and Dinia A., Appl. Phys. Lett. 87, 052501 (2005).
7. Deka S., Pasricha R., and P. A. Joy, Phys. Rev. B 74, 033201 (2006).
8. Jeong S.Y., Kim S. J., Cho Y. C., Kim S. J., S. Lee, W. K. Kim, C. R. Cho, J. S. Bae, S. Park, and I. K. Jeong, J. Korean Phys. Soc. 56, 1347 (2010).
9. Belghazi Y., Schmerber G., Colis S., Rehspringer J. L., Berrada A., and Dinia A., Appl. Phys. Lett. 89, 122504 (2006).

10. Yuldashev Sh. U., Jeon H. C., Kang T. W., Nusretov R. A., Khvan I. V., and Pelenovich V. O., Korean J. Phys. Soc. 53, 192 (2008).
11. Marinelli M., Zammit U., Mercuri F., and Pizzoferrato R., Appl J.. Phys. 72, 1096 (1992).
12. Dietl T., Andrearczyk T., Lipinska A., Kiecana M., Tay M., and Wu Y., Phys. Rev. B 76, 155312 (2007).
13. Hanafin R., T. Archer, and S. Sanvito, Phys. Rev B 81, 054441 (2010).
14. Gopal E. S. R., Specific Heats at Low Temperatures (New York : Plenum, 1966).
15. Gu J. Y., Bader S. D., Zheng H., Mitchell J. F. and Gordon J. E., Phys. Rev. B 70, 054418 (2004).



УДК:543.42:547.292

Дилбар БОЗОРОВА,

Базовый докторант Института ионно-плазменных и лазерных технологий

Email: bozorova191@gmail.com

Шукур ГОФУРОВ,

Докторант университета Цукуба

Оксана ИСМАИЛОВА,

К.ф.-м.н. заведующий лабораторией «Энергетика», Узбекско-Японский молодежный центр инноваций,

Тушинский политехнический университет в Таиланде

Рецензент: Малышева М.Е PhD ф.-м.н., старший преподаватель Национального университета Узбекистана

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФУРЬЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ЭТАНОЛА

Аннотация

Было проведено исследование концентрационных особенностей спектральных и структурных характеристик водных растворов этилового спирта в области концентраций $\sim 0\div 1.0$ мольные доли этанола методом Фурье ИК-спектроскопии и молекулярной динамики. Наряду с другими авторами, методом Фурье ИК-спектроскопии найден сдвиг валентных колебаний CH_3 (2973 см^{-1}) в сторону высокочастотных волновых чисел и более значительный сдвиг валентных колебаний OH (1639 см^{-1}) в сторону низкочастотных колебаний [1] для низкой концентрации спирта. Дополнительно, авторами этой статьи, обнаружен сдвиг полосы C-C колебания для концентрации этанола 0.1 мольные доли в низкочастотную область спектра. Из сравнительного анализа Фурье ИК-спектроскопии и результатов молекулярной динамики установлено, что в области низких концентраций этилового спирта образуется сильная водородная связь между молекулами воды и этанола, обусловленная не только взаимодействиями между гидроксильной частью, но и гидрофобной частью этанола с водой. Показано, что метод Фурье ИК-спектроскопии и молекулярной динамики являются информативными для определения спектральных свойств, строения и типа взаимодействия молекул.

Ключевые слова: Фурье ИК-спектроскопии, метод молекулярной динамики, водородная связь, клатратно-подобная структура.

APPLICATION OF FTIR IR SPECTROSCOPY AND MOLECULAR DYNAMICS TO STUDY HYDROGEN BONDS IN AQUEOUS ETHANOL SOLUTIONS

Annotation

A study of the concentration features of the spectral and structural characteristics of aqueous solutions of ethanol in the concentration range of $\sim 0\div 1.0$ mole fractions of ethanol was carried out using the Fourier IR spectroscopy and molecular dynamics method. Along with other authors, the Fourier IR spectroscopy method found a shift of CH_3 stretching vibrations (2973 cm^{-1}) towards high-frequency wave numbers and a more significant shift of OH stretching vibrations (1639 cm^{-1}) towards low-frequency vibrations [1] for low concentration alcohol. Additionally, the authors of this article found a shift of the C-C vibration band for an ethanol concentration of 0.1 mole fractions to the low-frequency region of the spectrum. From a comparative analysis of Fourier IR spectroscopy and the results of molecular dynamics, it was found that in the region of low concentrations of ethanol, a strong hydrogen bond is formed between water and ethanol molecules, due not only to interactions between the hydroxyl part, but also the hydrophobic part of ethanol with water. It is shown that the Fourier method of IR spectroscopy and molecular dynamics are informative for determining the spectral properties, structure and type of interaction of molecules.

Key words: Fourier IR spectroscopy, molecular dynamics method, hydrogen bond, clathrate-like structure.

FURYE INFRAQIZIL SPEKTROSKOPIYA VA MOLEKULAR DINAMIKA USULID ORQALI ETANOLNING SUVLI ERITMALARIDAGI VODROD BOG'LARNI O'RGANISH

Annotation

Etanolning $\sim 0\div 1.0$ mol ulushli konsentratsiyasi oralig'ida suvli eritmalarining spektral va strukturaviy xarakteristikasining konsentratsiya xususiyatlari Furye infraqizil spektroskopiyasi va molekulyar dinamika usuli yordamida o'rganildi. Boshqa mualliflar bilan bir qatorda, Furye infraqizil spektroskopiyasi usuli CH_3 cho'zuvchi tebranishlarining (2973 sm^{-1}) yuqori chastotali to'liq raqamlariga siljishini va spirtlarning past konsentratsiyasi uchun OH cho'zish tebranishlarining (1639 sm^{-1}) past chastotali tebranishlarga sezilarli siljishini aniqladi. [1]. Bundan tashqari, ushbu maqola mualliflari 0.1 mol ulushli etanol konsentratsiyasi uchun C-C tebranish zonasining spektning past chastotali hududiga siljishini aniqladilar. Furye infraqizil

spektroskopiyasining qiyosiy tahlili va molekulyar dinamika shuni ko'rsatadiki, etanolning past konsentratsiyasida suv va etanol molekullari o'rtasida kuchli vodorod aloqalar nafaqat gidroksil qismi o'rtasidagi o'zaro ta'sir tufayli, balki suv bilan etanolning hidrofobik qismi orqali ham hosil bo'ladi. Fyure infraqizil spektroskopiyasi va molekulyar dinamikasi usullari molekullarning spektral xossalari, tuzilishi va o'zaro ta'sir turini aniqlash uchun ma'lumotli ekanligi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: Fyure infraqizil spektroskopiya, molekulyar dinamika usuli, vodorod bog', klatratga o'xshash tuzilish.

Введение. Водородная связь, образованная между ковалентными типами взаимодействий, играет решающую роль в растворах и структурированных средах. Образование слабых и сильных межмолекулярных связей в различных системах проявляется сдвигом в красную или синюю область спектра инфракрасного излучения [2]. Спирты являясь полярными и самоорганизующимися системами, в зависимости от растворителя могут проявлять различные типы взаимодействий, характеризующиеся сдвигом полос поглощения в коротковолновую и/или длинноволновую область спектра [4]. Водные системы спиртов представляют особый интерес, так как в зависимости от концентрации спирта может преобладать тот или иной тип взаимодействия. Настоящая работа посвящена изучению спектральных свойств и типу межмолекулярной водородной связи между молекулами в водных растворах этилового спирта, основанный на совместном использовании методов Фурье ИК-спектроскопии и молекулярной динамики с классическими силовыми полями.

Методы исследования. Материалы. Этиловый спирт (99.9 %, Sigma-Aldrich, USA) и дважды дистиллированная вода. Водные растворы этанола в концентрационном диапазоне 0-1 с интервалом (с шагом) 0.1 мольные доли были приготовлены кондуктометрическим методом при комнатной температуре описанном в [6] и исследованы методом Фурье ИК-спектроскопия.

Фурье ИК-спектроскопия

Фурье ИК спектры были записаны на спектрофотометре серии Perkin Elmer Spectrum Two с соотношением сигнал/шум 9300:1 и с разрешением 0.5 см⁻¹ на детекторе LiTaO₃. Спектры чистой воды, этилового спирта и их смесей были записаны в диапазоне длин волн составляет 4000-550 см⁻¹ представленные на рисунке 1.

Метод молекулярной динамики. Расчеты проводились с использованием пакета программ GROMACS [20] версии 5.0.4. Расчеты проводились в широком концентрационном диапазоне этилового спирта 0-1 с шагом 0.1 мольные доли этанола. Все расчеты проводились в изобарно-изотермическом ансамбле и баростате Паринелло-Рахмана [7] при давлении 1 бар и при температуре 300 К во временном интервале 35 нс с шагом 2 фс с наложением периодических граничных условий. Расчеты проводились по методике, детально описанной в статье [6]. SPC/E модель использовалась для воды, которая достаточно хорошо описывает радиальную функцию распределения атомов кислорода [8], диэлектрическую проницаемость воды [9], структурные и термодинамических свойства смеси

бинарной вода-спирт [10].

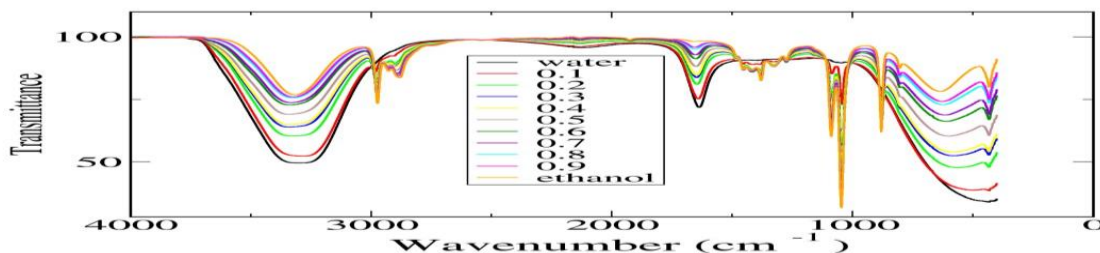


Рис. 1. Фурье ИК-спектры воды (черный цвет), этилового спирта (оранжевый цвет) и водных растворов этилового спирта с 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 мольных долей.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены спектры воды, этилового спирта и водных растворов этилового спирта в концентрационном диапазоне ~0÷1.0 мольные доли. С добавлением воды и уменьшением концентрации этанола происходит смещение пика полосы интенсивности CH₃ колебания (2973 см⁻¹) в сторону высоких значений волновых чисел и полосы интенсивности НОН колебания (1640 см⁻¹) в сторону низких значений волновых чисел. Заметное смещение двух полос наблюдается для концентрации 0.1 мольные доли, что находится в хорошем согласии с авторами других работ [11], которые обнаружили, что значение энергии образования водородной связи для бинарных смесей является наивысшей для 0.07 мольные доли этилового спирта.

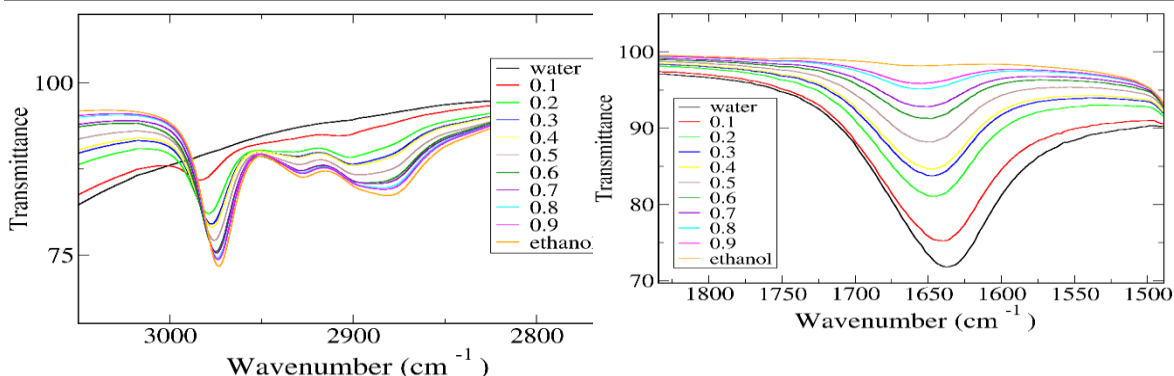


Рис. 2. ИК спектры в области валентных колебаний C-C связей.

На рисунке 3 показаны спектры колебаний C-C. Необходимо заметить, что с понижением концентрации эталона происходит сдвиг полости поглощения (ПП) в область низкочастотных волновых чисел с 880 cm^{-1} на 776 cm^{-1} . Подобный эффект наблюдался для гидрокарбонных молекул в клатратных структурах. Смещение в низкочастотную область волновых чисел характеризуется увеличением радиуса клатратной структуры молекул воды вокруг молекул эталона [12]. Эти факты свидетельствуют об усилении водородных связей между ОН-группами молекулами воды и этилового спирта при низких концентрациях спирта. Для изучения межмолекулярных связей молекул воды и этилового спирта был использован метод молекулярной динамики. На рисунке 4 представлена функция радиального распределения молекул воды и этанола, рассчитанная как центр масс молекул. Незначительный пик в диапазоне средних и высоких концентрациях этанола появляется при 0.285 nm . Наибольший максимум во всем концентрационном интервале соответствует 0.37 nm . Следующий пик соответствует 0.47 nm . Необходимо отметить, что в диапазоне концентраций $0.1 - 0.5$ мольные доли пик при 0.47 nm выше, чем 0.37 nm . Для концентрации 0.6 м.д. спирта интенсивность пиков одинакова, и начиная с 0.7 наблюдается резкое увеличение интенсивности пика при 0.37 nm . Это объясняется тем, что с увеличением концентрации этанола, молекулы воды взаимодействуют с молекулами этанола преимущественно на близком расстоянии, в то время как с уменьшением концентраций межмолекулярное

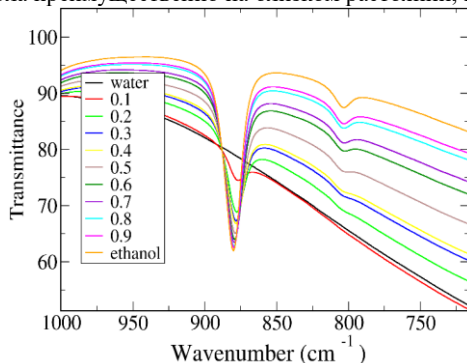


Рис. 3. ИК спектры в области валентных колебаний C-C связей.

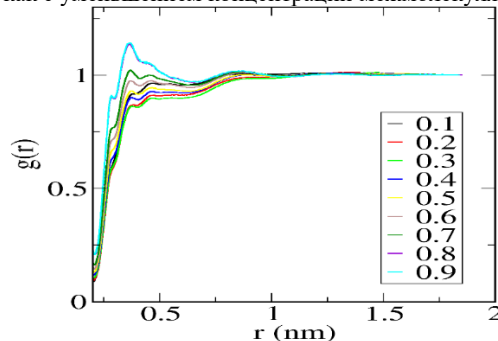


Рис. 4 Функция радиального распределения молекул воды и этанола в водных растворах эталона в зависимости от концентрации, представленные в мольных долях.

взаимодействие превалирует на расстоянии 0.47 nm . Необходимо заметить, что для 0.1 мольные доли пик интенсивности на расстоянии 0.37 nm д, чем для концентрационного диапазона $0.2-0.4$ м.д., в то время как пик интенсивности 0.47 nm выше, чем для для концентрационного диапазона $0.2-0.5$ м.д. Этот факт свидетельствует о том, что при низкой концентрации, молекулы этанола одинаково сильно взаимодействуют с молекулами воды как на ближних, так и на дальних расстояниях. Такой тип взаимодействия характерен в том случае когда молекулы этанола встраиваются в водородную сетку воды с последующей локальной перестройки молекул воды таким образом, что молекулы воды полностью окружают молекулы спирта с образованием клатрата подобной структурой [13]. Из рисунка 5 (слева) видно, что максимум образуется при 0.37 nm , линейным образом зависящий от концентраций. Однако, второй пик соответствующий 0.43 nm образуется для низких и средних концентраций этилового спирта. Наибольшая интенсивность этого пика характерна для .

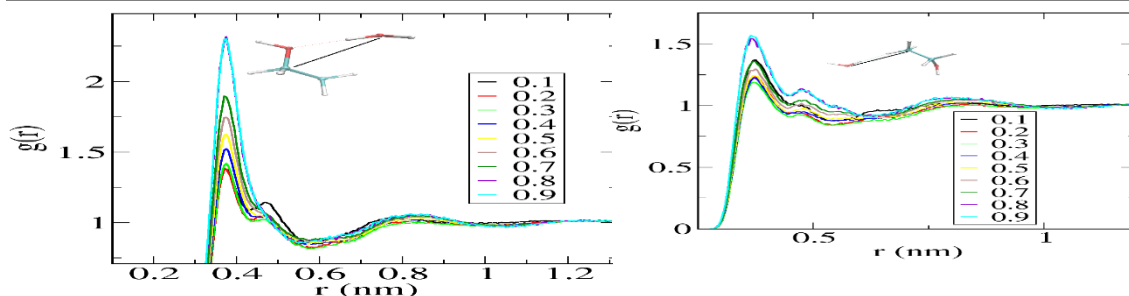


Рис. 5. Функция радиального распределения между атомом кислорода молекулы воды и атомом C2 этанола (слева) и атомом C1 этанола (справа) в водных растворах этанола в зависимости от концентрации, представленные в мольных долях.

Концентрации 0.1 м.д., указывающий на сильное взаимодействие между молекулами воды и гидроксильной частью этанола. Из рисунка 5 (справа) видно, что первый максимум расположен при 0.36 нм, нелинейным образом зависящий от концентраций этанола. Наибольшая интенсивность характерна для концентрационного интервала 0.7-0.9 м.д., этанола, объясняющий, что превалирующим взаимодействием в области высоких концентраций является взаимодействия молекул воды с гидрофобной частью этилового спирта. Наибольшая интенсивность характерна для концентрационного интервала 0.7-0.9 м.д этанола, объясняющий превалирующее взаимодействие в области высоких концентраций является взаимодействия молекул воды с гидрофобной частью этилового спирта. Подобное поведение характерно также и для концентрации 0.1 сравнимой с концентрацией 0.7. Из рисунков 6 видно, что кривая для концентрации 0.3 м д расположена ниже по сравнению с другими концентрациями, что говорит о том, что скорее всего между молекулами превалируют ван дер ваальсовый силы взаимодействия. Из формы кривых автокорреляционных функций скорости атома кислорода молекул воды видно, что первый минимум соответствует 0.106 пс.

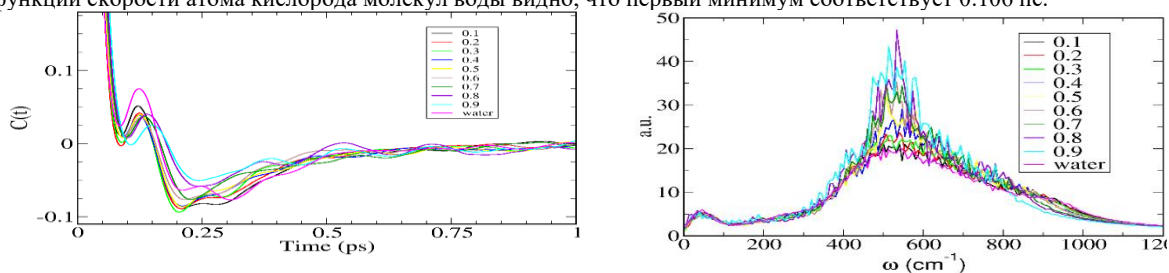


Рис 6. Колебательные спектры воды (б), и автокорреляционная функция скорости атома кислорода молекул воды (а) в водных растворах этилового в концентрационном диапазоне 0—0.9 м. д. с шагом концентрации 0.1 м. д. этанола, рассчитанные методом молекулярной динамики.

Наибольшее значение первого максимума характерно для чистой воды и для концентрации 0.1 мольная доля этилового спирта. Второй более глубокий минимум расположенный на 200 фс соответствующий минимальному значению концентрации с мольной долей 0.3, 0.2 и 0.1. С увеличением концентраций минимум сдвигается вправо и расположен ниже воды для концентраций 0.7 м.д. и выше для 0.8 и 0.9 м.д. Этот факт свидетельствует о том, что молекулы воды в меньшей степени участвуют в водородной связи с гидроксильной частью молекулами этанола. С увеличением концентраций, третий минимум, расположенный на 310 фс характерен только для области низких и средних концентраций и наблюдается плавное сглаживание в области высоких концентраций. В отличие от концентраций 0.2 и 0.3 м.д., минимум для концентрации 0.1 м.д. расположен ниже, чем для чистой воды, характеризующий сильную связь с молекулами этанола, в то время как, для концентраций 0.2 и 0.3 м.д. он расположен выше.

Заключение. При низкой концентрации этилового спирта, соответствующей 0.1 мольные доли, молекулы этанола встраиваясь в водородную сетку воды, приводят к перестройки молекул воды с образованием клатратной подобной структуре. Предложенный подход, основанный на совместном использовании методов ИК-спектроскопии и молекулярной динамики с классическими силовыми полями, успешно применен для изучения спектральных свойств и строения межмолекулярных связей, образующихся в водных смесях этилового спирта.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке фонда фундаментальных исследований АН Узбекистана и Министерства инновационного развития Республики Узбекистан (грант № UZB-Ind-2021-83) и Мираи фонда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zeinalipour-Yazdi D., Loizidou Z.. Chem. Phys., 550, (2021) 111295.
2. Oliveira B.G., de Araújo R.C.M.U., M.N.Ramos. J. Mol. Struc-THEOCHEM., 944, (2010) 168–172.
3. Joseph J., Jemmis E. D. Am J. Chem. Soc., 129, N 15 (2007) 4620-4632.

4. Chithralekha N., Panneerselvam A., 168 (2019) 108835.
5. Prathibha R., Bhanuprakash P., Narasimha C. rao, Jyothi N.V.V., Sivakumar K.. Chemical Data Collections., 19, (2019) 100184.
6. Gofurov Sh., Ismailova O., Makhmanov U., Kokhkharov A.. Int. Mol. J. Chem.Eng. 11, N 4 (2017).
7. Li R., Macnamara L., Leuchter J., Alexander R., Cho S.. Int. J. Mol. Sci., 16, N 7 (2015) 15872–15902.
8. Bozorova D. T., Gofurov Sh. P., Ziyayev, M. A., Ismailova O. Chemistry and chemical engineering., 2021, N 1 (2021) 44-47.
9. Berendsen H. J. C., Grigera R. J., Straatsma T. P.. J. Phys. Chem., 1987, 91, 6269–6271.
10. Tombari E., Presto S., G. Salvetti. J. Chem. Phys., 124, (2006) 154507–154516.
11. Pozar M., Lovricevic B., Primorac M., Zoranic B., Zoranic L., Primorac T., Sokolic F., Perera A.. Phys. Chem. Chem. Phys., 18, (2016) 23971.
12. Liu, Y. Ojamäe L.. Phys J.. Chem. A. 118, N 49 (2014) 11641-11651.
13. Henschman R. H., Irudayam S. J.. Phys J.. Chem. B., 114, (2010) 16792-16810.



UDK: 0538 (958)

Кувондик ДОВРАНОВ,

Базовый докторант Каршинский государственный университет

E-mail: quvondiqdavronm@gmail.com

Доцент Санкт-Петербургского политехнического университета, кандидат технических наук В.В.Лобода

MEASUREMENT OF THE BAND GAP USING THE SPECTROSCOPY METHOD OF THIN FILMS

Annotation

The properties of thin film silicides and semiconductor silicon films have been studied by IR spectroscopy and UV spectroscopy. At present, silicon-based heterostructured nanocomposites are of great interest. Despite the fact that silicon semiconductor films (crystalline, polycrystalline, amorphous) have been systematically studied for a long time, heterostructural films are new materials, the study of which began relatively recently.

The band gap energy was determined using infrared and ultraviolet spectroscopy of heterostructured $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$, and $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ thin films. Absorption, transmission, and diffuse reflectance spectra were obtained using FT-IR spectroscopy instruments and a UV spectrophotometer. The thickness of a layer of a thin film was measured. The band gap calculated from the transmission spectra was in the range of 0.32–1.31 eV for films deposited on silicon substrates and in the range of 0.36–1.25 eV for glass substrates.

Key words: IR transmission, UV absorption, Kubelka-Munk, band gap, thin films.

ИЗМЕРЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Аннотация

Методами ИК-спектроскопии и УФ-спектроскопии изучены свойства тонкопленочных силицидов и пленок полупроводникового кремния. В настоящее время большой интерес вызывают гетероструктурированные наноконпозиты на основе кремния. Несмотря на то, что кремниевые полупроводниковые пленки (кристаллические, поликристаллические, аморфные) систематически изучаются давно, гетероструктурные пленки являются новыми материалами, изучение которых началось сравнительно недавно.

Энергия запрещенной зоны определялась с помощью инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии гетероструктурированных тонких пленок $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$ и $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$. Спектры поглощения, пропускания и диффузного отражения были получены с помощью приборов FT-IR-спектроскопии и УФ-спектрофотометра. Измерялась толщина слоя тонкой пленки. Ширина запрещенной зоны, рассчитанная по спектрам пропускания, находилась в диапазоне 0,32–1,31 эВ для пленок, нанесенных на кремниевые подложки, и в диапазоне 0,36–1,25 эВ для стеклянных подложек.

Ключевые слова: ИК-пропускание, УФ-поглощение, Кубелка-Мунк, запрещенная зона, тонкие пленки.

YUPQA PLYONKALARNING SPEKTROSKOPIYA USULIDAN FOYDALANGAN HOLDA TAQIQLANGAN ZONA KENGLIGINI O'LCHASH

Annotatsiya

Yupqa plyonkali silisidlar va yarim o'tkazgichli kremniy plyonkalarining xususiyatlari IQ spektroskopiyasi va UV spektroskopiyasi bilan o'rganilgan. Hozirgi vaqtda kremniy asosidagi geterostrukturali nanokompozitlar katta qiziqish uyg'otmoqda. Kremniy yarimo'tkazgich plyonkalari (kristalli, polikristalli, amorf) uzoq vaqt davomida tizimli ravishda o'rganilganiga qaramay, geterostrukturali plyonkalar yangi materiallar bo'lib, ularni o'rganish nisbatan yaqinda boshlangan. Taqiqlangan zona energiyasi geterostrukturali $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$ va $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ yupqa plyonkalarining infraqizil va ultrabinafsha spektroskopiyasi yordamida aniqlandi. FT-IR spektroskopiya qurilmasi va UV spektrofotometri yordamida yupqa plyonkalarining yutilish, o'tkazish va diffuz aks ettirish spektrlari olindi. Yupqa plyonka qatlamining qalinligi o'lchandi. Yutilish va o'tkazish spektrlaridan hisoblangan taqiqlangan zona energiyasi kremniy substratlarga yotqizilgan plyonkalar uchun 0,32-1,31 eV oralig'ida va shisha tagliklar uchun 0,36-1,25 eV oralig'ida edi.

Kalit so'zlar: IQ-o'tkazish, UV-yutilish, Kubelka-Munk, taqiqlangan zona kengligi, yupqa plyonkalar.

Введение. Прямая оптическая ширина запрещенной зоны полупроводников традиционно измеряется путем экстраполяции линейного участка кривой поглощения, возведенного в квадрат к оси абсцисс, и разработана Тауком. Вариант этого разработанного метода также широко используется.

Наноразмерные модификации пленок силицидов металлов представляют интерес как функциональные материалы для нанофотоники, оптоэлектроники, ИК-детекторов [1]. Важным ключевым параметром, определяющим оптические свойства материала, является ширина запрещенной зоны. Наиболее распространенным способом

получения этого параметра является использование данных из спектра поглощения. Однако в ряде случаев прямое измерение оптического поглощения затруднено из-за особенностей строения образцов. Основной целью данной работы является реализация альтернативного метода определения значения пробега тонких пленок $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$ и $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ на основе анализа спектров отражения.

Экспериментальные измерения инфракрасного поглощения могут быть выполнены с использованием ИК-спектрофотометра дисперсионного типа или инфракрасного спектрофотометра с преобразованием Фурье интерференционного типа (FT-IR). Дисперсионные инструменты имеют ограничения, связанные с небольшой пропускной способностью и длительным временем сканирования. Компьютеризированный FT-IR очень удобен, быстр и позволяет получить большое количество спектров, усредненных по сканированию. Коммерческие приборы предоставляют программное обеспечение для измерения многих параметров, таких как пиковые значения, пики, спектры вычитания и т. д. [2]. Эффект квантового размера проявляется в этом материале даже в кристаллах размером в несколько десятков нанометров из-за малой эффективной массы возбужденной электронно-дырочной пары. Квантовые точки нанопленок $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$ и $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ очень привлекательны для оптоэлектронных устройств среднего инфракрасного диапазона, таких как фотонные детекторы. Он используется в качестве материала мишени в инфракрасных датчиках, решетках и различных оптоэлектронных устройствах [3].

Литературный обзор. Кубелка-Мунк [4] и Кумар [5] изучали его на различных химических соединениях и измеряли ширину запрещенной зоны по инфракрасным и ультрафиолетовым спектрам неорганических веществ.

Методология исследования. С помощью молекулярного турбонасоса (Pfeiffer vacuum) в камере магнетронного прибора EPOS-PVD-DESK-PRO создавался высокий вакуум при давлении 10-6 Торр. Сначала поверхность прозрачных стеклянных и кремниевых пластин была механически очищена 20% разбавленной плавиковой кислотой, затем поверхность стекла и кремния была повторно очищена путем ионизации газов аргона внутри камеры с помощью «ионной пушки» очистное устройство, установленное в камере магнетрона. Ток от источника питания магнетрона 657 мА, мощность 221 Вт, напряжение 336 В. С помощью турбомолекулярного насоса в камеру всасывался воздух до достижения давления 10-5 Торр. Сначала были созданы тонкие пленки $\text{Mn}_4\text{Si}_7/\text{Si}(111)$, $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$ и $\text{CoSi}_2/\text{Si}(111)$ различной толщины при комнатной температуре методом «ион-плазма».

Для получения спектров поглощения, пропускания и диффузного отражения использовали спектрофотометр UV-1900i и метод Нарт-Ханзел спектрофотометра IRTracer-100 тонких пленок, полученных «ионно-плазменным» методом [6]. Одно из аналитических устройств, IRTracer-100, имеет уникальную особенность, заключающуюся в том, что его можно использовать в дополнение к существующим аксессуарам, таким как устройство ослабленного полного отражения с одним отражателем и устройство диффузного отражения, а также аксессуары для измерения пропускания, такие как съемный КВг.

В данной работе всесторонне исследовано влияние материалов подложки на физические свойства осаждаемых тонких пленок $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$. В этом исследовании использовались две подложки, а именно стеклянные пластины (подложка) и пластины из чистого кремния (подложка). В результате пробы ионно-плазменным методом в условиях высокого вакуума появляются тонкие слои силицида хрома. Прямая оптическая ширина запрещенной зоны тонких пленок измеряется путем экстраполяции линейного участка квадрата кривой поглощения на ось абсцисс и была разработана Кубелкой-Мунк. Вариант этого разработанного метода также широко используется.

Анализ и результаты. Спектры диффузного отражения и параметры энергетической структуры.

Определение ширины запрещенной зоны тонких пленок очень важно для повышения чувствительности оптоэлектронных устройств и прогнозирования их качественных характеристик. Например, наиболее часто используемыми методами измерения являются измерения пропускания тонких пленок или спектроскопические методы, основанные на поглощении. Эти методы предпочтительнее для измерения оптических и некоторых электрофизических свойств материалов, так как в основном они основаны на расчете глубины проникновения фотонов в энергетический диапазон запрещенной зоны полупроводников [7]. Благодаря глубине проникновения фотонов в тонкие пленки можно определить ширину дырочной или электронной проводимости в них по энергии фотонов. При определении оптической ширины запрещенной зоны наноразмерных образцов необходимо учитывать некоторые переменные ширины полосы. С помощью метода ИК-спектроскопии измеряются такие параметры, как энергия фотона ($h\nu$), волновое число (k), функция отражения поглощения ($F(R)$) и коэффициенты поглощения и рассеяния (K, S).

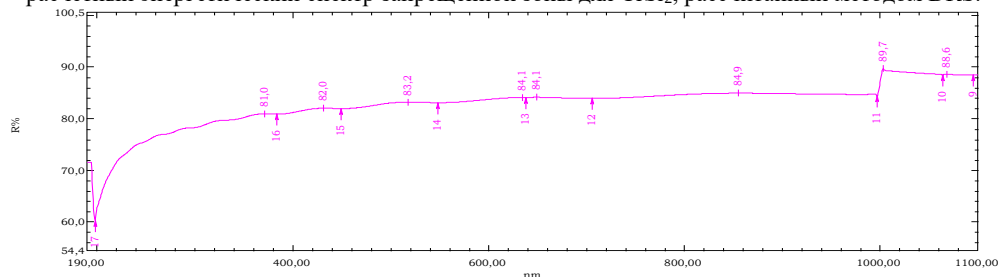
При экспериментальном определении ширины запрещенной зоны тонких пленок общепринятой практикой является сначала преобразование спектров пропускания в спектры псевдопоглощения $F(R)$ с помощью преобразования Кубелки-Мунка [4]:

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

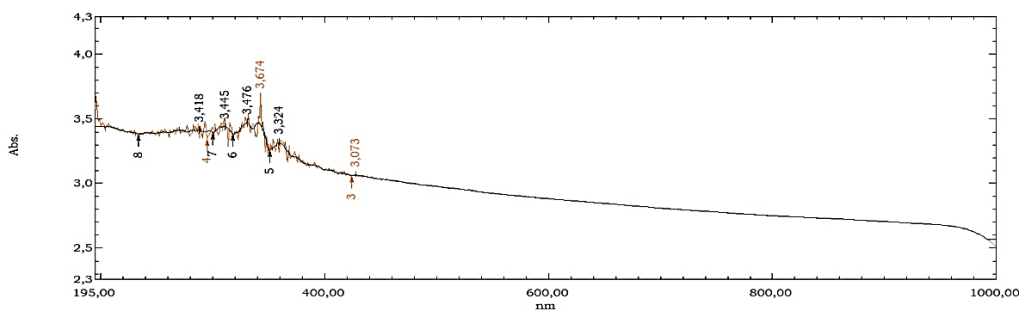
здесь R — коэффициент отражения образца, K и S — коэффициенты поглощения и рассеяния соответственно.

Спектры, полученные методом диффузного отражения, отличаются от стандартных спектров пропускания. Спектры могут быть преобразованы в единицы Кубелки-Мунка, что компенсирует различия. На рис. 2 показан

расчетный энергетический спектр запрещенной зоны для CrSi₂, рассчитанный методом DRS.



а



б

Рисунок 1. Спектр диффузного отражения а-кремния, спектр поглощения тонкой пленки б-силицида марганца

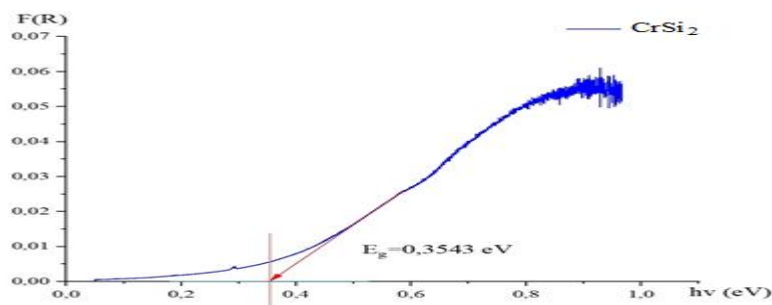


Рисунок 2. Зависимость функции отражения поглощения от энергии фотонов

Коэффициент рассеяния зависит как от размера частиц, так и от упаковки образца, что объясняет важность подготовки образца для получения точных результатов. Чтобы выполнить преобразование Kubelka-Munk, выберите “Kubelka-Munk” в меню программы FTIR. Для этого нет параметров для настройки. Уравнение Кубелки-Мунка создает линейную зависимость спектральной интенсивности от концентрации образца.

Энергия структуры глотание спектры и параметры.

Спектральные зависимости коэффициента поглощения $\alpha(h\nu)$ рассчитывали по следующим аналитическим уравнениям и формулам, рекомендованным Кубелкой-Мунком и Кумаром [5]:

$$\alpha(h\nu) = \frac{\ln\left(\frac{R_{max}-R_{min}}{R(h\nu)-R_{min}}\right)}{2 \cdot d} \quad (2)$$

здесь R_{max} и R_{min} отражение продолжать максимум и минимальные значения, d - поглощение слой толщина.

$$\alpha(h\nu) \cdot h\nu = A \cdot (h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

здесь A — постоянная, E_g - ширины запрещенной зоны, n - показатель, определяющий тип межзонных переходов (1/2; 3/2; 2 и 3 прямо и косвенно разрешены и запрещены соответственно для переходов).

Ограниченные информацией об энергетической структуре и характере межзвездных переходов в пленке CrSi₂, мы аппроксимировали данные по поглощению, полученные по моделям Кумара и Кубелки-Мунка, уравнением (3), задав параметр n в качестве переменной. Наилучшее соответствие (коэффициент корреляции 0,986) было достигнуто при значениях 2 и 2,5 для CrSi₂.

Для получения значений энергии запрещенной зоны мы проанализировали спектральные зависимости определяемого поглощения с использованием подходов Кубелки-Мунка и Кумара в координатах не прямых оптических переходов (рис. 2 и рис. 3).

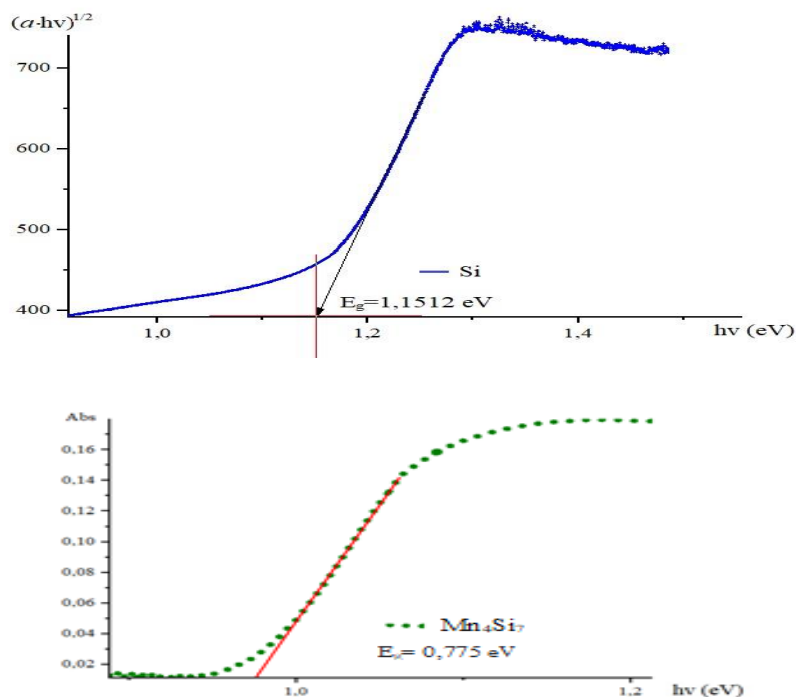


Рисунок 3. Спектры косвенных переходов, измеренные по функции Кубелки-Мунка

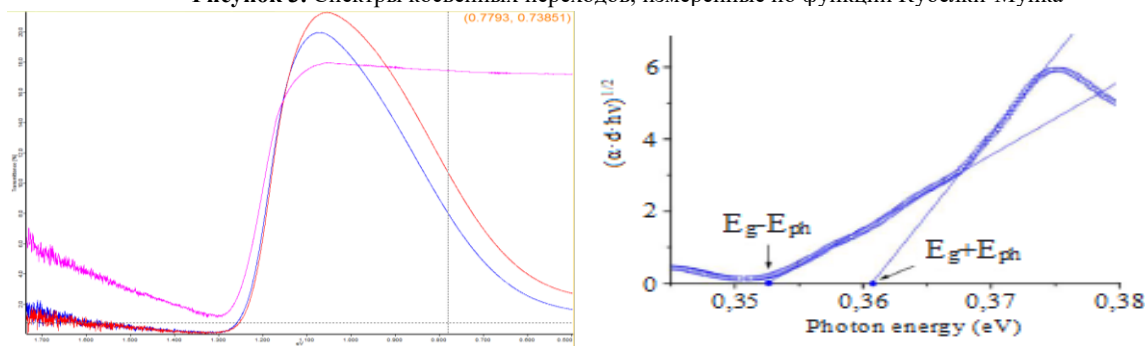


Рисунок 4. Значения энергетической щели с поглощением и испусканием фононов (E_{ph}) по модели Кумара для силицида марганца

Аппроксимация линейного участка в спектральной зависимости функции К-М прямой линией до пересечения с осью абсцисс равна 1 соответственно для тонких Si(111), $Mn_4Si_7/Si(111)$ и $CrSi_2/Si(111)$. 1,512 эВ, 0,773 эВ и 0,3543 эВ для энергий запрещенной зоны для не прямых переходов.

Более сложные особенности наблюдаются при использовании модели Кумара (рис. 3). Спектр поглощения характеризуется двумя линейными участками. Координаты точек пересечения с осью энергии соответствуют значениям $E_g + E_{ph}$ и $E_g - E_{ph}$, где E_g – энергетический зазор между максимальной и минимальной зонами проводимости валентной зоны, E_{ph} – не прямая оптическая энергия вовлеченных фононов. в переходе [8]. Другими словами, существует два типа непрямого перехода: поглощение и испускание фононов. На рис. 4 показано схематическое изображение этих переходов. Полученные значения энергетической щели и энергии фононов для тонких пленок Si(111), $CrSi_2/Si(111)$ и $Mn_4Si_7/Si(111)$ сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Метод	Образец	Si (111)	$CrSi_2/Si(111)$	$Mn_4Si_7/Si(111)$
		E_g (эВ)	E_g (эВ)	E_g (эВ)

Кубелка - Мунк	1,1512	0,3543	0,773
Кумар модель	1,132	0,362	0,684

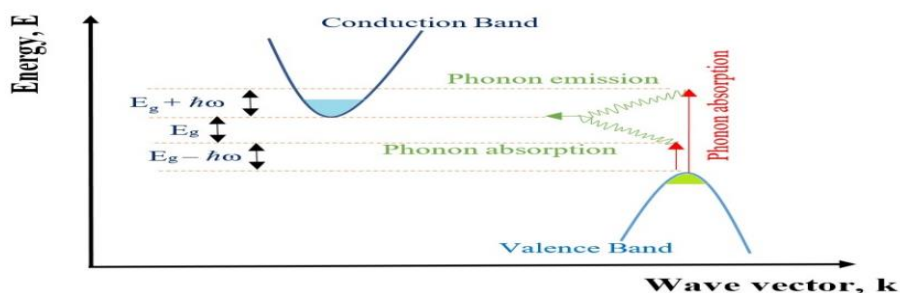


Рисунок 5. Схематическое изображение не прямых межзонных переходов с поглощением и испусканием фононов в тонких пленках, полученных ионно-плазменным методом

Закключение. В данной работе были измерены ширина запрещенной зоны (E_g) и энергия фононов тонких пленок с гетероструктурированными тонкими пленками, полученными в условиях высокого вакуума ионно-плазменным методом с использованием методов ИК-Фурье и УФ-спектроскопии поглощения. Определения энергетической щели для не прямых переходов 1,1512 эВ, 0,773 эВ и 0,3543 эВ для тонких пленок Si(111), $Mn_4Si_7/Si(111)$ и $CrSi_2/Si(111)$ соответственно разрешены. Из результатов видно, что нами показан подход к определению спектральных характеристик центров поглощения, типов межзонных переходов и величин запрещенной зоны для тонкослойных пленок, сформированных методом магнетронного распыления, на основе данных спектров отражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамракар Р.К., Бисен Д.П., Брахме Н. Рез. Хим. Промежуточный. № 40. 1771-1779 гг. 2014.
2. Анишур Рахман АТМ., Василев К., Маевски П. Журн. Коллоид. Интерф. науч. 354. С. 592-596. 2011.
3. Зацепин А.Ф., Кузнецова Ю.А., Спаллино Л. и др. Energy Proc. 102 с. 144-151. 2016.
4. Normuradov M.T., Dovranov Q.T., Davronov X.T. QarDU xabarlar. №(4/1)54.C.27-31
5. Dovranov K., Davranov Kh., Doniyorova I., Turaqulov H. Infrared analysis of thin films. «Young Scientist». № 52 (447). Pp. 1-3. 2022.
6. Kubelka P., Munk F. Journ. Tech. Phys. 12. 593. 1931.
7. Кумар В., Шарма Т.П., Сингх В. Опт. Мэтр 12. pp. 115–119. 1999.
8. Вакаки М., Сибуя Т., Кудо К. Физические свойства и данные оптических материалов (CRC Press Taylor Francis Group). 2007.



UDK: 539.106., 543.52

Alisher JURAKULOV,
NDKTU dotsenti
Eliboy XUDAYBERDIYEV,
NDKTU dotsenti

NavDPI professori f.-m.f.d., S.A.Imomkulov taqrizi asosida

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИЗОТОПОВ РАДИЯ И РАДОНА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ РАЙОНА ВОЗДЕЙСТВИЯ. УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация

В статье представлены результаты научных исследований по определению изотопов радия и радона в природных водах урановой промышленной зоны. По результатам проведенных исследований установлено, что количество изотопов радия и радона в природных водах урано-промышленной зоны отличается от установленных норм.

Ключевые слова: Техногенные объекты, радионуклиды, изотопное содержание, объемная активность, традиционный метод эманации, радоновый эксгал, радоновая дегазация, распад радионуклидов.

INVESTIGATION OF THE AMOUNT OF RADIUM AND RADON ISOTOPES IN THE NATURAL WATERS OF THE AFFECTED AREA. URANIUM INDUSTRY

Annotation

The article presents the results of scientific research on the determination of radium and radon isotopes in the natural waters of the uranium industrial zone. According to the results of the conducted studies, it was found that the amount of radium and radon isotopes in the natural waters of the uranium-industrial zone differs from the established norms.

Key words: Technogenic objects, radionuclides, isotopic content, volumetric activity, traditional method of emanation, radon exhalation, radon degassing, decay of radionuclides.

URAN SANOATI TA'SIRI HUDUDIDAGI TABIIY SUVLARDA RADIY VA RADON IZOTOPLARINING MIQDORINI O'RGANISH

Annotatsiya

Ushbu maqolada uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridagi radiy va radon izotoplarini aniqlash bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqot natijalari keltirilgan. O'tkazilgan tadqiqotlar natijalari asosida uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridagi radiy va radon izotoplari miqdori o'rnatilgan me'yorlardan farq qilishi aniqlandi.

Kalit so'zlar: Texnogen obyektlar, radionuklidlar, izotop miqdori, hajmiy aktivlik, an'anaviy emanatsiya usuli, radon eksxalyatsiyasi, radon degazatsiyasi, radionuklidlarning parchalanishi.

Kirish. Radioaktiv radionuklidlar orasida radon – ^{222}Rn eng xavfli hisoblanadi. Inson organizmiga kirib, radon tirik mavjudotning turli organlarida kasalliklarni, ayniqsa o'pka saratoniga olib keladigan jarayonlarni tezlashtiradi. Alfa-zarralarining barcha energiyasi parchalanish nuqtasida deyarli so'rilishi sababli radon yadrolari va uning izotoplari radionuklidlarning parchalanishi o'pkada mikro kuyishga olib keladi.

Radon tanaga shikastlangan teri orqali ham kirishi mumkin. Radon parchalanib ketganda, uchuvchan bo'lmagan radioaktiv mahsulotlar (Po, Vi va Pb izotoplari) hosil bo'lib, ular tanadan katta qiyinchilik bilan chiqarib tashlanadi.

Uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridagi radiy va radon izotoplari tadqiqoti texnogen obyektlarning ularga ta'sir darajasini belgilash uchun o'tkaziladi. Turli xil yer osti suvlarida radon izotopining ona yadro radiyga bog'liqlik minosabati o'rganib chiqilishi – radon ^{222}Rn izotopi miqdorining radiy – ^{226}Ra izotopi miqdoriga bog'liqligini aniqlashni talab qiladi [1].

Yuqorida aytilganlar asosida turli xil texnogen ob'ektlarda radon eksxalyatsiyasining o'ziga xos xususiyatlarini aniqlash va baholash usullarini ishlab chiqish analitik kimyo, amaliy yadro fizikasi va radioekologiyada dolzarb muammo hisoblanadi.

Ishning maqsadi uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridagi radiy va radon izotoplarining tarqalishi, ularning o'zaro nisbatlari, genetik bog'lanishi natijalarini olishdan iborat.

Tajriba metodi va texnikasi suv namunalari radioizotoplarining konsentratsiyasi "Kamera" moslamasida instrumental usul bilan aniqlandi, bu esa ekspress o'lchovlarni an'anaviy emanatsiya usulidan ko'ra tezroq amalga oshirishga imkon beradi. Radioizotoplar konsentratsiyasining ma'lum bir aniqlangan qiymati har xil chiqindilarning turli tarkibini birgalikda saqlash paytida radioizotoplarining geokimyoviy xatti-harakatlari imkoniyatini ko'rsatadi.

Olingan natijalar va ularning muhokamasi uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridan olingan yer osti suvlarida hosilaviy ^{222}Rn radionuklidi miqdori va ona yadro ^{226}Ra radionuklidi miqdori bo'yicha olingan natijalar quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridan olingan namunalardagi hosilaviy ^{222}Rn radionuklidi va ona yadro ^{226}Ra radionuklidlarining miqdorlari

Namuna t/r	Namuna olish hududlari	Ra, (Bk/l)	Rn (Bk/l)
1	Uchquduq	55	130
2	Nurobod	16	213
3	Ketmenchi	23	115
4	Zafarobod	11	230
5	Shurobod	282	74
6	Nurbulok	381	120
7	9 – quduq	124	516

1 - jadvaldagi natijalardan ko'rinadiki radon ^{222}Rn izotopining miqdori va radiy ^{226}Ra izotopi miqdori o'zaro bir-biriga bog'liq emas.

Bu natijalardan ko'rinadiki, yer osti suvlari yerning kapillyar tirqishlari orqali chiqib keladigan radon bilan to'yinadi. Yer osti suvlari yer yuzasiga chiqqach atmosfera havosi bilan kontaktga kirishi natijasida suvda erigan radonning degazatsiyasi – ya'ni havoga uchib ketishi sodir bo'ladi. Radon har doim zichligi katta bo'lgan muhitdan zichligi kichik bo'lgan muhitga o'tadi. Bu yerda asosiy faktor radonli suvning atmosferasi bilan kontakt vaqti hisoblanadi. Tajribalarda bu hududlarning yer osti suvlarida radonning hajmiy aktivligi ona yadro – radiy konsentratsiyasiga bog'liq emasligi kuzatildi 1- rasm .



1-rasm. Texnogen hududlar yer osti suvlaridagi hosilaviy ^{222}Rn va ona yadro ^{226}Ra radionuklidlari miqdorlari

Samarqand viloyati Nurobod tumani hududi maydonida joylashgan 260 m chuqurlikdagi yer osti qudug'idan olingan yer osti suv namunalari, Zafarobod tumani hududi maydonida joylashgan 280 m chuqurlikdagi yer osti qudug'idan olingan yer osti suv namunalari, Ketmenchi tumani hududi maydonida joylashgan 230 m chuqurlikdagi yer osti qudug'idan olingan yer osti suv namunalari Navoiy viloyati Uchquduq tumani hududi maydonida joylashgan 250 m chuqurlikdagi skvajinadan olingan yer osti suv namunalari radonning hajmiy aktivliklari o'Ichandi. Barcha holatlarda degazatsiya qonuniyati bir xil kechganligini tajriba ko'rsatdi.

Ajratib olingan suv namunalari radonning hajmiy aktivligi suvni olish vaqtidan keyin 2 soatdan 14 soatgacha muddatda o'Ichandi. BDB-13 detektor blokida suv namunalari radonning hajmiy aktivligini o'Ichashdagi asosiy xatolik 30% dan oshmaydi.

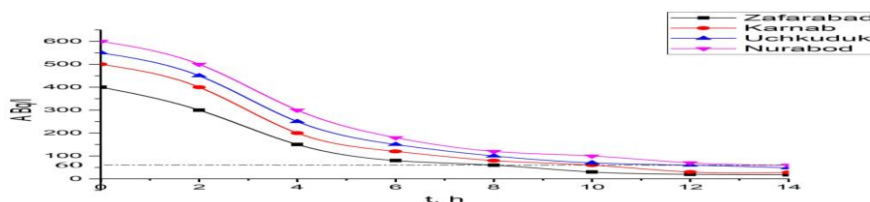
Navoiy kon-metallurgiyasi kombinatining texnogen hududlaridagi kimyoviy tarkibi K^+ , Sa^+ , Mg^+ , Na^+ , Mn^+ , Cl^- , NO^- bo'yicha har xil bo'lgan yer osti suvlaridan olingan namunalarda ^{222}Rn zararli gazi degazatsiya uchun ketadigan vaqtning optimal qiymati tajriba yo'li bilan aniqlandi. Natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Texnogen hududlar yer osti suvlaridagi ^{222}Rn gazining degazatsiya vaqtini eksperimental aniqlangan natijalari

O'Ichash vaqtlari	Hududlar nomi			
	Zafarobod	Ketmenchi	Uchquduq	Nurobod
0	400	500	550	600
2	300	400	450	500
4	150	200	250	300
6	80	120	150	180
8	60	80	100	120
10	30	60	70	100
12	20	30	60	70
14	18	28	48	60

2 - rasmda texnogen hududlardagi 4 ta kuzatuv nuqtalarida yer osti suvlaridagi radon degazatsiyasi vaqtini aniqlash natijalari keltirilgan.



2-рasm. Texnogen hududlardagi yer osti suvlaridan olingan na'munalarda ^{222}Rn ning degazatsiya jarayoni

Olingan natijalardan ko'rindiki (2 – rasm) radonning hajmiy aktivligi miqdori bo'yicha yer osti suvi iste'mol qilish me'yoriga kelishi uchun ya'ni belgilangan qiymat 60 Bk/l ga kelishi uchun o'rta 8-14 soat oralig'ida vaqt ketar ekan. Har bir texnogen hududning uran ma'danlari bo'yicha konsentratsiyasi ko'rsatkichiga bog'liq ravishda har bir suvning degazatsiyasi optimal vaqti har xil ekanligi tajribada aniqlandi. Zafarobod hududidagi yer osti suvlarining me'yorgacha kelishiga ketadigan degazatsiya vaqti 8 soatni, Ketmenchida 10 soatni, Uchquduqda 12 soatni hamda Nurobod hududidagi yer osti suvlarida degazatsiya vaqti 14 soatni tashkil etgan. Barcha hududlar uchun optimal degazatsiya vaqtlari tajribada aniqlangan va suv tanqis cho'l hududlari uchun yer osti suvlaridan foydalanishga tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Xulosa. Mazkur tadqiqot asosida uran sanoati ta'siri hududi tabiiy suvlaridan olingan namunalarda ^{222}Rn radionuklidi va ^{226}Ra radionuklidlarining miqdorlari aniqlangan, radon ^{222}Rn izotopining miqdori va radiy ^{226}Ra izotopi miqdori o'zaro bir-biriga bog'liq emasligi aniqlagan, radon har doim zichligi katta bo'lgan muhitdan zichligi kichik bo'lgan muhitga o'tishi sababli u ochiq havoda doimiy degazatsiyaga uchraydi va bu vaqtni tajriba yo'li bilan aniqlash mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М., Мустафоев М.А., Авезова Д.А. Отсенки возможности радиометрических приборов для контроля радиоэкологической состояние урановых производств // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Рационально использование минерального и техногенного сырья в условиях индустрии 4.0». – Алматы (Казахстан), 2019. – С. 308-312.
2. Музафаров А.М., Урунов И.А., Журакулов А.Р., Аллаберганова Г.М. Особенности поведения радона в различных подземных водах // Горный вестник Узбекистана. – Навои: НГМК, 2018. – №4 (75). – С. 126-127.
3. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Темиров Б.Р., Нерущенко Е.В., Бучко И.А. Комплексная отсценка радиационно-дозиметрической и экологической обстановки в зоне деятельности НГМК // Инновационные технологии горно-металлургической отрасли: Тез.док. рес. кон. 21 октября 2011. – Навои, 2011. – С. 213-215.
4. Музафаров А.М., Урунов И.А., Аллаберганова Г.М., Журакулов А.Р. Особенности поведения радона в различных подземных водах. // Горный вестник Узбекистана. – Навои: НГМК, 2018. – №4. – С. 125-127.
5. Журакулов А.Р., Музафаров А.М., Курбанов Б.И. Отсценка состояния распределения естественных радионуклидов в почвах к близлежащим техногенным объектам. / «Фан ва Жамият» Илмий-услубий журнали. – Нукус (Каракалпакистан), 2020. – №-1. – С.16-17
6. Журакулов А.Р., Курбанов Б.И., Музафаров А.М. Исследование возможности контроля элементного состава в технологических потоках по мгновенному гамма-излучению при захвате нейтронов // Журнал "Экология". – Минск: БГУ (Беларусь), 2020. - №2. - С.36-40.
7. Juraqulov A.R., Kurbanov B.I., Muzafarov A.M., Turdiyev S.Y., Ahmedov Y.A. Nuclear-Physical Methods of Investigations of Some Rare Earth Elements in Samples of Ore Deposits of Uzbekistan // The ninth international conference "Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies" 24-27 September 2019. – Tashkent (Uzbekistan), 200119. –pp. 143.
8. Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Muzafarov A.M., Juraqulov A.R., Urunov I.A., Abdiraxmonov U. Sh. Method for Conducting of Uranium Isotopic Analysis in Various Natural Waters of Uranium - Bearing Regions of Uzbekistan // International Journal of Academic Multidisciplinary Research. – Washington (USA), 2019. - vol. 3, issue 10. - pp.52-55.
9. Juraqulov A.R., Muzafarov A.M., Urunov I. A., Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Husanov Z.J., Abdiraxmonov U. Sh. Method of Determining and Assessment of Radon Ehalation Characteristics in technogenic objects. // International Journal of Mining Science. – India, 2019. - vol.5, issue 4. - pp.35-38.
10. Васидов А. Радон ва уни аниклаш усуллари. – Тошкент: "Ўзбекистан" нашриёти, 2015. – 200-б.
11. Музафаров А.М., Урунов И.А., Аллаберганова Г.М., Журакулов А.Р. Особенности поведения радона в различных подземных водах. // Горный вестник Узбекистана. – Навои: НГМК, 2018. - №4. – С. 125-127.
12. Журакулов А.Р., Музафаров А.М., Курбанов Б.И. Оценка состояния распределения естественных радионуклидов в почвах к близлежащим техногенным объектам. / «Фан ва Жамият» Илмий-услубий журнали. – Нукус (Каракалпакистан), 2020. - №-1. - С.16-17.
13. Журакулов А.Р., Музафаров А.М., Курбанов Б.И., Урунов И.А. Оценка значений радиационных факторов в зонах действий и прилегающих объектах уранового производства // Научно-практический электронный журнал «ТесНика». – Андижан: Изд. "Re-Health", 2020. - № 2. – С.24-27.

14. Журакулов А.Р., Музафаров А.М., Курбанов Б.И. Изучение радиозоологической обстановки в техногенных объектах уранового производства с использованием дозиметрических методов. // «Ядерная физика и ядерные технологии»: Сборник докладов VI Республиканской конференции молодых физиков Узбекистана, 1-2 декабря 2020. – Ташкент: ИЯФ АН РУз, 2020. – С.224-230.
15. Музафаров А.М, Сатторов Г.С, Кист А.А., Журакулов А.Р. Радиометрическое обследование и экологические реабилитационные работы хвостохранилища ГМЗ // “ИННОВАЦИОН”: Сборник научных статей. – Ташкент, 2013. – С.192-193.



UDK:621.315.592

Abdugafur MAMADALIMOV,

O'zMU Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy tadqiqot instituti, O'zFA akademigi, professor.

E-mail: almardonovshohrux667@gmail.com

Nilufar HAKIMOVA,

O'zMU Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy tadqiqot instituti doktoranti

E-mail: mirjalolnorboyev97@gmail.com

Shohzod NORBEKOV,

O'zbekiston Milliy universiteti doktoranti

E-mail: Norbekov7777@mail.ru

Shohrux ALMARDONOV,

O'zbekiston Milliy universiteti magistranti

E-mail: almardonovshohrux667@gmail.com

Toshkent Davlat Texnika universiteti professori f.m.f.d. DSc K.S.Ayupov taqrizi asosida

STUDY OF THE INFLUENCE OF γ - ^{60}Co -RADIATION ON THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF "KOMOLOT-79" GRADE COTTON FIBERS

Annotation

The main results of the research are as follows. Research of electrical and photoelectric properties of "Komolot-79" grade cotton fibers irradiated with γ - ^{60}Co -radiation source at different doses and doped with iodine. The research was conducted in the temperature range (300–360 K) and voltage (0–100 V). According to the results of the study, it was observed that cotton fibers (CF) irradiated with different doses and doped with iodine had a much higher current than purified and untreated "Komolot-79" grade cotton fibers. The current flowing from all the samples prepared as an object of research was proved to obey Ohm's law. According to the studies, it was shown that the photoconductivity of the "Komolot-79" grade CF sample doped with iodine under the influence of ultraviolet light is mainly related to the formation of inter-zone electron-hole pairs. From the obtained results, the activation energy of the deep level formed by CF doped with iodine was determined.

Key words: Cotton fiber, electrical conductivity, photoconductivity, volt-ampere characteristic, diffusion.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ γ - ^{60}Co -ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛОПКОВЫХ ВОЛОКНОМ СОРТА "КОМОЛОТ-79"

Аннотация

Основные результаты исследования заключаются в следующем. Исследованы электрические и фотоэлектрические свойства хлопковых волокон сорта Комолот-79, облученных источником излучения γ - ^{60}Co в различных дозах и легированных йодом. Исследования проводились в диапазоне температур (300–360 K) и напряжения (0–100 В). По результатам исследования было определено, что хлопковые волокна (ХВ), облученные разными дозами и легированные йодом, имели значительно больший ток, чем очищенные и необработанные хлопковые волокна сорта «Комолот-79». Доказано, что ток, протекающий от всех образцов, приготовленных в качестве объекта исследования, подчиняется закону Ома. По результатам исследований было показано, что фотопроводимость легированного йодом образца ХВ сорта «Комолот-79» под действием ультрафиолетового излучения, в основном, связана с образованием межзонных электронно-дырочных пар. По полученным результатам определена энергия активации глубокого уровня, сформированного ХВ, легированным йодом.

Ключевые слова: Хлопковое волокно, электропроводность, фотопроводимость, вольт-амперная характеристика, диффузия.

γ - ^{60}Co –NURLANISHINI "KOMOLOT-79" NAVLIY PAXTA TOLALARINING ELEKTROFIZIK XOSSALARIGA TA'SIRINI TADQIQ QILISH

Annotatsiya

Tadqiqot ishining asosiy natijalari quydagilardan iborat. Turli dozalarda γ - ^{60}Co nurlanish manbaida nurlantirilgan hamda yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalarining elektrik va fotoelektrik xossalarini tadqiq qilish. Tadqiqot (300–360 K) harorat diapazonida hamda kuchlanish (0–100 V) oralig'ida olib borilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra turli dozalarda nurlantirilgan va yod bilan legirlangan paxta tolalari (PT) tozalangan va ishlov berilmagan "Komolot-79" navli paxta tolalariga nisbatan juda yo'qori tok o'tgani kuzatildi. Tadqiqot obyekti sifatida tayyorlangan barcha namunalardan oqayotgan tok ohm qonuniga bo'ysinishi qayt qilindi. O'rganishlarga ko'ra, yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli PT namunasining

ultra binafsha nur tasirida hosil bo'lgan fotoo'tkazuvchanlik asosan zonalar aro electron-kovak juftliklarini hosil qilish bilan bog'liqligi ko'rsatildi. Olingan natijalardan yod bilan legirlangan PT hosil bo'lgan chuqur satxning aktivatsiya energiyasi aniqlandi.

Kalit so'zlar: Paxta tolasi, elektr o'tkazuvchanlik, fotoo'tkazuvchanlik, Volt-amper xarakteristika, diffuziya.

Kirish. Hozirgi paytda mikroelektronika o'zining eng yuqori bosqichiga erishdi. Bu esa o'z navbatida yangi muammolarni, hamda elektron texnikaning integratsiyasini, ya'ni, nanoelektronikani rivojlantirishda katta hissa qo'shadi. Nanoelektronika ravnaqi, tolalar fizikasini mukammal rivojlantirishni taqozo etadi. Bundan kelib chiqqan holda XXI asrning birinchi yarmida nanostrukturalar rivojlanishining dolzarb muammolarini hal qilishning yo'llaridan biri tolalar fizikasi asoslarini o'rganish o'ta muhimdir. Ilk bor paxta va ipak tolalarining yarimo'tkazgich xossalarga ega ekanligi aniqlandi[1]. Polimerlarda elektr o'tkazuvchanligiga yigirmanchi asrning oxirlaridan ushbu materiallarda zaryad tashish tabiatini tushunish uchun keng o'rganildi[3].

Paxta tolalarining elektrofizik xususiyatlari asosan uning cuticula qatlamida nomoyon bo'ladi[5]. Paxta tolalarining turli navlarida cuticula qatlami turli xil strukturaga ega ekanligidan kelib chiqqan holda uning elektrofizik xususiyatlari xam turli xildir. Shuning uchun tadqiqot doirasini kengaytirish, tolalarning elektrofizik xossalari umumiy qonuniyatlarini ochib berishga va tolalarda sodir bo'ladigan elektron jarayonlarning mexanizmlarini ochib berishga hamda elektron jihozlarning diskret elementlarini ishlab chiqishga imkon beradi. Xozirgacha tabiiy tolalarning xususan, paxta tolalarining fizikaviy xususiyatlari to'liq tekshirilmagan ayniqsa, elektrofizikaviy xossalari. Shuning uchun tabiiy tolalarining elektrofizik xossalari o'rganish dolzarb muammolardan hisoblanadi.

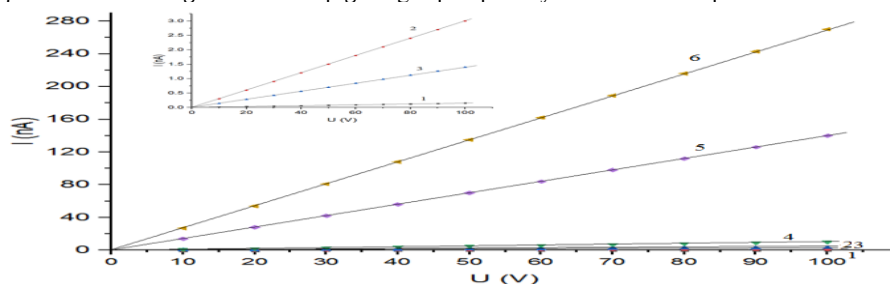
Turli xil navliy PT fizik xossalari o'rganilgan[5-6]. Ammo γ - ^{60}Co nurlanish manbaida nurlantirilgan "Komolot-79" PT navining elektrofizik xususiyatlari o'rganilmagan. Ushbu maqolada γ - ^{60}Co nurlanish manbaida nurlantirilgan va yod bilan legirlangan "Komolot-79" PT navining elektrofizik xususiyatlarini o'rganishning ba'zi natijalari keltirilgan. O'tkazuvchanlik mexanizmi asosida zaryad tashuvchilarning harakatchanligi va konsentratsiyasi bilan tavsiflanadi. Legirlash polimerlarda o'tkazuvchanlikni nazorat qilishda muxim omil hisoblanadi [7].

Bizga malum bolishicha, γ - ^{60}Co nurlanish manbaida nurlantirilgan "Komolot-79" navliy PT elektrofizik xossalari hozirgacha adabiyotlarda qayd etilmagan. Ushbu maqolada γ - ^{60}Co nurlanish manbaida nurlantirilgan hamda yod bilan legirlangan "Komolot-79" navliy PTsining elektrofizik natijalari keltirilgan.

Tajriba qismi. Tajriba uchun turli vaqt davomida 65.73 ren/s dozadagi γ - ^{60}Co –nuranish manbai bilan nurlantirilgan va nurlanmagan "Komolot-79" navli PT tanlab olindi. Dastavval, pishib yetilgan paxta chigitidan tolalar parallel joylashgan holda ajratib olindi. Paralel joylashgan tolalarning taxmini soni 4500-5500 dona va uzunligi 6 mm. PT legirlash jarayonini boshlashdan oldin tozalash va barqarorlashtirish bosqichidan o'tkaziladi. PT 800C da distillangan suvda 20 min davomida yuviladi. Tozalangan PT 5, 12, 120 soat turli vaqtlar davomida 65.73 ren/s dozadagi γ - ^{60}Co –nuranish manbai bilan nurlantirildi. Nurlantirilgan namunalar yodning 7% spirtidagi eritmasi solingan vannada 20 min davomida xona xaroratida ($T \approx 300\text{K}$) ushlab turildi. Namunalar vannadan olinib 750C havo muhitida 7 soat davomida legirlash jarayonidan o'tkazildi. Namunalarga ohmik kontak olish uchun grafit kukunining suyuq shisha bilan aralashmasidan foydalanildi. Omli kontaktlarning qarshiligi 100-200 $\Omega \cdot \text{cm}$, namuna uzunligi 4 mm. Namunalarning elektrofizik xarakteristikalari to'k kuchining kichik darajasida (nanoamperda) III-300 electrometer orqali qorong'u va ultra binafsha (UB) nur ostida ($\lambda = 254 \text{ nm}$) o'lchandi. O'lchovlar olib borishda harorat 298–360 K va kuchlanish 1-100 V oralig'ida olib borildi.

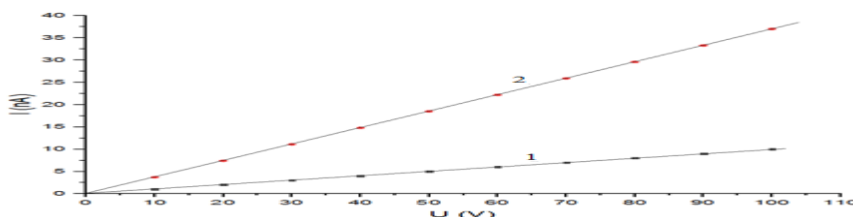
Natijalar va muhokamalar. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, 5, 12, 120 soat davomida γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan nurlangan va nurlanmagan "Komolot-79" navli PT yodning 5% li eritmasi bilan 750C temperaturada 7 soat davomida legirlangan va legirlanmagan namunalarining I-V xarakteristikasi 1-rasmda ko'rsatilgan. Legirlanmagan γ - ^{60}Co –manbasi bilan 5 soat davomida nurlangan "Komolot-79" navli PT dan o'tadigan tok juda kichik, ya'ni $U=100\text{V}$ da $I=1.2 \text{ nA}$ ekanligi aniqlandi (yuvilgan toza paxtadan $U=100\text{V}$ da $I=0.15 \text{ nA}$ tok o'tgan).

1-rasm. 1- to'g'ri chiziqda namunani dastlabki xolatdagi volt-amper xarakteristikasi (VAX) keltirilgan ($U=100\text{V}$ da $I=0.15 \text{ nA}$), 1-rasm 2-to'g'ri chiziqda tolalarni γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan 5 soat nurlantirilgan namuna ($U=100\text{V}$ da $I=3 \text{ nA}$), 1-rasm 3-to'g'ri chiziq nurlantirilmagan yod bilan legirlangan namuna ($U=100\text{V}$ da $I=1.4 \text{ nA}$), 1-rasm 4,5,6-to'g'ri chiziqlar tartib bo'yicha γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan 5,12,120 soat vaqt mobaynida nurlantirilgan va barchasi yod bilan legirlangan holdagi namunalarining VAX si keltirilgan. Olingan natijadan ko'rishimiz mumkinki PT lariga yod kiritish orqali uning o'tkazuvchanligi oshgan, shuningdek γ - ^{60}Co nurlanish manbasi bilan turli xil vaqtlarda nurlantirilib yod bilan legirlanganda elektr o'tkazuvchanlik sezilarli oshib borganligini ko'rishimiz mumkun (1-rasm). Xulosa qiladigan bo'lsak γ - ^{60}Co nurlanish manbasi PTsida nuqsonlar hosil qilib bu orqali PT sida diffuziya koefitsientini oshiradi hamda diffuziya koefitsienti esa γ - ^{60}Co manbasining nurlanish vaqtiga bog'liqlik qonuniyatini keltirib chiqaradi.



1-rasm "Komolot-79" navli PTsi namunalarining VAX, ishlov berilmagan (1), Yod bilan legirlangan (2), γ - ^{60}Co nurlanish manbai bilan 5 soat nurlantirilgan (3) $\gamma\lambda$ - ^{60}Co nurlanish manbai bilan 5, 12 va 120 soat nurlantirilgan hamda yod bilan legirlangan (4),(5),(6) chiziqlar

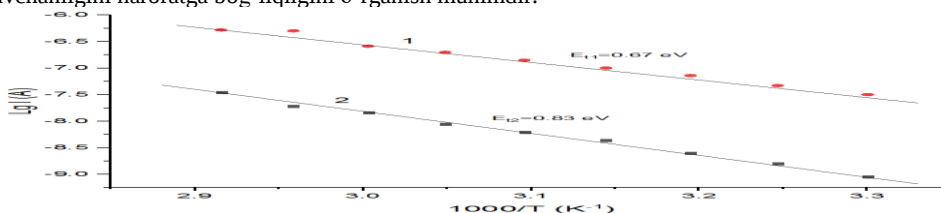
Keyingi tajribamizda 5 soat davomida γ - ^{60}Co –nurlanish manbai bilan nurlangan va yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalrining ultrabinafsha (UB) nur ostida VAX o'lchandi. Yorug'lik manbai sifatida OBN-60 ($h\nu \approx 5.0\text{eV}$) turdagi lampadan foydalanildi. 2-rasmda γ - ^{60}Co –nurlanish manbai bilan nurlangan va yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalrining qorong'uda (1) va UB nur ostidagi (2) VAX larining to'g'ri chiziqliy grafigi keltirilgan. Quyda keltirilgan grafikda (2-rasm) PT namunasidan qorong'uda olingan natija 100V da 10 nA va $h\nu \approx 5.0\text{eV}$ nur ostida fotoo'tkazuvchanlik to'liq to'yintirilgan holda olingan natijada 100V da 37nA tok o'tganligini ko'rishimiz mumkin.



2 – rasm. γ - ^{60}Co bilan nurlantirilib, yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalrining qorong'udagi VAX (1) va ultrabinafsha nur ($h\nu \approx 5.0\text{eV}$) ostida olingan VAX (2).

Kuchlanishni 0 dan 100 voltgacha oshirib borganimizda UB nur ostida olingan natijalar bir-biridan 27 nA gacha farq qilganligini ko'rish mumkin. Bu shuni ko'rsatadiki, fotoo'tkazuvchanlik asosan elektron-kovak juftligini hosil qilish bilan bog'liqdir. "Komolot-79" navli paxta tolalrining fotoo'tkazuvchanligini yod bilan legirlanganligi bilan bog'liq deb izohlash mumkin.

Paxta tolalarida elektr o'tkazuvchanlik mexanizimini yaxshiroq tushunish uchun "Komolot-79" navli paxta tolalrining elektro'tkazuvchanligini haroratga bog'liqligini o'rganish muhimdir.



3-rasm. Arrhenius grafigi γ - ^{60}Co bilan nurlantirilib, yod bilan legirlangan (2) va Nurlantirilmagan faqat yod bilan legirlangan (1) "Komolot-79" navli paxta tolalrining elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi.

3-rasmida harorat oshishi bilan kuchlanish o'zgarmagan holda ($U=80\text{V}$) harorat ortishi bilan tokning eksponensial oshganligini ko'rishimiz mumkin. Paxta tolasining elektrofizik xususiyati mustaqil ravishda boshqa ilmiy guruhlar tomonidan ham o'rganilgan [8]. Elektr o'tkazuvchanlikning haroratga bo'liqligini 20-85 diapazonda o'rganish orqali γ - ^{60}Co –nurlanish manbai bilan nurlangan va yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalrining zaryad tashuvchilarning aktivlanish energiyasi Arrhenius qonuni orqali $E_a=0,128\text{ eV}$ ga ega ekanligi aniqlandi.

Xulosa. Xulosa qilib, shuni aytish mumkinki, γ - ^{60}Co bilan nurlantirilib, yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalrining elektrofizik xususiyatlari o'rganildi. Eksperimental natijalar tahliliga ko'ra γ - ^{60}Co -nurlari bilan nurlantirilib, yod bilan legirlangan "Komolot-79" navli paxta tolalrining elektro'tkazuvchanligi γ - ^{60}Co -manbai bilan nurlantirilmaganiga nisbatan 10 barovardan ortiqqa farqlanishi γ - ^{60}Co -manbai seluloza panjaralarida qo'shimcha nuqson hosil qilish orqali diffuziya koefitsientining oshishiga bog'liq ekanligi aniqlandi. Kirishma molekulalari polimerning panjara nuqsonlariga joylashadi, ta'qiqlangan zonada chuqur sath hosil qiladi va o'tkazuvchanlikni taminlaydi. Ultrabinafsha nurlanish ta'sirida fotoo'tkazuvchanlikni hosil bo'lish shundan dalolat beradiki fotoo'tkazuvchanlik asosan elektron- kovak juftligini hosil bo'lishi bilan bog'liq, shuningdek yod molekulalari va polimer tarmoqlar o'rtasida zaryad o'tkazish tartibi bilan tushuntirish mumkin. Shunga ko'ra olingan natijalar orqali PT ni yod bilan legirlash orqaliy hosil qilingan chuqur satxning aktivatsiya energiyasi aniqlandi.

ADABIYOTLAR

1. Мамадалимов А.Т., Хабибуллаев П.К., Шерматов М. // УФЖ, 1999г. т.1. №6, стр.465-479.
2. Mamadalimov A.T. Новое научное направление физики полупроводников: природные полупроводники. "Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы". Сборник материалов международной онлайн конференции. www.e-science.uz 28 мая 2020г., с 16-25.
3. Gunes S., Neugebauer H., Sariciftci H.S. Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells. Chemical Reviews 107:1324 (2007)
4. Abd El-kader FH, Osman WH, Ragab HS, Shehap AM, Rizk MS, Basha MAF (2004) J. Polym. Mater 21:49.

5. Mamadalimov A.T., Khakimova N.K., Norbekov Sh.M., Uralov A.A. Electrophysical properties of the "Gulbahor" variety cotton fibers doped with iodine // Journal of Semiconductor physics and Microelectronics Tom-4, №1, 2022 г.
6. Mamadalimov A.T, Oksegendler B.L., Otazhynov Sh.O., Turaev B.E., Usmanov T.A., Khakimova N.K., and Kadirov Zh.A. Features of the Photoconductivity of Iodine-Doped Cotton Fibers Illuminated in the Fundamental Absorption Range. Technical Physics Letters, 2002. Vol. 28, pp.581-583.
7. MacDiarmid A.G., Mammone R. J., Kaner R.B., Porter S.J. The Concept of ‘Dop-ing’ of Conducting Polymers: The Role of Reduction Potentials [and Discussion]. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 314, 3-15 (1985).
8. Abou-Sekkina MN, Saafan AA, Sarkan MA, Ewaida MA. Effects of tempering time and tempering temperature of caustic mercerization on the spectral and electrical properties of Egyptian cotton fibres J. Therm. Anal. 31:791. (1986).



UDK: 536.24

A'zam PAYZULLAEV,
O'zRFA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti
E-mail: Payzullayev214@gmail.com
Shavkat NURMATOV,
O'zRFA Materialshunoslik instituti katta ilmiy xodimi
Suxrob TELLYAYEV,
O'zRFA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi
Sirojiddin MIRZAYEV,
O'zRFA Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti professori,
O'zRFA vitse-prezidenti, Fizika-matematika fanlari doktori,
O'zRFA akademigi, f.-m.f.d, prof., S.A.Baxramov taqrizi asosida

SUVNING BUG'LANISH JARAYONIGA SiO₂ NANOZARRALARINING TA'SIRI

Аннотация

Ushbu maqolada chiziqli o'lchami 16 nm bo'lgan SiO₂ nanozarralari va suvdan tashkil topgan nanosuyuqlikning sirti bug'lanish paytidagi massa almashinuv jarayoni eksperimental tadqiqot natijalari taqdim etilgan. Nanosuyuqliklardagi nanozarralarning turli massaviy (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5)% konsentratsiyalarda bug'lanish tezligi o'zgaras bosim va 40 °C temperaturada STA PT1600 (LINSEIS) sinxron termal analizatorida o'rganildi. Tadqiqot natijalaridan ma'lum bo'ldiki, barcha o'rganilgan konsentratsiyalar uchun asos suyuqligi bo'lgan suv va nanosuyuqlikning massa almashinuv jarayoni chiziqli qonuniyatga bo'ysinadi. SiO₂ nanozarralari o'zlarining asosiy suyuqligi ya'ni suvning bug'lanish tezligini, 0.1 % massaviy konsentratsiyagacha kamaytirishi kuzatildi, ammo nanozarralarning suvdagi oraliq konsentratsiyasida 0.5 % massaviy konsentratsiyagacha bug'lanish tezligini oshib, nanozarralarning yuqori, 1 % massaviy konsentratsiyalaridan keyin, o'zgarasligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: Nanosuyuqlik, kremniy dioksid nanozarrachasi, bug'lanish tezligi, termal analizator.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ SiO₂ НА ПРОЦЕСС ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ

Аннотация

В данной статье представлены результаты экспериментального исследования процесса массообмена при поверхностном испарении наножидкости состоящей из воды с наночастицами SiO₂ с линейным размером 16 нм. Скорость испарения изучали на синхронном термоанализаторе STA PT1600 (LINSEIS) при постоянном давлении и температуре 40 °C в наножидкостях при различных массовых (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5) % концентрациях наночастиц. По результатам исследований стало ясно, что процесс массообмена наножидкости, и воды являющейся базовой жидкостью, протекает по линейному закону для всех исследованных концентраций. Наночастицы SiO₂ снижали скорость испарения исходной жидкости, воды, до концентрации 0,1 мас. %, но увеличивали скорость испарения при промежуточных концентрациях наночастиц в воде до концентрации 0,5 мас. % и после концентрации наночастиц, 1 мас.% оставались неизменными.

Ключевые слова: Наножидкость, наночастицы диоксида кремния, скорость испарения, термоанализатор.

EFFECT OF SiO₂ NANOPARTICLES ON WATER EVAPORATION PROCESS

Annotation

The manuscript presents the results of an experimental study of the mass transfer process during surface evaporation of nanofluid consisting of water and SiO₂ nanoparticles with a linear size of 16 nm. The evaporation rate nanofluids at different mass (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5) % concentrations of nanoparticles was studied in a STA PT1600 (LINSEIS) synchronous thermal analyzer at constant pressure and temperature of 40 °C. From the results of the research, it became clear that the mass exchange process of nanofluid and base liquid water, follows a linear law for all studied concentrations. SiO₂ nanoparticles were observed to reduce the evaporation rate of their parent liquid, water, up to a concentration of 0.1 mass %, but increased the evaporation rate at intermediate concentrations of nanoparticles in water up to concentration of 0.5 mass %, and after high concentrations of nanoparticles, 1 mass % remained unchanged.

Key words: Nanofluid, silicon dioxide nanoparticle, evaporation rate, thermal analyzer.

Kirish. So'nggi o'n yilliklarda asosi suv bo'lgan nanosuyuqliklarda bug'lanish jarayoni ilmiy jihatdan dolzarb bo'lmoqda va bu eng muhim, fundamental kinetik va termodinamik xususiyatlardan biri bo'lib, diffuziya va sirt xossalarning asosiy tushunchalarini o'rganish imkonini beradi. Bundan tashqari, nanosuyuqliklarda suv bug'lanishini o'rganish DNK qadoqlari, oqsillarni quritish jarayonlari va dori vositalarini yetkazib berishni o'rganish, shuningdek, suvga asoslangan

qoplamalarni, suvda eruvchan pestitsidlar va biotsidlarni, gerbitsidlarni quritish uchun potentsial qo'llanilishini o'rganish uchun ajoyib model bo'lib xizmat qiladi [1].

Suvning bug'lanish tezligi, o'simliklarni himoya qilish samaradorligidan boshlab to dori ishlab chiqarish tezligiga va hatto suvga asoslangan qoplamalarni quritishga qadar bo'lgan ko'plab texnologiyalar uchun, muhim iqtisodiy ahamiyatga ham ega.

Erkin suyuqlik yuzasidan bug'lanish tezligini o'rganish uchun turli usullar taklif qilingan va tadqiqotlar olib borilgan [6]. Nanotexnologiyaning yuqori suratlarda rivojlanishi tufayli hozirgi vaqtda nanosuyuqlik deb ataladigan asosiy suyuqlikka o'lchamlari (1 nm dan 100 nm) gacha nanozarrachalarni qo'shish orqali suv [9] va suyuq yoqilg'ining [11] bug'lanish tezligini boshqarish imkoniyati katta qiziqish uyg'otmoqda. Nanozarrachalar yuqori sirt maydoni va hajm nisbatiga ega shuning uchun asosiy suyuqlikdagi nanozarrachalarning mavjudligi asosiy suyuqlikning sirt tarangligi va qovushqoqligi kabi fizikaviy xususiyatlariga ta'sir qiladi [12]. Nanozarrachalar, zarralar va suyuqlik molekullari o'rtasidagi o'zaro ta'sir va to'qnashuvni kuchaytiradi [16]. Ushbu o'ziga xos xususiyatlar tufayli nanozarracha ko'rinishidagi qo'shimchalar suyuqlikning bug'lanishiga ta'sir qilishi taxmin qilinmoqda. Suyuqliklarning bug'lanish tezligini o'rganib chiqib, tahlil qilishda asosan sirt taranglik ko'effitsiyentining o'zgarishini hisobga olish kerakligini ta'kidlash muhimdir.

Sefian va Bennaser [11] alyuminiy nanozarrachalari etanolga qo'shilganda uning asosiy suyuqligi etanol bilan solishtirganda tomchilarning bug'lanish tezligini pasayishiga olib kelishini ko'rsatdi. Alyuminiy oksidi nanozarrachalarining (asosiy suyuqlik sifatida toza suvda) sirt tarangligi va faza o'zgarishi hodisalariga, shu jumladan nanosuyuqlikning bug'lanishiga ta'siri Madhusoodanan va boshqalar [10] tomonidan eksperimental ravishda o'rganildi. Ularning tajribalari shuni ko'rsatdiki, nanozarrachalar qo'shilishi bilan sirt tarangligi ortib borishini va ular nanosuyuqlikning bug'lanish tezligi toza suvga nisbatan kamroq ekanligini ham kuzatdilar.

A.D.Nazarov va boshqalar [17] kremniy dioksidi zarrachalari (10 nm, 0,1% masaviy) bilan hosil qilingan nanosuyuqlik tomchilarining bug'lanishini eksperimental ravishda o'rgandilar. Nanosuyuqlik tomchilari asosiy suyuqlik tomchilariga qaraganda sekinroq bug'lanishi ko'rsatilgan.

Nanozarrachalar o'zining asosiy suyuqligini bug'lanish xossalari o'zgarishini o'rganish natijalari bir-biriga ziddiyatli ekanligi e'lon qilingan maqolalarda o'z aksini topgan. Bug'lanish tezligini o'rganish uchun ishlatiladigan ko'pgina nanosuyuqliklar bir xillikka ega emas va shuning uchun takrorlanadigan namunalarni olish qiyin [18]. Yana bir muammo - nanosuyuqliklarning barqarorligi yo'qligi. O'rganilayotgan namunadagi nanozarrachalar foizi yuqori darajaga yetganda, ko'pchilik nanozarrachalar Van der Waals kuchlari [19] ta'sirida agregatsiyaga moyil bo'ladi va mikrostruktura yoki konfiguratsiyani o'zgartiradi.

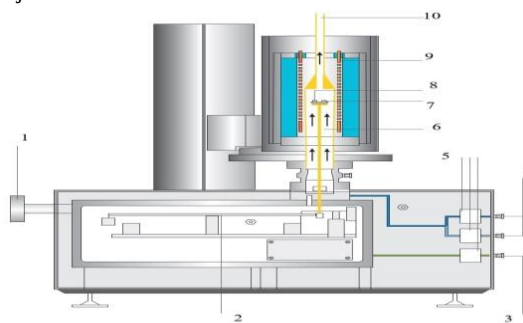
Ushbu ishda tarkibida nanozarrachalar bo'lgan suyuqliklarning bug'lanish tezligi ortishi yoki, kamayishi xossasi nanozarrachaning turli konsentratsiyalari uchun eksperimental tadqiq qilindi.

Tajriba qurilmasi va tafsilotlari.

Bu ishda nanozarracha massaviy konsentratsiyasi (0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 1, 3, 5) % bo'lgan nanosuyuqliklar ishlatilgan. O'rtacha nanozarracha o'lchami 16 nm bo'lgan kremniy dioksidi nanozarralari (Evonik Aerosil 200 – Fumed silica aerosol 200, Germaniya) deionizatsiyalangan suvga qo'shildi, suv asosiy suyuqlik sifatida ishlatilgan. Ma'lum bir nanozarracha konsentratsiyasiga ega bo'lgan nanosuyuqlikni tayyorlash uchun suv va nanozarrachalar EP 214C Explorer Pro (Ohaus, AQSh) elektron tarozida 0,01 mg o'lchov xatoligi bilan tayyorlandi. Keyin nanozarrachalar va asosiy suyuqlik mexanik aralashtirildi. Suvdagi nanozarralarning dastlabki aglomeratsiyasini oldini olish uchun (Ultrasonic disintegrator type UD-11 automatic) disintegratordan foydalanildi. Disintegratorda (quvvati 100 Wt va 22 kHz) nanozarralarning suyuqlik hajmida teng ravishda dispersiyalash uchun eng optimal davomiylik vaqti sifatida 20 min disperegatsiya qilindi.

Hosil bo'lgan nanosuyuqlikning bug'lanish xossalari termal analizator STA PT1600 (LINSEIS, Germaniya) avtomatlashtirilgan qurilmada o'rganildi. (1-rasm)

Termogravimetrik analiz massa o'zgarishi, kinetik tahlil uchun ishlatiladigan eng keng tarqalgan usuldir [20-21]. Ushbu usul o'rganilayotgan namunaning ma'lum haroratda yoki dasturlashtirilgan haroratda massa yo'qotilishini baholashga asoslanadi [20]. Termogravimetrik analiz usuli massa o'zgarishini aniq o'lchashni ta'minlab, juda kichik namuna hajmlarida ham tadqiqotlar olib borishga imkon berib, ushbu tadqiqot uchun juda mos vosita hisoblanadi.



1 - rasm. Termal analizator: 1-Vakuum burchagi, 2-Tarozi yelkasi, 3-Gazni tozalash kanali, 4-Gaz berish kanali, 5-Gazlar oqimini nazorat qilish tizimi, 6-Gaz oqimi, 7- O'rganilayotgan suyuqlik, 8- Namuna, 9-Isitgich, 10-qo'shimcha EGA (FTIR/MS/GC-MS)

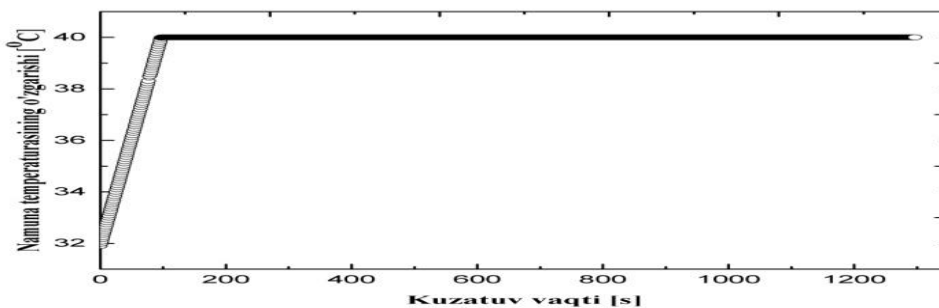
Qurilmaning o'lchash harorat diapazoni: -150 dan 1750 °C gacha, isitish tezligi: 0,1 dan 100 °C/min gacha. Namuna qo'yiladigan idishning ichki hajmi 0.12 ml bo'lgandan foydalanildi. (2-rasm)



2-rasm. Namuna qo'yiladigan idish.

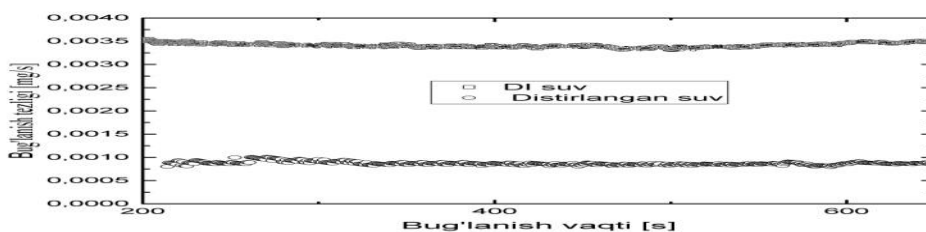
Tajriba izolyatsiyalangan xonada o'tkazilganligi sababli gaz oqimidan foydalanilmadi. Namunalar idishiga solinib, qopqog'i yopilib 313 K o'zgarmas temperaturada 20 min vaqt davomida massa yo'qotishi o'lchandi. Idishni ishlatish juda ehtiyotkorlik bilan bajarilishi kerak, idishning har qanday shikastlanishi idishni almashtirish va qayta kalibrlashni qayta amalga oshirishga olib keladi. Idishning shikastlanishi yoki ifloslanishi tufayli o'zgarmaganligini nazorat qilish uchun deionizatsiyalangan suvda muntazam ulchashlar amalga oshirildi.

Ekspperimental natijalar va muhokama. Qurilma boshqariladigan avtomatlashtirilgan tizim orqali namunaga beradigan issiqlik energiyasi o'rganilayotgan suyuqlikni (DI suvni) xona haroratidan 1 grad/min tezlik bilan ma'lum vaqtda 40°C haroratgacha olib chiqadi va shu temperaturani o'zgarmas holda saqlaydi (3-rasm).



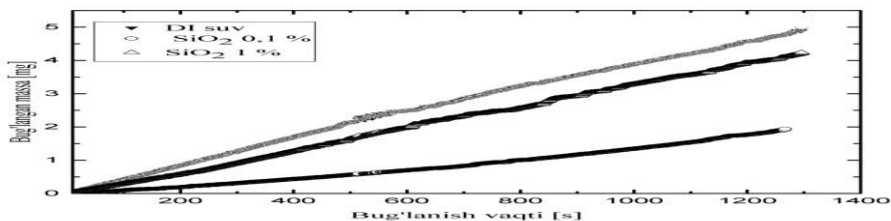
3-rasm. Idishdagi deionizatsiyalangan suvning temperaturasining vaqtga bog'liq o'zgarishi.

Bug'lanish jarayonining dastlabki bosqichida namuna solinadigan idishning ichidagi to'yingan bug' bosimi ortib, vaqtning ma'lum qismidan keyin, to'yingan bug' bosimi ham o'zgarmas holatni egallaydi. Natijada vaqtga bog'liq suyuqlik yuzasidan ajralib chiqayotgan bug' molekullari soni ham o'zgarmas va bu bug'lanish tezligining grafigi to'g'ri chiziqdan (4-rasm) iborat bo'lishini ta'minlaydi. Dastlab, namuna solinadigan idishga biror miqdorda deionizatsiyalangan va distillangan suv solinib, ularning bug'lanish xossasi yopiq (izolyatsiyalangan) sistemada 10 marta takroran o'rganildi. Umumiy olingan natijalardan ma'lum bo'ldiki, olingan natijalar o'rtasida katta farq yo'q. Lekin distillangan va deionizatsiyalangan suvlarning bug'lanish tezliklarining son qiymatlari bir-biridan katta, taqriban 4 barobar, farq qildi, $k_{DI}=3,5 \mu\text{g/s}$, $k_{DS}=0,85 \mu\text{g/s}$. Deionizatsiyalangan suvning bug'lanish tezligi standart sifatida ko'rsatilgan. Ma'lumotlar har 1 soniyada yig'ildi, sekundiga juda oz miqdordagi massa yo'qolishi va kichik miqdordagi tebranish bilan ma'lumotlarda sezilarli darajada shovqin kuzatildi. O'lchash jarayonining boshi va oxirgi daqiqalaridagi suvning bug'lanish tezligi natijalarida nisbatan katta noturg'unlik kuzatildi. Kuzatuv vaqti 200 dan 800 s oralig'ida bo'lgan o'lchovlar uchun skanerlash vaqtida noturg'unlik juda kichik bo'lib, ushbu kuzatuv vaqti oralig'ida ma'lumotlar ishonchliroq bo'lishi aniqlandi.



4-rasm. Distillangan va deionizatsiyalangan suvlarning 40 °C temperaturada bug'lanish tezligining vaqtga bog'liqligi.

Termogravimetrik analiz metodini standartlashtirib olganimizdan keyin, kremniy dioksid nanozarrachali nanosuyuqliklarning ham barcha konsentratsiyaviy oraliqlarida 20 min vaqt davomidagi bug'lanish natijasida massa yo'qotishi tajribaviy natijalari olindi va ba'zi natijalar 5-rasmda ilova qilindi.



5-rasm. Asosiy suyuqligi deionizatsiyalangan suv va SiO₂ nanozarrachali nanosuyuqlikning vaqtga bog'liq bug'langan massasini o'zgarishi.

Olingan natijalar tahlilidan ma'lum bo'ldiki, namuna harorati ma'lum vaqtdan keyin o'zgarmas (izotermik $T = \text{const}$) 313 K temperaturada bo'ladi (3-rasm). Natijada idishning ichidagi to'yingan bug' bosimi ham ma'lum vaqtdan keyin o'zgarmas (izobarik $P = \text{const}$) holatda bo'ladi. Bunday holatda bo'lgan namuna bug'lanishidagi massa yo'qotishi ma'lum vaqtdan keyin (1) ko'rinishdagi qonuniyatga bo'ysindi.

$$m = m_0 - kt \quad (1)$$

bu yerda m - nanosuyuqlikning bug'langandan keyingi massasi, m_0 - sanoq boshidagi massa, k - bug'lanish tezligi. Ya'ni OX o'qi bilan hosil qilingan burchak $\text{tg} \alpha = k$. Bu ishda har bir konsentratsiyaviy holat uchun bug'lanish tezligi k [mg/min] topildi.

$$k = \frac{\Delta m_i}{\Delta t} \quad (2)$$

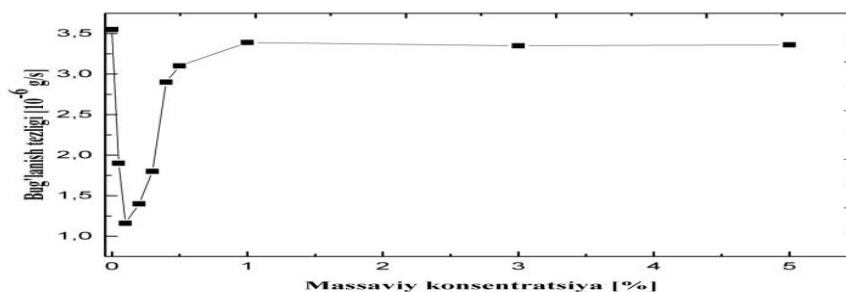
Bu yerda $\Delta m_i - \Delta t$ vaqt davomida bug'langan massa. Olingan natijalar 5-rasmda keltirilgan.

5-rasmdan massaviy konsentratsiyaning har biri uchun $\text{tg} \alpha = k$ qiymatlar aniqlanib 1-jadvallada ilova qilindi.

1-jadval. Massaviy konsentratsiyaga bog'liq bug'lanish tezligining o'zgarishi.

massaviy [%]	k [10 ⁻⁶ g/s]
0.05	1,9
0.1	1,16
0.2	1,4
0.3	1,8
0.4	2,9
0.5	3,1
1	3,39
3	3,349
5	3,36
DI suv	3,5

1-jadvaldagi qiymatlar asosida 6-rasmdagi grafik hosil qilindi.



6-rasm. Deionizatsiyalanga suvdagi SiO₂ nanozarrachalarining massaviy konsentratsiyasiga bog'liq va suvga nisbatan bug'lanish tezligining o'zgarishi.

Xulosa. Olingan dastlabki natijalar tahlilidan, nanozarrachalar massaviy konsentratsiyasining ayni bir oraliq konsentratsiyasida eng kichik 0.1% da 1,16 µg/s va eng katta 1% da $k = 3,39$ µg/s bug'lanish tezligi kuzatildi. Nanozarrachalarning suvdagi massaviy konsentratsiyasining 1% dan keyingi istalgan konsentratsiyasida bug'lanish tezligining o'zgarmay qolishi kuzatildi. Demak, nanozarrachalar yordamida suvning bug'lanish xususiyatlarini boshqarishda nanozarrachalarning suvdagi eng optimal konsentratsiyasini tanlab olish orqali erishish mumkin.

Bir qancha tajribalarda [22] olingan natijalar suvning bug'lanish tezligi nanosuyuqlikning sirt taranglik koeffitsiyenti orqali tahlil qilingan. Suvning bug'lanish xususiyatlarini nanozarrachalar yordamida o'zgarishiga olib keluvchi fizik jarayonlarning mexanizmlarini aniqlash maqsadida nanozarrachalarning va suvning sirt xususiyatlaridan kelib chiqib qo'shimcha tadqiqotlar olib borish talab etiladi.

ADABIYOTLAR

1. Erbil H.Y. Evaporation of pure liquid sessile and spherical suspended drops: A review. *Adv. Colloid Interface.Sci.* 2012, 170, 67–86.
2. Deegan R.D. Pattern formation in drying drops. *Phys. Rev. E* 2000, 61, 475–485.
3. Sefiane K., Wilson S.K., David S., Dunn G.J., Duy B.R. On the effect of the atmosphere on the evaporation of sessile droplets of water. *Phys. Fluids* 2009, 21, 062101.
4. Meng S., Meng X., Fan W., Liang D., Wang L., Zhang W., Liu Y. The role of transparent exopolymer particles (TEP) in membrane fouling: A critical review. *Water Res.* 2020, 181, 115930.
5. Wang R., Fan W., Liu X., Fan W., Liang D., Cai W. Effect of magnesium ion on polysaccharide fouling. *Chem. Eng. J.* 2020, 379, 122351.
6. Yao X., Zhang H., Lemckert Ch., Brook A., Schouten P. Evaporation reduction by suspended and floating covers: overview, modelling and efficiency, *Urban Water Security Research Alliance Technical Australia*, 2010, pp. 1-23.
7. Coleman M. Review and discussion on the evaporation rate of brines, mundijong, 2000, pp. 1-12.
8. Ali H., Madramootoo C.A. and Abdel Gwad S. Evaporation model of lake qaroun as influenced by lake salinity. *Irrigation And Drainage*, 2001, 50, 9–17.
9. Chen R.H., Phuoc T.X. and Martello D., Effects of nanoparticles on nanofluid droplet evaporation. *International Journal of Heat and Mass Transfe*, 2010, 53, 3677-3682.
10. Madhusoodanan M.R., Sajith V. and Sobhan C.B. "Experimental Investigation of Phase Change Phenomena in Nanofluids" *Thermal Engineering Heat Transfer Summer Conference*, Canada, 2007, 859-863.
11. Sefiane K. and Bennacer R. Nanofluids droplets evaporation kinetics and wetting dynamics on rough heated substrates. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2009, 147–148, 263–271.
12. Payzullayev A.N., Gafurova M.V., Allayev B.A., Tellyayev S.K., Mirzayev S.Z. Nanosuyuqlikning qovushqoqligi va barqarorligining kremniy dioksidi nanozarrachalari chiziqli o'lchamiga bog'liqligi. *SamDU ilmiy axborotnomasi*, 2022-yil, 3-son 171-175.
13. Gan Y. and Qiao L. Evaporation characteristics of fuel droplets with the addition of nanoparticles under natural and forced convections. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2011, 54, 4913–4922.
14. Dominguez-Ontiveros E., Fortenberry S. and Hassan Y.A. Experimental observations of flow modifications in nanofluid boiling utilizing particle image velocimetry. *Nuclear Engineering and Design*, 2010, 240, 299–304.
15. Wen D. Mechanisms of thermal nanofluids on enhanced critical heat flux (CHF). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2008, 51, 4958–4965.
16. Xuan Y. and Li Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. *Heat Fluid Flow*, 2000, 21, 58– 64.
17. Nazarov A.D., Miskiv N.B., Bochkareva E.M. // *J. Phys. Conf. Ser.* 2018. Vol. 1105. 012095.
18. Prime R.B., Bair H.E., Vyazovkin S., Gallagher P.K., Riga A. Thermogravimetric analysis (TGA). In *Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications*; Menczel J., Prime R., Eds.; JohnWiley & Sons, Inc.: New Jersey, NJ, USA, 2009.
19. Zareei M., Yoozbashizadeh H., Hosseini H.R.M. Investigating the effects of pH, surfactant and ionic strength on the stability of alumina/water nanofluids using DLVO theory. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018, 135, 1185–1196.
20. Brown M.E. *Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications*; Kluwer Academic Publishers: Boston, MA, USA, 2001.
21. Rahman R., Hamdan S., Hui J.L.C. Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA) of Wood polymer nanocomposites. *MATEC Web Conf.* 2017, 87, 03013.
22. Kazuo Hisatake, Satoko Tanaka, Youko Aizawa; Evaporation rate of water in a vessel. *Journal of Applied Physics* 1 June 1993; 73 (11): 7395–7401.
23. Mohammad Moghiman, Bentolhoda Aslani, Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 61, 2013, Pages 114-118.



UDK 537.226

Jamoliddin RAZZOKOV,
O'zbekiston Milliy universiteti dotsenti, FATI katta ilmiy xodimi
Nilufar AXMEDOVA,
O'zbekiston Milliy universiteti magistranti

O'zbekiston Milliy universiteti dotsenti, PhD F.Turg'unbaev taqrizi asosida

SUV ARALASHMALI NATRIY BOROGIDRATLAR DIELEKTRIK XUSUSIYATLARI

Аннотация

Suv aralashmali natriy borogidratni dielektrik xususiyatlari molekulyar dinamik simulyatsiyasi yordamida tadqiq qilindi. Model sistemada suv va natriy borogidratning turli xil nisbatdagi konsentratsiyalaridan foydalanildi. Eritmalarning dielektrik singdiruvchanligi va ortiqcha dielektrik singdiruvchanligi qiymatlari hisoblandi. Eritmaning tarkibidagi suv va natriy borogidratning turli xil konsen-tratsiyalariga ko'ra dielektrik singdiruvchanligi taqqoslandi. Bu izlanishlar GROMACS dasturiy paketiyordamida amalga oshirildi. Olib borilgan tadqiqot-larga ko'ra, ortiqcha dielektrik konstanta qiymatlari natriy borogidridning $x \sim 0.2$ mol konsentratsiyasida kuzatildi va unda natriy borogidrid-suv binar aralashmasi-da eng ko'p vodorod bog'iga ega bo'lgan geteromolekulyar strukturalar hosil bo'ldi.

Kalit so'zlar: Eritma, suv aralashmali natriy borogidrat, dielektrik singdiruvchanlik, vodorod.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БОРГИДРИДА НАТРИЯ СМЕШАННОГО С ВОДОЙ

Аннотация

Диэлектрические свойства боргидрида натрия, смешанного с водой, были изучены с помощью моделирования молекулярной динамики. В модельной системе использовались различные концентрации воды и боргидрида натрия. Рассчитаны значения диэлектрической проницаемости и избыточной диэлектрической проницаемости растворов. Сравнивались диэлектрические параметры при различных концентрациях воды и боргидрида натрия в растворах. Эти исследования проводились с использованием пакета программ GROMACS. Согласно исследованиям, при $x \sim 0,2$ мольных концен-трациях боргидрида натрия наблюдались избыточные значения диэлектрической проницаемости, а в бинарной смеси боргидрид натрия – вода образо-вывались гетеромолекулярные структуры с наибольшим числом водородных связей.

Ключевые слова: раствор, водорастворимый боргидрат натрия, диэлектрической проницаемости, водород.

DIELECTRIC PROPERTIES OF SODIUM BOROHYDRIDE MIXED WITH WATER

Annotation

The dielectric properties of sodium borohydride mixed with water were studied using molecular dynamics simulations. Various concentrations of water and sodium borohydride were used in the model system. The values of dielectric permittivity and excess permittivity of solutions were calculated. Dielectric para-meters was compared according to different concentrations of water and sodium borohydride in solutions. These studies were carried out using the GROMACS software package. According to the studies, at $x \sim 0.2$ molar concentrations of sodium borohydride, excess values of the dielectric constant were observed, and in a binary mixture of sodium borohydride – water, heteromolecular structures with the largest number of hydrogen bonds were formed.

Keywords: Solution, water-mixed sodium borohydrate, dielectric constant, hydrogen.

Kirish. Vodorod muqobil energiya manbai sifatida juda katta samaradorlikka ega. Hozirgi kunda zahirasi tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish asosiy muammo-lardan biridir. Vodoroddan turli maqsadda foydalanish uchun, avvalo uni saqlash, tashish, tarqatish va xavfsizlik masalasiga yechim topish lozimdir. Vodorodni saqlash tizimlariga qo'yiladigan talablar uni qo'llash xususiyati bilan belgilanadi. Vodorodni o'zini saqlashdan ko'ra, biror birikma bilan saqlash qulaydir. Bunda vodorodning birikmadagi hajmi va massa ulushi muhimdir. Katta ulushli va katta massali vodorodlarni saqlash uchun matall gidridlar yoki klatrat strukturalar ayni muddaodir [1,2]. Gidridlar orasida natriy borogidrat H_2 ni yuqori miqdorda tutishi va barqarorligi tufayli alohida o'rin tutadi. Bu esa birikmaning katalitik gidrolizi nazorat qilinadigan sharoitlarda vodorod ishlab chiqarishni ta'minlaydi. Yana shuni ham aytish mumkinki, natriy borogidrat vodo-rodni qattiq holatda saqlash uchun eng yaxshi vositadir. 2012-yilda, ilk marota-ba vodorodni saqlash uchun, biror bir harorat va bosim sharoitini hosil qilmas-dan ham, natriy borogidrat vodorodni o'rtacha sharoitda saqlash, ajratish va qayta chiqaribolish uchun muvaffaqiyatli ishlatilgan [3].

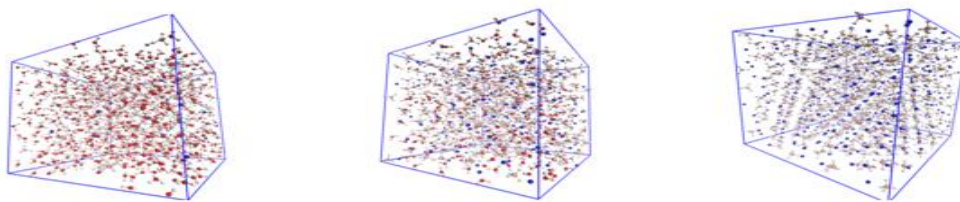
Natriy borogidrat, shuningdek, natriy tetragidridoboratva natriy tetrogidro- borat nomi bilan tanilgan. U noorganik birikma bo'lib, formulasi NaBH_4 . Odatda natriy borogidrat oq kukun shaklidagi moddadir (1-rasm). Ushbu birikma 1940-yillarda H. I. Shlezinger tomonidan kashf etilgan[4].



1-rasm. Natriy borogidratning kukun holidagi ko'rinishi

Biz molekulyar dinamika metodi bilan binar eritmalarining dielektrik singdiruv-chanliklarini taqqoslaymiz, ortiqcha dielektrik konstantalarini hisoblaymiz va eng ko'p vodorod bog'iga ega strukturalarni aniqlaymiz. Olingan natijalar esa suyuqlikning qaysi konsentratsiyasida eng ko'p klatrat strukturalar hosil bo'lganini ko'rsatadi. Natijada esa vodorodni saqlash mumkin bo'lgan optimal suv va natriy borogidrat aralashmasini prognoz qilamiz.

Metod. Tadqiqotlar Ubuntu sistemasida GROMACS dasturida amalga oshirildi. Hisob-lashlar Berendsenning termostatik nazorat algoritmlari yordamida natriy borogidrat va suv molekullari bilan to'ldirilgan kubik qutida amalga oshirildi. Izlanishlar o'zgarmas bosim ($P=10^7$ Pa) va haroratda (xona haroratida $T=300$ K) olib borildi[5]. Harakat tenglamalari 1,0 fs vaqt qadamida Verlet algoritmi yordamida yechildi. Molekulalar orasidagi Kulon ta'sir kuchlari Evald usuli yordamida $1 \cdot 10^{-6} \text{ kJ/mol}$ aniqlikda hisoblandi. Hisoblash jarayoni eritmaning 0.1÷1.0 konsentratsiyalarida takrorlandi. Suvning izotermik siqilish qobiliyati $4.5 \cdot 10^6$ Pa qiymatda olindi. Aralashmadagi natriy borogidrat konsentratsiyasini oshirilishi bilan suv-suv, suv-eritma, eritma-eritma orasida vodorod bog'larining ketma ketligidagi o'zgarishlar sodir bo'ladi.



2-rasm. a) 10% NaBH_4 va 90% H_2O bo'lgan box, b) 50% NaBH_4 va 50% H_2O bo'lgan box, c) suv qo'shilmaganda NaBH_4 ning boxdagi ko'rinishi

Molekulyar dinamika usuli yordamida natriy borogidrat va suv aralashmalari-ning butun konsentratsiya oralig'ida dielektrik singdiruvchanligi o'rganildi. Ularning ϵ^E ortiqcha dielektrik doimiylari qiymati (1) formula orqali hisoblandi[6]:

$$\epsilon^E = (\epsilon_A - \epsilon_{A\infty}) - [(\epsilon_S - \epsilon_{S\infty})(1 - x) + (\epsilon_{\text{NaBH}_4} - \epsilon_{\text{NaBH}_4\infty})x]$$

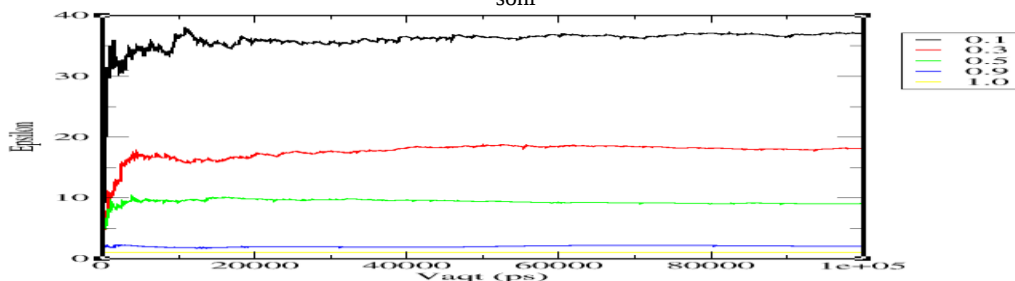
bu yerda ϵ_A – aralashmaning dielektrik singdiruvchanligi, ϵ_S – suvning dielektrik singdiruvchanligi, ϵ_{NaBH_4} – natriy borogidratining dielektrik singdiruvchanligi x– natriy borogidratining konsentratsiyasi.

Natija va muhokama. Biz yuqorida qayd etilganidek suv va natriy borogidrati aralashmasining dielektrik singdiruvchanligi va shu bilan birga ortiqcha dielektrik singdiruvchanligini aniqladik(1-jadval).

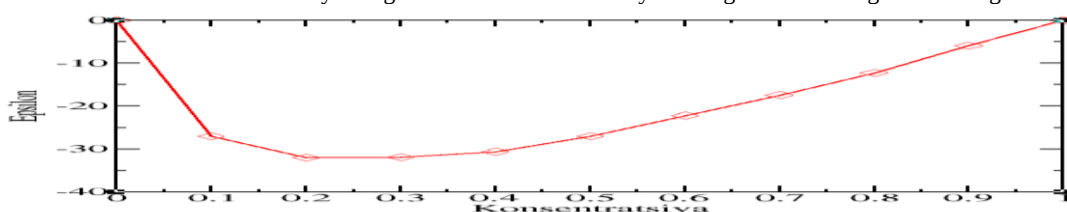
Konsentratsiya	X_{NaBH_4}	Y_S	ϵ^E	ϵ^E
0	0	1000	71.09	0.09
0.1	100	900	37.06	-27.0244
0.2	200	800	25.04	-32.0388
0.3	300	700	18.13	-31.9432
0.4	400	600	12.45	-30.6176
0.5	500	500	9.05	-27.012
0.6	600	400	6.854	-22.2024
0.7	700	300	4.65	-17.4008
0.8	800	200	2.786	-12.2592
0.9	900	100	2.135	-5.9046
1	1000	0	1.034	0

1-jadval: Turli konsentratsiyalardagi suv va natriy borogidratni aralashmalarining dielektrik singdiruvchanlik ϵ va ortiqcha dielektrik singdiruvchanligi ϵ^E larning qiymatlari. Bu yerda X_{NaBH_4} – Natriy borogidrid va Y_s – suv molekulari soni

1-jadval: Turli konsentratsiyalardagi suv va natriy borogidratni aralashmalarining dielektrik singdiruvchanlik ϵ va ortiqcha dielektrik singdiruvchanligi ϵ^E larning qiymatlari. Bu yerda X_{NaBH_4} – Natriy borogidrid va Y_s – suv molekulari soni

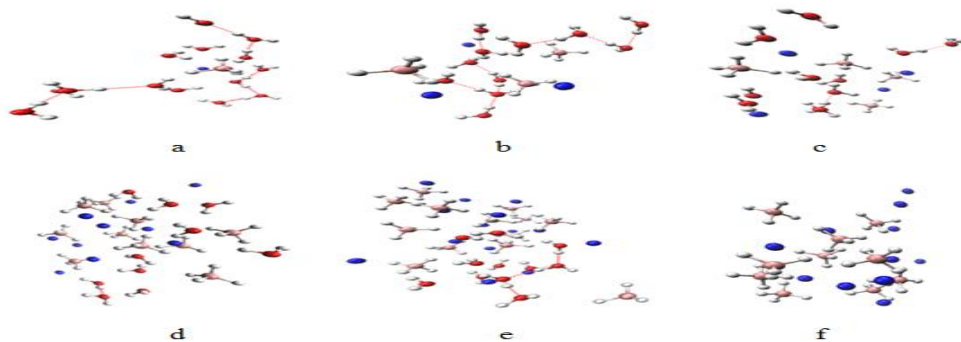


3-rasm. Suv va natriy borogidrat turli xil konsentratsiyalarining dielektrik singdiruvchanligi



4-rasm. Turli xil konsentratsiyali natriy borogidrat va suv eritmalarini ortiqcha dielektrik singdiruvchanligi

Eritmani uning tarkibidagi suv va natriy borogidratining turli xil konsentratsiya-lariga ko'ra dielektrik singdiruvchanliklari taqqoslandi (4-rasm). Taqqoslashlarga ko'ra, 0.1 mol konsentratsiyali eritmada dielektrik singdiruvchanlik ϵ eng yuqori bo'lib, eritmada natriy borogidratning konsentratsiyasi ortishi bilan epsilon kamayib bordi. Ortiqcha dielektrik konstanta qiymatini aniqlash bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarga ko'ra, izlangan natijalar natriy borogidratning $x \sim 0.2$ mol konsentratsiyasida kuzatildi va unda natriy borogidrat–suv binar aralashmasida eng ko'p vodorod bog'iga ega bo'lgan geteromolekulyar strukturalar hosil bo'ldi.



5-rasm. Natriy borogidratning a) 10%; b) 20%; c) 40%; d) 50%; e) 60%; f) 100%

nisbatli konsentratsiyalarida natriy borogidrat – suv binar aralashmalarining vodorod bog'iga ega bo'lgan geteromolekulyar strukturalari tasviri

Xulosa. Suvga natriy borogidratni solinganda, uning dielektrik singdiruvchanligi kama-yar ekan. Bunda natriy borogidratining aralashmadagi konsentratsiyasi ortishi bilan, binar suyuqlikning dielektrik singdiruvchanligi kamayib bordi. Eritmalar $0.1 \div 1.0$ konsentratsiyalar oralig'ida hosil qilindi. Bu oraliqda eng ko'p vodorod bog'iga ega bo'lgan strukturalar

esa $x \sim 0.2$ mol konsentratsiyali natriy borogidrat–suv aralashmasida hosil bo'lishi aniqlandi. Demak, vodorodni saqlash uchun eng samarali borogidratli suv aralashmasi nazariy o'rganishlar yordamida prognoz qilindi. Kelajakda natijalarimizni tajriba qiladigan olimlar yo'l xaritasi sifatida foydalanishlari mumkin.

ADABIYOTLAR

1. Nilufar Axmedova, Jamoliddin Razzokov "Natriy borogidratlarning vodorodni saqlashdagi o'rni". "Journal of new century innovations in all areas" 2022-yil.
2. Olga V. Netskina, Oksana V. Komova, Valentina I. Simagina, Anna G. Gntsler, Yekatrina D. Grayfer "Боргидрид натрия - источник чистого водорода для портативных топливных эле-ментов" Rossiya 2006-y.

3. Masimov, E. and H. Abbasov, Refractometry determination of the hydration number of ions in diluted aqueous solutions of magnesium sulfate. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2012. 86(3): p. 399-401.
4. Banfi, Luka; Narisano, Enrika; Riva, Renata; Stiasni, Nikola; Xieremann, Martin; Yamada, Tru; Tsubo, Tatsuyuki (2014), "Natriy Borohidrid", Organik sintez uchun reaktivlar entsiklopediyasi, John Wiley & Sons, 1-13 betlar, *doi:10.1002 / 047084289x.rs052.pub3, ISBN 9780470842898*
5. Grubmüller, H., et al., Generalized Verlet algorithm for efficient molecular dynamics simulations with long-range interactions. Molecular Simulation, 1991. 6(1-3): p. 121-142.
6. Ramana.C.V et al. Generalized and excess dielectric constants in non polar+ polar binary liquid mixtures of toluene with alcohols at 303, 313 and 323 K. Thermochimica Acta, 2013. 566: P. 130-136.



UDK:544.526.5

Aziz SAPARBAYEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti katta ilmiy xodimi ϕ .-m. ϕ . (Ph.D.),

E-mail: saparbaevaziz83@gmail.com

Boburbek XIDIROV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti stajyor-tadqiqotchisi

E-mail: boburbekhidirov94@gmail.com

Abror TURGUNBOEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: turgunovabror9606@gmail.com

Asfiyabonu TURSUNOVA,

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti Fizika fakulteti magistr talabasi

E-mail: asfiyabonushaxobiddinova@gmail.com

Ilhom BOYNAZAROV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti doktorant

E-mail: ilhomboynazarov0821@gmail.com

Farid RO'ZIYEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: roziyevf@list.ru

O'z MU Fizika fakulteti dekani m.-f.f.n. (Ph.D.), dotsent, G'.B.Eshonqulov taqrizi asosida

IMPROVEMENT OF PHOTOVOLTAIC PARAMETERS OF SOLAR CELLS BASED ON MAPbI₃ AND MAPbICl₂ PEROVSKITE BY TEMPERATURE CONTROL

Annotation

In perovskite solar cells (PSCs), thermal heating and precursor composition play an important role in crystallinity control and morphology formation of perovskite active layers for achieving higher photovoltaic performances. In this work, the effect of heating temperature on the crystallization of perovskite active layers prepared from (CH₃NH₃PbI₃) MAPbI₃ and MAPbICl₂ precursors was studied. Higher annealing temperature leads to agglomeration of perovskite crystals. This, in turn, leads to a decrease in the photovoltaic performance of PSCs. MAPbICl₂ perovskite solar cells based on, a significant change in the formation of crystallization size in the active layer was observed with the increase of annealing temperature. However, the morphology and crystal size of MAPbI₃ perovskite-based solar cells increased their photovoltaic performance compared to MAPbICl₂ perovskite solar cells with an increase in heating temperature, which was also confirmed by the absorption spectrum and power conversion efficiency (PCE).

Key words: Perovskite solar cells, temperature control, crystallinity and morphology.

УЛУЧШЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПУТЕМ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА MAPbI₃ И MAPbICl₂

Аннотация

В перовскитных солнечных элементах (ПСЭ) тепловой нагрев и состав прекурсора играют важную роль в контроле кристалличности и формировании морфологии перовскитных активных слоев для достижения более высоких фотоэлектрических параметров характеристик. В настоящей работе изучалось влияние температуры нагрева на кристаллизацию перовскитных активных слоев, полученных из прекурсоров (CH₃NH₃PbI₃) MAPbI₃ и MAPbICl₂. Более высокая температура отжига приводит к агрегации кристаллов перовскита. Это, в свою очередь, приводит к снижению фотоэлектрических характеристик ПСЭ. Солнечные элементы на основе перовскита MAPbICl₂, с увеличением температуры отжига наблюдали существенное изменение в формировании размера кристаллизации в активном слое. Однако морфология и размер кристаллов солнечных элементов на основе перовскита MAPbI₃ повышали их фотоэлектрические характеристики по сравнению с солнечными элементами на основе перовскита MAPbICl₂ при повышении температуры нагрева, что также подтверждалось спектром поглощения и эффективностью преобразования энергии (ЭПЭ).

Ключевые слова: Перовскитные солнечные элементы, контроль температуры, кристалличность и морфология.

MAPbI₃ VA MAPbICl₂ ASOSIDAGI PEROVSKIT QUYOSH ELEMENTLARNING HARORATNI NAZORAT QILISH ORQALI FOTOVOLTAIK PARAMETRLARINI YAXSHILASH

Annotatsiya

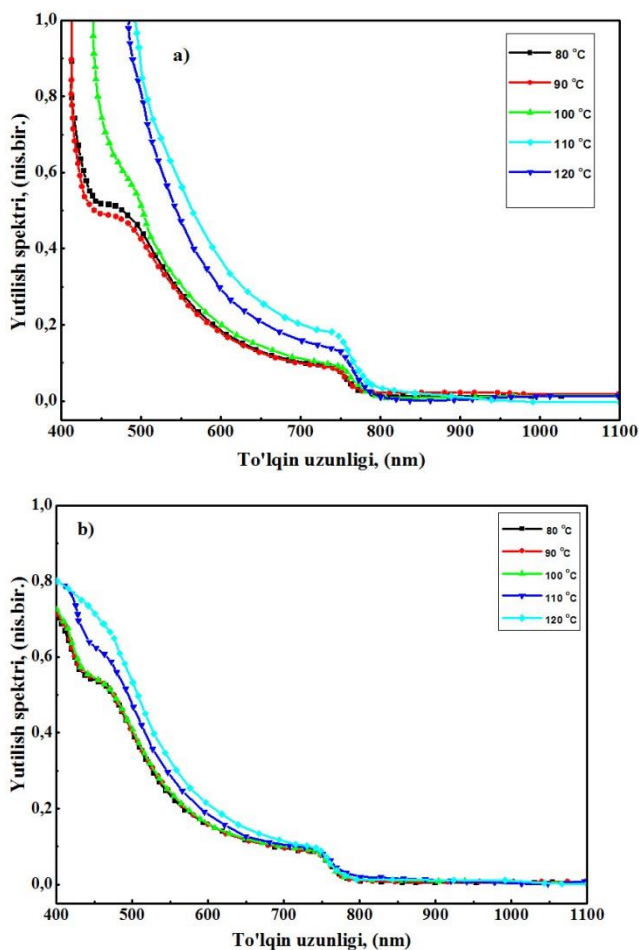
Perovskit quyosh element (PQE) larida termik qizdirish usuli va prekursorning tarkibi fotovoltaiik parametrlarining yuqori natijalarga erishish uchun, kristallanish jarayonini nazorat qilish hamda, perovskit faol qatlamlarning morfologiyasini shakllantirishda muhim ro'l o'ynaydi. Ushbu ishda ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) MAPbI_3 va MAPbICl_2 prekursorlaridan tayyorlangan perovskit faol qatlamlarning qizdirish haroratining kristallanishiga ta'siri o'rganildi. Bunda, yuqori qizdirish harorati perovskit kristall strukturasi aglomeratsiya (tugunchalar) hosil bo'lishiga olib keldi. Bu o'z navbatida PQE larining fotovoltaiik parametrlar pasayishiga olib keladi. MAPbICl_2 PQE larida qizdirish haroratining oshishi bilan faol qatlamda kristallanish hajmi shakllanishining sezilarli darajada o'zgarishi kuzatildi. Ammo, MAPbI_3 perovskit asosidagi quyosh elementlari morfologiyasi va kristallanish hajmi qizdirish haroratining oshishi bilan MAPbICl_2 perovskit quyosh elementlariga qaraganda fotovoltaiik ko'rsatkichlari oshdi, bu yutilish spektri va energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) bilan ham tasdiqlangan.

Kalit so'zlar: PQElari, haroratni nazorat qilish, kristallanish va morfologiya.

Kirish. So'nggi paytlarda perovskit quyosh elementlari (PQE) yorug'likni yaxshi yutishi, yuqori samaradorligi va barqarorligi kabi xususiyatlari tufayli olimlar e'tiborini tortdi. Dastlabki ma'lumotlarga qaraganda birinchi marta 2009-yilda PQE larning energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) 3,8 % ni tashkil qilgan [1]. Hozirgi vaqtga kelib PQE larning eng yuqori energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) 25,5% ga yetdi [2]. Shu bilan bir qatorda, so'nggi yillarda PQE larning namlilik, yorug'lik va issiqlikka qarshi uzoq muddatli barqarorligi yaxshilandi. PQElari birinchi marta yuqori ishlov berish haroratini ($>400^\circ\text{C}$) talab qiladigan mezopor tuzilishga ega bo'lgan [3]. Biroq, odatda yuqori samarali va barqaror PQE lar spin qoplama usuli bilan tayyorlangan kichik yuzali qurilmalardir. Ushbu usul tijoratlashtirishda katta yuzali qurilmalarni tayyorlash uchun mos emas. Lekin, egiluvchan tagliklardan foydalanilganda, past haroratlarda ishlov berish talab qilinadi, bu esa rulonli materiallarni tayyorlash imkonini beradi [4]. Perovskit strukturadagi kristallanishni hosil qilishda haroratni nazorat qilish juda muhim jarayon, chunki u kristallanish shakllanishini va yo'nalishini, hamda faol qatlam morfologiyasini belgilaydi [6]. Metilammoniy qo'rg'oshin triiodidi ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) samarali quyosh elementlarini tayyorlashda ishlatiladigan keng tarqalgan perovskitlardan biridir. MAPbI_3 perovskit turli afzalliklarga ega, ya'ni yutilish sohasining kengligi (350-1100 nm), yuqori elektron va teshik harakatchanligi va yuqori zaryad tashuvchi diffuziya uzunligi (100nm - 1mkm) [9]. Ammo, metilammoniy qo'rg'oshin yodid xlorid (MAPbICl_2) PQE lari ham yuqori elektron harakatchanligi va uzoqroq diffuziya uzunligi (1000-1500nm) kabi bir qancha afzalliklarga egaligi bilan e'tiborni tortdi [10]. MAPbI_3 perovskit prekursorlariga xlor qo'shilishi natijasida katta hajmdagi kristallanish domenlarning ($>200\text{nm}$) shakllanishiga olib keldi, natijada ular kamroq zaryad rekombinatsiyasi bilan zaryad o'tkazuvchanligi oshishiga olib keladi [5]. Ushbu ishda MAPbI_3 va MAPbICl_2 perovskit prekursorlari bilan tayyorlangan alohida ikkita perovskit faol qatlamlarini har hil haroratlarda termal qizdirish orqali tayyorlangan faol qatlamlarning morfologiyasi va ularning kristallanish shakllanishi o'rganildi. Quyosh elementlarining xarakteristikasiga qizdirish haroratini ta'siri bo'yicha bir qator tajribalar o'tkazildi. Bunda, MAPbI_3 perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE larning fotovoltaiik va optik parametrlari MAPbICl_2 perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE lariga qaraganda yuqori natija ko'rsatdi.

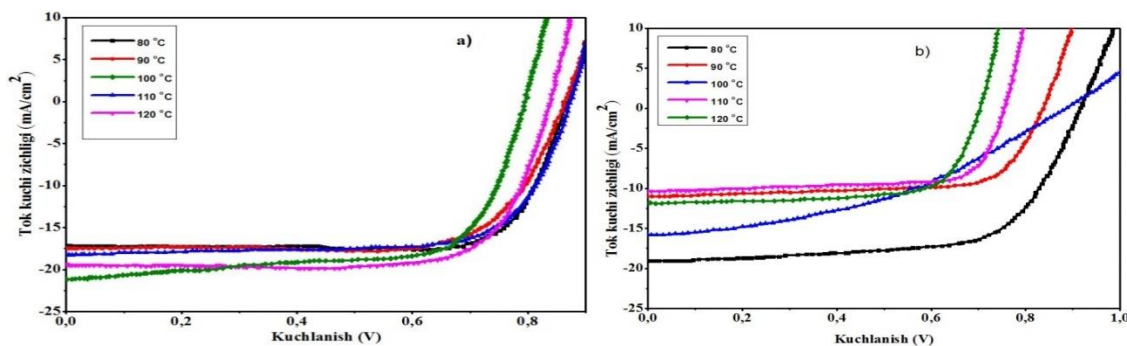
Eksperimental metod. MAPbI_3 perovskit eritmasini tayyorlash uchun MAI va PbI_2 ni DMSO eritmasida 1:1M nisbatda (0.5M) sintez qilinib, xona haroratida 12 soat davomida aralashtirildi, shu bilan parallel ravishda MAPbICl_2 perovskit eritmasini tayyorlash usuli ham MAPbI_3 perovskit eritmasini tayyorlash jarayoni bilan bir xil. Bu ikki turdagi perovskit prekursor eritmalari quyosh elementlarining faol qatlami sifatida foydalaniladi. Quyosh elementlarini yasash texnologiyasi bir-nechta bosqichdan iborat. Dastlab indiy qalay oksidi (ITO) shisha tagliklari ultratovushli vannada asetonda, deionizatsiya qilingan (DI) suvda va izopropil spirtida (IPA) har biri 10 daqiqa davomida tozalanib, so'ngra esa toza azot gazi yordamida quritildi. Shundan so'ng, shisha/ITO sirt tayyor bo'lgach, spin qoplama usuli yordamida PEDOT:PSS ni 4500 ayl./min. (ayl./min.-bir daqiqadagi aylanishlar soni) tezlik bilan 20 sekund davomida aylantirilib 50 nm qalinlik atrofida yotqiziladi va tayyor PEDOT:PSS qatlamlaridagi suv molekulalarini yo'qotish uchun pechkada atmosfera sharoitida 10 daqiqa davomida 150°C haroratda qizdiriladi. PEDOT:PSS qatlami tayyor bo'lgach MAPbI_3 perovskit eritmasini 30 sekund davomida 4000 ayl./min. tezlikda spin qoplama usuli bilan qoplanadi. Tayyor bo'lgan perovskit faol qatlamlari atmosfera sharoitida turli xil harorat (80°C , 90°C , 100°C , 110°C va 120°C)larda 10 daqiqa davomida termik qizdiriladi. Shundan so'ng, MAPbI_3 faol qatlamlari termik qizdirilib tayyor bo'lgach, 12mg/mL miqdorda dioxorobenzoldagi PC_{61}BM eritmasini 2000 ayl./min. tezlikda 30 sekund davomida spin qoplama usuli orqali 50 nm qalinlikda perovskit faol qatlami ustiga qoplanadi. Nihoyat, barcha struktura tayyor bo'lgach, 100 nm qalinlikda alyuminiy (Al) katod sifatida vakuum sharoitida 5×10^{-4} Pa bosim ostida termal bug'lantirish usuli yordamida qurilmaga yotqiziladi. Natijada, ITO/PEDOT:PSS/perovskit/ PC_{61}BM /Al strukturaga ega bo'lgan PQE tayyor bo'ladi.

Natijalar va muhokamalar. PQE larning tuzilishi shisha/ITO/PEDOT:PSS/perovskit/ PC_{61}BM /Al shaklda tayyorlangan. 1-rasmda har xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI_3 va (b) MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari ko'rsatilgan. PEDOT:PSS dagi barcha perovskit faol qatlamlar turli 80°C , 90°C , 100°C , 110°C va 120°C haroratlarda keng yutilishni ko'rsatadi. To'liq uzunligi 400-750 nm oralig'idagi MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektri qizdirish haroratining oshishi bilan ortdi. Ammo, MAPbI_3 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari to'liq uzunligi 400-750nm oralig'ida MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlariga nisbatan yaxshi natija ko'rsatdi. PQE lari yorug'lik nurining 400-800 nm to'liq uzunligi diapazonida yaxshi ishlashini e'tiborga olsak (a) MAPbI_3 va (b) MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari optimal strukturaga mos keladi.



1-rasm. Har xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI₃ va (b) MAPbICl₂ perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari.

Samarali PQE larini yasashda Volt-Amper xarakteristikalari muhim hisoblanadi. Chunki Volt-Amper xarakteristikasi orqali quyosh elementlarining ishlashini baholaymiz. 2-rasmida har-xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI₃ va (b) MAPbICl₂ PQE larning Volt-Amper xarakteristikalari aks ettirilgan. Olingan natijadan ko'rinib turibdiki, eksperimental sharoitda turli xil haroratlarda qizdirilgan MAPbI₃ perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE lari MAPbICl₂ perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE lariga nisbatan yuqori fotovoltaik ko'rsatkichlarni ko'rsatdi.



2-rasm. Har- xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI₃ va (b) MAPbICl₂ PQE larning Volt-Amper xarakteristikalari.

Bundan tashqari turli-xil haroratlarda qizdirib hosil qilingan MAPbI₃ va MAPbICl₂ asosli PQE larining tok zichligi (J_{sc}), ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc}), to'ldirish faktori (FF) va EO'S kabi fotovoltaik parametrlari qiymatlari olindi. Olingan

natijalar 1-jadvalda keltirilgan. Har-xil haroratlarda, MAPbI₃ asosli PQE ning barcha fotovoltaiik parametrlari qiymatlari samarali va deyarli biroz o'zgargan. MAPbI₃ asosli PQE uchun eng optimal harorat 120 °C bo'lib bunda EO'S qiymati 12.33 % ga teng. Xuddi shuningdek MAPbICl₂ asosli PQE uchun eng optimal harorat 80 °C va bunda EO'S qiymati 9.09 % ga teng. Demak EO'S bo'yicha MAPbI₃ optimalroq lekin, bu yuqori harorat talab qiladi. MAPbICl₂ asosli PQE lar EO'S qiymat 10 % dan kam bo'lsa ham past haroratda olindi.

Jadval 1. Turli xil haroratlarda qizdirilgan MAPbI₃ va MAPbICl₂ PQE larning fotovoltaiik parametrlari.

Perovskit	Qizdirish harorati (°C)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	EO'S (%)
MAPbI ₃	80	0.91	17.66	0.76	11.86
	90	0.81	17.72	0.62	11.18
	100	0.83	21.18	0.67	11.42
	110	0.92	18.76	0.70	11.39
	120	0.85	19.87	0.73	12.33
MAPbICl ₂	80	0.98	15.58	0.61	9.09
	90	0.91	11.04	0.70	6.63
	100	0.93	16.09	0.40	5.87
	110	0.81	10.72	0.71	5.88
	120	0.79	12.1	0.69	6.06

Xulosa. Biz MAPbI₃ va MAPbICl₂ perovskit prekursorlari yordamida perovskit faol qatlamlarning kristallanishi va morfologiyasining shakllanishiga qizdirish haroratining ta'sirini o'rgandik. MAPbI₃ dan tayyorlangan PQE larida perovskit faol qatlamini tayyorlashda haroratining oshishi bilan morfologik o'zgarishlar va qurilma xarakteristikasi orasidag farqlar kuzatilmaydi. PQE larining ushbu turini qizdirish harorati 80 °C dan 120 °C gacha bo'lgan oraliqda keng diapazonda tayyorlash mumkin. Bunda, MAPbI₃ PQE lari past qizdirish haroratida kichik samaradorligini ko'rsatdi, yuqori qizdirish harorati esa qurilma samaradorligi ko'tarildi va harorat oshishi kristall zarracha hajmining morfologik o'sishiga olib keldi. Bizning natijalarimiz yutilish spektrlari bilan tasdiqlangan, bu MAPbI₃ PQElari uchun perovskit strukturasi to'liq shakllanishini ko'rsatdi. Demak umumiy xulosa qiladigan bo'lsak MAPbI₃ asosli PQE larida optimal bo'lgan samaradorlikka erishish uchun yuqori harorat (120 °C) talab qilinadi. Lekin MAPbICl₂ asosli PQE lari optimal samaradorlikka past harorat (80 °C) erisha oladi.

ADABIYOTLAR

1. Kojima, Akihiro, et al. "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells." Journal of the american chemical s^ciety 131.17 (2009): 6050-6051.
2. Min, Hanul, et al. "Perovskite solar cells with atomically coherent interlayers on SnO₂ electrodes." Nature 598.7881 (2021): 444-450.
3. Kim, Hui-Seon, et al. "High efficiency solid-state sensitized solar cell-based on submicrometer rutile TiO₂ nanorod and CH₃NH₃PbI₃ perovskite sensitizer." Nano letters 13.6 (2013): 2412-2417.
4. Ball, James M., et al. "Low-temperature pr^ocessed meso-superstructured to thin-film perovskite solar cells." Energy & Environmental Science 6.6 (2013): 1739-1743.
5. Lee, Michael M., et al. "Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites." Science 338.6107 (2012): 643-647.
6. Laban, Waleed Abu, and Lioz Etgar. "Depleted hole conductor-free lead halide iodide heterojunction solar cells." Energy & Environmental Science 6.11 (2013): 3249-3253.
7. Mei, Anyi, et al. "A hole-conductor-free, fully printable mesoscopic perovskite solar cell with high stability." science 345.6194 (2014): 295-298.
8. Wang, Jacob Tse-Wei, et al. "Low-temperature pr^ocessed electron collection layers of graphene/TiO₂ nan^oComposites in thin film perovskite solar cells." Nano letters 14.2 (2014): 724-730.
9. Grätzel, Michael. "The light and shade of perovskite solar cells." Nature materials 13.9 (2014): 838-842.
10. Stranks, Samuel D., et al. "Electron-hole diffusion lengths exceeding 1 micrometer in an organometal trihalide perovskite absorber." Science 342.6156 (2013): 341-344.
11. Edri, Eran, et al. "Chloride inclusion and hole transport material doping to improve methyl ammonium lead bromide perovskite-based high open-circuit voltage solar cells." The journal of physical chemistry letters 5.3 (2014): 429-433.
12. Colella, Silvia, et al. "MAPbI₃-xCl x mixed halide perovskite for hybrid solar cells: the role of chloride as dopant on the transport and structural properties." Chemistry of Materials 25.22 (2013): 4613-4618.
13. Suarez, Belen, et al. "Recombination study of combined halides (Cl, Br, I) perovskite solar cells." The journal of physical chemistry letters 5.10 (2014): 1628-1635.
14. Kitazawa, Nobuaki Y. Watanabe, and Nakamura Y. "Optical properties of CH₃NH₃PbX₃ (X= halogen) and their mixed-halide crystals." Journal of materials science 37.17 (2002): 3585-3587.



УДК:533.537

Феруз ХУДАЙКУЛОВ,

ТГТУ, докторант кафедры «Общая физика»

E-mail: f.xudoyqulov@mail.ru

Ёкуб ЭРГАШОВ,

Проректор НУУз, профессор, д.ф.-м.н

E-mail: y.ergashov@nuu.uz

Дилноза ТАШМУХАМЕДОВА,

ТГТУ, профессор кафедры «Технология производства электронных аппаратов»

Балтоходжа УМИРЗАКОВ,

ТГТУ, профессор кафедры «Общая физика»

МЕХАНИЗМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЭМИССИОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ W И MO ПРИ БОМБАДИРОВКЕ ИОНАМИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Аннотация

В данной работе с использованием методов оже-электронной спектроскопии, измерения коэффициента вторичной электронной эмиссии σ и квантового выхода фотоэлектронов Y исследованы состав, эмиссионные и оптические свойства поликристаллических образцов W и Mo имплантированных ионами Ba⁺ и покрытых субмонослойными атомами Ba. Эксперименты проводились в одном и том же приборе при вакууме $P \approx 10^{-6}$ Па. Показано, что при имплантации ионов Ba в поверхностных слоях тугоплавких металлов образуется механическая смесь типа W+Ba и Mo-Ba. Установлено, что значения коэффициента вторичной электронной эмиссии σ и квантового выхода фотоэлектронов Y при одинаковых значениях работы выхода ϕ в случае имплантации ионов Ba⁺ значительно больше, чем в случае осаждения атомов. Полученные экспериментальные результаты обоснованы теоретическими расчетами.

Ключевые слова: Механическая связь, ионная имплантация, эмиссионная эффективность, оже-спектр, квантовый выход, плазменные колебания, уровень Ферми.

KICHIK ENERGIYALI IONLAR BILAN BOMBARDIMON QILINGAN W VA MO NING EMISSION VA OPTIK XUSUSIYATLARINI O'ZGARISH MEKANIZMLARI

Annotatsiya

Ushbu ishda Ba⁺ ionlari bilan implantatsiya qilingan va submonoqatlam Ba atomlari bilan qoplangan W va Mo polikristal namunalarining tarkibi, emission va optik xususiyatlari oje - elektron spektroskopiyasi, hamda ikkilamchi elektron emissiya koeffitsienti σ va fotoelektronlarning kvant chiqishi Y ni o'lgan usullari yordamida o'rganildi. Eksperimentlar bitta asbobda $P \approx 10^{-6}$ Pa vakuumda o'tkazilgan. Ba⁺ ionlari implantatsiya qilingandan so'ng o'tga chidamli metallarning sirt qatlamlarida W+Ba va Mo-Ba tipidagi mexanik aralashmalar hosil bo'lishi ko'rsatilgan. Ba⁺ ionlarini implantatsiya qilishda, ϕ chiqish ishinig bir xil qiymatlarida, Y fotoelektronlarning kvant chiqishi Y va σ ikkilamchi elektron emissiya koeffitsientining qiymatlari atomlarni o'tqazishga qaraganda ancha katta ekanligi aniqlandi. Olingan eksperimental natijalar nazariy hisob-kitoblar bilan asoslangan.

Kalit so'zlar: Mexanik bog'lanish, ion implantatsiyasi, emission samaradorlik, oje-spektr, kvant chiqishi, plazmon tebranishlar, Fermi sathi.

MECHANISM OF CHANGE IN THE EMISSION AND OPTICAL PROPERTIES OF W AND MO AFTER BOMBARDMENT WITH LOW-ENERGY IONS

Annotation

The paper reports the results of study of composition, emission, and optical properties of polycrystalline W and Mo samples implanted with Ba⁺ ions and coated with submonolayer Ba atoms by applying Auger electron spectroscopy, secondary electron emission coefficient σ technique, as well as the photoelectron quantum yield Y . The experimental part was carried out by using the instrumentation and under vacuum $P \approx 10^{-6}$ Pa. It is shown that during the implantation of Ba ions in the surface layers of refractory metals, a mechanical mixture of the W + Ba and Mo-Ba types is formed. It has been established that the values of the coefficient of secondary electron emission σ and the quantum yield of photoelectrons Y at the same value of the work function ϕ in the case of implantation of Ba⁺ ions are much larger than in the case of deposition of atoms. The obtained experimental results are substantiated by theoretical calculations.

Key words: Mechanical bonds, ion implantation, emission efficiency, Auger spectrum, quantum yield, plasma oscillations, Fermi level.

Введение. В настоящее время тугоплавкие металлы, в частности Mo, W и их сплавы широко используются и имеют перспективы в авиационной и ракетно-космической отрасли при разработке высокоэффективных газотрубных двигателей нового поколения [1], улучшения стойкости к воздействию плазменных пучков первой стенки термоядерных реакторов [5-6], а также в вакуумных технологиях и СВЧ приборах [7].

При воздействии ионов и плазмы на материал происходит распыление и испарение материала, изменение структуры и фазового состояния, образование на поверхности новых химических соединений и т.д. [9]. При этом очень важно минимизация эрозии материалов как при нормальной работе, так и во время переходных событий, а также соответствующий выбор этих материалов [10].

В настоящее время хорошо изучены физико-химические свойства таких структур, полученных методами напыления, термодиффузии и перемешивания мелких частиц с последующим прессованием. Одним из перспективных методов создания нанопленочной структуры в поверхностном слое материалов различной природы является метод низкоэнергетической ионной имплантации в сочетании с отжигом [12].

Данная работа посвящена изучению влияния ионной имплантации на состав, эмиссионные и оптические свойства поликристаллических образцов W и Mo.

Методика проведения экспериментов. В качестве объектов исследования использовались монокристаллические шайбы Mo(111) и W(111) с диаметром 8 – 10 мм и толщиной 0.8 мм.

Эксперименты проводились в условиях сверхвысокого вакуума ($P = 10^{-7}$ Па) в одном и том же экспериментальном приборе состоящего из двух смежных камер. Ионная имплантация, температурный отжиг осуществлялся в первой камере, а изучение состава, эмиссионных и оптических свойств исследуемых образцов – во второй камере. Исследуемые образцы устанавливались в специальной каретке и из одной камеры в другую перемещались с помощью электромагнитов.

Температурный отжиг W и Mo до ~ 900 К осуществлялся нагревом с тыльной стороны мишени с помощью вольфрамовой спирали, а высокотемпературный прогрев до $T = 2300$ К осуществлялся электронной бомбардировкой.

Ионы Ba^{+} получены методом поверхностной ионизации атомов Ba. Источником бария служили таблетки титаната бария. При нагревании кварцевой трубочки, заполненной таблетками BaTi, образуются пары бария, часть которых, попадая на поверхность раскаленной вольфрамовой спирали, ионизируется. Диаметр ионного пучка на поверхность образца составлял $\sim 1.5 \dots 2$ мм. Имплантация ионами Ba^{+} проводилась в основном с энергией $E_0 = 1$ кэВ и дозой $D = 6 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$ (доза насыщения). Ток ионов Ba^{+} можно было увеличить до ~ 0.3 мкА.

Все исследования с использованием методов оже-электронной спектроскопии (ОЭС), измерения полного коэффициента вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) σ и квантового выхода фотоэлектронов Y осуществлялись во второй камере.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. На рис. 1 приведены зависимости $\sigma(E_p)$ для чистого W и W, имплантированного ионами Ba^{+} с энергией $E_0 = 0.5$ кэВ при дозе $D = 6 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$ и покрытого атомами Ba толщиной в ~ 1 монослой. На рис. 2 для этих же образцов приведены зависимости квантового выхода фотоэлектронов Y от энергии фотонов в интервале $h\nu = 2 - 6$ эВ.

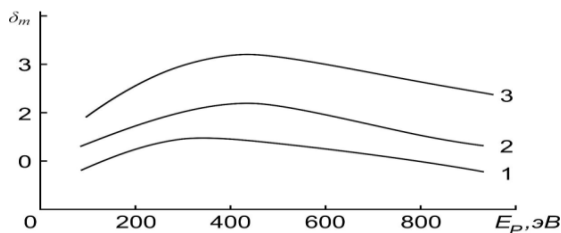


Рис. 1. Зависимости $\sigma_m(E_p)$ для: 1 – W(111), 2 – W(111) с поверхностной пленкой Ba с $\theta \approx 1$ монослой, 3 – W имплантированного ионами Ba^{+} с $E = 0.5$ кэВ при $D = 6 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$

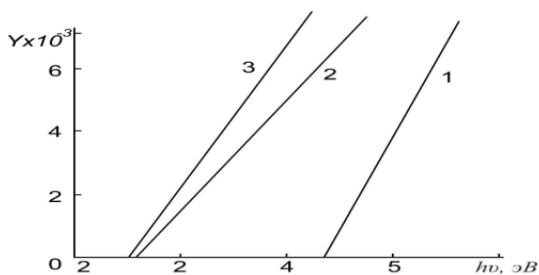


Рис. 2. Зависимости $Y_{1/2}$ от $h\nu$ для: 1 – чистого W(111), 2 – W(111) с пленкой Ва с толщиной 1 монослой, 3 – W(111) имплантированного ионами Ва⁺ с $E = 0,5$ кэВ при $D = 6 \cdot 10^{16}$ см⁻².

Из этих рисунков видно, что увеличение σ и Y вольфрама в случае имплантации ионов Ва⁺ существенно больше, чем при напылении Ва с толщиной $\theta \approx 1$ монослой.

Для того чтобы оценить роль поверхности и объема в увеличении коэффициентов σ_m и Y ионно-легированных образцов, проводилось сравнение результатов измерений Y и σ_m для W, покрытого слоем бария разной толщины и легированного ионами Ва⁺ с разными энергиями при $D = D_n = 6 \cdot 10^{16}$ см⁻² (D_n – доза насыщения). Для сравнения выбирались такие значения энергии ионов E_0 и толщины слоев θ , при которых работа выхода для тех и других образцов была приблизительно одинаковой (таблица 1).

Таблица 1.

Значения σ_m , Y и $e\phi$ для W(111), легированного ионами бария с разными энергиями и покрытого слоем бария разной толщины.

Ва ⁺ → W, $D = 6 \cdot 10^{16}$ ион·см ⁻²				Ba/W				σ_n / σ_u	Y_n / Y_u
E_0 , кэВ	σ_m	$Y \cdot 10^6$	$e\phi$	θ	σ_m	$Y \cdot 10^6$	$e\phi$		
0.5	3.4	56	2.3	0.7	2.0	30	2.35	1.7	1.8
3.0	2.6	30	3.2	0.4	1.75	19	3.15	1.45	1.6
5.0	2.1	11	3.9	0.2	1.55	9	3.85	1.3	1.2

Значения $\sigma = \sigma_m$ соответствовало энергии $E_{pm} \approx 450 - 500$ эВ.

Из таблицы видно, что при одинаковых изменениях $e\phi$ значения σ_m и Y для легированных образцов больше, чем для напыленных. Существенное различие в σ и Y между легированными и напыленными образцами наблюдается при $E_0 = 1$ кэВ и при этом σ_l / σ_n и Y_l / Y_n составляют $\sim 1,7$. Расчетные значения глубины зоны выхода ИВЭ и фотоэлектронов для чистого W составляло 20 – 25 Å.

При этом основная часть внедренных атомов располагается на глубине 0 – 20 Å, что близко к зоне выхода ИВЭ. Этим, а также сильным уменьшением $e\phi$ объясняется наибольшее увеличение σ и Y при $E_0 = 0,5 - 1$ кэВ. С ростом энергии ионов концентрации внедренных атомов в эмитирующем слое уменьшается, что приводит к уменьшению отношения σ_l / σ_n и Y_l / Y_n .

Известно, что рост σ и Y в случае легирования связан с увеличением плотности внутренних вторичных электронов $n(E_p, x)$, которая пропорциональна потере энергии на единице пути первичного или неупругоотраженного электрона:

$$dE/dx = n_e \int_0^\infty \varepsilon \cdot d\delta(E, \varepsilon) \quad (1)$$

Здесь $d\delta(E, \varepsilon)$ – дифференциальное сечение рассеяния с потерей энергии ε . Значение n_e значительно возрастает с увеличением концентрации примеси в эмитирующем слое.

В случае металлов W и Mo для расчета можно использовать формулу [15]

$$\delta = \frac{B}{\varepsilon} \int_0^\infty F(x) e^{-\frac{\lambda}{x}} dx \quad (2)$$

Здесь $F(x)$ – функция распределения потерь энергии поглощенных и неупругоотраженных электронов. B – вероятность выхода ВЭ подошедших к поверхности, а ε – средняя энергия, необходимая для образования одного вторичного или фото- электронов, λ – глубина выхода ИВЭ. Значения λ лежит в пределах от 10 до 30 Å для большинства металлов, а величина $\frac{\varepsilon}{B}$, согласно Деккеру, не зависит от энергии первичных электронов и имеет значение $\sim 100 \div 200$. Мы провели расчеты для $\lambda = 10, 15, 20$ и 30 Å. Наилучшее согласие с экспериментом получается в случае $\lambda = 10$ Å: $\varepsilon/B = 140$ для Mo и 170 для W.

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные значения КИВЭ δ_m .

	E_0 , эВ	600	800	1000	3000	4000
Mo	δ_m	0.87	0.95	0.94	0.54	0.45
	δ_ε	0.98	0.95	0.92	0.55	0.46
W	δ_m	0.7	0.78	0.84	0.56	0.46
	δ_ε	0.91	0.88	0.81	0.6	0.48

В таблице 2 приведены расчетные δ_m и экспериментальные δ_ε значения коэффициентов ИВЭ для Mo и W. Из приведенной таблицы видно, что согласие с экспериментом хорошее для $E_p > 800$ эВ, а для более низких E_p расчетные значения оказываются ниже экспериментальных. Причина заключается в том, что при таких энергиях параметр $\frac{\varepsilon}{B}$ начинает зависеть от энергии первичного электрона.

Действительно, при низких энергиях увеличивается роль возбуждения и, распада плазмонов в образовании ВЭ и "выключается" механизм возбуждения электронов с глубоких уровней, что должно привести к уменьшению ξ – средней энергии, затрачиваемой на образование одного ВЭ. Вместе с этим меняются и условия выхода вторичных электронов. Полученные результаты согласуются с выводами, о том, что при больших E_0 коэффициенты ВЭЭ определяются в основном потерями энергии первичных электронов, но не механизмом выхода вторичных.

Заклучения. Показано, что увеличение коэффициента вторичной электронной эмиссии и квантового выхода фотоэлектронов W и Mo при имплантации ионов Ba⁺ в основном обусловлены уменьшением работы выхода поверхности и увеличением потерь энергии на поглощение электронов в ионно-имплантированном слое. Обнаружено, что при низких энергиях электронов Ba ($E \leq 0,8$ кэВ) расчетные значения коэффициента ИВЭ существенно меньше, чем экспериментальные. При $E \geq 1$ кэВ они хорошо согласуются друг с другом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахадиллов Б.К., Миниязов А.Ж., Скаков М.К., Сагдолдина Ж.Б., Туленберген Т.Р., Сапатаев Е.Е. // Исследование модификации структуры и эрозии поверхности вольфрама и молибдена при плазменном облучении/ Журнал технической физики, 2020, том 90, вып. 3. Стр. 400 – 409.
2. Kurnaev V., Kolodeshnikov A., Tulenbergenov T., Sokolov I. // J. Nucl. Mater. 2015. Vol. 463. P. 228-232.
3. Roth J., Tzirone E., Loarte A., Loarer Th., Counsell G., Neu R., Philipps V., Brezinsek S., Lehnen M., Coad P., Grisolia Ch., Schmid K., Krieger K., Kallenbach A., Lipschultz B., Doerner R., Cousey R., Alimov V., Shu W., Ogorodnikova O., Kirschner A., Federici G., Kukushkin A. // Nucl. J. Mater. 2009. Vol. 390-391. P. 1-9. doi.org/10.1016/j.jnucmat.2009.01.037.
4. Будаев В.П. Результаты испытаний вольфрамовых мишеней дивертора при мощных плазменно-тепловых нагрузках, ожидаемых в ИТЭР и токамаках реакторного масштаба / ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2015. Т. 38. № 4. С. 5-33.
5. Оспенникова О.Г., Подъячев В.Н., Столянков Ю.В. // Тугоплавкие сплавы для новой техники/ труды ВИАМ, №10(46) 2016. Стр. 55-64 DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-10-5-5.
6. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3-33. DOI: 10.18577/20719140- 2015-0-1-3-33.
7. Бугерко Л.Н. Борисова Н.В., Суровая В.Э. Еремеева Г.О. Влияние облучения на оптические свойства MoO₃ // Ползуновский вестник. 2013. №1. С. 77-82.
8. Суровой Э.П., Бугерко Н.В. Борисова В.Э. Суровая Г.О. // Закономерности фотостимулированных превращений в наноразмерных пленках MoO₃ // Журнал физической химии, 2013. Т.87, № 12. С. 2105–2109.
9. Report of ITER Joint Central Team, G AO FDR 4 01-07-21 R0.4 Garching, 2001. P. 80. 182
10. Philipps V., Roth J., Loarte A. // Plasma Phys. Controlled Fusion. 2003. Vol. 45. P. 17–30
11. Rahadilov B.K., Skakov M.K., Tulenbergenov T.R. // Key Engineer. Mater. 2017. Vol. 736. P. 46–51.
12. Аллаярова Г.Х., Ташмухамедова Д.А., Джаббарганов Р., Умирзаков Б.Е. // Изучение процессов формирования наноразмерных пленок MoO₃ при термическом окислении и ионной бомбардировке. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования № 1 2021 DOI: 10.31857/S1028096021010040.
13. Ergashov Y.S., Umirzakov B.E. // Effect of implantation of Ba⁺ and Nb⁺ ions on the morphology, composition, and emission properties of Mo (111) // Journal of Communications Technology and Electronics. volume 62, pages 612–615 (2017) DOI:10.1134/S1064226917060079.
14. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Ruzibaeva M.K., Djurabekova F.G., Danaev S.B. // Investigation of change of the composition and structure of the CaF₂/Si films surface at the low-energy bombardment // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 326 (2014) 322–325 doi.10.1016/j.nimb.2013.10.094.
15. Рисселл Х., Руге И. Ионная имплантация. М.: Наука, 1982. 360 с.



УДК: 537.533.7.8

Ганжимурад ШИРИНОВ,
Базовый докторант ТДТУ
Сардар ДОНАЕВ,
Проректор ТДТУ по научной работе и инновациям
Ёкуб ЭРГАШОВ,
Профессор Национального университета Узбекистана, д.ф.-м.н
Ботир ТУРАКУЛОВ,
Базовый докторант Национального университета Узбекистана

По отзыву к.ф.-м.н Н. Норкулова

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ СОГЛАСУЮЩИХСЯ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ CaF_2 ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОК AlInV

Аннотация

Методом низкоэнергетической ионной бомбардировки на границе системы GaAs/CaF_2 и GaP/CaF_2 созданы тонкие (наноразмерные) согласующиеся переходные слои. Установлено, что наиболее эффективный переходной слой формируется в сулое имплантации ионов Sr^+ с последующим прогревом при $T=900$ К. Методом оже-электронной спектроскопии в сочетании с травлением поверхности ионами Ar^+ изучены профили распределения атомов Sr по глубине $\text{CaF}_2(111)$.

Ключевые слова: Согласующиеся переходные слои, граница раздела, ПДП – структура, профил распределения, нанопленки, концентрация атомов, ионная имплантация, взаимодиффузия атомов.

SA2 YUZASIDA AlInV PLENKA SHAKLLANTIRISH UCHUN YUPQA MOSLASHUVCHAN QATLAM OLISH

Annotatsiya

Kichik energiyali ionlar implantatsiyasi usuli bilan GaAs/CaF_2 va GaP/CaF_2 tizimining chegarasida moslashtiruvchi o'tish qatlamlari hosil qilingan. Eng optimal o'tish qatlami Sr^+ ionlarini implantatsiya qilib keyin $T=900$ K qizdirishda hosil bo'lishi aniqlangan. Oje – elektroskopiya usulini yuzalarni Ar^+ ionlari bilan yemirish bilan birgalikda qo'llab Sr atomlarining chuqurlik bo'yicha taqsimoti o'rganilgan.

Kalit so'zlar: Moslashtiruvchi o'tish qatlami, chegaraviy qatlam, YADYA tuzilmasi, chuqurlik bo'yicha taqsimoti, atomlar konsentratsiyasi, atomlarning o'zaro diffuziyasi.

OBTAINING THIN CONSISTENT LAYERS ON THE SURFACE OF CaF_2 FOR THE FORMATION OF AlInV FILMS

Annotation

Thin (nanosized) matching transition layers were created by low-energy ion bombardment at the interface between the GaAs/CaF_2 and GaP/CaF_2 systems. It has been found that the most efficient transition layer is formed in the Sr^+ ion implantation phase followed by heating at $T=900$ K. Auger electron spectroscopy in combination with surface etching with Ar^+ ions was used to study the depth distribution profiles of Sr atoms in $\text{CaF}_2(111)$.

Keywords: Matching transition layers, interface, PDP-structure, distribution profile, nanofilms, atomic concentration, ion implantation, interdiffusion of atoms.

Введение. Известно, что эпитаксиальные МДП и ПДП – структуры широко используются и имеют перспективы для создания приборов микро-, нано- и оптоэлектроники (СВЧ транзисторы, ИС, резонаторы; оптоэлектронные приборы, запоминающие устройства, солнечные элементы и др.). Границы раздела этих пленок, например, “полупроводник - диэлектрик”, обладают уникальными, присущими только им физикохимическими свойствами, целенаправленное использование их позволяет создать приборы нового поколения [1]. Однако, при создании перспективных многослойных - структур не всегда удается выбрать полупроводники и диэлектрики с идентичными параметрами решетки. Это, в свою очередь, требует формирования переходных слоев. В создание нанопленочных –структур во многих случаях используются кристаллы и пленки с кубической решеткой: полупроводники Si , Ge , GaAs , GaP , CdTe ; диэлектрики CaF_2 , BaF_2 , SrF_2 и полупроводники обладающие металлическими свойствами NiSi_2 , CoSi_2 [6]. При этом особые требования предъявляется идентичности кристаллической структуры и близости параметры решетки, а также близости температурного коэффициента расширение выращиваемых пленок. В случае заметного отличие параметров решетки пленок возникает

необходимость создания согласующихся слоев. В качестве МДП и ПДП - структур до сих пор в основном, используется эпитаксиальные структуры типа $\text{NiSi}_2/\text{CaF}_2/\text{Si}$ и $\text{CoSi}_2/\text{CaF}_2/\text{Si}$ [9]. Параметры решетки этих компонентов практически единичны. Однако в силу концентрации и подвижности носителей возникает необходимость заменять Si бинарными полупроводниками GaAs, GaP, InP и др. Наиболее практически интерес имеет гетероструктуры CaF_2/GaP и CaF_2/GaAs . Параметр решетки CaF_2 ($a \approx 5,39 \text{ \AA}$) близки к "a" GaP ($a_{\text{GaP}} \approx 5,45 \text{ \AA}$), однако существенно отличается от "a" GaAs ($a_{\text{GaAs}} \approx 5,65 \text{ \AA}$). Несоответствие постоянных решеток вследствие взаимодиффузии атомов приводит к увеличению толщины переходных слоев на границе раздела пленка – подложка [13]. Основной целью данной работы являлась создания согласующихся слоев для системы $\text{A}_3\text{B}_5 - \text{CaF}_2(111)$ с использованием методом ионной имплантации в сочетании с отжигом.

Методика эксперимента. Пленки GaAs и GaP с толщиной $\sim 600 \text{ \AA}$ осаждены на хорошо очищенную поверхность $\text{CaF}_2(111)$ методом МЛЭ при комнатной температуре. При этом пленки были аморфными.

В качестве объектов исследования были выбраны монокристаллические образцы GaP(111) с диаметром $\sim 10 \text{ мм}$ и толщиной 1 мм . Исследования проводились с использованием методов: оже-электронной спектроскопии (ОЭС), дифракции быстрых электронов (ДБЭ), ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и снятием энергетических и угловых зависимостей коэффициентов вторично электронной эмиссии (КВЭЭ). Для определения профиля распределения атомов по глубине проводился послойный оже-анализ, путем распыления поверхности образца ионами Ar^+ с энергией 1 кэВ при угле падения $\sim 80\text{--}85^\circ$ относительно нормали, скорость травления составляла $\sim (5 \pm 1) \text{ \AA/мин}$. Ультрафиолетовые фотоэлектронные спектры снимались при энергии фотонов $h\nu \approx 10,8 \text{ эВ}$. Источником фотонов служила стандартная газоразрядная водородная лампа.

Экспериментальные результаты и их обсуждения. На рис. 1 приведены профили распределения атомов F по глубине для системы GaP/CaF₂ и GaAs/CaF₂, измеренные до и после отжига. Из рис. 1 видно, что даже при комнатной температуре на границе раздела пленка – подложка происходят разложение соединений GaP(GaAs) и CaF_2 и взаимодиффузия атомов между ними. При этом атомы P(As) и F имеют сравнительно большой коэффициент диффузии по сравнению с атомами Ga и Ca.

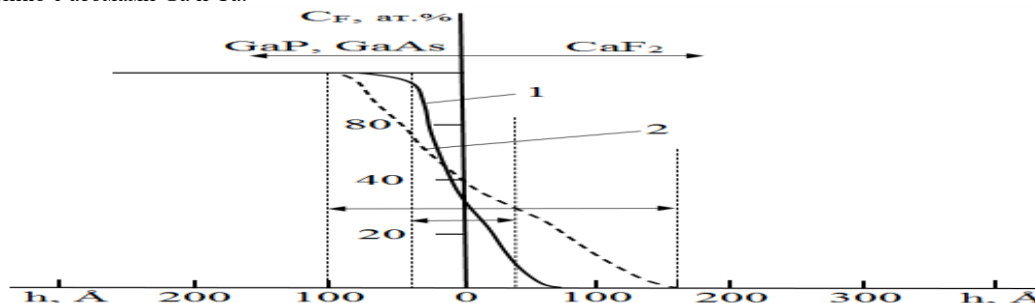


Рис.1. Профили распределения атомов F по глубине системы: 1 - GaP/CaF₂(111),

2 - GaAs/CaF₂

До отжига толщина переходного слоя в случае GaP/CaF₂ составляет $\sim 100 \text{ \AA}$, а в случае GaAs/CaF₂ – $\sim 250 \text{ \AA}$. Для получения эпитаксиальных пленок системы GaAs/CaF₂ и GaP/CaF₂ прогревались до $T=850 \text{ К}$ и 900 К соответственно. Время прогрева $\sim 25\text{--}30 \text{ мин}$. После прогрева ширина переходного слоя в случае GaP/CaF₂ увеличивается до ~ 150 , а в случае GaAs/CaF₂ – $\sim 400 \text{ \AA}$ [5].

Таким образом, ширина переходного слоя и концентрация взаимодиффундирующих атомов в случае GaP/Ge значительно (2 и более раз) меньше, чем в случае системы GaAs/CaF₂. По-видимому, одной из основных причин большого значения ширины переходного слоя на границе GaAs/CaF₂, является возникновение значительного напряжения между сопрягающимися поверхностями из-за заметного различия параметров решетки. Поэтому в случае системы GaAs/CaF₂ возникает необходимость создания переходного согласующегося слоя. Для этого требуется почти монотонное увеличение "a" CaF_2 от $\sim 5,46 \text{ \AA}$ до $\sim 5,65 \text{ \AA}$. Последнего можно добиться, используя метод ионной имплантации [NIM B – 2000 УПЭ] в сочетании с прогревом. Имплантация проводилась ионами Mg^+ , Ba^+ и Sr^+ с энергиями $E_0 = 0,5\text{--}3 \text{ кэВ}$ при дозе насыщения $D = \text{DH}$. Затем производился прогрев до температуры образования слоя монокристаллического трехкомпонентного соединения. Наиболее надежный переходный слой образовался в случае имплантации ионов Sr^+ . На рис.2 приведены зависимости CSr от глубины h , полученные после прогрева при различных температурах CaF_2 , имплантированного ионами Sr^+ с $E_0=1 \text{ кэВ}$ при $D=6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Прогрев при каждой T составлял 30 мин . Видно, что до отжига большая часть имплантированных атомов располагается на поверхности и вблизи нее до глубины $40\text{--}45 \text{ \AA}$. При этом не все атомы Sr входят в химическую связь с атомами матрицы. До температуры $T=600 \text{ К}$ профиль распределения атомов Sr заметно не меняется. Прогрев при $T=700 \text{ К}$ приводил к небольшому возрастанию концентрации атомов Sr на поверхности, что связано с диффузией несвязанных атомов Sr к поверхности.

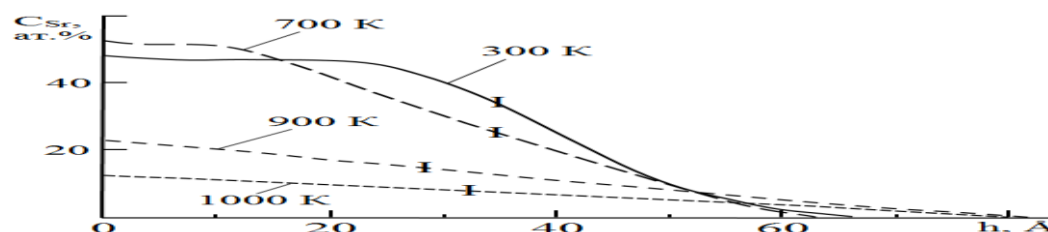


Рис.2. Влияние прогрева на зависимости концентрации атомов Sr по глубине

CaF₂, имплантированного ионами Sr⁺ с E₀ = 1 кэВ при D = 6·10¹⁶ см⁻².

С дальнейшим ростом температуры усиливается диффузия атомов Sr к поверхности и в глубь мишени, образование соединений Ga – Sr – As, отжиг дефектов и кристаллизация ионно – легированных слоев. Одновременно начинается интенсивная десорбция Sr из области внедрения и зависимость CSr(h) приобретает вид спадающей кривой. Следовательно, общая концентрация Sr в приповерхностной области уменьшается, что подтверждается уменьшением площади под кривой CSr(d). При T = 900 К все атомы Sr образуют связь с атомами матрицы и формируется эпитаксиальная монокристаллическая пленка. Примерный состав на поверхности имеет вид Ga_{0,6}Sr_{0,4}F₂. С ростом глубины концентрация Sr монотонно убывает, а Ca – увеличивается. При d ≈ 75–80 Å содержание Sr приближается к нулю. Значение “a” для структура Ca_{0,6}Sr_{0,4}F₂ на поверхности составили ~ 5,71 Å, что близко к “a” пленки GaAs, т.е. переходной слой, созданный на поверхности CaF₂ имплантацией ионов Sr, является наиболее эффективным для системы GaAs/CaF₂. Увеличивая температуры до 1000 К можно получить соединение типа Ca_{0,7}Sr_{0,3}F₂ [13].

Заключение. Получены наноразмерные согласующиеся слои Ca_{1-x}Sr_xF₂ на поверхности CaF₂ для системы GaAs/CaF₂. Наиболее эффективные слои с линейно изменившимися “x” получены после прогрева CaF₂, имплантированного ионами Sr⁺ с E₀ = 1 кэВ, при T = 900 К. При этом толщина переходного слоя составляли ~ 80 Å.

ЛИТЕРАТУРА

1. Величко А.А., Илюшин В.А., Филимонова Н.И. Получение структур CaF₂/Si(100) методом твердофазной эпитаксии. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. № 1 (25), 2012, С. 47-51.
2. Щербаков В.Д. Люминесцентная спектроскопия Mn²⁺ в SrF₂. Физико-математические науки. Том 157, кн. 4, 2015, С. 172-181.
3. Umirzakov B.E., Donaev S.B. On the creation of ordered nuclei by ion bombardment for obtaining nanoscale Si structures on the surface of CaF₂ films (2017) Journal of Surface Investigation, 11 (4), pp. 746-748.
4. Pak Alexandra M., Ermakova Julia A., Kuznetsov V.Sergey, Ryabova V.Anastasiya, Pominova V. Darya, Voronov V.Valerii. Efficient visible range SrF₂: Yb: Er-and SrF₂: Yb: Tm-based up-conversion luminophores. Journal of Fluorine Chemistry. 2017, (194), pp. 16-22.
5. Умирзаков Б.Е., Донаев С.Б., Мустафаева Н.М. Электронные и оптические свойства тонких пленок GaAlAs/GaAs. Журнал технической физики, 2019, том 89, вып. 10, С. 1589-1591.
6. Ладугин М.А., Андреев А.Ю., Яроцкая И.В., Рябоштан Ю.Л., Багаев Т.А., Падалица А.А., Мармалюк А.А., Васильев М.Г. Сравнительный анализ квантовых ям GaAs/GaInP и GaAs/AlGaAs, полученных в условиях моc-гидридной эпитаксии. неорганические материалы, 2019, том 55, № 4. С. 345–349.
7. Умирзаков Б.Е., Ашуров Р.Х., Донаев С.Б.. Морфология и электронные свойства наноразмерных структур Si, созданных на поверхности CaF₂. Журнал технической физики, 2019, том 89, вып. 2, С. 264-267.
8. Соловьёв Я.А., В.А. Пилипенко. Влияние температуры быстрой термической обработки на электрофизические свойства пленок никеля на кремнии. ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» (г. Минск, Республика Беларусь). 2020, №. 18 (1), С. 81-88.
9. С.Б. Донаев. Получение наноразмерных пленок CoSiO на поверхности CoSi₂ методом ионной имплантации. Письма в ЖТФ, 2020, том 46, вып. 16, С. 16-18.
10. Ушаков С.Н., Усламина М.А., Пыntenков А.А., Мишкин В.П., Нишев К.Н., Кузнецов С.В., Чернова Е.В., Федоров П.П.. Выращивание и физические свойства монокристаллов CaSrBaF₆. Конденсированные среды и межфазные границы. 2021, 23(1), С. 101-107.
11. Velichko A.A., Krupin A.Y U., Filimonova N.I., Ilyushin V.A. Effect of the Growth Modes of CaF₂/(Si + CaF₂)/CaF₂/Si(111) Heterostructures on Their Photoluminescence Spectrum. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques volume 15, 2021, pp. 424 – 429.
12. Руденко И.Е., Величко А.А., Крупин А.Ю., Филимонова Н.И., Илюшин В.А.. Получение многослойных периодических структур CaF₂/Si/CaF₂/Si(111), обладающих фотолюминесценцией в видимой области спектра. Технические науки. № 3 (52), 2021, С. 44-50.
13. Зиновьев В.А., Кацюба А.В., Володин В.А., Зиновьева А.Ф., Черкова С.Г., Смагина Ж.В., Двуреченский А.В., Крупин А.Ю., Бородавченко О.М., Живулько В.Д., Мудрый А.В.. Атомная структура и оптические свойства слоев CaSi₂, выращенных на CaF₂/Si-подложках. Физика и техника полупроводников, 2021, том 55, вып. 9, С. 725-728.
14. Усманов Ж.И., Абдуллаев М.Ш. Совершенствование полупроводниковых устройств. Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022, 4(97).

-
15. Девицкий О.В., Захаров А.А., Лунин Л.С., Сысоев И.А., Пашенко А.С., Вакалов Д.С., Чапура О.М.. Влияние условий магнетронного распыления на структуру и морфологию поверхности тонких пленок $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ на подложке GaAs(100). Конденсированные среды и межфазные границы. 2022; 24(3): С. 300–305.



Ёкуб ЭРГАШОВ,
Профессор НУУз, д.ф.-м.н
Азиза САИДРАХМАНОВА,
Магистрантка Ташкентский государственный технический университет
Ботир ТУРАКУЛОВ,
Базовый докторант Национального университета Узбекистана

По отзыву к.ф.-м.н Н. Норкулова

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ CoSi_2 В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ КРЕМНИЯ

Аннотация

Методами измерения интенсивности проходящего через исследуемые образцы света различной частоты и ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии определена ширина запрещенной зоны E_g нанокристаллических фаз CoSi_2 , созданных на поверхности и в приповерхностной области Si методом ионной имплантации в сочетании с отжигом. Наноразмерные фазы CoSi_2 на поверхности кремния получены имплантацией ионов Co с энергией $E_0 = 1$ кэВ; а в приповерхностной области (на глубине 15–16 нм) – имплантацией ионов с $E_0 = 15$ кэВ. Постимплантационный отжиг в основном осуществлялся температурным прогревом. Показано, что нанокристаллические фазы CoSi_2 как на поверхности, так и в приповерхностном слое кристаллизуются в кубическую решетку. Установлено, что E_g нанокристаллических фаз силицидов кобальта в зависимости от их размеров может изменяться в пределах 0.6–0.9 эВ.
Ключевые слова: Наноразмерные фазы, оптическое поглощение, степень покрытия, прохождение света, ионная имплантация, силицид, отжиг, доза ионов, интенсивность света, ширина запрещенной зоны.

OBTAINING AND STUDYING THE PHYSICAL PROPERTIES OF NANOSIZED CoSi_2 PHASES IN THE SURFACE REGION OF SILICON

Annotation

By measuring the intensity of light passing through the studied samples of different frequencies and ultraviolet photoelectron spectroscopy, the band gap E_g of nanocrystalline CoSi_2 phases created on the surface and in the near-surface region of Si by ion implantation in combination with annealing was determined. Nanosized CoSi_2 phases on the silicon surface were obtained by implanting Co ions with an energy $E_0 = 1$ keV; and in the near-surface region (at a depth of 15–16 nm) by implantation of ions with $E_0 = 15$ keV. Post-implantation annealing was mainly carried out by thermal heating. It is shown that nanocrystalline CoSi_2 phases both on the surface and in the subsurface layer crystallize into a cubic lattice. It has been established that E_g of nanocrystalline phases of cobalt silicides, depending on their size, can vary within 0.6–0.9 eV.

Key words: Nanoscale phases, optical absorption, degree of coverage, light transmission, ion implantation, silicide, annealing, ion dose, light intensity, band gap zone.

KREMNIYNING YUZA USTIDAGI NANOO'LCHAMLI CoSi_2 FAZASINI FIZIKAVIY XUSUSIYATLARINI OLISHI VA O'RGANISH

Annotatsiya

Turli chastotalar va ultrabinafsha fotoelektron spektroskopiyaning o'rganilgan namunalari orqali o'tadigan yorug'lik intensivligini o'lchash yo'li bilan tavlaniş bilan birgalikda ion implantatsiyasi orqali Si yuzasida va sirtga yaqin mintaqada yaratilgan nanokristalli CoSi_2 fazalarining tarmoqli oralig'i aniqlandi. Silikon yuzasida nano o'lchamli CoSi_2 fazalari energiya $E_0 = 1$ keV bo'lgan Co ionlarini implantatsiya qilish orqali olingan; va yer yuzasiga yaqin mintaqada (15-16 nm chuqurlikda) $E_0 = 15$ keV bo'lgan ionlarni implantatsiya qilish orqali. Implantatsiyadan keyingi tavlaniş asosan termal isitish orqali amalga oshirildi. Nanokristalli CoSi_2 fazalari sirtida ham, yer osti qatlamida ham kubik panjaraga kristallanishi ko'rsatilgan. Aniqlanishicha, kobalt silisidlarining nanokristal fazalari, ularning kattaligiga qarab, 0,6-0,9 eV oralig'ida o'zgarishi mumkin.
Kalit so'zlar: Nano o'lchovli fazalar, optik yutilish, qoplanish darajasi, yorug'lik o'tkazuvchanligi, ion implantatsiyasi, silitsid, tovlanish, ion dozasi, yorug'lik intensivligi, tarmoqli oralig'i zonasi.

Введение. Наноразмерные структуры, созданные на поверхности и в приповерхностной области полупроводниковых и диэлектрических пленок, имеют перспективы в создании новых приборов микро-, опто- и наноэлектроники. В частности, повышенный интерес к наноразмерным структурам CoSi_2 , прежде всего, обусловлен использованием их в создании нанопленочных МДП, ПДП структур, омических и барьерных контактов, магнитопамяющих устройствах и др [1].

В данной работе методом измерения интенсивности проходящего через исследуемые образцы света различной частоты определены ширина запрещенной зоны нанокристаллических фаз CoSi_2 , созданных в поверхностной и приповерхностной области Si методом ионной имплантации в сочетании с отжигом.

Методика проведения экспериментов. Объектами исследования являлись эпитаксиальные пленки Si с толщиной ~ 100 нм, выращенные на поверхности монокристаллов CaF_2 (111) методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Экспериментальный прибор состоит из двух камер. В первой камере проводились все технологические операции (термообработка, ионная имплантация, лазерный отжиг), а во второй камере исследовались состав и электронная структура изучаемых материалов с использованием методов оже-электронной спектроскопии (ОЭС), ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и посредством снятия энергетических зависимостей интенсивности I проходящего света через образец. Энергия фотонов $h\nu$ изменялась в пределах 0.2–1.5 эВ ($\lambda \approx 6200\text{--}800$ нм).

Поверхностный диаметр ионно-имплантированного участка составлял $\sim 1.5\text{--}2$ мм, а диаметр светового луча падающего на поверхность равнялся $\sim 0.5\text{--}0.6$ мм. Профили распределения атомов по глубине определялись методом ОЭС в сочетании с травлением поверхности ионами Ar^+ ($E_0 = 3$ кэВ, угол падения относительно нормали составлял $80\text{--}85^\circ$). Нами определены Оптимальные режимы ионной имплантации и отжига для получения нанокристаллов и нанопленок CoSi_2 (таблица-1).

Ионы	$E_0 = 1$ кэВ			$E_0 = 15$ кэВ		
	D, см $^{-2}$	$W^* + T^*$	Наноструктура	D, см $^{-2}$	T^{**} , К	Наноструктура
$\text{Co}^+ \rightarrow \text{Si}$ (111)	5×10^{14}	$1.1 + 900$	НК	5×10^{14}	1000	НК
	1015	$1.2 + 1000$	НК	1015	1000	НК
	5×10^{15}	$1.6 + 1200$	НК	5×10^{15}	1200	НК
	6×10^{16}	$1.8 + 1200$	НП			

Таблица-1. Примечание: W^* – плотность энергии лазерного излучения, Дж/см 2 ; T^* – кратковременный прогрев, К; T^{**} – время прогрева при каждой температуре $t = 30$ мин.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Для системы CoSi_2 были получены зависимости интенсивности проходящего света от энергии (длина волны) фотонов. Из рис.1 видно, что резкое уменьшение интенсивности света в случае "чистого" происходит, начиная со значения $h\nu = 1.0$ эВ, а в случае пленки CoSi_2 — со значения $h\nu = 0.5$ эВ. Экстраполяция этих кривых к оси энергии фотонов показывает, что значения E_g для пленок Si и CoSi_2 равны — 1.1 эВ и 0.6 эВ соответственно.

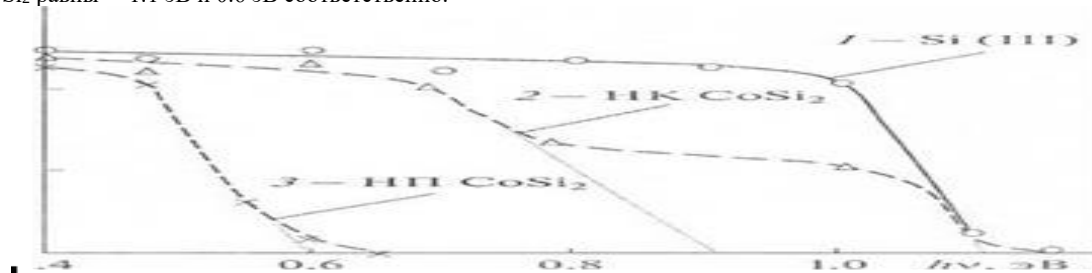


Рис. 1. Зависимость интенсивности проходящего света от энергии фотонов для: 1 – Si (111); 2 – Si с нанокристаллами CoSi_2 ; 3 – Si с нанопленкой CoSi_2 с толщиной 2.5–3.0 нм.

Отметим, что в работе [8] для увеличения точности определения края поглощения (ширины запрещенной зоны) прямозонной пленки ZnO построена зависимость $\text{Si}_2(h\nu)$, где α — показатель поглощения. Для ZnO ширина запрещенной зоны составляет ~ 3.3 эВ. В нашем случае Si является непрямозонным, а CoSi_2 прямозонным полупроводником с очень узкой шириной запрещенной зоны. Поэтому в данной работе целесообразно было оценить края поглощения экстраполяцией резко изменяющейся части кривой: $I_{\text{CoSi}_2}/I_{\text{Si}}(h\nu)$

В случае Si с нанокристаллами CoSi_2 (рис. 1, кривая 2) резкое уменьшение интенсивности света наблюдается при двух значениях $h\nu = 0.8$ и эВ. Первое уменьшение связано с поглощением света на участках покрытых нанокристаллами CoSi_2 , а второе — на не покрытых нанокристаллами CoSi_2 . Таким образом, значения E_g для нанокристаллов CoSi_2 , с поверхностными диаметрами, равными примерно 25–30 нм составляет приблизительно 0.85–0.9 эВ. Из этого следует, что ширина запрещенной зоны для нанокристаллических фаз значительно больше, чем для нанопленок.

По кривой 2 (рис. 1) можно оценить степень покрытия поверхности Si наночастицами CoSi_2 . Для этого предполагаем, что в случае "чистого" Si отношение интенсивностей: $I_{\text{CoSi}_2}/I_{\text{Si}} = 1$. Наличие на поверхности Si наноразмерных фаз CoSi_2 уменьшает это отношение: чем больше размер нанокристалла, тем больше уменьшается значение

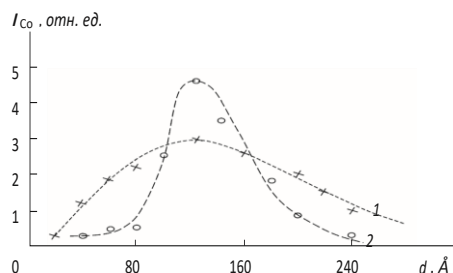


Рис. 2. Профили распределения атомов Co по глубине d для Si, имплантированных с энергией $E_0 = 15$ кэВ при $D \approx 1015$ ион $\cdot$ см $^{-2}$: 1 – до прогрева; 2 – после прогрева при температуре $T = 900$ К.

соотношения $I_{\text{CoSi}_2} / I_{\text{Si}}$. Поэтому при $\theta < 1$ степень покрытия поверхности нанокристаллами можно оценить по формуле:

$$\theta = 1 - I_{\text{CoSi}_2} / I_{\text{Si}} \quad (1)$$

где I_{Si} – интенсивность света проходящего через чистый Si, I_{CoSi_2} – интенсивность света проходящего через Si с нанокристаллами CoSi_2 . Как видно из кривой 2 в случае Si + НК CoSi_2 при $h\nu \approx 0.9$ эВ, соотношение $I_{\text{CoSi}_2} / I_{\text{Si}}$ составляет примерно 0.55, следовательно, значение θ составляет 0.45. Можно полагать, что 45% поверхности кремния покрыто нанокристаллами CoSi_2 , что близко к значению степени покрытия θ , полученное нами методами ОЭС и РЭМ [6].

Для создания нанокристаллических фаз в сравнительно глубоких слоях Si, имплантация проводилась более высокими энергиями. На рис. 2 приведены изменения интенсивности оже-пика Co ($E = 765$ эВ) по глубине Si (111), легированного ионами Co^+ с энергией $E_0 = 15$ кэВ при $D = 1015$ см $^{-2}$ до и после прогрева при температуре $T \approx 900$ К в течение 30 мин (таблица). В обоих случаях максимум распределения атомов Co располагается на глубине 15–16 нм. После прогрева наблюдается увеличение концентрации атомов в области максимума и существенное уменьшение полуширины кривой распределения $I_{\text{Co}}(d)$. В этих участках (на глубине ~15–16 нм) образовались нанокристаллические фазы CoSi_2 . Из энергетических соображений можно полагать, что эти фазы в отличие от поверхностных фаз, имеют сферическую форму [10]. Средний диаметр нанокристаллических фаз CoSi_2 , который оценен по ширине кривой $I_{\text{Co}}(d)$, составляет 10–12 нм (рис. 2).

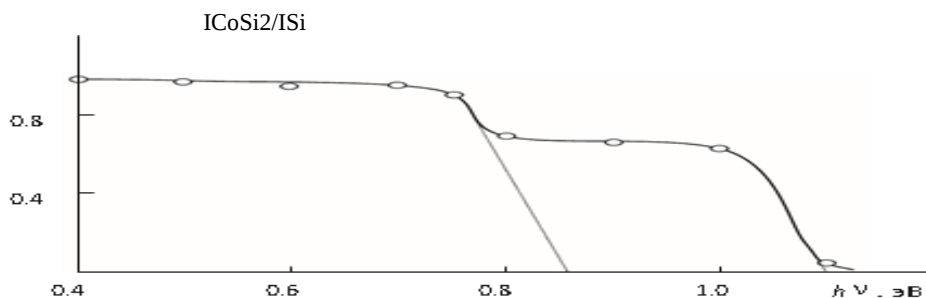


Рис. 3. Зависимость интенсивности проходящего света от энергии фотонов для Si с нанокристаллами CoSi_2 , сформированных в приповерхностном слое на глубине 15–16 нм.

Заключение. Показано, что ширина запрещенной зоны нанокристаллических фаз CoSi_2 с размерами $(1-2) \times 10^{-18}$ см 3 сформированных в поверхностной и приповерхностной областях Si лежит в пределах 0.8–0.9 эВ. В случае нанопленок CoSi_2 с толщиной $d \approx 3.0-3.5$ нм значение $E_g \approx 0.6$ эВ. Варьируя энергию и дозу ионов контролируемо, можно изменить размеры и глубину формирования наноразмерных структур. В частности при $E_0 = 1$ кэВ нанокристаллические фазы CoSi_2 формируются в поверхностном слое Si, а при $E_0 = 15$ кэВ на глубине 15–16 нм от поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Colinge J.P. // Material Research Society Proceedings. 1985. V. 35. P. 653. <http://dx.doi.org/doi/10.1557/PROC-35-653>.
2. Rudakov V.I., Denisenko Y.I., Naumov V.V., Simakin S.G. // Russian Microelectronics. V. 40. Issue 6. P. 389. doi 10.1134/S1063739711060102.
3. Алтухов А.А., Жирнов В.В. Анализ морфологии и стехиометрии пленок $\text{CoSi}/\text{Si}(100)$, полученных методами ТФЭ и РЭ // Материалы II-го Всесоюзного межотраслевого совещания “Тонкие пленки в электронике”: Москва-Ижевск. 1991. С. 15.
4. Гомоюнова М.В., Пронин И.И., Галль Н.Р., Молоцов С.Л., Вялых Д.В. // ФТТ. 2003. Т.45. Вып. 8. С. 1519.

5. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Курбанов Х.Х. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2011. № 7. С. 91.
6. Болтаев Х.Х., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2014. № 4. С. 24.
7. Муродкobilов Д.М., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2013. № 10. С. 58.
8. Сердобинцев А.А., Веселов А.Г., Кирясова О.А. // ФТП. 2008. Т. 42. Вып. 4. С. 496.
9. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Мурадкobilов Д.М., Данаев С.Б. // ДАН РУз. 2011. № 4. С. 22.
10. Михайлов А.Н., Гусейнов Д.В., Белов А.И. и др. Ионно-лучевая инженерия наноматериалов на основе кремния // Труды XXI межд. конф. ВИП-2013. Т. 2. С. 31.



UDK:541.135/.135.5

Nasiba XODJAYEVA,

O'zMU Fizika fakulteti Yarimo'tkazgichlar va Polimerlar fizikasi kafedrasida laboratoriya mudiri

E-mail: Xajayevanasiba588@gmail.ru

Abdulattox XOLMO'MINOV,

O'zMU Fizika fakulteti Yarimo'tkazgichlar va Polimerlar fizikasi kafedra mudiri

O'zRFA Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti kichik ilmiy xodimi, PhD A.I. Shukurov taqrizi asosida

ELEKTROLIZ USULIDA NANOQOPLAMALAR SHAKLLANTIRISHDA NANOFIZIKANI UZVIY BOG'LIQLIGI

Аннотация

Mazkur maqolada Elektroliz usulida polimer nanoqoplamalar shakllantirishning parametrlarini aniqlangan. Ilmiy laboratoriyada nanofizikani o'qitishda Elektroliz usuli yo'riqnomalari tuzilgan hamda innovatsion yondashilgan holda foydalanilgan. Respublikamizda nanofizika sohasida ilmiy tadqiqotlarni boshlanishi va fan sifatida shakllanishi ko'rsatib berilgan, nanofizika ilmiy tadqiqot usullarining nanotexnologiyalar va nanomaterialshunoslikni rivojlanishidagi beqiyos roli yoritib berilgan. Elektroliz usuli bilan nanofizikani o'qitishda zamonaviy pedagogik va innovatsion texnologiyalar tanlangan va ularni amaliy qo'llash prinsiplarini ko'rsatib berilgan.

Kalit so'zlar: Elektroliz, nanoqoplamalar, polimer, eritma, nanofizika, nanotexnologiya, nanomaterialshunoslik, o'qitish innovatsiya.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ, СИНТЕЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО НАНОФИЗИКЕ

Аннотация

В данной статье определены параметры формирования полимерных нанопокровов методом электролиза. При обучении нанопизике в научной лаборатории были составлены и использованы инновационные подходы к методу электролиза. Показано начало научных исследований в области нанопизики и ее становление как науки в нашей республике, отмечена несравнимая роль методов научных исследований нанопизики в развитии нанотехнологий и наноматериаловедения. Выбраны современные педагогические и инновационные технологии обучения нанопизике методом электролиза и показаны принципы их практического применения.

Ключевые слова: Электролиз, нанопокровы, полимер, раствор, нанопизика, нанотехнология, наноматериаловедение, обучение инновациям.

FORMATION OF POLYMER NANOCOATINGS BY ELECTROLYSIS, SYNTHESIS OF THEORETICAL AND PRACTICAL TRAINING IN NANOPHYSICS

Annotation

In this article, the parameters of the formation of polymer nanocoatings by the electrolysis method are determined. In the teaching of nanophysics in the scientific laboratory, guidelines for the electrolysis method were compiled and used with an innovative approach. The beginning of scientific research in the field of nanophysics and its formation as a science in our republic have been shown, the incomparable role of nanophysics scientific research methods in the development of nanotechnology and nanomaterial science has been highlighted. Modern pedagogic and innovative technologies were chosen for teaching nanophysics by electrolysis method and the principles of their practical application were shown.

Key words: Electrolysis, nanocoatings, polymer, solution, nanophysics, nanotechnology, nanomaterial science, teaching innovation.

Kirish. Nanofizika zamonaviy nanotexnologiya va nanomaterialshunoslik-ning asosiy fanlaridan biri bo'lib, har taraflama shakllanib va uzluksiz rivojlanib ilm-fan va ishlab chiqarish sohalariga jadal kirib kelib, o'zining salmoqli o'rmini egallamoqda. Ushbu fan nanotexnologiyalarning "ildiz" laridan bo'lib [1], bugungi keng ko'lamda o'qitilmoqda va ayni paytda uning mukammal o'rganishda laboratoriya mashg'ulotlaridan samarali foydalanish o'ta dolzarb vazifalardan biri bo'lib, uning yechimini topishda bir qator ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada turli ilmiy markazlarda olib borayotgan ilmiy tadqiqotlarga, erishayotgan fundamental, amaliy va innovatsion izlanishlar natijalariga, qo'llanilayotgan laboratoriya usullariga va ulardan nanofizikani o'qitishda foydalanish imkoniyatlarini aniqlashga jiddiy e'tibor qaratilmoqda [2].

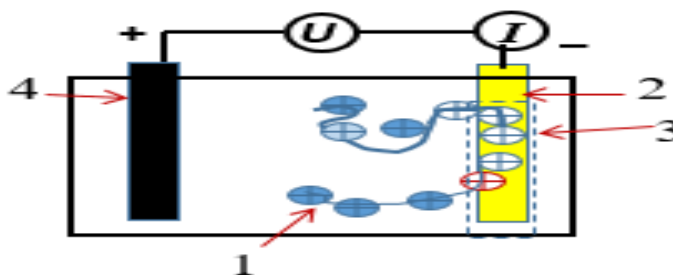
Bu borada nanofizika nisbatan yangi fan ekanligini, ilmiy tadqiqotlar olib borishda an'anaviy standart laboratoriya usullari bilan bir qatorda maxsus yig'ilgan va maqsadli yaratilgan laboratoriya usullaridan keng foydalanilayotganligini,

turdosh tabiiy fanlar, nanotexnologiyalar va nanomaterialshunoslik bilan uzviyligini inobatga olsak, unda ushbu fanni o'rganishda, avvalom bor, maxsus yaratilgan laboratoriya usullarini o'qish jarayoniga olib kirish birlamchi vazifalardan biri hisoblanadi. O'qish jarayonini ilmiy tajqiqot ishlariga nisbatan o'ziga xosligini, ya'ni o'quv laboratoriyasida fanning biror bir bo'limi tajriba orqali o'rganilishi va uni bevosita talaba bajarishini inobatga olsak, unda joriy qilnadigan laboratoriya ishi ham bunga mos bo'lishi kerak.

Tadqiqot metodologiyasi. Hozirda bunday maxsus usullar sifatida polimer eritmalar asosida funksional faol nanoqoplama materiallar hosil qilishning elektroliz, nanotolalar shakllantirishning elektrospinning mohiyatidan kelib chiqib, ya'ni polimerlarning eritma va aralashmadan elektrokimyoviy tiklanishi, nanotolalar shakllantirishi va makroion-ion ta'sirlashish faolligi tadqiqot qilinishida mV – kV diapazonida kuchlanishlar ishlatiladi. Bunda tanlangan polimer obyektning elektr maydoni ta'sirida sezgirligi muhim bo'lib, tayyorlangan eritma yoki aralashmani polielektrolit xossaga ega bo'lishiga e'tibor beriladi. Bunday tadqiqot objekti sifatida mazkur ishda ipak fibroini (FB) tanlangan va uning suyultirilgan eritmasi chumoli kislotasida (NSOON) tayyorlangan.

Quyida ta'kidlangan ilmiy tadqiqot usullarini nanofizikani o'quv laboratoriya ishi sifatida qo'llashning umumiy jihatlariga to'xtalamiz. Elektroliz usuli. Ushbu usul.1-rasmda keltirilgan chizma bo'yicha Faradey qonuniga $m = kIt$ binoan I doimiy tok ta'sirida t vaqt davomida eritmadagi FB makroionlarini (1) elektrod (2) sirtida elektrokimyoviy tiklanishi natijasida m massali nanoqatlam (3) hosil qilishiga asoslangan, nanomateriallar sirt faolligini baholashning dzeta-potoensial usullarini ta'kidlash joizdir[3]. Chunki bu usullar nanomateriallarni olinishi va strukturasiga bog'liq tarzda xossalarini namoyish qilishi va qo'llanish imkoniyatlarini aniqlashda o'ta samarali hisoblanadi. Ushbu ishlarning dolzarbligidan kelib chiqib, mazkur maqolada maxsus yig'ilgan elektroliz usuli maxsus laboratoriya ishlari sifatida nanofizikani o'qitishda qo'llanishi asosiy maqsad etib belgilangan.

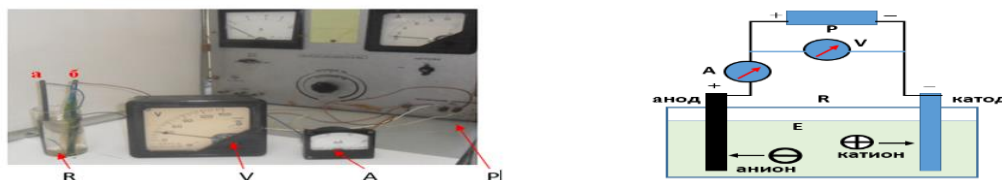
Ta'kidlangan elektroliz laboratoriya usulining umumiy jihati ularda $I = 0,1 - 10$ mA diapazonidagi doimiy elektr toki qo'llanishidir. Ammo har bir usulda uning mohiyatidan kelib chiqib, ya'ni polimerlarning eritma va aralashmadan elektrokimyoviy tiklanishi, nanotolalar shakllantirishi va makroion-ion ta'sirlashish faolligi tadqiqot qilinishida mV – kV diapazonida kuchlanishlar ishlatiladi. Bunda tanlangan polimer obyektning elektr maydoni ta'sirida sezgirligi muhim bo'lib, tayyorlangan eritma yoki aralashmani polielektrolit xossaga ega bo'lishiga e'tibor beriladi. Bunday tadqiqot objekti sifatida mazkur ishda ipak fibroini (FB) tanlangan va uning suyultirilgan eritmasi chumoli kislotasida (NSOON) tayyorlangan. Quyida ta'kidlangan ilmiy tadqiqot usullarini nanofizikani o'quv laboratoriya ishi sifatida qo'llashning umumiy jihatlariga to'xtalamiz.



1-rasm. Elektroliz usulining prinsipial chizmasi.

Bunda nanoqatlam hosil bo'lishi, ya'ni elektrod sirtini dastlabki rangini o'zgarishi bevosita ultramikroskop orqali nazorat qilinadi [4]. Tajribalar elektr tokining turli miqdorlarida elektrod sirtida bir xil tusli nanoqoplamalar shakllanganicha davom ettiriladi. Kuzatuv natijalari asosida $I - t$ bog'lanish grafigi tuziladi va nanoqoplamalar hosil qilishning optimal parametrlari aniqlanib, hisobot topshiriladi. Nanofizikani o'qitishda innovatsion yondashishning qo'llanishi:

Nanofizikaning yuqorida ta'sidlab o'tilgan laboratoriya ishlarini amaliy qo'llash uchun ularning amalga oshirish yo'riqnomasini to'liq ishlab chiqish talab etiladi. Ayni paytda, ishlab chiqiladigan laboratoriya yo'riqnomalari laboratoriya mashg'ulotlari olib borish talablariga mos kelishi va laboratoriya ishi sifatida bajarilib, topshirilishi lozim. Buni inobatga olgan tarzda ushbu elektroliz laboratoriya ishlarini bajarishning namunaviy yo'riqnomasi ishlab chiqildi va ular quyidagicha nomlandi: [5] Laboratoriya ishi №1. Elektroliz usulida polimer nanoqoplamalar shakllantirishning parametrlarini aniqlash. Ushbu laboratoriya ishlari yo'riqnomalari ilk marotaba bayon etilayotganligi tufayli, ularning amaliy qo'llash bo'yicha innovatsion yondashish quyidagilardan iborat bo'ldi [6]. Nazariy qism. Elektroliz usuli elektrolitlarda ionlarni yoki polielektrolitlarda makroionlarni doimiy elektr toki kuchi (I) ta'sirida anion va kation sifatida elektrodlar anod va katod tomon siljishi, anod sirtida elektrokimyoviy oksidlanish yoki katod sirtida tiklanish reaksiyasini amalga oshishi va buning natijasida sirtida yupqa qatlamli qoplama hosil bo'lishiga asoslangandir. Umumiy holda elektroliz jarayoni Faradey qonuni bo'yicha, qoplamaning massasi (m) tok kuchi (I) va elektroliz vaqtiga (t) proporsional tarzda ifodalanadi, ya'ni bu yerda k – elektrokimyoviy ekvivalent, ionogen guruh tavsifidir[7]. Elektroliz usuli va qurilmasi. Elektroliz usulining prinsipial chizmasi va uni amalga oshirishning oddiy laboratoriya qurilmasi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Elektroliz usulining prinsipial chizmasi va qurilmasi.

Qurilma tok manbai (R), voltmetr (V), ampermetr (A), elektroliz yacheykasidan (R) iboratdir [8]. Yacheykada elektrolit yoki polielektrolit solinsa va ulardagi ionlar yoki makroionlar manfiy va musbat zaryadlariga bog'liq ravishda anion va kation sifatida namoyon bo'ladi hamda elektr toki ta'siri ostida anod (a) va katodga (b) tomon siljiydi. Anionlar zaryadini anodga beradi va neytrallashib, zarrachalarga aylanib, elektrod sirtiga cho'kadi. Kationlar katoddan elektronlarni oladi va neytrallashib elektrod sirtiga cho'kadi va tiklanadi. Manbadan elektr toki berilganda ionlar va makroionlar anoddan katodga tomon siljiydi, sirtga cho'kadi va elektrokimyoviy tiklanadi. Buning natijasida massa (m) elektrod sirtini qoplaydi va bu jarayon materialni ko'chirish ham deb yuritiladi. Elektroliz jarayonida ionlar yoki makroionlarning elektrodlar tomon siljishi tufayli eritmaning konsentratsiyasi pasayadi va uni nazorat qilishda refraktometriya usuli qulay hisoblanadi. Elektrodlar sirtida ionlar yoki makroionlarni cho'kkanligi yoki tiklanganligi bilish uchun ularni tizimda elektr toki uzungandan so'ng ma'lum muddatda (1 - 5 soat) yacheykadan olmasdan eritma muhitida ushlab turish, so'ng yacheykadan elektrodni chiqarib olib, quritib, massasini analitik tarozida 0,0001 g aniqlikda o'lchash orqali aniqlash mumkin.

Elektrod - metal plastinka sirtida makroionlarni elektrokimyoviy tiklanishi nazorat qilish uchun termostat va ultramikroskop bilan takomillashtirilgan elektroliz qurilmasi qo'llaniladi va bunday qurilmani fotosurati hamda prinsipial chizmasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Takomillashtirilgan elektroliz qurilmasining fotosurati (a) va uning prinsipial chizmasi (b).

Buning uchun silindr shaklidagi 1,5 litr hajmli termostatlovchi qobiqqa (1) ega shisha idish rezervuar (R) sifatida qo'llanilgan. Rezervuarg a vertikal tarzda polarizatsion-optik nurni tushiladi va elektroliz jarayonini ultramikroskopiya (11) prinsipida vizual kuzatish uchun 2 ta kvarts oyna (2 va 2*) o'rnatilgan [10].

Rezervuar elektr-aralashgich (3) ustiga joylashtirilgan va undagi eritma (4) magnit strejenni (7) elektr aralashtirgich (3) vositasida aralashtiriladi. Eritmaga oksidlash elektrod grafit sterjen (5) va titan plastinka tiklanish elektrod (6) parallel holda oraliq 1 sm etib joylashtirilgane. Bundan rezervuar qobig'idagi shutserlar (8, 8*) orqali termostatlovchi suv yuborilib, eritmaning (4) harorati termometr (9) yordamida nazorat qilinadi. Vertikal tarzda eritmaga tushgan monoxromatik nur (10) gorizontall tarzda o'rnatilgan mikroskop (11) orqali kuzatiladi va ultramikroskop pritsipida eritmani molekular dispers tizimdan kolloid dispers tizimga o'tishi, elektrod sirti qalinligini 10⁻⁷ m - 10⁻³ m diapazonidagi qoplamalar hosil bo'lishi tadqiqot qilinadi. Eritmaga elektr manbai (Ye) orqali berilgan doimiy tok ampermetr (A) va kuchlanish voltmetr (V) vositasida nazorat qilinadi [12].

Yassi plastinkada (a) tiklangan makroionlar (2) sirtga (1) perpendikulyar tarzda juda kichik yuzaviy kontakt bilan bog'lanadi. Relefi notekis bo'lgan (b) materillarda, ya'ni shtrixli sirt (1') mikrochuqurchalar (2') biopolimerlar (3') bilan to'ldi va unda tiklangan makroionlar nafaqat sirtga tik yo'nalishda chuqurchalar tagi bilan, balki chuqurchalar yon tomonlari bilan kontaktda bog'lanib tiklanadi. Agar makroionlar va ionlar aralashmasi elektroliz qilinsa (s), unda ionlar makroionlarga nisbatan elektr maydonida mobilroq harakat qilishi tufayli, mikrochuqurchalarni (1*) jadalroq egallab, tiklanadi (2*) va makroionlar (3*) mikrochuqurchalar sirti va ionlar bilan bog'lanib tiklanadi. Bu holat makroionlarni mustahkam sirtga elektrokimyoviy bog'lanishiga olib keladi [14].

Tahlil va natijalar. Laboratoriya ishini bajarilishi. Tadqiqotlar o'tkazish uchun fibroin (FB) biopolimerni $S = 0,1$ g/dl eritmasi chumoli kislotasi (NSOON) va suv (H₂O) asosidagi arashma erituvchida tayyorlanadi [16]. Modul FB - NSOON:H

2O (1:1) etib olinadi. Maxsus yig'ilgan elektroliz qurilmasida (3-rasm) ushbu biopolimerni elektrokimyoviy tiklanish asosida mikro- va nanoqoplamalar etib 25 - 50 °C diapazonida shakllantirish uchun doimiy tok miqdori 2 - 8 mA intervalida bo'ladi hamda jarayon 0,5 - 10 soat davom ettiriladi. Eritmaga uchkalсий fosfat qo'shilganda makroionlar va ionlarni birgalikda

elektrokimyoviy tiklanishi kuzatiladi. Ushbu qoplama namunasi 50 °C li $\text{FB:Sa}_2(\text{RO}_4)_3$ (1:10) aralashmasidan $I = 4 \text{ mA}$ tok ta'sirida $t = 1$ soat davomida shakllantiriladi. Ultramikroskopiya vositasida elektrod-plastinka sirtida makroionlarni elektrokimyoviy tiklanishi natijasida molekulyayar-dispers tizimdan kolloid-dispersga o'tishi, nano- va mikrozarachali qatlamni paydo bo'lishi tufayli Faradey-Tindal konusi effekti namoyon bo'lishi kuzatiladi. Ushbu effektini butun sirtida paydo bo'lishi, ya'ni plastinka sirtini to'liq qoplanish vaqti (t) aniqlanadi.

Erishilgan o'lchash natijalari asosida belgilangan tartibda laboratoriya ishining bajarilish sifati va o'zlashtirish bilimi baholanadi. Ushbu laboratoriya ishini bajarishda turli xil innovatsion yondashish amalga oshirilishi mumkin, ammo, ushbu tavsiya etilayotgan usul shubhasiz yuqori bilimlarni egallash imkoniyatini beradi. Shunday qilib, qo'llanilgan pedagogik texnologiyalari vositasida elektroliz, laboratoriya usuli haqidagi umumiy va o'ziga xos muhim ma'lumotlar namoyish etilgan bo'lib, uni o'zlashtirish orqali nanofizikaning original laboratoriya ishlari va ularning mohiyati haqida bilimlar egallashga erishiladi. Bunday pedagogik texnologiyalarni yanada chuqurroq qo'llash uchun innovatsion yondashish lozim bo'lib, bu haqda kelgusi paragrafda muhokama etiladi.

Nanofizikani o'qitishda innovatsion yondashishning qo'llanishi:

Nanofizikaning yuqorida ta'sidlab o'tilgan laboratoriya ishlarini amaliy qo'llash uchun ularning amalga oshirish yo'riqnomasini to'liq ishlab chiqish talab etiladi. Ayni paytda, ishlab chiqiladigan laboratoriya yo'riqnomalari laboratoriya mashg'ulotlari olib borish talablariga mos kelishi va laboratoriya ishi sifatida bajarilib, topshirilishi lozim. Buni inobatga olgan tarzda ushbu elektroliz laboratoriya ishlarini bajarishning namunaviy yo'riqnomasi ishlab chiqildi va ular quyidagicha nomlandi:

Xulosa. Shunday qilib mazkur maqolada elektroliz usulida nanofizikani o'qitishda qo'llanishi uchun eng umumiylashgan pedagogik texnologiyalardan foydalanilgan shuningdek, ushbu laboratoriya ishlarini inovatsion yondashilgan holda nanofizikani o'qitishda amaliy qo'llash imkoniyatlari ko'rsatib berilgan. Nanofizikaning ilg'or ilmiy tadqiqot usullarini o'quv jarayonida laboratoriya usullari sifatida qo'llash imkoniyati aniqlangan hamda elektroliz usuli tanlangan. Makroionlar elektrolizida usulida laboratoriya ishlari bajarilgan yo'riqnomalari innovatsion yondashilgan tarzda tuzilgan. Erishilgan o'lchash natijalari asosida belgilangan tartibda laboratoriya ishining bajarilish sifati va o'zlashtirish bilimi baholanadi. Ushbu laboratoriya ishini bajarishda turli xil innovatsion yondashish amalga oshirilishi mumkin, ammo, ushbu tavsiya etilayotgan usul shubhasiz yuqori bilimlarni egallash imkoniyatini beradi.

ADABIYOTLAR

1. Xolmuminov A.A., Matyakubov B.M., Salimov Sh.M. Nanofizika va materialshunoslik. Darslik. T.: O'zbekiston Respublikasi Milliy gvardiyasi Harbiy-texnik instituti, 2020. 233-bet.
2. Калинин Б.А. Физическое материаловедение. М.: МИФИ, 2008. – 696 с.
3. Подвигалкин Я., Музалев П.А., Ушаков Н.М., Наноматериалы и нанотехнология. Мат-лы электрон. Техн. 2012. № 2. С.51.
4. Золотухин И.В. Новые направления физического материаловедения: - Воронеж.: ВГУ, 2000. – 360 с.
5. Nalwa H.S. Nanostructured Materials and Nanotechnology. Ed.. Academ. Press: San Diego. CA. 2002. P. 428.
6. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
7. Тимошенко В.Ю. Полупроводниковые нанотехнологии для информатики и биомедицины. М.:МГУ. 2020. С.50
8. Суздаев И.П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М. Ком. книга 2006 г. С. 592
9. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М. Физматлит. 2007 г. 416 с.
10. Zaynoddin S.Z., Teshaboyev A.T., Ismoilov Q. Nanozarralar fizikasi, kimyosi va texnologiyalari. – Toshkent.:Fan.- 2013. – 338 с.
11. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.
12. Kholmuminov A.A. et al. Acrylonitrile Copolymer Nanofibers and Their Structural Characteristics //Polymer Sci., Ser. A, 2013, V. 55, N. 1, p. 39–42.
13. Nechayev A.V., Ivanov M.G., Baykova L.A. Elektroliz v rastvorax elektrolitov. Yekaterinburg -2008. S. 3-28.
14. Yo'ldoshev J., Usmonov S. Pedagogik texnologiya asoslari. T. "O'qituvchi", 2004.
15. Svarovskaya N.A., Kolesnikov I.M., Vinokurov V.A. Elektroximiya rastvorov elektrolitov. Moskva 2017. S. 36-40.
16. Tudriy Y.V. Fiziko-ximiya polimerov: uchebno-metodicheskoye posobiye/ Tudriy Y.V., Galkina I.V., Sobanov A.A., Galkin V.I. – Kazan: Kazan. un-t, 2015. – 45s