

## **YARIMO‘TKAZGICHLARDA O‘TKAZUVCHANLIKNI O‘RGANISHDA IMPEDANS SPEKTROSKOPIYANING AHAMIYATI**

**Sharibayev Nosir Yusupjanovich**

Namangan muhandislik-texnologiya instituti, f.-m.f.d. professor

**Ergashov Abdurasul Qodirjonovich**

Namangan muhandislik-texnologiya instituti, katta o‘qituvchi

**Baxromov Boxodirjon Mirzaabdulla o‘g‘li**

O‘zMU huzuridagi Yarimo‘kazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy  
tadqiqot instituti 3-bosqich tayanch doktoranti.

Tel: 93-926-96-86

e-mail: [bahromov1207@gmail.com](mailto:bahromov1207@gmail.com)

**Annotatsiya:** Turli muhitlarda elektr o‘tkazuvchanlikni o‘rganishda elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi usulining asoslarini, impedansni modellastirishda tayaniladigan tamoyillarini va maxsus qo‘llanilish usullarini o‘rganish va amalda qo‘llash ishlari olib borildi. Aniq vaqt rejimida ishlovchi sezgir LCR metr qurilmalaridan foydalanish choralari o‘rganilib fotoelementlar va ularning tarkibiy qismlari uchun o‘tkazuvchanlik kattaliklarini 0:0001 aniqlikda olish imkoniyatiga erishildi. Olingan natijalar asosida tahlil ishlarini amalga oshirishda “Maple”, “Matlab”, “Multisim”, “Origin”, “Nova” dasturlaridan foydalanildi va belgilangan o‘tkazuvchanlik uchun alternativ sxemalar hosil qilish ustida izlanishlar olib borildi.

**Kalit so‘zlar:** Impedans, foto element, mobil qurilma, FTO oyna, ITO oyna, fotogeneratsiya, otsiloskop, sinusoidal tok.

## **ЗНАЧЕНИЕ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ИЗУЧЕНИИ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

**Шарибаев Носир Юсупжанович**

Наманганский инженерно-технологический институт

доктор физико-математических наук, профессор

**Эргашев Абдурасул Қодиржонович**

Наманганский инженерно-технологический институт

старший преподаватель

**Бахромов Боходиржон Мирзаабдул угли**

Докторант 3 ступени Научно-исследовательского института физики  
полупроводников и микроэлектроники Национального университета  
Узбекистана

Tel: 93-926-96-86

e-mail: [bahromov1207@gmail.com](mailto:bahromov1207@gmail.com)

**Аннотация:** Изучены и применены при исследовании электропроводности в различных средах основы метода электрохимической импедансной спектроскопии, принципы импедансного моделирования и специальные прикладные методы. Изучены мероприятия по использованию чувствительных измерителей LCR, работающих в режиме реального времени, и удалось получить значения пропускания фотоэлементов и компонентов  $ul_s$  с точностью 0:0001. На основании полученных результатов при анализе использовались программы «Maple», «Matlab», «Multisim», «Origin», «Nova», а также проводились исследования по созданию альтернативных схем для заданной пропускной способности.

**Ключевые слово:** Импеданс, фотоэлемент, мобильное устройство, зеркало FTO, зеркало ITO, фотогенерация, осциллограф, синусоидальный ток.

## **THE SIGNIFICANCE OF IMPEDANCE SPECTROSCOPY IN THE STUDY OF CONDUCTIVITY IN SEMICONDUCTORS**

**SHARIBAYEV NOSIR YUSUPJANOVICH**

Namangan Institute of Engineering and Technology  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

**ERGASHEV ABDURASUL QODIRJONOVICH**

Namangan Institute of Engineering and Technology  
Senior Lecturer

**BAHROMOV BOHODIRJON MIRZAABDULLA UGLI**

Doctoral student of the 3rd stage of the Scientific Research Institute of  
Semiconductor Physics and Microelectronics under the National University of  
Uzbekistan

Tel: 93-926-96-86

e-mail: [bahromov1207@gmail.com](mailto:bahromov1207@gmail.com)

**Annotation:** The fundamentals of the electrochemical impedance spectroscopy method, the principles of impedance modeling and special applied methods have been studied and applied in the study of electrical conductivity in various media. Activities for the use of sensitive real-time LCR meters were studied and it was possible to obtain transmittance values of photocells and  $ul_s$  components with an accuracy of 0:0001. Based on the results obtained, the

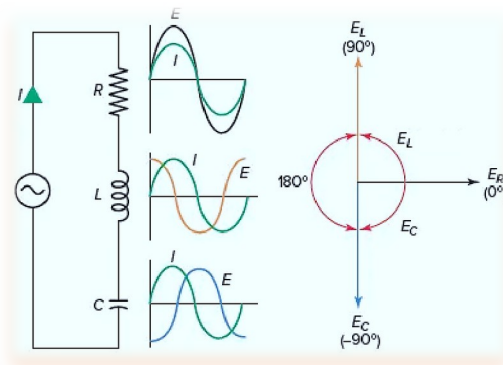
analysis used the programs “Maple”, “Matlab”, “Multisim”, “Origin”, “Nova”, and research was also carried out to create alternative schemes for a given throughput.

**Key words:** Impedance, photocell, mobile device, FTO mirror, ITO mirror, photogeneration, oscilloscope, sinusoidal current.

**Kirish.** Bugungi kunga qadar o‘tkazuvchanlikni impedans spektroskopiya uslubida o‘rganish kimyo yo‘nalishi magistratura talabalariga “Qattiq jismlar kimyosi” fanida nazariy va amalda qo‘llanilishi bo‘yicha o‘rgatilgan. Ushbu uslubni doir asosiy tushunchalarni Matematika va tabiiy fanlar mutaxassisliklari va yo‘nalishlarining kengaytirilgan guruhlarida tahsil olayotgan barcha bakalavriat va magistratura talabalari uchun foydali o‘rgatish tadqiqotchilarni keng yo‘nalishda izlanish olib borishlariga vosita bo‘lib xizmat qiladi[1]. Elektrokimyoviy impedans spektroskopiya usuli, uning tamoyillari, impedansni modellashtirish va uni kristallardagi zaryad tashish jarayonlarini tahlil qilish uchun qo‘llashning aniq misollari bilan tushuntirib bera oladi[2].

Elektromagnit maydonlar fizikasi va kristall materiallarda o‘tkazuvchanlik bilan bog‘liq asosiy tushunchalarini, shu jumladan ion o‘tkazgichlarni va geterogen tizimlardagi elektrofizik xodisalarni impedans spektroskopiyasi usuli va nazariyasi nazariy va amaliy natijalar asosida tushuntirib bera oladi[3].

Yarimo‘tkazgichli muhitlarni, jumladan fotoelementlar va ular tarkibidagi qatlamlarni o‘rganishda impedans muhim mavzulardan biri xisoblanib o‘zgaruvchan tok orqali tahlil tahlil qilishdan kelib chiqadi. Impedansda kiruvchi signallarimiz sinus yoki kosinus to‘lqinlari shaklida bo‘ladi. Volt apmer (V,A)



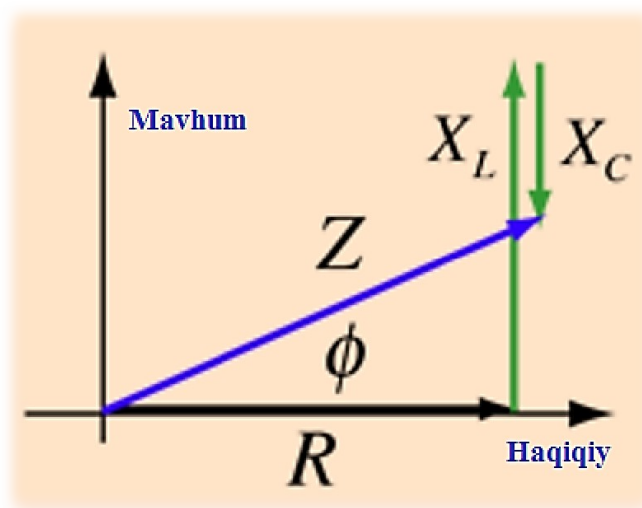
1-rasm. Passiv elektronika elementlari asosida xosil qilingan prinsipial sxema

tenglamalarini impedans uchun ko'rib chiqadigan bo'lsak, 3 ta passiv elektronika elementi (1-rasmga qarang) aktiv qarshilik, induktivlik, sig'im ( R, L, C). larni bilgan holda impedans qonuniyatini keltirib chiqaramiz.

Elektr zanjiriga kiruvchi signallar sinusoidal shaklida bo'ladi, sinusoidal garmonik elektr to'liqini bizda, I(t), U(t) sinusoidal qonuniyati shaklida bo'ladi. Garmonik elektr to'liqlariga misol qilib kosinus qonuniyatiga bo'ysinuvchi I(t), U(t) funksiyalarni ham olish mumkin. Bu bizda Eyler formulasi ko'ra:

$$\cos \omega t = \frac{1}{2} \cdot (e^{+j\omega t} + e^{-j\omega t}) \quad (1)$$

mana shu tarzda yozib olishimiz mumkin.  $\cos \omega t$  to'liqinni 2 ta haqiqiy va haqiqiy bo'lmagan  $e^{+j\omega t}$ ;  $e^{-j\omega t}$  funksiyalarga bo'lib olamiz, bu aylanuvchi vektorlar xisoblanadi, ya'ni 2 ta vektorlarni (2-rasmga qarang) qo'shganimizda yana qaytadan  $\cos \omega t$  to'liqlarini vijudga keladi[4]. Differensial tenglamalar aynan ekponensial shaklida bo'lsa, biz ularni osongina yechib olamiz. Shu sababli kosinus to'liqini (1-formulaga qarang) ekponensial funksiya ko'rinishida yozib olindi.  $j$  daraja kompleks son shaklida berilgan bo'lib, shu sababli bu noreal bo'lgan eksponensial funksiya xisoblanadi.



2-rasm. O'tkazuvchanlikni o'rganishda Vektor diagrammalari uslubi

Rezistor uchun kiruvchi signallarni eksponensial funksiya sifatidada qarasak; **R** rezistor uchun tok kuchi

$$i=e^{+j\omega t} \text{ ga teng.} \quad (3)$$

$U=i \cdot R$ ,  $i$  ning o'rniga qo'ysak;  $U=e^{+j\omega t} \cdot R$  kelib chiqadi. (4)

$$\text{Kuchlanishni tok kuchiga nisbatini xisoblab olamiz: } \frac{U}{i} = \frac{e^{+j\omega t} \cdot R}{e^{+j\omega t}} \quad (5)$$

**L** Induktivlik uchun:  $U=L \frac{di}{dt}$  ifodadan foydalanib, tok kuchi ifodasi o'rniga (3) ifodani qo'ygan holda (6) ifodaga ega bo'lindi.

$$U=L \frac{d e^{+j\omega t}}{dt} \quad (6)$$

(6) ifodani differensialaydigan bo'lsak,

$$U=L \cdot j\omega \cdot e^{+j\omega t} \text{ natijasi qoladi.} \quad (7)$$

Umumiy Sistema qarshiligini aniqlashda kuchlanishni tokka nisbatini olinsa (5) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi.

$$\frac{U}{i} = L \cdot \frac{j\omega \cdot e^{+j\omega t}}{e^{+j\omega t}} = j\omega \cdot L, \quad \frac{U}{i} = j\omega \cdot L \quad (8)$$

$$\text{S Kondesator uchun: } i=L \frac{du}{dt}, \text{ ifodadan foydalanamiz.} \quad (9)$$

bu yerda kuchlanishni eksponensial funksiya ko'rinishda yozib olinadi.  $u=e^{+j\omega t}$  va  $t$  ga nisbatan hosilasini xisoblanganda.

$$i=C \cdot \frac{d e^{+j\omega t}}{dt}, \quad i=C \cdot j\omega \cdot e^{+j\omega t} \quad (10)$$

ifoda kelib chiqadi. Kuchlanishni tokka nisbatini oladigan bo'lsa

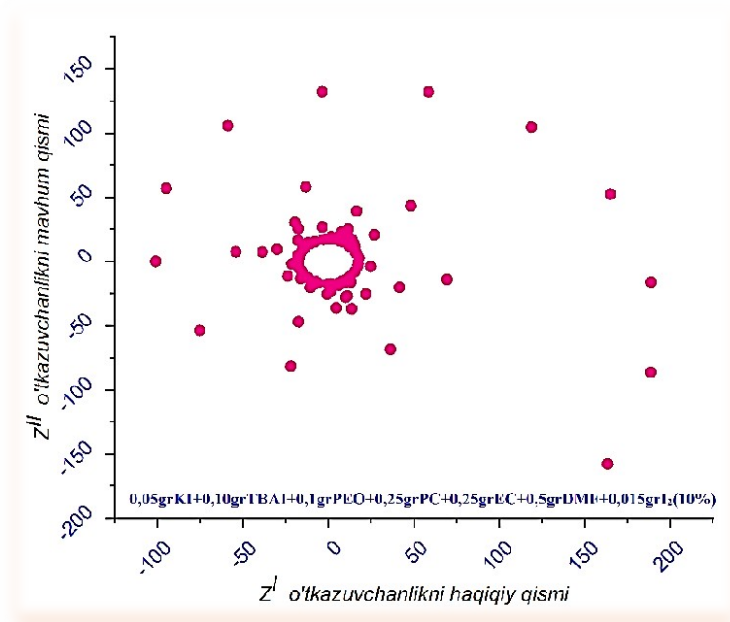
$$\frac{U}{i} = \frac{e^{+j\omega t}}{j\omega \cdot C \cdot e^{+j\omega t}} = \frac{1}{j\omega \cdot C}, \quad \frac{U}{i} = \frac{1}{j\omega \cdot C} \quad (11)$$

(11) ifoda nisbatlarini umumiy shaklda ipmedans deb ataymiz. Ipmedans deb kuchlanishni tok kuchiga nisbatini tushunamiz[5]. Biroq shu vaqtga qadar o'rganib kelingan reaktiv qarshilik qonuniyatlarini impedans spektroskopiya uslubida batafsil o'rganilishida asosiy avfzallik turli chastotali garmonik elektr oqimi orqali

aynan bir muxitni o'rganilishidadir. Ipmedansni  $Z$  xarfi bilan belgilab olinsa rezistordagi impedans qarshilikni  $Z=R$  ni o'ziga teng, induktivlikdagi impedansni esa  $Z_L=j\omega \cdot L$  ga, kondensatordagi impedansning qiymatini esa  $Z=\frac{1}{j\omega \cdot C}$  ga teng belgilash asosiga egamiz[6].

### Natijalar

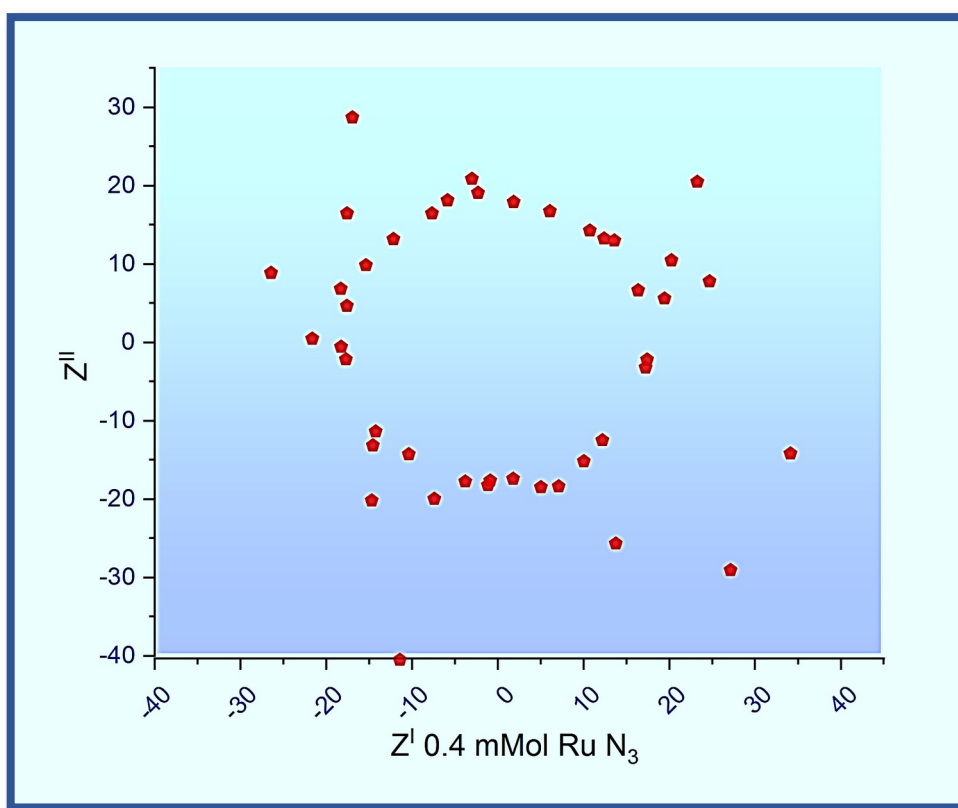
Bir nechta yupqa qatlamlarga ega fotoelementlarni o'rganishda: ularni tayyorlanish jarayonida foydalanilgan tashqi ta'sirlarni hamda foydalanilgan moddalarni miqdorini fotoelement o'tkazuvchanligiga bog'liqligini kuzatish mumkin. Jumladan tarkibiga ruteniy II va  $TiO_2$  asosida tayyorlangan fotoelement uchun  $0,05\text{grKI}+0,10\text{grTBAI}+0,1\text{grPEO}+0,25\text{grPC}+0,25\text{grEC}+0,5\text{grDMF}++0,015\text{grI}_2(10\%)$  tarkibga ega elektrolitdan foydalanilgan[7]. Ushbu elektrolitni tayyorlash bosqichi ko'plab ketma ketlikdagi amallarda iborat bo'lib. Hosil qilingan namunaning o'tkazuvchanligi impedans spektroskopiya uslubida hona haroratidan boshlab  $90^{\circ}\text{C}$  bo'lgan intervallarda o'lchangan bo'lib Bode hamda Naykvist kordinatalarida tahlil qilingan[8][9]. (3-rasmga qarang)



3-rasm. Elektrolit o'tkazuvchanligini impedans spektroskopiya uslubida olingan Nayvist kordinatasi bo'yicha tahlili

Maqbul elektrolit tanlab olish bu samarador fotoelement tayyorlashda eng asosiy tanlovlardan biridir[10]. Shu bois tayyorlangan elektrolitlar bir nechta namunada bo'lishiga qaramasdan ularni eng avfzalini tanlashda o'tkazuvchanlik hossasiga tayaniladi.

Fotoelementda fotogeneratsiyalangan elektronlarni va kovaklarni tashish hususiyati qatlamlar tarkibidagi modda tabiatiga bog'liqdir[11]. 4-rasmda tayyor foydalish holatiga keltirilgan fotoelement uchun VAX, FotoVAX, impedans va admittans o'lchovlarini yorug' va qorong'u holatlar uchun olingan qiymatlari keltirilgan.



*4-rasm. Fotoelement uchun o'tkazuvchanlikni normal quyosh yorug'ligi ostida olingan tahlil.*

### **Xulosa**

Noma'lum obektni haqida fikr yuritishda uning tarkibidagi moddalarni fizikaviy va kimyoviy tajriba uslublariga asoslanib o'rganish mavjud. elektrokimyoviy impedans spektroskopiya uslubi fizika, matematika va kimyoviy tushunchalar asosida ishlovchi tizimli texnologiya bolib, qisqa vaqtda murakkab tajriba sharoitlarini talab qilmasdan o'lchov kuzatuv ishlarini olib boorish

imkoniyatini hosil qiladi. Tajriba ishlalrida 5 Hz dan 5 MHz gacha bo'lgan garmonik chastotali oqimdan foydalanildi. Xozirgi vaqtda olingan natijalar asosida alternativ sxema yaratish ustida izlanishlar olib borilmoqda. Muhit o'tkazuvchanligini orqali uning tarkibiy qismlarini tahlil qilish va foydalanilgan tashqi ta'sirlarga bog'liqligini o'rganish samarador fotoelementlar va boshqa ko'plab yarim o'tkazgichli elektronika elementarini hosil qilishga ijobiy xissasini qo'shadi.

### **Adabiyotlar ro'yxati**

- [1] Ю. В. Буянова и Е. С. Емельянова, “Импедансная спектроскопия электролитических материалов,” Уральский государственный университет, 2008.
- [2] Л. Й. Коваленко и В. А. Бурмистров, “Диэлектрическая релаксация и протонная проводимость полисурьмяной кислоты, допированной ионами ванадия,” Конденс. сред и меzfазне границей = Condens. Matter Interphases, vol. 21, no. 2, 2019, doi: 10.17308/kcmf.2019.21/758.
- [3] Е. С. Б. Ю. В. Емельянова, М. В. Морозова, З. А. Михайловская, Импедансная Спектроскопия: Теория И Применение : Учебное Пособие. 2017.
- [4] Л. Георгиев, М. Григоров, П. Коцэв, анд И. Даскалов, “Хемодинамична и фазова характеристика на импеданс-кардиограмата,” Intern. Dis., vol. 19, no. 2, 1980.
- [5] N. Roslan et al., “Dye-sensitized solar cell (DSSC): Effects on light quality, microclimate, and growth of orthosiphon stamineus in tropical climatic condition,” Agronomy, vol. 11, no. 4, 2021, doi: 10.3390/agronomy11040631.
- [6] K. Sharma, V. Sharma, and S. S. Sharma, “Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status,” Nanoscale Research Letters, vol. 13. 2018, doi: 10.1186/s11671-018-2760-6.
- [7] A. S. A. Rahim, M. Z. Kufian, A. K. M. Arof, and Z. Osman, “Variation of Li Diffusion Coefficient during Delithiation of Spinel LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub>,” J. Electrochem. Sci. Technol., vol. 13, no. 1, 2022, doi: 10.33961/jecst.2021.00780.

- [8] C. E. Ugalde Loo, D. Olguín Salinas, E. Liceaga Castro, and J. U. Liceaga Castro, "Individual Channel Design for Synchronous Generators," *Int. J. Emerg. Electr. Power Syst.*, vol. 4, no. 2, 2005, doi: 10.2202/1553-779x.1145.
- [9] X. Zhou, Y. Hu, Y. Ma, S. Qu, and G. Song, "Analysis and Suppression of Voltage Oscillation for DC Bus in Static Adjustment Test of EMU," *Diangong Jishu Xuebao/Transactions China Electrotech. Soc.*, vol. 37, no. 14, 2022, doi: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.211092.
- [10] M. Dieng et al., "Study of heat transfer in a kapok material from the convective heat transfer coefficient and the excitation pulse of solicitations external climatic," *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 6, 2013, doi: 10.19026/rjaset.5.4735.
- [11] H. N. Umh et al., "Band alignment modulations of metal-semiconductor system for enhanced charge separation directly related to a photocatalytic performance," *Catal. Commun.*, vol. 136, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.catcom.2019.105921.