



УДК: 519.722

Жуманазар АЗИМОВ,

Академия вооруженных сил РУз, д.ф.ф.-м.н., (доцент кафедры УПДВ)

E-mail: azimov_jt@mail.ru;

Нигора ТУРАЕВА,

Институт химии и физики полимеров АН РУз, д.ф.-м.н., с.н.с., зав. лаб.ТОХФП

E-mail: nturaeva@hotmail.com;

Под рецензии проф., д.ф.-м.н. Оксенгендлер Б.Л.

COMPUTER MODELING OF CHITOSAN ADSORPTION ON A CARBON NANOTUBE

Abstract

Modeling results for the adsorption process of chitosan oligomer on a carbon nanotube (CNT) are presented. DFT calculation results for the structural properties of chitosan monomer and dimer are made to obtain the optimal geometric parameters and charge distribution in chitosan. Then by means of classic molecular dynamics the binding energy of a chitosan molecule with CNT calculated. It is found that character of the interaction between a chitosan molecule and CNT is non-specific.

Key words: Carbon nanotube, chitosan, adsorption, molecular dynamics.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АДсорбЦИИ ХИТОЗАНА НА УГЛЕРОДНУЮ НАНОТРУБКУ

Аннотация

В статье предлагаются результаты моделирования процесса адсорбции олигомера хитозана на углеродную нанотрубку (УНТ). Приводятся результаты расчета структурных свойств мономера и димера хитозана с помощью метода функционала плотности для получения оптимальных геометрических параметров и зарядового распределения хитозана. Затем с помощью классической молекулярной динамики рассчитывается энергия связи молекулы хитозана и УНТ. Установлено, что характер взаимодействия между молекулой хитозана и УНТ носит специфический характер.

Ключевые слова: Углеродная нанотрубка, хитозан, адсорбция, молекулярная динамика.

UGLERODLI NANOTRUBKA SIRTIGA XITOSAN ADSORPSIYASINI KOMPYUTER MODELIROVANIYASI

Annotatsiya

Maqolada uglerod nanotubkasi sirtiga (UNT) xitozan oligomerining adsorbsiyasi jarayonini modellashtirish natijalari taklif etilgan. Xitozanning optimal geometrik parametrlari va zaryad taqsimotini olish uchun funksional zichlik usuli yordamida xitozan monomeri va dimerining strukturaviy xossalarni hisoblash natijalari keltirilgan. Keyin klassik molekulyar dinamikadan foydalanib, xitozan molekulasi va UNTlarning bog'lanish energiyasi hisoblab chiqiladi. Xitozan molekulasi va UNTlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirning tabiati o'ziga xos xususiyatga ega ekanligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: Uglerod nanotube, xitozan, adsorbsiya, molekulyar dinamika.

Введение. Свойства полимерных растворов и их взаимодействие углеродными нанотрубками (УНТ) интенсивно исследуются в последнее десятилетие [1-3]. Это обусловлено тем, что полимеры (особенно заряженные) являются хорошими стабилизаторами микроэмульсий и суспензий, и поэтому широко используются в практике. Например, для приготовления и водных, и органических растворов УНТ, стали широко использовать нековалентную функционализацию УНТ с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) или биоактивными полимерами [2,3]. Среди таких биополимеров особый интерес представляет хитозан, являющийся разновидностью полисахаридов, обладает комплексом свойств уникально подходящих для нанотехнологии [4]. С другой стороны полимеры являются строительным материалом для живых организмов, и поэтому являются важным объектом биологии и биофизики. Большинство протеинов и нуклеиновых кислот заряжены, и их электростатическое поле влияет на свойства мембран. Из-за присутствия дальнедействующих кулоновских сил свойства заряженных полимеров и их взаимодействие с другими объектами, по сравнению с нейтральными полимерами, мало изучены. Более того, конденсация противоионов и эффект экранирования затрудняют теоретическое рассмотрение таких систем. В данном случае представляется целесообразным использование метода молекулярной динамики, так как метод дает возможность изучить и проанализировать структуру и динамику молекул полимеров при различных условиях.

Таким образом, целью данной работы является исследование структурных и энергетических свойств комплексов углеродных нанотрубок при взаимодействии их с молекулой хитозана методом молекулярной динамики.

Детали вычисления. Структура молекулы хитозана и плотность электронного распределения ее атомов были определены квантово-химическим методом с помощью программного пакета GAUSSIAN03 [5]. Структура молекулы была оптимизирована методом ВЗЛР [6] в различных комбинациях базисных волновых функций 6-31G**, 6-31++G**. Параметры взаимодействия и парциальные заряды, использованные в работе, приведены в таблице 1 и 2. Взаимодействия между молекулами воды, молекулы хитозана и УНТ рассчитаны парным потенциалом V_{ij} , который был представлен как сумма кулоновского и Леннарда-Джонса потенциалов:

$$V_{ij}(r_{ij}) = V_{ij}^{el}(r_{ij}) + V_{ij}^{LJ}(r_{ij}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i q_j}{r_{ij}} + 4\epsilon_{ij} \left[\left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}} \right)^6 \right], \quad (1)$$

где q_i и q_j - заряды атомов i и j , и r_{ij} - расстояние между атомами. Параметры: σ - ван-дер-ваальсовский диаметр и ϵ - глубина потенциальной ямы VLJ определяются из экспериментальных данных по рассеянию нейтронов или по энергии сольватации. Параметры взаимодействия Леннард-Джонса определялись правилом Лоренца-Бертелота. Для парных взаимодействий атомов параметры равны:

$$\sigma_{ij} = \frac{\sigma_i + \sigma_j}{2}, \quad \epsilon_{ij} = \sqrt{\epsilon_i \epsilon_j}. \quad (2)$$

Химическая структура хитозана показана на рис.1. Большое количество аминогрупп в молекуле хитозана определяет его свойство связывать ионы водорода и приобретать избыточный положительный заряд, поэтому хитозан является прекрасным катионитом.

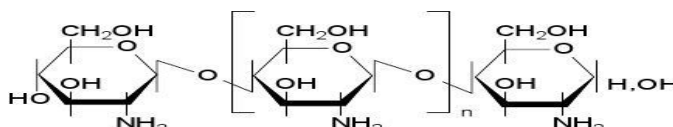


Рис.1 Химическая структура хитозана.

Структурные и энергетические свойства молекулы хитозана и нанотрубки были изучены с помощью классической молекулярной динамики с помощью программы GROMACS 4.0 [6]. В качестве молекул хитозана выбраны 6 олигомеров хитозана, состоящих из 8 мономеров. Для изучения влияния молекул хитозана на энергетический спектр УНТ рассмотрена нанотрубка с хиральностью (11,0). Углеродная нанотрубка была размещена в центре кубического бокса размером 30x30x30Å, и молекулы хитозана расположены рядом с нанотрубкой на расстоянии 8-10Å от линии, проходящей по центру нанотрубки. После этого кубический бокс был заполнен молекулами воды, предварительно отрелаксированными до равновесного состояния. Так как молекула хитозана протонирована и имеет положительный заряд, для нейтрализации в систему добавлены отрицательные ионы Cl⁻. В расчетах свободной энергии растворяемых молекул для воды использована усовершенствованная простая точно-заряженная (SPC/E) модель, которая хорошо описывает структурные и термодинамические свойства чистой воды в широких пределах температур и давлений. Длина ковалентной связи атомов кислорода и водорода фиксирована на 1.0 Å, и угол связи составляет 109.470, так что геометрия SPC/E модели воды представлена как жесткая структура с парциальными зарядами у атома кислорода - 0.8476e и водорода +0.4238e. Расчеты проводились при постоянном давлении и температуре с алгоритмом баростатирования и термостатирования Берендсена в кубическом боксе, заполненном 3000 молекулами воды.

Уравнения движения решались по алгоритму Верлета с временным шагом 1фс. Дальнействующие кулоновские силы рассчитаны с использованием метода Эвальда (PME) с точностью 1x10⁻⁶, и все межмолекулярные взаимодействия внутри бокса были рассчитаны внутри сферы с радиусом R_{cutoff}=9Å. Равновесное состояние системы достигалось за 50 пс времени, и эта процедура повторялась для каждой системы перед расчетом термодинамических параметров.

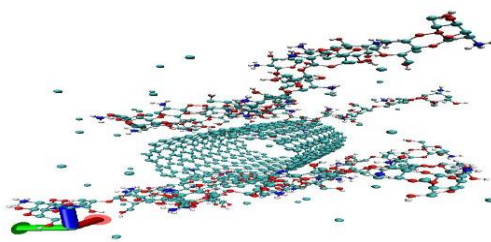


Рис.2. Комплекс УНТ и хитозана

Обсуждение результатов. Нами были получены равновесные конфигурации мономера и димера молекулы хитозана достоверность полученных результатов были проверены расчетом колебательных спектров (Рис.3) молекул хитозана и сравнением их с экспериментальными данными [4].

Как видно из рисунка 3, интенсивность колебаний имеет максимум при 1100 см⁻¹, что хорошо совпадает с экспериментальным значением колебательной частоты C-O-C связи (1070 см⁻¹) и максимумом интенсивности. Остальные характерные колебательные частоты при 1366 см⁻¹ (1390см⁻¹), 1453 см⁻¹(1430см⁻¹), 1674 см⁻¹ (1600см⁻¹), 2960 см⁻¹ (2950см⁻¹), 3542 см⁻¹ (3490см⁻¹) тоже удовлетворительно описывают картину колебательных уровней молекулы хитозана (в скобках приведены экспериментальные значения).

Результаты по вычислению зарядового распределения молекулы хитозана представлены на рисунке 4 и в таблице 1. Видно, что азот аминогруппы N (-0.89150e) имеет сравнительно большой отрицательный заряд по сравнению с кислородом O(-0.59930e) OH группы.

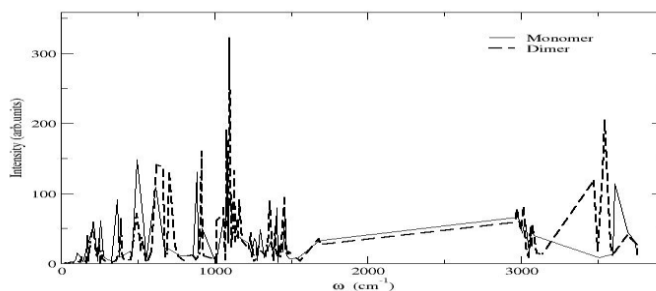


Рис. 3. Колебательные спектры молекулы хитозана для мономера (сплошные линии) и димера (пунктирные линии)

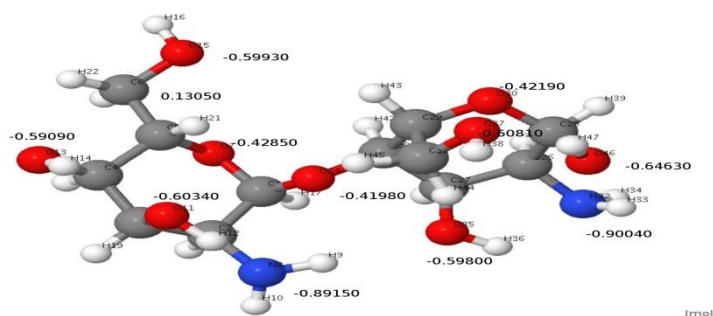


Рис.4. Димер молекулы хитозана с зарядовым распределением в атомах. Значения зарядов представлены в единицах элементарного заряда.

Таблица 1. Распределение зарядов по атомам димера хитозана.

Номер атома	Атом	Заряд/e	Mass (ат. ед)
1:	C1	0.29400	12.0
2:	C2	0.12080	12.0
3:	C3	0.12120	12.0
4:	C4	0.12200	12.0
5:	C5	0.11180	12.0
6:	C6	0.13050	12.0
7:	O1	-0.42850	16.0
8:	N1	-0.89150	14.0
9:	H1	0.36850	1.0
10:	H2	0.35210	1.0
11:	O2	-0.60340	16.0
12:	H3	0.41690	1.0
13:	O3	-0.59090	16.0
14:	H4	0.42190	1.0
15:	O4	-0.59930	16.0
16:	H5	0.40120	1.0
17:	H6	0.07300	1.0
18:	H7	0.07230	1.0
19:	H8	0.06040	1.0
20:	H9	0.08320	1.0
21:	H10	0.09440	1.0
22:	H11	0.04920	1.0
23:	H12	0.04060	1.0
24:	O5	-0.41980	16.0
25:	C7	0.30430	12.0
26:	C8	0.11740	12.0
27:	C9	0.12500	12.0
28:	C10	0.12440	12.0
29:	C11	0.15640	12.0

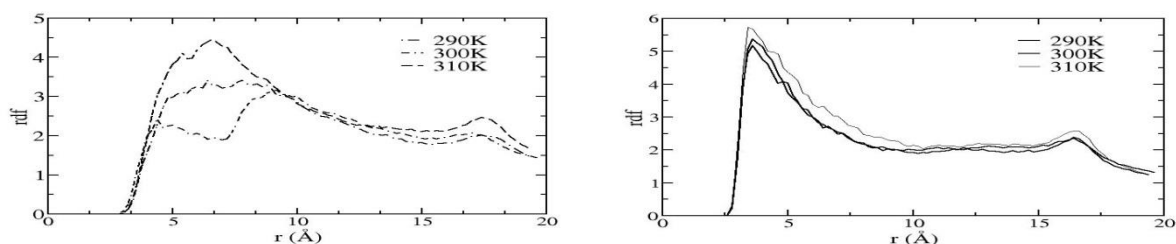
30:	O6	-0.42190	16.0
31:	C12	0.09390	12.0
32:	N2	-0.90040	14.0
33:	H13	0.36290	1.0
34:	H14	0.35870	1.0
35:	O7	-0.59800	16.0
36:	H15	0.41450	1.0
37:	O8	-0.60810	16.0
38:	H16	0.40210	1.0
39:	H17	0.06640	1.0
40:	H18	0.07190	1.0
41:	H19	0.03930	1.0
42:	H20	0.06880	1.0
43:	H21	0.10080	1.0
44:	H22	0.06440	1.0
45:	H23	0.05470	1.0
46:	O9	-0.64630	16.0
47:	H24	0.44820	1.0

Таблица 2. Параметры взаимодействия атомов для потенциала Леннард-Джонса.

Атом	σ (Å)	ϵ (кДж/моль)
O (вода)	3.166	0.6502
H (вода)	0.000	0.000
Cl	4.4	0.54
N(Хитозан)	3.04	0.29
O(Хитозан)	2.7099	0.5858
C(Хитозан)	3.5999	0.3180
H (Хитозан)	2.4200	0.1255
C(УНТ)	3.85	0.44

На рис. 5 представлены радиальные функции распределения атома O кислорода из группы CH₂OH (а) и атома N хитозана (б) с УНТ.

Результаты показывают, что УНТ в основном взаимодействует с двумя группами хитозана – кислородом из группы CH₂OH и азотом амидной группы. Причем равновесное расстояние между УНТ и кислородом порядка 5Å, а между УНТ и азотом порядка 6Å. При изменении температуры радиальное распределение изменяется заметно для случая взаимодействия УНТ с азотом, а именно при понижении температуры появляются два равновесных расстояния – 6 и 10 Å

Рис.5. Радиальные функции распределения атома O кислорода из группы CH₂OH (а) и атома N хитозана (б) при взаимодействии с УНТ

С помощью результатов моделирования по энергетическим параметрам была вычислена энергия связи УНТ с молекулой хитозана. Для этого был использован следующий алгоритм вычисления.

Полная энергия всей системы определяется как сумма всех полных энергий отдельных компонент (хитозан, УНТ, вода, ионы) и парных взаимодействий между этими компонентами, т.е.

$$E_{tot} = E^{chit} + E^{CNT} + E^{wat} + E^{ion} + E^{chit/CNT} + E^{chit/wat} + E^{chit/ion} + E^{CNT/wat} + E^{CNT/ion} + E^{wat/ion} \quad (3)$$

Энергия связи УНТ и хитозана можно посчитать исключением из системы воды и ионов.

Соответствующий ансамбль «УНТ+хитозан» создается исключением из глобальной системы ионов хлора и молекул воды оптимизированной конформации, и соответствующая энергия из полной энергии $E^{CNT.chit}$ вычисляется без дальнейшей минимизации. Затем из этого ансамбля удаляется хитозан, и соответствующая энергия изолированной УНТ E^{CNT} вычисляется. Затем из ансамбля «УНТ+хитозан» удаляется УНТ, и соответствующая энергия хитозана E^{chit} вычисляется. Следовательно, энергия связи между полимерной матрицей и УНТ может быть вычислена согласно следующему выражению

$$E_{bind}^{CNT/chit} = -E^{chit/CNT} = E^{chit} + E^{CNT} - E^{CNT.chit} \quad (4)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значения полных энергий хитозана, УНТ и комплекса УНТ+хитозан и энергии связи хитозана с УНТ, вычисленной на основе уравнения (4)

$E^{CNT.chit}$ (kJ/mol)	E^{CNT} (kJ/mol)	E^{chit} (kJ/mol)	$E_{bind}^{CNT/chit}$ (kJ/mol)
$2.23996 \cdot 10^4$	$2.09742 \cdot 10^3$	$2.08216 \cdot 10^4$	500

Средняя энергия связи одной молекулы хитозана с УНТ равна: $500 \text{ kJ/mol} : 6 \approx 83 \text{ eV} : 6 \approx 13.8 \text{ eV}$. Учитывая то, что в мономере хитозана две группы (гидроксильная и аминогруппа) взаимодействуют с УНТ, то можно сказать, что межмолекулярное взаимодействие между полярными группами и ионами хитозана и π -электронами УНТ носит специфический характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харрис П., Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века, Москва: Техносфера, 2003. – 336 с.
2. Vaisman L., Adv. Colloid Interface Sci. – 2006.- 37. – P. 128-130.
3. Ozaki T., Phys. Rev. B. – 2003. – 155108. – P.67.
4. Рашидова С.Ш., Милушева Р.Ю., Хитин и хитозан *Bombyx mori*, Ташкент: ФАН, –2009, – 246с.
5. Frisch, J. and Trucks, G.W., Schlegel et al., GAUSSIAN03, Rev. A.7, Pittsburg: Gaussian, Inc., – 2003.
6. VAN der Spoel, D.; Van Buuren, A. R.; Apol, E.; Meulenhoff, P.J.; Tieleman, D. P.; Sijbers, A. L. T. M.; Hess, B.; Feenstra, K. A.; van Drunen, R.; Lindahl, E.; Berendsen, H. J. C. Gromacs User Manual, version 3.1.1, University of Groningen: Groningen, The Netherlands, – 2002; www.gromacs.org.



УДК 539.128.53

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

E-mail: rnusretov@yandex.ru

Javohir XUDOYQULOV,

O'zbekiston Milliy universiteti magistranti

E-mail: Ijavohirxudoyqulov2@gmail.com

Shavkat YULDASHEV,

O'zbekiston Milliy universiteti Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi laboratoriya mudiri

E-mail: shavkat@yahoo.com

F-m.f.n. O.M. Tursunqulov taqrizi ostida

INCREASING OF THE CURIE TEMPERATURE UP TO ROOM TEMPERATURE IN ZnMnO BY DOPING WITH SULFUR

Abstract

In this paper we report the results on the fabrication of diluted magnetic semiconductors $Zn_{1-x}Mn_xO_{1-y}S_y$ thin films with manganese $x = 0.05$ and sulfur $0 \leq y \leq 0.15$ compositions, respectively, by using ultrasonic spray pyrolysis method. Morphology of the samples was studied by using Scanning Electron Microscope (SEM). The influence of the sulfur concentration on the band gap energy has been studied by using optical transmission spectroscopy. Dependence of the magnetization on the sulfur concentration was studied by using Hall effect measurement. With increasing of the sulfur concentration the band gap energy of composition decreases, while the magnetization increases proportional to the sulfur concentration.

Keywords: diluted magnetic semiconductor, Hall resistance, thin magnetic film, ultrasonic spray pyrolysis

ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ ДО КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ZNMNO ПУТЕМ ЛЕГИРОВАНИЯ СЕРОЙ

Аннотация

В данной статье нами представлены результаты изготовления тонких пленок разбавленных магнитных полупроводников $Zn_{1-x}Mn_xO_{1-y}S_y$ с концентрацией марганца $x = 0,05$ и серы $0 \leq y \leq 0,15$ соответственно, методом ультразвукового спрей пироллиза. Морфология образцов исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Влияние концентрации серы на ширину запрещенной зоны исследовалось с помощью спектроскопии оптического пропускания. Зависимость намагниченности образцов от концентрации серы исследовалось с помощью измерения эффекта Холла. С увеличением концентрации серы ширина запрещенной зоны уменьшается, в то время как намагниченность увеличивается пропорционально концентрации серы.

Ключевые слова: магнитный полупроводник, сопротивление Холла, тонкая магнитная пленка, пироллиз ультразвуковым распылением

ZnMnO NING KURIY TEMPERATURASINI OLTINGUGURT KIRITISH ORQALI XONA TEMPERATURASIGACHA OSHIRISH

Annotatsiya

Ushbu ishda biz ultra tovushli spray perioliz usulida o'stirilgan $Zn_{1-x}Mn_xO_{1-y}S_y$, bunda marganes ulushi $x = 0.05$ va oltingugurt $0 \leq y \leq 0.15$ bo'lgan namunalarning natijalari keltirilgan. Namunaning tuzulishi elektron mikroskop orqali o'rganilgan. Oltingugurt bilan legirlash namunalarning taqiqlangan zo'nasini o'zgarishi optik o'tkazuvchanlik spektri orqali aniqlangan. Yupqa magnit qatlamlarining magnitlanishini oltingugurt konsentratsiyasiga bog'liqligi Holl o'lchashlari orqali ko'rsatilgan. Oltingugurt ulushining oshirilishi namunalarning taqiqlangan zonasi kichirayishiga va magnitlanishning oshishiga sabab bo'lishi aniqlangan.

Kalit so'zlar: magnit yarimo'tkazgichlar, Holl qarshiligi, yupqa magnit qatlami, ultra tovushi spray periolis

Kirish. Hozirgi kunda zamonaviy elektr qurilmalarida asosan yarimo'tkazgichli va magnit materiallar juda ko'p ishlatiladi. Yarimo'tkazgichlar malumotlarni uzatish uchun ishlatilsa, magnit materiallar esa malumotlarni saqlashda foydalaniladi. Bu ikki xususiyatlarni ozida birlashtirgan materiallar magnit yarimo'tkazgichlar deyiladi. So'nggi yillarda magnit yarimo'tkazgichlardagi yangi hodisalar va qo'llanilish sohasining kengligi hisobiga olimlarda katta qiziqish uyg'otdi va xona haroratidan yuqori Kyuri harorati (TC) bo'lgan magnit yarimo'tkazgichlarni ishlab chiqarish bo'yicha ko'plab harakatlar amalga oshirildi [1-4].

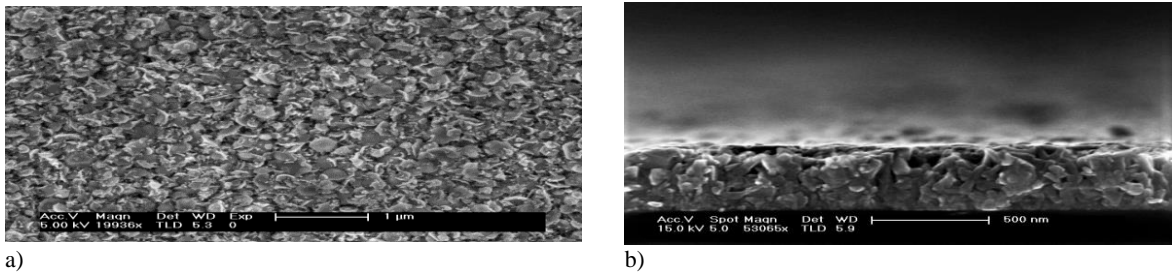
- **Mavzuga oid adabiyotlar tahlili.** Odatda magnit yarimo'tkazgichlar yarimo'tkazgich materiallariga (GaAs, GaN, ZnO va boshqalar) o'tkazuvchi matallar (Mn, Co, Cu, Fe, Ni) qo'shish orqali xosil qilinadi [5-7]. Bunday materiallardagi ferromagnetizmi tushuntiruvchi magnit palaron va tashuvchilarning o'zaro tasiriga asoslangan mexanizmlari mavjud. Shunga asosan ferromagnetik xususiyatlarni kuchaytirish uchun turli xil kirishmalar ham kiritilgan [8-9].

Hozirga kelib ZnO asosidagi magnit yarimo'tkazgichlar xona temperaturasida ferromagnetik fazada bo'la oladigan asosiy material sifatida ko'rilmoqda [5]. Ammo, turli olimlar tomonidan ZnO ni o'tkazuvchi metallar bilan legirlash natijalari har xil, yani bazilar ZnO yupqa qatlamini Mn yoki Co bilan legirlash orqali yuqori kuriy temperaturasini kuzatgan bo'lsa, qolganlar esa bu paramagnetik faza yoki ikkinchi faza kirishmalar xisobiga sodir bo'layotganini tushuntirgan [10-13]. Asosiy muammo rux oksidida magnit ionlarining kiruvchanligi juda kichikligi va zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi pastligi hisoblanadi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun ZnO ga magniy yoki oltingugurt aralashmasi qo'shish orqali taqiqlangan zo'na kengligini kichiraytirib to'k tashuvchilar konsentratsiyasini va kuriy temperaturasini oshirish mumkinligi ko'rsatilgan [14-16].

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu ishda S bilan ZnMnO ni izovalent legirlashning magnit va optik xususiyatlarga tasiri o'rganilgan. ZnMnO yupqa qatlami kremniy va shisha tagliklarga ultrasonik spray periolis usulida o'stirilgan. Rux atsetat ($Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$), marganes atsetat ($Mn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$) va oltingugurtning suvda eriydigan qotishmasi ($SC(NH_2)_2$)lardan $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.95}S_{0.05}$, $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.90}S_{0.10}$ va $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.85}S_{0.15}$ namunalar tayyorlashda kerakli ulushlarda foydalanilgan. Qarshilikni pasaytirish uchun qo'shimcha ammonium atsetat ($C_2H_7NO_2$) ham aralashmaga p-tur olish uchun kiritilgan. Barcha aralashmalar ikki marta distirilgan suvda eritilgan. Tayyor aralashma 2.5 MHz chastotada ishlovchi vibratorida bug'lantirilgan. Bug'ni yonaltirish uchun kislorod gazidan foydalanilgan va gaz tezligi 500 sccm/min bo'lgan. Taglik temperaturasi 4500 C ga soslangan. Namunalar qalinligi tahminan 400-500 nm bo'lgan. Namunalar tayyor bo'lgandan keyin bazi nuqsonlarni kamaytirish maqsadida 6000 C da 10 min davomida azotli atmosferada ushlab turilgan.

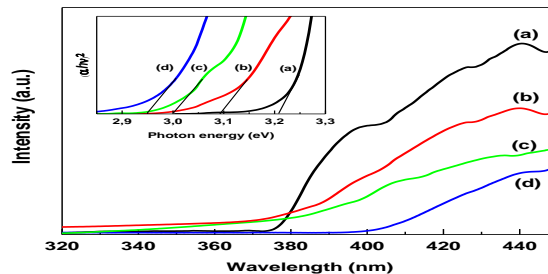
Tayyor namunalarini tuzulishi va strukturasi o'rganishda elektron mikroskopdan foydalanilgan. Holl effekti o'lchashlari Van Der Pauw metodi orqali o'lchangan. Optik o'tkazuvchanligi spektrometrdan 320-440 nm oralig'ida kuzatilgan.

Tahlil va natijalar. 1-rasm oltingugurt bilan izovalent legirlangan ZnMnO ning elektron mikroskopda olingan tasvirlarini ko'rsatadi. 1a-rasm namunaning yuqori tomondan olingan tasvirida nanokristallarni kuzatishingiz mumkin. Ularning o'lchamlari diametri tahminan 100-200 nm atomida va joylashuvi turli xil ekani ko'rishingiz mumkin.



1-rasm. Azot bilan legirlangan $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.95}S_{0.05}$ namunaning elektron mikroskopda a) yuqoridan olingan; b) yon tomondan olingan tasvirlari;

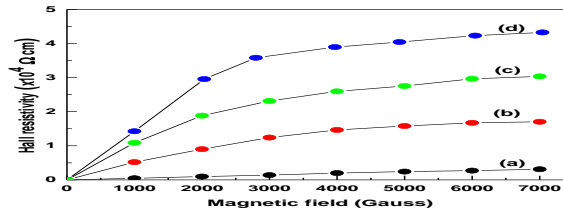
1b-rasmda esa namunaning yon tomon tasvirini ko'rishingiz mumkin. Qatlamning qalinligi 500 nm atrofida ekanini ko'rsatilgan.



2-rasm. Yupqa qatlamining yorug'lik o'tkazuvchanlik spektri a) $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ b) $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.95}S_{0.05}$ c) $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.90}S_{0.10}$ d) $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.85}S_{0.15}$ namunalar uchun. Kichik grafikda yutulish spektriga energiyaga bog'lanishi ko'rsatilgan.

2-rasm oltingugurt bilan legirlangan va legirlanmagan $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ yupqa qatlamning xona temperaturasida yorug'lik o'tkazuvchanlik spektrini ko'rsatadi. Yupqa magnit qatlam yorug'lik o'tkazuvchanlikni o'lchash uchun shisha taglikka o'stirilgan. Rasmdagi a) chizmada S kiritilmagan holda yorug'likni yutulishini kuzatishingiz mumkin. b, c va d chizmalarda esa mos holda oltingugurt ulushi 5%, 10% va 15% bo'lgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, oltingugurt ulushi qancha katta bo'lsa yutulish spektri ham katta to'liq uzunlig sohasi tomon mos holda surulib borgan. Bu ZnMnO magnit qatlamiga oltingugurt yaxshi aralashganini bildiradi. ZnO va ZnS lar to'g'ri zonal yarimo'tkazgich material ekanini hisobga olsak, yutulgan foton energiyasi Taus formulasi, $ahv = A(hv - E_g)^{1/2}$ bo'yusinishi [13] kerak bo'ladi. Bu yerda α -yutulish ko'fsienti, hv-foton energiyasi va E_g - to'g'ri zo'nali yarimo'tkazgichning taqiqlangan zo'na energiyasi. 2-rasmda ko'rsatilgan kichik chizmadagi $(\alpha hv)^2$ ni energiyaga chiziqli bog'lanishli qismidan Taus fo'rmulasini ishlatgan holda taqiqlangan zo'na energiyasini aniqlash mumkin bo'ladi. Chiziqli bog'lanishdan ham ko'rinyaptiki S ning ulushi oshib borishi bilan E_g ham kamayib borgan. ZnMnO da oltingugurt ulushi 0% dan 15% gacha oshib borganida, taqiqlangan zo'na kengligi 3.2 eV dan 2.95 eV gacha kamayganini topish mumkin. Buning sababi oltingugurt kiritilishi valent zo'nani ko'tarilishiga sabab bo'lgani bilan tushuntirish mumkin bo'ladi.

3-rasmda turli konsentratsiyali oltingugurt bilan legirlangan ZnMnO va Mn kiritilmagan 5% oltingugurt kiritilgan rux oksid namunalarining xona temperaturasida Holl qarshiligining magnitmaydonga qanday o'zgarishi ko'rsatilgan.



3-rasm. a) ZnO_{0.95}S_{0.15} b) Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.95}S_{0.05} c) Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.95}S_{0.1} va d) Zn_{0.95}Mn_{0.05}O_{0.95}S_{0.15} namunalari uchun xona temperaturasida Hall qarshiligining magnit maydoniga bog'lanishi.

Mn kiritilmagan namunaning Hall qarshiligi magnit maydoniga chiziqli bog'langanini kuzatishingiz mumkin va bu bog'lanishdan kovaklar konsentratsiyasini aniqlash mumkin bo'ladi. Bunga ko'ra xona temperaturasida kovaklar konsentratsiyasi $1.4 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ ekanini aniqlandi. Boshqa namunalarning natijalari esa nochiziqli bog'lanishni ko'rsatgan. Mn kiritilgan namunalarda Hall qarshiligini o'lchayotganda anomal Hall effekti tasiri kichik magnit maydon sohasida katta ekanligi ko'rishingiz mumkin. S ning ulushi oshishi bilan Hall qarshiligining qiymatlari ham oshib borgan. Demak, oltingugurtning ulushi oshishi namunaning magnitlanishi oshganini ko'rsatadi.

- **Xulosalar.** Turli konsentratsiyalarda oltingugurt bilan legirlangan ultra tovushli spray perioldis usulida o'stirilgan ZnMnO yupqa qatlamining optik va magnit xususiyatlari o'rganildi. Olingan namunalarning polokristal tuzulishga ega ekanligi va turli diametrlilik nanokristallardan tuzulganligi ko'rsatildi. Optik yutulish spektriga ko'ra oltingugurt namunada yaxshi aralashganligi aniqlandi. S ning ulushi 0% dan 15% gacha ZnMnO kiritilganda taqiqlangan zo'na energiyasi 3.2 eV dan 2.95 eV gacha pasaygani hisoblandi. Taqiqlangan zo'na kichrayishi bilan magnit yarimo'tkazgichning magnitlanishi oshishi aniqlandi.

ADABIYOTLAR

1. T. Dietl, H. Ohno, Dilute ferromagnetic semiconductors: physics and spintronic structures, *Rev. Mod. Phys.* 86 (2014) 187-251.
2. H.T. Lin, T.S. Chin, J.C. Shih, S.H. Lin, T.M. Hong, R.T. Huang, F.R. Chen, J. J., Enhancement of ferromagnetic properties in Zn_{1-x}CoxO by additional Cu doping, *Appl. Phys. Lett.* 85 (2004) 621-623.
3. A. Manivannan, G. Glaspell, P. Dutta, M.S. Seehra, Nature of the reversible paramagnetism to ferromagnetism state in cobalt-doped titanium dioxide, *J. Appl. Phys.* 97 (2005) 10D325.
4. Sharma P., Gupta A., Rao K.V., Owens F.J., Sharma R., Ahuja R., Osorio Guillen J.M., B. Johansson, G.A. Gehring, Ferromagnetism above room temperature in bulk and transparent thin films of Mn-doped ZnO, *Nat. Mater.* 2 (2003) 673.
5. K.R. Kittilstved, D.A. Swartz, A.C. Tuan, S.M. Heald, S.A. Chambers, D.R. Gamelin, Direct kinetic correlation of carriers and ferromagnetism in Co₂: ZnO, *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 037203.
6. T. Fukumura, Z. Jin, M. Kawasaki, T. Shono, T. Hasegawa, S. Koshihara, H. Koinuma, Magnetic properties of Mn-doped ZnO, *Appl. Phys. Lett.* 78 (2001) 958-960.
7. A. Tiwari, C. Jin, A. Kivt, D. Kumar, J.F. Muth, J. Narayan, Structural, optical and magnetic properties of diluted magnetic semiconducting Zn_{1-x}MnxO films, *Solid State Commun.* 121 (2002) 371-374.
8. S. Kolesnik, B. Dabrowski, J. Mais, Structural and magnetic properties of transition metal substituted ZnO, *J. Appl. Phys.* 95 (2004) 2582.
9. S. Deka, R. Pasricha, P.A. Joy, Experimental comparison of the structural, magnetic, electronic, and optical properties of ferromagnetic and paramagnetic polycrystalline Zn_{1-x}CoxO (x=0,0.05,0.1), *Phys. Rev. B* 74 (2006) 033201.
10. H.C. Hsu, C.Y. Wu, H.M. Cheng, W.F. Hsieh, Band gap engineering and stimulated emission of ZnMgO nanowires, *Appl. Phys. Lett.* 89 (2006) 013101.
11. Thankalekshmi R.R., Rastogi A.C., Structure and optical band gap of ZnO_{1-x}S_x thin films synthesized by chemical spray pyrolysis for application in solar cells, *J. Appl. Phys.* 112 (2012) 063708.
12. Persson C., C. Platzer-Björkman, J. Malmström, T. Törndahl, M. Edoff, Strong valence-band offset bowing of ZnO_{1-x}S_x enhances p-type nitrogen doping of ZnO-like alloys, *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 146403.
13. J. Zhang, R. Skomski, D.J. Sellmyer, Sample preparation and annealing effects on the ferromagnetism in Mn-doped ZnO, *J. Appl. Phys.* 97 (2005) 10D303.
14. S.V. Trukhanov S. V. Trukhanov, *JETP*, 100 (2005) 95-105 *J. Mater. Chem.* 13 (2003) 347-352.
15. O. Madelung, *Semiconductor Basic Data*, Springer-Verlag, Berlin, 1996.
16. J. Tauc, Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si, *Mater. Res. Bull.* 3 (1968) 37-46



УДК: 678.278:541.68.63.(615.022)

Ummatjon ASROROV,
O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti
E-mail: ummat.asrorov@mail.ru
Sobitjon INAGAMOV,
Toshkent farmasevtika instituti professori, t.f.d

Toshkent Davlat Pedagogika Universiteti dotsenti, f.-m.f.n E.Q.Qalandarov taqrizi ostida

APPLICATION OF INTERPOLYMER COMPLEXES IN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

Abstract

The research work is devoted to the use of interpolymer complexes based on sodium-carboxymethylcellulose (Na-CMC) and linear structure polyacrylamide (PAA) in medicines. Sodium-carboxymethylcellulose and hydrogel interpolymer complexes based on it were obtained, and their properties were investigated using the IR-spectroscopic method. The IR-spectra of mixtures of different proportions were compared to each other, and the existence of connections was substantiated.

Key words: Polycomplex (PC), sodium-carboxymethylcellulose (Na-CMC), polyacrylamide (PAA), polyelectrolyte, monochloroacetic acid.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В МЕДИЦИНЕ И ФАРМАЦЕВТИКЕ

Аннотация

Научная работа посвящена использованию интерполимерных комплексов на основе натрий-карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) и полиакриламида линейной структуры (ПАА) в лекарственных средствах. Получены натрий-карбоксиметилцеллюлоза и гидрогелевые интерполимерные комплексы на ее основе, и исследованы их свойства методом ИК-спектроскопии. Получены натрий-карбоксиметилцеллюлоза и гидрогелевые интерполимерные комплексы на ее основе, и исследованы их свойства методом ИК-спектроскопии.

Ключевые слова: Поликомплекс (ПК), карбоксиметилцеллюлоза натрия (Na-КМЦ), полиакриламид (ПАА), полиэлектrolит, монохлоруксусная кислота.

INTERPOLIMER KOMPLEKSLARINI TIBBIYOT VA FARMASEVTIKADA QO`LLANILISHI

Annotatsiya

Tatqiqot ishi natriy-karboksimitilsellyuloza (Na-KMS) va chiziqli tuzilishga ega bo'lgan poliakrilamid (PAA) asosida olingan interpolimer komplekslarini dori vositalarida qo'llashga bag'ishlangan. Natriy-karboksimitilsellyuloza va uning asosidagi, gidrogel interpolimer komplekslari olinib, ularning xossalari IQ-spektroskopik usul orqali yordamida tekshirildi. Turli nisbatdagi aralashmalarning IQ-spektorlari o'zaro taqqoslanib bog'lanishlar mavjudligi asoslab berildi.

Kalit so'zlar: Interpolimer kompleks (PK), natriy-karboksimitilsellyuloza (Na-KMS), poliakrilamid (PAA), poliektrolit, monoxloruksus kislotasi.

Kirish. Interpolimer komplekslari (IPK) keyingi vaqtlarda farmasevtika yo'nalishida quyulash tiruvchi, stabillovchi modda sifatida, ta'siri uzaytirilgan dori vositalari olishda, kapsula, tabletkalar uchun plenka hosil qiluvchi vositalar sifatida, yumshoq dori vositalari uchun asos sifatida va boshqa shu kabilarda keng qo'llanilmoqda [1].

IPK ikkita poliektrolitlarning o'zaro ta'sirlashishi asosida hosil bo'ladigan mahsulotlar bo'lib, ular o'zining bir qator muhim, bebaho xossalari tufayli texnika, materiallar texnologiyasi, tibbiyot, farmasevtikada va xalq xo'jaligining boshqa soxalarida muhim o'rin tutadi. Bu borada natriy-karboksimitilsellyuloza (Na-KMS) va chiziqli tuzilishga ega bo'lgan poliakrilamid (PAA) asosida olingan interpolimer komplekslari olish, ularni o'rganish va ishlab chiqarishga tadbir qilish dolzarb hisoblanadi [2].

Mavzuga doir adabiyotlarning tahlili. Hozirgi vaqtda qobiq sifatida ishlatiladigan materiallari sohasidagi yangiliklar, tez o'sib borayotgan biomaterial sanoatining muhim qismidir. Qobiq sifatida ishlatiladigan materiallar uchun bozorda talab sezilarli darajada oshib bormoqda. Ideal qoplama nafaqat mexanik ta'sirlarga qarshi to'siq bo'libgina qolmay, balki shifo jarayonini tezlashtiradi va bakterial infeksiyani oldini oladi. [3]

Dorini og'iz orqali yuborish tizimi eng ko'p qo'llaniladigan yuborish usuli hisoblanadi. Dorining harakat yo'nalishining qandayligi boshqaruvning qulayligi bilan bog'liq. Og'iz orqali qabul qilingan dorini kerakli joyga yetkazib berish uchun dorini ichak va oshqozon kislatalaridan himoyalash kerak [4].

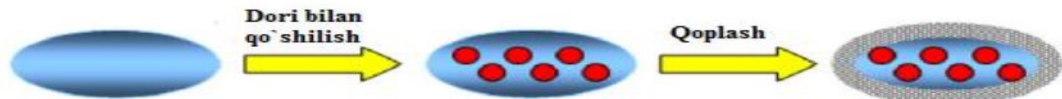
Nazorat qilinadigan chiqarish tizimlari dori terapiyasini kuchaytirish uchun mo'ljallangan. Boshqariladigan bo'shatish tizimlarini ishlab chiqish uchun bir nechta usullar mavjud, ular maqsadga qarab tanlab olinishi mumkin. Nazorat qilinadigan chiqarish tizimlari vaqt o'tishi bilan dori ta'sirini yuqori darajada nazorat qilish, fiziologik to'siqlarni kesib o'tishda yordam berish, preparatni muddatidan oldin yo'q bo'lishdan himoya qilish va preparatni tananing boshqa joylariga ta'sirini minimallashtirish bilan dorini kerakli ta'sir joyiga olib borish uchun ishlab chiqilgan [5].

Tadqiqot metodologiyasi. So'ngi yillarda suvda erimaydigan dori vositalari masalasi dolzarb masalalardan biri bo'lmoqda. Hozirda mavjud dori-darmonlarning qarib 10% qismi suvda yaxshi erimaydi va biologik tomondan qulaylikka ega emas. Kuchli dispersiya usuli hozirgi vaqtda suvda kam eriydigan dori vositalarining eruvchanlik xususiyatlarini va biologik qulayligini yaxshilash uchun qo'llaniladigan usullardan biridir. Ilmiy maqolalarda kuchli dispersiya usulida sanoat uchun PEO ning IPKlarini qo'llanilganligi to'g'risida ma'lumotlar berilgan [6,7]

Ultratovush yordamida polimer plyonkalar va qoplamalar ishlab chiqarishda yuzada polimerlarni qatlam-qatlam (QQ) qilib joylashtirish eng keng tarqalgan usullardan biri hisoblanadi. Elektrostatik o'zaro ta'sirlardan foydalanadigan QQ texnikasining prinsipi: anion substrat kation polimer eritmasiga ta'sir qiladi va distillangan suv bilan yuvib keyin u anion polimer eritmasi bilan ta'sirlashtiriladi va yana suv bilan yuvildi. Har bir ta'sirlashish natijasida qurigan polimer bir qatlamni hosil qiladi va ushbu protsedurani ko'p marta takrorlash ko'p qatlamli plyonka hosil bo'lishiga olib keladi, uning qalinligi bir qator sikllar orqali boshqarilishi mumkin[8,9].

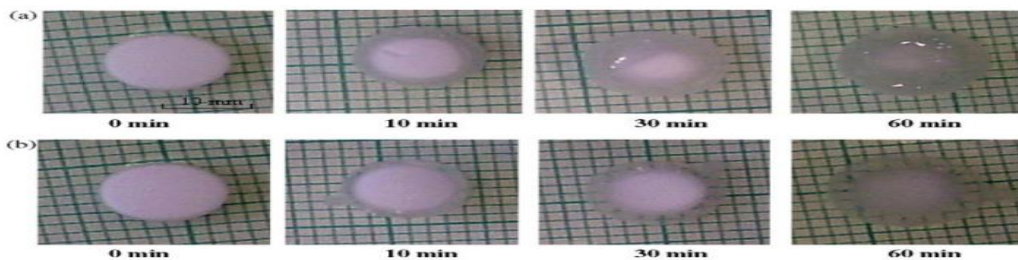
Tahlil va natijalar. Hidrogel hosil bo'lishida vodorod bog'lar yordamida bog'langan IPK larning hosil bo'lishi aniqlangan. IPK ni ion bo'lmagan polimer eritmasiga botirilganda, uning bo'kish darajasida sezilarli o'zgaradi. pH, eritmaning ion kuchiga, chiziqli polimering konsentratsiyasiga va molekular og'irligiga qarab, gidrogellarning bo'kish darajasini boshqarish mumkin.

Namuna bo'kish darajasidagi bu o'zgarishlar chiziqli makromolekulalarning yutilishi va IPK larning hosil bo'lishi bilan birga kechadi. Bunday gidrogellarni elektrostatik komplekslash orqali dori-darmonlarni kapsulalash imkoniyati topilgan (1-rasm).



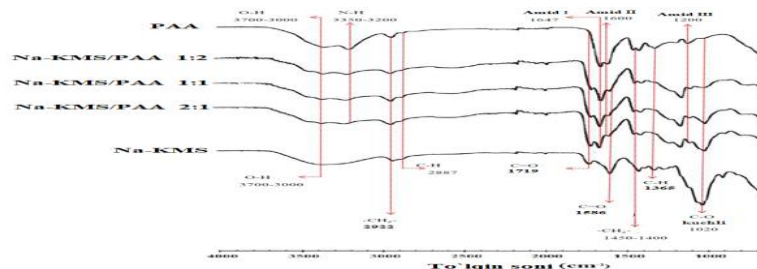
1-rasm. IPK bilan qoplangan gidrogel ichida preparatni kapsulalash imkoniyatini ko'rsatadigan sxema: suvda bo'lgan gidrogel (1); dori eritmasida shishgan gidrogel (2); ion bo'lmagan polimer eritmasiga botirilgan dori o'z ichiga olgan gidrogel. Inkapsulyatsiya texnikasida vodorod bog'lanishidan foydalanish mumkin, agar gidrogel dori eritmasida shishirilsa va keyin ion bo'lmagan polimer eritmasiga botirilsa gidrogel yuzasida vodorod bilan bog'langan IPK hosil bo'lishi preparatni oshqozonning kislotali muhitidan himoya qilishni ta'minlaydi, chunki IPK past (neytral) pH ko'rsatkichlarida erimaydi (1-rasm). Yetkazib berish tizimi oshqozondan o'tgandan so'ng, eritmaning pH darajasi oshadi, bu esa IPK qatlamining ajralishiga va dori preparatini ajralib chiqishiga olib keladi. Buni tabletkaga qoplamasi uchun ham qo'llash mumkin (2-rasm).

IPK ning tashqi qatlami, tabletkani MS eritmasida va suvda pH 2.0 da bo'kishini ko'rsatdi (2-rasm). Ushbu interpolimer kompleksi tabletkalarni qoplashda yangi yondashuvni yuzaga keltirishi mumkin. Qoplamning qalinligi tabletkaga va chiziqli polimer eritmasi orasidagi bog'lanish vaqt o'tishi bilan o'zgarishi mumkin.



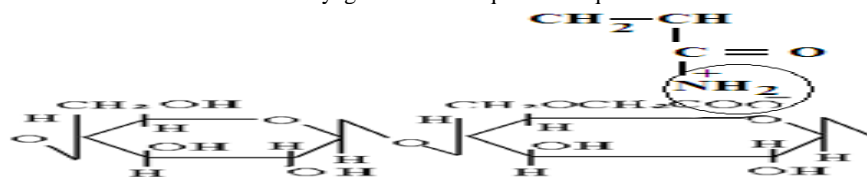
2-rasm. Tabletkalarining 0,2% MS eritmasida(a) va suvda(b) shishishi (pH 2,0) (3-rasm).

Interpolimer komplekslari namunalarining IQ-spektori yordamida tekshirishda olingan natijalar quyida



3-rasm. Na-KMS va PAA ning turli nisbatdagi aralashmalarini IQ spektorlari.

IQ spektordan korinib turibdiki 1647 sm-1 to'lqin uzunligida tebranyotgan amid guruhi o'zaro aralashirib olingan interpolimer kompleksida 1600 sm-1 to'lqin uzunligi sohasiga surilgan. Bundan shuni xulosa qilish mumkinki poliakrilamidning amid guruhi natriy-karboksimetilselluloza bilan reaksiyaga kirishishda qatnashmoqda.



4-rasm. Interpolimer komplekslarini funksional guruhlarini hosil qilgan bog'lanish.

Xulosalar. Shunday qilib, ikkita polielektrolit Na-KMS va chiziqli tuzilishga ega bo'lgan poliakrilamid asosida olingan interpolimer komplekslarini hosil bo'lish jarayoni potensiometr titrlash usuli yordamida pH 2, pH 7 va pH 10 qiymatlarda o'rganildi.

Namunalarning IQ spektor natijalari shuni ko'rsatdiki makromolekulyar birikmalarning funksional guruhlarini bo'lgan karboksilat anion va amin guruhlarini o'rtasida bog'lanish mavjud (4-rasm) va bu bog'lanish natijasida ushbu funksional guruhlarining tebranish chastotalari o'zgarishi IQ spektorda kuzatish mumkin.

Natriy-karboksimetilsellyuloza va poliakrilamid polielektrolitlari asosida oldindan ma'lum struktura va xossalarga ega bo'lgan polikompleks va interpolimer komplekslarini olinishi asoslab berildi.

Natriy-karboksimetilsellyuloza va poliakrilamid polielektrolitlari asosida olingan suvda eruvchan polielektrolit kompleksi va interpolimer

komplekslarining tajriba natijalari asosida dori vositalarini inkapsulyatsiyalashda hamda gidrogel holda ta'siri uzaytirilgan dori preparatlari olishda qo'llash taklif qilindi. Bunday usulda tabletka ko'rinishda ichiladigan dorilarni va surtma dorilarni ishlab chiqarish davolanish samadorligini oshiradi va qabul qilinadigan dorilarning zararli ta'sirlarini kamaytiradi.

ADABIYOTLAR

1. Мустафин Р. И., Протасова А. А., Ван ден Моотер Г., Кеменова В. А. Модифицирование хитозана включением его в интерполиэлектrolитный комплекс с эудрагитом L. // Хим-фарм. Журнал., Т 40. - № 6. - 2006. - С.35-38.
2. Мустафин Р. И., Бобылёва О. Л., Бобылёва В. Л., Ван ден Моотер Г., Кеменова В. А. Потенциальные носители для контролируемой доставки лекарственных веществ на основе интерполиэлектrolитных комплексов с участием Eudragit типов ЕРО/L100-55. Часть 1: Синтез и сравнительная физико-химическая оценка Хим - фарм. Журнал., Т 44. - № 6 - 2010. - С.33-37.
3. Uzun, M. A review of wound management materials. Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 4, 2018 (1), 1-8 b
4. Bassyouni, F., Elhalwany, N., Rehim, M. A., & Neyfeh, M. Advances and new technologies applied in controlled drug delivery system. Research on Chemical Intermediates, 41, 2015, 2165-2200.
5. Siegel, R. A., & Rathbone, M. J. Fundamentals and Applications of Controlled Release Drug Delivery. United States: Springer. doi:10.1007/978-1-4614-0881-9_2. 2012
6. Сулейманов И. Э., Будтова Т. В. м др. Полимерные гидрогели в фармацевтике - Алматы - Санкт-Петербург, 2004. 210 с.
7. Бектуров Е. А., Сулейменов И. Э. Полимерные гидрогели. Алматы. 2003. 240 с.
8. Инагамов С. Я. Журнал «Фармацевтический вестник Узбекистан»- 2006.-№1. – С . 30-34.
9. Петропавловский Г. А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания.- Ленинград, - 1988. – С . 118.



Эркин ЗАХИДОВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси профессори, ф.-м.ф.д.
E-mail: ezakhidov@hotmail.com

Илхом ТАЖИБАЕВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, етакчи илмий ходими ф.-м.ф.
E-mail: ilhom.tojiboyev@gmail.com

Фарид РЎЗИЕВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, кичик илмий ходими
E-mail: rozিয়েv@list.ru

Шерзод НЕМАТОВ,

Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетипрофессори, ф.-м.ф.д.
E-mail: shnematov@hotmail.com

Азиз САПАРБАЕВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, катта илмий ходими ф.-м.ф.
E-mail: saporbaevaziz83@gmail.com

Вахобжон КУВОНДИКОВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, кафедра мудири ф.-м.ф.
E-mail: vahobjon@yandex.ru

Илхом БОЙНАЗАРОВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, кичик илмий ходими
E-mail: ilhomboynazarov0821@gmail.com

Аброр ТУРГУНБОЕВ,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, стажёр-тадқиқотчиси
E-mail: turgunovabror9606@gmail.com

Лобар НУРУМБЕТОВА,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, докторанти
E-mail: lobar.nurumbetova@gmail.com

Фазилатхон ТУРАХОДЖАЕВА,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, стажёр-тадқиқотчиси
E-mail: bioinnovation97@gmail.com

Ўз МУ доценти, м.-ф.ф.н Ф.Б.Эшонкулов тақризи асосида

OPTIMIZATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE CATALYST FOR THE OXYGEN RELEASE REACTION OF TELLURIUM-BASED PHOTOCATALYSTS

Abstract

In recent times, steel tellurides have attracted attention because of their promising applications as efficient catalysts for the oxygen release reaction (ORR). However, the inappropriate adsorption energy between the intermediate products of ORR and telluride leads to unsatisfactory intrinsic electrocatalytic activity. Here we have been using a unique on-site cathodic electrochemical activation process to facilitate self-healing of the surface to form a TeO₂ layer rich in oxygen vacancies (OV) on doped Fe-NiTe. The characteristics and theoretical calculations show that the presence of a TiO₂ layer rich in OV implements the adjustment of the center of the D-band of the active center, leading to increased adsorption of the intermediate product *OOH and, thus, to the optimization way of the ORR.

Key words: Photocatalyst, TeO₂ layer, FeNiTe, oxygen release reaction.

**ТЕЛЛУРГА АСОСЛАНГАН ФОТОКАТАЛИЗАТОРЛАРНИНГ КИСЛОРОД ЧИҚАРИШ РЕАКЦИЯСИ
КАТАЛИЗАТОРИНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

Аннотация

Сўнгги йилларда металл теллуридлар самарали кислород ажралиш реакцияси (КАР) катализаторлари сифатида истиқболли қўлланилиши туфайли эътиборни тортди. Бирок, КАР оралиқ моддалари ва теллурид ўртасидаги мос келмайдиган адсорбция энергияси кониқарсиз ички электрокаталитик фаолликка олиб келади. Биз бу ерда қўшилган Fe-NiTe да кислород бўшлиғига (OV) бой TeO₂ қатламини ҳосил қилиш учун сиртнинг ўз-ўзини даволашни осонлаштириш учун ноёб ин ситу катодли электродимёвий фаоллаштириш жараёнидан фойдаланамиз.

Характеристикалар ва назарий ҳисоб-китоблар шуни кўрсатадики, OV га бой TeO₂ қатламининг мавжудлиги фаол майдоннинг D-диапазони марказини сошлашни амалга оширади, бу *OОН оралик адсорбциясининг ошишига ва KAP ни оптималлаштиришга олиб келади.

Калит сўзлар: Фотокатализатор, TeO₂ қатлами, Fe-NiTe, кислород ажралиш реакцияси.

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАТАЛИЗАТОРА РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРА

Аннотация

В последнее время теллуриды металлов привлекают внимание из-за их многообещающих применений в качестве эффективных катализаторов реакции выделения кислорода (РВК). Однако, несоответствующая энергия адсорбции между промежуточными продуктами РВК и теллуридом приводит к неудовлетворительной собственной электрокаталитической активности. Здесь мы используем уникальный процесс катодной электрохимической активации на месте, чтобы облегчить самовосстановление поверхности для формирования слоя TeO₂, богатого кислородными вакансиями (OV) на легированном Fe-NiTe. Характеристики и теоретические расчеты показывают, что присутствие слоя TeO₂, богатого OV, реализует регулировку центра D-полосы активного центра, приводящее к усилению адсорбции промежуточного продукта *OОН и, таким образом, к оптимизации пути РВК.

Ключевые слова: Фотокатализатор, слоя TeO₂, Fe-NiTe, реакция разделения кислорода.

Введения. В процессе реализации инфраструктуры водородной энергетики, применение и оптимизация таких технологий, как вода электролизеры имеет решающее значение. Одной из важнейших задач для такого применения является разработка надежных и недорогих катализаторов для реакции выделения кислорода (РВК), дающая основную энергию потери при электролизе воды. Недорогие оксиды переходных металлов в настоящее время интенсивно изучаются для эффективного катализа РВК [1].

Эффективные электрокатализаторы для реакции выделения кислорода (РВК) имеют первостепенное значение для разработки электрохимических устройств для чистой энергии и преобразования топлива. Однако структурная сложность гетерогенных электрокатализаторов затрудняет выяснение поверхностных каталитических центров и механизмов РВК (2).

Реакция выделения кислорода (РВК) снижает эффективность важных процессов электрохимического преобразования энергии, включая образование H₂ посредством расщепления воды, фиксацию N₂ и восстановление CO₂, из-за медленной кинетики [1–4]. В связи с этим обычно используют дорогостоящие и дефицитные электрокатализаторы, такие как соединения, на основе Ir и Ru, что делает крайне актуальной разработку новых недорогих катализаторов [5–8]. Благодаря выдающимся каталитическим характеристикам и содержанию земли, наноразмерные халькогениды считаются идеальной заменой электрокатализаторов РВК на основе благородных металлов [6–7].

Благодаря лучшей электропроводности и выравниванию зон по сравнению с другими халькогенидами теллурид металла вызвал большой интерес для электрокатализа РВК [8–10]. Сообщается об эффективных стратегиях разработки эффективных теллуридных электрокатализаторов для окисления воды, таких как проектирование интерфейса [8–9], регулирование состояния кристаллизации [10, 12], модификация углерода [5, 8, 10] и фазовый отбор [10]. Например, Ли и др. конструирует наноинтерфейс NiTe/NiS для улучшения свойств РВК [11].

Регулирование локальной координационной среды Te в RuTe₂ посредством аморфной активации для оптимизации пути РВК и облегчения переноса электронов в РВК согласно отчету Хуанга [10]. Yu.et обнаружил, что теллурид кобальта с фазой CoTe₂ демонстрирует лучшие характеристики РВК, чем с фазой CoTe [12]. Однако несоответствующая энергия адсорбции между интермедиатами РВК и теллуридом приводит к неудовлетворительной электрокаталитической активности, которая по-прежнему является узким местом для теллуридного электрокатализатора.

На этом работе мы применяли процесс катодной электрохимической активации (КЭА) на месте для достижения самовосстановления Fe-легированного NiTe. Характеристики химического состава и электронной конфигурации подтверждают, что процесс КЭА способствует регенерационного каталитического слоя, богатого кислородными вакансиями (OV), на поверхности Fe-NiTe и сравнительно исследовали характеристики Fe-NiTe и NiTe

Материалы и методы

Для синтеза материалов Fe-NiTe и NiTe использовались метод, описанный в литературе. 2 ммоль Na₂TeO₃ растворяли в дистиллированной воде (20 мл) и перемешивали 20 мин. После этого добавляли 10 мл N₂H₄ в растворе Na₂TeO₃. Затем смешанный раствор и свежеприготовленный прекурсор Fe-Ni(OH)₂ добавляли в автоклав на 50 мл. Гидротермальную реакцию проводили при температуре 180 °C в течение 24 часов. Полученный материал очищали дистиллированной водой и сушили при 70 °C в течение 12 часов. NiTe были приготовлены с использованием Ni(OH)₂ в качестве прекурсора тем же способом.

Результаты и обсуждения. Сначала Fe-NiTe был синтезирован простым анионообменным методом с использованием наносфер Ni(OH)₂ и Fe-Ni(OH)₂ в качестве прекурсора и Na₂TeO₃ в качестве источника теллура. Благодаря структурным характеристикам и измерениям электрокаталитических характеристик показано, что примеси Fe в NiTe могут эффективно повышать электрокаталитическую активность за счет создания большого количества активных центров и облегчения переноса электронов.

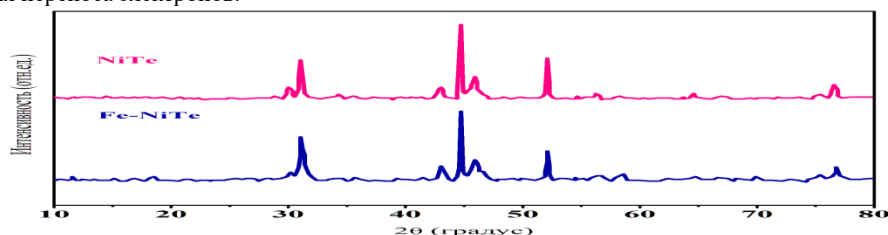


Рис. 1 Рентгенограммы NiTe и Fe-NiTe.

Очевидные дифракционные пики (рис.1) при $31,1^\circ$, $33,3^\circ$, $42,9^\circ$, $46,1^\circ$, $56,7^\circ$, $58,2^\circ$, $64,8^\circ$ и 76° на обеих рентгенограммах NiTe и Fe-NiTe связаны с (101), (002), (102), (110), (201), (103), (202) и (211) плоскости гексагонального NiTe. Это наблюдение подтверждает, что Fe-NiTe обладает той же кристаллической структурой, что и NiTe.

На рис. 2 показаны SEM и TEM изображения NiTe и Fe-NiTe, как NiTe, так и Fe-NiTe представляют собой микросферы диаметром около 5 мкм, состоящие из нанолистов. Период решетки 0,287 нм NiTe и 0,28 нм Fe-NiTe соответствует плоскости (101). Сжатие решетки Fe-NiTe по сравнению с NiTe приписывается искажению решетки, вызванному легированием Fe [рис.1].

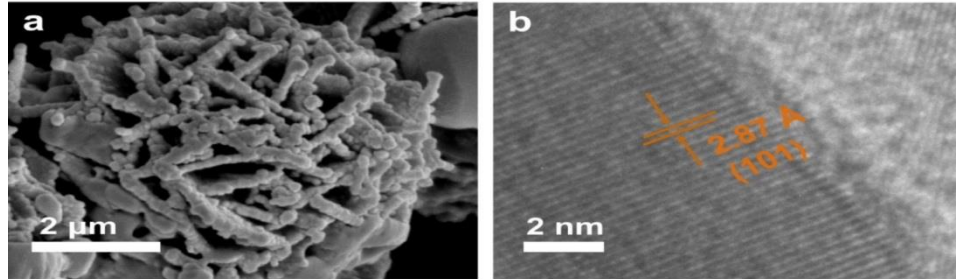


Рис. 2 (а) СЭМ-изображение и (b) HRTEM-изображение NiTe.

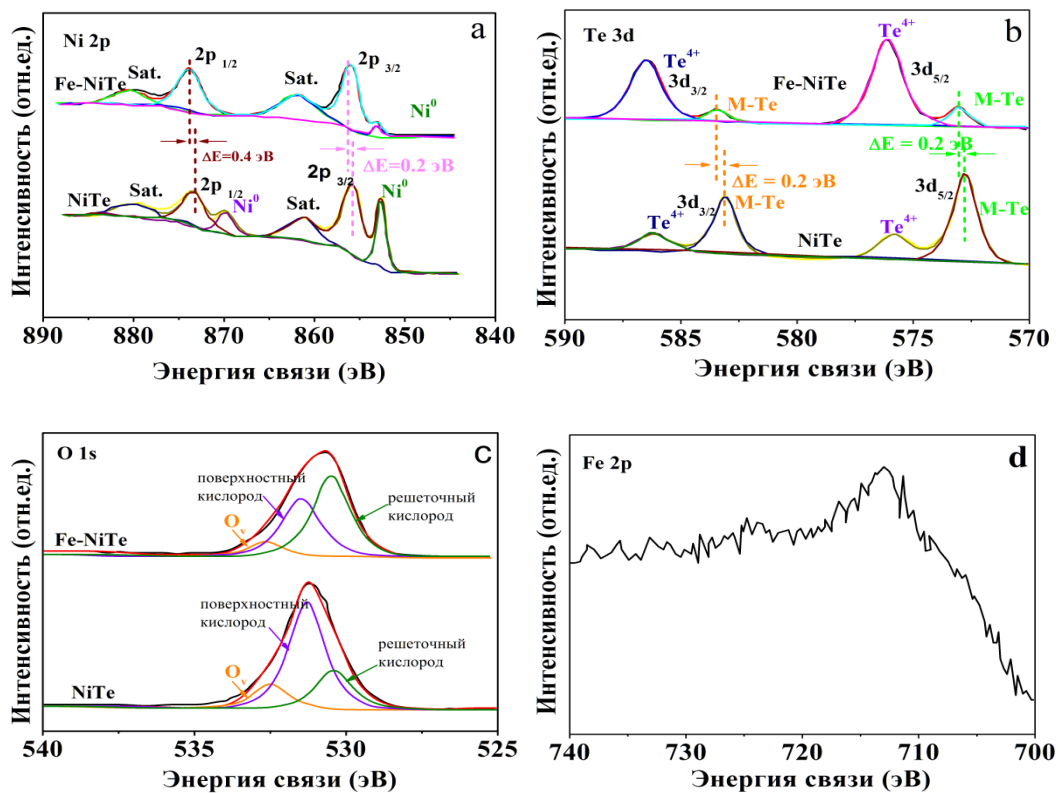


Рис. 3 XPS высокого разрешения (а) Ni 2p, (b) Te 3d и (с) O 1s спектры Fe-NiTe и NiTe. (d) Спектры Fe 2p высокого разрешения Fe-NiTe.

На рис. 3а представлены спектры XPS Ni 2p высокого разрешения для Fe-NiTe и NiTe, пики, расположенные при $\sim 873,57$ эВ и $855,97$ эВ, соответствуют пикам Ni 2p_{1/2} и 2p_{3/2} соответственно. Очевидное положительное смещение пиков могло быть вызвано перераспределением электронов из-за легирования Fe. Что касается спектров Te 3d (рис. 3b), то пики, расположенные при $583,17$ эВ и $572,77$ эВ, относятся к связи M-Te (M=Ni, Fe) в NiTe, очевидный положительный сдвиг этих пиков Fe- NiTe может быть вызван новообразованной связью Fe-Te. Более того, пики при $586,47$ эВ и $576,07$ эВ относятся к Te⁴⁺ в TeO₂, образующемся на поверхности теллурида, и явно возрастают в Fe-NiTe. Это наблюдение предполагает, что легирование Fe может способствовать образованию TeO₂. Пики O 1s после деконволюции при $530,5$ эВ, $531,4$ эВ, $532,2$ эВ соответствуют решеточному кислороду, поверхностному кислороду и кислородной вакансии (рис. 3с). Содержание кислорода в решетке для Fe-NiTe резко возрастает по сравнению с исходным NiTe из-за изменения электронной структуры. Спектры Fe 2p подтверждают, что Fe легировано в NiTe (рис. 3d).

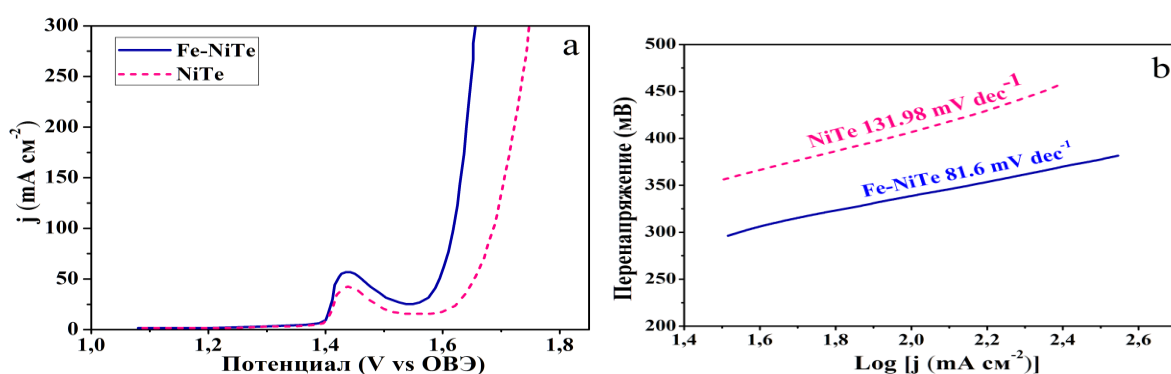


Рис. 4 (а)Кривые вольтамперометрия с линейной разверткой реакции выделения кислорода (б) Графика Тафеля нетронутого Fe-NiTe и NiTe.

Согласно кривым вольтамперометрия с линейной разверткой, показанным на рис. 4а, перенапряжение Fe-NiTe и NiTe при 100 mA cm^{-2} составляет 340 mV и 407 mV соответственно. А наклон тафеля Fe-NiTe и NiTe составляет $81,6 \text{ mV dec}^{-1}$ и $131,98 \text{ mV dec}^{-1}$ соответственно, согласно рис. 4б. Эти результаты показывают, что для Fe-NiTe требуется более низкое перенапряжение для обеспечения такой же плотности тока наряду с быстрой кинетикой реакции по сравнению с NiTe.

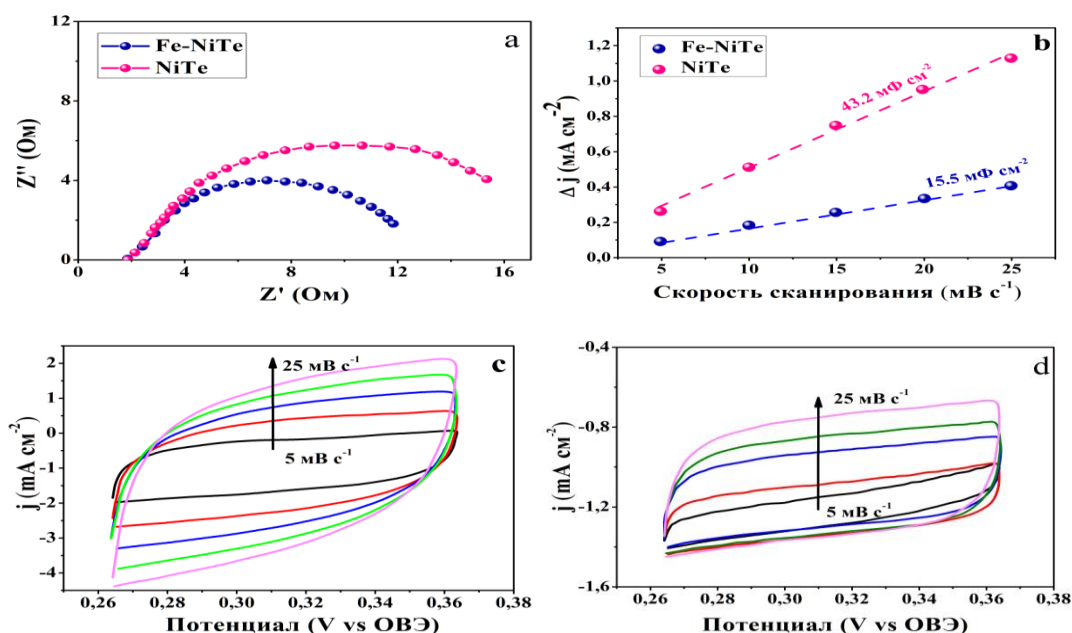


Рис. 5. (а) Графики СЭИ Найквиста для Fe-NiTe и NiTe. (б) Графики зависимости плотности емкостного тока от скорости сканирования для Fe-NiTe и NiTe. CV -кривые Fe-NiTe (в) и NiTe (г).

Чтобы лучше понять механизм характеристик РВК после легирования Fe, мы протестировали спектры электрохимического импеданса (СЭИ) и электрохимическую площадь поверхности (ЕССА) Fe-NiTe и NiTe. На рис. 5а показаны графики СЭИ Найквиста для Fe-NiTe и NiTe, что позволяет предположить, что Fe-NiTe обладает более низким импедансом переноса электронов. ЕССА пропорциональна электрохимической емкости двойного слоя (Cdl), Cdl рассчитана по кривым CV (рис. 5с и d), Cdl Fe-NiTe и NiTe составляет $43,2 \text{ mF cm}^{-2}$ и $15,5 \text{ mF cm}^{-2}$ (Рис.5б). Этот результат означает, что число активных центров в Fe-NiTe больше, чем в NiTe. В результате легирование Fe в NiTe эффективно облегчает перенос электронов и увеличивает количество активных центров для улучшения свойства РВК. Все приведенные выше характеристики и электрохимические измерения подтверждают, что легирование Fe приводит к искажению решетки и увеличению содержания кислорода в решетке и, таким образом, облегчает перенос электронов и увеличивает количество активных центров. В результате Fe-NiTe демонстрирует лучшие характеристики РВК, чем NiTe.

Чтобы получить оптимальное время активации, мы провели серию экспериментов при $0,2 \text{ V}$, используя различные времена активации. Результат показал, что оптимальное время активации, которое может обеспечить максимальную плотность тока, составляет 10 минут (рис. 6).

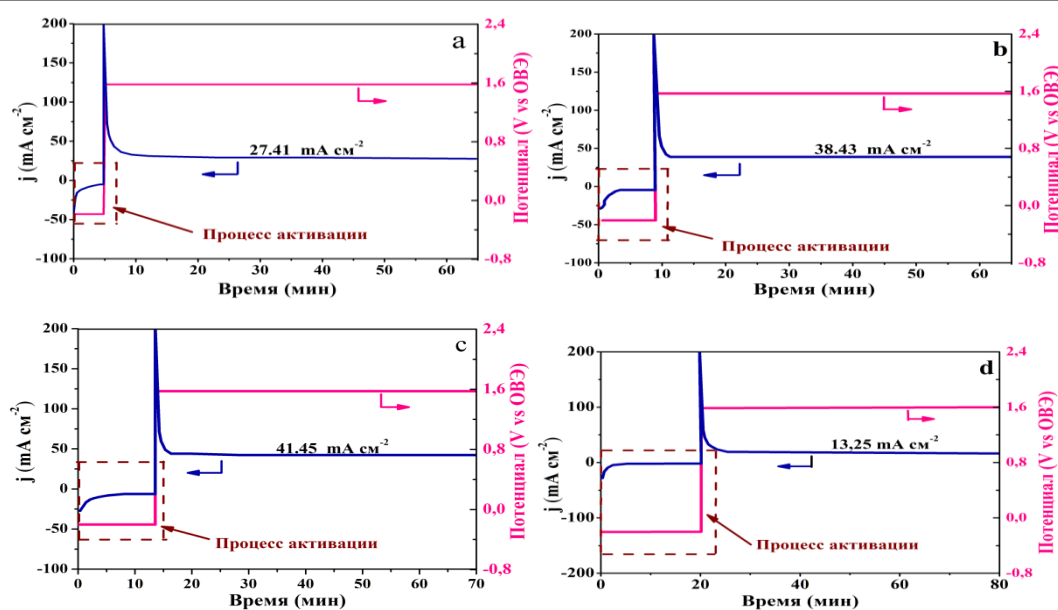


Рис. 6 Кривые активация-РВК i - t при различном времени активации Fe-NiTe (a) 5 мин, (b) 7,5 мин, (c) 10 мин и (d) 20 мин.

Таким образом, уникальная катодная электрохимическая активация на месте была использована для облегчения самовосстановления поверхности с образованием слоя на Fe-NiTe. Интересно, что в 1 М КОН свежеприготовленный Fe-NiTe проявлял замечательную электрокаталитическую активность РВК наряду со сверхнизким перенапряжением 245 мВ при 41.45 mA cm^{-2} и быстрой кинетикой, а также высокой стабильностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Hwang, R.R. Rao, L. Giordano, Y. Katayama, Y. Yu, Y. Shao-Horn, Perovskites in catalysis and electrocatalysis, *Science* 358 (2017) 751–756, <https://doi.org/10.1126/science.aam7092>.
2. T. Wu, X. Ren, Y. Sun, S. Sun, G. Xian, G.G. Scherer, A.C. Fisher, D. Mandler, J. W. Ager, A. Grimaud, J. Wang, C. Shen, H. Yang, J. Gracia, H.-J. Gao, Z.J. Xu, Spin pinning effect to reconstructed oxyhydroxide layer on ferromagnetic oxides for enhanced water oxidation, *Nat. Commun.* 12 (2021) 3634, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23896-1>.
3. W.H. Lee, N. Hong Nhan, C.H. Choi, K.H. Chae, Y.J. Hwang, B.K. Min, P. Strasser, H.-S. Oh, Carbon-supported IrCoOx nanoparticles as an efficient and stable OER electrocatalyst for practicable CO₂ electrolysis, *Appl. Catal. B Environ.* 269 (2020), 118820, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.118820>.
4. Y. Liu, C. Ma, Q. Zhang, W. Wang, P. Pan, L. Gu, D. Xu, J. Bao, Z. Dai, 2D electron gas and oxygen vacancy induced high oxygen evolution performances for advanced Co₃O₄/CeO₂ nanohybrids, *Adv. Mater.* 31 (2019), 1900062, <https://doi.org/10.1002/adma.201900062>.
5. Y. Pan, X. Xu, Y. Zhong, L. Ge, Y. Chen, J.-P.M. Veder, D. Guan, R. O'Hayre, M. Li, G. Wang, H. Wang, W. Zhou, Z. Shao, Direct evidence of boosted oxygen evolution over perovskite by enhanced lattice oxygen participation, *Nat. Commun.* 11 (2020) 2002, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15873-x>.
6. H. Kim, J. Kim, J. Kim, G.H. Han, W. Guo, S. Hong, H.S. Park, H.W. Jang, S.Y. Kim, S.H. Ahn, Dendritic gold-supported iridium/iridium oxide ultra-low loading electrodes for high-performance proton exchange membrane water electrolyzer, *Appl. Catal. B Environ.* 283 (2021), 119596, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.119596>.
7. P. Zhai, Y. Zhang, Y. Wu, J. Gao, B. Zhang, S. Cao, Y. Zhang, Z. Li, L. Sun, J. Hou, Engineering active sites on hierarchical transition bimetal oxides/sulfides heterostructure array enabling robust overall water splitting, *Nat. Commun.* 11 (2020), <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19214-w>.
8. H. Su, S. Song, S. Li, Y. Gao, L. Ge, W. Song, T. Ma, J. Liu, High-valent bimetal Ni₃S₂/Co₃S₄ induced by Cu doping for bifunctional electrocatalytic water splitting, *Appl. Catal. B Environ.* 293 (2021), 120225, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120225>.
9. J. Huang, S. Wen, G. Chen, W. Chen, G. Wang, H. Fan, D. Chen, C. Song, M. Li, X. Wang, L. Li, M. Tao, B. Li, X. Wang, K. Ostrikov, Multiphase Ni-Fe-selenide *Environ.* 277 (2020), 119220, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.119220>.
10. U. De Silva, J. Masud, N. Zhang, Y. Hong, W.P.R. Liyanage, M.A. Zaem, M. Nath, Nickel telluride as a bifunctional electrocatalyst for efficient water splitting in alkaline medium, *J. Mater. Chem. A* 6 (2018) 7608–7622, <https://doi.org/10.1039/c8ta01760c>.
11. Q. Gao, C.-Q. Huang, Y.-M. Ju, M.-R. Gao, J.-W. Liu, D. An, C.-H. Cui, Y.-R. Zheng, W.-X. Li, S.-H. Yu, Phase-selective syntheses of cobalt telluride nanofleeces for efficient oxygen evolution catalysts, *Angew. Chem. Int. Ed.* 56 (2017) 7769–7773, <https://doi.org/10.1002/anie.201701998>.
12. M. Sadaqat, L. Nisar, N.-U.-A. Babar, F. Hussain, M.N. Ashiq, A. Shah, M.F. Ehsan, M. Najam-Ul-Haq, K.S. Joya, Zinc-telluride nanospheres as an efficient water oxidation electrocatalyst displaying a low overpotential for oxygen evolution, *J. Mater. Chem. A* 7 (2019) 26410–26420, <https://doi.org/10.1039/c9ta07171g>.



УДК: 539.183.2; 546.02.

Турсунбой СОЛИЕВ,

Докторант 2-курса Навоийского государственного педагогического института
tursunboy.soliyev@bk.ru

Амрулло МУЗАФАРОВ,

Доктор химических наук, и.о. профессора

Навоийского государственного горно-технологического университета
a.muzaffarov@ngmk.uz

Гулчехра АЛЛАБЕРГАНОВА,

Доктор по химическим наукам, доцент

Навоийского государственного горно-технологического университета

НКМК да Янги инновацион технологияларни жорий этиш бўлим бошлиги т.ф.д., доц У.З.Шарафутдинов тақризи асосида

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ФАКТОРА НАРУШЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО РАВНОВЕСИЯ МЕЖДУ РАДИОНУКЛИДАМИ В ЦЕПОЧКЕ РАСПАДА УРАНА

Аннотация

В данной статье приведены результаты теоретического и экспериментального исследования по определению факторов нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана. Найдено теоретическая расчетная формула смешения дочерних радионуклидов в цепочке распада урана и на основании данной формулы рассчитаны расстояния смешения между дочерними радионуклидами. Построен схематический вид смешения дочерних радионуклидов между собой за счет энергии отдачи.

Ключевые слова: Цепочки распада урана, факторы распада, радиоактивное равновесие, энергия отдачи, законы распада ядра, число атомной массы ядро, число протонов, дочерние радионуклиды, расстояние смешения.

DETERMINATION OF THE MAIN FACTOR OF RADIOACTIVE EQUILIBRIUM BREAKING BETWEEN RADIONUCLIDES IN THE URANIUM DECAY CHAIN

+Abstract

This article presents the results of a theoretical and experimental study to determine the factors of disruption of the radioactive equilibrium coefficient between radionuclides in the uranium decay chain. A theoretical calculation formula for the mixing of daughter radionuclides in the uranium decay chain is found, and based on this formula, the mixing distance between daughter radionuclides is calculated. A schematic view of the mixing of daughter radionuclides between themselves due to the recoil energy is constructed.

Key words: Uranium decay chains, decay factors, radioactive equilibrium, recoil energy, nuclear decay laws, atomic mass number, number of protons, daughter radionuclides, mixing distance.

УРАН ЕМИРИЛИШ ЗАНЖИРИ РАДИОНУКЛИДЛАРИ ОРАСИДАГИ РАДИОАКТИВ МУВОЗНАТ БУЗИЛИШНИНГ АСОСИЙ ОМИЛИНИ АНИҚЛАШ

Аннотация

Ушбу мақолада уран емирилиш занжири радионуклидлари орасидаги радиоактив мувозанат коэффициенти бузилиш омилларини ўрганиш бўйича назарий ва экспериментал тадқиқотлар келтирилган. Уран емирилиш занжирида ҳосиллави радионуклидларни силжишнинг назарий ҳисоблаш формуласи топилди ва шу формула асосида ҳосиллави радионуклидлар орасидаги силжиш масофаси ҳисоблаб топилди. Тепки энергия натижасида радионуклидларнинг ўзаро силжиш схематик кўриниши тасвирланган

Калит сўзлар: Уран емирилиш занжири, емирилиш омиллари, радиоактив мувозанат, тепки энергия, ядровий емирилиш қонунлари, атом масса сони, протон сони, радионуклидлар, силжиш масофаси.

Введение. В урановом производстве придется иметь дело с радиоактивными элементами излучающие вредных ионизирующих излучений. Из литературных данных известно [1-2] что, природный уран состоит их трёх естественных радионуклидов - ^{238}U , ^{235}U и ^{234}U . Их количественное соотношение составляет ^{238}U -99,27%, ^{235}U -0,72%, ^{234}U -0,0053%, а удельная активность данных радионуклидов во взаимном радиоактивном равновесии составляет - $1,23 \cdot 10^4$ Бк/г, $4,9 \cdot 10^4$ Бк/г и $2,3 \cdot 10^8$ Бк/г соответственно [3-5]. А мире проведённые в последние годы исследование показывают [7-9] что, происходит нарушения радиоактивного равновесия между данными радионуклидами в цепочки распада урана, отрицательно влияющее на качество готовой продукции урана и создающий дополнительный гамма-фон ионизирующего излучения. Существует множество ядерно-физические факторы являющие причинами нарушений радиоактивного равновесия между данными радионуклидами, таких как возраст минералов, миграционные коэффициенты радионуклидов, геохимические факторы, энергии отдачи, геотехнологическая условия выщелачивание и т.д. [10-16].

Для определения главного фактора нарушения радиоактивного равновесия между дочерними радионуклидами в цепочке распада урана из вышеперечисленных, целесообразным является проведения теоритического и экспериментального исследования по определению факторов нарушения радиоактивного равновесия между дочерними радионуклидами.

Целью данной исследование является проведения теоретического и экспериментального исследования определение главного фактора нарушения радиоактивного равновесия между дочерними радионуклидами для решения актуальных задач ядерной физики, радиоэкологии и технологии получения готовой продукции урана.

Уровень изученности проблемы: Анализ литературы зарубежных и отечественных исследователей показывает, что факторы нарушения радиоактивного равновесия между дочерними радионуклидами в цепочке распада урана мало изучена. В литературе приведены лишь некоторые причины нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между радионуклидами цепочки распада урана. Изучив разнообразие ядерно-физические свойства химических элементов, исследовав механизма энергии отдачи, свойства дочерних радионуклидов и так далее факторов можно определить главного из них. Радионуклиды в замкнутой гомогенной системе находятся в состоянии радиоактивном равновесие между собой. С течением времени в ядрах радиоактивных элементах происходит ядерные превращение на основание α – и β - распада. Материнское ядро ^{238}U на основание α – распада и β – распада превращается стабильное ^{206}Pb .

Известно, что удельной активности каждого радионуклида имеет различные значение, то есть активность 1 г ^{238}U равна 12 500 Бк, а активность 1 г ^{226}Ra равна $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк и т.д.[13-14].

Кроме вышеперечисленных, в зарубежных и отечественных литературах имеется информация что нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами может быть связана с возрастом минералов [15, 16].

Теоретический часть исследования. Как известно, при α -распаде дочерние радионуклиды урановой цепочки получает энергии отдачи. Данная реакция может быть написано следующим образом:

$$M_{\alpha}E_{\alpha} = M_{\text{отд}}E_{\text{отд}} \quad (1)$$

где M_{α} и E_{α} – масса и энергия альфа-частицы, соответственно, а $M_{\text{отд}}$ и $E_{\text{отд}}$ – масса и энергия перетерпевшего распада радионуклида. Для того чтобы альфа-распад был энергетически возможен, должно выполняться следующее неравенство:

$$M(A, Z) > M(A - 4, Z - 2) + M(^4_2\text{He}) \quad (2)$$

то есть масса (энергия) материнского ядра должна быть больше суммы масс (энергий) образовавшегося ядра и α -частицы. Избыточная энергия родительского ядра при α -распаде высвобождается в виде кинетических энергий частиц:

$$E_{\text{пол}} = [M(A, Z) - M(A - 4, Z - 2) - M(^4_2\text{He})]c^2 = E_{\alpha} + E_{\text{отд.я}} \quad (3)$$

здесь $E_{\text{отд.я}}$ - кинетическая энергия импульсного ядра, E_{α} - энергия связи α - частицы.

Если распадающееся ядро находится в относительно стабильном состоянии, то их импульсы будут

$$P_{\alpha} = P_{\text{отд.я}} \quad (4)$$

Тогда кинетическая энергия образовавшегося дочернего ядра из уравнения импульса (4), выражается следующим:

$$E_{\text{отд.я}} = \frac{E_{\alpha}M_{\alpha}}{M_{\text{отд.я}}} \quad (5)$$

в соответствии с (3)

$$E_{\text{пол}} = \left(1 + \frac{M_{\alpha}}{M_{\text{отд.я}}}\right) E_{\alpha} \quad (6)$$

$$E_{\alpha} = \left(\frac{M_{\text{отд.я}}}{M_{\alpha} + M_{\text{отд.я}}}\right) E_{\text{пол}} \quad (7)$$

здесь $M_{\text{отд.я}}$ - импульсная масса ядра.

При альфа-распаде радионуклида энергия альфа-частицы, высвобождаемой из материнского ядра, вызывает изменение его положения. Потому что альфа-частица, является одной из самых тяжелых элементарных частиц имеющий электрический заряд равный на 2, а атомное массовое число равный на 4. Так как альфа-частицы имеет самый большой массы из частиц имеющих в природе при вылете из ядра они заставляют дочерних радионуклидов перемещаться на определенное расстояние от первоначального своего местоположения. Чтобы найти, на какое расстояние переместился дочерний радионуклид за счет альфа-распада, используется следующая формула [6].

$$\delta = \frac{(M_{\alpha} + M_{\text{U}}) * (M_{\alpha} * E_{\text{k}}^{\text{U}} * N_{\text{A}}) * (Z_{\text{U}}^2 + Z_{\alpha}^2)}{(M_{\text{U}} * Z_{\text{U}} * Z_{\alpha} * \rho)} \quad (8)$$

Здесь M_{α} и M_{U} - масса альфа-частицы и ядра урана (материнского ядра), E_{k}^{U} - энергия реакции радионуклида, Z_{U} и Z_{α} - число заряда в ядре урана и число заряда альфа-частицы соответственно, ρ - плотность ядра.

Полученные результаты и их обсуждений. По формуле (8) вычислено, насколько далеко сместились радионуклиды в результате энергии отдачи альфа-распаде. Ядерно-физические характеристики альфа-распада радионуклидов в цепочке распада урана и их расчётные расстояния смещения приведены в таб.1.

Таблица 1

Ядерно-физические характеристики альфа-распада радионуклидов в цепочке распада урана и их расчётные расстояния смещения.

Радионуклид	E_{α} - энергия альфа -распада, МэВ	$E_{\text{отд}}$ - энергия отдачи, МэВ	Z	δ - расчётная расстояния смещение радионуклида. (нм)
1	2	3	4	5
^{238}U	4,196	0,0700	92	17,10
^{234}U	4,777	0,0816	92	19,81
^{230}Th	4,688	0,0813	90	19,99
^{226}Ra	4,785	0,0846	88	21,02
^{222}Rn	5,490	0,0989	86	24,81
^{218}Po	6,002	0,1100	84	27,87
^{214}Po	7,692	0,1438	84	36,44

Как видно из результатов приведенных в таб. 1 расчётные расстояния смещения дочерних радионуклида в столбце 5 взаимосвязано с радиусом и атомном массовым числом радионуклида. То есть чем больше атомное массовое

число радионуклида тем меньше её расстояние смещения, а именно для - ^{238}U - 17,1 нм, ^{234}U - 19,81 нм, ^{230}Th - 19.99 нм, ^{214}Po - 36,44 нм. и т.д.

Зная о взаимосвязи атомное массовое число радионуклида с её расстоянием смещения можно найти на какое расстояние смещается радионуклид в течение 1 сек., так как период полураспада - $T_{1/2}$ каждого радионуклида имеет свое постоянное значение.

Таблица 2

Ядерно-физические постоянные радионуклидов и их взаимосвязные характеристики

Радио-нуклид	Масса в 1 гр	Период полураспада, $T_{1/2}$	Кол-во частиц в данной массе, шт	Кол-во частиц исп-мых за 1 с, шт	Расстояние смещения РН за один акт распада, δ (нм)	Расстояние смещения РН за 1 с, мкм
1	2	3	4	5	6	7
^{238}U	1,00	4,5·10 ⁹ лет	25,2·10 ²⁰	8900	17,10	152,2
^{234}U	53,41·10 ⁻⁶	2,5·10 ⁵ лет	1,3·10 ¹⁴	8700	19,81	172,3
^{230}Th	173·10 ⁻¹⁰	8,0·10 ⁴ лет	4,5·10 ¹⁶	8920	19,99	178,4
^{226}Ra	0,34·10 ⁻⁹	1602 лет	9,0·10 ¹⁴	8918	21,02	187,4
^{222}Rn	0,22·10 ⁻¹⁴	3.8 сутка	6,0·10 ⁹	9100	24,81	225,8
^{218}Po	12·10 ⁻¹⁶	3.1 мин	3,3·10 ⁹	8870	27,87	247,2
^{214}Po	10·20	1,6·10 ⁻⁴ с	28,0·10 ³	8750	36,44	318,9

Из табл. 2 видно, что в 1. 2, 3 и 4 столбах таблицы приведены ядерно-физические постоянные радионуклидов, а 5, 6 и 7 столбах приведены, количество частиц испускаемых за 1 с (5), расстояние их смещения за один акт распада (6) и расстояние смещения за 1 сек (7). Как видно из результатов приведенные в столбец (5) таб. 2. количество частиц испускаемых за 1 с для радионуклидов - ^{238}U составляет 8900 шт., ^{234}U составляет 8700 шт., ^{230}Th составляет 8920 шт., ^{226}Ra составляет 8918 шт., ^{222}Rn составляет 8970 шт., ^{218}Po составляет 8870 шт., ^{214}Po составляет 8750 шт. Количество частиц испускаемых за 1 с для радионуклидов изменяется в пределах от 8700 шт до 9100 шт. и в средних 8860 шт. Данный факт показывают что при радиоактивном равновесии количество частиц испускаемых в течении одиноковых времени составляет одиноковых чисел.

На основе закона сохранения импульса тела, чем больше масса радионуклида, тем меньше его расстояние смещение полученное при альфа-распаде то есть расстояние смещения радионуклидов за 1 с. - ^{238}U составляет - 152,2 мкм., ^{234}U составляет - 172,3 мкм., ^{230}Th составляет - 178,4 мкм, ^{226}Ra составляет - 187,4 мкм., ^{222}Rn составляет - 225,8 мкм., ^{218}Po составляет - 247,2 мкм., ^{214}Po составляет - 318,9 мкм. Данный факт, в свою очередь, подтверждает, что фундаментальный закон физики - закон сохранения импульса выполняется даже при радиоактивном распаде.

На основании проведенных расчетных данных можно построить графической взаимосвязи с атомным массовым числом радионуклида с её расстоянием смещения Рис 1.

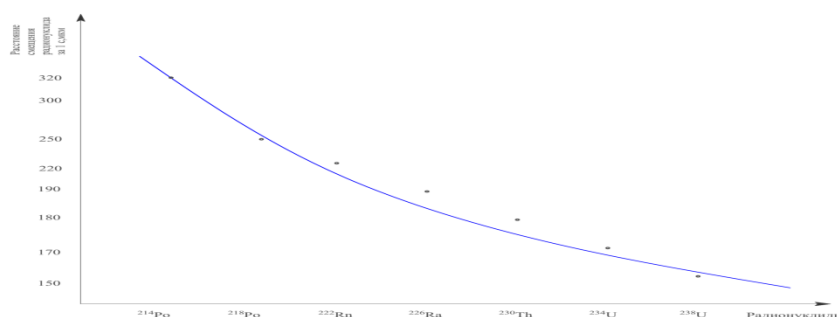


Рис.1. Взаимосвязи с атомным массовым числом радионуклида с её расстоянием смещения

Как видно из рис. 1. из радионуклидов - ^{238}U за один акт распада смещается на расстояние 17,10 нм., при покидание 8990 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 152,2 мкм., - ^{234}U за один акт распада смещается на расстояние 19,81 нм., при покидание 8700 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 172,3 мкм., - ^{230}Th за один акт распада смещается на расстояние 19,81 нм., при покидание 8920 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 178,4 мкм., - ^{226}Ra за один акт распада смещается на расстояние 21,02 нм., при покидание 8918 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 187,4 мкм., - ^{222}Rn за один акт распада смещается на расстояние 24,81 нм., при покидание 9100 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 225,8 мкм., ^{218}Po за один акт распада смещается на расстояние 27,87 нм., при покидание 8870 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 247,2 мкм., ^{214}Po за один акт распада смещается на расстояние 36,44 нм., при покидание 8750 штук альфа-частиц данный радионуклид смещается на расстояние - 318,9 мкм.

Таким образом найдено, что при альфа-распаде дочерний радионуклид получает энергии отдачи и смещается на определенную расстоянию от материнского ядра. На основе данных фактов можно сделать вывод, что дочерние радионуклиды цепочки распада урана, образующие при альфа-распадах, смещаются на определенную расстоянию от материнского ядра за счет энергии отдачи и происходит нарушению радиоактивного равновесия между радионуклидами в данном объекте.

В результате теоретических расчетов и существующих ядерно-физических постоянных цепочки распада урана найдены количество альфа-частиц испускаемых за 1 с, расстояние их смещения за один акт распада и расстояние смещения за 1 сек. Из полученных результатов стало понятно что количество частиц испускаемых за 1 с для радионуклидов сепочки распада урана изменяется в пределах от 8700 шт до 9100 шт. и в средних 8860 шт. Установлен

факт что при радиоактивном равновесии в объектах количество частиц испускаемых в течении одиноковых времени составляет одиноковых чисел. И на основе закона сохранения импульса тела, чем больше масса радионуклида, тем меньше его расстояние смещение. Данным подтверждается, что фундаментальный закон физики - закон сохранения импульса выполняется даже при радиоактивном распаде.

На основании графической взаимосвязи с атомным массовым числом радионуклида с её расстоянием смещения установлены, что радионуклиды цепочки распада урана - ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po и ^{214}Po за один акт распада смещается на различные расстояния, при различных количествах альфа-частиц данные радионуклиды смещаются на различные расстояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акатов А., Коряковский Ю.. Краткая энциклопедия урана. «Петерфонд», 2013. – С. 13-17.
2. Музафаров А.М., Сатторов Г.С., Глозов Г.Н. О вопросе нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между изотопами урана //Горный Вестник Узбекистана. 2011., №1.(44). – С. 57-60.
3. Музафаров А.М. Методика предварительной отсенки радиоактивности природных вод //Горный Вестник Узбекистана, 2017. №1.(68). – С. 147-149.
4. Музафаров А.М., Саттаров Г.С. Радиоизотопы в природных водах Кызылкумского региона //Горный журнал, Москва, 2017. Спец выпуск. – С. 86-89.
5. Soliyev T.I., Muzafarov A.M. Investigation of the causes of violations of the radioactive balance between radionuclides of the uranium decay chain. // International journal multicultural and multireligious understanding. Germany. Volume 8. №6. June 2021. -PP. 95-101.
6. Bernard Bourdon, Simon Turner, Gideon M. Henderson, Craig C. Lundstrom. Introduction to U-series Geochemistry. 2021. - PP. 2-6.
7. Музафаров А.М., Саттаров Г.С.. Исследование изотопного состава урана альфа-спектрометрическим методом //Горный Вестник Узбекистана. 2005., №2.(21). – С. 94-98..
8. Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Muzafarov A.M., Jurakulov A.R. Method for conducting of uranium isotopic analysis in various natural waters of uranium-bearing regions of Uzbekistan //International Journal of Academic Multidisciplinary Research (IJAMR). October 2019. – Washington DC, -PP.52-55.
9. Музафаров А.М., Сатторов Г.С., Петухов О.Ф. Исследование изотопного состава урана альфа – спектрометрическим методом. //Горный Вестник Узбекистана. 2005., №2.(21). – С. 94-98..
10. Джабиев О.А. Закономерности пространственного распределения урана и радия на северном фланге месторождения инкай (Республика Казахстан). //Проблемы геологии и освоения недр. Секция 3 . Месторождения полезных ископаемых. Методика поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Геоинформационные системы в геологии. – С. 177-179
11. Андреев В.И., Рашидов В.А., Фистров П.П. “Радиоактивное равновесие в вулканических породах и поствулканических образованиях” //Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы» Петропавловск-Камчатский ИВиС ДВО РАН, 2012. - С. 98-102
12. Абрамов А.А., Бадун Г.А. «Основы радиохимии и радиоэкологии» //Москва – Баку. 2011. – С. 28-34
13. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Бадалов К.А. Исследование факторов нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами цепочки распада урана. //Научный Вестник СамГУ. №5, 2021. – С. 162-167.



UDK: 544.526.5

Erkin ZAXIDOV,

*Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси профессори, ф.-м.ф.д.
e-mail: ezakhidov@hotmail.com*

Aziz SAPARBAYEV,

*O‘z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, катта илмий ходими ф.-м.ф.
e-mail: saparbaevaziz83@gmail.com*

Ilhom TAJIBAYEV,

*Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, етакчи илмий ходими ф.-м.ф.
e-mail: ilhom.tajibojev@gmail.com*

Abror TURGUNBOEV,

*O‘z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, стажyor-tadqiqotchisi
e-mail: turgunovabror9606@gmail.com*

Sevara ABDULLAYEVA,

*Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy magistr talabasi
e-mail: sevarakhonabdullayeva@gmail.com*

Ilhom BOYNAZAROV,

*O‘z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Конденсирланган мухитлар оптикаси лабораторияси, кичик илмий ходими
e-mail: ilhomboynazarov0821@gmail.com*

ЎзМУ доценти, м.-ф.ф.н, Ф.Б.Эшонкулов тақризи асосида

PHOTOVOLTAIC PARAMETERS OF POLYMER SOLAR CELLS BASED ON PTBFTPD:PC71BM ACTIVE LAYER

Abstract

In recent years, much attention has been paid to renewable energy sources. In this work, the photovoltaic parameters of solar cells based on the PTBFTPD:PC71BM polymer are studied under various conditions. Active layers of polymer solar cells based on the donor-acceptor material (PTBFTPD:PC71BM) were obtained in different mass ratios and the photovoltaic parameters of the solar cell were improved due to 1,8-diodocant as an additive to the solution, then the active layers were coated by the spin-coating method at different speeds.

Key words: PTBFTPD:PC71BM, “spin coating”, polymer solar cell, 1,8-diiodooctan, photovoltaic parameters

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО СЛОЯ PTBFTPD:PC71BM

Аннотация

В последние годы большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии. В данной работе исследованы фотовольтаические параметры солнечных элементов на основе полимера PTBFTPD:PC71BM в различных условиях. Полимерные солнечные элементы на основе донорно-акцепторного материала (PTBFTPD:PC71BM) были получены в различных массовых соотношениях и улучшены фотоэлектрические параметры солнечного элемента за счет добавления в раствор 1,8-диодоканта, затем активные слои были покрыты методом “spin coating” на разных скоростях.

Ключевые слова: PTBFTPD:PC71BM, “spin coating”, полимерные солнечные элемент, 1,8-дидиодоктан, фотоэлектрические параметр.

PTBFTPD:PC71BM ASOSIDAGI POLIMER QUYOSH ELEMENTLARINING FOTVOLTAIK PARAMETRLARI

Annotatsiya

So‘nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga katta e‘tibor qaratilmoqda. Ushbu maqolada PTBFTPD:PC71BM polimer asosidagi quyosh elementlarining turli xil sharoitlardagi fovoltaik parametrlari tadqiq qilindi. Xususan PTBFTPD:PC71BM asosidagi polimer quyosh elementlarining faol qatlami turli tezliklarda “spin coating” usulida qoplandi, PTBFTPD va PC71BM donor-akseptor materiallari massa bo‘yicha har-xil nisbatda olinib uning tarkibiga qo‘shimcha sifatida 1,8-diodoktan kiritish orqali quyosh elementining fovoltaik parametrlari yaxshilanishiga erishildi.

Kalit so‘zlar: PTBFTPD:PC71BM, “spin coating”, polimer quyosh elementi, 1,8-diodoktan, fovoltaik parametrlar.

So‘nggi yillarda hajmiy geterostrukturaga ega polimer quyosh elementlari (PQE) arzon narxlarda ishlab chiqarish imkoniyati, yengil vazni, egiluvchanligi va oson ishlab chiqarishning asosiy afzalliklari bilan katta e‘tiborni tortdi [1]. Hajmiy geterostrukturaga ega PQElarda faol qatlam har doim konjugatsiyalangan polimerlarni va fulleren hosilasini (masalan, [6,6]-fenil C61-butirik kislota metil esteri (PC61BM) yoki [6,6]-fenil C71-butirik kislota metil esteri, (PC71BM)) o‘z ichiga oladi. Fulleren hosilalarini aomillashtirish bilan birga kelajakda tijorat maqsadlarini amalga oshirish uchun yangi yuqori samarali

konjugatsiyalangan polimerlar ham doimiy ravishda ishlab chiqilishi kerak [2]. Konjugatsiyalangan polimerlar bu organik makromolekulalar bo'lib, ular o'zgaruvchan ikki yoki bitta bog'larning tarmoqlangan magistral zanjiri bilan tavsiflanadi. Ularning bir-biriga o'xshash p - orbitallari delokalizatsiyalangan p -elektronlar tizimini yaratadi, bu esa samarali optik va fotovoltaiik xususiyatlarni keltirib chiqarishga imkon beradi. Yangi konjugatsiyalangan polimerlarga asoslangan PQElarni yasash nuqtai nazaridan eng muvaffaqiyatli strategiya donor-akseptor (D-A) aralashmasini qo'llashdir. D-A aralashmali konjugatsiyalangan polimerlar katta afzalliklarga ega, masalan: 1) quyosh fotonlarini ko'proq yig'ish uchun yuqori yutilish koeffitsienti bilan birga keng yutilish spektriga ega; 2) optimal va osongina sozlanishi mumkin bo'lgan molekulyar energiya sathga egaligi, natijada akseptorlarga mos keladigan ko'proq donor polimerlarni olishni ta'minlaydi; 3) va eng asosiysi zaryadni ajratish va tashishni osonlashtiradigan yaxshilangan zaryad harakatchanligiga ega [3].

Hozirgi kunda PQE lar sohasida EO'S bo'yicha 18 % li natijaga erishildi[4]. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida PQElar qiziqarli xossalarga ega, masalan, ular xona haroratida eritmani qayta ishlash orqali ishlab chiqarilish mumkin bo'lgan, yupqa va mexanik moslashuvchan, yengil quyosh elementlari bo'lishi tufayli olimlar tomonidan katta qiziqish uyg'otgan. Shu sababli, dunyo olimlari xona haroratida eritma bilan donor-akseptorni aralashtirib faol qatlarni sintez qilish orqali hajmiy geterostrukturali PQE larni ishlab chiqish, optimal donar-akseptor materiallarni sintez qilish, ularning degeradatsiyasi, barqarorligi va samaradorligini oshirish borasida tadqiqot ishlarini olib borilmoqda [5].

Bu ishda PTBFTPD (tieno {2,3-f} benzofuran (TBF) va tienopirredion (TPD) birikmalariga ega) asosidagi PQElarning fotovoltaiik xususiyatlari hamda uning tarkibiga qo'shimcha kiritish orqali samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqot olib bordik. Buning uchun eng avvalo PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQEni yasash usuli bilan qisqacha tanishib chiqamiz.

PQElarni yasash quyidagi ITO/PEDOT:PSS/PTBFTPD:PC71BM/PFN/Al struktura orqali amalga oshirildi, buning uchun qatlam qarshiligi 15 Om/sm² bo'lgan ITO (indi y qalay oksidi) qoplangan shisha tagliklar ultratovush vannada ultra toza suv, aseton va izopropil spirti bilan tozalanadi, keyin 6 daqiqa kislorod plazmasi bilan ishlov berilgach, PEDOT:PSS(poli(3,4-etilendioksitiofen) polistirol sulfonat) "spin coating" usulida (4000 ayl/daq., 20 sek.) yupqa qatlami ITO ustiga yotqiziladi. Keyin 20 daqiqa davomida 160 °C haroratli pechkada quritildi. PTBFTPD va PC71BM 10 mg/ml polimer donor konsentratsiyasi bilan bog'liq proprorsiyada xlorobenzolda eritildi. Eritma bir necha soat davomida xona haroratida aralashtirildi va PEDOT:PSS qatlam ustiga "spin coating" usuli bilan qoplanadi [6]. Faol qatlarning qalinligi ~ 110 nm bo'ladi. Keyin PFN poly[(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamion)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctyl)-fluorene]ning metanol eritmasidan (2,0 mg/ml) yupqa qatlami 30 soniya davomida 2000 ayl/daq tezlikda faol qatlamga "spin coating" orqali qoplanadi. Nihoyat, qalinligi 100 nm bo'lgan Al qatlami katod sifatida termik bug'lantirish usulida faol qatlamga $4 \cdot 10^{-4}$ Pa bosim ostida qoplanadi.

PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQElarni turli sharoitlarda tayyorlab, ularning ochiq zanjir kuchlanishi (Voc), qisqa tutashuv tok oqim zichligi (Jsc), to'ldiruvchi faktor (FF), energiya o'zgartirish samaradorligi EO'S kabi fotovoltaiik parametrlarini tadqiq qilamiz. 1-2 va 3-jadvallarda donor-akseptor materiallari eritmasi massa ulushi bo'yicha turli nisbat (1:1, 1:1.5 va 1:2)da olingan va 30 sekund davomida turli xil aylanish tezliklarda "spin coating" usuli bilan qoplangan PTBFTPD:PC71BM asosli PQE larning fotovoltaiik parametrlari ko'rsatilgan.

1-jadval-Massa ulushi bo'yicha 1:1 nisbatda olingan PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQE larning fotoelektrik xarakteristikalarini.

Aylanish tezligi (ayl/daq)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	0,99	3,52	38,98	1,13
1500	1,01	2,81	40,06	1,39
1700	0,98	1,62	40,64	1,12
2000	0,99	1,8	40,90	0,73

2-jadval-Massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olingan PTBFTPD:PC₇₁BM asosidagi PQE larning fotoelektrik xarakteristikalarini.

Aylanish tezligi (ayl/daq)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	1,01	3,91	41,95	1,7
1500	1,02	4,1	42,73	1,8
1700	0,95	3,11	43,64	1,3
2000	0,96	2,95	43,68	1,24

3-jadval-Massa ulushi bo'yicha 1:2 nisbatda olingan PTBFTPD:PC₇₁BM asosidagi PQE larning fotoelektrik xarakteristikalarini.

Aylanish tezligi (ayl/daq)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	0,97	3,45	44,57	1,51
1500	1,01	3,7	45,69	1,73
1700	0,98	3,73	44,80	1,65
2000	0,98	3,23	44,28	1,4

Bunda faol qatlarni hosil qiluvchi "Spin-coating" usulida qurilmaning aylanish tezligi 1200 ayl/daq dan 2000 ayl/daq gacha olindi. Faol qatlam qalinligi qurilmaning aylanish tezligi bilan bog'liq bo'lib aylanish tezligi ortishi bilan faol qatlam qalinligi kamaya boradi [7]. 1-jadvalda faol qatlam tarkibidagi PTBFTPD:PC₇₁BM D-A materiallari eritmada massa ulushi bo'yicha 1:1 nisbatda, 2-jadvalda 1:1.5 va 3-jadvalda 1:2 nisbatda olindi. Jadvallardagi fotovoltaiik parametrlari bo'yicha olingan natijalarni tahlil qiladigan bo'lsak, faol qatlarni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligini oshirib borgan sayin PQE ning

EO'S qiymati dastlab oshib ma'lum qiymatga erishgandan so'ng kamayishini ko'rishimiz mumkin. PTBFTPD:PC71BM asosli PQE uchun olingan natijalardan optimal bo'lgan EO'S qiymati 1.8 % bo'lib u donor-akseptorlarni 1:1.5 nisbati hamda faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligi 1500 ayl/min ga to'g'ri keldi (2-jadval). Ochiq zanjir kuchlanishi qiymati taqriban 1 V ga teng bo'lib deyarli o'zgarmadi. Qisqa tutashuv tok zichligi qiymati ham faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligi ortishi bilan oshib ma'lum bir qiymatga erishgandan so'ng kamaydi va natijada maksimum qisqa tutashuv tok zichligi qiymati $J_{sc}=4.1 \text{ mA/sm}^2$ bo'ldi. Maksimum qisqa tutashuv tok zichligiga ham faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning 1500 ayl/min aylanish tezligida hamda PTBFTPD:PC71BM DA ning massa ulushi 1:1.5 nisbatda bo'lganda erishildi. Olingan natijalardan xulosa qilsak PTBFTPD:PC71BM asosli PQE lari uchun eng yaxshi fotovoltaiik parametrlar faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligiga bog'liq ekan. Biz o'rganayotgan PQE da optimal bo'lgan aylanish tezligi 1500 ayl/min ga teng bo'ldi. PQE larda faol qatlam qalinligi muhim parametrlardan biri hisoblanadi. Eng birinchi bog'liqlik bu faol qatlamga tushayotgan yorug'likning yutilish koeffitsientining miqdori faol qatlam qalinligiga bog'liq. Biroq PQE ning EO'S faol qatlam qalinligi oshishi bilan chiziqli ravishda oshmaydi va undan ham yomoni, faol qatlam qalinligi ma'lum bir qalinlikdan oshib ketganda PQE ning fototoki kamaya boshlaydi [4,7]. Shu sababli faol qatlam qalinligi uchun optimal qalinlikni, bir vaqtda EO'S va qisqa tutashuv tok zichligini optimallashtirish muhim hisoblanadi [4,5]. Demak biz o'rganayotgan PQE uchun optimal bo'lgan qalinlik 1500 ayl/min aylanish tezligida hosil qilindi (~200 nm). Bundan tashqari jadvallardagi natijalardan ko'rishimiz mumkinki, faol qatlam eritmasidagi donor-akseptor materiallarini massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olinganda fotovoltaiik parametrlar optimal bo'lishiga erishildi. Faol qatlamdagi donor va akseptor nisbati, D-A aralash faol qatlamlarning morfologiyasi va optoelektronik xususiyatlarini nazorat qilishda katta rol o'ynaydi va qurilmaning ishlashiga ham keskin ta'sir qiladi. Hajmiy geterostruktura aralashmasi morfologiyasi D-A nisbatini o'zgartirish orqali ham yaxshilanishi mumkin, bunday optimal D-A nisbat donor moddasining yuqqa faol qatlamlarda akseptor material bilan optimal faol qatlam hosil bo'lishini taminlaydi [7]. PQE elementlarda optimal D-A nisbatini tanlash orqali tashqi kvant samaradorlik hamda yorug'likni yutilish diapazon kengligi yaxshilanishiga olib keladi [8]. Biz o'rganayotgan PTBFTPD:PC₇₁BM asosli PQElarda D-A ning massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olingan natijalar D-A ning yaxshi aralashuviga hamda faol qatlam morfologiyasi yaxshilanishiga erishish mumkinligini ko'rsatdi.

Olingan bu natijalarni qiymatini yanada yaxshilash uchun o'rganayotgan D-A aralashma tarkibiga qo'shimcha sifatida 1,8-diodoktan (DIO)ni kiritildi. PTBFTPD:PC71BM asosli aralashma tarkibiga DIO ni qo'shimcha sifatida turli kichik konsentratsiyalarda kiritib ularning fotovoltaiik parametrlarini tahlil qildik. Bunda olingan natijalar 4-jadvalda keltirilgan. Qo'shimchaning ulushi D-A aralashmaning hajmi bo'yicha 2 %, 3 %, 4 %, va 5 % ni tashkil etadi. 4-jadvalda olingan natijalarni 2-jadvaldagi xuddi shu massa ulushi bo'yicha (1:1.5) olingan, lekin DIO qo'shimcha kiritilmagan PQE lar uchun olingan natijalar bilan solishtirsak, DIO qo'shimcha kiritilgandan so'ng ochiq zanjir kuchlanishi biroz kamaygan.

4-jadval. DIO ni qo'shimcha qo'shilgan PTBFTPD:PC71BM asosli PQE larning fotovoltaiik parametrlari

DIO qo'shimcha hajmiy ulushi (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
2	0,92	5,79	41,26	2,25
3	0,95	6,44	45,58	2,75
4	0,85	4,7	46,64	1,88
5	0,84	5,35	41,60	1,88

Leikin DIO qo'shimcha kiritilgach PQE larda qisqa tutashuv tok zichligi va EO'S qiymati oshganligini ko'rishimiz mumkin (4-jadval). PTBFTPD:PC71BM asosli PQE larga DIO ni qo'shimcha sifatida kiritganimizda eng yaxshi fotovoltaiik parametrlar 3 % ulushli konsentratsiyada hosil bo'ldi. Bunda ochiq zanjir kuchlanishi 0.95 V, qisqa tutashuv tok zichligi 6,44 mA/cm², to'ldirish faktori 45,58 % va EO'S esa 2,75 % ni tashkil qildi. DIO qo'shimchasini ko'p miqdorda qo'shilishi D-A faol qatlamning morfologiyasini yomonlashishga olib keladi, buni isbotini DIO qo'shimchani hajm bo'yicha 3% dan yuqori 4 va 5 % ulushda kiritilgan fotovoltaiik parametrlari qiymati kamayib ketishi bilan ko'rishimiz mumkin. Ammo, massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olingan PTBFTPD:PC71BM asosli aralashma eritmasiga 3 % ulushli DIO qo'shimchasini kiritganimizda EO'S qiymati 1.5 baravar oshdi va bu miqdordagi DIO qo'shimchasi optimal miqdor ekanini natijalar tasdiqlamoqda. Buni shunday tushuntirish mumkin, PQElarga qo'shimcha sifatida 1,8-diodoktan (DIO) dan foydalanish alohida kristallitlarning o'rtacha hajmiga ta'sir qilmaydi, balki ularning sonini oshiradi [9]. Bundan tashqari, DIO o'ziga xos o'lehamini saqlab, amorf domenlarda D-A larni o'zaro aralashishini yaxshilaydi [10]. DIO qo'shimchasini kerkali miqdorda faol qatlam eritmasi tarkibiga qo'shish orqali uning sirt morfologiyasini tartiblanishiga va buning natijasida eksitonlar dissotsiatsiya oshishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida eksitonlar rekombinatsiyasi kamayishi hamda qisqa tutashuv toki J_{sc} ni qiymatini oshiradi. DIO qo'shimchasini qo'shish orqali yuqori zaryad harakatchanligiga hamda EO'Sning kam miqdorda o'sishiga erishish mumkin [11]. So'ngi yillarda polimer asosli quyosh elementlari bo'yicha nashr etilgan maqolalarda faol qatlamni qizdirish bilan quyosh elementlarining bir qancha fizik xususiyatlarini yaxshilash mumkinligi haqida aytilgan [13]. Bu D-A faol qatlamni qizdirish metodi hajmiy geterostruktura ega bo'lgan PQE uchun morfologiyasi va struktura tartiblanishi kabi xususiyatlar uchun muhim hisoblanadi. Bu qizdirish usuli qo'llash uchun PTBFTPD:PC71BM (1:1.5) asosli PQE lari tarkibiga 3 % DIO qo'shimcha qo'shilgan eritmani 1500 ayl/min aylanish tezligida ITO/PEDOT:PSS ustiga qoplandi. Keyin faol qatlam plita ustida 100 OC haroratda 10 daqiqa davomida qizdirildi. Xuddi shu usulda bir qancha PTBFTPD:PC71BM asosli PQE lari hosil qilinib ularning fotovoltaiik parametrlari turli-xil sharoitlarda olindi. Olingan natijalar 5-jadvalda keltirilgan. Jadvalda olingan natijalarni yuqoridagi jadvaldagi qiymatlar bilan solishtiradigan bo'lsak faol qatlamni qizdirish PQE ning barcha fotovoltaiik parametrlari qiymati oshganligini ko'rishimiz mumkin.

5-jadval. Faol qatlami 100 OC haroratda qizdirilgan PTBFTPD:PC71BM asosli PQE lari fotoelektrik xarakteristikalarini.

Aylanish tezligi ayl/daq	V_{oc} (V)	J_{sc} , mA/sm ²	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	1,03	7,16	57,49	4,28
1500	1,02	7,69	57,86	4,58
1500	1,03	9,39	55,71	5,41

Faol qatlam 10 daqiqa 100 °C haroratda qizdirilgan quyosh elementining EO'S qiymati deyarli 2 baravar oshib 5,41 % qiymatga erishildi. 4-jadvaldagi natijalardan ko'rish mumkinki qizdirilmagan faol qatlamga asoslangan PQElarning 3 % miqdorda DIO kiritganimizda eng optimal EO'S qiymati 2,75% ga teng bo'lgan edi.

Xususan organik va polimer asosli quyosh elementlarini yasashda faol qatlam eritmasini "Spin-coating" usulida qoplagandan so'ng ma'lum vaqt davomida turli temperaturada qizdirish orqali biz quyosh elementlarining fotovoltaiik parametrlarini yanada yaxshilanishiga erishishimiz mumkin. PQE ni faol qatlam qoplagandan so'ng uni pechda qizdirish orqali faol qatlam sirt morfologiyasi hamda strukturasi yaxshilanadi. Chunki PQE faol qatlami qizdirganda ma'lum temperatura va vaqtdan so'ng faol qatlamda klasterlar hosil bo'ladi [12]. Qizdirish vaqti oshgani sayin klasterlar soni oshib ularning hajmi ham kattalashadi.

Olingan natijalar bo'yicha xulosa qilsak, PTBFTPD:PC71BM asosli konjugatsiyalangan PQElarning fotovoltaiik parametrlari faol qatlamni hosil qiluvchi "Spin Coating" usulida qurilmaning aylanish tezliklariga ham bog'liq. PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQE larning faol qatlamni hosil qiluvchi "Spin Coating" usulida qurilmning 1500 ayl/daq aylanish tezligi orqali optimal fotovoltaiik parametrlarga erishildi. Ya'ni PQE larni yasashda faol qatlam qalinliklari aylanish tezligi bog'liq bo'lib, o'z navbatida faol qatlam qalinligining optimal qiymati samaraliroq PQE yasashga imkon yaratadi. PTBFTPD:PC71BM (1:1.5) asosli PQE larining faol qatlam donar-akseptor eritmasi tarkibiga qo'shimcha sifatida DIO moddasini kichik konsentratsiyada kiritilib uning fotovoltaiik parametrlari yaxshilanishiga erishildi. Tarkibiga qo'shimcha 3 % DIO kiritganimizda biz o'rganayotgan PQE ning fotovoltaiik parametrlari qiymati eng optimali natija bo'ldi. DIO ning ishtiroki plyonkalarining tartibli bog'lanishi va zaryadlarning harakatchanligini va kristallanish morfologiyasini yaxshilashi tasdiqlandi. PTBFTPD:PC71BM faol qatlamga asoslangan PQE larni qizdirish orqali fotovoltaiik parametrlarini yanada yaxshilash mumkinligi va faol qatlamni qizdirish orqali EO'S deyarli 2 baravar oshib 2,75 % dan 5.41 % gacha bo'lgan natijaga erishildi.

ADABIYOTLAR

1. Wantz G. et al. Stabilizing polymer-based bulk heterojunction solar cells via crosslinking //Polymer international. – 2014. – T. 63. – №. 8. – C. 1346-1361.
2. Saranya, K., Md Rameez, and A. Subramania. "Developments in conducting polymer based counter electrodes for dye-sensitized solar cells—An overview." *European Polymer Journal* 66 (2015): 207-227.
3. Tore, Nesrin, et al. "Improvement in photovoltaic performance of anthracene-containing PPE-PPV polymer-based bulk heterojunction solar cells with silver nanoparticles." *Journal of nanoparticle research* 16.3 (2014): 1-8.
4. Xunchang Wang, Cong Xiao, Xiaokang Sun, Aziz Saparbaev, Shiyun Lei, Mingrui Zhang, Tian Zhong, Zhiya Li, Jiayi Zhang, Manxue Zhang, Yun Yu, Biao Xiao, Chunming Yang, Renqiang Yang, Hammer throw-liked hybrid cyclic and alkyl chains: A new side chain engineering for over 18 % efficiency organic solar cells, *Nano Energy*, Volume 101, 2022, 107538.
5. G. Li, V. Shrotriya, Y. Yao and Y. Yang, "Investigation of annealing effects and film thickness dependence of polymer solar cells based on poly(3-hexylthiophene)," *J. Appl. Phys.*, vol. 98, pp. 043704, 2005.
6. Bekir Sami Yilbas, Abdullah Al-Sharafi, Haider Ali, Chapter 3 - Surfaces for Self-Cleaning, Editor(s): Bekir Sami Yilbas, Abdullah Al-Sharafi, Haider Ali, *Self-Cleaning of Surfaces and Water Droplet Mobility*, Elsevier, 2019, Pages 45-98,
7. Lee D, Kim J, Noh S, Lee C. The thickness of active layer dependence of polymer solar cells. In 10th IEEE International Conference on Nanotechnology 2010 Aug 17 (pp. 1175-1178). IEEE.
8. C. J. Brabec, S. Gowrisanker, J. J. M. Halls, D. Laird, S. Jia, S. P. Williams, *Adv. Mater.* 2010, 22, 3839 – 3856.
9. X. Guo, M. Zhang, J. Tan, S. Zhang, L. Huo, V. Xu, Y. Li and J. Xou, *Adv. Mater.*, 2012, 24, 6536-6541.
10. Hammond, M. R. et al. Molecular Order in High-Efficiency Polymer/Fullerene Bulk Heterojunction Solar Cells. *ACS Nano* 5, 8248–8257 (2011).
11. Hedley, G. J. et al. Determining the Optimum Morphology in High-Performance Polymer-Fullerene Organic Photovoltaic Cells. *Nat. Commun.* 4, – (2013).
12. Collins, B. A. et al. Absolute Measurement of Domain Composition and Nanoscale Size Distribution Explains Performance in PTB7:PC71BM Solar Cells. *Adv. Energy Mater.* 3, 65–74 (2013).
13. O. Backe, C. Lindqvist, A. Diaz de Zerío Mendaza, S. Gustafsson, E. Wang, M. R. Andersson, C. Müller and E. Olsson, *Nanoscale*, 2015, 7, 8451–8456.



УДК: 539.183.2; 546.02.

Дилшод ХОЛОВ,

ассистент преподаватель Навоийский государственный педагогический институт

Амрулло МУЗАФАРОВ,

доктор PhD по техническим наукам Навоийский государственный горный институт

Гулчехра АЛЛАБЕРГАНОВА,

преподаватель кафедры «Физики» Навоийский государственный горный институт

Исобеков ХОЛБАЕВ,

доктор физико-математических наук, профессор

Национальный университет Узбекистана

Тақризчи: Б.И.Курбанов доктор технических наук Институт ядерной физики

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ И РАСЧЕТ СУММАРНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ГОДОВОЙ ДОЗЫ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРОЖИВАЮЩИХ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Аннотация

В данной статье приведены результаты оценки радиационной обстановки и расчёт индивидуальной годовой эффективной дозы для населения в районе уранового производства. Изучены методы измерений и технические характеристики измерительных радиометрических приборов эффективных годовых доз радиационных факторов. Определены значения - среднегодовой мощности экспозиционной дозы - МЭД, эквивалентной равновесной объёмной активности радона – ЭРОА, среднегодовой объёмной активности долгоживущих радионуклидов – ДАН и среднегодовой эффективной дозы внутреннего облучения за счёт активности употребляемой питьевой воды.

Ключевые слова: годовая эффективная доза, среднегодовой мощности экспозиционной дозы - МЭД, эквивалентная равновесная объёмная активности радона – ЭРОА, среднегодовая объёмная активности долгоживущих радионуклидов – ДАН и среднегодовая эффективная доза внутреннего облучения.

РАДИАЦИОН ОМИЛЛАР ТАЪСИРИ ОСТИДА ЯШОВЧИ АХОЛИ УЧУН РАДИАЦИОН ҲОЛАТНИ ЙИГИНДИ ЭФФЕКТИВ ЙИЛЛИК ДОЗАНИ ҲИСОБЛАШ

Аннотация

Ушбу мақолада радиациявий вазиятни баҳолаш ва уран ишлаб чиқариш соҳасида аҳоли учун индивидуал йиллик самарали дозани ҳисоблаш натижалари келтирилган. Барча нурланиш омилларидан самарали йиллик дозаларни ўлчаш усуллари ва радиометрик асбобларни ўлчашнинг техник тавсифлари ўрганилган. Қийматлари - ўртача йиллик таъсир қилиш дозаси даражаси – ЭДР, радоннинг эквивалент мувозанат ҳажмли фаоллиги - ЭЕВА, узок умр кўрадиган радионуклидларнинг ўртача йиллик ҳажмли фаоллиги - ДАН ва фаоллик туфайли ички таъсир қилишнинг ўртача йиллик самарали дозаси ичимлик суви микдори аниқланган.

Калит сўзлар: ўртача йиллик таъсир қилиш дозаси даражаси, узок умр кўрадиган радионуклидларнинг ўртача йиллик ҳажмли фаоллиги, ички таъсир қилишнинг ўртача йиллик самарали дозаси ичимлик суви

RADIOMETRIC ESTIMATION AND CALCULATION OF THE TOTAL EFFECTIVE ANNUAL DOSE FOR THE POPULATION LIVING UNDER THE INFLUENCE OF RADIATION FACTORS

Abstract

In this article we have provided calculation of the individual annual effective dose for the population in the area of uranium production. The methods and technical characteristics of radiometric instruments of effective annual doses from all radiation factors are studied. The values of - the average annual exposure dose rate - EDR, the equivalent equilibrium volumetric activity of radon - EEVA, the average annual volumetric activity of long-lived radionuclide's - DAN and the average annual effective dose of internal exposure due to the activity of drinking water are determined.

Keywords: annual effective dose, average annual exposure dose rate - EDR, equivalent equilibrium volumetric activity of radon - EEVA, average annual volumetric activity of long-lived radionuclides - DAN and average annual effective dose of internal exposure.

Актуальность Оценка радиационной обстановки в районе деятельности урановых производств проводится на постоянной основе и ведётся многолетний мониторинг изменения каждого радиационного фактора [1]. Эффективность проведённого мониторинга радиационной обстановки и мероприятия разработанных на основе этих замеров отражается в значениях годовой эффективной дозы [2]. Годовая эффективная доза радиационных факторов состоит из четырёх составляющих - среднегодовой мощности экспозиционной дозы - МЭД, эквивалентной равновесной объёмной активности радона – ЭРОА, среднегодовой объёмной активности долгоживущих радионуклидов - ДАН и среднегодовой эффективной дозы внутреннего облучения за счёт активности употребляемой питьевой воды.

Можно сказать, что радиометрическая оценка радиационной обстановки и расчёт суммарной эффективной годовой дозы для населения в районе влияния радиационных факторов является актуальной задачей ядерной физики и радиоэкологии [3].

Целью данного исследования является проведения радиометрической оценки радиационной обстановки и расчёт суммарной годовой эффективной дозы для населения в районе влияния радиационных факторов.

Для достижения поставленной цели проведены - измерение мощности эквивалентной дозы (МЭД, мкЗв/час) гамма-излучения, определение эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе атмосферы населённых пунктах (ЭРОА, Бк/м³), определение объемной активности долгоживущих альфа-нуклидов в воздухе атмосферы населённых пунктах (ДАН, Бк/м³) и расчёты годовой эффективной дозы населения (мЗв/год).

Полученные результаты и их обсуждение В данных исследованиях проведены замеры радиационных факторов в более пятидесяти наблюдательных точках и на основании этих результатов проведены расчёты суммарной годовой эффективной дозы от всех радиационно-опасных факторов для населения проживающих под влиянием радиации техногенного объекта [4].

Годовая эффективная доза облучения населения категории Б, проживающих в городах и поселках в пределах зон наблюдения предприятий и учреждений рассчитывается по формуле:

$$E_1 = 6,1 * 10^{-6} [1800 * (P_\gamma - P_\phi) + 7000 * K * (P_\gamma - P_\phi)] \quad (1)$$

где P_γ - среднегодовая МЭД гамма-излучения на местах на высоте 1 м от поверхности земли, (мкР/час), P_ϕ - фоновые значения МЭД на высоте 1 м от поверхности земли характерное для данной местности, (мкР/час). В нижеприведённом таб. 1. предоставлены результаты измерений МЭД гамма излучения и соответствующие значение годовых эффективных доз для населения 10 населённых пунктов.

Таблица 1

Результаты измерений МЭД гамма излучения в населённых пунктах

Место измерений	МЭД гамма излучения, мкЗв/ч	Годовой эффективной дозы, мЗв/ч
1-я точка замера	0,09-0,11	0,064-0,176
2-я точка замера	0,09-0,12	0,064-0,264
3-я точка замера	0,10-0,11	0,088-0,176
4-я точка замера	0,09-0,13	0,064-0,352
5-я точка замера	0,09-0,12	0,064-0,264
6-я точка замера	0,08-0,11	0,042-0,176
7-я точка замера	0,09-0,12	0,064-0,264
8-я точка замера	0,09-0,13	0,064-0,352
9-я точка замера	0,10-0,15	0,088-0,528
10-я точка замера	0,10-0,14	0,088-0,441

Как видно из результатов, приведённых в таб. 1., значение мощности эффективной дозы гамма-излучения в точках замеров от №1 до №8 определены на уровне фоновых значений для местности, то есть измениться в диапазоне от 0,09 мкЗв/ч до 0,13 мкЗв/ч. В точках замеров №9 и №10 значение мощности эффективной дозы гамма-излучения измениться диапазоне от 0,10 мкЗв/ч до 0,15 мкЗв/ч. Соответственно значения годовой эффективной дозы тоже в точках замеров от №1 до №8 измениться в диапазоне от 0,042 мЗв/ч до 0,352 мЗв/ч, а в точках замеров №9 и №10 значение годовой эффективной дозы гамма-излучения измениться диапазоне от 0,441 мЗв/ч до 0,528 мЗв/ч. Как видно в точках замеров №9 и №10 значения годовой эффективной дозы отличается от значений остальных точках замеров. Причиной этого является, что точки замеров №9 и №10 находится на ближнем расстоянии, чем остальные точки замеров №1,2,3,4,5,6,7,8.

Эффективная годовая доза от внутреннего облучения (E_2) обусловлена за счет значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних изотопов радона - ²²²Rn и торона ²²⁰Tn. Величины E_2 , характеризуют уровень риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T H_{T_i} \times W_{T_i} \quad (2)$$

где H_{T_i} - эквивалентная доза в органе или ткани - T_i ; W_{T_i} - взвешивающий коэффициент для органа или ткани - T_i . Единица эффективной дозы - зиверт (Зв). Ранее использовалась единица Бэр. 1 Бэр = 0,01 Зв. Расчет эффективных доз облучения, обусловленных наличием в воздухе долгоживущие продукты (ДПР или ЭРОА) радона, рассчитываются по следующей формуле:

$$E_2 = 2,29 * 10^{-10} (C_p - C_{p\phi}) * T \quad (3)$$

где C_p - среднегодовое значение соответственно (ДПР или ЭРОА) радона на рабочем месте, Бк/м³, $C_{p\phi}$ - фоновые значение соответственно (ДПР или ЭРОА) радона на рабочем месте, Бк/м³.

Таблица 2

Результаты измерений ЭРОА в населённых пунктах

Место измерений	ЭРОА, Бк/м ³	Годовой эффективной дозы, мЗв/ч
1-я точка замера	7	0,377

2-я точка замера	8	0,431
3-я точка замера	8	0,431
4-я точка замера	6	0,323
5-я точка замера	3	0,162
6-я точка замера	9	0,485
7-я точка замера	8	0,431
8-я точка замера	2	0,108
9-я точка замера	15	0,808
10-я точка замера	8	0,431

Из результатов таб. 2 видно - измерение эквивалентной равновесной объёмной активности (ЭРОА) радона в воздухе атмосферы, средние значения ЭРОА в атмосферном воздухе (помещений) находятся в интервале 2-15 Бк/м³ и не превышают значений допустимой среднегодовой объёмной активности (ДООА), установленной в соответствии с СанПиН №0193-06. п.3,1,7 для населения, относящегося к категории В (18,5Бк/м³). Эффективная доза (Е₃) от внутреннего облучения за счет активности долгоживущих альфа-радионуклидов (ДАН) в аэрозольных фракциях воздуха рассчитываются по следующей формуле:

$$E_3 = 3,18 \cdot 10^{-2} \cdot T \cdot [(C_1 - P_1) \cdot C_2] - (1 - P_1) \cdot C_3, \text{ мЗв/год} \quad (4)$$

где С₁ - среднегодовая суммарная альфа-активность ДАН в воздухе помещения, Бк/м³, С₂, С₃ - фоновые значения суммарной и удельной альфа-активности ДАН в воздухе помещения, Бк/м³, Р₁ - вероятность скорости ветра до 3 м/с для данной местности, Т - фактическое время облучения за год, час (для населения - 8760 часов или 8800 часов в округлённом виде).

Таблица 3

Результаты измерений ДАН в населённых пунктах

Место измерений	ДАН, мБк/м ³	Годовой эффективной дозы, мЗв/ч
1-я точка замера	3,30	0,07
2-я точка замера	4,20	0,08
3-я точка замера	4,20	0,08
4-я точка замера	4,30	0,09
5-я точка замера	6,32	0,13
6-я точка замера	5,24	0,10
7-я точка замера	5,78	0,12
8-я точка замера	2,20	0,04
9-я точка замера	8,90	0,18
10-я точка замера	7,40	0,15

Из результатов таб. 3 видно значения объёмной активности долгоживущих альфа - нуклидов (ДАН) в атмосферном воздухе в исследуемых зонах составляют на уровне 2,2-8,9 мБк/м³ и не превышают предельно-допустимых значений установленных для населения относящегося к категории В, (12 мБк/м³), согласно СанПиН № 0193-06. п.3,1,7. Эффективная доза внутреннего облучения для населения за счет активности употребляемой питьевой воды (Е₄) рассчитываются по следующей формуле:

$$E_4 = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot C_v \cdot V_v \quad (5)$$

где С_v – среднегодовая суммарная альфа- и бета-активности радионуклидов в питьевой воде, Бк/л. V_v – годовое потребление питьевой воды, л. (для населения V_v принимается равным 800 л.

Таблица 4

Результаты измерений суммарная альфа- и бета-активность в питьевой воды населённых пунктах

Место измерений	Суммарная альфа-активность Бк/л	Суммарная бета – активность Бк/л	Годовой эффективной дозы, мЗв
1-я точка замера	0,128±0,2	0,163±0,2	0.20952
2-я точка замера	0,118±0,2	0,541±0,2	0.47448
3-я точка замера	0,141±0,3	0,746±0,3	0.63864
4-я точка замера	0,114±0,2	0,314±0,2	0.30816
5-я точка замера	0,173±0,3	0,689±0,3	0.62064
6-я точка замера	0,128±0,2	0,462±0,2	0.4248
7-я точка замера	0,209±0,2	0,864±0,2	0.77256
8-я точка замера	0,151±0,4	0,946±0,3	0.78984
9-я точка замера	0,127±0,2	0,875±0,2	0.72144
10-я точка замера	0,141±0,3	0,946±0,3	0.78264

Из результатов таб. 4. видно что эффективная доза внутреннего облучения за счет активности употребляемой питьевой воды во всех 10-ти отобранных пробах воды суммарная альфа- и бета-активность находится на уровне нормы,

то есть 0,2 Бк/л для альфа-излучателей и 2,0 Бк/л для бета-излучателей в питьевой воде [5]. На основании полученных результатов в таб. №№1, 2, 3, 4 проведены расчёты годовых эффективных доз для населения таб. 4 от всех радиационно - опасных факторов. Как видно из таб. 5. проведённых исследований значения суммарной годовой эффективной дозы от всех радиационно - опасных факторов меньше, чем значения годового предела годовых эффективных доз, установленных для категории В (населения) - 1,0 мЗв/год сверх естественного фона для местности.

Таблица 5

Значения суммарной годовой эффективной дозы от всех радиационно - опасных факторов

МЭД (мкЗв/ч)	E_1 (мЗв)	ЭРОА, (Бк/м ³)	E_2 , (мЗв)	ДАН, (мБк/м ³)	E_3 , (мЗв)	$\Sigma\alpha,\beta$ активност ь, (Бк/л)	E_4 (мЗв)	$E_{\text{сум}}=E_1+$ E_2 $+E_3+E_4$, (мЗв)
0.11	0.176	7	0,377	3,80	0,083	0.145	0.021	0.657
0.11	0.176	8	0,431	4,20	0,089	0.329	0.047	0.743
0.11	0.176	8	0,431	4,20	0,089	0.443	0.064	0.760
0.11	0.176	6	0,323	4,30	0,091	0.214	0.031	0.621
0.12	0.264	3	0,162	6,32	0,132	0.431	0.062	0.620
0.13	0.352	2	0,108	3,20	0,067	0.295	0.043	0.570
0.12	0.264	9	0,485	5,24	0,105	0.498	0.071	0.931
0.12	0.264	8	0,431	5,78	0,123	0.514	0.076	0.897
0.14	0.440	11	0,439	6,29	0,134	0.501	0.072	1.085
0.14	0.440	8	0,431	6,37	0,135	0.513	0.076	1.088

Из результатов приведённых в таб. 5 показывают, что значения МЭД во всех 10-ти наблюдательных точках (от 1-ой точки замера до 10-ой точки замера) населённых пунктов находится на уровне установленной нормы для населения. Анализ результатов суммарной годовой эффективной дозы всех радиационно - опасных факторов показывает, что на всех исследуемых населённых наблюдательных точках находится в интервале 0,570-1,088 мЗв/год. В последних 9 и 10-тых точках наблюдения значения годовой эффективной дозы незначительно превышает от 8,5% до 8,8% установленной нормы – 1,0 мЗв/год.

Заключение. Таким образом на основании проведённого исследования радиометрической оценки радиационной обстановки и расчёта суммарной эффективной годовой дозы для населения проживающих под влияние радиационных факторов можно сделать вывод что, радиометрический метод приемлема для определения радиационных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Возжеников Г.С., Бельшев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика /Учебное пособие. - Екатеринбург: 2006. - 418 с.
2. Музафаров А.М. Методика предварительной оценки радиоактивности природных вод. //Горный вестник Узбекистана, 2017. №1.(68). – С. 147-149.
3. «Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). - Ташкент: 2006. - 136 с.
4. Allabergenova G.M., Turobjonov S.M., Kgolov D.M., Soliev T.I., Muzafarov A.M., Kurbanov B.I. Methods of assessment of radiation factors of uranium production and their anthropogenic impact on the ecosystem //The ninth international conference «Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies». 24-27 September. 2019. - Tashkent, Uzbekistan. - pp. 318-319.
5. Kholov Dilshod Murodillo ugli a, Muzafarov Amrullo Mustafoyevich b, Kholboev Isabek c, Hoshimov Kuvonchbek Husniddin ugli Methods of Determination of Radiation Factors and Radioecological Conditions in Navoi Industrial Region / Turkish Journal of Computer and Mathematics Education Vol.12 No.7 (2021), стр 1112-1119.



УДК :621.377.6

Ra'no SHARIPOVA,

O'zbekiston Milliy universiteti stajyor-tadqiqotchisi

E-mail:ranosharipova9397@gmail.com

Jamoliddin MURODOV,

TDTU asistent o'qituvchisi

E-mail:jamoliddinjamik@mail.ru

Shavkat YULDASHEV,

O'zbekiston Milliy universiteti Nanotechnologiyalarni rivojlantirish markazi laboratoriya mudiri

E-mail:shavkat@yahoo.com

F.m.f.n. Tursunqulov O.M taqrizi ostida

MEMRISTIVE SWITCHING WITH NEGATIVE DIFFERENTIAL RESISTANCE IN AG/CUO/SIO₂/P- SI FOR STABLE RRAM

Abstract

The resistive random access (RRAM) memory is seen as a potential candidate for next-generation non-volatile memory and unconventional computing. However, variability and low endurance are the key parameters that affect the performance of the device. Considering this, we unveil an Ag/CuO/SiO₂/p-Si heterostructure device which exhibits both, resistive switching (RS) and negative differential resistance (NDR). The interface barrier and traps associated with defects in native silicon oxide limits the current in a negative cycle. The barrier confines the rupture of filament and reduces the variability in reset. Field induce tunnelling dominates the reset process giving smooth reset and NDR. The negative differential resistance arises from traps in localized states of amorphous SiO₂. Trap controlled space charge limit current conduction dominates the set process.

Key words: Negative differential resistance, Poole-Frenkel conduction, switching ratio

МЕМРИСТИВНОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ В AG/CUO/SIO₂/P-SI ДЛЯ СТАБИЛЬНОЙ RRAM

Аннотация

Память с резистивным произвольным доступом (RRAM) рассматривается как потенциальный кандидат на энергонезависимую память следующего поколения и нетрадиционные вычисления. Однако изменчивость и низкая стабильность являются ключевыми параметрами, влияющими на производительность устройства. Учитывая это, мы представляем гетероструктурное устройство Ag/CuO/SiO₂/p-Si, которое демонстрирует как резистивное переключение (RS), так и отрицательное дифференциальное сопротивление (NDR). Интерфейсный барьер и ловушки, связанные с дефектами в собственном оксиде кремния, ограничивают ток в отрицательном цикле. Барьер ограничивает разрыв нити и снижает изменчивость переключения. Индуцированное полем туннелирование доминирует в процессе сброса, обеспечивая плавный сброс и NDR. Отрицательное дифференциальное сопротивление возникает из-за дефектов в аморфном SiO₂. В процессе прямого переключения преобладает ток ограниченный объемным зарядом, контролируемым ловушками носителей заряда.

Ключевые слова: Отрицательное дифференциальное сопротивление, проводимость Пула-Френкеля, коэффициент переключения.

BARQAROR RRAM UCHUN AG/CUO/SIO₂/P- SI DA NEGATIV DIFFERENSIAL QARSHILIK YORDAMIDA MEMRISTIV QAYTA ULASH

Abstract

Rezistiv tasodifiy kirish (RRAM) xotirasi yangi avlod o'chmas xotirasi va noan'anaviy hisoblash uchun potensial nomzod sifatida qaraladi. Biroq, o'zgaruvchanlik va past chidamlilik qurilmaning ishlashiga ta'sir qiluvchi asosiy parametrlardir. Buni hisobga olgan holda biz Ag/CuO/SiO₂/p-Si geterostrukturali qurilmani namoyish etamiz, u ikkala rezistiv qayta ulash (RS) va manfiy differensial qarshilik (NDR) ga ega. Mahalliy kremniy oksididagi nuqsonlar bilan bog'liq bo'lgan interfeys to'sig'i va nuqsonlari negativ sikldagi oqimni cheklaydi. To'siq filamentning uzulishini cheklaydi va qayta tiklashdagi o'zgaruvchanlikni kamaytiradi. Maydon hisobiga tunellash jarayoni oson qayta ulashni va NDR ni hosil qilishda ustunlik qiladi. Rezistiv qayta ulash (RS) amorf SiO₂ ning lokalizatsiyalangan holatlaridagi nuqsonlardan kelib chiqadi. Nuqson bilan boshqariladigan fazoviy zaryad chegarasi oqimi o'tkazuvchanligi ushbu jarayonda ustunlik qiladi.

Kalit so'zlar: Manfiy differensial qarshilik, Puul-Frenkel o'tkazuvchanligi, qayta ulash nisbati

Kirish. Mavjud xotira qurilmalarining jismoniy cheklovlari tufayli o'chmaydigan rezistiv xotira qurilmalarining yangi davri paydo bo'ldi. O'ziga tortuvchi xususiyatlari tufayli memristor so'nggi o'n yillikda katta e'tiborni tortdi. Ba'zi xususiyatlari memristorni mantiqiy bo'lmagan neyromorfik hisoblash uchun eng qulay va istiqbolli nomzodga aylantiradi [1]. Eng keng tarqalgan qiziqislar kam quvvat iste'moli, yuqori hajm, bir nechta almashtirish holatlari va zarar etkazmaydigan o'qishni o'z ichiga oladi. Uzoq vaqt xotirada saqlash xususiyatlari memristorga CMOS-ni egallashga va shuningdek, CMOS texnologiyasi bilan integratsiyalashishga imkon beradi. [2,3] NDR rezistiv qayta ulash bilan bir qatorda yuqori chastotali ostsilatorlar [4], xotira qurilmalari, ko'p amalli mantiqiy qurilmalar [5], rezonansli tunnelli tranzistorlar [6] kabi qo'shimcha ustunliklarga ega bo'lishi mumkin. NDR effekti negative zonada oson almashtirishni ta'minlaydi, bu esa boshqariladigan qayta ulashga olib

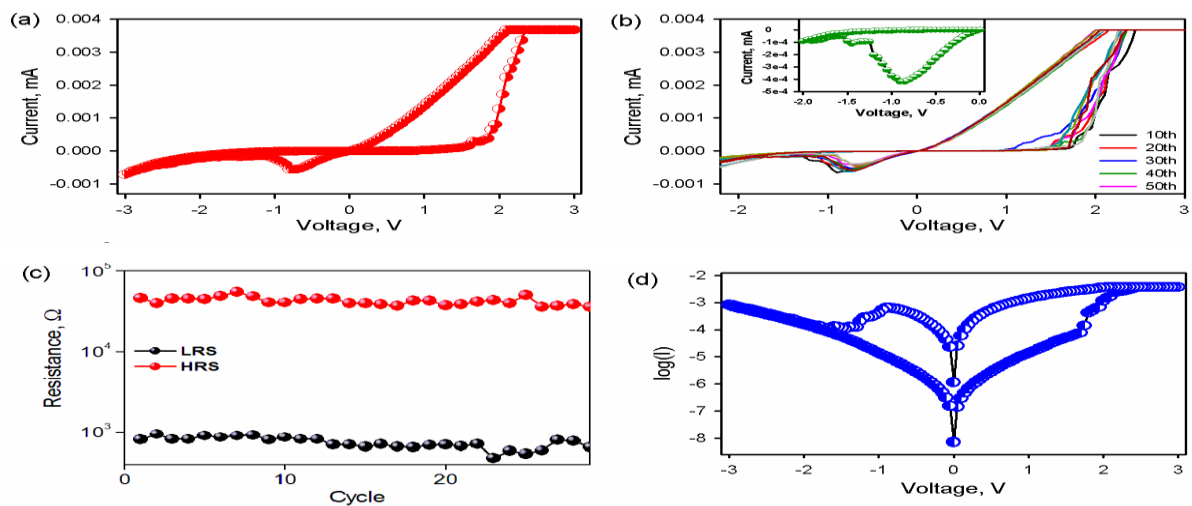
keladi. Ko'pgina metal oksidlari [1], perovskitlar [7] va tranzitsion metall dikalkogenid monoqatlamlarida [8] memristiv qayta ulash kuzatilgan. Barcha oksidlar orasida CuO ishonchligi, toksik bo'lmagan xususiyati, arzonligi, uzoq ma'lumotni saqlash muddati, CMOS texnologiyasi bilan muvofiqligi [9] va boshqa materiallarga nisbatan mukammal chidamlilik kabi ajoyib xususiyatlari tufayli keng ko'lamda tekshiriladi va xabar qilinadi [10-14].

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili. NDR effekti yuqori chastotali osttsillatorlarda, ko'p darajali qayta ulashlarda amalda foydalanilgan. Shuning uchun bu sa'y-harakatlar rezistiv qayta ulash bilan birgalikda NDR effektini tushunish, tahlil qilish va kashf qilishni berdi. Polimerlar, grafen oksidi, nanokompozitlar [15-19] va metall oksidlari (ZnO [1], TiOx [20], FeOx [20] bilan NDR bo'yicha bir nechta hisobotlar nashr etilgan, ammo NDR effekti CuO da juda kam nashrlar mavjud. Yaqinda Kadhim va boshqalar ZnO nano-rodning bir guruhini NDR qurilmasida namoyish qildi [21].

Ushbu tadqiqotda biz tabiiy oksidning rezistorli qayta ulashda ta'sirini o'rgandik va NDR bilan bir qatorda gisterezis oqim kuchlanishining xususiyatlarini namoyish etdik. Biz rezistiv qayta ulash va NDR xususiyatlariga ega ko'p funksiyali qurilmani olish uchun p-tipi Si-ga amorf CuO yupqa plyonkani joylashtirish uchun ultratovushli purkagichli piroliz (USP) usulidan foydalandik. Geterostruktura qurilmasi qayta ulashdagi o'zgaruvchanlikni kamaytirish orqali RSni yaxshilaydi, ilg'or ko'p funksiyali o'chmaydigan xotiralar uchun katta imkoniyatlarni beradi.

Tadqiqot metodologiyasi. Namuna tayyorlash uchun $(\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2)$ mis asetatning 0,1M suvli eritmasi magnit aralastirgichda 15 daqiqa davomida 80°C da doimiy aralastirish orqali tayyorlandi. Prekursor eritmasi ultratovush sensorida joylashgan eritma manbasiga yig'ildi. Parametrlar o'stirishdan oldin o'rnatildi. Harorat sozlagichi [22] yordamida 350°C harorat o'rnatildi. Prekursor eritmasi oldindan qizdirilgan ga tashuvchi gaz sifatida havodan foydalangan holda reaktiv nozul yordamida purkaldi, p-turi (100) Si tagliklar. Taglik tabiiy oksid qatlamini himoya qilish uchun toza emas edi. Mahalliy oksid odatda 2 nm dan 4 nm gacha, lekin kislorodga boy muhitda o'stirish paytida oksidning yanada o'sishi kuzatildi. Ag yuqori elektrod e – nurlar oqimidan foydalangan holda yotqizildi. Yorqin qatlam mahalliy SiO₂ qatlamini tasdiqlaydi. Barcha elektr o'lchovlari Keithley 2400 manba hisoblagichi yordamida amalga oshirildi.

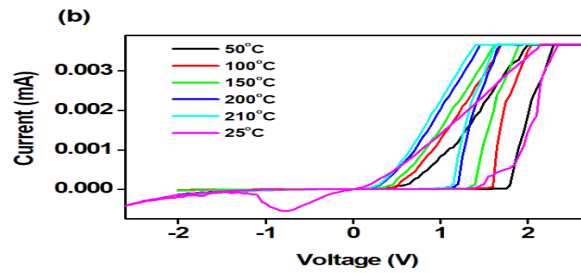
Tahlil va natijalar. 1(a) -rasm Ag/CuO/SiO₂/p- tipidagi Si ning tipik IV xarakteristikalarini ko'rsatadi. Qurilma yuqori Ag elektrodida musbat kuchlanish (0 dan 3V gacha) qo'llanilganda va manfiy qutb (0 dan -2V) NDR paytida qarshilikning qayta ulanishini ko'rsatadi. 1(b)-rasmning ichki qismi manfiy kuchlanish ostida NDRni ko'rsatadi.



1-(a) rasm Ag/CuO/SiO₂/p-Si rezistiv qayta ulashning tok kuchi-kuchlanish (IV) egri chizig'i. (b) takrorlanuvchanlikni tasvirlaydigan ko'p rezistiv qayta ulanish, ichki qism NDR shakllanishini ko'rsatadi. (c) Ag/CuO/SiO₂/p-Si ning chidamlilik ko'rsatkichi. (d) Ag/CuO/SiO₂/p-Si ning Semilog IV xarakteristikasi NDR va musbat qismida 1×10^3 yoqish-o'chirish o'tkazuvchanlik darajasini ko'rsatadi. Kuchlanish diapazonlari -3V dan 3V gacha. $V_{set} = 1,5V$ va $V_{reset} = -0,65V$.

1-rasmdagi IV xarakteristikalar (a) gisterezis egri chizig'ini ko'rsatadi, bu esa negative differensial qarshilik bilan birga o'chmaydigan qarshilik kommutatsiyasini ko'rsatadi. Qayta ulanish davri boshlanganda qurilma birinchi navbatda yuqori qarshilik holatiga (HRS) erishadi. SET ishiga mos keladigan 1,5V da tok kuchi keskin oshadi va qurilma past qarshilik holatiga (LRS) etadi. Yo'nalish musbat hududdan manfiy hududga o'tganda, qurilma chiziqli I-V xususiyatlarini 2V dan $\approx -0,8V$ gacha saqlaydi. -0,8V da NDR kuzatiladi va qurilma HRS ga o'tadi. 1b-rasm bir nechta qayta ulanish davrlari qurilmaning takrorlanuvchanligi va barqarorligini ko'rsatadi. 1c-rasm chidamlilik ko'rsatkichlarini ko'rsatadi. Qarshilik va bir qator sikllar LRS va HRSda barqarorlik va davomiylikni ko'rsatadi. 1d-rasmda semi- log IV egri chizig'i NDR va RS ning qayta ulanish nisbati 103 ga teng bo'lgan aniqroq tasvirini beradi.

RS va NDR mexanizmini isbotlash va nuqsonlarning rolini o'rganish uchun Log V va Log I 2(a)-rasmda va haroratga bog'liq IV xarakteristikalar 2(b)-rasmda tasvirlangan. Pastroq kuchlanishda tok kuchi kuchlanishga ($I \propto V$) proporsionaldir va shuning uchun fazoviy zaryad bilan cheklangan tok kuchi (SCLC) sezilmaydi va Om qonuni tok - kuchlanish xususiyatlarini boshqaradi [22].



2-rasm. (a) I-V egri chiziqning musbat qutb ulangandagi egilish qismidagi logarifmik chizmalari. (b) Ag/CuO/SiO₂/p-Si ning haroratga bog'liq IV xarakteristikalari.

Kuchlanish yanada oshishi bilan SCL toki sezilarli bo'la boshlaydi, bu egrilik $I \propto V^{2.3}$ ni ko'rsatadigan munosabat bilan isbotlanishi mumkin [13]. Bular o'tkazuvchanlik sayoz nuqson SCL toki orqali ustunligini isbotlaydi. Sayoz nuqsonning kvadrat qonuni quyidagicha ifodalanadi:

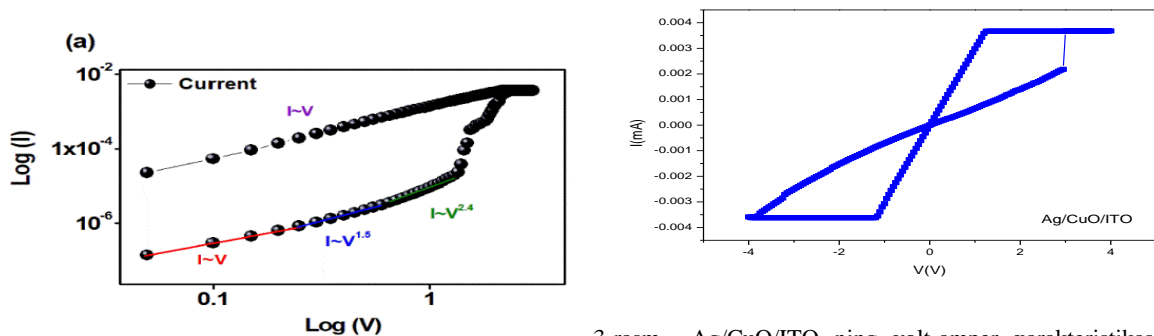
$$J = \frac{9}{8} \mu \epsilon \theta \frac{V^2}{L^3} \quad (1)$$

Bu yerda V , L , μ va θ kuchlanish, namuna qalinligi, harakatchanlik va erkin va bog'langan elektron konsentratsiyasining nisbati.

Qo'llaniladigan maydon yanada oshgani sayin, kuchli potentsial Puul-Frenkel (PF) effekti tufayli kulonli nuqsonning effektiv chuqurligini kamaytirishga olib keladi [13]. To'siq balandligidagi bu pasayish ko'rilayotgan darajani standart SCL toki nazariyasi tomonidan taxmin qilinganidan yuqoriroq ko'taradi. Oqimning keskin o'sishi 2a-rasmda ko'rsatilgan.

Mahalliy oksid, p-Si va Ag ning rolini yanada chuqurroq o'rganish uchun biz pastki elektrod sifatida indium tin oxide (ITO) bilan qurilma ishlab chiqardik.

3-rasmda pastki elektrodlar sifatida ITO va yuqori elektrodlar sifatida Ag bo'lgan qurilmaning IV xarakteristikalari ko'rsatilgan. SiO₂ yo'q bo'lganda, qurilma qarshilikning qayta ulanishini ko'rsatadi, lekin NDR yo'q. IV chiziqli xarakteristikalar asosida o'tish Ag filamentining shakllanishi bilan tavsiflanadi. Qurilma oksid bo'lmaganda NDR ni ko'rsatmaydi. To'satdan boshqarilmaydigan o'tish, shuningdek, tabiiy oksidning yo'qligini tavsiflaydi.



3-rasm Ag/CuO/ITO ning volt-ampere xarakteristikasi. 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, oksid qatlami bo'lmagan qurilmalarda NDR effekti kuzatilmagani sababli, bu NDR SiO₂ nuqsonlari bilan bog'liq bo'lgan oksidi bog'langan zaryadlar va maydon ta'siri ostida tarmoqli tunnel o'tkazish bilan bog'liqligini tasdiqlaydi.

Natijalar ITO holatida NDR yo'qligini ko'rsatganligi sababli, biz NDR asosan CuO va SiO₂ o'rtasida elektr maydoni zaryad o'tkazish va yuqori qayta ulash nisbatini ta'minlaydi va u CF shakllanishiga bog'liq deb taxmin qilamiz.

Xulosalar. CuO yuqqa plyonkada lokalizatsiyalashtirilgan holatlar tomonidan yaratilgan nuqsonlar nuqsonni nazorat qilish zaryadini o'tkazishdan so'ng metallardan oqim injeksiyasiga olib keladi, bu esa HRS dan LRS ga keskin o'tish imkonini beradi, bu esa yuqori qayta ulanish nisbati beradi. NDR hodisalari drift tokiga qarshi bo'lgan oksid nuqsonlaridagi zaryad oqimi va tarmoqlararo tunnel va maydon sabab bo'ladigan tunnel bilan izohlendi. Oksidsiz turli tuzilmalarga ega bo'lgan I-V xarakteristikalari NDRga ta'sirini aniqlash uchun tekshirildi. Haroratga bog'liq bo'lgan IV xarakteristikalari tunnel tokining manfiy kuchlanishda o'tkazuvchanligi ustunligini isbotlaydi. Kombinatsiyalangan mexanizm SCLC, o'tkazuvchan filamentni (CF) o'z ichiga oladi, p-tipi CuO va p-tipi Si o'rtasida tunnel o'tkazish lokal oksid qatlamida bog'langan zaryadni hosil qiladi va CF silliq uzulishi bilan RS va NDRga olib keladi. Ag/CuO/SiO₂/p-Si bilan geterostruktura qurilmasi NDR bilan birga juda stabil o'chmaydigan RS ni beradi, bu esa kashfiyotlar soni uchun yangi imkoniyatlarni ochadi.

ADABIYOTLAR

1. Yang Ya, Junjie Qi, Wen Guo, Zi Qin, and Yue Zhang, Appl. Phys. Lett. 96, 093107 (2010).
2. Zhu B., Zhengl K., X. Wu & L. K. Ang, Scientific Reports, 7, 43664 (2017).
3. Wei Wang, Tom T. Jing, and Brian Butche, [2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems](https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537010), IEEE, DOI: [10.1109/ISCAS.2010.5537010](https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537010) (2010).
4. Suzuki S., M. Asada, A. Teranishi, H. Sugiyama, and H. Yokoyama, Appl. Phys. Lett. 97(24), 242102 (2010).
5. Xia Q. et al., Nano Lett. 9, 3640-3645 (2009).
6. Britnell L., Gorbachev R. V., Geim A. K., Ponomarenko L. A., Mishchenko A., Greenaway M. T., Fromhold T., Novoselov K.S., Evas L., Nature Commun. 4, 1794 (2013).
7. Sawa A., Fujii T., Kawasaki M., and Tokura Y., Appl. Phys. Lett. 85, 4073 (2004).
8. Ruijing Ge, Xiaohan Wu, Myungsoo Kim, Jianping Shi, Sushant Sonde, Li Tao, Yanfeng Zhang, Jack C. Lee, and Deji Akinwande, Nano Lett. 18, 434 (2018).
9. Min-Kyu Kim, Jang-Sik Lee, ACS Appl. Mater. Interfaces, 8, 84832918 (2016).
10. Jin-Woo Han, and M. Meyyappan, AIP Advances 1, 032162 (2011).

11. Sheng-Yu Wang, Chin-Wen Huang, Dai-Ying Lee, Tseung-Yuen Tseng, and Ting-Chang Chang, *Journal of Applied Physics* 108, 114110 (2010).
12. Kyuhyun Park and Jang-Sik Lee, *Nanotechnology* 27, 125203, (2016).
13. Wei L. L., D. S. Shang, J. R. Sun S. B. Lee, Z. G. Sun, and B. G. Shen, *Nanotechnology* 24, 325202 (2013).
14. Chun-Chieh Lin, Po-Hung Wu, and Yi-Peng Chang, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol. 13, 483, (2013).
15. Joshua Yang J., Matthew D. Pickett, Xuema Li, Douglas A. Ohlberg, Duncan R. Stewart, R. Stanley Williams, *Nanotechnology*, Vol. 3, 423 (2008).
16. Suzuki S., M. Asada, A. Teranishi, H. Sugiyama, and H. Yokoyama, *Appl. Phys. Lett.* 97, 242102 (2010).
17. Chen J., M. A. Reed, A. M. Rawlett, and J. M. Tour, *Science* 286, 1550(1999).
18. Wu Y., D. B. Farmer, W. Zhu, S.-J. Han, C. D. Dimitrakopoulos, A. A. Bol, P. Avouris, and Y.-M. Lin, *ACS Nano* 6, 2610 (2012).
19. Kumar A., M. Das, V. Garg, B. S. Sengar, M. T. Htay, S. Kumar, A. Kranti, and S. Mukherjee, *Appl. Phys. Lett.* 110, 253509 (2017)
20. Zhou G., Duan S., Li P., Sun B., Wu B., Yao Y., Yang X., Han J., Wu J., Wang G., Liao L., Lin C., Hu W., Xu C., Liu D., Chen T., L. Chen, A. Zhou, and Q. Song, *Adv. Electron. Mater.* 4, 1700567 (2018).
21. Mayameen S. Kadhim, Feng Yang, Bai Sun, Yushu Wang, Tao Guo, Yongfang Jia, Ling Yuan, Yanmei Yu, and Yong Zhao, *Appl. Phys. Lett.* 113, 053502 (2018).
22. Diachenko O.V., Opanasuyk A.S., Salohub A.O., Nam D., Cheong H., Gnatenko Yu.P., *Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties* Vol. 4, No.1, (2015).