

Арзикулов Фазлиддин Фахриддин ўғли,
Ташкентский государственный медицинский университет,
Email: arzikulovfazliddin1997@gmail.com

Кучканов Шерзодбек Курбанович
Ташкентский государственный технический университет,
„Эко-Энергия“ Научно-внедренческий центр,
Email: sher.kurbonov@inbox.ru

Хожиев Шерали Тешаевич,
Ташкентский государственный медицинский университет,
³Институт биоорганической химии имени О.С. Содикова Академии наук
Республики Узбекистан,
Email: Khozhiev@bk.ru

Косимов Исроил Одинаевич
Институт биоорганической химии имени акад. О.С. Содикова Академии наук
Республики Узбекистан,
Email: isroilkosimov@list.ru

ВЫРАЩИВАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТОНКОГО СЛОЯ ОКСИДА МЕДИ НА ПОВЕРХНОСТИ SI/ZNO ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Аннотация: В данной исследовательской работе на поверхности двухкомпонентного поликристаллического Si/ZnO был выращен тонкий слой оксида меди в качестве солнечного элемента методом магнетронного распыления на постоянном токе. Фазовый состав, структура, аморфно-кристаллические уровни, размер кристаллитов и морфология поверхности данной гетероструктуры $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{Si}$ были изучены с помощью рентгеновской дифракционной спектроскопии, рамановской спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Ключевые слова: магнетронное распыление, гетероструктура, полупроводник, размер кристаллитов, солнечный элемент, оксид меди.

Arziqulov Fazliddin Faxriddin o'g'li,
¹Tashkent State Medical University
Email: arzikulovfazliddin1997@gmail.com

Kuchkanov Sherzodbek Kurbanovich
²Tashkent State Technical University
Email: sher.kurbonov@inbox.ru

Khojiev Sherali Teshayevich
Tashkent State Medical University,

Institute of Bioorganic Chemistry named after acad. O.S. Sodikov of the Academy
of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Email: Khozhiev@bk.ru

Kosimov Isroil Odinayevich

Institute of Bioorganic Chemistry named after acad. O.S. Sodikov of the Academy
of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Email: isroilkosimov@list.ru

GROWTH AND CHARACTERIZATION OF A THIN COPPER OXIDE LAYER ON THE SURFACE OF SI/ZNO OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING

Abstract: *In this research work, a thin copper oxide layer was grown on the surface of a two-component polycrystalline Si/ZnO as a solar cell using direct current magnetron sputtering. The phase composition, structure, amorphous–crystalline levels, crystallite size, and surface morphology of the Cu₂O/ZnO/Si heterostructure were studied using X-ray diffraction spectroscopy, Raman spectroscopy, and scanning electron microscopy (SEM).*

Keywords: *magnetron sputtering, heterostructure, semiconductor, crystallite size, solar cell, copper oxide.*

MAGNETRON PURKASH USULI ORQALI OLINGAN SI/ZNO SIRTIDA YUPQA MIS OKSIDI QATLAMINI O‘STIRISH VA TAVSIFLASH

Annotatsiya: *Ushbu tadqiqot ishida ikki komponentli polikristalli Si/ZnO sirtida quyosh elementi sifatida mis oksidining yupqa qatlami doimiy tokda magnetron purkash usuli yordamida o‘stirildi. Cu₂O/ZnO/Si geterotuzilmasining fazaviy tarkibi, tuzilishi, amorf–kristalli darajalari, kristallit hajmi va sirt morfologiyasi rentgen difraksion spektroskopiya, Raman spektroskopiyasi hamda skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) yordamida o‘rganildi.*

Kalit so‘zlar: *magnetron purkash, geterotuzilma, yarimo‘tkazgich, kristallit hajmi, quyosh elementi, mis oksidi.*

1. Введение

В настоящее время производство, хранение и эффективная передача электрической энергии являются одними из наиболее острых проблем в мире. Научные исследования в этой области направлены на разработку

источников генерации, хранения и передачи энергии на основе недорогих и эффективных материалов. В последние десятилетия медь (Cu) широко используется в качестве контактного металла в полупроводниковой технике. Она является важным материалом, заменяющим ранее используемый алюминий, а также ключевым элементом в высокотемпературных полупроводниковых приборах. Кроме того, атомы меди обладают более высокой диффузионной способностью, чем такие материалы, как кремний и германий [1]. Полупроводниковый оксид меди (Cu_2O) является одним из перспективных материалов для солнечных элементов. Cu_2O является одним из важных солнечных элементов благодаря своей высокой оптической поглощающей способности, высокой стабильности, нетоксичности, низкой стоимости производства по сравнению с такими материалами, как Ni, Ag и Au, распространённости в природе и превосходным оптическим, электрическим, магнитным и каталитическим свойствам [2–5]. Хотя исследования тонких плёнок CuO и Cu_2O , полученных методом магнетронного распыления, уже проводились [6–8], это первое исследование роста плёнок путём нагрева кремниевой подложки до 600 °C и её очистки ионами импульсного разряда [9]. Для получения тонких плёнок оксида меди [10–13] используется несколько технологий: золь-гель, импульсное лазерное осаждение, пиролиз, химическое осаждение из газовой фазы и магнетронное распыление для [14–16] достижения однородности поверхности. В данной работе гетероструктуры CuO/ZnO/Si и Cu_2O /ZnO/Si были сформированы путем нагрева подложки ZnO/Si до 600°C и ее очистки ионами импульсного разряда с использованием магнетронного распыления. Свойства полученных гетероструктур исследовались методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и рядом других методов под воздействием нагрева при различных температурах.

2. Методы исследования.

Исследовано влияние нагрева на электронные свойства гетероструктур Cu_2O и ZnO, выращенных методом магнетронного распыления. В качестве

полупроводника р-типа в гетеропереходе использовался ZnO , а в качестве полупроводника п-типа – Cu_2O . Для достижения однородности и гладкости поверхности разработан оптимальный режим нагрева подложки Si при температуре 600 °С и очистки под воздействием ионов импульсного разряда. Образцы выращивались методом магнетронного распыления на постоянном токе в среде смеси катодного элемента – Cu, O_2 и Ar (инертный газ). Рисунок 1.

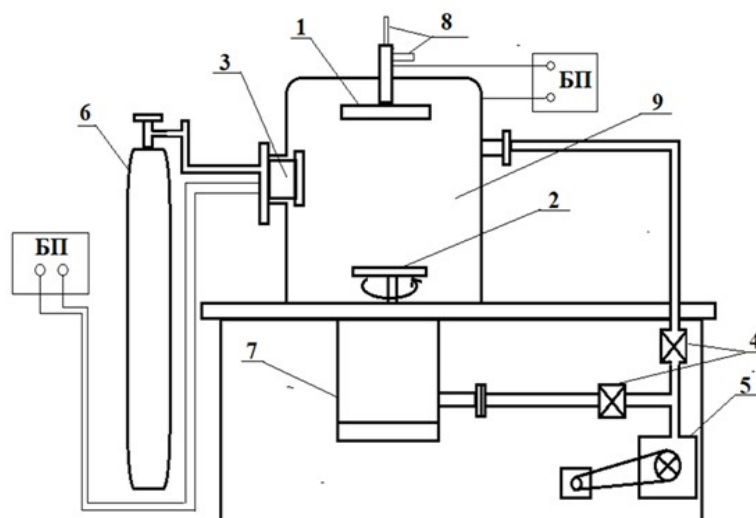


Рисунок 1. Принципиальная схема устройства магнетронного распыления. 1- магнетрон, 2- мишень, 3- ионизатор, 4- электромагнитный клапан, 5- насос, 6- цилиндр, 7- диффузионный насос, 8- система охлаждения, 9- вакуумная камера.

В нашей исследовательской работе тонкий слой CuO и Cu_2O был выращен на подложке Si/ ZnO в смеси катодных элементов - Cu, O_2 и Ar (инертный газ) при трех различных условиях методом магнетронного распыления. В первом случае подложка Si/ ZnO выращивалась напрямую без какого-либо воздействия, во втором случае нагревалась только подложка до 600 °С, а в третьем случае подложка Si/ ZnO нагревалась до 600 °С и очищалась под воздействием ионов импульсного разряда, и выращивались слои CuO и Cu_2O . Кристаллографическая структура тонких пленок, выращенных при этих трех условиях, была определена с помощью метода рентгеноструктурного анализа (Rigaku), а степени аморфности кристаллов,

размеры кристаллитов, поверхностная эмиссия в сканирующем электронном микроскопе, образование слоев и изменения структуры и свойств материала, электрофизические и оптические свойства были определены с помощью метода рентгенофазового анализа.

3. Результаты и их обсуждение

В настоящей работе использовалась стандартная кремниевая подложка с однослойной эпитаксиальной структурой КДБ 0,5-1bk 2(III). Рентгенофазовый анализ этой подложки представлен на рисунке 2. Как показано на рисунке межплоскостные расстояния и индексы Миллера Si соответствуют характерным пикам 111, 202, 311, 400, 313, соответствующим углам дифракции.

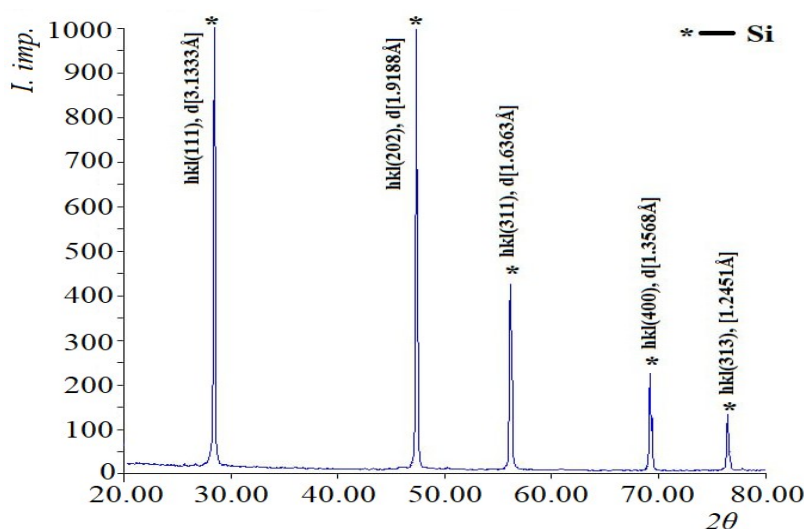


Рисунок 2. Рентгенофазовый анализ образца на основе Si.

Из этих результатов следует, что отсутствие дополнительных элементных фаз в подложке Si свидетельствует о чистоте образца подложки. Три идентичные тонкие пленки ZnO были осаждены в одинаковых условиях с использованием метода химического осаждения, и были выполнены рентгенофазовый анализ (рисунок 3) и снимок СЭМ (рисунок 4-(abc)), а также анализ EDS (рисунок 5).

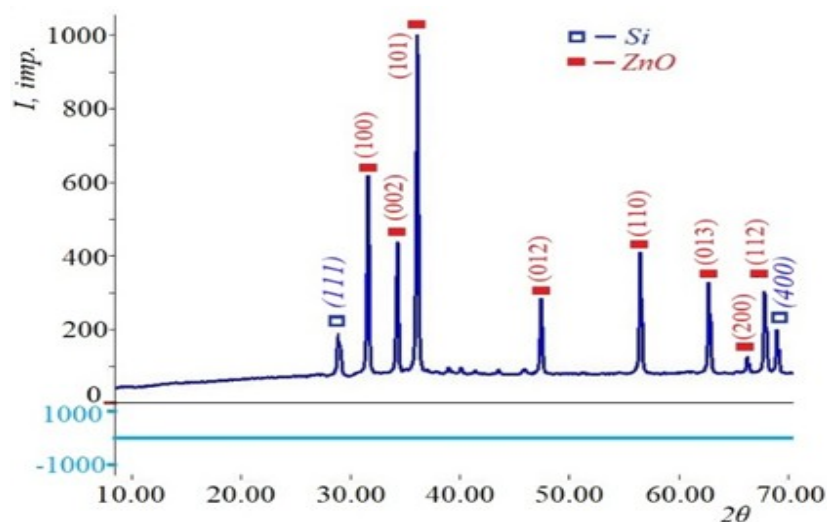


Рисунок 3. Рентгенофазовый анализ тонкой пленки ZnO, выращенной методом магнетронного распыления на поверхности подложки Si.

Из рентгенофазового анализа на рисунке 3 установлено, что межплоскостное расстояние на соответствующих пиках подложки Si и фазы ZnO в образце Si/ZnO составляет $d_{hkl} \approx 2,81 \text{ \AA}$; $2,60 \text{ \AA}$; $2,47 \text{ \AA}$; $1,91 \text{ \AA}$; $1,24 \text{ \AA}$; $1,48 \text{ \AA}$; $1,41 \text{ \AA}$; $1,38 \text{ \AA}$; $1,24 \text{ \AA}$; а индексы Миллера составляют $hkl \approx (100)$, (002) , (101) , (012) , (110) , (013) , (200) , (112) , (202) соответственно.

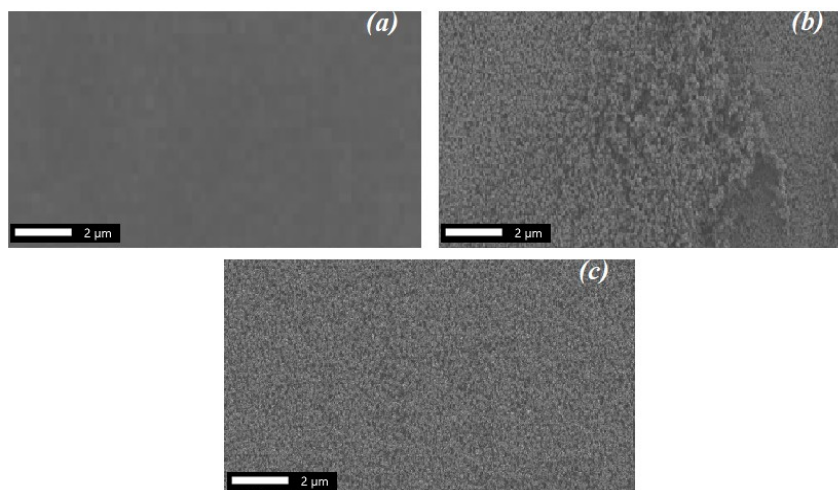


Рисунок 4. Микроскопическое изображение Si/ZnO, выращенного на поверхности (а) подложки Si, (б) нагретой до $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$, (в) подложки Si, нагретой до $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 4(abc) показаны СЭМ-изображения образцов, выращенных при трех различных условиях: без нагрева, при $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$, с тонким слоем ZnO на подложке Si. Рисунок 4-а относится к не нагретому образцу Si с гладкой и равномерно расположенной поверхностью, а рисунок 4-б — к

ZnO, выращенному при 300 °С. Из СЭМ-изображения видно, что наночастицы ZnO расположены на поверхности случайным образом и неравномерно. Рисунок 4-с показывает, что образец ZnO, выращенный при 600 °С, имеет упорядоченную поверхность с хорошей адгезией и плотными сферическими структурами. Это показывает, что поверхность полностью покрыта наночастицами чистого состава с равномерным распределением по размерам. В качестве дополнительного подтверждения этого, мы можем видеть из анализа EDS на рисунке 5, что для ZnO поверхность содержит ~35% O-65% Zn-11,6% O-11,6% Zn-88,4% атомов, а по массе она равна 88,4%.

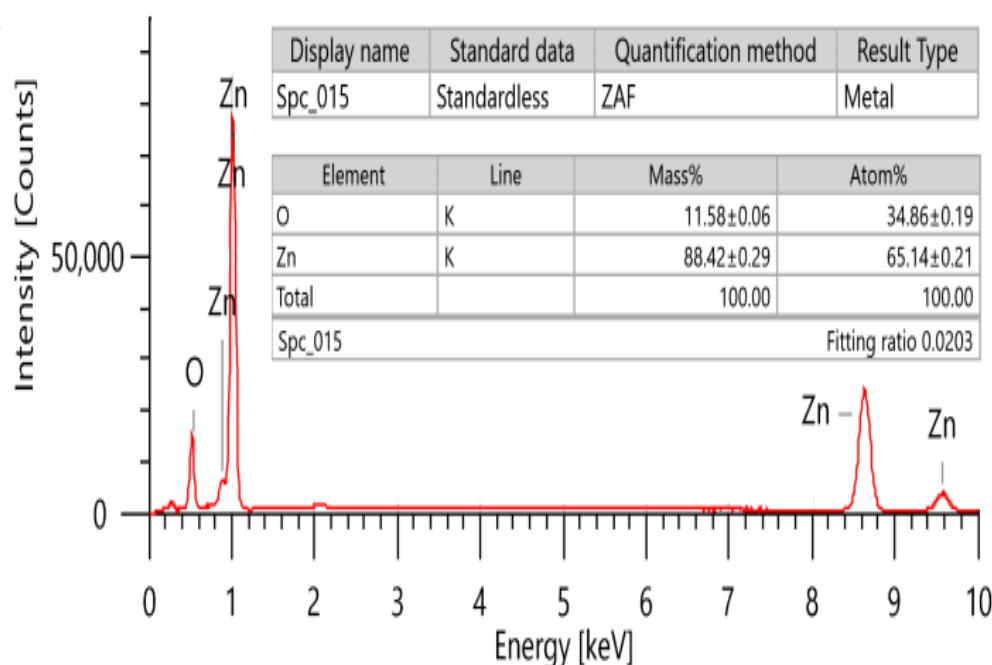


Рисунок 5. Данные EDS тонкой пленки ZnO, выращенной на подложке Si. Кроме того, ещё одним подтверждением этого является рентгенофазовый анализ структуры Si/ZnO (рис. 6а), который показывает, что Zn – 74,6%, O – 18,2%, Si – 7,2%, а средний размер частиц, рассчитанный по формуле Дебая-Шеррера, составляет ~28–35 нм. Поэтому целесообразно наносить нанослои ZnO методом магнетронного распыления, предварительно нагрев подложку до температуры 600 °С. В этом режиме поверхность подложки упорядочивается, хорошо сцепляется с поверхностью и формирует плотные сферические структуры, полностью покрытые тонким слоем чистого ZnO.

Как было упомянуто выше основная цель настоящей работы — вырастить тонкий слой оксида меди в качестве солнечного элемента на поверхности, приготовленного выше образца Si/ZnO и провести на его основе исследования. Тонкие пленки CuO и Cu₂O были выращены на образце Si/ZnO в трех различных условиях: (а) без нагрева, (б) с нагревом до 500 °С и (в) с нагревом до 800 °С, как это видно из рисунка 6.

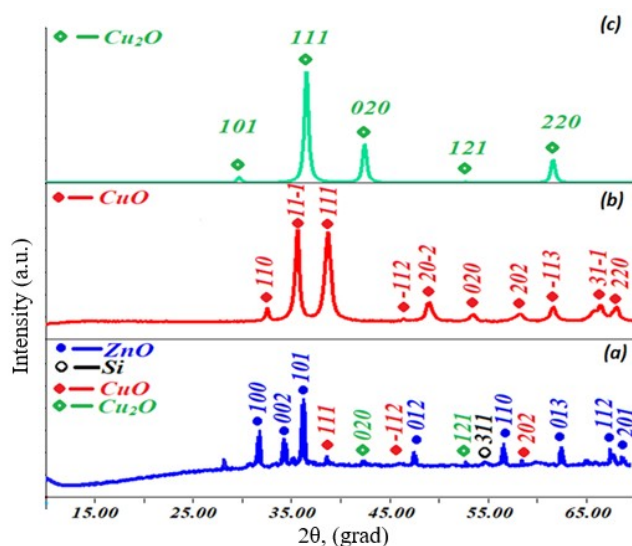


Рисунок 6. Рентгенофазовый анализ пленок CuO и Cu₂O, выращенных на поверхностях Si/ZnO (а) без нагрева, (б) нагретых до 500 °С, (в) нагретых до 800 °С и очищенных ионами импульсного разряда.

С помощью рентгенофазового анализа были определены межплоскостное расстояние, индексы Миллера, средний размер кристаллических частиц, количественный и качественный фазовый анализ, а также степень кристалличности и аморфности образцов CuO и Cu₂O.

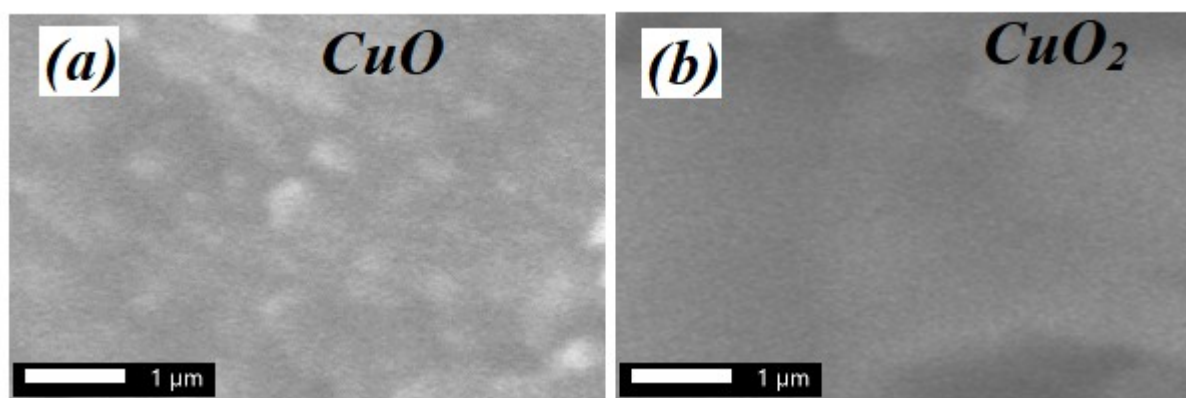


Рисунок 8. СЭМ изображение CuO и Cu₂O.

Подложка была выращена с использованием CuO, нагретого до 500 °C (a) и Cu₂O (b) после очистки ионным облучением при 800 °C. При выращивании тонкой плёнки CuO на поверхности Si/ZnO размер кристаллитов составил 14 нм. Это указывает на то, что они были выращены в нанослоистой форме, что можно наблюдать на снимке, полученном с помощью СЭМ изображение на рис 8.

4. Выводы

Согласно результатам исследования, было обнаружено хорошая морфология поверхности солнечного элемента CuO, выращенного путем нагрева тонкого слоя CuO на исходной поверхности ZnO/Si без какой-либо обработки при температуре 800°C. Очистки ионами импульсного разряда, улучшила гладкость морфологии поверхности, увеличила степень кристалличности и уменьшила размер кристаллитов по сравнению с солнечным элементом, выращенным путем нагревания при температуре 600 °C и очистки ионами импульсного разряда. Полученные результаты показывают, что качество слоев полупроводников оксида меди можно значительно улучшить за счет температурной обработки поверхности.

Данное исследование выполнено в рамках бюджетной НИР Центром коллективного пользования научным оборудованием Академии наук Республики Узбекистан.

Литература

- [1]. Minami T, Nishi Y, Miyata T and Nomoto J 2011 Appl. Phys. Exp. 4 062301
- [2]. Mittiga E, Salza E, Sarto F, Tucci M and Vasanthi R 2006 Appl. Phys. Lett. 88 163502.
- [3]. Izaki M, Shinagawa T, Mizuno K, Ida Y, Inaba M and Tasaka A T 2007 J. Phys. D 40 3326.
- [4]. Jeong S S, Mittiga A, Salza E, Masci A and Passerini S 2008 Electrochim. Acta. 53 2226.

[5]. Izaki M, Mizuno K, Shinagawa T, Inaba M and Tasaka A 2006 J. Electrochem. Soc. 153 C668.

[6]. Teresa D G, Mark G S, Yanchun Z Rachel A V, Robert A V L and Jay A S 1996 Chem. Mater. 8 2499.

[7]. Nakaoka K and Ogura K 2002 J. Electrochem. Soc. 149 C579.

[8]. Fujimoto K, Oku T and Akiyama T 2011 J. Ceram. Soc. Jpn. 119 402.

[9]. Хожиев Ш. Т, Косимов И. О, Игамов Б.Дж., Ш.К. Кучканов., Холиков У. Х. Формирования и кристаллизация образцов TiO₂ обнаруженная методом порошкового диффрактометра XRD-6100 // Научный вестник Наманганского государственного университета. – 2023. – Т. 2. – №. 8. – С. 22-29

[10]. Isakhanov, Z.A., Kosimov, I.O., Umirzakov, B.E., Erkulov, R.M. Modification of the surface properties of free Si–Cu films by implantation of active metal ions //Technical Physics. – 2020. – Т. 65. – С. 114-117.

[11]. Касимов, И.О., Умирзаков, Б.Е., Исаханов, З.А., Рузибаева, М.К., & Курбанов, Р. Изучение спектров характеристических потерь энергии свободных нанопленочных систем Si-Cu // «Узбекский физический журнал». – 2019. – Т. 21. – №. 3. – С. 158-160.

[12]. З.А. Исаханов, З. А., Косимов, И. О., Халматов, А. С., Мухтаров, З. Э., Умирзаков, Б. Е., & Ахмедов, А. А. Влияние ионной бомбардировки и последующего прогрева на состав поверхности монокристаллической меди // «Узбекский физический журнал». – 2023. – Т. 25. – №. 3.

[13]. Ш.Т. Хожиев, И.О. Косимов, Ш.К. Кучканов, А.Э. Кимизбаева, Б.А. Бабажанов, У.Х. Холиков «Оксид титана и его основные свойства, определяемые методом рентгеновской дифрактометрии» Научны вестник Наманганского государственного университета. -2024, №. 5, с. 24-28

[14]. Arustamov, V.N., Khudaykulov, I. K., Kremkov, M. V., Ashurov, K. B., Kosimov, I. O., Kharyakov, V. P., & Berdiyev, U. F. Creation of Low-Ohmic Copper Contacts on the Surface of Silicon Crystals for Application in Photocells //Applied Solar Energy. – 2023. – Т. 59. – №. 2. – С. 95-101.

[15]. Хожиев, Ш. Т., Ротштейн, В. М., Ашуров, Р.Х., & Гаибназаров, Б.Б., Косимов И.О. Спектры комбинационного рассеяния света пленок селенида кадмия // Научный вестник Наманганского государственного университета. – 2020. – Т. 2. – №. 10. – С. 22-29.

[16]. Xoliqov O‘., XojiyevSh., Kosimov I., Khudayqulov I., Kaxramonov B. Si/ZnO sirtida magnetronli changlatish usulida quyosh elementi sifatida yupqa Mis oksidi qatlamini o‘stirish va tavsiflash. O‘zMU xabarлари. Toshkent 2025 473-477- b.