

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIX Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS
of the XIX International Scientific Conference
for students and young scholars
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024
Астана**

УДК 001

ББК 72

G99

«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-601-7697-07-5

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001

ББК 72

G99

ISBN 978-601-7697-07-5

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2024**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ТОНКИХ ПЛЕНОК CuV_2O_4 С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ И
СТРУКТУРНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА
СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПЛЕНОК**

Сембаев Серік Сембайұлы

s.sembayev01@gmail.com

магистрант кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий ЕНУ им. Л.Н.

Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – PhD, и.о. доцент Шлимас Д.И.

В течение продолжительного времени тонкие пленки были объектом интереса для исследователей в различных областях науки и техники, благодаря их уникальным физическим свойствам и постоянно расширяющимся возможностям применения. Композитные пленки являются одним из наиболее перспективных материалов для экранирования, так как они обладают хорошей механической прочностью и гибкостью, а методика синтеза с помощью электрохимического осаждения обеспечивает высокую степень воспроизводства. Более того, чередование слоев в композитных пленках может повысить их эффективность поглощения излучения, что делает данный метод еще более привлекательным с точки зрения контролирования процесса синтеза. Изучение структурных и морфологических особенностей композитных пленок может помочь оптимизировать процесс создания защиты для электронных устройств, улучшить их защиту от ионизирующего излучения и снизить возможность неисправностей.[1]

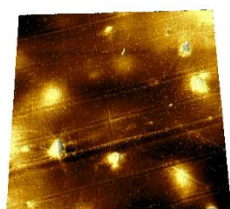
Исследователи все больше обращают внимание на композитные пленки на основе висмута-меди, так как они проявляют высокие экранирующие свойства. Высокая плотность висмута обеспечивает эффективное экранирование, а хорошая электропроводность и механическая прочность меди делают ее подходящим материалом для создания таких пленок. Использование наночастиц металлов, таких как медь, может улучшить экранирование за счет увеличения контактной площади между материалом и электромагнитным полем. Медь, а также другие металлы, такие как алюминий, серебро и золото, также могут использоваться для экранирования из-за их высокой электропроводности и способности к эффективному экранированию электромагнитных волн высоких частот. Выбор меди и висмута, а также их оксидных соединений в виде шпинельных структур, объясняется их сочетанием свойств, которые позволяют создавать прочные структурные соединения с высокой экранирующей способностью [2,3]. Тройное соединение CuV_2O_4 обладает необычной кристаллической структурой со стопками квадратных плоских групп CuO_2 , связанных с искаженными тригональными полиэдрами V_2O_6 , что связано с очень интересными электрическими и антиферромагнитными свойствами [4].

Синтез пленок на основе Cu-Vi проводился методом электрохимического осаждения из раствора электролита при разности прикладываемых потенциалов 3.5 В. Контроль за осаждением был проведен методом хроноамперометрии мультиметром «Agilent 34410A» и источником постоянного тока «HP DC Measurement 66312A». В данном эксперименте было выбрано время от 10 до 90 минут для процесса осаждения. Для контроля равномерности осаждения использовался хлорсеребряный потенциал сравнения. В качестве подложки для получения тонкопленочных покрытий были использованы полимерные пленки, которые обладают адгезионными свойствами и изотропны по составу и толщине. Для инициализации процессов осаждения на полимерные пленки был нанесен слой золота толщиной не более 30 нм методом магнетронного напыления. Равномерность нанесения слоя контролировалась с помощью кремниевого детектора, который позволял определять временную зависимость изменения толщины нанесенного слоя при заданных параметрах напыления. Для определения

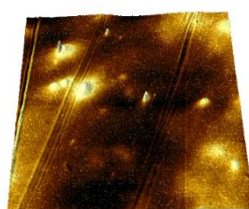
степени кристалличности образцов пленок был произведен анализ весовых вкладов основных дифракционных рефлексов и площади фонового излучения, которая характерна для структурно-неупорядоченных областей в составе исследуемых образцов. Соотношение весовых вкладов площадей в процентном отношении отражает степень упорядочения кристаллической структуры в процессе ее формирования, а также последующих воздействий или коррозии. Это позволяет определить степень структурного упорядочения или неупорядоченности образцов пленок. Чтобы проверить твердость образцов использовалась алмазная пирамида Виккерса в качестве индентера для проведения измерений на микротвердомере Durolin-M от компании Metkon. Морфологические особенности синтезированных пленок осуществлялось с помощью метода АСМ – атомно-силовой микроскопии. С помощью возможностей АСМ полученные изображения могут быть представлены в 2D и 3D формате, что позволяет наблюдать структурные особенности и механизмы образования зерен на различных этапах осаждения. Таким образом, АСМ предоставляет возможность детального изучения микроструктуры и морфологии поверхности пленок, а также позволяет проводить анализ физико-химических свойств образцов в режиме реального времени [1, стр. 332].

Из результатов анализа следует, что состав пленок состоит из меди, висмута и кислорода, без наличия других элементов, таких как углерод или сера. Это говорит о том, что в процессе синтеза не происходит выпадение осадков в виде нитратных соединений. Данные также показывают временную стабильность процесса осаждения и формирования элементного состава с сохранением соотношения элементов в пределах погрешности измерения. Кроме того, увеличение времени осаждения не приводит к изменению соотношения элементов, что говорит о том, что формирование кислородосодержащих пленок происходит не только на стадии зарождения активных центров роста, где кислород в силу своей подвижности способен внедряться в образующиеся кластеры в виде зерен или мелкодисперсных частиц на катодной поверхности, но и на дальнейших этапах роста пленок, где кислород активно внедряется в структуру пленки, образуя оксидные соединения. Главные изменения, которые происходят в зависимости от времени осаждения, связаны с ростом пленок, укреплением и изменением размеров зерен, что приводит к структурному упорядочению. Анализ положения основных дифракционных рефлексов показал, что при увеличении времени осаждения более 60 минут степень структурного упорядочения меняется незначительно по сравнению с более короткими временами, возможно, из-за насыщения процесса и достижения предела степени структурного упорядочения.

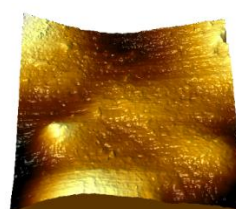
Рисунок 1 показывает, как меняется шероховатость и зернистость поверхности пленок в зависимости от времени осаждения. АСМ анализ результатов позволил выделить три этапа роста пленок. В начале синтеза образуется однородная пленка, состоящая из зерен малого размера, а на поверхности пленок появляются небольшие агломераты этих зерен, которые действуют как центры активации для дальнейшего роста пленки. При увеличении времени осаждения плотность агломератов увеличивается, что приводит к формированию зерен большего размера. На втором этапе формируются крупные агломераты зерен сферической формы, что характерно для времен осаждения 50-60 минут. Затем происходит заполнение межзеренного пространства и перекрытие зерен, а завершающей стадией роста пленок является выравнивание поверхности и формирование новых неоднородностей меньших размеров.



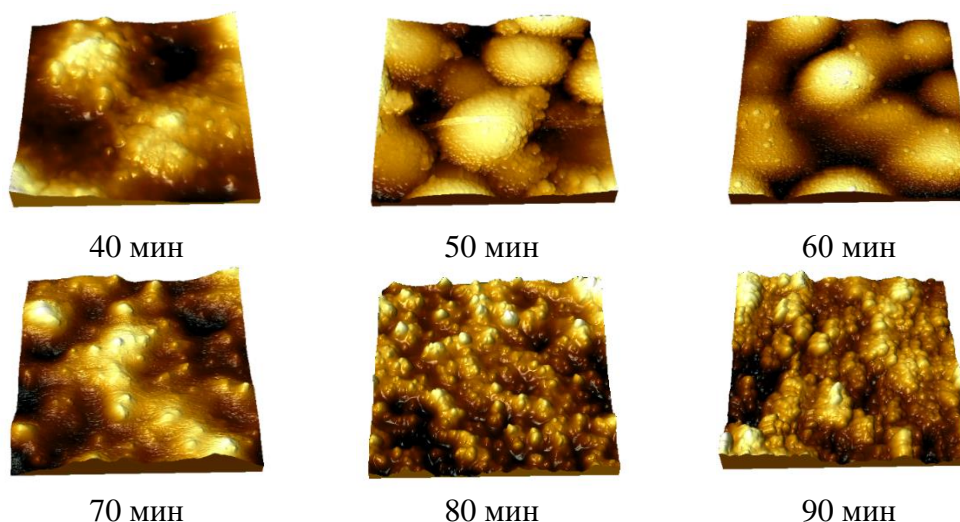
10 мин



20 мин



30 мин



Примечание – составлено на основе источника [1, стр. 335]

Рисунок 1 3D реконструкция АСМ изображений морфологических особенностей поверхности синтезированных пленок в зависимости от времени осаждения.

В результате исследований было установлено, что рост пленок происходит через формирование активационных центров роста на начальных этапах, которые служат основой для формирования более крупных зерен, заполнения пустот между ними и образования пленок, состоящих из мелких зерен с плотной упаковкой. Исследования методом рентгеновской дифракции показали, что пленки имеют тетрагональную фазу CuBi_2O_4 и высокую степень упорядоченности структуры.

Для определения толщины синтезированных пленок в зависимости от времени осаждения были использованы методы определения толщины с помощью оценки боковых сколов с использованием растровой электронной микроскопии, а также оценочных расчетов толщины, основанных на определении плотности тока и времени осаждения, с применением метода Фарадея. Результаты сравнительного анализа представлены на рисунке 2.

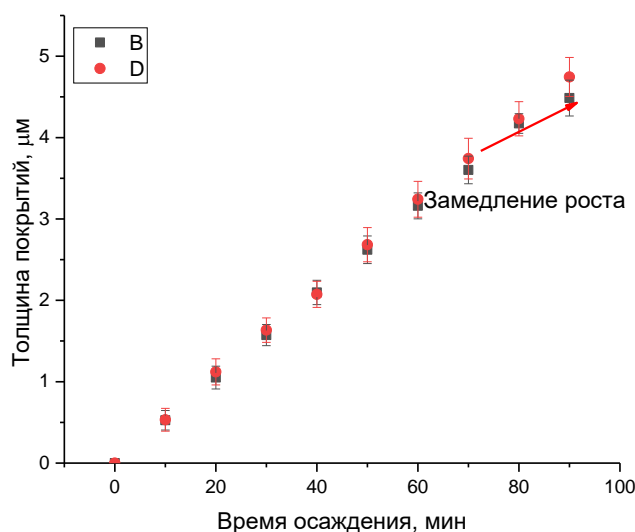


Рисунок 2 Зависимость изменения толщины синтезированных тонких пленок от времени осаждения.

Как видно из представленных данных, изменение толщины пленок в зависимости от времени осаждения, определенное с помощью двух методов имеет хорошее согласие, а также линейную зависимость увеличения толщины от времени, вплоть до 70 минут осаждения. В случае осаждения пленок при времени выше 70 минут наблюдается снижение толщины пленок, что свидетельствует о замедлении роста пленок. Такое замедление может быть объяснено эффектами обеднения серноокислых растворов при длительном времени осаждения, о чем также свидетельствует снижение плотности тока после 70 минут на 5 – 7 % в сравнении с начальными значениями плотности тока. При этом увеличение времени осаждения выше 50 минут, согласно данным атомно-силовой микроскопии приводит к изменению морфологии формирующихся покрытий с образованием крупных агломератов, представляющих собой скопления зерен, что приводит к возникновению неоднородностей пленок и увеличению шероховатости.

Для определения прочностных характеристик синтезированных тонких пленок CuV_2O_4 в зависимости от времени получения был применен метод индентирования. В качестве индентера использовалась алмазная пирамидка Виккерса, измерение проводилось на микротвердомере Durolin – M (Metkon). Испытания проводились при постоянной нагрузке на индентер с силой 0.1 Н, время нажима на образец составляло 15 сек, после измерений были изучены отпечатки на поверхности пленок с целью установления геометрических размеров диагоналей следов индентера и вычисления значений твердости. Для определения твердости по Виккерсу использовалась формула (1):

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad (1)$$

где P – величина нагрузки на индентер, Н; d – размер диагонали отпечатка индентера.

Для определения среднего значения величины твердости было выполнено в виде серийных испытаний, состоящих из 10–15 последовательных индентирований и определений значений твердости. Результаты оценки твердости в зависимости от времени осаждения представлены на рисунке 3.

Согласно представленным расчетам величины твердости в зависимости от времени осаждения тонких пленок было установлено 3 основных стадии формирования пленок, характеризующимися различными эффектами упрочнения и изменений прочностных характеристик. Первая стадия характерна для времен осаждения в диапазоне 0 – 40 мин, для которых значения твердости колеблются в диапазоне 13 – 15 HV, с незначительным увеличением в зависимости от времени осаждения. Данная стадия характерна для зарождения центров активации, вокруг которых происходит формирование основной структуры в результате процессов кристаллизации, а также последующего образования массивной пленки на поверхности подложки. В этом случае малые значения твердости обусловлены плохо связанной кристаллической структурой, а также малой толщиной пленки, при внешних воздействиях на которую происходит ее деформация.

Вторая стадия характерна для резкого увеличения значений твердости в диапазоне времен осаждения с 50 до 70 мин, обусловленному эффектам упрочнения и формирования структурно-упорядоченных пленок.

Третья стадия от 70 до 90 минут осаждения характеризуется малыми изменениями значений твердости 32 – 32.5 HV, что свидетельствует о формировании плотноупакованной структуры пленок, обладающих высокой прочностью, при этом не изменяющейся в зависимости от толщины, варьирование которой происходит при увеличении времени осаждения.

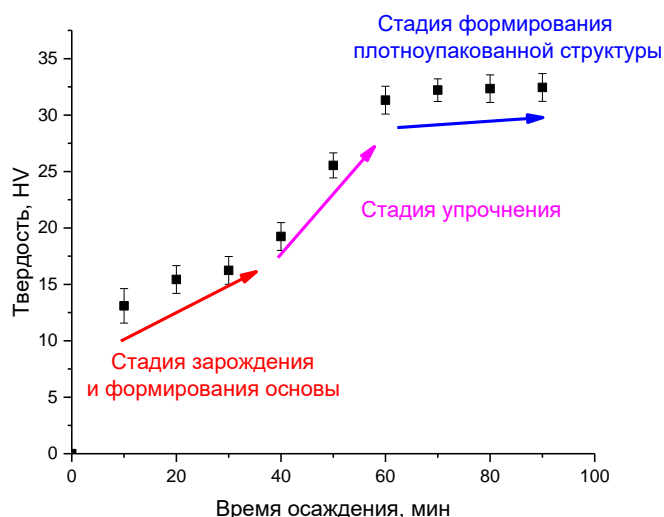


Рисунок 3 Результаты изменения твердости в зависимости от времени осаждения тонких пленок.

На рисунке 4 представлены результаты сравнительного анализа изменений величины упрочнения и толщины тонких пленок, синтезированных в зависимости от времени осаждения. Данный сравнительный анализ позволяет установить взаимосвязь между показателями прочностных характеристик, в том числе упрочнением и повышением сопротивляемости к растрескиванию и толщиной полученных пленок. Расчет величины упрочнения был произведен на основе изменений величины твердости в зависимости от времени осаждения. В качестве начальной величины относительно которой проводилось сравнение было выбрано значение твердости пленок полученных при времени осаждения 10 минут.

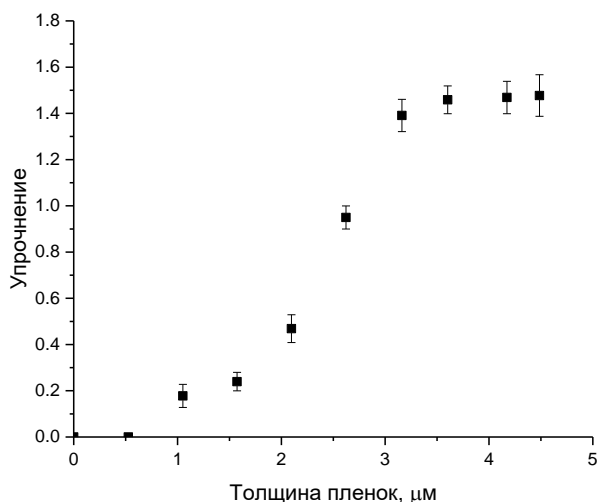


Рисунок 4 Взаимосвязь между толщиной тонких пленок и упрочнением.

Общий вид представленной зависимости свидетельствует о том, что основной процесс упрочнения происходит в диапазоне времен осаждения от 0 до 60 минут, характерных для формирования толщин пленок ниже 3.5 мкм. В случае когда толщина пленок становится выше

3.5 мкм величина упрочнения остается постоянной, из чего следует, что наибольший эффект упрочнения которого можно достичь при увеличении времени осаждения составляет не более 1.6 раз в сравнении с начальным значением твердости. При этом в этом случае изменение величины твердости при различных временах осаждения свидетельствует о наличии анизотропии в значении твердости, с характерными малыми значениями показателей твердости при толщинах пленок меньше 2.0 – 3.0 мкм.

Список использованных источников

1. Кадыржанов Д. и др. СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ CuBi_2O_4 , ПРИМЕНИМЫХ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ //Вестник КазАТК. – 2022. – Т. 123. – №. 4. – С. 330-338.
2. Fedotov A. et al. Electrodeposition conditions-dependent crystal structure, morphology and electronic properties of Bi films //Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Т. 887. – С. 161451.
3. Dahman Y. et al. Nanopolymers //Nanotechnology and functional materials for engineers. – 2017. – С. 121-144.
4. Duployer B. et al. Preparation and study of CuBi_2O_4 thin films by RF magnetron sputtering //Materials Research Bulletin. – 2020. – Т. 130. – С. 110940.

УДК 538.911

КОМПЕНСАЦИЯ ПОЛНОГО МАГНИТНОГО МОМЕНТА В ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ $\text{Mn}_2\text{Co}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{Z}$ ($\text{Z} = \text{Al}$)

Жанғазы Т., Туракбаев Д.Т.

Магистрант, Физико-Технический Факультет, Евразийский Национальный Университет им.
Гумилева

Научный руководитель – Т.Инербаев

Предмет. В последние годы сплавы Гейслера широко изучались из-за их разнообразных магнитных явлений. Среди них сплавы Гейслера на основе марганца привлекли большое внимание благодаря своим уникальным свойствам и потенциальному применению во многих технологических областях. Одним из важных применений сплавов Гейслера на основе марганца является их использование в области спинтроники - области электроники, где передача энергии и информации осуществляется не электрическим током, а током спинов. Для этого нужно изучить разные физические свойства этих металлов, особенно магнитные свойства.

Цели. Исследование физических свойств структуры $\text{Mn}_2\text{Co}_{0.5}\text{V}_{0.5}\text{Z}$ ($\text{Z} = \text{Al}$). Вычисление и нахождение компенсации полного магнитного момента.

Методология. В процессе были использованы разные физические и математические приближения. В качестве метода расчета был использован теория функционала плотности. Также на основе этого метода был использован программа VASP.

Результаты. Структурные, электронные и магнитные свойства $\text{Mn}_2\text{Co}_{1-x}\text{V}_x\text{Z}$ ($\text{Z} = \text{Al}$, $x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$). 1) Сплавы Гейслера были теоретически исследованы для случая структур $L2_1, L2_{1b}$ и ХА. Было обнаружено, что структура ХА более стабильна при низких концентрациях V, в то время как структура $L2_1$ энергетически выгодна при высоких концентрациях V. Переход от упорядочения $L2_1$ к упорядочению ХА происходит вблизи $x = 0,5$, что качественно согласуется с результатами эксперимента. Было обнаружено, что структура ХА более стабильна при низких концентрациях V, в то время как структура $L2_1$ энергетически выгодна при высоких концентрациях V. Переход от упорядочения $L2_1$ к упорядочению ХА происходит вблизи $x = 0,5$, что качественно согласуется с результатами эксперимента. Сравнение энергий структур $L2_{1b}$ и ХА приводит к тому, что фазовый переход