

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Н.Н. АБДУЛЗАДЕ, И.А. АЛИЕВ, Д.А. АХМЕДОВА,
С.Ш. КАХРАМАНОВ, Н.Н. МУРСАКУЛОВ

Институт Физики НАНА им. Г.Б Абдуллаева
nmmursakulov@physics.ab.az

Приведены результаты атомно-силовой микроскопии (АСМ) поверхностей тонких пленок в гетероструктурах $\text{Mo/p-Cu}_2\text{ZnSnSe}_4/\text{n-CdS/Mo}$, полученных методом магнетронного распыления в атмосфере аргона на подложках из стекла.

ВВЕДЕНИЕ

Фотоэлектрическое преобразование солнечного излучения в СЭ на основе тонкопленочных $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se},\text{S})_4$, благодаря удачному сочетанию фотоэлектрических и энергетических параметров этих полупроводников, открывает перспективы существенного повышения эффективности, и снижения стоимости солнечной электроэнергии. Стоит отметить также, что $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ представляет собой экологически безопасный материал, и в земной коре запасы компонентов этого материала находится в изобилии, что делает эти материалы весьма перспективными в смысле их экономичности [1].

Для получения слоев, содержащих соединения меди, цинка, олова и селена применяются различные физические методы, в частности, термическое испарение в вакууме, пульверизация водных растворов с пиролизом на нагретой подложке, молекулярно-лучевая эпитаксия, высокочастотное ионное распыление. Однако перечисленные методы обладают рядом недостатков, к числу которых можно отнести высокотемпературный характер процессов, лежащих в их основе, а так же необходимость в высоком вакууме, использование достаточно сложного аппаратного оформления. При этом не всегда обеспечивается получение необходимых функциональных свойств пленок. Интересен в этой связи метод одновременно магнетронного распыления из двух магнетронов со смещенными магнитными системами [2]. Этот метод был успешно применен для получения пленок из материалов SiGSS . Важную роль для преобразователей солнечного излучения играет состояние поверхности материалов, в частности, ее геометрические характеристики. Состояние поверхности существенно влияет на форму и величины потенциального барьера, на параметры объемных зарядов и в следствии на эффективность солнечных элементов (СЭ).

Эффективным и удобным способом более детально описать архитектуру поверхности пленки является фрактальный анализ изображений, полученных, в частности, с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) [3]. АСМ-изображения поверхности использовались для анализа морфологии поверхности пленок и естественно для поиска технологических режимов для получения пленок с соответствующей морфологией поверхности. Целью настоящей работы являлось установление

закономерностей между условиями режимов магнетронного распыления для осаждения тонких пленок и морфологическими особенностями поверхности пленок, определенной путем анализа АСМ-изображений. Так же выявление активных поверхностных нано объектов методом атомно-силовой микроскопии.



Рис.1. Тонкопленочная гетероструктура $\text{Mo/p-Cu}_2\text{ZnSnSe}_4/\text{n-CdS/Mo}$, где: 1- подложка из стекла, 2- контактный материал из Mo, 3- пленка из $\text{p-Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, 4- пленка из n-CdS

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТА.

Пленки из молибдена для сплошного нижнего, так и верхнего контакта в виде полосок и пленки из $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) были получены методом магнетронного распыления порошка из этого же материала в атмосфере аргона при постоянном токе разряда. Пленки из CdS получались термическим испарением при высоком вакууме. Магнетронное распыление и термическое испарение осуществлялись на модифицированном УВН-71П.

Исследование морфологии поверхности пленок осуществлялись предварительно под оптическим - металлургическим микроскопом и под бесконтактным АСМ фирмы Брукер.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе сделаны сравнительные анализы морфологии пленок, полученных непосредственно на стеклянной подложке и на поверхности нижней металлической тонкой пленки из молибдена. Известно, что как электрические (например, удельная проводимость) и оптические свойства (коэффициенты отражения и поглощения) CZTSe зависят как от толщины пленки, так и от поведения проводимости с особенностями рельефа поверхности.

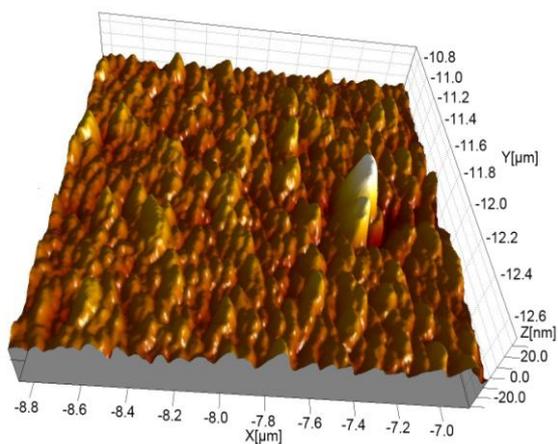


Рис.2. 3d АСМ - изображение пленки из $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (2x2 мкм), полученной на стеклянной подложке. Время магнетронного распыления (МР)15 мин.

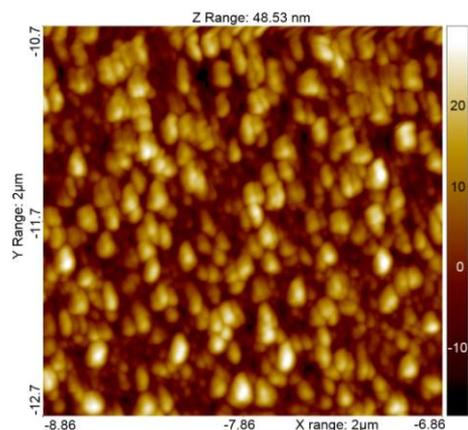


Рис.5. 2d АСМ - изображение пленки из $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, полученной на стеклянной подложке (2x2 мкм). Время МР 30 - мин.

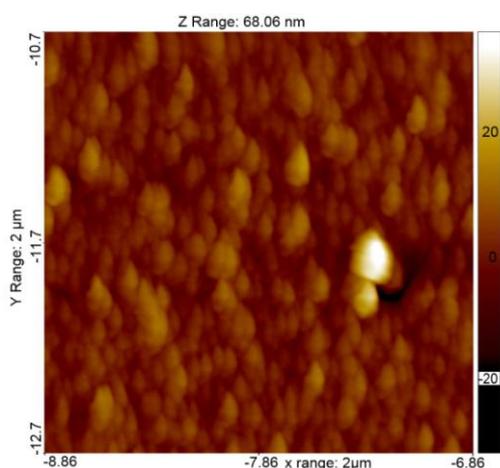


Рис.3. 2d АСМ - изображение пленки из $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (2x2 мкм), полученной на стеклянной подложке. Время МР 15 - мин

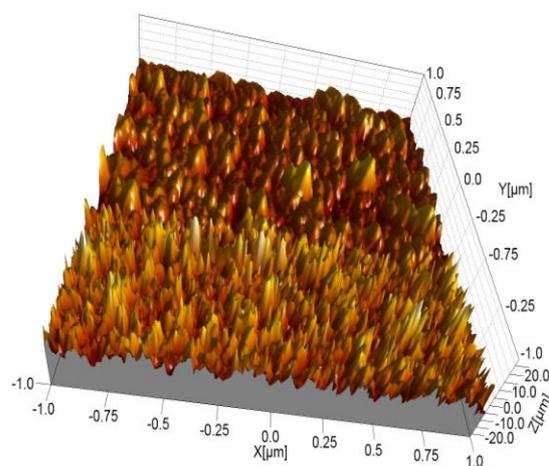


Рис.6. 3d АСМ изображение пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (2x2 мкм), подложкой является стекло (верхняя часть) и пленка Мо на стекле (нижняя часть), время МР - 15 мин.

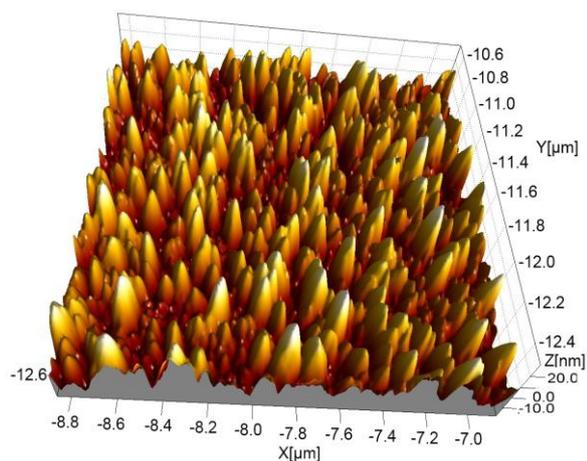


Рис.4. 3d АСМ - изображение пленки из $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, полученной на стеклянной подложке. (2x2 мкм). Время МР - 30 мин.

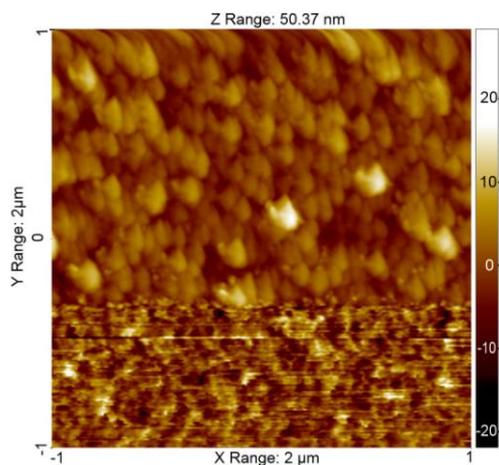


Рис.7. 2d АСМ изображение пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (2x2 мкм), подложкой является стекло (верхняя часть) и пленка Мо на стекле (нижняя часть), время МР - 15 мин.

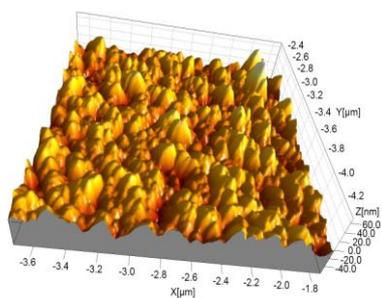


Рис.8. 3d АСМ изображение пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, (2x2 мкм) подложкой является пленка из Мо, выращенная на стекле. Время МР - 15 мин

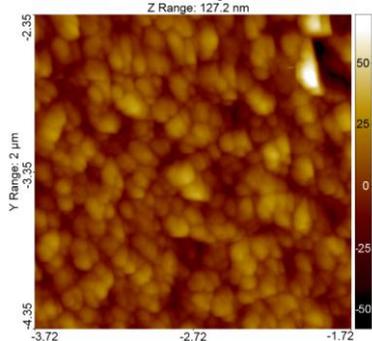


Рис.9. 2d АСМ изображение пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, (2x2 мкм) подложкой является пленка из Мо, выращенная на стекле. Время МР - 15 мин

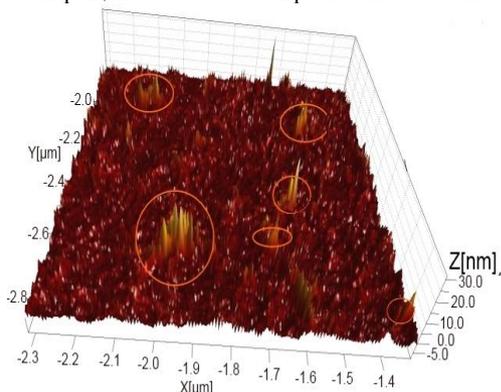


Рис.10. 3d АСМ изображение пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (1x1 мкм), подложкой является пленка из Мо, выращенная на стекле. НО выведены колечками.

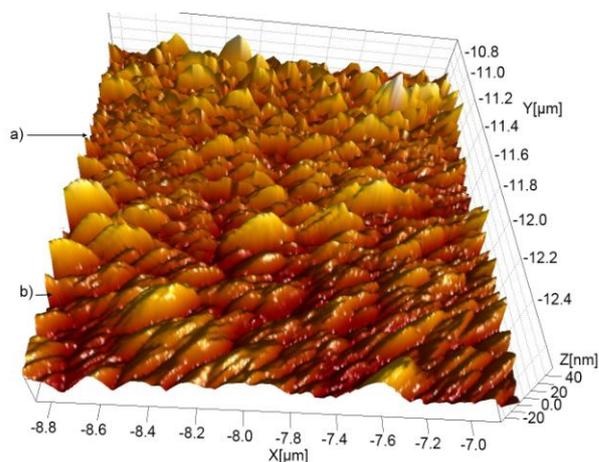


Рис.11. 3d АСМ изображение пленки из CdS (2x2 мкм), над пленкой из $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (а), и пленки, верхнего контакта Мо (б) на CdS. (образец /4red/)

Выявлены активные поверхностные нано объекты методом атомно–силовой микроскопии. Выявлены, что поверхностные нано островки получаются так на поверхности пленок из молибдена, так и на пленках из CZTSe, и сульфиде кадмия, полученных как на стеклянных подложках, так и на предварительно нанесенном на стекло пленке Мо. Получены следующие структуры: а) на поверхности CZTSe выявлены нано объекты с различным пространственным расположением наноостровков (НО) регулярных равных высот - 5-10 nm; б) диффузионное – сконцентрированные НО с высотами более 15nm. Установлено, что диффузионные процессы в виде коалесценции приводят к сближению отдельных малых наночастиц и образованию контактов между ними; могут взаимодействовать два, три и более НО. Все изложенное продемонстрировано на рисунках 2-11.

Работа поддерживалась фондом УНТЦ (проект № 6148).

[1] H. Katagiri, $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ thin film solar cells. *Thin Solid Films*, 480, 426. (2005).
 [2] N.N.Abdulzadə, S.T.Ağaliyeva, K.Ə.Əsgərova, D.A.Əhmədova, Ç.E.Səbzəliyəva, A.K.Zamanova, N.N.Mursakulov. Maqnit sistemləri sürüşdürülmüş iki maqnetron dan tozlandırma üsulu ilə nazik təbəqəli günəş elementləri üçün $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$

təbəqələrinin alınması və tədqiqi. *AJP "FİZİKA"*, 2018, v.XXIV, N1, section:Az, pp13-17.
 [3] Ф.К. Алескеров, С.Ш. Кахраманов, К.Ш. Кахраманов. Морфология поверхности (0001) $\text{A}_2^V \text{B}_3^{\text{VI}}$ <ПРИМЕСЬ>. *Журнал «FİZİKA»*, 2009 СİLD XV №2 38]