

М.Б. ДЕРГАЧЕВА, К.А. УРАЗОВ, К.А. МИТЬ, Н.Н. ГУДЕЛЕВА, В.П. ГРИГОРЬЕВА

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МОРФОЛОГИЮ ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК CuInSe₂/Mo ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Институт органического катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, г. Алматы

Методами рентгенофазового и электронно-зондового анализа, электронной и атомной силовой микроскопии исследованы структурные характеристики, морфология поверхности, элементный состав и размер кристаллитов соединения CuInSe₂, электроосажденного на гибкие молибденовые пластины и термически обработанные в аргоновой плазме и в атмосфере аргона под давлением. Установлено, что при потенциале -250мВ осаждаются все три компонента соединения CuInSe₂, но структура осадка менее плотная, отдельные кристаллы растут, не связанные с основной пленкой, что отрицательно сказывается на электронных свойствах получаемого полупроводника. Осадки, полученные при потенциалах -400, -500мВ представляют собой оформленные кристаллиты, состоящие из более мелких частиц, которые равномерно распределены по поверхности. Термообработка приводит к укрупнению кристаллов соединения, характерные линии интенсивностей на спектрах РФА резко возрастают. Показано, что отжиг в атмосфере аргоновой плазмы при 150°C и в атмосфере аргона при 410°C позволяет получить более совершенную структуру тройного соединения и улучшить полупроводниковые свойства его пленок.

Характерной особенностью функционирования высокоэффективных приборов преобразования солнечной энергии в электрическую, основанных на CuInSe₂ или CuIn_xGa_{x-1}Se₂, является то обстоятельство, что применяемые абсорбционные пленки должны иметь возможно более гладкую поверхность и состоять из больших, плотно упакованных зерен. Поэтому одной из стадий технологического процесса изготовления фотопреобразователей на основе тонких пленок CuInSe₂, CuIn_xGa_{x-1}Se₂ является стадия термообработки осажденной тонкой пленки, следующая за стадией собственно электроосаждения и позволяющая осуществить процесс кристаллизации пленки или изменить тип ее проводимости. Необходимость данной стадии связана с аморфной или недостаточно кристаллической структурой, состоящей из небольших зерен, образующихся непосредственно после электроосаждения прекурсорных пленок CuInSe₂ или CuIn_xGa_{x-1}Se₂. Анализ процессов, происходящих в ходе стадии термообработки электроосажденных пленок CuInSe₂ или CuIn_xGa_{x-1}Se₂, приводит к заключению о существенном вкладе этой стадии в создание условий для переноса фотогенерированных электронов. В известной литературе предлагаются различные режимы отжига пленок халькогенидов. [1-5].

В настоящей работе рассмотрено влияние отжига в аргоне. Ранее нами при отжиге в воздушной атмосфере [5] наблюдалось окисление индия с поверхности и образование фазы оксида индия. Отжиг в вакууме в ходе высокотемпературной стадии прокаливания приводит к потерям с поверхности селена, имеющего намного большее давление пара, чем медь, индий и галлий, а с целью компенсации рекомендуется, чтобы атмосфера в ходе этой стадии содержала сверхдавление селена.[2] Из литературных данных известно также, что высококачественными пленками CuInSe₂ или CuIn_xGa_{x-1}Se₂ являются пленки, не имеющие избыточного количества меди в узелках (зернах), пустотах или вакансиях, которые сокращают эффективность превращения солнечного излучения [1-3]. Однако систематического изучения влияния стадии термообработки на морфологию пленок, их кристалличность, размер зерен не проводилось.

Целью данной работы явилось исследование влияния термического отжига в аргоновой плазме при пониженных температурах и в атмосфере аргона под давлением на состав, морфологию, кристалличность и размер зерен пленок CuInSe₂, приготовленных методом электроосаждения.

Методика

Методом электроосаждения по методике [6-8] на гибких молибденовых пластинах изготовлены тонкопленочные структуры CuInSe₂ и проведен их отжиг в различных условиях. Для исследования

электрохимических характеристик и установления потенциалов электроосаждения использовали молибденовый дисковый электрод в качестве рабочего электрода ($S=0.0785 \text{ см}^2$).

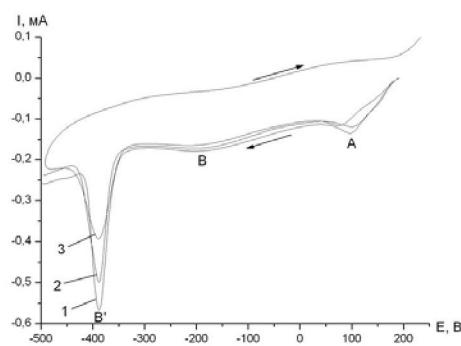
Для исследования морфологии поверхности и структуры осажденных пленок использовали гибкие молибденовые пластины с рабочей поверхностью $1,5 \text{ см}^2$. Применялась стандартная трехэлектродная ячейка с вспомогательным платиновым электродом площадью 1.5 см^2 и хлорсеребряным электродом сравнения, относительно которого приведены все потенциалы. Рабочие электроды зачищали перед каждым опытом с помощью пудры Al_2O_3 и промывали водой. Исследования выполнены при комнатной температуре с помощью универсального потенциостата-гальваностата GillAC (Великобритания) с компьютерной обработкой данных. Скорость развертки $V = 20 \text{ мВ}\cdot\text{s}^{-1}$. Электроосаждение при постоянных потенциалах проводили с помощью потенциостата ПИ-50-1, в термостатируемых условиях при 68°C . Проводилась непрерывная запись зависимостей ток-времени

В качестве фонового электролита использовали 0.1M сульфосалициловую кислоту ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_6\text{S}\cdot2\text{H}_2\text{O}$). Соли $\text{CuSO}_4\cdot5\text{H}_2\text{O}$ и NaHSO_3 имели чистоту марки ч.д.а. Толщина электроосажденных пленок колебалась от 1,5 до 2 микрометров. После осаждения пленки промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе, время электролиза – не менее 30 минут для поверхности $1,5\text{cm}^2$. После высушивания образцы отжигали при различных условиях. Термообработку в Ar-плазме проводили на установке в Физико-техническом Институте при температуре 150°C в течение 5 мин. Отжиг в сосуде, заполненном аргоном, проводили в муфельной печи при 410°C в течение 30 мин. Структурные характеристики электроосажденных пленок CuInSe_2 исследованы методом рентгенофазового анализа на приборе ДРОН-4 с $\text{CuK}\alpha$ -излучением. Морфологию поверхности и размер кристаллитов исследовали с помощью атомного силового микроскопа JSPM-5200. Содержание элементов в пленке CuInSe_2 определено методом рентгено-спектрального микроанализа с использованием прибора “Superprobe 733” как среднее значение из трех определений в различных участках поверхности ($S=1,5\text{cm}^2$) в атомных %. Отклонение от среднего значения не превышало $\pm 0,5\text{ат}\%$.

Результаты

Для исследования влияния термического отжига в аргоновой плазме и аргоне на состав, морфологию, кристалличность и размер зерен пленок CuInSe_2 электроосаждение проводили в потенциостатическом режиме в широком диапазоне потенциалов от $-0,25 \text{ В}$ до $-0,6 \text{ В}$.

На рисунке 1 приведен вид вольтамперной зависимости при линейной развертке потенциала при катодном осаждении пленки CuInSe_2 и окислении продуктов осаждения на молибденовом электроде. Область окисления ограничена потенциалами 150–200 мВ (потенциал окисления молибдена). Токи восстановления отражают восстановление ионов меди (пик A), ионов селена (пик B), восстановление селена до селенид-ионов (пик B1) [9].



$$C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}, C_{\text{Se(IV)}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}, C_{\text{In(III)}}: 1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}, 2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}, 3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}, t = 22^\circ\text{C}$$

Рис. 1. Вольтамперная кривая электроосаждения CuInSe_2 на Mo электроде (прямой и обратный ход).
Фон – 0.1 M сульфосалициловая кислота

Установлено, что уже при потенциале -250 мВ в составе осажденной пленки присутствуют все три элемента, поэтому исследование влияния термической обработки проводили для пленок, осажденных при различных потенциалах. Ниже приведены данные для свежеосажденных электроосаж-

денных пленок без отжига, с отжигом в аргоновой плазме при 150°C и при отжиге в аргоне при 410°C. Результаты по исследованию морфологии поверхности обобщены в таблице 3.

Свежеосажденные пленки без отжига. Был выполнен элементный анализ состава, не прошедшего стадию термообработки пленок CuInSe₂, осажденных на Mo подложку при различных потенциалах и изучены энергетические спектры осажденных пленок. Элементный анализ показал наличие в составе пленок меди, индия, селена, следов молибдена (подложка). В составе свежеосажденных пленок присутствует кислород, содержание которого уменьшается с увеличением отрицательного потенциала осаждения. Содержание кислорода: 11,6% для пленки, осажденной при -250 мВ, 4,9% в случае пленки, осажденной при -400 мВ; в составе пленки, осажденной при -550 мВ, кислород не обнаружен. Энергетические спектры получаемых на Mo подложке пленок идентичны спектрам для пленок CuInSe₂, электроосажденных на стеклоуглеродную подложку [5-7], отличаются только наличием энергетических линий подложки молибдена. На рисунке 2 приведены микрофотографии поверхности пленок, осажденных при различных потенциалах.

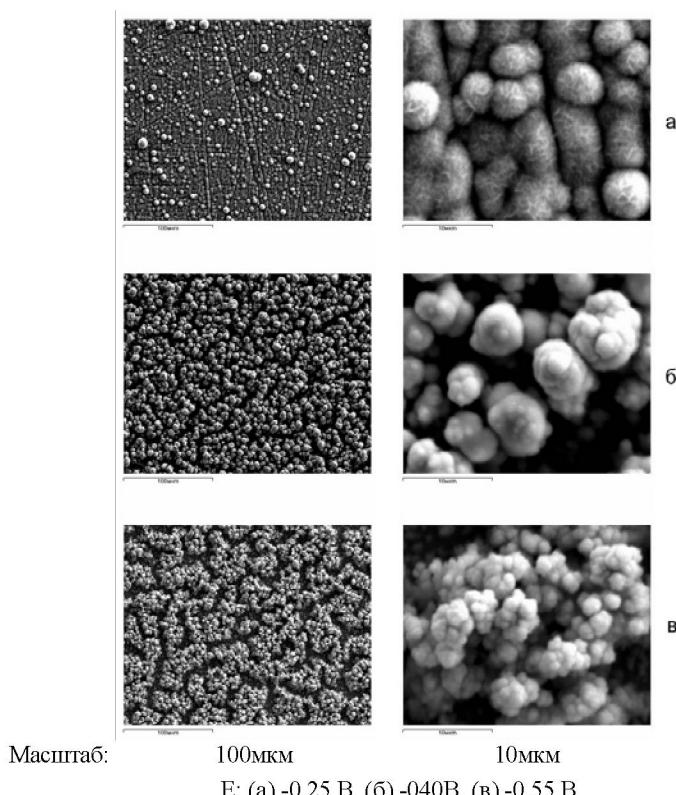


Рис. 2. Микрофотографии поверхности, не прошедших термообработку пленок CuInSe₂ на молибденовом электроде

Термообработка в Ar-плазме

Сравнение данных элементного анализа о составе пленок CuInSe₂, свежеосажденных на Mo подложке при потенциалах -250 мВ и -400 мВ, а также после стадии термообработки в Ar-плазме, свидетельствует о том, что такая термообработка приводит к уменьшению содержания селена в осадках. Особенно заметное уменьшение в 1,6 раза происходит для осадков, полученных при потенциале -400 мВ. Большое количество селена в свежеосажденных пленках при потенциале -400 мВ можно объяснить образованием сверхстехиометрического селена за счет химической реакции:



Термическая обработка приводит к формированию соединения с элементным составом, близким стехиометрическому. Сделано предположение, что легко летучий селен, не связанный в прочное соединение, удаляется с током плазмы.

Из таблиц 1 и 2 видно, как увеличивается содержание индия в составе осадка при сдвиге потенциала осаждения до -500 мВ. После обработки в плазме аргона происходит формирование сте-

хиометрического состава соединения CuInSe₂. Наиболее близок к стехиометрии осадок, полученный при -400 мВ и термически обработанный в аргоновой плазме при 150°C.

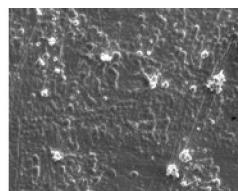
Таблица 1. Элементный состав свежеосажденных пленок CuInSe₂ до термообработки (ат %)

Потенциал, мВ	Вид обработки	Cl	O	Mo	Cu	Se	In	Итого, %
-250	Без отжига	0,35	11,62	6,85	22,18	45,38	13,62	100,00
-400	-<<-	нет	4,97	-нет	18,07	63,77	13,20	100,00
-550	-<<-	нет	-нет	1,17	18,31	58,86	21,66	100,00

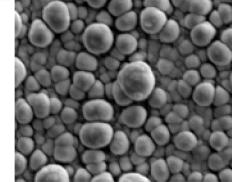
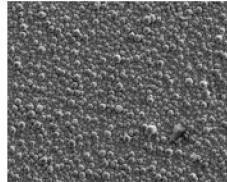
Таблица 2. Содержание основных элементов в пленке CuInSe₂ после обработки в аргоновой плазме. (ат. %)

Потенциал	Вид обработки	Cu	Se	In
-250 мВ	Ar-плазма 150°C	18,51	43,30	15,78
-400 мВ	Ar-плазма 150°C	19,10	40,05	20,5
-550 мВ	Ar-плазма 150°C	19,30	43,46	21,23

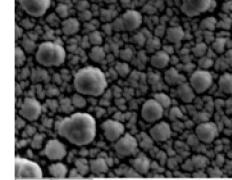
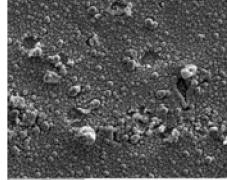
Анализ микрофотографий пленок CuInSe₂, отожженных в Ar-плазме при 150°C после осаждения на Mo подложку при потенциалах -250, -400 и -500 мВ (рис. 3), показал изменение морфологии поверхности при таких условиях термической обработки. Из рисунка 3 видно, что обработка в Ar-плазме пленок, полученных при -250 мВ, приводит к изменению формы частиц, пленка сглаженная, исчезают грани и объемность, минимальный размер частиц равен 1,8 мкм, радиус укрупненных агломератов достигает 13,6 мкм (рис. 3а). Для пленок, полученных при -400 мВ, наблюдаются зернистые, плотноупакованные шарики, размер частиц изменяется от 1,8 до 9,3 мкм. Частицы более упорядочены, чем при -250 мВ. Обработка в аргоновой плазме приводит к уплотнению шариков, уменьшается пористость, максимальный радиус крупных частиц не превышает 9,3 мкм (рис. 3б). Для пленок, полученных при -500 мВ (рис. 3 в), показано, что образуются более мелкие частицы, чем для -250 мВ и -400 мВ, с минимальным размером от 1,1 мкм, крупных частиц мало, максимальный размер не превышает 10 мкм.



а. Термообработанная в Ar-плазме пленка CuInSe₂/Mo, электроосажденная при E= -250 мВ



б. Электроосаждение CuInSe₂ на Mo-электроде при потенциале E= - 400 мВ с термообработкой в Ar-плазме



в. Электроосаждение CuInSe₂ на Mo-электроде при потенциале E= -500 мВ с термообработкой в Ar-плазме

Рис. 3. Микрофотографии поверхности пленок CuInSe₂ при двух различных увеличениях, после термообработки в аргоновой плазме

Анализ спектров РФА пленок CuInSe₂ после термообработки их в Ar-плазме (рис. 4) свидетельствует о монофазной кристаллической природе образующейся пленки. Пленки достаточно тонкие, поэтому отклик от молибденовой подложки выражен при всех потенциалах осаждения.

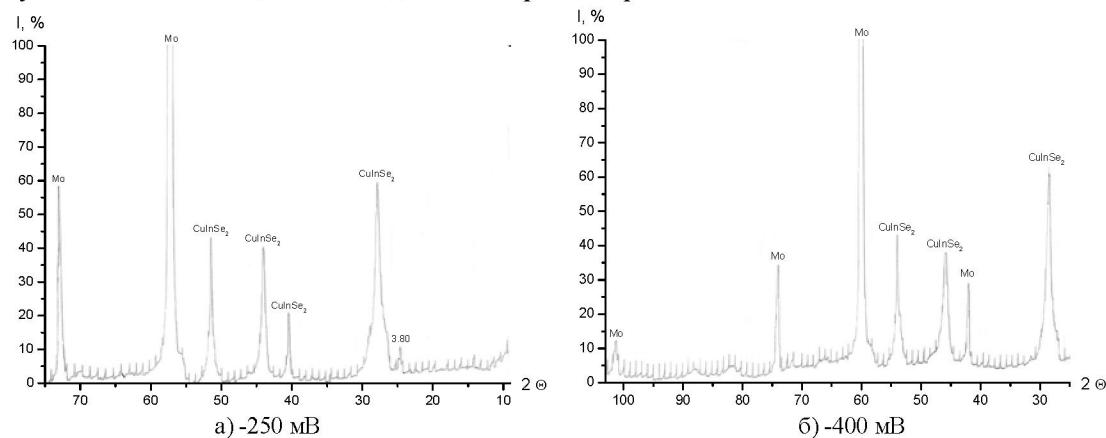


Рис. 4. Спектры РФА электроосажденных при различных потенциалах пленок CuInSe₂ на Mo-пластинах после термообработки в Ar-плазме

Термообработка в атмосфере аргона

Этот тип обработки пленок после электроосаждения проводили при температуре отжига 410°C. Из рис. 5 а видно, что после такой обработки на гладкой поверхности пленки, осажденной при -250 мВ, имеются участки в виде доменов частиц. Можно выделить отдельные монокристаллы CuInSe₂ пластиначатого типа с гексагональным мотивом огранки и хорошо выраженной изометрической формой. Размер частиц изменяется от 2,2 мкм до 4,5 мкм.

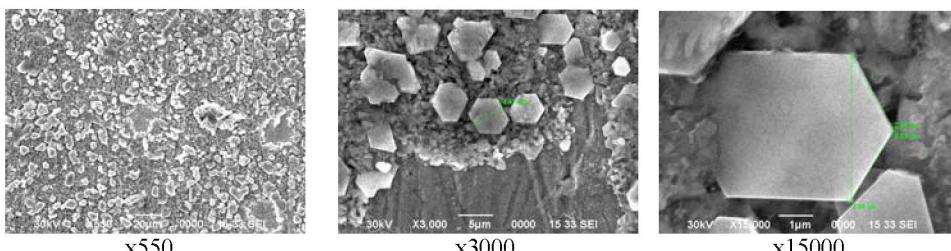


Рис 5 а. Микрофотографии при различных увеличениях термообработанной в атмосфере аргона пленки CuInSe₂/Mo, электроосажденной при E= -250 мВ

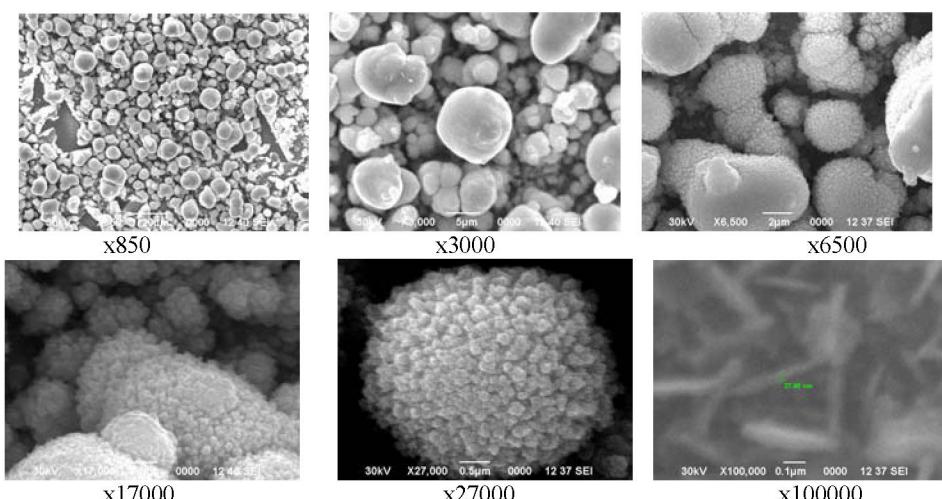


Рис. 5 б. Микрофотографии электроосажденных пленок CuInSe₂/Mo при потенциале E= -500 мВ после отжига в атмосфере аргона

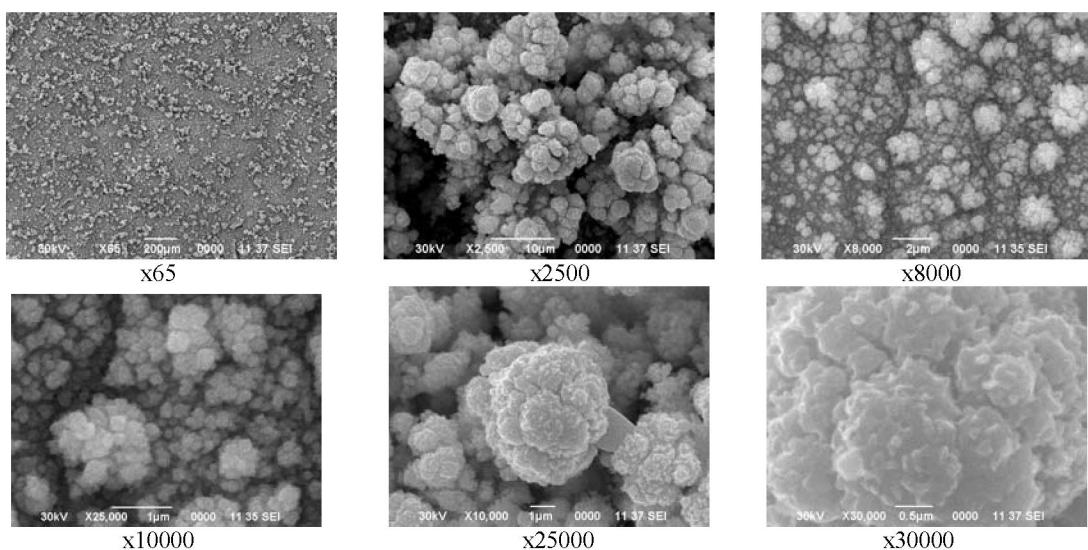


Рис. 5 в. Микрофотографии электроосажденных $\text{CuInSe}_2/\text{Mo}$ при потенциале $E = -550 \text{ мВ}$ после отжига в атмосфере аргона

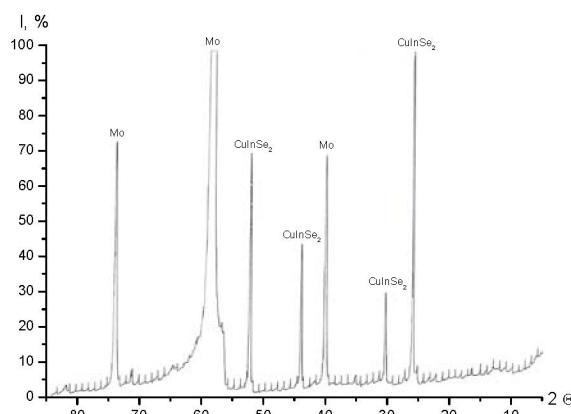


Рис. 6. Спектр РФА. Электроосаждение CuInSe_2 на Mo-электроде при потенциале $E = -250 \text{ мВ}$ с термообработкой в атмосфере аргона при 410°C

На микрофотографии пленки, осажденной при -500 мВ и отожженной в аргоне при 410°C (рис. 5б), видны просветы, открывающие Mo подложку, шарики круглые, неровной формы, наблюдается большой разброс частиц по размерам. На мелких частицах происходит рост частиц большего диаметра. Детальное рассмотрение пленки при больших увеличениях свидетельствует о том, что образующиеся шарики не гладкие, а состоят из мелких кристалликов игольчатого типа с размерами 37,9 нм и 89,9 нм. Форма растущих частиц при сдвиге потенциала электроосаждения в отрицательную сторону до -550 мВ после отжига в аргоне более сложная (рис. 5в), близкая к почкоподобной, типа цветной капусты, что часто отмечается исследователями [4] для этого типа пленок. Распределение кристаллов по размерам неоднородное, кристаллики- мохообразные, минимальный размер равен 0,1 мкм, размер укрупненных объемных частиц приближается к 6,2 мкм.

Сопоставление рентгенограмм пленок, термообработанных в Ar-плазме (150°C) и аргоне (410°C), свидетельствует о большей кристалличности пленок, образующихся после термообработки в аргоне по сравнению с Ar-плазмой, что подтверждается уменьшением шириной рентгеновских пиков фазы CuInSe_2 на спектрах РФА (рис. 6). В обоих случаях структура пленки монофазная, электроосаждение CuInSe_2 на молибденовой подложке происходит в виде кристаллов определенного типа и имеет преимущества перед осадками, полученными на стеклоуглероде и на стекле, покрытом оксидом олова [7]. Оно осуществляется при менее отрицательных потенциалах и обеспечивает лучшее качество осадка. Все полупроводниковые пленки после отжига показывают p-тип прово-

димости. Ширина запрещенной зоны для полупроводниковых пленок CuInSe₂, осажденных на гибкой Mo подложке при потенциале -500мВ и отожженных при 410°C в атмосфере аргона под давлением, была определена из спектров поглощения и составила 1,03 эВ. Эта величина несколько больше, чем известная для монокристаллических образцов, что благоприятно для использования таких пленок в солнечных элементах.

Таблица 3. Характеристика морфологии поверхности и размера частиц CuInSe₂ на гибкой молибденовой подложке

Потенциал, мВ	Без отжига	Отжиг в Ar-плазме, 150°C	Отжиг в аргоне, 410°C
-250	Глобулы практически одинакового размера 3,6 – 4,3 мкм Крупные частицы состоят из мелких кристаллитов, размер которых равен 50-100 нм.	Средний размер частиц 1,8 мкм Размер глобул 13,6 мкм Пленка слаженная, исчезли грани и объемность	Средний размер частиц от 2,2 мкм до 4,5мкм Кристаллы таблитчато-пластинчатого типа с гексагональным мотивом огранки
-400	Агрегаты мелких частиц размером 0,7 мкм, образующих губчатую пористую структуру, размеры более крупных частиц достигают 2,3мкм	Размер частиц изменяется от 1,8 до 9,3 мкм. Пленка плотная, состоит из частиц более упорядоченного размера, чем при -250 мВ.	нет
-500	нет	Частицы более мелкие, чем при -250 и -400 мВ, с минимальным размером от 1,1 мкм, крупных частиц мало, максимальный их размер достигает 10 мкм	***Шарики неровной формы. Детальное рассмотрение пленки свидетельствует о том, что образующиеся шарообразные частицы не гладкие, а состоят из мелких кристаллитов игольчатого типа, с размерами 37,9 нм и 89, 9нм
-550	Пленка (рис 3 в) не является сплошной, она осаждается агрегатами близкого размера, четко виден объемный рост пленки. На фоне темной подложки видны образующиеся объемные частицы до 8,5 мкм, состоящие из более мелких частиц 1,1мкм.	Нет	Распределение кристаллов по размерам неоднородное, минимальный размер равен 0,1 мкм, размер укрупненных объемных частиц приближается к 6,2 мкм
-600	Минимальный размер частиц от 1,0 до 1,3 мкм. Осадок плотный, равномерный, размер агломератов, образованных из более мелких частиц, составляет от 4,9 до 5,6 мкм. В процессе осаждения заметно выделение водорода.	Нет	Нет

*** Образцы показали лучшие полупроводниковые свойства

Выводы

Установлено, что при потенциале -250мВ осаждаются все три компонента соединения CuInSe₂, но структура осадка менее плотная, отдельные кристаллы растут, не связанные с основной пленкой, что отрицательно сказывается на электронных свойствах получаемого полупроводника.

Осадки, полученные при потенциалах -400, -500мВ, представляют собой оформленные кристаллиты, состоящие из более мелких частиц, которые равномерно распределены по поверхности. Термообработка приводит к укрупнению кристаллов соединения, характерные линии интенсивностей на спектрах РФА резко возрастают.

Отжиг в Ar-плазме осуществляется при более низкой температуре (150°C), чем обычно. Стехиометрический состав соединения после такой обработки оптимальный для пленок, осажденных при -400 мВ.

Процесс кристаллизации проходит более полно при отжиге в аргоне при -410°C , в результате чего формируется монофазная структура соединения CuInSe_2 . Данные электронной и атомной силовой микроскопии показали, что поверхность пленки ровная, не наблюдается дендрообразования. С ростом температуры наблюдается увеличение размера зерен. Получение более совершенной структуры тройного соединения благоприятно для изготовления солнечного элемента с улучшенной эффективностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kemell M., Ritala M., Leshela M. Thin Film Depositen Methods for CuInSe_2 Solar Cells // Solid State and Material Science. 2005. 30. P. 1-3.
2. Bhattacharya R.N., Hasoon F.S., Wiesner H. Keane J., Noufi R., Ramanathan K. Davis. Preparation of copper-indium-gallium-diselenide precursor films by electrodeposition for fabricating high efficiency solar cells. // US Patent 5871630 от 10.02.1999. С 23 С 028/02., Joseph & Negley. N 870081 от 06.05.1997.
3. Hand-book of photovoltaic science and engineering. Edit. A.Luque, S.Hegedus. USA. 2004. 1120 p.
4. Mitzi D.B., Yuan M., Liu W., Kellogg A.G., Chey S.J., Gignac L., Scrott A.C. Hydrazine-based deposition route for device-qualite CIGS films // Thin Solid Films. 2009. 517. P.2158-2162.
5. Дергачева М.Б., Гуделева Н.Н., Уразов К.А. Разработка технологии отжига пленок CuInSe_2 /стеклоуглерод для солнечных элементов // Промышленность Казахстана. 2011. №4. С.31-33.
6. Дергачева М.Б. Получение тонких пленок полупроводников методом электроосаждения // Проблемы электрохимии XXI века: Тезисы Междунар. школы-семинара, г.Алматы, 27-28 сент. 2007. г. Алматы, 2007. С.54-61.
7. Дергачева М.Б., Чайкин В.В. Электроосаждение полупроводниковых пленок CuInSe_2 на стеклоуглеродном электроде из сернокислых электролитов // Журн. Прикл. Химии. 2008. Т. 81. № 4. С. 576-579.
8. Дергачева М.Б., Уразов К.А., Пенькова Н.В. Электрохимические реакции при осаждении CuInSe_2 на стеклоуглеродном электроде // Вестник Евразийского Университета (Астана). 2009. №12. С.32-40.
9. Дергачева М.Б., Уразов К.А., Пенькова Н.В. Электроосаждение CuInSe_2 на молибденовом электроде // Региональный вестник Востока (Усть-Каменогорск). 2009. №3. С.32-40.

References

1. Kemell M., Ritala M., Leshela M. *Solid State and Material Science*. 2005. 30. 1-3 (in Eng).
2. Bhattacharya R.N., Hasoon F.S., Wiesner H. Keane J., Noufi R., Ramanathan K. Davis. *US Patent 5871630 от 10.02.1999. С 23 С 028/02., Joseph & Negley. N 870081 от 06.05.1997* (in Eng).
3. Edit. A.Luque, S.Hegedus. *USA. 2004*. 1120 (in Eng).
4. Mitzi D.B., Yuan M., Liu W., Kellogg A.G., Chey S.J., Gignac L., Scrott A.C. *Thin Solid Films*. 2009. 517. 2158-2162 (in Eng).
5. Dergacheva M.B., Gudeleva N.N., Urazov K.A. *Promishlennost' Kazakhstana*. 2011. 4. 31-33 (in Russ).
6. Dergacheva M.B. *Tezisi Mezhdunar. Shkoli-seminara. Almaty*. 2007. 54-61 (in Russ).
7. Dergacheva M.B., Chaikin V.V. *Zhurn.Prikl. Himii*. 2008. 81. 4. 576-579 (in Russ).
8. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Pen'kova N.V. *Vestnik Evraziiskogo Universiteta. Astana*. 2009. 12. 32-40 (in Russ).
9. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Pen'kova N.V. *Regional'nii Vestnik Vostoka. Ust'-Kamenogorsk*. 2009. 3. 32-40 (in Russ).

Дергачева М.Б., Уразов К.А., Мить К.А., Гуделева Н.Н., Григорьева В.П.

КҮН ЭЛЕМЕНТТЕРИНЕ АРНАЛҒАН $\text{CuInSe}_2/\text{Mo}$ ЭЛЕКТРОТҮНДҮРҮЛГАН
ЖҮҚА ҚАБЫҚТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН
МОРФОЛОГИЯСЫНА ТЕРМО ӨНДЕУДІҢ ӘСЕРІ

Д.В. Сокольский атында Органикалық катализ және электрохимия институты, Алматы

CuInSe_2 қосылысының құрылымды сипаттамасы, беттік морфологиясы, элементті құрамы және кристаллиттердің мөлшері рентгенофазалық және электронды-зондолы талдау, электронды және атомды күш микроскопия эдистері арқылы зерттелді. Бұл қосынды ілгіш молибденді пластиналарға электротүндүрүлған және аргонды плазмада және аргон атмосферасында жоғары қысымда термиялық өндөлген. -250mV потенциалда барлық үш компонент тұндырылатыны көрсетілді, бірақ қабықтың құрылымы тығыз емес, бөлек кристалдар негізгі қабықпен байланыспай өседі, бұл алынатын жартылай өткізгіштің электронды қасиетіне кері әсер етеді. -400 , -500mV потенциалдарында алынған тұнбалар кішкентай бөлшектерден тұратын кристалдардан құрылған және электрод бетіне бірқалыпты орналасқан. Аргонды плазма атмосферасында 150°C және аргон атмосферасында 410°C температурасында күйдіру, құрылымы жақсы үштік қосындыны алуға және оның жартылай өткізгіш қасиетін жақсартуға мүмкіндік береді.

Dergacheva M.B., Urazov K.A., Mit' K.A., Gudeleva N.N., Grigor'eva V.P.

THE INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT ON STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF
ELECTRODEPOSITED THIN FILMS CuInSe₂/Mo FOR SOLAR CELLS

D.V. Sokolskii Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry, Almaty

The structure, morphology, composition and size of crystal grain for compound CuInSe₂ electrodeposited on flexible Mo-plates and treatment of surface in Ar-plasma or Ar atmosphere with pressure were investigated by methods of XRD, microprobe analysis, electron and atomic force microscopy. It was established that all three components of compound CuInSe₂ electrodeposited at potential -250mV, but structure of deposit is not compact, separate crystals grow up as not connecting with base film. This has the negative influence on electronic properties of deposited semiconductors. Deposits prepared at potentials -400, -500mV take shape of crystals, which is composed from small particles regularly allocated on surface. The thermal treatment leads to increasing of compound crystals, character lines of intensity XRD is increased. It is showed that annealing in Ar-plasma at 150°C or Ar-atmosphere with pressure at 410°C allowed to prepare more perfect structure of triple compound and to improve the semiconductor properties of films.