

УДК 541.13

М.Б.ДЕРГАЧЕВА

ПОЛУЧЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ CuInSe₂, Cu(In,Ga)Se₂ ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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

(Представлена академиком НАН РК М.Ж. Журиновым)

Изучено электроосаждение тонких пленок полупроводниковых соединений CuInSe₂, Cu(InGa)Se₂ на твердых электродах для тонкопленочных солнечных элементов. Показано, что получение соединений стехиометрического состава возможно в одну стадию из одного электролита. Определены оптимальные условия получения соединений. Подтвержден их состав, структура и определена морфология поверхности.

Поликристаллические пленки CuInSe₂ – наиболее перспективный материал для создания тонкопленочных преобразователей солнечной энергии с низкой стоимостью. Благоприятные оптические свойства этого материала (энергия запрещенной зоны и высокий коэффициент абсорбции) позволяют использовать его для создания эффективных солнечных элементов. Тонкие пленки CuInSe₂ толщиной около 1 мкм абсорбируют 90% солнечного света с энергией фотона больше, чем его ширина запрещенной зоны. Этот материал может подвергаться модификации путем замены части индия на галлий или части селена на серу с получением соединения CuIn_xGa_{1-x}(Se,S)₂. Такие соединения обладают повышенными характеристиками преобразования солнечного излучения.

Особенно успешно разрабатываются солнечные элементы, которые используют в качестве абсорбирующего слоя CuInSe₂ или CuIn_xGa_{1-x}Se₂ [1], и имеют сложную структуру, в которой подложкой служит стекло, покрытое проводящим слоем молибдена, толщиной 1мкм , в качестве буферного слоя используется CdS с покрытием ZnO (0,1мкм) [2].

Разработка доступных способов получения тонкослойных фотоэлектрических модулей на базе CuInSe₂ позволит резко удешевить производство и обеспечить широкое применение этого перспективного материала для солнечных элементов с низкой стоимостью.

Обычно абсорбирующий слой CuInSe₂ осаждают путем физического испарения компонентов

(PVD). Имеется много сообщений по росту и характеристикам CuInSe₂ или CuIn_xGa_{1-x}Se₂ пленок с использованием различных техник осаждения[3,4], но не имеется подробных исследований по химическому составу (в объеме и на поверхности).

Известный метод осаждения пленок соединения CuGa_xIn_{1-x}Se₂ из паров отдельных компонентов включает испарение из четырех тиглей, наполненных отдельными элементами, на общую подложку, а затем дополнительную селенизацию испаренных Cu, Se, In и Ga прекурсоров в атмосфере H₂Se или атмосфере элементарного Se [3].

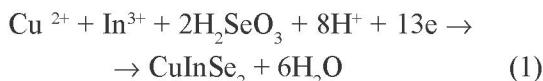
Альтернативным методом, который позволяет упростить процесс и удешевить производство тонких пленок на больших площадях поверхности является электроосаждение [5].

Известные исследования [6] направлены на достижение требуемой объемной концентрации за счет дополнения техники электроосаждения другими комплементарными техниками осаждения или замещения некоторых количеств индия галлием для формирования стехиометрической фазы CuInSe₂ или CuIn_xGa_{1-x}Se₂ фазы. Это создает трудности для исследователей, решающих проблему стехиометрии, связанные с предотвращением роста богатых медью CuInSe₂ или CuIn_xGa_{1-x}Se₂, и исключает возможность получения нужного химического состава сразу после осаждения.

В данном исследовании поставлена цель получения стехиометрического состава пленок указанных соединений в одну стадию из одного элек-

тролита. Рассмотрены электрохимические особенности восстановления отдельных компонентов соединения CuInSe_2 и их совместного осаждения на стеклоуглеродном и молибденовом электроде из различных электролитов.

Электроосаждение тонкой пленки медь-индиевого диселенида вызывает интерес в связи с возможностью получения поликристаллического материала этого соединения одновременным осаждением трех (или четырех при включении галлия) компонентов по общему уравнению

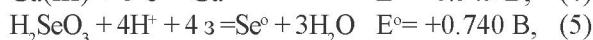


Для более подробного исследования электроосаждения отдельных компонентов и каждой пары компонентов использовали методику вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала, как разновидность электрохимической спектроскопии с помощью потенциостата Gill AC на дисковых стеклоуглеродном и молибденовом электродах ($S=0,07\text{ см}^2$) в водных электролитах на основе серной, сульфаминовой, сульфосалициловой и лимонной кислоты при комнатных температурах. Это позволило выбрать оптимальные условия электроосаждения, определить необходимый потенциал и соотношение концентраций ионов в электролите [7-17].

Образцы пленок для физико-химического анализа получали путем электролиза при постоянном потенциале на электродах с поверхностью $1,5 \text{ см}^2$. Элементный состав и размер частиц электроосажденных пленок определен методом электронно-зондового анализа с использованием электронного микроскопа JEOL-733. Морфология поверхности охарактеризована с помощью атомной силовой микроскопии с помощью микроскопа JSPM -5200. Структура осадков изучена методом рентгенофазового анализа с помощью прибора ДРОН-4 с Со-излучением.

Результаты и обсуждение

Возможные электрохимические реакции, которые протекают на электроде при восстановлении каждого из ионов, характеризуются определенными стандартными потенциалами.



Возможно также протекание химических реакций катионов Cu (II); In(III); Ga(III) с отрицательно заряженными ионами Se(-2) с образованием соединений $\text{Cu}_{x,y}\text{In}_{y,z}\text{Se}_n$.

Электроосаждение CuInSe_2

Электровосстановление ионов меди(II), селена(IV) и индия(III) сопровождается появлением волн или пиков тока восстановления ионов и окисления продуктов восстановления.

Как видно из рис.1, при восстановлении трех компонентов на молибденовом электроде наблюдается первая волна восстановления (A), соответствующая восстановлению ионов меди, которая имеет протяженный предельный ток. В области потенциалов от 0 до -0.3 В происходит восстановление как ионов меди, так и ионов селена с образованием соединения CuSe_x . Пик тока восстановления (B¹) соответствует реакции(6) с образованием селенид-ионов и выделением селеноводорода в кислых растворах. Как на стеклоуглеродном, так и на молибденовом электроде в исследованных электролитах, восстановление ионов индия и галлия не проявляется в виде собственного тока до начала восстановления водорода. Однако, из рис.1 видно, что увеличение количества индия в электролите приводит к уменьшению тока пика восстановления до селеноводорода по реакции (6) при $E = -0.4 \text{ В}$. Это свидетельствует о том, что уже при этом потенциале селен дополнительно связан с индием в соединении, что позволяет предположить, что Cu-Se ядра действуют, как прекурсоры для присоединения индия.

На анодной ветви вольтамперной кривой (рис.1) отсутствуют токи окисления. Ток окисления меди, который может появиться при потенциале +0.1 В отсутствует, что свидетельствует о полном связывании меди в соединении при выбранном соотношении концентраций ионов в электролите. Токи окисления при потенциалах положительнее +0.2 В не исследуются из-за возможного окисления молибдена.

Исследование вольтамперных кривых восстановления ионов меди(II), селена(IV) и индия(III) на молибденовом электроде в растворах цитрата натрия (рис.2) показало, что ионы меди(II) восстанавливаются в области потенциалов $E_A = 0 \div -150 \text{ мВ}$ (пик A¹) (рис.2, кривая 2). При совместном восстановлении ионов меди(II) и селена(IV) появляются два новых пика тока

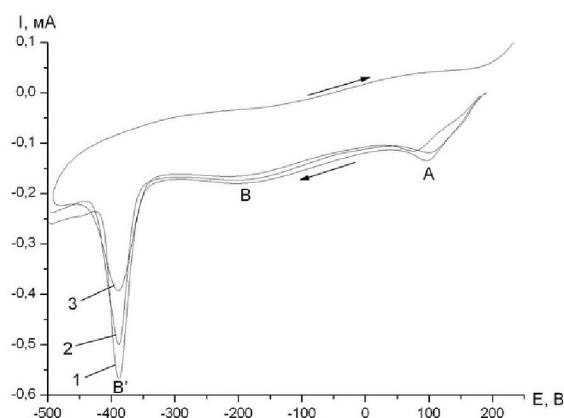
при потенциалах $E_B = -200 \div -350$ мВ (B^1) и $E_C = -400 \div -550$ мВ (C^1). При добавлении ионов индия в электролит первая волна (B^1) восстановления ионов селена(IV) растет (рис. 2, кривая 4), а вторая волна (C^1) – практически исчезает. Это свидетельствует, что ионы индия участвуют в процессе восстановления при тех же потенциалах, что и ионы селена. Это подтверждает предположение, что ионы индия способны участвовать в электрохимическом восстановлении при небольших отрицательных потенциалах, когда на электроде присутствуют прекурсоры соединения CuSe_x .

Для более подробного исследования процессов совместного электровосстановления компонентов и выбора оптимальных потенциалов электроосаждения тройного соединения был выполнен элементный анализ образующихся на молибденовом электроде пленок электронно-зондовым методом анализа с рентгеновской дифракцией пленки CuInSe_x .

В таблице 1 и на рисунке 3 содержание элементов, обнаруженных с помощью электронно-зондового анализа, приведено как среднее значение из трех определений на различных участках поверхности ($S = 1 \text{ см}^2$) в атомных %. Отклонение от среднего значения не превышало ± 0.5 ат %.

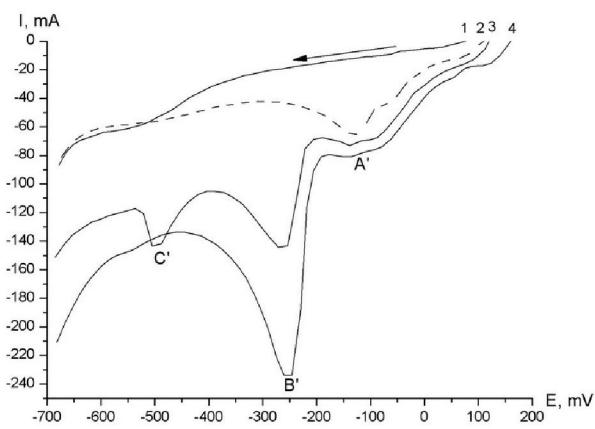
В таблице 1 приведены данные по анализу пленки CuInSe_x в зависимости от потенциала осаждения из электролитов одинакового состава и при одинаковом времени осаждения, равном 40 мин. Потенциалы электроосаждения были выбраны как -0.25 В, -0.55 В и -0.60 В. Заметное выделение водорода на молибденовом электроде начинается при потенциалах отрицательнее -0.5 В. Из таблицы 1 следует, что уже при потенциале $E=-0.25$ В, в области максимума тока (рис. 1) на молибденовом электроде осаждается количество меди и селена, отвечающее соотношению $\text{Cu:Se}=1:2$. Осаждается также заметное количество индия. Однако стехиометрическое соотношение, отвечающее составу CuInSe_2 , не достигается. Осадок получается достаточно тонкий, плотность тока осаждения не превышала $0.2 \text{ mA}/\text{cm}^2$. В составе осадка определяется кислород и молибден. Это свидетельствует о присутствии на поверхности исходного электрода окислов молибдена, поскольку глубина определения элементов составляет до 1 мкм и охватывает поверхность пленки, ее объем и поверхность электрода.

Ранее было установлено, что в выбранном электролите при потенциалах более положитель-

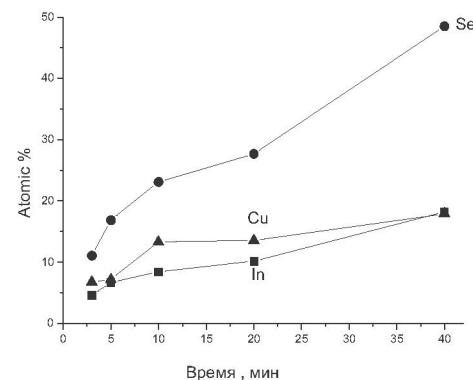


Фон – 0,1 М сульфосалициловая кислота
 $(C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ M}, C_{\text{Se(IV)}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ M}) = \text{const}$.
 $C_{\text{In(III)}}: 1-4 \cdot 10^{-3}, 2-6 \cdot 10^{-3}, 3-8 \cdot 10^{-3} \text{ M}$.

Рис. 1. Вольтамперные кривые восстановления ионов (прямой и обратный ход) на молибденовом электроде.



Фон – цитрат натрия, $\text{pH} = 2.92$
 Рис. 2. Вольтамперные кривые восстановления ионов (прямой ход) на Мо-электроде. 1 – фоновая кривая; 2 – $\text{Cu}-1 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; 3 – $\text{Cu}-1 \cdot 10^{-3} + \text{Se}-2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; 4 – $\text{Cu}-1 \cdot 10^{-3} + \text{Se}-2 \cdot 10^{-3} + \text{In}-2 \cdot 10^{-3} \text{ M}$.



Фон – 0,1 М сульфосалициловая кислота
 $C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}, C_{\text{Se(IV)}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}, C_{\text{In(III)}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$.
 Е: (а) -0.25 В, (б) -0.55 В, (в) -0.6 В. $t = 68^\circ\text{C}$, $\phi = 40$ мин

Рис. 4. Поверхность пленки CuInSe_2 на молибденовом электроде, осажденной при различных потенциалах.

Масштаб 100 и 10 мкм

Таблица 1. Состав свежеосажденных пленок (ат. %) в зависимости от потенциала осаждения

Фон – 0,1 моль/л сульфосалициловая кислота, $C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{Se(IV)}} = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{In(III)}} = 4 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Время осаждения $\phi = 40$ мин, $t = 68^\circ\text{C}$.						
	O	Cu	Se	Mo	In	Итог
$E_{\text{oc}} = -0.25$ В	11.62	22.18	45.38	6.85	13.62	100.00
$E_{\text{oc}} = -0.55$ В	0.00	21.4	58.4	0.8	19.4	100.00
$E_{\text{oc}} = -0.60$ В	0.00	20.44	54.4	5.03	20.13	100.00

Таблица 2. Результаты электронно-зондового анализа свежеосажденной пленки $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$

Фон 0,2 М сульфосалициловая кислота $\text{Cu}=5 \cdot 10^{-4}$ М, $\text{Se}=2 \cdot 10^{-3}$ М, $\text{In}=2 \cdot 10^{-3}$ М, $\text{Ga}=4 \cdot 10^{-3}$ М. потенциал –0,870 В. Время осаждения 40 мин. $=70^\circ\text{C}$					
Элемент	Cu	In	Ga	Se	Итого
Среднее, ат%	20,08	12,85	1,21	65,86	100

ных, чем -0.15 В электроосаждение провести невозможно, поскольку в этой области потенциалов начинается окисление меди с электрода и наблюдается анодный ток.

При потенциалах -0.55 В и -0.60 В осаждается примерно одинаковое количество меди, однако за счет увеличивающегося количества селена и индия ее относительное содержание в составе соединения уменьшается. Только при потенциале осаждения -0.60 В соотношение меди и индия в составе соединения приближается к 1:1 и стехиометрический состав можно считать близким к составу CuInSe_2 .

На рис.4 приведены микрофотографии поверхности свежеосажденных пленок, состав которых дан в таблице 1. Использованы два различных увеличения. Наиболее плотный осадок в виде колончатых зерен соединения осаждается при потенциале -0.60 В. Это значение потенциала было выбрано, как оптимальное для электроосаждения соединения CuInSe_2 .

На рис.3 обобщены результаты анализа содержания компонентов в осажденных пленках CuInSe_2 при потенциале -0.60 В в зависимости от времени осаждения. В первые минуты осаждения количество индия минимально, а соотношение меди и селена отвечает отношению 1:2. При небольшом времени осаждения получается тонкая пленка черного цвета, в составе которой определяется относительно высокое содержание углерода, кислорода и молибдена. После 40 минут осаждения количество меди и индия становятся одинаковыми, а количество селена – в 2

раза больше. Это подтверждает возможность осаждения соединения стехиометрического состава CuInSe_2 . При электролизе более 50 минут осадок начинает отслаиваться и непрочно держится на поверхности молибденового электрода.

При оптимальных условиях было выполнено электроосаждение пленок CuInSe_2 с последующим отжигом в аргоне.

Рентгенофазовый анализ подтвердил образование фазы стехиометрического состава CuInSe_2 . Исследования, выполненные с помощью атомного силового микроскопа JSPM-5200, для наиболее тонких осадков, полученных при -0.25 В, показали, что крупные частицы составлены из мелких кристаллитов, размер которых 50-100 нм. Осадки плотно держатся на подложке, толщина пленки растет с ростом отрицательного потенциала и времени осаждения.

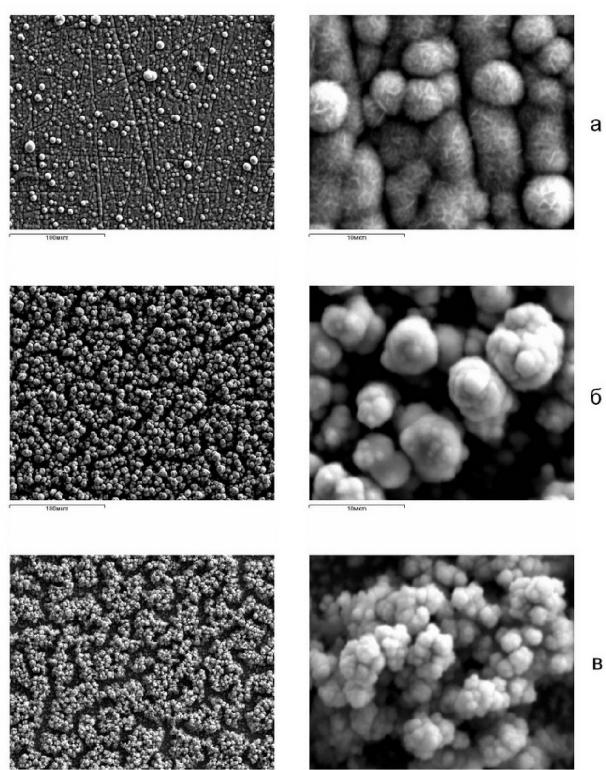
Электроосаждение $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$

Было выполнено электроосаждение пленки $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ на стеклоуглеродном электроде в потенциостатических условиях, выбранных на основании анализа вольт-амперных кривых.

В таблице 2 представлен состав свежеосажденной пленки, определенный с помощью электронно-зондового анализа.

Из таблицы 1 и спектра распределения по энергиям следует, что свежеосажденные пленки соединения, содержащего четыре компонента отвечают составу $\text{CuIn}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{Se}_2$.

При увеличении концентрации компонентов в электролите (Cu – $1 \cdot 10^{-3}$ М, Se - $4 \cdot 10^{-3}$ М, In - $4 \cdot 10^{-3}$ М, Ga - $4 \cdot 10^{-3}$ М) при том же потенциале



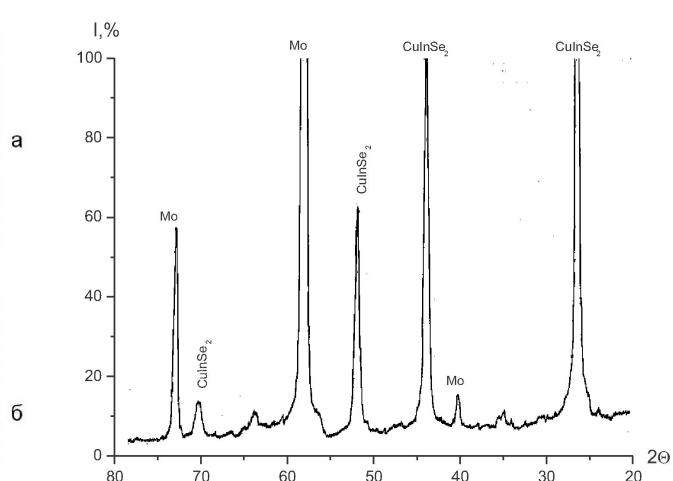
Фон – 0,1 М сульфосалициловая кислота
 $C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{Se(IV)}} = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{In(III)}} = 4 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
 Е: (a) -0,25 В, (б) -0,55 В, (в) -0,6 В. $t = 68^\circ\text{C}$, $\phi = 40$ мин
 Рис. 4. Поверхность пленки CuInSe_2 на молибденовом
 электроде, осажденной при различных потенциалах.
 Масштаб 100 и 10 мкм

электроосаждения с последующим отжигом в аргоне при 410°C была получена пленка $\text{CuIn}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{Se}_2$. Спектр РФА подтверждает образование соединения $\text{CuIn}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{Se}_2$ (рис. 6).

В реакциях катодного осаждения преимущественно осаждаются соединения n-типа проводимости. Может возникать также омическое сопротивление между металлическим электродом и полупроводниковой пленкой. Если используется подложка p-типа проводимости возможно электроосаждение с хорошим выходом. Последующий отжиг может преобразовать проводимость полупроводниковой пленки в p-тип.

ВЫВОДЫ

Установлена возможность получения соединений CuInSe_2 и $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ заданного стехиометрического и фазового состава в пленках на твердых электродах при одновременном осаждении трех или четырех элементов при постоянном потенциале.



Фон – 0,1 М сульфосалициловая кислота
 $C_{\text{Cu(II)}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{Se(IV)}} = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{In(III)}} = 4 \cdot 10^{-3}$ моль/л. $E = -0,600$
 $B, t = 68^\circ\text{C}, \phi = 30$ мин.

Отжиг при 410°C , 15 мин в аргоне.

Рис. 5. Спектр РФА пленки CuInSe_2 ,
 полученной методом электроосаждения

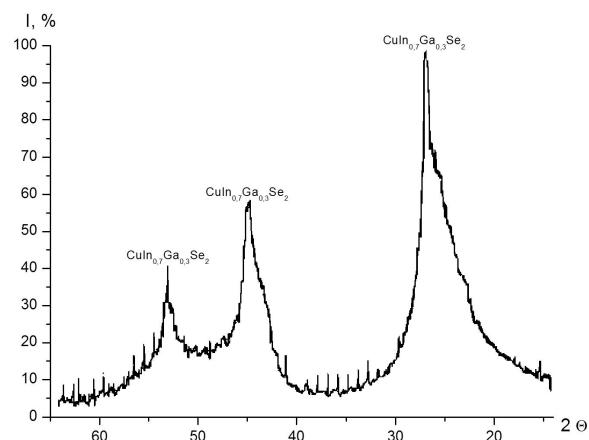


Рис. 6. Спектр РФА тонкой пленки CuInGaSe_2 ,
 электроосажденной на стеклоуглеродном
 электроде без отжига

ЛИТЕРАТУРА

1. Dharmadasa I.M. Latest Developments in CdTe, CuInGaSe₂ and GaAs/AlGaAs Thin Film PV Solar Cells// Current Applied Physics . 2009. V.9.P.e2-e6.
2. Young D.L., Abushama J., Noufi R., Li X., Keane J., Gessert T.A., Ward J.S., Contreras M., Symko-Davies M., and Coutts T.J. A New Thin-Film CuGaSe₂/Cu(In,Ga)Se₂ Bifacial, Tandem Solar Cell with Both Junctions Formed Simultaneously // NREL is a U.S. Department of Energy Laboratory. May 2002.
3. Coballero R., Guillen C., Thin film CuGaSe₂ solar cells// Solar Energy and Solar Cells. 2005. V.86. N1. P. 1-10.
4. Ramanathan K., Contreras M.A., Perkins C.L., Asher S at all. Progress Fotovolta. //Res. Apply. 2003.V.11. P.225 .

5. Pandey R.K., Sahu S.N., Chandra S. Handbook of Semiconductor Electrodeposition. N-Y,1966. 530 p.
6. Dharmadasa I.M., Chaure N.B., Tolan G.J. and Samantilleke A.P. Development of p+, p, i, n, and n+ type cuingase, layers for applications in graded bandgap multi-layer thin film solar cells // J. Electrochem. Soc. 2007, 154 (6). P.1466-1469.
7. Дергачева М.Б. Электроосаждение многокомпонентных полупроводников // Тезисы докладов Евразийского симпозиума по инновациям в катализе и электрохимии. Алматы, 26-28 мая 2010г.-С.181
8. Дергачёва М.Б., Чайкин В.В., Пантилееева Е.П. Электроосаждение соединений CuSe_x на углеродсодержащих электродах // Журн. прикл. химии. 2004. Т.77, №8. С.1289-1294.
9. Дергачёва М.Б., Чайкин В.В., Пантилееева Е.П. Электрохимические реакции при осаждении пленок соединения In₂Se₃. // Вестн. КазГУ. 2004. № 3 (35). С.158-164.
10. Предпатент РК 19124. Способ приготовления пленки соединения CuInSe₂. Заявл. 27.07.2006. Авторы: Дергачева М.Б., Чайкин В.В., Стасюк В.Н., Фогель Л.А., Григорьева В.П., Протопопова Г.Д.
11. Дергачева М.Б., Уразов К.А., Чайкин В.В. Получение пленочных полупроводников состава CuIn_x Ga_{1-x} Se₂ методом электроосаждения // Сборник докладов VI Международного Беремжановского съезда по химии и химической технологии. (Караганда, октябрь 2008г.). Караганда, 2008. С.234-238.
12. Дергачева М.Б., чайкин В.В. Электроосаждение полупроводниковых пленок CuInSe₂ на стеклоуглеродном электроде из сернокислых электролитов // Журн. прикл. химии. 2008. Т.81, №4. С.576-579.
13. Дергачева М.Б., Чайкин В.В., Гуделева Н.Н., Пенькова Н.В. Тонкопленочные фотоэлементы на основе медь-индивидуального диселенида // Докл. II Междунар. научно-практического семинара «Физико-хим. основы преобразования солнечной энергии». Алматы. 2005. С.80-85.
14. Дергачева М.Б., Уразов К.А., Пенькова Н.В. Электрохимические реакции при осаждении CuInSe₂ на стеклоуглеродном электроде. // Вестник Евразийского университета (Астана). 2009. №6. С.157-164.
15. Дергачева М.Б., Уразов К.А., Пенькова Н.В., Гуделева Н.Н. Электроосаждение полупроводниковых пленок CuInSe₂ на молибденовом электроде. // Журнал прикладной химии. 2010. №4 С.601-605.
16. Дергачева М.Б., Уразов К.А., Пенькова Н.В., Гуделева Н.Н. CuGaSe₂, CuIn_x Ga_{1-x} Se₂ қосындыларын электрохимиялық әдіспен алу // Тезисы докладов Евразийского симпозиума по инновациям в катализе и электрохимии. Алматы, 26-28 мая 2010г.-С.222.
17. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Pen'kova N.V., Gudeleva N.N., Chaikin V.V. CuIn_x Ga_{1-x} Se₂ thin films prepared by the electrodeposition 61 Annual Meeting ISE, Nice, France, 26 September, 2010.
4. Ramanathan K., Contreras M.A., Perkins C.L., Asher S. Res. Apply, **2003**, 11, p. 225.
5. Pandey R.K., Sahu S.N., Chandra S. Handbook of Semiconductor Electrodeposition, **1966**, 530 p.
6. Dharmadasa I.M., Chaure N.B., Tolan G.J. and Samantilleke A.P. J. Electrochem. Soc., **2007**, 154 (6), 1466-1469.
7. Dergacheva M.B. Tezisy dokladov Evraziiskogo simpoziuma po innovatsiam v katalize i elektrokhimii, Almaty, 26-28 maia **2010**, p. 181 (in Russ.).
8. Dergacheva M.B., Chaikin V.V., Pantileeva E.P. Zhurn. prikl. Khimi, **2004**, 77, 8, 1289-1294 (in Russ.).
9. Dergacheva M.B., Chaikin V.V., Pantileeva E.P. Vestnik KazGU, **2004**, 3 (35), 158-164 (in Russ.).
10. Predpatent RK 19124. Sposob prigotovleniya plenki soedineniya CuInSe₂. Zaival. **27.07.2006**. Avtory: Dergacheva M.B., Chaikin V.V., Statsiuk V.N., Fogel' L.A., Grigor'eva V.P., Protopopova G.D. (in Russ.).
11. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Chaikin V.V. Sbornik dokladov VI Mezhdunarodnogo Beremzhanovskogo s'sezda po khimii i khimicheskoi tekhnologii. (Karaganda, oktiabr' 2008), Karaganda, **2008**, 234-238 (in Russ.).
12. Dergacheva M.B., Chaikin V.V. Zhurn. prikl. Khimi, **2008**, 81, 4, 576-579.
13. Dergacheva M.B., Chaikin V.V., Gudeleva N.N., Pen'kova N. V. Doklady II Mezhdunar.nauchno-prakticheskogo seminara Fiziko-khim. osnovy preobrazovaniia solnechnoi energii, Almaty, **2005**, 80-85 (in Russ.).
14. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Pen'kova N.V., Gudeleva N.N. Vestnik Evraziiskogo universiteta, **2009**, 6, 157-164 (in Russ.).
15. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Pen'kova N.V., Gudeleva N.N. Zhurnal prikladnoi khimii, **2010**, 4, 601-605 (in Russ.).
16. M.B.Dergacheva, K.A Urazov, N.V. Pen'kova, N.N. Gudeleva. Tezisy dokladov Evraziiskogo simpoziuma po innovatsiam v katalize i elektrokhimii, Almaty, 26-28 maia **2010**, p.222 (in Russ.).
17. Dergacheva M.B., Urazov K.A., Pen'kova N.V., Gudeleva N.N., Chaikin V.V.
- 61 Annual Meeting ISE, Nice, France, 26 September, **2010**.

Резюме

Жұқа қабықты құн элементтері үшін жартылай өткізгіштер CuInSe₂, Cu(In,Ga)Se₂ қосындыларын катты электродтарда электротұндыры үдерісі зерттелді. Бір электролиттен бір сатыда стехиометрлік құрамды қосындыларды алу мүмкіндігі көрсетілген. Қосындыларды алудың онтайлы жағдайлары анықталды. Олардың құрамы, құрылышы және беттік морфологиясы анықталды.

Summary

The electro deposition of CuInSe₂, Cu (InGa) Se₂ semiconductor thin films was investigated on hard electrodes for thin film solar cells. It was shown that the stoichiometry compounds might be prepared in one stage from the one electrolyte. The optimum conditions of preparation of thin film compounds were determined. The composition, structure and surface morphology were confirmed by physical and chemical methods of investigations.

References

1. Dharmadasa I.M. Current Applied Physics, **2009**, 9, 2-6.
2. Young D.L., Abushama J., Noufi R., Li X., Keane J. Gessert T.A., Ward J.S., Contreras M., Symko-Davies M., and Coutts T. J. NREL is a U.S. Department of Energy Laboratory, May **2002**.
3. Coballero R., Guillen C. Solar Energy and Solar Cells, **2005**, 86, 1, 1-10.