

надия, нанесенных методом реактивного магнетронного распыления. Доклады БГУИР. 2020; 18(6): 94–102.

6. Нгуен Т.Д., Занько А.И., Голосов Д.А., Завадский С.М., Мельников С.Н., Колос В.В., То Т.К. Влияние отжига на структурно-фазовые и электрофизические свойства пленок оксида ванадия. Доклады БГУИР. 2021; 19(3): 22–29.

7. Автоматизированный комплекс для измерения равновесного краевого угла смачивания на плоских поверхностях /Патент РБ 7074 по заявке 20100661, от 12.10.2010 //Е.П. Макаревич, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, М.А. Андреев.

8. Барайшук С.М., Гременок В.Ф., Тульев В.В., Ташлыков И.С. "Изучение поверхности структур металл/кремний, приготовленных ионно-ассистированным нанесением покрытий". ФХОМ 1 (2011): 66.

**Вертель М.¹, к.ф.-м.н., Барайшук С.², к.ф.-м.н., доцент,
Туровец А.¹, Щербак В.²**

**¹Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской,
Люблин, Польша,**

**²Белорусский государственный аграрный технический
университет, Минск**

ФОРМИРОВАНИЕ САМООЧИЩАЮЩЕГОСЯ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Введение. Осаждение светопрозрачных коррозионно-стойких самоочищающихся защитных покрытий является перспективным направлением формирования поверхности солнечных элементов. Такие покрытия позволяют создать верхний слой, сочетающий защитные и проводящие свойства, оставаясь при этом светопрозрачным, что является актуальной задачей для солнечной энергетики позволяя уменьшить затраты на очистку солнечных панелей и формируя на их поверхности слой препятствующий появлению биологических загрязнений [1]. В нашей работе исследовались закономерности влияния нанесения покрытия на шероховатость и смешиваемость поверхности образцов перспективных халькогенидных фотопреобразователей [2]. Образцы фотопреобразователей модифицировались нанесением Mo содержащего покрытия при ускоряющем потенциале

3–7 кВ и разным времени нанесения. Состав кристаллическая структура и оптические свойства тонких пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ изучены ранее в [3–4]. Изучение топологии проводилось с применением атомно-силового микроскопа NT 206 в сочетании со сканирующей электронной микроскопией с использованием EDX Oxford Instruments AZtecEnergy-Advanced с кремний-дрейфовым детектором Vega3 Tescan при ускоряющем потенциале электронов от 5 до 20 кВ.

Результаты и обсуждение. Измерения равновесного краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности исходного стекла ($25,1^\circ$) и стекла, модифицированного ионно-ассистированным нанесением Mo, ($56,7^\circ - 87,4^\circ$) выявили значительное влияние модифицирования и меньшее влияние интегрального потока на значение РКУС (таблица 1). Следовательно, нанесением Mo-содержащего покрытия с разными интегральными потоками можно управлять смачиваемостью его поверхности водой, и как показано ранее [1], при углах смачивания более 80° добиться эффекта самоочистки за счет скатывания капель с поверхность фотоэлемента.

Таблица 1. Параметры поверхности нанесенного покрытия

Параметры	Исходная поверхность	Интегральный поток $F, \cdot 10^{16}$ ат/см ²				
		1,2	3,2	5,2	8,1	11
R_a , нм	2.2	1.8	2.0	2.7	2.3	2.3
Z_{mean} , у.е.	221.7	245.9	280.6	273.3	282.0	279.8
Светопрозрачность	100	56.9	73.6	84.5	78.1	96.5
Угол смачивания $^\circ$	25.1	62.8	87.4	69.7	60.8	56.7

Однако такой оптимальный эффект достигается не при уменьшении и шероховатости, что очень хорошо соответствует интегральному потоку нанесения покрытия $3,2 \cdot 10^{16}$ ат/см². Однако такое покрытие снижает светопропускание а значит и эффективность солнечных элементов на 26,4 %. Как видим, используемые в данном эксперименте интегральные потоки позволяют получить равномерное и сплошное покрытие согласно данным качественного описания эволюции тонких пленок синтезированных на аморфных и поликристаллических подложках.

Модификация поверхности стекла нанесением Мо-содержащего покрытия с различными интегральными потоками позволяет управлять смачиваемостью его поверхности водой. Нанесение Мо покрытия на стекло способствует уменьшению степени гидрофильности поверхности в 1,88–2,61 раза. Дальнейшее исследование данного явления планируется выполнить в будущем в попытке определить более перспективные режимы нанесения позволяющие не столь значительно снижать эффективность солнечных элементов.

Заключение. При ионно-ассистированном нанесении Мо – покрытий качества поверхности перспективных солнечных элементов высокое и удовлетворяет требованиям по прочности, гидрофобности и шероховатости для формирования самоочищающихся поверхностей, что позволяет рассматривать возможность применения таких покрытий в качестве лицевых контактов. Однако, несмотря на то, что нанесение таких покрытий оказывает малое влияние на их морфологию и шероховатость поверхности и, светопропускание такого покрытия не достаточно высокое, что негативно сказывается на эффективности солнечного элемента и требует дальнейшей оптимизации параметров получения покрытий.

Список использованных источников

1. Paranthaman M.P., Wong-Ng W., Bhattacharya R.N. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells. Springer International Publishing, 2016. 25 p.
2. Станчик, А.В., Барайшук, С.М. и др./ Исследование тонких пленок $Cu_2ZnSnSe_4$ методом атомно-силовой микроскопии // «Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук». – 2016. – № 4. – С. 67–75.
3. Структура поверхности металлических прекурсоров Cu-Zn-Sn, послойно электрохимически осажденных на подложки Мо/стекло и Мо-фольга / С.М. Барайшук [и др.] // Весці БДПУ. Сер. 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2017. – N 4. – С. 5–10.
4. Кристаллическая структура и оптические свойства тонких пленок $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ / А. В. Станчик [и др.] // Весці БДПУ. Сер. 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2021. – N 2. – С. 13–19.