

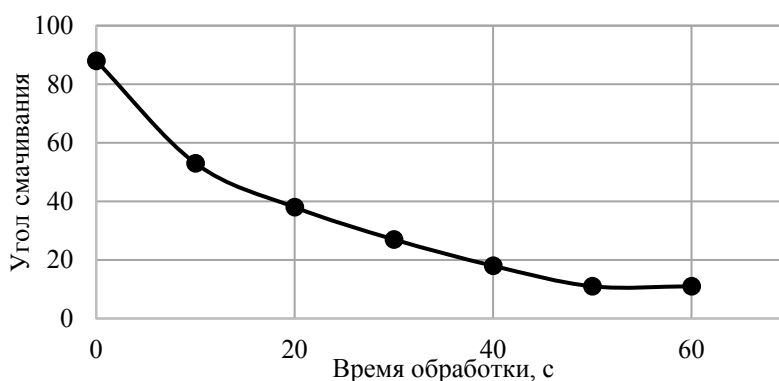


Рисунок 3 – Зависимость угла смачивания гладкой поверхности нитрила от времени обработки

Данные, полученные на основе проведенных экспериментальных исследований, позволяют сделать вывод, что плазма атмосферного разряда подходит для модификации поверхности различных полимеров. Это универсальный и эффективный инструмент для увеличения адгезии поверхности полимеров. Наиболее эффективное время обработки составляет: у ПВХ за 30 секунд угол смачивания уменьшился в 4 раза, у нитрила за 50 секунд угол смачивания уменьшился в 8 раз. Такие разные значения обусловлены строением и особенностями каждого полимера. Однако значительный эффект наблюдается после обработки всех исследуемых материалов в плазме атмосферного разряда.

Литература

1. Назаров, В. Г. Поверхностная модификация полимеров / В. Г. Назаров. – М.: МГУП, 2008. – 474с.

А. А. Зглюй
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **М. С. Тиванов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

Загрязнение Земли и нехватка источников энергии в наше время является одной из центральных проблем, требующих непосредственного решения. Наиболее экономичным и эффективным из них счита-

ется солнечная энергия, в частности – производство и эксплуатация фотоэлектрических систем [1]. В связи с этим возникает повышенное внимание к прямозонным полупроводникам, к которым относится и объект исследования – $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS). Солнечные элементы на их основе имеют малый вес и объем, к тому же $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ содержит только доступные, нетоксичные химические элементы, обладает высоким коэффициентом оптического поглощения [2].

Целью работы является установление зависимости структурных и морфологических свойств $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ от степени легирования Ag.

Пленки CZTS были синтезированы методом спрей-пиролиза с последующим отжигом при температуре 525°C и легированием Ag с концентрациями 5%, 10% и 15%. Метод характеризуется простой реализацией, высокой вариативностью условий нанесения слоев и отсутствием сложного технологического оборудования. Элемент легирования – Ag – был выбран исходя из анализа проведенных ранее исследований, которые показывают, что пленка, содержащая Ag, имеет меньшее количество неблагоприятных медных дефектов [3].

Анализ пленок CZTS проводился такими методами, как электронный микроанализ, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная и зондовая микроскопии.

Результаты электронного микроанализа и рентгенофазового анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты электронного микроанализа и структурные параметры $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Легирование, %	(hkl)	L, нм	d, Å	a, Å	c, Å	Стехиометрическое соотношение (Cu+Zn+Sn+Ag)/S
0	112	17,8	3,120	5,404	10,808	1,06
5	112	17,8	3,125	5,413	10,825	0,96
10	112	19,6	3,130	5,421	10,843	1,05
15	112	16,4	3,135	5,430	10,860	1,04

Для синтезированных пленок были рассчитаны межплоскостное расстояние (d), постоянные решетки a, c и размер области когерентного рассеяния (L). Полученные значения a, c для тетрагональной решетки согласуются с соответствующими параметрами [4].

Из полученных дифрактограмм (рисунок 1) были определены характерные пики, принадлежащие тетрагональной структуре. С добавлением примеси Ag появлялись новые рефлексы, однако их интенсивность с ростом степени легирования практически не изменялась.

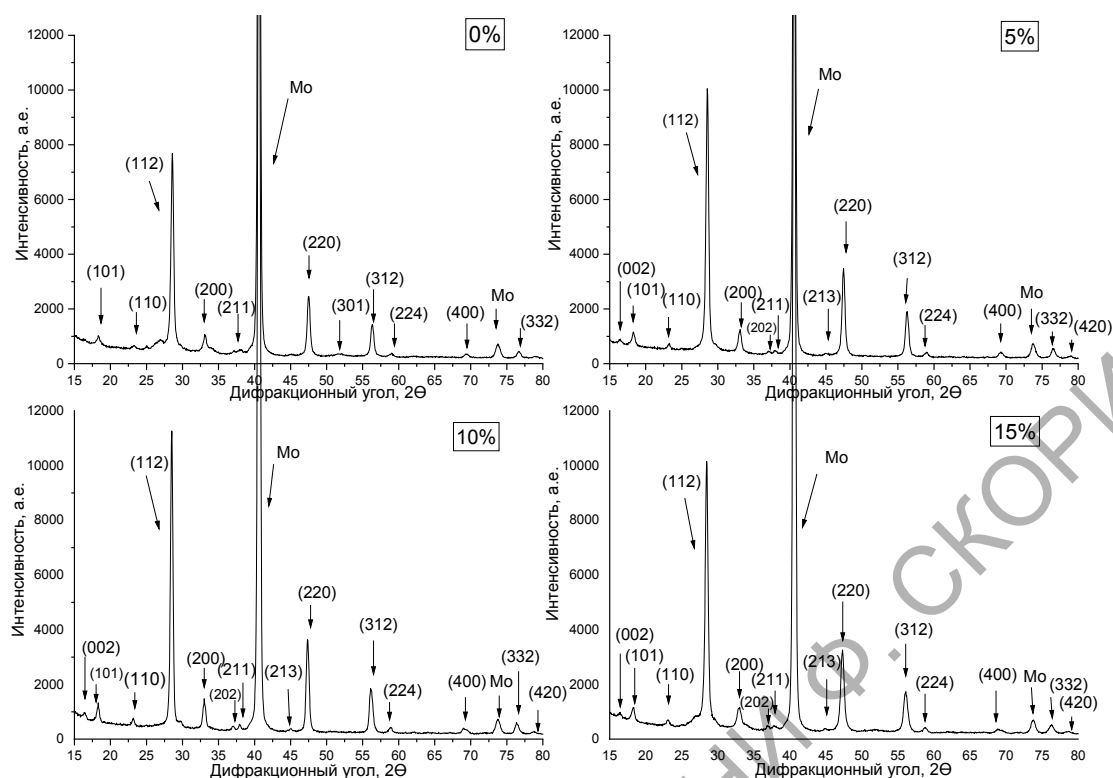


Рисунок 1 – Дифрактограмма пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Методом сканирующей зондовой микроскопии было выявлено, что в образцах не наблюдается четкой зависимости изменения шероховатости поверхности от степени легирования. Рассчитанные по этому методу топографические параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Топографические параметры пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Легирование, %	Средняя шероховатость R_a , нм	Среднеквадратичная шероховатость R_{rms} , нм	Средняя арифметическая высота S_y , нм	Асимметрия R_{sk}
0	228	287	1042	0,377
5	220	272	1670	0,274
10	313	378	2109	0,344
15	198	279	2686	1,856

Изображения сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2) показали, что на пленках отсутствуют отверстия, пустоты и трещины.

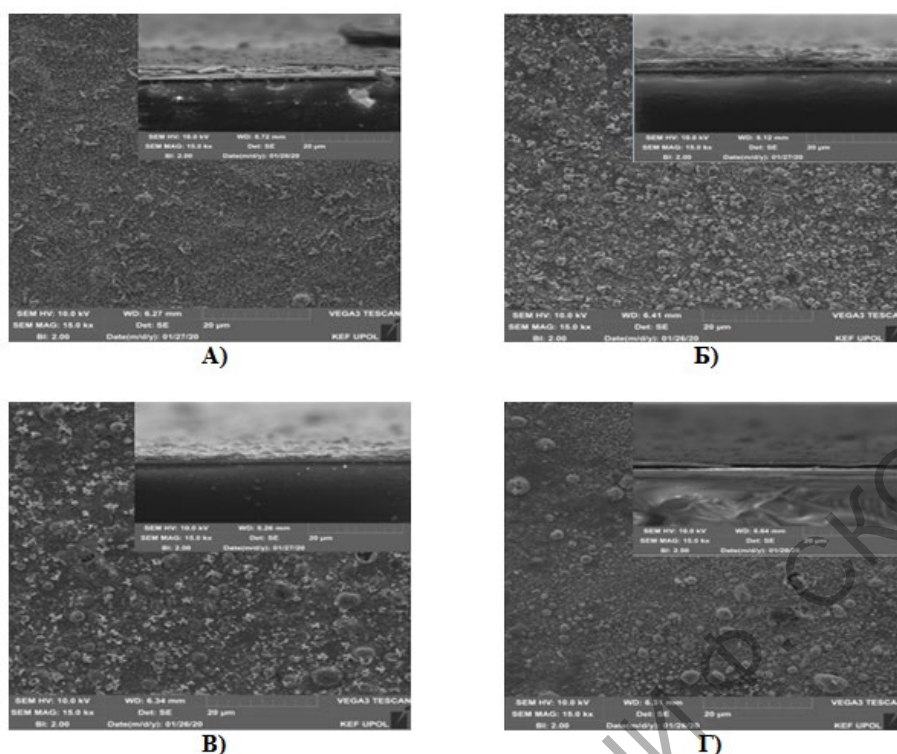


Рисунок 2 – СЭМ-снимки образцов $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ с температурой отжига 525°C и легированием Ag: А) 0%, Б) 5%, В) 10%, Г) 15%

Таким образом, установлено, что с увеличением степени легирования Ag от 0% до 15% улучшается кристалличность синтезированных пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, о чем свидетельствуют приближение соотношения компонентов соединения к стехиометрии, увеличение параметров решетки и области когерентного рассеяния, а также отсутствие изменений шероховатости поверхности.

Литература

1. Jiang, M. $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Thin Film Solar Cells [Text]: Present Status and Future Prospects / M. Jiang, X. Yan // InTech. – 2013. – С.107-143.
2. Шелег, А. У. Определение структурных и оптических характеристик тонких пленок полупроводниковых соединений $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ [Текст] / А. У. Шелег [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т.48. – Вып. 10. – С.1332-1338.
3. Nguyen, T. H. Structural and Solar Cell Properties of a Ag-Containing $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ Thin Film Derived from Spray Pyrolysis [Text] / T. H. Nguyen [et al.] // Applied Materials&Interfaces. – 2018. – №10(6). – С.5455-5463.
4. Карта ICSD № 01-075 – 4122.