

27. С.А. Кукушкин, А.В. Осипов, Н.А. Феоктистов. Синтез эпитаксиальных пленок карбида кремния методом замещения атомов в кристаллической решетке кремния (обзор) // Физика твердого тела, 2014. т56(8). С. 1457.
28. R.L. Doolittle. Algorithm for the rapid simulation of Rutherford backscattering spectra // NIM, 1985. B9. P.344.

Разработка инверсных интегрированных покрытий с использованием фотонно-кристаллической структуры

Е.Н. Галаганова, Е.В. Панфилова

Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-ая Бауманская, д.5, lenagalaganowa@mail.ru

В данной работе рассмотрен процесс получения инверсной структуры металлической пленки для разработки технологии изготовления тонкопленочных селективных слоев абсорберов солнечной энергии, выполненных на основе фотонно-кристаллических структур. Актуальность темы состоит в получении современной технологии производства поглощающих покрытий для абсорберов солнечной энергии.

Development of inverse integrated coatings using a photonic crystal structure. E.N. Galaganova, E.V Panfilova. The process of obtaining an inverse structure of a metal film to develop the technology of manufacturing thin-film selective layers of solar energy absorbers based on photonic crystal structures is considered. The actuality of the issue consists in obtaining a modern technology for the production of selective coatings for solar energy absorbers.

Введение

Перспективным способом повышения эффективности солнечных элементов является встраивание в их конструкцию фотонно-кристаллического слоя, увеличивающего вероятность абсорбции фотонов в рабочей среде элемента [1]. Имеющиеся в настоящий момент разработки предполагают использование литографических способов получения таких слоев [2]. В данной работе отражены основные этапы получения таких слоев с помощью комбинации методов самоорганизации коллоидных частиц и вакуумных методов осаждения материалов таких покрытий.

Такая технология позволит, во-первых, сформировать фотонно-кристаллический подпоглощающий слой. Такой вариант конструкции солнечного элемента будет предотвращать выход излучения из абсорбера за счет его отражения и преломления фотонно-кристаллическим слоем. Во-вторых, будет возможно получить ячеистое покрытие, применение которого сможет поглощать вторичные лучи, то есть частично отраженные при падении на абсорбер (рис. 1). Применение данного покрытия в качестве верхнего слоя композитного солнечного элемента сможет увеличить КПД всего устройства.

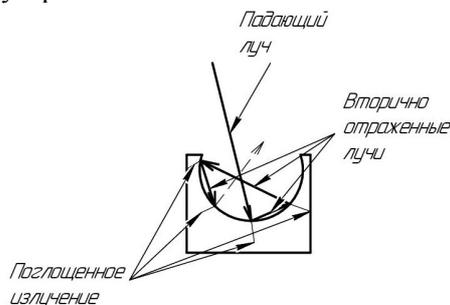


Рис. 1. Оптический эффект ячейки абсорбера.

Классический вариант применения покрытий с высоким коэффициентом поглощения - это бытовые коллекторы солнечной энергии. Однако предлагаемая технология позволяет уменьшить размер абсорбера без потери эффективности, а, значит, дает возможность применения и в других областях техники, например, солнечные панели на космических спутниках и станциях, оптические устройства, например, пирометр или дымомер.

На данном этапе исследований проводятся эксперименты по отработке технологии получения композитных и инверсных структур, формируемых внедрением в межсферическое пространство опаловой пленки материала заполнения методом реактивного магнетронного распыления нанесения .

Получение образцов

Образцы предназначенных для исследования композитных структур были получены следующим образом. На обработанную машинным маслом ситалловую подложку методом естественной седиментации из коллоидного раствора диоксида кремния со средним размером микросфер порядка 250 нм была нанесена опаловая пленка толщиной в 2-3 сферических слоя. На ее поверхности методом магнетронного распыления была сформирована медная пленка толщиной ~750 нм. Выбор наносимого материала был обусловлен удобством организации эксперимента и возможностью отработки процесса нанесения металлических пленок на поверхность опаловой матрицы [3]. Полученная структура была отделена от поверхности подложки скотчем. При этом за счет предварительной обработки подложек маслом удалось без нарушения целостности структур получить фрагменты достаточных для исследования размеров (рис. 2).



Рис. 2. Образцы структур до их отслаивания от подложек.

Параметры образцов и технологического процесса представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры образцов и технологического процесса.

| Параметр | Значение |
|---------------------------------|----------|
| Размер образца, мм | 10×10 |
| Толщина тонкой пленки меди, нм | ~750 |
| Толщина тонкой пленки опала, нм | ~500 |
| Материал подложки | ситалл |
| Количество образцов | 10 |
| Рабочее давление, Па | 5 |
| Сила тока, А | 1,34 |
| Напряжение, В | 608 |
| Продолжительность, мин | 15 |

Исследование образцов и обсуждение результатов

Полученные описанным выше образом образцы структур были исследованы на атомно-силовом микроскопе Solver Next полуконтактным методом. Изображение одного из фрагментов со стороны опаловой пленки представлено на рис. 3.

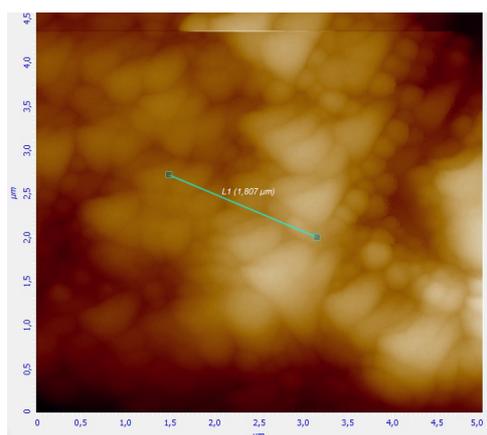


Рис. 3. АСМ-изображение полученной пленки.

На данном снимке участка образца видно, что на медной пленке остались частицы диоксида кремния. Это говорит о том, что медь хорошо взаимодействует с седиментированным коллоидным раствором и успешно внедряется в межсферичное пространство опаловой пленки. Профиль поверхности структуры со стороны опаловой пленки представлен на рис. 4. Заметно, что отслаивание структуры от подложки не привело к разрушению упорядоченной структуры опаловой матриц, элементы которой были дополнительно зафиксированы осажденной в пустоты медью.

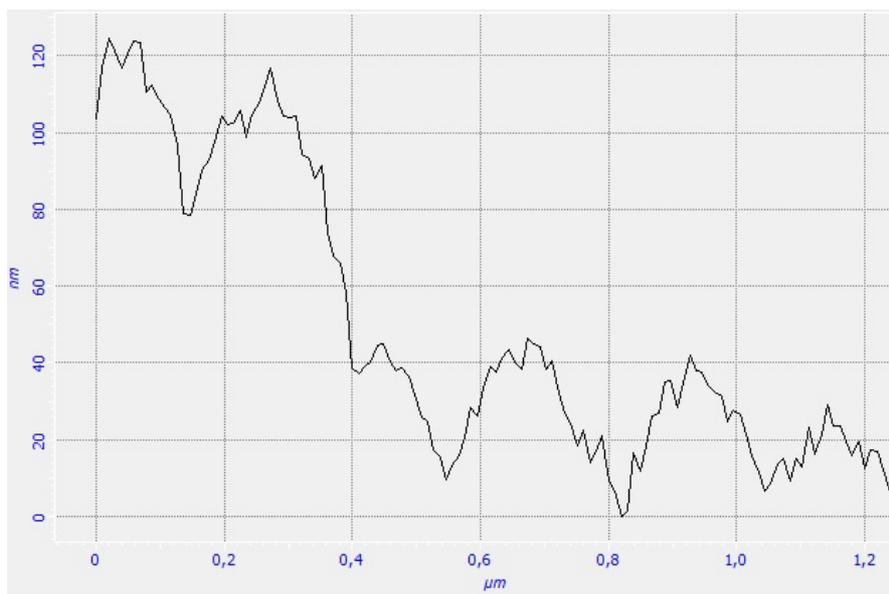


Рис. 4. График измерения высоты пленки.

Для получения инверсной или ячеистой (в зависимости от конструкции абсорбера) структуры необходимо удалить из композита микросферы диоксида кремния. Основным методом удаления кремнезема является травление во фтороводородной (плавиковой) кислоте [4]. На рисунке 5 представлен результат инвертирования, смоделированный в программе Image Analysis 3.5.0.1050 (рис. 5).

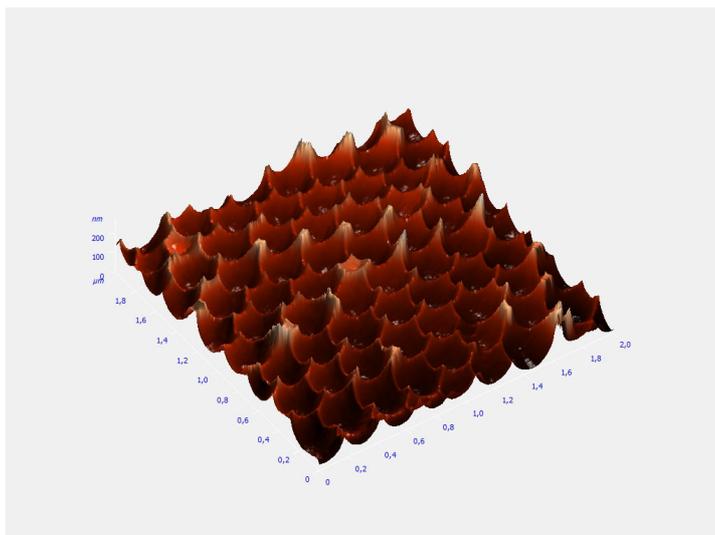


Рис. 5. Изображение инверсной структуры.

Анализ изображения, представленного на рис. 5 подтверждает факт получения целостной периодической структуры, которая может играть роль как фотонно-кристаллического слоя при его формировании перед нанесением поглощающей пленки, так и ячеистой пленки при ее формировании на поверхности абсорбера.

Заключение

Представленные результаты подтверждают возможность использования инверсных структур на основе опаловых матриц, полученных с помощью магнетронного осаждения материалов, в конструкции абсорберов солнечной энергии. Дальнейшее исследование образцов предполагает получение многослойных структур абсорберов и проведение их спектрометрического анализа. Работа будет проводиться в рамках гранта УМНИК-Энерджинет при поддержке Фонда содействия инновациям.

Литература

1. H. Hoppe and N. S. Sariciftci, J. of Mat. Res. 19, 1924 . Solar Energy Materials & Solar Cells 91 (2007) 420–423 (2007)
2. Varghese, L. T., Xuan, Y., Niu, B., Fan, L., Bermel, P. and Qi, M. (2013), "Enhanced Photon Management of Thin-Film Silicon Solar Cells Using Inverse Opal Photonic Crystals with 3D Photonic Bandgaps." Advanced Optical Materials, 1: 692–698. DOI: 10.1002/adom.201300254
3. Доброносова А.А., Панфилова Е.В. Исследование образцов опаловых пленок со сформированным на них массивом наночастиц. Вакуумная техника, материалы и технология. Материалы XI Международной научно-технической конференции, М., 2016 – С. 152-157.
4. Choi, D. G.; Kim, S.; Jang, S. G.; Yang, S. M.; Jeong, J. R.; Shin, S. C. Chem. Mater. 2004, 16, 4208- 4211.