

УДК: 621.793.182

ЦВЕТНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Богачёв Максим Андреевич⁽¹⁾, Михайлова Ирина Валерьевна⁽²⁾,
Макарова Камила Туреккановна⁽³⁾

*Студент 4 курса⁽¹⁾, магистр 2 курса⁽²⁾, студент 3 курса⁽³⁾,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Д.Д. Васильев,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электронные
технологии в машиностроении»*

Солнечные элементы активно внедряются в различные конструкционные части зданий как потенциальные источники вспомогательной энергии, они могут применяться в электромобилях, кораблях и различных электронных устройствах [1]. Увеличение потребности в солнечной энергетике приводит к тому, что для повсеместного интегрирования солнечные панели должны соответствовать определенной цветовой палитре, которая может быть обеспечена за счет верхнего – просветляющего слоя солнечного элемента.

Наиболее простым методом получения цветных солнечных элементов является формирование однослойного просветляющего покрытия, однако такой метод сильно снижает КПД элемента. Многослойные просветляющие покрытия сложны в расчете и изготовлении. Исследования показывают, что благодаря двухслойным просветляющим покрытиям можно добиться коэффициента отражения <1% [2]. Такие покрытия представляют собой последовательно нанесенные тонкопленочные слои материалов с низким и высоким коэффициентами преломления. В качестве материалов обычно используется диоксид кремния (SiO₂) и диоксид титана (TiO₂) соответственно [3].

Целью работы является создание технологии формирования двухслойных цветных пленок TiO₂-SiO₂ на гибких подложках для интеграции в солнечную панель без существенного снижения КПД.

Покрытия формировались на установке ВУП-11М, оснащенной магнетронной распылительной системой, состоящей из двух двухдюймовых магнетронов. Нанесение осуществлялось ВЧ магнетронным распылением мишеней SiO₂ и TiO₂.

Цвет тонкопленочного покрытия определяется его толщиной, поэтому для формирования слоев с заданными толщинами необходимо знать скорости осаждения, которые измерялись методом пьезоэлектрического микровзвешивания.

После отработки режимов скоростей осаждения были выбраны режимы, обеспечивающие наибольшие скорости осаждения: 1,47 нм/мин для SiO₂ при мощности 80 Вт и потоке рабочего газа 1,56 л/ч и 1,16 нм/мин для TiO₂ при мощности 80 Вт и потоке рабочего газа 2,60 л/ч.

Для анализа получаемых структур были сформированы однослойные пленки SiO₂ и TiO₂ толщиной 200 нм и измерены на спектрофотометре. Исходя из сравнения полученных результатов с теоретической моделью были определены коэффициенты преломления тонких пленок, значения которых равны 1,462 для диоксида кремния, и 2,349 для диоксида титана [4].

Для придания определенной цветовой окраски проведен расчет и составлена модель, позволяющая определить толщину каждого слоя в зависимости от длины волны, в которой необходимо получить максимум коэффициента отражения.

Коэффициент отражения двухслойных тонкопленочных покрытий определяется согласно формулам, приведенным в работе [5]. В модели не учитывается поглощение пленок, поскольку они являются низкопоглощающими, и не рассматривается отражение, вызванное неидеальностью прилегающих слоев.

По полученной модели рассчитывались толщины пленок диоксида кремния и диоксида титана такие, чтобы максимум коэффициента отражения приходился на диапазон длин волн зеленого (500-565 нм), синего (450-485 нм) и красного (625-700 нм) цветов. Для зелёного цвета толщина пленки TiO_2 составила 85 ± 5 нм, толщина пленки SiO_2 составила 137 ± 8 нм, для синего цвета 75 ± 3 нм и 120 ± 5 нм соответственно, для красного цвета 106 ± 6 нм и 170 ± 10 нм соответственно.



Рис. 1. Цветные пленки на стеклянных подложках

В соответствии с рассчитанными значениями сформированы пробные двухслойные покрытия TiO_2-SiO_2 трех цветов: зеленый, синий, красный на стекле (рис. 1) и гибкой подложке, являющейся верхним слоем солнечного элемента. Экспериментальные цвета пленок совпали с теоретическими.

В дальнейшем планируется нанесение покрытий на рулонные подложки на установке с протяженными магнетронами и их интеграция в солнечные панели.

Литература

1. Wikipedia [Электронный ресурс] : Building-integrated photovoltaics URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Building-integrated_photovoltaics, (дата обращения 10.10.2021).
2. Sharma R., Amit G., Ajit V. Effect of single and double layer antireflection coating to enhance photovoltaic efficiency of silicon solar. – 2017.
3. Будтолаев А. К., Либерова Г. В., Хижняк В. И. Повышение чувствительности кремниевых р-і-п-фотодиодов к излучению с длиной волны 1, 06 мкм //Прикладная физика. – 2018. – №. 5. – С. 47.
4. Богачёв М.А., Михайлова И.В., Васильев Д.Д. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ SiO_2 И TiO_2 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2021. P. 517–524.
5. Sharma R., Amit G., Ajit V. Effect of single and double layer antireflection coating to enhance photovoltaic efficiency of silicon solar. – 2017.