

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЕВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Песецкий П.С.

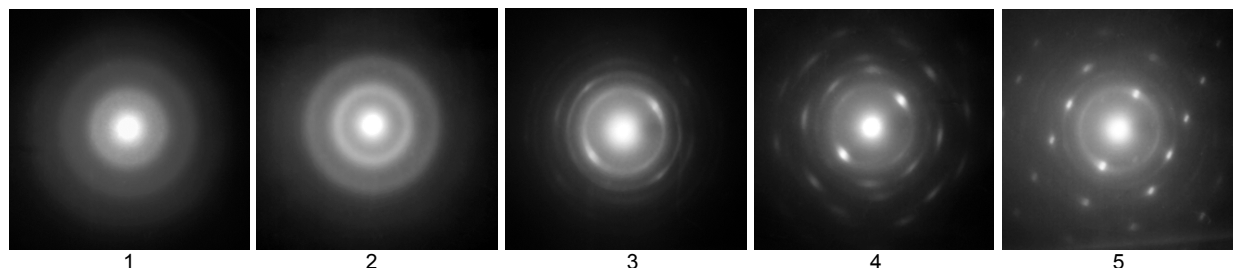
Телеш Е.В. – ст. преподаватель

Исследована микроструктура, морфология поверхности пропускание и состав слоев поликристаллического кремния, полученных осаждением из ионных пучков в вакууме. Проанализировано влияние режимов нанесения на характеристики пленок.

Существующие традиционные методы формирования тонкопленочных покрытий из кремния для солнечной энергетики, основанные на термическом испарении, ионном распылении, осаждении из газовой фазы, связаны с использованием дорогостоящих мишеней, процессы осаждения проходят при высокой температуре подложек (250-1000<sup>o</sup>C) и требуют применения дорогих и мощных блоков ВЧ и НЧ питания [1]. В последние годы все больше внимания исследователей привлекают методы, основанные на нанесении тонкопленочных покрытий из ионных потоков или пучков, при которых не требуется применение мишеней и испаряемого материала в виде массивного кремния [2]. Прямое осаждение из ионных пучков предполагает использования только рабочего газа, в качестве пленкообразующего газа может использоваться SiH<sub>4</sub>. Использование плазменного ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса, позволяет получить моноэнергетический ионный пучок с плотностью до 5 мА/см<sup>2</sup> [3].

Экспериментальные исследования проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной ионным источником на основе ускорителя с анодным слоем, системой подачи рабочих газов, нагревателем подложек, зондовым устройством и системой эмиссионного спектрального анализа. Были проведены исследования параметров покрытий, формируемых ионным источником из газа 95%Ar+5%SiH<sub>4</sub>. Рабочее давление было в диапазоне 10<sup>-4</sup> - 10<sup>-3</sup> мм рт.ст. Покрытия наносились на неподвижную подложку. В качестве последней использовались кремний КДБ-10 и оптическое стекло К8. Оптимальные режимы работы ионного источника были следующими: анодное напряжение – 2,5 - 3 кВ, ток разряда – 100 - 120 А. Температура подложек составляла 50 - 550<sup>o</sup>C. При оптимальных условиях скорость нанесения достигала до 1,0 нм/с. При наличии напряжения на диафрагме скорость нанесения снижалась.

Для исследования микроструктуры покрытий тонкие пленки (d ~ 0,3 мкм) кремния наносились на свежий скол поваренной соли. Исследовалось влияние температуры подложки, скорости нанесения и напряжения на диафрагме-мишени на микроструктуру покрытий. Результаты приведены на рисунке 1.



1 – T<sub>n</sub> = 100<sup>o</sup>C, P = 250Вт, U<sub>d</sub> = 0В; 2 – T<sub>n</sub> = 300<sup>o</sup>C, P = 250Вт, U<sub>d</sub> = 0В; 3 – T<sub>n</sub> = 300<sup>o</sup>C, P = 85Вт, U<sub>d</sub> = 100В; 4 – T<sub>n</sub> = 350<sup>o</sup>C, P = 85Вт, U<sub>d</sub> = 125В; 5 – T<sub>n</sub> = 400<sup>o</sup>C, P = 85Вт, U<sub>d</sub> = 150В

Рис.1 – Результаты исследования влияния технологических факторов на микроструктуру покрытий

Увеличение энергии ионов пучка было напрямую связано изменением напряжения U<sub>d</sub> на диафрагме – при U<sub>d</sub>=20 В и U<sub>d</sub>=125 В энергия составила 60 и 150 эВ соответственно. Установлено, что с ростом температуры подложки и напряжения на диафрагме происходит рост зерна, структура покрытий становится более упорядоченной. Это можно объяснить ростом подвижности атомов кремния. Уменьшение мощности разряда также способствует формированию поликристаллической структуры покрытий.

Исследование поверхности полученных покрытий исследовали также методом атомно-силовой микроскопии. Результаты приведены на рисунке 2.

Были также проведены исследования оптических характеристик полученных покрытий. Пленки поликристаллического кремния наносились на стеклянные и кварцевые подложки при следующих режимах: остаточный вакуум - 3·10<sup>-5</sup> мм рт.ст., рабочее давление моносилана - 7·10<sup>-4</sup> мм рт.ст., ускоряющее напряжение – 3,0 кВ, ток разряда – 80 мА, напряжение на диафрагме – 0 и 125 В В, температура подложки – 200 и 500<sup>o</sup>C. Толщина пленок составила около 0,65 мкм. Измерение спектров пропускания покрытий осуществлялось с использованием прибора SPECTROVIZOR в диапазоне длин волн 380-1200 нм. Результаты измерений приведены на рисунке 3. Анализ полученных оптических характеристик показывает сильное влияние на них условий формирования покрытий. Так, увеличение температуры подложки с 200 до

500 °С позволило увеличить пропускание как в видимой, так и в инфракрасной области спектра. Установлено, что наличие напряжения на диафрагме ухудшает параметры покрытия, что может быть связано с разрушением его поликристаллической структуры.

Исследование состава покрытий осуществлялось на НПО "Интеграл". Пленки поликремния наносились на подложки из монокристаллического кремния. Для анализа состава использовался прибор *Stereoscan 320*. Результаты измерений следующие: Si – 97,75 ат.%, Ar – 2,08 ат.%, Fe - 0,17 ат.%. Наличие железа можно объяснить распылением полюсных наконечников магнитной системы ионного источника (рисунок 4).

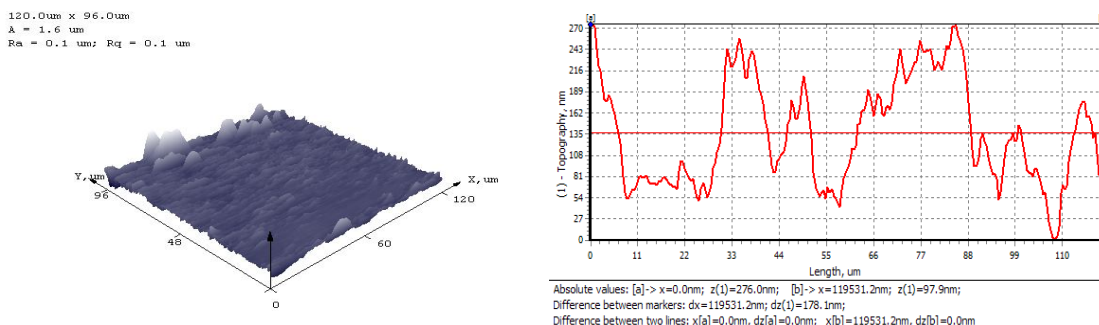


Рис. 2. – Результаты атомно-силовой микроскопии пленок кремния, полученных на стекле при  $T_n=550^{\circ}\text{C}$

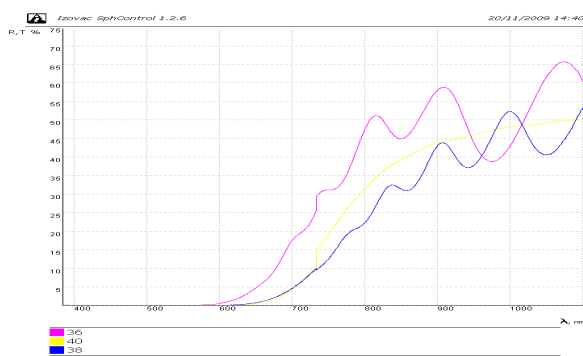


Рис.3. – Спектральные зависимости пропускания пленок из поликремния

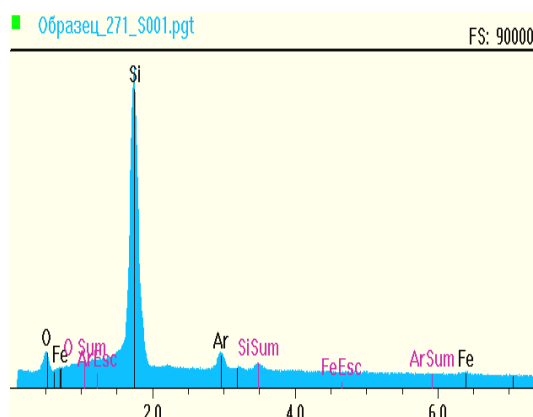


Рис.4. – Состав пленок поликремния

Таким образом, проведенные исследования характеристик тонкопленочных слоев поликристаллического кремния показали перспективность метода прямого осаждения из ионных пучков для формирования поглощающих слоев тонкопленочных солнечных элементов.

Список использованных источников:

- 1.Чопра, К. Тонкопленочные солнечные элементы /К.Чопра, С.Дас– М.: Мир, 1986.– 440 с.
- 2.Телеш, Е.В. Формирование покрытий из кремния осаждением из ионных пучков/ Е.В.Телеш, А.П.Достанко// Тезисы докладов Международной НТК, посвященной 45-летию МРТИ-БГУИР. Минск, БГУИР, 2009.19 марта 2009 г., С.220-221.
- 3.Зыков, А.В. Генерация потока ионов из пучкового фокуса / А.В.Зыков, Ю.А.Качанов, В.И. Фареник// Письма в ЖТФ, т.12, в.10, 1986. - с.593-596.