

ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ИОННО-ЛУЧЕВОГО И МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

О.Л. Кайдов, С.М. Завадский, А.О. Коробко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, т. 293 84 13, e-mail: O_kaid@tut.by
т. 293 – 80 -79 e-mail: szavad@mail.ru, т.293 85 07 e-mail: smartemsv@yahoo.com

Представлены результаты экспериментального исследования процессов осаждения тонкопленочных кремниевых слоев, полученных методами ионно-лучевого и магнетронного распыления. Определены основные спектральные характеристики полученных пленок. Исследовано влияние термического отжига на характер оптического поглощения пленок кремния. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что пленки кремния, осажденные методом магнетронного ионно-ассистированного распыления с последующим термическим отжигом при температуре около 450 °С, имеют поликристаллическую структуру.

Введение

Одной из перспективных сфер применения пленок поликристаллического кремния может являться производство тонкопленочных поликристаллических кремниевых солнечных элементов (СЭ). Использование данного типа СЭ позволит решить проблему снижения стоимости фотоэлектрических преобразователей за счет значительного (в десятки раз) снижения затрат кремния. Для успешного решения данной задачи необходима разработка высокопроизводительных и недорогих методов осаждения тонкопленочных слоев поликристаллического кремния. В этой связи значительный интерес представляют ионно-лучевые и ионно-плазменные методы нанесения покрытий [1].

Экспериментальная часть

Проведен процесс осаждения тонкопленочных слоев кремния на стеклянные подложки (оптическое стекло ВК7) с использованием ионно – лучевой распылительной системы. Ток разряда I_p во всех случаях составлял 180 мА, напряжение разряда U_p составляло 4,8 кВ. Продолжительность процесса напыления изменялась от 10 до 69 мин. Оценка толщины полученных слоев осуществлялась с помощью микроинтерферометра МИИ – 4. Оптические свойства осажденных пленок исследовались с помощью спектрофотометра PROSCAN MC 121 в диапазоне длин волн 200 – 800 нм.

Толщина осажденных пленок составила 0,34 – 0,6 мкм. Спектры поглощения, отражения и пропускания полученных пленок представлены на рис. 1, рис. 2 и рис. 3 соответственно.

Как свидетельствуют приведенные спектры, характер поглощения полученных покрытий аналогичен соответствующей характеристике кристаллического кремния. В частности, наблюдается снижение поглощения в области, соответствующей длинноволновой границе видимого диапазона (800 нм; как известно, кремний полностью прозрачен для излучения с длиной волны $>1,1$ мкм [2]).

При этом уменьшение коэффициента поглощения в областях спектра, соответствующих длинам волн 300 – 700 нм, для различных образцов связано с малой толщиной осажденных пленок и

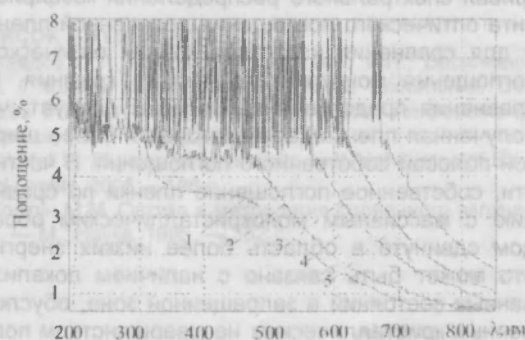


Рис. 1 Спектры поглощения полученных образцов:
1 – толщина 0,34 мкм; 2 – 0,345 мкм; 3 – 0,430 мкм;
4 – 0,51 мкм; 5 – 0,6 мкм

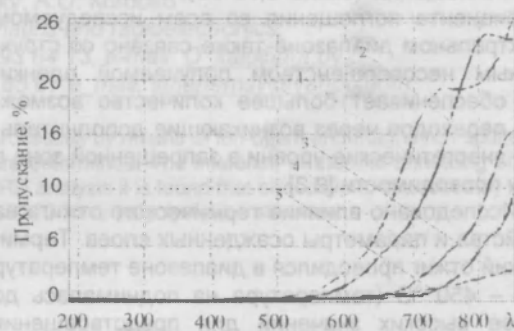


Рис. 2 Спектры пропускания полученных образцов

невозможностью вследствие этого поглощения ИК излучения, характеризующегося большой глубиной проникновения в объем образца.

Для формирования тонкопленочных кремниевых слоев методом магнетронного распыления использована экспериментальная установка, оснащенная оригинальным ионно-плазменным комплексом, состоящим из магнетронной распылительной системы низкого давления и ионного источника с замкнутым дрейфом электронов.

Перед процессами очистки и осаждения вакуумная камера откачивалась до предварительного давления порядка 10^3 Па. Процесс осаждения проводился при парциальном давлении в объеме вакуумной камеры $6-8 \cdot 10^{-2}$ Па. Для устранения загрязнений мишени осуществлялась ее очистка

путем распыления на заслонку. Пучком ионов осуществлялись очистка и активация поверхности подложки. Время очистки, энергия ионов аргона и ток разряда во всех экспериментах были постоянными и составляли соответственно 5 мин, 900 эВ и 100 мА соответственно. Распыленный материал осаждался на стеклянные пластины, покрытые серебром. Ток и напряжение разряда изменялись в пределах 1 – 2,5 А и 380 – 520 В. Подложка располагалась на расстоянии 15 см от мишени.

Исследование оптического поглощения осажденных на подслой серебра слоев кремния проводилось в диапазоне длин волн 0,37 ... 3 мкм (что эквивалентно диапазону энергий фотонов 0,4 ... 2,9 эВ) с использованием ИК Фурье спектрометра Vertex 70 Bruker. На рис. 3 показана кривая спектрального распределения коэффициента оптического поглощения полученной пленки и для сравнения известная кривая оптического поглощения монокристаллического кремния. Из сравнения представленных кривых следует, что полученная пленка характеризуется более широкой полосой собственного поглощения. В частности, собственное поглощение пленки по сравнению с массивным монокристаллическим образцом сдвинуто в область более низких энергий, что может быть связано с наличием локализованных состояний в запрещенной зоне, обусловленных кристаллическим несовершенством полученной структуры [2].

Об этом также свидетельствует значение энергии, при котором происходит отсечка на кривой поглощения (около 0,75 эВ). Увеличение коэффициента поглощения во всем исследуемом спектральном диапазоне также связано со структурным несовершенством получаемой пленки, что обеспечивает большее количество возможных переходов через возникающие дополнительные энергетические уровни в запрещенной зоне в зону проводимости [2,3].

Исследовано влияние термического отжига на свойства и параметры осажденных слоев. Термический отжиг проводился в диапазоне температур 300 – 450 °С (температура на поднималась до более высоких значений для предотвращения взаимной диффузии кремния и материала подложки, а также размягчения стекла). Для анализа влияния отжига на характеристики пленок исследовалась спектральная зависимость коэффициента поглощения.

Анализ данной зависимости показал, что наибольшие изменения поглощения, вызванные высокотемпературным отжигом, происходит в области энергий фотонов $h\nu < 1,2$ эВ. По всей видимости, поглощение в данной области энергий фотонов определяется состоянием дефектов в осажденных слоях. По мере увеличения температуры отжига с 300 °С до 450 °С поглощение в области энергий фотонов $h\nu < 1,2$ эВ увеличивается, при этом наиболее значительный рост наблюдается в диапазоне температур 400 – 450 °С. Кроме того, отжиг полученных пленок при данных температурах приводит к незначительному увеличению поглощения фотонов с энергией $h\nu < 1,2$ эВ (рис. 3).

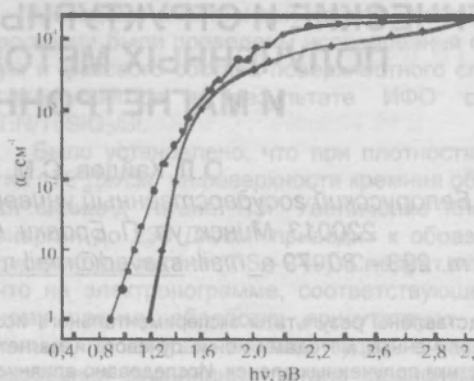


Рис. 3 Спектральные зависимости коэффициента оптического поглощения полученной пленки кремния (●) и известной зависимости коэффициента оптического поглощения для монокристаллического кремния (◆)

Полученные результаты, по всей видимости, объясняются улучшением кристаллической структуры полученных образцов, в связи с чем возрастает поглощение в области энергий фотонов, близких к ширине запрещенной зоны кристаллического кремния. Таким образом, термический отжиг способствует улучшению кристаллической структуры осажденных методом магнетронного распыления пленок кремния (обычно имеющих аморфную или микрокристаллическую структуру). Выбор оптимальных режимов отжига способствует образованию поликристаллических пленок, пригодных для использования в тонкопленочных солнечных элементах.

Параметры кристаллической решетки и анализ фазового состава осажденных тонкопленочных образцов определялись на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН – 3,0 в $\text{CuK}\alpha$ монохроматизированном излучении, монохроматизация – вторичная, осуществляется пиролитическим графитом, щели после трубки – Солера $2^\circ 30'$, 1,6, перед счетчиком – $2^\circ 30'$, 0,25, вращение образца в собственной плоскости. Управление дифрактометром, сбор и обработка информации осуществлялись с применением программы «X-RAY». Рентгеновская съемка на дифрактометре проводилась в двух режимах: непрерывном (для получения полной дифрактограммы с целью определения фазового состава и определения условий съемки задних линий для определения параметров решетки) и сканированным (для съемки линии (533) для определения параметров кристаллической структуры).

Дифрактограммы измельченного монокристаллического кремния (эталон) и полученного тонкопленочного покрытия представлены на рис. 1 и рис. 2.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что кремний, полученный магнетронным распылением кремниевой мишени, имеет некоторое разупорядочение (повышенный фон, уширенные линии), содержит дополнительные фазы (Si_3N_4 , SiO_2 , SiC).

Параметры кристаллической решетки 5,428 и 5,4227 соответственно для исходных частиц кремния и полученного покрытия.

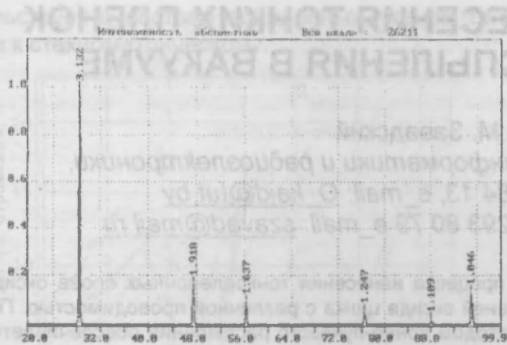


Рис. 4 Дифрактограмма эталонного кремния

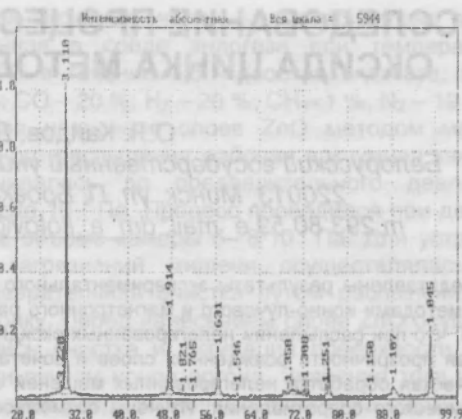


Рис. 5 Дифрактограмма осажденной пленки

Закключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что магнетронное распыление в сочетании с последующим термическим отжигом полученных слоев является перспективным методом создания тонкопленочных поликристаллических кремниевых структур, которые могут иметь широкое применение в солнечной энергетике для производства тонкопленочных кремниевых фотоэлектрических преобразователей.

Список литературы

1. Кайдов О.Л., Котов Д.А., Достанко А.П., Василевич В.П. // Физика плазмы и плазменные технологии: Сб. трудов 5 Международной научно-техн. конференции. — Минск, 2006. — С. 887—890.
2. Wurfel P. Physics of solar cells. — Weinheim, WILEY-VCH GmbH, 2005. — 186 p.
3. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечного излучения. — М.: Наука, 1985. — 352 с.

OPTICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF SILICON FILMS, OBTAINED BY MEANS OF ION-BEAM AND MAGNETRON SPUTTERING

O.L. Kaidov, S.M. Zavadsky, A.O. Korobko

Belarusian State University of Informatics and radioelectronics,

220013, Minsk, ул. P. Brovka str. 6, tel. 293 84 13, e-mail: O_kaid@tut.by

tel. 293 80 79, e-mail: szavad@mail.ru, tel. 293 85 07 e-mail: smartemsv@yahoo.com

The results of experimental research of silicon thin layer deposition processes by means of ion-beam and magnetron sputtering are presented. The main spectral characteristics of films obtained are determined. The influence of thermal annealing on the optical absorption character of silicon films is studied. By means of XRD analysis it is found that silicon films, deposited by magnetron ion-assisted sputtering with subsequent thermal annealing at 450 °C have polycrystalline structure.