

УДК 535.323; 539.234

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ТОЛЩИНЫ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК АМОРФНОГО УГЛЕРОДА ПО СПЕКТРАМ ОТРАЖЕНИЯ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

Г.А. ДАБАГЯН¹, Л.А. МАТЕВОСЯН², К.Э. АВДЖЯН^{2*}

¹Национальный политехнический университет, Ереван, Армения

²Институт радиопизики и электроники НАН Армении, Аштарак, Армения

*e-mail: avjyan@gmail.com

(Поступила в редакцию 21 февраля 2019 г.)

Из спектров отражения в видимом диапазоне длин волн экспериментально определены значения толщины и коэффициента преломления ($1.92 < n_f < 2.19$) аморфных наноразмерных пленок углерода, полученных на подложке кристаллического кремния методом лазерно-импульсного осаждения. Полученные пленки могут быть использованы в качестве однослойных антиотражающих покрытий для полупроводников Si и GaAs.

1. Введение

Использование пленок различных форм углерода в функциональной электронике сильно ограничено из-за высокой плотности дефектов, и их успешное применение носит лишь дополняющий характер (биосовместимость [1,2], защита [3] и антиотражающая способность). Наиболее удачное применение нашли пленки аморфного углерода (a-C) при производстве однослойных антиотражающих покрытий ближнего инфракрасного диапазона для Si и Ge. Ведутся также работы по применению таких пленок в качестве антиотражающих покрытий для кремниевых солнечных элементов [4]. Для всех вышеописанных случаев толщина (d_0) и коэффициент преломления (n_f) пленок являются ключевыми параметрами.

Решение обратной задачи оптики тонких пленок позволяет определять d_0 , n_f и коэффициент экстинкции (k_f) по результатам измерений коэффициентов отражения (R) и пропускания (T). Из ряда разработанных методов часто используются эллипсометрия и спектрофотометрические методы измерения R и T . Точность определения d_0 и n_f с помощью эллипсометрии сильно зависит как от состояния границы пленка-подложка, так и состояния поверхности самой

пленки. Тонкий загрязненный слой, оксидный слой или небольшие дефекты на поверхности могут привести к неконтролируемым отклонениям при определении оптических констант и толщины пленок [5]. Для спектрофотометрических методов, являющихся наиболее простыми по сравнению с другими методами, эти влияния несут незначительный характер. Нужно отметить, что при спектрофотометрических измерениях для моделирования и вычисления таких важных параметров антиотражающих покрытий, как толщина и коэффициент преломления, часто применяют метод оптических матриц [6–8].

Частным случаем определения d_0 и n_f являются спектры антиотражения от структуры пленка-подложка, когда известна дисперсия коэффициента преломления подложки (n_s). Этот случай обеспечивает нам точное определение значений d_0 и n_f при использовании формул $n_s^2 = n_f$ и $n_f d_0 = \lambda_0/4$ при перпендикулярном падении неполяризованного света на структуру пленка-подложка. В данной работе, используя экспериментальные спектры отражения от структуры «а-С пленка на кристаллическом кремнии (с-Si)», определены d_0 и n_f для а-С пленок. а-С пленки на подложках с-Si получены методом лазерно-импульсного осаждения (ЛИО). Отметим, что этот способ определения d_0 и n_f не является универсальным, так как налагается строгое требование $n_s^2 = n_f$ при конкретной длине волны λ_0 , что сужает количество применяемых материалов.

2. Детали эксперимента и результаты исследований

Пленки а-С были получены вакуумным (2×10^{-5} Тор) ЛИО (длительность импульса ~ 30 нс, энергия лазера 0.35 Дж, интенсивность излучения на мишени 6.6×10^8 Вт/см², частота повторения 1 Гц) при комнатной температуре из плоской мишени чистого мелкозернистого изотропного графита (расстояние мишень-подложка – 4 см). Перед осаждением с-Si подложки (толщина – 400 мкм, шероховатость – 2.5 нм, кристаллографическая ориентация – (100)) были подвергнуты кратковременному (20–30 мин) отжигу в вакууме 2×10^{-5} Тор при 100°C. Толщину слоя, нанесенного одиночным лазерным импульсом, определяли путем деления измеренного на Surftest SJ-410 (Mitutoyo) профилометре относительно толстого слоя (d_p) на число лазерных импульсов (~ 0.12 нм за импульс). Кристаллическая структура пленок определена методом дифракции электронов на электронографе ЭМР-100М (ускоряющее напряжение 75 кВ). Установлено, что углеродные пленки, осажденные в указанных технологических условиях, имеют аморфную структуру независимо от толщины.

Отражательные свойства полученной структуры «а-С пленка на с-Si» изучена на тонкопленочной измерительной системе F20 (Filmetrics) в диапазоне

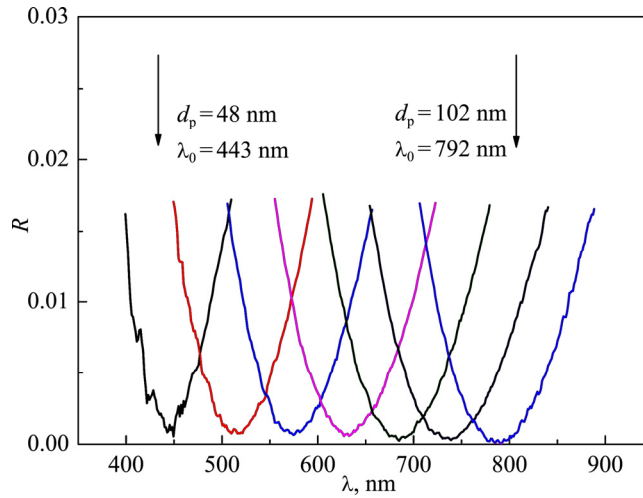


Рис.1. Спектры отражения структуры «а-С пленка на с-Si» в зависимости от толщины а-С пленки.

длин волн 400–1000 нм при нормальном падении света. На рис.1 приведены спектры отражения в зависимости от толщины d_p а-С пленки, измеренной на профилометре.

Из рис.1 очевидно существование мод антиотражения ($R \rightarrow 0$) при конкретных длинах волн λ_0 . Это означает, что при условии $k_f^2 \ll n_f^2$ с достаточной точностью выполняется соотношение $n_s^2 = n_f^2$. При этом фазовая толщина ($\varphi_f = 2\pi n_f d_0 / \lambda_0$) а-С пленок есть $\varphi_f = \pi/2$, т.е. имеем для оптической толщины соотношение $n_f d_0 = \lambda_0/4$. Приведенные соотношения позволяют определить значения d_0 и n_f пленок а-С с помощью экспериментальных графиков мод антиотражения (рис.1). Результаты простых расчетов представлены в таблице (значения n_s для подложки с-Si взяты из [9]), где d_p и d_0 – толщины, соответственно, измеренные на профиломере и определенные по спектрам. Полученные пленки а-С со

Расчетные данные n_f и d_0 для конкретных длин волн λ_0

λ_0 , nm	d_p , nm	d_0 , nm	n_f
443	48	50.5	2.19
519	62	63.3	2.05
575	71	71.8	2
630	78	80	1.97
686	87	88.4	1.94
739	94	95.7	1.93
792	102	103.1	1.92

значениями $1.92 < n_f < 2.19$ могут быть применены в качестве однослойных антиотражающих покрытий для таких полупроводников, как Si и GaAs. Используемая нами технология ЛИО для осаждения пленок а-С по своей сути весьма проста и исключает процессы высокотемпературного осаждения и отжига.

3. Заключение

Исследования спектров отражения структуры «а-С пленка на с-Si», полученной методом ЛИО, показали, что во всем исследуемом диапазоне длин волн (400–1000 нм) существуют моды антиотражения, которые позволяют определить d_0 и n_f пленок а-С, зная значения n_s для подложки с-Si. Полученные значения n_f позволяют применять эти пленки в качестве однослойных антиотражающих покрытий для таких полупроводников, как Si и GaAs.

ЛИТЕРАТУРА

1. **R. Hauert.** Diamond and Related Materials, **12**, 583 (2003).
2. **S.C.H. Kwok, J. Wang, P.K. Chu.** Diamond and Related Materials, **14**, 78 (2005).
3. **A.C. Ferrari.** Surface and Coatings Technology, **180–181**, 190 (2004).
4. **F.J. Pern, Zh. Panosyan, A.A. Gippius, et al.** NREL/CP-520-37374. February 2005.
5. **D. Poelman, P. Smet.** J. Phys. D Appl. Phys., **36**, 1850 (2003).
6. **V.M. Aroutiounian, Kh.S. Martirosyan, P. Soukiassian.** Journal of Physics D: Applied Physics, **37**, L25 (2004).
7. **V.M. Aroutiounian, Kh.S. Martirosyan, P. Soukiassian.** Journal of Physics D: Applied Physics, **39**, 1623 (2006).
8. **A.S. Hovhannisyan.** J. Contemp. Phys. (Armenian Ac. Sci.), **43**, 136 (2008).
9. **D.E. Aspnes, A.A. Studna.** Phys. Rev. B, **27**, 985 (1983).

DETERMINATION OF REFRACTIVE INDEX AND THICKNESS OF NANOSIZED AMORPHOUS CARBON FILMS VIA VISIBLE RANGE REFLECTANCE SPECTRA

G.A. DABAGHYAN, L.M. MATEVOSYAN, K.E. AVJYAN

The values of thickness and refractive index ($1.92 < n_f < 2.19$) of amorphous nanosized carbon films obtained on a crystalline silicon substrate by pulsed laser deposition were experimentally determined via an analysis of visible range reflection spectra. Obtained films can be used as single-layer anti-reflective coatings for semiconductors Si and GaAs.