

ВЛИЯНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ АМОРФНЫХ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

Е.А.Коншина, В.А.Толмачев

Всероссийский научный центр (ГОИ им. С.И. Вавилова),
199034, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 15 июня 1994 г.)

Возрастающий интерес к аморфному гидрогенизированному углероду (a -C:H) объясняется уникальными свойствами этого материала, которые в зависимости от условий получения могут изменяться от алмазоподобных до полимероподобных. Исследование влияния кинетики процесса получения на оптические постоянные a -C:H пленок необходимо для понимания взаимосвязи условий конденсации, структуры и оптических свойств. Экспериментально установлено, что повышению показателя преломления a -C:H пленок способствует увеличение напряжения на подложке [1], энергии ионов [2], плотности тока [3] и содержания инертного газа в смеси с углеводородом [4]. Влияние скорости осаждения на оптические постоянные было отмечено в [4]. Цель настоящей работы — установить характер зависимости показателей преломления и поглощения a -C:H пленок от скорости осаждения и влияния на них природы исходного углеводорода.

В работе исследовались a -C:H пленки, полученные химическим осаждением паров ацетилена и толуола в плазме тлеющего разряда на постоянном токе. Пленки осаждались на кварцевые подложки при температуре окружающей среды. Осаждение проводилось в вакуумной камере, откачиваемой форвакуумным и турбомолекулярным насосами до остаточного давления 1.3×10^{-3} Па.

Для определения основных оптических характеристик — показателя преломления n и показателя поглощения k , а также толщины d пленок был использован метод многоугловой эллисометрии на длине волны 632.8 нм [5]. Измерения отношения амплитуд p - и s -компонент падающего пучка света ψ и изменения сдвига фаз между ними Δ при углах падения излучения $\varphi = 50, 55, 60, 65, 70^\circ$ проводились на эллисометре ЛЭФ-3М. Далее по модели однородной изотропной пленки на такой же подложке в задаваемых пределах подыскивались неизвестные параметры n, k, d , которым соответствовали по функции качества F , экспериментально измеренные Δ, ψ на всех φ с учетом погрешности (поисковая программа EDIP) на компьютере РС АТ286. В расчетах использовались оптические константы подложки из кварцевого стекла ($n_s = 1.457, k_s = 0$) и внешней среды $n_0 = 1$.

За скорость осаждения v принималось отношение толщины пленок d к величине интервала времени от начала до конца процесса осаждения. Скорость варьировалась путем изменения напряжения

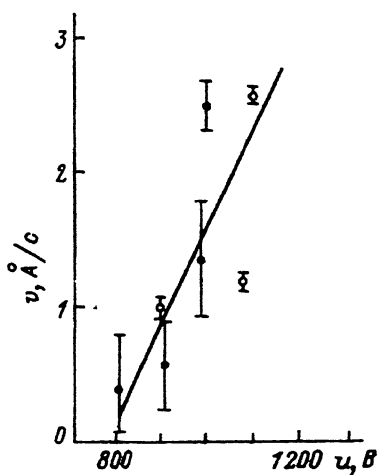


Рис. 1. Зависимость скорости осаждения v a -С:Н пленок, полученных из ацетилена (○) и толуола (●), от межэлектродного напряжения U .

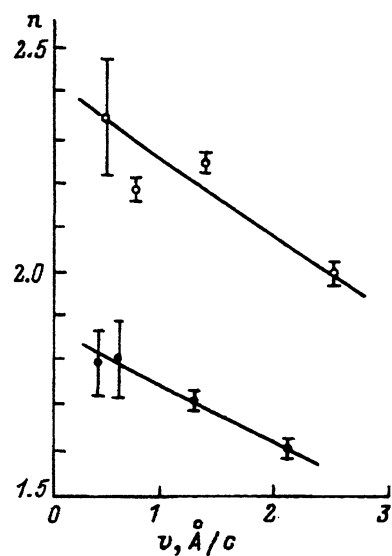


Рис. 2. Зависимость показателя преломления n a -С:Н пленок, полученных из ацетилена (○) и толуола (●), от скорости осаждения v .

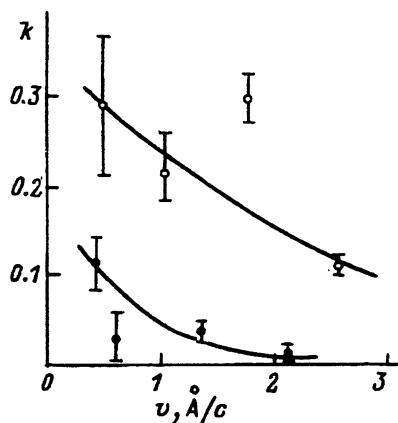


Рис. 3. Зависимость показателя поглощения k a -С:Н пленок, полученных из ацетилена (○) и толуола (●), от скорости осаждения v .

между электродами при давлении углеводорода в вакуумной камере $4 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-2}$ Па. Зависимость скорости v от напряжения U приведена на рис. 1. Повышение напряжения разряда в интервале 800–1100 В приводит к увеличению скорости от 0.4 до 2.5 Å/с.

Эллипсометрические измерения одновременно трех параметров n , k и d позволили установить для исследуемых a -С:Н пленок зависимости $n(v)$ и $k(v)$. С увеличением скорости осаждения углеводородов показатели преломления (рис. 2) и поглощения (рис. 3) монотонно убывают. Наблюдаемые изменения оптических постоянных a -С:Н пленок связаны со структурными изменениями, обусловленными кинетикой

процесса конденсации углеводородов в плазме. Понижение показателя преломления означает уменьшение плотности пленок [6,7]. Одновременное уменьшение показателя поглощения в видимой области спектра может быть связано с изменением среднего порядка структуры пленок. В аморфном углероде поглощение в интервале 0–5 эВ обусловлено π – π^* -электронными переходами в π -связанных атомных кластерах с единой системой сопряжения кратных связей [8]. В исследуемых пленках такими кластерами являются полициклические ароматические группы с разным числом колец и полиеновые цепи разной длины [9]. Уменьшение длины цепей сопряжения кратных связей или иначе размеров π -кластеров приводит к увеличению энергии π – π^* -перехода в этой системе. При этом максимум полосы поглощения, отвечающий этому переходу, будет смещаться в сторону более коротких длин волн. Поэтому увеличение прозрачности α -C:H пленок на длине волны 632.8 нм (рис. 3) можно объяснить изменением распределения π -кластеров по их размерам. Увеличение скорости осаждения углеводородов способствует уменьшению размеров π -кластеров.

Следует отметить, что в одном интервале скоростей осаждения α -C:H пленки, полученные из ацетилена, имеют высокий показатель преломления ($n = 2.4$ – 2.0) и значительное поглощение ($k = 0.3$ – 0.1). В то время как пленки, полученные из толуола, обладают более низкими значениями $n = 1.8$ – 1.6 и $k = 0.1$ – 0.01 . Можно предположить, что наблюдаемые различия связаны с влиянием природы углеводорода на процесс конденсации.

Согласно адсорбированной модели, процесс конденсации углеводородов включает три основные стадии: диссоциацию углеводородной молекулы, адсорбцию образовавшихся активных частиц и присоединение адсорбированных радикалов с потерей и без потери водорода [10]. В условиях плазмы тлеющего разряда все вышперечисленные стадии протекают при непрерывном взаимодействии ионов с поверхностью растущей пленки. В углеводородной плазме без добавления инертного газа количество ионов, участвующих в процессе осаждения пленок, зависит от способности молекул к ионизации в данных условиях. В то же время чем больше плотность ионного тока на подложку, тем выше показатель преломления α -C:H пленок [3]. В нашем случае ионный ток разряда ацетилена в рабочем интервале напряжений и давлений был на порядок выше, чем для разряда толуола, и составлял 10–20 мА. Таким образом, более высокие значения n и k пленок, полученных из ацетилена, объясняются большим вкладом ионов в процесс конденсации.

В результате проведенных исследований установлено, что показатели преломления и поглощения α -C:H пленок на длине волны 632.8 нм убывают с увеличением скорости осаждения углеводородов. Характер зависимости свидетельствует о понижении плотности пленок, связанном с изменением среднего порядка структуры. Установлено существенное различие значений оптических постоянных α -C:H пленок, полученных из ацетилена и толуола в одном интервале скоростей осаждения.

- [1] Bubenzer A., Dischler D., Brant G. et al. // J. Appl. Phys. 1983. Vol. 54. N 8. P. 4590-4595.
- [2] Locher R., Wild C., Koidl R. // Surf. and Coat. Tech. 1991. Vol. 47. P. 426-432.
- [3] Fujii K., Shohota N., Mikami M. et al. // Appl. Phys. Lett. 1985. Vol. 47. N 4. P. 370-372.
- [4] Яковлев В.Б., Васильева Л.К., Коншина Е.А. и др. // ЖПС. 1990. Т. 53. № 5. С. 863-865.
- [5] Аззам Р., Башаран Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981. 582 с.
- [6] Pascual E., Serra C., Estevel J. // Surf. and Coat. Tech. 1991. Т. 47. P. 263-268.
- [7] Swith F.W. // J. Appl. Phys. 1984. Т. 55. N 3. P. 764-771.
- [8] Robertson J. // Adv. Phys. 1986. Т. 35. N 4. P. 317-324.
- [9] Коншина Е.А., Баранов А.В. // Поверхность. 1989. № 4. С. 53-58.
- [10] Catterine X., Coudere P. // Thin solid Films. 1986. Т. 144. N 2. P. 265-280.

05;06
© 1995 г.

Журнал технической физики, т. 65, в. 1, 1995

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УДАРНУЮ ИОНИЗАЦИЮ В АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В.А.Васильев, М.Е.Кумекоев, Е.И.Теруков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 15 июня 1994 г.)

В [1,2] было показано, что квантовая эффективность внутреннего фотоэффекта a -Si:H и халькогенидном стекле (ХС) c -TlAsSe₂ увеличивается ($\eta > 1$) при энергии фотонов $h\nu_i > 2-2.5E_g$ (E_g — оптическая ширина запрещенной зоны). Это увеличение обусловлено ударной ионизацией горячих носителей заряда, однако механизм этого процесса неясен.

С целью получения информации о механизме ударной ионизации в аморфных полупроводниках нами проведены исследования влияния температуры на фотопроводимость (ФП) и квантовую эффективность $[\eta(h\nu)]$ в пленочных структурах a -Si:H и c -TlAsSe₂ в интервале энергий фотонов 1.5–6.3 эВ и диапазоне $T = 96-400$ К.

Образцы для исследований представляют собой тонкопленочные структуры Al/ a -Si:H/Al и Cr/TlAsSe₂/Cr с планарным расположением электродов, расстояние между которыми составляло 20 мкм. Более подробно изготовление структур и методика их исследования в видимом и УФ диапазоне излучений описана в [1,2]. Вычисление спектральной зависимости $\eta(h\nu)$ проводилось с учетом числа поглощенных фотонов. Для этих целей измерялись спектры оптического поглощения и отражения (α и R).

Типичные спектральные зависимости квазистационарного фототока (i_ϕ) для a -Si:H при трех различных температурах приведены на