

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ДИФФУЗИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

В.О. Абрамов, А.С. Авилов, А.Н. Белоконов, Ю.А. Зарифьянц,
В.А. Миляев, А.В. Ширков

Методами электронной микроскопии, электронографии и оже-электронной спектроскопии исследованы пленки аморфного гидрированного кремния (a-Si:H), легированные фосфором. Легирование приводит к структурным изменениям и увеличению коэффициента диффузии алюминия в a-Si:H.

В солнечных батареях на основе аморфного гидрированного кремния (a-Si:H) для формирования токо-съемных областей наносятся из газового разряда сильно легированные слои толщиной порядка 100 Å /1/. Условия роста и структура таких слоев изучены пока недостаточно /2/. Между тем, введение чужеродных атомов в пленку существенно влияет на параметры ближнего порядка в a-Si:H и на его фотоэлектрические характеристики /3/.

В данной работе изучались слои a-Si:H толщиной 200–1000 Å, нанесенные на подложки из кристаллического кремния по стандартной методике разложением моносилана в тлеющем ВЧ разряде при температуре подложки 570 К. Для легирования фосфором в газовую смесь добавляли до 1% фосфина. Морфологию поверхности осажденных пленок изучали с помощью растрового электронного микроскопа Superprobe-773. Электронную дифракцию исследовали на электронографе ЭМР-100 в режиме "на отражение" с использованием фильтра для отсева неупруго рассеянных электронов. Для выяснения влияния легирования на диффузионные процессы в переходной области Al – a-Si:H проводили профильный оже-электронный анализ на установке LAS-2200. Спектры регистрировали в дифференциальной форме с амплитудой модуляции 1 В и разрешением по энергии 0,3%. Распыление приповерхностных слоев пленки производилось ионами аргона сканирующим пучком с энергией 4 кэВ, скорость распыления ~ 40 Å/мин.

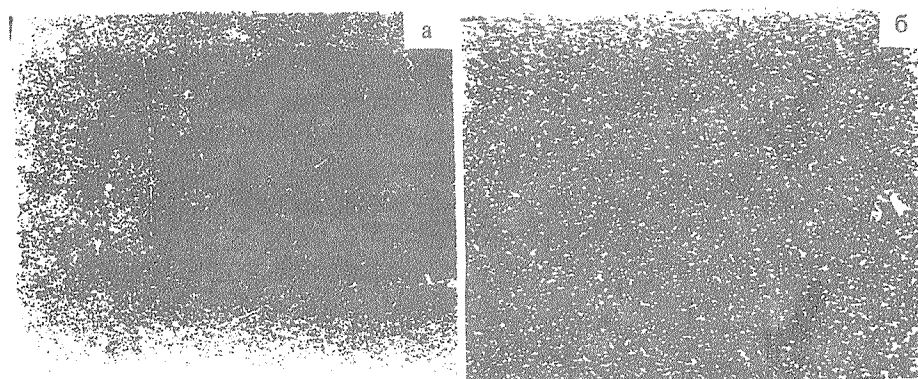


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки пленок a-Si:H: исходный образец (а); образец, легированный добавлением 1% фосфина (б).

Как показали электронно-микроскопические снимки, после введения 0,5% фосфина в реакционную смесь отчетливо проявляется тенденция к формированию колоннообразной структуры слоя (рис. 1), с которой уже в ранних работах по a-Si:H связывали резкое ухудшение его электрических характеристик /4/. Можно было предположить, что эти особенности структуры легированных пленок отразятся на параметрах ближнего порядка, что было подтверждено данными электронной дифракции.

При обработке электронограмм учет основного фона рассеяния аморфных пленок осуществлялся с помощью предложенного в /5/ прецизионного способа нормировки интерференционной функции, причем

ложные пики исключались при варьировании верхнего предела интегрирования. Рассчитанные таким образом радиальные функции распределения атомной плотности в исходном и легированном образцах α -Si:H, полученных в идентичных условиях, представлены на рис. 2. Заметное возрастание первой и в меньшей степени второй координационных сфер атома кремния после легирования свидетельствует о разупорядочивающем влиянии фосфора при введении его из разряда. Различия в координационных числах ($\sim 15\%$) не выходит за пределы погрешностей метода расчета [5].

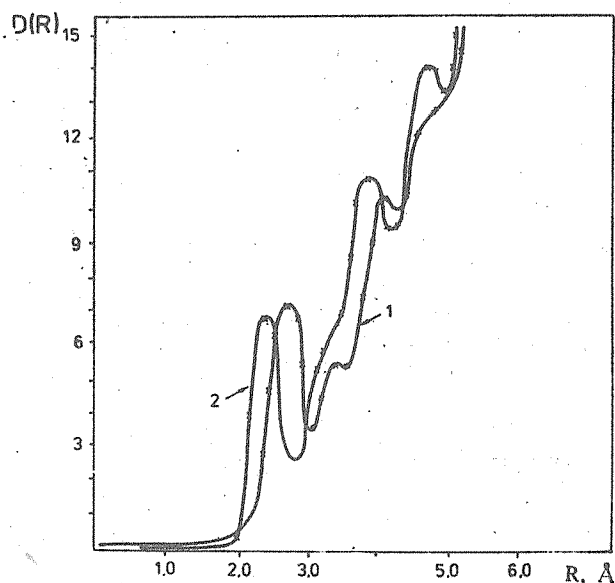


Рис. 2. Радиальные функции распределения атомной плотности в исходном (1) и легированном добавлением 1% фосфина (2) образцах α -Si:H.

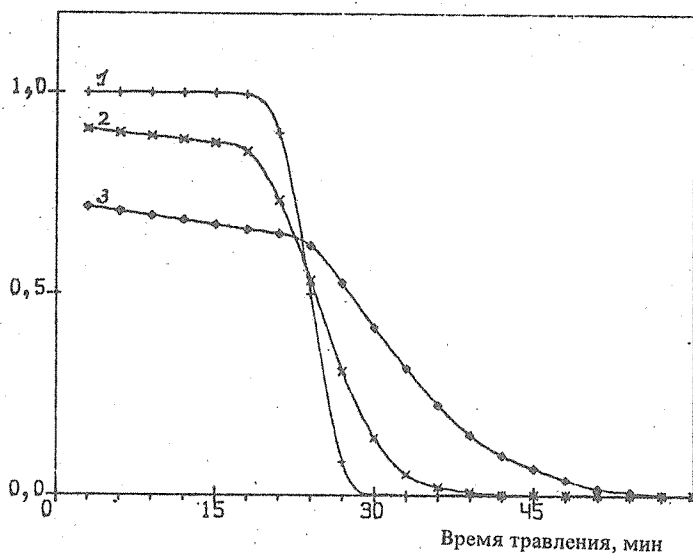


Рис. 3. Распределения атомов Al на границе раздела Al – α -Si:H: исходный образец (1); после отжига при 470 К, 2 часа (2); легированный образец (0,1% фосфина) после такого же отжига (3).

Существенную роль для эффективной работы преобразователей на основе a-Si:H играют процессы, происходящие на границе раздела легированной области с металлом. Для изучения диффузионных процессов исследовались слаболегированные слои a-Si:H (концентрация фосфина в газовой смеси 0,1%), не обладающие колоннообразной структурой. В таких образцах характер фотолюминесценции близок к тому, что наблюдается в нелегированных пленках /6/. После нанесения пленок алюминия толщиной 1000 Å на исходный и легированный образцы и последующей термообработки в вакууме был проведен профильный оже-электронный анализ образовавшихся переходных областей. Из сравнения кривых 2 и 3 на рис. 3 видно, что после прогрева при 470 К в течение двух часов диффузионная длина атомов алюминия существенно больше, чем в нелегированном образце. Диффузионные профили атомов Al хорошо описываются функцией ошибок Гаусса, расчет коэффициента диффузии при данной температуре производился с учетом распределения Al в неотожженном образце по методике, описанной в /7/. Анализ полученных профилей распределения показал, что в результате легирования происходит увеличение коэффициента диффузии Al в a-Si:H от $3 \cdot 10^{-16}$ до $2 \cdot 10^{-15}$ см²с⁻¹ при данной температуре. Это хорошо коррелирует с морфологическими особенностями легированных слоев, в которых возникающие микродефекты приводят к усилению диффузии атомов металла в a-Si:H.

Микроструктура пленок и параметры ближнего порядка формируют электронный энергетический спектр пленки a-Si:H, определяют ее рекомбинационные характеристики и транспорт носителей тока. Полученные в настоящей работе данные показывают необходимость оптимизации режимов легирования и термообработки приконтактных областей фотопреобразователей для достижения приемлемых характеристик приборов на основе a-Si:H.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nagaki H. Jap. J. Appl. Phys., 21, 283 (1982).
2. Kampas F. J., Vanier P. F. J. Non-Cryst. Sol., 66, 25 (1984).
3. Зарифьянц Ю. А. и др. Вестник МГУ, сер. 3, 27, 91 (1986).
4. Knights J. C., Lujan A. Appl. Phys. Lett., 35, 244 (1979).
5. Васин О. И., Гладышева Г. И., Дагман Э. Е. Кристаллография, 28, № 3, 446 (1983).
6. Tsant C., Stitt R. A., Phyl. Mag., 37, 601 (1978).
7. Hall P. M., Morabito J. M. Surf. Sci., 54, 79 (1976).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 24 марта 1988 г.