

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК a-Si:H С ИМПЛАНТИРОВАННЫМИ ИОНАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

И.П. Акимченко, А.Н. Каррыев, С.Н. Алексанян

Исследованы оптические свойства и структура пленок a-Si:H с большой концентрацией ионно-имплантированных примесей переходных металлов. Предполагается, что необратимый спад краевой люминесценции обусловлен образованием преципитатов силицидов имплантированных примесей.

Поведение примесей переходных металлов в аморфном кремнии неадекватно свойствам, проявляемым ими в кристаллической фазе. В [1] установлена способность элементов группы железа насыщать в a-Si оборванные (ненасыщенные) валентные связи кремния [1]. В гидрогенизированном аморфном кремнии (a-Si:H) это свойство наблюдалось как восстановление или усиление после термического отжига краевой люминесценции пленок с концентрацией ионно-имплантированных примесей этих элементов $N < 10^{20} \text{ см}^{-3}$ [2]. При дозах имплантации, соответствующих $N \geq 10^{20} \text{ см}^{-3}$, степень восстановления люминесценции при отжиге резко падает, что трудно связать с изменением только плотности оборванных связей и заставляет предположить образование дефектов нового типа. Выяснению возможной природы этих центров и посвящена данная работа, в которой проведено исследование свойств и структуры слоев a-Si:H, ионно-имплантированных примесями 3d-элементов.

Исходные пленки, полученные методом ВЧ тлеющего разряда, имели следующие параметры: оптическая ширина запрещенной зоны 1,7 эВ, содержание водорода 12 ат. %, плотность спинов $N_S < 10^{17} \text{ см}^{-3}$ с g-

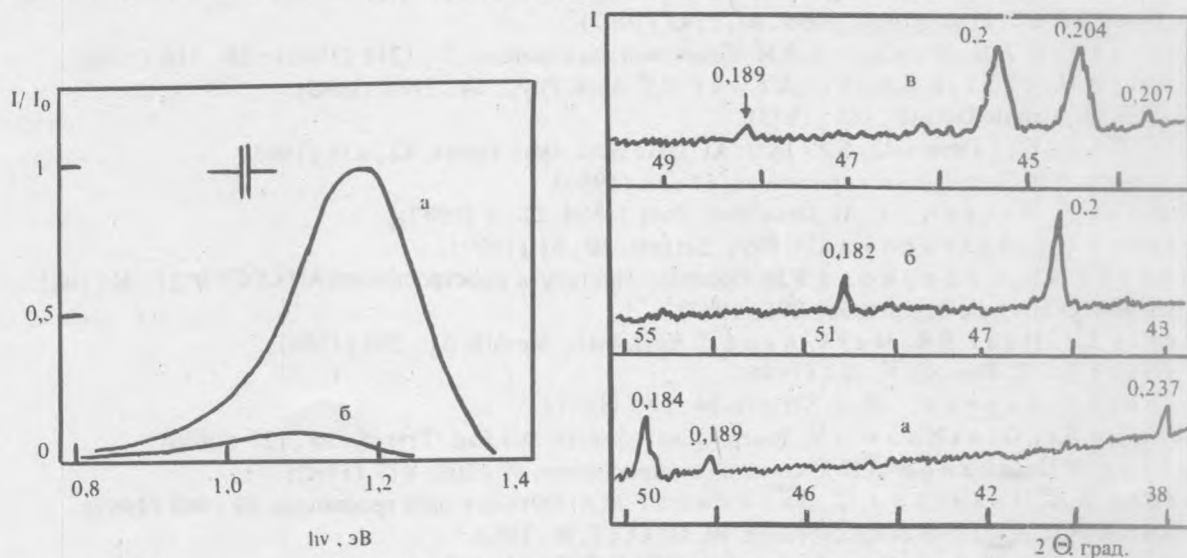


Рис.1. Спектры фотолюминесценции при 77 К: а – исходный; б – a-Si:H (Fe), $N_{Fe} = 10^{20} \text{ см}^{-3}$, интенсивность увеличена в 10 раз. I_0 – интенсивность линии ФЛ исходного образца.

Рис.2. Дифрактограммы пленок a-Si:H с имплантированными ионами Fe (а,б) и Cr (в). У вершин пиков приведены межплоскостные расстояния в нм. Дифрактометр ДРОН-2, излучение $\text{Cu K}\alpha$.

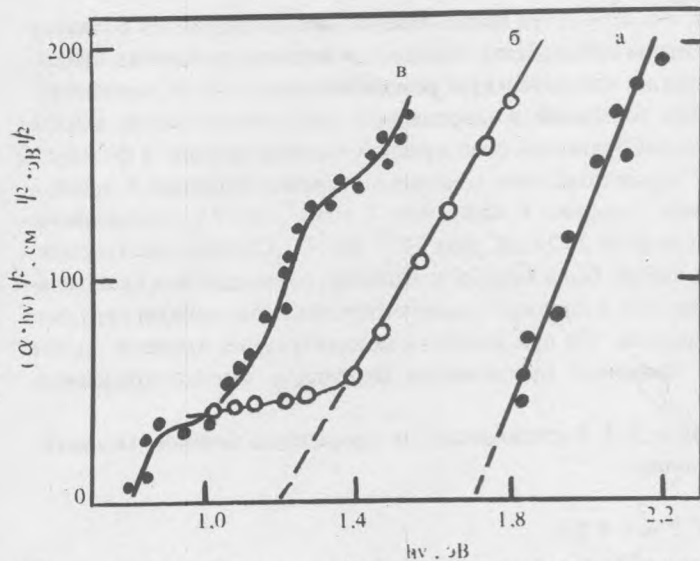


Рис.3. Спектры поглощения пленок a-Si:H при комнатной температуре: а - исходный, б - после имплантации ионов Ni ($N = 10^{21} \text{ см}^{-3}$), в - после лазерного отжига имплантированных пленок.

фактором 2,0055, толщина 0,5 мкм. Отношение темнового удельного сопротивления к удельному сопротивлению при освещении белым светом (20 мВт/см^2) $\sim 10^3$. Методом ионной имплантации Fe, Cr или Ni в пленках создавались слои толщиной $\sim 0,3 \text{ мкм}$ с концентрацией имплантированных атомов 10^{20} и 10^{21} см^{-3} .

В спектре фотолюминесценции (ФЛ) исходных образцов доминирует характерная для a-Si:H полоса краевой люминесценции с максимумом при $h\nu \approx 1,2 \text{ эВ}$ (рис.1, кривая а), обусловленная туннельными переходами между локализованными состояниями у краев разрешенных зон [3]. Имплантация ионов приводила к резкому спаду люминесценции, который сопровождался появлением в спектре ЭПР характерной для оборванных связей кремния резонансной линии ($g = 2,0055$). Плотность спинов в имплантированных слоях после облучения составляет $\sim (1-2) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Оборванные связи являются эффективными центрами безызлучательной рекомбинации и тушат краевую люминесценцию. Для их устранения после имплантации образцы подвергались термическому отжигу в вакууме при $T = 300-350 \text{ }^\circ\text{C}$. Термообработка привела лишь к незначительному восстановлению спектра люминесценции. Из рис.1 (кривая б) видно, что для слоев с концентрацией железа 10^{20} см^{-3} полоса краевой люминесценции заметно смещена в длинноволновую сторону, а ее интенсивность примерно в 200 раз меньше исходной. Вследствие этого она, сливаясь со слабым излучением в области 0,75 – 1,0 эВ, образует широкую асимметричную полосу. В присутствии дефектов только типа оборванная связь подобный спад краевой люминесценции соответствует увеличению плотности этих дефектов на 10^{18} см^{-3} [3]. Однако в действительности по данным ЭПР их концентрация, т.е. плотность спинов N_S , уменьшается в результате отжига до исходных значений. Вместе с отсутствием фоточувствительности пленок это свидетельствует об образовании в ионно-имплантированных слоях структурных дефектов (центров безызлучательной рекомбинации) иного типа, чем оборванные связи.

По данным ИК поглощения их появление не сопровождается изменением содержания связанного с кремнием водорода. В спектрах имплантированных пленок присутствуют лишь полосы поглощения в областях 600–700 и 2000–2100 см^{-1} , вызванные колебаниями кремниево-водородных конфигураций SiH и SiH₂: их спектральная форма и интенсивность практически не изменились. В комбинационном рассеянии света наблюдается характерная для аморфного кремния широкая полоса с максимумом при 480 см^{-1} . Присутствие этой полосы означает, что структура имплантированных слоев остается неупорядоченной. Рентгенофазовый анализ показал наличие новой фазы. На дифрактограммах пленок с концентрацией примеси $N \geq 10^{20} \text{ см}^{-3}$ наблюдалось появление четких дифракционных линий (рис.2), вызванных образованием силицидов примесей FeSi₂ (а), FeSi (б) и Cr₅Si₃ (в). В случае имплантации ионов Ni ($N = 10^{21} \text{ см}^{-3}$) с последующим импульсным лазерным отжигом ($\lambda = 694,3 \text{ нм}$, $\tau = 40 \text{ нс}$, $E = 0,2 \text{ Дж/см}^2$) в спектре края фундаментального поглощения наблюдалось появление длинноволновой области (рис.3), свидетельствующей об образовании новой (синтезированной) фазы с шириной запрещенной зоны около 0,8 эВ.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что структура ионно-имплантированных слоев является гетерофазной и состоит из $a\text{-Si:H}$, в котором размещены преципитаты силицидов имплантированных примесей. В связи с этим возникает вопрос об их влиянии на излучательную рекомбинацию в $a\text{-Si:H}$, поскольку преципитаты примесей, образуя непрерывный набор состояний в запрещенной зоне, могут сильно влиять на эффективность излучения /4/. С другой, стороны необратимый спад краевой люминесценции и фоточувствительности могут иметь " чисто радиационное " происхождение. С целью выяснения последнего предположения пленки облучались быстрыми электронами (энергия 3 МэВ, доза $7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$), создающими дефекты вакансионного типа, а также ионами Ar (энергия 350 кэВ, доза 10^{15} см^{-2}). Степень восстановления при отжиге краевой люминесценции в первом случае была близка к единице, тогда как при имплантации ионов Ar существенно ниже, но в 2–3 раза выше, чем в пленках с имплантированными ионами переходных металлов. На основании этого можно предположить, что при больших концентрациях примеси одним из основных видов рекомбинационных центров являются преципитаты силицидов имплантированных примесей.

Авторы благодарны В.А. Дравину, А.В. Спицину и А.Э. Сидельникову за проведение ионной имплантации, А.В. Двуреченскому за измерения плотности спинов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко А.Х., Двуреченский А.В., Дравин В.А. Препринт ИФП СО АН СССР 1-83, Новосибирск, 1983 г.
2. Каррыев А.Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 40 (1984).
3. Street R.A. *Advances in physics*, **30**, 593 (1981).
4. Kressel H. et al. *J. Appl. Phys.*, **39**, 5139 (1968).

Поступила в редакцию 20 июня 1989 г.