

УДК 621.315.592

©1995 г.

О ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПЛЕНОК α -Si:H, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Ж.Атаев, В.А.Васильев, И.В.Елизаров, М.М.Мездрогина

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получена 3 октября 1994 г. Принята к печати 10 октября 1994 г.)

Исследовано влияние редкоземельных ионов на интенсивность фотолюминесценции аморфного гидрированного кремния. Примеси редкоземельных элементов подавляют собственную люминесценцию, создавая в щели подвижности центр безызлучательной рекомбинации. Исключение составляет Dy, введение которого в процессе осаждения пленки при концентрации 0.1 ат% приводит к возрастанию квантовой эффективности люминесценции и коренной перестройке спектров излучения. Приведена температурная зависимость интенсивности фотолюминесценции нелегированного α -Si:H и легированного ионами редкоземельных элементов.

Ранее [1,2] было показано, что введение примесей редкоземельных элементов (РЗЭ) в аморфный гидрированный кремний (α -Si:H) приводит к эффективному изменению оптических, электрических и фотоэлектронных свойств материала. Однако вопрос о природе примесных состояний, образованных РЗЭ в α -Si:H, остается открытым. Это обусловлено тем, что примеси РЗЭ в матрице α -Si:H могут образовывать как изолированные заряженные состояния, так и сложные комплексы с собственными дефектами структуры при наличии атомарного водорода [3].

С целью получения информации о природе примесных состояний РЗЭ в матрице α -Si:H нами были исследованы спектры стационарной фотолюминесценции (ФЛ) пленок α -Si:H, легированных РЗЭ, концентрация которых не превышала 0.1 ÷ 0.5 ат%.

Образцы пленок толщиной $d = 0.5$ мкм были получены высокочастотным совместным распылением монокристаллической мишени кремния и мишени из РЗЭ в газовой смеси водорода, аргона и силана. Осаждение пленок проводилось на кварцевые подложки с шероховатой поверхностью, температура которых в процессе осаждения составляла $T = 380 \div 390^\circ\text{C}$, а концентрация атомарного водорода — 12 ÷ 15 ат% согласно данным инфракрасной (ИК) спектроскопии. Концентрация вводимых примесей (Dy, Gd, Tb, Nd, Eu, Fe, Nd + Fe) в пленках не превышала 0.1 ÷ 0.5 ат%. Характеристики стационарной ФЛ измерялись по стандартной методике в диапазоне температур $T = 77 \div 300$ К. ФЛ возбуждалась линией Ag^+ -лазера с энергией фотонов $h\nu = 2.54$ эВ, что соответствовало оптическим переходам зона-зона с коэффициентом поглощения $\alpha > 10^5 \text{ см}^{-1}$, и мощностью излучения $P = 10$ мВт.

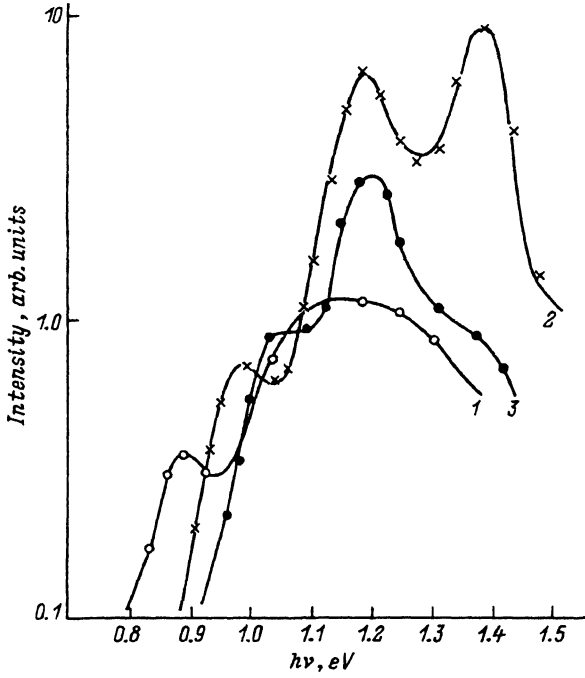


Рис. 1. Спектры ФЛ пленки $a\text{-Si:H}$ (1) и пленок $a\text{-Si:H(Dy)}$ с концентрацией Dy 0.1 (2) и 0.5 (3) ат%.

Наиболее интересные результаты были получены на образцах $a\text{-Si:H}$, легированных Dy. Спектры ФЛ нелегированного $a\text{-Si:H}$ и легированных образцов приведены на рис. 1. Так, пленки $a\text{-Si:H}$ имеют размытый спектр излучения с максимумом в области энергий фотонов ~ 1.2 эВ (спектр 1). Введение примеси Dy до 0.1 ат% приводит к сильному увеличению интенсивности ФЛ (в 10 раз) и появлению новых полос излучения при энергиях фотонов 0.95 и 1.35 эВ. Увеличение концентрации Dy до 0.5 ат% вызывает небольшое уменьшение интенсивности ФЛ и деформацию спектра излучения (спектр 3). Так появляется новая полоса излучения при энергиях фотонов 0.87 эВ. Следует, однако, заметить, что линия излучения, характерная для внутрицентровых переходов Dy^{2+} (переход ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ при $\lambda = 2.36$ мкм), не была обнаружена.

Типичные температурные зависимости интегральной интенсивности ФЛ пленок $a\text{-Si:H(Dy)}$ приведены на рис. 2. Анализ данных показывает, что если зависимость $I(T)$, согласно [4], аппроксимировать $I(T) \sim \exp(-T/T_0)$, то величина $T_0 = 47$ К для $a\text{-Si:H}$ и $T_0 = 28$ и 36 К для легированного материала.

Полученные данные по температурной зависимости свидетельствуют, что механизм температурного гашения интенсивности ФЛ один и тот же как в легированном, так и в нелегированном материале. Изменение величины T_0 при легировании отражает тот факт, что уменьшается плотность локальных состояний в зазоре подвижности вблизи «хвоста» зоны проводимости. Это, возможно, есть эффект геттерирования, т.е. связывания ионами Dy центров безызлучательной рекомбинации. Значительные искажения плотности локализованных состоя-

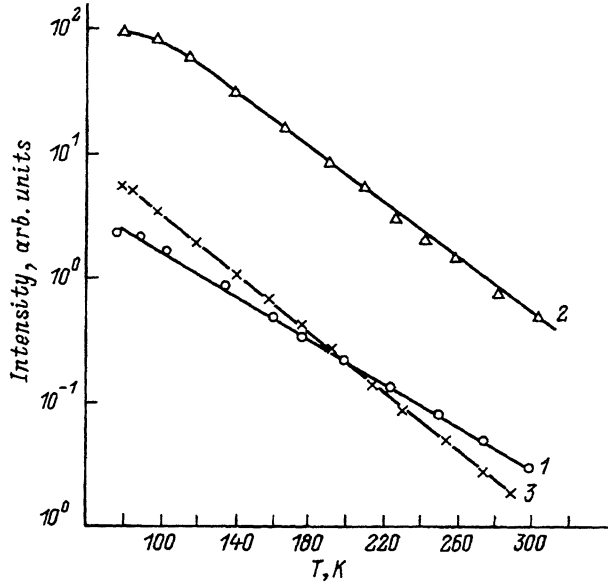


Рис. 2. Температурная зависимость интегральной интенсивности ФЛ пленки $a\text{-Si:H}$ (1) и пленок $a\text{-Si:H(Dy)}$ с концентрацией Dy 0.1 (2) и 0.5 (3) ат%.

ний существуют вблизи краев разрешенных зон, как свидетельствуют результаты по изучению спектров ФЛ. На уменьшение плотности локальных состояний при легировании Dy указывает и тот факт, что в пленках $a\text{-SiH(Dy)}$ отношение проводимости при освещении и в темноте составляет 10^4 , а в случае нелегированного $a\text{-Si:H}$, полученного высокочастотным распылением, — только 10^2 [5].

Исследование спектров ФЛ пленок, легированных рядом РЗЭ, показали, что такие примеси, как Gd, Tb, Nd, Eu, Fe и Nd + Fe, приводят к

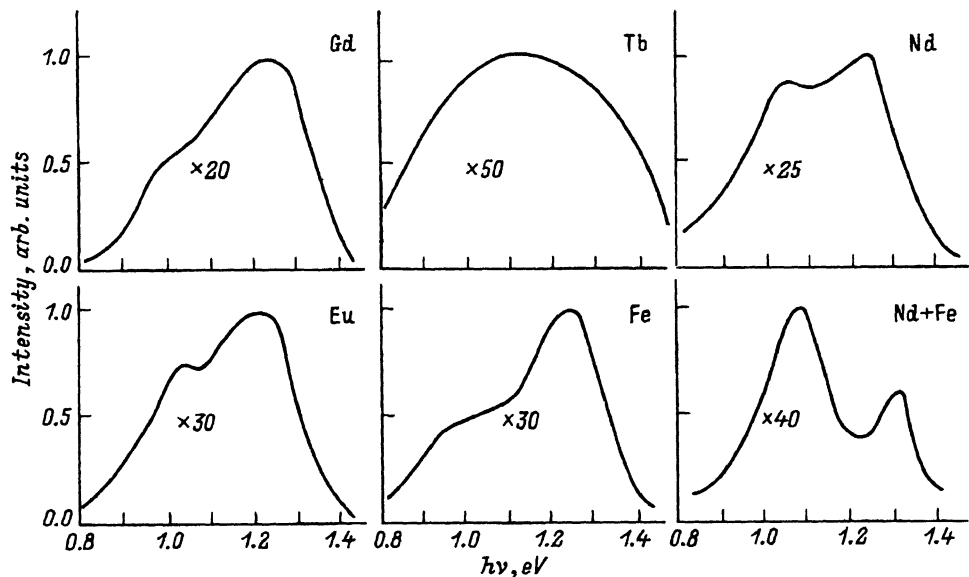


Рис. 3. Спектры стационарной ФЛ пленок $a\text{-Si:H}$, легированных различными РЗЭ в концентрации 0.5 ат%.

сильному воздействию интенсивности ФЛ — от 20 до 50 раз (рис. 3), хотя при этом имеет место сильная деформация спектра излучения. Так, практически для всех вводимых примесей спектр ФЛ состоит из двух полос излучения в области энергий фотонов 1.0 и 1.3 эВ, т.е. существенно отличается от спектра излучения нелегированного материала. Эти результаты свидетельствуют о том, что примеси РЗЭ оказывают значительное влияние на спектр локализованных состояний хвостов разрешенных зон и собственных дефектов структуры типа состояний D^- , D^+ , D^0 . Нами не было обнаружено внутрицентровых оптических переходов, связанных с изолированными заряженными центрами РЗЭ, а это свидетельствует о том, что примеси РЗЭ сильно связаны в сложные комплексы в матрице $\alpha\text{-Si}:\text{H}$.

Работа выполнена при частичной поддержке Международной ассоциации поддержки кооперации с учеными СНГ, грант INTAS N 93-1916.

Список литературы

- [1] А.Р. Регель, П.П. Серегин, М.М. Мездрогина, Ф.С. Насрединов, М.С. Аблова, У.Ж. Абдумананов. *ФТП*, **22**, 161 (1988).
- [2] Н.Т. Баграев, Л.С. Власенко, М.М. Мездрогина. *Письма ЖТФ*, **7**, 80 (1981).
- [3] А.Р. Регель, У.Ж. Абдумананов, В.А. Васильев, М.М. Мездрогина, Ф.С. Насрединов, П.П. Серегин. *ФТП*, **23**, 1552 (1989).
- [4] R.A. Street. *Adv. Phys.*, **30**, 593 (1981).
- [5] Ж. Атаев, Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук (Ашхабад, 1990).

Редактор Л.В. Шаронова

On photoluminescence of $\alpha\text{-Si}:\text{H}$ films doped with rare-earth elements

Zh. Ataev, V.A. Vasil'ev, M.M. Mezdrogina, E.I. Terukov

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg, Russia