

Люминесценция эрбия в аморфном гидрогенизированном кремнии, полученном методом тлеющего разряда

© Е.И. Теруков, О.И. Коньков, В.Х. Кудоярова, О.Б. Гусев, Г. Вайзер*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

*Марбургский Университет,
35032 Марбург, Германия

(Получена 30 декабря 1997 г. Принята к печати 13 января 1998 г.)

Впервые сообщается о наблюдении эффективной фотолюминесценции эрбия при комнатной температуре в аморфном гидрогенизированном кремнии, полученном методом плазмохимического осаждения.

В последнее время большой интерес к исследованию люминесценции эрбия в различных полупроводниковых матрицах вызван возможностью электронной накачки люминесценции ионов редкоземельных металлов (РМЗ) [1,2]. Наибольший интерес представляет кремний, легированный эрбием, в связи с перспективой создания светодиодов и лазеров на длину волны 1.54 мкм, попадающую в минимум поглощения оптического волокна. Основной метод введения эрбия в кристаллический кремний — имплантация. Интенсивность фотолюминесценции эрбия в этой матрице падает более чем на порядок при охлаждении от азотной до комнатной температуры, что обусловлено механизмом деактивации экситонов, связанных на относительно мелких донорных уровнях [3,4].

Недавно фотолюминесценция эрбия на длине волны 1.54 мкм наблюдалась в аморфном гидрогенизированном кремнии [5–7]. Пленки аморфного кремния были получены сораспылением кремния и металлического эрбия из мозаичной мишени с использованием магнетрона [7] или методики MASD [6]. Известно, что существует сильное различие в температурном гашении люминесценции эрбия в кристаллической и аморфной матрицах, связанное с разными механизмами возбуждения эрбия [3,8]. В аморфном кремнии интенсивность люминесценции эрбия практически не зависит от температуры вплоть до комнатной. Поэтому поиск новых методов получения аморфного кремния, содержащего эрбий, — важное направление в технологии создания оптоэлектронных устройств.

В настоящей работе впервые сообщается о наблюдении эффективной фотолюминесценции эрбия при комнатной температуре в аморфном гидрогенизированном кремнии, полученном методом плазмохимического осаждения. Как известно, этот метод является основным при получении аморфного кремния приборного качества для солнечных элементов и структур на его основе.

Пленки аморфного гидрогенизированного кремния, легированные эрбием ($a\text{-Si:H(Er)}$), выращивались на подложках из кварца или кристаллического кремния при разложении силана в атмосфере аргона. Подложки находились на высокочастотном (ВЧ) электроде при комнатной температуре. Источник эрбия — порошок

Er(TMHD)_3 , нагретый до температуры более 160°C . Скорость роста пленки $a\text{-Si:H(Er)}$ составляла 0.02 мкм/мин. Толщина исследуемых в настоящей работе пленок была порядка 1 мкм. Состав полученных пленок, т.е. концентрация эрбия, кислорода и углерода, исследовался с помощью резерфордовского обратного рассеяния (RBS) при облучении пленок ускоренными α -частицами с энергией 3.17 МэВ. Концентрации Er и O составили $2.1 \cdot 10^{20}$ и $1.4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Структура пленок $a\text{-Si:H(Er)}$ исследовалась методами рамановской и инфракрасной спектроскопии. Рамановские спектры снимались на спектрометре U-1000 в геометрии на отражение. Длина волны падающего излучения составляла $\lambda = 514.5 \text{ нм}$, мощность $P = 100 \text{ Вт}$. В рамановских спектрах пленок наблюдаются линии, соответствующие фононам TA (150 см^{-1}), LA (310 см^{-1}), LO (380 см^{-1}) и TO (475 см^{-1}). Положение линий типично для пленок аморфного гидрогенизированного кремния. Отличие от рамановского спектра нелегированного $a\text{-Si:H}$, полученного тем же методом, состоит лишь в небольшом увеличении полуширины TO-пика. Последнее можно объяснить увеличением композиционного и структурного беспорядка, связанного с встраиванием примесей (Er, O, C) в матрицу аморфного гидрогенизированного кремния.

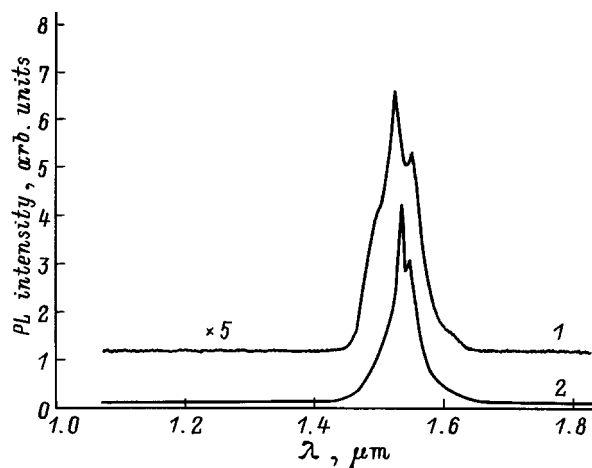


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции (PL) эрбия в порошке Er(TMHD)_3 (1), в пленке $a\text{-Si:H(Er)}$ до отжига (2).

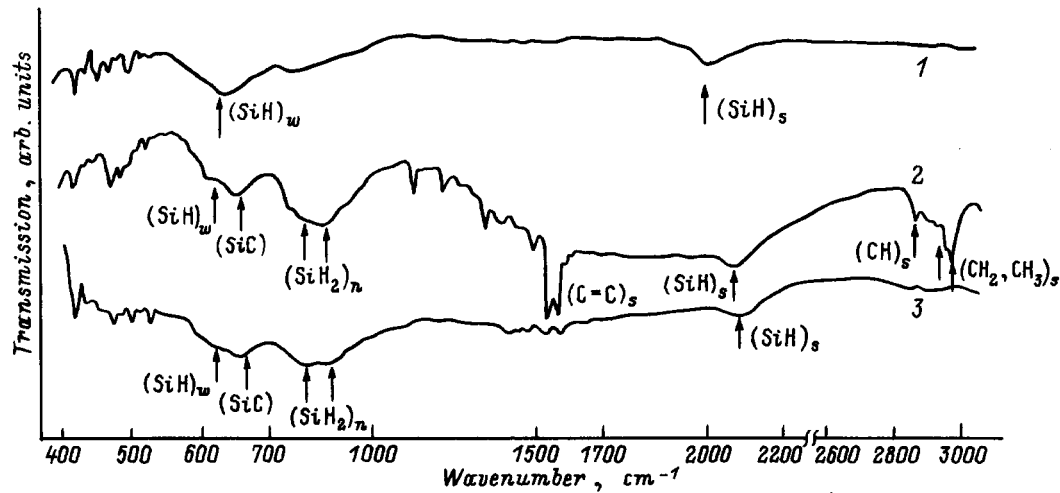


Рис. 2. Инфракрасные спектры образцов $a\text{-Si:H}$ (1), $a\text{-Si:H(Er)}$ до (2) и после отжига (3).

Инфракрасные (ИК) спектры измерялись при комнатной температуре на двухлучевом спектрофотометре UR-20 в спектральном диапазоне от 400 до 5000 см^{-1} .

Спектры фотolumинесценции снимались при возбуждении аргоновым лазером на $\lambda = 488\text{ нм}$ мощностью 30 мВт с использованием охлаждаемого жидким азотом германиевого детектора. На рис. 1 представлены спектры фотolumинесценции порошка Er(TMHD)_3 (спектр 1) и пленки $a\text{-Si:H(Er)}$ до отжига (спектр 2).

Обращает на себя внимание существенная разница в характере спектра фотolumинесценции (ФЛ) в порошке и пленке $a\text{-Si:H}$. Характерные линии эрбия в порошке сильно размыты, и их положение отличается от положения линий в пленках аморфного кремния, что свидетельствует о разном локальном окружении ионов эрбия в этих матрицах, т.е. отражает результат встраивания атомов Er в матрицу $a\text{-Si:H}$ при используемой технологии.

Отметим, что интенсивность эрбиевой фотolumинесценции изготовленных образцов была сравнима по величине с интенсивностью ФЛ оптимизированных по концентрации эрбия и кислорода образцов $a\text{-Si:H(Er)}$, полученных методом MASD [6]. Отжиг образцов в вакууме при остаточном давлении менее 10^{-6} Тор при температуре 300°C в течение 1 ч приводил к увеличению интенсивности ФЛ эрбия более чем на порядок.

На рис. 2 представлены ИК спектры полученных пленок $a\text{-Si:H(Er)}$ до отжига (спектр 2) и после отжига в вакууме при температуре 300°C в течение 1 ч (спектр 3). Здесь же для сравнения приведен ИК спектр пленки нелегированного $a\text{-Si:H}$ (спектр 1).

Обратим внимание на следующие особенности:

– присутствие мод CH_2 , CH_3 и $(\text{Si-H}_2)_n$, свидетельствующих о существовании полимерной компоненты в структуре пленки, что соответствует условиям получения (низкая температура и размещение подложек на ВЧ электроде);

– присутствие связей C–C, что связано с содержанием в порошке, используемом для введения эрбия, большого количества углерода; согласно данным RBS, содержание углерода в пленке составляет $10 \div 15\text{ ат}\%$.

Следует отметить, что, несмотря на большую концентрацию кислорода, в исследуемых пленках не обнаружено линий, отвечающих колебаниям связей Si–O–Si (980 см^{-1}) и C–O (1710 см^{-1}). Это можно объяснить тем, что кислород связан в основном с ионами эрбия.

После отжига наблюдается изменение ИК спектров, а именно уменьшение интенсивности мод CH_2 , CH_3 и исчезновение полос, соответствующих колебаниям связей C–C. Перестройка структуры приводит к наблюдаемому увеличению интенсивности фотolumинесценции.

Таким образом, впервые на образцах $a\text{-Si:H(Er)}$, полученных методом тлеющего разряда, наблюдалась интенсивная фотolumинесценция эрбия при комнатной температуре, что позволяет надеяться на использование этой технологии при создании светодиодов на длину волны 1.54 мкм .

Авторы благодарят Министерство науки России (проект 97-1036), РФФИ (грант 96-02-16931-а) и Фонд Фольксваген (проект I/71 646) и INCO-COPERNICUS (грант 977048-SIER) за финансовую поддержку работы.

Список литературы

- [1] *Rare Earth Doped Semiconductors I*, ed. by G.S. Pomrenke, P.B. Klein, D.W. Langer [Mater. Res. Soc. Proc., **301**] (Pittsburgh PA, 1992).
- [2] *Rare Earth Doped Semiconductors II*, ed. by S. Coffa, A. Polman, R.N. Schwartz. [Mater. Res. Soc. Proc., **422**] (Pittsburgh PA, 1996).
- [3] I.N. Yassievich, L.C. Kimerling. *Semicond. Sci. Technol.*, **8**, 718 (1993).

- [4] S. Coffa, G. Franzo, F. Priolo, A. Polman, R. Serna. Phys. Rev. B, **49**, 16 313 (1994).
- [5] T. Oesterreich, G. Swiatkowski, I. Broser. Appl. Phys. Lett., **56**, 446 (1990).
- [6] M.S. Bresler, O.B. Gusev, V.Kh. Kudoyarova, A.N. Kuznetsov, P.E. Pak, E.I. Terukov, I.N. Yassievich, B.P. Zakharchenya, W. Fuhs, A. Sturm. Appl. Phys. Lett., **67**, 3599 (1995).
- [7] A.R. Zanatta, L.A.O. Nunes, L.R. Tessler. Appl. Phys. Lett., **70**, 511 (1997).
- [8] W. Fuhs, I. Ulber, G. Weiser, M.S. Bresler, O.B. Gusev, A.N. Kuznetsov, V.Kh. Kudoyarova, E.I. Terukov, I.N. Yassievich. Phys. Rev. B, **56**, 9545 (1997).

Редактор Л.В. Шаронова

Erbium luminescence in an amorphous hydrogenated silicon obtained by glow discharge technique

E.I. Terukov, O.I. Kon'kov, V.Kh. Kudoyarova,
O.B. Gusev, G. Weiser*

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

*Marburg University,
35032 Marburg, Germany