

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛЕНОК АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОТЖИГА

© А.А.Бабаев, И.Н.Трапезникова, О.И.Коньков, Е.И.Теруков

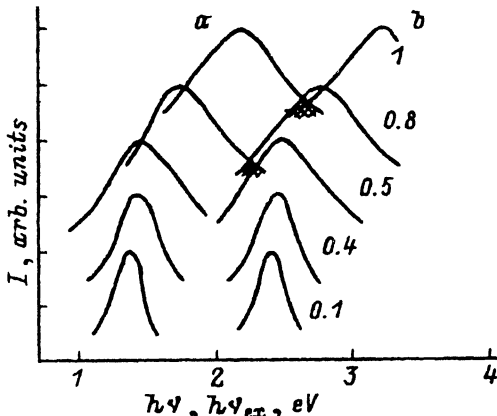
Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Получена 2 октября 1995 г. Принята к печати 4 октября 1995 г.)

Исследована фотолюминесценция пленок гидрированного аморфного карбида кремния $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$, полученных разложением газовой смеси ($\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ar/H}_2$) в плазме тлеющего разряда при температурах (200–250) °С и отожженных при 400 °С в вакууме с целью модификации свойств материала, в частности эффективности фотолюминесценции. Было показано, что в результате отжига меняются как структурные, так и оптические свойства пленок, в частности, эффективность фотолюминесценции возрастала на 1–2 порядка для широкого диапазона составов.

Аморфный гидрированный карбид кремния $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ имеет широкий спектр применения благодаря тому, что его оптические и электрические свойства могут контролированно изменяться в соответствии с изменением состава газовой смеси [1]. Однако, как известно, увеличение ширины запрещенной зоны с ростом концентрации углерода x сопровождается возрастанием разупорядоченности структуры пленок. Это в свою очередь приводит к увеличению протяженности хвостов энергетического спектра и плотности локализованных состояний в запрещенной зоне вследствие того, что оборванные связи действуют как рекомбинационные центры. В результате происходит ухудшение некоторых характеристик материала, в частности уменьшение величины фотопроводимости и эффективности люминесценции [2].

В настоящей работе исследуются фотолюминесцентные свойства пленок гидрированного аморфного карбида кремния $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$, полученных разложением газовой смеси ($\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ar/H}_2$) в плазме тлеющего разряда при температурах (200–250) °С и отожженных в вакууме при 400 °С с целью изменения характеристик материала, в частности эффективности фотолюминесценции.

Для исследования фотолюминесценции (ФЛ) использовались пленки толщиной 1 мкм, нанесенные на кварцевые подложки. Измерения выполнялись в диапазоне температур (4.2–300) К. Для измерений края



Спектры фотолюминесценции (семейство кривых *a*) и спектры возбуждения фотолюминесценции (семейство кривых *b*) для пленок $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ разного состава x , указанного цифрами у кривых; $h\nu$ — энергия фотонов люминесцентного излучения, $h\nu_{ex}$ — энергия фотонов возбуждающего излучения.

оптического поглощения, ФЛ и спектров возбуждения ФЛ использовались двойной монохроматор и различные источники света: ксеноновые лампы ДКСЛ-1000, КГМ-250. Спектры возбуждения ФЛ записывались в максимуме спектрального распределения люминесценции.

Данные эксперимента приведены на рисунке. В исследуемой системе наблюдались одиночные полосы в спектрах ФЛ и в спектрах возбуждения ФЛ. С увеличением концентрации углерода обе полосы непропорционально сдвигаются в область больших энергий, полуширина полосы ФЛ δ увеличивается, эффективность падает. Для образцов с $x > 0.8$ наблюдался антистоксовский сдвиг (заштрихованная область на рисунке). Таким образом, спектры ФЛ исходных пленок $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ были подобны спектрам, приведенным ранее [3] для пленок, осажденных из смеси $\text{SiH}_4 + \text{CH}_4$. Однако для наших образцов при $x < 0.5$ характерен сравнительно слабый сдвиг максимума ФЛ, а при $x > 0.8$ максимум лежит близко к максимуму ФЛ пленок $a\text{-C:H}$ [4]. Кривые спада ФЛ имеют две компоненты. Более быстрая, с постоянной $\tau = 50$ нс, соответствует диапазону экситоноподобной рекомбинации ($x = 1$), более медленная соответствует туннельной рекомбинации ($x < 1$). С увеличением x компонента медленного спада становится быстрее.

Спектры инфракрасного (ИК) поглощения данной системы были подробно исследованы в работе [5]. Необходимо отметить, что полоса поглощения $C-H$ -моды растяжения ($2800 \div 3000 \text{ см}^{-1}$) достаточной ин-

Данные по фотолюминесценции и величина показателя преломления для исходных и отожженных пленок $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$

Состав пленки x	I_M , отн.ед.		E_M , эВ		δ , эВ		n	
	И	О	И	О	И	О	И	О
0	250		1.35		0.38		2.97	
0.1	66	110	1.36	1.35	0.4	0.35	2.51	2.54
0.5	15	95	1.46	1.46	0.57	0.54	2.06	2.11
0.8	9	100	1.95	1.95	0.68	0.6	1.86	1.86

Примечание. I_M — интенсивность ФЛ в максимуме, n — показатель преломления, И — исходный образец, О — отожженный образец.

интенсивности появляется уже при x порядка 0.1. Концентрация оптически активных связей водорода в исследуемых образцах составляла $8 \div 52$ ат% в зависимости от величины x .

Данные экспериментов по отжигу образцов приведены в таблице. Как видно из полученных результатов, после проведения отжига наблюдалось значительное увеличение интенсивности ФЛ, особенно заметное для больших значений x . Положение максимумов E_M остается неизменным, полуширина линий также не изменяется, либо незначительно падает. Данные по влиянию отжига на кинетику спада ФЛ нами не приводятся, хотя необходимо отметить, что величины постоянной времени для образцов различных составов незначительно увеличивались.

Ранее нами было показано [6], что с отжигом пленок до температур вплоть до 510°C происходит перестройка структуры связей атомов в пленке, уменьшается концентрация слабо связанного водорода. При этом показатель преломления пленки остается практически постоянным или слабо увеличивается, концентрация оборванных связей уменьшается примерно на 1.5 порядка величины после отжига [7], величина оптической ширины зоны E_g^{opt} остается практически постоянной или изменяется не более чем на 0.06эВ , энергия активации электропроводности по данным, полученным в [8], возрастает. Одновременно с этим квантовая эффективность люминесценции увеличивается практически на порядок величины для пленок стехиометрического состава. Эта тенденция сохраняется для образцов всех составов, но особенно заметна при $x > 0.5$.

Полученные данные нами интерпретируются с учетом структурных изменений, происходящих в материале в результате отжига [6,7]. Увеличение эффективности ФЛ коррелирует с уменьшением плотности состояний в запрещенной зоне. В результате отжига уменьшается концентрация оборванных связей и их вклад в процесс безызлучательной рекомбинации. Это ведет к усилению собственной излучательной рекомбинации между хвостами зон.

Таким образом, в результате отжига аморфных пленок $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x$:H могут быть модифицированы как структурные, так и оптические их свойства. В частности, для широкого диапазона составов пленок было получено увеличение эффективности фотолюминесценции на 1–2 порядка величины.

Работа была частично поддержана Министерством обороны США.

Список литературы

- [1] Y. Hamakawa. *Springer Proc. in Phys.* (Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1989) V. 43, p. 164.
- [2] J. Bullot, S.P. Schmidt. *Phys. St. Sol. (b)*, **143**, 345 (1987).
- [3] V.A. Vassilyev, A.S. Volkov, E. Musabekov, S.V. Chernyshov, E.I. Terukov. *J. Non-Cryst. Sol.*, **114**, 507 (1989).
- [4] А.А. Бабаев, М.Ш. Абдулвагабов, Е.И. Теруков, И.Н. Трапезникова. *Неорг. матер.*, **27**, 2205 (1991).
- [5] Е.И. Теруков, И.Н. Трапезникова, Джон Сен Хо, Г.Н. Виолина. В сб.: *Известия ЛЭТИ* (Л., Изд-во ЛЭТИ, 1991) вып. 433, с. 66.

- [6] О.И. Коньков, И.Н. Трапезникова, М.П. Власенко, Е.И. Теруков, Г.Н. Виолина. ФТТ, **34**, 328 (1992).
- [7] I.N. Trapeznikova, O.I. Konkov, E.I. Chelnokov, M.P. Vlasenko. Inst. Phys. Ser. **137**, ch. 2, 125 (1993).
- [8] Г.Н. Виолина, Джон Сен Хо, И.Н. Трапезникова. В сб.: *Тезисы Всесоюзного семинара по аморфным полупроводникам и их применениям* (Л., Изд-во ЛИЯФ, 1991) с. 38.

Редактор Т.А. Полянская

Modification of $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ films properties during annealing

A.A. Babaev, I.N. Trapeznikova, O.I. Konkov, and E.I. Terukov

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

Photoluminescence properties of $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ films have been investigated. Films were produced by glow discharge decomposition of $(\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ar}/\text{H}_2)$ at $200\div 250^\circ\text{C}$ and annealed at 400°C under vacuum for modification of such films properties as the photoluminescence efficiency. It has been shown that structural and optical properties were changed after annealing. The photoluminescence efficiency increased for a wide range of the film compositions.
