

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В $\alpha\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$

Зарифьянц Ю. А., Карягин С. Н., Коробов О. Е., Лупачева А. Н.

При исследовании фотолюминесценции пленок аморфного гидрированного карбида кремния ($\alpha\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$) с микроскопическими флуктуациями состава [1] было обнаружено снижение интенсивности излучения при 85 К в процессе записи спектра. В образцах с повышенным содержанием углерода этот эффект наблюдался даже визуально: после часовой предварительной засветки при 85 К участка пленки потоком ~ 100 мВт/см² в спектральном интервале 1.6–2.8 эВ это место оставалось темным при последующем возбуждении всего образца квантами с $\hbar\omega = 3.39$ эВ интенсивностью ~ 5 мВт/см². Исходная излучательная способность пленки полностью восстанавливалась после выдержки в течение нескольких часов при комнатной температуре, а при 370 К — через 10 мин.

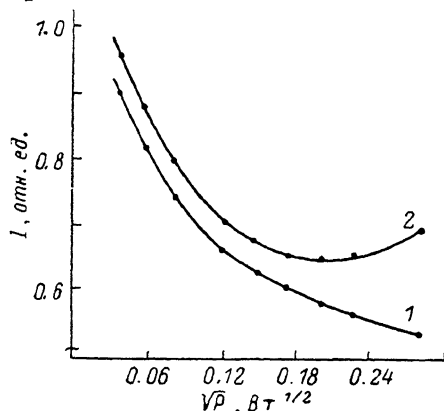


Рис. 1. Зависимость амплитуды сигнала ЭПР пленок $\alpha\text{-Si}_{0.7}\text{C}_{0.3} : \text{H}$ от уровня микроволновой мощности в резонаторе спектрометра до (1) и после освещения (2).

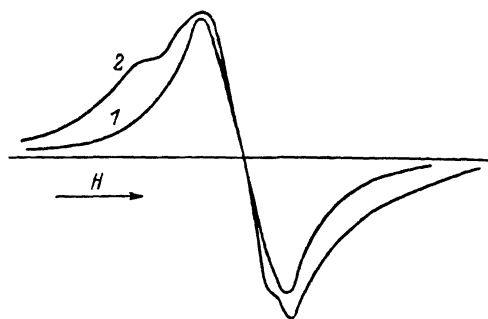


Рис. 2. Спектр ЭПР пленок $\alpha\text{-Si}_{0.7}\text{C}_{0.3} : \text{H}$ до (1) и после освещения (2).

Поскольку в аморфных сплавах на основе $\alpha\text{-Si} : \text{H}$ конкурирующий канал безызлучательной рекомбинации обычно связывают со спиновыми центрами, мы применили для дальнейших исследований метод ЭПР. Изучали пленки $\alpha\text{-Si}_{0.7}\text{C}_{0.3} : \text{H}$ и $\alpha\text{-Si}_{0.4}\text{C}_{0.6} : \text{H}$ толщиной 0.7 мкм, нанесенные разложением смеси $\text{Ag} + \text{SiH}_4 + \text{CH}_4$ в тлеющем ВЧ разряде на стеклянные подложки при 550 К. Во время измерений образцы общей площадью 1 см² находились в вакуумированных кварцевых ампулах, помещенных в дюар с жидким азотом. Измерения спектров ЭПР проводили на частоте 10 ГГц.

Сигналы ЭПР от пленок $\alpha\text{-Si}_{0.7}\text{C}_{0.3} : \text{H}$ и $\alpha\text{-Si}_{0.4}\text{C}_{0.6} : \text{H}$ в исходном состоянии имели следующие параметры при 77 К: значения g -фактора 2.0040 ± 0.0002 и 2.0035 ± 0.0002 , ширины линий 18 и 16 Гс, концентрации спинов $5 \cdot 10^{17}$ и $4 \cdot 10^{18}$ см⁻³ соответственно. Различие в g -факторах согласуется с высказанным в [2] предположением, что спектр ЭПР в $\alpha\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$ представляет собой суперпозицию сигналов от оборванных связей Si^\cdot и C^\cdot , а среднее значение g -фактора определяется концентрацией атомов С. Теоретические расчеты g -факторов сигналов, выполненные в кластерном приближении [3], подтвердили это предположение. Кроме того, было показано, что отношение концентрации радикалов Si^\cdot и C^\cdot сильно зависит от технологии приготовления образцов.

Новая информация была получена нами при исследовании зависимости интенсивности сигнала ЭПР от уровня микроволновой мощности в резонаторе спектрометра ($I = f\sqrt{P}$), ранее в литературе по $\alpha\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$ не приводившейся. На рис. 1 эта зависимость представлена для $\alpha\text{-Si}_{0.7}\text{C}_{0.3} : \text{H}$, аналогичный вид

она имеет и для $a\text{-Si}_{0.4}\text{C}_{0.6} : \text{H}$. Из литературы известно [4], что сигналы от оборванных связей С' легко насыщаются в отличие от Si'. Поскольку фактор насыщения, связанный с временем спин-решеточной релаксации, убывает с ростом температуры, можно было ожидать увеличения относительного вклада сигнала от центров С'. Эксперимент подтвердил это предположение: на обоих образцах при 290 К было обнаружено уменьшение g -фактора на величину $\Delta g = -0.0003 \div -0.0004$, что соответствует увеличению доли центров С' в результирующем сигнале [2, 3].

После часовой засветки при 77 К в образцах были обнаружены небольшой рост интенсивности сигнала в максимуме и появление широких крыльев линии (рис. 2). Последнее естественно было связать с возникновением нового сигнала ЭПР [5]. Его характер не дает возможности корректно определить все параметры, ориентировочное значение $g = 2.01 \pm 0.01$. Парамагнитный центр в $a\text{-Si} : \text{H}$ с таким g -фактором обычно интерпретируется как дырка, захваченная на локализованные состояния хвоста валентной зоны. Для образца $a\text{-Si}_{0.4}\text{C}_{0.6} : \text{H}$ площадь под крыльями линии была в 2 раза больше, чем для $a\text{-Si}_{0.7}\text{C}_{0.3} : \text{H}$, что согласуется с известным из оптических измерений фактом роста плотности локализованных состояний в $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$ по мере увеличения содержания углерода [6].

Весьма информативным оказалось изменение после освещения кривой насыщения $I = f\sqrt{P}$ (рис. 1). Появление минимума на этой кривой можно объяснить только при учете конкуренции вкладов спадающего и возрастающего участков кривых $I = f(\sqrt{P})$ для спиновых центров С' и Si'. В пользу этого объяснения свидетельствовал и сдвиг среднего значения g -фактора сигнала образца $a\text{-Si}_{0.4}\text{C}_{0.6} : \text{H}$ от 2.0035 до 2.0042 по мере роста уровня микроволновой мощности. Таким образом, эксперименты по насыщению сигнала ЭПР однозначно доказывают появление фотоиндуцированных спиновых центров Si', которые наряду с рассмотренными выше дырочными центрами можно отождествить с метастабильными состояниями $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$. Как и в опытах по фотолюминесценции, изменения в спектрах ЭПР были полностью обратимыми в циклах засветка—отжиг при $300 \div 370$ К.

Следует отметить, что в чистом $a\text{-Si} : \text{H}$ при аналогичных уровнях освещения метастабильные спиновые центры, если судить по литературе, никогда не наблюдаются. По-видимому, внедрение атомов С приводит к перераспределению электронной плотности в системе связей $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x} : \text{H}$ и к возникновению центров с отрицательной энергией корреляции, т. е. двукратно заполненных отрицательно заряженных состояний $D_-(\text{Si}')$. Можно предположить, что наблюдаемое в эксперименте возникновение фотоиндуцированных спиновых центров связано с переходом под действием света непарамагнитных состояний $D_-(\text{Si}')$ в парамагнитные метастабильные состояния $D_0(\text{Si}')$.

Л и т е р а т у р а

- [1] Зарифьянц Ю. А., Дзюбенко Г. М., Лупачева А. Н., Коробов О. Е. — В кн.: Тез. докл. III. Всес. совещ. «Физика и технология широкозонных полупроводников». Махачкала, 1986, с. 74.
- [2] Morimoto A., Miura T., Kumeda M., Shimizu T. — J. Appl. Phys., 1982, v. 53, N 11, p. 7299—7305.
- [3] Ishii N., Kumeda M., Shimizu T. — Sol. St. Commun., 1982, v. 41, N 2, p. 143—146.
- [4] Dersch H., Stuke J., Beichler J. — Appl. Phys. Lett., 1981, v. 38, N 6, p. 456—458.
- [5] Watanabe I., Okumura T. — Japan. J. Appl. Phys., 1985, v. 24, N 1, p. 122—125.
- [6] Boullitrop F., Bullot J., Gauthier M., Schmidt M. P., Catherine L. — Sol. St. Commun., 1985, v. 54, N 1, p. 107—110.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова

Получено 7.07.1987
Принято к печати 9.10.1987