

©1995 г.

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПЛЕНОК ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩЕГО ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Д.Г.Яркин, Е.А.Константинова, В.А.Тимошенко

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119899, Москва, Россия
(Получена 15 июня 1994 г. Принята к печати 3 октября 1994 г.)

Методом фотоотклоняющей спектроскопии исследован коэффициент поглощения пленок люминесцирующего пористого кремния в диапазоне $h\nu = 0.6-2.0$ эВ. Полученные данные объясняются вкладами кремниевых кристаллитов различных размеров. Изучено слабое ($\alpha \sim 10 \text{ см}^{-1}$) поглощение в ИК диапазоне для исходных и облученных лазером образцов.

Существует значительное количество работ, посвященных анализу оптических свойств пористого кремния (ПК), формируемого электрохимической обработкой в растворе плавиковой кислоты (см., например, [1,2]). Однако исследование поглощения света в них обычно ограничивается диапазоном энергий световых квантов $h\nu > 1.2-1.4$ эВ, где коэффициент поглощения $\alpha > 10^2 \text{ см}^{-1}$. Кроме того, как правило, не проводится анализ результатов с учетом степени пористости образцов. В то же время последняя величина в люминесцирующем ПК, полученном на основе невырожденного *p*-Si, может превышать 80 % [3].

В нашей работе коэффициент поглощения ПК в диапазоне $h\nu = 0.6-2.0$ эВ исследован методом фотоотклоняющей спектроскопии (ФОС), эффективно используемым при исследовании пленок гидрированного аморфного кремния [4]. Показано, что ПК можно рассматривать как набор кремниевых кристаллитов с широким распределением по размерам. Изучена область дефектного поглощения в ИК диапазоне.

Исследовались слои ПК, полученные анодированием поверхностей (100) *p*-Si ($\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) в растворе $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (1:1:2) при плотности тока $j = 30 \text{ мА/см}^2$ в течение 10 мин (образцы А) и $j = 10 \text{ мА/см}^2$ в течение 30 мин (образцы В). После окончания анодирования пленки ПК были отделены от кремниевых подложек кратковременным ($\sim 1 \text{ с}$) увеличением j до 600 мА/см^2 . Затем слои ПК были механически закреплены на кварцевую подложку. Толщины пленок А и В были одинаковы и составили величину $d = 9.0 \pm 0.5 \text{ мкм}$. Слои ПК при возбуждении

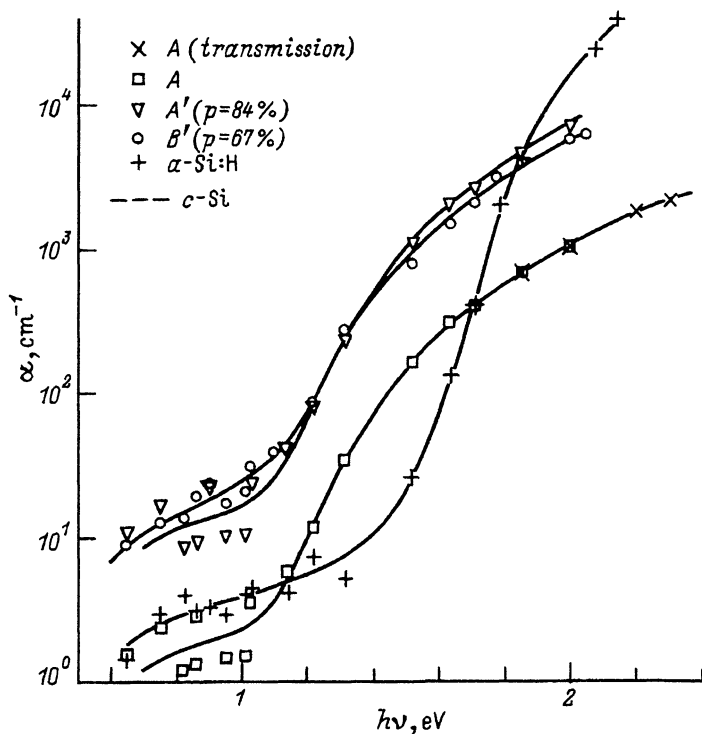


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения α от энергии световых квантов $h\nu$ для слоев A без учета пористости и с учетом пористости A' и B' , а также для $c\text{-Si}$ и $a\text{-Si:H}$.

светом с $h\nu = 2.54$ эВ характеризовались интенсивной фотолюминесценцией (ФЛ) с максимумом на 1.62 эВ (A) и 1.60 эВ (B). Ширина линии ФЛ на половине высоты составила около 0.35 эВ. Интегральная интенсивность ФЛ образцов A была в 1.5 раза выше, чем для образцов B .

Спектральная зависимость коэффициента поглощения $\alpha(h\nu)$ образца A , рассчитанная по данным ФОС, без учета пористости приведена на рис. 1. На данной зависимости нанесены точки, полученные обычным способом измерения интенсивности падающего и прошедшего через образец света. Видно хорошее совпадение данных двух методов в области их одновременной применимости 1.5–2.0 эВ. Кривые A' и B' на рис. 1 получены из данных ФОС корректировкой на пористость p , согласно соотношению $\alpha' = \alpha / (1 - p)$. В соответствии с литературными данными величина p для используемых нами образцов A и B составляет ~ 80 и 70% соответственно [1]. Для построения кривых A' и B' нами были выбраны параметры 84% (A') и 67% (B'), что согласуется с литературными данными в пределах ошибки определения p .

Обсудим поведение $\alpha(h\nu)$ в области $h\nu \geq 1.2$ эВ ($\alpha > 10^2$ см $^{-1}$). Как видно из рис. 1, спектральные зависимости коэффициента поглощения ПК в области 1.2–1.4 эВ близки к случаю кристаллического кремния $\delta\text{-Si}$. Заметные отличия начинают наблюдаться лишь при $h\nu > 1.5$ эВ, возрастая для образцов большей пористости. Заметим, что форма зависимости $\alpha(h\nu)$ ПК существенно отличается от случая аморфно-

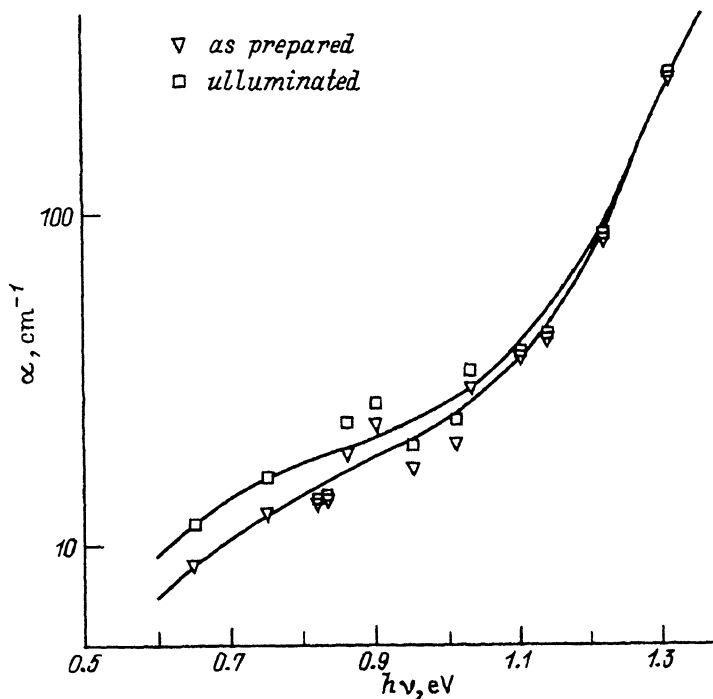


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения α от энергии световых квантов $h\nu$ для слоев В, исходных и после воздействия лазерного излучения.

го кремния $a\text{-Si:H}$. По-видимому, оптические свойства пористого слоя определяются вкладами от кремниевых остатков (кристаллитов) различного размера. При этом зонная структура каждого кристаллита изменена вследствие квантового размерного эффекта. Совпадение скорректированных с учетом пористости зависимостей $\alpha(h\nu)$ для ПК с кривой для $c\text{-Si}$ в области $h\nu = 1.2\text{--}1.4$ эВ свидетельствует о наличии значительного количества кристаллитов с относительно большими характерными размерами, для которых квантово-размерная добавка к величине запрещенной зоны незначительна. Согласно [5], это справедливо для кристаллитов типа нитей с поперечными размерами $L > 5$ нм. В то же время число кристаллитов меньших размеров увеличивается с ростом пористости. Это проявляется в большем отличии α образцов А от коэффициента поглощения $c\text{-Si}$. Полученный вывод согласуется с нашими данными по ФЛ, понимаемыми в рамках квантово-размерных представлений, поскольку большие значения интенсивности ФЛ и более высокоэнергетическое положение ее максимума будет определяться увеличенной концентрацией кластеров с $L = 2\text{--}3$ нм [5].

При $h\nu < 1.2$ эВ наблюдается слабая спектральная зависимость $\alpha(h\nu)$ ПК, связанная, по-видимому, с поглощением света состояниями неактивированных оборванных связей на поверхности кремниевых остатков (рис. 1). Разброс точек обусловлен интерференцией света в пленке. Малая величина α ПК в дефектной области спектра сравнима с коэффициентом поглощения $a\text{-Si:H}$. Это согласуется с литературными

данными о низкой концентрации оборванных связей в ПК [5]. Наши эксперименты показали, что поглощение на дефектах может увеличиться в 1.2–1.3 раза после освещения лазерным лучом ($h\nu = 2.54$ эВ) с интенсивностью 0.5 Вт/см^2 в течение 30 мин в вакууме 10^3 Па (рис. 2). При этом интенсивность ФЛ уменьшилась примерно в 18 раз. Наблюдаемое дефектообразование в ПК может быть, например, обусловлено эффектом Стеблера-Вронского на гидрированной поверхности нанокластеров кремния [6]. Для окончательного вывода о природе дефектного поглощения в ПК и механизмах его лазерно-стимулированной модификации необходимы дальнейшие исследования.

Авторы благодарят П.К. Кашкарова и А.Г. Казанского за обсуждение результатов.

Список литературы

- [1] G. Bomchil, A. Halimaoui, I. Sagnes, P.A. Bados, I. Berbezier, P. Perrret, B. Lambert, G. Vincent, L. Garchery, J.L. Regolini. *Appl. Surf. Sci.*, **65/66**, 394 (1993).
- [2] Y. Kanemitsu, H. Uto, Y. Masumoto, T. Matsumoto, T. Futagi, H. Mimura. *Phys. Rev. B*, **48**, 2827 (1993).
- [3] L.T. Canham. *Appl. Phys. Lett.*, **57**, 1046 (1990).
- [4] H. Curtins, M. Favre. In: *Advanced in Disordered Semiconductors*, ed. by. H. Fritzsche (World Scientific Publishing Company, London, 1988), v. 1, 329.
- [5] М.С. Бреслер, И.Н. Ясиевич. *ФТП*, **27**, 871 (1993).
- [6] D. Staebler, C.R. Wronski. *J. Appl. Phys.*, **51**, 3263 (1980).

Редактор В.В. Чалдышев

Optical absorption features of luminescent porous silicon films

D.A. Yarkin, E.A. Konstantinova, V. Yu. Timoshenko

The absorption coefficient of luminescent porous silicon films has been investigated by the photodeflection spectroscopy method for $h\nu = 0.6\text{--}2.0$ eV. The data obtained are explained as a superposition of silicon crystallites of different size. The light absorption ($\alpha \sim 10 \text{ см}^{-1}$) in IR region of the initial and laser irradiated samples are studied.