

Радиационная стойкость пористого кремния

© В.В. Ушаков, В.А. Дравин, Н.Н. Мельник, В.А. Караванский*, Е.А. Константинова†, В.Ю. Тимошенко†

Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук,
117924 Москва, Россия

* Институт общей физики Российской академии наук,
117924 Москва, Россия

† Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Физический факультет,
119899 Москва, Россия

(Получена 20 декабря 1996 г. Принята к печати 25 февраля 1997 г.)

Исследовано влияние радиационного воздействия ионов Ag^+ с энергией 300 кэВ и дозами $5 \cdot 10^{14} \div 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ на свойства пористого кремния, полученного электрохимическим способом. На основе данных рамановского рассеяния света и фотолюминесценции показано, что радиационная стойкость слоев пористого кремния существенно выше, чем для монокристаллического кремния.

Введение

Благодаря сочетанию интенсивной люминесценции, относительной простоте приготовления и возможности "встраивания" в высокоразвитую кремниевую технологию пористый кремний является весьма привлекательным материалом для оптоэлектроники, в том числе для построения комбинированных оптомикроскопических схем с высоким уровнем интеграции. В выполненных за последние годы многочисленных работах были исследованы разнообразные свойства этого материала [1], в частности важная с точки зрения практики реакция пористых слоев на различные виды химической и терми-

ческой обработки [2–6]. Немаловажным фактором, определяющим техническое применение полупроводниковых материалов, является также их радиационная стойкость. Ранее радиационное воздействие (ионная имплантация) использовалось либо в качестве этапа технологии приготовления пористых слоев [7,8], либо для введения заданных примесей в приготовленные ранее слои [8,9].

В данной работе исследовано влияние ионного облучения на собственные структурные и люминесцентные свойства пористого кремния (*por-Si*). Информация об изменении свойств слоев *por-Si* после ионного воздействия была получена по результатам измерения комбинационного (рамановского) рассеяния света и фотолюминесценции.

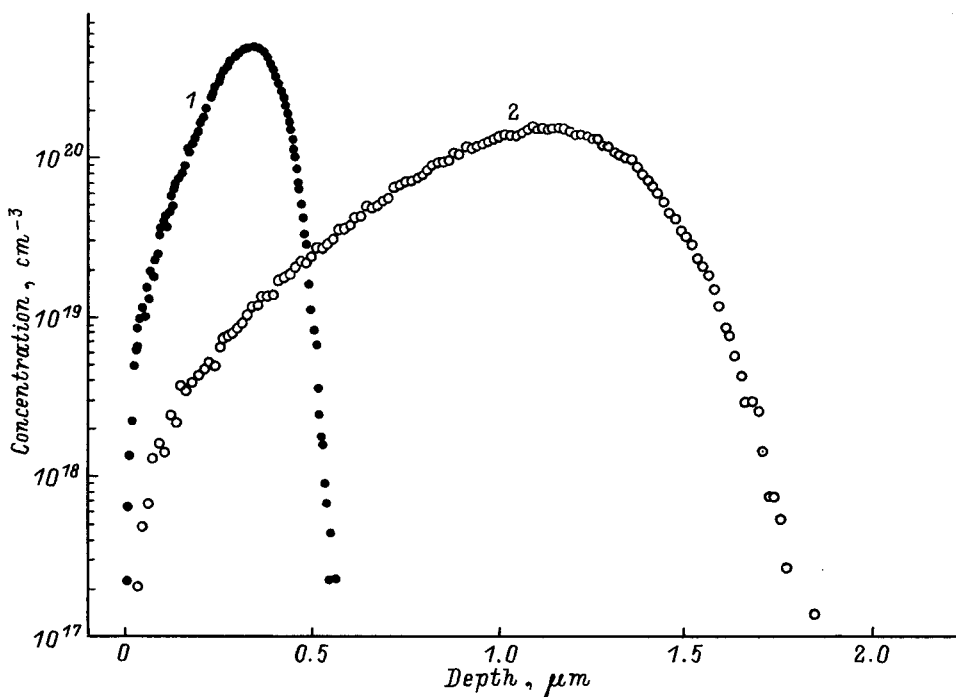


Рис. 1. Расчетные зависимости пространственного распределения концентрации имплантированного Ag в приповерхностных слоях c-Si (1) и por-Si (2) для энергии ионов Ag^+ 300 кэВ и дозе облучения $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

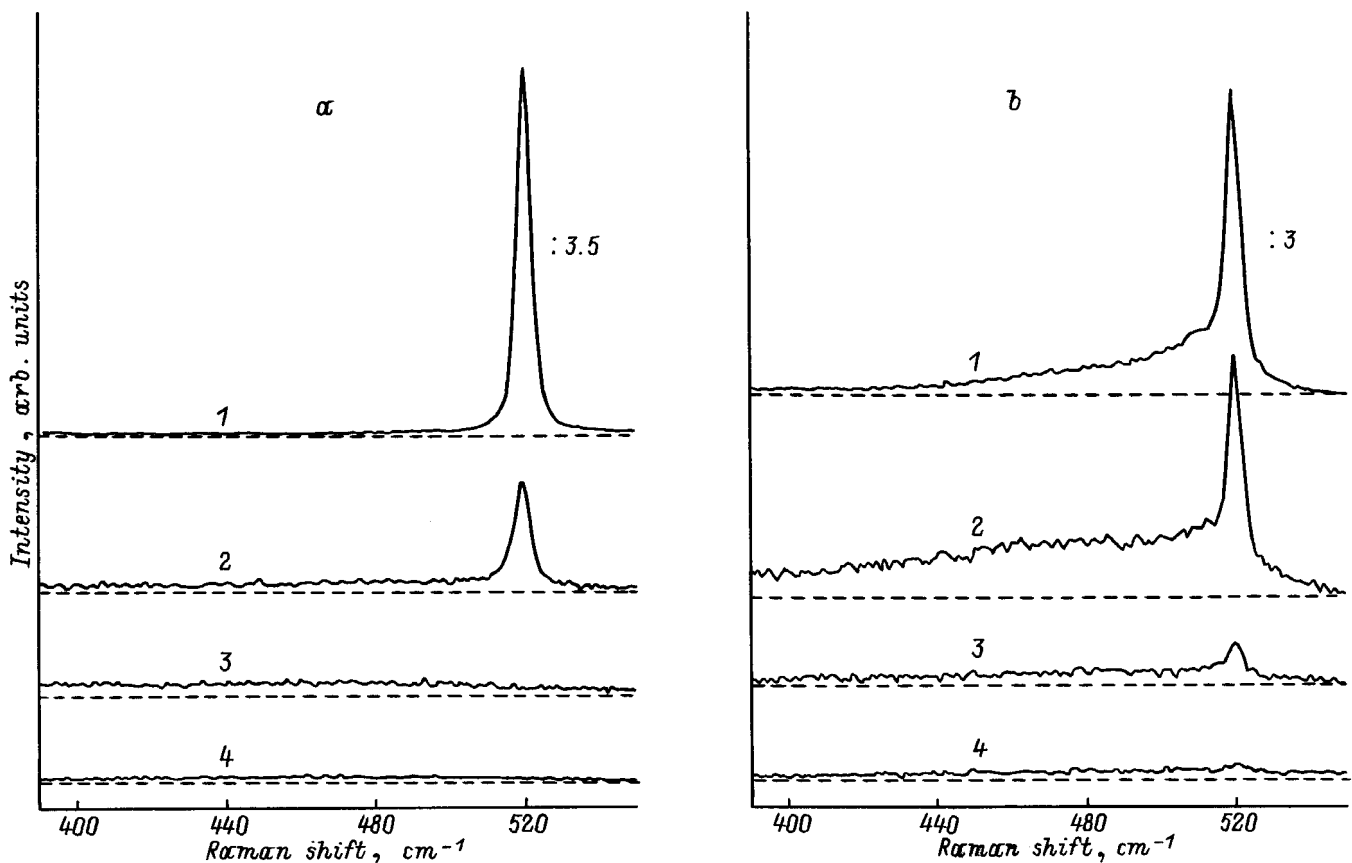


Рис. 2. Спектры рамановского рассеяния для *c*-Si (а) и *por*-Si (б). 1 — исходные образцы; 2–4 — после облучения дозами $5 \cdot 10^{14}$, $2 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ соответственно.

Методика эксперимента

Исходным материалом являлись монокристаллические пластины (100) кремния *p*-типа проводимости с удельным сопротивлением $0.5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Пористые слои готовились в электрохимической ячейке с электролитом HF (49%): $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1:1$ при плотности тока $30 \text{ mA} \cdot \text{см}^{-2}$ в течение 4 мин. Толщина полученных слоев составляла $4 \div 5 \text{ мкм}$, пористость 70%.

Облучение образцов со слоями *por*-Si, а также для сравнения монокристаллических подложек *c*-Si проводилось на ионном ускорителе "High Voltage Engineering Еuroга" ионами Ar^+ с энергией 300 кэВ и дозами $5 \cdot 10^{14}$, $2 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ при комнатной температуре. Спектры рамановского рассеяния получены на спектрометре U-1000 при возбуждении излучением аргонового лазера ПЛ-120 (длина волны $\lambda = 488 \text{ нм}$). Фотолуминесцентные измерения проводились на спектрометре СДЛ-2 при возбуждении светом аргонового лазера ЛГИ-503 ($\lambda = 488 \text{ нм}$) с интенсивностью $0.5 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$. Исследования проводились при комнатной температуре.

Для того чтобы ориентироваться в величине пробегов ионов Ar^+ в пористом кремнии, было выполнено математическое моделирование методом Монте-Карло. На рис. 1 приведены соответствующие данные по про-

странственному распределению имплантированного Ar в образцах кристаллического кремния с реальной (кривая 1) и пониженной до 30% (в соответствии с вышеуказанной величиной пористости) плотностью (кривая 2). Из приведенных данных следует, что ионы Ar^+ проникли в приповерхностную область монокристаллических пластин на глубину порядка 0.5 мкм , а в *por*-Si область проникновения ионов не превышала 2 мкм . Последняя величина, очевидно, может рассматриваться как оценка глубины возможного дефектообразования в проведенных экспериментах.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены данные экспериментов по рамановскому рассеянию света. Для исходного образца монокристаллического кремния наблюдается линия, соответствующая рассеянию на объемных фонах (520 см^{-1}). Как видно из рисунка, после имплантации дозой $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ данная линия исчезает, что связано с полной аморфизацией приповерхностного слоя [10].

Спектры рамановского рассеяния слоев *por*-Si представляют собой наложение линий рассеяния от объемных фононов, колебаний в нанокристаллах и аморфной

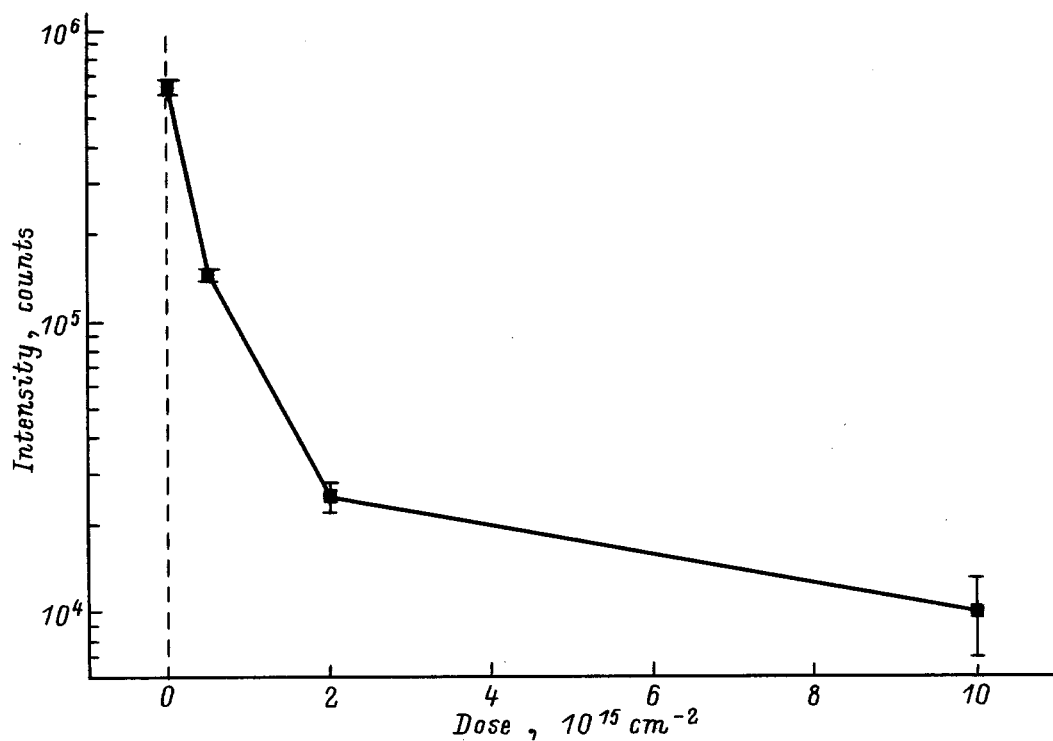


Рис. 3. Зависимость интенсивности фотолюминесценции *por*-Si от дозы облучения ионами Ar^+ .

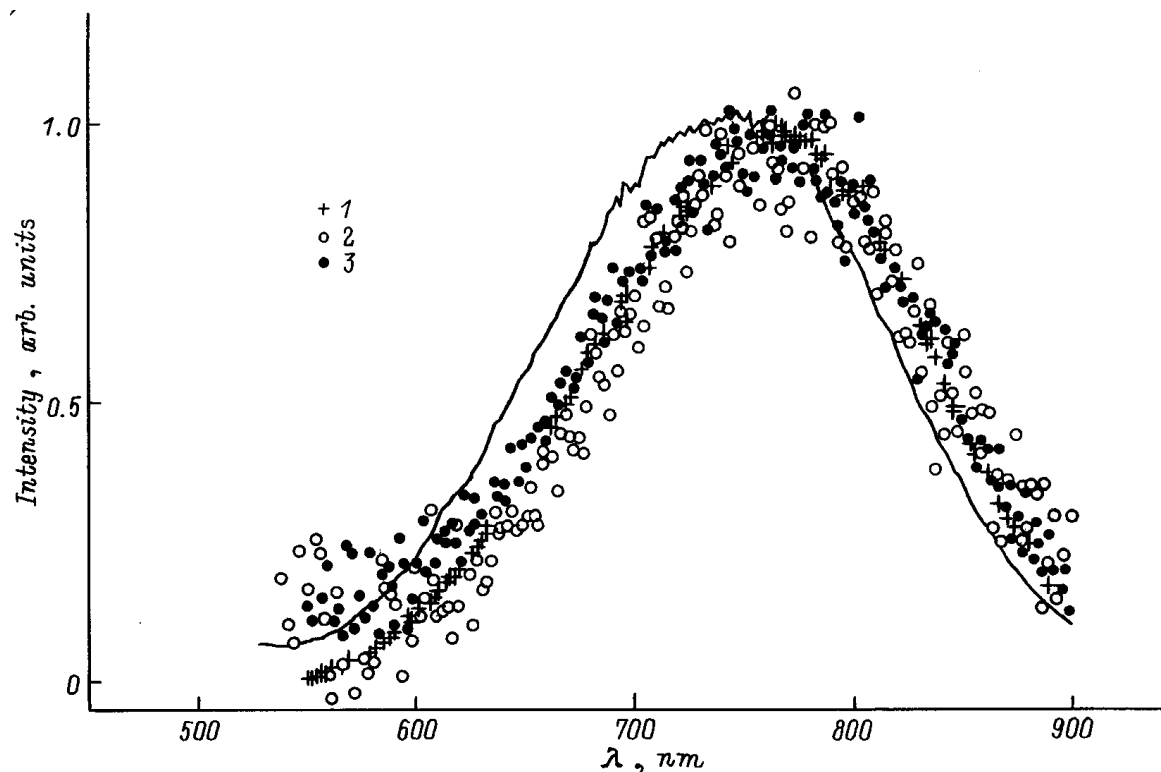


Рис. 4. Нормированные спектры фотолюминесценции для исходного *por*-Si (сплошная линия) и *por*-Si, имплантированного ионами Ar^+ дозами $5 \cdot 10^{14}$ (1), $2 \cdot 10^{15}$ (2) и $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ (3).

фазы [11]. Это может быть объяснено композитной структурой *por-Si*, включающей как участки с достаточно большими характерными размерами, обуславливающими их практически объемные свойства, так и элементы структуры с поперечными размерами порядка нескольких нанометров и меньше. После ионной имплантации происходит уменьшение сигнала рамановского рассеяния, однако даже при дозе имплантации $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ регистрируются линии, связанные с объемными фононами и колебаниями в нанокристаллах. Полученные данные свидетельствуют о меньшем по сравнению с монокристаллическими образцами разрушающем действии ионного пучка на слои *por-Si*.

Параллельно с рамановскими измерениями изучалась люминесценция этих же образцов. Как видно из рис. 3, интенсивность излучения относительно плавно уменьшается с увеличением дозы облучения, при этом спектры люминесценции изменяются незначительно (рис. 4). Однако даже при дозе $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, далеко превосходящей обычно используемые в ионно-лучевой полупроводниковой технологии величины, в спектрах люминесценции пористого кремния еще наблюдается довольно интенсивная полоса излучения.

Относительно причины повышенной радиационной стойкости пористых слоев прежде всего очевидно, что чрезвычайно развитая поверхность пористого кремния (до $600 \text{ м}^2/\text{см}^3$ [12]) может выступать как область эффективного стока и последующей аннигиляции радиационных дефектов. Кроме того можно отметить, что при взаимодействии высокоэнергетических ионов с элементами пористой структуры возможна передача энергии не только отдельным атомам, но и кластерам или частям "кремниевых нитей". Подобный "коллективный" прием энергии возможен ввиду изменения фононного спектра в нанометровых кремниевых структурах [11]. Энергия, получаемая группами атомов в наноструктурах *por-Si*, очевидно, будет меньше величины, принимаемой отдельными атомами, что уменьшит разрушающее воздействие ионного пучка.

Представленные в данной работе результаты свидетельствуют о том, что излучающие оптоэлектронные структуры из пористого кремния будут сохранять работоспособность в условиях повышенной радиации. Кроме того, и при изготовлении их самих можно использовать радиационные технологии без риска большого повреждения излучающего слоя.

Работа выполнена по проекту Российского фонда фундаментальных исследований.

Список литературы

- [1] Y. Kanemitsu. Phys. Reports, **203**, 3 (1995).
- [2] Th. Dittrich, V.Yu. Timoshenko. J. Appl. Phys., **75**, 5436 (1994).
- [3] A.Roy, K. Jayaram, A.K. Sood. Sol. St. Commun., **89**, 229 (1994).
- [4] S.M. Prokes, W.E. Carlos, V.M. Bermudes. Appl. Phys. Lett., **61**, 1447 (1992).
- [5] K.-H. Li, C. Tsa, J.C. Campbell, B.K. Hance, J.M. White. Appl. Phys. Lett., **62**, 3501 (1993).
- [6] Chi-Huei Lin, Si-Chen Lee, Yang-Fang Chen. J. Appl. Phys., **75**, 7728 (1994).
- [7] D.A. Redman, D.M. Follstaedt, T.R. Guilinger, M.J. Kelly. Appl. Phys. Lett., **65**, 2386 (1994).
- [8] L. Pavesti, G. Giebel, F. Ziglio, G. Mariotto, F. Priolo, S.V. Campisano, C. Spinella. Appl. Phys. Lett., **65**, 2182 (1994).
- [9] F. Namavar, Feng Lu, C.H. Perry, R.A. Siref. J. Appl. Phys., **77**, 4813 (1995).
- [10] X. Риссел, И. Руге. *Ионная имплантация* (М., Наука, 1983).
- [11] И.И. Решина, Е.Г. Гук. ФТП, **27**, 728 (1993).
- [12] G. Bomchil, A. Halimaoui, R. Herino. Appl. Surf. Sci., **41/42**, 604 (1989).

Редактор Л.В. Шаронова

Radiation stability of porous silicon

V.V. Ushakov, V.A. Dravin, N.N. Melnik,
V.A. Karavanskii*, E.A. Konstantinova†,
V.Yu. Timoshenko†

P.N. Lebedev Physical Institute,
Russian Academy of Sciences,
117924 Moscow, Russia

* Institute of General Physics,
Russian Academy of Sciences,
117924 Moscow, Russia

† M.V. Lomonosov Moscow State University,
Physics Faculty,
119899 Moscow, Russia

Abstract The radiation effect of Ar^+ ions with 300 keV energies and $5 \cdot 10^{14} \div 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ doses on properties of porous silicon prepared by electrochemical method was studied. According to data of Raman scattering and photoluminescence it was shown that the radiation stability of porous silicon layers exceeds by far the radiation stability of a single crystal silicon.

Fax: (095)1357880(Ushakov)

E-mail: ushakov@sci.fian.ms.su(Ushakov)