

Влияние водородной плазмы на спектр электроотражения и спектр электронных состояний пористого кремния

© Е.Ф. Венгер, Р.Ю. Голиней[¶], Л.А. Матвеева^{¶¶}, А.В. Васин

Институт физики полупроводников Национальной академии наук Украины,
03028 Киев, Украина

(Получена 26 апреля 2002 г. Принята к печати 15 мая 2002 г.)

Методом модуляционной спектроскопии электроотражения исследовались образцы пористого кремния. Показано наличие мини-зон, ответственных за существование фотолуминесцентных полос (красная, зеленая и голубая). Установлено исчезновение мини-зоны, отвечающей за полосу в голубой области спектра, при обработке поверхности пористого кремния в H^+ -плазме. Пассивация поверхности водородом также приводит к релаксации механических напряжений, как в пористой пленке, так и в кремниевой подложке. Установлена природа электронных состояний в запрещенной зоне кремниевых нанокристаллитов.

1. Введение

Оптические свойства пористых и нанокристаллических светоизлучающих структур на основе кремния вызывают повышенный интерес исследователей [1]. Выдержанные на воздухе образцы пористого кремния представляют собой чаще всего наноккомпозит из наноразмерных кристаллов кремния в окружении окисной фазы SiO_x [2]. Такие структуры характеризуются красной фотолуминесценцией при комнатной температуре [3]. Однако в пористом Si также наблюдаются фотолуминесцентные полосы в зеленой и в голубой областях спектра [3–6].

Для не экспонированных на воздухе (не окисленных) образцов пористого кремния существует зависимость энергии максимума фотолуминесценции от размера нанокристаллитов из-за квантово-размерного эффекта [6–10], при котором энергия края непрямого поглощения кремния (1.14 эВ) увеличивается с уменьшением размеров нанокристаллитов [1,6–10]. Ширина запрещенной зоны может достигать 2.9 эВ [11]. Однако, как показано в работах [10,12], непрямозонный характер фундаментального края поглощения кремния сохраняется.

Из литературы [2,6,13] известно, что интенсивность и энергетическое положение максимума фотолуминесценции также зависят от обработки поверхности. Медленную составляющую фотолуминесценции (красная полоса) связывают с электронными состояниями, обусловленными двойными связями $Si=O$ при размере нанокристаллитов меньше 3 нм [6,14]. Быстрые составляющие фотолуминесценции окисленных пористых образцов кремния связывают с дефектами, локализованными на границе раздела (нанокристаллический Si)– SiO_2 [4], или с зона-зонной рекомбинацией в нанокристаллите кремния [15].

Водородсодержащие комплексы, такие как полисиланы, силоксены, или гидридные связи также могут быть центрами излучательной рекомбинации [16,17]. Однако

экспозиция образцов пористого кремния на воздухе приводит к уменьшению концентрации Si–H-связей и увеличению содержания гидридных и кислородсодержащих комплексов [13,18]. При пассивации поверхности водородом уменьшается концентрация безызлучательных центров, и интенсивность фотолуминесценции в красной области спектра возрастает [17,19]. Теоретические расчеты показывают [6], что водородные комплексы не создают уровней в энергетическом спектре нанокристаллов кремния.

Рассчитанная дисперсия мнимой части диэлектрической функции из спектров пропускания и поглощения пористого нанокристаллического кремниевого слоя имеет особенности в зеленой и голубой областях спектра [20]. Метод модуляционной спектроскопии электроотражения как раз чувствителен к особенностям Ван Хофа в энергетическом спектре [21,22]. В работах [5,23–26] показано, что этот метод также применим к пористому кремнию.

В работах [5,26] методом модуляционной спектроскопии электроотражения установлено наличие прямого перехода в красно-оранжевой области спектра (1.7–2.0 эВ). Поэтому метод электроотражения может быть применен также для исследования в зеленой и голубой спектральных областях, где наблюдаются полосы фотолуминесценции. Цель данной работы — установить с помощью обработки водородной плазмой влияние водородсодержащих комплексов на энергетический спектр пористого нанокристаллического кремния.

2. Эксперимент

Образцы пористого кремния получали электрохимическим и „окрашивающим“ травлением. Все образцы экспонировались на воздухе в течение года. Пористые слои получали на кремниевых подложках КДБ-10 ориентации $\langle 100 \rangle$ электрохимическим методом в растворе $NF(20\%) - C_3H_7OH$ (1:1) при плотности тока травления 5 mA/cm^2 [27]. Другие образцы пористого кремния получали „окрашивающим“ травлением. Подложка кремния КДБ-10 $\langle 100 \rangle$ обрабатывалась лазерным лучом

[¶] E-mail: holiney@isp.kiev.ua

^{¶¶} E-mail: matveeva@isp.kiev.ua

(YAG:Nd³⁺, длина волны излучения $\lambda = 1.06$ мкм, длительность импульса 125 мкс) для создания дефектных точечных областей в подложке [25,28]. Затем кремниевая подложка обрабатывалась в травителе HNO₃ : HF (3 : 1) в течение 5 с для снятия естественного окисла с поверхности подложки. Для создания пористой структуры пластина обрабатывалась 5 мин в растворе HNO₃ : HF : H₂O (3 : 1 : 5) [25,28]. Образцы обрабатывались в водородной плазме тлеющего разряда постоянного тока при давлении 10 Па в течение 6 мин, напряжение разряда 600 В, плотность тока 1 мА/см². Образцы размещались на плоском катоде, что обеспечивало их интенсивную бомбардировку положительно заряженными ионами водорода из плазмы.

Спектры электроотражения измерялись стандартным электролитическим методом при комнатной температуре [21,22] в широкой спектральной области от 1.5 до 3.8 эВ. В качестве электролита использовался 0.1 N раствор KCl. Модулирующее напряжение не превышало 1 В, что соответствовало слабополювому режиму измерений. Энергия прямого перехода (E_g) и феноменологический параметр уширения (Γ) для разнополярного спектра рассчитывались трехточечным методом Аспнеса [21,29], а для однополярного — по максимуму и полуширине линии соответственно.

3. Результаты

На рис. 1 представлены спектры электроотражения образца пористого кремния, полученного электрохимическим травлением. В спектральной области вблизи 3.4 эВ прямые переходы не наблюдались (прямой переход $\Gamma_{25}-\Gamma_{15}$, характерный для объемного кристаллического кремния). В исходном образце (кривая 1) в спектральной области 1.7–3.0 эВ наблюдались три прямых перехода: 1.95–2.0 эВ (область *a*), 2.5–2.7 эВ

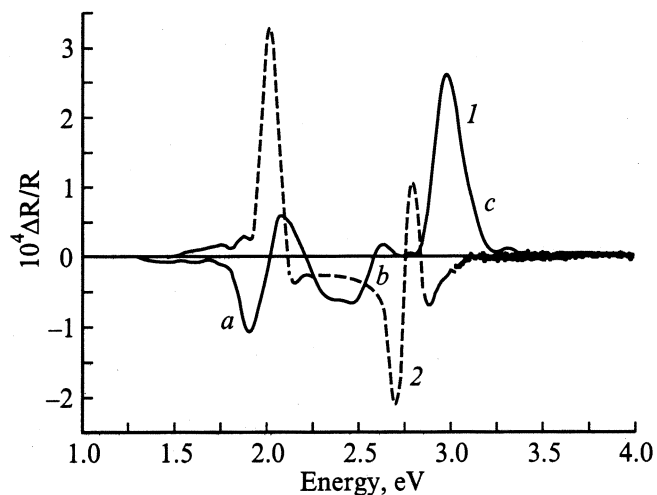


Рис. 1. Спектры электроотражения пористого кремния, полученного электролитическим травлением, до обработки в H⁺-плазме (1) и после (2). *a, b, c* — обозначения переходов.

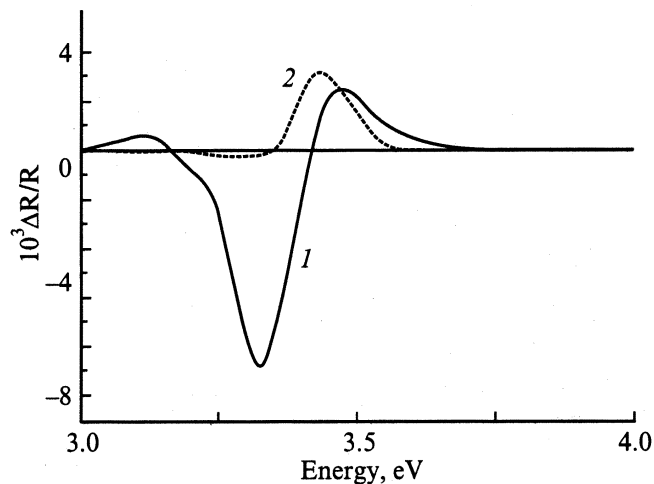


Рис. 2. Спектры электроотражения от кремниевой подложки под пористым слоем, полученным „окрашивающим“ травлением, до обработки в H⁺-плазме (1) и после (2).

(область *b*) и вблизи 3.0 эВ (область *c*). После обработки образца в H⁺-плазме (кривая 2) переходы в красной (*a*) и в зеленой (*b*) областях спектра сместились в коротковолновую сторону на 0.07 и 0.24 эВ соответственно. Спектр электроотражения поменял полярность на противоположную в красной области спектра и не регистрировался в голубой области (*c*). Энергии переходов и феноменологические параметры уширения, рассчитанные из кривых 1 и 2 на рис. 1, представлены в таблице. Поскольку не известен тип критических точек для переходов в красной, зеленой и голубой областях спектра, в таблице для разнополярных спектров приведены данные для двумерного (2D) и трехмерного (3D) случаев.

Переход в центре зоны Бриллюэна $\Gamma_{25}-\Gamma_{15}$ наблюдался в спектрах электроотражения для образца, полученного „окрашивающим“ травлением (рис. 2, кривая 1). Спектр поменял форму на однополярную (рис. 2, кривая 2) после обработки образца в водородной плазме, энергия перехода (E_g) увеличилась (см. таблицу).

Для образцов, полученных „окрашивающим“ травлением, в спектральной области 1.5–3.0 эВ так же регистрировались три прямых перехода (рис. 3, кривая 1), как и для образцов, полученных электрохимическим травлением. Интенсивность сигналов в этой спектральной области была на порядок ниже, чем в области вблизи 3.4 эВ на рис. 2. После пассивации поверхности пористого кремния водородом (рис. 3, кривая 2) энергия переходов и феноменологические параметры уширения практически не изменялись (см. таблицу). Спектр электроотражения в голубой области спектра также не регистрировался после обработки поверхности образца водородной плазмой (рис. 3), как и в случае электрохимически травленного кремния (рис. 1).

Энергии переходов и феноменологические параметры уширения, рассчитанные из спектров электроотражения

Спектр	Область спектра	Полярность	Энергия перехода E_g , эВ		Параметр уширения Γ , мэВ	
			2D	3D	2D	3D
Рис. 1, кривая 1	a	—	1.95	1.95	200	170
	b	—	2.48	2.49	160	135
	c	Однополярный (+)	2.99		175	
Рис. 1, кривая 2 (H^+ -плазма)	a	Однополярный (+)	2.02		100	
	b	—	2.72	2.73	110	95
Рис. 2, кривая 1	—	—	3.33		131	
Рис. 2, кривая 2 (H^+ -плазма)	—	Однополярный (+)	3.39		110	
Рис. 3, кривая 1	a	Однополярный (—)	1.92		70	
	b	—	2.34	2.34	100	85
	c	Однополярный (—)	2.84		100	
Рис. 3, кривая 2 (H^+ -плазма)	a	Однополярный (—)	1.89		80	
	b	—	2.34	2.34	110	95

4. Обсуждение результатов

Прямой переход в спектральной области вблизи 3.4 эВ регистрировался только для образца, приготовленного „окрашивающим“ травлением (рис. 2), и не регистрировался для образца, приготовленного электрохимическим травлением (рис. 1). Можно предположить, что глубина пор и сама пористость при „окрашивающем“ травлении меньше, чем при электрохимическом травлении. Поскольку глубина пористого слоя не очень велика при „окрашивающем“ травлении, можно утверждать, что спектр электроотражения, представленный на рис. 2, относится к границе раздела ⟨пористый слой⟩/⟨кремниевая подложка⟩. Соответственно сигнал электроотражения снимается только от пористого слоя без участия подложки для образца, полученного электрохимическим травлением. В работе [20] показано, что дисперсия показателя преломления пористого слоя, отделенного от кремниевой подложки, не имеет максимума в спектральной области вблизи 3.4 эВ, что согласуется с результатами измерений пористого кремния, полученного различными методами.

Однополярный спектр электроотражения характерен для собственных полупроводников [30,31]. В работе [26] наблюдалось обогащение электронами приповерхностных областей гетероперехода ⟨кристаллический кремний⟩—⟨окисленный нанокристаллический кремний⟩ (образцы были получены „окрашивающим“ травлением). Форма сигнала электроотражения на рис. 2 (кривая 1) соответствует инверсии поверхностной проводимости кремниевой подложки p -типа. После обработки в H^+ -плазме спектр стал однополярным (рис. 2, кри-

вая 2), что соответствует собственной поверхностной проводимости (i -тип) [26,31]. Уменьшение обогащения приповерхностных областей электронами происходит за счет пассивации водородом положительно заряженных связей (Si–F, Si–OH) на поверхности пористого слоя, которые и вызывают отрицательный приповерхностный заряд [26].

Энергия перехода в кремниевой кристаллической подложке без механических напряжений, рассчитанная из спектров электроотражения, равняется 3.38 эВ [32,33]. Энергия перехода в кремниевой подложке под пористым слоем, который был получен „окрашивающим“ травлением (рис. 2, кривая 1), составляет 3.33 эВ (см. таблицу).

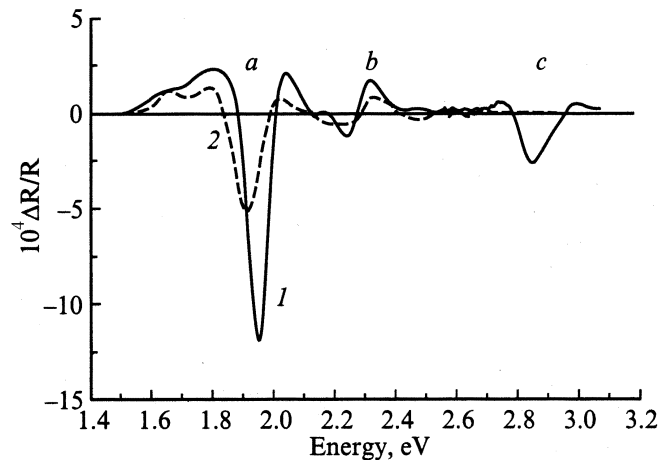


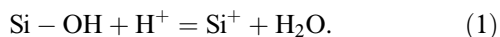
Рис. 3. Влияние водорода на спектры электроотражения пористого кремния, полученного „окрашивающим“ травлением: 1 — до обработки в H^+ -плазме, 2 — после обработки.

Сдвиг перехода в низкоэнергетическую область (от 3.38 до 3.33 эВ) свидетельствует о наличии в кремниевой подложке двусных механических напряжений сжатия [34]. После обработки образца в H^+ -плазме энергия прямого перехода изменилась до 3.39 эВ (см. таблицу), что свидетельствует о снятии механических напряжений сжатия в подложке кремния [34]. Снятие механических напряжений происходит за счет пассивации водородом дефектов на границе раздела окисел/(пористый нанокристаллический слой)/(кристаллический кремний).

Энергия прямых переходов в красной области спектра практически не изменялась (см. таблицу) при пассивации поверхности водородом для образца пористого кремния, полученного „окрашивающим“ травлением (рис. 3). Для электрохимически травленого образца энергия перехода в красной области слегка изменилась — смещение в коротковолновую область (от 1.95 до 2.02 эВ). Такое же смещение наблюдалось для прямого перехода в зеленой области спектра (рис. 1): от 2.48 до 2.72 эВ. Знак смещения был таким же, как для спектра от кремниевой подложки (рис. 2).

Наблюдаемое изменение энергий прямых переходов при пассивации поверхности водородом может быть связано с релаксацией механических напряжений в самой пористой пленке (композит нанокристаллов кремния с матрицей SiO_x). Поскольку при „окрашивающем“ травлении толщина пористой пленки очень мала, водород в основном пассивирует дефекты на границе раздела (кристаллический кремний)—(пористый слой). Поэтому изменения энергий прямых переходов для этого образца (рис. 3) не наблюдаются.

Регистрируемый прямой переход в голубой области спектра (около 3 эВ) исчезает после пассивации поверхности водородом (рис. 1 и 3). По данным инфракрасного поглощения [18,35] в окисленных на воздухе образцах пористого кремния наблюдается полоса с максимумом вблизи 3400 см^{-1} (0.42 эВ), которую приписывают $Si-OH$ -связям. При водородной пассивации происходит следующая реакция:



Предположим, что $Si=OH$ -связи создают мини-зону в запрещенной зоне кремния, которая отстоит от валентной зоны на 0.42 эВ и, следовательно, от зоны проводимости на 2.96 эВ, что в сумме дает энергию перехода в центре зоны Бриллюэна между точками Γ_{25} и Γ_{15} (3.38 эВ). Энергия перехода, рассчитанная из спектров электроотражения, в голубой области дает величину 2.99 или 2.84 эВ для разных образцов (см. таблицу). При пассивации поверхности водородом в результате обработки H^+ -плазмой комплекс $Si-OH$ распадается на чистый кремний и воду, согласно формуле (1), и мини-зона исчезает, что регистрируется в спектрах электроотражения обработанных плазмой образцов.

Известно [6], что $Si=O$ -связи создают в запрещенной зоне нанокристаллического кремния мини-зону с энергией, близкой к 1.7 эВ (энергия перехода по нашим измерениям составляла ~ 1.9 эВ). Двойная связь $Si=O$ не требует больших деформационных энергий или большого количества атомов кислорода или кремния, поэтому она самая устойчивая на границе раздела (нанокристаллический кремний)—(окисная пленка) [6]. Таким образом, релаксация механических напряжений в пористой пленке при пассивации ее водородом не особенно сказывается на прямом переходе в красной области спектра (рис. 1).

В то же время переход в зеленой области спектра смещается в высокоэнергетическую область на 0.22 эВ. Такое большое смещение может наблюдаться для мини-зоны, которую создают менее устойчивые кислород-кремниевые связи на поверхности нанокристаллов кремния. Однако это должны быть относительно стабильные связи, поскольку прямой переход при пассивации поверхности водородом не исчезает, как для спектра в голубой спектральной области (рис. 1, 3). Такой связью может являться связь $Si-(SiO_3)$. Известно [36], что энергия перехода для аморфной пленки SiO_x зависит от x . Энергия перехода $\sim 2.4-2.7$ эВ соответствует $x \approx 1.25-1.5$ [36]. Из работы [37] можно определить приблизительный состав связей в процентном отношении для аморфной пленки SiO_x при $x = 1.5$: $\sim 31.6\%$ $Si-(O_4)$, $\sim 42\%$ $Si-(SiO_3)$, $\sim 21\%$ $Si-(Si_2O_2)$, $\sim 5\%$ $Si-(Si_3O)$, $\sim 0.3\%$ $Si-(Si_4)$. Из этих соотношений следует, что в аморфной пленке SiO_x при $x = 1.5$ имеется наибольшее количество связей $Si-(SiO_3)$. Мини-зону, которая отстоит от зоны проводимости на 2.4–2.7 эВ, могут также создавать и $Si-(Si_2O_2)$ -связи (21%). Для установления характера кислород-кремниевой связи, которая создает мини-зону на энергии ~ 2.4 эВ, нужно провести дополнительные измерения или теоретические расчеты. Поверхностные связи $Si=O$, $Si-(SiO_3)$, $Si-OH$ могут создавать мини-зоны в запрещенной зоне кремниевое нанокристаллита только при условии, что электрон локализован на этих уровнях и они пространственно создают структуру, подобную сверхрешетке.

Феноменологический параметр уширения обратно пропорционален времени релаксации энергии электрона ($\Gamma \propto 1/\tau_e$). Поскольку параметр уширения для разнопольного и однополярного спектров рассчитывался разными методами, проводить сравнительный анализ между ними неуместно. Можно только сказать, что параметр Γ практически не изменялся до и после пассивации поверхности водородом для образца, полученного „окрашивающим“ травлением (см. таблицу). Это еще раз подтверждает, что из-за малости толщины пористого слоя водород при плазменной обработке пассивирует дефекты на границе раздела (кристаллическая подложка)—(пористый слой).

Феноменологический параметр уширения для перехода в зеленой области (рис. 1, кривая I) для электрохимически травленого образца оказался довольно

большим, 135–160 эВ, и уменьшался после пассивации водородом до 95–110 эВ (см. таблицу). Пассивация дефектов водородом приводит к тому, что электрон меньше рассеивается на дефектах, Γ уменьшается, структура становится более совершенной.

5. Заключение

На основе результатов исследования спектров электроотражения пористых образцов, полученных электрохимическим или „окрашивающим“ травлением, и влияния на них обработки водородной плазмой был установлен энергетический спектр пористого кремния. Экспериментально показано, что в запрещенной зоне нанокристалла кремния существует ряд мини-зон, проявляющихся в оптических спектрах.

а) В области вблизи 1.9 эВ (красно-оранжевая полоса фотолюминесценции). В соответствии с работой [6] мини-зона может быть обусловлена двойной Si–O-связью.

б) В зеленой области спектра (2.4–2.7 эВ). Мини-зону могут создавать связи Si–(SiO₃) или Si–(Si₂O₂). Точное установление природы этой мини-зоны является предметом дальнейших исследований.

в) Вблизи 2.9 эВ (голубая область фотолюминесценции). Мини-зона обусловлена связями Si–ОН и отстоит от валентной зоны на 0.42 эВ.

Пассивация поверхности пористого кремния водородом посредством плазменной обработки приводит к релаксации механических напряжений сжатия в пористых пленках и в кремниевой подложке, уменьшению рассеяния носителей заряда, а также к исчезновению мини-зоны, которая обусловлена наличием на поверхности нанокристаллитов кремния связей Si–ОН.

Список литературы

- [1] С.В. Свечников, А.В. Саченко, Г.А. Сукач и др. Оптоэлектрон. и полупроводн. техн., **27**, 3 (1994).
- [2] А.В. Саченко, Э.Б. Каганович, Э.Г. Манойлов, С.В. Свечников. ФТП, **35** (12), 1445 (2001).
- [3] L.T. Canham. Appl. Phys. Lett., **57**, 1046 (1990).
- [4] A.J. Kontkiewicz, A.M. Kontkiewicz, J. Siejka, S. Sen, G. Nowak, A.M. Hoff, P. Sakthivel, K. Ahmed, P. Mukherjee, S. Watanachchi, J. Lagowski. Appl. Phys. Lett., **65** (11), 1436 (1994).
- [5] R.Yu. Holiney, L.A. Matveeva, E.F. Venger. In: *Abstract Book of Frontiers in Molecular-Scale Science and Technology of Fullerene, Nanotube, Nanosilicon and Biopolymer (DNA, Protein) Multifunctional Nanosystem* (Kiev, 2001) p. SC-P4.
- [6] M.V. Wolkin, J. Jorne, P.M. Fauchet, G. Allan, C. Delerue. Phys. Rev. Lett., **82** (1), 197 (1999).
- [7] М.С. Бреслер, И.Н. Яссьевич. ФТП, **27** (5), 871 (1993).
- [8] R.T. Collins, P.M. Fauchet, M.A. Tischler. Phys. Today, **1**, 24 (1997).
- [9] G.D. Sanders, Yia-Chung Chang. Appl. Phys. Lett., **60** (20), 2525 (1992).
- [10] M. Ben-Chorin, B. Averboukh, D. Kovalev, G. Polisski, F. Koch. Phys. Rev. Lett., **77** (4), 763 (1996).
- [11] P.H. Hao, X.Y. Hou, F.L. Zang, X. Wang. Appl. Phys. Lett., **64** (26), 3602 (1994).
- [12] X.L. Wu, S.J. Xiong, D.L. Fan, Y. Gu, X.M. Bao, G.G. Siu, M.J. Stokes. Phys. Rev. B, **62** (12), R7759 (2000).
- [13] П.К. Кашкаров, Е.А. Константинова, В.Ю. Тимошенко. ФТП, **30** (8), 1476 (1996).
- [14] Y. Kanemitsu, T. Ogawa, K. Shiraishi, K. Takeda. Phys. Rev. B, **48** (7), 4883 (1993).
- [15] X. Zhao, O. Schoenfeld, S. Nomura et al. Mater. Sci. Eng. B, **35**, 467 (1995).
- [16] P. Gupta, A.C. Dillon, A.S. Bracker, S.M. George. Surf. Sci., **245**, 360 (1991).
- [17] S.M. Prokes, O.J. Glembocki, V.M. Bermudes. Phys. Rev. B, **45** (23), 13 788 (1992).
- [18] А.А. Копылов, А.Н. Холодилов. ФТП, **31** (5), 556 (1997).
- [19] Y. Takeda, H.N. Suzuki. J. Appl. Phys., **73** (4), 1924 (1993).
- [20] М.И. Страшникова, В.Л. Возный, В.Я. Резниченко, В.Я. Гайворонский. ЖЭТФ, **120** [2(8)], 409 (2001).
- [21] D.E. Aspnes. Surf. Sci., **37**, 417 (1973).
- [22] В.Я. Тягай, О.В. Снитко. *Электроотражение света в полупроводниках* (Киев, Наук. думка, 1980) с. 304.
- [23] Е.Ф. Венгер, Т.Я. Горбач, Л.А. Матвеева и др. ЖЭТФ, **116**, 1750 (1999).
- [24] R.Yu. Holiney, L.A. Matveeva, E.F. Venger, A.O. Livinenko, L.A. Karachevtseva. Appl. Surf. Sci., **172**, 214 (2001).
- [25] R.Yu. Holiney, L.L. Fedorenko, L.A. Matveeva et al. J. Phys. D: Appl. Phys., **33**, 2875 (2000).
- [26] Е.Ф. Венгер, Р.Ю. Голиней, Л.А. Матвеева. Оптоэлектрон. и полупроводн. техн., **36**, 199 (2001).
- [27] V. Lehmann, H. Foll. J. Electrochem. Soc., **137** (2), 653 (1990).
- [28] Л.Л. Федоренко, А.Д. Сардары, Э.Б. Каганович, С.В. Свечников, С.П. Дикий, С.В. Баранец. ФТП, **31** (1), 6 (1997).
- [29] D.E. Aspnes, J.E. Rowe. Phys. Rev. Lett., **27** (4), 188 (1971).
- [30] Н.П. Гарбар, Л.А. Матвеева, В.Ф. Митин, Ю.А. Тхорик, Р. Харман, Ю.М. Шварц, З. Шроубек. ФТП, **21** (3), 393 (1987).
- [31] R.Yu. Holiney, A. Szekeres, L.A. Matveeva et al. *Proc. 11th Int. School on Condensed Matter Physics Materials for Information Technology in the New Millennium* (Varna, 2000) p. 240.
- [32] R.Yu. Holiney, L.A. Matveeva, E.F. Venger. Semicond. Phys. Quant. Electron. & Optoelectron., **2** (4), 10 (1999).
- [33] В.И. Гавриленко, В.А. Зуев, В.Г. Литовченко. ПТМ, **18**, 49 (1974).
- [34] L.A. Matveeva, E.F. Venger, R.Yu. Holiney. Quest. Atom. Sci. Tech., **3**, 103 (1999).
- [35] T.Ya. Gorbach, G.Yu. Rudko, P.S. Smertenko, S.V. Svechnikov, M.Ya. Valakh, V.P. Bondarenko, A.M. Dorofeev. Semicond. Sci. Technol., **11**, 601 (1996).
- [36] G. Zuther. Phys. St. Sol. (a), **59**, K109 (1980).
- [37] H.R. Philipp. Phys. Chem. Sol., **32**, 1935 (1931).

Редактор Л.В. Шаронова

Influence of the hydrogen plasma on the electroreflectance spectrum and the electron state spectrum of porous silicon

E.F. Venger, R.Yu. Holiney, L.A. Matveeva, A.V. Vasin

Institute of Semiconductor Physics,
National Academy of Sciences of Ukraine,
03028 Kiev, Ukraine

Abstract Porous silicon has been studied by the electroreflectance modulation spectroscopy. It is shown that there are minibands responsible for photoluminescence bands (red, green, blue ones). It has been found that miniband in the blue spectral region disappeared after H^+ plasma treatment of the porous silicon surface. Hydrogen passivation resulted in the mechanical stress relaxation of the porous layer and of the silicon wafer. Suggested is the nature of electron levels in the band gap of silicon nanocrystals.