

## Классификация электрических свойств пористого кремния

© С.П. Зимин<sup>¶</sup>

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,  
150000 Ярославль, Россия

(Получена 23 июля 1999 г. Принята к печати 24 августа 1999 г.)

На основе различий в структуре пористого кремния и в процессах формирования в нем областей, обедненных носителями тока, проведена классификация электрических свойств пористого материала. Показано, что пористый кремний может быть поделен на 4 группы, каждая из которых обладает своим набором отличительных черт. Для каждой группы описаны наиболее вероятные свойства переходов металл/⟨пористый кремний⟩ и ⟨пористый кремний⟩/⟨монокристаллический кремний⟩. Показано, что многообразие электрических свойств пористого кремния и его контактов с металлическим электродом и кремниевой подложкой приводят к экспериментально наблюдаемому широкому набору характеристик многослойных структур с пористыми слоями.

### Введение

Пористый кремний (ПК), получаемый методом анодной электрохимической обработки кремниевых пластин, обладает широким набором уникальных свойств и является перспективным материалом для создания разнообразных приборов нового поколения [1]. Применение слоев ПК в качестве активных элементов таких устройств требует всестороннего изучения электрических свойств материала. Первые работы по измерению электрофизических параметров ПК были проведены в начале 80-х годов [2–4]. В этих работах отмечалась аномально высокая величина удельного сопротивления пористых слоев, которая при высокой пористости превышает  $10^5$  Ом · см. В дальнейшем было выдвинуто несколько гипотез, объясняющих низкую проводимость пористого материала [5–8]. Эти гипотезы основываются на наличии обедненных областей вокруг пор [4,5], на существовании квантовых размерных эффектов [6,7], на явлении кулоновского отталкивания со стороны заряженных поверхностных ловушек [8] и т.д. Начиная с 1992 г. в связи с активными исследованиями явления электролюминесценции [9] появляется большое число публикаций, посвященных изучению электрических свойств ПК и контактных явлений на границе ПК/металл и ПК/кремний. Мы не ставим своей целью в рамках этой статьи провести глубокий анализ всех опубликованных на эту тему работ и отсылаем читателя к обзорам [10,11] и к основным оригинальным статьям (например, [12–17]).

Анализ литературных данных показывает, что экспериментальные результаты ряда авторов часто кажутся противоречивыми; пористому слою приписываются взаимоисключающие свойства, для описания явлений на границе пористого кремния с металлами и с кремниевой подложкой применяются разнообразные подходы. Однако такое внешнее противоречие является закономерным. В данной работе на основе различий в структуре ПК и в процессах формирования обедненных областей

предложена классификация пористого кремния, которая объясняет многообразие электрических свойств ПК и многослойных структур на его основе.

### Процессы обеднения в пористом кремнии и классификация электрических свойств

Известно, что ПК в зависимости от режимов электрохимической обработки, степени легирования исходного кремния донорными или акцепторными примесями, состава электролита и т.д. может иметь широкий диапазон пористости от 2 до 85%. Очевидно, что пористый материал с объемом пор в несколько процентов и ПК с максимальной пористостью неизбежно отличаются друг от друга не только структурными, но и оптическими, люминесцентными и электрическими свойствами. В настоящее время достаточно убедительно доказано, что в процессе порообразования вокруг каждой поры могут возникать обедненные носителями заряда области, см., например, [4,5,18]. В качестве причин образования обедненных областей обычно рассматриваются три: захват носителей заряда ловушками на поверхности пор, уход примесных атомов в электролит или на стенки пор [3,5] и пассивация примесных атомов водородом [19–21]. В последнее время установлено (например, [8]), что концентрация примесных атомов в монокристаллической матрице ПК не изменяется, и поэтому о второй причине следует говорить достаточно осторожно. Обеднение носителями заряда в рассматриваемых областях может быть значительным, вплоть до перехода к состоянию с собственной проводимостью. Обедненные области могут достаточно далеко распространяться в глубь кремниевой матрицы вследствие высоких значений коэффициента диффузии водорода.

Перенос носителей заряда в ПК в значительной степени зависит от величины пористости, диаметра пор, размеров обедненных областей, от эффективности процессов захвата носителей на ловушки и т.д. Систематизация электрических свойств ПК в зависимости от картины

<sup>¶</sup> Факс: (0852) 225232

E-mail: zimmin@univ.uniyar.ac.ru

## Электрические свойства пористого кремния

Группа	Свойства обедненных областей	Характер проводимости при 300 К	Температурная зависимость проводимости	Наиболее вероятные свойства контактов
1	Обедненные области слабо выражены или отсутствуют	Проводимость по кремниевой матрице в соответствии с теорией эффективной среды в модели "Si + воздух"	Как у исходного кремния	Al/ПК — Н, ПК/Si — Н
2	Обедненные области соседних пор не перекрываются	Проводимость по необедненным участкам кремниевой матрицы согласно теории эффективной среды в модели "Si + (воздух + обедненные области)"	Та же	Al/ПК — В(Н), ПК/Si — Н
3	Обедненные области охватывают все межпоровое пространство	Проводимость по обедненной кремниевой матрице в модели флуктуирующего потенциального рельефа	Активационный характер зависимости с различной энергией активации	Al/ПК — В, ПК/Si — В(Н)
4	Обедненные носителями нанокристаллиты кремния различной фрактальной размерности окружены продуктами электрохимических реакций	Проводимость по распределенным состояниям в межкристаллитной среде и(или) проводимость путем межкристаллитных перескоков	Та же	Al/ПК — Н, ПК/Si — В

Примечание. Н — невыпрямляющий, В — выпрямляющий контакты; в скобках показаны другие возможные случаи.

распределения обедненных областей в ПК с различной морфологией приведена в таблице и предусматривает деление ПК на четыре группы. К первой группе относится пористый материал, у которого обедненные области или отсутствуют, или слабо выражены. Такой пример описан в работе [22]. Пористый кремний был сформирован на сильно легированных сурьмой кремниевых пластинах и имел пористость 8–27%. Измерения эффекта Холла показали неизменность концентрации электронов в монокристаллической матрице ПК по сравнению с исходным кремнием. Величина удельного сопротивления ПК возросла в 1.2–1.7 раза относительно кремниевой подложки, что соответствовало расчетам на основе теории эффективной среды в модели "кремний–воздух". Пористый материал с такими свойствами экспериментально наблюдался нами только на кремниевых подложках, легированных сурьмой, что может быть объяснено известным фактом отсутствия эффекта пассивации атомов сурьмы водородом. ПК 1-й группы в отличие от пористых слоев других групп не чувствителен к изменению влажности и присутствию полярных молекул.

Вторую группу образуют пористые структуры, у которых крупные поры далеко отстоят друг от друга и поэтому обедненные области вокруг пор не перекрываются. Примером этого является ПК в работе [18]. При использовании пластин кремния, легированных фосфором, с удельным сопротивлением 4.5 Ом · см был получен пористый слой с пористостью 5–10%. Исследования при помощи растрового электронного микроскопа показали наличие крупных цилиндрических пор диаметром

~ 1 мкм, отстоящих друг от друга на расстоянии 3–10 мкм. Холловские измерения свидетельствовали, что концентрация электронов в области вокруг пор уменьшается, а увеличение удельного сопротивления ПК в этом случае не соответствует теории эффективной среды для пористости 5–10%, но находится в хорошем согласии с этой теорией при учете дополнительного объема, занимаемого обедненными областями. Удельное сопротивление ПК 2-й группы превышает удельное сопротивление исходного кремния в 1.6–15 раз и связано с переносом носителей заряда по низкоомным необедненным участкам кремниевой матрицы. ПК с такой морфологией эффективно формируется на подложках *n*-типа, хотя теоретически не исключено получить структуру с редкими макропорами и на *p*-Si [23].

В третью группу входят пористые структуры с сильно развитой сетью мелких пор и имеющие относительно невысокий показатель пористости (менее 40–50%). Обедненные области соседних пор (за счет малого расстояния между стенками пор) перекрываются и весь оставшийся монокристаллический остов представляет собой кораллообразную структуру, состоящую в общем случае из областей с различной степенью обеднения, а в предельном случае — из кремния с собственной проводимостью. Удельное сопротивление ПК 3-й группы резко возрастает (~ 10<sup>6</sup> Ом · см [24]) по сравнению с уже рассмотренными случаями, дрейф носителей заряда осуществляется по высокоомной кремниевой матрице и может сопровождаться явлением кулоновского отталкивания от заряженных стенок [8]. Зави-

симости проводимости ПК от температуры обладают активационным характером с различной энергией активации (0.65–0.75 эВ для интервала 300–500 К [24]), что связано с флуктуацией потенциального рельефа. ПК, сформированный на подложках *p*-типа, при определении типа проводимости по методу термозонда часто проявляет эффективный электронный тип проводимости, характерный для собственных полупроводников, имеющих более высокую подвижность электронов по сравнению с дырками. Посредством термического кратковременного отжига можно увеличить концентрацию носителей заряда в монокристаллической матрице ПК в результате разрушения комплексов (примесный атом)–водород. Описание таких экспериментальных работ на примере пористого кремния, легированного бором, при величине пористости 16–40% приведено в [20,21].

Четвертая группа включает в себя структуры с высокой пористостью (более 40–50%), для которых структура материала, а следовательно, и характер проводимости претерпевают значительные изменения. Такой ПК представляет собой совокупность кремниевых нанокристаллитов с различной фрактальной размерностью, находящихся в пористой матрице сложного химического состава. Нанокристаллиты кремния размерами от единиц до десятков нанометров являются областями кремния, не подвергнутыми растворению и окруженными продуктами электрохимических реакций. При размерах кристаллитов менее 4 нм начинают возникать квантово-размерные эффекты, приводящие в квантованию энергетического спектра носителей, к увеличению ширины запрещенной зоны до 1.8–2.9 эВ [25] и к уменьшению диэлектрической проницаемости [7]. Носители заряда в системе с высокой пористостью оказываются локализованными, что приводит к аномально высокому удельному сопротивлению ПК, достигающему  $10^{11}$  Ом · см [6]. Температурные зависимости темновой проводимости образцов ПК 4-й группы в области комнатных температур имеют активационный характер, энергия активации возрастает по мере увеличения пористости (40–80%) от 0.30 до 1.01 эВ [26,27]. К настоящему времени не выявлено существенных различий в характере проводимости пористого материала этой группы при наличии и отсутствии размерного квантования. Считается [11,28], что проводимость в такой структуре может осуществляться по делокализованным состояниям в окружающей кристаллиты матрице (близкой по свойствам к *a*-Si:H) и при помощи межкристаллитных перескоков. Нанокристаллиты кремния подвержены процессам обеднения, концентрация носителей в них  $10^{10}$ [19]– $10^{13}$ [14] см<sup>-3</sup>, однако величина проводимости уже определяется не столько концентрацией носителей, сколько характером переноса. Подвижность носителей заряда для ПК 4-й группы очень низка и находится в интервале  $10^{-1}$ – $10^{-4}$  см<sup>2</sup>/В · с, например [14,29].

Отметим, что приведенная классификация является заведомо упрощенной. Здесь в ряде случаев опущены такие важные моменты, как трехкомпонентная структура ПК (кремний + поры + (продукты электрохимических реакций)) [30,31], зависимость проводимости ПК от присутствия ионов на поверхности пор [32], наличие ловушек в материале, которые в рамках каждой группы могут оказывать определенное влияние на характер переноса носителей. Однако целью данного раздела являлось описание общих закономерностей в поведении электрических свойств пористого материала, и поэтому детальное обсуждение этих явлений здесь не проводится. Кроме того, следует учитывать, что в силу неоднородности процессов анодного травления возможно появление в ПК локальных областей, относящихся к соседним группам, а также появление слоев ПК с разными электрическими свойствами по толщине.

## Контактные явления в структурах с пористым кремнием

На основании приведенной классификации можно говорить о том, что ПК различных групп обладает принципиально разными электрическими свойствами. Как следствие, в создаваемых многослойных структурах контакты пористого материала с металлами и исходными монокристаллическими подложками могут иметь или выпрямляющий, или омический характер. Достаточно легко прогнозировать свойства контакта металл/ПК для пористых слоев из 1–3 групп, рассмотренные далее на примере алюминиевой металлизации. В этом случае могут быть применены положения теории создания омических или выпрямляющих контактов Al к кремнию с различной концентрацией носителей заряда [33,34]. Известно, что на границе алюминия и кремния (с разным типом проводимости) всегда возникает потенциальный барьер, вследствие чего переход является выпрямляющим. Однако в случае высокого уровня легирования кремния (более  $5 \cdot 10^{-17}$  см<sup>-3</sup>) барьер становится узким и за счет процессов эффективного туннелирования переход алюминий/кремний становится невыпрямляющим (омическим). Контакты алюминия с ПК 1-й группы вследствие высокой концентрации носителей в монокристаллической матрице пористого материала являются омическими: более того, за счет развитой эффективной поверхности ПК переходные сопротивления контактов оказываются значительно меньше переходных сопротивлений контактов алюминий/кремний, полученных в аналогичных условиях [35,36]. Переходы алюминий/ПК для пористых материалов 2-й группы могут иметь как выпрямляющий, так и омический характер в зависимости от соотношения на интерфейсе площадей низкоомных и высокоомных областей кремния. При определяющем вкладе высокоомных областей с собственной проводимостью такие контакты обладают выпрямлением. Такие же выпрямляющие свойства типичны для контактов алюминий/ПК 3-й группы.

Для ПК 4-й группы, как правило, экспериментально проявляется квазиомическое поведение контактов, что многими исследователями, например [37,38], связывается с высокой плотностью поверхностных электронных состояний. В то же время отсутствие заметного выпрямления может быть объяснено и с другой точки зрения. При аномально высоком удельном сопротивлении пористого слоя практически все подаваемое на структуру напряжение будет приходиться на слой ПК, в результате чего падение напряжения на контакте металл/ПК будет малым и в этом случае даже выпрямляющий переход будет обладать практически линейной вольт-амперной характеристикой. Здесь необходимо сделать важное замечание. Известно, что процессы порообразования в кремнии могут сопровождаться формированием на поверхности аморфной пленки кремния, поэтому наличие либо отсутствие данной аморфной пленки может существенно изменить свойства контактов. Нужно учитывать, что на поверхности ПК 2-й и 3-й групп за счет диффузии водорода может образовываться тонкий обедненный слой. Кроме того, как отмечалось выше, термообработка ПК способна сильно влиять на концентрацию носителей заряда в пористом слое и электрофизические свойства контактов могут зависеть от температурных режимов создания многослойных структур.

Переход ⟨пористый кремний⟩/⟨монокристаллический кремний⟩ естественным образом формируется в ходе электрохимической обработки кремниевых пластин и постоянно присутствует в многослойных структурах с пористыми слоями, например [34–44]. Электрические свойства этого перехода могут быть различными в зависимости от электрофизических параметров ПК. Исходя из теоретических основ работы контакта полупроводников с разным уровнем легирования, гетеропереходов и диодов можно предсказать наличие или отсутствие выпрямления на этой границе для пористых слоев разных групп, что нашло в дальнейшем свое экспериментальное подтверждение. Для ПК 1-й и 2-й групп, полученных на подложках *n*-типа, выпрямление на переходе ПК–⟨монокристаллический кремний⟩ отсутствует. Это связано с неизменностью концентрации электронов в кремниевой матрице для ПК 1-й группы и образованием невыпрямляющих переходов *n*–*n*<sup>−</sup> для структур с пористым материалом 2-й группы. Для ПК 3-й и 4-й групп граница ПК/кремний в общем случае обладает заметным выпрямлением. Особенно ярко это проявляется для ПК 3-й группы, полученного на подложках *p*-типа проводимости, и для ПК 4-й группы. Для ПК 4-й группы это обусловлено тем, что при высоком показателе пористости в результате больших изменений в химическом составе существенно изменяются электронные свойства материала; в случае кристаллитов малых размеров дополнительно увеличивается ширина запрещенной зоны для наночастиц ПК вследствие квантовых размерных эффектов. При этом может происходить формирование как изотипных, так и анизотипных выпрямляющих переходов. В то же время возможны ситуации, для которых

сильное выпрямление на границе для слоев ПК 3-й и 4-й групп может отсутствовать. Такие случаи могут наблюдаться для ПК 3-й группы, полученных на подложках *p*-Si, — после термообработки, для ПК 4-й группы — при малых смещениях на гетеропереходе и т. д.

## Заключение

Таким образом, различия в структурных характеристиках ПК и в процессах формирования в нем областей обеднения носителями тока приводят к экспериментально наблюдаемому многообразию электрических свойств пористого материала и многослойных структур на его основе. Подбор соответствующих режимов анодной электрохимической обработки позволяет создавать пористые слои с заданными электрическими свойствами и решать задачи по разработке приборов различного назначения: начиная от применения слоев ПК 1-й группы (низкоомный подслой для алюминиевой металлизации, буферный слой для эпитаксии различных полупроводников на кремнии с большим рассогласованием кристаллических решеток) и заканчивая использованием ПК 4-й группы (люминесцентные и фотоприемные структуры). Многообразие электрических свойств ПК определяет широкий спектр электрических параметров контактов пористого слоя с металлами и монокристаллическим кремнием. Поэтому при исследовании процессов переноса носителей в многослойных структурах с ПК необходимо учитывать все особенности, которые может иметь пористый материал в данном конкретном случае. В частности, наличие потенциальных барьеров в структуре еще не означает, что все они будут проявляться, поскольку подаваемое на структуру напряжение будет перераспределяться между всеми элементами схемы и некоторые переходы будут находиться в линейной области вольт-амперной характеристики вблизи нулевой точки, в результате применение структур с толстыми высокоомными слоями ПК позволяет полностью нейтрализовать нелинейные явления на контактах [45,46].

Работа выполнена в рамках программы Министерства образования РФ (грант 98-8-4.3-231) при финансовой поддержке Международной соросовской программы образования в области точных наук (грант d99-633).

## Список литературы

- [1] *Mater. Int. Conf. "Porous Semiconductors — Science and Technology"* (Mallorca, Spain, 1998).
- [2] T. Unagami. *J. Electrochem. Soc.*, **127**, 476 (1980).
- [3] Д.И. Биленко, Н.П. Абанышин, Ю.Н. Галишникова, Г.Е. Маркелова, И.Б. Мысенко, Е.И. Хасина. *ФТП*, **17**, 2090 (1983).
- [4] M.I.J. Beale, J.D. Benjamin, M.J. Uren, N.G. Chew, A.G. Cullis. *J. Cryst. Growth*, **73**, 622 (1985).
- [5] R.C. Anderson, R.S. Muller, C.W. Tobias. *J. Electrochem. Soc.*, **138**, 3406 (1991).

- [6] A.J. Read, R.J. Needs, K.J. Nash, L.T. Canham, P.D.J. Calcott, A. Qteish. *Phys. Rev. Lett.*, **69**, 1232 (1992).
- [7] R.Tsu, D. Babic. *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 1806 (1994).
- [8] V. Lehmann, F. Hofmann, F. Muller, U. Gruning. *Thin Sol. Films*, **255**, 20 (1995).
- [9] A. Richter, P. Steiner, F. Kozlowsky, W. Lang. *IEEE Electron. Dev. Lett.*, **12**, 691 (1991).
- [10] *Properties of porous silicon*, № 18, ed. by L. Canham (Malvern, DERA, 1997).
- [11] Л.А. Балагуров. *Материаловедение*, № 1, 50 (1998); Л.А. Балагуров. *Материаловедение*, № 3, 23 (1998)
- [12] M. Ben-Chorin, F. Muller, F. Koch, W. Scirmacher, M. Eberhard. *Phys. Rev.*, **51**, 2199 (1995).
- [13] A.J. Simons, T.I. Cox, M.J. Uren, P.D.J. Calcott. *Thin Sol. Films*, **255**, 12 (1995).
- [14] C. Peng, K.D. Hirschman, P.M. Fauchet. *J. Appl. Phys.*, **80**, 295 (1996).
- [15] Н.С. Аверкиев, А.Я. Шик. *ФТП*, **30**, 199 (1996).
- [16] Н.С. Аверкиев, Л.М. Капитонова, А.А. Лебедев, А.Д. Ременюк, Н.Н. Смирнова, А.Я. Шик. *ФТП*, **30**, 2178 (1996).
- [17] В.Ю. Тимошенко, Е.А. Константинова, Е. Дитрих. *ФТП*, **32**, 613 (1998).
- [18] С.П. Зимин. *Письма ЖТФ*, **21**(24), 46 (1995).
- [19] C. Cadet, D. Deresmes, D. Vuillaume, D. Stievenard. *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 2827 (1994).
- [20] С.П. Зимин, Е.П. Комаров. *Письма ЖТФ*, **24**(6), 45 (1998).
- [21] С.П. Зимин, А.Н. Брагин. *ФТП*, **33**, 476 (1999).
- [22] С.П. Зимин. *Письма ЖТФ*, **20**(7), 55 (1994).
- [23] Е.А. Ропомарев, Р. Cowache, C. Levy-Clement. *Mater. Int. Conf. "Porous Semiconductors — Science and Technology"* (Mallorca, Spain, 1998) p. 23.
- [24] А.Л. Винке, С.П. Зимин, В.Н. Палашов. Патент РФ 2054746 (1996), приоритет 13.01.93.
- [25] F.P. Romstad, E. Veje. *Phys. Rev. B*, **55**, 5220 (1997).
- [26] W.H. Lee, C. Lee, J. Lang. *J. Non-Cryst. Sol.*, **198**, 911 (1996).
- [27] Y. Libianiker, I. Balberg, J. Partee, J. Shinar. *J. Non-Cryst. Sol.*, **198**, 949 (1996).
- [28] Y. Libianiker, I. Balberg. *Phys. Rev. Lett.*, **78**, 2433 (1997).
- [29] С.В. Слободчиков, Х.М. Салихов, Е.В. Руссу, М.М. Мерсеров, А.И. Язлыева. *ФТП*, **31**, 15 (1997).
- [30] Л.В. Беляков, Т.Л. Макарова, В.И. Сахаров, И.Т. Серенков, О.М. Сресели. *ФТП*, **32**, 1122 (1998).
- [31] С.П. Зимин, Е.П. Комаров. *Изв. вузов. Электроника*, вып. 3, 48 (1998).
- [32] В.М. Демидович, Г.Б. Демидович, С.Н. Козлов, А.А. Петров. *Письма ЖТФ*, **24**(2), 17 (1998).
- [33] Э.Х. Родерик. *Контакты металл-полупроводник* (М., Радио и связь, 1982). [Пер. с англ.: Е.Н. Rhoderick. *Metal-semiconductors contacts* (Clarendon Press, Oxford, 1978)].
- [34] С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов* (М., Мир, 1984) т. 1. [Пер. с англ.: S.M. Sze. *Physics of Semiconductor Devices* (N.Y.-Toronto-Singapore, Wiley-Interscience Publ., 1981)].
- [35] S.P. Zimin, V.S. Kuznetsov, A.V. Prokaznikov. *Appl. Surf. Sci.*, **91**, 355 (1995).
- [36] В.В. Чистяков, С.П. Зимин, А.Л. Винке. Патент РФ 2065226 (1996), приоритет 27.07.93.
- [37] N.J. Pulsford, G.L.J.A. Rikken, Y.A.R.R. Kessener, E.J. Lous, A.N.J. Venhuizen. *J. Luminesc.*, **57**, 181 (1993).
- [38] M. Ben-Chorin, F. Moller, F. Koch. *J. Appl. Phys.*, **77**, 4482 (1995).
- [39] D.V. Dimitrov. *Phys. Rev.*, **51**, 1562 (1995).
- [40] P.H. Hao, X.Y. Hou, F.L. Zhahg, Xun Wang. *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 3602 (1994).
- [41] D. Dimova-Malinovska, M. Tzolov, N. Tzenov, D. Nesheva. *Thin Sol. Films*, **297**, 285 (1997).
- [42] Th. Dittrich, J. Rappich, V.Yu. Timoshenko. *Appl. Phys. Lett.*, **70**, 2705 (1997).
- [43] L.A. Balagurov, D.G. Yarkin, G. A. Petrovicheva, E.A. Petrova, A.F. Orlov, S.Ya. Andryushin. *J. Appl. Phys.*, **82**, 4647 (1997).
- [44] Э.Б. Каганович, Э.Г. Манойлов, С.В. Свечников. *ФТП*, **33**, 327 (1999).
- [45] M. Ben-Chorin, F. Moller, F. Koch. *Phys. Rev. B*, **49**, 2981 (1994).
- [46] С.П. Зимин, Е.П. Комаров, Ю.В. Рябкин. *Изв. вузов. Электроника* (1999) (в печати).

Редактор Т.А. Полянская

## Classification of porous silicon electrical properties

S.P. Zimin

Yaroslavl State University,  
150000 Yaroslavl, Russia

**Abstract** Classification of porous silicon electrical properties has been made on the grounds of imperfections in porous silicon structure during the depleted area formation processes. It was shown that porous silicon matter could be subdivided into four groups, each bearing a characteristic set of properties. The most probable properties of metal/(porous silicon) and (porous silicon)/(single crystal silicon) contacts were described for each of the porous silicon group. It has been shown that a variety of electrical properties of porous silicon and metal/(porous silicon), (porous silicon)/(single crystal silicon) transitions lead to the experimentally observed broad spectrum of characteristics of multilayer structures which comprise porous materials.