

ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ КАК МАТЕРИАЛ ДАТЧИКОВ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

А.П. Королев, А.Н. Шпякин, В.П. Шелохвостов

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.М. Мордасов

Ключевые слова и фразы: полупроводник; потенциальная яма; работа выхода; уровень Ферми; энергетические состояния; энергетические уровни.

Аннотация: Исследован процесс получения пористого слоя на монокристаллической подложке кремния. Предложена модель энергетических зон пористого кремния и рассмотрена возможность его использования для обнаружения и идентификации низкоразмерных объектов. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие различное влияние на электрофизические свойства пористого кремния частиц различных газовых сред.

На фоне всеобщего интереса к системам с пониженной размерностью пористый кремний (ПК) представляется наилучшим материалом для исследования в силу относительной простоты получения и особенных физико-химических свойств. Используемый реактор для получения пористой структуры (рис. 1) изготовлен с учетом требуемой геометрии образца.

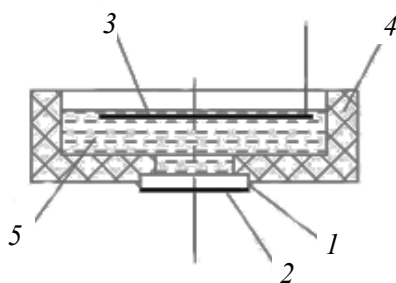


Рис. 1. Схема реактора для получения пористого кремния:

1 – заготовка монокристаллического кремния; 2 – напыленный контакт (Cu, Al);

3 – платиновый электрод; 4 – фторопластовая ванночка;

5 – электролит ($\text{HF} : \text{H}_2\text{O} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - 1 : 1 : 1$)

Королев Андрей Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология», e-mail: korolevanpal@yandex.ru; Шпякин Александр Николаевич – аспирант кафедры «Материалы и технология»; Шелохвостов Виктор Прокопьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология», ТамбГТУ, г. Тамбов.

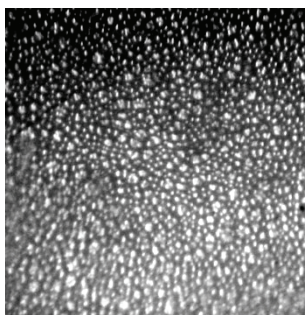


Рис. 2. Микрофотография пористой поверхности кремния



Рис. 3. Объемная модель расположения энергетических уровней вблизи поры

Микрофотография пористого кремния, полученного таким способом, приведена на рис. 2.

Исследование электрофизических свойств пористого кремния и структур на его основе при влиянии на них различных сред представляет интерес как для понимания физических процессов, протекающих в них, так и для практического применения, например для создания датчиков наноразмерных объектов в различных средах.

Процесс формирования пористого кремния интересен как уникальный пример самоорганизации. Это единственный известный физике твердого тела случай формирования не только отдельных наноразмерных элементов, но и образования макроскопического (объемного) материала, состоящего из элементов по размеру не намного больше размера элементарной ячейки. Большую роль играет технология изготовления ПК, подбор травителей, концентрации и т.д. Варьируя техпроцессом, можно добиться получения ПК с различной морфологией диаметром пор до нескольких нанометров, представляющих собой квантовые нити. При диаметре больше 10 нм поры представляют собой цилиндрические двумерные квантовые ямы (рис. 3).

После проведенного расчета можно показать энергетическую диаграмму вокруг поры кремния с дырочной проводимостью (рис. 4).

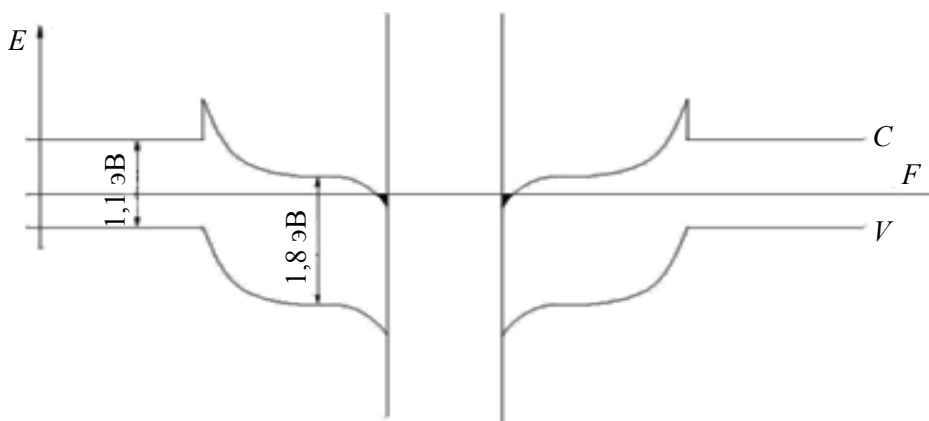


Рис. 4. Расчетная энергетическая диаграмма кремния вокруг поры:
C – дно зоны проводимости; *F* – уровень Ферми; *V* – потолок валентной зоны

Эта диаграмма представляет собой сочетание ям и барьеров. Бесспорно, что процессы переноса заряда в пористом слое определяются геометрическими параметрами диаграммы. Но на поверхность пористого кремния могут попадать наноразмерные объекты, которые будут вносить изменения в энергетическую картину. Следовательно, нанобъекты будут вмешиваться в процесс переноса заряда через пористый слой в электрическом поле. С другой стороны, нанобъекты разного происхождения имеют разные размеры и разную энергетику. Поэтому разные нанобъекты по-разному будут вносить изменения в энергетическую диаграмму. Энергетическое взаимодействие поверхности с адсорбированными объектами зависит от соотношения размеров пор и объектов. Если построить модель изменения энергетической диаграммы в зависимости от энергетического спектра нанобъектов, то можно определять тип нанобъектов на пористой поверхности кремния, исследуя его электропроводящие свойства.

В качестве нанобъектов можно использовать частички газов и проверить влияние их на электрофизические свойства пористого кремния. Для этого были сняты вольтамперные характеристики (**ВАХ**) с образцов, находившихся в атмосферах различных газов (рис. 5). По полученным результатам экспериментов построены графики кривых ВАХ.

При анализе графиков вольтамперных характеристик легко заметить, что свойства исследуемых образцов (то есть образцов, находившихся в атмосферах метана, аргона, паров спирта, бутана, а также просто при низком вакууме) отличаются друг от друга.

Объяснить это можно наличием у атомов каждого газа своих энергетических уровней. То есть каждый газ по-своему сочетается с размерами и формой потенциальной ямы, возникающей на границе раздела $\text{SiO}_2 - \text{Si}$. Соответственно меняется проводимость образцов.

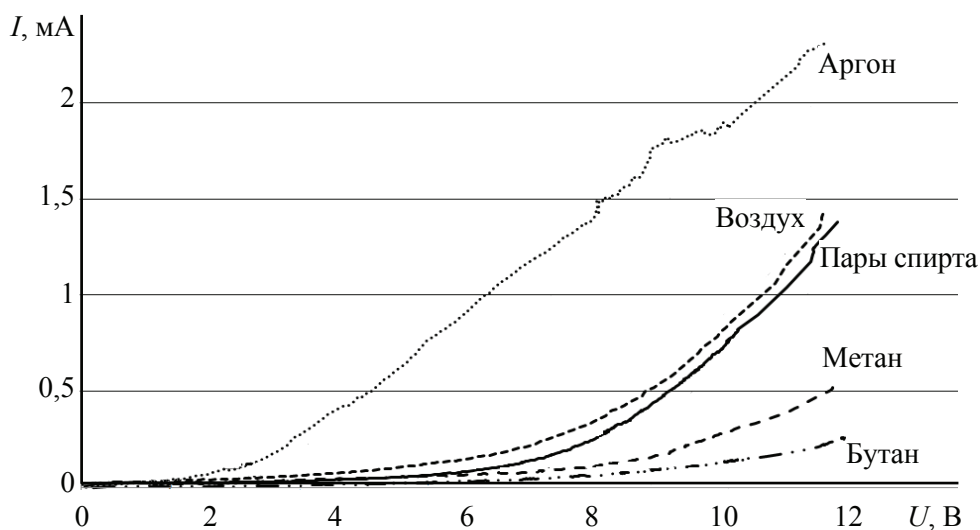


Рис. 5. Вольтамперная характеристика образца из пористого кремния

Таким образом, в ходе проведенной работы выявляется цепочка факторов, которые связаны между собой. Технологические режимы травления влияют на морфологию пористого слоя кремния, которая, в свою очередь, неразрывно связана с энергетическим спектром адсорбированных объектов низкой размерности и, как следствие, эти объекты по-разному влияют на электрические свойства пористого слоя кремния. Полученные результаты в дальнейшем можно будет использовать для создания прибора по идентификации газов или других низкоразмерных объектов.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.741.12.0150 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Canham, L. Properties of porous silicon / L. Canham. – INSPEC : The Institution of Electrical Engineers, 1997. – 415 p.

Porous Silicon as a Sensor Material for Nanoscale Objects in Different Environments

A.P. Korolev, A.N. Shpyakin, V.P. Shelokhvostov

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: energy conditions; energy levels; Fermi level; potential well; semiconductor; work function.

Abstract: The process of obtaining a porous layer on a monocrystalline silicon substrate is studied. A model of the energy zones of porous silicon is proposed and its use for the detection and identification of low-sized objects is considered. The experimental results confirm the different effects of various gases particles on the electrical properties of porous silicon.

© А.П. Королев, А.Н. Шпякин,
В.П. Шелохвостов, 2011