

УДК 621.37

Разработка пористых структур на кремнии

Е.А. Сакун*,

А.В. Полюшкевич, П.А. Харлашин,

О.В. Семенова, А.Я. Корец

Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79 ¹

Received 3.12.2010, received in revised form 10.12.2010, accepted 17.12.2010

В данной работе приводится обзор экспериментальных исследований кремниевых пористых структур, полученных методом электрохимического анодирования монокристаллического кремния в растворе плавиковой кислоты. Изложены результаты оптических и магнитных исследований кремниевых пористых структур. Определены условия создания воспроизводимой структуры пористого кремния с равномерно распределенными цилиндрическими пора́ми и стабильными временными характеристиками за счет использования специальной формы катода и электромагнитного излучения в видимой области спектра. Показана возможность создания фотонных структур, аналогичных структурам Брегговского отражателя и Фабри-Перо.

Ключевые слова: пористый кремний, пористые структуры на кремнии, магнитные структуры

Введение

Анализ современного состояния в области техники новых поколений в ряде наиболее развитых стран позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время наиболее развивающейся является микросистемная техника (МСТ), основой которой служат микроэлектромеханические устройства (MEMS). МСТ реализуется на микроуровне и обеспечивает функционирование не только в условиях стационарного твердого тела, но и в условиях, когда объект (часть объекта) микросистемной техники или контактирующая с ним среда находится во взаимной пространственно-временной динамике. Особенность МСТ – привнесение современной технологии массового производства, свойственной микроэлектронике, в производство традиционных устройств и механизмов повышенной сложности, характерной для радиотехники, оптики, машиностроения, приборостроения и биомедицины. Это сочетание позволяет изготавливать уникальные многофункциональные устройства с микронными размерами и низкой стоимостью, которые могут обеспечить реализацию процессов генерации, преобразования и передачи энергии в интеграции с процессами восприятия, обработки, трансляции и хранения информации [1-2].

На настоящем этапе существует проблема в создании и применении новых материалов для микросистемной техники. Поэтому большое внимание сейчас уделяется поиску и созда-

* Corresponding author E-mail address: lenochka_sakun88@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

нию материалов с новыми свойствами и более эффективными электрофизическими и эксплуатационными показателями, в частности созданию новых материалов, обладающих высокими оптическими, магнитными свойствами для применения их в различных оптических элементах, сенсорах, магнитных носителях с плотной записью информации и с повышенным быстродействием.

Подобные проблемы существуют в микро-, оптоэлектронике. Увеличение плотности элементов в схемах приводит к возрастанию протяженности и усложнению архитектуры традиционных проволочных межсоединений, что препятствует дальнейшему повышению быстродействия интегральных микросхем и их стоимости. Заманчивой альтернативой традиционным межсоединениям являются оптоэлектронные и фотонные системы, обеспечивающие возможность генерации, модуляции, усиления, передачи, а также детектирования световых сигналов.

Перспективным материалом в этих областях может стать пористый кремний (ПК). Об уникальных свойствах ПК и о возможности его широкого использования во многих отраслях промышленности сказано уже много. Это и создание фотодетекторов, оптических планарных волноводов, эффективных эмиттеров оптического излучения для плоских экранов, элементов оптического межсоединения СБИС и т.д. Окисленный ПК с упорядоченными цилиндрическими порами используется для создания новых дифракционных материалов и в качестве матрицы для создания наноразмерных полупроводниковых островков квантовых одноэлектронных устройств.

Несмотря на то, что ПК известен несколько десятилетий, существует ряд трудностей как в получении пористых слоев с воспроизводимыми структурными и электрофизическими параметрами, так и в тестировании подобных структур. На настоящее время процесс получения ПК – электрохимическое анодирование – в большей степени хаотичен из-за отсутствия теоретического понимания механизма формирования пор. На сегодняшний день существует несколько моделей такого механизма, и ни одна из них не может полностью объяснить всю сложность данного процесса. Естественно, это затрудняет использование пористых кремниевых структур в промышленном производстве. С другой стороны, имеется проблема в выборе и применении различных способов для тестирования ПК, указывающая на необходимость поиска новых методик, которые были бы одновременно достаточно точные, не дорогостоящие, желательно не разрушающие, занимали относительно мало времени и не требовали предварительных подготовительных операций.

Работа по получению и исследованию структур на пористом кремнии сотрудниками нашей научной группы ведется уже не первый год, разработаны методики получения [3-11] и тестирования [12] образцов ПК, оптических и магнитных структур на его основе, имеется некоторый опыт и набор статистических данных в этой области [3-12].

В данной статье рассматриваются технологические основы создания и результаты исследования однослойных и многослойных пористых структур на основе электрохимически анодированного монокристаллического кремния с целью их возможного применения в изделиях микроэлектроники и микросистемной технике.

На первом этапе работы были исследованы условия, режимы получения ПК и их влияние на процесс формирования структуры ПК [3-4]. В последующем были исследованы и

другие факторы, такие как дополнительное освещение во время анодирования, термическое воздействие, конструкция электрохимической ячейки, форма катода на морфологию ПК, оптические и магнитные свойства структур, полученных на основе данных образцов ПК [5-11].

Материалы и методы

Для создания пористых структур на кремнии применяется достаточно простая экономичная технология с использованием электрохимического анодирования. В качестве исходных пластин используются кремниевые подложки марки КЭФ-10 (100). Одно- и многослойные пористые структуры формировались в электрохимической ячейке с различной формой катода (рис. 1), варьированием технологическими режимами и условиями получения. Многослойные структуры формировались в результате изменения плотности тока и времени в течение всего процесса анодирования. На рис. 1 изображена конструкция однокамерной электрохимической ячейки с вертикальным расположением электродов различной формы, используемых в данной работе.

Исследования полученных образцов проводили на экспериментально-измерительном комплексе по ранее разработанной методике тестирования пористого кремния [12]. Морфологические и оптические свойства образцов изучали с помощью применения целого арсенала физических методов исследования: определение показателя преломления по углу Брюстера (данный метод позволяет довольно быстро и дешево по сравнению с другими методами определить показатель преломления у пористых структур), ИК-спектроскопии, нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), оптической и электронной микроскопии. Данный выбор методов исследования связан с тем, что большинство физико-химических характеристик ПК тесно связано с особенностями морфологии его пористой структуры. Морфологический аспект комплекса проблем к настоящему времени изучен недостаточно. В свою очередь взаимодействие пористого материала со светом определяется следующими свойствами пор: средней пористо-

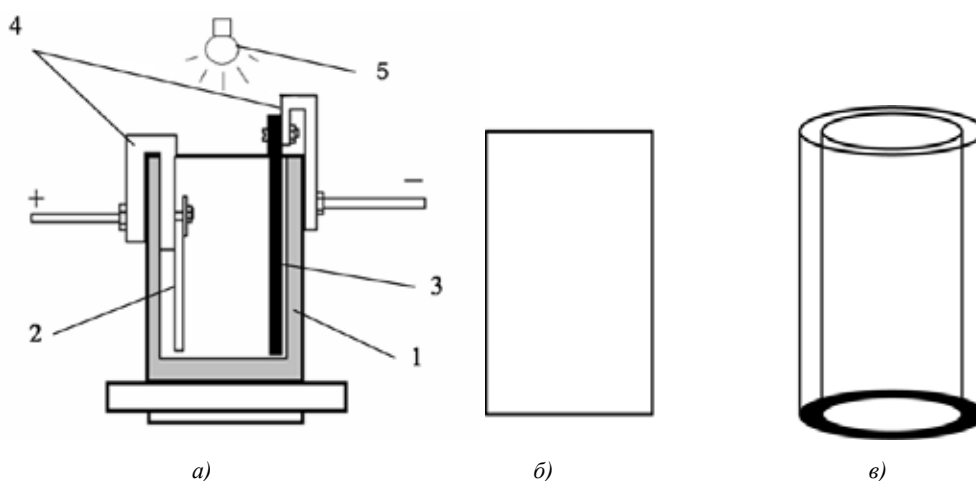


Рис. 1. Конструкция однокамерной электрохимической ячейки (а) с вертикальным расположением электродов: 1 – фторопластовая ванна, 2 – анод (образец кремния), 3 – никелевый катод различной формы (б – прямая пластина, в – цилиндр без дна), 4 – крепление электродов, 5 – дополнительное освещение

стью, размером и формой пор, характером их пространственного упорядочения, свойствами вещества, адсорбированного на поверхности или заполняющего поры.

Комплексный показатель преломления $n_{пр}$, являющийся одним из фундаментальных параметров, описывающих взаимодействие электромагнитного поля с веществом, определяет технологические и/или эксплуатационные свойства оптических структур. Например, при создании оптических планарных волноводов на ПК необходимо не только знать $n_{пр}$ пористых слоев, но и уметь управлять профилем показателя преломления по глубине в достаточно больших пределах. Именно от этой характеристики зависят направляющие свойства волноводов и коэффициент затухания передаваемого сигнала.

Следует отметить, что исследуемые образцы ПК представляли собой пластины, на которых с обеих сторон сформирован пористый слой в таком соотношении ПК: МКК: ПК = $(1 - 150) : (460 - 230) : (1 - 150)$ мкм с указанным размерным разбросом по толщине в зависимости от технологических режимов получения. Многослойные структуры имели толщину до единиц микрометров. Кроме того, следовало учитывать тот факт, что каркас пленки ПК может быть в той или иной степени подвержен окислению либо естественным путем, находясь на воздухе, либо принудительно вследствие термообработки. В результате образуется оксид кремния SiO_x ($x = 1 - 2$). Поэтому измерения показателя преломления кремния с пористой поверхностью выполняли оптическим поляризационным методом в геометрии «на отражение», так как только в этом случае можно зафиксировать изменения в оптических свойствах, обусловленных состоянием поверхности. Иначе в геометрии эксперимента «на просвет» внутренний непористый слой кремния забивает эффекты пористых наружных поверхностей. Для обнаружения влияния степени пористости на поверхностный показатель преломления кремния был выбран метод поляризационных измерений угла Брюстера на длинах волн излучения, попадающих в область прозрачности поверхностного слоя.

Магнитные структуры на основе ПК формировали в результате гетерогенной реакции восстановления ионов металлов из водных растворов солей по методике, представленной в [5-6]. Магнитные характеристики исследовали с помощью вибрационного магнитометра в диапазоне полей от 0 до 10 КЭ и спектрометра ЭПА-2М с частотой $f = 9,2$ ГГц [5-6].

Результаты и обсуждение

Полученные и исследуемые образцы ПК можно разделить на несколько групп как по их свойствам (морфологические, оптические, диэлектрические, магнитные), так и по применению (матрицы для создания композиционных материалов, КНД-структуры, оптические и магнитные элементы).

В процессе экспериментальной работы был выявлен ряд факторов.

Так, было замечено, что технология электрохимического анодирования дает возможность получения структур с различными оптическими и диэлектрическими свойствами (коэффициентом преломления и диэлектрической проницаемостью). Варьируя параметры режимов и условия электрохимического анодирования, можно сформировать оптимальную структуру, удовлетворяющую определенным требованиям по оптическим характеристикам. Становится возможным формирование изоляционных слоев с низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 2-6$) и диэлектриков для пленочных планарных конденсаторов с более высокой диэлектри-

ческой проницаемостью ($\epsilon = 14\text{--}16$), конденсаторных матриц. Предполагается, что емкость таких структур не будет зависеть от приложенного смещения, а в области высоких частот практически не будет изменяться с частотой.

Введение различных конструктивных и технологических решений (изменение формы катода, предварительная обработка образцов ПК, использование дополнительного освещения различной интенсивности и длины волны в процессе анодирования, сушка образцов под действием источника света, время выдержки на воздухе, термическая обработка) позволяет получить пористые пленки с различной толщиной, коэффициентом отражения и преломления, стабильностью во времени.

Коэффициент преломления зависит от многих факторов. К ним можно отнести: ориентацию плоскости поляризации зондируемого света относительно базового кристаллографического направления пластины кремния, степень пористости, которая может быть различна как по глубине слоя, так и по всей поверхности образца, размерность пористой структуры, режимы анодирования, состояние адсорбционного загрязнения и степень окисления поверхности. На рис. 2 представлены зависимости интенсивности отраженного света от угла отражения для компоненты, поляризованной в плоскости падения, для образцов, полученных при различных технологических режимах.

Минимум кривой соответствует углу Брюстера, по которому определяется $n_{\text{пр}}$. Сдвиг минимума кривой указывает на изменение $n_{\text{пр}}$, величина которого варьируется в пределах $1,1\text{--}4,2$ в зависимости от режимов анодирования и условий получения ПК.

На морфологию, размерность пор, химический состав поверхности ПК и соответственно на коэффициент преломления при других одинаковых параметрах анодирования влияние оказывает форма катода и освещение образцов в процессе их получения (рис. 3-4). Использование цилиндрического катода увеличивает равномерность распределения пор по поверхности пластины и в целом повышает эффективность, воспроизводимость процесса анодирования по сравнению с катодом в форме прямой пластины.

В свою очередь совместное использование цилиндрического катода и дополнительного освещения дает следующие результаты. При синем свете поры получаются тонкие, наиболее упорядоченные и максимально сопоставимы с идеальной упорядоченной структурой ПК; при желтом свете достигается наибольшая толщина пористого слоя, поры обычно имеют множество боковых ответвлений; при красном свете глубина протравливания образцов минимальна, часто наблюдается растравливание поверхности ПК либо получаются конусообразные макропоры.

Из ИК-спектров, представленных на рис. 4, следует, что при дополнительном освещении в синем свете и цилиндрической форме катода появляется полоса поглощения на частоте $1075\text{--}1080\text{ см}^{-1}$, которая связана с поглощением кванта света на колебаниях типа SiO , формирующих мостиковые связи $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ (рис. 4, а). При этом положение пика оказывается аналогичным наблюдаемым в диоксиде кремния, который образуется при высокотемпературной обработке (рис. 4, б), причем интенсивность пика в первом случае выше, чем при термообработке ПК.

Оптимизация технологических режимов позволяет получать окисленные слои ПК с высокой однородностью пористости по всей поверхности пластины и тем самым исключить стадию термической обработки ПК после электрохимического анодирования для получения диэлек-

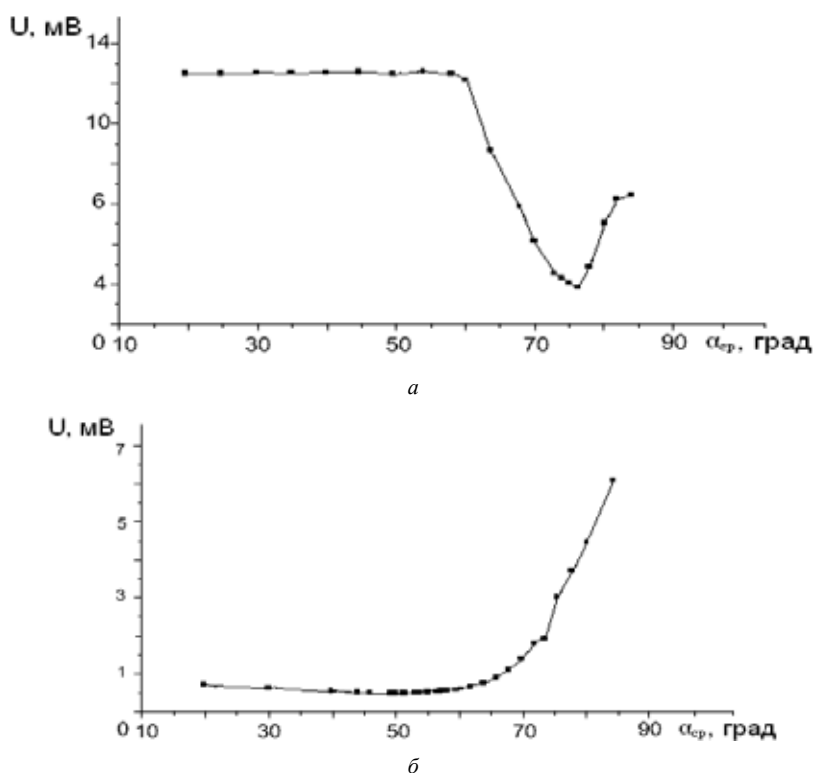


Рис. 2. Экспериментальные зависимости интенсивности отраженного света от угла отражения для образцов, полученных в водном растворе плавиковой кислоты $\text{HF} : \text{H}_2\text{O} = 1:1$: а – при плотности тока $j = 10 \text{ mA/cm}^2$, напряжении анодирования $U = 10 \text{ V}$, времени анодирования $t = 250 \text{ с}$, естественном освещении и использовании катода в виде прямой пластины; б – при плотности тока $j = 100 \text{ mA/cm}^2$, напряжении анодирования $U = 10 \text{ V}$, времени анодирования $t = 1 \text{ ч}$, дополнительном освещении лампой мощностью 20 Вт и использовании цилиндрической формы катода

трических структур, которые в дальнейшем могут быть использованы для создания оптических элементов и КНД-структур.

В большой степени на магнитные характеристики композитов на основе ПК оказывает влияние его структура, которая очень зависит от технологических условий его получения. Незначительные изменения таких параметров, как плотность тока и время анодирования, температура или концентрация электролита, введение освещения в процесс анодирования и даже форма катода электрохимической ячейки, где происходит процесс электрохимического анодирования, приводили к существенным вариациям магнитных свойств композитов. Замечено, что замена одного материала (CoP) на другой (FeNiP) не вносит столь существенных изменений в магнитные свойства композитов, как шероховатость поверхности и структура образцов. Полученные магнитные структуры на ПК можно разделить на две группы. Первая группа обладает малыми резонансными полями и узкими линиями поглощения, вторая группа имеет большие резонансные поля и очень широкие резонансные линии поглощения. Это можно объяснить различием в размерности и ориентации пор относительно поверхности кремниевых пластин. В первом случае размерность пор достаточно велика и их расположение относительно поверхности пластин кремния различно.

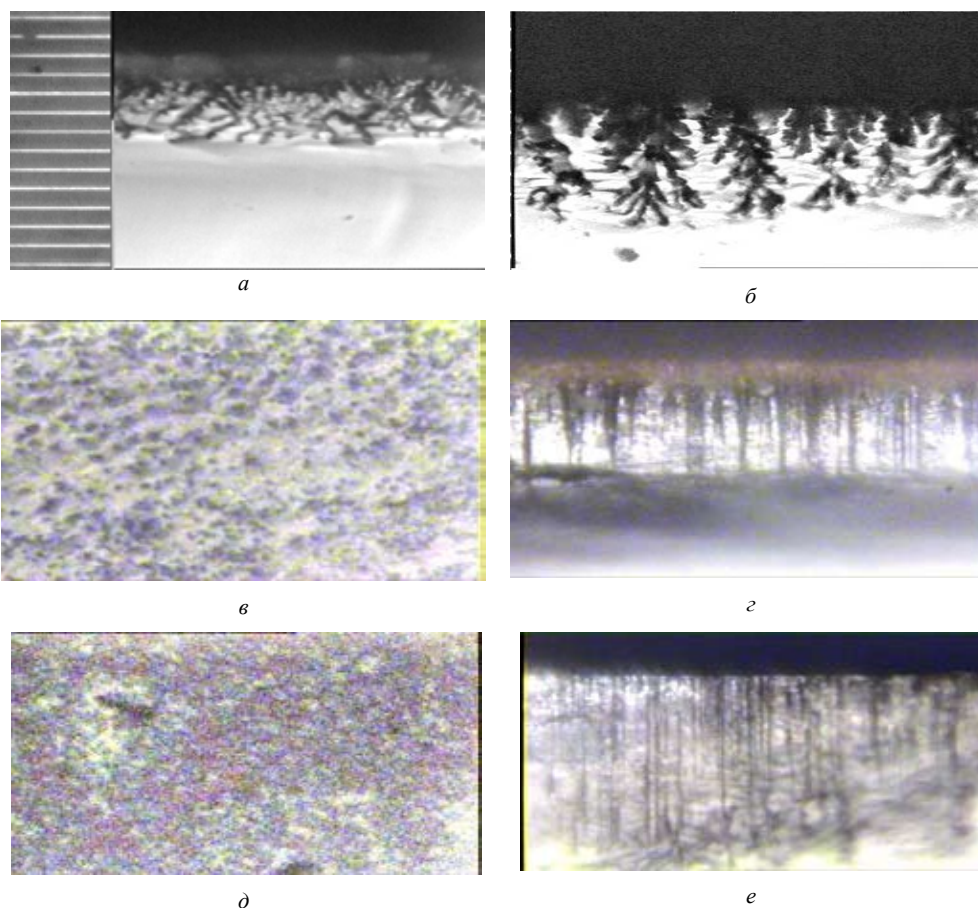
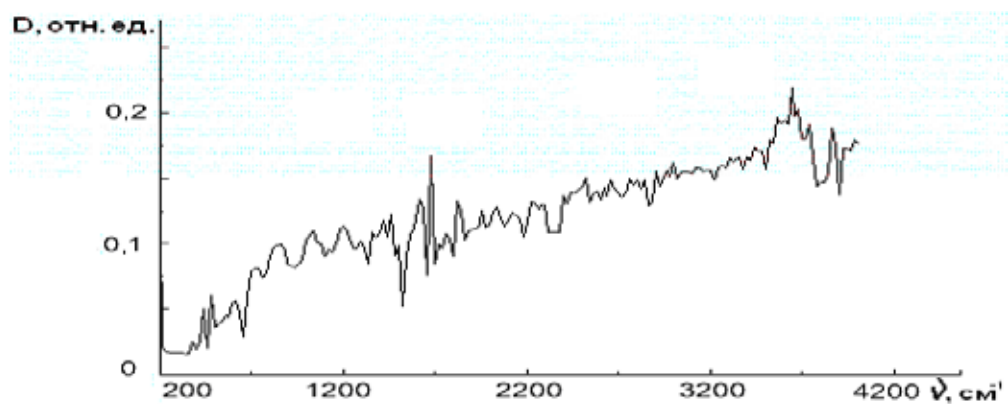


Рис. 3. Морфология поверхности (в, д) и структура скола (а, б, г, е) образцов ПК, полученных при использовании цилиндрического катода и дополнительного освещения: а, б – в желтом свете; б, в – в красном свете; г, д – в синем свете (цена деления мерной шкалы составляет 0,01 мм)

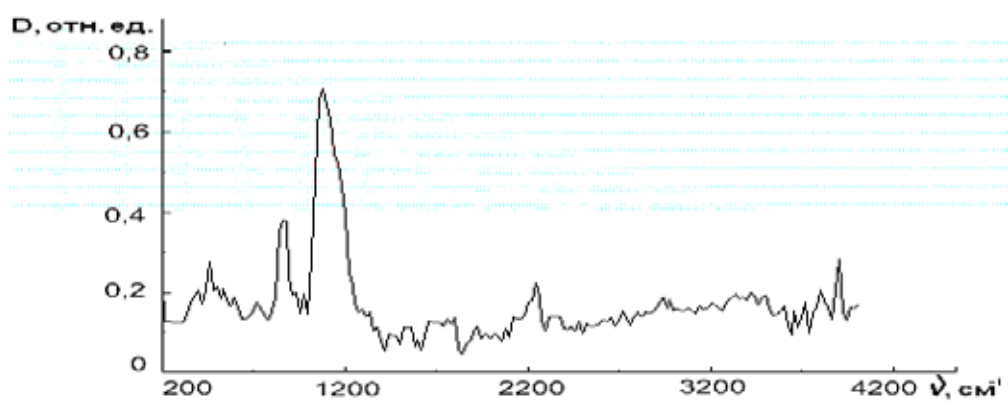
Во втором случае структура пористого кремния имеет поры меньшего диаметра, ориентированные строго перпендикулярно к поверхности образца ПК.

Магнитные структуры, сформированные на основе образцов ПК, полученные при синем освещении и при использовании цилиндрического катода в процессе электрохимического анодирования, обладают более высокой величиной намагничивания M (рис. 5).

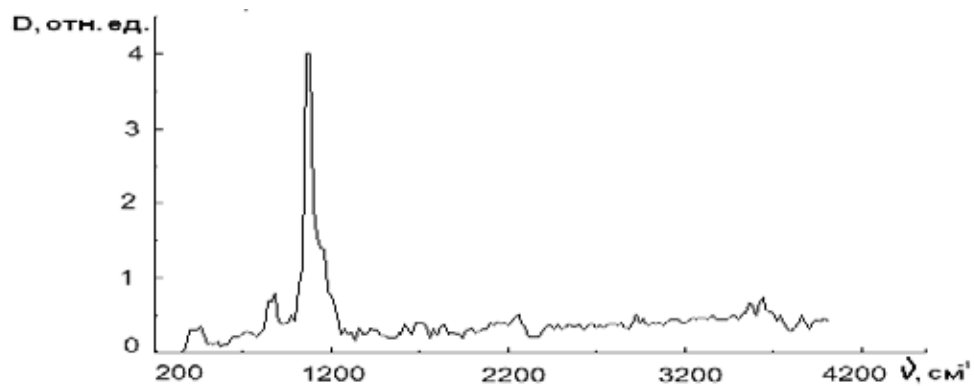
Предполагается, что в данном случае цилиндрическая форма катода увеличивает напряженность электрического тока в электрохимической ячейке и равномерность воздействия его на всю площадь подложки кремния, а воздействие синего освещения способствует одновременно увеличению плотности и уменьшению размерности пор. Это указывает на оптическую активность ПК, которая увеличивает химическое взаимодействие электролита с поверхностью образцов ПК. Возможно, форма катода и дополнительное освещение влияют на распределение электрического поля в электрохимической ячейке по отношению к пластине кремния и на направление фронта химического травления. При красном освещении возможна термическая активация поверхности, что увеличивает скорость фронта травления вдоль поверхности по отношению к скорости фронта травления вглубь образца ПК, тем самым изменяя его структуру.



a



б



в

Рис. 4. Спектры поглощения ПК, снятые с компенсацией относительно монокристаллического кремния: образцы ПК, полученные при естественном освещении (*a – б*) и термически обработанного (*б*) при катоде в виде прямой пластины; при дополнительном освещении в синем свете и цилиндрической форме катода (*в*)

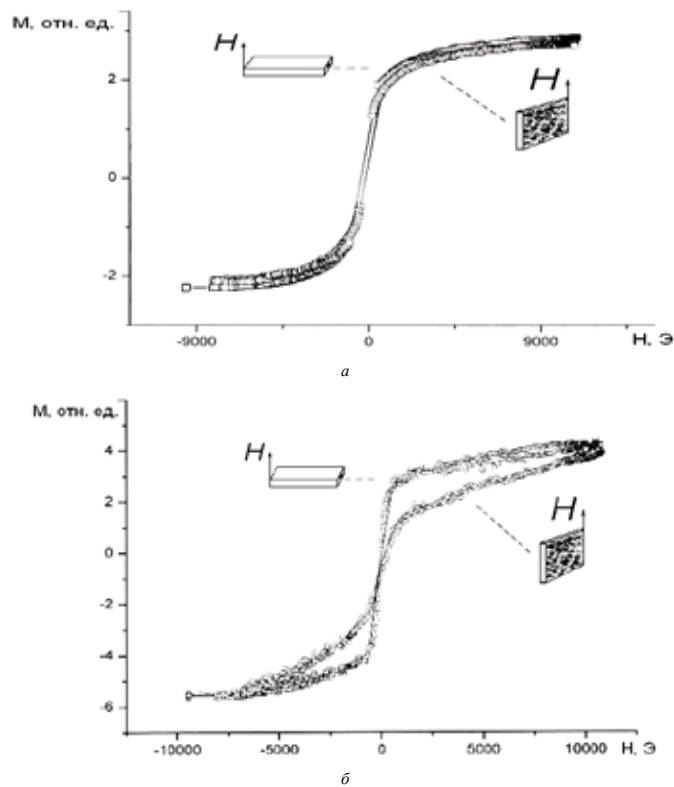


Рис. 5. Кривые намагничивания для магнитных структур с различными условиями получения ПК: *а* – без дополнительного освещения с катодом в виде прямой пластины; *б* – при дополнительном освещении в синем свете с цилиндрическим катодом

Все эти факторы в свою очередь и влияют на магнитные характеристики структур на основе ПК. Кривые намагничивания, полученные в различных геометриях эксперимента, выявили магнитную анизотропию, ориентированную вдоль направления линейных пор и перпендикулярно плоскости кремниевых пластин (рис. 5). По измерению ферромагнитного резонанса была установлена природа этой анизотропии – анизотропия формы [5].

С помощью варьирования параметрами режимов анодирования возможно получить многослойные пористые структуры как с резким, так и с плавным изменением коэффициента преломления по глубине и создать оптические планарные волноводы. Это позволяет заранее смоделировать пористую многослойную структуру со ступенчатым или градиентным профилем изменения коэффициента преломления по глубине и обеспечить волноводные свойства таких структур, влияющих на передачу и затухание полезного сигнала.

Некоторые полученные многослойные образцы ПК имеют фотонную зонную структуру. Рассматриваемые структуры формируют запрещенную зону в спектре пропускания в диапазоне 400- 4000 см^{-1} . Из рис. 6 видно, что границы запрещенной зоны по мере изменения количества слоев смещаются из коротковолновой в длинноволновую часть спектра с заметным сужением. В центре зоны интенсивность светопропускания падает до фоновой.

Полученные спектры структур, подобных Брегговскому отражателю, сформированных по принципу периодического повторения сдвоенных слоев, указывают на увеличение высоты и

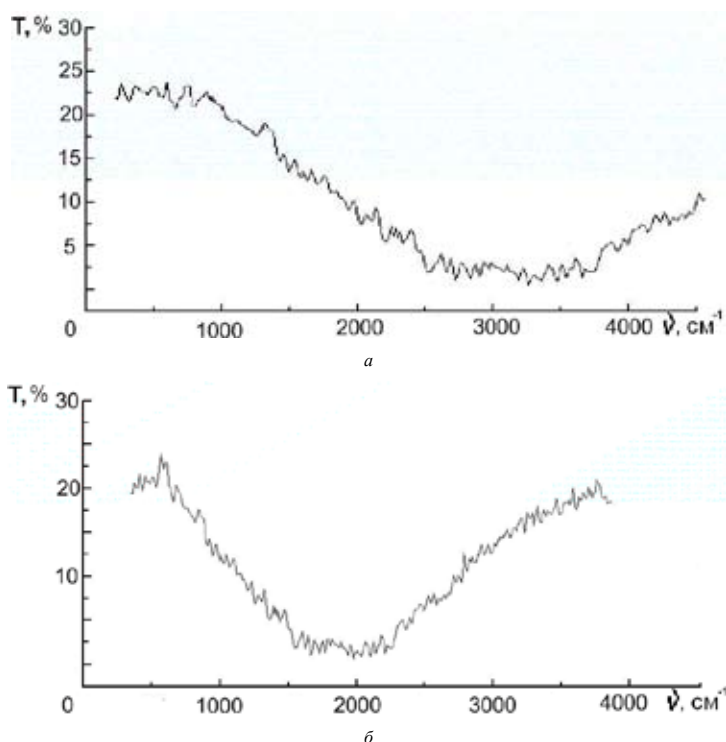


Рис. 6. Спектры пропускания многослойных структур на ПК: а – восьмислойной; б – двухслойной

сужение пика при увеличении числа повторений сдвоенных слоев с различным коэффициентом отражения (рис. 7).

Варьирование толщиной индивидуального слоя при той же пористости структуры приводит к смещению и появлению периодически повторяющихся пиков во всем частотном диапазоне (рис. 7 в). Увеличение и накопление пиков отражения в определенном частотном диапазоне происходит в результате повторений сдвоенных слоев за счет конструктивной интерференции. Посредством варьирования плотности тока может быть достигнут косинусоидальный профиль изменения коэффициента отражения, что сложно реализовать с другими подобными мультислойными диэлектрическими покрытиями.

Полученный спектр структуры, подобной фильтру Фабри – Перо, сформированной по принципу изменения коэффициента отражения Котр от слоя к слою, со структурой, изображенной на рис. 8 (полученная структура является комбинацией сдвоенных слоев с их инверторным копированием HL...HLLH...LN, где Н обозначен высокий Котр слоя, а L – низкий), характеризуется сдвоенным пиком вместо одного пика, который наблюдается в случае Брегговского отражателя. Резкий спад между двумя максимальными значениями в спектре пропускания указывает на сужение энергетической зоны. Этот резкий зонный переход в спектре сильно смещается в частотном диапазоне в зависимости от толщины двух слоев. Это указывает на возможность модификации частотных характеристик фильтра.

При реализации таких структур следует учитывать ряд факторов: дисперсию, абсорбцию и интерференцию, возникающих из-за структурных несовершенств на границе раздела между слоями, неоднородности их толщины и пористости, разной скорости фронта травления.

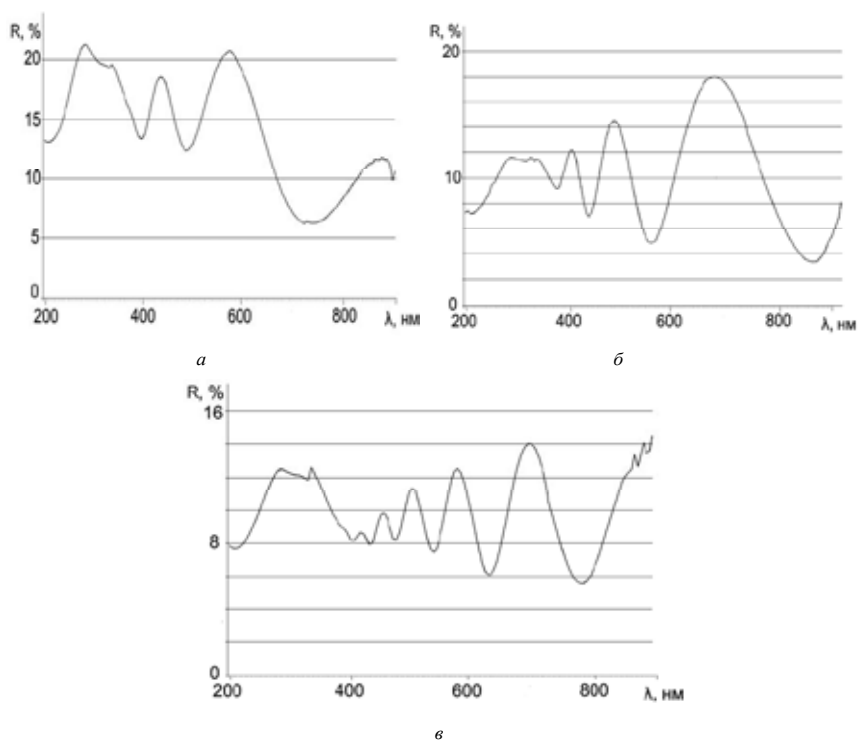


Рис. 7. Спектры отражения многослойных структур: а – двухслойная, б – шестислойная, в – восьмислойная

Электрохимическое анодирование комплексных слоев не оставляет слои, произведенные первыми без изменения их структуры и соответственно Котр. Коэффициент отражения при формировании первого сдвоенного слоя впоследствии, в связи с рядом повторений формирования сдвоенных слоев, уменьшается и смещается в длинноволновую часть спектра. Замечено, что структуры высокой степени пористости не могут быть достаточно стабильны и прочны механически и хрупко разрушаются во время их обработки. Это является одной из причин сложности работы с такими образцами. Структуры малой степени пористости оказываются более стабильными даже при малых толщинах. Кроме того, замечено, что многослойные пористые структуры более чувствительны к изменению во времени по сравнению с однослойными. Однако в результате введения ряда технологических решений возможно создание образцов с высокими стабильными параметрами. Так, ряд образцов практически не изменял своих свойств в течение 2-летнего периода хранения. Изменение формы и интенсивностей пиков отражения составило около 5 %. По литературным данным такое отклонение наблюдается уже в первые минуты и часы хранения подобных структур. Как ясно из полученных спектров, большой пик интенсивности может оказаться в ИК-области и быть достаточно большим как по амплитуде, так и по оптической плотности. В этом спектральном диапазоне возможно реализовать слои со сверхрешеткой и получить пористые кремниевые структуры, которые могут быть отделены под действием импульсного тока от подложки (включая режим электрохимического полирования). Эффективность таких структур может быть повышена за счет увеличения числа повторений сдвоенных пористых слоев, варьирования их толщины и пористости.

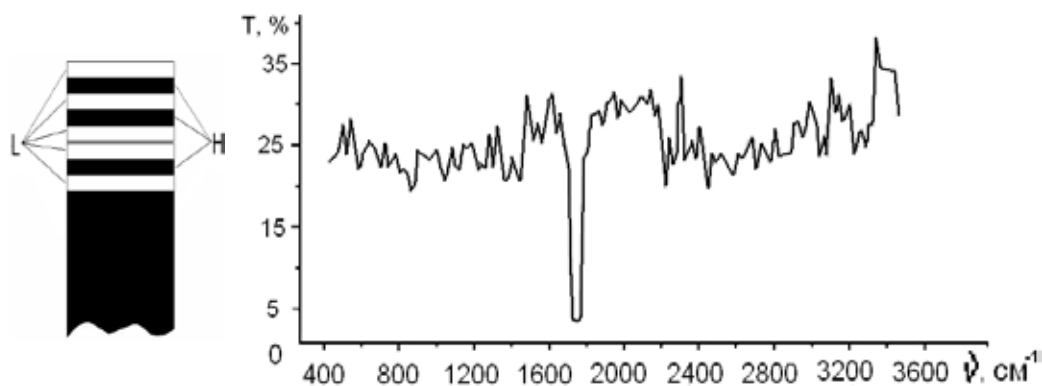


Рис. 8. Структура и спектр пропускания образца, полученного по принципу HL...HLLH...LH с периодическим повторением 60 двоянных слоев с различным Котр, при плотности тока $j_1 = 5 \text{ мА/см}^2$, $j_2 = 80 \text{ мА/см}^2$ и времени анодирования $t_1 = 18 \text{ с}$, $t_2 = 2 \text{ с}$ соответственно

Результаты экспериментальных исследований оптических структур на ПК указывают на возможное применение их в качестве фотонных кристаллов для создания многослойных структур с определенной зависимостью коэффициента преломления, а также для оптических отражателей и интерференционных фильтров в видимой и инфракрасной областях спектра в так называемых фильтрах Фабри-Перо. Спектры показывают возможность существенно изменить длину и амплитуду проходящего излучения с помощью варьирования технологических режимов получения пористых слоев. Для обеспечения спектрального сдвига полос поглощения и вариации амплитуды светопропускания необходима более сложная конструкция фотонной ячейки на основе пористого кремния. Возможно варьирование толщины, размерности структуры, химического состава поверхности пористых слоев, их сочетание друг с другом с различной степенью пористости и, соответственно, с различным коэффициентом преломления, а также создание фотонных структур на пористом кремнии с высокими спектральными характеристиками. Имеющая место анизотропия оптических свойств пористого кремния дает возможность создавать управляемые спектральные структуры.

Таким образом, использование процесса электрохимического анодирования с различными технологическими решениями позволит в едином производственном цикле или на одних и тех же линиях производственного процесса формировать структуры с различными электрофизическими (полупроводниковыми, диэлектрическими, оптическими и магнитными) свойствами, на основе которых возможно формировать элементы как для микроэлектроники, так и для микросистемной техники.

Статья публикуется при поддержке Программы развития Сибирского федерального университета.

Список литературы

1. Климов Д.М., Васильев А.А., Лучинин В.В., Мальцев П.П. Перспективы развития микросистемной техники в XXI веке // Микросистемная техника. 1999. № 1. С. 3-6.

2. Лучинин В.В. Микросистемная техника. Направления и тенденции развития // Научное приборостроение. 1999. Т. 9. №1. С. 3-18.
3. Ваннер В. И., Матвеев С. А., Семенова О. В., Юзова В. А. Исследование режимов получения наноразмерных кремниевых структур // Сб. науч. труд.: В 2 ч. Ч 2 / Под ред. Ю.В. Коловского. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. С. 286.
4. Матвеева С. А., Семенова О. В., Юзова В. А., Паршин А. С. Разработка технологических приемов получения пористого кремния. Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. / Под научн. ред. А. В. Сарафанова. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. С. 334-336.
5. Исхаков Р. С., Комогорцев С. В., Чеканова Л. А., Балаев А. Д., Юзова В. А., Семенова О. В. Магнитоструктурные исследования ферромагнитных нитей сплава Co Ni (P) в матрице пористого кремния // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29, вып. 7. С. 1-9.
6. Полочанина С. В., Чеканова Л. А., Семенова О.В. Получение нового магнитного материала на пористом кремнии для изделий микроэлектроники. Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. / Под научн. ред. А. И. Громыко, А. В. Сарафанова, отв. за вып. В. И. Ризуненко. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. С. 398-401.
7. Полочанина С. В., Полюшкевич А. В., Харлашин П. А., Корец А. Я., Семенова О.В., Чеканова Л. А. Пористый кремний в микроэлектронике и микросистемной технике. Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. / Ред.: А. И. Громыко, А. В. Сарафанова, отв. за вып. В. В. Сухотин, С. И. Трегубов. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Политехнический ин-т, 2007. С. 437 – 439.
8. Полюшкевич А. В., Харлашин П. А., Корец А. Я., Семенова О.В. Получение оптических структур на кремнии // 7-я региональная научная конференция «Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование» Сб. тезисов. 15 – 18 октября 2007 г. Владивосток: Ин-т автоматизации и процессов управления; Дальневосточный государственный ун-т. – 2007.
9. Харлашин П.А., Полюшкевич А.В., Корец А. Я., Семенова О.В. Перспективы применения пористых структур на кремнии с анизотропией и изменением коэффициента преломления в ближней инфракрасной области спектра // Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники»: Сб. науч. тр./ А. И. Громыко, А. В. Сарафанов. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. С. 270 – 273.
10. Полюшкевич А. В., Харлашин П. А., Московских М.С., Корец А. Я., Семенова О.В., Получение оптических пористых структур на кремнии для планарных волноводов. Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. / Ред.: А. И. Громыко, А. В. Сарафанов, отв. за вып. А. А. Левицкий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. С. 285 – 287.
11. Полюшкевич А. В., Харлашин П. А., Московских М.С., Корец А. Я., Семенова О.В., Создание фотонных структур на пористом кремнии. Сб. научн. тр. / Ред.: А. И. Громыко, А. В. Сарафанов, отв. за вып. А. А. Левицкий. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. С. 307 – 311.
12. Рябинин Е. А., Корец А. Я., Семенова О. В. Разработка методики тестирования пористых структур на кремнии. Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. научн. тр. / Под. научн. ред. А. И. Громыко, А. В. Сарафанова, отв. за вып. В. И. Ризуненко. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005, С. 395-398.

Development of Porous Structures on Silicon

**Elena A. Sakun,
Anna V. Polyushkevich, Pavel A. Harlashin,
Olga V. Semenova, Anatoly Ya. Korets**
*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk 660041 Russia*

In this article the review of experimental researches of the porous silicon structures received by electrochemical anodizing method of monocrystal silicon in fluoric acid solution is resulted. Optical and magnetic researches of porous structures are obtained.

Keywords: Porous silicon; porous structures on silicon; the microsystem engineering
