

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Меркушев Ф.Ф.

научный руководитель канд. техн. наук Юзова В.А.

Сибирский федеральный университет

Институт инженерной физики и радиоэлектроники

При анодном травлении монокристаллического кремния при определенных условиях на его поверхности формируются слои, по свойствам отличные от свойств монокристалла. В таких слоях образуются поры с различными формой и геометрическими размерами. Такие пористые слои получили название пористого кремния (ПК). Основным условием появления слоев пористого кремния является наличие на границе раздела электролит – полупроводник ионов фтора и дырок. Поэтому процесс формирования ПК проводят в агрессивной среде – растворах плавиковой кислоты (водных, спиртовых, водно-спиртовых), температура которых может быть различной. Так как в кремнии n-типа проводимости дырки являются неосновными носителями тока, то возникает необходимость их генерации, например светом. В кремнии p-типа освещение не обязательно.

При травлении положительный потенциал должен находиться на кремниевом образце. Источник питания может работать как в потенциостатическом (постоянное напряжение), так и в гальваностатическом (постоянный ток) режимах. Эти параметры должны регулироваться по величине. Длительность процесса анодирования также должна варьироваться в пределах от нескольких минут до 3 – 4 часов. Причем все указанные выше параметры процесса получения пористого кремния стараются поддерживать на постоянном уровне.

Таким образом, факторов, влияющих на структуру пористых слоев, большое количество и их условно можно разделить на следующие группы:

- факторы, зависящие от технологических режимов (напряжение на электрохимической ячейке, плотность тока, длительность процесса, режимы принудительного освещения образца, температура электролита и т. п.);
- факторы, зависящие от характеристик материала исходного образца (тип электропроводности и легирующей примеси, удельное сопротивление);
- факторы, зависящие от конструкции электрохимической ячейки (способ подвода электрической энергии к образцу: с помощью механического или жидкостного контакта, получение пористых слоев с одной или двух сторон образца).

Целью настоящей статьи является разработка установки получения пористого кремния, которая позволит управлять структурой пористых слоев и обеспечить воспроизводимость экспериментальных данных.

Для выполнения поставленной цели необходимо в первую очередь разработать конструкцию электрохимической ячейки.

Конструкции электрохимических ячеек самые разнообразные, но принципиально по способу подвода электрического потенциала к исследуемому образцу их можно разделить на два типа: ячейки с механическим и жидкостным контактами. Проще всего реализовать конструкции ячеек с механическим контактом, подводимым к исследуемому образцу. Такие ячейки используются наиболее часто. Существенным недостатком этих ячеек является то, что из-за неодинакового падения напряжения по поверхности полупроводникового образца свойства пористых слоев различны в разных точках поверхности. Поэтому приходится на обратную сторону кремниевых образцов наносить металлические покрытия, которые далеко не все стойки к действию растворов плавиковой кислоты. В противном случае возможно получение равномерных по поверхности пористых слоев на малых площадях (единицы мм²).

Ячейки с жидкостным контактом лишены описанного недостатка. Но из-за сложности в герметизации кремниевого образца между двумя камерами с растворами плавиковой кислоты они используются редко. Но именно ячейка с жидкостным контактом позволяет создавать пористый слой на поверхности как с одной стороны, так и с двух сторон. Решить проблему герметизации можно с помощью обжимных резиновых прокладок. А в качестве анодного контакта можно использовать тонкие металлические шайбы, плотно прилегающие к кремниевому образцу. Это обеспечит лучший контакт с поверхностью кремния. На основании рассмотренных требований была модернизирована ячейка [1] (рисунок 1).

Для удобства электрохимическая ячейка выполнена разборной и состоит из двух одинаковых камер травления 4, размещенных на основании 9. Камеры выполнены из химически стойкого материала (фторопласт-4). На торцах камер предусмотрены пропускающие свет окна, состоящие из прозрачной фторопластовой пленки 2 и органического стекла 1. Сверху на камерах выполнено несколько прорезей для установки контрэлектродов.

Исследованиями, проведенными в [1,2] показана возможность замены платиновых контрэлектродов на контрэлектроды, выполненные из никеля. Контрэлектроды 5 представляют собой пластины, размеры которых дают возможность удобного помещения их в прорези камер и удобного присоединения к источнику питания.

При использовании принудительного освещения через окна в середине обоих электродов вырезаются отверстия, диаметр которых равен диаметру пятна травления. Электролит заливается в камеру через верхнее заливочное отверстие, а для удобства удаления электролита из камер предусмотрены крышки 4.

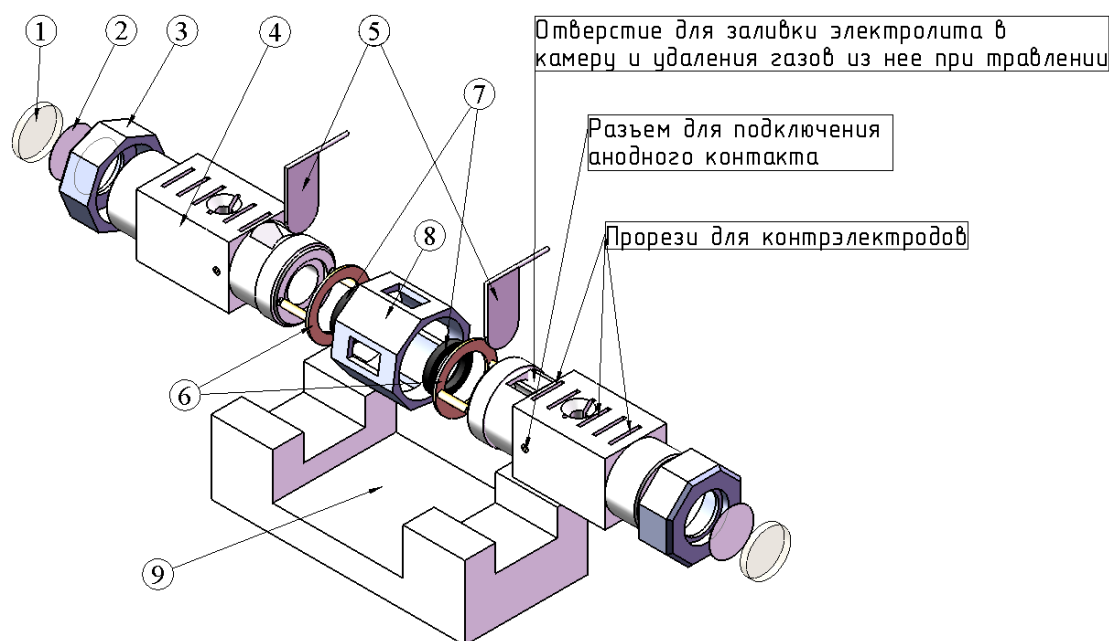


Рисунок 1 – ячейка для получения пористого кремния:

- 1- органическое стекло; 2- фторопластовая прозрачная пленка; 3-герметизирующая крышка; 4- камера ячейки травления; 5-никелевые контакты; 6- контактные шайбы(анодная группа); 7- герметизирующие резиновые прокладки; 8- стягивающая гайка; 9- фиксирующее основание

В качестве анодного контакта используется анодная группа 6, состоящая из двух металлических шайб, между которыми помещается образец кремния. Анодные контакты выполнены из никеля и имеют вид шайб с припаянными штырьками с одной стороны, которые помещаются в электропроводящие разъемы, расположенные на

корпусе камеры травления. Толщина контактных шайб подобрана таким образом, чтобы она была меньше толщины герметизирующих шайб, но при этом осуществлялся бы плотный контакт между образцом и анодом. Для избегания же замыкания и утечки электролита из камер, в месте соединения с образцом установлены резиновые прокладки.

Полный состав установки приведен на блок-схеме, рисунок 2.

В качестве блока питания 1 установки используется источник постоянного тока и напряжения, который имеет выходную характеристику с автоматическим расширением диапазонов и высокими параметрами регулировки.

Напряжение от источника питания 1 подается на электроды ячейки: «+» - на кремниевый образец, «-» - на контрэлектроды. В электрические цепи обеих камер включаются вольтметр и миллиамперметры, сигналы с которых поступают на блок управления 5 и далее сохраняются в памяти персонального компьютера 6 для построения ВАХ процесса травления.

Для управления и контроля над технологическим процессом травления ячейка помещается в герметичную камеру 2 (рисунок 2), позволяющую поддерживать температуру постоянной, в диапазоне температур от -25°C до $+30^{\circ}\text{C}$. Для визуального наблюдения за процессом травления и за самой ячейкой травления, камера выполнена из толстого, прозрачного оргстекла. С передней стороны камеры имеются окна для возможности работать с ячейкой. На обратной стороне камеры сделаны отверстия для присоединения воздухопроводов, с помощью которых производится откачка воздуха и паров из камеры в процессе травления.

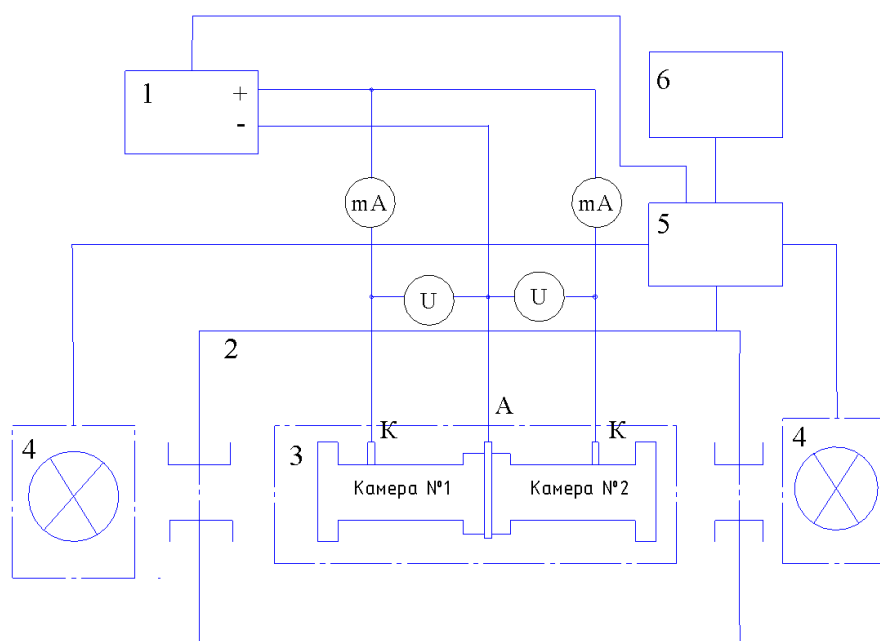


Рисунок 2 - Блок-схема установки электрохимического травления, А-анод; К-катод
1-блок питания; 2-герметичная камера; 3- электрохимическая ячейка травления; 4- система принудительной подсветки; 5-блок управления и контроля; 6-персональный компьютер

В ранних работе [3] было доказано, что при воздействии света с разной длиной волны, пористая структура кремния меняется. Поэтому в качестве регулирующего фактора травления, была введена система подсветки.

Система принудительной подсветки предназначена для освещения образцов в процессе травления. Система состоит из двух стоек, на которых крепятся источники белого света. Так же в осветительной системе предусмотрено использование

светофильтров, для изменения световой длины волны. Система запитывается с блока питания 1 и управляется через блок управления 5.

Блок управления 5, является устройством управления и контроля над установкой и процессом травления. К нему подключаются блок питания установки, система принудительного освещения и различные периферийные устройства. Контроль осуществляется визуально, либо с помощью цифровых средств.

Блок 6 в схеме (рисунке 2), это персональный компьютер. На нем производится обработка данных с установки, построение ВАХ и выявление закономерностей в процессе травления.

Разработанная установка была апробирована на получении пористого кремния с резкой сменой плотности тока. Удалось зафиксировать слои с различной пористостью (рисунок 3а). Проведение длительного травления кремния при стабильной температуре 0⁰С позволило получить толстые пористые слои с обеих сторон пластины (рисунок 3б)

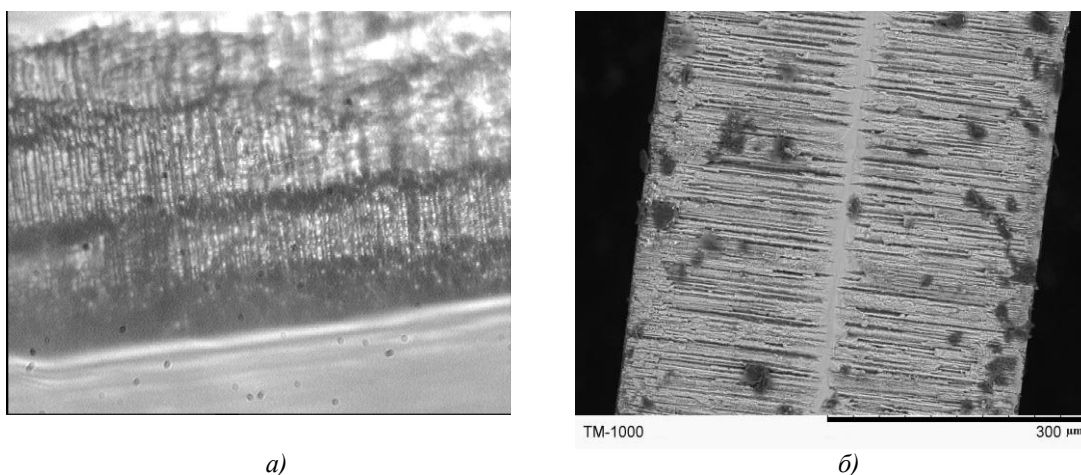


Рисунок 3 - Структуры пористого кремния, полученного с помощью разработанной установки

Таким образом, разработаны и апробированы основные части установки для получения пористого кремния. Показана работоспособность установки и возможность ее дальнейшей автоматизации для управления и контроля над технологическим процессом травления.

Список литературы:

1. Юзова В. А., Жарников Д. А., Пацков А. П., Метелкин Ю. С. Разработка электрохимической ячейки для получения пористых слоев на пластинах монокристаллического кремния / Юзова В. А., Жарников Д. А., Пацков А. П., Метелкин Ю. С. // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 270с.
2. Юзова В. А., Левицкий А. А., Харлашин П. А. Развитие технологии получения и исследования пористого кремния / Юзова В. А., Левицкий А. А., Харлашин П. А. // Журнал Сибирского федерального университета. – 2011, том 4. - №1. – С. 92 – 112.