

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР МАКРОПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ/ОКСИД ЦИНКА

Е. Б. Чубенко, А. Л. Долгий, А. А. Клышко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, eugene.chubenko@gmail.com*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается направление разработки микроэлектромеханических систем (МЭМС) и систем-на-кристалле, создаваемых по технологиям микроэлектроники. Такие устройства могут включать датчики, системы регистрации, обработки и передачи сигналов. Кроме того, такие устройства могут быть автономными и получать энергию от встроенных внутренних источников. В качестве таких источников могут, например, использоваться фотопреобразователи. Так как обычно в качестве подложек при изготовлении МЭМС и систем-на-кристалле используются кремниевые пластины, то актуальной становится задача изготовления более эффективных преобразователей световой энергии на основе монокристаллического кремния.

Одним из решений, позволяющих увеличить эффективную площадь p - n перехода в фотопреобразователях, является анодная обработка кремния, приводящая к формированию слоя пористого кремния [1]. Для уменьшения себестоимости технологии для получения p - n перехода вместо проведения диффузии для инверсии проводимости поверхностного слоя кремния, можно использовать электрохимическое осаждение полупроводника с противоположным кремниевой подложке типом проводимости [2]. В качестве такого полупроводника может выступать оксид цинка, имеющий собственную электронную проводимость. Оксид цинка прозрачен в видимой области электромагнитного спектра и потому может одновременно служить прозрачным проводящим электродом фотопреобразователя.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для изготовления экспериментальных образцов фотопреобразователей использовались пластины монокристаллического кремния дырочного типа проводимости КДБ-12 с кристаллографической ориентацией (100). На обратную полированную сторону пластин для повышения равномерности распределения тока при последующих электрохимических процессах напылялся слой алюминия толщиной 0,1 мкм.

Слой макропористого кремния формировался методом электрохимического анодирования во фторопластовой ячейке. Для этого использовался раствор на основе фтороводородной кислоты и диметилсульфоксида (ДМСО) с соотношением компонентов $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_6\text{OS} = 10:46$. Анодирование проводилось при плотности тока 8 мА/см^2 в течение 15 минут. Толщина сформированного слоя пористого кремния составляла 12 мкм, диаметр пор – 1–1,5 мкм. После формирования слоя макропористого кремния подложка тщательно промывалась дистиллированной водой до полного удаления остатков ДМСО.

Осаждение оксида цинка проводилось в 0,05 М растворе $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ при температуре 80°C и постоянном освещении поверхности образца светом от лампы накали-

вания. Плотность тока осаждения составляла $7,5 \text{ мА/см}^2$. Процесс протекал в течение 20 минут. Контроль конформности покрытия всей поверхности макропористого кремния оксидом цинка осуществлялся по резкому возрастанию клеммного напряжения.

После промывки в дистиллированной воде и сушки на центрифуге на поверхность подложки наносилась пленка маскирующего материала. На открытые участки оксида цинка электрохимическим методом наносилась пленка никеля из раствора на основе сульфата и хлорида никеля. Осаждение проводилось в течение 30 минут. Толщина сформированного слоя составляла 5 мкм.

Контакт к полученной структуре осуществлялся при помощи серебряной проводящей пасты. Один из выводов был подведен к слою алюминия на обратной стороне кремниевой пластины, второй вывод был подведен к слою никеля на поверхности.

Для исследования вольтамперных характеристик (ВАХ) использовалась установка на основе потенциостата ПИ-50-1.1, управляемого при помощи персонального компьютера через ЦАП/АЦП National Instruments PCI-6221.

Запись спектральных характеристик фотопреобразователей осуществлялась на установке на основе монохроматора ЛОМО МДР-23. Для освещения образца использовалась лампа накаливания с вольфрамовой спиралью. Калибровка установки проводилась пирометрическим детектором Oriel Instruments 70123, имеющим линейную чувствительность в рассматриваемом спектральном диапазоне.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Типичная ВАХ полученных структур макропористый кремний/оксид цинка при отсутствии освещения внешними источниками света приведена на рис. 1.

Положительные значения напряжения соответствуют прямому включению структуры, то есть когда на кремниевую подложку дырочного типа проводимости приложен положительный потенциал, а на слой оксида цинка, имеющего естественный электронный тип проводимости, отрицательный. ВАХ имеет вид, характерный для диодных структур. Пороговое напряжение составляет величину порядка 0,25 В.

Эта

величина близка к теоретической величине барьера для электронов на границе кремний/оксид цинка (рис. 2) [3]. Однако следует также принять во внимание, что контакт оксид цинка / никель также не является омическим и вносит некоторые искажения в полученную ВАХ. Напряжение электрического пробоя на обратной ветви ВАХ превышало 100 В.

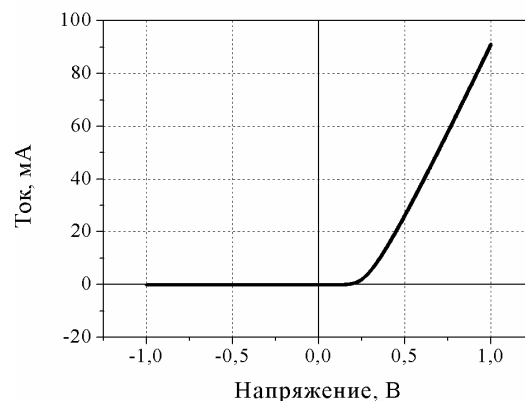


Рис. 1. ВАХ структуры макропористый кремний/оксид цинка

Нормированная кривая спектральной чувствительности приведена на рис. 3. Она имеет вид характерный для фотоприемников на основе кремния.

Из приведенного на рис. 3 спектра видно, что в длинноволновой части чувствительность полученной структуры выше, чем у кремниевых фотоприемников. Длинноволновой край спектральной чувствительности доходит до 1200 нм, что составляет 1,058 эВ. Эта величина меньше ширины запрещенной зоны кремния (1,12 эВ). Расширение кривой спектральной чувствительности может быть связано со структурой слоя пористого кремния. Наличие большого количества дефектов, внесенных при анодной обработке кремния [4], приводит к появлению дополнительных уровней в

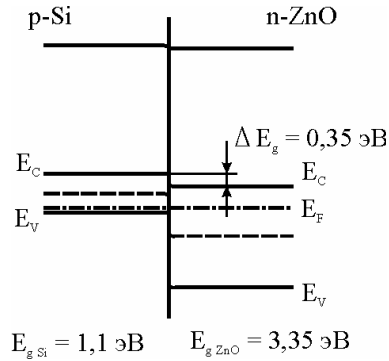


Рис. 2. Схематическая зонная диаграмма гетероструктуры макropористый кремний/оксид цинка

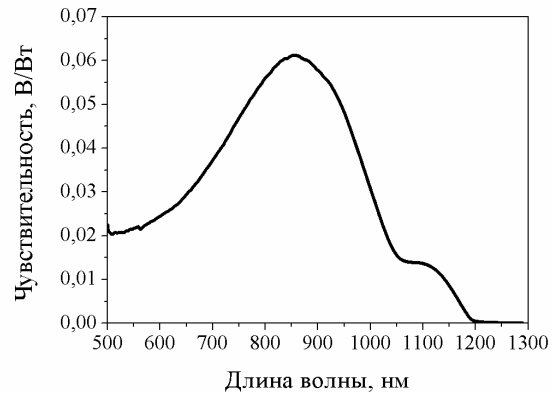


Рис. 3. Спектральная чувствительность гетероструктуры макropористый кремний/оксид цинка

запрещенной зоне кремния, энергия ионизации которых меньше энергии ширины запрещенной зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены структуры на основе монокристаллического кремния и оксида цинка. Полученные структуры имеют более широкую спектральную чувствительность, чем обычные кремниевые фотопреобразователи. Данные структуры могут быть использованы в качестве преобразователей световой энергии в электрическую или как дискретные фотодетекторы. Так как технология их изготовления достаточно проста и не включает высокотемпературных обработок, то данные приборы могут быть включены в качестве составной части систем-на-кристалле и МЭМС устройств.

Исследования выполнялись в рамках проекта «Нанотех-6.12.3» ГКПНИ «Наноматериалы и нанотехнологии» Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bondarenko, V. P. Optoelectronic applications of porous silicon / V. P. Bondarenko, V. A. Yakovtseva // Emis datareview series. 1997. № 18. P. 356.
2. Herino, R. Impregnation of porous silicon / R. Herino // Emis datareview series. 1997. № 18. P. 66.
3. Ozgur, U. A comprehensive review of ZnO materials and devices / U. Ozgur [et al.] // Journal of Applied Physics. 2005. V. 98. P. 1301.
4. Grosman, A. Chemical composition of 'fresh' porous silicon // A. Grosman, C. Ortega // Emis datareview series. 1997. № 18. P.145.