

А.Й.Бобоев, Ж.А.Уринбоев, Ш.И.Одилов, Ш.У.Турсунов,

К.Х.Марифжонов, А.А.Солиев

Андижанский государственный университет им. З.М. Бабура

г. Андижан, Узбекистан.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ РОДИЯ И ИРИДИЯ НА ЁМКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Si-SiO₂ СТРУКТУР

Аннотация. Обнаружено, что легирование полупроводниковой подложки атомами Rh и Ir ведет к увеличению значений плотности поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO₂. Определено, что поверхностные состояния, обусловленные наличием примеси Rh и Ir являются эффективными генерационными центрами.

Ключевые слова: полупроводник, кремний, кремний-диоксид, подложка, амфотерный примесь, родий, иридий, граница раздела.

A.Y.Boboyev, J.A.Urinboyev, Sh.I.Odilov, Sh.U.Tursunov,

K.Kh.Marifjonov, A.A.Soliyev

Andijan State University named after Z. M. Babur,

Andijan, Uzbekistan.

INFLUENCE OF IMPURITY ATOMS OF RHODIUM AND IRIDIUM ON CAPACITANCE CHARACTERISTICS OF Si-SiO₂ STRUCTURES

Annotation. It is found that the doping of the semiconductor substrate with Rh and Ir atoms leads to an increase in the density of the surface states at the Si-SiO₂ interface. It is determined that the surface states due to the presence of Rh and Ir impurities are effective generating centers.

Keywords: semiconductor, silicon, silicon dioxide, substrate, amphoteric impurity, rhodium, iridium, interface.

Известно [1], что взаимодействие атомов примеси, введенной в полупроводниковую подложку с собственными дефектами переходного слоя на границе раздела полупроводник - диэлектрик может существенным образом влиять на её электрофизические характеристики. Исследования влияния амфотерных примесей родия (Rh) и иридия (Ir) на характеристики границы

раздела кремний-диоксид кремния, получаемой термическим окислением поверхности Si показывают, что легирование полупроводниковой подложки атомами этих элементов позволяет управлять свойствами границы раздела Si-SiO₂ [2,3]. Поскольку атомы Rh и Ir имеют сходную конфигурацию внешних электронных оболочек (4d⁸ и 5s¹ для Rh и 5d⁷ 6s² для Ir) и близкие значения ионных радиусов (порядка 0,65 Å) [4] можно предположить, что взаимодействие этих примесей с дефектами полупроводниковой подложки и переходного слоя МДП структур должны определяться одними и теми-же механизмами.

В связи с этим в данной работе приводятся результаты исследований влияния Rh и Ir на ёмкостные характеристики МДП структур. Исследуемые образцы формировались при термическом окислении кремниевой подложки, предварительно легированной примесями Rh и Ir. Окисление проводилось в хлорсодержащей среде при температуре 900°C. Толщина полученного слоя SiO₂ составляла 900-1000 Å. Управляющий электрод диаметром 2 мкм² наносился на поверхность SiO₂ путем вакуумного напыления алюминия. На противоположной стороне структуры формировались омические контакты к кремниевой подложке. В качестве подложки использовались пластины n-Si марки КЭФ-15 с кристаллографической ориентацией (100).

Измерение электрофизических характеристик границ раздела полученных образцов проводились при помощи методов высокочастотных C-V характеристик изотермической релаксации ёмкости. Для выявления эффектов, связанных с влиянием примеси Rh и Ir те же измерения, проводилось и для контрольных структур, изготовленных путем аналогичных термообработок и окисления на основе нелегированного кремния.

Исследования показали, что в легированных структурах темновые C-V характеристики сдвинуты, по сравнению с контрольными в сторону отрицательных напряжений (рис. 1), что свидетельствует об увеличении положительного заряда на границе раздела Si- SiO₂.

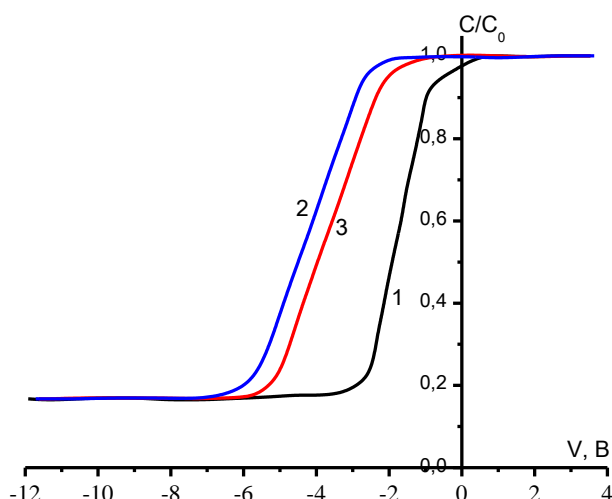


Рис.1 C-V характеристики контрольных МОП-структур (кривая 1) и структур легированных родием (кривая 2) и иридием (кривая 3)

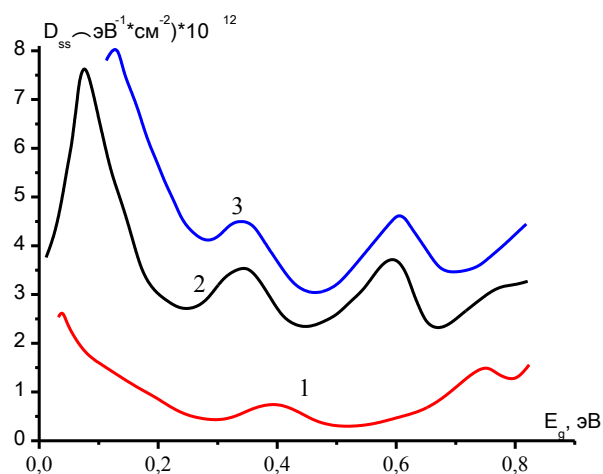


Рис. 2. Спектры распределения плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны кремния для нелегированных структур (кривая 1), структур, легированных родием (кривая 2) и иридием (кривая 3)

На рис.2 приведены спектры распределения плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны кремния легированных Rh и Ir и контрольных структур. Из представленных зависимостей видно, что введение примесей Rh и Ir в кремниевую подложку ведет к увеличению значений плотности поверхностных состояний и усложнению спектра их распределения.

Так, в структурах с примесью родия наблюдаются локальные пики в распределении плотности поверхностных состояний при энергиях $E_c - 0,16 \pm 0,03$ эВ, $E_c - 0,34 \pm 0,03$ эВ и $E_c - 0,55 \pm 0,03$ эВ, а в структурах с примесью иридия аналогичные пики наблюдаются при энергиях $E_c - 0,33 \pm 0,03$ эВ и $E_c - 0,55 \pm 0,03$ эВ. Следует заметить, что высота пиков в легированных структурах меняется от образца к образцу в пределах $40 \div 50\%$, что указывает на неоднородность параметров приповерхностного слоя у границы раздела Si-SiO₂. Также обращает на себя внимание совпадение значений энергий, при которых наблюдаются максимумы в распределении плотности состояний и близкие по абсолютным значениям изменения величины поверхностного заряда в структурах, легированных Rh и Ir, что подтверждает высказанное ранее предположение о сходных механизмах, определяющих поведения указанных примесей в переходном слое у границы раздела. Кроме того, энергетическое положение

максимумов плотности поверхностных состояний в легированных структурах совпадает с приведенными в [5] значениями энергии ионизации примесных центров, создаваемых родием и иридием в запрещенной зоне Si ($E_c-0,33$ и $E_c-0,55$ для Rh и $E_c-0,32$ и $E_c-0,58$ для Ir). Это указывает на примесный характер данных пиков, обусловленных наличием атомов Rh и Ir на границе раздела Si-SiO₂. Наличие же максимума плотности поверхностных состояний при энергиях $E_c-0,16$ эВ может быть обусловлено собственными дефектами кремниевой подложки и переходного слоя у границы раздела (например, А-центрами), возникающими в процессе термообработки, связанных с диффузией примеси и термическим окислением.

Более высокая температура диффузии Rh приводит к увеличению концентрации таких дефектов. Поэтому в структурах, легированных Rh этот локальный максимум ярко выражен, а в структурах, легированных иридием практически отсутствует. Отметим также, что атомы примеси Rh и Ir могут создавать энергетические уровни и в нижней половине запрещенной зоны Si, однако их возникновение сильно зависит от условий диффузионного легирования, последующего охлаждения и термообработки [5]. Поэтому в спектре поверхностных состояний исследованных структур однозначное установление их не удастся.

Таким образом, в результате проведенных исследований обнаружено, что легирование полупроводниковой подложки атомами Rh и Ir ведет к увеличению значений плотности поверхностных состояний на границе раздела Si-SiO₂. Совпадение энергетического положения максимумов плотности поверхностных состояний с энергиями ионизации глубоких центров, создаваемых атомами Rh и Ir в запрещенной зоне Si, свидетельствует о том, что наблюдаемое увеличение поверхностного заряда обусловлено присутствием атомов примеси Rh и Ir в переходном слое на границе раздела Si-SiO₂. Обнаруженная в кремнии разница между значениями локальных максимумов плотности поверхностных состояний и значениями скоростей поверхностной генерации свидетельствует о том, что поверхностные состояния, обусловленные наличием примеси Rh и Ir на границе

раздела являются эффективными генерационными центрами. Более значительное увеличение поверхностных генерационных токов по сравнению с объемными в легированных структурах объясняется процессами перераспределения примеси в полупроводниковой подложке при ее термическом окислении.

Литературы

[1]. Берман Л.С., Лебедев А.А. Ёмкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках Л.: Наука, 1981-176с.

[2]. Власов С.И., Зайнабидинов С.З., Насиров А.А. Влияние ирридия на тензочувствительность МДП-структур // Известия АН УзССР-1988, №2, С.58-60.

[3]. Власов С.И., Насиров А.А., Зайнабидинов С.З., Парчинский П.Б., Абдуазимов В. Влияние протонного облучения на плотность поверхностных состояний в МДП-структурах с примесью Rh // Узбекский физический журнал-1994, №2, С.3 1-33.

[4]. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки М.: Метеллургия, 1990 - 336с.

[5]. Акчурин Р.Х., Андрианов Д.Г., Берман Л.С. и др. Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями - под редакцией Фистуля В.И. М.: Металлургия, 1987 - 232 с.