

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИИ СЕРЫ В КРЕМНИИ

Примеси халькогенов в германии и кремнии являются глубокими двухзарядными донорами. Изучение их представляет интерес как в прикладном плане: для создания оригинальных фотоприемных устройств, а также для развития теории глубоких примесных состояний. Ранее на кафедре физики полупроводников и наноэлектроники были обнаружены в германии переходы ионов халькогенов в возбужденные состояния, и исследованы специфические явления, проявлявшиеся в экспериментах.

Возбужденные состояния теллура, селена и серы оказались связанными с различными экстремумами зоны проводимости, что обусловило принципиально различное проявление их в спектрах поглощения и фотопроводимости.

Представляет интерес исследовать поведение ионов халькогенов в кремнии, имеющем многодолинную зону проводимости, отличающуюся от германия.

В литературе опубликовано значительное число работ, посвященных исследованию энергетического спектра халькогенов в германии и кремнии, но в них отсутствуют экспериментальные данные, сходные с полученными в нашей лаборатории. Это можно объяснить тем, что для наблюдения упоминавшихся явлений с участием возбужденных состояний ионов необходимы образцы с точно выдержанным уровнем компенсации доноров-халькогенов акцепторами.

На начальном этапе исследований поведения халькогенов в кремнии проводится освоение технологии легирования. Технологически наиболее приемлем метод введения халькогенов в кремний диффузией. Кремниевые пластины р-типа проводимости толщиной 0,5 мм травились в смеси плавиковой и фтористоводородной кислот и помещались в кварцевые ампулы. После откачки до давления  $10^{-6}$  мм Hg ампулы с образцом прогревались при  $1000^{\circ}\text{C}$  в течение получаса, охлаждались до комнатной температуры, и при продолжавшейся откачке в них вводилась сера в количестве 10 мг на  $5\text{ см}^3$  объема. Отпаянная ампула нагревалась при температурах  $1000\text{...}1100^{\circ}\text{C}$  30 часов и охлаждалась в воде для предотвращения перехода примеси в электрически неактивную форму.

Поверхность пластин после диффузии имеет характерный вид с зеркальными плоскостями и ямками в виде четырехгранных пирамид. Это изменение вызвано образованием летучих соединений кремния с халькогенами, сопровождающимся эпитаксиальным переносом материала образцов и селективным травлением поверхности.

Методом эффекта Холла измерена зависимость растворимости серы от температуры, достигающей при  $1100^{\circ}\text{C}$   $6 \times 10^{15}\text{ см}^{-3}$ . Энергетические состояния атомов и ионов серы отстоят от дна зоны проводимости на 0,19 и 0,37 эВ соответственно. Измерения выполнены на образцах из материала р-типа с удельным сопротивлением 100 Ом·см (КДБ-100). Для контроля равномерности легирования по толщине, с обеих сторон пластин сошлифовывался слой материала толщиной 100 мкм. При повторных холловских измерениях результаты не отличались от первоначальных.

На основании полученных данных рассчитана концентрация дырок в исходном материале для получения необходимого уровня компенсации. При легировании кремния серой необходимо применять материал КДБ-5 с концентрацией акцепторов порядка  $3 \times 10^{15}\text{ см}^{-3}$ .