

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОПОЛЕВОЙДИФФУЗИИ**

**К.С. Аюпов, З.Б.Худойназаров, С.А. Валиев, Б.Н. Хакимов,
Д.М. Мусаева**

Ташкентский государственный технический университет

E-mail: siroj2@yandex.ru

Исследование взаимодействия примесных атомов между собой и другими дефектами кристаллической решетки открывает новые возможности в получении полупроводниковых материалов с наноразмерными структурами с уникальными электрофизическими свойствами. При этом особый интерес представляют такие примесные атомы которые обладают большим коэффициентом диффузии и находятся в различных состояниях в кристаллической решетке, а также активно взаимодействуют между собой и другими дефектами кристаллической решетки. Определение оптимальных термодинамических и технологических условий взаимодействия примесных атомов является одной из главных задач формирования примесных кластеров. Практически это есть управление химической реакцией в твердых телах, которая позволяет создать, вместо дискретных одиночных примесных атомов, различные нанокластеры обладающие аномальными свойствами отличными от свойств дискретных примесных атомов. Управление взаимодействием примесных атомов между собой и дефектами решетки, позволяет разработать новые технологические решения получения принципиально новых полупроводниковых материалов с уникальными свойствами.

Особенности электронной структуры нанобъектов объясняются усилением квантовых свойств, связанных с уменьшением размеров. Корпускулярно-волновой дуализм позволяет приписать каждой частице определенную длину волны. В частности, это относится к волнам, характеризующим электрон в кристалле, к волнам, связанным с движением элементарных атомных магнитных моментов и пр. Необычные свойства наноструктур затрудняют их тривиальное техническое использование и одновременно открывают совершенно [1-3] неожиданные технические перспективы. Как известно одним из способов получения наноматериалов является самоорганизация – наиболее удивительное и интересное явление природы. В природе известно [4] много самоорганизующихся систем. Теория самоорганизации имеет дело с открытыми нелинейными диссипативными, это– особое динамическое состояние системы, которое можно определить как качественно своеобразное макроскопическое

СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

проявление процессов, протекающих на микроуровне системами, далекими от состояния равновесия.

Диффузия — один из старейших методов, который многие десятилетия успешно используется в технологии получения полупроводниковых приборов, в том числе и современных приборов, и продолжает развиваться и совершенствоваться. Один из способов диффузии — диффузия легирующих примесей из твердотельных пленочных диффузантов [5]. Этот способ успешно конкурирует с широко распространенным методом диффузии в потоке газа-носителя, прежде всего, в силу того, что его реализация не требует сложного оборудования для контроля и поддержания состава газовой фазы, предоставляет широкий выбор диффузантов, возможность использования источников, содержащих несколько легирующих элементов, и получения низких поверхностных концентраций в одностадийном процессе диффузии.

Электроперенос марганца в кремнии исследовался в интервале температур 800-1250 С, время отжига варьировалось от 20 мин. до 10 часов. Из полученных кривых распределения марганца в прианодном и прикатодном образцах были определены подвижность и заряд ионов при различных температурах по формулам

$$\mu = (\Theta^+ - \Theta^-) / N_0 E t \quad (1)$$

$$q = (D/E) d/dx \ln(N^+ N^-) \quad (2)$$

$\Theta^+ \Theta^-$ - сумма количества вещества, находящегося в момент объеме обоих образцов, N_0 - граничная концентрация примесей при $X = 0$, E - напряженность электрического поля; N^+ , N^- концентрации примесей на равных расстояниях от поверхности в прианодном и прикатодном образцах.

При конструировании установки необходимо учитывать сильное изменение сопротивления полупроводникового образца при его нагреве протекающим током. Нагрев полупроводника, особенно компесированного, приведет к очень сильному изменению удельного сопротивления полупроводника, что при питании от источника напряжения приводит в лавинообразному нарастанию тока и расплавлению образца. Для ослабления этих эффектов необходимо подавать ток необходимый для электродиффузии от источника, близкого по свойствам к источнику тока. Для уменьшения скачков тока необходим, как правило, предварительный подогрев образца от внешнего источника тепла. Это минимизирует перепад сопротивлений образца и позволяет регулировать ток электродиффузии более плавно.

СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

Ток электродиффузии необходимо менять в широких пределах, так как для каждой примеси существует оптимальная плотность тока, при которой перенос примеси максимален. Это обусловлено тем, что кроме собственно переноса в электрическом поле, существует механизм «увлечения» ионов и даже атомов потоком электронов. За счет этого при изменении плотности тока может измениться даже направление электропереноса.

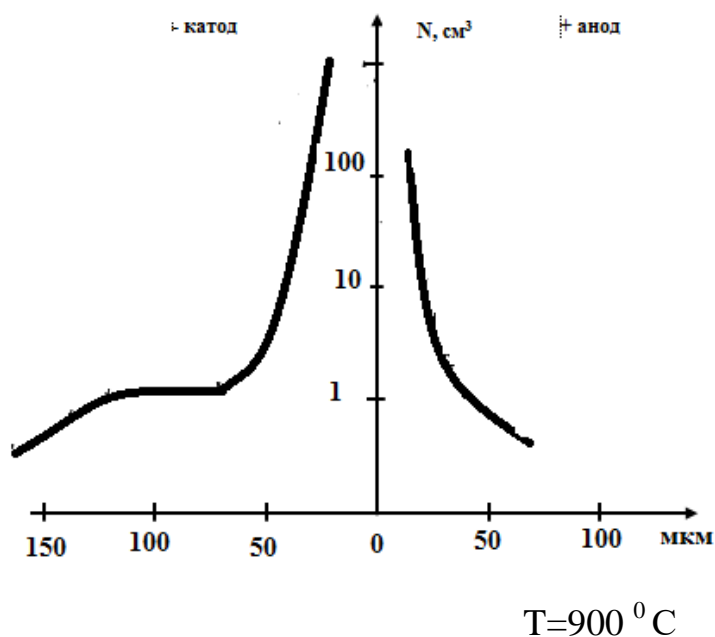


Рисунок 3.9 - Электродиффузия примесных атомов марганца

Использованная литература

1. Гудзев В.В. Исследование глубоких энергетических уровней в барьерных структурах на основе кристаллического и аморфного гидrogenизированного кремния. Канд. диссертация. Рязань. 2015. 164 с.
2. Татохин А., Буданов А.В., Семёнов М.Е., Руднев Е.В. Определение параметров глубоких уровней в запрещенной зоне полупроводника методом анализа зависимостей изотермической релаксации емкости. Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. Том 16, № 4, С. 491-502.
3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Радио и связь, 1990.- 264 с.
4. Ломметев Е.А., Михайлов П.Г., Аналиева А.У., Сазонов А.О. Многофункциональные датчики физических величин. Принципы

СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

построения, модели и конструкции // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2015, №2 (12).- с. 57-62.

5. Бахадирханов, Н.Ф.Зикриллаев, Х.М.Илиев “Yarim o'tkazgichlar fizikasi” ISBN: 978-9943-24-215-9 @ “Tafakkur” nashriyoti 2022 y. 480 bet.

6. Bakhadyrkhanov M.K., Piiev Kh.M., Mavlonov G.Kh., Ayupov K.S., Isamov S.B., Tachilin S.A. Silicon with Magnetic Nanoclusters of Manganese Atoms as a New Ferromagnetic Material. Technical Physics, 2019, Vol. 64, No. 3, pp. 385–388.

РАСЧЕТ ИОНОВ КЛАСТЕРОВ МАРГАНЦА В КРЕМНИИ

К.С. Аюпов, С.А. Валиев, Д.М. Мусаева, Б.Н. Хакимов

Ташкентский государственный технический университет

E-mail: siroj2@yandex.ru

Кинетика процесса образования ионных пар может быть охарактеризована временем релаксации. В работе [1] на основе общего рассмотрения процесса образования ионных пар были даны основы его кинетики. Ниже кратко остановимся на результатах этой работы. Процесс образования ионных пар в первом приближении можно представить себе как захват подвижных ионов донора неподвижными ловушками — ионами акцептора, которые создают вокруг себя сферическое силовое поле радиусом R , за пределами которого действие поля можно считать несущественным. Можно также считать, что если положительный ион попадает в пределы этой сферы, то он оказывается «захваченным» ловушкой. Вероятность захвата пропорциональна произведению объемных концентраций, или плотностей, доноров и акцепторов, которые предполагаются одинаковыми.

Если эти концентрации обозначить через n , то скорость процесса можно охарактеризовать следующим выражением:

$$-dn/dt = Kn^2 \text{ где } K \text{ — константа, } t \text{ — время.}$$

Этот закон должен быть справедливым, если средний свободный путь подвижного положительного иона велик по сравнению с расстоянием между ионами и если возможность захвата его ловушкой — акцептором — при первом столкновении мала. Однако в нашем случае не только средний свободный путь положительного иона намного меньше, чем расстояния между ионами, но и вероятность его захвата при первом столкновении очень велика. Следовательно, положительный ион должен диффундировать или совершать беспорядочные перескоки, а при столкновении с акцептором — захватываться и образовывать ионную пару.