

- Юлдашев Н.Х., Каримов М. Люкс–амперная характеристика пленочных поликристаллических фоторезисторов из CdSe с продольной фотопроводимостью // Узбекский физический журнал - Ташкент. 2005. -№ 4 (7). - С. 254-259
- Лашкарев В.С., Любченко Л.К., Шейнман М.К. Неравновесные процессы в полупроводниках. – Киев.: Наукова думка, 1981.- 270 с.
- Yuldashev, N.Kh., Mamadiyeva, D.T., Mirzaev, V.T. and Xidirov, D.Sh. (2022) Effect of Heat Treatment Conditions on Photo sensitivity of CdSe_xSi_{1-x} Polycrystalline Films. Journal of Applied Mathematics and Physics, 10, 3208-3217.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРЕМНИЯ ЛЕГИРОВАННОГО ПРИМЕСНЫМИ АТОМАМИ ГЕРМАНИЯ

¹И.Ф. Зикриллаев, К.С. Аюпов, ²Н. Наркулов, ¹Ф.Э. Уракова,

¹Г.А. Кушиев, ³О.С. Ньматов, ¹Т.Э. Рашидов

¹Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

²Национальные университет Узбекистана

³Самаркандский государственный университет, Узбекистан

Аннотация: Результаты исследования электрофизических и магнитных свойств образцов кремния диффузионно легированного примесными атомами германия показали, что примесные атомы германия в кремнии образуют бинарные соединения типа Ge_xSi_{1-x}, концентрация которых меняется по глубине исходного кремния. Определены оптимальные электрофизические параметры и магнитные свойства полученных образцов кремния, которые позволили показать возможности создания на их основе новые виды датчиков и приборов в полупроводниковой электронике. Эти исследования позволяют развивать направление в области материаловедения с магнитными свойствами и создавать эффективные фотоэлементы в фотозенергетике.

Ключевые слова: кремний, германий, примесь, спин, магнитосопротивление, бинарное соединение, диффузия

Сегодня особое внимание уделяется получению новых видов материалов путем формирования кластеров примесных атомов на поверхности и в объеме кремния, которые приводят к изменению фундаментальных параметров исходного материала. Такие исследования относятся к одним из современных и актуальных направлений в области физики полупроводников. Для получения наноразмерных структур примесных атомов в кремнии современными методами молекулярно-лучевой эпитаксии или ионной имплантации требуется использование дорогостоящих технологических установок и достаточно больших энергетических затрат [1]. В этом направлении одной из важных задач является разработка диффузионной технологии формирования наноразмерных бинарных соединений примесных атомов, позволяющих получить не только достаточно большую концентрацию в объеме кремния, но и материала с заданным составом, структурой и электрофизическими параметрами. В связи с этим требуется разработать новые диффузионные методы легирования из газовой фазы для образования бинарных соединений примесных атомов в объеме кремния, в которых были обнаружены многие новые интересные физические явления.

Примесные атомы германия в кремнии могут образовать бинарные соединения Ge_xSi_{1-x} (A^{IV}B^{IV}), которые приводят к изменению электрофизических и фотоэлектрических

параметров исходного кремния. Выбор примесного атома германия обусловлен тем, что атомы германия могут без ограничения раствориться в кремнии, что даёт основу образованию бинарных соединений Ge_xSi_{1-x} в кристаллической решетке, приводящей к увеличению подвижности носителей заряда относительно исходного чистого кремния позволяющего создать быстродействующие электронные устройства, таких как транзисторы, переключатели и датчики [2].

Из анализа литературных данных известно, что бинарные сплавы SiGe на поверхности кремния приводят к образованию гетероструктур ширины запрещенной зоны, которая меняется от E_g=0.68 эВ (для чистого германия) до E=1.12 эВ (для чистого кремния), созданию эффективных солнечных элементов.

Разработанная воспроизводимая технология позволяет получить образцы кремния с бинарными соединениями Ge_xSi_{1-x} для исследования электрофизических и оптических свойств.

Бинарные соединения Ge_xSi_{1-x} полученные на основе диффузионного легирования примесных атомов германия на поверхности и при поверхностном слое кремния имеют особое место в электронике для создания быстродействующих приборов с новыми функциональными возможностями и эффективными фотоэлементами.

Для получения доменной структуры в образцах кремния содержащих кремний-германиевые соединения типа Ge_xSi_{1-x} магнитные измерения проводились по двух проходной методике. На первом проходе определяется рельеф поверхности кремния, легированного атомами германия по «Контактному» или «Прерывисто-контактному» («полуконтактному») методу. А во втором проходе каждой линии сканирования (или изображения в целом) кантилевер приподнимается над поверхностью и сканирование осуществляется в соответствии с запомненным рельефом магнитной доменной структуры, которые образуются в кремнии, легированном примесными атомами германия (рис. 1).

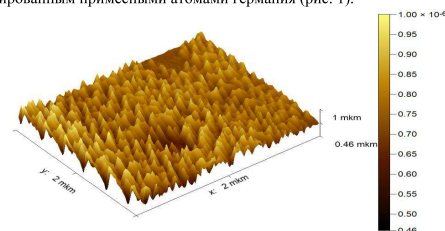


Рисунок 1. Изображение доменной структуры в образцах кремния легированного примесными атомами германия, полученного с помощью магнитного силового микроскопа марки FM-Nanoview 1000.

Анализ этих результатов исследований показал, что на поверхности кремния концентрация образованных бинарных соединений Ge_xSi_{1-x} будет достаточно в большом

количество. Установлено, что для образования химической связи в таких соединениях между атомами германия (Ge) и кремния (Si) требуется другая энергия, чем энергия связи между двумя кремниями, которая равна ширине запрещенной зоны кремния $E_{gSi} = 1.2$ эВ. Из литературных анализов известно, что значения ширины запрещенной зоны чистого монокристаллического германия равно $E_g = 0.68$ эВ. При формировании бинарных соединений типа Ge_xSi_{1-x} меняется один из фундаментальных параметров исходного кремния, т.е. энергия обрыва ковалентной связи между атомами германия и кремния будет больше, чем энергия обрыва германий-германиевой химической связи.

Нами предлагается, что в полученных образцах кремния легированного примесными атомами германия ширина запрещенной зоны меняется от $E_{g1} = 0.68$ эВ для чистого монокристаллического германия до чистого кремния (ширина запрещенной зоны чистого кремния равна $E_{g4} = 1.12$ эВ) (рис. 2) в зависимости от величины x в бинарных соединениях Ge_xSi_{1-x} .

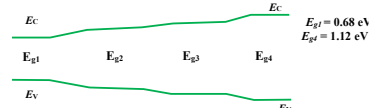


Рисунок 2. Гетероваризонная структура кремния с бинарными соединениями Ge_xSi_{1-x}

Для достоверности предложенного метода об изменении ширины запрещенной зоны исходного кремния, легированного примесными атомами германия был исследован спектр оптического поглощения полученных образцов. Результаты измерения спектров оптического поглощения на установке Shimadzu 1900i подтверждают, что спектральный ход кремния с бинарными соединениями Ge_xSi_{1-x} действительно отличается от исходного кремния. Из результатов спектра поглощения и теоретических расчетов методом Тауца можно оценить ширину запрещенной зоны кремния, легированного примесными атомами германия. Полученные значения величины ширины запрещенной зоны составили для исходного кремния $E_g = 1.126$ эВ, монокристаллического германия $E_{gGe} = 0.676$ эВ и для кремния легированного примесными атомами германия $E_{gGeSi} = 1.04$ эВ.

Эти экспериментальные результаты также были подтверждены в процессе исследования послойно травлением поверхности образцов кремния легированного примесными атомами германия. Определена изменение величины ширины запрещенной зоны по глубине полученных образцов кремния с бинарными соединениями Ge_xSi_{1-x} с помощью спектрометра Shimadzu марки UV-1900i. Теоретические расчеты на основе полученных экспериментальных исследований показали уменьшение величины ширины запрещенной зоны образцов кремния после диффузионного легирования примесными атомами германия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parkhomenko, Yu.N., Belogorokhov, A.I., Gerasimenko, N.N., Irzhak, A.V., Lisachenko, M.G. Properties of self-organized SiGe nanostructures formed by ion implantation. *Semiconductors*. 2004, 38(5), p. 572. <https://doi.org/10.1134/1.1755894>.

2. Bakhadyrkhanov, M.K., Isamov, S.B., Zikrillaev, N.F. Current - voltage behavior of silicon containing nanoclusters of manganese atoms. *Inorganic Mater.* 2014, 50 (4), p. 325. <https://doi.org/10.1134/S0020168514040025>

ДВУХКВАНТОВОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА И ЛИНЕЙНО-ЦИРКУЛЯРНЫЙ ДИХРОИЗМ В КРИСТАЛЛАХ КУБИЧЕСКОЙ СИММЕТРИИ

Расулов Вохоб Рустамович¹, Расулов Рустам Явкочевич¹, Кодиров Нурилло Убайдулло угли¹, Уринова Камала Комилжановна², Рахматов Иззатилло Умматилло угли¹.

¹ Ферганский государственный университет, ² Кокандский государственный педагогический институт

Аннотация: Это исследование углубляется в двухфотонные нелинейные оптические явления, особенно в полупроводниках с тетраэдрической симметрией, с использованием трехзонной модели. В исследовании изучаются спектрально-угловые зависимости двухквантового рассеяния света и связанного с ним линейно-кругового дихроизма (ЛЦД) в этих материалах, особое внимание уделяется промежуточным переходам и влиянию эффекта Раби. Примечательно, что эффект Раби уменьшает амплитуду колебаний с увеличением интенсивности света, независимо от поляризации, что дает ценную информацию об оптическом поведении этих полупроводников. Сравнительный анализ выявил уникальное поведение различных полупроводниковых материалов, таких как GaAs и InSb, подчеркивая влияние эффекта Раби на характеристики двухфотонного поглощения.

Ключевые слова: оптические явления; оптические эффекты, включающие одновременное поглощение двух фотонов, актуальные в различных приложениях, изменение оптических свойств, касающихся длины волны и направления падающего света, эффект, описывающий дифференциальное поглощение или рассеяние света с различной поляризацией.

Двухфотонные нелинейные оптические явления, обусловленные межзонными переходами в полупроводниках, были выполнены, где расчет двухфотонных матричных элементов проведен по теории возмущений по полю неполяризованного света в двухзонном приближении Кейна. В работах проведено исследование двух- и трехфотонный линейно-циркулярный дихроизм (ЛЦД) в кристаллах кубической решетки. В исследовано многофотонное поглощение поляризованного излучения в полупроводниках со сложной зоной, обусловленное вертикальными оптическими переходами между подзонами валентной зоны с легкой и тяжелой массой. В исследовано нелинейное однофотонное поглощение света в полуметаллах Вейля в зависимости от степени поляризации.

В исследован линейно-циркулярный дихроизм (ЛЦД) в германии дырочной проводимости в случае, когда в поглощение вносят сопоставимые вклады n -фотонные процессы с $n = 1 \div 5$. В исследован вклад эффекта Раби- эффекта Раби в четырехфотонное поглощения поляризованного света, обусловленное внутризонными оптическими переходами.

В настоящей работе, проведены расчеты спектрально - угловые зависимости межзонного двухфотонного, т.е. двухквантового поглощения света (ДФПС) и его ЛЦД в полупроводниках тетраэдрической симметрии в трехзонной модели Кейна. При этом учтены вклады в многоквантовый процесс виртуальных состояний, находящихся в как подзонах