

Таким образом, проведено моделирование параметров однослойной графеновой наноструктуры в зависимости от химического потенциала и температуры. Полученные частотные зависимости показали, что управлять проводимостью и диэлектрической проницаемостью графена можно путем изменения значения химического потенциала, величина которого может регулироваться, например, потенциалом полевого электрода, внедрением примесей, созданием дефектов, или изменением числа слоев графена.

Список использованных источников:

1. Andryieuski, A. Graphene metamaterials based tunable terahertz absorber: effective surface conductivity approach / A. Andryieuski, A. V. Lavrinenko // Optics express. – 2013. – Т. 21. – №. 7. – С. 9144-9155.
2. Голованов, О. А. Проводимость графена в терагерцовом и инфракрасном диапазонах частот / О. А. Голованов, Г. С. Макеева, В. В. Вареница // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4 (8). – С. 26–33

ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СТРУКТУРЕ КРЕМНИЙ/НАНОЧАСТИЦА ОКСИДА ЦИНКА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СОЛНЕЧНЫМ СВЕТОМ

Курапцова А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

В данной работе приводятся результаты моделирования влияния солнечного света на электронно-дырочные процессы проходящие в гетероструктуре кремний/оксид цинка. Моделирование проводилось с помощью пакета Comsol Multiphysics. Исследовалось влияние длины волны солнечного излучения на электронно-дырочные процессы гетероструктуры p-Si/n-ZnO.

В настоящее время возрастает интерес к широкозонным полупроводниковым оксидам металлов, например, к оксиду цинка. Оксид цинка применяется в газоанализаторах, оптоэлектронике и фотовольтаике, используется в солнечных элементах, фотокаталитических процессах разложения воды, очистки воды и воздуха от загрязнений [1]. В это же время гетероструктуры хорошо показали себя для пространственного разделения носителей заряда. Целью данной работы является исследование электрических свойств гетероструктуры кремний/оксид цинка (p-Si/n-ZnO) в условиях солнечного излучения.

В данной работе было проведено исследование электронно-дырочных процессов в гетероструктуре кремний / оксид цинка (кремний с наночастицей оксида цинка). Высота области кремния 1 мкм, длина 2,5 мкм, частица оксида цинка 0,5 × 0,5 мкм расположена посередине у верхней границы области кремния, глубина структуры 1 мкм (рисунок 1).

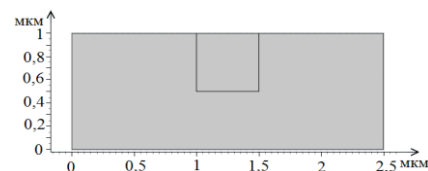


Рисунок 1 – Геометрия структуры

Моделирование электронно-дырочных процессов проводилось с помощью пакета Comsol, в котором используется двумерная диффузионно-дрейфовая модель для моделирования токопереноса в полупроводниках и модель электромагнитных волн, основанная на уравнениях Максвелла.

Параметры материалов для кремния и оксида цинка соответственно: степень легирования $N_a=10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $N_d=10^{16} \text{ см}^{-3}$; относительная диэлектрическая постоянная 11,7 и 8,5; подвижность электронов $1450 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $200 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; подвижность дырок $500 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $50 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$; ширина запрещенной зоны 1,12 эВ и 3,4 эВ; сродство к электрону 4,05 эВ и 4,3 эВ; время жизни электронов и дырок 500 пс в кремнии и 0,97 нс в оксиде цинка. Температура 300 К. Действительная часть коэффициента преломления для оксида цинка $n_{\text{ZnO}}=2$. Действительная часть коэффициента преломления для кремния n_{Si} , а также мнимая часть коэффициента преломления k_{ZnO} и k_{Si} заданы таблично в зависимости от длины волны [2, 3].

При облучении солнечным излучением мощностью $2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}$ (плотность излучения $1 \text{ кВт}/\text{м}^2$) были смоделированы концентрации электронов на поверхности структуры для различных длин волн (рисунок 2).

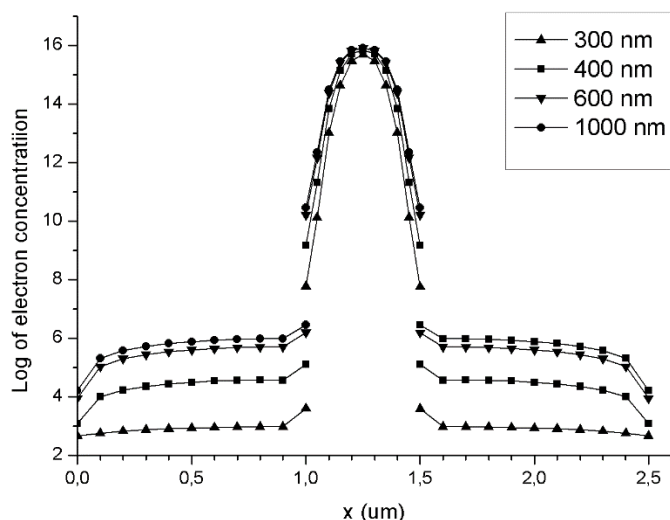


Рисунок 2 – Логарифм концентрации электронов на поверхности структуры для разных длин волн

Энергетическая диаграмма поверхности структуры представлена на рисунке 3. Под действием электрического поля в области пространственного заряда электроны, сгенерированные в кремнии, дрейфуют в зону проводимости оксида цинка, а дырки, сгенерированные в оксиде цинка – в зону проводимости кремния. Благодаря высокому потенциальному барьеру гетероперехода в оксиде цинка накапливается избыточная концентрация электронов.

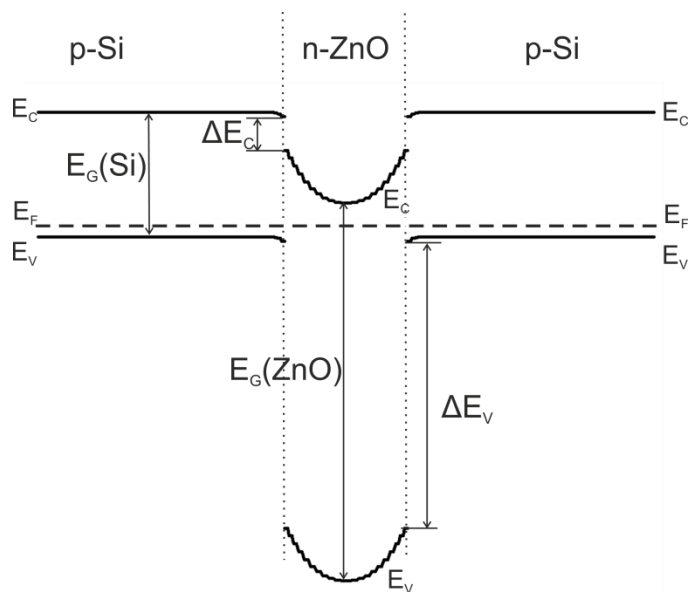


Рисунок 3 – Энергетическая диаграмма структуры: E_c – дно зоны проводимости; E_v – потолок валентной зоны; E_G – ширина запрещенной зоны; E_f – уровень Ферми; $\Delta E_c = 0,30$ эВ; $\Delta E_v = 2,58$ эВ

Таким образом возможно протекание фотокаталитических реакций восстановления при облучении гетероструктуры *p-Si/n-ZnO* светом с длиной волны находящейся в диапазоне солнечного излучения [4]. На фотокаталитическую активность структуры в основном оказывает влияние генерация носителей заряда в кремнии.

Полученные результаты необходимы для исследования электронных процессов, протекающих на поверхности оксида цинка, которые обуславливают его фотокаталитические свойства.

Список использованных источников:

1. Повышение активности фотокатализаторов на основе ZnO, обработанных в плазме высокочастотного разряда / Н. А. Савастенко [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2016. -Т. 83, № 5. –С. 715-723.
2. Green M. A. Self-consistent optical parameters of intrinsic silicon at 300K including temperature coefficients/ M. A. Green - Sol. Energ. Mat. Sol. Cells 92, 2008. – PP. 1305–1310.

3. Bolarinwa H.S. Determination of optical parameters of zinc oxide nanofibre deposited by electrospinning technique / H.S.Bolarinwa, M.U.Onuu, A.Y.Fasasi, S.O.Alayande, L.O.Animasahun, I.O.Abdulsalami, O.G.Fadodun, I.A.Egunjobi - Journal of Taibah University for Science, Volume 11, Issue 6, November 2017 – PP. 1245-1258.

4. Беляев Б.И. Спектральные распределения яркости излучения при спектрометрировании земли из космоса / Б.И.Беляев а, М.Ю.Беляев, Л.В.Десинов, А.А.Казак, Л.В.Катковский, А.В.Роговец // Журнал прикладной спектроскопии. - Т. 79, No 4. – 2012. – С. 669-675.

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ЕГО ХЛОПЬЕВ И СИНТЕЗ ИЗ НИХ ОКСИДА ГРАФЕНА

Михалик М.М.¹, Табулина Л.В.¹, Шаман Ю.П.²

*¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь;*

²НТК «Технологический центр», г. Москва, Зеленоград, Российская Федерация.

Комиссаров И.В. – канд. физ.-мат. наук, в. н. с. НИЛ 4.6

Установлено, что глубокое измельчение пиролитического графита из монолитных пластин с помощью шаровой мельницы положительно сказывается на гидрофильности и физико-химические характеристики, полученного из него оксида графена. Также, при сравнении данного порошка с мелкодисперсным пиролитическим графитом фирмы «Imerys» обнаружено, что монолитный пиролитический графит сильнее обогащается кислородсодержащими группами и обладает более совершенной кристаллической структурой. Эти факторы и влияют на термическую и химическую устойчивость вышеупомянутого оксида графена.

Углерод является основой жизни на нашей планете. Разнообразие биологических видов, существующих на ней, обусловлено возможностью атомов углерода создавать формы структурного состояния, приспособленные к функционированию в условиях окружающей среды. Оставляя в стороне многочисленные сложные биологические и органические углеродные структуры, выделим важность существования кристаллических аллотропных структур этого элемента. Из них наиболее удивляет своими физико-химическими свойствами графен. Получение этого материала осуществляют разными методами, но наиболее экономичным является способ, основанный на использовании оксида графена. Всплеск внимания к оксиду графена и увеличение объема его производства обусловлен многими причинами. В частности, таким необычным для графитовых материалов свойством, как гидрофильность, что важно для разработки приборов в биосенсорике, конструкций суперконденсаторов с высокой удельной емкостью, а также возможностью получать в большом количестве восстановленный графен - материала необходимого для развития наноэлектроники [1-3].

В настоящей работе для синтеза оксида графена использованы монолитные пластины пиролитического графита, применяющиеся в качестве электродов в электрических сетях. Их подвергали глубокому измельчению при помощи шаровой мельницы до размеров хлопьев ≤ 100 мкм. Из них синтезировали оксид графена по методу Хаммерса с использованием таких традиционно применяемых сильных окисляющих реагентов, как перманганат калия и концентрированная серная кислота. Для исключения эффекта самовозгорания графитовых хлопьев при их окислительном преобразовании в оксид графена была использована буферизирующая добавка концентрированной фосфорной кислоты [4]. Чтобы выявить влияние глубокого измельчения графитового монолита до мелкодисперсного состояния на формирование оксида графена в работе был использован также и мелкодисперсный графитовый порошок, состоящий из хлопьев величиной 9,3 – 47,2 мкм, полученный пиролитическим синтезом (графит фирмы «Imerys»).

Физико-химические характеристики использованных в работе графитовых материалов и синтезированных из них окисленных графеновых модификаций исследованы при помощи спектроскопии комбинационного рассеяния света (спектры КР) в 5,6 местах их массивов при длине лазерного излучения 473 нм, термического анализа (ТА), растровой электронной микроскопии (РЭМ), спектров рентгеновской дифракции. Элементные составы исследованных материалов изучены при помощи рентгеновской энергодисперсионной спектроскопии (данные РЭДС), размеры хлопьев оксида графена оценивали при помощи метода динамического рассеяния лазерного излучения.

Анализ спектров КР исследованных материалов показал, что монолитный пиролитический графит имеет определенную упорядоченность графеновых слоев в направлении перпендикулярном базовой плоскости. Для структуры хлопьев графитового порошка, полученных измельчением монолитного графита при помощи шаровой мельницы, это не было выявлено. Также это не было