Арсенид-галлиевые структуры с углеродным покрытием: многофункциональное применение для приборов оптоэлектроники и бета-вольтаики

В.П. Лесников¹, М.В. Ведь¹, **О.В. Вихрова¹**, Ю.А. Данилов¹, П.Б. Демина¹, Н.В. Дикарева¹, М.В. Дорохин¹, Е.Б. Якимов², Б.Н. Звонков¹, А.В. Здоровейщев¹, В.А.Ковальский², Р.Н. Крюков¹

¹ Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, 603022, пр. Гагарина, 23/3

² Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук, Черноголовка, 142432 Черноголовка, Московская область, Институтская, 6
тел.: +7 (831) 462-31-20, факс: +7 (831) 462-31-36, эл. почта: vikhrova@nifti.unn.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-92

Использование углеродных (С) слоев (однослойного и многослойного графена) для разработки комбинированных с полупроводниками A^3B^5 приборов нанoeлектроники затруднено из-за отсутствия подходящих методов формирования С-слоев непосредственно на поверхности полупроводниковых структур с сохранением их свойств.

В данной работе показана возможность получения углеродных нанослоев непосредственно на поверхности GaAs структур методом импульсного лазерного распыления пирографита в вакууме. Для нанесения С-слоев использован лазер YAG:Nd (длина волны 532 нм). Подложка при выращивании поддерживалась при 500°C, а толщина С-слоя определялась временем испарения и составляла от 4 до 20 нм. По результатам исследований комбинационного рассеяния света и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии полученные углеродные слои представляют собой сплошную пленку нанокристаллического графита, состоящую из зерен многослойного графена. Подобное углеродное покрытие было нанесено на гетероструктуры с квантовой ямой (КЯ) $In_xGa_{1-x}As/GaAs$ ($x = 0.15$, толщина КЯ 8–10 нм) и униполярным легированием всех слоёв (n-типа), а также слабелегированные кремнием ($n \sim 6-8 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$) слои GaAs (толщина $\sim 1-1.5 \text{ мкм}$). Все полупроводниковые структуры выращены методом МОС-гидридной эпитаксии при 600°C на пластинах n^+-GaAs (100). Изготовленные С-слои являются химически и механически стойкими, имеют p-тип проводимости, а на границе раздела с GaAs формируется потенциальный барьер, при этом само прозрачное углеродное покрытие выполняет роль инжектирующего контакта. Поэтому, несмотря на униполярное легирование GaAs слоёв, изготовленные на основе GaAs-структур с КЯ светодиоды показывали интенсивное электролюминесцентное излучение, наблюдаемое вплоть до 300 К при невысоких токах накачки (2 – 5 мА). Кроме того, наличие С- слоя на поверхности GaAs структур приводило к появлению высокой фоточувствительности при комнатной температуре в широком диапазоне энергий квантов 1 - 2.4 эВ.

Ещё одним потенциальным применением структур со слабелегированным слоем GaAs:Si и С-слоем на поверхности является их использование в качестве основы ячейки на бета-вольтаическом эффекте. Для демонстрации этого был проведён имитационный эксперимент, в рамках которого с использованием электронно-лучевого испарения в вакууме на поверхности структур формировался TiAu контакт. Изготовленные диоды исследовались методом наведенного тока, в котором ток электронного пучка имитирует генерацию бета-частицы в результате распада, происходящего в контакте, содержащем радиоактивный изотоп (например, $Ti^{48}Ti$) [1]. Выполненные имитационные эксперименты и сопутствующие расчёты показали возможность получения плотности тока короткого замыкания для GaAs-структур с С-слоем $\sim 190 \text{ нА/см}^2$, что близко к теоретическому пределу для бета-вольтаического элемента на основе тритида титана на GaAs (219 нА/см^2) [2].

Таким образом, углеродные нанослои, полученные методом импульсного лазерного нанесения, могут иметь многофункциональное применение: во-первых, создание химически и механически прочных проводящих покрытий на поверхности фоточувствительных и светоизлучающих GaAs-структур для приборов оптоэлектроники с улучшенными характеристиками; во-вторых, использование GaAs-структур с С-слоем на поверхности в качестве преобразователей для бета-вольтаических элементов (например, с источником на основе тритида титана).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 18-29-19137_мк) и гос.задания (проект 075-03-2020-191/5).

Литература

- [1] Е.В. Yakimov // Applied Radiation and Isotopes. - 2016. - V.112. - P.98-112.
- [2] А.А. Свинцов, Е.Б. Якимов, М.В. Дорохин, П.Б. Демина, Ю.М. Кузнецов // ФТП. 2019. Т.53, вып.1. С.101-103.