УДК 538.935, 538.975

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ В ВАКУУМЕ**

**НА ЭЛЕКТРОПЕРЕНОС В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ АМОРФНОГО УГЛЕРОДА**

В.А. Макагонов1, С.Ю. Панков2, А.А. Гребенников3, В.А. Фошин4

1Младший научный сотрудник, vlad\_makagonov[@mail.ru](mailto:oksanchik2603@mail.ru)

2Инженер-исследователь, srgpank@mail.ru

3Зав. лаб. БНОЦ ВГТУ «Физика и техника термоэлектрических явлений»

anton18885@yandex.ru

4Студент, vadim.foshin@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе представлены результаты исследования влияния термической обработки на электрические свойства тонких пленок аморфного углерода. Установлено, что термообработка в вакууме не хуже 10-4 Торр приводит к понижению удельного электросопротивления и росту термоэдс, при этом температурный коэффициент сопротивления, измеренный в диапазоне температур 77-300 K меняется с отрицательного на положительный после отжига при температурах более 350°С. В тонких пленках, подвергнутых термообработке при температурах выше 200°С обнаружено отрицательное магнитосопротивление при 77 К, связанное с проявлением эффекта слабой локализации.

Ключевые слова: аморфный углерод, тонкие пленки, удельное электросопротивление, термоэдс, термообработка, механизмы электропереноса, магнитосопротивление.

Тонкие пленки углерода толщиной ~ 40 нм были получены по методике ионно-лучевого напыления. Осаждение проводилось при давлении аргона ~ 6·10-4 Торр на керамические подложки из ситалла марки СТ-50, путем распыления мишени пиролитического графита. Температура подложки в процессе осаждения не превышала 50°С.

Результаты рентгеноструктурного фазового анализа показали, что осажденные пленки углерода являются аморфными. Для исследования влияния термообработки на свойства тонких пленок аморфного углерода, было проведено сравнение электрических свойств образца в исходном состоянии и после термообработки в вакууме 10-4 Торр при различных температурах в вакууме не хуже 10-4 Торр.

Термообработка тонких пленок аморфного углерода при температурах ниже 450°С приводит к понижению удельного электросопротивления и росту значений термоэдс, измеренных при комнатной температуре. Температурный коэффициент сопротивления, измеренный в диапазоне температур 77-300 K меняется с отрицательного на положительный после отжига при температуре более 350°С (рис 1а), при этом знак термоэдс сохраняется и является отрицательным, что указывает на электронный тип проводимости исследованных тонких пленок как в исходном состоянии, так и после термообработки.



а) б)

Рисунок. Зависимости удельного электросопротивления от температуры (а)

и магнитосопротивления (б) тонких пленок аморфного углерода в исходном состоянии и после термообработки при различных температурах

Для полученных образцов после отжига при температурах выше 225 °С было обнаружено наличие отрицательного магнитосопротивления, при этом термообработка при не очень большой температуре приводит к появлению отрицательного магнитосопротивления на фоне положительного (рис 1б), характерного для аморфных полупроводников [1]. С ростом температуры термообработки величина магнитосопротивления увеличивается. Известно, что термообработка тонких пленок аморфного углерода, полученных методом ионно-лучевого распыления, приводит к увеличению содержания *sp*2 – гибридизированного графитоподобного углерода [2], для которого характерен 2D электроперенос в условиях слабой локализации электронов проводимости [3]. Таким образом, термообработка тонких пленок аморфного углерода, полученных методом ионно-лучевого распыления, приводит к смене механизма электропроводности от прыжков моттовского типа с переменной длиной прыжка [2] к слабой локализации и появлению квантовых поправок к проводимости [4].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 19-48-360010 р\_а.

Литература

1. Шкловский Б.И. Электронные свойства легированных полупроводников / Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. – М.: Наука, 1979. – 416 с.

2. Калинин Ю.Е. Электрические свойства тонких пленок аморфного углерода, полученных методом ионно-лучевого напыления / Ю.Е. Калинин, М.А. Каширин, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков, А.В. Ситников // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87. - Вып. 11. - С. 1722-1728.

3. Saleemi A.S. Structure dependent negative and positive magnetoresistance of amorphous carbon films / A.S. Saleemi, Sun W., Singh R., Luo Z., Zhang X. // Journal Of Applied Physics. 2017. – Т. 121. – Вып. 23. ‑ C. 233903.

4. Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. 2–е изд. испр. и доп. / В.Ф.Гантмахер– М.: Физматлит, 2005. –232 с.