Свойства оксида графена, обработанного в плазме метана и азота

Неустроев Е.П., Попов В.И., Тимофеев В.Б., Уйгуров Д.М.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 677000, Якутск, ул. Белинского, 58

DOI 10.34077/Semicond2019-382

Плазменная обработка является одним из эффективных методом функционализации углеродных наноматериалов [1]. Метановая плазма может быть, во-первых, источником атомов водорода для удаления кислорода в оксиде графена (ОГ), во-вторых, восстанавливать структуру решетки за счет встраивания атомов углерода [2]. Обработка ОГ в плазме азота также может способствовать удалению кислорода и оказывать влияние на электропроводность [3]. В данной работе исследуются свойства оксида графена, полученного модифицированным методом Хаммерса [4]. Плазменные обработки проведены в индуктивно-связанной плазме метана и азота мощностью до 200 Вт и длительностью до 15 мин. После этого образцы ОГ были восстановлены при температурах до 750° С длительностью до 2 ч. Для исследований были привлечены методы атомно-силовой, электронной и оптической микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС), эффекта Холла, ИК- и УФ-спектроскопии.

Рис.1 Формирование углеродной пленки на поверхности кремния после обработки в плазме CH_4 ($P=200 \text{ Вт}$, $t=6 \text{ мин}$).

Измерения методами электронной микроскопии и КРС показали, что после плазменной обработки в метане на поверхности образцов осаждается аморфная углеродная пленка, толщина которой зависит от длительности обработки и мощности плазмы. На рис. 1 показано осажденная аморфная углеродная пленка на поверхности кремния после обработки в плазме метана при мощности 200 Вт и длительностью 6 мин. Характерной особенностью образования аморфной пленки было формирование широкой полосы фотолюминесценции, наблюдаемая в спектрах КРС (рис.2). После восстановления ОГ в аргоне в спектрах КРС интенсивность этой полосы ослабевает и интенсивность пиков D и G-пики в окрестности 1350 см^{-1} и 1600 см^{-1} . При этом сопротивление образцов резко падает от нескольких ГОм до десятков кОм. После обработки в плазме метана и азота наблюдались аналогичные эффекты. Длительные обработки в плазме с добавлением азота приводят к изменению типа проводимости с исходного p-типа на n-тип. Для более подробного изучения механизма влияния плазменной обработки на электрические и оптические свойства ОГ проведены исследования зависимости вольт-амперных характеристик от температуры, УФ- и ИК-спектров и фототока при освещении в видимом диапазоне.

Рис.2 Спектр КРС ОГ после плазменной обработки в CH_4 ($P=200 \text{ Вт}$, $t=12 \text{ мин}$).

[1] S. G. Walton et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **50**, 354001 (2017).

[2] M. Baraket et al., *Carbon*, **48**, 3382, (2010).

[3] N.K. Kumar et al., *J. Mater. Chem. A*, **1**, 4431, (2013).

[4] Е. П. Неустроев и др., *Вестник СВФУ*, **50**, 87 (2015).

[5] E. P. Neustroev et al., *Nanotechnology*, **29**, 144002 (2018).