Терагерцовый ближнепольный отклик слоёв графена и структур на его основе

Трухин В.Н.¹, Мустафин И.А.¹, Лебедев С.П.¹, Baldycheva A.², Bandurin D.A.³

¹ ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

² College of Engineering, Mathematics and Physical Sciences, University of Exeter, Exeter, EX4 4QF, United Kingdom

³ School of Physics and Astronomy, University of Manchester, Manchester M13 9PL, United Kingdom

DOI 10.34077/Semicond2019-358

На протяжении последних лет пристальное внимание уделяется исследованию взаимодействия терагерцового излучения со структурами на основе углеродных нанотрубок и графена [1-3]. В первую очередь это связано с активным поиском новых материалов для создания дешевых, быстрых и высокочувствительных детекторов терагерцового (ТГц) излучения, функционирующих при комнатной температуре. Недавние исследования графена продемонстрировали перспективность этого материала как основы для создания элемента оптоэлектронных устройств [4] ТГц диапазона. Как известно, графен обладает сильным плазмонным откликом на ТГц частотах, что обусловлено как высокой плотностью, так и малой коллективной эффективной массой свободных носителей заряда [5]. Поэтому весьма актуальным является исследование взаимодействия электромагнитного излучения в ТГц спектральном диапазоне с зондом АСМ вблизи графена. Настоящая работа посвящена исследованию взаимодействия ближнепольной компоненты терагерцового электромагнитного поля с монослойным и многослойным графеном с использованием терагерцового ближнепольного микроскопа.

Для получения пленок графена использовался метод термического разложения поверхности SiC [6]. Многослойный графен синтезировался на металлической подложке методом химического газофазного осаждения (CVD) с последующим переносом на подложку кремния, поверхность которой была окислена. В качестве микроструктуры на основе монослоя графена исследовалась транзисторная структура, представляющая собой полосу графена шириной несколько микрон [7]. Терагерцовый безапертурный ближнепольный микроскоп, используемый в данной работе, представлял собой когерентный ТГц спектрометр с временным разрешением с интегрированным в него атомно-силовым микроскопом на базе сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) NanoEducator. Зонды изготавливались методом электрохимического травления провода вольфрама и были охарактеризованы в растровом электронном микроскопе.

Были исследованы волновые формы терагерцового импульса, возникающего в результате рассеяния терагерцового излучения зондом, ближнее поле которого модифицируется в результате взаимодействия с образцом. Экспериментально было показано, что сила взаимодействия ближнепольной компоненты терагерцового электромагнитного поля с многослойным графеном имеет по порядку ту же величину, как и в случае взаимодействия с поверхностью металла Au. Оказалось, что сила взаимодействия ближнепольной компоненты терагерцового электромагнитного поля с монослойным графеном на SiC значительно ниже. Было обнаружено, что в спектре ТГц излучения, рассеянного на системе «зонд + монослой графена на SiC», существуют особенности, которые отсутствуют в спектре исходного ТГц излучения. В области 1.2-1.6 ТГц присутствуют как усиленные, так и новые пики. Для транзисторной структуры на основе монослоя графена ТГц ближнепольный отклик становился больше, а в спектре появились резонансные линии, которых не было ни в спектрах ближнепольного терагерцового отклика для Au, ни в спектрах для не структурированных слоев графена. Возможно это обусловлено, как уже отмечалось ранее, сильным плазмонным откликом на терагерцовых частотах и проявлением интерференции плазмонов в графеновой полоске.

[1] T. Fuse et al., *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 013119 (2007)

[2] X. He, N. Fujimura et al., *Nano Letters* **14**, 3953 (2014)

[3] Vicarelli, L. et al., *Nature Mater.* **11**, 865–871 (2012)

[4] A. N. Grigorenko et al., *Nature Photonics* **6**, 749–758 (2012)

[5] T. Osuji et al., *J. Phys. D* **47**, 094006 (2014).

[6] В.Ю. Давыдов и др., *ФТП*, **51**, 1116 (2017)

[7.] D. A. Bandurin et al., *Appl.Phys.Lett.*, **112**, 141101 (2018)