Генерация второй гармоники оптического излучения из графена при комбинированном воздействии оптического и ТГц полей

Бодров С.Б., Корытин А.И., Оладышкин И.В., Сергеев Ю.А., Степанов А.Н., Токман М.Д.
ИПФ РАН, 603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46.

DOI 10.34077/Semicond2019-371

В последнее десятилетие важным направлением физики конденсированных сред является исследование нелинейно-оптических и квантово-оптических эффектов в графене в оптическом, инфракрасном и терагерцовом диапазонах [1]. Благодаря бесщелевой дисперсии фермионов, нулевой эффективной массе носителей (вплоть до энергий порядка 1.5 eV) и высокой скорости Ферми монослои графена обладают уникально высокими нелинейными восприимчивостями. С точки зрения физики взаимодействия излучения с графеном особый интерес представляют эффекты, обусловленные квадратичной нелинейностью, в частности – генерация второй гармоники. В настоящей работе исследуются генерации второй гармоники оптического излучения при одновременном воздействии сильным ТГц полем [2]. Поскольку графен обладает симметрией относительно преобразования инверсии в плоскости монослоя, квадратично-нелинейный отклик запрещен в рамках дипольного приближения. Приложение ТГц поля величиной 250 кВ/см задействует механизм кубичной нелинейности. Это непертурбативный режим взаимодействия свет-вещество, такие поля заведомо сильно возмущают исходное распределение фермионов: электроны и дырки ускоряются до энергий порядка 0.2 eV, а количество носителей заряда увеличивается за время действия ТГц импульса в несколько раз за счет рождения электронно-дырочных пар.

Для исследования была использована титан-сапфировая лазерная система Spitfire, генерирующая фемтосекундные импульсы с энергией 0.7 мДж, центральной длиной волны 795 нм и длительностью 70 фс с частотой повторения 700 Гц. Интенсивные ТГц импульсы генерировались с использованием техники наклонного фронта интенсивности.

Регистрация второй гармоники осуществлялась в зеркальном направлении с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) Hamamatsu R4220, перед которым стояли интерференционные и узкополосные фильтры, отсекающие постороннее излучение. В качестве образца использовался однослойный CVD графен на боросиликатном стекле.

В ходе эксперимента была исследована генерация ВГ при различных сочетаниях поляризаций оптического и ТГц излучений. Также были изучены зависимости интенсивности ВГ от задержки между оптическими и ТГц импульсом, от энергии оптического и ТГц полей. На рис. 2 приведен пример временной зависимости сигнала второй гармоники. Была развита теоретическая модель генерации второй гармоники излучения на основе решения уравнения для матрицы плотности.

Рис.1. Число излученных фотонов как функция времени задержки между оптическим и ТГц импульсами. Черные ромбы – вторая гармоника, красные кружки – квадрат ТГц поля. На вставке зависимость сигнала второй гармоники от квадрата интенсивности первой гармоники.

[1] F. Bonaccorso, Z. Sun, T. Hasan, A.C. Ferrari, *Nat. Photon.*, **4**, 611 (2010).

[2] M. Tokman et al., *Phys. Rev. B* **99**, 155411 (2019).