

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ФОТОНАПРЯЖЕНИЯ КВАЗИОДНОМЕРНЫХ АСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

*М.В. Москотин^{1,2,3}, Е.В. Константинов^{1,2,3}, Г.Е. Федоров^{1,2,3},
И.А. Гайдученко^{1,2}*

¹ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

² Московский педагогический государственный университет

³ Московский физико-технический институт (ГУ)

Большой интерес в современной науке представляет терагерцовый спектр излучения. Актуальной задачей для различных областей науки и техники является детектирование ТГц излучения. В нашей работе мы предполагаем, что перспективными кандидатами на роль детекторов ТГц излучения являются устройства на основе углеродных наноструктур. Таковыми их делает ряд качеств, таких как: хорошая чувствительность, высокая скорость отклика и возможность влиять на отклик, подавая напряжение на затвор.

Был исследован отклик устройств с асимметричной металлизацией. Важно отметить, что смещение вольт-амперной характеристики наблюдалось при нулевом токе смещения. Как следствие, детекторы, разработанные на основе таких устройств, потенциально могут быть полностью автономными и работать без внешнего питания.

В нашей работе акцент в интерпретации исследуемого эффекта делается на фототермоэлектрический эффект. Его суть заключается в том, что при облучении устройств с асимметричной металлизацией на основе графена происходит неравномерный нагрев канала проводимости за счет протекания вдоль канала переменного электрического тока. В результате такого нагрева возникает термоЭДС, как в обычной термопаре. Эту термоЭДС можно рассчитать, пользуясь формулой Мотта для коэффициента Зеебека:

$$S = - \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3 |e|} \frac{1}{G} \frac{dG}{dE} \Big|_{E_F} = - \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3 |e|} \frac{1}{G} \frac{dG}{dV_G} \frac{dV_G}{dE} \Big|_{E_F} \quad (1)$$

Однако сравнение напряжения отклика, вычисленного по формуле Мотта (1), и напряжения отклика устройства на ТГц излучение позволило заключить, что для углеродных наноструктур вклад вносит не только термоЭДС, но и эффект, связанный с выпрямлением. Этот эффект мы связываем с нелинейностью вольт-амперной характеристики, в связи с чем должен возникать некоторый средний ток.

В рамках изложенного подхода, отклик углеродных наноструктур на терагерцовое излучение должен определяться транспортными характеристиками, измеренными в режиме постоянного тока. В данной работе мы сравниваем отклик на излучение в терагерцовом диапазоне с откликом на сигнал при «нулевой» частоте. Последний определяется как произведение сопротивления образца и среднего тока, возникающего за счет выпрямления при приложении гармонически зависящего от времени напряжения на частоте 123 Гц.

На рисунке 1 представлены зависимость отклика на излучение в субтерагерцовом (650 ГГц) диапазоне и зависимость $\langle I \rangle \cdot R$ при 40 мВ от затворного напряжения для образца, представляющего собой лист графена размером 1.4x1.0 мкм.

На рисунке 2 представлены зависимость отклика на излучение в терагерцовом (2.5 ТГц) диапазоне и зависимость $\langle I \rangle \cdot R$ при 40 мВ от затворного напряжения для образца, представляющего собой графеновые нанополоски шириной 150 нм.

Из представленных данных видно, что особенности отклика на излучение и отклика на сигнал наблюдаются при одних и тех же значениях затворного напряжения. Так, в ходе анализа полученных результатов мы пришли к выводу, что зависимость отклика устройств с

асимметричной металлизацией на основе графена и графеновых нанополосок воспроизводит зависимость $\langle I \rangle R$ и в меньшей степени коэффициент Зеебека.

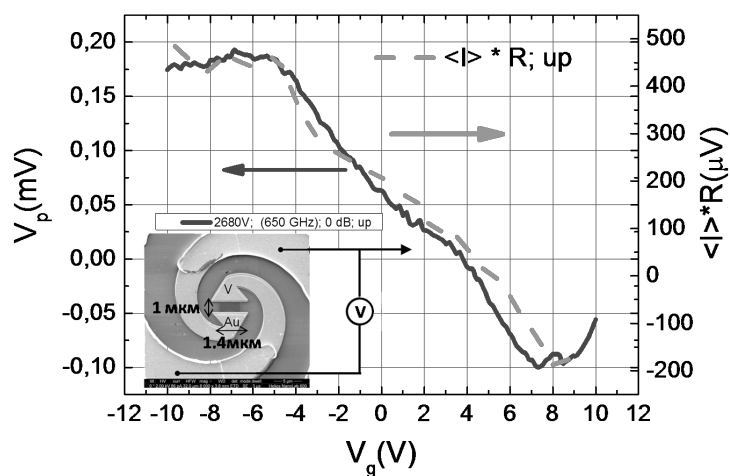


Рис. 1. Устройство на основе листа графена: отклик на излучение частотой 650 ГГц, сопоставленный с средним током при 40 мВ.

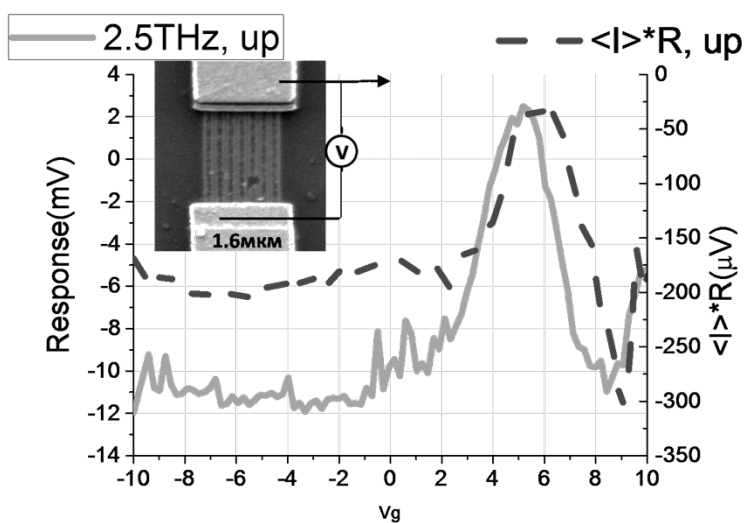


Рис. 2. Устройство на основе графеновых нанополосок: отклик на излучение частотой 2.5 ТГц, сопоставленный с средним током при 40 мВ.

Литература

1. G. Fedorov, A. Kardakova, I. Gayduchenko, I. Charayev, B. M. Voronov, M. Finkel, T. M. Klapwijk, S. Morozov, M. Presniakov, I. Bobrinetskiy, R. Ibragimov and G. Goltsman, Appl. Phys. Lett. (2013), 103, 181121;
2. I. Gayduchenko, A. Kardakova, G. Fedorov, B. Voronov, M. Finkel, D. Jiménez, S. Morozov, M. Presniakov and G. Goltsman, J. Appl. Phys. (2015), 118, 194303.