

Асимметричные устройства на основе углеродных наноструктур для оптоэлектроники терагерцового диапазона.

Г.Е. Федоров^{1,2}, Т.С. Степанова¹, А.Ш. Газалиев¹, И.А. Гайдученко², Н.С. Каурова², Б.М. Воронов², Г.Н. Гольцман²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Московский Педагогический Государственный Университет, Москва

Возможность использования углеродных наноматериалов в качестве основы чувствительного элемента детекторов терагерцового излучения обусловлена рядом особенностей их характеристик. В основном речь идет о высокой подвижности носителей заряда, возможности перестройки свойств затворным напряжением и влиянии геометрических размеров на параметры зонной структуры. Полученные на данный момент результаты [1-6] свидетельствуют о перспективности этого направления исследований с точки зрения получения практических результатов.

В данной работе исследуются различные асимметричные детектирующие устройства на основе углеродных нанотрубок (УНТ). В таких устройствах при воздействии электромагнитного излучения возникает сигнал постоянного напряжения. Таким образом, они представляют собой детекторы, работающие при нулевом токе смещения. Исследуемые устройства выполнены в конфигурации полевого транзистора, в котором каналом проводимости является латеральный массив УНТ (сетка УНТ) или индивидуальная УНТ. Под асимметрией понимается неоднородность свойств вдоль канала проводимости. В первом типе устройств используется неоднородная морфология УНТ-сетки. Во втором типе устройств в качестве контактного материала используются металлы с сильно различной работой выхода.

В данной работе исследуются различные асимметричные детектирующие устройства на основе углеродных нанотрубок (УНТ). В таких устройствах при воздействии электромагнитного излучения возникает сигнал постоянного напряжения. Таким образом, они представляют собой детекторы, работающие при нулевом токе смещения. Исследуемые устройства выполнены в конфигурации полевого транзистора, в котором каналом проводимости является латеральный массив УНТ (сетка УНТ) или индивидуальная УНТ. Под асимметрией понимается неоднородность свойств вдоль канала проводимости. В первом типе устройств используется неоднородная морфология УНТ-сетки. Во втором типе устройств в качестве контактного материала используются металлы с сильно различной работой выхода.

во всех исследуемых устройствах излучение создает неоднородный нагрев канала проводимости и между электродами возникает термо-ЭДС. Последняя вычисляется как произведения разности температур на так называемый коэффициент Зеебека, S , который можно рассчитать в приближении диффузного транспорта по формуле [8]:

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

где k_B – постоянная Больцмана, e – элементарный заряд, E – энергия, отсчитываемая от уровня Ферми. Последний множитель dV_G/dE можно оценить как $10/e$ [8]. Вид зависимостей $S(V_G)$, рассчитанных по этой формуле в целом совпадает с зависимостями отклика от затворного напряжения. При этом в то время, как значение $S(V_G)$ стремится к нулю при больших по модулю величинах затворного напряжения, величина отклика либо стремится к постоянному отличному от нуля значению, либо монотонно убывает как функция затворного напряжения (см. рис. 1), что особенно заметно в области отрицательных V_G .

Сравнение данных, полученных с использованием образцов различной конфигурации показывает, что образец второго типа с каналом проводимости, образованным индивидуальной полупроводниковой УНТ обладает наибольшей вольт-ваттной чувствительностью. Для

практического использования лучше подходит режим, соответствующий отрицательному напряжению на затворе, когда канал легирован носителями р-типа.

Асимметричные структуры на основе углеродных нанотрубок представляют интерес для разработки детекторов терагерцового излучения. Результаты, представленные в данной работе показывают перспективность использования в качестве чувствительного элемента детектора латеральных массивов полупроводниковых УНТ, контакт к которым осуществляется металлами с различной работой выхода.

Работа была выполнена при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации (соглашение No. 14.586.21.0003, уникальный идентификатор RFMEFI58614X0003).

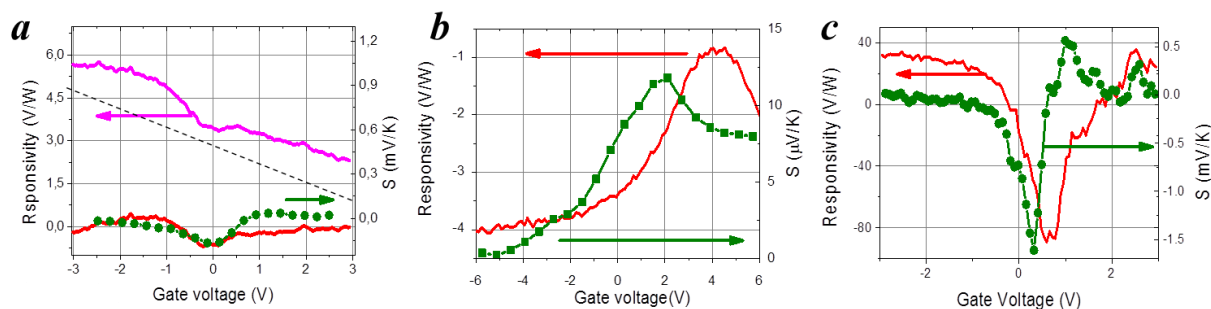


Рис. 1. (а) Зависимость вольтваттной чувствительности и рассчитанного по формуле (1) коэффициента Зеебека от затворного напряжения для устройств различной конфигурации. (а) Образец первого типа. Красная кривая – результат вычитания линейного фона (пунктирная линия) из зависимости вольтваттной чувствительности от затвора. (b) образец второго типа с сеткой УНТ (c) - образец второго типа с индивидуальной полупроводниковой УНТ.

Литература

1. X. He, N. Fujimura, J. M. Lloyd, K. J. Erickson, A. A. Talin, Q. Zhang, W. Gao, Q. Jiang, Y. Kawano, R. H. Hauge, F. Leonard, and J. Kono, *Nano Lett.* 14(7), 3953 (2014).
2. X. He, F. Leonard, and J. Kono, *Advanced Optical Materials*, 3,989 (2015).
3. L. Vicarelli, M. S., D. Coquillat, A. Lombardo, A.C. Ferrari, W. Knap, M. Polini, V. Pellegrini, and A. Tredicucci, *Nature Mat.* 11, 865(2012).
4. X. Cai, A. B. Sushkov, R. J. Suess, M. M. Jadidi, G. S. Jenkins, L. O. Nyakiti, R. L. Myers-Ward, S. Li, J. Yan, D. K. Gaskill, T. E. Murphy, H.D. Drew, and M. S. Fuhrer, *Nat. Nanotechnol.* 9, 814 (2014).
5. G. Fedorov, A. Kardakova, I. Gayduchenko, I. Charayev, B. M. Voronov, M. Finkel, T. M. Klapwijk, S. Morozov, M. Presniakov, I. 584 Bobrinetskiy, R. Ibragimov, and G. Goltzman, *Appl. Phys. Lett.* 103, 585 181121 (2013).
6. I. Gayduchenko, A. Kardakova, G. Fedorov, B. Voronov, M. Finkel, D. Jimenez, S. Morozov, M. Presniakov, and G. Goltzman, *J. Appl. Phys.* 118, 194303 (2015).
7. A. Tselev, K. Hatton, M. S. Fuhrer, M. Paranjape and, P. Barbara, *Nanotechnology*, 15, 1475 (2004).
8. J. Small, K. Perez, and P. Kim, *Phys. Rev. Lett.* 91, 256801 (2003).