Спектральное и пространственное разрешение электронных состояний из шумовых измерений

Тихонов Е.С.^{1,2}, Петруша С.В.^{1,2}, Денисов А.О.^{1,2}, Храпай В.С.^{1,2}

¹ *Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka 142432, Russia*

² *Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

DOI 10.34077/Semicond2019-149

Проблема термометрии на наноуровне и контроля неравновесных тепловых конфигураций привлекает значительное внимание. В качестве показательных примеров можно привести визуализацию диссипации в углеродных нанотрубках и графене [1], термометрию в металлических сужениях и контактах металл – полупроводниковый нанопровод [2], и даже термометрию отдельной клетки соединительной ткани организма [3]. Наряду с прямыми тепловыми измерениями и термометрами, основанными на NV-центрах в алмазе и СКВИДах, привлекательно также выглядит и шумовая термометрия, не в последнюю очередь благодаря первичности такого метода [4]. Более того, шумовые локальные измерения с использованием сенсора с пренебрежимо малым неупругим рассеянием могут предоставить даже спектральное разрешение неравновесных конфигураций [5], что является прямым следствием Ферми-Дираковской статистики электронов в резервуаре сенсора. Такой подход не опирается ни на какие спектральные особенности сенсора [6] и применим, поэтому, практически к любой электронной системе. Помимо спектральных исследований, шумовые измерения могут оказаться полезными и для характеристики самого сенсора [7].

Я представлю результаты измерений неравновесной локальной функции распределения и измерений эффективной температуры в трех-терминальной геометрии, где в качестве сенсора используется туннельный переход или полупроводниковый InAs-нанопровод [8]. С использованием туннельного перехода мы демонстрируем неравновесную двуступенчатую функцию распределения в металлических полосках длиной несколько микрон при протекании через них тока при базовой температуре 30 мК. В случае алюминиевых полосок функция распределения не зависит от величины магнитного поля и сохраняется вплоть до базовых температур 0.5 К, в то время как в медных полосках двуступенчатая функция распределения проявляется только в магнитном поле масштаба 3 Тл, а в нулевом поле близка к локально равновесной. Используя в качестве сенсора InAs-нанопровод, мы применили этот практически неинвазивный подход для первичных измерений температурных градиентов при изучении термоэлектрического отклика нанопроводов [9].

Мы благодарим И. Храпача, Л. Нажафи, Б. Карими, Ю. Пеколу, М. Рокки, Ф. Роззеллу, Д. Эрколани, Л. Сорбу и С. Роддаро за предоставленные образцы. Работа была частично выполнена в рамках государственного задания ИФТТ РАН.

[1] D. Halbertal et al., *Nature* **539**, 407 (2016)

[2] Menges, F. et al., *Nat. Commun.* **7**:10874 (2016)

[3] G. Kucsko et al., *Nature* **500**, 54 (2013)

[4] Lafe Spietz et al., *Science* **300**, 1929–1932 (2003)

[5] T. Gramschpacher and M. Buettiker, *Phys. Rev. B* **60**, 2375 (1999)

[6] H. Pothier et al., *Phys. Rev. Lett.* **79**, 3490 (1997)

[7] V.S. Khrapai and K.E. Nagaev, *Pis'ma v ZhETF*, **105**, 1, 21 (2017)

[8] E.S. Tikhonov et al., *Sci. Rep.* **6**, 30621 (2016)

[9] E.S. Tikhonov et al., *Semicond. Sci. Technol.* **31**, 104001 (2016)