

УДК 537.312.537. 812:530.146.6-426

Д. И. Левшов (5 курс, каф. ПФОТТ), Н.Т.Баграев, д. ф.-м. н., проф.

### ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ В ПРИМЕСНЫХ НАНОПРОВОЛОКАХ

В прецизионных мезоскопических устройствах носители заряда располагаются в объеме, сопоставимом с размерами активной части прибора. В связи с этим нужен новый подход, в рамках которого к контактам устройства относятся на том же уровне, что и к самому устройству.

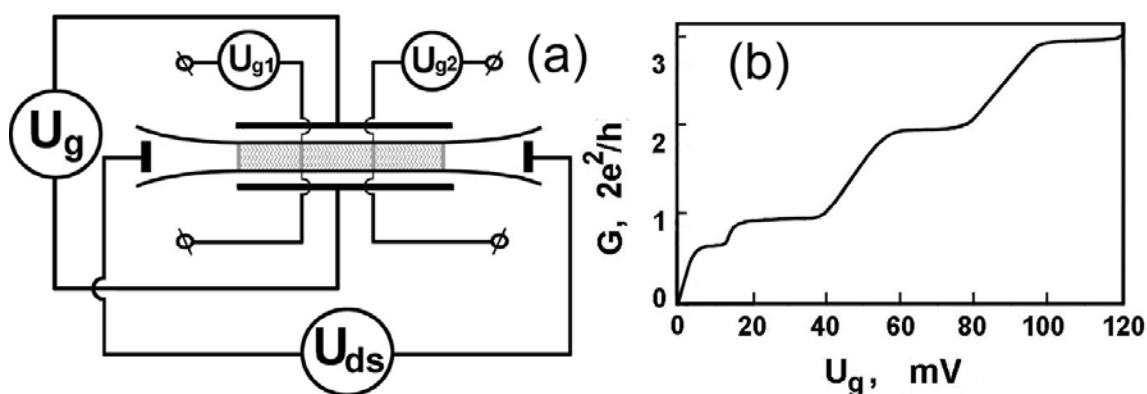


Рис.1.

- а) — Схема расщепленного затвора ( $U_g$ ), используемая для получения модулированных квантовых проволок внутри квантовых ям. Напряжение  $U_{g1}$  и  $U_{g2}$  прикладывается к “пальчиковым” затворам, предназначенным для реализации квантовых точек;
- б) — Квантованная проводимость, обнаруженная при  $T=77$  К вследствие формирования узкого (2нм x 2нм) одномерного канала в самоупорядоченной кремниевой квантовой яме p-типа. Позиция уровня Ферми соответствует заполнению одномерных подзон тяжелых дырок:  $G=(2e^2/h)T(E)$

Ток может вводиться в активную область через “соединители” из  $i$ -го резервуара электронов (в нашем случае  $i=1-2$ ), каждый из которых находится при некотором химическом потенциале  $\mu_i$ :

$$eV_i(dn_i/dE)\Delta\mu_i \quad (1)$$

где  $V_i$ -скорость электрона,  $\Delta\mu_i = \mu_i - \mu_0$ ,  $\mu_0$  —некоторое значение самого низкого потенциала на любом из резервуаров. Для одномерной нити плотность состояний ( $dn_i/dE$ ) приравнивается к  $1/hv_i$ . Поэтому ток в  $i$ -й проводнике равен  $(e/h)\Delta\mu_i$ . Тогда для многомодового проводника ( $N_i$ - подзоны заполнены) получаем:

$$I_i=(e/h)\{N_i-R_{ii}\mu_i - \sum T_{ij}\Delta\mu_{j i}\} \quad (2)$$

где  $R_{ii}$  - включает все электроны в  $i$ -ом проводнике  $R_{ii} = \sum R_{ii,mn}$ ,  $T_{ij} = \sum T_{ij,mn}$ .

Для простой двухконтактной геометрии  $N = T_{21} = T_{12} = T$ . Отсюда получаем выражение для проводимости двухконтактных устройств:

$$G = I/\Delta V = Ie/(\mu_1 - \mu_2) \quad (3)$$

Таким образом, для двухконтактной нити с фиксированными химическими потенциалами ток равен  $I = (e^2 NV)/(h/2\pi)$ , где  $N$  - число уровней, лежащих ниже уровня химического потенциала. В итоге получаем, что проводимость квантовой проволоки  $G = 2e^2 N/h$  не зависит от длины нити. В рамках схемы расщепленного затвора число заполненных уровней размерного квантования  $N$  может изменяться при варьировании величиной напряжения затвора (рис.1а), что демонстрируется на примере ВАХ проводимости электростатической квантовой проволоки, сформированной внутри самоупорядоченной кремниевой квантовой ямы (рис.1б).

Обнаруженное расщепление первой квантовой ступеньки обусловлено спиновой поляризацией носителей в квантовой проволоке.

Кроме квантованной проводимости многоконтактные баллистические устройства (рис.2а) характеризуются наличием отрицательного магнитосопротивления, выражение для которого также может быть получено из уравнения (2). Ниже, данный эффект анализируется при рассмотрении 4<sup>x</sup>-контактного устройства, в котором ток протекает из 1-го зонда в 4-й, а напряжение измеряется между зондами 2 и 3. На практике падение напряжения может быть измерено с очень высоким полным сопротивлением (импедансом), а ток, протекающий через зонды напряжения, пренебрежимо мал:

$$R_{14,23} = (h/e^2) \{T_{21}T_{34} - T_{24}T_{31}\} / D \quad (4)$$

Коэффициенты  $T_{24}$  и  $T_{31}$  относятся к переносу электронов прямо в противоположные зонды, тогда как  $T_{21}$  и  $T_{34}$  соответствуют переносу через смежные зонды. В высокоподвижных образцах средняя длина свободного пробега электронов много больше чем размеры нити. Поэтому инжектируемые в соединение электроны с большей вероятностью достигнут противоположного зонда, чем будут рассеяны на  $90^\circ$  в смежный зонд. Следовательно,  $T_{24}T_{31} > T_{21}T_{34}$  и сопротивление в этом случае будет отрицательной величиной. Значение этого результата становится важным при рассмотрении баллистической проволоки, внутри которой нет рассеяния электронов между резервуарами, что приводит к возникновению отрицательного магнитосопротивления (см. рис. 2б).

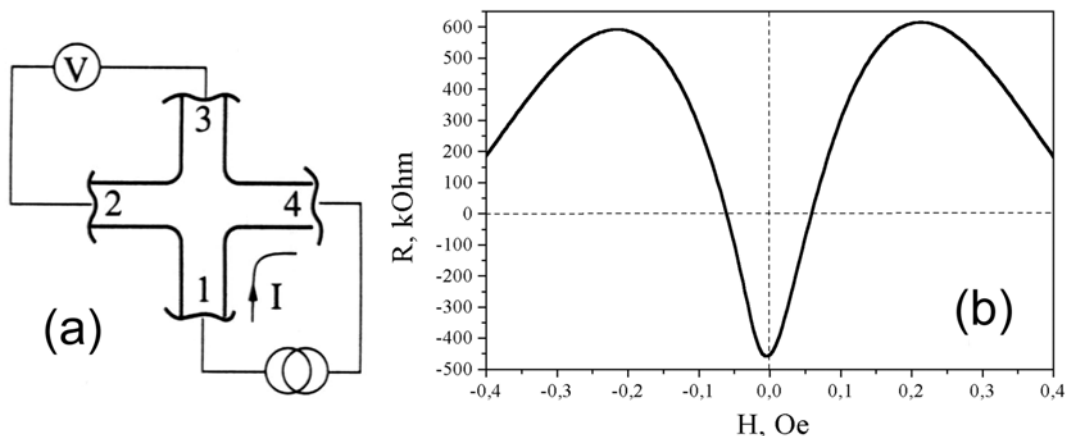


Рис. 2. Отрицательное магнитосопротивление, обнаруженное при исследовании проводимости сверхмелкого диффузионного профиля бора в кремнии, который содержит систему крестообразных квантовых проволок