

НАБЛЮДЕНИЕ МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОТЕНЦИАЛА В ОБРАЗЦЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

С.Э.Кубаткин

При протекании тока по пленке сурьмы на потенциальном электроде субмикронных размеров обнаружены воспроизводимые и апериодические по магнитному полю флуктуации напряжения.

В работе ¹ вычислены пространственные флуктуации тока в неупорядоченных проводниках при низких температурах. Было показано, что в результате квантовой интерференции электронов, движущихся по различным диффузационным траекториям, при протекании тока в макроскопически однородной неупорядоченной бесконечной среде возникают большие пространственные флуктуации плотности тока, так что лишь малая его доля направлена в сторону внешнего электрического поля \vec{E} . Флуктуации локального потенциала, возникающие при этом, имеют порядок

$$\langle \Delta\mu^2 \rangle \simeq \left(\frac{eE\hbar}{p_F} \right)^2 \frac{L_T}{l},$$

где $L_T = (\hbar D/kT)^{1/2}$, $D = l v_F / 3$, l - длина свободного пробега при рассеянии на примесях, p_F , v_F импульс и скорость Ферми. Усреднение проводилось по реализациям случайного потенциала.

В данной работе проведены прямые измерения флуктуаций потенциала такой природы в пленке сурьмы. Для наблюдения этого эффекта один из потенциальных контактов к пленке был изготовлен минимальных размеров, в то время как второй контакт был макроскопическим. Как и при измерениях мезоскопических флуктуаций проводимости в образцах малых размеров, флуктуации потенциала изучались при изменении магнитного поля, перпендикулярного плоскости пленки. Геометрия образца и схема измерений показаны на врезке к рис.1.

Пленка сурьмы толщиной 1000 Å и шириной 0,15 мм наносилась на стеклянную подложку, находящуюся при комнатной температуре, испарением в вакууме. Со-противление ее при комнатной температуре было 17 Ом/□. Микроконтакт получался следующим способом: на исследуемую пленку напылялся слой SiO через маску - нить диаметром 1 мкм. После этого нить поворачивалась на 90 градусов и наносился второй слой диэлектрика такой же толщины. Оставшееся непокрытым SiO окно и являлось контактом между пленкой и пленкой сурьмы, которая наносилась поверх полученного сэндвича. Таким образом, площадь контакта не могла превышать 1 мкм², однако из-за подпыления диэлектрика под маску размером контакта можно было управлять, варьируя толщину SiO. Суммарная толщина SiO около 2000 Å соответствовала переходной области между металлическим микроконтактом и туннельным контактом между пленками. Ниже описаны результаты измерений, полученные с помощью туннельного контакта с сопротивлением около 1 МОм; такой контакт мало возмущает распределение токов и потенциалов в пленке. Отметим, что при использовании высокомоментного вольтметра свойства самого микроконтакта не отразятся существенно на результатах таких измерений; важен лишь малый размер контакта.

Измерения проводились на переменном токе частотой 9 кГц. Сигнал U изменялся во времени: при гелиевых температурах наблюдались шумы в несколько нановольт, несомненно отражающие флюктуации свойств образца. Как правило,

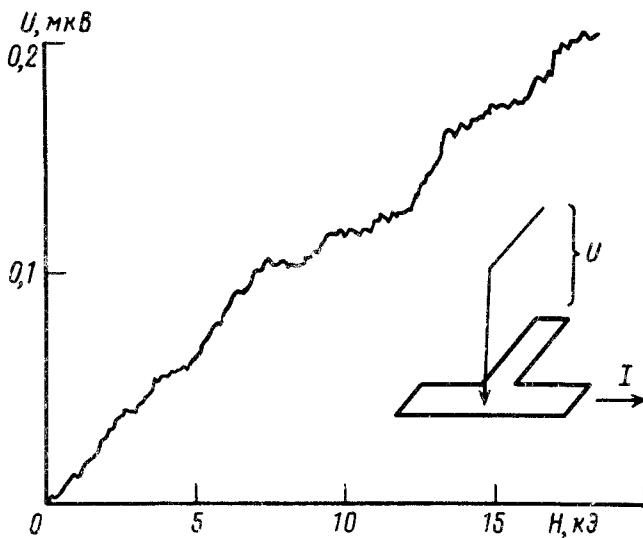


Рис. 1. Пример зависимости напряжения на контакте от магнитного поля. На врезке - схема эксперимента

характер шума изменялся во время эксперимента от шумов "телеграфного" типа с двумя уровнями сигнала до обычного непрерывного набора значений. "Телеграфный" шум характерен для сопротивления мезоскопических образцов (см., например, ^{2,3}) и связывается обычно с движением примесей.

Как видно из рис.1, искомые флюктуации слабо проявляются на фоне линейного по H холловского напряжения и шума образца. Поэтому измерялась производная dU/dH методом модуляции магнитного поля. Поле изменялось с частотой 17 Гц и амплитудой 500 Э. Амплитуда переменного тока через пленку подбиралась из условия линейности эффекта по току и составляла 0,1 мА. Результаты измерений представлены на рис.2. Записи $dU/dH(H)$ были четными по магнитному полю. Фурье-анализ этих зависимостей выявил несколько особенностей в спектре, указывающих на существование в пленке выделенных траекторий электронов. На рис.3 показан соответствующий участок фурье-спектра. Ос-

обенностям соответствуют характерные площади около 10^{-10} см². Такой вид спектра мезоскопических флуктуаций сопротивления наблюдался также в работе ⁴ и связывался с зернистой структурой пленки.

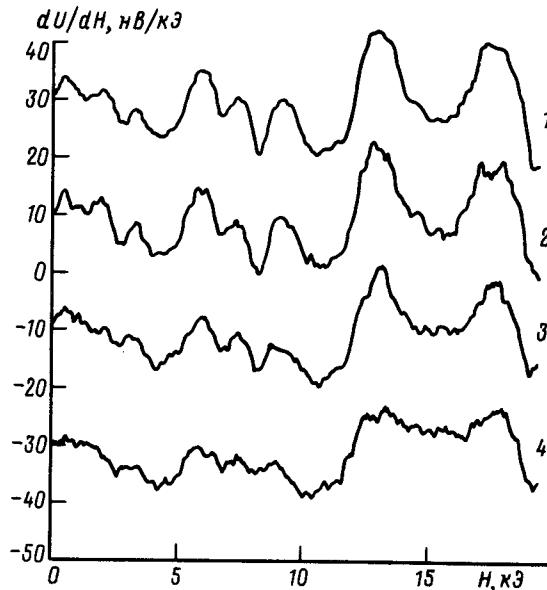


Рис. 2. Производная dU/dH в зависимости от магнитного поля. Для наглядности кривые сдвинуты по оси ординат. Кривая 1 - результат усреднения по восьми проходам при температуре 1,46 К, 2, 3, 4 - однократные записи при температурах 1,46; 2,53; 4,2 К соответственно

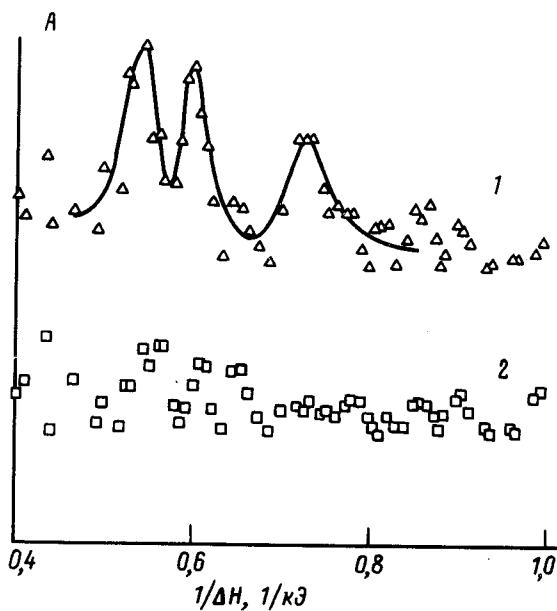


Рис. 3. Участки фурье-спектров кривых с рисунка 2: 1 - кривой 1 и 2 - кривой 4. Масштаб по оси ординат одинаковый; спектры сдвинуты по вертикали для большей наглядности

Средний квадрат флуктуаций электрохимического потенциала на идеально проводящем контакте размером a к пленке толщиной L_z оценивался в работе ⁵:

$$\langle \Delta\eta^2 \rangle \simeq \left(\frac{eE\hbar^2}{p_F^2 l} \right)^2 \frac{L_T^2 l}{L_z a^2} \ln \frac{L_\varphi}{L_T}.$$

Здесь L_φ - длина сбоя фазы электрона. По порядку величины эта оценка годится и для высокоомного контакта. В пленке сурьмы $p_F/\hbar \simeq 10^7$ см $^{-1}$, при температурах 1-2 К $l \simeq 10^{-5}$ см из данных по проводимости пленки, $L_T \simeq L_\varphi \simeq 5 \cdot 10^{-5}$ см (измерения L_φ проводились в работе ⁶). Таким образом, для наблюдаемых флюктуаций порядка 10^{-8} В размер контакта не должен превышать нескольких десятков ангстрем, что соответствует нашим представлениям о размерах области контакта.

В данной работе реализован предложенный в ¹ новый подход к экспериментальному изучению мезоскопических явлений. Ввиду сравнительной простоты изготовления образцов такой метод может оказаться перспективным для дальнейших исследований мезоскопических флюктуаций.

Автор благодарен [Ю.В.Шарвину], И.Л.Ландау и А.В.Данилову за интерес к работе и полезные обсуждения результатов эксперимента.

Литература

1. Аронов А.Г., Зюзин А.Ю., Спивак Б.З. Письма в ЖЭТФ, 1986, **43**, 431.
2. Ralls K.S., Ralp D.C., Buhrman R.A. Phys. Rev. B, 1989, **40**, 11561.
3. Meisenheimer T.L., Beuiler D.E., Giordano N. Jap. Journ. of Appl. Phys., 1987, **26**, Suppl. 26-3, 695.
4. Петрашов В.Т., Рейндерс П., Спрингфорд М. Письма в ЖЭТФ, 1987, **45**, 565.
5. Зюзин А.Ю., Спивак Б.З. ЖЭТФ, 1987, **93**, 994.
6. Webb R.A., Washburn S., Umbach C.P. Phys. Rev. B, 1988, **37**, 8455.