

НАБЛЮДЕНИЕ КВАНТОВЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЯ МНОГОСВЯЗНЫХ ОБРАЗЦОВ С ПРЫЖКОВОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

Я.Б.Поярков, В.Я.Конгарев, И.П.Крылов, Ю.В.Шарвин

Исследовалось магнетосопротивление сетчатых структур, изготовленных из окисленных неупорядоченных пленок РbТе. При $T = 1,12$ К наблюдались осцилляции с периодом, соответствующим изменению магнитного потока через каждое отверстие сетки на величину, приближенно равную $hc/2e$. Зависимость сопротивления от температуры соответствовала закону Мотта для пленок с прыжковой проводимостью с переменной длиной прыжка.

Как было недавно обнаружено, сопротивление многосвязных образцов неупорядоченных металлов осциллирует в зависимости от величины магнитного потока Φ в отверстиях образца в силу влияния вектор-потенциала поля на фазу электронных волн. Период осцилляций равняется $\Phi_0/2 = hc/2e$ в случае цилиндров или сеток¹⁻³. В случае тонких одиночных колец сплошной спектр осцилляций имеет максимумы при значениях периода Φ_0 и $\Phi_0/2$ ^{4,5}.

Интересными представляются поиски подобных эффектов для проводников с иным – прыжковым – механизмом проводимости. Несмотря на сильную локализацию электронов, интерференционные явления должны в принципе наблюдаться и в этом случае. Нгуен, Спивак и Шкловский предсказали^{6,7}, что для сеток из полупроводников период осцилляций $\Phi_0/2$ сменяется периодом Φ_0 при изменении концентрации рассеивателей.

Нами были произведены первые наблюдения осцилляций магнетосопротивления сеток, изготовленных из окисленных пленок теллурида свинца. Выбор материала обуславливался возможностью изменять его сопротивление при гелиевых температурах в широких пределах при помощи дозированного облучения светом, используя явление замороженной фотопроводимости⁸.

Пленки РbТе получались осаждением молекулярного пара на стеклянную подложку с плечными платиновыми контактами при 20° С и давлении $< 10^{-5}$ торр. До окисления проводимость пленки, имевшей большую концентрацию доноров, росла с понижением температуры. При окислении в воздухе проводимость приобретала термоактивационный характер вследствие компенсации доноров. Пленки и готовые образцы хранились в нормальных атмосферных условиях.

Использованный в измерениях образец был изготовлен из пленки толщиной 1600 \AA методом электронной литографии и представлял собой сетку с квадратными ячейками и периодом структуры 2 мкм . Ширина проводящих перемычек сетки не превышала $0,5 \text{ мкм}$. В направлении протекания тока сетка имела 6 ячеек и в перпендикулярном – 35 ячеек.

Электрическая схема на базе цифрового электрометра В7-29 позволяла измерять сопротивление до $\sim 5000 \text{ ГОм}$ при измерительном токе около 10^{-13} А. Темновое сопротивление образца при гелиевых температурах было неизмеримо велико, и мы прибегали при измерениях к предварительной засветке образца. В первые минуты после засветки сопротивление несколько возрастало, однако, через $10 - 20$ мин возрастание сменялось шумом с широким спектром периодов, достигающих времени самого опыта. Амплитуда шумов в различных опытах отличалась в $2 - 3$ раза. В удачных экспериментах в ночное время через 1 час после засветки амплитуда шума составляла $\sim 5\%$.

Температурную зависимость сопротивления образца R в пределах ошибок можно было аппроксимировать соотношением

$$R = R_0 \exp(T_0/T)^\nu, \quad (1)$$

где $\nu = 0,3 \pm 0,1$, а величины R_0 и T_0 зависели от степени засветки образца (см. рис. 1). Выполнение близкого к закону Мотта соотношения (1) свидетельствует о прыжковом механизме проводимости с переменной длиной прыжка в материале образца.

При измерениях магнетосопротивления для выделения сравнимого с шумами полезного сигнала производилось многократное прохождение исследуемого диапазона полей. При 128 фиксированных значениях поля, нормального к поверхности образца, в интервале $0 \div 26$ происходило накопление и усреднение показаний электрометра при помощи ЭВМ. Земное поле компенсировалось с точностью $0,1 \text{ Э}$.

Верхняя кривая на рис. 2 представляет результат усреднения после 24 проходов при $T = 1,12 \text{ К}$. Период наблюдаемых осцилляций $H_1 = 7 \pm 0,5 \text{ Э}$. Пунктирная нижняя кривая получена в результате единичного прохода. Осцилляции магнетосопротивления с периодом около 7 Э были отчетливо наблюдаемы также при $1,3$ и 2 К . При $T \geq 3 \text{ К}$ осцилляции были неразличимы.

Наблюдаемые осцилляции вызваны, по-видимому, квантовой интерференцией электронных состояний с периодом, равным, согласно ^{6,7} кванту потока $\Phi_0 = hc/e$ или кванту $\Phi_0/2$.

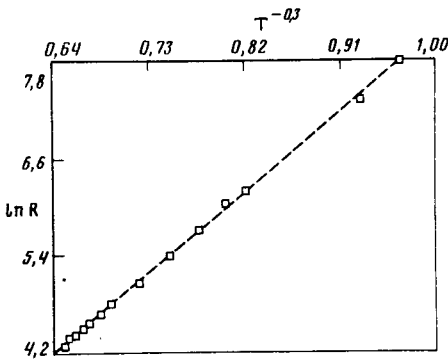


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость $\ln R$ от $T^{-0,3}$ для сетчатого образца из PbTe , засвеченного при $T = 4,2 \text{ К}$, снятая в интервале $1,12 \leq T \leq 4,2 \text{ К}$. Величина R измерена в ГОм. Пунктирная прямая соответствует значениям $R_0 \approx 0,06$, $T_0 \approx 3000 \text{ К}$ в соотношении (1)

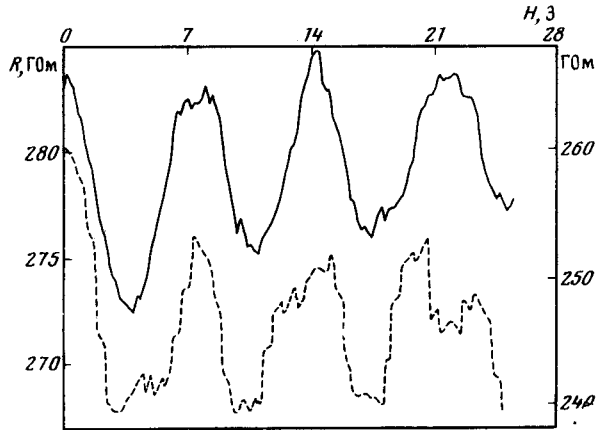


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость сопротивления сетчатого образца из PbTe от магнитного поля при $T = 1,12 \text{ К}$. Степень засветки близка к насыщению при температуре опыта. Шкала сопротивлений для пунктирной кривой нанесена справа

Учитывая, что ширину перемычек нашей сетки нельзя считать малой, можно лишь утверждать, что эффективная площадь отверстий S заключена в пределах $2^2 > S > 1,5^2 \text{ мкм}^2$, откуда

$$3 \cdot 10^{-7} > H_1 S > 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Гс} \cdot \text{см}^2. \quad (2)$$

Значение $H_1 S = \Phi_0/2 = 2,07 \cdot 10^{-7} \text{ Гс} \cdot \text{см}^2$ находится в этих пределах. Неравенство (2) показывает также, что период, равный Φ_0 , в условиях нашего эксперимента не наблюдается.

Авторы признательны В.Ф.Чугунову за изготовление сеток методом микролитографии.

Литература

1. Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Спивак Б.З. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 101.
2. Шарвин Д.Ю., Шарвин Ю.В. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 285.
3. Pannetier B., Chaussy J., Rammal R., Gandit P. Phys. Rev. Lett., 1984, 53, 718.
4. Gefen Y., Imry Y., Azbel M. Ya. Phys. Rev., 1984, 52, 129.
5. Webb R.A., Washburn S., Umbach C.P., Laibovitz R.B. Phys. Rev. Lett., 1985, 54, 2696.
6. Нгуен В.Л., Спивак Б.З., Шкловский Б.И. Письма в ЖЭТФ, 1985, 41, 35.

7. Нгуен В.Л., Спивак Б.З., Шкловский Б.И. ЖЭТФ, 1985, 89, 1770.

8. Крылов И.П., Надгорный Б.Э. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 56.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 августа 1986 г.