

О ПРОВОДИМОСТИ И АНОМАЛЬНОМ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИИ БИКРИСТАЛЛОВ ГЕРМАНИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

О.В.Жариков

Сообщается об обнаружении квантовых поправок к сопротивлению¹⁾ и аномального магнитосопротивления (АМС) в области полей ~ 100 Э в бикристаллах Ge при низких температурах.

Известно, что внутренняя поверхность раздела в бикристаллах Ge обладает двумерной металлической проводимостью, независимой от температуры (T) по крайней мере $T < 20$ К^{1,2}. Однако, следуя теоретическим представлениям, развитым в последние годы, в двумерных проводящих системах можно ожидать появления квантовых поправок к сопротивлению, а также АМС в слабых магнитных полях³⁻⁶. В настоящей работе предпринята попытка обнаружения указанных эффектов в бикристаллах Ge при низких температурах.

Бикристаллы Ge выращивались по методу Чохральского на двойную заправку способом, аналогичным описанному в^{1,2}. Из полученных слитков, содержащих границу наклона с углом разориентировки $\cong 16^\circ$, вырезались образцы для измерений размером $4 \times 4 \times 0,5$ мм так, чтобы плоскость границы была перпендикулярна широким граням, на которые затем на-

¹⁾ Во время подготовки номера к печати автору стало известно о публикации работы Б.М.Вула и Э.И.Заварицкой, в которой также сообщается о наблюдении квантовых поправок к проводимости бикристаллов германия при низких температурах (Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 571).

носились индиевые контакты. В работе исследовались образцы p -Ge, имевшие следующие характеристики: удельное сопротивление $\rho_{300K} \cong 15 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, сопротивление $R_{4,2K} \cong 400 \div 800 \text{ Ом}$, сопротивление проводящего слоя границы (сопротивление „на квадрат“) $R_{4,2K}^{\square} \cong 4600 \text{ Ом}$. Измерение сопротивления проводилось в рефрижераторе растворения He^3/He^4 в интервале температур $0,045 \text{ К} \leq T \leq 4,2 \text{ К}$. Температура определялась с помощью угольного термометра, отградуированного по измерениям восприимчивости парамагнитной соли ЦМН. Магнитосопротивление изучалось в поперечном магнитном поле при $1,3 \text{ К} \leq T \leq 4,2 \text{ К}$.

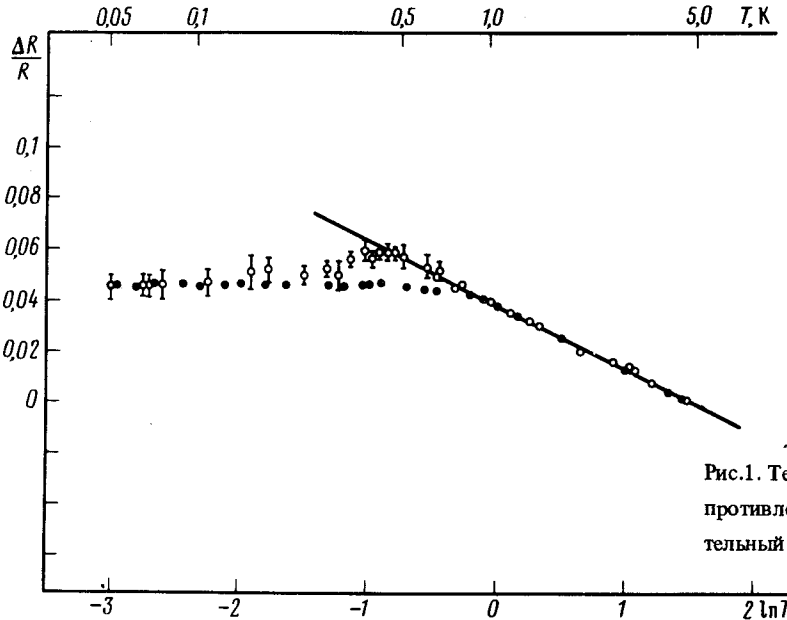


Рис.1. Температурная зависимость сопротивления бикристалла Ge. Измерительный ток: ● — 3 мкА, ○ — 0,1 мкА.

На рис.1 представлены результаты измерения температурной зависимости сопротивления бикристалла Ge с $R_{4,2K} \cong 700 \text{ Ом}$, $R_{4,2K}^{\square} = 4,6 \text{ кОм}$. В опытах варьировался измерительный ток I . При $I = 3 \text{ мкА}$ выделяемая в образце мощность составляет $P \cong 6 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}$, напряжение на образце $U \cong 2 \cdot 10^{-3} \text{ В}$ и электрическое поле $E \cong 4 \cdot 10^{-2} \text{ В/см}$; при $I = 0,1 \text{ мкА}$, соответственно, $P \cong 7 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$, $U \cong 7 \cdot 10^{-5} \text{ В}$ и $E \cong 10^{-3} \text{ В/см}$. Из рисунка видно, что при уменьшении T наблюдается рост R , причем $\Delta R/R \sim \ln 1/T$. Сплошная линия соответствует теоретической зависимости^{3,6} $\Delta R/R = -\alpha R^{\square} \frac{e^2}{2\pi\hbar} \ln T$, где коэффициент α определяется температурной зависимостью времени энергетической релаксации электронов. В наших измерениях экспериментально определенное значение α для разных образцов составило $0,5$. При уменьшении температуры до $T \cong 0,7 \text{ К}$ и $I = 3 \text{ мкА}$ наблюдается выход на насыщение, что может быть связано, например, с перегревом электронной подсистемы⁷. При $I = 0,1 \text{ мкА}$ поведение зависимости $R(T)$ является более сложным: логарифмический рост R продолжается до $T \cong 0,5 \text{ К}$, при $T \cong 0,35 \text{ К}$ наблюдается максимум, а затем — постепенное уменьшение R и также выход на насыщение при $T \lesssim 0,1 \text{ К}$.

Опишем теперь результаты измерения поперечного магнитосопротивления, полученные для того же самого образца. Кривые, показанные на рис.2, записаны с помощью самописца типа „Bryans“ следующим образом. На ось абсцисс самописца подавался сигнал с датчика Холла, а на ось ординат — напряжение на образце $U(H)$ при неизменном измерительном токе $I \cong 5 \text{ мкА}$, из которого вычиталось напряжение на образце в нулевом магнитном поле $U(H = 0)$ при данной температуре, а разность $U(H) - U(H = 0)$ максимально усиливалась. Таким

образом, ордината начальной точки (при $H = 0$) соответствует нулевому напряжению на образце с точностью $\cong 0,5$ мкВ, а записанная кривая отражает изменения $R(H)$, связанные с магнитным полем при данной T . Из рисунка видно, что в бикристаллах Ge в области слабых полей ($\sim 10^2$ Э) наблюдается АМС со сложной зависимостью $R(H)$. На кривых появляются максимум и минимум, абсолютная величина которых растет, а положение смещается в сторону больших полей при уменьшении температуры. Величина эффекта при $T = 1,34$ К составляет $\cong 10$ мкВ, что соответствует 0,5 % от значения сопротивления образца. При дальнейшем увеличении магнитного поля (до 15 кЭ) $R(H)$ монотонно возрастает.

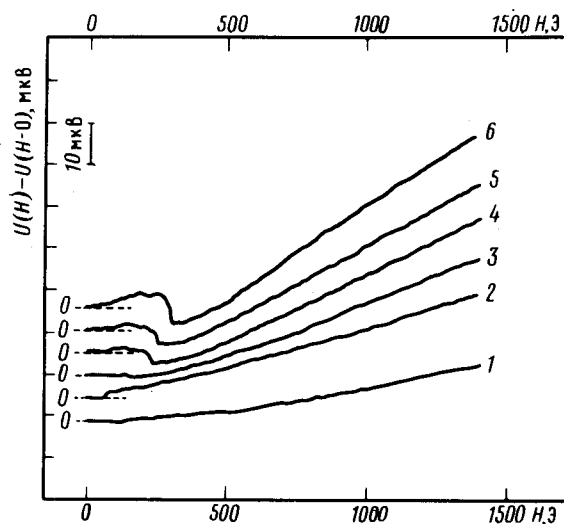


Рис.2. Поперечное магнитосопротивление бикристалла Ge при разных температурах: 1 - $T = 4,2$ К; 2 - 3,1; 3 - 2,6; 4 - 2,13; 5 - 1,79; 6 - 1,34. Кривые для наглядности сдвинуты по вертикальной оси. Остальные пояснения в тексте

Полученные результаты позволяют сделать следующие предварительные выводы. Температурная зависимость $R(T) \sim \ln^1/T$ и АМС при $H \sim 10^2$ Э, т.е. в области классически слабых полей $\omega_c \tau \ll 1$ ($\omega_c = \frac{eH}{mc}$, τ - время релаксации импульса), могут свидетельствовать о процессах слабой локализации в исследованных образцах.

Однако, сложный и немонотонный характер кривых $R(H)$, а также наличие с максимума на зависимости $R(T)$ не могут быть описаны в рамках простой теории³ и требуют, по-видимому, учета таких эффектов, как спин-орбитальное взаимодействие, электрон-электронное взаимодействие и др.⁴⁻⁶. Дальнейшие эксперименты будут направлены на выяснение природы квантовых поправок к сопротивлению и АМС в бикристаллах германия.

В заключение автор выражает глубокую признательность А.И.Ларкину и Д.Е.Хмельницкому за плодотворные и стимулирующие обсуждения, Е.П.Вольскому и В.В.Шмидту за поддержку работы. Особую благодарность хотелось бы выразить Н.В.Абросимову, В.А.Татарченко и Б.М.Эпельбауму, организовавшим и наладившим рост бикристаллов германия.

Литература

1. Матаре Г. Электроника дефектов в полупроводниках. М.: Мир, 1974, гл.10.
2. Вул Б.М., Заваицкая Э.И. ЖЭТФ, 1979, 76, 1089.
3. Abrahams E., Anderson P.W., Licciardello D.C., Ramakrishnan T.V. Phys. Rev. Lett., 1979, 42, 673.
4. Altshuler B.L., Aronov A.G., Lee P.A. Phys. Rev. Lett., 1980, 44, 1288.
5. Hikami S., Larkin A.I., Nagaoka Y. Prog. Theor. Phys., 1980, 63, 707.
6. Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Ларкин А.И., Хмельницкий Д.Е. ЖЭТФ, 1981, 81, 768.
7. Anderson P.W., Abrahams E., Ramakrishnan T.V. Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 718.