

**К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ "АНОМАЛЬНОГО" МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЯ
В СИЛЬНО ЛЕГИРОВАННОМ ГЕРМАНИИ p-ТИПА**

А.Н.Ионов

Показано, что переход под действием одноосного сжатия от "аномального" положительного к отрицательному магнетосопротивлению в p -Ge объясняется сменой знака обменного взаимодействия между спинами свободных дырок и локализованными спинами.

В 1963 году в работах [1, 2] сообщалось об обнаружении в сильно легированном p -Ge <Ga> в области гелиевых температур "аномально-го" положительного магнетосопротивления (ПМС). При этом было показано, что "аномальное" ПМС имеет такие же температурную и концентрационную зависимости, как и отрицательное магнетосопротивление (ОМС), наблюдаемое в германии с металлической проводимостью. Было высказано предположение, что в обоих типах германия "аномальное" магнетосопротивление имеет одну и ту же природу, которая до сих пор, однако, оставалась не выясненной.

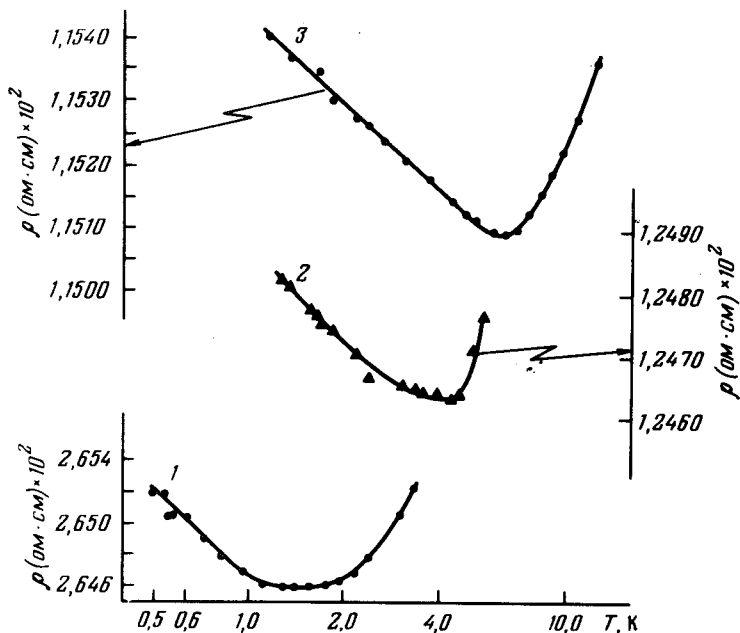


Рис. 1. Температурные зависимости удельных сопротивлений p -Ge с концентрациями примесей: 1 — $4,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; 2 — $1,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; 3 — $1,6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$

Мы полагаем, что причиной "аномального" магнетосопротивления в легированном германии за переходом Мотта со стороны металлической проводимости является возрастание плотности состояний на уровне Ферми в магнитном поле, поскольку в температурной зависимости проводимости таких материалов наблюдается эффект Кондо [3]:

$$\rho_{0b} \sim \rho_0 \left[1 - \frac{4J}{N} \xi(\epsilon_F) \ln \frac{\epsilon_F}{KT} \right], \quad (1)$$

где ρ_{0b} — значение удельного сопротивления за счет обменного взаимодействия; ρ_0 — значение удельного сопротивления в I борновском приближении; $\xi(\epsilon_F)$ — плотность состояний на уровне Ферми; ϵ_F — энергия Ферми; N — концентрация примеси; J — обменный интеграл; K — постоянная Больцмана; T — температура. Знак "аномального" магнетосопротивления зависит от знака J . Согласно этой модели переход от "аномаль-

ного" ПМС к ОМС под действием одноосного сжатия, который наблюдался в p -Ge [4], может быть связан с изменением знака J . Но тогда, следовательно, должна измениться и температурная зависимость $\rho_{об}$: вместо роста с понижением температуры оно должно, наоборот, уменьшаться.

Для экспериментальной проверки этой гипотезы был выбран германий легированный галлием без предварительной компенсации с концентрацией носителей от $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

На рис. 1 приведены низкотемпературные проводимости образцов. Видно, что у всех образцов начиная с некоторой температуры сопротивление возрастает по закону (1). Температура при которой наблюдается минимум проводимости смещается в сторону более высоких температур с увеличением концентрации легирующей примеси, при этом температурная зависимость проводимости описывается (1), с $J < 0$. На рис. 2 приведена температурная зависимость проводимости p -Ge в условиях одноосного сжатия вдоль направления [100] при том давлении, когда наблюдается ОМС. Видно, что температурная зависимость проводимости действительно меняет знак и теперь описывается (1), но с $J > 0$.

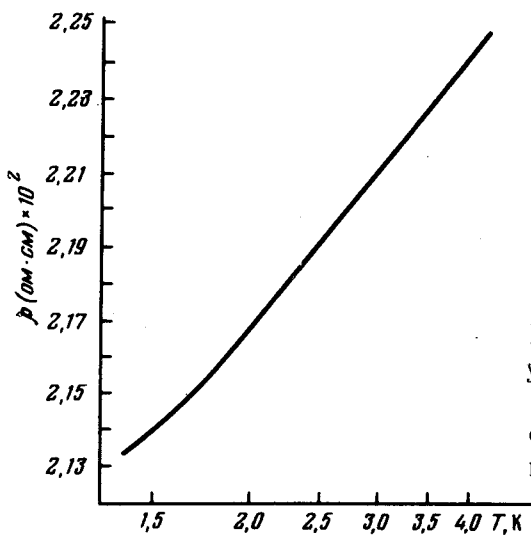


Рис. 2. Температурная зависимость удельного сопротивления p -Ge ($N_a = 5,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) в условиях одноосного сжатия ($\chi = 4,2 \text{ т/см}^2$) вдоль направления [100] ($I \text{ mA} \parallel [100]$).

По нашему мнению, причина смены знака обменного интеграла заключается в следующем. Из теории эффекта Кондо известно, что обменный интеграл J есть сумма двух величин [5]:

$$J = J_o - J_m,$$

где J_o — результат прямого обменного взаимодействия, причем всегда положительный; а J_m — результат перемешивания волновых функций свободных носителей и локализованных магнитных моментов, дающий отрицательный вклад в J . В зависимости от баланса этих величин, суммарное значение обменного интеграла будет или положительным, или отрицательным. Прикладывая одноосное сжатие и увеличивая перекрытие между волновыми функциями, мы увеличиваем прямое обменное взаимодействие, что может привести в конечном итоге к смене знака.

В заключение, автор благодарит Р.В.Парфеньева и Р.Ренча за помощь в эксперименте, И.С.Шлимака за обсуждение результатов, а также С.М.Рывкина за внимание и интерес к работе.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 ноября 1978 г.

Литература

- [1] Н.Roth, W.O.Straub, W.Bernard, J.E.Mulhern, **11**, 328, 1963.
 - [2] Y.Furukawa, J. Phys. Soc., Japan, **18**, 737, 1963.
 - [3] А.Н.Ионов, И.С.Шлимак. ФТП, **11**, 741, 1977.
 - [4] K.Sugiyama. J. Phys. Soc., Japan, **19**, 1745, 1964.
 - [5] J.Kondo. Progr. Theoret. Phys. (Kyoto), **28**, 846, 1962.
-