

ИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ПЕРЕХОД МОТТА В СОЕДИНЕНИИ $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

А.Б.Алейников, П.И.Баранский, А.В.Жидков

Исследованы зависимости $\rho_{\perp}(H)$ в ультраквантовом пределе в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ n -типа ($x = 0,13 \div 0,19$) при 4,2К. Показано, что магнитное поле обуславливает переход металл – неметалл (переход Мотта). Указано на некоторые особенности этого перехода, специфические для исследуемых кристаллов.

Известные теории^{1,2} магнитосопротивления в области магнитных полей, соответствующих ультраквантовому пределу ($\hbar\omega \gg kT$; $\hbar\omega > E_F/kT$) в одноэлектронном приближении дают $\rho_{\perp}(H) \sim H^a$, где $a \approx \text{const}$ в рамках одного механизма рассеяния. Однако в ус-

ловиях, когда $R/\lambda \gg 1$, где R – дебаевский радиус экранирования, $\lambda \equiv \sqrt{\hbar c/eH}$ – магнитная длина, одноэлектронное приближение неприменимо². С целью изучения поведения магнитосопротивления в этих условиях нами измерены полевые зависимости $\rho_{\perp}(H)$ при $T = 4,2\text{К}$ в монокристаллах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ n -типа ($x = 0,13 \div 0,19$), основные параметры которых приведены в таблице.

Основные параметры исследованных образцов

№	$N, \text{см}^{-3}$	$\lambda_{\text{к}}, \text{см}$	$\sigma_{\text{min}}^{\text{теор}}, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	$\sigma_{\text{к}}, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$
1	$1,80 \cdot 10^{14}$	$3,25 \cdot 10^{-6}$	0,65	0,58
2	$1,96 \cdot 10^{14}$	$3,12 \cdot 10^{-6}$	0,66	0,59
3	$2,20 \cdot 10^{14}$	$2,97 \cdot 10^{-6}$	0,69	0,59
4	$2,60 \cdot 10^{14}$	$2,70 \cdot 10^{-6}$	0,73	0,60
5	$1,25 \cdot 10^{15}$	$1,59 \cdot 10^{-6}$	1,23	2,60
6	$1,56 \cdot 10^{15}$	$1,54 \cdot 10^{-6}$	1,33	2,17

Известно, что в примесной зоне полупроводников, обладающих металлической проводимостью, магнитное поле, существенно уменьшая размер волновых функций примесных состояний a_H , при выполнении условия:

$$N^{1/3} a_H = 0,37 \quad (1)$$

должно приводить³ к переходу Мотта (N – концентрация электронов).

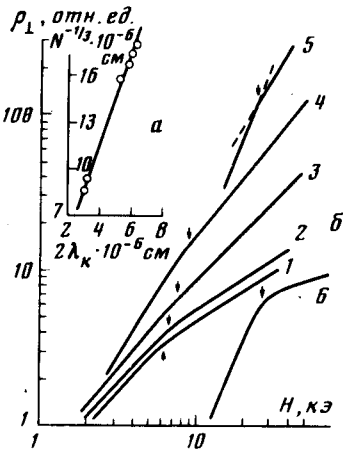
Достаточно большая величина диэлектрической проницаемости $\kappa \approx 14,1$ и малость отношения $m^*/m_0 \approx 0,005 \div 0,008$ в исследуемых кристаллах обеспечивают при $H = 0$ значение $a_0 \approx 1300 \text{ \AA}$, при котором в нашем случае примесные атомы могут образовать примесную зону, сливающуюся с дном c -зоны, а также привести к появлению дискретных уровней энергии в глубине последней.

Поскольку радиальная часть огибающей волновой функции примесного центра при $a_0 \gg$ затухает, согласно⁴, как $\exp[-\rho^2/(2\lambda)^2]$, то величина 2λ в рассматриваемом случае является эффективным радиусом локализации, что гарантирует при определенном значении $H_{\text{к}}$ выполнение условия (1). В этом случае магнитное поле будет локализовать электроны в плоскости, поперечной к H , эффективней кулоновского потенциала, а на зависимостях $\rho_{\perp}(H)$ при значениях $H = H_{\text{к}}$ (различных для разных N) должна проявляться некоторая особенность, что и дает опыт (изломы на кривых 1 ÷ 6 рисунка). На рис. а экспериментально найденные значения $N^{-1/3} = f(2\lambda_{\text{к}})$ хорошо укладываются на прямой, проведенной согласно (1) для условий моттовского перехода.

Сравним удельную проводимость образцов в точке перехода с соответствующими значениями "минимальной металлической проводимости"⁵ $\sigma_{\text{min}} = Ae^2/\hbar a$, где $a = 0,55N^{-1/3}$ – среднее расстояние между электронами, $A = 0,026 \div 0,1$ – коэффициент, зависящий от координатного числа. Сопоставление экспериментально измеренных значений $\sigma_{\text{к}} = \rho_{\text{к}}^{-1}$ (см. таблицу) с рассчитанными для $A = 0,026$, т. е. для хаотического расположения центров, показывает, что при $H = H_{\text{к}}$ в пределах точности эксперимента наблюдается действительно "минимальная металлическая проводимость", характерная для условий, при которых реализуется переход Мотта.

Итак, совокупность приведенных выше данных указывает на то, что при $T = 4,2\text{К}$ в кристаллах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ магнитное поле (в условиях ультраквантового предела) индуцирует переход Мотта за счет локализации электронов, приводящей к отщеплению примесной поло-

сы от дна проводимости. Характерной для рассматриваемого случая особенностью моттовского перехода является то, что из-за узости примесной зоны и незначительной величины энергетической щели, отделяющей ее от дна c -зоны ($\sim 0,3$ мэВ, что в условиях обсуждаемых опытов сравнимо с kT), в c -зоне все еще находится значительное количество носителей, чем и обуславливается отсутствие резкого изменения характера зависимости $\rho_{\perp}(H)$ в точке перехода⁶.



a – Зависимость параметра $N^{-1/3}$ от эффективного радиуса локализации магнитным полем $2\lambda_K$ в точке перехода Мотта. Сплошная прямая – теоретический расчет согласно формуле (1). Точками обозначены экспериментальные данные по имеющимся образцам.

б – Полевые зависимости поперечного магниторезистивного эффекта образцов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ в ультраквантовом пределе при 4,2К. Номера кривых соответствуют номерам образцов

Особенности на зависимостях $\rho_{\perp}(H)$, напоминающие по внешнему виду представленные здесь результаты, обнаружены ранее в вырожденных проводниках (металлах)^{7,8} и объяснены авторами этих работ магнитным пробоем⁹. Однако, магнитное поле, при котором достигается магнитный пробой, с понижением концентрации N может только возрастать. По этому привлечение магнитного пробоя для объяснения обнаруженных нами особенностей $\rho_{\perp}(H)$ явно входило бы в противоречие с опытными данными, приведенными на рисунке.

Подобные же особенности на кривых $\rho_{\perp}(H)$ представлены в работах^{10,11}, где они были отождествлены с вигнеровской кристаллизацией электронного газа в магнитном поле.

Литература

1. Adams E.N., Holstein T.D. J. Phys. Chem. Sol., 1959, 10, 254.
2. Gerhards R., Hajdu J. Z. Physik, 1971, 245, 126.
3. Hulten L., Laurikainen K.V. Rev. Mod. Phys., 1951, 23, 1.
4. Шкловский Б.И., Эфрос А.А. Электронные свойства легированных полупроводников, М.: Наука, 1979.
5. Мотт Н. Переходы металл – изолятор, М.: Наука, 1979.
6. Robert G.L. et al. Phil. Mag., 1980, 42, 1003.
7. Алексеевский Н.Е., Егоров В.С. ЖЭТФ, 1964, 46, 1205.
8. Falicov L.M., Sievert P.R. Phys. Rev. Lett., 1964, 12, 558.
9. Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел, М.: Наука, 1967.
10. Nimtz G., Schlicht B. Proc. 15th Int. Conf. Phys. of Sem., Kyoto, 1980.
11. Nimtz G. et al. Sol. State Comm., 1979, 32, 669.