

СЛОЖНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ ФОТОМАГНИТНОГО ЭФФЕКТА В $n\text{-InSb}$ В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Р.В.Парфеньев, И.И.Фарбштейн, С.С.Шалыт

Квантование электронного спектра проводника в сильном магнитном поле ($\nu H/c \gg 1$) приводит, в известных условиях, к осциллирующей зависимости от поля всех физических величин, характеризующих явления, в которых носители тока играют заметную роль. В работе Кикоина и Лазарева [1] было показано, что к числу таких величин относится и э.д.с. фотомагнитного эффекта Кикоина – Носкова (ФМЭ).

В настоящее время известны два типа осцилляций кинетических коэффициентов, периодических по обратному полю. Осцилляции Шубникова-де Гааза (ШГ) наблюдаются только при сильном вырождении ($\zeta \gg kT$) и низких температурах ($kT \ll \hbar\Omega$). Возникновение этих осцилляций связано с перемещением уровней Ландау относительно уровня Ферми ζ при изменении магнитного поля. Условие пересечения этих уровней

$$\zeta(H) = \hbar\Omega \left(N + \frac{1}{2}\right) \pm \frac{1}{2} |g| \mu_B H \quad (1)$$

($\Omega = eH/m^*c$, g – фактор спектроскопического расщепления, μ_B – магнетон Бора) определяет периодичность осцилляций ШГ. В случае сферической зоны без учета спинового расщепления период осцилляций определяется только концентрацией:

$$\Delta(1/H) = 3,18 \cdot 10^6 \cdot n^{-2/3}. \quad (2)$$

Изменение n , легко осуществимое в полупроводниках, позволяет перемещать картину осцилляций ШГ по шкале магнитного поля [2].

Второй тип осцилляций, предсказанный Гуревичем и Фирсовым (ГФ), является следствием резонансного характера неупругого рассеяния электронов на оптических колебаниях кристалла в сильном магнитном поле [3]. В этом случае период осцилляций не зависит от n и определяется эффективной массой электронов m^* и частотой продольных оптических фононов ω_0 :

$$\Delta(1/H) = e(m^* \omega_0 c)^{-1}. \quad (3)$$

В настоящей работе показано, что в нечетном ФМЭ, наблюдаемом в $n\text{-InSb}$ при $T \leq 4^\circ\text{K}$, проявляются оба типа осцилляций. Сигнал ФМЭ, создаваемый белым светом ($\sim 0,5 \div 2,8 \text{ мк}$) на образце, помещенном в жидкий гелий, усиливался и регистрировался двухкоординатным самописцем. Измерения напряжения и тока короткого замыкания ФМЭ на шес-

ти монокристаллах n -InSb ($2 \cdot 10^{14} \leq n \leq 3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) обнаружили сложную картину осцилляций: одна группа экстремумов смещалась по полю с изменением n и их периодичность соответствовала (2), положение другой группы экстремумов не зависело от n и их периодичность ($\Delta(1/H) = 3 \cdot 10^{-5} \text{ э}^{-1}$) соответствовала формуле (3).

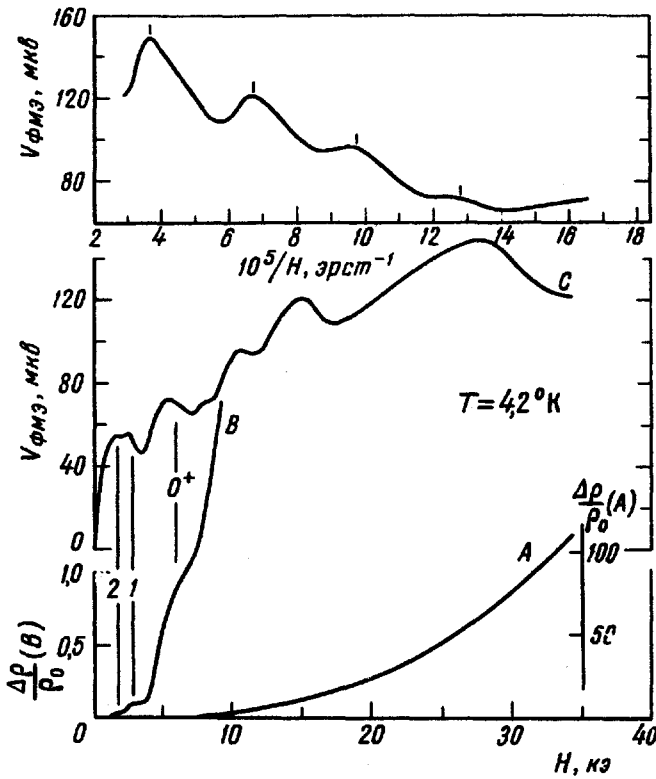


Рис.1. Экспериментальные кривые зависимости магнетосопротивления $\Delta\rho/\rho_0$ (A и B) и фотомангнитного напряжения $V_{\text{ФМЭ}}$ (C) от поля H для монокристалла n -InSb с $n = 1,35 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $\mu = 1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{всек}$ при $T = 4,2^\circ\text{K}$. Кривая B представляет участок кривой A при сильном увеличении. Вертикальные прямые указывают значения поля H , при которых выполняется условие (1) (при $|g| = 50$). В верхней части рисунка представлена кривая $V_{\text{ФМЭ}}$ на шкале обратного поля

На рис. 1 представлены некоторые из полученных экспериментальных кривых $V_{\text{ФМЭ}}$ и поперечного магнетосопротивления $\Delta\rho/\rho_0$. На рисунке видно, что в области $H < 7 \text{ кэ}$ проявляются осцилляции типа ШГ, а в

области квантового предела $\hbar\Omega > \zeta$ ($H > 7$ кэ), где равновесные (по температуре) электроны не создают осцилляций ШГ [2], обнаруживается серия осцилляций типа ГФ с периодом (3). При повышении T до 20°K амплитуда осцилляций ФМЭ типа ГФ резко уменьшается, и при $T \approx 77^\circ\text{K}$ эффект ГФ не проявляется. Затухание осцилляций ГФ происходит и при уменьшении n до 10^{14} см^{-3} ($T \leq 4^\circ\text{K}$).

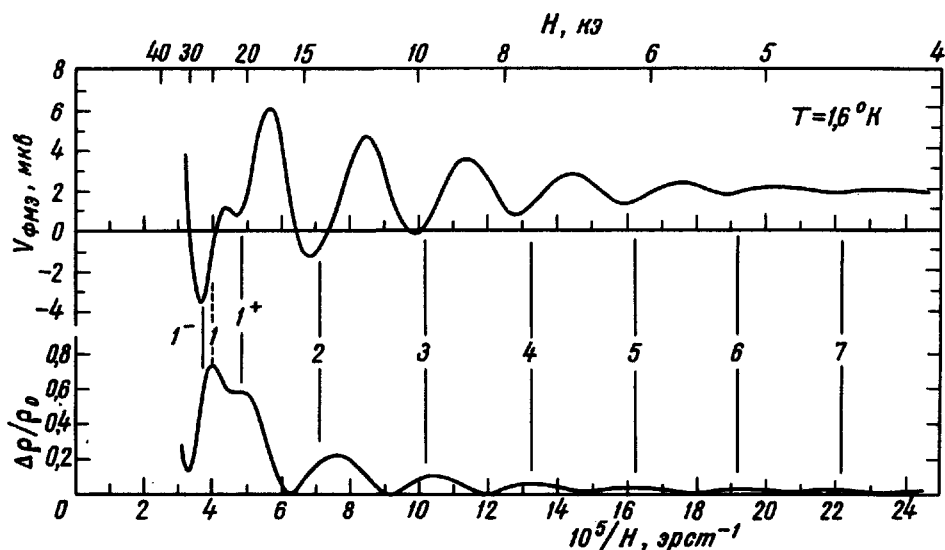


Рис. 2. Экспериментальные кривые зависимости магнетосопротивления $\Delta\rho/\rho_0$ и $V_{\text{ФМЭ}}$ от $1/H$ для монокристалла $n\text{-InSb}$ с $n = 3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $\nu = 8,5 \cdot 10^4 \text{ сж}^2/\text{всек}$ при $T = 1,6^\circ\text{K}$. Вертикальные прямые соответствуют условию (1)

На рис. 2 представлены кривые $V_{\text{ФМЭ}}$ и $\Delta\rho/\rho_0$ для образца $n\text{-InSb}$ с концентрацией, обеспечивающей распространение осцилляций ШГ на всю шкалу $H \leq 35$ кэ. Видно, что в этом случае периоды осцилляций $\Delta\rho/\rho_0$ и $V_{\text{ФМЭ}}$ совпадают и вблизи значений H , определяемых условием (1), располагаются максимумы $\Delta\rho/\rho_0$ и минимумы $V_{\text{ФМЭ}}$. Определение g -фактора по спиновому расщеплению (1^+ , 1^-) на рис. 2 дает: $|g| \approx 35$ по кривой $\Delta\rho/\rho_0$ [2] и $|g| \approx 50$ по кривой $V_{\text{ФМЭ}}$. Последнее значение согласуется с данными парамагнитного резонанса. На фоне осцилляций ШГ эффект ГФ на рис. 2 не проявился. На этом рисунке обращает на себя внимание большая амплитуда осцилляций, приводящая к изменению знака ФМЭ.

Физическая природа осцилляций ФМЭ типа ШГ представляется в своей основе понятной (т.е. такой же, как в случае $\Delta\rho/\rho_0$ [2]), хотя в настоящее время нет детальной теории этих осцилляций ФМЭ, позволяющей провести сравнение с опытными данными при $\zeta \approx \hbar\Omega$, когда необходимо учитывать $\zeta(H)$. Иным представляется вопрос о природе осцилляций ФМЭ

типа ГФ при $T \leq 4^\circ\text{K}$, когда оптические фононы нормальным образом не возбуждены. Можно предположить, что они генерируются в тонком слое образца горячими фотоэлектронами и затем каким-то образом вызывают магнетофононный резонанс ГФ. На возможность испускания оптических фононов горячими фотоэлектронами указывают опыты, обнаруживающие осциллирующую зависимость фотопроводимости от длины волны при $T < 10^\circ\text{K}$ [4].

Выражаем благодарность Ю.А.Фирсову и А.Г.Аронову за обсуждение результатов.

Институт полупроводников
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
25 января 1967 г.

Литература

- [1] И.К.Кикоин, С.Д.Лазарев. Письма ЖЭТФ, 3, 434, 1966.
- [2] М.С.Бреслер, Р.В.Парфеньев, С.С.Шалыт. ФТТ, 8, 1776, 1966.
- [3] Р.В.Парфеньев, С.С.Шалыт, В.М.Муждаба. ЖЭТФ, 47, 444, 1964.
- [4] Д.Н.Наследов, Ю.Г.Попов, Ю.С.Сметанникова, И.Н.Ясевич. ФТТ, 8, 2853, 1966; H.J.Stocker, H.Levinstein, C.R.Stannard, Jr. Phys. Rev., 150, 613, 1966.