

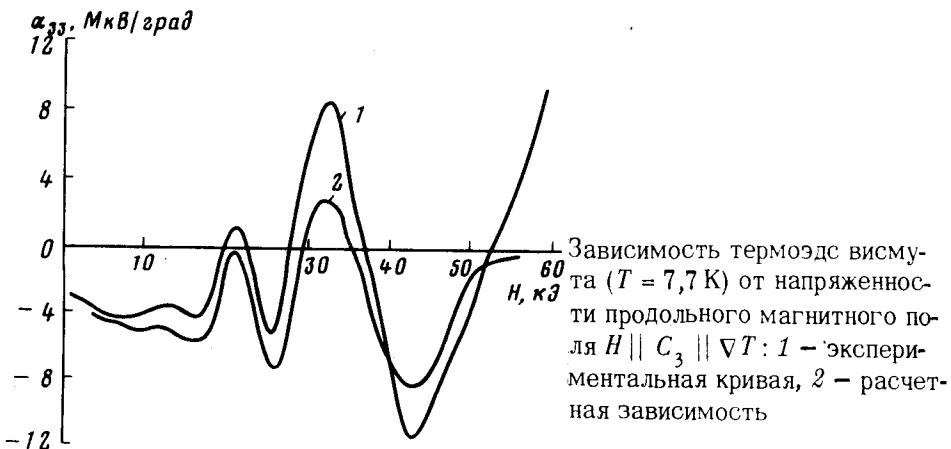
О КВАНТОВЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЯХ ПРОДОЛЬНОЙ ТЕРМОЭДС ( $\alpha_{33}$ ) В ВИСМУТЕ

О.С.Грязнов, В.А.Немчинский

Квантовые осцилляции продольной термоэдс  $\alpha_{33}$  в висмуте и сплаве  $\text{Bi}_{97}\text{Sb}_3$  при  $T = 7,7$  К объясняются межзонным рассеянием  $L$ -электронов в квантованную дырочную  $T$ -зону. Оценивается параметр межзонного рассеяния.

В работе [1] были обнаружены квантовые осцилляции продольной термоэдс ( $\alpha_{33}$ ) в висмуте и полуметаллическом сплаве  $\text{Bi}_{97}\text{Sb}_3$  с частотой, определяемой циклотронной массой дырок. Авторы работы объясняли такое поведение термоэдс осциллирующим вкладом дырок в суммарную термоэдс. В то же время известно, что парциальный вклад дырок в проводимость в направлении наблюдения (вдоль тригональной оси) пренебрежимо мал. В настоящей работе мы хотим предложить другое объяснение экспериментов [1].

Кроме непосредственного участия в процессах переноса в полуметаллах, дырки влияют на коэффициенты переноса за счет рассеяния электронов. Известно, что в  $\text{Bi}$  значительная часть рассеяния электронов связана с межзонным рассеянием — рекомбинацией легких  $L$ -электронов и тяжелых  $T$ -дырок [2]. В квантуемых магнитных полях осцилляции дырочной плотности состояний на уровне Ферми и связанные с ними осцилляции времени релаксации электронов при рассеянии в дырочную зону должны приводить к соответствующим вариациям кинетических коэффициентов. Особенно ярко это должно проявляться в случае термоэдс, которая при сильном вырождении представляет собой разность двух больших величин: термоэдс электронов с энергией выше уровня Ферми и термоэдс электронов с энергией ниже уровня Ферми.



Межзонное рассеяние в полуметалле не требует передачи энергии, но требует передачи значительного импульса, соответствующего в нашем случае  $L - T$  расстоянию в зоне Бриллюэна. Соответствующий фонон имеет энергию 43 К [2] и не может играть существенной роли при температуре измерений (7,7 К). По-видимому, электрон-дырочная рекомбинация связана с рассеянием на примеси. Указание на существование примесного рассеяния в Bi имеется в работе [2].

Поскольку экстремумы валентной зоны и зоны проводимости лежат в особых точках Бриллюэна, то межзонное рассеяние определяется соответствующими правилами отбора для матричных элементов. Например, для примесного рассеяния  $\langle T_{45}^- | V_{\text{пр}} | L_s \rangle = 0$ , а для рассеяния на акустических  $X$ -фононах  $\langle T_{45}^- | V_{\text{ф}, X} | L_s \rangle \neq 0$ . Однако из-за  $\zeta_n \gg E_g$  для собственного висмута эти правила отбора не играют существенной роли.

Описывая рассеяние электронов, будем считать, что

$$\frac{1}{\tau} = \frac{2\pi}{\hbar} \{ |M_{LL}|^2 \rho_E + |M_{LT}|^2 \rho_D \}, \quad (1)$$

где  $M_{LL}$  — матричный элемент внутризонного рассеяния, а  $M_{LT}$  — межзонного. Энергетической зависимостью матричных элементов мы пренебрегли. В квантующем магнитном поле ( $H \parallel C_3$ )

$$\rho_D = \frac{(2M_{\parallel})^{1/2} M_{\perp} \omega_c}{(2\pi\hbar)^2} \sum_{N=0}^{N_{\max}} \left[ (E_G - E) - \left(N + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega_c \pm m_s g \mu_o H \right]^{-1/2}, \quad (2)$$

где  $E_G$  — энергия полуметаллического перекрытия,  $E$  — энергия электрона, отсчитанная от дна зоны,  $\omega_c$  — циклотронная частота дырок в магнитном поле, направленном вдоль тригональной оси. Учет спинового расщепления практически не сказывался на результатах из-за близости  $\xi_{\text{эфф}}$ -фактора дырок к четырем [3].

Квантование электронных орбит в магнитном поле играет второстепенную роль, поскольку из-за меньшей массы плотности состояний у уровню Ферми соответствует больший номер уровня Ландау и осцилляции электронной плотности состояний на уровне Ферми существенно мень-

ше осцилляций дырочной плотности состояний. В качестве  $\rho_z$  бралось обычное выражение для плотности состояний в модели Лэкса. Параметры зонной структуры  $V_i$  брались из работы [3].

Мы не учитывали ни квантования электронных орбит, ни движения уровня Ферми в магнитном поле, поэтому ультраквантовый предел нашими формулами не описывается и расчеты обрываются при не слишком больших магнитных полях ( $H < 50$  кЭ). Единственным варьируемым параметром в расчете было отношение матричных элементов, которое определяло амплитуду осцилляций. Наилучшее согласие рассчитанной амплитуды с измеренной получается при  $|M_{LT}|^2 / |M_{LL}|^2 \sim 0,08$ . Результаты расчетов в этом случае показаны на рисунке. Хорошее согласие убедительно свидетельствует о существенной роли межзонного рассеяния в квантовых осцилляциях продольной термоэдс.

Авторы глубоко благодарны Б.Я.Мойжесу, И.Я.Коренблиту, Я.Г.Пономареву, В.Н.Галеву и С.Я.Скипидарову за плодотворные обсуждения.

ВНИИ источников тока

Поступила в редакцию  
13 апреля 1981г.

### Литература

- [1] В.Н.Галев, В.А.Козлов, Н.В.Коломоец, Н.А.Сидоренко, С.Я.Скипидаров. Письма в ЖЭТФ, 31, 375, 1980.
  - [2] A.A.Lopez. Phys. Rev., 175, 823, 1968.
  - [3] В.С.Эдельман. УФН, 123, 257, 1977.
-