

ОСОБЕННОСТИ ОСЦИЛЛЯЦИЙ ШУБНИКОВА – де ГААЗА В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Ю.А.Быковский, В.Ф.Елесин, В.И.Кадушкин, Е.А.Протасов

Недавно [1, 2] была обнаружена нелинейная зависимость поперечно-го магнетосопротивления ρ_H от электрического поля в чистом n -InSb. В настоящей работе сообщается об осцилляциях Шубникова – де Гааза (Ш.Г.) поперечного магнетосопротивления в сильном электрическом поле.

Экспериментально был изучен InAs n -типа с концентрацией носите-лей $4,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $35500 \text{ см}^2/\text{в}\cdot\text{сек}$ при температуре жидкого гелия, т.е. в условиях, когда $\xi > kT$ и $\hbar\Omega >> kT$, где ξ – уровень Ферми, $\Omega = eH/m^*C$ – циклотронная частота. Образцы прямоугольной формы имели размеры $1,5 \times 0,2 \times 0,04 \text{ см}$. Токовые и потенциальные контакты паялись индием с предварительным меднением. После пайки контактов образцы травились в СР-4. Магнитное поле воз-буждалось секционированием сверхпроводящим соленоидом из проволо-ки на основе NbZr. Соленоид и образцы имели непосредственный кон-такт с жидким гелием.

Измерения проводились компенсационным методом и с помощью двухкоординатного самописца ПДС-021М. Были предприняты специальные меры для обеспечения постоянства магнитного поля в течение всего времени записи вольт-амперных характеристик.

На рис.1 приведены зависимости $\rho_H(E)$ одного из образцов для магнитных полей, соответствующих пронумерованным точкам осцилля-

ционной кривой, изображенной в правом верхнем углу. Из рисунка видно, что характер зависимости $\rho_H(E)$ при переходе от ρ_H в максимуме к ρ_H в минимуме изменяется существенным образом. Общим для

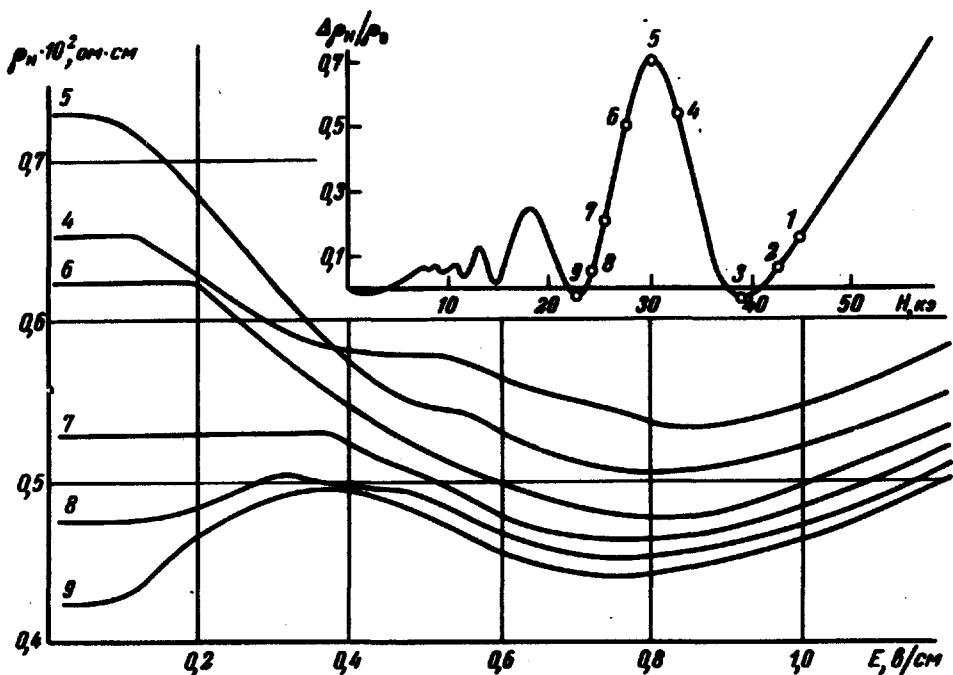


Рис.1

всех кривых является наличие области выполнения закона Ома (начальные участки). Отличия заключаются в существовании участков спада для $\rho_H(E)$ в максимуме осцилляционной кривой ($0,05 - 0,55$ в/см для точки 5) и роста с прохождением через максимум для $\rho_H(E)$ при значении H , соответствующем минимуму осцилляционной кривой (область $0,05 - 0,40$ в/см для точки 1). Такое аномальное поведение $\rho_H(E)$ в максимуме и минимуме, а также в точках близких к ним (см. кривые 4 и 8) обнаружено и для других экстремальных точек кривой осцилляции.

Немонотонная зависимость поперечной проводимости от электрического поля может быть объяснена, если учесть, что разогрев электронного газа приводит к уширению уровней Ландау и, следовательно, уменьшению квантовых поправок к проводимости: Выражение для поперечной проводимости имеет вид (см., например, [3])

$$\sigma_{xx} = \frac{n_e e^2}{m^* \Omega^2 \tau_{ei}} \left[1 - \frac{5}{2\sqrt{2}} \left(\frac{\hbar \Omega}{\xi} \right)^{1/2} \frac{x}{\sinh x} \cos \left(\frac{2\pi \xi}{\hbar \Omega} - \frac{\pi}{4} \right) \right], \quad (1)$$

где $x = 2\pi^2 kT/\hbar\Omega$, r_{el} — время релаксации импульса электрона на примесях. Электронная температура T_e для полупроводника, находящегося в скрещенных электрическом и магнитном полях была вычислена в работе Казаринова и Скобова [4].

$$T_e = T_0 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{cE}{sH} \right)^2 \left(1 + \frac{r_{ak}}{r_{el}} \right) \right], \quad (2)$$

где c и s — скорость света и звука; r_{ak} — время релаксации энергии на акустических фононах.

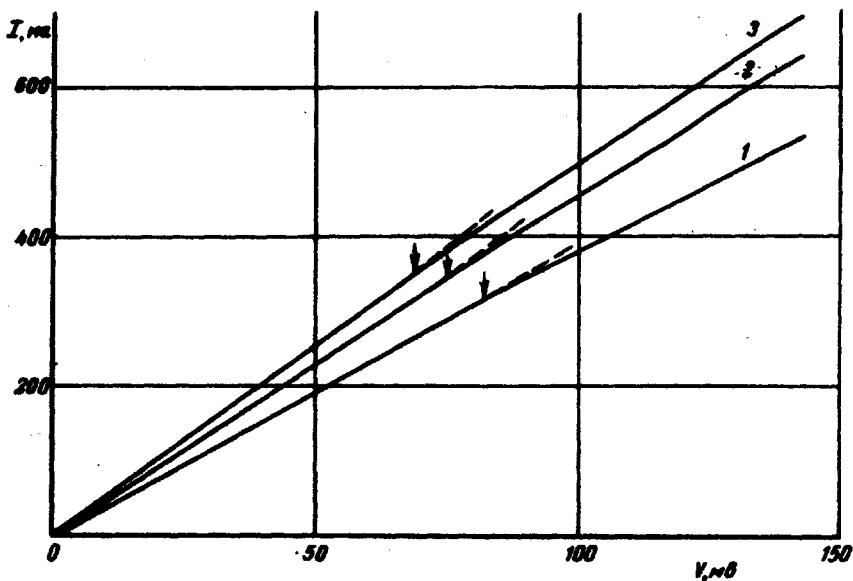


Рис. 2

Из (1) видно, что если

$$\cos \left(\frac{2\pi\xi}{\hbar\Omega} - \frac{\pi}{4} \right) = -1$$

(магнитное поле соответствует максимуму осцилляции Ш.Г.), то σ_{xx} монотонно убывает с ростом T_e (а, следовательно, E). Если же магнитное поле соответствует минимуму осцилляций

$$\cos \left(\frac{2\pi\xi}{\hbar\Omega} - \frac{\pi}{4} \right) = 1,$$

σ_{xx} растет с ростом электрического поля. Следовательно, изменение проводимости обусловлено изменением осциллирующей части, поскольку x становится порядка единицы при сравнительно малых T_e . (В на-

ших экспериментах $T_e < 40^\circ$, т.е. $kT_e/\xi' \ll 1$). Экспериментальная обработка показала, что монотонная часть σ_{xx} остается практически не зависящей от E вплоть до электрических полей $0,3 + 0,55 \text{ e/cm}$ (для различных кривых).

На рис.2 представлены вольт-амперные характеристики соответствующие точкам 1, 2, 3 на кривой осцилляции (см. рис.1) при различных значениях напряженности магнитного поля. Из представленного рисунка видно, что электрическое поле, при котором начинается отклонение от закона Ома (E_{kp}), возрастает с увеличением напряженности магнитного поля. Из (1) и (2) следует, что по-видимому, $E_{kp} \sim H^{3/2}$, что качественно согласуется с экспериментом. Аналогичные результаты получены и для антимонида индия n -типа.

Авторы выражают благодарность В.А.Гридину за обсуждение результатов, А.Г.Родионову за помощь в проведении эксперимента и Л.Б.Безыменской за предоставление образцов.

Поступила в редакцию
23 января 1969 г.
После переработки
18 июля 1969 г.

Московский
инженерно-физический институт

Литература

- [1] K.F.Komatsubara, E.Yamada. Phys. Rev., 144, 702, 1966.
- [2] K.F.Komatsubara. Phys. Rev. Lett., 16, 1044, 1966.
- [3] А.И.Ахиезер, В.Г.Барьяхтар, С.В.Пелетминский. ЖЭТФ, 48, 204, 1965.
- [4] Р.Ф.Казаринов, В.Г.Скобов, ЖЭТФ, 42, 1047, 1962.

Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 240 – 244

20 сентября 1969 г.



ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНЫЙ МАГНИТО-АКУСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ Cr^{3+} – Al^{27} В РУБИНЕ

B.A. Голенищев-Кутузов, У.Х. Конвиллем, Н.А. Памуков

Впервые осуществлено детектирование акустического ЯМР при помощи электронной спин-системы. В лазерном монокристалле рубина на фоне линий ЭПР ионов Cr^{3+} , в виде провалов получены линии акустического