

АНОМАЛЬНАЯ АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ И g-ФАКТОРА У InSb

Н. Б. Брандт, Э. Р. Ноон, С. М. Чудинов

У монокристаллических образцов InSb с $n = 4,5; 5,0; 6,9;$
 $8,0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ обнаружена аномально большая анизотропия магнитосо-
 противления $\rho_{\perp}(H) \sim 800\%$ и g -фактора ($\Delta g/g_0 \approx 20\%$) при $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$,
 которая уменьшается с ростом концентрации электронов n . Под дейст-
 вием всестороннего сжатия анизотропия $\rho_{\perp}(H)$ уменьшается и почти
 полностью исчезает при $p \approx 16 \text{ кбар}$. Величина анизотропии $\Delta g/g_0$
 уменьшается соответственно в $\sim 2,5$ раза.

Электронная изоэнергетическая поверхность у InSb является слегка
 искаженной сферой с выпуклостями в направлениях пространственных
 диагоналей [111], возникающими в результате влияния вышележащих
 термов. Анизотропия экстремальных сечений $\Delta S/S$, согласно модели
 Кейна [1], растет, в первом приближении, пропорционально квадрату
 фермиевского импульса $\sim k_F^2$ т. е. $n^{2/3}$, где n — концентрация электро-
 нов в зоне проводимости. По экспериментальным данным при $n \approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$
 $\Delta S/S \approx 1\%$ [2], что согласуется с теоретическими расчетами по моде-
 ли Кейна. В связи с этим обычно предполагалось, что InSb не обладает
 сколь либо заметной анизотропией поперечного магнитосопротивления
 $\rho_{\perp}(H)$, а также анизотропией g -фактора.

В настоящей работе исследованы монотонная и осциллирующая части $\rho_{\perp}(H)$ и его первой производной $\partial\rho_{\perp}/\partial H(H)$ у монокристаллических образцов InSb n -типа, легированных Te, $n = 4,5; 5,0; 6,9$ и $8,0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при гелиевых температурах.

Неожиданно была обнаружена аномально большая анизотропия $\rho_{\perp}(H)$, которая противоречит стандартным представлениям о магнитосопротивлении у веществ с замкнутой, изотропной поверхностью Ферми. Для исключения возможного влияния геометрии образца на результаты измерений были проведены многочисленные эксперименты на кристаллах с разным отношением длины и поперечных размеров, а также с различным расположением потенциальных контактов на гранях образца. При этом не было обнаружено заметного влияния формы образца и расположения электродов на величину наблюдаемой анизотропии $\rho_{\perp}(H)$. Величина анизотропии $\rho_{\perp}(H)$ максимальна у образцов с минимальной концентрацией электронов (рис. 1, а) и уменьшается при увеличении степени легирования. У образца с $n = 8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ анизотропия $\rho_{\perp}(H)$ в 4 раза меньше, чем у образца с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а у образцов с $n = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ анизотропия $\rho_{\perp}(H)$ полностью отсутствует.

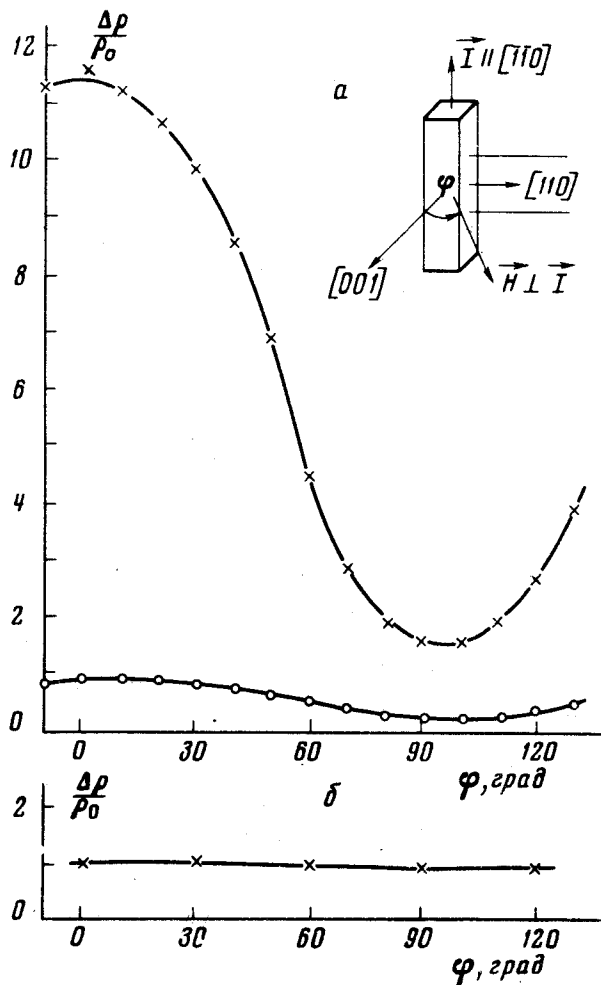


Рис. 1. Анизотропия поперечного магнитосопротивления у InSb с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$: а. — $p = 1 \text{ атм}$ кривые: X — $H = 21 \text{ кэ}$, $T = 4,2 \text{ К}$, O — $H = 12 \text{ кэ}$, $T = 300 \text{ К}$; б. — $p = 16,2 \text{ мбар}$ X — $H = 21 \text{ кэ}$, $T = 4,2 \text{ К}$

Наблюдается также заметная зависимость от ориентаций \mathbf{H} (относительно кристаллографических осей) положений последних осцилляционных пиков на кривых $\rho_{\perp}(\mathbf{H})$ и $\frac{\partial \rho_{\perp}}{\partial H}(\mathbf{H})$, по которым определяется величина g -фактора. На рис. 2 построены положения нулей производной $\frac{\partial \rho_{\perp}}{\partial H}(\mathbf{H})$ и последнего максимума $H_{\sigma-}$ на кривых $\rho_{\perp}(\mathbf{H})$ у образца с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при различных ориентациях \mathbf{H} в плоскости $(1\bar{1}0)$. Для сравнения там же приведены угловые зависимости последнего минимума $\frac{\partial \rho_{\perp}}{\partial H}(\mathbf{H})$ и последнего максимума $\rho_{\perp}(\mathbf{H})$ у образца с $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. На основе этих данных по формуле [3]

$$g(\phi) = \left(\frac{\hbar c}{e}\right)^3 \frac{4\pi^4 n^2}{[H_{\sigma-}(\phi)]^3} \frac{m_0}{m^*} \quad (1)$$

вычислены значения g -фактора.

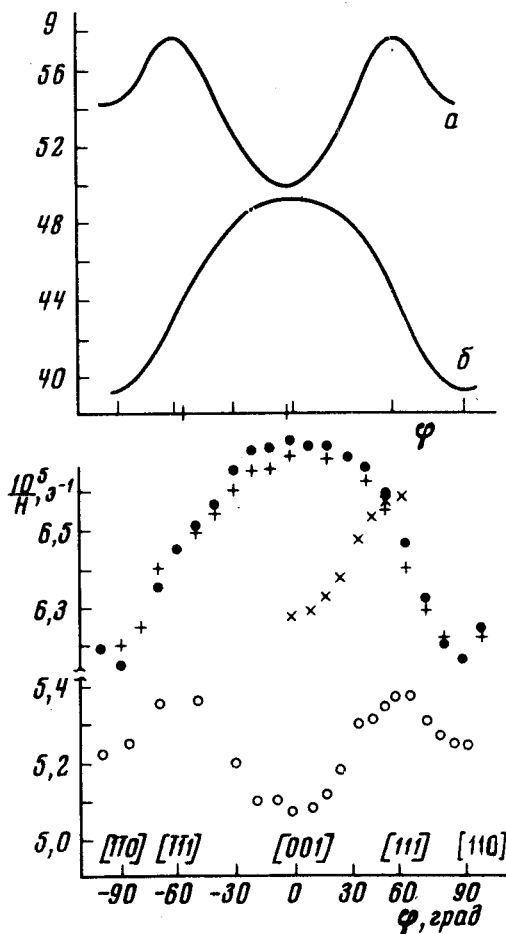


Рис. 2. Зависимость положений $H_{\sigma-}$ последнего максимума на кривых $\rho_{\perp}(\mathbf{H})$ у образцов InSb с $n = 4,5 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (\cdot , $+$) и $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (\times), а также последнего минимума $\frac{\partial \rho_{\perp}}{\partial H}(\mathbf{H})$ для образца с $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (\circ). Верхние кривые — результаты расчета g -фактора по формуле (1) для образцов с $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (а) и $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (б)

Видно, что анизотропия $g(\phi)$ у образцов с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, достигающая $\Delta g/g_0 \approx 20\%$, существенно отличается от характера анизотро-

пии $g(\phi)$ у образцов с $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, где $\Delta g/g_0 \approx 16\%$, т. е. в интервале концентраций $4,5 < n < 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ происходит качественное изменение характера анизотропии g . При дальнейшем увеличении n характер анизотропии g не меняется, но величина анизотропии уменьшается. У образцов с $n = 6,9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ $\Delta g/g_0$ составляет $\sim 11\%$. Отметим, что характер анизотропии $\rho_{\perp}(\text{H})$ также различен у образцов с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $n \geq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Представляло интерес исследовать влияние давления на величину наблюдаемых аномалий. Такие измерения были проведены на образце с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при давлениях до 16 кбар. Воспроизводимость результатов контролировалась измерениями при снятии давления. Было обнаружено сильное обратимое уменьшение анизотропии $\rho_{\perp}(\text{H})$ и g -фактора под действием давления (рис. 1, б и рис. 3). При $p \approx 16 \text{ кбар}$ анизотропия $\rho_{\perp}(\text{H})$ практически исчезает, а анизотропия g уменьшается $\sim 2,5$ раза по сравнению с ее значением при $p = 1 \text{ атм}$. На рис. 3 показано изменение величины g -фактора и его анизотропии (вертикальные черточки) под действием давления у образца с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Монотонное уменьшение величины спинового расщепления хорошо описывается формулой (1), если учесть, что m^* увеличивается при сжатии вследствие возрастания запрещенной зоны ϵ_g .

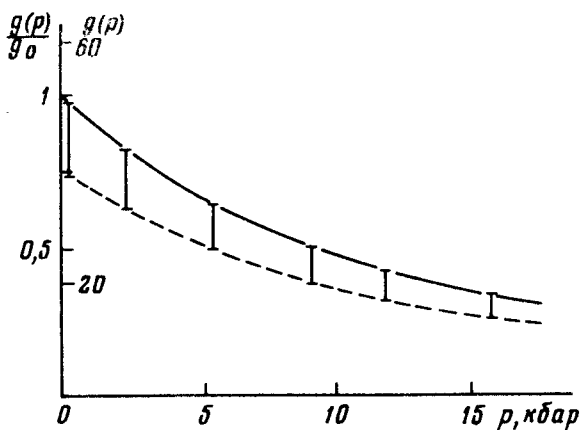


Рис. 3. Изменение g -фактора и его анизотропии у образца InSb с $n = 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ под действием давления

Сильная зависимость величины обнаруженных аномалий от концентрации электронов (положения уровня Ферми) и давления (положения экстремумов в спектре) указывает, по-видимому, на резонансный характер этих эффектов. Можно предположить, что они возникают в результате взаимодействия носителей тока в зоне проводимости (окрестность точки Γ зоны Бриллюэна) с сильно анизотропными¹⁾ локализованными магнитными состояниями, возникающими в результате локализации электронов на положительно заряженных примесных донорных центрах [4]. Такие состояния могут существовать например, в точках X и L зоны Бриллюэна, в которых спектр сильно анизотропен [5]. Отметим, что на возможность изменения величины g -фактора у электро-

¹⁾ Под анизотропией магнитных состояний подразумевается анизотропия величины эффективного магнитного момента электрона в этом состоянии.

нов проводимости при их взаимодействии с локализованными магнитными моментами указывают результаты исследований эффекта де Гааза – ван Альфена у меди с парамагнитными примесями из группы Fe [6].

Пользуемся случаем выразить нашу благодарность Ч.С.Руменину за помощь в проведении экспериментов.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
22 июля 1975 г.

Литература

- [1] E.O.Kane. J. Phys. Chem. Solid, 1, 249, 1957.
 - [2] R.J.Sladek, E.R.Gertner, D.G.Seiler. Phys. Rev. B3, 2608, 1971.
 - [3] Б.М.Аскеров. Кинетические эффекты в полупроводниках. М., изд. Наука, 1970.
 - [4] Д.Г.Андрианов, Н.Б.Брандт, Э.Р.Иоон, В.И.Фистуль, С.М.Чудинов. Письма в ЖЭТФ, 17, 494, 1973.
 - [5] S.Porowski, M.Konczykowski, J.Chroboczek. Phys. Lett., 48A, 189, 1974.
 - [6] P.T.Coleridge, G.B.Scott, i.M.Templeton. Can. J. Phys., 50, 1999, 1972.
-