

НАБЛЮДЕНИЕ УЗКОГО СЛОЯ ОТКРЫТЫХ ТРАЕКТОРИЙ В СПЛАВАХ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.15 \leq x \leq 0.21$)

Ф.М.Мунтяну,¹ Г.С.Гудима

Известно, что во всем интервале концентраций x энергетический спектр сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ непрерывно перестраивается, причем при $0.07 \leq x \leq 0.22$ эти сплавы являются вырожденными полупроводниками с величиной термической щели, не превышающей 30 meV. Недавно [1] указано на наличие в электронном и дырочном энергетическом спектре сплавов с $x \geq 0.15$ седловой точки и двугорбого вида зависимости $E(\mathbf{k})$. О топологических особенностях изоэнергетических поверхностей L -электронов свидетельствуют и результаты [2].

В настоящей работе показано, что в сплавах с $x \geq 0.15$ возникает узкий слой открытых траекторий вследствие «температурного пробоя» [3]. Исследовались зависимости магнитосопротивления от температуры (4.2–150 K) и магнитного поля (0–15 T) в моно- и бикристаллах сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.1 \leq x \leq 0.25$). Образцы (чистые и легированные Te) получались методами занной перекристаллизации и двойной затравки, а их состав контролировался с помощью рентгеновских микрозондовых анализаторов. Измерения в стационарных магнитных полях до 15 T проводились в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (г.Вроцлав, Польша).

Обнаружены следующие особенности магнитосопротивления $\Delta\rho(B)/\rho$ в исследованных образцах n -типа сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ при $\mathbf{B} \parallel C_2$, а также при ориентации поля в узком угловом интервале ($\sim 15^\circ$) вблизи нее (рис. 1).

Начиная с $T = 18.5$ K после квадратичного роста в слабых магнитных полях $\Delta\rho_{22}(B_1)/\rho_{22}$ выходит на насыщение (при этом другие составляющие $\Delta\rho_{ii}(B_j)/\rho_{ii}$ растут монотонно с полем), затем несколько уменьшается (при $T < 150$ K) и при $B > B_c$ возрастает почти пропорционально B (B_c поле выходит на линейную зависимость $\Delta\rho/\rho$, $B_c \sim T^{1.6 \div 1.7}$). На плато магнитосопротивление (в интервале температур $20 \text{ K} \leq T \leq 80 \text{ K}$) слабо зависит от T . При гелиевых температурах в ультраквантовой области магнитных полей наблюдается также максимум на зависимостях $\Delta\rho_{22}(B_1)/\rho_{22}$ в сплавах с $0.16 \leq x \leq 0.21$, который обусловлен [4] электронным фазовым переходом полупроводник-полуметалл (критическое поле перехода $\sim T^{0.8 \pm 0.2}$).

Указанные особенности $\Delta\rho_{22}/\rho_{22}$ (возрастание сопротивления с увеличением B после выхода $\Delta\rho/\rho$ на насыщение, слабая зависимость $\Delta\rho/\rho$ от температуры в магнитных полях, где сопротивление насыщается, и др.) связываются с проявлением узкого слоя открытых траекторий в гальваномангнитных явлениях [5]. Малая группа инфинитно дви-

¹ Международная лаборатория сильных магнитных полей и низких температур, г.Вроцлав, Польша.

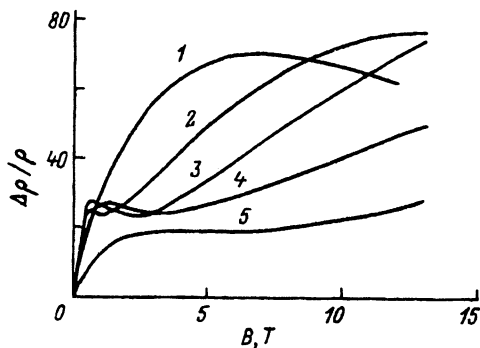


Рис. 1. Магнитополевые зависимости $\Delta\rho/\rho$ в монокристаллах сплава $\text{Bi}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ ($n = 5.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) при различных температурах. $T = 4.2$ (1), 30 (2), 50 (3), 80 (4), 110 К (5).

жущихся электронов возникает в результате размывания фермиевской ступеньки («температурный пробой»). В этом случае при $kT \ll |\delta E_F|$ ($\delta E_F = E - E_F$) основной вклад в перенос заряда дают электроны, находящиеся на замкнутых траекториях. С ростом температуры (когда kT становится больше $|\delta E_F|$) концентрация электронов на открытых траекториях увеличивается $\sim \sqrt{kT/E_F}$ и вклад узкого слоя становится преобладающим [6], что существенно изменяет зависимость $\Delta\rho(B)/\rho$. Установлено, что сопротивление с температурой и магнитным полем изменяется несколько по-иному, чем в случае магнитного пробоя (в принципе узкий слой открытых траекторий может возникать и при магнитном пробое, если поверхность Ферми представляет собой периодически повторяющиеся полости, принадлежащие двум различным энергетическим зонам, соединенным между собой коническими точками [6]; в сплавах $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x \approx 0.22$) наблюдается [7] лишь внутризонный магнитный пробой при образовании гантелевидной поверхности Ферми при одноосном сжатии), когда в сильных полях [6].

$$\rho_{xx} \approx (\theta/T)^5 (\hbar\Omega/E_F)^{3/2} (\Omega\tau_0)^2 \sigma_0^{-1}(\theta),$$

где θ — температура Дебая, Ω — циклотронная частота, τ_0 — время релаксации.

Необычной оказалась при $T > 18.5^\circ$ зависимость $\Delta\rho(B)/\rho$ (при гелиевых температурах наблюдаются шубниковские осцилляции, связанные с сечениями изоэнергетических поверхностей L -электронов; см.

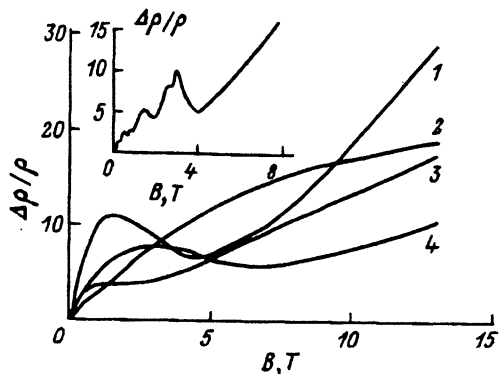


Рис. 2. Магнитополевые зависимости $\Delta\rho/\rho$ при 77 К в моно- и бикристаллах сплавов $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ легированных Те ($n = 4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$).

1 — монокристалл, 2-4 — бикристаллы, $\theta = 18$ (2), 13.4 (3), 6° (4). На вставке — эффект Шубникова-де Гааза в бикристаллах сплавов $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$, легированных Те. $\theta = 18^\circ$, $n = 4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $T = 4.2$ К.

вставку к рис. 2) от угла разориентации кристаллитов θ в бикристаллах сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.15 \leq x \leq 0.21$). До углов $\theta \approx 6 \div 7^\circ$ плато $\Delta\rho(B)/\rho$ уширяется и B_c растет, однако при дальнейшем увеличении θ B_c уменьшается и плато исчезает при $\theta \approx 18 \div 20^\circ$ (рис. 2). Одной из причин (видимо, главной) этих особенностей $\Delta\rho(B)/\rho$ является то, что на границе раздела кристаллитов в бикристаллах появляется новый тип симметрии, связанный с поворотом поверхности Ферми в пространстве при переходе от одного моноблока к другому. И поскольку в моноблоках квазиэллипсоиды L -электронов наклонены к базисной плоскости под углом $\approx 6^\circ$, на границе раздела кристаллитов бикристаллов с $\theta \approx 6 \div 7^\circ$ наблюдается максимальный вклад в магнитосопротивление электронов с открытых траекторий. При $\theta > 18^\circ$ уровень Ферми E_F значительно удаляется от топологических особенностей (седловой точки), поэтому наличие электронов, движущихся инфинитно, не сказывается на магнитосопротивлении. Изменения решеточных свойств и фононных спектров на границе раздела кристаллитов бикристаллов [8] также влияют (правда, в меньшей степени) на рассматриваемые особенности $\Delta\rho/\rho$. Об этом свидетельствует изменение закона возрастания $\Delta\rho/\rho$ в магнитном поле после выхода сопротивления на плато.

Авторы выражают глубокую благодарность Т.Палевскому за помощь в проведении измерений в Международной лаборатории.

Список литературы

- [1] Пономарев Я.Г., Судакова М.В. // Материалы VII Всесоюзного симпозиума по полупроводникам с узкой запрещенной зоной и полуметаллам. Львов, 1986. Ч. 2. С. 164.
- [2] Гицу Д.В., Глиньски М., Мунтяну Ф.М. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 5. С. 1450.
- [3] Алексеевский Н.Е., Егоров В.С. // ЖЭТФ. 1964. Т. 46. С. 1205.
- [4] Брандт Н.Б., Чудинов С.М., Караваев В.Г. // ЖЭТФ. 1976. Т. 70. С. 2298.
- [5] Лившиц И.М., Азбель М.Я., Каганов М.И. Электронная теория металлов. М.: Наука, 1971. 415 с.
- [6] Каганов М.И., Кадигробов А.М., Слуцкий А.А. // ЖЭТФ. 1967. Т. 53. С. 1135.
- [7] Лавренюк М.Ю., Минаина Н.Я., Савин А.М. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. С. 224.
- [8] Бурмистров С.И., Дубовский Л.Б. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. С. 173.

Институт прикладной физики
АН Молдовы
Кишинев

Поступило в Редакцию
7 февраля 1994 г.