

О ПЕРЕСТРОЙКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА В БОЛЬШЕУГЛОВЫХ БИКРИСТАЛЛАХ ВИСМУТА

Ф.М.Мунтяну,¹ Н.И.Лепорда

Институт прикладной физики АН Молдовы, Кишинев
Поступило в Редакцию 12 апреля 1994 г.
В окончательной редакции 22 июня 1994 г.

Бикристаллы висмута представляют большой интерес в связи с уникальными электронными свойствами и возможностью изучения особенностей процессов релаксации носителей заряда (электронов и дырок) при их столкновении с внутренней поверхностью. Уже первые исследования [1-3] бикристаллов с границами раздела кристаллитов (ГРК) типа наклона или кручения показали, что характер квантовых осцилляций явлений переноса существенно зависит от величины угла разориентации кристаллитов Θ . В бикристаллах с $\Theta < 9^\circ$ проявляются холловские осциллирующие по магнитному полю слагаемые, обусловленные квантовым взаимодействием носителей заряда с ГРК, а вблизи поверхности срачивания кристаллитов с $32^\circ \leq \Theta \leq 62^\circ$ обнаруживаются сверхпроводящие включения с $T_c \approx 8.5$ К.

В настоящей работе сообщается о наблюдении в бикристаллах с $22^\circ \leq \Theta \leq 74^\circ$ квантовых осцилляций магнитосопротивления, нехарактерных для поверхности Ферми монокристаллического висмута.

Высококачественные бикристаллические образцы Вi (температура Дингла $T \leq 0.9$ К) получены методом зонной перекристаллизации с применением двойной затравки. Элементный состав образцов контролировался лазерной спектроскопией и нейтронным активационным анализом. Измерения в стационарных магнитных полях до 14 Т проведены в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (г. Вроцлав, Польша). Исследовались бикристаллы в форме параллелепипеда (длинная сторона была направлена вдоль биссекторной оси кристаллитов), у которых углы наклона между осями C_3 кристаллитов находились в интервале $22^\circ \leq \Theta \leq 74^\circ$. Помимо этого, кристаллиты были развернуты друг относительно друга вокруг нормали в ГРК на угол $0 \leq \varphi \leq 14^\circ$. Вектор индукции магнитного поля ориентировался параллельно, а также вращался в плоскости, перпендикулярной ГРК.

Известно, что поверхность Ферми монокристаллического Вi состоит из трех электронных и одной дырочной поверхности, форма которых близка к эллипсоидальной. Поэтому при данной ориентации магнитного поля спектр квантовых осцилляций кинетических эффектов состоит из гармоник, относящихся к экстремальным сечениям электронной и (или) дырочной поверхности Ферми.

Как видно из рис. 1, в бикристаллах висмута с $\Theta > 22^\circ$ на фоне почти линейного роста $\rho(B)$ наблюдаются однопериодные шубниковские осцилляции при всех ориентациях магнитного поля. Угловые зависимости частот осцилляций поперечного магнитосопротивления в

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

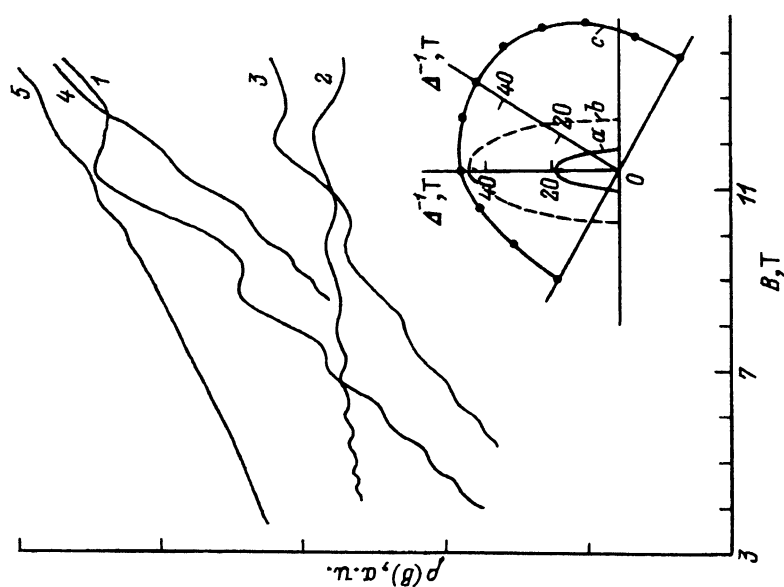


Рис. 1. Магнитосопротивление в квантовых полях при температуре 4.2 К для бикристалла Вi с $\Theta = 29^\circ$, $\varphi = 11^\circ$.
 1 — В \parallel ГРК \perp I, 2 — В \perp ГРК = 75° , 3 — В \perp ГРК = 45° , 4 — В \parallel ГРК \parallel I, 5 — В \perp ГРК \perp I. На вставке показана угловая зависимость частот осцилляций магнитосопротивления у монокристаллов Вi (a) и сплава Вi-Рb (0.075 ат. % Рb) $^{[4]}$ (b) и бикристалла Вi с $\Theta = 29^\circ$, $\varphi = 11^\circ$ (c).
 a, b — В \perp С₂, c — В \perp ГРК.

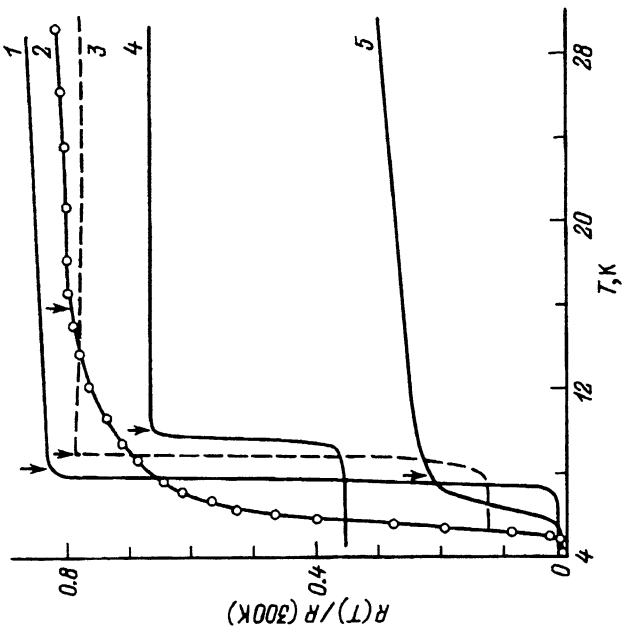


Рис. 2. Температурные зависимости сопротивления бикристаллов Вi.
 Θ° и φ° : 1 — 33 и 9, 2 — 27 и 9, 3 — 27 и 9 (через ≈ 6 месяцев после измерений кривой 2), 4 — 29 и 11, 5 — 28 и 11. Стрелками указано T_{onset} .

плоскости, перпендикулярной ГРК, приведены на вставке к рис. 1. Полученные данные позволяют утверждать, что характер угловых зависимостей частот квантовых осцилляций в бикристаллах Vi (кривая c) отличается от аналогичных зависимостей не только чистого висмута (кривая a) [4], но и Vi , легированного примесями акцепторного типа (кривая b). Измерения холловского сопротивления на ГРК показали, что знак эффекта положительный (т.е. уровни ненасыщенных связей на внутренней поверхности являются акцепторными), а концентрация дырок в исследованных образцах $p \approx 2.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Расчет концентрации дырок по периодам квантовых осцилляций $\rho(B)$ дает значение $p \sim 2.2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Следовательно, обнаруженные шубниковские осцилляции характеризуют поверхность Ферми как состоящую из одного квазиэллипсоида, вытянутого вдоль бисекторной оси индивидов бикристалла. Другая вытянутость дырочной поверхности и иная анизотропия экстремальных сечений, чем у монокристаллического Vi , свидетельствуют о том, что с ростом Θ энергетический спектр бикристаллов существенно перестраивается. Связано это со смещением атомов в зернограничной области (атомная релаксация [5]) и образованием периодического строения ГРК (согласно [6], она состоит из центральной части с высокой плотностью состояний с ненасыщенными связями, набора частично заполненных уровней и двух слоев, от которых область пространственного заряда распространяется в объем кристалла).

ГРК большеугловых бикристаллов висмута обладает сложными свойствами. Так, например, в [3] было обнаружено скачкообразное уменьшение сопротивления, связанное с существованием вблизи ГРК сверхпроводящих включений с $T_c \approx 8.5 \text{ K}$. У ряда образцов мы наблюдали начало сверхпроводящего перехода при температурах $T_{\text{onset}} > 9 \text{ K}$, а для одного из них — $T_{\text{onset}} \sim 16 \text{ K}$, что значительно выше, чем у включений ϵ -фазы сплавов висмут-свинец или фаз высокого давления висмута Vi IV и Vi VI [7]. Однако с течением времени (≈ 6 месяцев) T_{onset} этого образца уменьшилась до 9 K , а ширина перехода сузилась (кривые 2, 3 на рис. 2). По-видимому, на ГРК большеугловых бикристаллов вследствие структурной перестройки решетки висмута образуются дислокационные слои с близкорасположенными отдельными трубками пространственного заряда, конфигурация которых существенно зависит от внешних воздействий.

Авторы благодарят проф. Я.Клямута и Т.Палевского за помощь в проведении экспериментов в Международной лаборатории.

Список литературы

- [1] Muntyanu F.M., Onu M.I., Kistol V.G. // Phys. Stat. Sol (b). 1990. V. 158. P. 301-305.
- [2] Мунтяну Ф.М., Глиньски М., Киоссе Г.А., Кистол В.Г. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 6. С. 1881-1883.
- [3] Гицу Д.В., Грозав А.Д., Кистол В.Г., Лепорда Н.И., Мунтяну Ф.М. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. № 7. С. 398-401.
- [4] Bharagava R.N. // Phys. Rev. 1967. V. 156. N 3. P. 785-797.
- [5] Копецкий Ч.В., Орлов А.Н., Фионова Л.К. Границы зерен в чистых материалах. М.: Наука, 1987. 158 с.
- [6] Матаре Г. Электроника дефектов в полупроводниках. М.: Мир, 1974. 463 с.
- [7] Физико-химические основы получения сверхпроводящих материалов / Под ред. Е.М.Савицкого, О.Хенкеля, Ю.В.Ефимова. М.: Металлургия, 1981. 371 с.