

ДВУМЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КАНАЛЫ НА ГРАНИЦАХ БЛОКОВ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $Cd_xHg_{1-x}Te$

В.А.Погребняк, Д.Д.Халамейда, В.М.Яковенко

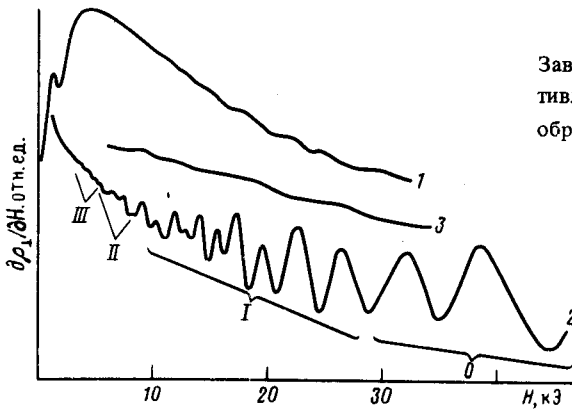
Экспериментально обнаружены двумерные электронные каналы на границах блоков монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ). Определена поверхностная плотность электронов в каналах $-n_s = 2,7 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Аномальные кинетические явления в КРТ объясняются существованием дополнительной двумерной проводимости образца по малоугловым границам блоков (МГБ).

Уже более двадцати лет проводятся исследования ¹ физических свойств соединений КРТ, однако, природа аномального поведения многих эффектов, обусловленных носителями заряда, до сих пор не была выяснена. Особенности зонной структуры КРТ, малые значения эффективной массы электронов, существенная неоднородность образцов позволили наблюдать в КРТ ряд новых явлений: например, переход от металлической к активационной проводимости в сильном магнитном поле (МА-переход) ²; эффекты, трактуемые как вигнеровская кристаллизация ³, кластерный механизм проводимости ⁴ и т.д. Открывая новые свойства КРТ, авторы порой считали их ответственными за аномалии, но позже выяснялось, что сами эти новые явления не до конца ясны. Не имея возможности в кратком сообщении затронуть многие другие свойства КРТ (фотоэлектрические, оптические, пластической деформации и др.), интерпретация которых вызывает затруднения, можно заметить, что в большинстве работ авторам приходится предполагать существование дополнительной электронной подсистемы со свойствами отличными от объемных.

В данном сообщении приводится обсуждение результатов экспериментального исследования проводимости двумерных электронных каналов на малоугловых границах блоков монокристаллов КРТ.

Мозаичная структура монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ обусловлена спецификой технологии синтеза этих материалов. Обычно образцы КРТ обладают мозаичностью с малоугловой или

среднеугловой (в зависимости от метода выращивания) разориентацией блоков ⁵. Скопление заряженных дислокаций на МГБ приводит к образованию двумерных пространственных слоев заряда, к изгибу дна зоны проводимости и возникновению проводящих слоев подобно тому, как это происходит на границе срачивания бикристалла германия ¹⁾. Таким образом образец из КРТ обладает объемной проводимостью и двумерной по МГБ. Определить концентрации обеих групп электронов в образце *n*-типа, а также выявить двумерный характер проводимости по МГБ можно по изучению осцилляций Шубникова — де Гааза (ШдГ).



Зависимость производной поперечного магнитосопротивления $\partial\rho_{\perp}/\partial H$ от магнитного поля для объемного образца (1) и тонкого слоя (2) и (3)

На рисунке (кривая 1) приведена зависимость производной поперечного магнитосопротивления (МС) — $\partial\rho_{\perp}/\partial H$ для образца $\text{Cd}_{0,185}\text{Hg}_{0,815}\text{Te}$, имеющего размеры $6 \times 1,5 \times 0,5 \text{ мм}^3$. Концентрация электронов и их подвижность при $T = 4,2 \text{ К}$, полученные из гальваномагнитных измерений, соответственно равны: $n = 1,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $\mu = 1,05 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Осцилляции ШдГ при $H \cong 1,5 \text{ кЭ}$ соответствуют значению n , полученному из холловских измерений. В полях $H > 10 \text{ кЭ}$ видны (кривая 1) едва различимые, при максимальной чувствительности аппаратуры, осцилляции $\partial\rho_{\perp}/\partial H$, обусловленные квантованием электронного газа в двумерных каналах на МГБ. Незначительная амплитуда этих осцилляций объясняется тем, что только небольшая часть от всех границ расположена перпендикулярно заданному направлению магнитного поля и в них происходит квантование, а в два раза большее число границ расположено параллельно \mathbf{H} , они обладают меньшим сопротивлением и шунтируют каналы, которые дают осцилляции $\rho(H)$. Шунтирующее действие указанной части каналов можно исключить, уменьшив толщину образца до размеров меньших среднего размера блока — $100 \div 400 \text{ мкм}$.

Кривая 2 изображает запись $\partial\rho_{\perp}/\partial H$ для слоя толщиной 65 мкм , полученного из объемного образца механической полировкой и химическим травлением. Кривая 2 соответствует случаю, когда \mathbf{H} параллельно поверхности тонкого слоя, а кривая 3 — перпендикулярной ориентации. Осцилляции $\partial\rho_{\perp}/\partial H$ на кривой 2 имеют характерный вид для зависимости МС двумерных каналов, у которых электроны заполняют несколько $2D$ -подзон. Анизотропия осцилляционной картины от ориентации \mathbf{H} и возникновение самих осцилляций объясняется следующим образом. Когда толщина образца уменьшается до монослоя по отношению к блоку, то почти все МГБ будут расположены перпендикулярно поверхности пленки. Если магнитное поле направить перпендикулярно поверхности пленки, то оно не вызовет квантования в каналах, так как в этом случае они расположены параллельно \mathbf{H} — кривая 3. Если же магнитное поле направить параллельно поверхности пленки (но по-прежнему $\mathbf{H} \perp \mathbf{j}$), то часть границ будет расположена перпендикулярно \mathbf{H} и важно то, что ток должен обязательно пройти через эти (перпендикулярные \mathbf{H}) каналы, так как в двумерной сетке границ, образующейся в пленке, другой способ протекания невозможен. Таким образом в пленке нет эффекта шунтирования: не-квантованные каналы включены последовательно с квантованными. При изменении направления \mathbf{H} в плоскости пленки осцилляционная картина существенно не изменяется, подтверж-

¹⁾ Бикристалл германия имеет ингерсионный слой *p*-типа ⁶.

дая случайный характер протекания тока по двумерным каналам. Анализ набора осцилляций ШдГ (кривая 2) показывает, что электроны заполняют четыре 2D-подзоны канала со следующими значениями концентраций: $n_0 = 0,7 n_s$, $n_1 = 0,19 n_s$, $n_2 = 0,07 n_s$, $n_3 = 0,04 n_s$. Полная поверхностная плотность в канале $n_s = 2,7 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. На рисунке цифрами 0 – III обозначены группы экстремумов, соответствующие основной – 0 и возбужденным – I, II, III 2D-подзонам.

Существование двумерной проводимости по каркасу МГБ в кристаллах КРТ позволяет объяснить многие физические явления, в трактовке которых ранее не доставало ясности. Мы остановимся на двух таких явлениях: остаточной проводимости после МА-перехода в магнитном поле ⁷ и эффекте Холла ⁸.

Известно, что локализация электронов в ямах потенциального рельефа в образцах КРТ с концентрацией $n \cong 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при $T = 4,2 \text{ К}$ начинается в магнитных полях $H > 5 \text{ кЭ}$ ^{2,7}. При увеличении H объемная проводимость исчезает и остается только проводящий каркас из МГБ, который и определяет остаточную проводимость. Такая модель, по всей видимости, объясняет и эксперимент ³, в котором аномальное поведение $\rho(H)$ в квантовом пределе по H трактовалось как вигнеровская кристаллизация электронного газа.

Отрицательное значение константы Холла R в p -образцах КРТ при низких температурах и в сильных магнитных полях (низкотемпературная инверсия ² знака R ⁸) может быть также объяснено наличием проводимости по двумерным электронным каналам. При этом снимаются вопросы, связанные с металлической проводимостью по акцепторной зоне ("тяжелые электроны") ⁸ и т.п.

Отметим, что наблюдать осцилляции ШдГ на двумерных каналах удалось не на всех образцах, вырезанных из одной шайбы. Это обстоятельство указывает на то, что проводящий каркас из МГБ представляет собой структуру, состоящую из проводящих плоских каналов со случайными разрывами плоскостей и стыков. Здесь возникает задача теории протекания подобная задаче связей и узлов.

В заключение укажем, что аномальные осцилляции наблюдались и ранее ⁹, но объяснение этому явлению в то время не было дано.

Литература

1. Verie C. Phys. Stat. Sol., 1966, 17, 889.
2. Арапов Ю.Г., Давыдов А.Б., Зверева М.Л., Стафеев В.И., Цидильковский И.М. ФТП, 1983, 17, 1392.
3. Nimitz G., Schlicht B., Tyssen E., Dornhaus R., Haas L.D. Sol. St. Comm., 1979, 32, 669.
4. Ельзаров А.И., Иванов-Омский В.И., Корниш А.Л., Петряков В.А. ФТП, 1984, 18, 201.
5. Гавалешко Н.П., Горлей П.Н., Шендеровский В.А. Узкозонные полупроводники. Получение и физические свойства, 1984 г. Киев.
6. Вул Б.М., Завалицкая Э.И. ЖЭТФ, 1979, 76, 1089.
7. Аромзон Б.А., Кольюв А.В., Мейлхов Е.З. ФТП, 1986, 20, 1457.
8. Арапов Ю.Г., Поникаров Б.Б., Цидильковский И.М., Шелушина Н.Г. ФТП, 1979, 13, 1932.
9. Кичигин Д.А., Рвренко И.М., Тальянский Э.Б., Халамейда Д.Д. ФТП, 1982, 16, 1882.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
9 июля 1987 г.

2) Переход от положительного значения R к отрицательному при вымораживании дырок на акцепторы.