

ОСЦИЛЛЯЦИИ ШУБНИКОВА-ДЕ-ГААЗА В НЕОДНОРОДНЫХ КРИСТАЛЛАХ $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

БАРХАЛОВ Б.Ш., СЕИДЛИ Г.С., ДАМИРОВА З.В.

Институт Физики НАН Азербайджана

В работе приведены результаты исследования осцилляций Шубникова-де-Гааза в неоднородных кристаллах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Обнаружена дополнительная электронная проводимость по границам блоков в мозаичных монокристаллах. Выявлено, что для одной группы образцов проводимость по границам блоков носит двумерный, а другой группы - объемный характер. В сильном магнитном поле проводимость в образце осуществляется в основном по каркасу, образованному проводящими каналами на границах блоков.

Полупроводники с узкой запрещенной зоной $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ) широко используются для изготовления фотоприемников инфракрасного (ИК) излучения. Эти кристаллы также представляют собой уникальные объекты для исследования фундаментальных физических свойств электронов в кристалле благодаря малой эффективной массе. КРТ имеет довольно сложный энергетический спектр электронных состояний. Изучение явлений переноса является одним из важных методов определения электронного энергетического спектра. Однако, из-за наличия большого количества собственных дефектов, обусловленных отклонением от стехиометрического состава, протяженных дефектов, таких, как малоугловые границы и границы блоков, их электронные свойства менее изучены. Впервые об этом было сообщено в работе [1], а затем исследования в этом направлении получили развитие в работах [2, 3], в которых было показано, что проводимость по границам блоков в образцах р-типа может приводить к аномальным кинетическим явлениям. В образцах п-типа каналы проводимости на границах блоков заполняются полностью, электронный газ в них вырожден, поэтому можно провести прямые измерения.

В данной работе по изучению осцилляций Шубникова-де Гааза проведены прямые измерения, подтверждающие существование проводящих электронных каналов на границах блоков, причем в одних случаях проводимость по границам блоков носит двумерный характер, в других – объемный.

Образцы вырезались в форме параллелепипеда размерами $5 \times 2 \times 0,3$ мм³. Для выявления структурных особенностей материала, таких, как плотность дислокаций, наличие блоков и малоугловых границ, кристаллы подвергались рентгеноструктурным исследованиям. Это позволило выявить малоугловые границы и блоки. Обычно мозаичная структура возникает в монокристаллах, имеющих высокую плотность дислокаций порядка 10^5 см⁻².

Образцы, обладающие двумерной проводимостью по границам блоков, были вырезаны из кристаллов с минимальной объемной концентрацией электронов $n \approx 1,5 \cdot 10^{14}$ см⁻³ и с относительно низкой подвижностью электронов $1,2 \cdot 10^4$ см²/В·с при $T=80$ К.

Определить концентрации обеих групп электронов в образе п-типа, а также выявить двумерный характер проводимости по границам блоков можно по анализу осцилляций Шубникова-де Гааза [4].

На рис. 1 (кривая 1) приведена зависимость производной поперечного магнитосопротивления $d\rho_{\perp}/dH$ от H для образцов с $x = 0,27$. Осцилляции Шубникова-де Гааза при $H = 2,7$ кЭ соответствуют объемному значению концентрации $n = 6,0 \cdot 10^{13}$ см⁻³. В полях $H > 12$ кЭ видны едва различимые при максимальной чувствительности

аппаратуры осцилляции $d\rho_{\perp}/dH$, обусловленные квантованием электронного газа в двумерных каналах на границах блоков. Незначительная амплитуда этих осцилляций объясняется тем, что только небольшая часть от всех границ расположена перпендикулярно заданному направлению

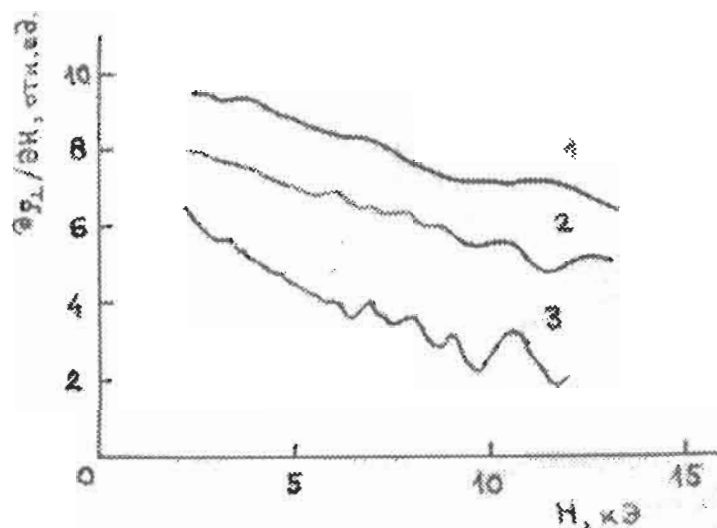


Рис.1 Зависимость производной осцилляций магнитосопротивления $d\rho_{\perp}/dH$ от напряженности магнитного поля H для образцов $Cd_{0.27}Hg_{0.73}Te$: 1 – массивный образец, 2 – образец толщиной 80 мкм, 3 – образец толщиной 65 мкм.

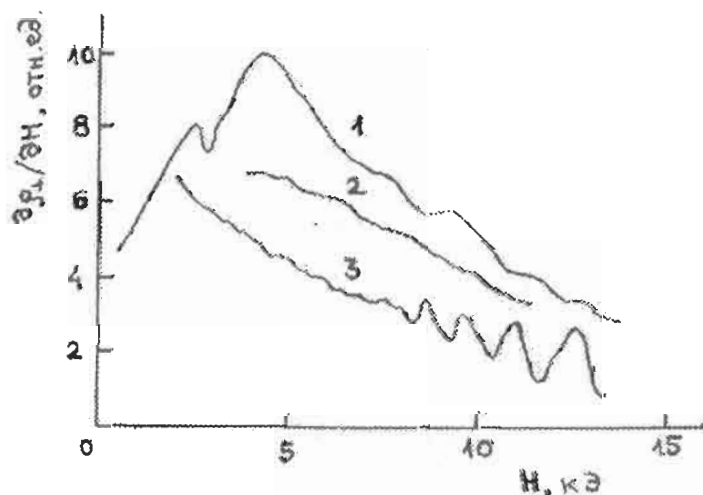


Рис.2 Зависимость амплитуды осцилляций от напряженности магнитного поля в тонком образце при $T=180$ К для различных углов θ : 1- 0° ; 2- 50° и 3- 85° .

магнитного поля, и в них происходит квантование движения электронов, а в несколько раз большее число границ расположено параллельно H . В них квантование по магнитному полю не происходит, они обладают меньшим сопротивлением и шунтируют каналы, которые дают осцилляции $\rho_{\perp}(H)$. Шунтирующее действие указанной части каналов можно исключить, уменьшив в толщину образцов до размеров, меньших среднего размера блоков.

Кривая 2 на рис. 1 изображает зависимость $d\rho_{\perp}/dH$ от H для образца толщиной 80 мкм, полученного из объемного образца механической полировкой и химическим травлением. Осцилляции на кривой 2 имеют характерный вид для магнитосопротивления двумерных каналов, в которых электроны заполняют несколько квантоворазмерных подзон. Это можно объяснить следующим образом. Когда толщина образца уменьшается до размеров блоков, то почти все границы будут расположены перпендикулярно поверхности слоя. Если магнитное поле направить перпендикулярно поверхности слоя, то оно не вызовет квантования в каналах, так как в этом случае они расположены параллельно H (кривая 3). Если же магнитное поле направить параллельно поверхности слоя, то при случайной ориентации границ блоков, часть из них будет расположена перпендикулярно заданному направлению магнитного поля, и они будут давать вклад в осцилляционную картину, а от остальных каналов, расположенных под различными углами φ , осцилляции будут взаимно погашаться. В этом нетрудно убедиться, если усреднить осциллирующую часть двумерного магнитосопротивления $\cos(2\pi\varepsilon_F/\hbar\omega_c)$ по углу φ (где φ - угол между нормалью и осью X). Эта процедура аналогична интегрированию по продольному квазиимпульсу при вычислении $\rho_{\perp}(H)$ в трехмерном случае [5]. Усреднение приводит к выражению:

$$\langle \rho_{\perp} \rangle_{\varphi} = \rho_{\perp}^0 \left[1 - 8\pi^{3/2} \sqrt{\frac{\hbar\omega_c}{2\pi\varepsilon_F}} \cdot \frac{\cos\left(\frac{2\pi\varepsilon_F}{\hbar\omega_c} + \frac{\pi}{4}\right)}{\sin \frac{2\pi^2 T}{\hbar\omega_c}} \exp\left(-\frac{\pi}{\omega_c \tau}\right) \right] \quad (1)$$

где ε_F - уровень Ферми двумерного газа, $\rho_{\perp}^0(H)$ монотонная составляющая магнитосопротивления, τ - время релаксации импульса двумерного электрона, $\omega_c = (eH/mc)$. Как видно из выражения (1), усреднение привело как и в трехмерном случае, к уменьшению амплитуды осцилляций в $\sqrt{2\pi\varepsilon_F/\hbar\omega_c}$ раз. Таким образом, из формулы (1) следует, что при изменении магнитного поля в плоскости слоя осцилляционная картина для идентичных двумерных каналов не изменяется, что наблюдается на эксперименте. Об этом свидетельствует зависимость частоты осцилляции Шубникова-де Гааза от угла θ между нормалью к поверхности слоя и направлением магнитного поля H (рис. 2).

Анализ осцилляционной картины позволяет определить основные параметры двумерного канала. По периоду осцилляции $d\rho_{\perp}/dH$ в обратном магнитном поле $\Delta_i(1/H)$ можно найти концентрации электронов в двумерных каналах [6]:

$$n_i = e/\pi c \hbar \Delta_i \quad (2)$$

Анализ осцилляций дает для значения n_i в основной подзоне $n_i \approx 4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$, в первой подзоне $n_i \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$.

Полученные параметры позволяют высказать мнение об удельном сопротивлении двумерных каналов в образце. Очевидно, что сопротивление каркаса существенным образом зависит от среднего размера блоков. При его уменьшении сопротивление каркаса также уменьшается, так как увеличивается число включенных параллельно двумерных каналов. При уменьшении толщины образца трехмерный каркас преобразуется в двумерный. Поскольку в этом случае также может происходить разрыв проводящего кластера, в связи с чем проводимость может уменьшиться скачком или измениться ее тип проводимости.

В заключение отметим, что каналы проводимости на границах блоков могут существенно влиять не только на кинетические свойства кристаллов КРТ, но и на другие свойства, например, на фотоэлектрические характеристики.

- [1] *Иванов-Омский В.И., Иванов Б.И., Огородников В.К., Смекалова К.П.* Труды IV Всес. симп. по узкощелевым полупроводникам и металлам. Львов, 1975, ч.3, с.47-48.
- [2] *Елизаров А.И., Иванов-Омский В.И., Корнилич В.И., Петряков В.А.* ФТП, 1984, т. 18, вып.1, с. 201-204.
- [3] *Абдинов Д.Ш., Сеидли Г.С., Хыдырова Е.Б.* Изв. АН СССР, Неорган.материалы, 1987, т. 23, вып. 11, с. 1835-1839.
- [4] *Погребняк Д.Д., Халамейда Д.Д., Яковенко В.М.* Письма ЖЭТФ, 1987, т. 46, вып. 2, с. 167.
- [5] *Абдинов А.Ш., Агаев Р.Р., Салаев Э.Ю., Сеидли Г.С.* ФТП, 1984, т. 18, вып.6, с. 085-1087.

QEYRİ-BİRCİNS $Cd_xHg_{1-x}Te$ MONOKRİSTALLARINDA ŞUBNIKOV-DE HAAZ OSSİLYASIYALARI

BARXALOV B.Ş., SEYİDLİ H.S., DƏMİROVA Z.V.

İşdə qeyri-bircins $Cd_xHg_{1-x}Te$ kristallarında Şubnikov-de Haaz ossilyasiyaları tədqiq olunmuşdur. Mozaik quruluşlu kristallarda blokların sərhədləri boyunca əlavə elektron keçiriciliyi aşkar olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, bir qrup kristal üçün blokların sərhədləri boyunca keçiricilik ikiölçülüdür, digər qrup kristal üçün isə həcmi xarakter daşıyır. Güclü maqnit sahəsində nümunədə keçiricilik, əsasən, blokların sərhədləri boyunca keçirici kanalların əmələ gətirdiyi karkas üzrə baş verir.

THE SHUBNIKOV-DE HAAS OSCILLATIONS IN NON-UNIFORM $Cd_xHg_{1-x}Te$ SINGLE CRYSTALS

BARKHALOV B.Sh., SEYIDLI G.S., DAMIROVA Z.V.

The results of the research of Shubnikov-de Haas oscillations in non-uniform crystals of $Cd_xHg_{1-x}Te$ have been presented. The additional electronic conductivity on the borders of the blocks in mosaic crystals have been found out. In one group of samples the conductivity on borders of blocks has two-dimensional character, and in other group - volume character. In a strong magnetic field the conductivity in a sample is realized basically on a carcass formed by conducting channels on borders of blocks.