

## ЭФФЕКТЫ СЛАБОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ Ga As

А.К.Савченко, В.Н.Луцкий, В.И.Сергеев

Наблюдалось отрицательное магнетосопротивление пленок GaAs, которое интерпретируется на основе теории локализации. Измерены температурные зависимости сопротивления и магнетосопротивления; определены значения входящих в теорию параметров.

В настоящей работе исследовались тонкие ( $200 \div 1000 \text{ \AA}$ ) пленки GaAs, выращенные методом газовой эпитаксии из металл-органических соединений на полуизолирующей монокристаллической GaAs-подложке. Наблюдаемые зависимости сопротивления ( $R$ ) образцов от температуры ( $T$ ) и магнитного поля ( $H$ ) имели вид, характерный для эффектов локализации электронов в двумерном случае: логарифмическое возрастание  $R$  при уменьшении  $T$ , отрицательное магнетосопротивление (ОМС) в слабых полях, наличие логарифмического участка в зависимости  $\Delta R(H)$ .

В исследованных пленках была обнаружена „замороженная“ фотопроводимость: сопротивление пленки при  $T = 4,2 \text{ К}$  значительно уменьшается под действием света и практически сохраняет свое значение при выключении источника света (постоянная времени – несколько часов). Возвращение  $R$  к темновому уровню происходит при отогреве пленки. Это позволило проводить несколько измерений на одном образце, имеющем различное сопротивление в зависимости от уровня включаемой на короткое время подсветки.

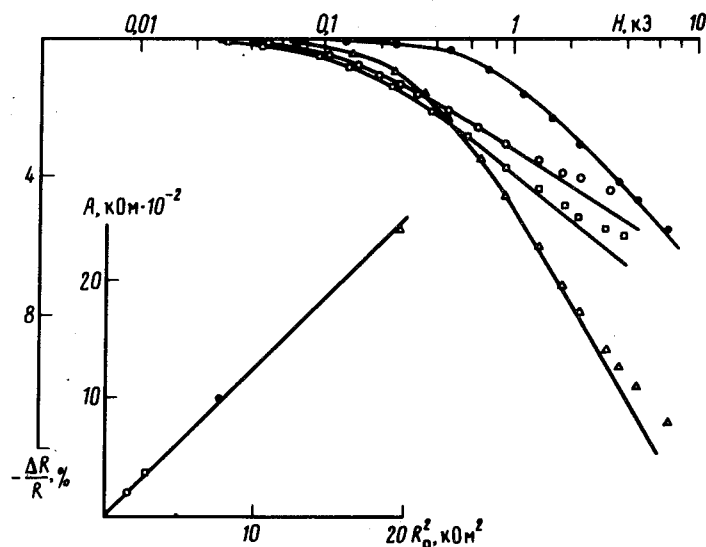


Рис. 1. Отрицательное магнетосопротивление пленки Ga As  $d \sim 500 \text{ \AA}$  при различном уровне подсветки ( $T = 4,2 \text{ К}$ ,  $R_{\square} = 4,5 \text{ кОм}$  – темновое)

На рис. 1 приведены зависимости  $\Delta R(H)$  при  $T = 4,2 \text{ К}$  образца № 5 толщиной  $d \sim 500 \text{ \AA}$  (концентрация электронов  $\sim 9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , подвижность  $\sim 200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ), сопротивление которого с помощью света варьировалось в пределах  $R_{\square} = 4,5 \div 1,2 \text{ кОм}$  ( $R_{\square}$  – сопротивление пленки „на квадрат“, первое значение соответствует темновому сопротивлению). Линиями изображены теоретические зависимости, описывающие эффект слабой локализации электронов в двумерном случае<sup>1</sup>:

$$\Delta R_{\square}(H) = -A \left( \ln x + \Psi \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{x} \right) \right),$$

$$R_{\square}^2 e^2$$

где  $A = a - \frac{R_{\square}^2 e^2}{2\pi^2 \hbar}$ ,  $a$  – коэффициент, теоретическое значение которого  $a = 1$ ,  $\Psi$  – дигамма-функция,  $x = 4 \frac{L_{\phi} e H}{c \hbar}$ ,  $L_{\phi} = \sqrt{D\tau_{\phi}}$  – длина диффузии за время сбоя фазы электронной волны  $\tau_{\phi}$ ,  $D$  – коэффициент диффузии. Теоретические кривые содержат два подгочных параметра  $A$  и  $L_{\phi}$ , которые определялись по наилучшему согласию с экспериментальными данными. На вставке рис. 1 показана зависимость  $A(R_{\square}^2)$ , являющаяся в соответствии с теорией линейной; из наклона прямой определено значение  $a = 0,96$ .

Отметим, что измерение зависимости  $\Delta R(H)$  для различных углов  $\gamma$  между направлением магнитного поля и пленкой показало, что ОМС зависит лишь от нормальной компоненты поля: кривые  $\Delta R_{\gamma}(\lg H)$  смещаются относительно кривой  $\Delta R_{90^{\circ}}(\lg H)$  по оси абсцисс на величину  $-\lg \sin \gamma$ . Это подтверждает двумерный характер магнетосопротивления исследуемых образцов.

Измерение зависимости  $\Delta R(H)$  при разных температурах (рис. 2) позволило найти температурную зависимость длины  $L_{\phi}$  и показатель степени  $p$  в температурной зависимости  $\tau_{\phi}$  ( $\tau_{\phi} \sim T^{-p}$ ). На вставке рис. 2 представлена зависимость  $\lg L_{\phi}(\lg T)$ , угол наклона которой дает  $p = 0,82$ . Полученная величина близка к единице. Это позволяет предполагать, что основным механизмом сбоя фазы является электрон-электронное рассеяние в „грязном” пределе <sup>2</sup>. В исследованном интервале температур величина  $L_{\phi}$  меняется в пределах  $1000 \div 3000 \text{ \AA}$ , что согласуется с условием  $2D$ -локализации:  $L_{\phi} > d$ .

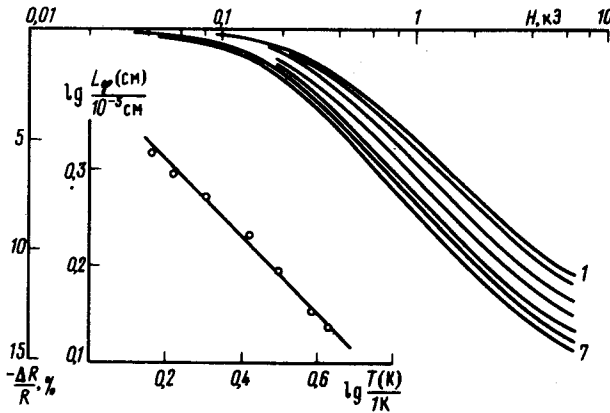


Рис. 2

Рис. 2. Магнетосопротивление образца при различных температурах (1 –  $T = 4,2 \text{ К}$ , 7 –  $1,5 \text{ К}$ )

Рис. 3. Температурная зависимость сопротивления пленки GaAs при  $H = 0$  и  $H = 2 \text{ кЭ}$

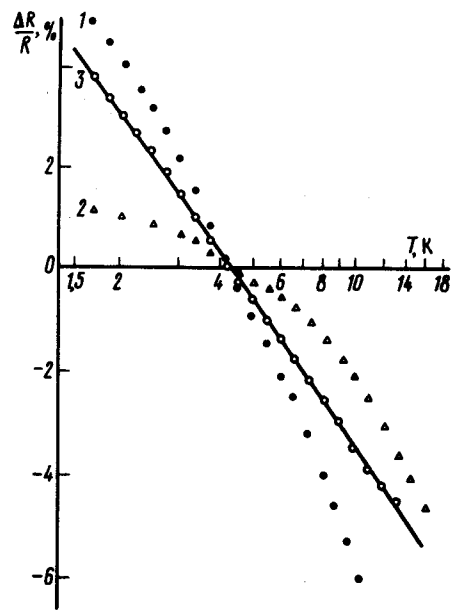


Рис. 3

На рис. 3 показаны измеренные при  $H = 0$  (1) и  $H = 2 \text{ кЭ}$  (2) температурные зависимости сопротивления пленки № 5. Указанная величина магнитного поля соответствует началу логарифмического участка кривой  $\Delta R(H)$ , при этом согласно теории <sup>1</sup> магнитное поле уничтожает ту часть температурной зависимости сопротивления, которая обусловлена эффектом локализации. Кривая 3 на рис. 3 получена вычитанием (2) из (1) и должна представлять собой локализационный ход  $R(T)$ . Полученная зависимость сравнивалась с теоретическим выражением для  $2D$ -локализации <sup>3</sup>:

$$\Delta R_{\square} = -ap \frac{R_{\square}^2 e^2}{2\pi^2 \hbar} \ln T,$$

откуда определено значение  $ap=0,71$ . Эта величина согласуется с полученными из анализа ОМС величинами  $a=0,96$  и  $p=0,82$ . Вклад эффекта электрон-электронного взаимодействия <sup>4</sup> в  $\Delta R(T)$  по-видимому мал в исследованных образцах, так как проведенное измерение температурной зависимости постоянной Холла  $R_x$  показало существенно меньшее изменение  $R_x$  при изменении температуры, чем это следует из теории взаимодействия:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = 2 \frac{\Delta R}{R}.$$

Отметим, что эффекты локализации и межэлектронного взаимодействия наблюдались на гетеропереходе GaAs – GaAlAs <sup>5</sup>, однако анализ результатов в этой системе был существенно затруднен из-за наличия двух размерных подзон под уровнем Ферми. В исследованных нами образцах размерное квантование не проявлялось, что значительно упростило анализ. Следует отметить близкие значения параметров  $a$  и  $p$ , полученных в <sup>5</sup> и в настоящей работе.

Авторы признательны Б.Л.Альтшулеру и Д.Е.Хмельницкому за полезное обсуждение результатов, В.В.Шемету за руководство технологической частью работы, М.И.Елинсону за интерес к работе.

#### Литература

1. Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Ларкин А.И., Хмельницкий Д.Е. ЖЭТФ, 1981, 81, 768.
2. Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 514.
3. Abrahams E., Anderson P.W., Licciardello D.C., Ramakrishnan T.V. Phys. Rev. Lett., 1979, 42, 673.
4. Altshuler B.L., Aronov A.G., Lee P.A. Phys. Rev. Lett., 1980, 44, 1288.
5. Poole D.A., Pepper M., Glew R.W. J. Phys. C: Solid State Phys., 1981, 14, L995.