кость таких сцинтилляторов как NaI—Tl и CsI—Tl. Установленную зависимость световыхода от интегральной дефектности BGO необходимо учитывать при анализе механизмов радиационного тушения радиолюминесценции.

В заключение авторы благодарят Л. В. Викторова за помощь в эксперименте и А. А. Пузанова за поддержку в работе.

Литература

[1] *Weber M. J., Monchamp R. R.* J. Appl. Phys., 1973, vol. 44, N 12, p. 5495—5499.
[2] *Викторов Л. В., Кружалов А. В., Каргин В. Ф.* и др. ЖПС, 1984, т. 41, № 6, с. 925—929.
[3] *Каманин В. В., Куглер А., Соболев Ю. Г.* Препринт ОИЯИ, 1986, № 13—86—375.
[4] *Bogh E.* Canad. J. Phys., 1986, vol. 46, p. 653—659.
[5] *Newton C. S., Alexander R. B., Clark G. I.* et al. Nucl. Instrum. and Methods, 1976, vol. 132, N 1—3, p. 213—218.

Уральский политехнический
институт им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило в Редакцию
23 февраля 1987 г.
В окончательной редакции
3 декабря 1987 г.

УДК 537.311.33

Физика твердого тела, том 30, в. 4, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 4, 1988

УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В СЛОИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ InSe С ПОМОЩЬЮ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ИНТЕРКАЛЯНТА

А. И. Дмитриев, З. Д. Ковалюк, В. И. Лазоренко, Г. В. Лашкарев, М. Н. Пырля, А. И. Середюк

В области температур $T < 10$ K электронный газ в слоистом полупроводнике InSe является двумерным. Об этом свидетельствуют: а) анализ резонансных [1] и осцилляционных [2, 3] явлений; б) качественное соответствие теории магнитосопротивления (МС) двумерного газа [4] и экспериментально исследованного нами отрицательного магнитосопротивления (ОМС), достигающего 40 %, с участками линейной зависимости $\delta\rho_{\perp c} \sim \ln H$ в слабых и сильных магнитных полях $\left(\delta\rho_{\perp c} = (\rho_H - \rho_0)\rho_0^{-1}, \mathbf{H} \perp c\right)$, а также отсутствием ОМС при $\mathbf{H} \parallel c$.

Интеркаляция изменяет свойства монокристаллов слоистых полупроводников, причем внедрение в межслоевое пространство достаточно большого числа атомов сверхпроводящего металла, по-видимому, может радикальным образом преобразовать зонный спектр носителей тока. Целью настоящей работы является изучение влияния интеркаляции металлами на гальваномагнитные свойства слоистого полупроводника InSe в области криогенных температур.

Исследования осуществлялись на монокристаллах InSe, выращенных по методу Бриджмена. Интеркалирование проводилось по методике, описанной в [5]. Образцы имели форму параллелепипеда размерами $1 \times 2 \times 8$ мм, большая плоскость которых перпендикулярна оси c и получалась при скалывании в жидком азоте. Омические контакты формировались диффузией индия в вакууме. Концентрация электронов в исходном InSe составляла $(2—6) \cdot 10^{14}$ см$^{-3}$. Измерения проводились в области температур 4.3—50 K в диапазоне магнитных полей до 4 T.

Интеркаляция литием до его концентрации 10^{21}—10^{22} см$^{-3}$ приводит к возрастанию удельного сопротивления при 4.3 K в плоскости слоев $\rho_{\perp c}$ и к несколько более резкой зависимости $\rho_{\perp c}(T)$ (рис. 1). Дополнитель-

ная интеркаляция свинцом ($N_{Pb} \sim 10^{19}$ см$^{-3}$) сильно изменяет свойства образцов. Так, на температурной зависимости $\rho_{\perp c} = f(T)$ в области ~ 9 К наблюдается довольно резкая смена проводимости от полупроводниковой к металлической (рис. 1). При $T < 7$ К МС положительно, обнаруживает тенденцию к насыщению, достигая ~ 40 % при 4.3 К (рис. 2). Величина МС при насыщении зависит от T.

Обозначим магнитное поле в точке перегиба $\delta\rho_{\perp c}(H)$ при выходе на насыщение — $H_к$. Зависимость $H_к(T)$ представляет собой прямую линию (рис. 3), которая пересекает ось температур при 7 К, что практически совпадает с температурой перехода свинца в сверхпроводящее состояние ($T_c = 7.2$ К). При $T > 7$ К появляется ОМС, величина которого не превышает 3 %. При дальнейшем росте температуры МС становится положительным, не обнаруживая тенденций к насыщению в поле до 3 T и не превышает значений ~ 10 %. Зависимости

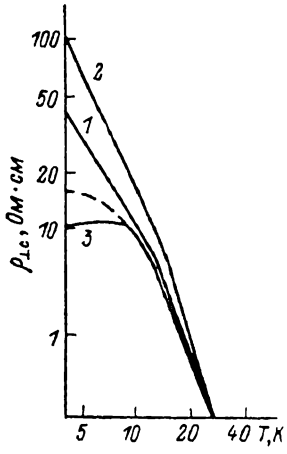

Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления от температуры образцов InSe.

1 — неинтеркалированный, 2 — интеркалированный Li, 3 — Li и Pb. Штриховая линия — значения $\rho_{\perp c}$ при $H > H_к$ образца 3.

$H_к(T)$ и $\delta\rho_{\perp c}(H)$ не претерпевают изменений в пределах погрешности эксперимента и при $\mathbf{H} \perp c$ ($T > 7$ К).

Наблюдаемые особенности можно объяснить, если предположить, что свинец, находясь в межслоевом пространстве в виде скоплений [6, 7] со средней концентрацией в кристалле $\sim 10^{19}$ см$^{-3}$ при $T \leqslant 7$ К, переходит в сверхпроводящее состояние. При этом электронный газ становится

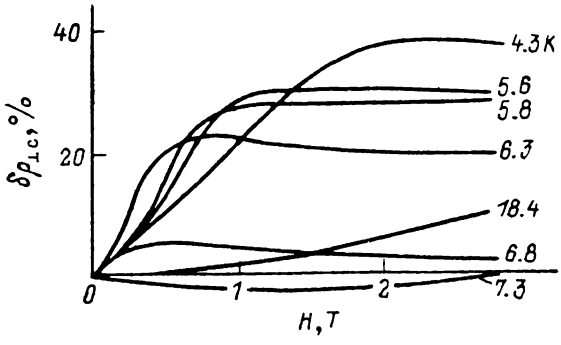

Рис. 2. Зависимости магнитосопротивления образца 3 от магнитного поля при различных температурах.

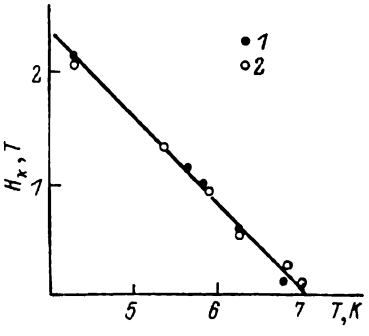

Рис. 3. Зависимость критического поля $H_к$ от температуры образца 3.

1 — $\mathbf{H} \perp c$, 2 — $\mathbf{H} \parallel c$.

трехмерным. Последнее подтверждается независимостью $H_к$ от ориентации слоев кристалла относительно магнитного поля, положительным МС при $T < 7$ К, а также появлением ОМС при $T > 7$ К, что присуще двумерным системам [4].

Остаточное сопротивление образца 3 при $H = 0$ также указывает на островковое распределение Pb в межслоевом промежутке. Преципитаты свинца при $T < T_c$ шунтируют сопротивление соседних слоев, понижая общее сопротивление образца, а величина $\rho_{\perp c}$ определяется незашунтированной частью слоев InSe. Разрушение сверхпроводящего состояния интеркалата магнитным полем снимает шунтирование. При $H > H_к$ сопротивление возрастает почти на 40 % при $T = 4.3$ К по сравнению с $H = 0$ (см. штриховую линию на рис. 1).

Отметим, что критическое поле $H_к$ свинца в массивном состоянии составляет $0.05T$ [8]. В нашем случае островковое распределение свинца в вандерваальсовских щелях InSe приводит к возрастанию $H_к$ в 40 раз ($H_к \simeq 2T$). Большие величины $H_к$ характерны и для слоистых халькогенидов переходных металлов, которые связаны с их двумерным распределением в решетке, обусловливающим формирование узких d-зон с большими эффективными массами и малыми фермиевскими скоростями [9].

Об островковом распределении свинца свидетельствует тот факт, что в системе ⟨Pb, Li⟩InSe свинец влияет в основном на $\sigma_{\parallel c}$ интеркалата, слабо влияя на $\sigma_{\perp c}$. Действительно, для резкого увеличения $\sigma_{\perp c}$ необходимо наличие сплошной «металлической» пленки интеркалянта, в то время как для резкого увеличения $\sigma_{\parallel c}$ достаточно лишь локализованных (островковых) скоплений «металлического» интеркалянта в достаточно большом количестве слоев [7].

Таким образом, проведенные исследования указывают на то, что электронный газ в InSe при низких температурах носит двумерный характер.

Впервые экспериментально установлено, что интеркаляция слоистых полупроводников сверхпроводящими металлами повышает размерность электронного газа при $T < T_c$, переводя его из двумерного в трехмерное состояние.

Литература

[1] *Kress-Rogers E., Nicholas R. J., Chevey A.* J. Phys. C, 1983, vol. 16, N 12, p. 2439—2447.
[2] *Kress-Rogers E., Hopper G. F., Nicholas R. J., Hayes W., Portal J. C., Chevey A.* J. Phys. C., 1983, vol. 16, N 21, p. 4285—4295.
[3] *Брандт Н. Б., Кульбачинский В. А., Ковалюк З. Д., Лашкарев Г. В.* ФТП, 1987, т. 21, № 6, с. 1001—1004.
[4] *Альтшулер Б. Л., Аронов А. Г., Ларкин А. И., Хмельницкий Д. Е.* ЖЭТФ, 1981, т. 81, № 2, с. 768—783.
[5] *Григорчак И. И., Ковалюк З. Д., Юрценюк С. П.* Изв. АН СССР, Неорган. матер., 1981, т. 17, № 3, с. 412—415.
[6] *Ковалюк З. Д., Пырля М. Н., Середюк А. И., Товстюк К. Д.* Изв. АН СССР, Неорган. матер., 1985, т. 21, № 10, с. 1652—1655.
[7] *Ковалюк З. Д., Середюк А. И., Товстюк К. Д.* ФТП, 1982, т. 16, № 11, с. 2061—2063.
[8] *Roberts B. W.* Superconductive materials and their properties. Report № 63-RL-3252 M., 1963, New York. 98 p.
[9] Сверхпроводимость в тройных системах / Под ред. М. Майнла и Э. Фишера. М.: Мир, 1985. 392 с.

Институт проблем
материаловедения АН УССР
Киев

Поступило в Редакцию
3 декабря 1987 г.

УДК 538.1

Физика твердого тела, том 30, в. 4, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 4, 1988

ОБ ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА В РАМКАХ ОДНОМЕРНОЙ РЕШЕТКИ АНДЕРСОНА

А. Ф. Барабанов, А. Ф. Михеенков

Будем рассматривать магнитный полупроводник с локализованными f-электронами в рамках одномерной невырожденной регулярной модели Андерсона [1, 2], пренебрегая прямым обменом между f-моментами. Такая модель, если отвлечься от одномерности, в первую очередь описывает антиферромагнитные полупроводники (АФМП) типа EuSe, EuTe с пренебрежимо малым перекрытием соседних f-оболочек [3]. Поскольку вопрос о структуре основного состояния решетки Андерсона, в том числе