

PACS: 62.50.i-p, 72.20.-i

А.Ю. Моллаев<sup>1</sup>, И.К. Камилов<sup>1</sup>, Р.К. Арсланов<sup>1</sup>, У.З. Залибеков<sup>1</sup>,  
Т.Р. Арсланов<sup>1</sup>, В.М. Новоторцев<sup>2</sup>, С.Ф. Маренкин<sup>2</sup>

### ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ В $p$ -InAs:Mn И $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn, ИНДУЦИРОВАННОЕ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

<sup>1</sup>Учреждение РАН, Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН

ул. Ярагского, 94, г. Махачкала, 367003, Россия

E-mail: a.mollaev@mail.ru, arslanov@gmail.com

<sup>2</sup>Учреждение РАН, Институт общей и неорганической химии им. Курнакова

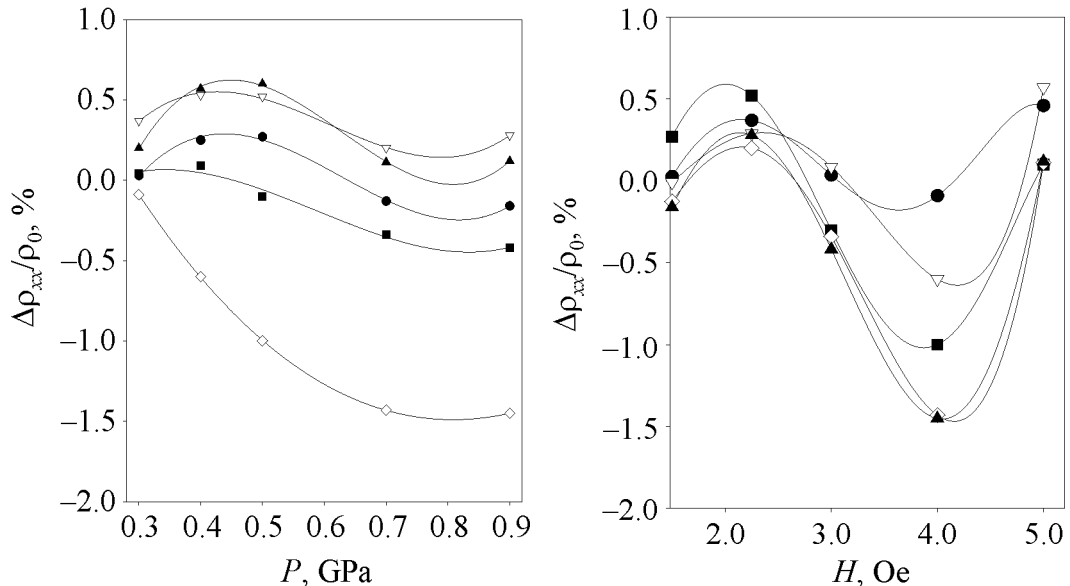
Ленинский пр-т, 31, г. Москва, 119991, Россия

E-mail: vmnov@igic.ras.ru

*В  $p$ -InAs ( $R_H = 22.5 \text{ cm}^3/\text{C}$ ,  $\rho = 0.15 \text{ }\Omega\text{-cm}$ ) и в новом ферромагнитном материале  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub> ( $R_H = 5 \text{ cm}^3/\text{C}$ ,  $\rho = 0.62 \text{ }\Omega\text{-cm}$ ), легированном магнитной примесью (Mn), измерены удельное электросопротивление  $\rho$ , коэффициент Холла  $R_H$  и поперечное магнитосопротивление  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$  при высоком гидростатическом давлении до  $P \leq 9 \text{ GPa}$  в области комнатных температур. На зависимостях  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0(P, H)$  в  $p$ -InAs:Mn и  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn обнаружен магниторезистивный эффект.*

Тройные полупроводниковые соединения типа  $A^{II}B^{IV}C_2^V$  по своим физико-химическим параметрам являются аналогами широко используемых в науке и технике полупроводниковых соединений  $A^{III}B^V$ . Недавно были получены новые высокотемпературные ферромагнетики на основе полупроводников группы  $A^{II}B^{IV}C_2^V$  с точкой Кюри  $T_C = 355 \text{ K}$  для CdGeAs<sub>2</sub> [1] и  $T_C = 320 \text{ K}$  для CdGeP<sub>2</sub> [2,3]. Характерными свойствами для этой группы тройных полупроводников являются высокие подвижности носителей заряда, малые эффективные массы электронов и большие величины отношения подвижности электронов к подвижности дырок. Контролируемое введение атомов переходных элементов (Mn, Fe, Cr и др.) в кристаллическую решетку в принципе позволяет обеспечить переход этих полупроводников в ферромагнитное состояние с достаточно высокой точкой Кюри. В настоящей работе представляло интерес изучить влияние Mn на электромагнитные свойства полупроводников группы  $A^{II}B^{IV}C_2^V$ , в частности  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn и его кристаллохимического аналога  $p$ -InAs:Mn.

В аппарате высокого давления типа «тороид» измерены барические зависимости удельного электросопротивления  $\rho$ , коэффициента Холла  $R_H$  и магнитосопротивления  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$  в различных магнитных полях (рис. 1, 2). Более подробно методика и техника эксперимента описаны в работах [4,5].

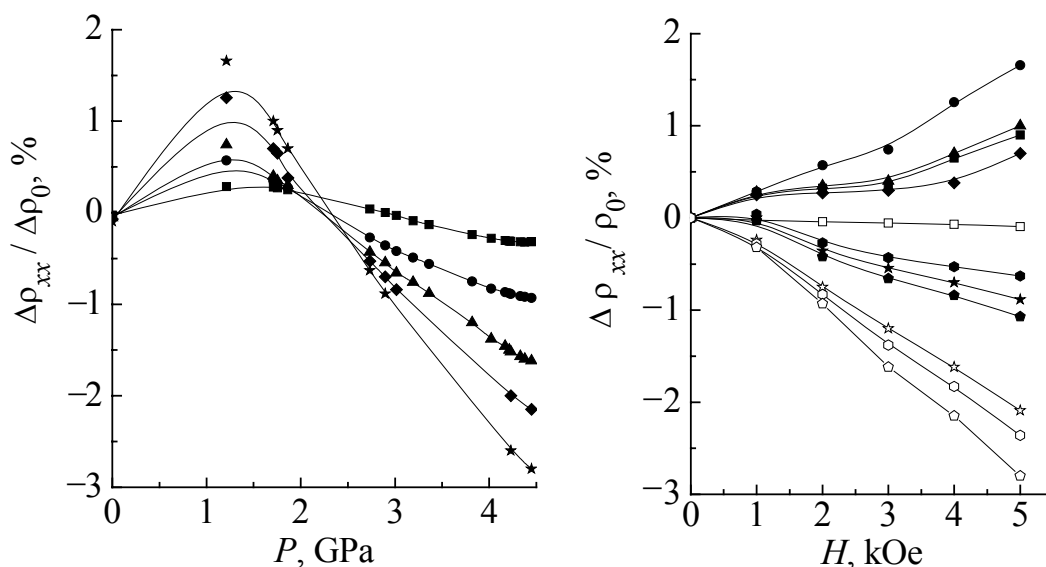


**Рис. 1.** Барические зависимости магнитосопротивления образцов  $p$ -InAs:Mn в различных магнитных полях  $H$ , kOe: ● – 1, ▽ – 2, ■ – 3, ◇ – 4, ▲ – 5

**Рис. 2.** Полевые зависимости магнитосопротивления образцов  $p$ -InAs:Mn при различных давлениях  $P$ , GPa: ● – 0.3, ▽ – 0.4, ■ – 0.5, ◇ – 0.7, ▲ – 0.9

Поперечное магнитосопротивление в  $p$ -InAs:Mn при атмосферном давлении положительно в диапазоне магнитных полей  $H \leq 5$  kOe. При давлении  $P = 0.4$  GPa величина  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$  в магнитных полях  $H \leq 1.5$  kOe положительная, в диапазоне  $H = 1.5$ –3 kOe отрицательная и при  $P > 3$  GPa вновь становится положительной. С ростом давления увеличиваются амплитуда и область отрицательного магнитосопротивления. При давлении  $P \approx 0.9$  GPa значение  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$  положительно в диапазоне магнитных полей до  $H \leq 3$  kOe, амплитуда отрицательного магнитосопротивления максимальная. Дальнейшее повышение давления уменьшает амплитуду и область отрицательного магнитосопротивления.

На кристаллохимическом аналоге полупроводников  $A^3B^5$  CdGeAs<sub>2</sub>, легированном Mn (магнитная примесь) также исследовано и обнаружено отрицательное магнитосопротивление. На рис. 3, 4 показано влияние давления и напряженности магнитного поля на поперечное магнитосопротивление в образцах CdGeAs<sub>2</sub>:Mn (содержание марганца 30%) при фиксированных значениях напряженности магнитного поля и давления. Из рис. 3 видно, что до давлений  $P = 2.7$  GPa магнитосопротивление положительно и достигает максимума при  $P = 1.2$  GPa ( $H = 5$  kOe). Дальнейшее увеличение давления



**Рис. 3.** Барические зависимости магнитосопротивления образцов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  ( $x = 0.30$ ) в различных магнитных полях  $H$ , кОе: ■ – 1.0, ● – 2.0, ▲ – 3.0, ◆ – 4.0, ★ – 5.0

**Рис. 4.** Полевые зависимости магнитосопротивления образцов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  ( $x = 0.30$ ) при различных давлениях:  $P$ , ГПа: □ – 0, ● – 1.2, ▲ – 1.7, ■ – 1.75, ◆ – 1.8, ● – 2.7, ★ – 2.9, ● – 3.0, ☆ – 3.2, ◻ – 3.4, ◻ – 4.5

приводит к подавлению положительного магнитосопротивления. При  $P > 2.7$  ГПа магнитосопротивление становится отрицательным. При давлении  $P \approx 4.5$  ГПа и  $H = 5$  кОе отрицательное магнитосопротивление составляет  $\sim 3\%$ . До давления  $P < 1$  ГПа существенный вклад в магнитосопротивление может вносить рассеяние носителей тока на флуктуациях намагниченности – магнитосопротивление положительно. С ростом давления и магнитного поля происходит упорядочение спина ионов марганца, что снижает рассеяние и приводит к отрицательному магнитосопротивлению. Это подтверждается наблюдаемым при  $P = 1.6$  ГПа магнитным фазовым переходом ферромагнетик–антиферромагнетик [6], который приходится на область перехода магнитосопротивления из положительного значения в отрицательное. При сбросе давления обнаружен гистерезис магнитосопротивления.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Теплофизика и механика экстремальных энергетических воздействий и физика сильно сжатого вещества», секция «Физика сильно сжатого вещества».

1. С.Ф. Маренкин, В.М. Новоторцев, К.К. Палкина и др., Неорган. материалы **40**, 135 (2004).
2. В.М. Новоторцев, В.Т. Калинин, Л.И. Королева, Р.В. Демин, С.Ф. Маренкин, Т.Г. Аминов, Г.Г. Шабунина, С.В. Бойчук, В.А. Иванов, Журн. неорган. химии **50**, 552 (2005).

3. Г.А. Медведкин, Т. Ишибаши, Т. Ниши, К. Сато, ФТП **35**, 305 (2001).
4. L.G. Khvostantsev, L.F. Vereshchagin, A.P. Novikov, High Temp.–High Pressures **9**, 637 (1977).
5. A.Yu. Mollaev, R.K. Arslanov, L.A. Saypulaeva, S.F. Marenkin, Inorganic materials **37**, 405 (2001).
6. А.Ю. Молаев, И.К. Камілов, Р.К. Арсланов, Т.Р. Арсланов, У.З. Залибеков, М.В. Новоторцев, С.Ф. Маренкин, Неорган. материалы (в печати).

*А.Ю. Молаев, И.К. Камілов, Р.К. Арсланов, У.З. Залибеков, Т.Р. Арсланов, М.В. Новоторцев, С.Ф. Маренкин*

### НЕГАТИВНИЙ МАГНІТООПІР В $p$ -InAs:Mn І $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn, ІНДУЦІЙОВАНИЙ ВИСОКИМ ТИСКОМ

У  $p$ -InAs ( $R_H = 22.5 \text{ cm}^3/\text{C}$ ,  $\rho = 0.15 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ ) і новому ферромагнітному матеріалі  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub> ( $R_H = 5 \text{ cm}^3/\text{C}$ ,  $\rho = 0.62 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ ), легованому магнітною домішкою (Mn), зміряно питомий електроопір  $\rho$ , коефіцієнт Хола  $R_H$  і поперечний магнітоопір  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$  при високому гідростатичному тиску до  $P \leq 9 \text{ GPa}$  в області кімнатних температур. На залежностях  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0(P, H)$  у  $p$ -InAs:Mn і  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn виявлено магніторезистивний ефект.

*A.Yu. Mollaev, I.K. Kamilov, R.K. Arslanov, U.Z. Zalibekov, T.R. Arslanov, V.M. Novotorzev, S.F. Marenkin*

### NEGATIVE MAGNETORESISTANCE IN $p$ -InAs:Mn AND $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn INDUCED BY HIGH PRESSURE

In  $p$ -InAs ( $R_H = 22.5 \text{ cm}^3/\text{C}$ ,  $\rho = 0.15 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ ) and in a new ferromagnetic material  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub> ( $R_H = 5 \text{ cm}^3/\text{C}$ ,  $\rho = 0.62 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ ), alloyed with the magnetic impurity (Mn) the specific electroresistance  $\rho$ , Hall coefficient  $R_H$  and transverse magnetoresistance  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$  have been measured at high hydrostatic pressure to  $P \leq 9 \text{ GPa}$  in the region of room temperatures. On dependences  $\Delta\rho_{xx}/\rho_0(P, H)$  for  $p$ -InAs:Mn and  $p$ -CdGeAs<sub>2</sub>:Mn the magnetoresistance has been detected.

**Fig. 1.** Baric dependences of magnetoresistance for samples  $p$ -InAs:Mn in various magnetic fields  $H$ , kOe: ● – 1, ▽ – 2, ■ – 3, ◇ – 4, ▲ – 5

**Fig. 2.** Field dependences of magnetoresistance for samples  $p$ -InAs:Mn at various pressures  $P$ , GPa: ● – 0.3, ▽ – 0.4, ■ – 0.5, ◇ – 0.7, ▲ – 0.9

**Fig. 3.** Baric dependences of magnetoresistance for samples Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>GeAs<sub>2</sub> ( $x = 0.30$ ) in various magnetic fields  $H$ , kOe: ■ – 1.0, ● – 2.0, ▲ – 3.0, ◆ – 4.0, ★ – 5.0

**Fig. 4.** Field dependences of magnetoresistance for samples Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>GeAs<sub>2</sub> ( $x = 0.30$ ) at various pressures  $P$ , GPa: □ – 0, ● – 1.2, ▲ – 1.7, ■ – 1.75, ◆ – 1.8, ● – 2.7, ★ – 2.9, ● – 3.0, ☆ – 3.2, ○ – 3.4, ○ – 4.5