

Ереванский  
государственный университет

Поступило в Редакцию  
18 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21

12 ноября 1990 г.

05.2; 06.2

© 1990

## ОБНАРУЖЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПОДВИЖНОСТИ ДЫРОК В МОНОКРИСТАЛЛАХ $CdSiAs_2$

В.Ю. Р у д ь, Ю.В. Р у д ь

Тройные полупроводники  $A_{Pb}^{IV}C_2^Y$  обладают пониженной симметрией кристаллической решетки ( $D_{2d}$ ) относительно своих ближайших кристаллохимических аналогов – кубических кристаллов  $A_{Sb}^{III}V^Y$  ( $T_d$ ), что определяет специфические особенности энергетического спектра в тройных соединениях [1, 2], которые в свою очередь приводят к нехарактерным для  $A_{Sb}^{III}V^Y$  явлениям, как, например, естественный фотоплекроизм, линейная поляризация излучательных переходов и т.п. [3–5]. Теоретические оценки также свидетельствуют, что эффективные массы носителей заряда в кристаллах класса  $A_{Pb}^{IV}C_2^Y$  анизотропны [1, 2, 6, 7], на основании чего можно ожидать выраженную зависимость параметров токопереноса от кристаллографического направления. В настоящей работе сообщается о первом наблюдении анизотропии холловской подвижности дырок в одном из соединений этого класса – диарсениде кадмия и кремния, кристаллическая решетка которого обладает максимальным тетрагональным сжатием среди тройных полупроводников  $A_{Pb}^{IV}C_2^Y$  [1].

Исследования проводились на специально не легированных посторонними примесями электрически однородных кристаллах с концентрацией свободных дырок  $p \approx 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  при  $T = 300 \text{ К}$ . Для измерения анизотропии удельной электропроводности  $\sigma$  и коэффициента Холла  $R$  образцы изготавливали в виде прямоугольных параллелепипедов со средними размерами  $8 \times 2 \times 1 \text{ мм}^3$ . Ориентацию образцов осуществляли с помощью Дифрактометра ДРОН-3 с точностью  $\pm 1^\circ$ . Положение тетрагональной оси  $\vec{c}$  кроме этого контролировалось также по фотоактивному поглощению линейно-поляризованного излучения [8]. Образцы ориентировали так, что ребра параллелепипедов совпадали с главными кристаллографическими

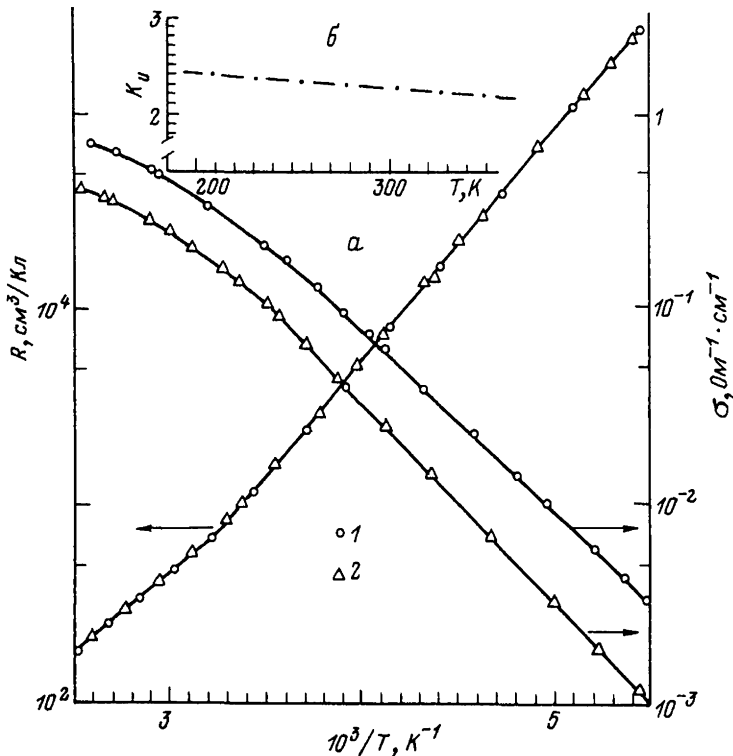


Рис. 1. а) Температурные зависимости удельной электропроводности (1 -  $\sigma^{\parallel}$ , 2 -  $\sigma^{\perp}$ ) и коэффициента Холла (1 -  $R^{\parallel}$ , 2 -  $R^{\perp}$ ) для монокристаллов  $\text{CdSiAs}_2$ , б) Температурная зависимость коэффициента анизотропии холловской подвижности  $\kappa_H$  в монокристаллах  $p\text{-CdSiAs}_2$ .

направлениями  $[100]$  и  $[001]$ , поскольку для тетрагональной сингонии  $\text{CdSiAs}_2$ , согласно [9], характерно наличие двух независимых компонентов тензоров  $\sigma$  и  $R$ . Измерения кинетических коэффициентов проводились четырехзондовым компенсационным методом в интервале температур 80–400 К в слабых электрическом и магнитном полях. Потенциальные зонды из платиновой проволоки диаметром  $\approx 20$  мкм монтировались на боковых гранях образцов с помощью электрического разряда, а токовые – осаждением чистой меди на всю торцевую плоскость. Точность измерения  $\sigma$  составляла  $\pm 3\%$ , а  $R$  –  $\pm 5\%$ .

Типичные температурные зависимости коэффициента Холла  $R(T)$  и удельной электропроводности  $\sigma(T)$  для токопереноса в двух разных направлениях (1 -  $\vec{i}_{\parallel}\vec{c}$ , 2 -  $\vec{i}_{\perp}\vec{c}$ ) приведены на рис. 1, а. В исследованной области температур имеет место обычная примесная проводимость, обусловленная термализацией электронов на уровень  $E_V + 0,22$  эВ. Как установлено, коэффициент Холла практически не зависит от кристаллографической ориентации образцов

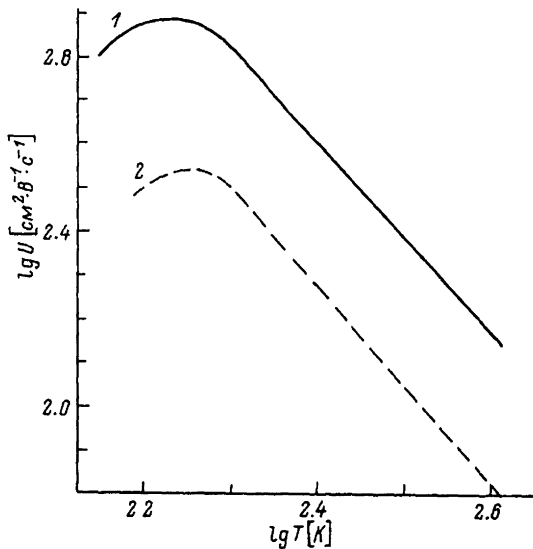


Рис. 2. Температурная зависимость холловской подвижности дырок (1 -  $u''$ , 2 -  $u^\perp$ ) для монокристаллов  $p$ - $CdSiAs_2$ .

$CdSiAs_2$   $p$ -типа проводимости, а отношение  $R''/R^\perp$  при этом не выходит за пределы  $0,97 \pm 0,05$ . Отсутствие анизотропии в эффекте Холла свидетельствует, по-видимому, в пользу одноэллипсоидной модели верхней валентной зоны в  $CdSiAs_2$ .

Удельная электропроводность, как видно из рис. 1, а, обнаруживает существенную зависимость от кристаллографического направления токопереноса. Для всех исследованных кристаллов температурный ход  $\sigma''(T)$  и  $\sigma^\perp(T)$  оказывается близким, что приводит к слабой температурной зависимости отношения  $\sigma''/\sigma^\perp$ . При комнатной температуре для исследованных образцов отношение  $\sigma''/\sigma^\perp \approx 2,5$ , что находится в качественном соответствии с характером анизотропии эффективных масс дырок в  $CdSiAs_2$  для верхней валентной зоны [1, 7].

Поскольку коэффициент Холла в кристаллах  $p$ - $CdSiAs_2$  оказался практически изотропным, анизотропия холловской подвижности дырок всецело определяется анизотропией удельной электропроводности. Из рис. 1, б видно, что коэффициент анизотропии холловской подвижности дырок  $K_u = u''/u^\perp$  слабо понижается с ростом температуры. Температурный ход обоих независимых компонент тензора холловской подвижности дырок ( $u''$  и  $u^\perp$ ), как видно из рис. 2, практически одинаков, что позволяет сделать вывод о нечувствительности доминирующих механизмов рассеяния дырок к изменению направления их переноса относительно тетрагональной оси. В таком случае традиционный подход к анализу механизма рассеяния из вида температурной зависимости холловской подвижности позволяет считать, что максимум  $u''_M = 780 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  и  $u^\perp_M = 346 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$

( $T_M \approx 165$  К) обусловлен конкуренцией рассеяния дырок на статистических дефектах и колебаниях решетки, а наблюдаемый при  $T > 210$  К закон  $\mu''(\mu^{\perp}) \sim T^{2.2}$  можно связать в таком случае с доминирующим рассеянием дырок на колебаниях решетки.

Приводимые здесь результаты указывают на необходимость учета обнаруженной анизотропии токопереноса дырок для оптимизации параметров фотопреобразователей на основе одноосных полупроводников  $APb_1Cu_2S_2$ .

В заключение авторы благодарят В.Д. Прочухана за любезное предоставление кристаллов.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Полупроводники  $A^2B^4C_2^5$  / Под ред. Н.А. Горюновой, Ю.А. Валова, М.: Советское радио, 1974, 376 с.
- [2] Sh a u J.L., W e r n i c k J.H. Ternary chalcopyrite semiconductors. Oxford: Pergamon Press, 1975. 340 p.
- [3] А б д у р а х и м о в А.А., Р у д ь Ю.В. // Изв. вузов, Физика, 1985, № 12, С. 93-96.
- [4] Р у д ь Ю.В. // ФТП, 1983, Т. 17, В. 12, С. 2208-2211.
- [5] R u d V.Yu., R u d Yu.V., S e r g i n o v M., T a i r o v M.A. // Phys. stat. sol. (a), 1989, V. 113, N 2, P. 207-213.
- [6] Г у б а н о в А.И. // ФТП, 1985, Т. 19, В. 6, С. 1145-1147.
- [7] Б о р и с е н к о С.И. // Канд. дис. Томск: Госуниверситет, 1986, 136 с.
- [8] Б о р щ е в с к и й А.С., О в е з о в К., Р у д ь Ю.В. // Кристаллография, 1977, Т. 22, В. 1, С. 202-203.
- [9] Н а й Дж. Физические свойства кристаллов, М., 1960, 386 с.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
8 августа 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 21

12 ноября 1990 г.

06.1; 06.2

© 1990

### РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ДВУХБАРЬЕРНОЙ СТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ $GaAs-AlAs$

В.Н. Луцкий, Б.К. Медведев,  
В.Г. Мокерев, А.С. Рылик,  
Ю.В. Слепнев, С.С. Шмелев,  
В.С. Шубин

Одной из наиболее актуальных проблем твердотельной электроники в настоящее время является изучение резонансного туннелирования. Исследование этого явления начато работами [1-3].