

## АНИЗОТРОПИЯ ПЬЕЗОТЕРМОЭДС В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ ПРИ УВЛЕЧЕНИИ ФОНОНОВ ЭЛЕКТРОНАМИ

И. Ф. СВИРИДОВ, В. А. ПРЕСНОВ

Изучение термоэдс в деформированных полупроводниках  $n$ -типа позволяет извлечь некоторую информацию, характеризующую каждый экстремум в отдельности, а также оценить вклады различных механизмов рассеяния в кинетические коэффициенты.

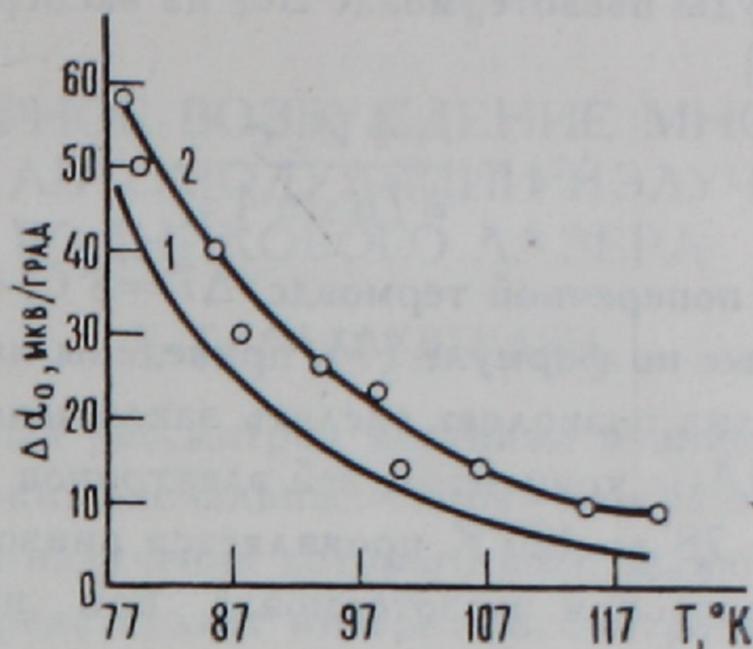
Теория анизотропного рассеяния развита в работах [1, 2]. Однако указанная теория касается лишь классических полупроводников, в частности, германия и кремния. В литературе мы не встречали ни теоретических, ни экспериментальных работ по аналогичным вопросам для случая арсенида галлия.

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению анизотропии пьезотермоэдс при увлечении фононов электронами с привлечением теории анизотропного рассеяния [1, 2].

Объектом исследований были образцы арсенида галлия  $n$ -типа проводимости. Параметры исходного материала при комнатной температуре были следующими: концентрация электронов— $1,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ , подвижность электронов— $6750 \text{ см}^2/\text{в сек}$ . Образцы, изготовленные в форме прямоугольных параллелепипедов с размерами  $a, b, c$ , находящимися в соотношении 10:1:1, подвергались одностороннему сжатию вдоль оси ОХ при наложении теплового потока вдоль ОУ. Изучение анизотропии пьезотермоэдс при увлечении фононов электронами в указанных образцах проведено на основе исследования продольной пьезотермоэдс, когда градиент температуры и деформирующее усилие совпадали с кристаллографическими осями [100], [010] и [001]. Анизотропия пьезотермоэдс исследовалась в случае, когда направление деформирующего усилия  $P$  лежало в плоскости (001) и составляло угол  $\varphi$  с направлением  $\langle 100 \rangle$ .

Измерение поперечной пьезотермоэдс проводилось на установке, аналогичной ранее описанной в работе [3]. Для предотвращения возникновения термоэлектрических вихревых токов и искажения вследствие этого результатов измерений нами были приняты специальные меры в соответствии с рекомендациями работы [4].

На рисунке приведены экспериментальные результаты температурной зависимости анизотропии пьезотермоэдс для образцов арсенида галлия  $n$ -типа проводимости. Из рисунка видно, что анизотропия пьезотермоэдс возрастает с понижением температуры. С повышением температуры влияние фононного увлечения уменьшается. Таким образом, полученные нами экспериментальные зависимости пьезотермоэдс от температуры, по-видимому, качественно можно объяснить проявлением описанного выше эффекта. Действительно, быстрое увеличение пьезотермоэдс при низкой температуре можно связать с возрастанием роли увлечения фононов электронами



Температурная зависимость анизотропии пьезотермоэдс в образцах арсенида галлия: 1 — кривая, рассчитанная по формуле (2); 2 — экспериментальная кривая.

Для количественного анализа полученных результатов воспользуемся теорией [1, 2, 5], согласно которой выражение для анизотропии пьезотермоэдс  $\Delta\alpha = \alpha_{\perp} - \alpha_{\parallel}$  можно записать в плоскости (001)

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_0 \cos 2\varphi, \quad (1)$$

$$\Delta\alpha_0 = \Delta\alpha_0^{\text{э}} + \Delta\alpha_0^{\text{Ф}}, \quad (2)$$

$$\Delta\alpha_0^{\text{э}} = \frac{k_0}{e} \frac{C_2 P}{k_0 (S_{11} - S_{12}) T} \frac{1 - K}{(1 + 2K)}, \quad (3)$$

$$\Delta\alpha_0^{\text{Ф}} = 3(\alpha_{\perp} - \alpha_{\parallel}) \frac{C_2 P}{(S_{11} - S_{12}) k_0 T} \frac{K}{(1 + 2K)^2}, \quad (4)$$

$$\alpha_{\perp} = \frac{b^{(1)} + b^{(2)} + U_{\parallel} (K\alpha^{(1)} N^{(1)} + \alpha^{(2)} N^{(2)} r_{\perp})}{\sigma_0^{(1)} + \sigma_0^{(2)} + U_{\parallel} (KN^{(1)} + N^{(2)} r_{\perp})}, \quad (5)$$

$$\alpha_{\parallel} = \frac{b^{(1)} + b^{(2)} + U_{\parallel} (\alpha^{(1)} N^{(1)} + \alpha^{(2)} N^{(2)} r_{\parallel})}{\sigma_0^{(1)} + \sigma_0^{(2)} + U_{\parallel} (N^{(2)} r_{\parallel} + N^{(1)})}, \quad (6)$$

где  $r_{\perp}$ ,  $r_{\parallel}$  — геометрические факторы, которые легко вычисляются для GaAs [5],  $\alpha^{(ij)}$  и  $N^{(ij)}$  — соответственно термоэдс и число электронов в  $i$ -группе минимумов  $U_{\parallel}$  — компонента подвижности,  $b^{(ij)}$ ,  $\sigma_0^{(ij)}$  — довольно громоздкие выражения, аналогичные полученным в работах [6, 7],  $\Delta\alpha_0^{\text{э}}$  и  $\Delta\alpha_0^{\text{Ф}}$  — пьезотермоэдс электронов и фононов,  $C_2$  — константа потенциала «сдвиговой» деформации,  $S_{11}$  и  $S_{12}$  — упругие модули,  $k_0$  — постоянная

Больцмана,  $e$  — заряд электрона,  $T$  — температура (°K),  $K = \frac{m_{\parallel} \tau_{\perp}}{m_{\perp} \tau_{\parallel}}$  —

фактор анизотропии электропроводности,  $\tau_{\parallel}$  и  $\tau_{\perp}$  — компоненты тензора времени релаксации электронов,  $m_{\parallel}$  и  $m_{\perp}$  — продольная и поперечная эффективные массы электронов.

Выражение (1) рассчитывалось на ЭВМ М220-М с точностью до  $10^{-7}$ . Сравнение соотношения (2) с экспериментом показано на рисунке, кривая 1.

Значение амплитуды пьезотермоэдс  $\Delta\alpha_0$  из эксперимента определялось по формуле работы [8]

$$\Delta\alpha_0 = \frac{4 V_{\perp} c}{\Delta T a \sin 4\varphi}, \quad (7)$$

где  $V_{\perp}$  — напряжение поперечной термоэдс,  $\Delta T = 8^{\circ}\text{C}$ ,  $a/c = 10$ ,  $\varphi = 25^{\circ}$ . Значения  $\Delta\alpha_0$ , рассчитанные по формуле (7), приведены на рисунке, кривая 2.

Проведенный анализ позволяет сделать заключение, что в деформированных образцах *n-GaAs* с концентрацией электронов  $1,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  в интервале температур от 78 до  $120^{\circ}\text{K}$  проявляется анизотропия пьезотермоэдс. Возрастание анизотропии пьезотермоэдс при низких температурах объясняется на основе эффекта увлечения фононов электронами. Расчеты, проведенные на основе теории анизотропного рассеяния, согласуются с экспериментом.

Одесский государственный  
университет

Поступила 20.VI.1974

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Г. Самойлович и др. ФТТ, 3, 2939 (1961).
2. А. Г. Самойлович и др. ФТТ, 3, 3285 (1961).
3. Л. И. Анатыхук, В. Д. Искра, П. П. Попович. ФТП, 3, 1458 (1969).
4. А. Г. Самойлович, И. Л. Коренблит. ФТТ, 3, 2054 (1961).
5. J. R. Drabble. J. Electronics Control., 5, 362 (1958).
6. Э. Нормантас, Г. Е. Пикус. ФТТ, 4, 2692 (1962).
7. Г. Л. Бир, Э. Нормантас, Г. Е. Пикус. ФТТ, 4, 1180 (1962).
8. Л. И. Анатыхук, В. Д. Искра. ФТП, 1, 1269 (1967).

ՊՅԵԶՈԹԵՐՄՈԷԼԵԿՏՐՈՄՈՒԹՅԱՆ ՀԱՎԻՈՒՄԻ  
ԱՐՍԵՆԻԴՈՒՄ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԿՈՂՄԻՑ ՖՈՆՈՆՆԵՐԻ ՏԱՐՄԱՆ  
ԺԱՄԱՆԱԿ

Ի. Ֆ. ՍՎԻՐԻԴՈՎ, Վ. Ա. ՊՐԵՍՆՈՎ

Հետազոտված է էլեկտրոնների կողմից ֆոնոնների տարման էլեկտրի ազդեցությունը *n-GaAs*-ի սյնեղանիկ էլեկտրաշարժ ուժի անիզոտրոպիայի մեծության վրա:

#### ANISOTROPY OF PIEZOTHERMOELECTROMOTIVE FORCE IN GALLIUM ARSENIDE AT THE PHONON PULLING BY ELECTRONS

I. F. SVIRIDOV, V. A. PRESNOV

The effect of phonon pulling by electrons on the value of piezothermo e. m. f. anisotropy for *n-GaAs* is investigated. The calculations are based on the theory of anisotropic scattering. Experimental study of the anisotropy of piezothermo e. m. f. was carried out for *n-GaAs* samples in the temperature range 78–120°K using the transversal piezothermoelectromotive force.