

## ФОНОННОЕ УВЛЕЧЕНИЕ В ВИСМУТЕ

*М.Е.Кузнецов, С.С.Шалым*

Взаимодействие электронов с фононами в кристалле является причиной не только их взаимного рассеяния, но и эффекта увлечения, проявляющегося в сильном возрастании термо ЭДС и эффекта Нернста\*. Особенно благоприятные условия для эффекта увлечения создаются в невырожденных полупроводниках, где фононные компоненты этих кинетических явлений могут превышать диффузионные в сотни и даже тысячи раз [1,2].

В теоретических работах А.Л.Натадзе и А.Л.Эфроса [3] и Л.Э.Гуревича и И.Я.Коренблита [4] было обращено внимание на то, что благоприятные условия для проявления эффекта увлечения существуют при низких температурах в таком полуметалле как висмут. Согласно теоретическим оценкам в формулах для дифференциальной термо ЭДС  $\alpha$  и коэффициента Нернста  $Q$  вырожденного электронного газа

$$\alpha \approx \frac{k_0}{e} \frac{k_0 T}{\zeta}, \quad (1)$$

$$Q \approx \frac{k_0}{e} \frac{v}{c} \frac{k_0 T}{\zeta} \quad (2)$$

( $k_0$  – константа Больцмана,  $e$  – заряд электрона,  $\zeta$  – химический потенциал,  $v$  – подвижность), благодаря фононному увлечению должны исчезать малые множители  $k_0 T/\zeta \ll 1$  и указанные кинетические коэф-

коэффициенты могут достигать значений, характерных для невырожденных полупроводников. Экспериментальные данные, представленные в настоящем письме, подтверждают это предсказание теории.

На рис. 1 представлены экспериментальные результаты измерения термо ЭДС на чистых и легированных монокристаллах висмута для двух ориентаций:  $\nabla T \parallel C_3$  и  $\nabla T \perp C_3$ . Ввиду того, что в чистом висмуте имеются в равных количествах электроны и дырки, которые в термоэлектрическом эффекте могут компенсировать друг друга, были исследова-

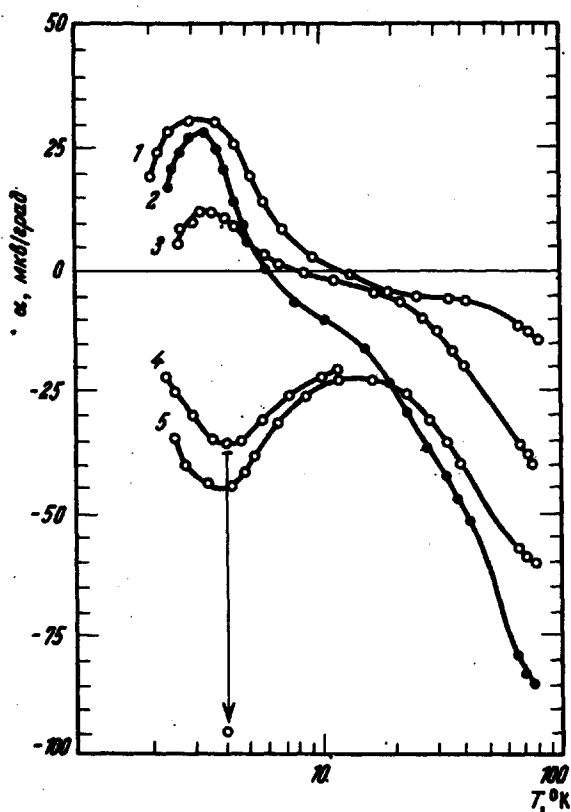


Рис. 1. Экспериментальные кривые температурной зависимости термо ЭДС для чистых ( $R_{300^\circ\text{K}}/R_{4,2^\circ\text{K}} = 300$ ) (3) —  $\nabla T \perp C_3$ , (2) —  $\nabla T \parallel C_3$  и легированных ( $\nabla T \perp C_3$ ) теллуrom (4) и оловом (1) монокристаллов висмута

ны монокристаллы висмута, легированные теллуrom и оловом. Первая примесь создает в висмуте донорный уровень, вторая — акцепторный. Такие примеси дают возможность исключать из явлений переноса в висмуте либо электроны, либо дырки. Путем исследования целой серии образцов с различным содержанием теллура, была определена оптимальная концентрация ( $2,5 \cdot 10^{-3}$  ат. %), обеспечивающая максимальную термо ЭДС в области увлечения. Для примеси олова такая оптимальная

концентрация еще не определена. На рис.1 стрелкой показано, как возрастает термо ЭДС в магнитном поле  $H = 10 \text{ кэ}$  ( $H \parallel C_3 \perp \nabla T$ ), достигая теоретического значения:  $a = k_0/e = 86 \text{ мкв/град}$ . В отсутствие эффекта увлечения диффузионная термо ЭДС при  $T = 4^\circ\text{К}$  не превышала бы нескольких микровольт на градус.

На рис.2 представлены результаты исследования эффекта Нернста у чистых монокристаллов висмута для двух ориентаций:  $H \parallel C_3 \perp \nabla T$  и  $\nabla T \parallel C_3 \perp H$ . В этом случае электроны и дырки не компенсируют друг

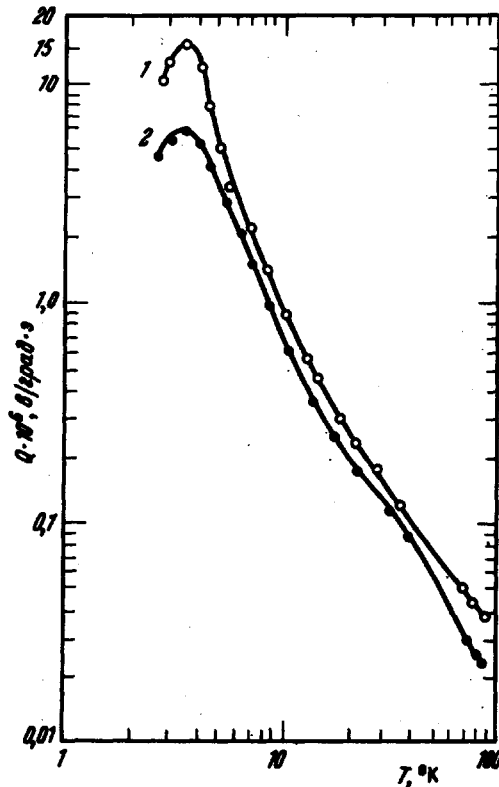


Рис.2. Экспериментальные кривые температурной зависимости коэффициента Нернста для чистых (см. рис.1) монокристаллов висмута двух ориентаций: 1 -  $H \parallel C_3 \perp \nabla T$ ; 2 -  $\nabla T \parallel C_3 \perp H$

друга и величина коэффициента Нернста в области увлечения достигает теоретического значения  $Q = (k_0/e)/(u/c)$ , которое является рекордным даже если иметь в виду и невырожденные полупроводники.

Авторы выражают благодарность И.Я.Коренблиту за обсуждение теоретических вопросов.

## Литература

- [1] C.Herring. Halbleiter und Phosphore, 5, 184, 1958.
- [2] C.Herring, T.H.Geballe, J.E.Kunzler. Bell System, 38, 657, 1959.
- [3] А.Л.Натадзе, А.Л.Эфрос. ФТТ, 6, 2931, 1962.
- [4] Л.Э.Гуревич, И.Я.Коренблит. ФТТ, 6, 856, 1964.

---

\* В неравномерно нагретом проводнике магнитное поле создает электрическое поле, перпендикулярное градиенту температуры и магнитному полю.