УДК 537.311.322

О ТЕРМОЭДС МНОГОДОЛИННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

А. И. ВАГАНЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 10 сентября 1984 г.)

На основе полученного выражения температурной зависимости дифференциальной термоэдс для невырожденного многодолинного полупроводника n-типа приводятся расчетные кривые двухдолинных составов твердых растворов, $In_{1-x} Ga_x P$. Показано, что зонное строение полупроводника отражается на характере температурной зависимости термоэдс.

В последнее время внимание исследователей привлекают сложные полупроводниковые соединения и твердые растворы с многодолинным строением зонной структуры. При исследовании физических свойств таких материалов в ряде случаев необходимо бывает пользоваться выражениями, учитывающими многодолинный характер зонного строения. Сказанное в равной мере относится и к термовдс.

Рассмотрим невырожденный многодолинный полупроводник n-типа, зона проводимости которого состоит из m долин, удаленных от некоторого нулевого уровня на расстояние δE_t . Известную формулу дифференциальной термовдс $\alpha = \Sigma \sigma_t \alpha_t / \Sigma \sigma_t$ для носителей нескольких типов запишем в виде

$$\alpha = -\frac{k}{e} \left[\frac{\sum \sigma_i A_i}{\sum \sigma_i} + \frac{\sum \sigma_i \ln \frac{N_{c_i}}{n_i}}{\sum \sigma_i} \right], \tag{1}$$

где: N_{c_l} и n_l — эффективное число плотности состояний и концентрация электронов в i-долине, σ_l — электропроводность, обусловленная электронами i-долины, $A_l = 5/2$ — s_l — величина, зависящая от механизмов рассеяния электронов.

В работе [1] было показано, что если зону проводимости многодолинного полупроводника представить в виде однодолинной эквивалентной зоны, то эффективное число плотности состояний эквивалентной зоны N_c^{\bullet} можно выразить через параметры любой конкретной j-долины:

$$N_c^* = \frac{N_{cj}}{c_i} \exp\left(-\frac{\delta E_j}{kT}\right),\tag{2}$$

где с, — относительная заселенность ј-долины.

Используя (2), из (1) получаем выражение для дифференциальной термоэдс, ваписанное через параметры вонной структуры многодолинного полупроводника:

$$\alpha = -\frac{k}{e} \left[\frac{\sum \sigma_i A_i}{\sum \sigma_i} + \ln \frac{N_{c_j}}{n_j} + \frac{1}{kT} \frac{\sum \sigma_i (\delta E_i - \delta E_j)}{\sum \sigma_i} \right]$$
(3)

341

или, с учетом значений о,,

$$\alpha = -\frac{k}{e} \left[\frac{\sum c_i \mu_i A_i}{\sum c_i \mu_i} + \ln \frac{N_{c_j}}{n_j} + \frac{1}{kT} \frac{\sum c_i \mu_i (\delta E_i - \delta E_j)}{\sum c_i \mu_i} \right], \quad (4)$$

где μ_i — подвижность электронов в i-долине. Суммирование проводится по i. В частности, при i=j=1 получается известная формула Писаренко для носителей одного типа.

Из (3) и (4) видно, что термоэдс многодолинного полупроводника зависит не только от концентрации носителей и температуры, как это имеет место в однодолинном случае, но и от зонной структуры, т. е. от расположения долин и распределения электронов в них. Заметим, что третий член может иметь как положительный, так и отрицательный знак в зависимости от расположения долин относительно j-долины. Очевидно, что долины, для которых $\delta E_l = \delta E_j$, не вносят вклада в третий член выражений (3) и (4).

Практический интерес представляет двухдолинный случай, для которого из (4) получается

$$\alpha = -\frac{k}{e} \left[\frac{c_1 \mu_1 A_1 + c_2 \mu_2 A_2}{c_1 \mu_1 + c_2 \mu_2} + \ln \frac{N_{c_i}}{n_i} + \frac{1}{kT} \frac{c_1 \mu_1 (\delta E_1 - \delta E_i) + c_2 \mu_2 (\delta E_2 - \delta E_i)}{c_1 \mu_1 + c_2 \mu_2} \right],$$
 (5)

где j = 1 или 2. При j = 1, $\delta E_1 = 0$, $\delta E_2 = \delta E$ (5) принимает вид

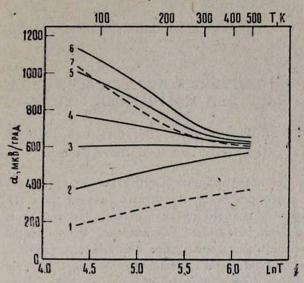
$$\alpha = -\frac{k}{e} \left[\frac{c_1 b A_1 + c_2 A_2}{c_1 b + c_2} + \ln \frac{N_{c_1}}{n_1} + \frac{\delta E}{k T} \frac{c_2}{c_1 b + c_2} \right], \quad (6)$$

где $b = \mu_1/\mu_2$ — отношение подвижностей электронов в этих долинах.

В качестве иллюстрации по формуле (6) проведен расчет термоэдс некоторых составов твердых растворов In_{1-x} Ga_xP , в которых в зависимости от х изменяется положение Γ - и X-долин ($\delta E=E_X-E_\Gamma$). Параметры, использованные в расчетах, взяты из работ [2, 3]. Расчет концентрации электронов выполнен при фиксированных для всех составов значениях раздельных концентраций доноров N_d и акцепторов N_a : $N_d = 5, 2 \cdot 10^{17}$ см⁻³, $N_a = 2, 5 \cdot 10^{17}$ см⁻³ [3].

На рисунке представлены расчетные кривые температурной зависимости термоэдс. Видно, что с изменением δE ход кривых изменяется, причем при каждой температуре с уменьшением δE термоэдс плавно растет. Наибольшее значение термоэдс получается при критическом составе, т. е. $\delta E=0$. При этом третий член в (6) исчезает и полупроводник ведет себл как однодолинный. На этом же рисунке для сравнения приведены расчетные кривые для однодолинных составов (пунктирные линии), причем кривая 7 относится к составу, для которого абсолютной является X-долина и изменение термоэдс главным образом обусловлено изменением концентрации электронов, а кривая 1—к составу, для которого абсолютной яв-

ляется Γ -долина, концентрация электронов постоянна и термоэдс растет пропорционально In $T^{3/2}$.



Расчетные кривые температурной зависимости термоэдс в системе In_{1-x} Ga_xP : 1-x=0.50; 2-x=0.60, $\delta E=0.08$ эВ; 3-x=0.63, $\delta E=0.06$ эВ; 4-x=0.64, $\delta E=0.05$ эВ; 5-x=0.65, $\delta E=0.035$ эВ; 6-x=0.68, $\delta E=0$; 7-x=0.75.

Таким образом, из сказанного следует, что в многодолинных и, в частности, двухдолинных полупроводниках зонное строение определенным образом отражается на характере температурной зависимости термоэдс.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ваганян А. И. ФТП. 16, 520 (1982).
- Авакьянц Г. М., Ваганян А. И., Димаксян М. Л. Изв. АН АрмССР, Физика, 13, 118 (1978).
- 3: Ваганян А. И., Димаксян М. Л. Сб. материалов юбилейных научных сессий (к 60-летию ЕГУ). Изд. ЕГУ, Ереван, 1981.

ԲԱԶՄԱՀՈՎԻՏ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐԻ ԹԵՐՄՈԷԼՇՈՒԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. Ի. ՎԱՀԱՆՑԱՆ

Ստացված է դիֆերենցիալ Թերմոէլշուի ջերմաստիճանային կախման արտահայտու-Թյունը չայլասերված բազմահովիտ п-տիպի կիսահաղորդչի համար։ Բերված են Iռ₁₋₋₋₋, Ga_xP պինդ լուծույթների երկհովիտ մի քանի բազադրությունների հաշվարկային կորերը։ Ցույց է տրված, որ կիսահաղորդիչների գոտիական կառուցվածքը անդրադառնում է Թերմոէլչուի ջերմաստիճանային կախման ընթացքի վրա։

ON THE THERMOELECTROMOTIVE FORCE OF MANY-VALLEY SEMICONDUCTORS

A. I. VAHANYAN

An expression is obtained for the temperature dependence of differential thermoemf for n-type nondegenerate many-valley semiconductors. The calculated curves for some two-valley $In_{I-x} Ga_x P$ alloys are given. It is shown that the zone structure of the semiconductor affects the behaviour of the temperature dependence of thermoemf.