Известия НАН Армении, Физика, т.47, №1, с.52-55 (2012)

УДК 621.315

О ТЕРМОЭДС МНОГОДОЛИННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА

А.И. ВАГАНЯН

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 11 июля 2011 г.)

Получено выражение коэффициента термоэдс для невырожденного многодолинного полупроводника. Показано, что выражение для коэффициента термоэдс можно представить параметрами одной конкретной зоны. Рассмотрен с практической точки зрения важный случай двухдолинного полупроводника.

1. Введение

В последнее время возрос интерес к исследованию термоэлектрических явлений. Это связано с получением новых высокоэффективных термоэлектрических материалов, на основе которых создаются термоэлементы с высоким коэффициентом полезного действия. Наряду с другими перспективными материалами внимание исследователей привлекают также сложные полупроводниковые соединения и твердые растворы с многодолинным строением зонной структуры. В связи с этим необходимо получить выражения, учитывающие многодолинный характер зонного строения, в частности, выражение для коэффициента термоэдс. До сих пор обобщающего выражения для коэффициента термоэдс многодолинного полупроводника в литературе не было. В данной работе приводится вывод коэффициента термоэдс невырожденного многодолинного полупроводника с любым количеством долин.

2. Вывод коэффициента термоэдс

Для определенности рассмотрим невырожденный многодолинный полупроводник n-типа, который имеет m долин в различных точках k-пространства.

Как было показано в работе [1], зону проводимости невырожденного многодолинного полупроводника можно заменить однодолинной эквивалентной зоной, параметры которой связаны с соответствующими параметрами многодолинного полупроводника определенными соотношениями. В частности, эффективную плотность состояний можно представить выражением

$$N_c^* = \sum_i N_{ci} \exp\left(-\delta E_i / kT\right) \qquad (1)$$

или, если использовать параметры одной конкретной j-ой долины, то получим

$$N_c^* = \left(N_{cj} / c_j\right) \exp\left(-\delta E_j / kT\right), \qquad (2)$$

где N_{ci} – плотность состояний i-ой долины, δE_i – энергетическое расстояние i-ой долины от выбранного нулевого уровня, c_j – относительная заселенность j-ой долины.

Если зону проводимости многодолинного полупроводника заменить однодолинной эквивалентной зоной с плотностью состояний N_c^* пользуясь выражением для коэффициента термоэдс для однодолинного случая [2], то можно записать

$$\alpha = -(k/e)\left[r^* + 2 + \ln\left(N_c^*/n\right)\right], \tag{3}$$

где r^* отражает общее влияние механизмов рассеяния всех долин. Если представить $r^* = \sum_j r_j$, то выражение (3) после преобразований примет вид

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[\frac{\sum_{i,j}\sigma_i r_j + 2\sum_i \sigma_i + \ln\frac{N_c^*}{n}\sum_i \sigma_i}{\sum_i \sigma_i}\right] \tag{4}$$

Обратимся к выражению $\sum_{i,j}\sigma_i r_j$, где σ_i – электропроводность, обусловленная электронами i-ой долины, а r_j – параметр рассеяния j-ой долины. Очевидно, что процессы рассеяния в j-ой долине не влияют на электропроводность i-ой долины, и, следовательно, в выражении $\sum_{i,j}\sigma_i r_j$, вклад тех членов суммы, в которых $i \neq j$ равны нулю. Отсюда получим, что $\sum_{i,j}\sigma_i r_j$, в данное случае равносильно $\sum_i \sigma_i r_i$, и выражение (4) примет вид

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[\frac{\sum_i \sigma_i r_i + 2\sum_i \sigma_i + \ln\frac{N_c^*}{c_i n}\sum_i \sigma_i}{\sum_i \sigma_i}\right] \tag{5}$$

или с учетом (2)

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[\frac{\sum_i \sigma_i r_i + 2\sum_i \sigma_i + \ln\frac{N_{ci}}{c_i n}\exp\left(-\frac{\delta E_i}{kT}\right)\sum_i \sigma_i}{\sum_i \sigma_i}\right]. \tag{6}$$

Если учесть, что в числителе все члены выражения суммируются по i, то будем иметь

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[\frac{\sum_i \sigma_i\left(r_i + 2 + \ln\frac{N_{ci}}{c_i n}\exp\left(-\frac{\delta E_i}{kT}\right)\right)}{\sum_i \sigma_i}\right]. \tag{7}$$

Так как выражение в круглых скобках, умноженное на множитель $-k/e$, является значением коэффициента термоэдс i-ой долины, то для коэффициента термоэдс многодолинного полупроводника окончательно получим

$$\alpha_i = \frac{\sum_i \sigma_i \alpha_i}{\sum_i \sigma_i} \tag{8}$$

где σ_i и α_i – коэффициент электропроводности и термоэдс i-ой долины, соответственно.

Формулу (7) для коэффициента термоэдс многодолинного полупроводника можно представить в виде

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[\frac{\sum_i \sigma_i r_i}{\sum_i \sigma_i} + 2 + \frac{\ln\frac{N_{ci}}{c_i n}\exp\left(-\frac{\delta E_i}{kT}\right)\sum_i \sigma_i}{\sum_i \sigma_i}\right]. \tag{9}$$

Как видно из формулы (9), термоэдс многодолинного полупроводника зависит не только от концентрации носителей заряда, эффективной плотности состояний в долинах и температуры, как это имеет место в однодолинном случае, но и от зонной структуры, т.е. от расположения долин и распределения электронов в них. Однако следует учесть, что в многодолинном случае не всегда известны параметры всех долин, поэтому задача значительно упрощается, если удается сократить число параметров, используемых при расчетах. С этой точки зрения очень полезно выразить формулу для коэффициента термоэдс через параметры одной конкретно j-ой долины.

Если учесть выражение (2), то получим

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[r^* + 2 + \ln\frac{N_{cj}}{n_j}\exp\left(-\frac{\delta E_j}{kT}\right)\right]. \tag{10}$$

Параметр рассеяния r^* в данном случае отражает общее влияние всех механизмов рассеяния в долинах. Отметим, что по экспериментальным измерениям температурной зависимости коэффициентов термоэдс и Холла можно определить температурную зависимость параметра рассеяния. Методика экспериментального определения параметра рассеяния многодолинного полупроводника приведена в работе[3].

Большой практический интерес представляет двухдолинный случай, для которого можно воспользоваться выражением (3). Учитывая, что в данном случае

$$N_c^* = N_{c1} + N_{c2}\exp\left(-\frac{\delta E}{kT}\right), \tag{11}$$

будем иметь

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[r^* + 2 + \ln\frac{N_{c1} + N_{c2}\exp\left(-\frac{\delta E}{kT}\right)}{n}\right]. \qquad (12)$$

И в двухдолинном случае выражение для коэффициента термоэдс можно представить с помощью параметров одной из двух долин, пользуясь выражением (10), где $j = 1$ или 2.

При $j = 1$ $\delta E = 0$, и, следовательно, имеем

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[r^* + 2 + \ln\frac{N_{c1}}{n_1}\right], \qquad (13)$$

а при $j = 1$ $\delta E_2 = \delta E$, соответственно, получаем

$$\alpha = -\frac{k}{e}\left[r^* + 2 + \ln\frac{N_{c2}}{n_2}\exp\left(-\frac{\delta E}{kT}\right)\right] = -\frac{k}{e}\left[r^* + 2 - \frac{\delta E}{kT} + \ln\frac{N_{c2}}{n_2}\right]. \qquad (14)$$

3. Заключение

Получено аналитическое выражение для коэффициента термоэдс невырожденного многодолинного полупроводника. Полученные результаты относительно термоэдс многодолинного полупроводника n-типа проводимости в равной мере справедливы для многодолинного полупроводника p-типа проводимости. Представленные формулы дают возможность детально анализировать экспериментальные результаты относительно термоэдс в многодолинных и, в частности, в практически важном случае двухдолинных полупроводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.И.Ваганян.** ФТП, **16**, 3 (1982).
2. **Р.Смит.** Полупроводники. М., Мир, 1982.
3. **A.I.Vahanyan.** Proc. 6-th Intern. Conf. Semiconductor Micro- and Nanoelectronics, Tsakhcadzor, Armenia, 2007, p. 7.

ON THE THERMAL EMF OF A MULTIVALLEY SEMICONDUCTOR

A.I. VAHANYAN

Thermal emf coefficient expression for nondegenerate multivalley semiconductors is obtained. It is shown that expression for thermal emf coefficient can be presented by the parameters of one certain valley. A practically important case of two-valley semiconductor is considered.