

УДК 621.315.591

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕТВЕЙ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ КОНТАКТОВ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ

Т. Д. Алиева, Н. М. Ахундова, Д. Ш. Абдинов

Институт фотоэлектроники АН Азербайджана, Баку, Азербайджанская Республика

Исследованы зависимости термоэлектрической эффективности Z термоэлементов на основе $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ и $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ от удельного сопротивления ρ материалов ветвей при разных значениях сопротивления переходных контактов r_k и длины ветвей l ; от l ветвей при разных ρ и r_k ; и от r_k переходных контактов при разных значениях ρ и l ветвей. Выяснено, что для данного коммутационного сплава длина l_k , после которой с уменьшением длины ветвей наблюдается сильное падение ΔT_{max} , не зависит от удельного сопротивления ветвей. Однако при переходе от сплава с меньшим контактным сопротивлением к сплавам с большим контактным сопротивлением, l_k смещается в сторону больших длин ветвей. Это объясняется тем, что для одного и того же сплава r_k само зависит от ρ кристаллов; с ростом ρ уменьшается концентрация основных носителей тока в кристалле, что приводит к росту сопротивления перехода кристалл—контактный сплав. Установлено, что r_k контактов прямо пропорционально ρ ветвей. Поэтому отношение r_k/ρ при изменении ρ остается постоянным. При переходе же от одного сплава к другому r_k меняется, что приводит к смещению l_k .

Термоэлектрические материалы на основе твердых растворов $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ p -типа и $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ n -типа проводимости нашли применение в изготовлении термоэлектрических преобразователей, особенно термоэлектрических охладителей [1]. Это обусловлено достаточно высокой термоэлектрической эффектив-

ностью Z этих твердых растворов в интервале температур $\sim 150\text{--}350$ К. Однако в реальных термоэлементах эффективность Z_p , помимо фундаментальных параметров (коэффициентов термо-э. д. с. α , теплопроводности χ , удельного сопротивления ρ) полупроводникового материала, из которого изготовлены ветви термоэлементов, определяется и сопротивлением r переходного коммутационного контакта [2, 3]:

$$Z_p = \frac{\alpha^2}{\chi\rho} \frac{\ell}{(1 + r/2\rho\ell)},$$

где ℓ — длина ветвей.

Множитель $\alpha^2/\chi\rho$ формулы представляет собой показатель эффективности идеального термоэлемента, у которого сопротивление коммутационного переходного контакта равно нулю. Второй член определяет ту долю необратимых потерь, которую вносит сопротивление переходных контактов. Из выражения очевидно, что при заданных α , ρ , χ ветвей, для обеспечения оптимальной Z_p в каждой конкретной термобатареи, необходимо выбрать оптимальные значения отношения $r/2\rho\ell$. Данная задача делает необходимым экспериментальное исследование зависимости Z_p от ρ , r и ℓ при различных вариациях каждого из этих величин.

Учитывая сказанное, в данной работе проводилось экспериментальное исследование зависимости термоэлектрической эффективности реальных термоэлементов от ρ , ветвей при разных ℓ и r ; от ℓ ветвей при разных ρ и r и от r переходных коммутационных контактов при разных ρ и ℓ ветвей.

Слитки составов $p\text{-Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и $n\text{-Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ были получены методом горячей экструзии, что обеспечило достаточно высокую их однородность. Экструзию проводили в условиях пластичности без макро- и микронарушений формируемых брусков. Для изготовления ветвей термоэлементов были использованы слитки p - и n -типов с удельной электропроводностью от 570 до 1600 Ом⁻¹·см⁻¹. Были исследованы три группы термоэлементов с различными значениями электропроводности ветвей. Для достоверности в каждой группе были взяты пять термоэлементов с примерно одинаковыми электрическими свойствами. Термоэлектрические параметры p - и n -ветвей в термоэлементах подбирались примерно одинаковыми.

Удельная электропроводность слитков управлялась введением в составы твердых растворов примесей галогенов, свинца, теллура и селена.

Перед залуживанием коммутационными сплавами торцы ветвей термоэлементов предварительно обрабатывались электрохимическим травлением в соответствующих растворах [4]. В качестве коммутационных сплавов были использованы сплавы, мас. %: 57Bi + 43Sn; 42Bi + 54Sn + 4Sb; 52Bi + 32Pb + 16Sn; 25Bi + 50Pb + 12,5Cd + 12,5Sn. Компоненты, входящие в состав указанных коммутационных сплавов, образуя на границе раздела кристалл—контактный сплав промежуточные фазы типа SnTe, Sb₂Te₃, PbTe, CdTe [5], позволяют создать коммутационные контакты с переходным сопротивлением от 10⁻⁴ до 6·10⁻⁶ Ом·см².

Были изготовлены и исследованы термоэлементы с длиной ветвей от 0,5 до 7 мм. Сечение ветвей термоэлементов составляло ~ 6 мм².

Термоэлектрическая эффективность Z_p термоэлементов определялась измерением максимального градиента температуры (ΔT_{max}), возникающего на термоэлементах при протекании через них оптимального постоянного тока в вакууме $\sim 10^{-3}$ Па из выражения

$$\Delta T_{\text{max}} = \frac{1}{2} Z_p T^2.$$

Выяснено, что зависимость ΔT_{\max} и Z_p от ρ , r и ℓ носит сложный характер. Для данного коммутационного сплава длина ℓ_k , после которой с уменьшением длины ветвей наблюдается сильное падение Z_p , не зависит от удельного сопротивления материалов ветвей. Однако при переходе от сплава (мас. %) 57Bi + 43Sn, образующего с твердым раствором меньшее контактное сопротивление ($\sim 6 \cdot 10^{-6}$ Ом·см²) к сплавам (мас. %) 25Bi + 50Pb + 12,5Cd + 12,5Sn, образующие с твердым раствором большое контактное сопротивление ($6 \cdot 10^{-6}$ Ом·см²), ℓ_k смещается в сторону больших длин ветвей.

Данный результат объясняется тем, что для одного и того же сплава r само зависит от ρ полупроводникового материала; с ростом ρ уменьшается концентрация основных носителей тока в материале, что приводит к росту сопротивления перехода термоэлектрический материал—контактный коммутационный сплав. При этом нами установлено, что r контактов прямо пропорционально ρ материалов ветвей. Поэтому отношение r/ρ при изменении r остается постоянным. При переходе же от одного сплава к другим r меняется и соотношение $r/2\rho\ell \geq 1$ выполняется при других значениях ℓ_k ветвей.

Л и т е р а т у р а

1. Гольцман Б. М., Кудинов В. А., Смирнов И. А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 . М.: Наука, 1972. С. 320.
2. Стельбанс Л. С. О коммутации полупроводниковых термоэлементов // ЖТФ. 1957. Т. 27. № 1. С. 212—213.
3. Коленко У. Ф. Термоэлектрические охлаждающие приборы. — Л.: Наука, 1967. С. 111.
4. Алиева Т. Д., Абдинов Д. Ш., Салаев Э. Ю. Влияние обработки поверхностей термоэлектрических материалов на свойства термоэлементов, изготовленных из твердых растворов систем $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{—Sb}_2\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{—Bi}_2\text{Se}_3$ // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1981. Т. 17. № 10. С. 1773—1776.
5. Бархалов Б. Ш., Ахундова Н. М., Нуриев И. Р., Абдинов Д. Ш. Исследование границ раздела твердых растворов систем $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{—Sb}_2\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{—Bi}_2\text{Se}_3$ и сплавов систем Bi—Sn, Bi—Pb—Sn, Bi—Pb—Sn—Cd // Там же, 1990. Т. 26. № 7. С. 1427—1431.

INFLUENCE OF BRANCHES RESISTIVITY AND TRANSITIONAL CONTACTS RESISTANCE ON THE THERMOELECTRICAL PROPERTIES OF THERMOELEMENTS

T. D. Aliyeva, N. M. Akhundova, D. Sh. Abdinov

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

The dependence of thermoelectrical efficiency Z of thermoelements based on $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ and $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ on the branches materials resistivity ρ at different values or resistances or transitional contacts r and branches length ℓ ; on branches length ℓ at different ρ and r ; and on transitional contacts resistance r at different ρ and ℓ of branches have been studied. It have been found, that for given commutation alloy the length ℓ_k , after which the strong reduction of ΔT_{\max} had been observed with decreasing branches length, does not depend on branches resistivity. Although, at the transition from alloy with small contact resistance to the large ones, ℓ_k is shifted to large branch lengths. It can be explained by the fact that for the same alloy r itself depends on crystals ρ ; the majority charge carriers concentration in crystal is decreased with increasing ρ , that leads to the increase of crystal — contact alloy Junction resistance. It have been round that r of contacts is directly propertional to branches ρ . There fore, the ratio r/ρ remains r is changed under the transition from one alloy to the other, and it leads to the shifting of ℓ_k value.