

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА
КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ В ОБЛАСТИ СОСТАВОВ С 15% КРЕМНИЯ

Инглизьян П.Н.¹, Щедров Е.Р.¹, Новиньков В.В.¹,
Житинская М.К.², Немов С.А.²

¹ООО «ЭРА-СФТИ», Сухум, Абхазия

²Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия

Одним из возможных факторов, приводящих к повышению параметра термоэлектрической эффективности Z в твердых растворах, является увеличение эффективной массы плотности состояний m_d на уровне Ферми. Этого эффекта можно достичь в твердых растворах Ge-Si. Поэтому представляется интересным с практической и с научной точек зрения исследовать те разрезы твердых растворов, в которых экстремумы зоны проводимости Ge и Si находятся на одном уровне энергии (см. Рис.1).

При соотношении компонентов $Ge_{0,85}Si_{0,15}$ оба типа минимумов (вдоль $[100]$ в кремнии и вдоль $[111]$ в германии) одинаково удалены от максимума валентной зоны в точке $[000]$: L_1 -минимум величины проводимости германия поднимается до Δ_1 -минимума в зоне проводимости кремния, и эффекты переноса определяются уже 10 долинами.

Образцы сплава $Si_{0,15}Ge_{0,85}$ были изготовлены по следующей технологии. Для синтеза заготовки в кварцевую лампу загружалась шихта соответствующего процентного содержания кремния и германия и расплавлялась при температуре $\sim 1300^\circ\text{C}$ в атмосфере He. Затем полученную заготовку помещали в горизонтальную кварцевую лодочку и проводили зонное выравнивание со скоростью 1,1 см/ч в три прохода. Для создания необходимой концентрации электронов производилось легирование фосфором из газовой фазы путём пропускания PCl_3 в смеси с He. Образцы необходимого состава отбирались с помощью химического и рентгеноспектрального анализов.

Измерения коэффициентов Холла R , поперечного эффекта Нернста-Эттингсгаузена Q , термо-ЭДС S и электропроводности σ были проведены на образцах с концентрацией электронов от $4,0 \cdot 10^{18}$ до $4,1 \cdot 10^{19}$ см⁻³ в интервале температур $77 \div 450\text{K}$.

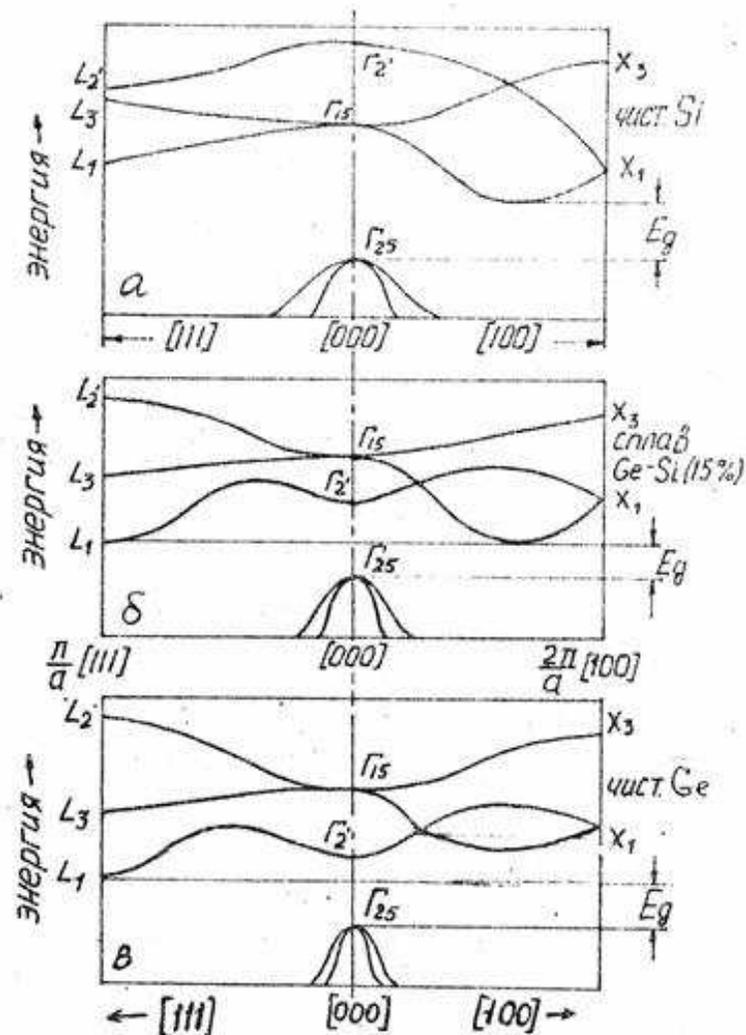


Рис.1. Зонная структура кремния, германия и сплава $Ge_{0,85}Si_{0,15}$ [1,2].

Эффекты, определяющие термоэлектрическую эффективность (S , σ и теплопроводность κ), измерялись до температур около 1000°K . Результаты представлены на Рис.2.

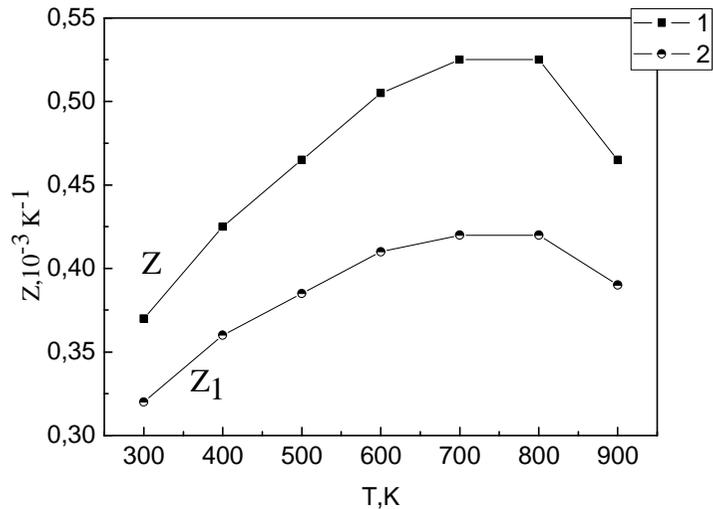


Рис.2. Термоэлектрическая добротность Z легированного образца сплава $\text{Si}_{0,15}\text{Ge}_{0,85}$ (1) в сравнении с Z_1 сплава $\text{Si}_{0,7}\text{Ge}_{0,3}$ (2) при одинаковой концентрации электронов $n \approx 4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

На рис. 2 приведены температурные зависимости Z для наиболее легированного образца сплава $\text{Si}_{0,15}\text{Ge}_{0,85}$ и Z_1 сплава $\text{Si}_{0,7}\text{Ge}_{0,3}$ при одинаковой концентрации электронов $n \sim 4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Из рисунка видно, что преимущества сплава $\text{Si}_{0,15}\text{Ge}_{0,85}$ очевидны. Возможными причинами увеличения эффективности Z , как отмечалось выше, может быть увеличение эффективной массы плотности состояний m_d^* и изменение параметра рассеяния электронов.

Оценки эффективной массы m_d^* и параметра рассеяния γ проводились на основе экспериментальных данных по четырем кинетическим коэффициентам (R , σ , S , Q) при температуре 120, К с использованием формул (1) и (2):

$$S_{\Gamma} = S_0 - \frac{Q}{R\sigma} \quad (1)$$

$$\frac{S_r}{k_0/e} = \frac{5 F_{3/2}(m^*)}{3 F_{1/2}(m^*)} - m^*, \quad (2)$$

где $m^* = \frac{m}{k_0 T}$ - приведенный химический потенциал, S_0, S_{Γ} - термоэдс в слабом и сильном магнитном поле, соответственно.

Эти формулы позволяют определить химический потенциал μ^* . Далее по обычным формулам для концентрации электронов и термоэдс в однозонном приближении для кубических кристаллов рассчитать m_d^* и γ . Полученное значение $m_d^* \approx 1,3 m_0$ представляется разумным, а значение параметра γ указывает на то, что в исследованных сплавах реализуется смешанное рассеяние, по-видимому, на акустических фонах, дефектах и примесях. Однако, следует отметить, что в случае участия в явлениях переноса нескольких типов носителей (электронов) выполненные расчеты дают усредненные значения параметров m_d^* и $\gamma_{\text{эф}}$ между парциальными значениями.

В заключение отметим, что исследованный сплав $\text{Si}_{0,15}\text{Ge}_{0,85}$ несомненно является перспективным, но имеется ряд технологических проблем, связанных с особенностями фазовой диаграммы и зонного спектра. При использовании для получения кристаллов методов Чохральского или зонного выравнивания весьма вероятно появление островков с параметрами, отличающимися от параметров основного объема материала, что снижает его эффективность. Однако, эту трудность вероятно можно обойти использованием мелкодисперсной технологии, которая позволит избежать негативного влияния традиционной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson E.R., Christian S.M. *Physical Review*, 95, №2, 560-561 (1954)
2. *Методическое пособие №86 МИСис* под ред. Галаева, Москва, 1994, с. 64-68.