

УДК 621.383

Детектор теплового излучения на основе эвтектики InSb—FeSb

Р. Н. Рагимов, И. Х. Мамедов, Д. Г. Араслы, А. А. Халилова, Р. М. Джаббаров
Институт физики Национальной академии наук Азербайджана,
г. Баку, Республика Азербайджан

Проведено комплексное исследование кинетических явлений — электропроводности, теплопроводности, термоЭДС, коэффициента Холла, эффекта Нернста—Эттингсгаузена (Н—Э) в эвтектической композиции InSb—FeSb в интервале температур 80—450 К при различных взаимных направлениях электрического тока, теплового потока, магнитного поля и включений металлической фазы. Выявлено, что при определенных условиях металлическая фаза играет закорачивающую роль, вследствие чего возникает анизотропия кинетических коэффициентов. Оценены основные характеристические параметры: удельная чувствительность, добротность, фактор добротности, обнаружительная способность и инерционность термомагнитного преобразователя на основе эффекта Н—Э. Эвтектическая композиция InSb—FeSb может служить материалом для изготовления детектора теплового излучения, наиболее оптимальные условия работы которого $\div T = 300 \text{ К}$, $B = 0,6 \text{ Тл}$.

Известно, что при определенных режимах кристаллизации полупроводниковые соединения A^3B^5 с элементом переходной группы — железом большой концентрации — образуют анизотропные эвтектические сплавы типа $A^3B^5\text{—}MeA^3$ или $A^3B^5\text{—}MeB^5$, где монокристаллическое металлическое включение регулярно распределено в полупроводниковой матрице в виде направленных игл [1]. Достоинством таких композиций являются сочетание свойств полупроводников и металлов и возможность управления их свойствами под воздействием электрических и магнитных полей, света, температуры, давления и различных примесей. В настоящее время эвтектики на основе полупроводников A^3B^5 нашли широкое применение при создании гальваномагнитных, термомагнитных, фототермомагнитных, оптических и тензометрических приборов [2—8].

В данной работе для создания приемников ИК-излучения на термомагнитном эффекте Н—Э исследованы кинетические коэффициенты: электропроводность, теплопроводность, термоЭДС, коэффициент Холла и эффект Н—Э под действием ИК-излучения в эвтектической композиции InSb—FeSb в интервале температур 80—450 К. В литературе изучены лишь оптические свойства эвтектической композиции InSb—FeSb и показана ее перспективность для изготовления отражателей и поляризаторов излучения [3].

Экспериментальные результаты и обсуждение

Исследованная эвтектика получена путем сплавления InSb с FeSb (0,65 мас. %) вертикальным методом Бриджмена со скоростью перемещения фронта кристаллизации 1 мм/мин. При этом строго выполнено требование перпендикулярности плоскости фронта кристаллизации направлению роста кристалла.

Металлографический анализ эвтектики InSb—FeSb, проведенный на микроскопе МИМ-8, показал, что фаза FeSb в полупроводниковой матрице InSb распределена равномерно и сформирована в виде параллельно ориентированных игл с диаметром $d \sim 0,5 \text{ мкм}$, длиной $l \sim 20\text{—}100 \text{ мкм}$ и плотностью на единицу площади $2,2 \cdot 10^4 \text{ мм}^{-2}$. Полученный кристалл имел концентрацию электронов $n = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Температурные зависимости электропроводности σ , термоЭДС α , коэффициента Холла R и теплопроводности K при различных взаимных направлениях электрического тока I , магнитного поля B , теплового потока W и направления роста кристалла x представлены на рис. 1 и 2. Как видно, измеренные кинетические коэффициенты при различных ориентациях I , ΔT , B и x имеют анизотропию, величина которой с повышением температуры уменьшается. В случае $I \perp x$ σ_{\perp} соответствует проводимости InSb соответствующей концентрации, а при $I \parallel x$ ввиду короткозамыкающего действия металлических игл происходит увеличение электропроводности. Закорачивание при $\Delta T \parallel x$ приводит к понижению термоЭДС α_{\parallel} . Вследствие закорачивания металлическими включениями падения напряжения вдоль образца в случае $I \parallel x \perp B$ и напряжения Холла — в случае $I \perp x \perp B$ коэффициент Холла имеет минимальные значе-

ния. Только в случае, когда иглы металлического включения расположены перпендикулярно направлению электрического тока и параллельно силовым линиям магнитного поля ($I \perp x \parallel B$), значение R максимально.

Анизотропия теплопроводности наблюдается в основном при низких температурах. При комнатной температуре и выше значения K_{\perp} и K_{\parallel} почти не отличаются, а при 80 К отношение K_{\perp}/K_{\parallel} достигает значения 1,2.

На рис. 3 приведены результаты экспериментальных исследований безразмерного коэффициента поперечного термомагнитного эффекта Н—Э ϵ_y с $T = 300$ К при изменении магнитного поля B до 0,65 Тл в условиях различных ориентаций B , ΔT и x . Как видно, величина

ϵ_y наибольшая при $\Delta T \parallel x \perp B$. Это связано с тем, что в таких макроскопических неоднородных средах, как полупроводник—металл при рассматриваемой ориентации кроме поперечного поля Н—Э из-за закорачивания металлическими иглами термоэлектрического поля возникает и ЭДС Холла. Для идеального закорачивания коэффициент Н—Э определяется как $\epsilon_y = \epsilon_{H-E} + \epsilon_x$. Величина, а также температурная и полевая зависимости ϵ_y зависят от соотношения между этими составляющими. В нашем случае ϵ_y для композиции InSb—FeSb намного больше (примерно

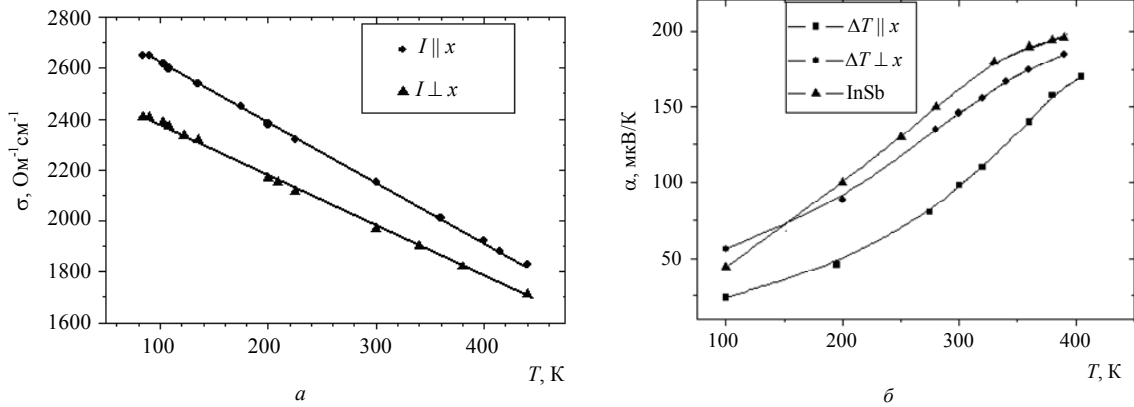


Рис. 1. Температурные зависимости электропроводности (а) и термоЭДС (б) InSb—FeSb при различных направлениях тока I , градиента температуры ΔT и металлических игл x

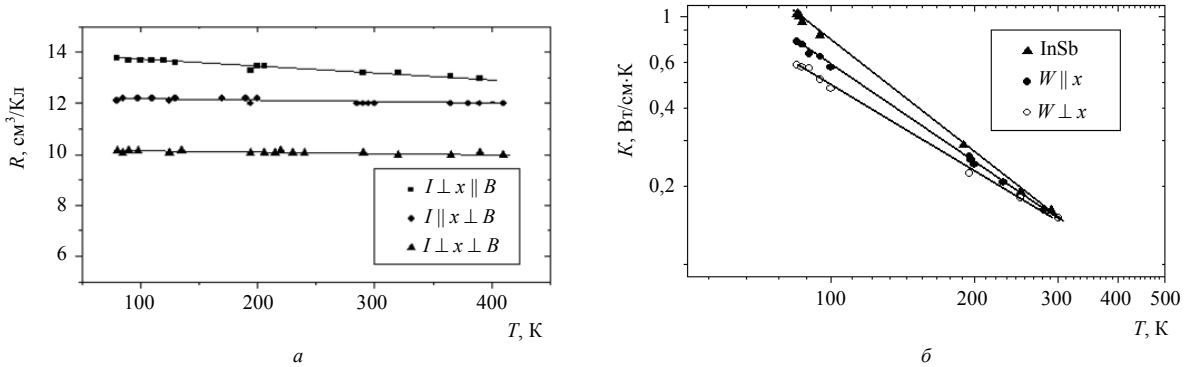


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента Холла (а) и теплопроводности (б) InSb—FeSb при различных направлениях тока I , теплового потока W и металлических игл x

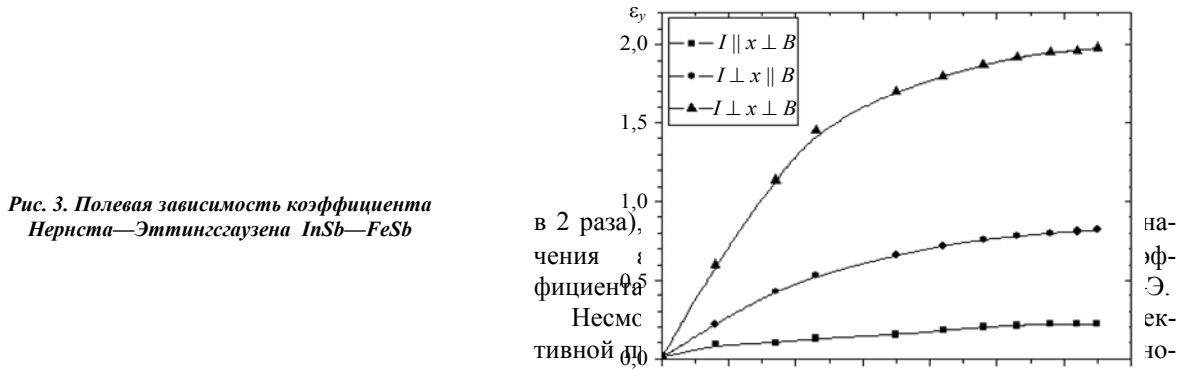


Рис. 3. Полевая зависимость коэффициента Нернста—Эттингсгаузена InSb—FeSb

в 2 раза), а также температурная и полевая зависимости ϵ_y зависят от соотношения между этими составляющими. В нашем случае ϵ_y для композиции InSb—FeSb намного больше (примерно

11]. В литературе при интерпретации экспериментальных данных по исследованию композиционных материалов часто используется приближение "эффективной среды" [12—15]. Эффективная проводимость системы по свойствам фаз определяется по формулам, полученным из определенных модельных представлений. Расчеты обобщенной проводимости гетерогенных систем были проведены Оделевским В. И. [12]. Показано, что в зависимости от значения сопротивления фаз и направления тока аддитивно складываются либо проводимости фаз, либо сопротивления. В [14] была предложена модель для объяснения экспериментальных данных в композиции InSb—Sb, и при $I \parallel x$ эвтектическая структура рассмотрена в виде двух параллельных, а при $I \perp x$ — как комбинация параллельных и последовательных проводников. В настоящее время предложены различные модели и получен ряд выражений для расчета эффективных кинетических параметров в эвтектических композициях [6, 15]. В этих выражениях присутствуют в основном параметры матрицы, включения и объемная доля включения. Из-за

определенные значения исследуемых кинетических коэффициентов, была оценена перспективность данной композиции для практического применения.

Как известно [16], материал, используемый в качестве чувствительного элемента для термомагнитных преобразователей, должен иметь большое значение ε_y и низкое значение теплопроводности. В эвтектике InSb—FeSb при $\Delta T \perp x \perp B$ по сравнению с гомогенным InSb ε_y увеличивается в несколько раз, достигая значения $\varepsilon_y > 2$, а теплопроводность уменьшается.

На основе измеренных нами кинетических коэффициентов оценены основные характеристические параметры тепловых преобразователей с чувствительным элементом InSb—FeSb. Расчет показал, что при $T = 300$ К и $B = 0,6$ Тл удельная чувствительность таких преобразователей

$\delta = 1 \cdot 10^{-5}$ В·м/Вт, добротность $Z = 0,4 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹, фактор добротности $F = 2,8 \cdot 10^{-4}$ м·Вт^{-1/2}·с^{-1/4}, и при толщине чувствительного элемента 1 мм обнаружительная способность и инерционность составляют $D = 0,45 \cdot 10^8$ м·Вт⁻¹·Гц^{1/2} и $\tau = 35$ мс, соответственно.

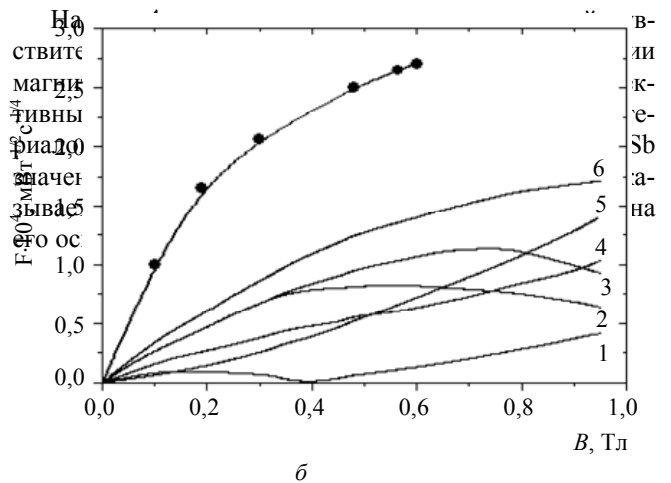
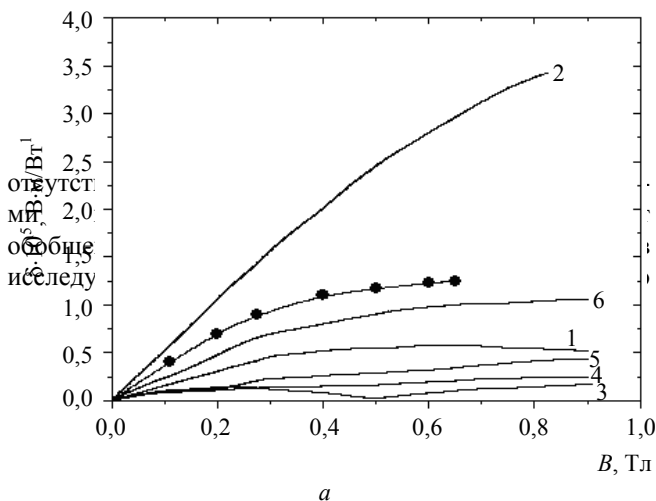


Рис. 4. Полевая зависимость удельной чувствительности (а) и фактора добротности (б) для Gd_3As_2 (1), InSb—NiSb (2), $Bi_{0,95}Sb_{0,05}$ (3), Bi—Ag (4), Bi (5), HgSe (6) и InSb—FeSb (●).

Выводы

Исследования электропроводности, коэффициента Холла, термоЭДС, теплопроводности и эффекта Нернста—Эттингсгаузена эвтектической композиции InSb—FeSb при различных взаимных направлениях тока, магнитного поля, градиента температуры и направления металлических игл показали анизотропию кинетических коэффициентов, обусловленную действием металлической фазы. Показано, что эвтектическая композиция InSb—FeSb может служить материалом для детектора теплового излучения, и приведены наиболее

оптимальные условия работы детектора — $T = 300$ К и $B = 0,6$ Тл.

Литература

1. Muller A., Wilhelm M. „Über Den Gerichteteten Einbau von Schwermetallphasen in A^3B^5 -verbindungen//J. Phys. und Chem. Solids. 1965. V. 26. № 12. P. 2029—2035.
2. Weiss H. Structure and application of Galvanomagnetic devices, Pergamon Press, 1969.
3. Paul B., Weis, H., Wilhelm M. Die polarisierende Wirkung von Zweiphasigem Indiumantimonid im Ultronen//Solid-State Electron. 1964. V. 7. P. 835.

4. Uher C., Goldsmid H. I. A Comparison of Thermomagnetic Materials for Use at Room Temperature//J. Phys. D: Appl. Phys. 1972. V. 5. № 8. P. 1478—1488.
5. Efstafaeva G. I. Magnetic-Field and Temperature Effects on the Magnetoresistive Response of InSb—NiSb Eutectic Alloys//Elektron. Tekh., Ser. 6: Mater. 1978. V. 118. № 3. P. 85.
6. Sopovskaya M. A., Smetannikova Yu. S. Photothermomagnetic Effect in InSb—NiSb Eutectic Alloys//Fiz. Tekh. Poluprovodn. (Leningrad). 1987. V. 21. № 7. P. 1242—1246.
7. Исаков Г. И. Управление сверхпроводимостью эвтектики полупроводник—сверхпроводник // Письма в ЖТФ, 2003. Т. 29. № 19. С. 40—47.
8. Aliyev M. I., Khalilova A. A., Arasly D. H., Rahimov R. N., Tanoglu M., Ozyuzer L. Features of Electron and Phonon Processes in GaSb—FeGa_{1.3}//J. Phys. D: Appl. Phys. 2003. № 36. P. 2627—2633.
9. Herring C. Effect of random in homogenates of electrical and galvanomagnetic measurements//J. Appl. Phys. 1960. V. 31. № 11. P. 1939—1953.
10. Kirkpatrick S.//Rev. Mod. Phys. 1973. № 45. P. 574.
11. Zallen R. The Physics of Amorphous Solids, Wiley. — New York, 1983.
12. Оделевский В. И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем. 1. Матричные двухфазные системы с невытянутыми включениями//Журн. техн. физики. 1951. Т. 21. № 6. С. 667—677.
13. Doyle T. W., Jacobs I. S. Phys. Rev. 1990. № 42. P. 9319—9327.
14. Liebman W. K., Miller E. A. Preparation, Phase-Boundary Energies, and Thermoelectric Properties of InSb—Sb Eutectic Alloys with Ordered Microstructures//J. Appl. Phys., 1963. 34. № 9. P. 2653—2659.
15. Емец Ю. П. Электрические характеристики композиционных материалов с регулярной структурой. — Киев: Наукова думка, 1986.
16. Агаев З. Ф., Араслы Д. Г. Термомагнитный преобразователь ИК-излучения//Проблемы энергетики. 2003. № 3. С. 53—66.
17. Алиев С. А., Араслы Д. Г. Физические основы термомагнитных преобразователей ИК-излучения: Препринт № 421981. — Баку,

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Thermal radiation detector on the basis of the InSb—FeSb eutectics

R. N. Rahimov, I. Kh. Mamedov, D. H. Arasly, A. A. Khalilova, R. M. Jabbarov
Institute of Physics, National Academy of Sciences of Azerbaijan,
Baku, Republic of Azerbaijan

The comprehensive investigation of transport phenomena such as the electrical and thermal conductivity, thermal power, Hall coefficient, transverse Nernst-Ettingshausen effect in InSb—FeSb eutectic composition in the range of 80 to 450 K and at different mutual directions of the current, thermal flow, magnetic field and metallic phase inclusions has been conducted. It has been revealed that under certain conditions the metallic phase plays the short-circuit role which leads to an anisotropy of kinetic coefficients. Main characteristic parameters: the specific sensitivity, figure of merit, figure of merit factor, detecting ability and transducer response time of transducers based on the thermomagnetic Nernst-Ettingshausen effect have been appreciated. It has been shown that the InSb—FeSb eutectic composition can serve as a material for the thermal radiation detector fabrication and that the optimal operating conditions of the detector are $T = 300$ K and $B = 0.6$ Tl.