

## ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭВТЕКТИК $\text{InSb-NiSb}$ И $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$ , ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ РОСТА

© М.И.Алиев, Г.И.Исаков, Э.А.Исаева, И.М.Алиев

Институт физики им.Г.Б.Абдуллаева Академии наук Азербайджана,  
370143 Баку, Азербайджан  
(Получена 16 мая 1995 г. Принята к печати 26 декабря 1995 г.)

Исследованы теплопроводности эвтектик  $\text{InSb-NiSb}$  и  $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$ , полученных при различных скоростях кристаллизации ( $V = 0.85-70$  см/ч), в интервале температур 80-300 К. Обнаружено уменьшение коэффициента теплопроводности  $\kappa$  и усиление коэффициента анизотропии  $\kappa$  с ростом  $V$ , что объясняется рассеянием фононов на границах металлических включений.

Изучение теплопроводности искусственно-анизотропных систем на основе  $\text{InSb}$  и  $\text{GaSb}$  представляет большой интерес. В таких системах можно проследить за ролью металлических включений в рассеянии фононов.

Исследования [1,2] показали, что в интервале температур 80-500 К в  $\text{InSb-NiSb}$  коэффициент теплопроводности  $\kappa$  в зависимости от направлений теплового потока  $W$  и включений  $X$  ( $W \perp X$  и  $W \parallel X$ ) в интервале 80-300 К проявляет анизотропию, усиливающуюся с уменьшением температуры. При 80 К  $\kappa_{\parallel}/\kappa_{\perp} \sim 1.5$ , при 300 К  $\kappa_{\parallel}/\kappa_{\perp} \sim 1$ .

В работе [3] показано, что в интервале  $T = 80 - 400$  К в эвтектике  $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$  также коэффициент теплопроводности проявляет анизотропию, которая с ростом температуры уменьшается. При 80 К  $\kappa_{\parallel}/\kappa_{\perp} \sim 1.5$ .

В настоящей работе исследуется теплопроводность эвтектических сплавов  $\text{InSb-NiSb}$  и  $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$ , полученных при различных скоростях движения фронта кристаллизации (0.85, 2.8, 7, 22, 70 см/ч). Эвтектические композиции  $\text{InSb-NiSb}$  и  $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$  получают при содержании 1.8 вес%  $\text{NiSb}$  [4] и 4.4 вес%  $\text{V}_2\text{Ga}_5$  [5] соответственно. Образцы перекристаллизовывались вертикальным методом Бриджмена. Полученные образцы имели:  $\text{InSb-NiSb-n}$ -тип ( $n = 1 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup> при 300 К) и  $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5-p$ -тип проводимости ( $p = 2 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> при 300 К).

Металлографические исследования образцов  $\text{InSb-NiSb}$  и  $\text{GaSb-V}_2\text{Ga}_5$  на микроскопе МИМ-8М показали, что металлические фазы

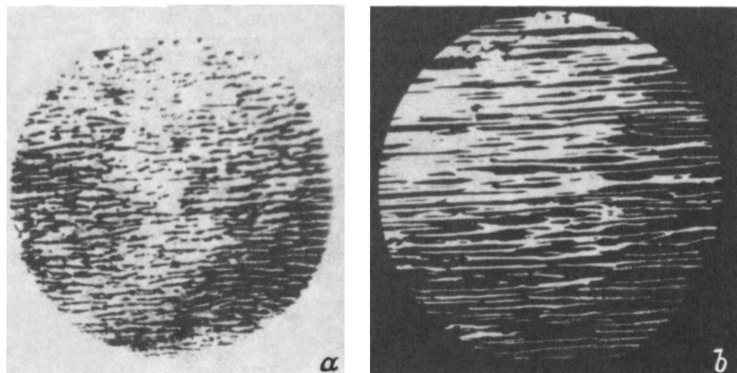


Рис. 1. Микрофотографии продольных шлифов эвтектик InSb-NiSb (a) и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> (b) при скорости роста  $V = 7$  см/ч ( $\times 200$ ).

NiSb и V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> формируются в матрицах InSb и GaSb в виде параллельно ориентированных прерывистых игл и почти непрерывных волокон или вискерсов соответственно.

На рис. 1 представлены микрофотографии продольных шлифов эвтектик InSb-NiSb и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub>, полученных при скорости роста  $V = 7$  см/ч.

Исследования эвтектик, полученных при различных скоростях кристаллизации, интересны тем, что размеры и плотность металлических включений зависят от скорости  $V$ . Эта зависимость подробно описана в работах [6,7] и приводится формула

$$R^2 V = \text{const},$$

где  $R$  — расстояние между включениями.

На рис. 2 и 3 даны температурные зависимости теплопроводностей эвтектических композиций InSb-NiSb и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub>, полученных при различных скоростях роста, в случаях  $W \parallel X$  и  $W \perp X$  и коэффициента анизотропии  $\kappa_{\parallel}/\kappa_{\perp}$  при  $V = 7$  см/ч.

Видно, что во-первых, в эвтектиках InSb-NiSb и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> при всех скоростях кристаллизации  $V$  коэффициент теплопроводности  $\kappa$  проявляет анизотропию. В случае  $W \perp X$  возникает дополнительное тепловое сопротивление, которое приводит к анизотропии теплопроводности. В работе [8] Оделевский приводит формулу обобщенной проводимости гетерогенных систем. Для теплопроводности двухфазных систем, где цилиндрические включения в матрице ориентированы параллельно друг другу, эта формула имеет вид

$$\kappa_{\perp} = \kappa_0 \left( 1 + \frac{\Psi}{(1 + \Psi)/2 + \kappa_0/(\kappa_1 - \kappa_0)} \right),$$

$$\kappa_{\parallel} = \kappa_0 \left( 1 + \frac{\Psi}{\kappa_0/(\kappa_1 - \kappa_0)} \right),$$

где  $\Psi$  — объемное отношение фаз,  $\kappa_0$  — теплопроводность матрицы,  $\kappa_1$  — теплопроводность включений.

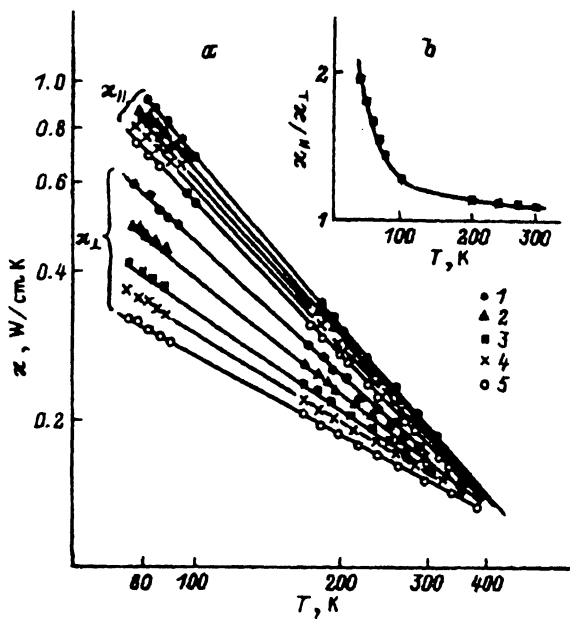


Рис. 2. Температурные зависимости теплопроводностей эвтектик InSb-NiSb, полученных при различных скоростях роста, в случаях  $W \parallel X$  и  $W \perp X$  (a) и коэффициента анизотропии  $\kappa_{||}/\kappa_{\perp}$  при  $V = 7$  см/ч (b).

$V$ , см/ч: 1 — 0.85, 2 — 2.8, 3 — 7, 4 — 22, 5 — 70.

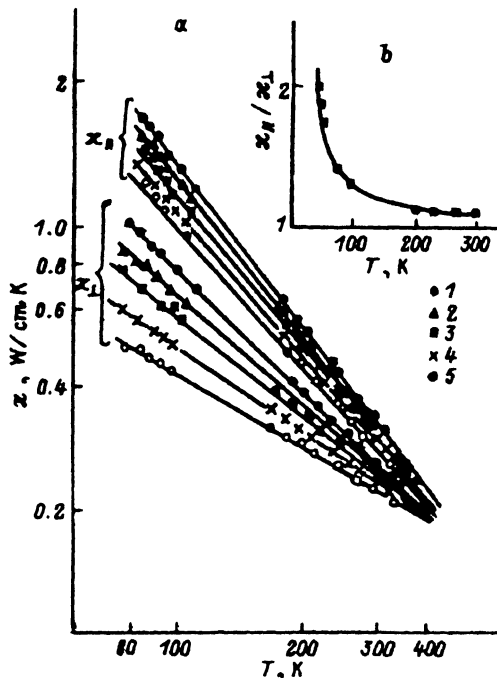


Рис. 3. Температурные зависимости теплопроводностей эвтектик GaSb- $V_2Ga_5$ , полученных при различных скоростях роста, и коэффициента анизотропии (обозначения те же, что и на рис. 2).

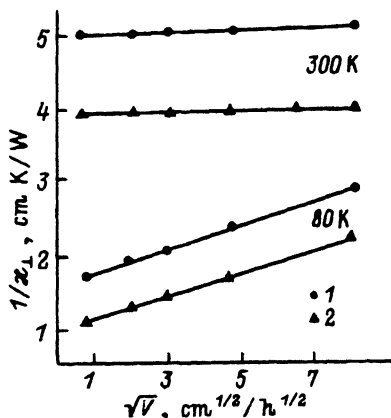


Рис. 4. Зависимость  $1/\kappa_{\perp}$  от  $\sqrt{V}$  для эвтектик InSb-NiSb (1) и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> (2) при 80 и 300 К.

Видно, что отношение  $\kappa_{\parallel}/\kappa_{\perp}$  зависит от объемного отношения фаз  $\Phi$  и от отношения теплопроводностей  $\kappa_1/\kappa_0$ , которое больше 1. Объемное отношения фаз в эвтектиках InSb-NiSb (1.8 вес% NiSb) и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> (4.4 вес% V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub>) очень малы (для InSb-NiSb  $\Psi = 0.015$ , для GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub>  $\Psi = 0.04$ ). Поэтому этот фактор не может привести к наблюдаемой анизотропии. Значит, дополнительное тепловое сопротивление в случае  $W \perp X$  возникает в результате рассеяния фононов на границах включений второй фазы. Оценки, полученные по закону Видемана-Франца ( $\kappa_e = L\sigma T$ ), показали, что электронная составляющая теплопроводности в обоих сплавах пренебрежимо мала и общая теплопроводность может быть принята за решеточную. Рассеяние фононов на границах включений увеличивается с уменьшением температуры, так как при этом длина свободного пробега фононов  $l$  увеличивается, и при  $T = 80$  К  $l$  становится соизмеримой с поперечными размерами  $d$  включений. Например, для InSb-NiSb  $d \sim 1$  мкм, в интервале  $T = 80-300$  К  $l \sim 0.1 \div 0.01$  мкм. Поэтому с понижением температуры анизотропия теплопроводности усиливается. Анизотропия теплопроводности усиливается также и с ростом скорости кристаллизации  $V$ . Как отмечалось ранее, плотность включений пропорциональна скорости кристаллизации  $V$  ( $R^2V = \text{const}$ ). Поэтому дополнительное тепловое сопротивление, которое возникает в результате рассеяния фононов на границах включений, увеличивается с ростом  $V$ . На рис. 4 дана зависимость  $1/\kappa_{\perp}$  от  $\sqrt{V}$  при температурах 80 и 300 К для обоих эвтектик.

Во-вторых, в обоих случаях  $W \parallel X$  и  $W \perp X$ , в эвтектиках InSb-NiSb и GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> коэффициент теплопроводности  $\kappa$  уменьшается с увеличением скорости кристаллизации  $V$ . Более сильное уменьшение теплопроводности в случае  $W \perp X$  можно объяснить тем, что с увеличением скорости роста  $V$  расстояние между включениями  $R$  уменьшается. Это влечет за собой увеличение плотности включений и уменьшение их поперечных размеров.

## Список литературы

- [1] H. Wagini, H. Weiss. Sol. St. Electron., **8**, 241 (1965).
- [2] M.I. Aliev, S.G. Abdinova, S.A. Aliev. Phys. St. Sol. (a), **9**, K57 (1972).
- [3] М.И. Алиев, Г.И. Исаков, А.Т. Эминзаде. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **25**, 926 (1989).
- [4] H. Weiss, M. Wilhelm. Z. Phys., **176**, 399 (1963).
- [5] A. Muller, M. Wilhelm. J. Phys. Chem. Sol., **28**, 219 (1967).
- [6] А.И. Сомов, М.А. Михановский. Эвтектические композиции (М., Metallургия, 1975).
- [7] W.K. Liebman, E.A. Miller. J. Appl. Phys., **34**, 2653 (1963).
- [8] Б.И. Оделевский. ЖЭТФ, **21**, 667 (1951).

Редактор В.В. Чалдышев

### Thermal conductivity of InSb-NiSb and GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> eutectics prepared at various rates of growth

*M.I. Aliev, G.I. Isakov, E.A. Isaeva, I.M. Aliev*

Institute of Physics, Azerbaijan Academy of Sciences, 370143 Baku, Azerbaijan

A study has been made of the thermal conductivity  $\kappa$  of InSb-NiSb and GaSb-V<sub>2</sub>Ga<sub>5</sub> eutectics prepared under various rates of crystallization ( $V = 0.85-70$  cm/h) in the temperature range 80-300 K. A decrease in the thermal conductivity coefficient  $\kappa$  and increase in the anisotropy coefficient with growth of  $V$  were observed. The results obtained are explained by the phonon scattering at metallic inclusion boundaries.

---