

УДК 545.5 + 537.322

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Б. И. КАЗАНДЖАН, А. А. ЦУРИКОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ОДНОГО ЗНАКА В РАСПЛАВЕ Tl_2Se

(Представлено академиком И. В. Тананавым 17 III 1972)

Вопрос о возможности изменения концентрации носителей одного знака в жидких полупроводниках с помощью примесей в настоящее время остается нерешенным. Различные точки зрения по этому вопросу рассмотрены в (1-11). Повышенная чувствительность к примесям наблюдается у тех полупроводниковых соединений, которые остаются устойчивыми в жидком состоянии и находятся на диаграмме состояния вблизи области расслаивания (9). Одним из таких соединений является Tl_2Se .

На рис. 1 представлены полученные в настоящей работе температурные зависимости электропроводности и термо-э.д.с. расплава Tl_2Se с добавлением олова и индия, а на рис. 2 — изотермы в координатах число атомов примесей в 1 см^3 — свойство. Полученные зависимости изменения электропроводности и термо-э.д.с. подобны тем, которые наблюдаются обычно при легировании кристаллических полупроводников.

При использовании обычной теории полупроводников концентрация носителей, являющаяся функцией положения уровня Ферми, может быть определена при наличии данных по термо-э.д.с. с точностью до $(m^*/m_0)^{3/2}$, где m_0 — масса свободного электрона, а m^* — эффективная масса носителя. Результаты такого расчета для рассеяния на акустических колебаниях при температуре 750°K приведены в табл. 1, здесь же для сопоставления приведена концентрация атомов примеси в 1 см^3 (N_{In} и N_{Sn}). Плотность Tl_2Se для расчета числа атомов примеси взята из (12).

При сопоставлении электропроводности и концентрации примесных атомов обнаруживается, что отношение этих величин во всем диапазоне

Т а б л и ц а 1

[In], ат. %	$n (m^*/m_0)^{-3/2} \cdot 10^{-19}, \text{ см}^{-3}$	$N_{In} \cdot 10^{-19}, \text{ см}^{-3}$	[Sn], ат. %	$n (m^*/m_0)^{-3/2} \cdot 10^{-19}, \text{ см}^{-3}$	$N_{Sn} \cdot 10^{-19}, \text{ см}^{-3}$
0,25	2,39	2,54	0,30	2,08	3,05
0,30	2,67	3,06	0,32	2,35	3,26
0,40	3,14	4,08	0,35	2,48	3,56
0,50	3,62	5,10	0,50	3,25	5,10

исследованных составов меняется слабо. Например, при изменении концентрации олова втрое (от $3,05 \cdot 10^{19}$ до $10,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) указанное отношение изменяется лишь от 6,87 до 6,25. Так как $\sigma/n = eu$, где u — подвижность носителей, то отмеченную закономерность можно расценивать как показатель слабой зависимости подвижности от состава. Если принять, что примесные атомы олова и индия полностью ионизованы и дают по два электрона в зону проводимости, то порядковая величина подвижности во всем диапазоне концентраций и температур будет в пределах $1,8-2,5 \text{ см}^2/\text{в сек}$, что для расплава является разумной величиной.

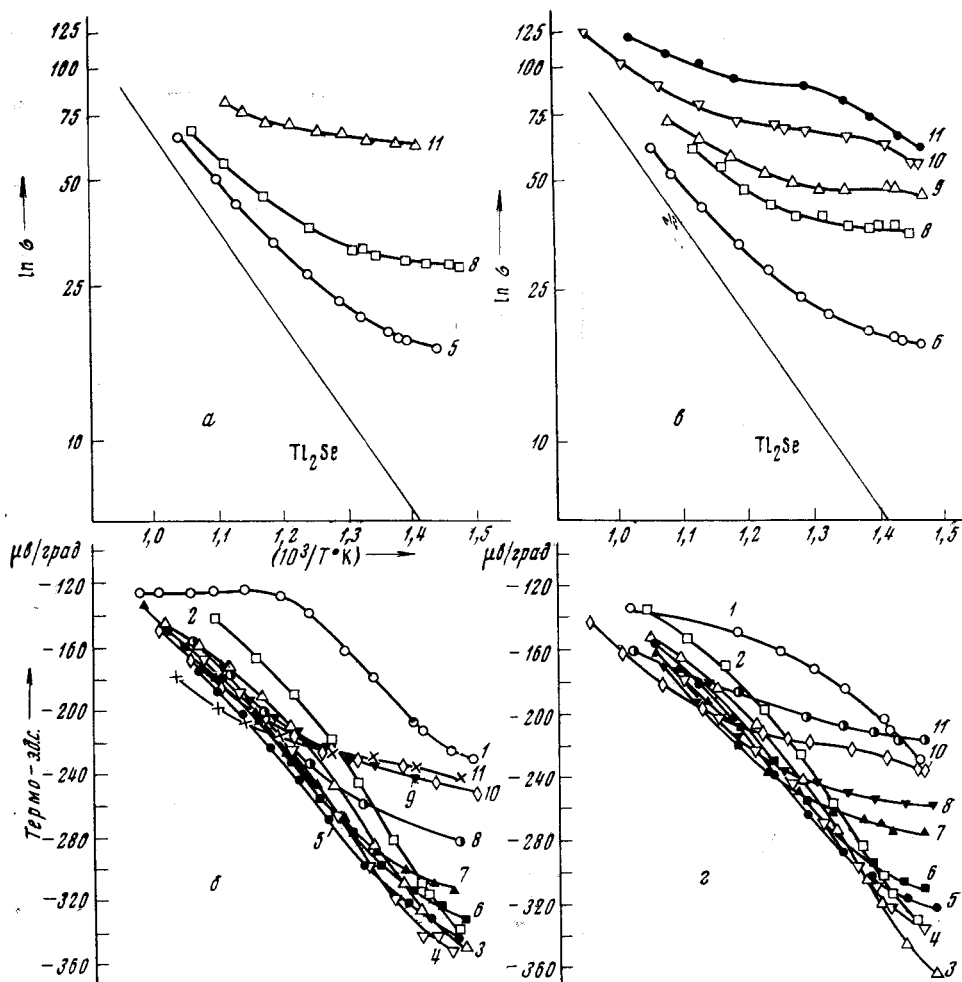


Рис. 1. Температурные зависимости электропроводности и термо-э.д.с. расплавов $Tl_2Se + Sn$ (а, б) и $Tl_2Se + In$ (в, г). Для а, б при различном содержании Sn (ат. %): 1 — 0,12; 2 — 0,2; 3 — 0,23; 4 — 0,25; 5 — 0,3; 6 — 0,32; 7 — 0,35; 8 — 0,5; 9 — 0,75; 10 — 0,85; 11 — 1,0. Для в, г при различном содержании In (ат. %): 1 — 0,12; 2 — 0,2; 3 — 0,24; 4 — 0,23; 5 — 0,25; 6 — 0,3; 7 — 0,4; 8 — 0,5; 9 — 0,6; 10 — 0,75; 11 — 1,0

В примесном полупроводнике термо-э.д.с. сильно зависит от концентрации примесных носителей. С уменьшением концентрации носителей, термо-э.д.с. увеличивается, но лишь до некоторого экстремального значения, после которого (за счет возбуждения носителей второго знака) начинается ее быстрый спад. Поскольку начало возбуждения собственных носителей определяется энергией их активации, экстремумы на изотермах термо-э.д.с. могут дать информацию о величине этой энергии. Кроме того, положение экстремума по оси концентраций показывает, какое минимальное количество примесных носителей необходимо для подавления возбуждения собственных.

Ниже приведены результаты расчета энергии активации, проведенные по методике (¹³) для случая рассеяния на акустических колебаниях.

$T, ^\circ K$	750	800	850	900
$\Delta E_T^{Sn}, \text{ эв}$	0,52	0,48	0,44	0,41
$\Delta E_T^{In}, \text{ эв}$	0,51	0,47	0,44	0,42

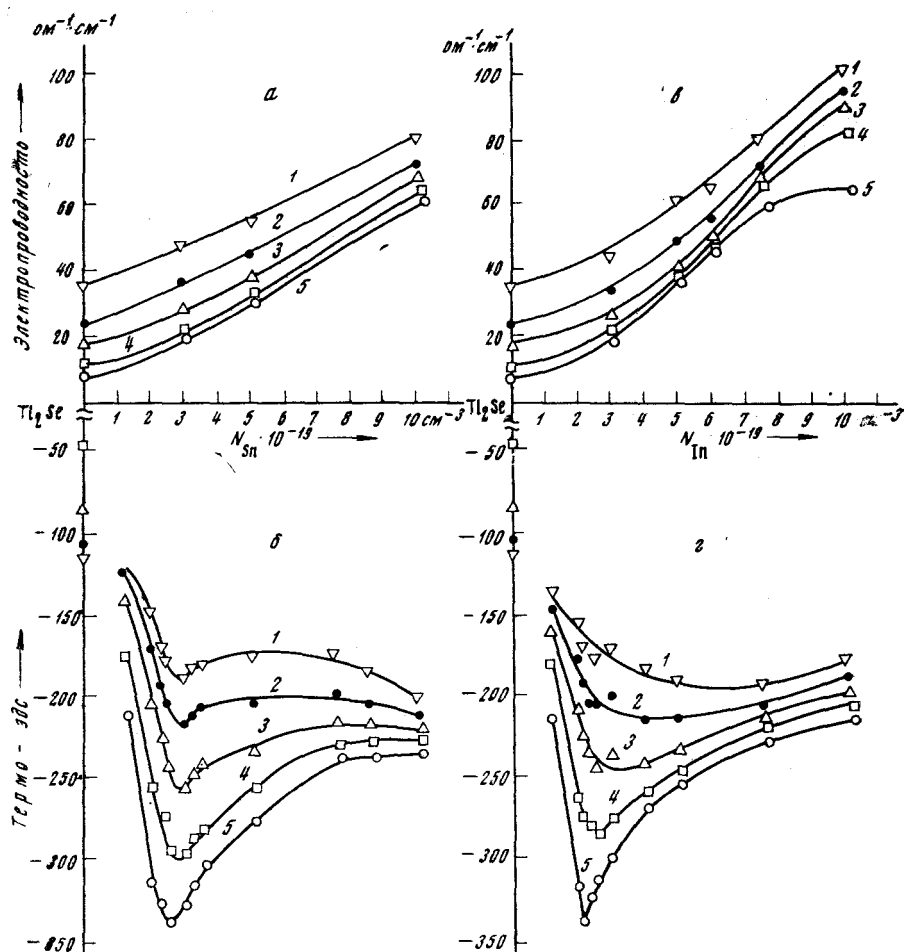


Рис. 2. Изотермы электропроводности ($\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) и термо-э.д.с. (мВ/град.) расплавов $\text{Tl}_2\text{Se} + \text{Sn}$ (а, б) и $\text{Tl}_2\text{Se} + \text{In}$ (в, г). 1 — 900° ; 2 — 850° ; 3 — 800° ; 4 — 750° ; 5 — 700° K

Экстремальные значения термо-э.д.с. в области отрицательных значений взяты по результатам настоящей работы в области положительных значений из (14), где $\Delta E_{\text{T}}^{\text{Sn}}$ и $\Delta E_{\text{T}}^{\text{In}}$ энергия активации собственных носителей в расплаве Tl_2Se , определенная с использованием изотерм термо-э.д.с. полученных при легировании его соответственно оловом и индием. Коэффициент температурной зависимости энергии активации γ , полученный по начальным участкам графиков $\Delta E_{\text{T}}^{\text{Sn}} = f(T)$ и $\Delta E_{\text{T}}^{\text{In}} = f(T)$ оказался около $-8,2 \cdot 10^{-4}$ эв/град. По этим данным может быть вычислена поправка на изменение энергии активации с температурой γT и энергия активации ΔE_0 при 0°K . При использовании изотерм термо-э.д.с., полученных для случая легирования Tl_2Se оловом, ΔE_0 составляет $\sim 1,14$ эв, при легировании индием — $1,13$ эв. Энергия активации ΔE_0 , полученная по тангенсу угла наклона температурной зависимости электропроводности Tl_2Se в полулогарифмических координатах, соответствует $1,01$ эв (14).

Таким образом, полученная экспериментально общая качественная картина и проведенные расчеты согласуются с предположением, что при введении примесей в расплав Tl_2Se содержание носителей одного знака становится преобладающим. Факт удовлетворительного использования в настоящей работе обычной зонной теории, по нашему мнению, заслужи-

ваает внимания и может означать, что в некоторых случаях электронные свойства расплавов и кристаллов оказываются весьма близкими.

В заключение авторы выражают признательность Н. М. Добриной за участие в подготовке и проведении экспериментов.

Московский энергетический
институт

Поступило
10 III 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. З. Фишер, ФТТ, 1, № 2 (1955). ² А. И. Губанов, Квантово-электронная теория аморфных проводников, М, 1963. ³ M. Cutler, C. E. Mallon, Phys. Rev., 144, № 2, 642 (1966). ⁴ N. F. Mott, Adv. Phys., 16, 49 (1967). ⁵ M. Cutler, M. B. Field, Phys. Rev., 169, № 3, 632 (1968). ⁶ J. Nakamura, M. Shimoji, Trans. Farad. Soc., 65, № 6, 1508 (1969). ⁷ J. E. Enderby, C. J. Simmons, Phil. Mag., 20, № 163, 125, (1969). ⁸ Б. И. Казанджан, ФТП, 2, № 3, 400 (1968). ⁹ Б. И. Казанджан, ЖФХ, деп. ВИНТИ, № 3981-72 от 18 июня 1972 г. 46. ¹⁰ Б. И. Казанджан, А. А. Цуриков, ДАН, 206, № 2, 323 (1972). ¹¹ Б. И. Казанджан, А. А. Лобанов и др., Изв. АН СССР, Неорганические материалы, 7, № 6, 1061 (1971). ¹² Т. Н. Андрианова, А. А. Александров и др., Сборн. тр. Московск. энергетич. инст., в. 111, Теоретич. основы теплотехники, 1972, стр. 82. ¹³ С. В. Айрапетянц, Б. А. Ефимова, ЖТФ, 28, в. 8, 1768 (1958). ¹⁴ Б. И. Казанджан, А. А. Лобанов и др., Электронная техника, сер. 6, Материалы, в. 2 (1972).