

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ TlTe-FeTe и ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА TlFeTe₂

Ф.М. СЕИДОВ, Э.М. КЕРИМОВА, С.Н. МУСТАФАЕВА, Р.К. ВЕЛИЕВ,
А.Б. МАГЕРРАМОВ, Л.А. ИСМАИЛЗАДЕ

Институт Физики АН Азербайджана
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 33

Приведена полная диаграмма состояния системы TlTe-FeTe. Установлено, что кривая ликвидуса системы TlTe-FeTe состоит из областей первичных кристаллизаций соединений Tl₂Te, TlFeTe₂ и FeTe. Между соединениями TlFeTe₂ и FeTe образуется простая эвтектика состава (TlTe)_{0,4}(FeTe)_{0,6}, плавящаяся при температуре 813 К.

Изучена температурная зависимость электропроводности и коэффициента Холла для TlFeTe₂. Определена ширина запрещенной зоны TlFeTe₂, которая составила 0,42 эВ. Из концентрационной и температурной зависимостей подвижности носителей тока в TlFeTe₂ получено, что при высоких температурах доминирует механизм рассеяния носителей тока на акустических колебаниях решетки ($\mu \sim T^{-3/2}$). Изучен температурный ход коэффициента термоэдс в TlFeTe₂. Рассчитана концентрация $n_p = 6.67 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и эффективная масса $m_p^* = 0,074m_0$ дырок в TlFeTe₂.

Халькогениды железа-галлия представляют собой класс полупроводниковых материалов, обладающих магнитными свойствами [1-5]. Часть системы TlTe-FeTe, а именно участок диаграммы состояния FeTe-TlFeTe₂ и некоторые физические свойства TlFeTe₂ были изучены в работе [5]. В частности, были исследованы температурные зависимости электросопротивления и коэффициента термоэдс TlFeTe₂ в области температур от 4,2 до 300 К.

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты исследования системы TlTe-FeTe и физических свойств TlFeTe₂ при температурах от 300-650 К.

Исходные соединения TlTe и FeTe были синтезированы прямым сплавлением элементов Tl, Fe, Te высокой чистоты, взятых в стехиометрических соотношениях в вакуумированных до 10^{-2} Па кварцевых ампулах. Сплавы получали из заранее синтезированных TlTe и FeTe. Полученные сплавы нагревали в интервале температур 700-850 К, т.е. выше температур плавления исходных соединений TlTe [6], FeTe и выдерживали при этих температурах в течение 7-9 часов. Затем температуру печи медленно снижали до комнатной. Полученные образцы сплавов системы TlTe-FeTe исследовали методами дифференциального термического и рентгенографического анализов. ДТА проводили с помощью пирометра; температуру фазовых превращений в интервале 425-860 К определяли с точностью ± 5 К.

Точная диаграмма состояния системы Tl-Te построена методами физико-химического анализа в [6]. Показано, что в этой бинарной системе, наряду с инконгруэнтно плавящимися соединениями TlTe и Tl₂Te₃, образуются и конгруэнтно плавящиеся соединения Tl₃Te₃ и Tl₂Te. При построении диаграммы состояния TlTe- TlFeTe₂ были учтены данные [6].

Как видно из диаграммы состояния TlTe-FeTe, при соотношении компонентов TlTe:FeTe=1:1 образуется химическое соединение TlFeTe₂ с температурой плавления 853 К (рис. 1). Между TlFeTe₂ и FeTe образуется простая эвтектика, содержащая 60 мол.% FeTe и плавящаяся при 813 К. Участок TlTe-TlFeTe₂ диаграммы состояния TlTe-FeTe имеет сложный вид. Ликвидус этого участка состоит из области первичной кристаллизации соединений Tl₂Te [6] и TlFeTe₂.

Результаты рентгенографического анализа показывают, что TlFeTe₂ кристаллизуется в моноклинной синго-

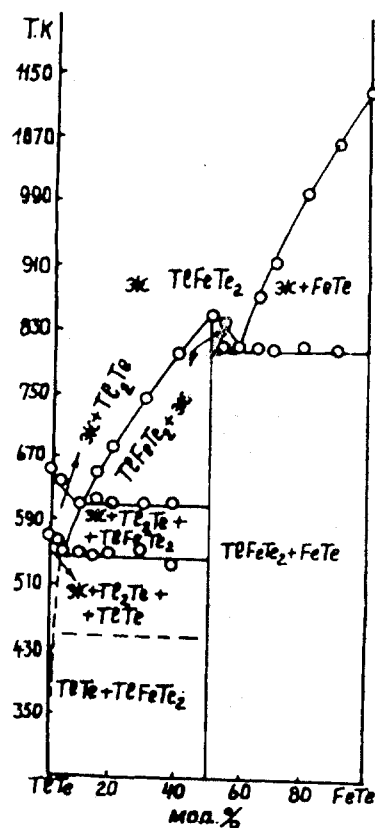


Рис. 1 Диаграмма состояния системы TlTe-FeTe.

нии с параметрами элементарной ячейки: $a = 11,84; b = 5,43; c = 6,96 \text{ \AA}; \beta = 117,87^\circ$; пр. гр. $\sim C2/m$.

Из синтезированного поликристаллического TlFeTe₂ был изготовлен образец в форме параллелепипеда размерами 12x5, 12x2,30 мм, который отжигали при температуре 430 К в течение 4 суток.

Были исследованы электрические свойства соединения TlFeTe₂. Исследования выполнены в интервале температур 300-650 К. На рис.2 приводится температурная зависимость электропроводности и коэффициента Холла для соединения TlFeTe₂ (для трех образцов). Все исследованные образцы были p-типа во всем измеренном интервале температур. Концентрация примесей измеренных образцов составила: $N_a - N_d = 1.1 \cdot 10^{16} + 1.6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Слабое

изменение электропроводности в области относительно низких температур для образцов 2 и 3, а также уменьшение электропроводности образца 1 с ростом температуры обусловлены наличием в кристаллах примесных центров акцепторного характера. Экспоненциальный рост σ с

температурой во всех трех образцах в области высоких температур связан с наступлением собственной проводимости. Ширина запрещенной зоны, определенная из наклона этих кривых, составила 0.42 эВ.

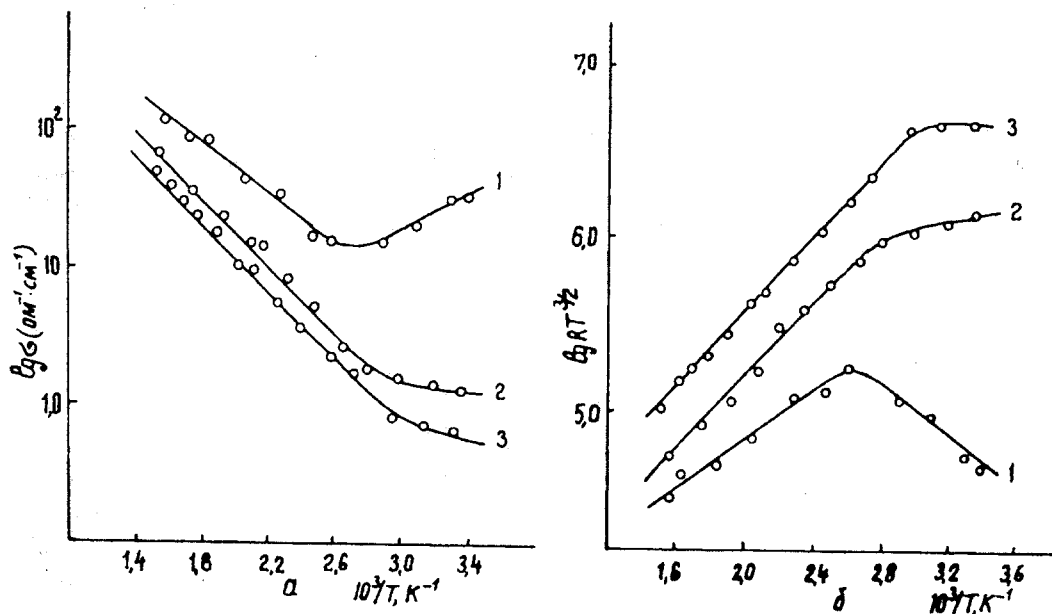


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности (а) и коэффициента Холла (б) соединений $TlFeTe_2$ с различной концентрацией носителей тока.

Из концентрационной и температурной зависимостей подвижности носителей тока в соединении $TlFeTe_2$ (рис.3) видно, что при высоких температурах ($\mu \sim T^{-3/2}$) доминирует механизм рассеяния носителей на акустических колебаниях решетки. Значение подвижности носителей тока слабо зависит от концентрации примесей.

мо, обусловлен сложностью зонной структуры этого соединения.

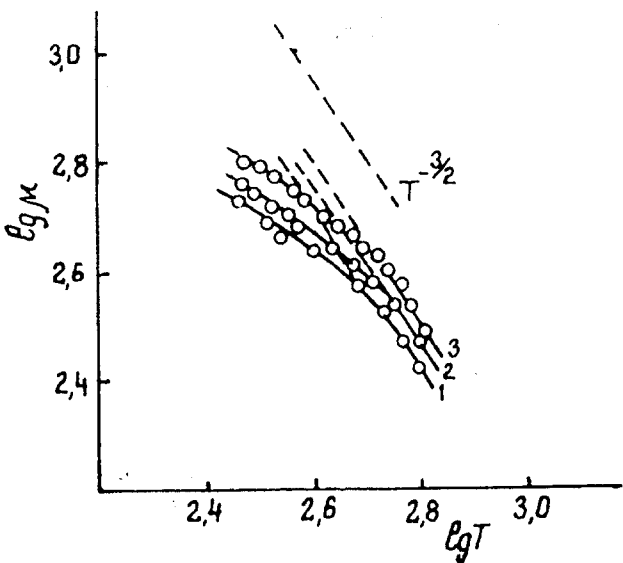


Рис. 3. Зависимость холловской подвижности от температуры и концентрации примесей кристаллов $TlFeTe_2$.

Коэффициент термоэдс (рис.4) в образце $TlFeTe_2$ с ростом температуры вначале увеличивается, проходит через максимум, а затем уменьшается по мере увеличения температуры. Этот экспериментальный факт, види-

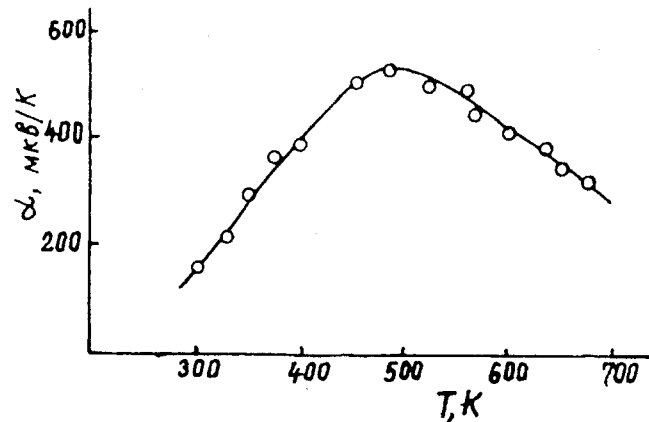


Рис. 4 Температурная зависимость коэффициента термоэдс $TlFeTe_2$.

В области собственной проводимости, как коэффициент Холла, так и коэффициент термоэдс остаются положительными и уменьшаются с повышением температуры.

Из экспериментальных данных, основываясь на модели нестандартной зоны, в двухзонном приближении для $TlFeTe_2$ рассчитана эффективная масса дырок.

Для нестандартной зоны при любой степени вырождения термоэдс для дырок определяется по формуле [7]:

$$\alpha = \frac{k_0}{e} \left[\frac{J_{r+1,2}^1(\eta_p^*, \beta)}{J_{r+1,2}^0(\eta_p^*, \beta)} - \eta_p^* \right] \quad (1)$$

Здесь $\beta = \frac{k_0 T}{\Delta E_g}$ - параметр, характеризующий нестандартность зоны; ΔE_g - ширина запрещенной зоны; $J_{r+1,2}^1(\eta_p^*, \beta), J_{r+1,2}^0(\eta_p^*, \beta)$ - обобщенные или двух-параметрические интегралы Ферми. Обобщенные интегралы Ферми со всеми индексами были табулированы Завадским, Ковальчуком и Колодзайчаком [7] в интервалах параметров $-5 \leq \eta^* \leq 20$ и $0 \leq \beta \leq 1$.

Для TlFeTe₂ при 292 К, $r = 0$ ($\mu \sim T^{-3/2}$) и известных значениях $\Delta E_g = 0.42$ эВ, $\beta = 0.056$, $J_{1,2}^0 = 0.7151$, $J_{1,2}^1 = 1.6535$,

$\alpha = 156$ мкВ/град по формуле (1) вычислен приведенный химический потенциал, который оказался равным $\eta_p^* = 0.5$. Концентрация дырок n_p при любой степени вырождения при $T = 290$ К и известных значениях коэффициента Холла $R = 10.5$ см³/К, $\eta_p^* = 0.5$, $F_{3/2}(\eta_p^*) = 1,4853$, $F_{1/2}(\eta_p^*) = 0,7156$, $F_1(\eta_p^*) = 0.9741$ вычислялась по формуле

$$n_p = \frac{0.625 \cdot 10^{19}}{R} \cdot \frac{F_{3/2}(\eta_p^*) \cdot F_{2r+1/2}(\eta_p^*)}{[F_{r+1}(\eta_p^*)]^2} \quad (2)$$

и составляла $n_p = 6.67 \cdot 10^{17}$ см⁻³.

По вычисленному значению концентрации дырок при $T = 290$ К и значению $\eta_p^* = 0.5$; $\beta = 0.05$; $J_{3,2}^0(\eta_p^*, \beta) = 1.8332$ для TlFeTe₂ была определена эффективная масса дырок в нестандартной зоне по формуле:

$$n_p = \frac{(2m_p^* k_0 T)^{3/2}}{3\pi^2 \hbar^3} J_{3/2,0}^0(\eta_p^*, \beta) \quad (3)$$

и получено $m_p^* = 0,074 m_0$.

- [1] A. Kutogly. Naturroissenschaften, 1974, v. 150, № 3, p. 125-126.
 [2] K. Klepp, H. Beller. Monatsh. Chem., 1979, v.110, №56, p.1045-1046.
 [3] И.Г. Маковецкий, Е.И. Касинский. Изв. АН СССР, Неорганические материалы, 1984, т. 20, № 10, с. 1752-1753.

- [4] М.А. Алджанов, М.Д. Наджафзаде. ФТТ, 1990, т.32, №8, с.2494-2495.
 [5] А.И. Джаббарлы, Э.М. Керимова, Ф.М. Сеидов, А.К. Заманова. Неорг. Материалы, 1996, т.32, №1, с.118-119.
 [6] М.М. Асадов, М.Б. Бабанлы, А.А. Кулиев. Изв. АН СССР, Неорг. материалы, 1977, т.13, №8, с.1407-1410.
 [7] Б.М. Аскеров. В кн. «Кинетические эффекты в полупроводниках», Л. 1970.

F.M. Seyidov, E.M. Kerimova, S.N. Mustafayeva, R.K. Veliyev, Ə.B. Məhərrəmov, L.A. İsmayılzadə

TlTe-FeTe SİSTEMİNİN TƏDQIQI VƏ TlFeTe₂-İN ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

TlTe-FeTe sisteminin tam hal diaqramı göstərilir. Müəyyən olunmuşdur ki, TlTe-FeTe sisteminin likvidus əyrisi, Tl₂Te, TlFeTe₂ və FeTe birləşmələrinin ilk kristallaşma oblastlarından ibarətdir. TlFeTe₂ və FeTe birləşmələri arasında 813 K temperaturda əriyən (TlTe)_{0,4}(FeTe)_{0,6} kimi sadə eitektik tərkib əmələ gəlir.

TlFeTe₂ üçün Holl əmsalinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı öyrənilmiş, qadağan olunmuş zolağın eni $E_g = 0.42$ eV olduğu təyin edilmişdir. Yükdəşıyıcıların mütəhərrikiyinin konsentrasiyadan və temperaturdan asılılıq əyrisindən TlFeTe₂ üçün yüksək temperaturlarda yükdəşıyıcıların səpilmə mexanizminin əsasən qəfəsin akustik rəqslərdən olduğu ($\mu \sim T^{-3/2}$) göstərilmişdir. TlFeTe₂-də termoe.h.q. əmsalinin temperatur qədişi öyrənilmiş, deşik keçiricilərinin konsentrasiyası hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, $n_p = 6.67 \cdot 10^{17}$ cm⁻³, effektiv kütlə $m_p^* = 0,074 m_0$ qiymətinə malikdir.

F.M. Seidov, E.M. Kerimova, S.N. Mustafaeva, R.K. Veliev, A.B. Magerramov, L.A. Ismailzade

INVESTIGATION OF TlTe-FeTe SYSTEM AND ELECTRICAL PROPERTIES OF TlFeTe₂.

Complete phase diagram of TlTe-FeTe system is represented. It was established that liquidus curve of TlTe-FeTe system consist of crystallization regions of Tl₂Te, TlFeTe₂ and FeTe compounds. Simple eutectics of (TlTe)_{0,4}(FeTe)_{0,6} composition is formed between TlFeTe₂ and FeTe compounds. This eutectic is melted at 813 K.

Temperature dependences of electrical conductivity and Hall coefficient of TlFeTe₂ are studied. Forbidden band width of TlFeTe₂ is equal to 0.42 eV. It was shown that scattering of current carriers on acoustic vibrations of lattice takes place at high temperatures ($\mu \sim T^{-3/2}$).

Temperature behavior of thermo-e.m.f. at TlFeTe₂ is studied. The concentration ($n_p = 6.67 \cdot 10^{17}$ cm⁻³) and effective mass of holes ($m_p^* = 0,074 m_0$) are calculated for TlFeTe₂.