

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА В КРИСТАЛЛАХ AgFeX₂ (X=Te, Se, S) ВБЛИЗИ И В ОБЛАСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

М.И.АЛИЕВ, С.А.АЛИЕВ, З.С.ГАСАНОВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида 33*

Проведено исследование электрических и тепловых свойств кристаллов AgFeX₂ (X=Te, Se, S) вблизи и в области фазовых переходов (ФП). Установлено, что в области ФП физические свойства изменяются скачкообразно, ФП носят размытый характер. Результаты сопоставлены с теорией размытых ФП. В области ФП определено распределение α и β фаз, вычислены параметры ФП: температура ФП – T_0 , температурная постоянная ФП – a , функция включения фаз- $L_0(T)$ и температурная скорость ФП – dL_0/dT . Определены области размытия ФП $2\Delta T^*$, показано, что $2\Delta T^*$ охватывает $\sim 70\%$ всей области перехода ($T_K - T_H$). Переход α фазы в β фазу в области ФП происходит по закону $m_\alpha/m_\beta = \exp[\alpha(T_0 - T)]$. Установлено, что причина размытия ФП связана с ФП флуктуациями, обусловленными неоднородностью распределения температуры вследствие выделения тепла при ФП, поликристаллическостью α - фазы кристаллов AgFeX₂, с деформацией кристаллической решетки, а также флуктуациями др. физических состояний.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, структурные ФП сопровождаются скачкообразными изменениями электрических и тепловых свойств кристаллов, что является основой для создания преобразователей. Для этого необходимы достоверные данные о температурном интервале перехода (ΔT) и о измеряемых физических данных в области ФП. Такие данные позволяют изучить закономерность изменения физических свойств в области ФП и дают сведения о природе процессов, происходящих при ФП. Интерес к исследованиям физических свойств в узкой области ФП возрос после открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Одной из актуальных задач данного направления является выяснение сосуществования фаз в области перехода, определение параметров ФП, позволяющих выявить область и степень размытия ФП, а также закон перехода α -фазы в β -фазу. Данное направление интенсивно развивается, имеется большое число публикаций [1-37].

Среди полупроводников, обладающих структурными ФП, следует выделить халькогениды серебра и меди, тройные соединения и твердые растворы, получающиеся на их основе. Двойные и тройные халькогениды серебра являются наиболее подходящими объектами для изучения перечисленных вопросов.

Термографические исследования соединений AgMeX₂ (Me- Fe, Cr, Ni; X- Se, Te) показали наличие фазовых переходов $\alpha \rightarrow \beta$. Вычислены термодинамические и кинетические параметры этих переходов: теплота и энтропия, энергия активации [4].

Исследование эффекта Мессбауэра в AgFeTe₂ также указывает на структурный фазовый переход [5].

Первые сведения о размытии ФП в Ag₂Te и Ag₂Se были опубликованы в работах [7,8]. По измерениям интенсивностей рентгеновских отражений в области ФП были вычислены функция включения и температурная скорость ФП dL_0/dT и показано, что в Ag₂Te и Ag₂Se имеет место размытие ФП. Наиболее подробные исследования электрических и тепловых свойств в области ФП проведено в работе [24]. Интерпретируя экспериментальные результаты в рамках теории размытых ФП [6,7] было показано, что параметры ФП в твердых телах могут определяться по

данным тепловых и, наиболее чувствительных к ФП, электрических свойств, независимо от природы ФП. Были определены параметры ФП и рассчитаны изменения некоторых термодинамических параметров в области ФП. Полученные результаты стимулировали проведение подобных исследований в других двойных Ag_2X [29,36] и тройных халькогенидах серебра Ag_2FeX_2 ($X=Te, Se, S$) [26,28,31,34,35], а также в ряде ВТСП [19,22,27,30,37].

В данной работе поставлена цель определить параметры ФП, выявить область и степень размытия ФП и закономерность перехода сосуществующих фаз ($\alpha \rightarrow \beta$) в сопоставлении тройных халькогенидов серебра типа Ag_2FeX_2 ($X=Te, Se, S$), а также выявить основные причины, обуславливающие размытие ФП в них.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе [24] подчеркивалось, что для повышения точности измерений тепловых и электрических свойств твердых тел вблизи и в области ФП необходимо тепловые явления измерять в адиабатических, а электрические в изотермических условиях. Поэтому измерения проводились в криостате, позволяющем создавать указанные условия. На Рис.1 представлены температурные зависимости дифференциально термического анализа ДТА $\Delta T_y(T)$ для $AgFeTe_2$ (a) и $AgFeSe_2$ (b). На Рис.1a сплошной линией указаны данные, полученные в вакууме $\sim 10^{-3}$ мм.рт.ст., а пунктирной – при атмосферном давлении. Действительно, в адиабатических условиях до и после основного структурного фазового перехода проявляется слабые переходы.

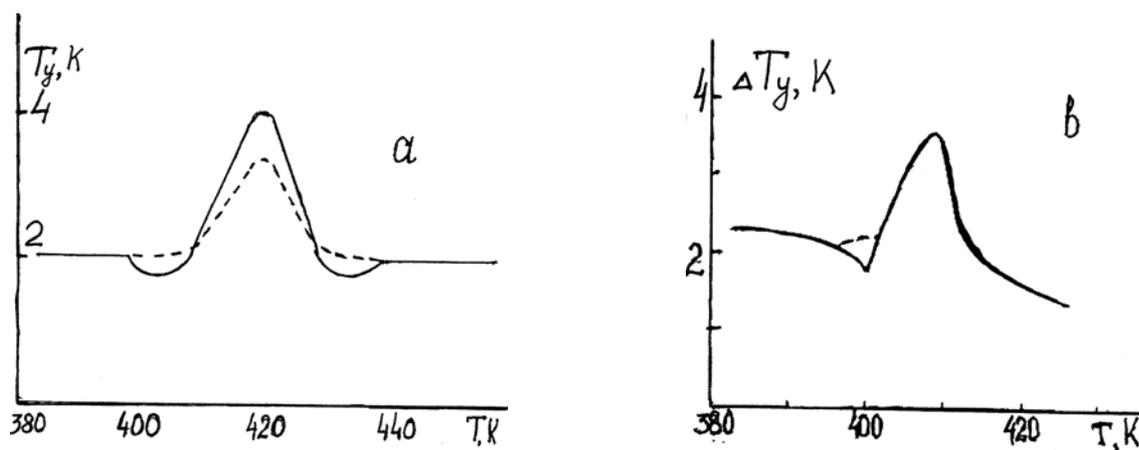


Рис.1.

Температурная зависимость ДТА ΔT : $AgFeTe_2$ (a), $AgFeSe_2$ (b).

На Рис.2 представлены температурные зависимости плотности $\rho(T)$ и теплоемкости C_p . Температурные зависимости электропроводности $\sigma(T)$ и коэффициента Холла $R(T)$ представлены на Рис.3. Данные $\sigma(T)$ и $R(T)$ представлены в относительных единицах σ/σ_{min} и R/R_{min} . Фактически, это температурные зависимости падения напряжения на измеряемых зондах σ , $V_\sigma(T)$ и R , $V_R(T)$, что дает возможность исключить погрешности связанные с размерами образца. Из представленных данных видно, что на всех температурных зависимостях исследуемых эффектов при 400-430К проявляется ФП. Наблюдаемый разброс температур ФП связан с характером исследуемых эффектов и условиями эксперимента. Экспериментальные результаты исследования тепловых и электрических свойств $AgFeSe_2$ представлены на Рис.4 и Рис.5. Как известно, при измерении термоэдс необходимо создать перепад температур и измерять разность

потенциалов в двух точках вдоль образца. Следовательно, в более горячем месте ФП наступает несколько раньше, чем в холодном, что искажает значение температуры ФП и увеличивает область размытия ФП. В AgFeSe_2 температура ФП меньше, чем в AgFeTe_2 , и ФП значительно больше размыт, чем в AgFeSe_2 . На температурной зависимости перед СФП наблюдается ФП с поглощением небольшого количества тепла (Рис.1б). Экспериментальные данные температурных зависимостей электропроводности $\sigma(T)$, коэффициента Холла R и термоэдс $\alpha(T)$ AgFeS_2 представлены на Рис.6 и Рис.7. Из этих данных видно, что температура ФП AgFeS_2 заметно выше, чем в AgFeTe_2 и AgFeSe_2 . Можно отметить, что в некоторых случаях, наблюдаются противоположные температурные зависимости электрических свойств исследуемых трех соединений.

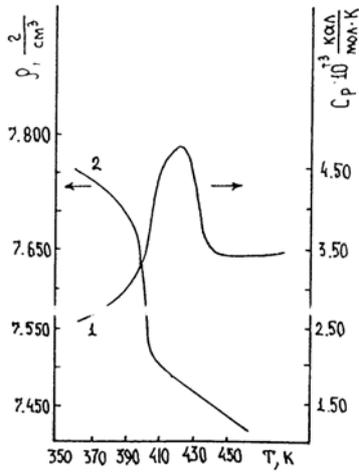


Рис.2.

Температурная зависимость теплоемкости C_p (1) и плотности ρ (2) в AgFeTe_2 .

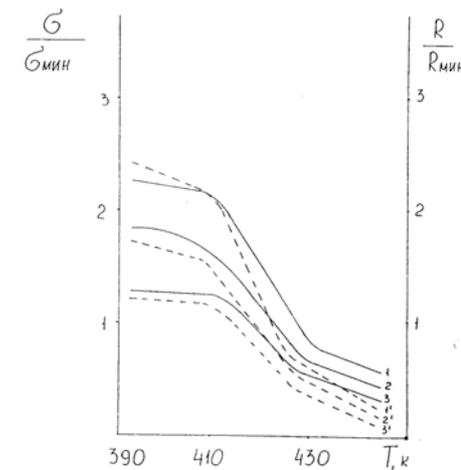


Рис.3.

Температурные зависимости электропроводности σ/σ_{\min} (1,2,3) и коэффициента Холла R/R_{\min} (1',2',3') в AgFeTe_2 с различными концентрациями электронов: 1и1' - $1,7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, 2 и 2' - $2,6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, 3 и 3' - $1,4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

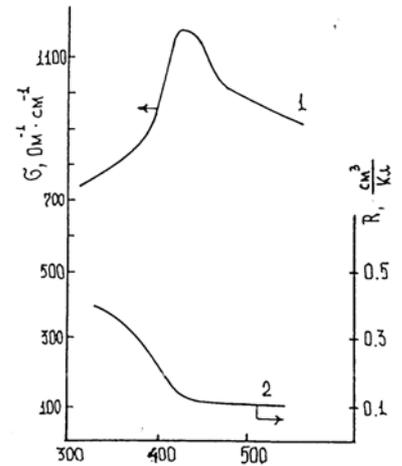


Рис.4.

Температурные зависимости электропроводности σ (1) и коэффициента Холла R (2) в AgFeS_2 .

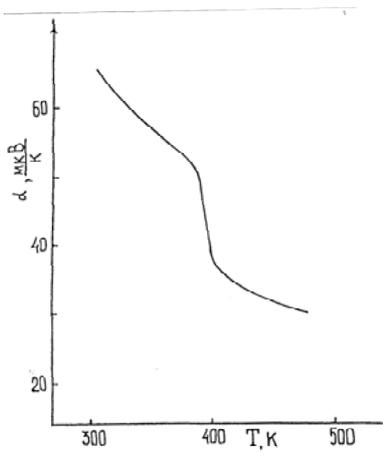


Рис.5.

Температурная зависимость термоэдс α в AgFeS_2 .

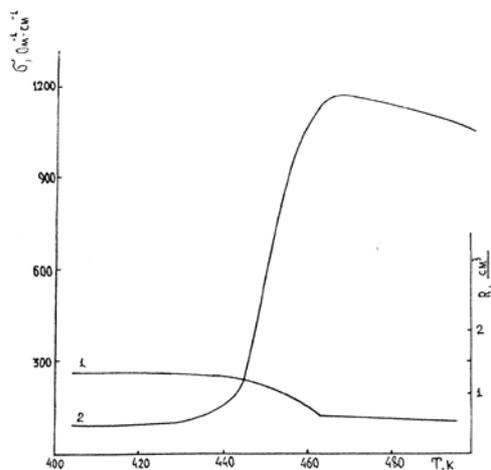


Рис.6.

Температурные зависимости электропроводности σ (2) и коэффициента Холла R (1) в AgFeS_2 .

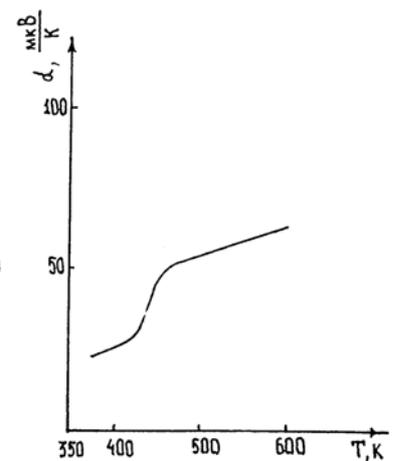


Рис.7.

Температурная зависимость термоэдс α в AgFeS_2 .

В частности, в AgFeTe_2 и AgFeSe_2 до ФП $\sigma(T)$ с температурой растёт. При ФП в AgFeTe_2 σ скачком уменьшается. В AgFeSe_2 скачек значительно меньше, чем в AgFeTe_2 . Температурные зависимости $\alpha(T)$ до ФП схожи, но при ФП в AgFeTe_2 $\alpha(T)$ скачком возрастает, проходя через максимум, резко уменьшается, а в AgFeSe_2 при ФП скачком падает и в β фазе продолжает умеренно уменьшаться. Эти особенности связаны с различной степенью вырождения электронного газа в них и с тем, что в кристаллах AgFeTe_2 ФП сопровождается возрастанием ширины запрещенной зоны, а в AgFeSe_2 - ее уменьшением [31], что и отражается на характере изменения электронных процессов в них. В AgFeS_2 температурные зависимости $\sigma(T)$ и $\alpha(T)$ существенно отличаются от AgFeTe_2 и AgFeSe_2 . До ФП $\sigma(T)$ имеет очень слабый положительный ход. При ФП $\sigma(T)$ резко возрастает. Такое изменение может происходить либо за счет сильного изменения данных параметров, т.е. уменьшение ширины запрещенной зоны, либо за счет сильного возрастания подвижности носителей заряда, что мало вероятно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Поскольку обсуждение результатов будет базироваться, в основном, на теории РФП, следует остановиться на некоторых ее моментах. Теория РФП достаточно подробно изложена в работах [6,7]. Она, как и теория любых ФП, основывается на термодинамических соображениях. Совокупность термодинамических методов исследования образует термодинамический формализм определенной группы явлений. Термодинамический формализм РФП, как и любой метод, не использует каких-либо конкретных представлений о микроструктуре системы в области фазовых переходов. Вследствие существенных изменений в системе при ФП происходят определенные изменения термодинамических свойств. При этом предполагается, что для каждой термодинамической величины X имеет место соотношение:

$$X = X_0 + X_a, \quad (1)$$

где X_0 – нормальная часть этой величины, обусловленная микроструктурой данной системы; X_a – аномальная часть той-же величины, которая связана именно с ФП и с его конкретным механизмом.

Основная задача термодинамического формализма это дать общие закономерности изменения аномальных частей физических величин термодинамического происхождения независимо от конкретного механизма ФП. Термодинамический формализм должен также вскрыть взаимосвязь между аномальными частями различных физических величин. Характерной чертой РФП является то, что в некотором интервале температур все скачки физических величин сглажены. Отсутствие резких скачков физических величин в случае РФП указывает на сосуществование двух фаз в определенном интервале переменных. Это означает, что термодинамический потенциал и другие аддитивные величины системы в области РФП содержат соответствующие характеристики обеих фаз. При этом можно использовать общие результаты, которые получены при построении термодинамического потенциала в обобщенной классификации ФП в твердых телах, согласно которой:

$$\Phi(T) = \Phi_1(T) + \Delta\Phi(T) L(T), \quad (2)$$

где $\Delta\Phi(T) = \Phi_2(T) - \Phi_1(T)$, $\Phi_1(T)$ – термодинамический потенциал первой фазы, $\Phi_2(T)$ – старой фазы, $L(T)$ – функция включения.

Для нахождения аналитического выражения h следует учесть, что в случае РФП необходимо условно выделить три температурных интервала: $T < T_1$ (область первой фазы), $T_1 < T < T_2$ (область сосуществования обеих фаз) и $T > T_2$ (область второй фазы).

Следовательно, термодинамический потенциал можно представить как:

$$\Phi(T) = \begin{cases} \Phi_1 & T < T_1; \\ \Phi_{12} = \Phi_1 + L_{1,2}(\Phi_2 - \Phi_1), & T_1 < T < T_2; \\ \Phi_2, & T > T_2 \end{cases} \quad (3)$$

Если обозначить температуру начала РФП T_1 , а температуру конца РФП T_2 , то для общей функции включения можно получить:

$$L(T) = \begin{cases} 0, & T < T_1; \\ L_{12}(T), & T_1 < T < T_2; \\ 1, & T > T_2 \end{cases} \quad (4)$$

Разность $T_1 - T_2$ определяет интервал РФП. Значение 0 и 1 определяют асимптотические свойства функции $L(T)$. Необходимо найти $L_{1,2}(T)$, но это легче сделать для $L(T)$, учитывая ее асимптотику. Для нахождения аналитического вида $L(T)$ в рамках термодинамического формализма необходимо, во-первых, использовать некоторые общие физические соображения относительно механизма ФП, не затрагивающие структуры вещества; а во-вторых, учесть асимптотические свойства этой функции. Функция включения характеризует относительную долю вещества, перешедшего в новую фазу, т.е. характеризует фазовый состав рассматриваемой термодинамической системы при данной температуре, она равна относительной доле первой фазы, а $(1-L)$ - относительной доле второй фазы. Любое изменение фазового состава должно быть связано с изменением функции L в зависимости от температуры, давления, напряженностей внешних полей или других параметров системы. Если ограничиться только температурным влиянием на процесс ФП, то кинетику ФП можно полностью описать производной dL/dT . Из общих соображений следует, что dL/dT , одновременно характеризующая температурную скорость ФП, должна выражаться некоторой функцией $f(L)$. Следовательно, в общем случае $dL/dT = f(L)$. Так как dL/dT характеризует взаимное превращение одной фазы в другую, то при нагревании вещества в области ФП dL/dT должно быть пропорционально относительной доле первой фазы, т.е. $dL/dT \sim L_1$, а также относительной доле L_2 второй фазы $dL/dT \sim L_2$. Таким образом, $dL/dT \sim L_1 L_2$ или:

$$dL/dT = A(L_1, L_2) \cdot L_1 \cdot L_2, \quad (5)$$

где $A(L_1, L_2)$ в общем случае некоторая функция, зависящая от фазового состава, т.е. от L_1 и L_2 . Поскольку $L_1 + L_2 = 1$, то переменной является только одна из этих величин: $L_2 = 1 - L_1$. Если принять $L_1 = L$, то $L_2 = 1 - L$, поэтому $A(L_1, L_2) = A(L)$ и

$$dL/dT = A(L) \cdot L \cdot (1 - L). \quad (6)$$

Решение (6) дает:

$$L(T) = \frac{1}{L + \exp\left[-\int A(T)dT\right]} = \frac{1}{L + \exp F(T)}, \quad (7)$$

где $F(T) = -\int A(T)dT$.

Асимптотические свойства $L(T)$ могут быть удовлетворены только в том случае, если $F(T) \rightarrow \infty$ при $T < T_1$ и если $F(T) \rightarrow \infty$ при $T > T_2$. Кроме того, функция $F(T)$ непрерывна, поэтому существует такая температура $T = T_0$, при которой $F(T_0) = 0$. Из (7) следует, что $L(T_0) = 1/2$, т.е. при T_0 одна половина вещества находится в первой

фазе, а другая – во второй фазе. Температуру T_0 принято считать температурой РФП.

В окрестности T_0 функцию можно разложить в ряд:

$$F(T) = (T - T_0)^\beta \sum_{i=0}^{\infty} a_i (T - T_0)^i = (T - T_0)^\beta f(T), \quad (8)$$

где

$$f(T) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i (T - T_0)^i \quad (9)$$

и $0 < \beta \leq 0$.

Как видно, характер ФП полностью определяется поведением функции включения. Поэтому ее необходимо рассмотреть более подробно. В нулевом приближении $L_0(T)$ и dL/dT имеют вид:

$$L_0(T) = \frac{1}{1 + \exp[a_0(T - T_0)^\beta]} \quad (10)$$

$$dL_0 / dT = -\frac{a_0 \beta}{2(T - T_0)^{1-\beta}} \cdot \frac{1}{L + cha_0(T - T_0)^\beta}. \quad (11)$$

В формулах (10) и (11) следует различать два варианта значений β : $0 < \beta < 1$, соответствуют ФП точечного типа, так как скорость изменения $L_0(T)$, а следовательно, аномальная часть измеряемых величин при $T=T_0$ стремится к бесконечности. Во втором случае, когда $\beta=1$, из (10) и (11) получаем:

$$L_0(T) = \frac{1}{1 + \exp[a_0(T - T_0)^\beta]} \quad (12)$$

$$dL_0 / dT = -\frac{a_0}{2} \cdot \frac{1}{L + cha_0(T - T_0)}. \quad (13)$$

Производная dL_0/dT дает кривую с конечным максимумом, что свидетельствует о наличии РФП. Для количественной оценки области размытия ФП можно использовать полуширину кривой, т.е. интервал температуры ΔT^* , отсчитанной от T_0 , в котором dL_0/dT уменьшается вдвое по сравнению с максимальным значением. Таким образом, $T_1 - T_2 = 2\Delta T^*$ можно оценить и как $2\Delta T^* = -3,52/a_0$ [6,7].

Таким образом видно, что для количественного анализа экспериментальных результатов необходимо определение параметров ФП таких как T_0 -температура ФП, при которой массы α фазы m_α и β фазы m_β равны, a_0 – температурная постоянная, по существу указывающая на степень размытия ФП, $L_0(T)$ – функция включения, определяющая доли каждой фазы в данной области ФП, dL_0/dT – скорость ФП по температуре, на основании которой определяется степень и область размытия $2\Delta T^*$.

Эти параметры взаимосвязаны, функция включения определяется по данным a_0 и T_0 . Методика определения a_0 и T_0 подробно описана в работах [24,29,36]. Если учесть, что $L_0(T)$ характеризует относительную долю фаз в области и сосуществования, то ее можно определить и как:

$$L_0(T) = \left[1 + \frac{m_\alpha(T)}{m_\beta(T)} \right]^{-1}. \quad (14)$$

В таком случае значения m_α и m_β необходимо определить непосредственно из температурных зависимостей исследуемых эффектов в области ФП. Из совместного решения (12) и (14) и обозначения $-a_0=a$, можно получить:

$$\ln \frac{m_\alpha(T)}{m_\beta(T)} = a(T_0 - T). \quad (15)$$

Из (15) видно, что при постоянном значении a зависимость $\ln \frac{m_\alpha(T)}{m_\beta(T)}$ является

линейной функцией T . Для построения графика $\ln \frac{m_\alpha(T)}{m_\beta(T)}$ от T необходимо в

области ФП добиться линейного изменения T . Тогда от начала до конца перехода интервал $\Delta T = T_\kappa - T_n$ можно разбить на равные промежутки и соответствующие значения измеряемых коэффициентов отнести к предполагаемым фазам, например:

$$\Delta T_y = T_{y,\alpha} \left(1 - \frac{m_\alpha}{m_\beta} \right) + \Delta T_{y,\beta} \left(\frac{m_\alpha}{m_\beta} \right). \quad (16)$$

Построены зависимости $\ln y$ от T для кристаллов AgFeTe_2 , AgFeSe_2 и AgFeS_2 , полученных из температурных зависимостей различных эффектов. Прямые линии на этих зависимостях описываются уравнением:

$$y = \exp[a(T_0 - T)]. \quad (17)$$

На Рис.8 приводятся зависимости $\ln y$ от T для AgFeTe_2 .

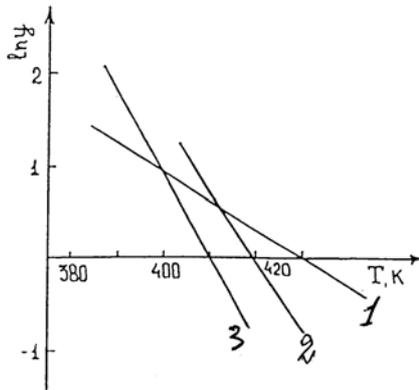


Рис.8.

Температурные зависимости распределения фаз $\ln y$ в AgFeTe_2 : 1-по данным $C_p(T)$, 2-по данным $\kappa(T)$, 3-по данным $\rho(T)$.

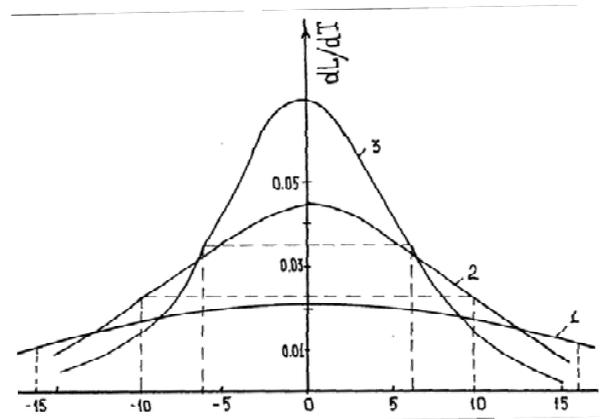


Рис.9.

Температурные зависимости производной функции включения dL_0/dT для AgFeTe_2 (1), AgFeSe_2 (2), AgFeS_2 (3).

Пересечение этих прямых с осью T дают значение T_0 , а отношение $\Delta \ln y / \Delta T = a$. По данным T_0 и a согласно формуле (12) и (13) вычислены температурные зависимости $L_0(T)$ и dL_0/dT . На Рис.9 представлены температурные зависимости $L_0(T)$ и dL_0/dT для AgFeTe_2 , AgFeSe_2 и AgFeS_2 . Как видно, зависимость $L_0(T)$ налево и направо от T_0 сильно растянута, что указывает на размытость ФП в исследуемых соединениях. Размытость ФП наиболее наглядно видна из данных dL_0/dT . Как видно из этих трех кристаллов в AgFeSe_2 ФП наиболее размыт. На этом рисунке пунктирными линиями обозначены области размытия ФП, определенные пересечением горизонтальных линий, проведенных из точек на середине dL_0/dT при T_0 . Показано, что максимум dL_0/dT соответствует значению $a/4$, область размытия ФП охватывает $\sim 70\%$ от всей области перехода.

Самыми универсальными и фундаментальными причинами размытия ФП, несомненно, являются флуктуации образования зародышей новой фазы. Образование зародышей новой фазы в исследуемых кристаллах сопровождается выделением некоторого количества тепла Q , которое растет по мере роста кристалла до тех пор, пока масса старой фазы m_α и новой фазы m_β не сравниваются $m_\alpha = m_\beta$. Данная точка считается температурой ФП (T_0). Затем привалирует масса β -

фазы, что приводит к уменьшению Q . Такой неизбежный процесс является основной причиной, приводящей к температурной флуктуации, которая и приводит к размытию структурных ФП. В халькогенидах серебра вторым наиболее существенным фактором является поликристалличность низкотемпературных фаз в них. Нам представляется, что такая особенность присуща полупроводникам, обладающим структурным ФП. Дело в том, что при выращивании кристалла сначала образуется высокотемпературная β фаза, а затем при температуре ФП β фаза резко переходит в α фазу. Безусловно, в таких сложных кристаллах деформации между кристалликами неоднородны, имеют место искажения на их границах, в них часто наблюдаются флуктуации состава. Закалка образцов по всему объему происходит не совсем равномерно, всегда имеют место небольшие отклонения от стехиометрии, а также неравномерное распределение примесей. В них исключена вероятность образования зародышей других фаз. О тепловых флуктуациях отмечалось выше, они всегда имеют место в адиабатических эффектах и адиабатических условиях эксперимента, причем они естественны при структурных фазовых переходах (СФП), вовремя которых происходит изменение внутренней энергии кристалла (с выделением или поглощением тепла). В совокупности все эти фазовые флуктуации обуславливают размытия ФП в кристаллах AgFeTe_2 , AgFeSe_2 и AgFeS_2 .

1. В.И.Жузе, В.М.Сергеев, Е.Л.Штрум, *Журнал технической физики*, **28** (1958) 2093.
2. Н.А.Горюнова, *Сложные алмазоподобные полупроводники*, Сов. Радио, М., (1968).
3. М.И.Алиев, З.С.Гасанов, Ф.З.Гусейнов, *Неорганические материалы*, **10** (1974) 1897.
4. М.И.Алиев, З.И.Сулейманов, З.С.Гасанов, Ф.З.Гусейнов, Респ. Симпозиум по физическим свойствам сложных полупроводников, Баку, 30-31 октября, (1978) 24.
5. М.И.Алиев, Р.М.Мирзабабаев, З.С.Гасанов, Г.Д.Султанов, Ф.З.Гусейнов, *ДАН Азерб.ССР*, **32** №8 (1976) 16.
6. Б.Н.Ролов, *Размытые фазовые переходы*, Рига, (1972) 311.
7. Б.Н.Ролов, В.Э. Юркевич, *Физика размытых фазовых переходов*, Изд. Ростовского Университета, (1983) 319.
8. К.П.Мамедов, М.Ф.Гаджиев, З.Д.Нуриева, *ДАН СССР*, (1976). 94,
9. К.П.Мамедов, М.Ф.Гаджиев, З.Д.Нуриева, *ФТТ*, **19** (1977) 2196.
10. Ю.И.Харкац, *ФТТ*, **20** (1978) 1121.
11. Ю.С.Гуревич, *Вестник АН СССР*, **3** (1980) 92.
12. Н.Х.Абрикосов, В.Ф.Банников, М.А.Коржуев, *ФТТ*, **25** (1983) 2911.
13. С.А.Алиев, З.Ф.Агаев, *Неогр. мат.*, **19** (1983) 2050.
14. С.А.Алиев, Ф.Ф.Алиев, *Неогр. мат.*, **21** (1985) 1869.
15. С.А.Алиев, Ф.Ф.Алиев, *Неогр. мат.*, **24** (1988) 1389.
16. С.А.Алиев, Ф.Ф.Алиев *Неогр. мат.*, **25** (1989) 241.
17. Е.С.Крипников, Ф.Ю.Алиев, С.А.Алиев, *ФТТ*, **33** (1991) 3408.
18. U.Welp, W.K.Kwok, Q.W.Grablee, *Phys. Rev. Lett*, **62** (1989) 1908
19. S.A.Aliev, P.A.Bagirov, S.S.Ragimov and et al., *S.Rare Earths*, №3 (1991) 1060.
20. M.Dlan, B.Z.Lin and et al., *Phus. Rev., B*, **47** (1993) 454.
21. С.А.Алиев, Ф.Ф.Алиев, Г.П.Пашаев, *Неогр.мат.*, **29** (1993) 1073.
22. S.A.Aliev, S.S.Ragimov and V.M.Aliev, *Low.Temp.Phus.*, **22**(6) (1996) 6.
23. Grassog, Marti F., Huang Y.Perina, R.Flukiger, *Phus.C*, **281** (1997) 271.
24. С.А.Алиев, Ф.Ф.Алиев З.С.Гасанов, *ФТТ*, **4** (1998) 1693.

25. Migaki Oda, Naoki Momono and Sdo Masayuki, *Superiond. Sei Technol.*, **B**, (2000) R139.
26. S.A. Aliev, Z.S. Gasanov, S.M. Abdullaev, *Fizika (Azerb)*, **VII** №3 (2002) 24.
27. S.A. Aliev, *Fizika (Azerb)*, **VIII** №4 (2002) 32.
28. З.С. Гасанов, С.М. Абдуллаев, С.А. Алиев, Мин. образ. Азерб. Респ., Азерб. Тех. Универ., Науч. труды. фун. науки, **3** (2002) 93.
29. С.А. Алиев, З.С. Гасанов, З.Ф. Агаев, Р.К. Гусейнов, *Transaction of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXII** №5 (2002) 76.
30. С.А. Алиев, С.С. Рагимов, В.М. Алиев, Изв. НАНА, Физ. мат. и тех. наук, **XXII** №2 (2002) 67.
31. С.А. Алиев, З.С. Гасанов, С.М. Абдуллаев, Р.К. Гусейнов, *Мин. образ. Азерб. Респ. Азерб. Техн. Унив., Науч. Труды Фунд. иссл.*, **4** (2002) 103.
32. С.В. Мельникова, А.В. Карташева, В.А. Гранкина, И.Ф. Флеров, *ФТТ*, **45** (2003) 1497.
33. Ф.Ф. Алиев, *ФТП*, **37** (2003) 1082.
34. З.С. Гасанов, *Научные труды Московского Педагогического Государственного Университета, серия естест. наук*, (2003) 200.
35. Sabir Aliev, Ziraddin Gasanov, Zakir Agaev, Rasim Guseinov, *Abhandlunger der WGB, Band, Berlin*, **3** (2003) 103.
36. Sabir Aliev, *Abhandlunger der WGB, Band Berlin*, **3** (2003) 113.
37. С.А. Алиев, Д.Г. Араслы и др., *Изв. АН Азерб. ССР, сер. физ.-мат. и тех. наук*, №6 (1982) 87.

ELECTRICAL AND TERMAL PROPERTIES of AgFeX₂ (X=Te, Se, S) NEAR AND WITHIN OF THE REGION OF PHASE TRANSITIONS

M.I. ALIYEV, S.A. ALIYEV, Z.S. HASANOV

The comprehensive investigation of electrical and thermal properties in ternary silver chalcogenides of the AgFeX₂ (X=Te, Se, S) type nearby and in the region of the phase transition has been conducted. The results have been interpreted in the frame of the theory of smeared phase transitions. Parameters of the phase transition allowing to establish the region and degree of the phase transition smearing have been determined. It has been shown that in being studied crystals the phase transitions were heavily smeared and it has been determined regions of the phase transition smearing. It has been disclosed that in the smearing region the $\alpha \rightarrow \beta$ transition occurs with the law $m_\alpha/m_\beta = \exp[a(T_0 - T)]$. Main sources of fluctuation making for the phase transition smearing have been revealed.

AgFeX₂ (X=Te, Se, S) KRISTALLARININ FAZA KEZIDI ƏTRAFINDA VƏ OBLASTINDA ELEKTRİK VƏ ISTILİK XASSƏLƏRİ

M.İ. ƏLİYEV, S.A. ƏLİYEV., Z.S. HƏSƏNOV

AgFeX₂ (X=Te, Se, S) üçqat gümüş xalqoqenidlərində faza keçidi və onun yaxınlığında elektrik və istilik xassələri kompleks tədqiq olunmuşdur. Alınan nəticələr yayılmış faza keçidləri nəzəriyyəsi ilə izah olunmuşdur. Faza keçidlərinin parametrləri öyrənilmiş və tədqiq olunan maddələrdə faza keçidlərinin güclü yayılmış olması göstərilmişdir.

Yayılmış faza keçidində $\alpha \rightarrow \beta$ keçidinin $m_\alpha/m_\beta = \exp[a(T_0 - T)]$ qanununla dəyirdiyi müəyyən olunmuşdur.

Yayılmış faza keçidinin yaranmasında fluktasiyaların səbəbləri aydınlaşdırılmışdır.

Редактор: Г.Аждаров