

УДК 546.56.815.76.22

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И НЕКОТОРЫЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Cu_{1-x}In_xCr_2S_4$

Ч.И.Абилов*, Э.А.Эйвазов**, А.Ф.Кулиев**, А.Н.Мамедов***

*Азербайджанский Технический Университет

AZ 1148 Баку, пр.Г.Джавида, 25; e-mail: cabilov@yahoo.com

**Азербайджанский Государственный Педагогический Университет,

AZ1001 Баку, ул.У.Гаджибекова, 34; e-mail: adalet-guliyev@mail.ru

***Институт Катализа и Неорганической Химии им.М.Нагиева Национальной АН Азербайджана

AZ 1143 Баку, пр.Г.Джавида, 113; e-mail: asifmamedov@yahoo.com

Технологией твердофазных реакций получены сплавы $CuCr_2S_4$ и твердых растворов $Cu_{1-x}In_xCr_2S_4$, исследованы их физико-химические, термодинамические и некоторые тепловые свойства. Составлены уравнения для расчета энтропии, энтальпии и свободной энергии образования $CuCr_2S_4$ и $Cu_{1-x}In_xCr_2S_4$. Изучение теплопроводности показало на ослабление силы химической связи и наличие смешанного механизма рассеяния фононов в твердых растворах $Cu_{1-x}In_xCr_2S_4$, связанного как с переменной валентностью хрома в составе, так и с появлением дополнительного теплового сопротивления кристаллической решетки.

Ключевые слова: твердофазная технология, термодинамические функции, трехфононное рассеяние

ВВЕДЕНИЕ

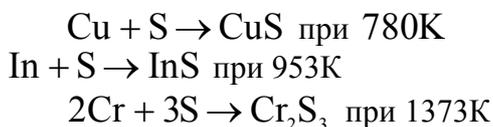
Соединение $CuCr_2S_4$ и твердые растворы на его основе являются перспективными магнитными материалами. Несмотря на многочисленные работы по исследованию этих материалов, разработанные способы получения не всегда дают положительные результаты и в технологиях их синтеза имеются некоторые разногласия. В частности, если авторы [1-3] предлагают получение $CuCr_2S_4$ и твердых растворов на его основе твердофазной

реакцией из элементов, то в [4] для получения $CuCr_2S_4$ используется гидротермальный метод путем кристаллизации исходных CuS и Cr_2S_3 из водных растворов. Литературные сведения о теплопроводности соединения $CuCr_2S_4$ и твердых растворов $Cu_{1-x}In_xCr_2S_4$ весьма исчерпывающие, что делает актуальным выяснение механизма теплопереноса в этих материалах.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью изучения характера взаимодействия между $CuCr_2S_4$ и беспримесным индием использовали дифференциально-термический (ДТА), микроструктурный (МСА) и рентгенофазовый (РФА) анализы. Снимали высокотемпературные (ВДТА) термограммы соединения $CuCr_2S_4$ и твердых

растворов $Cu_{1-x}In_xCr_2S_4$ (где $x \leq 0,35$) и бинарных составляющих (соединений) компонентов. На термограммах CuS , InS и Cr_2S_3 отмечен один термический эффект, по которому можно судить, что реакция образования протекает в одну стадию при соответствующих температурах:



При взаимодействии меди, индия, хрома и серы на термограммах наблюдается несколько резко выраженных тепловых эффектов, что свидетельствует об интенсивном протекании реакции между этими химическими элементами с выделением сравнительно большого количества тепла. Отдельные стадии образования CuCr_2S_4 можно представить следующим образом (после образования исходных CuS и Cr_2S_3 по вышеуказанной схеме): $\text{CuS} + \text{Cr}_2\text{S}_3 \rightarrow \text{CuCr}_2\text{S}_4$.

В четверных сплавах $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ при 953-955К наблюдался дополнительный экзоэффект, относящийся к образованию InS . Результаты проведенного термического анализа, а также учет технологических особенностей приведенных в [1-2], представили возможность разработать оптимальный вариант синтеза сплавов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$. Вначале ампулу с шихтой в течение пяти суток выдерживали при $\sim 783\text{K}$, т.е. при температуре образования CuS . Затем температуру поднимали до $\sim 953\text{K}$ ($T_{\text{обп.}}^{\text{InS}}$) и выдерживали

24ч., после чего достигали температуру плавления Cr_2S_3 (1373К), выдержав при этом ампулу в течение 3-х суток. Следует отметить, что до полного вхождения серы в состав образцов верхнюю часть ампулы оставляли вне нагревательной печи с целью ее охлаждения холодной водой. После вхождения паров серы в состав образцов температуру в печи поднимали до $\sim 1473\text{K}$ и после выдержки в течение 5-7ч. ампулу медленно охлаждали до комнатной температуры.

Вся процедура синтеза и гомогенизации состава (термический отжиг проводили при 1073 К в течение 300ч.) имела продолжительность около одного месяца. После гомогенизирующего отжига образцов их приводили в порошковое состояние и прессовали, с дальнейшей выдержкой при 873К в течение одной недели.

Общую теплопроводность измеряли стационарным методом, аналогично методике, приведенной в [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.1 приведены результаты рентгенофазового анализа. Как видно, идентичность рентгеновских линий

соединения CuCr_2S_4 сохраняет свое постоянство и в составе твердого раствора $\text{Cu}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{Cr}_2\text{S}_4$.

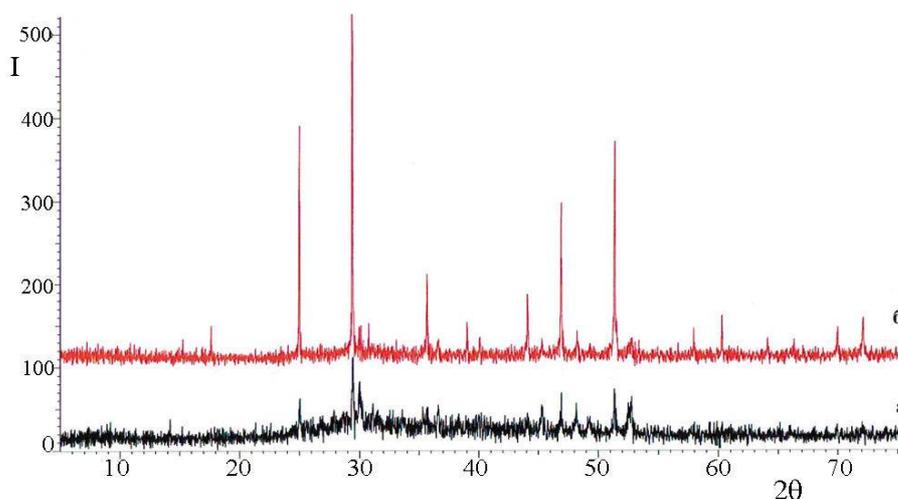


Рис.1. Рентгенограммы соединения CuCr_2S_4 (а) и твердого раствора состава $\text{Cu}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{Cr}_2\text{S}_4$ (б).

При замещении атомов Cu атомами In в структуре CuCr₂S₄ до состава Cu_{0,7}In_{0,3}Cr₂S₄ образуются шпинельные структуры твердых растворов, кристаллическая решетка которых основана на плотнейшей кубической упаковке ионов серы. Элементарная ячейка содержит 32 атома серы, образующих 64 тетраэдрических и 32 октаэдрических пустот, из которых тетраэдрические пустоты заняты атомами меди и частично атомами индия, а октаэдрические пустоты - атомами хрома и

опять, частично индием. Рассчитанные значения показали увеличение параметра кристаллической решетки от 9.823 Å для CuCr₂S₄ до 10.061 Å для твердого раствора Cu_{0,7}In_{0,3}Cr₂S₄.

Вычислены некоторые термодинамические функции CuCr₂S₄ и твердых растворов Cu_{1-x}In_xCr₂S₄. По методу Келли [6] стандартная энтропия соединения является суммой парциальных энтропий инкрементов ионов состава

$$S_{298}^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) = S_{298}^0(\text{Cu}^{2+}) + 2S_{298}^0(\text{Cr}^{3+}) + 4S_{298}^0(\text{S}^{2-}) = 211 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$$

По методу Истмена [7] стандартная энтропия соединения, образованного по

перитектической реакции, вычисляется как:

$$S_{298}^0(\text{Cu}_2\text{CrS}_4) = m \left[3R \ln \frac{(M/m)^{5/3}}{\rho^{2/3} T} + 52,33 \right] = 179 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$$

где m=7 число атомов в молекуле, M=296 молярная масса соединения, T₁=1473K, ρ = 5,44г/см³. Если значения стандартной энтропии, рассчитанные разными методами

различные, целесообразно взять за основу среднее значение, т.е. S₂₉₈⁰(CuCr₂S₄) = 195 Дж/моль·К. Энтропию образования соединения можно записать в виде:

$$\Delta S_{298}^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) = S_{298}^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) - [S_{298}^0(\text{Cu}) + 2S_{298}^0(\text{Cr}) + 4S_{298}^0(\text{S})] = -13 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$$

Значение энтропии отдельных элементов взяты из [8]. Энтальпия образования трехкомпонентного соединения с учетом отклонения аддитивности,

складывается из энтальпии образования соответствующих двухкомпонентных соединений:

$$\Delta H_{298}^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) = \Delta H_{298}^0(\text{CuS}) + \Delta H_{298}^0(\text{Cr}_2\text{S}_3) - m \cdot A$$

где A – показатель отклонения от аддитивности, для сульфидных соединений A=10 кДж/моль·атом [9]. Свободная энергия

соединения CuCr₂S₄ рассчитана по уравнению Гиббса-Гельгольца:

$$\Delta G_T^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) = \Delta H_{298}^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) - T\Delta S(\text{CuCr}_2\text{S}_4)$$

Вычисленные значения термодинамических функций приведены в таблице.

Таблица. Некоторые термодинамические параметры соединений CuS, Cr₂S₃ и CuCr₂S₄

Соединение	S ₂₉₈ ⁰	ΔS ₂₉₈ ⁰	-ΔH ₂₉₈ ⁰	-ΔG ₂₉₈ ⁰
	Дж/моль·К		Дж/моль·К	

CuS	66.6	1.4	53.2	53.6
Cr ₂ S ₃	144.6	1.4	440.1	440.5
CuCr ₂ S ₄	195.0	-13	577.0	573.1

Для оценки термодинамической стабильности твердых растворов Cu_{1-x}In_xCr₂S₄ аппроксимированы их интегральные термодинамические функции

с использованием вышеопределенных значений энтропии, энтальпии и свободной энергии образования:

$$S_{298}^0 = xS_{298}^0(\text{CuCr}_2\text{S}_4) + (1-x)S_{298}^0(\text{In}) - R[x\ln f_1(y) + (1-x)\ln f_2(y)] = \\ = 195x + 57,8(1-x) - 8,31[x\ln f_1(y) + (1-x)\ln f_2(y)],$$

$$\Delta S_{298}^0 = -13x - 8,31[x\ln f_1(y) + (1-x)\ln f_2(y)]$$

$$\Delta G_{298}^0 = -577x - 8,31T[x\ln f_1(y) + (1-x)\ln f_2(y)],$$

где T – температура ликвидуса определенного состава, а $f_1(y)$ и $f_2(y)$ – асимметрические модельные функции растворов, образованных немолекулярными соединениями. В конфигурационных термодинамических функциях их можно применять к полупроводниковым твердым растворам.

Результаты расчетов показывают, что значения свободной энергии образования твердых растворов Cu_{1-x}In_xCr₂S₄ отрицательны в интервале температур и концентраций их существования, что свидетельствует о частичной термодинамической стабильности исследуемых составов. Частичная степень стабильности составов твердых растворов Cu_{1-x}In_xCr₂S₄ проявляется и в зависимостях некоторых теплофизических параметров от физико-химических свойств. Были определены значения плотности и микротвердости исследуемых растворов. Пикнометрическая плотность изменялась в пределах от 5.44г/см³ (для чистого CuCr₂S₄) до 5.68г/см³ (для состава Cu_{0,65}In_{0,35}Cr₂S₄), а микро-

твердость имеет значение ~2350 МПа (для CuCr₂S₄) и 2100 МПа (для Cu_{0,65}In_{0,35}Cr₂S₄).

Известно, что зависимость фонной теплопроводности от микротвердости – качественный показатель силы химической связи в твердых телах [10]. На рис. 2 приведена зависимость фонной теплопроводности от значений микротвердости соединения CuCr₂S₄ и твердых растворов Cu_{1-x}In_xCr₂S₄.

Как видно, с ростом в составе количества индия, т.е. при переходе от CuCr₂S₄ к твердым растворам Cu_{1-x}In_xCr₂S₄ уменьшается и фонная теплопроводность и микротвердость. Это свидетельствует об ослаблении силы химической связи при переходе от соединения CuCr₂S₄ к твердым растворам Cu_{1-x}In_xCr₂S₄. Этот процесс продолжается и в составах твердых растворов на основе CuCr₂S₄. В пользу сказанного свидетельствует и увеличение атомной массы при переходе от соединения CuCr₂S₄ к твердым растворам и далее в ряду индий содержащих сплавов.

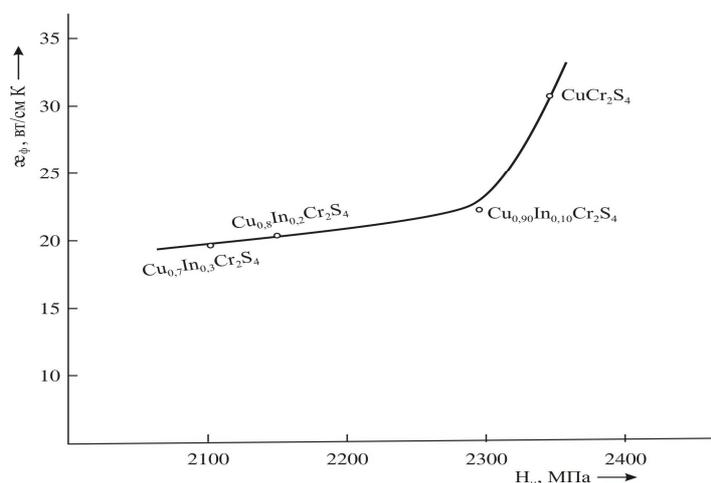


Рис.2. Зависимость фоновой теплопроводности от значений микротвердости CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{0,7}\text{In}_{0,3}\text{Cr}_2\text{S}_4$

На рис. 3 приведены температурные зависимости общей теплопроводности CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$. Как видно, начиная с температуры $\sim 193\text{K}$ до $\sim 773\text{K}$ коэффициент $\alpha_{\text{общ}}$ изменяется согласно нормальным фоновым процессам переноса тепла. Используя формулу Видемана-Франца, рассчитаны доли электронной теплопроводности ($\alpha_{\text{эл}}$), а затем с помощью разницы $\alpha_{\text{общ}} - \alpha_{\text{эл}}$ найдены значения $\alpha_{\text{фонон}}$.

Значения этого коэффициента для CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ при комнатной температуре приведено на рис. 2. Далее, из температурной

зависимости $\alpha_{\text{фонон}}$ рассчитаны значения теплового сопротивления кристаллической решетки $\left(W_{\phi} = \frac{1}{\alpha_{\text{фон}}} \right)$, что позволило более ясно проанализировать механизм теплопереноса в CuCr_2S_4 и твердых растворах $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

На рис. 4 приведена температурная зависимость фоновой теплопроводности исследуемых сплавов. С увеличением температуры происходит рост $W_{\text{фон}}$, что качественно согласуется с подобным параметром (W_0) рассчитанным теоретическим способом.

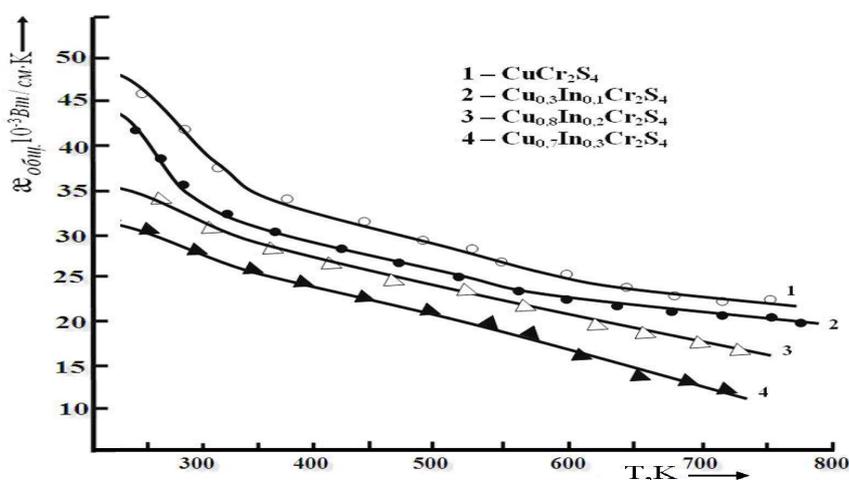


Рис.3. Температурная зависимость общей теплопроводности CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

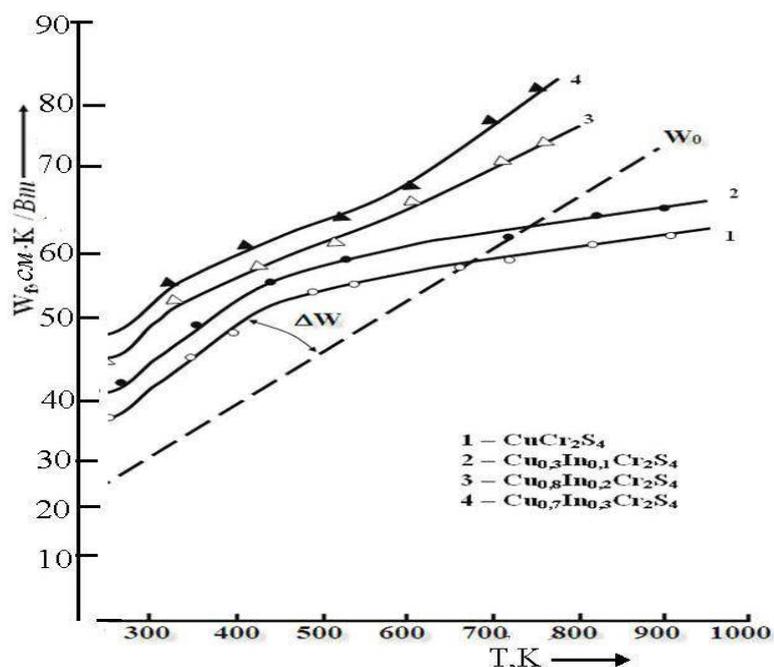


Рис.4. Температурная зависимость фононного теплосопротивления CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

Однако, в интервале 193-500 К в образцах появляется дополнительное фононное теплосопротивление ($\Delta W_{\text{фон}}$), значение которого можно оценить как $\Delta W_{\text{фон}} = W_{\text{фон}} - W_{\text{трехфон}}$. Появление дополнительного теплового сопротивления кристаллической решетки указывает на наличие оптико-акустического механизма теплопереноса. С дальнейшим повышением температуры наблюдается ослабление дополнительного фононного теплового сопротивления и теплопроводность подчиняется закону $\sim T^{-0.1}$. Это указывает на то, что перенос тепла в образцах

осуществляется согласно трехфононного механизма рассеяния. Следует отметить, что в зависимостях $\Delta W_{\text{фон}} \sim f(T)$ имеются такие температурные интервалы (например, 553-653К), где рассеяние фононов осуществляется процессами переброса. Существование указанных механизмов в теплопроводности CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ видимо, связано с переменной валентностью хрома [11,12], вследствие которой может происходить деформация кристаллической решетки, приводящая, в свою очередь, к наличию различных механизмов теплопереноса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Определение термодинамических функций полученных материалов указывает на частичную термодинамическую стабильность твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

- Исследование зависимости значений микротвердости от фононной теплопроводности показало ослабление силы химической связи при переходе от CuCr_2S_4 к $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

- Изучение температурной зависимости теплопроводности соединения CuCr_2S_4 и твердых растворов $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ выявило появление дополнительного теплосопротивления кристаллической решетки, указывающее при относительно низких температурах на оптико-акустический механизм рассеяния фононов, а при высоких температурах - на наличие трехфононных процессов переноса тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шабунина Г.Г., Аминов Т.Г. Исследование взаимодействия в системе Cu-Cr-S. // Журнал неорганической химии. 1994, Т.39, №9, с.1575-1579.
2. Аминов Т.Г., Кирдянкин Д.И., Шабунина Г.Г., Новоторцев В.М. Синтез и магнитные свойства твердых растворов $\text{Cu}_{0,5}\text{Fe}_{0,5-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$. // Журнал неорганической химии. 2012, Т.57, №6, с.853-856.
3. Третьяков Ю.Д., Гордеев И.В., Алферов В.А., Саксонов Ю.Г. Отклонение от стехиометрии халькогенидных хромитов со структурой шпинели. // Изв. АН СССР, Неорганические материалы, 1972, Т. VIII, №12, с.2215-2216.
4. Diefallah El-H.M., Ovoid A.Y., Samarkandy A.A., Abel Badei M.M. El-Bellihit A.A. Formation of copper-chromium sulfide spinel and Thermal decomposition reactions in $\text{CuS} - \text{Cr}_2\text{S}_3$ crystalline mixtures. // J. of Solid State Chemistry. 1995, Vol.117, P.122-126.
5. Теплопроводность твердых тел (справочник). Под ред. Охотина А.С.. М., Атомэнергоиздат, 1984, 320 с.
6. Морачевский А.Г., Сладков Н.Б. Термодинамические расчеты в металлургии. Справочник. 1985, М., Металлургия, 136 с.
7. Мамедов А.Н., Багиров З.Б., Кулиева С.А. Термодинамика систем с немолекулярными соединениями. Баку, Элм, 2006, 192 с.
8. База данных термических констант веществ. Электронная версия под ред. В.С.Юнгмана. 2006, <http://WWW.chem.msu.su/cqi-bin/tkv>.
9. Мамедов А.Н. Способ расчета термодинамических функции тройных сплавов квазибинарных сечений // Изв. АН СССР. Неорганические материалы, 1978, Т.14, №10, с.1806—1809.
10. Магомедов Я.Б., Гаджиев Г.Г., Исмаилов Ш.М. Химическая связь и фононная теплопроводность некоторых тройных полупроводников. //Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1976, Т.32, №10, с.1197-1200.
11. Королева Л.И., Шалимова М.А. Магнитные и электрические свойства двойных и тройных твердых растворов халькошпинелей CuCr_2S_2 , CuCr_2S_4 , и CuCr_2Te_4 . // Физика твердого тела, 1979, т.21, №2, с.449-456.
12. Метфессель З., Маттис Д. Магнитные полупроводники. 1972, М., Мир, 362 с.

REFERENCES

1. Shabunina G.G., Aminov T.G. Research into interaction in the system Cu - Cr - S. *Zhurnal neorganicheskoy himii – Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 1994, vol.39, no.9, pp.1575-1579. (In Russian).
2. Aminov T.G., Kirdjankin D.I., Shabunina G.G., Novotorcev V.M. Synthesis and magnetic properties of solid solutions $\text{Cu}_{0,5}\text{Fe}_{0,5-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$. *Zhurnal neorganicheskoy himii – Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2012, vol.57, no.6, pp.853-856.
3. Tret'jakov Ju.D., Gordeev I.V., Alferov V.A., Saksonov Ju.G. Deviation from stehiometry of chalcogenide chromites with spinel structure. *Neorganicheskie materialy - Inorganic Materials*. 1972, vol. VIII, no.12, pp.2215-2216. (In Russian).
4. Diefallah El-H.M., Ovoid A.Y., Samarkandy A.A., Abel Badei M.M. El-Bellihit A.A. Formation of copper-chromium sulfide spinel and Thermal decomposition reactions in $\text{CuS} - \text{Cr}_2\text{S}_3$ crystalline mixtures. *J. of Solid State Chemistry*. 1995, vol.117, pp.122-126.
5. Thermal conductivity of solid body. Reference book. Moscow, Atomjenergoizdat Publ., 1984, 320 p.
6. Morachevskij A.G., Sladkov N.B. Thermodynamic calculations in metallurgy. Reference book. 1985, Moscow, Metallurgija Publ., 136 p.
7. Mamedov A.N., Bagirov Z.B., Kulieva S.A. Thermodynamics of systems with non-molecular compounds. Baku, Elm Publ., 2006, 192 p. (In Azerbaijan).
8. Data base of thermal constants of substances. Electronic version ed. by V.S.Yungman. WWW.chem.msu.su/cqi-bin/tkv.
9. Mamedov A.N. Calculation methods of thermodynamic functions of triple alloys of quasi-binary sections. *Neorganicheskie materialy - Inorganic Materials*. 1978, vol.14, no.10, pp.1806-1809. (In Russian).

10. Magomedov Ja.B., Gadzhiev G.G., Ismailov Sh.M. Chemical bond and phonon thermal conductivity of some triple semiconductors. *Neorganicheskie materialy - Inorganic Materials*. 1976, vol.32, no.10, pp.1197-1200. (In Russian).
11. Koroleva L.I., Shalimova M.A. Magnetic and electric properties of double and triple hard solutions of chalcospinels CuCrS_2 , CuCr_2S_4 , и CuCr_2Te_4 . *Fizika tverdogo tela - Physics of the Solid State*, 1979, vol.21, no.2, pp.449-456. (In Russian).
12. Metfessel' Z., Mattis D. *Magnitnye poluprovodniki* [Magnetic semiconductors]. 1972, Moscow, Mir Publ., 362 p.

**PHYSICAL-CHEMICAL AND SOME THERMAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS
 $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$**

Ch.I.Abilov*, E.A.Eyvazov, A.F.Kuliyev**, A.N.Mamedov*****

*Azerbaijan Technical University

H. Javid Ave., 25, AZ 1148 Baku, Azerbaijan; e-mail: cabilov@yahoo.com

**Azerbaijan State Pedagogical University,

U.Hadjibekov str., 34, AZ 1001 Baku, Azerbaijan; e-mail: adalet-guliyev@mail.ru

***M.Nagiyev Institute of Catalyst and Inorganic Chemistry, ANAS

H. Javid Ave., 113, AZ 1143 Baku, Azerbaijan; e-mail: asifmamedov@yahoo.com

The use of solid-phase reaction technology made it possible to obtain alloys of CuCr_2S_4 and solid solutions. Physical-chemical, thermodynamic and some thermal properties of $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$, have been analyzed and equations made to calculate entropy, enthalpy and free energy of CuCr_2S_4 и $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ formation. Examination of thermal conductivity confirmed the weakening of chemical bond and presence of mixed mechanism of phonon dispersion in solid solutions $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$, arising from variable valency of chromium in the compound and emergence of additional thermal resistance to crystal lattice.

Keywords: solid-phase technology, thermodynamic functions, 3-phonon dispersion

$\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ BƏRK MƏHLULLARIN BƏZİ FİZİKİ-KİMYƏVİ VƏ İSTİLİK XASSƏLƏRİ

Ç.İ.Əbilov, E.Ə.Eyvazov, A.F.Quliyev, A.N.Məmmədov

Azərbaycan Texniki Universiteti

AZ 1148 Bakı, H.Cavid pr., 25; e-mail: cabilov@yahoo.com

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

AZ1001 Bakı, Ü.Hacıbəyov küç, 34; e-mail: adalet-guliyev@mail.ru

AMEA-nın akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu

AZ 1143, Bakı, H.Cavid pr., 113; e-mail: asifmamedov@yahoo.com

CuCr_2S_4 tərkibli ərintilər və $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ tərkibli bərk məhlullar alınmış və onların fiziki-kimyəvi, termodinamik və bəzi istilik xassələri öyrənilib. İstilik keçiriciliyin tədqiqi $\text{Cu}_{1-x}\text{In}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ tərkibli bərk məhlullarda kimyəvi rəbitənin zəiflədiyini və fononların səpilməsinin qarışıq mexanizmlə baş verməsini göstərir. Bu həm tərkibdəki xromun dəyişən valentliyi ilə, həm də kristallik qəfəsin əlavə istilik müqavimətinin yaranması ilə bağlıdır.

Açar sözlər: bərk faza reaksiyaları, termodinamik funksiyalar, üçfononlu səpilmə.

Поступила в редакцию 10.12.2015.