

**ЭЛЕКТРОНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ  
 $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  И  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$**

**М.Г. КЯЗУМОВ, Г.Г. ГУСЕЙНОВ, М.Г. КАЗЫМОВ\*, Л.В. РУСТАМОВА**

*Институт Физики НАН Азербайджана  
AZ 1143, г.Баку, пр. Г. Джавида, 33.  
Нахичеванское отделение НАН Азербайджана\*  
AZ 3630, г.Нахичивань, пр.Г.Алиева 32*

Структуры  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  и  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$ , синтезированные из отдельных элементов, исследованы с помощью электрон-дифракционного метода косой текстуры, и получены следующие соответствующие параметры кристаллических решеток, пространственные группы, структурные типы и типы упаковки анионов серы в пакетах:

$a=3,765\text{Å}$ , $c=12,202\text{Å}$ пр.гр. $P3m1$	ТОП	$z z z z$
$a=3,783\text{Å}$ , $c=36,775\text{Å}$ пр.гр. $R3m$	ТОП	$z k k z$
$a=3,781\text{Å}$ , $c=36,662\text{Å}$ пр.гр. $R3m$	ТОП	$z k k z$

где Т, О и П соответственно тетраэдр, октаэдр и пустой полиэдр,  $z$  и  $k$  – гексагональная и кубическая упаковка слоев серы.

**ВВЕДЕНИЕ**

P.G.Rustamov и др [1] и R.J.Hill и др. [2] впервые синтезировали кристаллы  $\text{FeIn}_2\text{S}_4$ . Кристаллы  $\alpha$ -  $\text{FeGa}_2\text{S}_4$  были синтезированы Dogguy-Smiri и др. методом ХТР (химической транспортной реакции), используя как транспортер  $\text{J}_2(3\text{mg}/\text{cm}^3)$  или  $\text{c}\ell_2$ . Синтез проводился в течение 15 дней при  $T_1=1000^\circ\text{C}$  и  $T_2=950^\circ\text{C}$ .

Система  $\text{Ga}_2\text{S}_3$ - $\text{FeS}$  была исследована в [3,5]. Авторами были обнаружены 8 промежуточных фаз. Кристаллы  $\text{FeGa}_2\text{S}_4$  имеют две модификации - низкотемпературную тригональную  $\alpha$ -фазу (пр.гр.  $P\bar{3}m1$ , 1Т политип) и  $\beta$ - фазу, имеющую орторомбическую сверхструктуру [5] со структурным типом  $\text{ZnAl}_2\text{S}_4$  (пр.гр.  $Pna2_1$ ), которая формируется на базе структуры типа вюрцит. Переход  $\alpha \rightarrow \beta$  происходит при температуре  $1054^\circ\text{C}$ . Структура  $\alpha$ -  $\text{FeGa}_2\text{S}_4$  имеет  $\text{ZnAl}_2\text{S}_4$  (I) тип, но отличается тем, что полярность структуры меняется на неполярность. Это можно описать следующим образом:  $\text{S}\equiv\text{Ga}-\text{S}\equiv\text{Fe}\equiv\text{S}-\text{Ga}\equiv\text{S}\dots$  Здесь ионы галлия (Ga) находятся в тетраэдрических, а ионы железа (Fe) в октаэдрических позициях.

S.Reil и H.Naeuseler [6] установили, что кристаллы, входящие в систему  $\text{FeIn}_2\text{S}_x\text{Se}_{4-x}$  при  $0 \leq x \leq 1,6$  (температура отжига  $600^\circ\text{C}$ ), имеют асимметричный  $\text{ZnIn}_2\text{S}_4$  (III, а) тип структуры [7], а при  $2,6 \leq x \leq 4$  (температурный интервал отжига  $600^\circ\text{C} \div 1000^\circ\text{C}$ )- шпинелевую структуру. В области  $1,8 \leq x \leq 2,4$  при температуре ниже  $850^\circ\text{C}$  кристаллизуется  $\alpha$ - $\text{FeGa}_2\text{S}_4$  тип структур [3] с параметрами решетки (при  $x=2$ ):  $a=3,942\text{Å}$ ,  $c=12,816\text{Å}$ , пр.гр.  $P\bar{3}m1$ , а выше  $850^\circ\text{C}$  кристаллизуется  $\text{MgAl}_2\text{S}_4$  тип структур [8] с параметрами решетки (при  $x=2$ ):  $a=3,939\text{Å}$ ,  $c=38,432\text{Å}$ , пр.гр.  $R\bar{3}m$ .

M.P.Pardo и др. исследовали составы, входящие в систему Fe-M-Ga-S(Se) [9,10], где М – металл. H.Siwert и др. исследовали кристаллы  $\text{Cr}_{0,5}\text{FeGa}_{1,5}\text{Se}_4$  [11], H.D.Lutz и др. - кристаллы  $\text{Cr}_{0,8}\text{FeGa}_{1,2}\text{Se}_4$  [12]. Результаты этих исследований приведены в Таблице 1. Как видно, во всех этих соединениях атомы железа (Fe) двухвалентные.

Ранее нами были синтезированы и изучены некоторые составы, входящие в систему Fe-Ga-In-S [13,14], где атомы железа трехвалентны. Образцы  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$  и  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  были изучены рентгенодифрактометрическим методом в виде порошков. Расшифровка экспериментальных данных, полученных от разных

образцов, показала, что в одних случаях эти кристаллы получают в чистом виде, т.е. 1Т-однопакетный тригональный политип и 3R -трехпакетный ромбоэдрический политип, а в других случаях - в виде смеси политипов: 1Т, 3R и 2Н (двухпакетный гексагональный политип). Для чистых образцов  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$  и  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  были получены соответствующие параметры кристаллической решетки [13,14]:  $a=(3,796 \times 2)\text{Å}$ ,  $c=12,210\text{Å}$ , пр.гр.  $R\bar{3}m1$   $a=(3,786 \times 2)\text{Å}$ ,  $c=36,606\text{Å}$ , пр.гр.  $R3m$ . Как видно, значению параметра  $a$  кристаллической решетки соответствует двукратное расстояние минимального периода плотнейшей упаковки ионов серы.

**Таблица 1.**

Соединения	Параметры решетки			Пространственные группы	Литература
	$a(\text{Å})$	$b(\text{Å})$	$c(\text{Å})$		
$\alpha\text{-FeGa}_2\text{S}_4$	3,67		12,07	$P\bar{3}m1$	[5]
	3,654		12,056	$P\bar{3}m1$	[3]
$\beta\text{-FeGa}_2\text{S}_4$	12.98	7.49	6.09	$Pna2_1$	[5]
$\text{Fe}_{0,73}\text{Ga}_{2,18}\text{S}_4$	5,283		10,430	$I\bar{4}$	[9]
$\text{Fe}_x\text{Ga}_{2,78-0.67x}\text{S}_4$	6,42		18,13	$P6_1$	[9]
$\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$	3,6606		44,983	$R3m$	[9]
	3,6508		44,843		
$\text{Fe}_2\text{Ga}_2\text{S}_5$	3,662		29,95	$P6/mcc$	[9]
	3,67		30,00		
$\text{FeGa}_2\text{S}_4$	5,501		5,501	$P\bar{4}2m$	[10]
$\text{Fe}_{0,73}\text{Ga}_{2,18}\text{S}_4$	5,487		10,97	$I\bar{4}$	[10]
$\text{Cr}_{0,5}\text{FeGa}_{1,5}\text{Se}_4$	3,828		37,94	$R3m$	[11]
$\text{Cr}_{0,8}\text{FeGa}_{1,2}\text{Se}_4$	3,8284		37,914	$R3m$	[12]

Надо отметить, что при исследовании слоистых кристаллов электронографический метод косой текстуры имеет значительные преимущества перед другими методами.

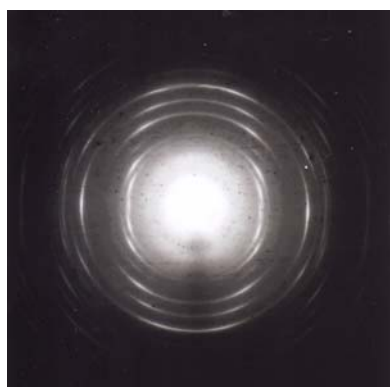
В этой работе мы приводим результаты электронографического исследования трех кристаллов  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  и впервые синтезированного  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Синтез всех кристаллов был проведен из отдельных элементов в идентичных условиях. Соответствующие навески в количестве 5г каждого состава поместили в очищенную высококачественную кварцевую ампулу, которую откачивали до давления  $10^{-4}\text{Па}$ , запаивали и помещали в однозонную печь. Температуру печи поднимали до  $600^\circ\text{C}$  со скоростью  $100^\circ\text{C}$  в час и выдерживали при этой температуре 40 минут, затем температуру с прежней скоростью поднимали до  $950^\circ\text{C} \div 1000^\circ\text{C}$  и выдерживали в течение 1 часа. После этого температуру печи снижали до  $500 \div 550^\circ\text{C}$  и проводили отжиг образцов в течение недели. Образцы для электронографического исследования были приготовлены методом осаждения микрокристалликов из водной суспензии на металлическую сетку, покрытую целлулоидной пленкой. Электронографический экспериментальный материал был получен на электронографе ЭГ-400.

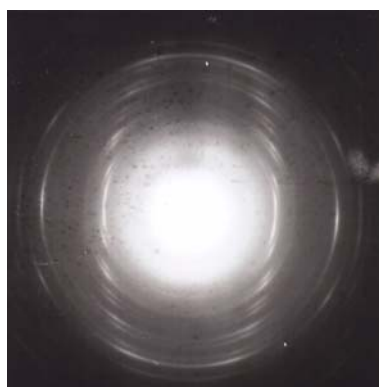
На Рис.1, Рис.2, Рис.3 показаны электронограммы текстур образцов  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  и  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$ , а в Таблицах 2-4 приведены

некоторые соответствующие параметры рефлексов. Где  $R_{hkl}$  –расстояния между рефлексами  $hkl$  и  $\bar{h}\bar{k}\bar{l}$ ,  $D_{hkl}$  –расстояние (в масштабе  $L\lambda$ ) между узлами  $hkl$  обратной решетки и плоскостью (0001) кристаллической решетки,  $d_{hkl}$  – межплоскостное расстояние.



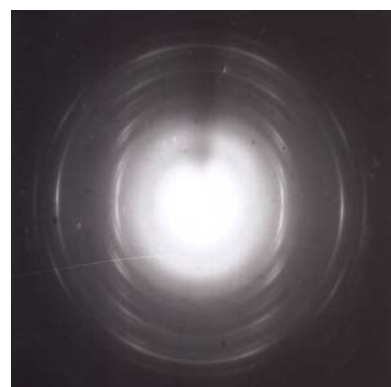
**Рис.1.**

Электроннограмма текстуры  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ .



**Рис.2.**

Электроннограмма текстуры  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$ .



**Рис.3.**

Электроннограмма текстуры  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$ .

**Таблица 2.**

$\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$							
№	$2R_{\text{эксп}}$	$2D_{\text{эксп}}$	$2D_{\text{расч}}$	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{расч}}$	$hkl$	$I/I_0$ (эксп)
1	11,998	0,000	0,000	3,261	3,261	$10\bar{1}0$	Средний
2	12,415	3,204	3,206	3,151	3,150	$10\bar{1}1$	О. сильный
3	13,602	6,411	6,412	2,876	2,876	$10\bar{1}2$	О. сильный
4	15,375	9,617	9,618	2,545	2,544	$10\bar{1}3$	Слабый
5	17,563	12,825	12,824	2,227	2,228	$10\bar{1}4$	О. сильный
6	20,023	16,030	16,030	1,954	1,954	$10\bar{1}5$	Сильный
7	22,671	19,236	19,236	1,726	1,726	$10\bar{1}6$	Сильный
8	20,781	0,000	0,000	1,882	1,882	$11\bar{2}0$	О. сильный
9	22,895	9,616	9,618	1709	1708	$11\bar{2}3$	Средний
10	24,410	12,818	12,824	1,603	1,602	$11\bar{2}4$	О. сильный

Как показано на Рис.2 и Рис.3, рефлексы со значениями  $-h+k+l \neq 3n$  отсутствуют. Значит, последние два кристаллы имеют ромбоэдрическую структуру. Определены соответствующие параметры кристаллической решетки и пространственные группы всех кристаллов:

$$a=3,765\text{Å},$$

$$c=12,202\text{Å},$$

$$\text{пр.гр.}P3m1 - \text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$$

$$a=3,783\text{Å},$$

$$c=36,775\text{Å},$$

$$\text{пр.гр.}R3m - \text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$$

$$a=3,781\text{Å},$$

$$c=36,662\text{Å},$$

$$\text{пр.гр.}R3m - \text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3.$$

Итак, в первой структуре плотно упакованно могут располагаться четыре слоя атомов серы (S), а во второй и третьей – по двенадцать слоев из атомов серы. На Рис.1 вторым сильным рефлексом на втором эллипсе (самый сильный рефлекс  $11\bar{2}0$ ) является-  $11\bar{2}3$ , а на рис. 2 и 3 -  $11\bar{2}9$ . Ранее нами установлено [15,16], что значение  $l$  второго сильного рефлекса в сериях  $11\bar{2}l$  ( $l$  меняется) указывает на количество заполненных катионами полиэдрических слоев.

Таблица 3.

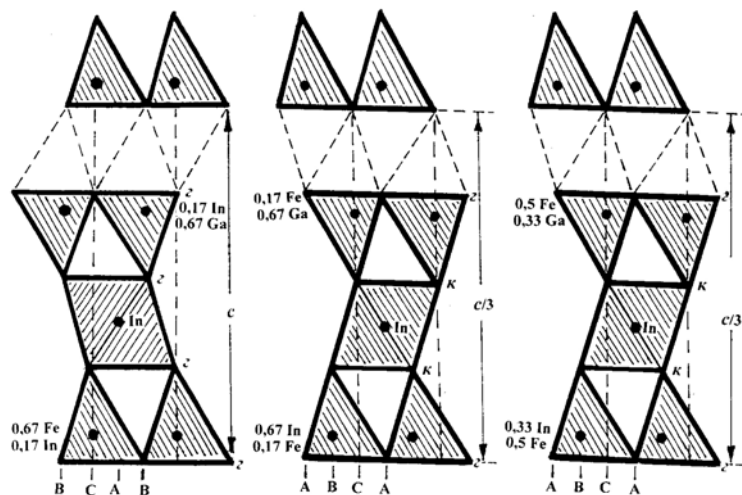
Fe <sub>0,25</sub> Ga <sub>0,5</sub> In <sub>1,25</sub> S <sub>3</sub>							
№	2R <sub>эксп</sub>	2D <sub>эксп</sub>	2D <sub>расч</sub>	D <sub>эксп</sub>	d <sub>расч</sub>	hkl	I/I <sub>0</sub> (эксп)
1			1,064			10 $\bar{1}$ 1	
2	12,120	2,126	2,128	3,228	3,225	$\bar{1}$ 012	О. сильный
3	12,671	4,253	4,255	3,087	3,086	10 $\bar{1}$ 4	Сильный
4	14,068	7,443	7,446	2,781	2,780	10 $\bar{1}$ 7	Ср. сильный
5	14,660	8,508	8,510	2,668	2,668	$\bar{1}$ 018	Сильный
6	15,995	10,640	10,638	2,446	2,446	10 $\bar{1}$ 10	Средний
7	16,721	11,699	11,701	2,340	2,340	$\bar{1}$ 0111	Средний
8	18,270	13,828	13,829	2,141	2,141	10 $\bar{1}$ 13	Ср. сильный
9	19,090	14,893	14,893	2,049	2,049	$\bar{1}$ 0114	Средний
10	20,794	17,023	17,020	1,881	1,882	10 $\bar{1}$ 16	Ср. слабый
11	21,671	18,084	18,084	1,805	1,805	$\bar{1}$ 0117	О. сильный
12	20,683	0,000	0,000	1,891	1,891	11 $\bar{2}$ 0	О. сильный
13	22,785	9,572	9,574	1,717	1,716	11 $\bar{2}$ 9	Средний
14	24,300	12,762	12,765	1,610	1,610	11 $\bar{2}$ 12	О. слабый
15	26,116	15,953	15,957	1,498	1,498	11 $\bar{2}$ 15	О.О. слабый

Таблица 4.

Fe <sub>0,75</sub> Ga <sub>0,25</sub> InS <sub>3</sub>							
№	2R <sub>эксп</sub>	2D <sub>эксп</sub>	2D <sub>расч</sub>	D <sub>эксп</sub>	d <sub>расч</sub>	hkl	I/I <sub>0</sub> (эксп)
1			1,067		3,261	10 $\bar{1}$ 1	
2	12,130	2,132	2,134	3,225	3,223	$\bar{1}$ 012	О. сильный
3	12,684	4,267	4,268	3,084	3,083	10 $\bar{1}$ 4	Сильный
4	14,092	7,470	7,469	2,776	2,776	10 $\bar{1}$ 7	Ср. сильный
5	14,683	8,536	8,536	2,665	2,664	$\bar{1}$ 018	Сильный
6	16,017	10,668	10,670	2,443	2,442	10 $\bar{1}$ 10	Слабый
7	16,745	11,736	11,737	2,335	2,336	$\bar{1}$ 0111	Средний
8	18,307	13,872	13,872	2,137	2,137	10 $\bar{1}$ 13	Ср. сильный
9	19,125	14,936	14,939	2,046	2,045	$\bar{1}$ 0114	Ср. слабый
10	20,841	17,075	17,073	1,877	1,877	10 $\bar{1}$ 16	Ср. слабый
11	21,721	18,140	18,140	1,801	1,801	$\bar{1}$ 0117	Сильный
12	20,694	0,000	0,000	1,890	1,890	11 $\bar{2}$ 0	О. сильный
13	22,810	9,601	9,603	1,715	1,715	11 $\bar{2}$ 9	Ср. сильный
14	24,320	12,797	12,805	1,606	1,608	11 $\bar{2}$ 12	О.О. слабый
15	26,151	16,000	16,006	1,496	1,495	11 $\bar{2}$ 15	О. слабый

Значит в первой структуре только три полиэдрических слоя из четырех, во второй и третьей только девять из двенадцати заполнены катионами. Значит, все структуры имеют ТОТП структурный тип, т.е. пакеты состоят из центральных октаэдрических (О) слоев, к которым с двух сторон примыкают тетраэдрические (Т) слои, а последний межпакетный полиэдрический слой (П)- пустует. В

структурах, где структурной единицей является один из TOTП, TOTПП и TTOTПП пакетов, переходы пакет-пакет осуществляются по типу  $22$ , т.е. анионы, находящиеся на вершинах пакетов, упаковываются по типу  $22$  [7, 17]. Учитывая это и важные правила Н.В. Белова о плотнейшей упаковке [18], установлено, что анионы серы в кристалле  $Fe_{0,75}Ga_{0,25}InS_3$  упаковываются по типу  $2222$ , а в кристаллах  $Fe_{0,25}Ga_{0,5}In_{1,25}S_3$  и  $Fe_{0,75}Ga_{0,25}InS_3$  - по типу  $жкж2$ . Учитывая размеры ионных радиусов и валентности каждого иона в предложенных нами моделях структур, часть трехвалентных ионов индия расположена в октаэдрах, а остальные ионы - в тетраэдрах. На Рис.4 показаны планы предложенных моделей структур, в которых анионы занимают частные позиции  $A(0; 0)$ ,  $B(1/3; -1/3)$ ,  $C(-1/3; 1/3)$ . Толщины анионов взяты одинаковыми, а катионы распределены в центрах Т и О полиэдров.



Сравнение экспериментальных значений интенсивностей ( $I_{экс}$ ) рефлексов  $10\bar{1}l$  и  $\bar{1}01l$  с их расчетными значениями для этих моделей показало правильности предложенных моделей.

**Рис.4.**

Проекция кристаллических структур  $Fe_{0,5}Ga_{0,5}InS_3$ ,  $Fe_{0,25}Ga_{0,5}In_{1,25}S_3$  и  $Fe_{0,75}Ga_{0,25}InS_3$  на плоскость  $(11\bar{2}0)$  в координационных полиэдрах, соответственно.

В кристалле  $Fe_{0,5}Ga_{0,5}InS_3$  атомы серы занимают  $(2/3; 1/3; -0,375)$ ,  $(1/3; 2/3; -0,125)$ ,  $(2/3; 1/3; 0,125)$  и  $(1/3; 2/3; 0,375)$  позиции, тетраэдрические катионы занимают  $(1/3; 2/3; -0,313)$  и  $(2/3; 1/3; 0,313)$  позиции, а октаэдрические катионы индия  $(0; 0; 0)$  позицию.

В кристаллах  $Fe_{0,25}Ga_{0,5}In_{1,25}S_3$  и  $Fe_{0,75}Ga_{0,25}InS_3$  атомы серы занимают  $(0; 0; -0,125)$ ,  $(2/3; 1/3; -0,042)$ ,  $(1/3; 2/3; 0,042)$  и  $(0; 0; 0,125)$  позиции, тетраэдрические катионы занимают  $(2/3; 1/3; -0,104)$  и  $(1/3; 2/3; 0,104)$  позиции, а октаэдрические катионы индия  $(0; 0; 0)$  позиции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно, исследованные другими авторами кристаллы, входящие в систему  $Fe-In-Ga-S(Se)$ , содержат двухвалентные ионы железа ( $Fe^{2+}$ ). В этих структурах двухвалентные ионы Fe находятся в октаэдрах. В пакетах TOTП и TOTПП все октаэдрические (О) и тетраэдрические (Т) позиции заполнены катионами, а межпакетные полиэдрические позиции (П) - пусты. Надо отметить, что, когда мы говорим о тетраэдрах, имеются в виду те тетраэдры, которые своими вершинами примыкают к октаэдрам, те же тетраэдры, которые своими базисами примыкают к октаэдрам, не учитываются нами, потому что они не могут заполняться катионами.

В образцах, исследованных нами ранее и в данной работе, атомы железа являются трехвалентными, за исключением некоторых случаев, приведенных в [19], где из-за нехватки серы часть трехвалентных ионов железа становится двухвалентной. В тех кристаллах, где участвуют атомы индия (In), октаэдрические позиции заполняются ими, а тетраэдрические позиции - трехвалентными ионами

Fe и Ga. В случае  $Fe_{1,5}Ga_{0,5}S_{2,8}$  [19] октаэдрические позиции заполняются двухвалентными ( $Fe^{2+}$ ) и трехвалентными ионами железа ( $Fe^{3+}$ ). Надо отметить, что в наших кристаллах из-за трех валентности атомов железа тетраэдрические и (или) октаэдрические позиции заполняются катионами только частично.

Приведенные в [20] результаты синтеза и структурных исследований кристаллов, входящих в систему Fe-Ga-In-S, показывают, что кристаллы состоят из чистых 1T(P3m1), 2H(P63mc) и 3R(R3m) политипов, а в некоторых случаях из их смесей. Приведенные в данной работе очень качественные электронограммы явно показывают, что использованные нами образцы  $Fe_{0,5}Ga_{0,5}InS_3$  являются чистым 1T политипом, а образцы  $Fe_{0,25}Ga_{0,5}In_{1,25}S_3$  и  $Fe_{0,75}Ga_{0,25}InS_3$  – чистыми 3R политипами.

Это объясняется тем, что при получении дебаеграммы использовались порошки, приготовленные или от разных кристалликов или от большого объема кристаллического слитка. В обоих случаях порошки могут содержать в себе различные политипы. При исследовании электронографическим методом мы использовали порошки, полученные как из отдельного кристаллика, так и из очень маленького кристаллического слитка. В этом случае существование в образцах разных политипов в виде смесей маловероятно.

Определенные в данной работе параметры  $a=3,765\text{Å}-3,783\text{Å}$  соответствуют элементарному параметру в плотнейшей упаковке атомов серы (S). Приведенный в работах [13-14] параметр  $a$  ( $a=7,572\text{Å}-7,592\text{Å}$ ) соответствует параметру сверхрешетки, которая формируется за счет упорядоченного расположения трехвалентных катионов железа и галлия в тетраэдрических слоях.

Результаты нескольких работ, выполненных рентгендифракционными и электронографическими методами, показывают:

- каждый кристаллик в отдельности, синтезированный в одной ампуле, является чистым политипом. При исследовании образцов рентгендифрактометрическими методами в виде порошка они вместе дают смеси различных политипов.
- Синтезированный слиток является смесью разных политипов. Политипы чередуются перпендикулярно к слоям. Маленький кусок слитка является чистым политипом.

Следует отметить, что в исследуемых нами образцах, сверхрешетка не наблюдалась. В отличие от предыдущих работ в этой работе приводится план структуры и координаты атомов всех кристаллов.

1. P.G.Rustamov, P.K.Babaeva, M.R.Allazov, Russ J. Inorg Chem., **24** (1979) 1223.
2. R.J.Hill, J.R.Craig, G.V.Gibbs, Phys. Chem. Solids, **39** (1978) 1105.
3. L.Dogguy-Smiri, D.Nguyen Huy, M.P.Pardo, Mater. Res. Bull., **15** (1980) 861.
4. O.Gorochov, C.Levy-Clement, L.Dogguy-Smiri and M.P.Pardo, Mater. Res. Bull., **16** (1981) 1493.
5. L.Dogguy-Smiri, M.P.Pardo and N-H.Dung, Compt. Rend. Acad. Sci., **287** (1978) 415.
6. S.Reil, H.Haeuseler, Journal of Alloys and compounds, **270** (1998) 83.
7. F.Lappe, A.Niggli, R.Nitsche, J.G.White, Z. Kristallogr., **117** (1962) 146.
8. J.Flahaut, Ann Chim., **7** (1952) 632.
9. M.P.Pardo et. al. Mater. Res. Bull., **16** (1981) 1375.
10. M.P.Pardo, J.Flahaut, Mater. Res. Bull., **15** (1980) 1043.
11. H.Siwert, H.D.Lutz, J.Solid. State Chem., **69** (1987) 215.
12. H.D.Lutz, Th.Stingl, Acta crystallogr, Sec C, **49** (1993) 207.
13. М.Г.Кязумов, Г.Г.Гусейнов, Тезисы докладов РСНЭ-2003, Москва 17-22 ноября, (2003) 126.
14. Г.Г.Гусейнов, Н.Н.Мусаева, М.Г.Кязумов, И.Б.Асадова, О.М.Алиев. Неорганические материалы, **39** №9 (2003) 1.

15. M.G. Kyazumov, 11<sup>th</sup> International conference on Ternary and Multiternary Compounds (ICTMC-11) Salford UK, 8-12 september, P1 (1997) 76.
16. M.G. Kyazumov, Кристаллография, **43** (1988) 661.
17. S.I. Radautsan, F.G. Donika, G.A. Kyosse, I.G. Mustya, Phys. Stat. Sol., **37** (1970) k123.
18. Н.В. Белов, Структура ионных кристаллов и металлических фаз, Изд-во АН СССР, Москва, (1947) 237.
19. M.G. Kyazumov, И.Б. Асадова, Г.Г. Гусейнов, Е.А. Исаева, Доклады НАН Азербайджана, **LVIII** №3-4 (2002) 113.
20. M.G. Kyazumov, Г.Г. Гусейнов, И.Б. Асадова, Р.М. Султанов, Тезисы докладов НКРК–2002, Москва 24-29 ноября, (2002) 230.

**$\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  və  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$  KRİSTALLARININ ELEKTRONOQRAFİK TƏDQIQI**

**M.H.KAZIMOV, H.H.HÜSEYNOV, M.H.KAZIMOV, L.V.RÜSTƏMOVA**

Ayrı-ayrı elementlərdən sintez olunmuş  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  və  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$  kristalları maili tekstura elektronografik metodundan istifadə olunaraq tədqiq olunmuş və kristallik qəfəslərin parametrləri, quruluş tipləri və paketlərdəki kükürd anionlarının sıx yığılma tipləri üçün uyğun olaraq aşağıdakılar alınmışdır:

$a=3,765\text{Å}$ ,	$c=12,202\text{Å}$	f. qr. R3m1	TOTB	<i>h h h h</i>
$a=3,783\text{Å}$ ,	$c=36,775\text{Å}$	f. qr. R3m	TOTB	<i>h k k h</i>
$a=3,781\text{Å}$ ,	$c=36,662\text{Å}$	f. qr. R3m.	TOTB	<i>h k k h</i>

harada ki, T, O və B –uyğun olaraq tetraedr, oktaedr və boş poliedrdir, *h* və *k*–kükürd ionlarının heksaqonal və kubik sıx yığılıdır.

**ELECTRON DIFFRACTION INVESTIGATION of  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  and  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$  CRYSTALS**

**M.G.KYAZUMOV, G.G.GUSEINOV, M.G.KAZIMOV, L.V.RUSTAMOVA**

The structures of  $\text{Fe}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{InS}_3$ ,  $\text{Fe}_{0,25}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{1,25}\text{S}_3$  and  $\text{Fe}_{0,75}\text{Ga}_{0,25}\text{InS}_3$  synthesized from individual elements have been investigated by electron diffraction method of oblique texture and obtained the following corresponding parameters of crystal lattices, space groups, structure types and types of packing of anions of S in packets:

$a=3,765\text{Å}$ ,	$c=12,202\text{Å}$	Sp. gr. P3m1	TOTE	<i>h h h h</i>
$a=3,783\text{Å}$ ,	$c=36,775\text{Å}$	Sp. gr. R3m	TOTE	<i>h c c h</i>
$a=3,781\text{Å}$ ,	$c=36,662\text{Å}$	Sp. gr. R3m.	TOTE	<i>h c c h</i>

where T, O and E- tetrahedron, an octahedron and empty polyhedron, *h* and *c* –indicate hexagonal and cubic packing of S layers.

Редактор: М.Алиев