

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛИКВИДУСА И СБОРКА 3D МОДЕЛИ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ Ge-Ag-Tl

<sup>1</sup>Т.Д. Джураев, <sup>1</sup>Р.А. Нимонов, <sup>2</sup>А.Э. Зеленая, <sup>2</sup>В.И. Луцык, <sup>2</sup>М.Д. Парфенова

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

<sup>2</sup>Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии

В работе для определения координат тройных эвтектик был применен метод компьютерного моделирования построением пространственной трехмерной модели Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl, представленной в 3D модели реальной системы в соответствии с основными принципами геометрической термодинамики (правилами фаз и соприкасающихся пространств состояний).

**Ключевые слова:** серебро, германий, таллий, визуализация, ликвидус, солидус, эвтектическая точка, модель трехкомпонентной диаграммы состояния, компьютерное моделирование.

## ОМУЗИШИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛИИ САТҲИ ЛИКВИДУС ВА СОХТАНИ МОДЕЛИ 3D-и ДИАГРАММАИ ФАЗАВИИ СЕЧАНДАИ Ge-Ag-Tl

Т.Д. Джураев, Р.А. Нимонов, В.И. Лутсик, А.Э. Зеленая, М.Д. Парфенова

Барои муайян намудани координатаҳои эвтектикаи сечанда, усули моделиронии компютерӣ барои сохтани фазои модели сечандаи Т-х-у диаграммаи системаи сечандаи Ge-Ag-Tl, ки дар модели 3D-и системаи реалӣ мувофиқи принципҳои асосии термодинамикаи геометрӣ (қоидаҳои фазаҳо ва фазаҳои ҳолати ҳамхӯд) оварда шудаанд.

**Калидвожаҳо:** нуқра, германий, таллий, намоиши визуалӣ, ликвидус, солидус, нуқтаи эвтектикӣ, модели диаграммаи ҳолати сечанда, моделиронии компютерӣ.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE LIQUIDUS SURFACE AND ASSEMBLY OF A 3D MODEL OF THE PHASE DIAGRAM OF THE Ge-Ag-Tl SYSTEM

T.D. Juraev, R.A. Nimonov, V.I. Lutsyk, A.E. Zelenaya, M.D. Parfenova

To determine the coordinates of ternary eutectics, a computer modeling method was used to construct a spatial three-dimensional model of the T-x-y diagram of the ternary Ge-Ag-Tl system, presented in a 3D model of the real system in accordance with the basic principles of geometric thermodynamics (phase rules and contact state spaces).

**Keywords:** silver, germanium, thallium, visualization, liquidus, solidus, eutectic point, three-component state diagram model, computer modeling.

### Введение

Благодаря высокой тепло- и электропроводности серебро и сплавы на его основе широко применяются при изготовлении электрических и электронных контактов. Кроме того, серебро, являясь благородным металлом, применяется при изготовлении ювелирных изделий. Известно, что добавка малого количества германия в сплав серебра замедляет скорость реакции серебра с халькогенами, тем самым ослабляет эффект потускнения в ювелирных изделиях [1].

Для создания новых легкоплавких составов сплавов-припоев, которые могут быть использованы для пайки элементов ювелирных изделий на основе серебра с германием, используется дополнительное легирование. Таким легирующим компонентом в данном случае является таллий, который образует как с серебром, так и с германием диаграммы состояния с эвтектическими невариантными превращениями.

Анализ справочной литературы [2] по двойным диаграммам состояния систем Ag-Ge, Ag-Tl и Ge-Tl показал, что таковые построены: в системе Ag-Ge эвтектическое равновесие наблюдается при температуре 651°C и содержании 75.5% (ат.) Ag; в системе Ag-Tl – при 291°C и 97.4% (ат.) Tl; а в системе Ge-Tl эвтектическая точка почти вырождена и смещена к температуре плавления Tl, её координаты образования соответствуют 304°C и концентрации 0.04% (ат.) Ge. Эти сведения способствуют научной разработке и практическому получению более сложных легкоплавких трехкомпонентных сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, вытекающие в процесс изучения взаимодействия компонентов и его графическое изображение в виде построения поверхности ликвидуса указанной системы. Целью данной работы явилось построение Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl для визуализации и уточнения протекающих в ней физико-химических процессов.

### Материалы и методы исследования

Для построения поверхности ликвидуса системы Ag-Ge-Tl применен метод планирования эксперимента в многокомпонентных системах [3, 4]. Метод использует симплекс-решетчатое

планирование с описанием изучаемого свойства в виде полиномов Шеффе. Алгоритмом служила приводимая модель 4-ой степени для тройной системы [3]. В качестве функции отклика ( $Y_i$ ) были выбраны температуры плавления компонентов и сплавов, определяемые из литературных данных [2]. Код и номер компонента обозначены как  $y_1$ ,  $y_2$  и  $y_3$  – значения температур плавления компонентов;  $Y_{12}$ ,  $Y_{13}$ ,  $Y_{23}$ ,  $Y_{1112}$ ,  $Y_{1222}$ ,  $Y_{1113}$ ,  $Y_{1333}$ ,  $Y_{2223}$  и  $Y_{2333}$  – значения температур плавления двойных сплавов;  $Y_{1123}$ ,  $Y_{1223}$  и  $Y_{1233}$  – экспериментально определяемые значения температур плавления тройных сплавов. Все перечисленные обозначения являются общими для плана четвертого порядка (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица планирования и результаты эксперимента системы Ag-Ge-Tl

№/№ п/п	Код сплава	Состав сплавов						Температура ликвидуса, °С
		в кодовом масштабе, доли единиц			в натуральном выражении ат.%			
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	Ag	Ge	Tl	
1.	$y_1$	1.0	0.0	0.0	100	0	0	961
2.	$y_2$	0.0	1.0	0.0	0	100	0	938
3.	$y_3$	0.0	0.0	1.0	0	0	100	304
4.	$y_{12}$	0.5	0.5	0.0	50	50	0	792
5.	$y_{13}$	0.5	0.0	0.5	50	0	50	680
6.	$y_{23}$	0.0	0.5	0.5	0	50	50	810
7.	$y_{1112}$	0.75	0.25	0.00	75	25	0	655
8.	$y_{1222}$	0.25	0.75	0.00	25	75	0	867
9.	$y_{1113}$	0.75	0.00	0.25	75	0	25	775
10.	$y_{1333}$	0.25	0.00	0.75	25	0	75	495
11.	$y_{2223}$	0.00	0.75	0.25	0	75	25	840
12.	$y_{2333}$	0.00	0.25	0.75	0	25	75	760
13.	$y_{1123}$	0.50	0.25	0.25	50	25	25	775
14.	$y_{1223}$	0.25	0.50	0.25	25	50	25	760
15.	$y_{1233}$	0.25	0.25	0.50	25	25	50	720

Сплавы для исследования весом до 100 грамм готовили в индукционной печи РЭЛТЕК с использованием графито-шамотного тигля. Шихтовыми материалами служили: серебро чистотой 99.99 (ГОСТ 28058-2015), германий марки 99.99 (ГОСТ 16153-80), талий марки Тл00 чистотой 99.99 (ГОСТ 18337-95). Температура контролировалась хромель алюмелевой термопарой. Для предотвращения окисления расплав покрывался порошком из графитного боя. Химический состав полученных сплавов контролировался на рентгеновском флуоресцентном микроспектрометре «Спектромидекс» производства Германии, а также взвешиванием до и после сплавления с точностью  $0.1 \cdot 10^{-6}$ . Температуру плавления каждого сплава определяли на двух параллельных образцах и брали среднеарифметическое значение при охлаждении.

## Результаты

Данные для расчета Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl приведены на рисунке 1 и в таблице 1, по которым получено следующее уравнение для построения поверхности ликвидуса:

$$y = 961x_1 + 938x_2 + 304x_3 - 630x_1x_2 + 190x_1x_3 + 756x_2x_3 - 1192x_1x_2(x_1 - x_2) - 258.667x_1x_3(x_1 - x_3) - 1264x_2x_3(x_2 - x_3) - 1501.33x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 706.667x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 733.33x_2x_3(x_2 - x_3)^2 + 7264x_1x_2x_3 - 2749.33x_1x_2x_3^2, \quad (1)$$

где  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  – содержание в сплавах Ag, Ge и Tl в атомных долях.

Полученное уравнение регрессии (1) позволяет не только предсказывать температуру начала кристаллизации сплавов данной системы без дополнительных экспериментов, но и определять области, линии и точки фазовых равновесий.

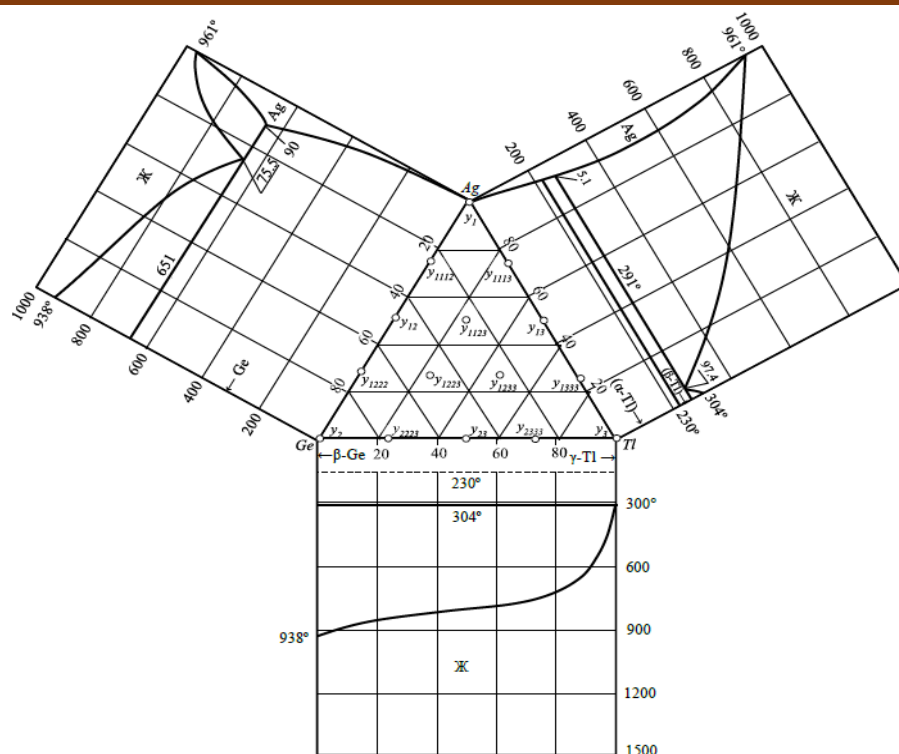


Рисунок 1 – Развёртка тройной системы Ag-Ge-Tl

Модель разрабатывалась для низкотемпературной части фазовой диаграммы: при её построении учитывалось образование одной низкотемпературной полиморфной модификации таллия, равной 230°C. Исходя из строения двойных диаграмм состояния систем Ag-Ge, Ag-Tl и Ge-Tl на линиях ликвидуса и солидуса при температурах 651 °C, 291 °C и 304 °C, соответственно (рис.1) образуются точки минимума, которые способствуют образованию тройной эвтектической точки.

На основе данных о строении бинарных систем (рис.1) и поверхностей ликвидуса (рис. 2) при помощи программы «Конструктор фазовых диаграмм» (разработка СКМ ИФМ СО РАН) [5-8] была построена T-x-y диаграмма тройной системы Ge-Ag-Tl (A-B-C) (рис. 3-7) с учетом одной низкотемпературной полиморфной модификации таллия С1.

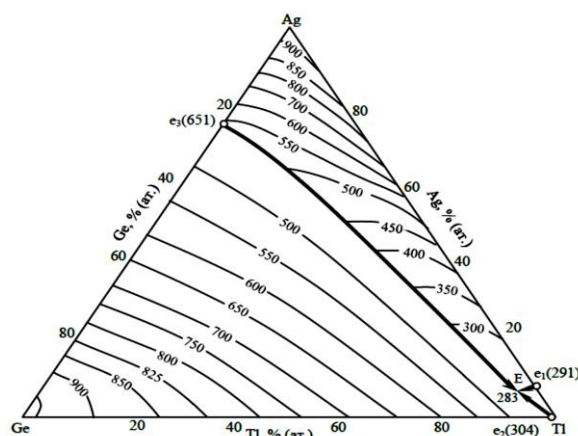


Рисунок 2 – Проекция поверхности ликвидуса тройной системы Ag-Ge-Tl

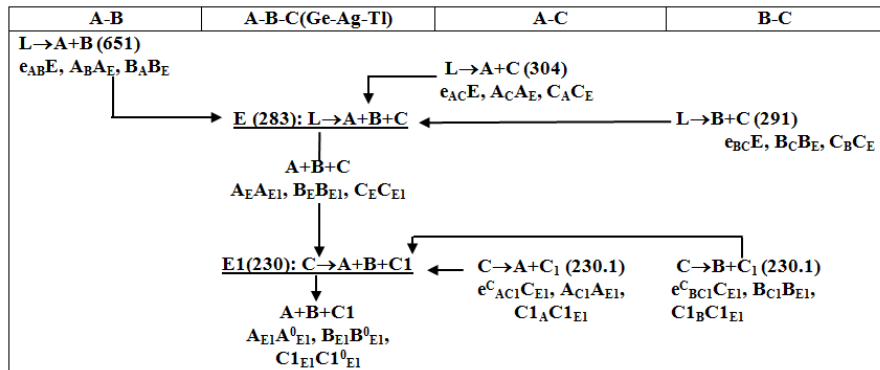


Рисунок 3 – Схема фазовых состояний (модернизированная схема фазовых реакций) с двумя эвтектоидными превращениями в системе Ge-Ag-Tl

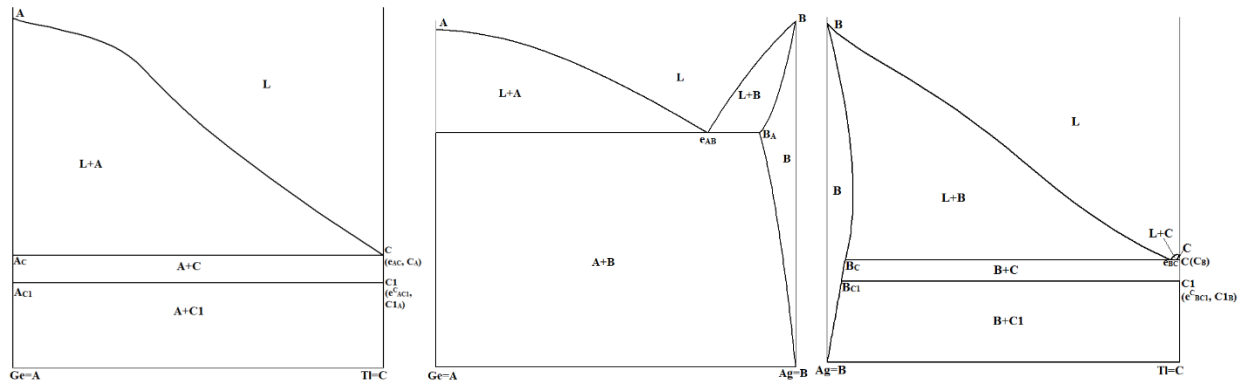


Рисунок 4 – Бинарные ограничения T-x-у диаграммы Ge-Ag-Tl (A-B-C)

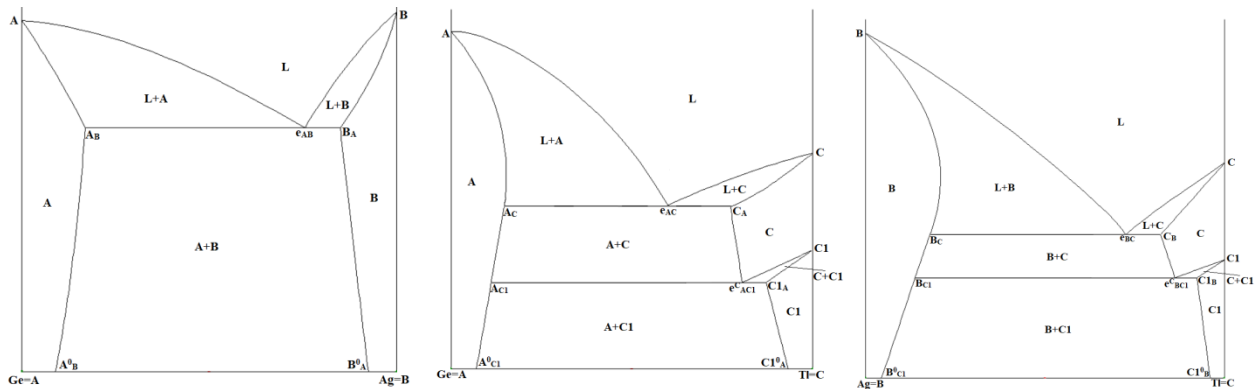


Рисунок 5 – Бинарные прототипы T-x-у диаграммы Ge-Ag-Tl (A-B-C)

### Обсуждение

Можно видеть (рис. 3-5), что аллотропия таллия проявляется в виде двух эвтектоидных реакций  $C \rightarrow A+C1$  в системе с Ge и реакции  $C \rightarrow B+C1$  в системе с Ag. Фазовые области, связанные с полиморфизмом, значительно усложняют строение фазовой диаграммы (рис. 4), а использование прототипа (рис. 5) дает возможность отобразить их более наглядно.

Из-за вырожденности линий солидуса и сольвуса не только компонента C (Tl), на 3D модели реальной системы в точке C также находятся точки  $C_A, C_B, e_{AC}, e_{AC1}$ . В точке  $C1 - C1_A, C_{E1}, e_{BC1}, C1_B, C1_{E1}$ . На x-y проекции диаграммы в точке C -  $C_A, C_B, e_{AC}, e_{AC1}, C1, C1_A, C_{E1}, e_{BC1}, C1_B, C1_{E1}^0, C1_{E1}^0$ .

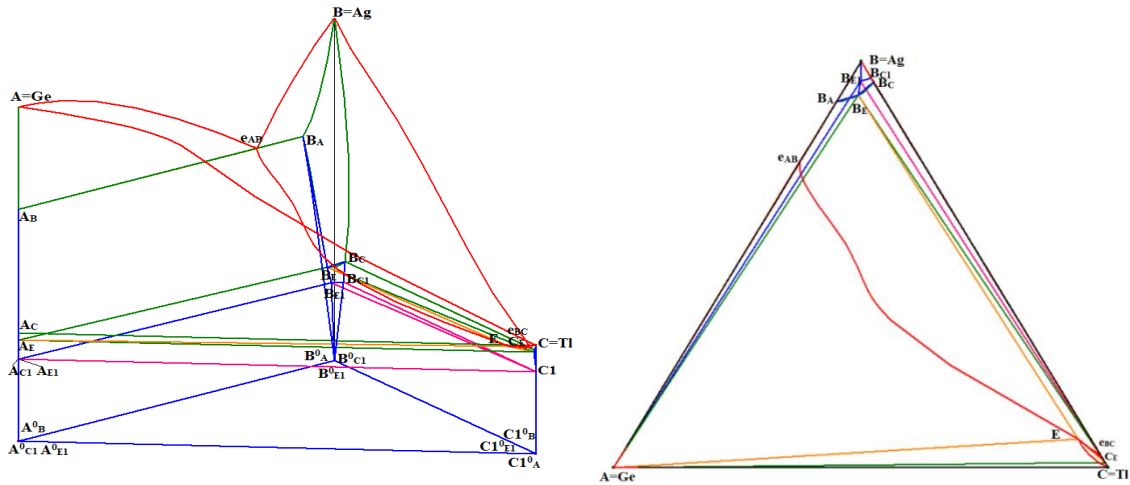


Рисунок 6 – 3D модель  $T$ - $x$ - $y$  диаграммы Ge-Ag-Tl (слева) -  $C$  ( $C_A$ ,  $C_B$ ,  $e_{AC}$ ,  $e_{AC1}$ ),  $C1$  ( $C1_A$ ,  $C_{E1}$ ,  $e_{BC1}^C$ ,  $C1_B$ ,  $C1_{E1}$ ). Ее  $x$ - $y$  проекция (справа) –  $C$  ( $C_A$ ,  $C_B$ ,  $e_{AC}$ ,  $e_{AC1}^C$ ,  $C1$ ,  $C1_A$ ,  $C_{E1}$ ,  $e_{BC1}^C$ ,  $C1_B$ ,  $C1_{E1}$ ,  $C1_A^0$ ,  $C1_{E1}^0$ ,  $C1_B^0$ )

Диаграмма строится по 36 базовым точкам (табл. 2), состоит из 47 поверхностей (табл. 3) [3 ликвидуса, 3 солидуса, 2 трансуса, 21 линейчатая поверхность, 8 горизонтальных симплексов] и 21 фазовой области (4 однофазные области, 3 двухфазные области с расплавом, 6 двухфазных областей без расплава, 3 трехфазные области с расплавом, 4 трехфазные области без расплава).

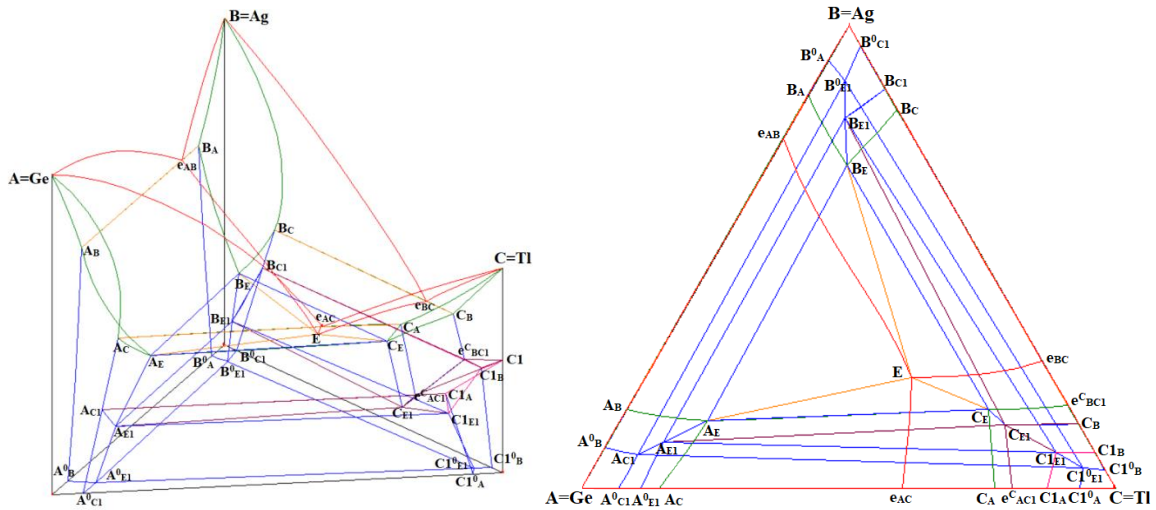


Рисунок 7 – 3D модель прототипа  $T$ - $x$ - $y$  диаграммы Ge-Ag-Tl (слева) и ее  $x$ - $y$  проекция (справа)

Таблица 2 – Координаты базовых точек диаграммы Ge-Ag-Tl

№	Точка	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$T$	№	Точка	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$T$
1	<b>A</b>	1	0	0	938	19	<b>C<sub>E1</sub></b>	0	0	1	230
2	<b>B</b>	0	1	0	961	20	<b>C1</b>	0	0	1	230
3	<b>C</b>	0	0	1	304	21	<b>A<sub>C1</sub></b>	1	0	0	230
4	<b>e<sub>AC</sub></b>	0	0	1	304	22	<b>C1<sub>A</sub></b>	0	0	1	230
5	<b>e<sub>BC</sub></b>	0	0.025	0.975	291	23	<b>B<sub>C1</sub></b>	0	0.959	0.041	230
6	<b>e<sub>AB</sub></b>	0.245	0.755	0	651	24	<b>C1<sub>B</sub></b>	0	0	1	230
7	<b>E</b>	0.025	0.075	0.9	283	25	<b>B<sub>E1</sub></b>	0.025	0.952	0.023	230
8	<b>A<sub>B</sub></b>	1	0	0	651	26	<b>A<sub>E1</sub></b>	1	0	0	230

9	$B_A$	0.1	0.9	0	651	27	$C1_{E1}$	0	0	1	230
10	$A_C$	1	0	0	304	28	$A^0_{E1}$	1	0	0	0
11	$C_A$	0	0	1	304	29	$B^0_{E1}$	0	1	0	0
12	$B_C$	0	0.95	0.05	291	30	$C1^0_{E1}$	0	0	1	0
13	$C_B$	0	0	1	291	31	$C1^0_A$	0	0	1	0
14	$A_E$	1	0	0	283	32	$C1^0_B$	0	0	1	0
15	$B_E$	0.048	0.916	0.036	283	33	$B^0_A$	0	1	0	0
16	$C_E$	0	0.013	0.987	283	34	$B^0_{C1}$	0	1	0	0
17	$e^C_{AC1}$	0	0	1	230	35	$A^0_B$	1	0	0	0
18	$e^C_{BC1}$	0	0	1	230	36	$A^0_{C1}$	1	0	0	0

Для геометрического представления полученной поверхности ликвидуса строили изотермы ликвидуса через каждые 50°C (две линии ликвидуса через 25°C, см. рис. 2). Результаты дифференциально-термического анализа (рис. 8) показали, что кривые охлаждения тройного сплава с образованием двойной и тройной эвтектик, состоящих из числа компонентов системы Ag-Ge-Tl, указывают на проявление двух термических эффектов: выделение первичных кристаллов и тройной эвтектики. Можно видеть (табл. 3), что тройная эвтектика образуется во всех тройных сплавах, кристаллизующихся при температуре 283°C. Природа первичных кристаллов и двойной эвтектики зависит от того, в какой области диаграммы будет находиться концентрационная точка сплава. Сплавы, отвечающие точкам E,  $B_E$  и  $B_{E1}$  состоят из тройных эвтектик. В этой системе это самые легкоплавкие сплавы. Процесс кристаллизации в них начнется при температурах 230 и 283°C с одновременным выделением кристаллов всех трех компонентов.

### Заключение

Практическое применение результатов моделирования свойств тройной системы Ge-Ag-Tl состоит в экономии средств на проведение реальных экспериментов, а также в более качественной визуализации проводимых опытов.

Таким образом, полученные базовые точки сплавов системы Ag-Ge-Tl, среди которых можно видеть координаты легкоплавких сплавов (табл. 2 и 3), необходимы для разработки составов припоев, используемых для пайки серебросодержащих изделий в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица 3 – Поверхности геометрических линий в системе Ge-Ag-Tl

№	Обозначение поверхности	Контур Поверхности	№	Обозначение поверхности	Контур Поверхности
Ликвидус-Солидус					
1	$q_A$	$Ae_{AB}Ee_{AC}$	4	$s_A$	$AA_BA_EA_C$
2	$q_B$	$Be_{AB}Ee_{BC}$	5	$s_B$	$BB_A B_E B_C$
3	$q_C$	$Ce_{AC}Ee_{BC}$	6	$s_C$	$CC_A C_E C_B$
Трансус					
7	$t^a_{C1}$	$C1e^C_{CB1}C_{E1}e^C_{AC1}$	8	$t^s_{C1}$	$C1C1_B C1_{E1}C1_A$
Сольвус					
9	$v_{AB}$	$A_B A_E A_{E1} A^0_{E1} A^0_B$	14	$v_{BC1}$	$B_{C1} B_{E1} B^0_{E1} B^0_{C1}$
10	$v_{AC}$	$A_C A_{C1} A_{E1} A_E$	15	$v_{CA}$	$C_A C_E C_{E1} e^C_{AC1}$
11	$v_{AC1}$	$A_{C1} A_{E1} A^0_{E1} A^0_{C1}$	16	$v_{CB}$	$C_B C_E C_{E1} e^C_{BC1}$
12	$v_{BA}$	$B_A B_E B_{E1} B^0_{E1} B^0_A$	17	$v_{C1A}$	$C1_A C1_{E1} C1^0_{E1} C1^0_A$
13	$v_{BC}$	$B_C B_E B_{E1} B_{C1}$	18	$v_{C1B}$	$C1_B C1_{E1} C1^0_{E1} C1^0_B$
Линейчатые поверхности					
19	$q^r_{AB}$	$A_B A_E Ee_{AB}$	30	$s^r_{AC1}$	$A_{C1} A_{E1} C1_{E1} C1_A$
20	$q^r_{BA}$	$B_A B_E Ee_{AB}$	31	$q^r_{BC1}$	$B_{C1} B_{E1} C_{E1} e^C_{BC1}$
21	$s^r_{AB}$	$B_A B_E A_E A_B$	32	$q^r_{C1B}$	$C1_B C1_{E1} C_{E1} e^C_{BC1}$

Окончание таблицы 3

22	$q_{AC}^r$	$A_C A_E E_e A_C$	33	$s_{BC1}^r$	$B_{C1} B_{E1} C_{1E1} C_{1B}$
23	$q_{CA}^r$	$C_A C_E E_e A_C$	34	$v_{AB}^r (EE1)$	$A_E B_E B_{E1} A_{E1}$
24	$s_{AC}^r$	$A_C A_E C_E C_A$	35	$v_{AC}^r (EE1)$	$A_E C_E C_{E1} A_{E1}$
25	$q_{BC}^r$	$B_C B_E E_e B_C$	36	$v_{BC}^r (EE1)$	$B_E C_E C_{E1} B_{E1}$
26	$q_{CB}^r$	$C_B C_E E_e B_C$	37	$v_{AB}^r (E1^0)$	$A_{E1} B_{E1} B_{E1}^0 A_{E1}^0$
27	$s_{BC}^r$	$C_B C_E B_E B_C$	38	$v_{AC1}^r (E1^0)$	$A_{E1} C_{E1} C_{E1}^0 A_{E1}^0$
28	$q_{AC1}^r$	$A_{C1} A_{E1} C_{E1} e^C A_{C1}$	39	$v_{BC1}^r (E1^0)$	$B_{E1} C_{E1} C_{E1}^0 B_{E1}^0$
29	$q_{C1A}^r$	$C_{1A} C_{1E1} C_{E1} e^C A_{C1}$			
Горизонтальные симплексы					
40	$h_{ABC}^E$	$A_E B_E C_E$	44	$h_{ABC1}^{E1}$	$A_{E1} B_{E1} C_{E1}$
41	$h_{ABE}$	$A_E B_E E$	45	$h_{ABE1}$	$A_{E1} B_{E1} E1$
42	$h_{ACE}$	$A_E C_E E$	46	$h_{ACE1}$	$A_{E1} C_{E1} E1$
43	$h_{BCE}$	$B_E C_E E$	47	$h_{BCE1}$	$B_{E1} C_{E1} E1$

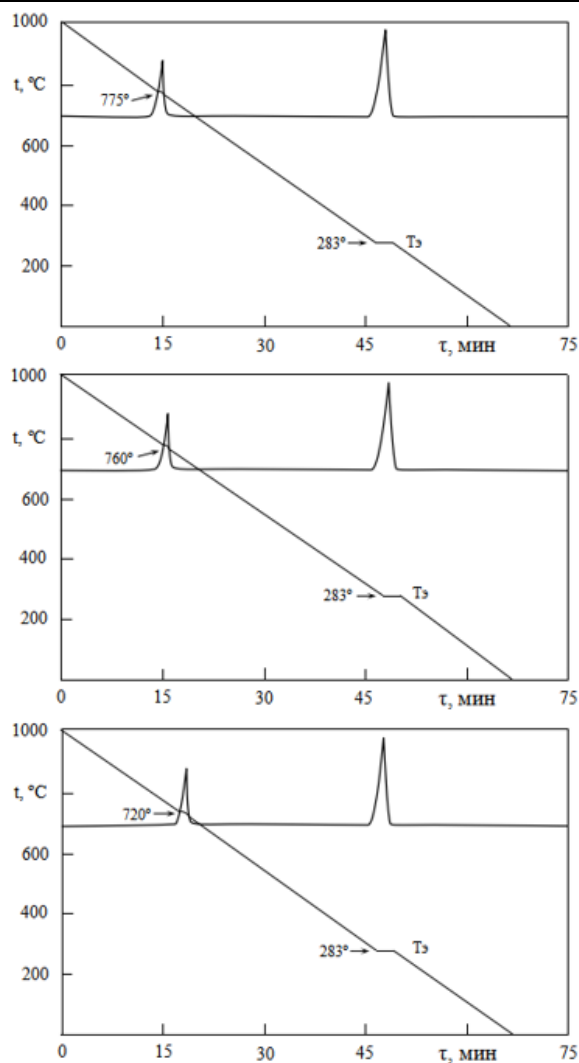


Рисунок 8 – Термограммы для сплавов системы Ag-Ge-Tl: а) с содержанием 50 % ат. Ag, 25 % ат. Ge, 25 % ат. Tl; б) с содержанием 25 % ат. Ag, 50 % ат. Ge, 25 % ат. Tl; в) с содержанием 25 % ат. Ag, 25 % ат. Ge, 50 % ат. Tl

Рецензент: Ш.Ф. Самихзода — д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории обогащения руд Института химии им. В.М. Ниқитина Национальной академии наук Таджикистана.

### Литература

1. Тройной серебряный сплав [Электронный ресурс]. Портал Google patents – Информационная система базы поиска патентов. 2008. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/EA011015B1/ru>.

2. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Под ред. ак. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – Т.1. – 992 с.
3. Новик, Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении / Ф.С. Новик. – Раздел IV. - М.: МИСиС, 1970. – 149 с.
4. Джураев, Т.Д. Построение поверхности ликвидуса Al-Sr-Nd методом симплексных решеток / Т.Д. Джураев, А.В. Вахобов, К.К. Эшонов // Заводская лаборатория, 1975. – Т.41. – №3. – С.335-337.
5. Луцык, В.И. / В.И. Луцык, В.П. Воробьева // Физическая химия, 2015. – Т. 89. – № 10. – С. 1511-1519.
6. Lutsyk, V.I. / V.I. Lutsyk, V.P. Vorob'eva // J. Therm. Anal. Calorim, 2010. – V. 101. – No 1. – P. 25-31.
7. Парфенова, М.Д. Проверка Т-х-у диаграммы Au-Bi-Sb, построенной по результатам термодинамических расчетов / М.Д. Парфенова, В.П. Воробьева, В.И. Луцык // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой общенациональной цели - индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия». Душанбе: ТТУ им.М.С. Осими, 2021. – С. 3.
8. Мирзоева, Б. М. Построение поверхности ликвидуса системы Au-Si-Sb методом симплексного планирования / Б. М. Мирзоева // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 1(61). – С. 94-98. – EDN DSABYV.

**МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS**

TJ	RU	EN
Джураев Тухтасун Джураевич	Джураев Тухтасун Джураевич	Juraev Tukhtasun Juraevich
доктори илмҳои химия, профессор	доктор химических наук, профессор	doctor of chemical sciences, professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:mcm45@mail.ru">mcm45@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Нимонов Ривож Амирович	Нимонов Ривож Амирович	Nimonov Rivog Amirovich
номзади илмҳои техникӣ	кандидат технических наук	candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:mcm45@mail.ru">mcm45@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Лутсык Василий Иванович	Луцык Василий Иванович	Lutsyk Vasily Ivanovich
доктори илмҳои химия, профессор	доктор химических наук, профессор	doctor of chemical sciences, professor
Институти маводшиносии физикавии Шуъбаи Сибири Академияи Россия	Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии	Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
E-mail: <a href="mailto:vluts@pres.bscnet.ru">vluts@pres.bscnet.ru</a>		
TJ	RU	EN
Зеленая Анна Эдуардовна	Зеленая Анна Эдуардовна	Zelenaya Anna Eduardovna
номзади илмҳои физикаю математика	кандидат физико-математических наук	candidate of physical and mathematical sciences
Институти маводшиносии физикавии Шуъбаи Сибири Академияи Россия	Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии	Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
E-mail: <a href="mailto:vluts@pres.bscnet.ru">vluts@pres.bscnet.ru</a>		
TJ	RU	EN
Парфенова Мария Дмитриевна	Парфенова Мария Дмитриевна	Parfenova Maria Dmitrievna
аспирант	аспирант	graduate student
Институти маводшиносии физикавии Шуъбаи Сибири Академияи Россия	Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии	Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
E-mail: <a href="mailto:vluts@pres.bscnet.ru">vluts@pres.bscnet.ru</a>		