

Шабданова Э.А.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СУРЬМЫ И ОТДЕЛЬНЫХ ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ

E.A. Shabdanova

THERMODYNAMIC PARAMETERS OF ANTIMONY AND ITS SEPARATE CONNECTIONS

УДК:544.32:546.86(575.2)(04)

В работе рассмотрены отдельные термодинамические характеристики сурьмы и ее соединений.

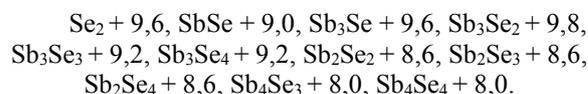
In work separate thermodynamic characteristics of antimony and its connections are considered.

В работе [1] отмечено, что в настоящее время объектами современных экспериментальных и теоретических научных исследований в области химии сурьмы и редких металлов становятся гетерогенные системы, включающие одновременно газовые, жидкие и твердые компоненты все более усложненной фазовой структурой. Многообразие возникающих при этом задач отражается в направлении развития термодинамических методов исследования, среди которых в настоящее время доминируют расчеты, основанные на минимизации энергии Гиббса и при максимуме энтропии системы. Здесь следует отметить, что строгий термодинамический анализ равновесных свойств сложных многокомпонентных гетерогенных систем требует значительной и точной исходной информации об их свойствах. Результаты расчетов, основанных на модельных представлениях, эмпирических закономерностях дают конкретные численные значения термодинамических величин для отдельных типов систем, что, безусловно, весьма важно для экспериментальных исследований. Поэтому актуальность исследований, основанных на строгом термодинамическом подходе, определяется, в первую очередь, их фундаментальным характером, возможностью развития на их базе термодинамической теории и новых расчетных методов. В связи с изложенным выше в настоящей работе проанализированы термодинамические аспекты сурьмы и сурьмосодержащих материалов по литературным данным, и по результатам этих работ составлен широкий обзор литературы.

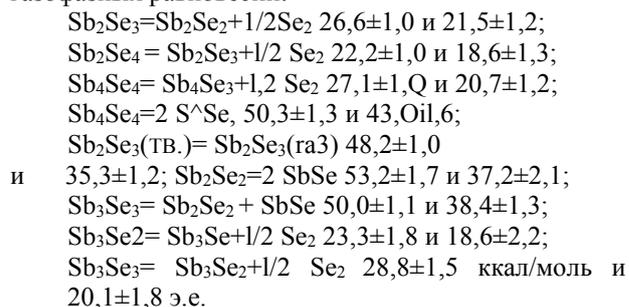
В работе [2] термодинамические свойства  $Sb_2O_3$  и  $Bi_2O_3$  определены с использованием гальванических цепей с ионным электролитом (ТЭ)  $ZrO_2 + 7\text{мол.}\% Y_2O_3$  типа Pt, воздух/ТЭ/М,  $M_2O_3/W$ , Pt, где М=Sb или Bi в интервале 1073-1223 К. Электрохимические ячейки выдерживались при 1123 К несколько часов до достижения воспроизводимых значений э.д.с. Измерения проводились при понижении температуры с шагом в 50 до 1073 К. Стандартная свободные энергии Гиббса выражены уравнениями (ккал/моль)  $AG(\text{обр.}, Sb_2O_3) = (-109,1 + 0,020T) \pm 0,4$  и  $AG(\text{обр.}, Bi_2O_3) = (-99,3 + 0,031T) \pm 0,4$ . Активность кислорода в жидких  $Sb_2O_3$  и  $Bi_2O_3$  определена методом кулонометрического титрования. Приве-

дены значения коэффициента активности и уравнения растворимости кислорода  $s(O)$  в жидких металлах:  $s(\text{в Sb}) = 0,0367 \exp[(-12,60 \pm 0,68) \text{ ккал}/RT]$  и  $s(\text{в Bi}) = 0,2981 \exp[(16,39 \pm 0,66) \text{ ккал}/RT]$ .

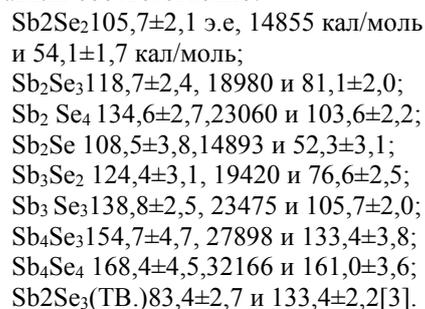
В интервале температур 765-885 К масс-спектро-метрическим методом изучено испарение  $Sb_2Se_3$  в эффузионной графитовой ячейке. При 833 К появления основных ионов (эВ) составили:



Из анализа констант равновесия по второму закону при 825 К рассчитаны ДН ккал/моль и AS э.е. газофазных равновесий:



С использованием спектроскопических литератур и оценочных данных по третьему закону для газов  $Se_2$  и  $SbSe$  рассчитаны соответственно  $S^{\circ}_{298,15} 59,10$  и  $54,71$  э.е.,  $S^{\circ}_{825} 68,94$  и  $71,46$  э.е.,  $H^{\circ}_{298,15} - H^{\circ}_0 2491$  и  $2321$  кал/моль,  $H^{\circ}_{825} - H^{\circ}_0 7548$  и  $6979$  кал/моль. Результаты использованы для расчета стандартных энтропий  $S^{\circ}_{825}$ , энтальпий  $H^{\circ}_{825} - H^{\circ}_0$  и теплот диссоциации  $A H^{\circ}_0$  (т, п) процесса  $Sb_mSe_n(\text{газ.}) = mSbSe(\text{газ.}) + (n-t)/2 Se_2(\text{газ.})$ , которые составили соответственно:



Выполнены расчеты энтальпий образования жидких сплавов Sn-Zn-Sb при 650°C. При этом максимальное абсолютные значения параметров ближнего порядка в системах Sn-Zn и Sn-Sb равны 0,21 и 0,17, а в системе Zn-Sb составляет 0,47 [4].

В работе [5] калориметрически определены эн-

тальпии взаимодействия кристаллической  $(C_6H_5)_3P$  (I),  $(C_6H_5)_3AS$  (II) и  $(C_6H_5)_3Sb$  (III) с гидроперекисью трет-бутила (IV), растворенной в бензоле, при 298,15 К. Рассчитаны энтальпии образования твердых окисей типа  $Pb_3EO$  ( $E=P, As, Sb$ ), которые составили  $-82,4 \pm 17$ ;  $+98,7 \pm 17$  и  $+135,4 \pm 17$  кДж/моль, а также энергии связей Э-О, равные  $556 \pm 25$ ;  $443 \pm 25$  и  $440 \pm 25$  кДж/моль соответственно.

Проведен термодинамический расчет фазовых равновесий в системе In-P-As-Sb. Методом ДТА определены температуры ликвидуса ряда сплавов в системе In-P-As-Sb в интервале температур 500-600°, установлены составы равновесных жидких и твердых фаз [6].

Методами физико-химического анализа исследована часть системы  $Sb_2Se_3$ -CdS, богатая CdS; обнаружена широкая область гомогенности на основе CdS, доходящая до 7,0% молей. Изучены термо-э.д.с., электропроводность и теплопроводность сплавов, содержащих 0,5; 1,0; 3,0 и 5,0% молей  $Sb_2Se_3$ , в широком интервале температур от комнатной до 700 К [7].

В работе [8] построена диаграмма состояния системы YbTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. Установлено, что разрез YbTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> является квазибинарным сечением тройной системы Yb-Sb-Te. В системе YbTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> обнаружены две новые фазы состава YbSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> и YbSb<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> и ограниченная область твердых растворов на основе Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. Установлено, что фазы состава YbSb<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> и YbSb<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> кристаллизуются в кубической сингонии в структуре типа Th<sub>3</sub>P<sub>4</sub>.

В работе [9] колориметрически определены энтальпии реакции присоединения лигандов к  $SbCl_5$  с образованием крист. аддуктов (1:1)  $SbCl_5$ -L, где L-о-, м-, п-изомеры ацетофенона, диарил-, диарилвинилкетоны, производные бензамиды.

Методом изотермической растворимости изучены системы  $SbCl_3$ -THoCeM икарбазид (ТСК)-(HC1+H<sub>2</sub>O) и  $SbCl_3$ - (ТСК)- N.N-диметилформамид (ДМФА). В системах кристаллизуются соединения:  $2SbCl_3$ -ТСК (2:1),  $SbCl_3$ -2ТСК (1: 2) и  $2SbCl_3$ -3ТСК (2:3). Выделенные соединения изучены методами химического, рентгенофазового, ИК-спектроскопического и кондуктометрического анализа [10].

Измерены э.д.с. концентрации ячеек Си (тв) / [(0,49 KCl+0,51 NaCl)+0,05 CuCl] (расплав) / Cu-Sb-Te или Cu-Bi-Te (расплав) для 20 расплавов Cu-Sb-Te по разрезам  $X_{Sb}$ :  $X_{Te}=4:1, 3:2, 2:3$  и  $1:4$  в области температур 973-1093 К и для 11 расплавов Cu-Bi-TE по аналогичным разрезам  $X_{Bi}$  в т-ном интервале 963-1103 К в области  $X_{Si}$  0,05-0,40 [11].

По результатам измерений э.д.с. концентраций цепей в In/In Cl, KCl-iCl/ (In-Pb-Sb) в и термодинамического анализа ликвидуса систем In-Sb, Pb-Sb и Pb-InSb рассчитаны термодинамические функции смешения и поверхность ликвидуса системы In-Pb-Sb [12].

В работе [13] на основании измерений э.д.с. гальванических ячеек типа  $Cu_{(s)}$ /глицерин + KCl + CuCl/(Cu-Sb-Se)(s) в интервале температур 300-430 К, а также данных ДТА и РФА установлено наличие

в системе Cu-Sb-Se трех соединений  $CuSbSe_2$  (I),  $Cu_3SbSe_4$  (II) и  $Cu_3SbSe_3$  (III), область гомогенности которых не превышает 0,5 мол. %.

Стандартные значения  $-A_f H^\circ$  и  $A_f S^\circ$  образования при 298 К составили:

I  $105,3 \pm 4,7$  кДж/моль и  $12,2 \pm 7,5$  Дж/ моль-К;

II  $173,9 \pm 9,6$  и  $-1,3 \pm 16,5$ ; III  $165,1 \pm 8,8$  и  $20,5 \pm 16,3$ .

С помощью ДТА изучены области термической стабильности соединений SrOCl (I),  $Sb_2O_2Be_2$  (II),  $Sb_2O_3J_2$  (III),  $Sb_4S_5Cl_2$  (IV),  $SISBr$  (V),  $SbSJ$  (VI),  $BiOCl$ ,  $BiOBr$ ,  $BiOJ$ ,  $BiSCl$ ,  $BiSBr$ ,  $BiSJ$  с целью оптимизации условий синтеза по транспортной реакции. В инертной атмосфере I разлагается при 110°. Sb-S-галогенид менее стабилен, чем Sb-O-галогенид. Из ряда Sb-O- галогенид существует только I.  $SbSCl$  также не существует, а VI стабильнее V. Механизм разложения везде одинаков.

В окислительной среде I-VI нестабильны. Относительно нестабильны I, IV и V. Конечный продукт их разложения всегда  $Sb_2O_4$  [14].

Методами ДТА, рентгенофазового, микроструктурного анализов изучено взаимодействие в тройной системе Cd-Sb-Se. Проведена триангуляция системы. Разрезы  $CdSe$ - $Sb_2Se_3$ ,  $CdSe$ - $CdSb$ ,  $CdSe$ - $Sb$ -квазибинарны. Тройные соединения в системе не образуются. Найдено, что сурьма является электроактивной добавкой в  $CdSe$ . Легирование сурьмой приводит к появлению новых полос в спектрах фотолюминесценции  $CdSe$  [15].

В работе [16] изучено взаимодействие насыщенных расплавов системы Ga-Ai-Sb с монокристаллическими подложками GaSb и  $Ga_{1-x}Al_xSb$  в зависимости от содержания Al в жидкой фазе в интервале 0-12 ат. % при 552°С.

В работе [17] исследовано влияние структурных соотношений между компонентами квазибинарных систем, не имеющих промежуточных соединений, на вид фазовых диаграмм состояния. Соединения  $Ti_3SbS_3$  и  $Ti_3AsS_3$ , имеющие много общего в структурном и химическом отношении, образуют непрерывный ряд твердых растворов. Евтектика плавится при 280° и соответствуют по составу 90 масс. %  $TiAsS_2$ . Растворимость  $TiSbS_2$  и  $TiAsS_2$  пренебрежительно мала.

Методами термического, рентгеноструктурного и микроструктурного анализов исследованы: GaSe -  $Sb_2Se_3$  и GaSe - Sb тройной системы Ga - Se - Sb.

Построены диаграммы состояния разрезов  $GaSe$ - $Sb_2Se_3$  и  $GaSe$ -Sb. Твердые растворы, образующиеся в системе  $GaSe$ - $Sb_2Se_3$  при комнатной температуре содержат не более 2,5 мол. %  $Sb_2Se_3$  со стороны GaSe и не более 5 мол. % GaSe со стороны  $Sb_2Se_3$ . Разрез  $GaSe$ -Sb эвтектического типа, эвтектика содержит 96,5 ат. %  $Sb_4$  плавится при 853 К. В системах  $GaSe$ - $Sb_2Se_3$  и  $GaSe$ -Sb существуют области несмешиваемости в жидком состоянии [18].

Теплоты растворения АН интерметаллических соединений GaSb, InSb и AlSb-Sn в жидком олове измерены в высокотемпературном калориметре при

1058 К GaSb, 815, 875 и 944 К InSb и 1345 К AlSb-Sn. Концентрационная зависимость ДН от состава положительна во всей области составов для расплава InSb при 815 К и для расплава AlSb-Sn, но меняет знак в расплавах InSb при 875 и 944 К, а также в расплаве GaSb при ~ 20 мол.% Sn [19].

Методом низкотемпературной адиабатической калориметрии с погрешностью, не превышающей 0,2%, измерена теплоемкость сурьмы и трех сплавов системы висмут-сурьма с содержанием висмута 20, 50 и 80 ат.% в интервале температур 45-350К. При температуре 298,15 К теплоемкость  $C_p$  (кал/г-атом-К), изменение энтальпии  $H_T$ -Но (кал/г-атом) и энтропии  $St$ -So (кал/г-атом-К) равны для сурьмы: 6,047±0,012; 1392±3; 10,79±0,04; для сплава 20Bi-80Sb: 6,105±0,012; 1427±3; 11,37±0,04; для сплава 50Bi-50Sb: 6,165±0,012; 1472±4; 12,21 ±0,05; для сплава 80Bi-20Sb: 6,222±0,012; 1515±4; 13,02±0,05 [20].

В работе [21] выполнен термодинамический анализ некоторых составов системы  $SnO_2$ - $Fe_2O_3$ - $In_2O_3$ - $Sb_2O_3$ - $Cl_2$ - $SO_2$  вариационным методом. В программу были заложены данные для 70 известных из справочной литературы соединений системы Sn-Fe-In-Sb-O-Cl-S. Установлено, что добавление к исходной диоксида олова окислов индия или сурьмы снижает термодинамическую вероятность хлоридовозгонки олова, добавление окиси железа увеличивает термодинамическую вероятность хлоридовозгонки олова. Показана принципиальная возможность разделения окислов олова, железа, индия и сурьмы в процессе хлоридовозгонки в присутствии сернистого газа.

Использование метода э.д.с. в экспериментальной термодинамике невозможно для систем с существенным взаимодействием между электродами и электролитом. Он непригоден для изучения металлических систем, компоненты которых близки по электрохимическим свойствам, а также к сильно разбавленным растворам потенциалообразующего компонента. Для образования CdSb при 293 К получено  $\Delta G = -3,56 \pm 0,14$ ,  $\Delta H^\circ = -4,94 \pm 0,92$  ккал/моль и  $\Delta S = 4,7 \pm 2,9$  э.е. [22].

Постоянный интерес к комплексам Меншуткина (молекулярные соединения  $SbCl_3$  с ареном) обусловлен их высокой стабильностью в твердом состоянии (особенно для составов 2:1) и каталитической активностью  $SbCl_3$  в реакции Фриделя-Крафтса. По результатам измерений для образования твердого  $2SbCl_3 \cdot C_6H_6$  из жидких компонентов приняты средние значения  $\Delta H^\circ = -55,4$  кДж/моль и  $\Delta S^\circ = -138,9$  Дж/моль-К. Полученное значение  $\Delta G^\circ_{пл.} = 45,1$  кДж/моль дает явно завышенную величину энтропии плавления (128 Дж/моль-К), что связано со значительным разложением  $2SbCl_3 \cdot C_6H_6$  в температуре плавления 79°C [23].

В работе [24] изучены термоэлектрические свойства сплавов по разрезу  $Sb_2Te_3$ - $Bi_2Te_2Se$  при 300К, определен состав, термоэлектрическая эффективность которого равна  $(3,0-3,1) \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>. Предполагается, что в  $Sb_2Te_3$  и в твердых растворах до

$(Sb_2Te_3)_{0,8} + (Bi_2Te_2Se)_{0,3}$  имеет место неупругое рассеяние носителей тока.

Приводится методика синтеза сплавов в системе  $RbSbTe_2$ - $Sb_2Te_3$ . Исследована зависимость электропроводности, коэффициента термо-э.д.с. и термической энергии активации от состава сплавов. Изучены некоторые электрофизические свойства соединений  $RbSbTe_2$  [25].

Исследования системы  $Na_3SbS_3$ - $NaS \cdot H_2O$  и  $Na_3SbS_4$ - $NaS \cdot H_2O$  проведены методом изотермической растворимости при температурах 25, 50, 75, 90° С. Определение состава твердых фаз по методу остатков Скрейнемакера, изучение донной фазы с применением рентгеноструктурного, ИКС, химических методов анализа показали наличие безводной тиосоли сурьмы и двойных гидратированных солей. Повышение температуры и концентрации сернистого натрия в системе способствуют увеличению в твердой фазе выделения безводной тиосоли сурьмы [26].

При 77 К исследованы мессбауэровские спектры  $^{121}Sb$  образцов смешанных оксидов типа  $Sn_{1-x}Sb_xO_2$  ( $x=0,02-0,65$ ), полученных путем совместного осаждения безводного  $SnCl_4$  и  $SbCl_5$  в растворе  $NH_4OH$  и последующей дегидратации осадков в течение различного времени. Отмечается, что образцы с  $x > 0,20$  содержат одновременно  $Sb(5+)$  и  $Sb(3+)$ , тогда как при  $x < 0,20$  в них присутствует только  $Sb(5+)$ . Обсуждается зависимость соотношения содержаний  $Sb(3+)$  и  $Sb(5+)$  от условий приготовления образцов. Возможно, что этот механизм связан с восстановлением  $Sb(5+)$  и  $Sb(3+)$  [27].

В интервале температур 80-300 К и магнитных полях до 1,2 Тл на монокристаллах висмута и сплавов висмут-сурьма, содержащих до 17 ат.% сурьмы проведены систематические исследования термоэлектрические и магнитотермоэлектрических добротностей. Найдено, что максимальная термоэлектрическая добротность имеет сплав  $Bi_{1-x}Sb_x$ . При температуре 100 К ZT этого сплава равняется 0,62. Показано, что максимальное увеличение термоэлектрической электропроводности в магнитном поле наблюдается на сплавах  $Bi_{1-x}Sb_x$  и  $Bi_{1-x}Sb_x$  [28].

Методами ДТА и рентгенофазового анализа изучена система  $Sb_2O_3$ - $SbF_3$ . В системе обнаружены соединения  $Sb_2O_2F_5$ ,  $SbOF$  и  $Sb_3O_4F$ . Т.пл. (инконгруэнтного) соединений составляют соответственно 270, 300, 385° С.  $SbF_3$  и  $Sb_3O_4$  образуют эвтектику (состав 13 мол.%  $Sb_2O_4$ , т.пл. 230°C) [57].

Методом рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и исследования ИА и ИД азота изучен состав, строение кристаллов и размер частиц сульфида сурьмы (3+), осажденного сероводородом и  $Na_2S$  при различных pH, температурах, концентрациях и временах старения из растворов и хлорида  $Sb$  и тартрата  $KSb$  [29].

Нагревание образца антимонина кадмия в области температур выше температура плавления не сопровождается тепловым эффектом на кривых ДТА и ДСК. Однако в условиях, способствующих испарению кадмия из твердой фазы, может

образоваться достаточное количество эффе́ктической смеси  $\text{CdSb}+\text{Sb}$ , обуславливающей появление эффекта сурьмы в термограммах при температуре ниже точки плавления кристаллов  $\text{CdSb}$ . Температура плавления  $\text{CdSb}$ , определенная в адиабатическом калориметре в равновесных условиях, равна  $(730,7\pm 0,1)$  К. Величина и ход температурной зависимости теплоемкости расплава антимонида кадмия в области температур, близких к точке плавления, свидетельствуют о происходящей в расплаве структурной перестройке [30].

В работе [31] в интервале температур 1055-1127 К масс-спектрометрическим методом определены константы газовых равновесий  $\text{TlSb(I)}=\text{Tl}+1/2\text{Sb}_2$  и  $\text{TlSb}_2(\text{II})=\text{Tl}+\text{Sb}_2$ , устанавливавшихся при эффузионном испарении системы  $\text{Tl-Sb}$ .

Найдены  $\Delta H^\circ_0 = 6,2\pm 0,6$  и  $22,1\pm 0,3$  ккал/моль. Рассчитанные отсюда значения  $D^\circ_0$  и  $\Delta H^\circ_0$  (обр.) составили соотв.:

газ. I  $29,4\pm 2,5$  и  $77,1\pm 3,5$  ккал/моль, газ. II  $93,3\pm 3,0$  и  $76,4\pm 5,9$  ккал/моль.

В микрокалориметре измерены температуры и энтальпии плавления  $\text{SbCl}_3$  (I),  $\text{SbBr}_3$  и  $\text{SbI}_3$ . Значения температур плавления 73, 97 и  $171^\circ\text{C}$  хорошо согласуются с литературными данными,  $\Delta H_{\text{пл}}$  с точностью 0,3% найдено 15,75; 15,88 и 22,70 кДж/моль соответственно. Рассчитаны термодинамические параметры сублимации твердой I в интервале 273-346 К:  $\Delta H = 75403 + 23,62 T - 89,5 \cdot 10^{-3} T^2$  Дж/моль,  $\Delta S = 88,66 - 0,179 T + 23,62 \ln T$  Дж/моль·К,  $AG = 74403 - 65,04 T + 89,5 \cdot 19^{-3} T^2 - 23,62 T \ln T$  Дж/моль и  $\ln p$  (бар)  $= -9069/T + 7,823 - 10,76 \cdot 10^{-3} T + 2,84 \ln T$  [32].

Для выяснения причин отклонения вольт-амперных характеристик варистора  $\text{ZnO-Sb}_2\text{O}_3$  от закона Ома проведено рентгеноэлектронное изучение  $\text{Pb}$  варистора. При  $500^\circ\text{C}$  обнаружено начало роста интенсивности сигнала  $8\text{B}_{3\text{I}}?$ -линии, что интерпретировано как миграция  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  к границам зерен  $\text{ZnO}$ , сопровождающейся ростом сопротивления. При температурах свыше  $900^\circ\text{C}$  наблюдается образование шпинели  $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$ . Этот вывод сделан на основе сдвига  $\text{Sb}3d$  - линии и рентгеноструктурных исследований [33].

Методами ДТА и рентгенофазового анализов изучены системы  $\text{Sb}_2\text{O}_3 - \text{SbCl}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3 - \text{SbBr}_3$  и построены их диаграммы плавкости. Установлено существование оксигалогенидов составов:  $\text{SbOCl}$ , плавящееся инконгруэнтно при  $280\pm 5^\circ\text{C}$ ,  $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ ,  $\text{Sb}_8\text{O}_{11}\text{Cl}_2$ ,  $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Br}_2$ ,  $\text{Sb}_8\text{O}_{11}\text{Br}_2$ , плавящиеся конгруэнтно при 595, 585, 610, 635 ( $\pm 5$ ) $^\circ\text{C}$  соответственно.

В работе [35] для определения энергий Гиббса ( $\Delta G_f^\circ$ ) и энтальпий ( $\Delta H_f^\circ$ ) образования соединений хрома с р-элементами IV-VI (C, Si, Ge, Sb, Te) использован метод измерения э.д.с. концентрации элементов вида (-),  $\text{Cr}(\text{Li, Na, K})\text{Cl}+\text{CrCl}_2/\text{Cr}_x\text{Zi}_x$ . Величины -  $AG_f^\circ$  и -  $\Delta H_f^\circ$  составили соответственно:  $\text{CrSb}_2$   $1,70\pm 0,01$  и  $0,31\pm 0,2$   $\text{CrSb}_2$ ,  $2,08\pm 0,01$  и  $-0,69\pm 0,2$  при 850 К; Указано, что магнитная составляющая в значительной мере определяет энтропии образования германидов, антимонидов и теллуридов хрома.

В интервале температур 880-1030К сочетанием

эффузионного метода Кнудсена с масс-спектроскопических регистраций измерены константы равновесия газовых реакций  $\text{Sb}+\text{Pb}=\text{SbPb}$  (1) и  $\text{Sb}_2+\text{Pb}=\text{SbPb}+\text{Sb}$ . Усредненное из данных 2-го и 3-го закона значение  $H_0^\circ$  составило  $-154,9\pm 10,4$  для (1) и  $136,4\pm 10,8$  для (2). Окончательная рекомендация авторов составила  $157,6\pm 10,6$  кДж/моль [36].

Методами физико-химического анализа изучено химическое взаимодействие в системе  $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{GaTe}$  и построена ее диаграмма состояния. В системе образуются широкие области  $\alpha$  и  $\beta$  - твердых растворов на основе  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  и  $\text{GaTe}$ , доходящие до 8,5 и 5,0 мол.% соответственно. В системе происходит обменная реакция:



В работе [38] проведены качественный и количественный эксперименты по химическому транспорту сурьмы с использованием различных агентоносителей. Исследовалась сублимация  $\text{Sb}$  в присутствии  $\text{N}_2$ . Показано, что качественные эксперименты по химическому транспорту сурьмы с  $\text{SbCl}_3$  или  $\text{H}_2\text{O}$  (при  $773 \rightarrow 673$  К) и  $\text{HCl}$  (при  $673 \rightarrow 773$  К) в согласии с результатами термодинамических расчетов приводят к осаждению небольших кристаллов  $\text{Sb}$ . Обсуждено использование  $\text{Al}_2\text{Cl}_6(\text{AlCl}_3)$  в качестве агента-носителя. В количественных экспериментах с использованием  $\text{GaCl}_3/\text{Ga}_2\text{Cl}_6$  в качестве агента-носителя наблюдаемое количество переносимой  $\text{Sb}$  было больше, чем количество, рассчитанное термодинамически для одной только диффузии в газовом объеме.

Установлены диаграммы состояния систем  $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{FeSe}$  и  $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{NiSe}$ . Установлено образование тройных соединений состава  $\text{FeSb}_2\text{Fe}_4$ ,  $2\text{FeSe-Sb}_2\text{Se}_3$  [39].

Методом изотермической растворимости с установлением состава твердых фаз по Скрейнмакерсу изучены системы  $\text{CH}_3\text{COOH-SbF}_3\text{-NaF}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH-SbF}_3\text{-RbF}$  при  $25^\circ$ . Установлено существование комплексных соединений  $\text{Sb}^{3+}$  состава  $\text{Na}_2\text{SbF}_5$ ,  $\text{Rb}_2\text{SbF}_5$ ,  $\text{RbSb}_2\text{F}_7$ . Индивидуальность полученных соединений подтверждена данными химического и рентгенофазового анализов [40].

В диапазоне температур 4,2-300К методами измерения электросопротивления исследовано внедрения  $\text{SbF}_5$  первой ступени в высокоориентированной пиролитический графит. Предложена структура слоя внедрения для первой ступени, где расстояние между ионизированными группами ( $\text{SbF}_5^-$ ) составляет 23, а расстояние между нейтральными молекулами ( $\text{SbF}_5$ ) 5,7 А [41].

В работе [42] измерена теплоемкость висмута, сурьмы и сплавов  $\text{Bi-Sb}$  с содержанием 89; 80; 60; 50; 40 и 20% ат.  $\text{Bi}$  в интервале температур от 350 К до температур, близких к солидусу.

В работе [43] измерены э.д.с. гальванических элементов (-)  $\text{PuBi}_2+\text{Bi}$  (жидк) |  $\text{KCl-UCl}_2+1$  мол.%  $\text{PuCl}|\text{PuSb}_2+\text{Sb}$  (тв.)(+) в интервале температур 808-950 К. На основании экспериментальных данных определены  $\Delta H_{\text{ри}}$  и  $\Delta S_{\text{ри}}$  для реакции  $\alpha\text{-Pu}$  (тв.) +

$2\text{Sb}(m) \rightarrow \text{PuSb}_2$  (тв.),

равные соответственно  $-275, \pm 5,0$  кДж/г-ат и  $-72,8 \pm 8,0$  Дж/г-ат-град.

Величины коэффициент активности ( $f$ ) бензола (I) и энтальпий смещения ( $\Delta H_M$ ) компонентов в жидкой системе  $1 + \text{SbCl}_3$  (II) использованы для расчета термодинамических параметров образования молекулярных комплексов Меншуткина состава I II и 1·211. Рассчитаны энтальпии и энергии Гиббса образования MI ( $-23,5$  и  $1,05$  кДж/моль) и I·2II ( $-23,5$  и  $0,65$  кДж/моль) при  $350$  К. Равенство энтальпий образования комплексов объяснено неизменным вкладом ароматического кольца I в энергетику образования комплексов с различной стехиометрией [44].

С целью выявления природы фазовых превращений исследованы монокристаллы, выращенные в насыщенном водном растворе в процессе постепенного снижения температуры. Показано, что центральный атом F в комплексе  $[\text{SbF}_5]^{2-}$  по отношению к экваториальным атомам находится в высокоионизированном состоянии, указывая на значительные химические различия лигандов в комплексе. При температуре  $168$  К зафиксировано фазовые превращение, обусловленное переориентацией смещением групп  $\text{NH}_4^{1+}$  и  $[\text{SbF}_5]^{2-}$  [45].

В работе [46] проведены синтез, рентгенофазовый анализ и измерения диэлектрические свойства керамических образцов системы  $\text{SbNbO}_4\text{-TiO}_2$ . Установлено существование твердых растворов на основе  $\text{SbNbO}_4$  до  $\sim 25$  моль, % TiO. Показано возможность получения по керамической технологии соединения  $\text{SbTiNbO}_6$  при  $583$  К.

В работе [47] методом низкотемпературной адиабатической калориметрии измерена теплоемкость ( $C_p$ ) висмута (I), сурьмы (II), сплавов системы I-II с содержанием 11 (III), 20 (IV), 50 (V) и 80 ат.%. (VI) сурьмы в интервале температур  $45\text{-}350$  К. На основании сглаженных значений  $C_p$  рассчитаны термодинамические функции сплавов. При  $298,15$  К  $C_p$  (Дж/г-ат-К), Нг-Но (Дж/г-ат).  $6468 \pm 17$ ;  $56,82 \pm 0,18$ ; II  $25,30 \pm 0,05$ ;  $5824 \pm 13$ ;  $45,15 \pm 0,17$ ; III  $26,15 \pm 0,05$ ;  $6400 \pm 18$ ;  $55,55 \pm 0,31$ ; IV  $26,03 \pm 0,05$ ;  $6339 \pm 18$   $54,48 \pm 0,30$ ; V  $25,79 \pm 0,05$ ;  $6159 \pm 18$ ;  $51,09 \pm 0,27$ ; VI  $25,54 \pm 0,05$ ;  $5971 \pm 16$ ;  $47,57 \pm 0,25$ .

Измерена константа равновесия  $\text{CeSb}$  (тв.) = Co (газ.) + Bb (газ.) (1), откуда  $\Delta G = 755490 - 131 T$  Дж/моль.  $\Delta H^0$  ( $298$ , обр.,  $\text{CeSb}$ , тв.) составила  $-234 \pm 25$  кДж/моль (2-й закон) и  $-258 \pm 12$  кДж/моль (3-й закон). Предпочтенье отдано величине  $-25 \pm 12$  кДж/моль [48].

Теплоемкость  $C_p$  селенотелурида  $\text{SbSj}$  (монокристалл). I) измерена методом дифференциальной сканирующей калориметрии в интервале от  $230$  до  $400$  К (прибор ДСК-2, скорость нагрева  $5$  град/мин). I получен выращиванием из расплава и из газовой фазы [49].

Методами рентгенофазового и дифференциального термических анализов изучена система  $\text{SbF}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$ . Построена фазовая диаграмма системы. В системе образуются соединения  $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{P}_5$ ,  $\text{SbOF}$ ,  $\text{Sb}_3\text{O}_4\text{F}$ . температуры их инконгруэнтного плавления

составляют соответственно  $270$ ,  $300$  и  $395^\circ\text{C}$ ; между  $\text{SbF}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  образуется эвтектика, состав которой  $13$  мол. %  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , температура плавления  $230^\circ\text{C}$  [50].

В работе [51] исследована растворимость в системе  $\text{SbCl}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$ . Уточнены концентрация области выделения  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , оксихлоридов  $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ ,  $\text{SbOCl}$  и трихлорида сурьмы. Исследовано термическое разложение оксихлоридов. Установлено, что процесс разложения  $\text{SbOCl}$  протекает в три стадии. Первая стадия-плавления и диссоциация  $\text{SbOCl}$  с образованием порошка Алгарота; 2-я и 3-я-разложение  $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ . Первая стадия заканчивается при  $270^\circ\text{C}$  и сопровождается потерей массы  $\sim 25$  моль, % в результате испарение  $\text{SbCl}_3$ . Оксихлорид  $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$  при нагревании разлагается с выделением  $\text{SbCl}_3$ .

Методом Кнудсена исследовано давление пара в системе  $\text{In-Sb-As}$ . Приведены результаты расчета потерь мышьяка вследствие испарения в процессе жидкофазной эпитаксии. Установлено, что потери мышьяка составляют  $< 0,1\%$  от его содержания в расплавах, что практически не влияет на процесс кристаллизации [52].

В работе [53] изучено влияние второй металлической фазы на электрические свойства антимонида галлия. Измерены электропроводность и эффект Холла эвтектических сплавов  $n\text{-GaSb-FcGa}_{13}$  и  $n\text{-GaSb-CoGa}_{1,3}$  и  $n\text{-GaSb-CoGa}_{13}$  в интервале температур  $90\text{-}450$  К в трех направлениях тока ( $\gamma$ ), магнитного поля ( $H$ ) и игл ( $X$ ). Установлено, что в отличие от  $\text{GaSb}$ , электропроводность эвтектик во всех случаях в интервале температур  $200\text{-}400$  К слабо зависит от температуры. Сделан вывод, что вводом в  $\text{GaSb}$  второй металлической фазы в виде игл создается анизотропия и качественно меняется электрические свойства материала.

В работе [54] приведены экспериментальные данные по исследованию термического разложения гидратапентаоксида сурьмы в интервале температур  $330\text{-}460^\circ\text{C}$  в замкнутой системе. Показано, что в изученном температурном интервале наряду с фазой  $\text{Sb}_6\text{O}_{13}$  образуется неизвестная ранее  $\Gamma$ -фаза, обладающая гексагональной структурой с параметрами  $\alpha 13,42$  А,  $C/a = 0,5$ . Предположено, что образующаяся при термолитизе гидрата пентаоксида сурьмы в замкнутой  $\Gamma$ -фаза имеет состав, близких к  $\text{Sb}_2\text{O}_5$ -безводному пентаоксиду сурьмы.

Методом рентгеновской дифрактометрии исследованы отожженные при температурах, близких к температуре плавления, и закаленные сплавы  $\text{Sb-As}$  различного состава. Структурные аномалии в твердых растворах  $\text{Sb-As}$  объясняются ассоциированием дефектов, концентрации которых велики при температурах, что вызывает растяжение элементарной ячейки [55].

В работе [56] сообщается об измерении высокотемпературных энтальпий кристаллической и жидкой  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  (I), стеклянной и жидкой  $\text{As}_2\text{S}_3$  (II), твердой  $\text{GeS}$  (III) и  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ . Приведены следующие цифровые данные:

I  $\Delta_m H = 44,252 \pm 1,664$  кДж/моль,

$\Delta S = 53,77 \pm 2,02$  Дж/моль·К;

П температура размягчения 453 К; T=852 К.

В интервале температур 298-430 К измерены э.д.с. концентрации ячеек Ву|электролит +  $Dy^{3+}$ |  $Dy_2Fe_3$ )  $Sb_2T_3$ )<sub>1-x</sub> для x=0,2, 0,4, 0,6 и 0,8. Электролитом служил глицериновый раствор, содержащий 4 мол.% КВг и 0,1 мол.%  $DyVg_3$ . Подтверждено существование соединений  $DySbTe_3$  (I).

Для его образования при 298 К получено: из простых теллуридов

$\Delta H^\circ = -155 \pm 15$  кДж/моль,

$\Delta S^\circ = 274,7 \pm 20$  Дж/моль · К, из простых веществ  $\Delta S^0 \rightarrow 275,9 \pm 18$  и  $275,5 \pm 26$  соответственно для атомизации  $\Delta H_{298}^\circ = 259,7$  кДж/г-ат и  $\Delta S_{298}^\circ = 37,3$  Дж/г- ат-К [57].

#### Литература:

1. Физико-химическое моделирование системы  $H_2C_4H_4O_6$ - $Sb_2S_3$ , -  $H_2O$  и определение спектра концентрационного распределения сурьмосодержащих компонентов в газовой фазе/Шабданова Э.А., Тунгучбекова Ж.Т., Самбаева Д.А., Маймеков З.К.// Наука и новые технологии. - Бишкек, 2012.-№4.-С.121-125.
2. Термодинамическое исследование систем сурьма-кислород и висмут-кислород методом э.д.с. с твердым электролитом. Thermodynamic investigation of antimony+oxygen and bismuth+oxygen using solidstate electrochemical techniques / S.K. Hahn, D.A. Stevenson // J. Chem. Thermodyn. -1979.-11,- №7.-С.627-637,- Англ.
3. Термодинамические свойства соединений, образующихся при испарении твердого  $Sb_2Se_3$ . Thermodynamic properties of the molecular species vaporized from solid  $Sb_2Se_3$ /C.L. Sullivan, J.E. Prusaczyk, R.A. Miller, K.D. Carlson//High Temp. Sci.-1979.-II.-№2.-С.95-122.- Англ.
4. Расчет энтальпий образования трехкомпонентных металлческих расплавов/М.С. Петрушевский // Журнал физической химии. - 1979. - 53. -№11. -С. 2741-2744.
5. Термохимия реакции трифенилфосфора, мышьяка и сурьма с гидроперекисью третичного бутила/ В.Г. Цветков, Ю.А. Александров, В.Н. Глушакова, Н.А. Скородумова, Г.М. Колякова//Журнал общей химии. - 1980.-50, №2. -С. 256-258.
6. Исследование фазовых равновесий в системе In-P-As-Sb/В.Н. Вигдорович, А.А. Селин, С.Г. Шутов//Доклад АН СССР. -1980. -251, №6. -С.1423-1426.
7. Физические свойства твердых растворов на основе CdS в системе  $Sb_2Se_3$ -CdS/ Сафаров М.Г., Оруднев Н.М., Мехбаров А.О.// Изв. АН СССР. Неорган. Матер., 1990.-26, №11.-С.2269-2271.-Рус.
8. Фазовые равновесия в системе Yb-Sb-Te по разрезу YbTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/ П.Г. Рустамов, О.М. Алиев, Т.Ф. Максудов // Известие АН СССР. Неорганические материалы. -1981.-17, №6. -С. 966-969.
9. Термохимия кристаллических аддуктов пентахлорида сурьмы с ароматическими кислородсодержащими лигандами / М.Б. Баткибекова, Л.Н. Нефедова // Редж. Изв. АН КиргССР. Хим.-техн.н.-Фрунзе. -1989. - С.11. - Библиогр.: 8 назв.- Рус,- Деп. в ВИНТИ 15.08.89, №5484-B89
10. Системы  $SbCl_3$ -тиосемикарбид-растворитель при 20°C / Г.П. Сохраненко, А.И. Присяжнюк. -1987.- №8. - С. 2143-2147.-Рус.
11. Термодинамические свойства меди в жидких расплавах Cu-Sb-Te и Cu-Bi-Te. Thermodynamic properties of copper in liquid Cu-Sb-Te and Cu-Bi-Te system / Fuglewicz Boguslaw, Josiak Jerzy // Pol.J. Chem. -1979. - 53, №7.-С. 1447-1451. -(рез.польск.)
12. Определение термодинамических функций смешения жидких растворов системы In-Pb-Sb / З.Б. Багиров, М. И. Заргаровая, А.Н. Мамедов // 8-я всеконф. по калориметрии и хим. термодинам. Иваново. -1979. Тез. Докл. I-НОР. Иваново. -1979. -С.240.
13. Термодинамические исследования системы Cu-Sb-Se методом э.д.с. / Кулиев А.А., Бабанлы Н.Б., Абдуллаева С.Н., // Неорг.соед.-синтез и свойства,- Баку, 1990.-С. 47-49.-Рус.
14. Термоаналитические исследования халькогенид галогенидов сурьмы и висмута. Thermoanalytische untersuchungen an antimony- und wismut- chalkogenid-halogenidum / M. Shhulte-Kellinghaus, V. Kramer // Experientia Suppl. -1979. -37. -С.29-34. -Нем.
15. Гетерогенные равновесия и электрофизические свойства сплавов в системе Cd-Sb-Se / А. А. Шер, И.Н. Один, Э.А. Галиулин, А.В. Новоселова // Журнал неорганической химии. -1981.-26, №4. -С. 1052-1057.
16. Особенности взаимодействия насыщенных расплавов с твердой фазой в системе Ga-Al-Sb / А.Н. Баранов, К. Валацка, Т.П. Лидейкис, Ю.П. Яковлев // Известие АН СССР. Неорганические материалы. -1981. -17, №3. - С.402-406.
17. Системы  $Ti_3SbS_3$ - $Ti_3AsS_3$  и  $TiSbS_7$ - $TiAsS_2$ . Systeme  $Ti_3SbS_3$ - $Ti_3AsS_3$  und  $TiSbS_7$ - $TiAsS_2$  / R. Die Sobott // Monatsh. Chem. -1981.-112, №3. -С.411-414. -Нем.
18. Фазовые взаимодействия в системах GaSe-Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> и GaSe-Sb / А.И. Балицкий, И.М. Стахира // Известие АН СССР. Неорганические материалы // -1981. -17, №3. - С.424-427.
19. Термодинамические свойства жидких сплавов в системах InSb-Sn, GaSb-Sn и AlSb-Sn. Thermodynamische Eigenschaften flussiger legierungen der Systeme InSb-Sn, GaSb-Sn und AlSb-Sn / Gerdes Frerich, Predel Bruno // J. Less-Common Metals. -1981. -78, №1. - С. 19-28. -Нем.
20. Теплоемкость и термодинамические свойства сурьмы и твердых растворов висмут - сурьма в интервале температур 45-350 К / А.А. Вечер, А.Г. Гусаков, А.А. Козыро, П.А. Полещук // Редкол. ж. «Вестник Белорусского университета серия II Химия, биология, геология, география». Минск. -1980. - С. 15. библиогр. 16 назв. (Рукопись деп. в ВИНТИ 27 нояб. 1980 г., №4968-80 Деп.)
21. Термодинамика хлорирование смесей окислов олова, железа, индия и сурьмы в атмосфере хлора и сернистого газа/А.И. Дергачев, В.И. Евдокимов, Н.П. Липатова, Н.Ф. Дробот // Институт общей и неорганической химии АН СССР. М. -1980. - №5118-80 Деп.
22. Применение метода мгновенного фиксирования э.д.с. для исследования термодинамических свойств твердых сплавов/И.Б. Куценок, В.А. Гейдерих, И.А. Валуев//Вестник МГУ. Химия.-1980.-21, №6.-С.554- 558.
23. Термодинамическое исследование комплексов Меншуткина. I. Энтальпия и энтропия образования комплекса  $2SbCl_3$ - $C_6H_6$ . Thermodynamische Untersuchungen an Menshutkin-Komplexen. I. Bildungsenthalpie und -entropie des complexes  $2SbCl_3$ - $C_6H_6$  / Н.-Н.Перкampus, Chr. Sondern // Ber. Bunsenges. Phys. Chem. -1980. -84, №12. -С.1231- 1235,- Нем.
24. Термоэлектрические свойства сплавов системы  $Sb_2Te_3$ - $Bi_2Te_3$ -Se / С.А. Алиев, К.Н. Кахраманов, Ш.С. Исмаилов // АзССР Елмлэр Акад. хэбэрлэри. Физ.-техн. Вэ рщазикат елмлэри сер. Известие АН АзССР. Серия физико-технических и математических наук. - 1980. - №3. -С.85-89.
25. Система  $RbSbTe_2$ - $Sb_2Te_3$  / В.А. Базакуца, В.Б. Лазарев,

- Н.И. Гнидаш, А.В. Салов, Л.Н. Сухорукова,
26. Н.А. Мошалкова // Журнал неорганической химии. - 1981. -26, №2. -С.473-475.
  27. Изотермы растворимости в системах  $\text{Na}_3\text{SbS}_3\text{-NaS-H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_3\text{SbS}_4\text{-NaS-H}_2\text{O}$  / Л.В. Соколовская, И.П. Полявинный // Институт металлургии и обогащения АН КазССР. Алма-Ата. -1981. - С. 12. ил., библиогр. 5 назв. (Рукопись деп.в ВИНТИ 26 февраля 1981г., №924-81 Деп).
  28. Исследование смешанных окислов сурьмы и олова методом мессбауровской спектроскопии на  $^{121}\text{Sb}$ . Antimony-121 Mossbauer investigations of tin-antimony oxides / Frank J.Berry, Paul E. Holbourn, Frank W.D. Woodhams // J. chem. Soc. Dalton Trans. -1980. -№11. - С.2241-2245.- Англ.
  29. Энтальпия образования тиомолибдата галлия / И.В. Кулешов, И.В. Гордеев, Я.А. Кеслер, Ю.Д. Третьяков // Известие АН СССР. Неорганические материалы. - 1980. - 17, №1.-С. 183-184.
  30. Осаждение и старение сульфида сурьмы (3+). Precipitation and aging of antimony (III) sulphid/ Elizabeth C. Brown, D.R. Glasson, S.A.A. Jayaweera// Thermo-chim. Acta. -1981. -51, № 1. -С.53-65. -Англ.
  31. Свойства  $\text{CdSb}$  вблизи точки плавления / В.Б. Лазарев, Г.А. Шарпаева, В. Ф. Пономарев, Л.Н. Голушица, И.М. Раренко // Изв. АН СССР. Неорган. Материалы. -1982. -18, №3.-С.351-354.
  32. Определение энергий диссоциации  $\text{TiSb}$  (газ) и  $\text{TlSb}_2$  (газ.) методом высокотемпературной масс-спектрометрии. Determination of the dissociation energies of the molecules  $\text{TlSb}(\text{g})$  and  $\text{TlSb}_2(\text{g})$  by high temperature mass spectrometry / G. Balducci, D. Ferro, V. Piacente // High Temp. Sci. -1981. -14, №3. -С.207-212. -Англ.
  33. Термодинамические функции хлорида трехвалентной сурьмы. Thermodynamische Funktionen ders Antimon (III)-chlorids / Chr. Sondem, H. -H. Perkampus «Thermochim. Acta// -1981. -48, №1-2. -С.213-217. -Нем.
  34. Рентгеноэлектронное изучение варисторов  $\text{ZnO-Sb}_2\text{O}_3$ . Date S. K. X-ray photors  $\text{ZnO-Sb}_2\text{O}_3$ /S.R. Sainkar, S. Badrinarayanan, A. P. Sinha // Appl. Phys. Lett. -1981. - 39,№1.-С.65-66.-Англ.
  35. Физико-химический анализ  $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-SbCl}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-SbBr}_3$  / Б.З. Нурғалиев, Б.А. Поповкин, А.В. Новоселов // Ж. неорг. Химии. -1981. -26, № 4. -С.1043-1047.
  36. Термодинамические свойства соединений хрома с некоторыми D-элементами IV-VI групп периодической системы / Л.В. Гончарук, В.Н. Еременко, Т.М. Лукашенко, В.Р. Сидорко // Физ.-хим. свойства тугоплавких соединений и сплавов. - Киев. -1981.-С.120-125.
  37. Определение энергии диссоциации молекулы  $\text{SbPb}$  методом высокотемпературной масс-спектрометрии. Dissociation energy of the  $\text{SbPb}$  molecule from mass spectrometric high temperature studies / K.F. Zmbov, A. Neubert, H. R. Ihle // Z. Naturforsch. -1981. -A36, №8. - С.913-914.-Англ.
  38. Исследование системы  $\text{Sb}_2\text{Se}_3\text{-GaTe}$ /М.г. Сафаров, П.Г. Рустамов //Азербайджанский химический журнал. - 1982. -№5. – С. 102-107 .
  39. Эксперименты по химическому транспорту с сурьмой. Chemische transport-experimente mit antimony / H.Schafer //Z. anorg. und ailg. Chem. -1982. -489. -№6. -С. 154-160. -(нем.; рез.англ) Взаимодействие в системах  $\text{Sb}_2\text{Se}_3\text{-FeSe-(NiSe)}$  / М.Р. Аллазов, А.А. Мовсум-Заде, И.Ф. Алиева, Э.Н. Зуль-фугарлы // Журнал неорганической химии. -1983. -28, №7.-0.1783-1787.
  40. Физико-химическое исследование систем  $\text{CH}_3\text{COOH-SbF}_3\text{-MF}$  ( $\text{M}=\text{Na, Rb}$ ) / А.А. Опаловский, Т.Ф. Гудимович, Г.П. Сохранко//Журнал неорганической химии. - 1983. -28, №7.-С. 1797-1800.
  41. Фазовый переход порядок-беспорядок в соединении внедрения первой ступени  $\text{SbF}_5$  в графит. Order - disorder phase transition of stage one  $\text{SbF}_5$  - graphite /Т.О. Wu, F.L. Vogel // Carbon. -1982. -20, №3.-0.225-230. - Англ.
  42. Термодинамические свойства твердых растворов системы  $\text{Bi-Sb}$ /А.А.Бечер, П.А.Полещук, А.А.Козыро, А.Г. Гусаков // Вестник Белорусского университета. - 1982. -сер.2.- №3.-0.3-6.
  43. Термодинамические характеристики соединений  $\text{PuSb}_2$  /В.А. Лебедев, В.И. Кобер, Г.Н. Казанцев, И.Ф. Ничков, С.П. Распонин, О.В. Скиба // 2 Всесоюзная конференция по химии нептуния и плутония, Ленинград, 23-25 нояб., 1982. Тезис докладов. -Л. -1982. - С.59.
  44. Термодинамические исследование комплексов Меншуткина. IV. Комплексообразование в жидких смесях  $\text{SbCl}_3$ /бензол. Thermodynamic investigations on Menshutkin complexes. IV. Complex formation in liquid  $\text{SbCl}_3$ /benzene mixtures / Chr. Sondem, H.H. Perkampus // Ber. Bunsenger. Phys. Chem. -1982. -86, №10. -С.941-944. -Англ.
  45. Особенности фазовых превращений и физических свойств  $(\text{NH}_4)_2\text{SbF}_5$ . Peculiarities of phase transitions and physical properties in  $(\text{NH}_4)_2\text{SbF}_5$  / L.M. Avkhutskii, R.L. Davidovich, L.A. Zemmukhova, P.S. Gordienko, V. Urbonavicius, J. Grigas // Phys. Status solidi. -1983. -B 116.-№2. -P.483-488. (англ.; рез.нем.)
  46. Фазовый состав и диэлектрические свойства образцов системы  $\text{SbNbO}_4\text{-TiO}_2$  / Л.Л. Кукуева, Л.А. Иванова, Ю.Н. Веневцев //Изв. АН СССР. Неорганические материалы. -1983. -19, №4. -С.653-656.
  47. Теплоемкость и термодинамические свойства растворов  $\text{Bi-Sb}$  при низких температурах / А.А. Козыро, П.А.Полещук, А.Г.Гусаков / 9-я Всесоюзная конференция по калориметрии и химическим термодинамикам, Тбилиси, 14-16 сентябрь, 1982. Расширенный доклад // - Тбилиси. -1982. -С.291
  48. Термодинамика конгруэнтной сублимации системы церий-сурьма. Thermodynamic of congruently subliming cerium-antimony / R. A. Schiffman, H.F. Franzen // High Temp. Sci. -1982. -15, №2-3. -С. 179-185.- Англ.
  49. Теплоемкость  $\text{SbSI}$ . Spesifichheat of  $\text{SbSI}$  / M.E. Rosar, W.A. Smith, A. Bhalla / J.Phys. and Chem. Solids // - 1983. -44, №2. -С.117-118,- Англ.
  50. Система  $\text{SbF}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$ /В. Калининко, М.П. Борзенцова, А. В. Новоселова // Ж. неорганической химии. - 1983. - 28, №9. -С.2426-242851. Система  $\text{SbCl}_3\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$  / Л.И. Толоконникова, А.Е. Харакоз, Г.М. Топтыгина // Ж. неорганической химии. -1984. - 29, №1. - С.244-247.
  51. Давление пара в системе.  $\text{In-Sb-As}$  / О.В. Сорокина, С.Б. Евгеньев, А.П. Жуков //Известие АН СССР. Неорганические материалы. -1984. -20, №2. -С.200-203.
  52. Электрические свойства эвтектик  $\text{GaSb-FeGa}_{13}$  и  $\text{GaSb-CoGa}_{13}$  / З.А. Джафаров, А.Э. Агасиев, М.А. Джафарова // Физические свойства сложных полупроводников.- Баку. -1982. -С.97-101.
  53. Образование  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  при термолитизе гидрата пентаоксида сурьмы в замкнутой системе / Д.Г. Клещев, А.А.Поляков, А.В.Толчев, В.А.Бурмистов, Г.В.Клещев // Известие АН СССР. Неорганические материалы. - 1983. -19, №9. -С.1505-1507.
  54. Структурные особенности твердых растворов в системе сурьма-мышьяк / Е.Г. Гончаров, А.М. Самойлов, К.Б. Алейникова, Н.Р. Малкин // Кристаллохимия полупроводников и процессы на их поверхности. - Воронеж. -1983. -С.80-84.

55. Термодинамика свойства моносulfида германия и трисульфидов мышьяка, сурьмы и висмута / Р.А. Меджиков //Термодинамика и материаловедения прлупроводников. 3 Всес.конф., май, 1986. Тез.докл. Т. 2.-М.-1986. -С.46-47.
56. Термодинамические свойства системы  $Du_2Te_3-$

$Sb_2Te_3$ / Э.Н. Гейдарова, С.Д. Багирова, И.Я. Алиева, А.С. Мустафаев // Доклад АзССР. -1985. -41, №11. - С.35- 37. (рез.англ., азерб.).

**Рецензент: д.т.н. Татыбеков А.Т.**

---