

Научная статья
УДК 546.865+547.53.024+547.442.3+548.312.5
DOI: 10.14529/chem240210

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ β -ДИКЕТОНАТОВ ТЕТРААРИЛСУРЬМЫ
 $\text{Ph}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{Ph}]$, $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CEtC}(\text{O})\text{Me}] \cdot 1\frac{1}{2} \text{PhH}$,
 $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{NHPH}]$**

В.В. Шарутин[✉]

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
[✉] sharutin50@mail.ru

Аннотация. Взаимодействием пентафенилсурьмы и пента(*para*-толил)сурьмы с β -дикетонами в бензоле (100 °С, 1 ч) получены β -дикетонаты тетраарилсурьмы $\text{Ph}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{Ph}]$ (**1**), $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CEtC}(\text{O})\text{Me}] \cdot 1\frac{1}{2}\text{PhH}$ (**2**), $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{NHPH}]$ (**3**), охарактеризованные ИК-спектрами и рентгеноструктурным анализом. Кристаллы **1** [$\text{C}_{34}\text{H}_{29}\text{O}_2\text{Sb}$, M 591,32; сингония триклинная, группа симметрии $P-1$; параметры ячейки: $a = 9,524(13)$ Å, $b = 9,827(10)$ Å, $c = 17,350(18)$ Å; $\alpha = 99,03(3)^\circ$, $\beta = 101,50(6)^\circ$, $\gamma = 111,02(4)^\circ$, $V = 1438(3)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{\text{выч}} = 1,365$ г/см³], **2** [$\text{C}_{44}\text{H}_{48}\text{O}_2\text{Sb}$, M 730,57; сингония триклинная, группа симметрии $P-1$; параметры ячейки: $a = 9,740(5)$ Å, $b = 14,283(6)$ Å, $c = 15,174(6)$ Å; $\alpha = 107,818(14)$, $\beta = 90,292(18)$, $\gamma = 105,33(2)$ град., $V = 1929,7(16)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{\text{выч}} = 1,257$ г/см³], **3** [$\text{C}_{34}\text{H}_{30}\text{NO}_2\text{Sb}$, M 606,34; сингония моноклинная, группа симметрии $P2_1/n$; параметры ячейки: $a = 9,396(17)$ Å, $b = 10,23(2)$ Å, $c = 29,45(6)$ Å; $\beta = 95,91(6)^\circ$, $V = 2817(10)$ Å³, $Z = 4$; $\rho_{\text{выч}} = 1,430$ г/см³]. Полученные β -дикетонаты тетраарилсурьмы представляют собой кристаллические соединения с четкой температурой плавления, устойчивые к действию влаги и кислорода воздуха, хорошо растворимые в ароматических растворителях и полигалоидных растворителях. Комплекс **2** является сольватом и содержит $1\frac{1}{2}$ молекулы бензола. По данным РСА, атомы сурьмы в комплексах **1–3** имеют искаженную октаэдрическую координацию, причем хелатный цикл и два арильных заместителя находятся в экваториальной плоскости, а два арильных лиганда занимают аксиальные положения.

Ключевые слова: β -дикетонаты тетраарилсурьмы, синтез, строение, ИК-спектры, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Шарутин В.В. Исследование строения β -дикетонатов тетраарилсурьмы $\text{Ph}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{Ph}]$, $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CEtC}(\text{O})\text{Me}] \cdot 1\frac{1}{2} \text{PhH}$, $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{NHPH}]$ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 2. С. 96–102. DOI: 10.14529/chem240210

Original article
DOI: 10.14529/chem240210

**STUDY OF THE STRUCTURE OF TETRAARYLANTIMONY
 β -DIKETONATES $\text{Ph}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{Ph}]$,
 $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CEtC}(\text{O})\text{Me}] \cdot 1\frac{1}{2} \text{PhH}$, $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{NHPH}]$**

V.V. Sharutin[✉]

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
[✉] sharutin50@mail.ru

Abstract. Reaction of pentaphenylantimony and penta(*para*-tolyl)antimony with β -diketones in benzene (100 °С, 1 h) forms tetraarylantimony β -diketonates $\text{Ph}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{Ph}]$ (**1**), $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CEtC}(\text{O})\text{Me}] \cdot 1\frac{1}{2}\text{PhH}$ (**2**), $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{NHPH}]$ (**3**), characterized

by IR spectra and X-ray diffraction analysis. Crystals **1** [$C_{34}H_{29}O_2Sb$, M 591.32; triclinic system, symmetry group $P\bar{1}$; cell parameters: $a = 9.524(13)$ Å, $b = 9.827(10)$ Å, $c = 17.350(18)$ Å; $\alpha = 99.03(3)^\circ$, $\beta = 101.50(6)^\circ$, $\gamma = 111.02(4)^\circ$, $V = 1438(3)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{cal} = 1.365$ g/cm³], **2** [$C_{44}H_{48}O_2Sb$, M 730.57; triclinic system, symmetry group $P\bar{1}$; cell parameters: $a = 9.740(5)$ Å, $b = 14.283(6)$ Å, $c = 15.174(6)$ Å; $\alpha = 107.818(14)^\circ$, $\beta = 90.292(18)^\circ$, $\gamma = 105.33(2)^\circ$, $V = 1929,7(16)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{cal} = 1.257$ g/cm³], **3** [$C_{34}H_{30}NO_2Sb$, M 606.34; monoclinic system, symmetry group $P2_1/n$; cell parameters: $a = 9.396(17)$ Å, $b = 10.23(2)$ Å, $c = 29.45(6)$ Å; $\beta = 95.91(6)^\circ$, $V = 2817(10)$ Å³, $Z = 4$; $\rho_{cal} = 1.430$ g/cm³]. The obtained tetraarylantimony β-diketonates are crystalline compounds with a distinct melting point, resistant to moisture and atmospheric oxygen, and highly soluble in aromatic solvents and polyhalide solvents. Complex **2** is a solvate and contains 1½ benzene molecules. According to the X-ray diffraction data, the antimony atoms in complexes **1–3** have a distorted octahedral coordination, with the chelate ring and two aryl substituents located in the equatorial plane, while two aryl ligands occupy axial positions.

Keywords: Tetraarylantimony β-diketonates, synthesis, structure, IR spectra, X-ray diffraction analysis

For citation: Sharutin V.V. Study of the structure of tetraarylantimony β-diketonates $Ph_4Sb[MeC(O)CHC(O)Ph]$, $p-Tol_4Sb[MeC(O)CEtC(O)Me] \cdot 1\frac{1}{2}PhH$, $p-Tol_4Sb[MeC(O)CHC(O)NHPh]$. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(2):96–102. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240210

Введение

В литературе описаны многочисленные примеры лигандов, содержащих в своем составе две и более функциональных групп, которые способны закрепляться в координационной сфере центрального атома металла. В этот многочисленный ряд входят дикарбоновые кислоты, оксикарбоновые кислоты и другие соединения. Подобные примеры дополнительной внутримолекулярной координации атома сурьмы с потенциальными координирующими центрами одного из лигандов при атоме Sb известны [1–7], однако структурные особенности β-дикетонатов тетраарилсурьмы изучены недостаточно. Так, в диссертации [8] проанализированы немногочисленные методы синтеза β-дикетонатов тетрафенилсурьмы, которые получали из алкокситетрафенилсурьмы и β-дикетона [9, 10] или из галогенида тетрафенилсурьмы и натриевых солей β-дикетонов [11]. Недостатками перечисленных методов являются двухстадийность и затруднения в разделении продуктов реакции.

Поскольку β-дикетоны являются сравнительно сильными С–Н кислотами, pK_a которых приближается к значениям pK_a некоторых фенолов (например, pK_a ацетилацетона составляет 8,95, а фенола – 9,95 [12]), можно предположить, что β-дикетоны будут взаимодействовать с пентаарилсурьмой с образованием β-дикетонатов тетраарилсурьмы. Действительно, показано, что продуктом реакции пентафенилсурьмы и пента(*пара*-толил)сурьмы с β-дикетонами являются β-дикетонаты тетраарилсурьмы, выход которых достигал 99 % [13–19]. В этом случае получение целевого продукта проходит в одну стадию и его выделение не является трудоемким, а выход достаточно высок.

Экспериментальная часть

В работе использовали дикетоны производства фирмы Alfa Aesar. Получение β-дикетонатов тетраарилсурьмы из пентаарилсурьмы и β-дикетона осуществляли по методике, описанной в [8].

Элементный анализ выполнен на элементном анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA 1108. Температуры плавления измерены на синхронном термоанализаторе Netzsch 449C Jupiter.

ИК-спектры соединений **1–3** записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 см⁻¹.

РСА кристаллов **1–3** проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoKα-излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор) при 296(2) К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [20]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [21] и OLEX2 [22]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Полные таблицы

координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2060279 (1), № 2074531 (2), № 2070392 (3); deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk). Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур 1–3 приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур 1–3

Параметр	1	2	3
Формула	C ₃₄ H ₂₉ O ₂ Sb	C ₄₄ H ₄₈ O ₂ Sb	C ₃₄ H ₃₀ NO ₂ Sb
<i>M</i>	591,32	1132,33	606,34
Сингония	Триклинная	Триклинная	Моноклинная
Пр. группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1	<i>P</i> 2 ₁ / <i>n</i>
<i>a</i> , Å	9,524(12)	9,740(5)	9,396(17)
<i>b</i> , Å	9,827(10)	14,283(6)	10,23(2)
<i>c</i> , Å	17,350(18)	15,174(6)	29,45(6)
α , град.	99,03(3)	107,818(14)	90,00
β , град.	101,50(6)	90,292(18)	95,91(6)
γ , град.	111,02(4)	105,33(2)	90,00
<i>V</i> , Å ³	1438(3)	1929,7(16)	2817(10)
<i>Z</i>	2	2	4
ρ (выч.), г/см ³	1,365	1,257	1,430
μ , мм ⁻¹	0,986	0,748	1,010
<i>F</i> (000)	600,0	758,0	1232,0
Размер кристалла (мм)	0,54 × 0,38 × 0,13	0,43 × 0,23 × 0,21	0,29 × 0,22 × 0,12
Область сбора данных по 2 θ , град.	5,6–57	5,974–57	5,562–56,996
Интервалы индексов отражений	-12 ≤ <i>h</i> ≤ 12, -13 ≤ <i>k</i> ≤ 13, -23 ≤ <i>l</i> ≤ 23	-13 ≤ <i>h</i> ≤ 13, -19 ≤ <i>k</i> ≤ 19, -20 ≤ <i>l</i> ≤ 20	-12 ≤ <i>h</i> ≤ 12, -13 ≤ <i>k</i> ≤ 13, -39 ≤ <i>l</i> ≤ 39
Измерено отражений	62345	82281	90242
Независимых отражений	7276	9730	7147
Переменных уточнения	336	434	345
<i>GOOF</i>	1,044	1,066	1,093
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	<i>R</i> ₁ = 0,0310, <i>wR</i> ₂ = 0,0735	<i>R</i> ₁ = 0,0373, <i>wR</i> ₂ = 0,0959	<i>R</i> ₁ = 0,0307, <i>wR</i> ₂ = 0,0598
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ = 0,0378, <i>wR</i> ₂ = 0,0769	<i>R</i> ₁ = 0,0439, <i>wR</i> ₂ = 0,1005	<i>R</i> ₁ = 0,0498, <i>wR</i> ₂ = 0,0649
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	0,55/-0,42	0,69/-0,79	0,56/-0,35

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структурах 1–3

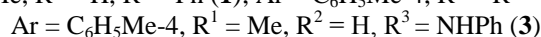
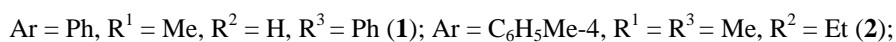
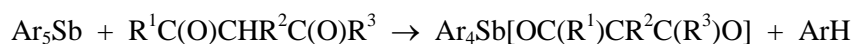
Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град.
1			
Sb1–O1	2,224(2)	O1–Sb1–C31	159,66(10)
Sb1–O2	2,340(3)	C11–Sb1–O2	169,69(7)
Sb1–C1	2,146(4)	C21–Sb1–O1	166,38(9)
Sb1–C11	2,249(3)	C21–Sb1–C11	104,86(12)
Sb1–C21	2,116(3)	C21–Sb1–C31	96,14(12)
Sb1–C31	2,171(4)	C31–Sb1–C11	96,85(12)
O1–C8	1,296(3)	C1–Sb1–C11	96,53(13)
O2–C10	1,281(3)	O1–Sb1–C11	88,74(11)
2			
Sb1–O1	2,244(2)	C21–Sb1–O2	166,39(9)
Sb1–O2	2,269(2)	C1–Sb1–C11	160,55(10)
Sb1–C21	2,156(3)	C31–Sb1–C21	104,43(10)
Sb1–C1	2,155(3)	C31–Sb1–O1	164,78(8)

Окончание табл. 2

Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω, град.
Sb1–C11	2,163(3)	C21–Sb1–C11	96,50(10)
Sb1–C31	2,149(3)	C31–Sb1–C11	96,14(10)
O1–C42	1,275(3)	C21–Sb1–O1	90,78(9)
O2–C44	1,277(3)	C1–Sb1–C21	95,19(10)
3			
Sb1–O1	2,185(4)	C11–Sb1–O2	166,99(8)
Sb1–O2	2,321(5)	C31–Sb1–C21	163,28(9)
Sb1–C21	2,162(4)	C1–Sb1–O1	166,04(9)
Sb1–C31	2,161(4)	C11–Sb1–C1	105,79(10)
Sb1–C11	2,164(4)	C21–Sb1–C11	95,87(11)
Sb1–C1	2,169(3)	C31–Sb1–C11	95,88(14)
O1–C8	1,294(3)	C31–Sb1–C1	93,22(14)
O2–C10	1,265(3)	C21–Sb1–C1	94,98(15)

Обсуждение результатов

В продолжение работ в указанном направлении синтезировано три β-дикетоната тетраарилсурьмы и исследовано их строение методом РСА.



Полноту протекания реакции контролировали методом тонкослойной хроматографии (элюент – бензол) по исчезновению пятна, характерного для пентаарилсурьмы. С достаточно высокой скоростью эти реакции протекают в полярном растворителе – тетрагидрофуране и более спокойно – в среде ароматического углеводорода, поэтому в качестве растворителя в указанных реакциях синтеза β-дикетонатов тетраарилсурьмы был выбран бензол. Взаимодействие пентаарилсурьмы с β-дикетоном проводилось при нагревании (100 °С) в течение 1 ч, поскольку при комнатной температуре пентаарилсурьму обнаруживали в реакционной смеси даже по истечении нескольких суток. β-Дикетонаты тетраарилсурьмы представляют собой кристаллические соединения с четкой температурой плавления, устойчивые к действию влаги и кислорода воздуха, хорошо растворимые в ароматических растворителях и полигалогидных растворителях.

Синтез неизвестных ранее β-дикетонатов тетраарилсурьмы выявил новые объекты исследования в области химии арильных соединений сурьмы, изучение строения и свойств которых позволило бы внести ясность в понимание некоторых вопросов теоретического характера (природа связи между β-дикетонатным лигандом и атомом сурьмы, взаимосвязь природы лиганда с реакционной способностью комплексов и т. п.). С этой целью были исследованы некоторые спектральные характеристики полученных соединений и данные их рентгеноструктурных исследований.

В ИК-спектрах комплексов **1–3** имеются полосы поглощения в области 675–890 см⁻¹, относящиеся к характеристическим колебаниям арильных лигандов [23, 24]. Также содержатся характерные полосы валентных колебаний углеродного скелета ароматических фрагментов при 1603–1483 см⁻¹. Валентным колебаниям связей C_{Ar}–H принадлежат полосы при 3088–3028 см⁻¹; плоскостным деформационным колебаниям этих же связей – полосы при 1165–1031 см⁻¹, внеплоскостным деформационным колебаниям – при 910–849 см⁻¹. Также в ИК-спектрах **1–3** присутствуют интенсивные полосы поглощения, относящиеся к валентным колебаниям карбонильных групп, очень чутко реагирующие на введение полярных заместителей в хелатное кольцо β-дикетонатов тетраарилсурьмы. В ИК-спектрах комплексов **1** и **3** наблюдается наличие дублета в области 1600–1500 см⁻¹, относящегося к валентным колебаниям связей C=O и C=C, а также присутствие интенсивной полосы поглощения в области 1200 см⁻¹, соответствующей колебаниям с участием метинового протона, однако, в отличие от ИК-спектров **1** и **3**, в ИК-спектре соединения **2** в области ~1550 см⁻¹ наблюдается только одна полоса (1562 см⁻¹). Еще в 1958 году Р.П. Драйден обнаружил, что в спектрах ацетилацетонатов ряда металлов, имеющих заместители

в γ -положении, вместо дублета в области $1600\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ наблюдается интенсивный синглет [25]. Такой эффект упрощения спектра в этой области, получивший в дальнейшем название «правило Драйдена», П.Р. Сингх и Р. Сахайи объясняют тем, что при введении γ -заместителя происходит смещение полос поглощения связей C–O и C–C в низкочастотную область и их слияние в одну полосу [26, 27].

Как и в других структурно охарактеризованных β -дикетонатах тетраарилсурьмы [13–15], атомы металла в **1–3** имеют искаженную октаэдрическую координацию, в которой хелатный цикл и два арильных заместителя находятся в экваториальной плоскости (рис. 1–3). Комплекс **2** является сольватом и содержит $1\frac{1}{2}$ молекулы бензола.

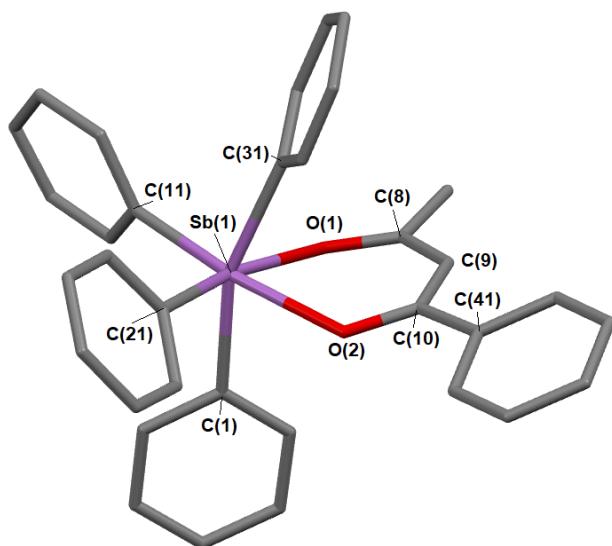


Рис. 1. Строение комплекса **1** (атомы водорода не показаны)

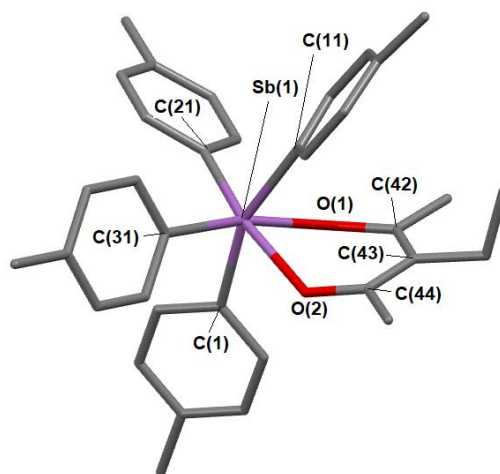


Рис. 2. Строение комплекса **2** (атомы водорода и молекулы сольватного бензола не показаны)

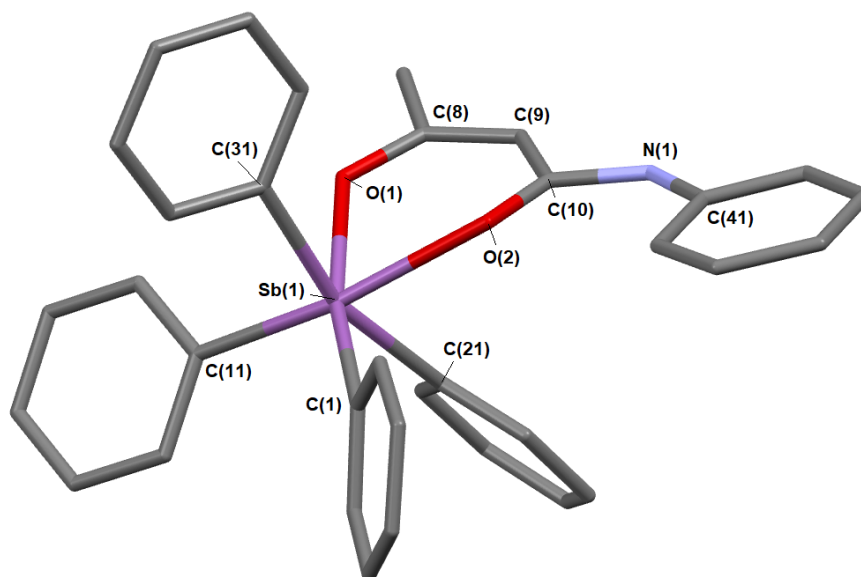


Рис. 3. Строение комплекса **3** (атомы водорода не показаны)

В шестичленных гетероциклах β -дикетонатов тетраарилсурьмы (**1–3**) атомы O_2C_3 компланарны в пределах $0,008\text{ \AA}$. Плоскость фенильного кольца β -дикетонатного лиганда в **1** отклоняется от плоскости хелатного цикла на $14,47^\circ$. Аналогичное отклонение в **3** составляет $3,95^\circ$. Аксиальные углы CSbC в **1**, **2** и **3** составляют $159,66(10)$, $160,55(10)$ и $163,28(9)^\circ$ соответственно,

что гораздо меньше 180° (см. табл. 2). Значения углов OSbO внутри хелатного лиганда ($80,99(9)^\circ$ в **1**, $75,61(7)^\circ$ в **2** и $79,25(8)^\circ$ в **3**) близки между собой. Следует отметить, что длины связей C–C в хелатном кольце соединений **1** и **3** весьма различаются: 1,452(4); 1,392(4) Å в **1**, 1,361(4); 1,425(4) Å в **3**, что обусловлено присутствием различных по природе и по положению заместителей в бидентатном лиганде. В комплексе **2** с симметрично расположенной этильной группой в β -дикетонатном лиганде указанные длины связей практически одинаковы (1,408(4), 1,411(4) Å), как и расстояния C–O (1,275(3), 1,277(3) Å). Расстояния C–O в **1** равны 1,281(3) и 1,296(3) Å, что длиннее, чем в γ -хлорацетилацетонате тетрафенилсурьмы (1,272(9), 1,279(10) Å [13]). Аналогичные расстояния в **3** составляют 1,265(3) и 1,294(3) Å. Длины связей Sb–O (2,224(2) и 2,340(3) Å в **1**; 2,244(2) и 2,269(2) Å в **2** и 2,185(4) и 2,321(5) Å в **3**) приближаются к сумме ковалентных радиусов атомов-партнеров. Можно наблюдать тенденцию, когда более длинной связи Sb–O соответствует более короткая связь C–O. Такие же закономерности в изменении длин связей Sb–O и C–O наблюдаются в других γ -замещенных ацетилацетонатах тетрафенилсурьмы [14, 15]. Отличия в длинах связей в пределах экспериментальной погрешности невелики, что свидетельствует о незначительной асимметрии в расположении лиганда относительно атома сурьмы.

Выводы

Взаимодействием пентафенилсурьмы и пента(*пара*-толил)сурьмы с β -дикетонами в бензоле (100°C , 1 ч) получены β -дикетонаты тетраарилсурьмы $\text{Ph}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{Ph}]$, $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{Me}] \cdot 1/2\text{PhH}$, $p\text{-Tol}_4\text{Sb}[\text{MeC}(\text{O})\text{CHC}(\text{O})\text{NHPh}]$. Проведен анализ данных рентгеноструктурных исследований полученных в работе β -дикетонатов тетраарилсурьмы. Показано, что β -дикетонатный лиганд в β -дикетонатах тетраарилсурьмы проявляет бидентатные свойства, а атом сурьмы имеет КЧ = 6.

Список источников

1. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46, № 10. С. 579. DOI: 10.1134/S1070328420100012.
2. Артемьева Е.В., Шарутина О.К., Шарутин В.В. // Журн. общ. химии. 2017. Т. 87, № 12. С. 2094. EDN: ZVGESP.
3. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Шалабанова Н.А. // Коорд. химия. 2018. Т. 44, № 6. С. 402. DOI: 10.1134/S0132344X18060130.
4. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Губанова Ю.О., Ельцов О.С. // Журн. неорган. химии. 2019. Т. 64, № 9. С. 957. DOI: 10.1134/S0044457X19090198.
5. Губанова Ю.О., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2020. Т. 90, № 12. С. 1927. DOI: 10.31857/S0044460X20120161.
6. Губанова Ю.О., Шарутин В.В., Шарутина О.К., Петрова К.Ю. // Журн. общ. химии. 2020. Т. 90, № 9. С. 1407. DOI: 10.31857/S0044460X20090127.
7. Шарутин В.В., Семенова А.Д. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 2. С. 44. DOI: 10.14529/chem230203.
8. Задачаина О.П. Синтез и строение β -дикетонатов сурьмы: дис. ... канд. хим. наук. Иркутск. 2003. 96 с.
9. Meinema H.A., Noltes I.G. // J. Organomet. Chem. 1969. V. 16, No. 2. P. 257. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)85296-1.
10. Matsumura Y., Okawara R. // Inorg. Nucl. Chem. Lett. 1968. V. 4, No. 9. P. 521. DOI: 10.1016/0020-1650(68)80024-8.
11. Singhal K., Aggarwal A.K., Ray P. // Indian J. Chem. 1992. V. 31A, No. 10. P. 797.
12. Темникова Т.И. Курс теоретических основ органической химии. Л.: Госхимиздат. 1962. 948 с.
13. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Задачаина О.П. и др. // Журн. общ. химии. 2000. Т. 70, № 5. С. 746.
14. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Задачаина О.П. и др. // Журн. общ. химии. 2000. Т. 70, № 10. С. 1672. EDN: LSAKZT.

15. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Задачаина О.П. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 1. С. 8. EDN: OOFNJT.
16. Шарутин В.В., Пакузина А.П., Шарутина О.К. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2003. Т. 4, № 1. С. 34. EDN: JBUWRA.
17. Шарутин В.В., Пакузина А.П., Егорова И.В. и др. // Коорд. химия. 2008. Т. 34, № 4. С. 267. EDN: IJKFPH.
18. Sharutina O.K., Sharutin V.V., Artem'eva E.V. et al. // J. Fluor. Chem. 2019. Т. 228. С. 109393. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2019.109393.
19. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K., Sharutin V.V. et al. // J. Inorg. Biochem. 2022. Т. 234. С. 111864. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.111863
20. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Madison, Wisconsin, USA: Bruker AXS Inc., 1998.
21. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Madison, Wisconsin, USA: Bruker AXS Inc., 1998.
22. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
23. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.
24. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О. и др. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: Учебное пособие. СПб.: СПбФТУ, 2007. 54 с.
25. Druden R.P., Winston A. // J. Phys. Chem. 1958. V. 62, No. 5. P. 635.
26. Singh P.R., Sahai R. // Austral. J. Chem. 1967. V. 20, No. 4. P. 639. DOI: 10.1071/CH9670639.
27. Singh P.R., Sahai R. // Indian. J. Chem. 1969. V. 7, No. 6. P. 628.

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 29 января 2024 г.
The article was submitted 29 January 2024.*