

БИЯДЕРНЫЕ АРИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СУРЬМЫ [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O И [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O

Е.В. Артемьева[✉], С.А. Гречицких, О.К. Шарутина, В.В. Шарутин
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
[✉]artemevaev@susu.ru

Аннотация. Взаимодействием эквимольных количеств трифенилсурьмы, перфторпентановой и перфторгептановой кислот с *трет*-бутилгидропероксидом в эфире приводило к образованию соединений [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O (1) и [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O (2) с выходами 69 % и 98% соответственно, строение которых доказано методом рентгеноструктурного анализа. РСА проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (Mo K_α-излучение, λ = 0,71073 Å, графитовый монохроматор) при 293 К. Кристаллы (1) C₉₂H₆₀F₃₆O₁₀Sb₄, M 2496,40; сингония триклинная, группа симметрии P-1; параметры ячейки: a = 10,924(10), b = 19,090(15), c = 23,22(2) Å; α = 93,03(3)°, β = 90,44(4)°, γ = 90,42(4)°; V = 4834(7) Å³; Z = 2; ρ_{выч} = 1,715 г/см³; 2θ 5,594–54,932 град.; всего отражений 119542; независимых отражений 21610; число уточняемых параметров 1256; R_{int} = 0,0560; GOOF 1,094; R₁ = 0,0586, wR₂ = 0,1410; остаточная электронная плотность (max/min); 1,32/–0,82 е/Å³, (2) C₅₀H₃₀F₂₆O₅Sb₂, M 1448,24; сингония триклинная, группа симметрии P-1; параметры ячейки: a = 10,667(4), b = 16,972(9), c = 17,450(9) Å; α = 62,93(2), β = 77,977(17), γ = 83,18(2) град., V = 2750(2) Å³, Z = 2; ρ_{выч} = 1,749 г/см³; 2θ 5,394–54,294 град.; всего отражений 42645; независимых отражений 11288; число уточняемых параметров 737; R_{int} = 0,0590; GOOF 1,645; R₁ = 0,1283, wR₂ = 0,3459; остаточная электронная плотность (max/min); 2,47/–2,50 е/Å³. Атомы сурьмы в 1, 2 имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с мостиковым атомом кислорода и монодентатным карбоксильным лигандом в аксиальных положениях.

Ключевые слова: строение, биядерный, фенил, карбоксил, сурьма, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Биядерные арильные соединения сурьмы [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O и [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O / Е.В. Артемьева, С.А. Гречицких, О.К. Шарутина, В.В. Шарутин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17, № 3. С. 122–128. DOI: 10.14529/chem250312

Original article
DOI: 10.14529/chem250312

NEW BINUCLEAR ARYL COMPOUNDS OF ANTIMONY: [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O AND [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O

E.V. Artem'eva[✉], S.A. Gremitiskikh, O.K. Sharutina, V.V. Sharutin
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
[✉]artemevaev@susu.ru

Abstract. The interaction of equimolar amounts of triphenylantimony, perfluoropentanoic and perfluoroheptanoic acids, and *tert*-butyl hydroperoxide in ether led to formation of compounds [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O (1) and [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O (2), yielding 69% and 98%, respectively, the structures were confirmed by X-ray diffraction analysis. The X-ray diffraction analysis was performed on a D8 Quest Bruker automatic four-circle diffractometer (Mo K_α radiation, λ = 0.71073 Å, graphite monochromator) at 293 K. Crystals (1) C₉₂H₆₀F₃₆O₁₀Sb₄, M = 2496.40; triclinic syngony, symmetry group P-1; cell parameters: a = 10.924(10), b = 19.090(15), c = 23.22(2) Å; α = 93.03(3)°, β = 90.44(4)°, γ = 90.42(4)°; V = 4834(7) Å³; Z = 2; ρ_{calc} = 1.715 g/cm³; 2θ 5.594–54.932 deg.; total reflections 119542; independent reflections 21610; number of refined parameters 1256; R_{int} = 0.0560; GOOF 1.094; R₁ = 0.0586, wR₂ = 0.1410; residual electron density (max/min); 1.32/–0.82 e/Å³, (2) C₅₀H₃₀F₂₆O₅Sb₂,

$M = 1448.24$; triclinic syngony, symmetry group $P-1$; cell parameters: $a = 10.667(4)$, $b = 16.972(9)$, $c = 17.450(9)$ Å; $\alpha = 62.93(2)$, $\beta = 77.977(17)$, $\gamma = 83.18(2)$ deg, $V = 2750(2)$ Å³, $Z = 2$; $\rho_{\text{calc}} = 1.749$ g/cm³; 2θ 5.394–54.294 deg; total reflections 42645; independent reflections 11288; number of refined parameters 737; $R_{\text{int}} = 0.0590$; $GOOF$ 1.645; $R_1 = 0.1283$, $wR_2 = 0.3459$; residual electron density (max/min); $2.47/-2.50$ e/Å³. The antimony atoms in **1** and **2** exhibit a distorted trigonal-bipyramidal coordination geometry with a bridging oxygen atom and a monodentate carboxylate ligand in the axial positions.

Keywords: structure, binuclear, phenyl, carboxyl, antimony, X-ray structural analysis

For citation: Artem'eva E.V., Gremitskikh S.A., Sharutina O.K., Sharutin V.V. New binuclear aryl compounds of antimony: [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O and [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2025;17(3): 122–128 (In Russ.) DOI: 10.14529/chem250312

Введение

К настоящему времени методом рентгеноструктурного анализа установлено строение широкого ряда комплексов сурьмы общей формулы (Ar₃SbX)₂O (X = Hlg, NO₃, OC(O)R, OR, OSO₂R и другие электроотрицательные группы), атомы сурьмы в которых имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с мостиковым атомом кислорода и монодентатным лигандом X в аксиальных положениях, а в экваториальной плоскости располагаются арильные заместители [1–23]. Некоторые молекулы (Ar₃SbX)₂O являются центросимметричными (центр симметрии – мостиковый атом кислорода), в других – два фрагмента Ar₃SbX несколько отличаются друг от друга. Искажение тригонально-бипирамидальной конфигурации молекул проявляется в отклонении валентных углов от теоретических значений и выходе атомов сурьмы из экваториальной плоскости к мостиковому атому кислорода. Расстояния Sb–X в μ -оксопроизводных (Ar₃SbX)₂O значительно меньше аналогичных связей в соединениях общей формулы Ar₄SbX и немного больше, чем в соединениях Ar₃SbX₂ [24]. Длины связей между атомами сурьмы и мостиковым атомом кислорода Sb–O_{мост} меньше суммы ковалентных радиусов атомов сурьмы и кислорода (2,05 Å [25]). Основное различие в геометрии молекул этих соединений заключается в строении фрагмента Sb–O–Sb. В большинстве случаев фрагменты имеют угловую форму и лишь иногда – линейную. Величина угла SbOSb, который изменяется от 130 до 180°, и причины, вызывающие его изменение, являются предметом дискуссии в работах последних лет. В настоящей работе описано получение мостиковых биядерных молекул с фторированными карбоксилатными лигандами [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O (**1**), [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O (**2**) и проанализированы их основные геометрические параметры.

Экспериментальная часть

В работе использовали органические соединения производства фирмы Alfa Aesar, соединения **1**, **2** получали по реакции окислительного присоединения, описанной в [7].

μ -Оксо-бис[(перфторпентаноато)трифенилсурьма] (1). К смеси 0,100 г (0,28 ммоль) трифенилсурьмы и 0,076 г (0,28 ммоль) перфторпентановой кислоты в 20 мл диэтилового эфира прибавляли 0,036 г 70%-ного водного раствора (0,28 моль) *трет*-бутилгидропероксида. Выдерживали смесь в течение недели при комнатной температуре. Получили желто-зеленые хлопья, которые перекристаллизовали из смеси октан–бензол (1:3 объем.). Получили 0,242 г (69 %) кристаллов μ -оксо-бис[(перфторпентаноато)трифенилсурьмы] (**1**) с $T_{\text{пл}} = 89$ °C. ИК-спектр (ν , см^{–1}): 3468, 3447, 3402, 3370, 3337, 3277, 3246, 3215, 3198, 3150, 3059, 2992, 2957, 2930, 2857, 2752, 2702 (C–H), 1811, 1710 (C=O), 1375, 1331, 1310, 1283, 1234, 1207, 1165, 1134, 1072, 1055, 1034, 1020 (C–F), 786 (Sb–O–Sb), 459 (C–Sb). Найдено, %: C 44,18, H 2,49. Для C₉₂H₆₀F₃₆O₁₀Sb₄ вычислено, %: C 44,22, H 2,40.

μ -Оксо-бис[(перфторгептаноато)трифенилсурьма] (2). К смеси 0,100 г (0,28 ммоль) трифенилсурьмы и 0,105 г (0,28 ммоль) перфторгептановой кислоты в 20 мл диэтилового эфира прибавили 0,032 г 30%-ного водного раствора (0,28 ммоль) пероксида водорода. Выдерживали смесь в течение недели при 20 °C. Удаляли растворитель, остаток перекристаллизовали из смеси ацетонитрил–изопропиловый спирт. Получили 0,157 г (98%) кристаллов μ -оксо-бис[(перфторгептаноато)трифенилсурьмы] (**2**) с $T_{\text{пл}} = 89$ °C. ИК-спектр (ν , см^{–1}): 3480, 3460, 3437, 3400, 3393, 3300, 3267, 3229, 3207, 3196, 3176, 3152, 3082, 3063, 2994, 2957, 2934, 2876, 2859 (C–H), 1802, 1710 (C=O), 1379, 1348, 1308, 1240, 1200, 1150, 1124, 1065, 1047, 1032, 1022 (C–F), 786 (Sb–O–Sb), 457 (C–Sb). Найдено, %: C 41,12, H 2,13. Для C₅₀H₃₀F₂₆O₅Sb₂ вычислено, %: C 41,43, H 2,07.

РСА кристаллов **1,2** проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK α -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 [26]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [27] и OLEX2 [28]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур **1,2** приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2119784 (**1**), № 2121815 (**2**); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>). Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур **1, 2** приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур **1,2**

Параметр	1	2
Формула	C ₉₂ H ₆₀ F ₃₆ O ₁₀ Sb ₄	C ₅₀ H ₃₀ F ₂₆ O ₅ Sb ₂
<i>M</i>	2496,40	1448,24
Сингония	Триклинная	Триклинная
Пр. группа	<i>P</i> –1	<i>P</i> –1
<i>a</i> , Å	10,924(10)	10,667(4)
<i>b</i> , Å	19,090(15)	16,972(9)
<i>c</i> , Å	23,22(2)	17,450(9)
α , град.	93,03(3)	62,93(2)
β , град.	90,44(4)	77,977(17)
γ , град.	90,42(4)	83,18(2)
<i>V</i> , Å ³	4834(7)	2750(2)
<i>Z</i>	2	2
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1,715	1,749
μ , мм ^{–1}	1,231	1,115
<i>F</i> (000)	2440,0	1412,0
Размер кристалла, мм	0,48×0,32×0,16	0,50×0,48×0,27
Область сбора данных по 2 θ , град.	5,594–54,932	5,394–54,294
Интервалы индексов отражений	$-14 \leq h \leq 14$, $-24 \leq k \leq 24$, $-29 \leq l \leq 29$	$-13 \leq h \leq 13$, $-21 \leq k \leq 21$, $-22 \leq l \leq 22$
Измерено отражений	119542	42645
Независимых отражений	21610	11288
Переменных уточнения	1256	737
<i>GOOF</i>	1,094	1,645
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0586$, $wR_2 = 0,1410$	$R_1 = 0,1283$, $wR_2 = 0,3459$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,0924$, $wR_2 = 0,1668$	$R_1 = 0,2058$, $wR_2 = 0,4117$
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	1,32/–0,82	2,47/–2,50

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структурах **1,2**

Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град.
1			
Sb2–O4	2,196(5)	O1–Sb2–O4	176,3(2)
Sb2–O4	2,196(5)	C51–Sb2–C31	115,6(3)
Sb2–O1	1,932(5)	C41–Sb2–C51	113,8(3)
Sb2–C51	2,093(8)	C41–Sb2–C31	129,3(3)
Sb2–C41	2,082(7)	O1–Sb1–O2	179,8(2)
Sb2–C31	2,102(7)	C1–Sb1–C11	125,2(3)
Sb1–O1	1,938(5)	C21–Sb1–C11	113,1(2)
Sb1–O2	2,207(4)	C21–Sb1–C1	119,9(3)

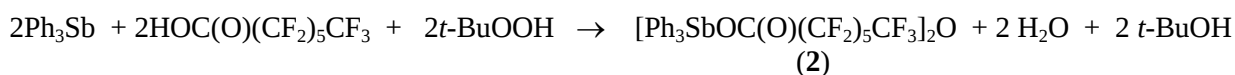
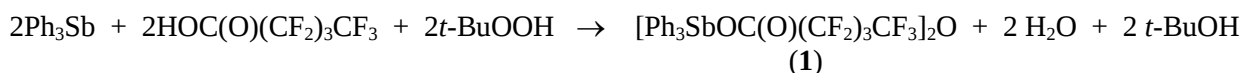
Окончание табл. 2

Связь	d, Å	Угол	ω, град.
Sb1–C11	2,104(6)	O6–Sb3–O7	179,9(2)
Sb1–C1	2,104(7)	C61–Sb3–C81	125,5(3)
Sb1–C21	2,079(4)	C71–Sb3–C81	113,1(2)
Sb3–O7	2,227(5)	C71–Sb3–C61	119,6(3)
Sb3–O6	1,952(4)	O6–Sb4–O9	176,5(2)
Sb3–C81	2,102(6)	C101–Sb4–C91	129,1(3)
Sb3–C61	2,099(7)	C101–Sb4–C111	113,7(3)
Sb3–C71	2,043(4)	C111–Sb4–C911	115,8(3)
Sb4–O6	1,950(4)	C126–O4–Sb2	117,7(5)
Sb4–O9	2,213(5)	Sb2–O1–Sb1	145,1(3)
Sb4–C91	2,095(7)	C21–O2–Sb1	121,5(5)
Sb4–C101	2,071(7)	Sb4–O6–Sb3	145,6(3)
Sb4–C111	2,085(7)	C131–O7–Sb3	122,0(5)
O4–C126	1,298(10)	C136–O9–Sb4	118,6(5)
O7–C131	1,249(9)	C82–C81–Sb3	119,1(5)
O9–C136	1,292(10)	C106–C101–Sb4	119,2(6)
2			
Sb1–O1	1,951(10)	O1–Sb1–C21	97,6(4)
Sb1–C21	2,083(6)	O1–Sb1–C11	90,1(5)
Sb1–C11	2,121(11)	O1–Sb1–O2	173,7(4)
Sb1–C1	2,110(12)	C21–Sb1–C11	119,6(4)
Sb1–O2	2,239(11)	C21–Sb1–C1	119,1(4)
Sb2–O1	1,956(9)	C1–Sb1–C11	120,4(4)
Sb2–C41	2,122(13)	O1–Sb2–O4	177,3(4)
Sb2–C51	2,119(11)	C51–Sb2–C41	126,3(5)
Sb2–C31	2,124(12)	C51–Sb2–C31	118,0(5)
Sb2–O4	2,241(12)	Sb1–O1–Sb2	146,8(5)

Обсуждение результатов

Одними из наиболее изученных производных пентавалентной сурьмы являются биядерные соединения [Ar₃SbOC(O)R]₂O [1–23] (получающиеся преимущественно по реакции окислительного присоединения), основное различие геометрии молекул которых заключается в строении фрагмента Sb–O–Sb. В большинстве случаев фрагменты имеют угловую форму и лишь иногда линейную. Также известны кристаллы, в ячейках которых одновременно присутствуют молекулы (Ar₃SbX)₂O (Ar = Ph, *p*-Tol; X = CH₂Cl, CH₂Br) с угловым и линейным центральными фрагментами [23]. Факторы, влияющие на величину угла при мостиковом атоме кислорода, не выяснены, и нельзя спрогнозировать, линейную или угловую форму будет иметь фрагмент Sb–O–Sb той или другой молекулы, однако исследование структур данного типа может позволить определить какие-либо закономерности в производных указанного типа. Более того, реакции окислительного присоединения не всегда протекают в сторону образования производных (Ar₃SbX)₂O и Ar₃SbX₂ [29–32]. Особенно это касается карбоксилатных производных, в которых остатки карбоновой кислоты X содержат в своем составе атомы фтора [33], поэтому в настоящей работе синтезированы и кристаллографически охарактеризованы два представителя мостиковых биядерных молекул с фторированными карбоксилатными лигандами [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O (1), [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O (2) и проанализированы их основные геометрические параметры.

Найдено, что взаимодействие эквимольных количеств трифенилсурьмы, перфторпентановой и перфторгептановой кислот в присутствии *трет*-бутилгидропероксида в эфире приводило к образованию соединений 1 и 2 с выходами 69 % и 98 % соответственно.



Из данных РСА следует, что атомы сурьмы в производных **1**, **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с мостиковым атомом кислорода и монодентатным карбоксильным лигандом в аксиальных положениях (рис. 1, 2).

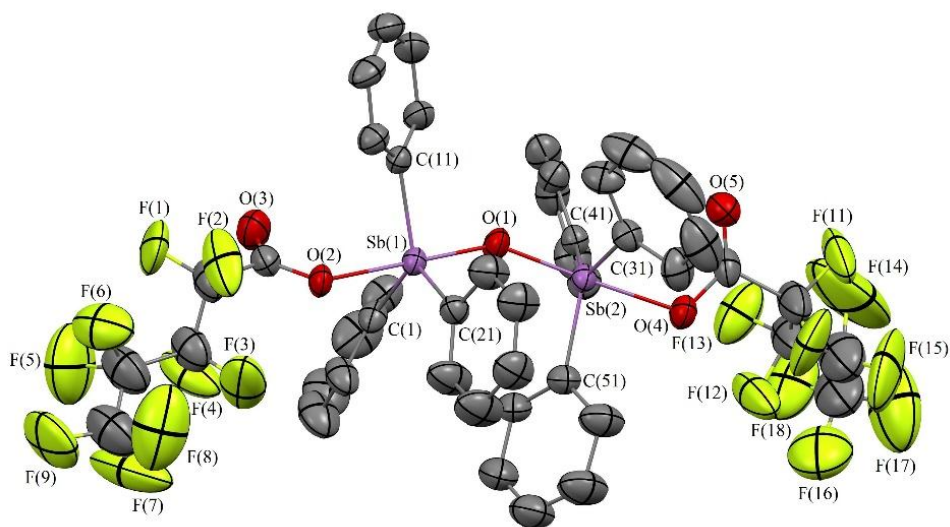


Рис. 1. Общий вид комплекса **1**

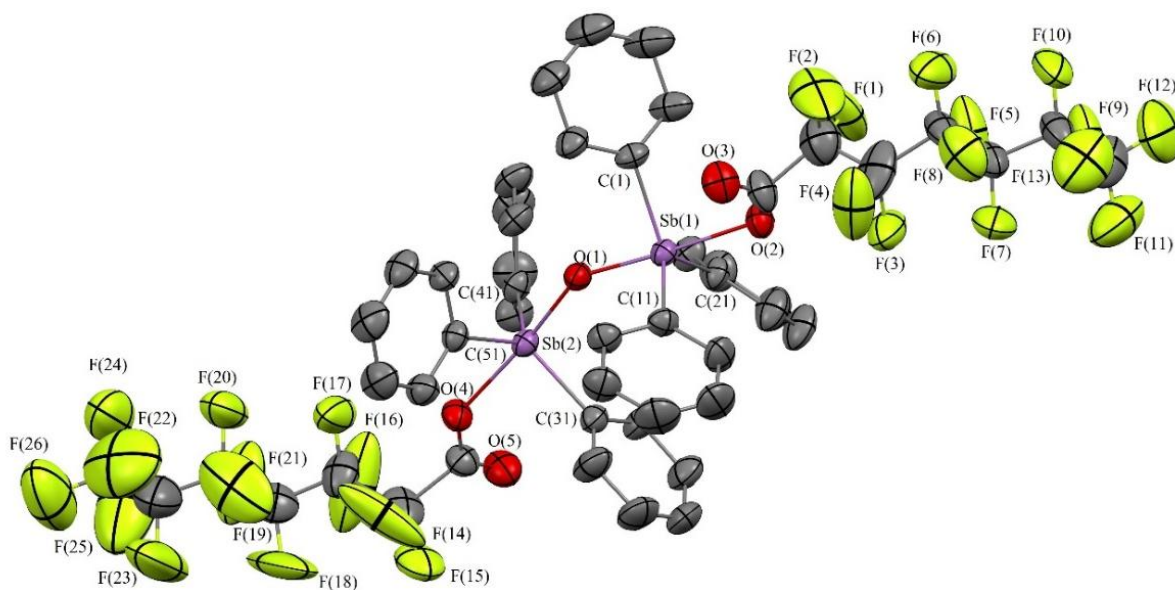


Рис. 2. Общий вид комплекса **2**

В экваториальной плоскости располагаются фенильные заместители. Такой координационный полиэдр для атома пентавалентной сурьмы наиболее распространен и реализуется в большом числе соединений с биядерными молекулами, содержащими мостик SbOSb. Кристаллы комплексов **1** состоят из двух типов кристаллографически независимых угловых биядерных молекул SbOSb [145,1(3)° и 145,6(3)°]. В молекулах **2** аналогичный угол составляет 146,8(5)°. Длины связей Sb–C_{экв} в соединениях **1** и **2** равны 2,043(4)–2,104(7) Å и 2,083(6)–2,122(13) Å соответственно, что близко к наблюдаемым в подобных соединениях (2,086–2,149 Å [24]), а расстояния Sb–O_{терм} [2,207(4)–2,227(5) Å и 2,239(11), 2,241(12) Å] значительно больше расстояний Sb–O_{мост} [1,932(4)–1,952(4) Å и 1,951(10), 1,956(9) Å], которые сравнимы с аналогичными связями в ряду остальных биядерных соединений сурьмы (1,919–1,986 Å [24]).

Как и в большинстве органических соединений сурьмы с карбоксилатными лигандами, в молекулах **1** и **2** наблюдаются внутримолекулярные контакты между атомами сурьмы и атомами

кислорода карбонильных групп (расстояния Sb...O=C составляют 3,262–3,333 Å и 3,228 Å соответственно), что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов-партнеров (3,7 Å [34]), причем со стороны внутримолекулярного контакта в **1** экваториальный угол CSbC имеет максимальное значение [125,2(3)°–129,3(3)°]. В **2** подобные углы имеют значения 119,11(3)° и 126,32(3)°.

Данные ИК-спектроскопии подтверждают данные РСА. Так, в ИК-спектрах **1** и **2** наблюдаются полосы при 459 и 457 см⁻¹, обусловленные колебаниями связи Sb–C, и при 786 см⁻¹, характерные для колебаний Sb–O_μ. Кроме того, спектры содержат характеристические полосы при 1020, 1022 см⁻¹ (C–F) и 1710 см⁻¹ (C=O).

Выводы

Взаимодействием эквимольных количеств трифенилсурьмы, карбоновой кислоты и *трет*-бутилгидропероксида в эфире получены биядерные соединения сурьмы мостикового типа [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₃CF₃]₂O (**1**) и [Ph₃SbOC(O)(CF₂)₅CF₃]₂O (**2**), строение которых определено методом рентгеноструктурного анализа. Кристаллы комплексов **1**, **2** состоят из биядерных молекул с угловым фрагментом Sb–O–Sb, причем в кристаллах **1** присутствуют два типа кристаллографически независимых молекул с углами SbOSb 145,1(3) и 145,6(3)°. В **2** аналогичный угол составляет 146,8(5)°.

Список источников

1. Grigsby E.W.J., Hart R.D., Raston C.L. et al. // Aust. J. Chem. 1997. V. 50, No. 6. P. 675. DOI: 10.1071/C96042
2. Tiekink E.R.T. // J. Organomet. Chem. 1987. V. 333, No. 2. P. 199. DOI: 10.1016/0022-328X(87)85152-5
3. Ouchi A., Sato S. // Bull. Chem. Soc. Jap. 1988. V. 61, No. 5. P. 1806. DOI: 10.1246/bcsj.61.1806
4. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Егорова И.В. и др. // Коорд. химия. 2008. Т. 34, № 3. С. 181. EDN: UKFJX
5. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П., Смирнова С.А. // Журн. неорган. химии. 2009. Т. 54, № 10. С. 1705. EDN: KWIUSL
6. Gibbons M.N., Blake A.J., Sowerby D.B. // J. Organomet. Chem. 1997. V. 543, No. 2. P. 217. DOI: 10.1016/S0022-328X(97)00208-8
7. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Насонова Н.В. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 7. С. 506. EDN: ZATRQY
8. Balazs L., Breunig H.J., Gheshler I., Lork E. // J. Organometal. Chem. 2002. V. 648, No. 1. P. 33. DOI: 10.1016/S0022-328X(01)01467-X
9. Taylor M.J., Baker L.-J., Rickard C.E.F., Surman P.W.J. // J. Organomet. Chem. 1995. V. 498, No. 1. P. C14. DOI: 10.1016/0022-328X(95)05555-4
10. Bordner J., Andrews B.C., Long G.G. // Cryst. Struct. Comm. 1974. V. 3, No. 1. P. 53.
11. Ferguson G., Ridley D.R. // Acta crystallogr. 1973. V. B29, No. 10. P. 2221. DOI: 10.1107/S0567740873006370
12. Старикова З.А., Щеголева Т.М., Трунов В.К., Покровская И.Е. // Кристаллография. 1978. Т. 23, № 5. С. 969.
13. Gibbons M.N., Sowerby D.B. // J. Organomet. Chem. 1998. V. 555, No. 2. P. 271. DOI: 10.1016/S0022-328X(97)00759-6
14. Grigsby E.W.J., Hart R.D., Raston C.L. et al. // Aust. J. Chem. 1997. V. 50, No. 6. P. 675. DOI: 10.1071/C96042
15. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Платонова Т.П. и др. // Журн. общ. химии. 2004. Т. 74, № 2. С. 238. EDN: PBCRSL
16. Шарутин В.В., Егорова И.В., Павлушкина И.И. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 2. С. 89. EDN: OOFNXZ
17. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Насонова Н.В. и др. // Изв. РАН. Сер. хим. 1999. № 12. С. 2346. EDN: SFWPCR

18. Preut H., Ruther R., Huber F. // Acta Crystallogr. 1986. V. C42. No. 9. P. 1154. DOI: 10.1107/S010827018609306X
19. Ruther R., Huber F., Preut H. // J. Organomet. Chem. 1988. V. 342, No. 2. P.185. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)99456-7
20. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия: Химия. 2024. Т. 16, № 4. С. 86. DOI: 10.14529/chem240407
21. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. и др. // Журн. общ. химии. 2019. Т. 89, № 1. С. 89. EDN: YSTUZF
22. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К., Чагарова О.В. // Журн. неорган. химии. 2012. Т. 57, № 8. С. 1149. EDN: OZLDRJ
23. Cambridge Crystallographic Data Center, 2023.
24. Шарутина О.К., Шарутин В.В. Молекулярные структуры органических соединений сурьмы (V): моногр. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2012. 395 с.
25. Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al. // Dalton Trans. 2008. V. 21. P. 2832. DOI: 10.1039/B801115J
26. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
27. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
28. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
29. Ferguson G., Hawley D.M. // Acta Cryst. 1974. V. B30, No. 1. P. 103. DOI: 10.1107/S0567740874002299
30. Millington P.L., Sowerby D.B. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1992. P. 1199. DOI: 10.1039/DT9920001199
31. Bricklebank N., Godfrey S.M., Lane H.P. et al. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1994. P. 1759. DOI: 10.1039/DT9940001759
32. Lane H.P., Godfrey S.M., McAuliffe C.A. et al. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1994. P. 3249. DOI: 10.1039/DT9940003249
33. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 4. С. 191. DOI: 10.14529/chem240419
34. Batsanov S.S. // Inorganic Materials. 2001. V. 36, No. 9. P. 871. DOI: 10.1023/A:1011625728803

Артемьева Екатерина Владимировна – старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: artemevaev@susu.ru

Гремицких Светлана Андреевна – студент группы ЕТ–241, кафедра теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: gremickih2001@mail.ru

Шарутина Ольга Константиновна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutinaok@mail.ru

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 7 апреля 2025 г.
The article was submitted 7 April 2025.*