

УДК 546.865+547.53.024+548.312.5

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ТРИ(*мета*-ТОЛИЛ)СУРЬМЫ (3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)R]₂ (R = CH₂C₆H₄F-3, CH=CHPh, C≡CPh) И [(3-MeC₆H₄)₃SbOSO₂CF₃]₂O

© 2022 г. В. В. Шарутин¹, *, О. К. Шарутина¹

¹Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

*e-mail: vvsharutin@rambler.ru

Поступила в редакцию 09.02.2021 г.

После доработки 18.02.2021 г.

Принята к публикации 20.02.2021 г.

Взаимодействием три(*мета*-толил)сурьмы с 3-фторфенилхлоруксусной, коричной и фенилпропиоловой кислотами в присутствии *трет*-бутилгидропероксида (мольное соотношение 1 : 2 : 1 соответственно) в эфире синтезированы дикарбоксилаты три(*мета*-толил)сурьмы (3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)CH₂C₆H₄F-3]₂ (I), (3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)CH=CHPh]₂ (II) и (3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)C≡CPh]₂ (III) соответственно. В аналогичных условиях реакция три(*мета*-толил)сурьмы с трифторметансульфоновой кислотой приводит к образованию μ -оксо-бис[три(*мета*-толил)(трифторметансульфонато)сурьмы] [(3-MeC₆H₄)₃SbOSO₂CF₃]₂O (IV). Атомы Sb в I–IV имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с электроотрицательными лигандами в аксиальных положениях.

Ключевые слова: бис(3-фторфенилацетат), дигиннамат, бис(фенилпропионат), три(*мета*-толил)сурьма, μ -оксо-бис[три(*мета*-толил)(трифторметансульфонато)сурьма], синтез, строение, дифракционные исследования

DOI: 10.31857/S0132344X22010042

Известно, что дикарбоксилаты триарилсурьмы способны оказывать противоопухолевое, антилейшманиозное и антибактериальное действие, обладают электрохимическими, фотолюминисцентными и фотокаталитическими свойствами [1–16]. К настоящему времени наиболее изучены дикарбоксилаты трифенил- и *n*-толилсурьмы [17]. Гораздо в меньшей степени известно об *орто*- и *мета*-толильных производных сурьмы [18, 19]. В настоящей работе осуществлен синтез и выявлены особенности строения новых производных три(*мета*-толил)сурьмы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали 3-фторфенилуксусную, коричную, фенилпропиоловую, трифторметансульфоновую кислоты и *трет*-бутилгидропероксид (Alfa Aesar). Три(*мета*-толил)сурьму получали по методике, описанной в [17]. Растворители квалификации “х. ч.” перед проведением синтеза высушивали над хлоридом кальция и перегоняли.

Синтез бис(3-фторфенилацетато)три(*мета*-толил)сурьмы (3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)CH₂C₆H₄F-3]₂ (I) проводили по методике, описанной в [20]. Выход бесцветных кристаллов 91%, $T_{пл} = 63^\circ\text{C}$. ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3084 сл, 3055 сл, 1662 о.с, 1614 ср,

1591 с), 1487 с, 1471 ср, 1448 ср, 1292 о.с, 1276 ср, 1265 сл, 1244 с, 1139 ср, 1099 ср, 1074 сл, 1045 сл, 991 ср, 964 с, 924 с, 889 сл, 868 ср, 829 сл, 783 с, 769 о.с, 721 с, 686 с, 638 ср, 580 ср, 549 сл, 520 ср, 509 сл, 472 сл, 439 сл, 424 с.

Найдено, %: C 63.65; H 4.98.

Для C₃₈H₃₅O₄F₂Sb

вычислено, %: C 63.78; H 4.90.

Соединения II–IV синтезировали по аналогичной методике.

(3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)CH=CHPh]₂ · PhH (II · PhH): бесцветные прозрачные кристаллы, выход 84%, $T_{пл} = 140^\circ\text{C}$. ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3055 ср, 3024 ср, 2914 сл, 1641 о.с, 1587 о.с, 1477 с, 1449 с, 1337 о.с, 1288 с, 1215 сл, 1202 ср, 1101 с, 1070 сл, 1036 сл, 988 ср, 974 с, 885 сл, 872 ср, 850 сл, 773 о.с, 739 с, 716 сл, 683 о.с, 590 с, 548 ср, 507 ср, 486 ср, 426 с, 410 сл. Кристаллы II · PhH, пригодные для PCA, получали перекристаллизацией соединения II из смеси бензол–октан (3 : 1 объемн.).

Найдено, %: C 70.22; H 5.47.

Для C₄₅H₄₁O₄Sb

вычислено, %: C 70.31; H 5.34.

(3-MeC₆H₄)₃Sb[OC(O)C≡CPh]₂ (III): бесцветные прозрачные кристаллы, выход 88%, $T_{\text{разл}} = 152^\circ\text{C}$. ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3051 сл, 2924 сл, 2254 сл, 2210 с, 1625 о.с, 1614 с, 1595 с, 1491 с, 1473 с, 1445 с, 1398 сл, 1319/1313 о.с, 1215 о.с, 1175 ср, 1123 сл, 1099 ср, 1072 сл, 1026 сл, 991 ср, 939 ср, 920 сл, 885 сл, 829 сл, 779 с, 767/759 о.с, 687 с, 615 с, 534 ср, 511 ср, 426 с.

Найдено, %: C 68.26; H 4.65.

Для C₃₉H₃₁O₄Sb

вычислено, %: C 68.32; H 4.53.

[(3-MeC₆H₄)₃SbOSO₂CF₃]₂O (IV): бесцветные прозрачные кристаллы, выход 38%, $T_{\text{разл}} = 110^\circ\text{C}$. ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3051 сл, 2924 ср, 2854 сл, 1591 ср, 1570 сл, 1473 с, 1450 сл, 1408 сл, 1383 сл, 1328 о.с, 1253 ср, 1234 о.с, 1199 о.с, 1174/1166 с, 1097 ср, 1034 с, 1005 о.с, 875 сл, 827 сл, 770 о.с, 760 с, 685 с, 633 о.с, 579 ср, 516 с, 503 сл, 424 с.

Найдено, %: C 47.69; H 3.95.

Для C₄₄H₄₂O₇F₆S₂Sb₂

вычислено, %: C 47.83; H 3.80.

ИК-спектры соединений I–IV записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетках KBr в области 4000–400 см⁻¹.

РСА кристаллов I, II · PhH, III, IV проведен на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (MoK_α-излучение, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения

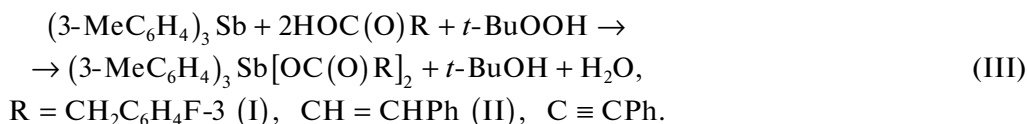
проведены по программам SMART и SAINT-Plus [21]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [22] и OLEX2 [23]. Структуры I–IV определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур I, II · PhH, III, IV 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 [CCDC № 2049792 (I), 2050081 (II · PhH), 2049694 (III), 2050999 (IV)]; deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

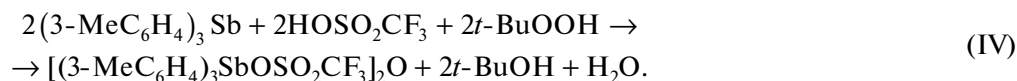
Известно, что окисление триарилсурьмы пероксидом водорода или *трет*-бутилгидропероксидом в присутствии карбоновых кислот приводит к синтезу дикарбоксилатов триарилсурьмы общей формулы Ar₃Sb[OC(O)R]₂ [16–20].

Мы установили, что взаимодействие три(*мета*-толил)сурьмы с 3-фторфенилхлоруксусной, коричной и фенилпропиоловой кислотами в присутствии *трет*-бутилгидропероксида при мольном соотношении 1 : 2 : 1 соответственно в диэтиловом эфире протекает по схеме реакции окислительного присоединения с образованием дикарбоксилатов три(*мета*-толил)сурьмы согласно реакции:



Подобная реакция с трифторметансульфоновой кислотой привела к образованию μ -оксо-

бис[три(*мета*-толил)(трифторметансульфонато)сурьмы] (IV) с выходом 38%.



Установлено, что изменение мольного соотношения исходных реагентов (1 : 1 : 1 вместо 1 : 2 : 1) сопровождалось повышением выхода целевого продукта до 80%. Очевидно, что образование соединения сурьмы мостикового типа можно объяснить стерическими затруднениями, вызываемыми объемными трифторметансульфонатными заместителями у атома металла.

Соединения I–IV представляют собой устойчивые к действию влаги и кислорода воздуха бесцветные кристаллические вещества с четкой температурой плавления, хорошо растворимые в ароматических углеводородах и полярных органических растворителях.

В ИК-спектрах соединений I, II, III и IV наблюдаются интенсивные полосы при 424, 426, 426

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I, II · PhH, III, IV

Параметр	Значение			
	I	II · PhH	III	IV
<i>M</i>	715.41	767.53	685.39	1104.40
Сингония	Моноклинная	Триклинная	Триклинная	Моноклинная
Пр. группа	<i>C</i> 2/ <i>c</i>	<i>P</i> $\bar{1}$	<i>P</i> $\bar{1}$	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>
<i>a</i> , Å	19.728(19)	9.129(3)	10.593(17)	12.624(8)
<i>b</i> , Å	10.271(7)	10.762(5)	12.75(3)	14.937(9)
<i>c</i> , Å	16.106(11)	20.376(7)	13.56(3)	24.837(15)
α , град	90.00	100.25(2)	65.29(10)	90.00
β , град	96.22(3)	98.031(13)	73.95(7)	90.23(2)
γ , град	90.00	94.178(19)	81.20(7)	90.00
<i>V</i> , Å ³	3244(4)	1940.7(12)	1598(6)	4683(5)
<i>Z</i>	4	2	2	4
ρ (выч.), г/см ³	1.465	1.313	1.425	1.566
μ , мм ⁻¹	0.901	0.752	0.903	1.313
<i>F</i> (000)	1456.0	788.0	696.0	2200.0
Размер кристалла, мм	0.64 × 0.3 × 0.15	0.38 × 0.32 × 0.18	0.48 × 0.29 × 0.09	0.45 × 0.23 × 0.08
Область сбора данных по 2 θ , град	6.22–55.84	5.62–54.3	5.2–58.9	5.7–49.5
Интервалы индексов отражений	–25 ≤ <i>h</i> ≤ 25, –13 ≤ <i>k</i> ≤ 13, –21 ≤ <i>l</i> ≤ 20	–11 ≤ <i>h</i> ≤ 11, –13 ≤ <i>k</i> ≤ 13, –26 ≤ <i>l</i> ≤ 26	–14 ≤ <i>h</i> ≤ 13, –16 ≤ <i>k</i> ≤ 16, –18 ≤ <i>l</i> ≤ 18	–14 ≤ <i>h</i> ≤ 14, –17 ≤ <i>k</i> ≤ 17, –29 ≤ <i>l</i> ≤ 29
Измерено отражений	20531	47743	32614	100440
Независимых отражений (<i>R</i> _{int})	3866 (0.0302)	8578 (0.0268)	6971 (0.0629)	7981 (0.0576)
Отражений с <i>I</i> > 2 σ (<i>I</i>)	3080	7939	5605	6334
Переменных уточнения	207	454	400	556
GOOF	1.082	1.091	1.341	1.043
<i>R</i> -факторы по <i>F</i> ² > 2 σ (<i>F</i> ²)	<i>R</i> ₁ = 0.0471, <i>wR</i> ₂ = 0.1248	<i>R</i> ₁ = 0.0226, <i>wR</i> ₂ = 0.0541	<i>R</i> ₁ = 0.0945, <i>wR</i> ₂ = 0.2654	<i>R</i> ₁ = 0.0386, <i>wR</i> ₂ = 0.0937
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ = 0.0615, <i>wR</i> ₂ = 0.1382	<i>R</i> ₁ = 0.0260, <i>wR</i> ₂ = 0.0561	<i>R</i> ₁ = 0.1314, <i>wR</i> ₂ = 0.3108	<i>R</i> ₁ = 0.0555, <i>wR</i> ₂ = 0.1054
Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å ³	1.16/–1.74	0.27/–0.52	2.18/–2.50	1.91/–0.87

и 424 (Sb–C), 1487, 1477, 1491 и 1474 (Ar), 2924, 2914, 2924 и 2924 (H–C_{Alk}), 3055, 3055, 3051 и 3051 см⁻¹ (H–C_{Ar}) соответственно. В области валентных колебаний карбонильных групп в спектрах соединений I, II, III наблюдаются полосы при 1663, 1641 и 1626 см⁻¹ соответственно. В ИК-спектрах III и IV присутствуют полосы (2210 и 1234 см⁻¹), которые можно отнести к колебаниям групп C≡C и S=O соответственно.

По данным PCA, в молекулах I–III атомы Sb имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода карбоксильных лигандов в аксиальных положениях (рис. 1–3).

В V-образной биядерной молекуле IV (угол SbOSb 138.84(18)°) атомы металла имеют тригонально-бипирамидальное окружение с алкансульфонатным лигандом и мостиковым атомом кислорода в аксиальных положениях (рис. 4).

Суммы валентных углов CSbC в экваториальной плоскости составляют 359.99° (I), 359.97° (II), 359.9° (III) и 357.7°, 356.55° (IV). Атомы Sb в I лежат на экваториальной плоскости C₃ и отклоняются от нее на 0.02 Å к атому O(1) в II, на 0.027 Å к атому O(3) в III и на 0.188, 0.226 Å к мостиковому атому O(1) в IV. Значения углов OSbC отличаются от теоретических не более чем на 4°: 87.84(7)°–91.76(15)° (I), 87.66(6)°–91.69(6)° (II),

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в структурах I, II · PhH, III, IV*

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град}$
I			
Sb(1)–O(1)	2.107(4)	O(1)Sb(1)O(1) [#]	175.68(14)
Sb(1)–O(1) [#]	2.107(4)	O(1)Sb(1)C(1)	91.76(15)
Sb(1)–C(1)	2.112(3)	O(1)Sb(1)C(1) [#]	89.80(14)
Sb(1)–C(1) [#]	2.112(3)	O(1)Sb(1)C(1)	89.79(14)
Sb(1)–C(11)	2.119(5)	O(1)Sb(1)C(11)	87.84(7)
O(1)–C(28)	1.303(5)	C(1)Sb(1)C(1)	137.87(19)
O(2)–C(28)	1.209(6)	C(1)Sb(1)C(11)	111.06(9)
C(23)–F(1)	1.331(8)	C(1)Sb(1)C(11)	111.06(9)
Sb(1)⋯O(1)	3.169(5)		
II · PhH			
Sb(1)–C(1)	2.1249(18)	C(1)Sb(1)O(1)	87.66(6)
Sb(1)–O(1)	2.1389(12)	C(11)Sb(1)C(1)	107.20(7)
Sb(1)–C(11)	2.1112(17)	C(11)Sb(1)O(1)	91.69(6)
Sb(1)–O(3)	2.1137(12)	C(11)Sb(1)O(3)	89.60(6)
Sb(1)–C(21)	2.1116(18)	C(11)Sb(1)C(21)	146.87(8)
O(1)–C(39)	1.311(2)	O(3)Sb(1)C(1)	88.18(6)
O(2)–C(39)	1.229(2)	O(3)Sb(1)O(1)	175.84(4)
O(3)–C(49)	1.307(2)	C(21)Sb(1)C(1)	105.90(8)
O(4)–C(49)	1.229(2)	C(21)Sb(1)O(1)	91.07(6)
Sb(1)⋯O(2)	2.790(1)	C(21)Sb(1)O(3)	90.01(6)
Sb(1)⋯O(4)	2.879(1)	C(39)O(1)Sb(1)	107.96(10)
III			
Sb(1)–C(1)	2.112(9)	C(1)Sb(1)O(3)	90.0(3)
Sb(1)–C(21)	2.099(8)	C(1)Sb(1)O(1)	89.9(3)
Sb(1)–C(11)	2.095(10)	C(21)Sb(1)C(1)	108.2(3)
Sb(1)–O(3)	2.129(7)	C(21)Sb(1)C(11)	108.5(4)
Sb(1)–O(1)	2.120(7)	C(21)Sb(1)O(3)	89.0(3)
O(3)–C(49)	1.309(10)	C(21)Sb(1)O(1)	88.9(3)
O(1)–C(39)	1.275(10)	C(11)Sb(1)C(1)	143.2(3)
O(2)–C(39)	1.232(11)	C(11)Sb(1)O(3)	88.7(3)
O(4)–C(49)	1.227(10)	C(11)Sb(1)O(1)	92.7(3)
Sb(1)⋯O(2)	2.990(9)	O(1)Sb(1)O(3)	177.73(19)
Sb(1)⋯O(4)	2.872(9)		
IV			
Sb(1)–O(1)	1.946(3)	O(1)Sb(1)O(5)	178.48(14)
Sb(1)–O(5)	2.368(3)	O(1)Sb(1)C(21)	92.46(16)
Sb(1)–C(21)	2.094(5)	O(1)Sb(1)C(11)	98.42(17)
Sb(1)–C(1)	2.116(5)	C(21)Sb(1)O(5)	87.05(16)
Sb(1)–C(11)	2.099(5)	C(21)Sb(1)C(1)	119.8(2)
Sb(2)–O(1)	1.950(3)	C(21)Sb(1)C(11)	115.8(2)
Sb(2)–O(2)	2.396(3)	C(1)Sb(1)O(5)	87.01(18)
Sb(2)–C(31)	2.091(5)	C(11)Sb(1)O(5)	80.52(17)
Sb(2)–C(51)	2.108(5)	C(11)Sb(1)C(1)	122.1(2)

Таблица 2. Окончание

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град}$
Sb(2)–C(41)	2.084(5)	O(1)Sb(2)O(2)	174.17(13)
S(1)–O(2)	1.435(4)	Sb(1)O(1) Sb(2)	138.84(18)
S(1)–O(3)	1.508(6)	O(1)Sb(2)C(51)	95.01(17)
S(1)–O(4)	1.379(5)	O(1)Sb(2)C(41)	100.12(16)
S(1)–C(38)	1.772(8)	C(31)Sb(2)O(2)	81.97(16)
S(2)–O(5)	1.450(4)	C(31)Sb(2)C(51)	120.76(18)
S(2)–O(6)	1.428(5)	C(41)Sb(2)O(2)	85.31(15)
S(2)–O(7)	1.422(4)	C(41)Sb(2)C(31)	117.83(18)
S(2)–C(8)	1.808(10)	C(41)Sb(2)C(51)	117.96(19)
F(2)–C(38)	1.395(12)	O(2)S(1)O(3)	110.4(3)

* Преобразования симметрии: # $-1 - x, y, 3/2 - z$ (I).

88.7(3)°–92.7(3)° (III). В IV аналогичные отклонения значительно выше (80.52(17)°–98.42(17)°). Аксиальные углы OSbO (175.68(14)° в I, 175.84(4)° в II, 177.73(19)° в III и 178.48(14)°, 174.17(13)° в IV) несколько отличаются от идеального значения 180°. Длины связей Sb–C имеют близкие значения: 2.107(4)–2.119(5) Å в I, 2.1112(17)–2.1249(18) Å в II, 2.095(10)–2.112(9) Å в III и 2.091(5)–2.116(5) Å в IV. Расстояния Sb–O (2.107(4) Å в I, 2.1137(12), 2.1389(12) Å в II, 2.120(7), 2.129(7) Å в III) несколько превышают сумму ковалентных радиусов атомов

сурьмы и кислорода (2.05 Å [20]), длины связей Sb–O(1) (1.946(3), 1.950(3) Å) в IV значительно короче терминальных связей Sb–O (2.368(3), 2.396(3) Å), как и в подобных биядерных соединениях с линейным строением центрального фрагмента [24–26].

В I–III карбоксилатные лиганды имеют выраженный анизобидентатный характер связывания. Внутримолекулярные расстояния Sb⋯O(=C) составляют 3.169(5) Å в I, 2.790(1), 2.879(1) Å в II и 2.872(9), 2.990(9) Å в III, что меньше суммы ван-дер-

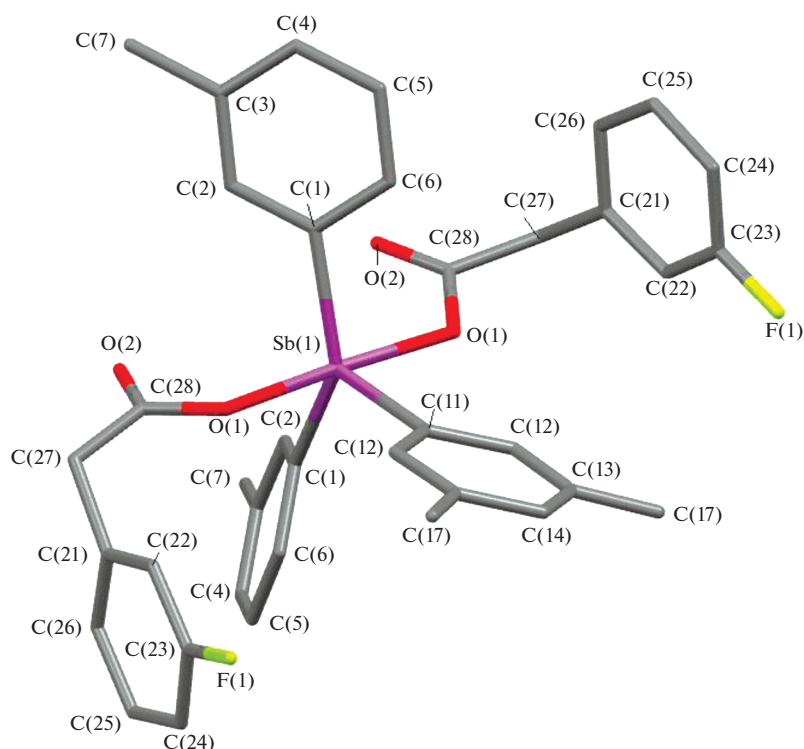


Рис. 1. Строение молекулы I (атомы водорода не показаны).

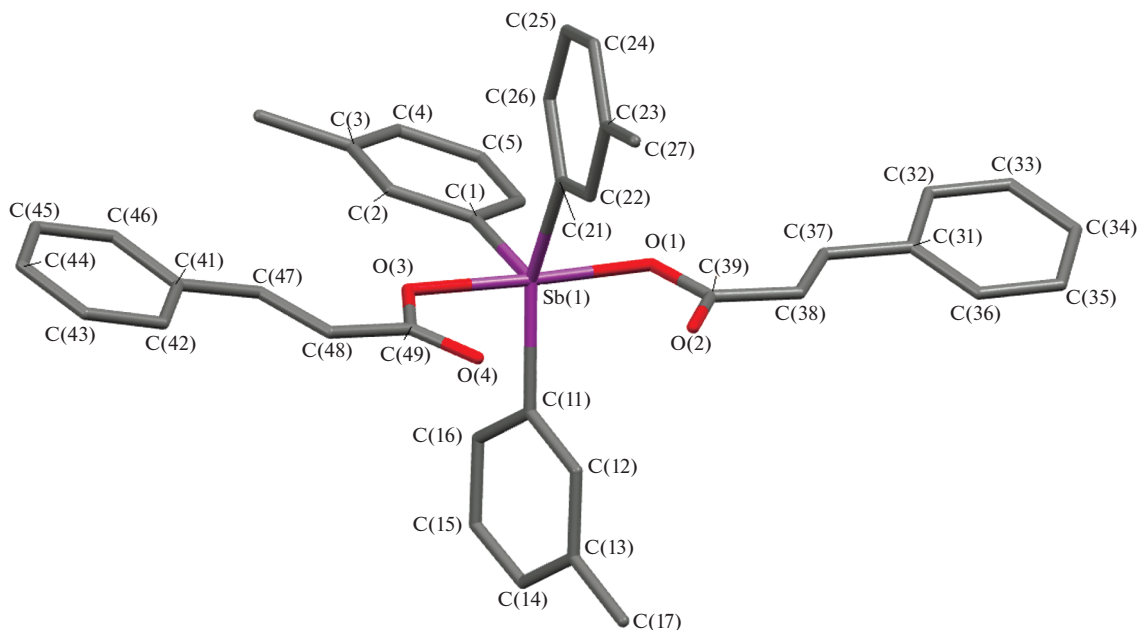


Рис. 2. Структура молекулы II в кристаллах II · PhH (атомы водорода и сольватная молекула бензола не показаны).

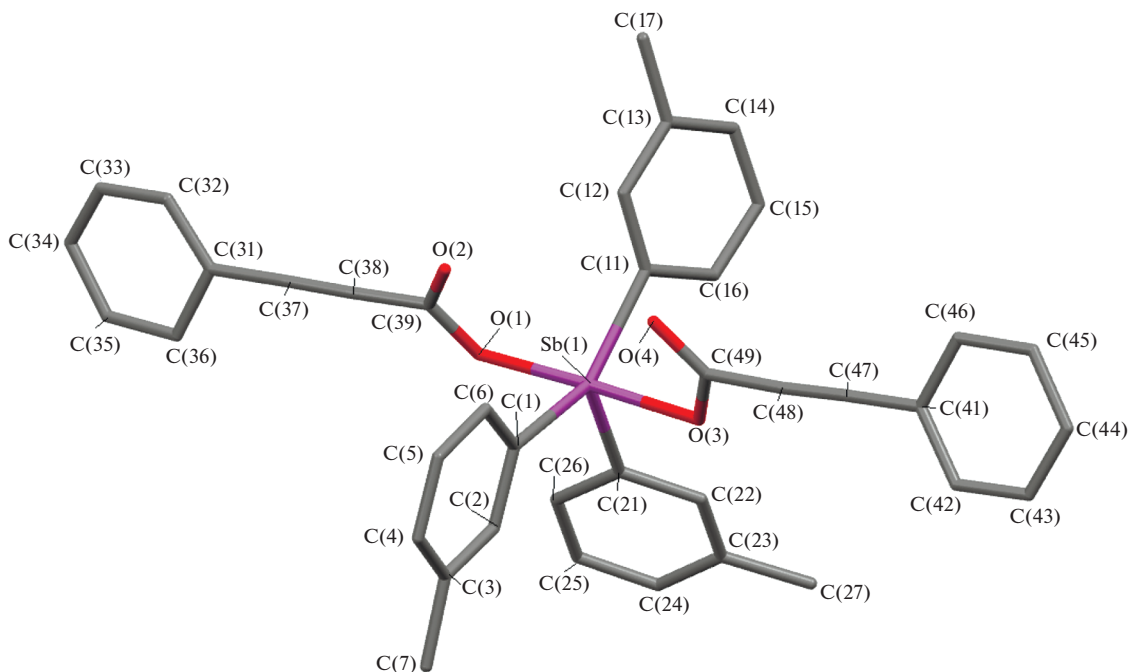


Рис. 3. Структура молекулы III (атомы водорода не показаны).

ваальсовых радиусов атомов сурьмы и кислорода (3.58 Å [27]) и приближаются по своему значению к аналогичным величинам, наблюдаемым в дикарбоксилатах трифенилсурьмы, содержащих электрооакцепторные заместители в карбоксилатных лигандах (например, 3.055 Å в $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$ [28]). В карбоксильных

группах молекул I–III значения одинарной и двойной связей углерод–кислород различаются: 1.303(5) и 1.209(6) Å (I), 1.311(2), 1.307(2) и 1.229(2), 1.229(2) Å (II), 1.275(10), 1.309(10) и 1.232(11), 1.227(10) Å (III). В сульфатной группе молекулы IV одинарные связи S–O (1.508(6), 1.450(4) Å) длиннее двойных связей S=O (1.379(5)–1.435(4) Å).

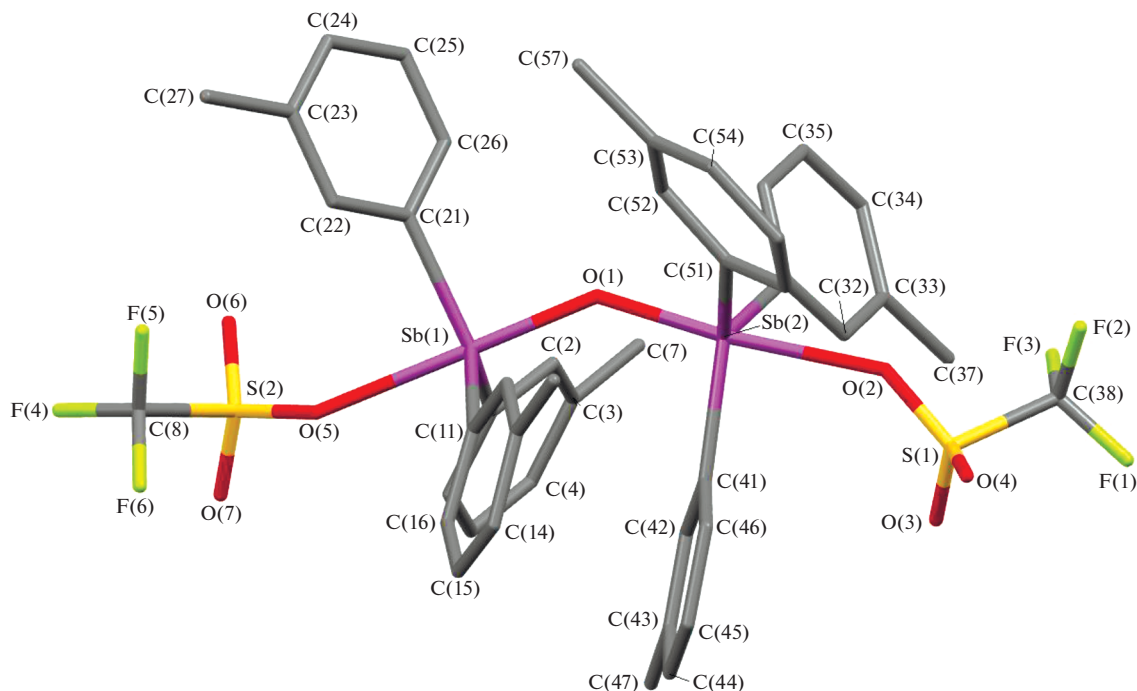


Рис. 4. Строение молекулы IV (атомы водорода не показаны).

Карбоксилатные лиганды в молекулах I, II и III расположены относительно фрагмента SbC_3 таким образом, что внутримолекулярные контакты $\text{Sb}\cdots\text{O}(=\text{C})$ формируются внутри одного экваториального угла, значения которого возрастают до $137.87(19)^\circ$, $146.87(8)^\circ$ и $143.2(3)^\circ$ соответственно, при этом можно отметить зависимость между прочностью контакта $\text{Sb}\cdots\text{O}$ и величиной угла. В кристалле IV внутримолекулярные контакты отсутствуют.

Структурная организация кристаллов I–IV обусловлена множественными межмолекулярными водородными связями $\text{H}\cdots\text{O}$ 2.68 Å, $\text{H}\cdots\text{F}$ 2.57 Å в I, $\text{H}\cdots\text{O}$ 2.71 Å, $\text{H}\cdots\text{C}$ 2.82, 2.85 Å в II, $\text{H}\cdots\text{C}$ 2.82, 2.85 Å в III и $\text{H}\cdots\text{O}$ 2.38–2.67 Å в IV.

Таким образом, в полученных из три(*мета*-толил)сурьмы, карбоновой кислоты и *трет*-бутилгидропероксида в эфире (мольное соотношение 1 : 2 : 1) соединениях I–III наблюдаются характерные невалентные взаимодействия карбонильных атомов кислорода с центральным атомом металла. Наличие электроакцепторных атомов фтора в карбоксилатных лигандах соединения I обуславливает ослабление в нем внутримолекулярных взаимодействий $\text{Sb}\cdots\text{O}(=\text{C})$ по сравнению с II и III. Введение в реакцию окислительного присоединения три(*мета*-толил)сурьмы с трифторметансульфоновой кислотой в присутствии *трет*-бутилгидропероксида, независимо от соотношения исходных реагентов, приводит лишь к образованию соединения сурьмы мостикового

типа с аномально короткими связями между мостиковым атомом кислорода и атомами сурьмы.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Iftikhar T., Rauf M.K., Sarwar S. et al.* // J. Organomet. Chem. 2017. V. 851. P. 89. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2017.09.002>
2. *Mushtaq R., Rauf M.K., Bond M. et al.* // Appl. Organomet. Chem. 2016. V. 30. № 6. P. 465. <https://doi.org/10.1002/aoc.3456>
3. *Mushtaq R., Rauf M.K., Bolte M. et al.* // Appl. Organomet. Chem. 2017. V. 31. № 5. P. e3606. <https://doi.org/10.1002/aoc.3606>
4. *Ali M.I., Rauf M.K., Badshah A. et al.* // Dalton Trans. 2013. V. 42. № 48. P. 16733. <https://doi.org/10.1039/c3dt51382c>
5. *Ma Y.Q., Yu L., Li J.S.* // Heteroat. Chem. 2002. V. 13. № 4. P. 299. <https://doi.org/10.1002/hc.10033>
6. *Islam A., Da Silva J.G., Berbet F.M. et al.* // Molecules. 2014. V. 19. № 5. P. 6009. <https://doi.org/10.3390/molecules19056009>
7. *Liu R.C., Ma Y.Q., Yu L. et al.* // Appl. Organomet. Chem. 2003. V. 17. № 9. P. 662. <https://doi.org/10.1002/aoc.491>
8. *Li J.S., Liu R.C., Chi X.B. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2004. V. 357. № 7. P. 2176. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2003.12.012>

9. Ma Y., Li J., Xuan Z., Liu R. // J. Organomet. Chem. 2001. V. 620. № 1–2. P. 235.
[https://doi.org/10.1016/S0022-328X\(00\)00799-3](https://doi.org/10.1016/S0022-328X(00)00799-3)
10. Li J.S., Ma Y.Q., Cui J.R., Wang R.Q. // Appl. Organomet. Chem. 2001. V. 15. № 7. P. 639.
<https://doi.org/10.1002/aoc.200>
11. Zhang X.-Y., Cui L., Zhang X. et al. // J. Mol. Struct. 2017. V. 134. P. 742.
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.01.039>
12. Lowe K., Powell R. // J. Fluor. Chem. 2001. V. 109. № 1. P. 1.
[https://doi.org/10.1016/S0022-1139\(01\)00371-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1139(01)00371-2)
13. Smart B.E. // J. Fluor. Chem. 2001. V. 109. № 1. P. 3.
[https://doi.org/10.1016/S0022-1139\(01\)00375-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1139(01)00375-X)
14. Park B.K., Kitteringham N.R. // Drug Metab. Rev. 1994. V. 26. № 3. P. 605.
<https://doi.org/10.3109/03602539408998319>
15. Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L., Andrews P.C. // J. Inorg. Biochem. 2020. V. 203. P. 110932.
<https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.110932>
16. Артемьева Е.В., Шарутина О.К., Шарутин В.В., Буланова А.В. // Журн. неорганической химии. 2020. Т. 65. № 1. С. 25 (Artem'eva E.V., Sharutina O.K., Sharutin V.V., Bulanova A.V. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 1. P. 22).
<https://doi.org/10.1134/S0036023620010039>
17. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46. № 10. С. 579 (Sharutin V.V., Poddel'sky A.I., Sharutina O.K. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. № 10. P. 663).
<https://doi.org/10.1134/S1070328420100012>
18. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуринов В.С. и др. // Журн. неорганической химии. 2011. Т. 56. № 7. С. 1125 (Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2011. V. 56. № 7. P. 1060).
<https://doi.org/10.1134/S0036023611070242>
19. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Казаков М.В. // Журн. неорганической химии. 2014. Т. 59. № 10. С. 1352 (Sharutin V.V., Sharutina O.K., Kazakov M.V. // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59. № 10. P. 1115).
<https://doi.org/10.1134/S0036023614100167>
20. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н., Андреев П.В. // Коорд. химия. 2018. Т. 44. № 5. С. 333 (Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N., Andreev P.V. // Russ. J. Coord. Chem. 2018. V. 44. № 5. P. 635).
<https://doi.org/10.1134/S107032841810010X>
21. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
22. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
23. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339.
<https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
24. Preut H., Westhoff T., Huber F. // Acta Crystallogr. C. 1989. V. 41. P. 358.
<https://doi.org/10.1107/S0108270185003900>
25. Шарутин В.В., Егорова И.В., Павлушкина И.И. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29. № 2. С. 89 (Sharutin V.V., Egorova I.V., Pavlushkina I.I. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2003. V. 29. № 2. P. 83).
<https://doi.org/10.1023/A:1022325831721>
26. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Насонова Н.В. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 1999. № 12. С. 2346.
27. Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R. et al. // J. Phys. Chem. A. 2009. V. 113. № 19. P. 5806.
<https://doi.org/10.1021/jp8111556>
28. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Бондарь Е.А. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28. № 5. С. 356 (Sharutin V.V., Sharutina O.K., Bondar' E.A. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2002. V. 28. № 5. P. 333).
<https://doi.org/10.1023/A:1015517216693>