

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСОВ СУРЬМЫ $(Ar_2SbO)_4(O_2)_2$

© 2019 г. В. В. Шарутин, О. К. Шарутина, А. В. Рыбакова*, П. В. Андреев

Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина 76, Челябинск, 454080 Россия

*e-mail: rybakovaav@susu.ru

Поступило в Редакцию 6 марта 2019 г.

После доработки 6 марта 2019 г.

Принято к печати 21 марта 2019 г.

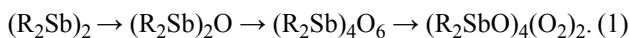
Триарилсурьма Ar_3Sb ($Ar = 4-FC_6H_4, 3-MeC_6H_4$) окисляется пероксидом водорода с образованием четырехъядерных комплексов $[(4-FC_6H_4)_2SbO]_4(O_2)_2$ и $[(3-MeC_6H_4)_2SbO]_4(O_2)_2$ (солюват с диметилсульфоксидом). Структура полученных соединений изучена методом рентгеноструктурного анализа.

Ключевые слова: трис(4-фторфенил)сурьма, трис(3-метилфенил)сурьма, тетра(μ_2 -оксо)ди(μ_4 -пероксо)тетра[диарилсурьма(V)]

DOI: 10.1134/S0044460X19080146

Практическая значимость органических производных сурьмы не столь велика по сравнению с комплексами переходных металлов. Однако установлено, что некоторые арилпроизводные сурьмы проявляют селективное действие против различных раковых клеток [1]. Наряду с противоопухолевым действием производные сурьмы обладают бактерицидными, фунгицидными, цитостатическими свойствами [2–4], проявляют фотокаталитическую активность [5].

Соединения сурьмы часто обладают необычным строением. К соединениям с разнообразным дизайном можно отнести оксиды $Sb(V)$, в которых мостиковые атомы кислорода μ_2 - или μ_3 -координированы [6–13]. Среди оксидов $Sb(V)$ можно выделить каркасные соединения $(Ar_2SbO)_4(O_2)_2$, включающие две лигандные молекулы кислорода, координированные со всеми четырьмя атомами сурьмы. Впервые такое соединение было получено последовательным окислением (1) дистибана $Ar_2Sb-SbAr_2$ ($Ar = o-Tol$) в присутствии воздуха с добавлением на последней стадии пероксида водорода [14].

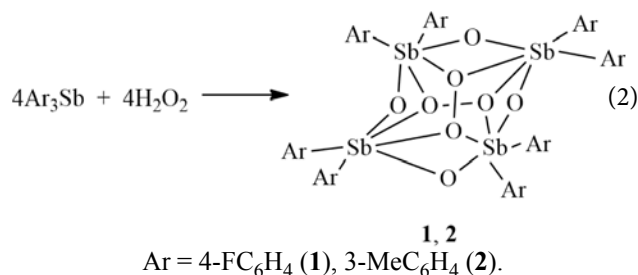


Такой путь синтеза неудивителен, поскольку дистибаны очень реакционноспособны по от-

ношению к кислороду. Однако в нескольких работах сообщалось о том, что такие четырехъядерные кластеры были выделены как незапланированные продукты реакций, например, реакции оксида трифенилсурьмы с циклобутанкарбоновой кислотой в хлороформе [15] при окислении триарилпроизводных сурьмы пероксидом водорода в присутствии 4-хлорфенола, 4-иодфенола, 4-нитрозофенола, ацетофеноноксима [16, 17].

В подавляющем большинстве случаев триарилсурьма в реакциях с органическими НХ-кислотами в присутствии пероксида количественно превращается в соединения Ar_3SbX_2 (мольное соотношение 1:2:1) или $(Ar_3SbX)_2O$ (мольное соотношение 1:1:1) [18]. Подобное взаимодействие с аренсульфоновыми кислотами в зависимости от соотношения исходных реагентов может приводить к образованию моно-, би- и трехъядерных комплексов сурьмы [19]. В окислительных реакциях триарилсурьмы с этиленгликолем или пирокатехином в присутствии *n*-донорных молекул получают производные шестикоординированной сурьмы [20, 21]. В качестве продукта реакции трифенилсурьмы, *трет*-бутилгидропероксида и ацетилацетона получен гидроксиацетилацетонат трифенилсурьмы [22].

В продолжение исследования окислительного метода синтеза производных Sb(V) нами изучены реакции трис(4-фторфенил)- и трис(3-метилфенил)сурьмы с ацетилацетоном и пероксидом водорода (2). Реакции проводили в диэтиловом эфире при мольном соотношении реагентов 1:1:1. Были выделены высокоплавкие вещества, хорошо растворимые в ароматических и хуже – в алифатических растворителях. Однако вместо ожидаемых комплексов с ацетилацетонатным лигандом, по результатам рентгеноструктурных исследований, продуктами реакций были четырехъядерные кластеры $[(4\text{-FC}_6\text{H}_4)_2\text{SbO}]_4(\text{O}_2)_2$ (1), $[(3\text{-MeC}_6\text{H}_4)_2\text{SbO}]_4(\text{O}_2)_2$ (2). Выход соединений 1 и 2 составил 79 и 84% в пересчете на исходное количество триарилсурьмы. Соединение 2 после перекристаллизации из спирта с добавлением диметилсульфоксида было выделено в форме сольвата с диметилсульфоксидом.



По данным РСА, в кристалле соединения 1 присутствуют два типа кристаллографически независимых молекул 1a и 1b, в кристалле соединения 2 – молекулы centrosимметричны. Атомы сурьмы в кристаллах соединений 1 и 2 имеют искаженную октаэдрическую координацию с окружением [C₂O₄] и связаны четырьмя мостиковыми атомами кислорода и двумя пероксогруппами, координированными всеми четырьмя атомами сурьмы (см. рисунок).

Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур комплексов 1 и 2 приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Атомы углерода арильных групп, атомы кислорода пероксогрупп (O_п) и мостиковые атомы кислорода (O_м) находятся в *транс*-вершинах октаэдра. Четыре атома сурьмы образуют практически

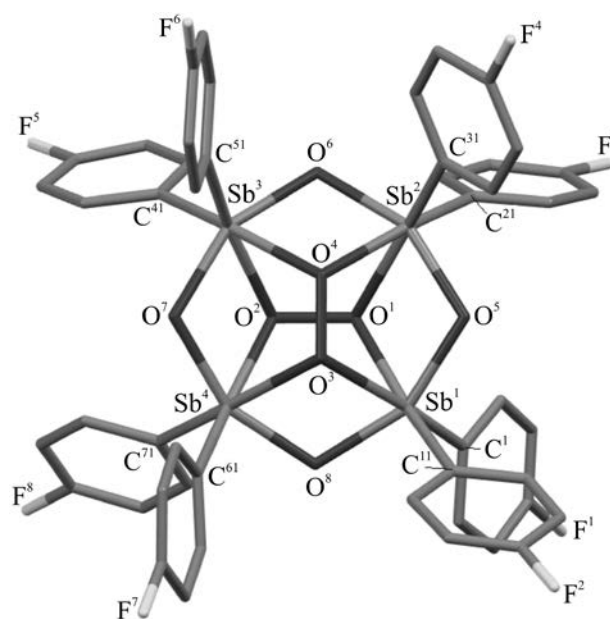


Рис. 1. Общий вид молекулы 1a.

плоский квадрат (углы SbSbSb близки к 90°), по обе стороны плоскости расположены мостиковые атомы кислорода, входящие в состав восьмичленного цикла [Sb₄O₄] и пероксогруппы. Расстояния Sb...Sb [3.217(3)–3.242(3), 3.218(2)–3.244(3) (1a, б) и 3.256(5), 3.267(6) Å (2)] значительно меньше удвоенного ван-дер-ваальсова радиуса атомов (4.40 Å) [23], что объясняется жесткой структурой центрального фрагмента. *Транс*-углы при атомах сурьмы CSbO_п и O_мSbO_м в комплексах 1a, б и 2 изменяются в интервалах 160.5(3)–164.2(3), 160.4(3)–164.2(3), 158.9(2)–165.3(2) и 153.4(3)–154.6(3), 153.5(3)–154.6(2), 154.8(1)–155.2(1)° соответственно. Углы SbO_мSb в металлоциклах изменяются в узком интервале значений [(110.9(3)–111.5(3)° (1), 111.4(2)–111.9(2)° (2)] и близки к тетраэдрическому углу. Расстояния Sb–O_м в кристалле соединения 1 [1.943(5)–1.964(5) Å] немного короче, чем соединения 2 [1.964(3)–1.979(3) Å].

Углы при пероксидных атомах кислорода SbO_пSb немного превышают 93°, SbO_пO_п – 113°. Расстояния Sb–O_п в кристалле соединения 1 [2.217(5)–2.235(5) Å] также превышают аналогичные расстояния в кристалле соединения 2 [2.234(3)–2.249(3) Å] и больше, чем связь Sb–O_м. Длины связей O–O в пероксо-группах: 1.457(7)–1.471(7) Å (1), 1.457(4), 1.466(4) Å (2). Арильные кольца при каждом атоме сурьмы расположены

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и результаты уточнения структуры соединений **1** и **2**

| Параметр | Значение | |
|--|---|---|
| | 1 | 2 |
| Брутто-формула | C ₉₆ H ₆₄ F ₁₆ O ₁₆ Sb ₈ | C ₅₈ H ₆₀ O ₉ Sb ₄ S |
| <i>M</i> | 2751.47 | 1420.18 |
| Сингония | Триклинная | Тетрагональная |
| <i>T</i> , К | 293.15 | 293.15 |
| Пространственная группа | <i>P</i> $\bar{1}$ | <i>I</i> 4 ₁ / <i>a</i> |
| <i>a</i> , Å | 16.130(11) | 15.203(3) |
| <i>b</i> , Å | 16.195(12) | 15.203 |
| <i>c</i> , Å | 24.96(2) | 50.088(12) |
| α , град | 89.21(4) | 90.00 |
| β , град | 71.21(4) | 90.00 |
| γ , град | 60.21(3) | 90.00 |
| <i>V</i> , Å ³ | 5270(7) | 11576(4) |
| <i>Z</i> | 2 | 8 |
| <i>d</i> _{выч} , г/см ³ | 1.734 | 1.542 |
| μ , мм ⁻¹ | 2.104 | 1.895 |
| <i>F</i> (000) | 2640.0 | 5280 |
| Размер кристалла, мм | 0.23 × 0.22 × 0.14 | 0.43 × 0.39 × 0.14 |
| Область сбора данных по θ , град | 5.48–51 | 3.04–37.81 |
| Интервалы индексов отражений | –19 ≤ <i>h</i> ≤ 19, –19 ≤ <i>k</i> ≤ 19, –30 ≤ <i>l</i> ≤ 30 | –22 ≤ <i>h</i> ≤ 26, –26 ≤ <i>k</i> ≤ 23, –86 ≤ <i>l</i> ≤ 86 |
| Измерено отражений | 107480 | 185716 |
| Независимых отражений | 19449 (<i>R</i> _{int} = 0.0601) | 15491 (<i>R</i> _{int} = 0.0568) |
| Переменных уточнения | 1225 | 334 |
| GOOF | 1.073 | 1.060 |
| <i>R</i> -Факторы по <i>F</i> ² > 2σ(<i>F</i> ²) | <i>R</i> ₁ = 0.0431, <i>wR</i> ₂ = 0.1115 | <i>R</i> ₁ = 0.0665 <i>wR</i> ₂ = 0.1459 |
| <i>R</i> -Факторы по всем отражениям | <i>R</i> ₁ = 0.0777, <i>wR</i> ₂ = 0.1349 | <i>R</i> ₁ = 0.1459 <i>wR</i> ₂ = 0.1878 |
| Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å ³ | 1.34/–0.69 | 2.75/–2.01 |

по разные стороны плоскости [Sb₄]. Длины связей Sb–C варьируют в пределах 2.092(8)–2.121(8) Å (**1**), 2.119(5)–2.125(5) Å (**2**) и не зависят от природы арильного заместителя.

Таким образом, при взаимодействии трис(4-фторфенил)сурьмы или трис-(3-метилфенил)сурьмы с пероксидом водорода в присутствии ацетилацетона наблюдается не только их окисление, но и

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в молекулах соединений 1 и 2

| Связь | <i>d</i> , Å | Связь | <i>d</i> , Å | Угол | ω, град | Угол | ω, град |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|---|------------|---|------------|
| 1 | | | | | | | |
| Sb ⁷ –Sb ⁸ | 3.218(3) | Sb ⁶ –Sb ⁵ | 3.225(3) | O ⁹ Sb ⁷ O ¹² | 74.31(17) | O ¹⁴ Sb ⁵ O ¹⁵ | 154.6(2) |
| Sb ⁷ –Sb ⁶ | 3.244(3) | Sb ⁶ –O ¹⁶ | 1.963(5) | O ¹³ Sb ⁷ O ¹⁶ | 153.5(2) | O ¹⁵ Sb ⁵ O ¹¹ | 74.5(2) |
| Sb ⁷ –O ¹⁶ | 1.962(5) | Sb ⁶ –O ⁹ | 2.218(5) | C ¹²¹ Sb ⁷ O ¹² | 163.8(2) | C ⁸¹ Sb ⁵ O ¹⁰ | 164.2(3) |
| Sb ⁷ –O ⁹ | 2.230(5) | Sb ⁶ –O ¹¹ | 2.221(5) | C ¹²¹ Sb ⁷ C ¹³¹ | 108.5(3) | C ⁸¹ Sb ⁵ C ⁹¹ | 106.8(3) |
| Sb ⁷ –O ¹² | 2.231(5) | Sb ⁶ –O ¹⁵ | 1.961(5) | C ¹³¹ Sb ⁷ O ⁹ | 160.4(2) | C ⁹¹ Sb ⁵ O ¹¹ | 161.5(2) |
| Sb ⁷ –O ¹³ | 1.951(5) | Sb ⁶ –C ¹⁰¹ | 2.105(8) | O ⁴ Sb ² O ¹ | 74.47(18) | O ⁸ Sb ⁴ O ³ | 74.6(2) |
| Sb ⁷ –C ¹²¹ | 2.106(7) | Sb ⁶ –C ¹¹¹ | 2.109(8) | O ⁶ Sb ² O ⁵ | 153.4(2) | O ⁸ Sb ⁴ O ⁷ | 154.6(2) |
| Sb ⁷ –C ¹³¹ | 2.113(7) | Sb ¹ –Sb ⁴ | 3.225(3) | C ²¹ Sb ² O ⁴ | 164.0(2) | C ⁷¹ Sb ⁴ O ³ | 161.4(2) |
| Sb ² –Sb ³ | 3.217(3) | Sb ¹ –O ¹ | 2.217(5) | C ²¹ Sb ² C ³¹ | 108.5(3) | C ⁷¹ Sb ⁴ C ⁶¹ | 107.0(3) |
| Sb ² –Sb ¹ | 3.242(3) | Sb ¹ –O ⁵ | 1.964(5) | C ³¹ Sb ² O ¹ | 160.5(2) | C ⁶¹ Sb ⁴ O ² | 164.2(3) |
| Sb ² –O ¹ | 2.234(5) | Sb ¹ –O ³ | 2.225(5) | O ⁶ Sb ³ O ⁷ | 153.8(2) | Sb ⁸ O ¹⁰ Sb ⁵ | 93.38(18) |
| Sb ² –O ⁴ | 2.226(5) | Sb ¹ –O ⁸ | 1.959(5) | O ⁷ Sb ³ O ² | 75.1(2) | O ⁹ O ¹⁰ Sb ⁸ | 112.6(3) |
| Sb ² –O ⁵ | 1.959(5) | Sb ¹ –C ¹ | 2.113(8) | C ⁴¹ Sb ³ O ⁴ | 162.1(2) | O ⁹ O ¹⁰ Sb ⁵ | 113.5(3) |
| Sb ² –O ⁶ | 1.944(5) | Sb ¹ –C ¹¹ | 2.111(8) | C ⁵¹ Sb ³ O ² | 161.9(2) | Sb ¹ O ¹ Sb ² | 93.50(17) |
| Sb ² –C ²¹ | 2.105(7) | Sb ⁵ –O ¹⁰ | 2.220(5) | C ⁵¹ Sb ³ C ⁴¹ | 109.4(3) | O ² O ¹ Sb ² | 113.7(3) |
| Sb ² –C ³¹ | 2.115(8) | Sb ⁵ –O ¹⁴ | 1.949(6) | O ¹⁴ Sb ⁸ O ¹⁰ | 75.0(2) | O ² O ¹ Sb ¹ | 113.4(3) |
| Sb ³ –Sb ⁴ | 3.226(3) | Sb ⁵ –O ¹¹ | 2.215(5) | O ¹³ Sb ⁸ O ¹⁴ | 153.9(2) | Sb ⁷ O ¹⁶ Sb ⁶ | 111.5(2) |
| Sb ³ –O ⁴ | 2.217(5) | Sb ⁵ –O ¹⁵ | 1.949(5) | C ¹⁵¹ Sb ⁸ O ¹² | 162.4(2) | Sb ⁶ O ⁹ Sb ⁷ | 93.64(17) |
| Sb ³ –O ² | 2.217(5) | Sb ⁵ –C ⁸¹ | 2.118(8) | C ¹⁴¹ Sb ⁸ O ¹⁰ | 161.8(2) | O ¹⁰ O ⁹ Sb ⁷ | 114.0(3) |
| Sb ³ –O ⁶ | 1.957(5) | Sb ⁵ –C ⁹¹ | 2.121(8) | C ¹⁴¹ Sb ⁸ C ¹⁵¹ | 109.0(3) | O ¹⁰ O ⁹ Sb ⁶ | 113.4(3) |
| Sb ³ –O ⁷ | 1.964(5) | Sb ⁴ –O ² | 2.224(5) | O ¹⁵ Sb ⁶ O ¹⁶ | 154.3(2) | Sb ⁸ O ¹² Sb ⁷ | 92.51(18) |
| Sb ³ –C ⁴¹ | 2.109(7) | Sb ⁴ –O ³ | 2.212(5) | O ¹⁵ Sb ⁶ O ¹¹ | 74.2(2) | O ¹¹ O ¹² Sb ⁷ | 113.4(3) |
| Sb ³ –C ⁵¹ | 2.092(8) | Sb ⁴ –O ⁷ | 1.949(5) | C ¹⁰¹ Sb ⁶ O ¹¹ | 161.6(2) | O ¹¹ O ¹² Sb ⁸ | 113.5(3) |
| Sb ⁸ –Sb ⁵ | 3.227(3) | Sb ⁴ –O ⁸ | 1.949(6) | C ¹⁰¹ Sb ⁶ C ¹¹¹ | 105.3(3) | Sb ³ O ⁴ Sb ² | 92.78(18) |
| Sb ⁸ –O ¹⁰ | 2.216(5) | Sb ⁴ –C ⁷¹ | 2.115(7) | C ¹¹¹ Sb ⁶ O ⁹ | 163.1(3) | O ³ O ⁴ Sb ² | 113.6(3) |
| Sb ⁸ –O ¹² | 2.223(5) | Sb ⁴ –C ⁶¹ | 2.117(8) | O ⁸ Sb ¹ O ⁵ | 154.3(2) | O ³ O ⁴ Sb ³ | 113.3(3) |
| Sb ⁸ –O ¹⁴ | 1.965(5) | O ¹⁰ –O ⁹ | 1.459(6) | O ⁸ Sb ¹ O ³ | 74.1(2) | Sb ⁵ O ¹⁴ Sb ⁸ | 111.1(2) |
| Sb ⁸ –O ¹³ | 1.955(5) | O ¹ –O ² | 1.460(6) | C ¹ Sb ¹ O ³ | 161.7(2) | Sb ⁷ O ¹³ Sb ⁸ | 110.9(2) |
| Sb ⁸ –C ¹⁵¹ | 2.109(7) | O ¹² –O ¹¹ | 1.468(7) | C ¹¹ Sb ¹ O ¹ | 163.4(3) | Sb ² O ⁵ Sb ¹ | 111.5(2) |
| Sb ⁸ –C ¹⁴¹ | 2.094(8) | O ⁴ –O ³ | 1.471(7) | C ¹¹ Sb ¹ C ¹ | 105.0(3) | Sb ⁵ O ¹¹ Sb ⁶ | 93.27(18) |
| 2 | | | | | | | |
| Sb ² –Sb ¹ | 3.2668(7) | Sb ¹ –O ⁴ | 1.969(3) | O ^{4a} Sb ² O ² | 155.24(14) | C ¹¹ Sb ¹ O ¹ | 158.90(16) |
| Sb ² –Sb ^{1a} | 3.2560(4) | Sb ¹ –O ² | 1.964(3) | O ^{4a} Sb ² O ^{3a} | 74.24(12) | Sb ² O ¹ Sb ¹ | 93.45(11) |
| Sb ² –O ¹ | 2.238(3) | Sb ¹ –O ³ | 2.233(3) | O ² Sb ² C ²¹ | 100.03(19) | O ^{1a} O ¹ Sb ² | 112.7(2) |
| Sb ² –O ^{4a} | 1.971(3) | Sb ¹ –C ¹ | 2.125(5) | C ³¹ Sb ² O ¹ | 159.63(15) | O ^{1a} O ¹ Sb ¹ | 114.0(2) |
| Sb ² –O ² | 1.979(3) | Sb ¹ –C ¹¹ | 2.121(5) | C ²¹ Sb ² O ^{3a} | 165.20(15) | Sb ¹ O ⁴ Sb ^{2a} | 111.46(16) |
| Sb ² –O ^{3a} | 2.234(3) | O ¹ –O ^{1a} | 1.475(6) | O ² Sb ¹ O ¹ | 73.34(12) | Sb ¹ O ² Sb ² | 111.86(15) |
| Sb ² –C ³¹ | 2.121(4) | O ⁴ –Sb ^{2a} | 1.971(3) | O ² Sb ¹ O ⁴ | 154.74(14) | Sb ¹ O ³ Sb ^{2a} | 93.57(11) |
| Sb ² –C ²¹ | 2.119(5) | O ³ –Sb ^{2a} | 2.234(3) | O ² Sb ¹ C ¹ | 100.42(18) | O ^{3a} O ³ Sb ^{2a} | 113.6(2) |
| Sb ¹ –Sb ^{2a} | 3.2560(5) | O ³ –O ^{3a} | 1.467(6) | C ¹ Sb ¹ O ³ | 165.31(17) | O ^{3a} O ³ Sb ¹ | 114.0(2) |
| Sb ¹ –O ¹ | 2.249(3) | | | | | | |

Преобразования симметрии: ^a 2–*x*, 3/2–*y*, +*z*

деарилрование с образованием четырехъядерных пероксидных комплексов сурьмы(V). Продуктов реакции сурьмы с ацетилацетонатными лигандами не обнаружено.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры записывали на ИК Фурье-спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетках KBr (область поглощения 4000–400 см⁻¹).

Тетра(μ₂-оксо)ди(μ₄-пероксо)окта(4-фторфенил)тетрасурьма (1). К раствору 200 мг (0.49 ммоль) трис(4-фторфенил)сурьмы в 20 мл диэтилового эфира прибавляли 45 мг (0.49 ммоль) ацетилацетона и медленно при перемешивании 55 мг (0.49 ммоль) 30%-ного водного раствора пероксида водорода. После испарения растворителя получили белый порошок, который перекристаллизовывали из смеси толуол–октан, 3:1. Выход 133 мг (79%) прозрачных кристаллов, т. пл. 199°C. ИК спектр, см⁻¹: 3170, 3093, 3064, 3034, 2956, 2926, 2856, 1583, 1490, 1458, 1392, 1300, 1274, 1230, 1161, 1089, 1070, 1016, 821, 665, 578, 561, 545, 507, 416. Найдено, %: С 41.77; Н 2.58. С₄₈Н₃₂Ф₈О₈Сb₄. Вычислено, %: С 41.91; Н 2.34.

Тетра(μ₂-оксо)(μ₄-пероксо)окта(3-метилфенил)тетрасурьма (2) получена аналогично. Продукт реакции выделяли после перекристаллизации из этилового спирта с добавлением небольшого количества диметилсульфоксида в форме сольвата [(4-СН₃С₆Н₄)₂СbО]₄(О₂)₂·DMSO. Выход 84%, т. пл. 235°C. ИК спектр, см⁻¹: 3048, 2947, 1587, 1531, 1472, 1440, 1398, 1308, 1167, 1099, 1036, 991, 777, 691, 671, 658, 561, 546, 500, 422. Найдено, %: С 48.87; Н 4.24. С₅₈Н₆₀О₉SSb₄. Вычислено, %: С 49.01; Н 4.22.

Рентгеноструктурный анализ соединений **1** и **2** проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK_α-излучение, λ = 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 [24]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены по программам SHELXL/PC [25] и OLEX2 [26]. 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 [CCDC 1576949 (1), 1869689 (2)].

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hadjikakou S.K., Ozturk I.I., Banti C.N., Kourkouvelis N., Hadjiladis N. // J. Inorg. Biochem. 2015. Vol. 153. P. 293. doi 10.1016/j.jinorgbio.2015.06.006
2. Tiekink E.R.T. // Crit. Rev. Oncol. Hematol. 2002. Vol. 42. N 3. P. 217. doi 10.1016/S1040-8428(01)00217-7
3. Ozturk I.I., Banti C.N., Manos M.J., Tasiopoulos A.J., Kourkouvelis N., Charalabopoulos K., Hadjikakou S.K. // J. Inorg. Biochem. 2012. Vol. 109. P. 57. doi 10.1016/j.jinorgbio.2012.01.014
4. Ali M.I., Rauf M.K., Badshah A., Kumar I., Forsyth C.M., Junk P.C., Kedzierski L., Andrews P.C. // Dalton Trans. 2013. Vol. 42. N 1. P. 16733. doi 10.1039/C3DT51382C
5. Zhang X.Y., Cui L.S., Zhang X., Jin F., Fan Y.-H. // J. Mol. Struct. 2017. Vol. 1134. P. 742. doi 10.1016/j.molstruc.2017.01.039
6. Ferguson G., Glidewell C., Kaitner B., Lloyd D., Metcalfe S. // Acta Crystallogr. (C). 1987. Vol. 43. N 5. P. 824. doi 10.1107/S0108270187093922
7. Matano Y., Nomura H., Hisanaga T., Nakano H., Shiro M., Imahori H. // Organometallics. 2004. Vol. 23. N 23. P. 5471. doi 10.1021/om0494115
8. Шарутин В.В., Молокова О.В., Шарутина О.К., Смирнова С.А. // ЖНХ. 2012. Т. 57. № 9. С. 1334; Sharutin V.V., Molokova O.V., Sharutina O.K., Smirnova S.A. // Russ. J. Inorg. Chem. 2012. Vol. 57. N 9. P. 1252. doi 10.1134/S0036023612090185
9. Beckmann J., Finke P., Hesse M., Wettig B. // Angew. Chem. Int. Ed. 2008. Vol. 47. N 51. P. 9982. doi 10.1002/anie.200803997.
10. Bordner J., Doak G. O., Everett T. S. // J. Am. Chem. Soc. 1986. Vol. 10. N 14. P. 4206. doi 10.1021/ja00274a059.
11. Jami A.K., Baskar V. // Dalton Trans. 2012. Vol. 41. P. 12524. doi 10.1039/c2dt30587a
12. Brünig J., Hupf E., Lork E., Mebs S., Beckmann J. // Dalton Trans. 2015. Vol. 44. P. 7105 doi 10.1039/c5dt00588d

13. Breunig H.J., Kruger T., Lork E. // J. Organomet. Chem. 2002. Vol. 648. N. 2. P. 209. doi 10.1016/S0022-328X(01)01466-8
14. Breunig H.J., Kruger T., Lork E. // Angew. Chem. Int. Ed. 1997. Vol. 36. P. 615. doi 10.1002/anie.199706151
15. Betz R., Lindner C., Klufers P., Mayer P. // Acta Crystallogr. (E). 2009. Vol. 65. P. m253. doi 10.1107/S160053680804419X
16. Шарутин В.В., Пакузина А.П., Смирнова С.А., Шарутина О.К., Платонова Т.П., Пушилин М.А., Герасименко А.В. // Коорд. хим. 2004. Т. 30. № 5. С. 336; Sharutin V.V., Pakusina A.P., Sharutina O.K., Platonova T.P., Smirnova S.A., Pushilin M.A., Gerasimenko A.V. // Russ. J. Coord. Chem. Vol. 30. N 5. P. 336. doi 10.1023/B:RUO.0000025999.14773.59
17. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Чагарова О.В., Молокова О.В. // ЖОХ. 2011. Т. 81. Вып. 11. С. 1793; Sharutin V.V., Sharutina O.K., Chagarova O.V., Molokova O.V. // Russ. J. Gen. Chem. 2011. Vol. 81. N 11. С. 2246. doi 10.1134/S1070363211110065
18. Шарутин В.В., Сенчурин В.С. Именные реакции в химии элементоорганических соединений. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. С. 148.
19. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Карцева М.К., Андреев П.В. // ЖХХ. 2018. Т. 63. № 7. С. 823. doi 10.1134/S0044457X18070188; Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Kartseva M.K., Andreev P.V. // Russ. Inorg. Chem. 2018. Vol. 63. N. 7. P. 867. doi 10.1134/S0036023618070185
20. Фукин Г.К., Захаров Л.Н., Домрачев Г.А., Федоров А.Ю., Забурдяева С.Н., Додонов В.А. // Изв. АН. Сер. хим. 1999. № 9. С. 1744; Fukin G.K., Zakharov L.N., Domrachev G.A., Fedorov A.Yu., Zaburdyayeva S.N., Dodonov V.A. // Russ. Chem. Bull. 1999. Vol. 48. N 9. P. 1722.
21. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Шалабанова Н.А. // Коорд. хим. 2018. Т. 44. № 6. С. 402. doi 10.1134/S0132344X18060130; Sharutin V.V., Sharutina O.K., Shalabanova N.A. // Russ. J. Coord. Chem. 2018. Vol. 44. N 12. P. 765. doi 10.1134/S1070328418120138
22. Гуцин А.В., Додонов В.А., Усятинский Р.И., Корешкова Е.Р., Тупанов Б.Б. // Изв. АН. Сер. хим. 1994. № 7. С. 1302.
23. Бацанов С.С. // ЖХХ. 1991. Т. 36. № 12. С. 3015.
24. Bruker (1998). SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
25. Bruker (1998). SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA. Iomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. // J. Appl. Cryst. 2009. Vol. 42. P. 339. doi 10.1107/S0021889808042726

Synthesis and Structure of Oxygen-Containing Antimony Complex $(Ar_2SbO)_4(O_2)_2$

V. V. Sharutin, O. K. Sharutina, A. V. Rybakova*, and P. V. Andreev

South Ural State University, pr. Lenina 76, Chelyabinsk, 454080 Russia

**e-mail: rybakovaav@susu.ru*

Received March 6, 2019; revised March 6, 2019; accepted March 21, 2019

Triaryl antimony Ar_3Sb ($Ar = 4-FC_6H_4, 3-MeC_6H_4$) is oxidized by hydrogen peroxide to form four-nuclear complexes $[(4-FC_6H_4)_2SbO]_4(O_2)_2$ and $[(3-MeC_6H_4)_2SbO]_4(O_2)_2$ (as DMSO solvate). Structure of the compounds obtained was studied by single crystal X-ray diffraction analysis.

Keywords: tris(4-fluorophenyl)antimony, tris(3-methylphenyl)antimony, tetra(μ_2 -oxo)di(μ_4 -peroxo)tetra[diarylantimony(V)]