

НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА 1-НАФТАЛИНСУЛЬФОНАТА ТЕТРАФЕНИЛВИСМУТА

А.В. Рыбакова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Взаимодействием пентафенилвисмута с *бис*(1-нафталинсульфонатом) трифенилсурьмы в бензоле синтезирован с выходом 38 % 1-нафталинсульфонат тетрафенилвисмута, который после перекристаллизации из воды идентифицирован как гидрат $\text{Ph}_4\text{BiOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (**1**). Строение **1** (бесцветные кристаллы с т. пл. 178 °С) определено методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (Mo K_α -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) при 293 К. Размер кристалла $0,27 \times 0,25 \times 0,09 \text{ мм}$, $P-1$, $a = 9,542(5)$, $b = 12,595(5)$, $c = 13,998(5) \text{ \AA}$, $\alpha = 74,228(15)$, $\beta = 80,06(2)$, $\gamma = 68,758(15) \text{ град.}$, $V = 1503,7(12) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Область сбора данных по 2θ $5,72-77,8^\circ$, интервалы индексов отражений $-16 \leq h \leq 16$, $-22 \leq k \leq 22$, $-24 \leq l \leq 24$; измерено всего 102981 отражений, 17181 независимых отражений, переменных уточнения 364, $\mu = 5,968 \text{ мм}^{-1}$; $GOOF$ 0,987, окончательные значения факторов расходимости $R_1 = 0,0534$ и $wR_2 = 0,0941$ (по рефлексам $F^2 > 2\sigma(F^2)$, $R_1 = 0,1619$ и $wR_2 = 0,1163$ (по всем рефлексам), остаточная электронная плотность $2,65/-1,05 \text{ e/\AA}^3$. Атом висмута в молекуле **1** имеет сильно искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с аренсульфонатным заместителем в аксиальном положении. Валентные углы СВiС составляют $100,52(8)-119,28(7)^\circ$, расстояния Вi-C и Вi-O равны $2,179(2)-2,212(2)$ и $2,915(1) \text{ \AA}$ соответственно. Две молекулы **1** объединены в димеры посредством водородных связей между атомами водорода двух молекул воды и атомами кислорода двух нафталинсульфонатных групп.

Ключевые слова: синтез, строение, гидрат 1-нафталинсульфоната тетрафенилвисмута, рентгеноструктурный анализ.

Установлено, что фенильные соединения висмута (III, V) селективно окисляют либо эффективно *O*-, *C*-, *N*- фенилируют различные органические субстраты [1]. С помощью висмуторганических соединений синтезируют многие биологически активные вещества, например аналоги природных алкалоидов, производные индола, 4-гидроксикумарина, хроман-4-она, метилгидрогоната, хининона, гинголидов и макролидов. Однако в настоящее время в органический синтез вовлечено крайне ограниченное число производных висмута: трифенилвисмут, пентафенилвисмут, тозилат и трифторацетат тетрафенилвисмута, карбонат, дихлорид, диацетат трифенилвисмута и μ -оксобис(хлоротрифенилвисмут). Это обусловлено, прежде всего, тем, что ряд известных устойчивых висмуторганических соединений действительно немногочислен. Относительно устойчивыми производными пентавалентного висмута являются аренсульфонаты тетрафенилвисмута, которые получают дефенилированием пентафенилвисмута аренсульфоновыми кислотами либо по реакции перераспределения лигандов из пентафенилвисмута и *бис*(аренсульфоната) трифенилвисмута [2–6]. Следует отметить также метод синтеза аренсульфонатов тетраарилвисмута, основанный на реакции внедрения оксида серы по связи Вi-C в пентаарилвисмуте [7].

В продолжение изучения синтеза аренсульфонатов тетрафенилвисмута в настоящей работе исследовано взаимодействие пентафенилвисмута с *бис*(1-нафталинсульфонатом) трифенилсурьмы.

Экспериментальная часть

Синтез пентафенилвисмута осуществляли по методике, описанной в [8].

Бис(1-нафталинсульфонат) трифенилсурьмы. К смеси 0,50 г (1,42 ммоль) трифенилсурьмы, 0,69 г (2,83 ммоль) кристаллогидрата 1-нафталинсульфонокислоты в 20 мл этилового эфира добавляли

0,18 г 70%-ного раствора *трет*-бутилгидропероксида. Реакцию проводили при комнатной температуре в течение 12 ч. После удаления растворителя остаток перекристаллизовывали из толуола. Получили 0,50 г (50 %) бесцветных кристаллов с т. пл. 221 °С. ИК-спектр, ($\nu/\text{см}^{-1}$): 1270 оч. с., 1115 оч. с. (SO_2), 1080 с. (SO). Найдено, %: С 58,88; Н 3,86. $\text{C}_{38}\text{H}_{29}\text{O}_6\text{S}_2\text{Sb}$. Вычислено, %: С 59,45; Н 3,78.

Взаимодействие пентафенилвисмута с бис(1-нафталинсульфонатом) трифенилсурьмы. К раствору 0,44 г (0,57 ммоль) бис(1-нафталинсульфоната) трифенилсурьмы в 60 мл бензола при перемешивании медленно прибавляли при 20 °С 0,34 г (0,57 ммоль) пентафенилвисмута до исчезновения окраски, характерной для его растворов. После удаления растворителя твердый остаток промывали петролейным эфиром и перекристаллизовывали из воды. Получили 0,16 г (38 %) гидрата 1-нафталинсульфоната тетрафенилвисмута с водой (**1**) с т. разл. 113 °С. Найдено, %: С 54,91; Н 3,90. $\text{C}_{34}\text{H}_{29}\text{BiO}_4\text{S}$. Вычислено, %: С 54,65; Н 3,99.

Дифференциальную сканирующую калориметрию проводили с помощью комплекса синхронного термического анализа Netzsch 449C Jupiter, ИК-спектры записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S; образцы готовили таблетированием с KBr (область поглощения 4000–400 см^{-1}).

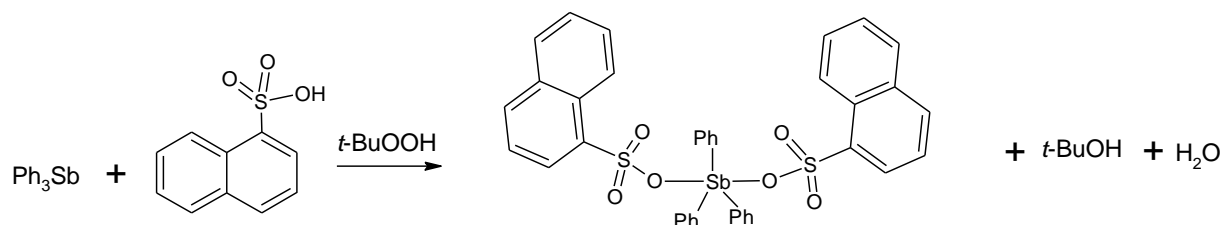
Рентгеноструктурный анализ кристалла соединения **1** проводили на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (Mo K_α -излучение, λ 0,71073 Å, графитовый монохроматор) при 293 К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [9]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [10] и OLEX2 [11]. Структура определена прямым методом и уточнена методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структуры **1** 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 (№ 2063135 (**1**); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

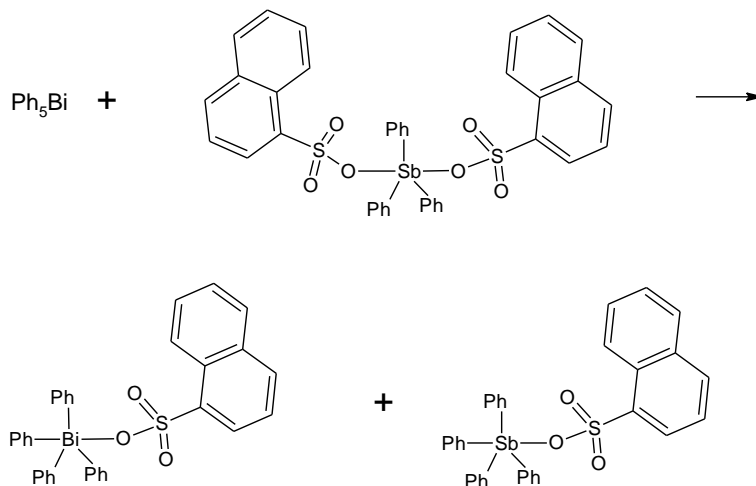
Обсуждение результатов

Известно, что пентаарилсурьма реагирует с производными сурьмы общей формулы Ar_3SbX_2 (X – электроноакцепторный заместитель) с образованием производных сурьмы Ar_4SbX [12–25], однако реакции пентафенилвисмута с фенильными соединениями сурьмы Ph_3SbX_2 (X = F, Cl, Br, NO_3) изучены на немногих примерах [26].

В настоящей работе изучено взаимодействие пентафенилвисмута с бис(1-нафталинсульфонатом) трифенилсурьмы в бензоле. Бис(1-нафталинсульфонат) трифенилсурьмы получали из трифенилсурьмы, 1-нафталинсульфоновой кислоты и *трет*-бутилгидропероксида по реакции окислительного присоединения.



Показано, что при добавлении пентафенилвисмута к раствору бис(1-нафталинсульфоната) трифенилсурьмы в бензоле пурпурный цвет раствора пентафенилвисмута исчезает и появляется бесцветный осадок, перекристаллизация которого из воды приводит к образованию гидрата 1-нафталинсульфоната тетрафенилвисмута $\text{Ph}_4\text{BiOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (**1**), выделенного из реакционной смеси с выходом 38 %.



В ИК-спектре гидрата **1** наблюдаются полосы в области валентных колебаний SO_2 -группы (1182 и 1236 см^{-1}). Полоса очень сильной интенсивности при 1050 см^{-1} может быть отнесена к колебаниям SO . Известно, что наиболее характерными признаками водородной связи в колебательном спектре считаются низкочастотный сдвиг, увеличение интенсивности и значительное уширение полосы валентных колебаний гидроксильных групп. Действительно, в ИК спектре соединения **1** наблюдается интенсивная полоса при 3559 см^{-1} , которую можно отнести к колебаниям гидроксильной группы молекул воды.

По данным РСА, атом висмута в молекуле **1** имеет сильно искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с аренсульфонатным заместителем в аксиальном положении (рис. 1). Аксиальный угол составляет $173,20^\circ$, сумма углов в псевдоэкваториальной плоскости равна $347,67^\circ$, выход атома висмута из экваториальной плоскости к аксиальному атому углерода составляет $0,451 \text{ \AA}$. Значения углов $\text{O}(\text{BiC}_{\text{эkw}})$ ($71,78\text{--}83,74^\circ$) меньше 90° , а $\text{C}_{\text{акс}}\text{BiC}_{\text{эkw}}$ больше 90° ($100,52\text{--}103,46^\circ$) и приближаются к тетраэдрическому углу. Расстояние Bi-O ($2,915 \text{ \AA}$) значительно превышает сумму ковалентных радиусов атомов висмута и кислорода, что указывает на координационный характер связи. Две молекулы **1** объединены в димер посредством водородных связей между атомами водорода двух молекул воды и атомов кислорода двух нафталинсульфонатных групп.

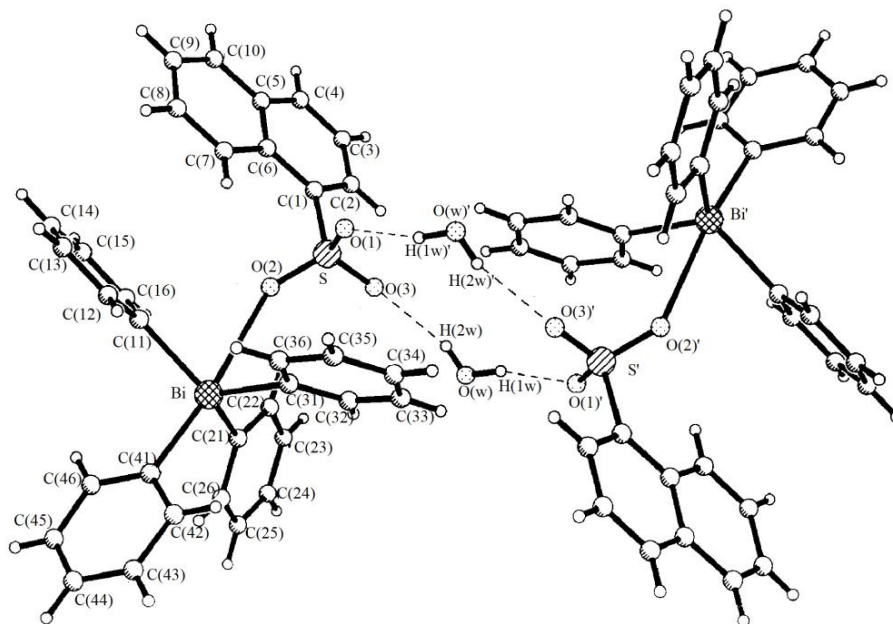


Рис. 1. Строение кристаллогидрата 1-нафталинсульфоната тетрафенилвисмута $\text{Ph}_4\text{BiOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_7\cdot\text{H}_2\text{O}$ (**1**)

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры соединения 1

Параметр	Значение
<i>M</i>	742,61
Сингония	Триклинная
Пр. гр.	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	9,542(5)
<i>b</i> , Å	12,595(5)
<i>c</i> , Å	13,998(5)
α , град.	74,228(15)
β , град.	80,06(2)
γ , град.	68,758(15)
<i>V</i> , Å ³	1503,7(12)
<i>Z</i>	2
ρ (выч.), г/см ³	1,640
μ , мм ⁻¹	5,968
<i>F</i> (000)	728,0
Форма кристалла (размер, мм)	0,27 × 0,25 × 0,09
Область сбора данных по 2θ , град	5,72–77,8
Интервалы индексов отражений	$-16 \leq h \leq 16, -22 \leq k \leq 22, -24 \leq l \leq 24$
Измерено отражений	102981
Независимых отражений	17181 ($R_{\text{int}} = 0,1080$)
Число отражений с $F^2 > 2\sigma(F^2)$	7955
Переменных уточнения	364
<i>GOOF</i>	0,987
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0534, wR_2 = 0,0941$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,1619, wR_2 = 0,1163$
Остаточная электронная плотность (max/min), е/Å ³	2,65/–1,05

Таблица 2

Основные длины связей и валентные углы в структуре 1

Связь	<i>d</i> , Å	Связь	<i>d</i> , Å	
Bi-C(31)	2,179(2)	S-O(3)	1,441(2)	
Bi-C(11)	2,194(2)	S-O(1)	1,442(2)	
Bi-C(41)	2,204(2)	S-O(2)	1,450(2)	
Bi-C(21)	2,212(2)	S-C(1)	1,789(2)	
Bi-O(2)'	2,915(1)			
Угол	ω , град.	Угол	ω , град.	
C(31)BiC(11)	119,28(7)	O(3)SO(1)	113,7(1)	
C(31)BiC(41)	103,46(8)	O(3)SO(2)	112,6(1)	
C(11)BiC(41)	101,50(7)	O(1)SO(2)	113,7(1)	
C(31)BiC(21)	112,12(8)	O(3)SC(1)	105,2(1)	
C(11)BiC(21)	116,27(7)	O(1)SC(1)	105,6(1)	
C(41)BiC(21)	100,52(8)	O(2)SC(1)	105,1(1)	
C(31)BiO(2)	79,55(6)	C(2)C(1)C(6)	120,8(2)	
C(11)BiO(2)	71,78(5)	C(21)BiO(2)	83,74(6)	
C(41)BiO(2)	173,20(7)	C(2)C(1)S	117,5(2)	
Водородные связи в структуре				
Связь	Расстояния, Å			Угол ОНО, град.
	O-H	H...O	O...O	
Ow-H(1w)...O(1)	0,92(3)	2,01(3)	2,904(3)	165(3)
Ow-H(2w)...O(3)	0,83(3)	2,04(3)	2,843(3)	163(3)

Выводы

В настоящей работе из пентафенилвисмута и бис(1-нафталинсульфоната) трифенилсурьмы получен с выходом 38 % гидрат 1-нафталинсульфоната тетрафенилвисмута, строение которого доказано методом РСА.

Благодарности

Выражаю благодарность проф. В.В. Шарутину за проведенные рентгеноструктурные исследования.

Литература

1. Шарутин, В.В. Синтез, строение и применение арильных соединений висмута / В.В. Шарутин, Т.В. Мосунова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 7–66. DOI: 10.14529/chem200301
2. Синтез и строение сурьма- и висмуторганических производных 4-сульфофенола и 2,4-дисульфифенола / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, А.П. Пакулина и др. // Коорд. химия. – 2007. – Т. 33, № 3. – С. 176–183.
3. Синтез и кристаллическая структура гидрата бензолсульфоната и 3,4-диметилбензолсульфоната тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 7. – С. 502–507.
4. Синтез и строение 2,4-диметилбензолсульфоната тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 341–345.
5. Синтез и строение аренсульфонатов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Журн. общ. химии. – 1999. – Т. 69, вып. 9. – С. 1470–1473.
6. Шарутин, В.В. Аренсульфонаты тетра- и триарилвисмута. Синтез и строение / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Изв. АН. Серия химическая. – 1999, № 12. – С. 2350–2354.
7. Шарутин, В.В. Внедрение оксида серы SO₃ по связи Bi-C в пентафенилвисмуте / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, вып. 1. – С. 162.
8. Кочешков, К.А. Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут / К.А. Кочешков, А.П. Сколдинов, Н.Н. Землянский. – М.: Наука, 1976. – 483 с.
9. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
10. 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.
11. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program / O.V. Dolomanov, L.J. Bourhis, R.J. Gildea et al. // J. Appl. Cryst. – 2009. – V. 42. – P. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
12. Способ получения солей тетрафенилстибония общей формулы Ph₄SbX [X=Cl, Br, OS(O)Ph, SCN] / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина и др. // Журн. общ. хим. – 1996. – Т. 66. – Вып. 10. – С. 1755–1756.
13. Синтез и строение 2,4-диметилбензолсульфоната тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Т.А. Тарасова и др. // Журн. общ. хим. – 2000. – Т. 70, Вып. 8. – С. 1311–1314.
14. Взаимодействие пентафенилсурьмы с диацилатами трифенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Журн. общ. хим. – 2000. – Т. 70, Вып. 6. – С. 937–939.
15. Синтез и строение пентафторбензоата тетрафенилсурьмы и нитрата тетра-*n*-толилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Е.А. Бондарь и др. // Коорд. химия. – 2001. – Т. 27, № 6. – С. 423–427.
16. Синтез фторбензоатов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Е.А. Бондарь и др. // ЖОХ. – 2002. – Т. 72, вып. 3. – С. 419–420.
17. Синтез и строение фторбензоатов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Е.А. Бондарь и др. // Коорд. химия. – 2002. – Т. 28, № 5. – С. 356–363.
18. Синтез и строение 2-фуруината и бензоата тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакулина, Т.П. Платонова и др. // Коорд. химия. – 2002. – Т. 28, № 11. – С. 803–808.

19. Сурьмаорганические производные 2,4,6-трибромфенола / В.В. Шарутин, А.П. Пакузина, М.А. Пушилилин и др. // ЖОХ. – 2003. – Т. 73, вып. 4. – С. 573–577.
20. Синтез и строение 4-метилбензолсульфоната тетра-*n*-толилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакузина, И.В. Егорова и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 336–340.
21. Особенности строения дикарбоксилатов триорганилсурьмы $R_3Sb[OC(O)R']_2$ / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакузина и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 11. – С. 843–851.
22. Синтез и строение ниацината тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакузина, Т.П. Платонова и др. // ЖОХ. – 2003. – Т. 73, вып. 2. – С. 234–237.
23. Синтез и строение дикарбоксилатов триарилсурьмы $Ar_3Sb[OC(O)R]_2$ ($Ar = Ph, n-Tol$; $R = 2-C_4H_3O, 3-C_5H_4N$) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакузина и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 10. – С. 750–759.
24. Синтез и строение органосульфонов тетра- и трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакузина и др. // Коорд. химия. – 2004. – Т. 30, № 1. – С. 15–24.
25. Шарутин, В.В. Синтез, реакции и строение арильных соединений пятивалентной сурьмы / В.В. Шарутин, А.И. Поддельский, О.К. Шарутина // Коорд. химия. – 2020. – Т. 46, № 10. – С. 579–648. DOI: 10.31857/S0132344X20100011
26. Реакции пентафенилвисмута и -сурьмы с элементоорганическими соединениями Ph_3EX_2 ($E = Sb, Bi$; $X = F, Cl, Br, NO_3$) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова, Л.П. Панова // Журн. общ. химии. – 1998. – Т. 68, вып. 2. – С. 345–346.

Рыбакова Анастасия Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: rybakovaav@susu.ru

Поступила в редакцию 18 октября 2021 г.

DOI: 10.14529/chem220104

A NEW METHOD FOR THE SYNTHESIS OF TETRAPHENYLBISMUTH 1-NAPHTHALENESULFONATE

A. V. Rybakova, rybakovaav@susu.ru
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The reaction of pentaphenylbismuth with triphenylantimony *bis*(1-naphthalenesulfonate) in benzene led to tetraphenylbismuth 1-naphthalenesulfonate, yielding 38%, which after recrystallization from water was identified as $Ph_4BiOSO_2C_{10}H_7 \cdot H_2O$ hydrate (**1**). Structure **1** (colorless crystals with mp 178 °C) was determined by X-ray diffraction analysis (XRD) on an automatic four-circle D8 Quest Bruker diffractometer (MoK_α radiation, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, graphite monochromator) at 293 K. Crystal size $0.27 \times 0.25 \times 0.09 \text{ mm}$, $P-1$, $a = 9.542(5)$, $b = 12.595(5)$, $c = 13.998(5) \text{ \AA}$, $\alpha = 74.228(15)$, $\beta = 80.06(2)$, $\gamma = 68.758(15) \text{ deg.}$, $V = 1503.7(12) \text{ \AA}^3$, $Z = 2$. Data collection area for 2θ equaled $5.72\text{--}77.8^\circ$, reflection index intervals were $-16 \leq h \leq 16$, $-22 \leq k \leq 22$, $-24 \leq l \leq 24$; a total of 102981 reflections were measured, 17181 independent reflections, refinement variables 364, $\mu = 5.968 \text{ mm}^{-1}$; GOOF 0.987, the final values of the divergence factors $R_1 = 0.0534$ and $wR_2 = 0.0941$ (for reflexes $F^2 > 2\sigma(F^2)$), $R_1 = 0.1619$ and $wR_2 = 0.1163$ (for all reflections), residual electron density $2.65 / -1.05 \text{ e/\AA}^3$. The bismuth atom in molecule **1** has a strongly distorted trigonal-bipyramidal coordination with the arenesulfonate substituent in the axial position. The C–Bi–C bond angles are $100.52(8)$ – $119.28(7)^\circ$, the Bi–C and Bi–O distances are $2.179(2)$ – $2.212(2)$ and $2.915(1) \text{ \AA}$, respectively. Two molecules **1** are combined into dimers through hydrogen bonds between the hydrogen atoms of two water molecules and the oxygen atoms of two naphthalenesulfonate groups.

Keywords: synthesis, structure, tetraphenylbismuth 1-naphthalenesulfonate hydrate, X-ray structural analysis.

References

1. Sharutin V.V., Mosunova T.V. Synthesis, Structure and Application of Aryl Bismuth Compounds. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Chemistry*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 7–66. DOI: 10.14529/chem200301.
2. Sharutin V.V., Egorova I.V., Pakusina A.P., Sharutina O.K., Pushilin M.A. Synthesis and Structures of Organoantimony and Organobismuth Derivatives of 4-Sulfophenol and 2,4-Disulfophenol. *J. Coord. Chem.*, 2007, vol. 33, no. 3, pp. 168–175. DOI: 10.1134/S1070328407030037.
3. Sharutin V.V., Egorova I.V., Ivanenko T.K., Sharutina O.K., Popov D.Yu. Synthesis and Crystal Structure of Tetraphenylbismuth Benzenesulfonate Hydrate and Tetraphenylbismuth 3,4-Dimethylbenzenesulfonate. *J. Coord. Chem.*, 2003, vol. 29, no. 7, pp. 468–473. DOI: 10.1023/A:1024722812183.
4. Sharutin V.V., Egorova I.V., Ivanenko T.K., Sharutina O.K., Pavlushkina I.I., Gerasimenko A.V. Tetraphenylbismuth 2,4-Dimethylbenzenesulfonate: Synthesis and Structure. *J. Coord. Chem.*, 2003, vol. 29, pp. 317–321. DOI: 10.1023/A:1023619616897.
5. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Egorova I.V., Senchurin V.S., Zakharova A.N., Belsky V.K. [Synthesis and Structure of Tetraphenylbismuth Arenesulfonates]. *Rus. J. Gen. Chem.*, 1999, vol. 69, no. 9, pp. 1470–1473. (in Russ.)
6. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Egorova I.V., Kharsika A.N., Lodochnikova O.A., Gubaidullin A.T., Litvinov I.A. Synthesis and Structure of Tetra- and Triphenylbismuth Arenesulfonate. *Chem. Bull.*, 1999, vol. 48, pp. 2325–2329. DOI: 10.1007/BF02498282.
7. Sharutin V.V., Egorova I.V., Ivanenko T.K. Insertion of SO₃ into the Bi-C Bond in Pentaphenylbismuth. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2002, vol. 72, no. 1, pp. 153. DOI: 10.1023/A:1015382304377.
8. Kocheshkov K.A., Skoldinov A.P., Zemlyanskiy N.N. *Metody elementoorganicheskoy khimii. Sur'ma, vismut.* [Organoelemental Chemistry Methods. Antimony, Bismuth]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 483 p.
9. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
10. 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.
11. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program. *J. Appl. Cryst.*, 2009, vol. 42, pp. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
12. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Pakusina A.P., Panova L.P. [Synthesis Method of Tetraphenylstibonium Salts with the General Formula Ph₄SbX [X=Cl, Br, OC(O)Ph, SCN]]. *Russ. J. Gen. Chem.*, 1996, vol. 66, no. 10, pp. 1755–1756. (in Russ.)
13. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Tarasova T.A., Kovaleva T.A., Bel'skii V.K. [Synthesis and Structure Tetraphenylantimony 2,4-Dimethylbenzenesulfonate]. *Russ. J. Gen. Chem.* 2000, vol. 70, no. 8, pp. 1311–1314 (in Russ.)
14. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Egorova I.V., Senchurin V.S., Ivascshik I.A., Bel'skii V.K. [Interaction of Pentaphenylsurmine with Triphenylvismuth Diacylates]. *Rus. J. Gen. Chem.*, 2000, vol. 70, iss. 6, pp. 937–939. (in Russ.)
15. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Bondar' E.A., Pakusina A.P., Adonin N.Yu., Starichenko V.F., Fukin G.K., Zakharov L.N. Tetraphenylantimony Pentafluorobenzoate and Tetra-p-Tolylantimony Nitrate: Syntheses and Structures. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2001, vol. 27, no. 6, pp. 393–397. DOI: 10.1023/A:1011335724711.
16. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Bondar' E.V., Pakusina A.P., Adonin N.Yu., Starichenko V.F. Synthesis of Tetra- and Triarylantimony Fluorobenzoates. *Rus. J. Gen. Chem.*, 2002, vol. 72, no. 3, pp. 390–391. DOI: 10.1023/A:1015439500222.
17. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Bondar' E.A., Pakusina A.P., Gatilov Yu.V., Adonin N.Yu., Starichenko V.F. Tetra- and Triarylantimony Fluorobenzoates: Synthesis and Structures. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2001, vol. 28, no. 5, pp. 333–340. DOI: 10.1023/A:1015517216693.
18. Sharutin V.V., Pakusina A.P., Platonova T.P., Egorova I.V., Sharutina O.K., Gerasimenko A.V., Sergienko A.S., Gerasimenko E.A. [Synthesis and Structure of 2-Furoinate and Tetraphenylsurium Benzoate]. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2002, vol. 28, no. 11, pp. 803–808. (in Russ.)

19. Sharutin V.V., Pakusina A.P., Pushilin M.A., Subacheva O.V., Gerasimenko A.V., Gerasimenko E.A. Organoantimony Derivatives of 2,4,6-Tribromophenol. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2003, vol. 73, no. 4, pp. 541–545. DOI: 10.1023/A:1025628217346.

20. Sharutin V.V., Pakusina A.P., Egorova I.V., Ivanenko T.K., Gerasimenko A.V., Sergienko A.S. Tetra-*p*-tolylantimony 4-Methylbenzenesulfonate: Synthesis and Structures. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2003, vol. 29, no. 5, pp. 312–316. DOI: 10.1023/A:1023667500059.

21. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P., Platonova T.P., Smirnova S.V., Pushilin M.A., Gerasimenko A.V. Structural Features of Triorganylantimony Dicarboxylates $R_3Sb[OC(O)R']_2$. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2003, vol. 29, no. 11, pp. 780–789. DOI: 10.1023/B:RUCO.0000003435.72816.ee.

22. Sharutin V.V., Pakusina A.P., Platonova T.P., Sharutina O.K., Gerasimenko A.V., Popov D.Yu., Pushilin M.A. Synthesis and Structure of Tetraphenylantimony Nicotinate. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2004, vol. 74, no. 2, pp. 207–210. DOI: 10.1023/B:RUGC.0000025501.29625.ff

23. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P., Platonova T.P., Zhidkov V.V., Pushilin M.A., Gerasimenko A.V. Triarylantimony Dicarboxylates $Ar_3Sb[OC(O)R]_2$ ($Ar = Ph, n-Tol$; $R = 2-C_4H_3O, 3-C_5H_4N$): Synthesis and Structure. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2003, vol. 29, no. 10, pp. 694–702. DOI: 10.1023/A:1026020032214.

24. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P., Platonova T.P., Gerasimenko A.V., Bukvetskii B.V., Pushilin M.A. [Synthesis and Structure of Tetra and Triphenylantimony Organosulfonates]. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2004, vol. 30, no. 1, pp. 15–24. (in Russ.)

25. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Poddel'sky A.I. Aryl Compounds of Pentavalent Antimony: Synthesis, Reactions, and Structures. *Russ. J. Coord. Chem.*, 2020, vol. 46, no. 10, pp. 663–728. DOI: 10.1134/S1070328420100012

26. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Egorova I.V., Panova L.P. [Reactions of Pentaphenylbismuth and Antimony with Organoelement Compounds Ph_3EX_2 ($E = Sb, Bi$; $X = F, Cl, Br, NO_3$)]. *Russ. J. Gen. Chem.*, 1998, vol. 68, iss. 2, pp. 345–346.

Received 18 October 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Рыбакова, А.В. Новый способ синтеза 1-нафталинсульфоната тетрафенилвисмута / А.В. Рыбакова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 32–39. DOI: 10.14529/chem220104

FOR CITATION

Rybakova A.V. A New Method for the Synthesis of Tetraphenylbismuth 1-Naphthalenesulfonate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2022, vol. 14, no. 1, pp. 32–39. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem220104
