

КООРДИНАЦИОННЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ

УДК 546.87+547.53.024+548.312.5

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ МЕЗИТИЛЕНСУЛЬФОНАТОВ
ТЕТРАФЕНИЛФОСФОРА, -СУРЬМЫ И -ВИСМУТА
 $\text{Ph}_4\text{EOSO}_2\text{C}_6\text{H}_2\text{Me}_3\text{-2,4,6}$ ($\text{E} = \text{P, Sb, Bi}$)

© 2022 г. В. В. Шарутин^а, *, О. К. Шарутина^а, В. С. Сенчурин^а, В. В. Красносельская^а

^аЮжно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),
пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080 Россия

*e-mail: sharutin50@mail.ru

Поступила в редакцию 17.05.2022 г.

После доработки 04.07.2022 г.

Принята к публикации 05.07.2022 г.

Взаимодействием эквимольных количеств пентафенильных соединений фосфора, сурьмы и висмута с мезитиленсульфоновой кислотой в бензоле с выходом до 91% синтезированы мезитиленсульфонаты тетрафенилфосфора, -сурьмы и -висмута $\text{Ph}_4\text{EOSO}_2\text{C}_6\text{H}_2\text{Me}_3\text{-2,4,6}$ ($\text{E} = \text{P}$ (I), Sb (II), Bi (III)), особенности строения которых установлены методом РСА. Соединения I–III получены также из мезитиленсульфоновой кислоты и хлоридов тетрафенилфосфора, -сурьмы и -висмута в воде с выходом до 93%. По данным РСА, кристалл I состоит из катионов тетрафенилфосфония ($\text{P}-\text{C}$ 1.7911(15)–1.7975(16) Å, CPC 107.81(7)°–111.85(7)°) и мезитиленсульфонатных анионов ($\text{S}-\text{O}$ 1.4227(16)–1.4544(13) Å, OSO 110.93(12)°–115.40(15)°). Соединения II и III изоструктурны, атомы сурьмы и висмута в II и III имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с мезитиленсульфонатным лигандом в аксиальном положении. Длины связей $\text{E}-\text{C}_{\text{экв}}$ составляют 2.111(3)–2.124(3) Å (II) и 2.205(3)–2.213(3) Å (III), расстояния $\text{E}-\text{C}_{\text{акс}}$ – 2.144(3) и 2.237(3) Å соответственно, аксиальные углы CEO равны 174.13(8)° и 173.47(9)°. Расстояния $\text{E}-\text{O}$ (2.469(2) и 2.658(2) Å) превышают сумму ковалентных радиусов атомов-партнеров.

Ключевые слова: мезитиленсульфонат тетрафенилфосфора, тетрафенилсурьмы, тетрафенилвисмута, синтез, строение

DOI: 10.31857/S0044457X22600803

ВВЕДЕНИЕ

Малоизученным классом органических соединений элементов 15-ой группы являются их аренсульфонаты, которые могут обладать высокой каталитической активностью [1], а также использоваться в качестве реагентов в тонком органическом и элементоорганическом синтезе [2–6]. С точки зрения биохимии и медицины данный класс соединений имеет большой потенциал применения в качестве противораковых, противогрибковых и противобактериальных препаратов [5, 6].

В литературе описаны аренсульфонаты тетрафенилфосфора [7–16], тетрафенилсурьмы [17–19] и тетрафенилвисмута [20–23], которые получали из пентафенильных соединений элементов и соответствующей кислоты либо по реакции перераспределения радикалов [5, 6].

В настоящей работе синтезированы и структурно охарактеризованы мезитиленсульфонаты тетрафенилфосфора, -сурьмы и -висмута

$\text{Ph}_4\text{EOSO}_2\text{C}_6\text{H}_2\text{Me}_3\text{-2,4,6}$ ($\text{E} = \text{P, Sb, Bi}$), которые получали из пентафенильных соединений элементов или элементоорганических хлоридов Ph_4ECl ($\text{E} = \text{P, Sb, Bi}$) и мезитиленсульфоновой кислоты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходные пентафенильные производные элементов и хлориды тетрафенилфосфора, -сурьмы и -висмута получали по методикам, описанным в [16, 24, 25]. В работе использовали также мезитиленсульфоновую кислоту (Alfa Aesar).

Мезитиленсульфонат тетрафенилфосфора (I) получали из эквимольных количеств пентафенилфосфора и мезитиленсульфоновой кислоты в бензоле (20°C, 1 ч). Выделены бесцветные кристаллы с $t_{\text{пл}} = 168^\circ\text{C}$ (выход 91%). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3078 сл, 3053 сл, 2972 сл, 2934 сл, 2914 сл, 1585 ср, 1481 ср, 1435 с, 1246 ср, 1217 с, 1205 с,

1179 ср, 1159 сл, 1109 оч. с, 1084 с, 1016 с, 995 ср, 853 ср, 758 ср, 725 оч. с, 691 с, 675 с, 579 ср, 525 оч. с.

	С	Н
Найдено, %:	73.47;	5.81%.
Для $C_{33}H_{31}O_3PS$		
вычислено, %:	73.52;	5.81%.

Мезитиленсульфонат тетрафенилсурьмы (II). Получены бесцветные кристаллы с $t_{пл} = 207^\circ C$ (выход 89%). ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3055 сл, 2984 сл, 2967 сл, 2932 сл, 1603 сл, 1576 сл, 1447 ср, 1435 с, 1381 ср, 1261 с, 1186 ср, 1165 ср, 1150 оч. с, 1072 с, 1020 ср, 995 оч. с, 849 ср, 743 с, 731 ср, 689 с, 675 оч. с, 577 ср, 546 ср, 527 сл, 449 ср.

	С	Н
Найдено, %:	62.77;	4.98%.
Для $C_{33}H_{31}O_3SSb$		
вычислено, %:	62.92;	4.93%.

Мезитиленсульфонат тетрафенилвисмута (III). Выделены бесцветные кристаллы с $t_{разл} = 178^\circ C$ (выход 62%). ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3051 сл, 2984 сл, 2967 сл, 2930 сл, 1601 ср, 1562 с, 1435 с, 1435 с, 1408 сл, 1379 ср, 1234 с, 1153 оч. с, 1060 с, 1007 с, 969 с, 951 ср, 739 с, 727 ср, 675 с, 581 с, 545 ср, 527 сл, 440 ср.

	С	Н
Найдено, %:	55.19;	4.38%.
Для $C_{33}H_{31}O_3SbI$		
вычислено, %:	55.26;	4.33%.

Соединения I–III синтезировали также смешением водных растворов хлорида тетрафенилфосфора, -сурьмы, -висмута и мезитиленсульфоновой кислоты. После испарения растворителя из реакционной смеси выделены кристаллы I (93%), II (90%) и III (82%). Температуры плавления и ИК-спектры мезитиленсульфонатов, полученных данным способом, совпадали с температурами плавления и ИК-спектрами мезитиленсульфонатов, полученных по реакциям дефенилирования пентафенильных соединений мезитиленсульфоновой кислотой.

ИК-спектры соединений записывали на ИК-Фурье-спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетках KBr. Элементный анализ проводили на анализаторе Euro EA3028-NT. PCA осуществляли на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (графитовый монохроматор) при 293 К. Сбор, первичная обработка данных, уточнение параметров элементарной ячейки, учет поглощения, определение и уточнение структур проведены по программам [26–28]. Структуры определены прямым методом

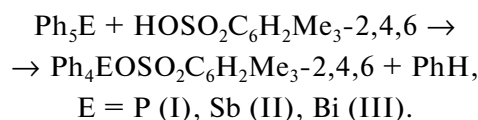
и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур I–III приведены в табл. 1.

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 2167369 (I), 2115625 (II), 2128684 (III)); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif.

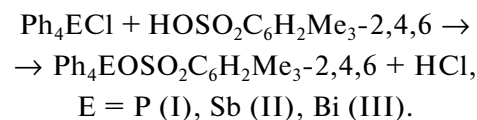
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В основе одного из эффективных способов получения тетрафенильных производных элементов 15-ой группы общей формулы Ph_4EX лежит реакция дефенилирования пентафенильных соединений кислотой HX [2, 5, 6].

Установлено, что реакции пентафенильных производных фосфора, сурьмы и висмута с мезитиленсульфоновой кислотой протекают с образованием соответствующих мезитиленсульфонатов с выходом до 91%.



Реакции проводили при комнатной температуре в растворе бензола, используя для контроля метод тонкослойной хроматографии. Показано, что в течение нескольких минут из реакционной смеси исчезают пентафенильные соединения элементов и после медленного испарения растворителя появляются кристаллы целевых продуктов. Соединения I–III являются бесцветными веществами, устойчивыми к действию влаги и кислорода воздуха, хорошо растворимыми в ароматических углеводородах, хлороформе, тетрагидрофуране и воде. Нами установлено, что мезитиленсульфонаты I–III можно синтезировать также по реакции обмена из галогенидов тетрафенилфосфора, -сурьмы, -висмута и мезитиленсульфоновой кислоты в воде:



В ИК-спектре соединения I полосы поглощения валентных колебаний метильных групп расположены при 3053 (асимметричные колебания) и 2972 cm^{-1} (симметричные колебания) [29, 30]. Валентным колебаниям связей $C_{Ar}-H$ отвечает полоса поглощения малой интенсивности при 3078 cm^{-1} , внеплоскостным деформационным колебаниям этих же связей – полоса при 853 cm^{-1} , плоскостным деформационным колебаниям – полосы при 1109 и 1084 cm^{-1} . Валентным колеба-

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I–III

Параметр	Значение		
	I	II	III
<i>M</i>	538.61	629.39	716.62
Сингония	Триклинная	Моноклинная	Моноклинная
Пр. гр.	$P\bar{1}$	$P2_1/n$	$P2_1/n$
<i>a</i> , Å	10.102(5)	10.078(6)	10.139(5)
<i>b</i> , Å	10.307(6)	14.099(17)	14.152(10)
<i>c</i> , Å	14.801(7)	20.785(17)	20.898(10)
α , град	102.87(3)	90.00	90.00
β , град	107.863(18)	100.63(3)	100.279(17)
γ , град	96.94(3)	90.00	90.00
<i>V</i> , Å ³	1400.0(13)	2903(3)	2951(3)
<i>Z</i>	2	4	4
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1.278	1.440	1.613
μ , мм ⁻¹	0.205	1.054	6.077
<i>F</i> (000)	568.0	1280.0	1408.0
Размер кристалла, мм	0.5 × 0.5 × 0.26	0.31 × 0.28 × 0.17	0.36 × 0.25 × 0.17
Область сбора данных по 2 θ , град	5.74–71.44	5.68–54.46	6.08–61.2
Интервалы индексов отражений	–16 ≤ <i>h</i> ≤ 16, –16 ≤ <i>k</i> ≤ 16, –24 ≤ <i>l</i> ≤ 24	–12 ≤ <i>h</i> ≤ 12, –18 ≤ <i>k</i> ≤ 18, –26 ≤ <i>l</i> ≤ 26	–14 ≤ <i>h</i> ≤ 14, –20 ≤ <i>k</i> ≤ 20, –29 ≤ <i>l</i> ≤ 27
Измерено отражений	87468	37537	119225
Независимых отражений	12929 ($R_{\text{int}} = 0.0347$)	6434 ($R_{\text{int}} = 0.0429$)	9005 ($R_{\text{int}} = 0.0697$)
Отражений с <i>I</i> > 2 σ (<i>I</i>)	9054	5144	6777
Переменных уточнения	346	346	346
<i>GOOF</i>	1.030	1.038	1.047
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0.0536,$ $wR_2 = 0.1442$	$R_1 = 0.0290,$ $wR_2 = 0.0608$	$R_1 = 0.0305,$ $wR_2 = 0.0496$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0.0838,$ $wR_2 = 0.1623$	$R_1 = 0.0461,$ $wR_2 = 0.0686$	$R_1 = 0.0580,$ $wR_2 = 0.0556$
Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å ³	0.66/–0.60	0.61/–0.56	0.96/–0.86

ниям связей P–C_{Ph} соответствуют полосы при 1435 и 995 см⁻¹. ИК-спектр также содержит характерные полосы валентных колебаний углеродного скелета ароматических фрагментов (1585 и 1481 см⁻¹). Полосы высокой интенсивности при 1217 см⁻¹ (асимметричные колебания) и средней интенсивности при 1016 см⁻¹ (симметричные колебания) относятся к валентным колебаниям группы SO₂. Полоса поглощения высокой интенсивности валентных колебаний связи S–O расположена при 675 см⁻¹. Интенсивная полоса поглощения при 525 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям связи C_{Ar}–S. ИК-спектры соединений II и III весьма похожи на ИК-спектр соединения I, одна-

ко смещение полос валентных колебаний группы SO₂ (1261, 1059 см⁻¹ в II и 1234, 1060 см⁻¹ в III) указывает на неравноценность в них связей сера–кислород.

По данным РСА, кристалл I образован ионами (рис. 1). Углы СРС при атоме фосфора (107.81(7)°–111.85(7)°), мало отличающиеся от теоретического значения, и связи P–C (1.7911(15)–1.7975(16) Å), изменяющиеся в очень узком интервале, подтверждают практически не искаженную тетраэдрическую конфигурацию катионов тетрафенилфосфония. Мезитиленсульфонатные анионы не имеют контактов с центральным атомом катиона, атом серы тетракоординирован:

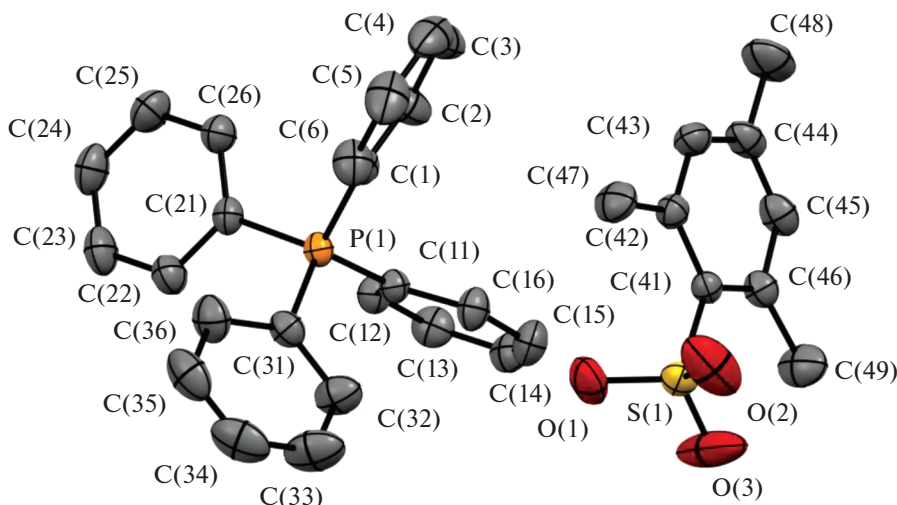


Рис. 1. Общий вид соединения I (атомы водорода не показаны). P–C 1.7911(16)–1.7975(16) Å, S–O 1.4227(16)–1.4544(13) Å, S–C 1.8035(13) Å; CPC 107.81(7)°–111.85(7)°, OSC 105.25(7)°–108.60(8)°, OSO 110.71(11)°–115.40(15)°.

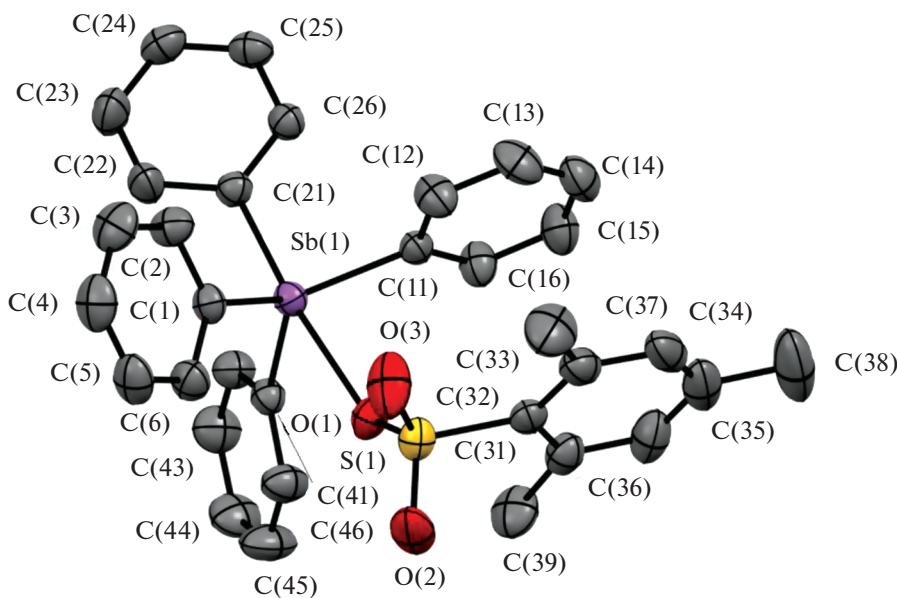


Рис. 2. Общий вид соединения II (атомы водорода не показаны). Sb–O 2.469(2) Å, Sb–C 2.111(3)–2.144(3) Å; S–O(1) 1.471(2) Å, S–O(2,3) 1.431(2), 1.437(2) Å, S–C 1.796(3) Å; $C_{\text{эКВ}}SbC_{\text{эКВ}}$ 115.34(10)°–118.96(10)°, OSbC(21) 174.13(8)°, OSbC_{эКВ} 77.07(9)°–84.85(10)°, C(21)SbC_{эКВ} 97.20(11)°–100.14(10)°.

углы OSC и OSO варьируют в интервалах 105.25(7)°–108.60(8)° и 110.71(11)°–115.40(15)° соответственно; различающиеся значения двойных связей S(1)–O(1,2,3) (1.4544(13), 1.4227(16) и 1.4405(16) Å соответственно) обусловлены, очевидно, участием атомов кислорода в различных межмолекулярных взаимодействиях.

Кристаллы соединений II и III являются изоструктурными (моноклинная сингония, пр. гр. $P2_1/n$), что часто встречается среди аналогичных

производных сурьмы и висмута. Атомы сурьмы в II и висмута в III с учетом координированных мезитиленсульфонатных лигандов имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию (рис. 2, 3).

Искажение координационных полиэдров центральных атомов в II и III проявляется в их значительном выходе (0.324 и 0.373 Å соответственно) из экваториальной плоскости в сторону аксиального атома углерода, а также в близо-

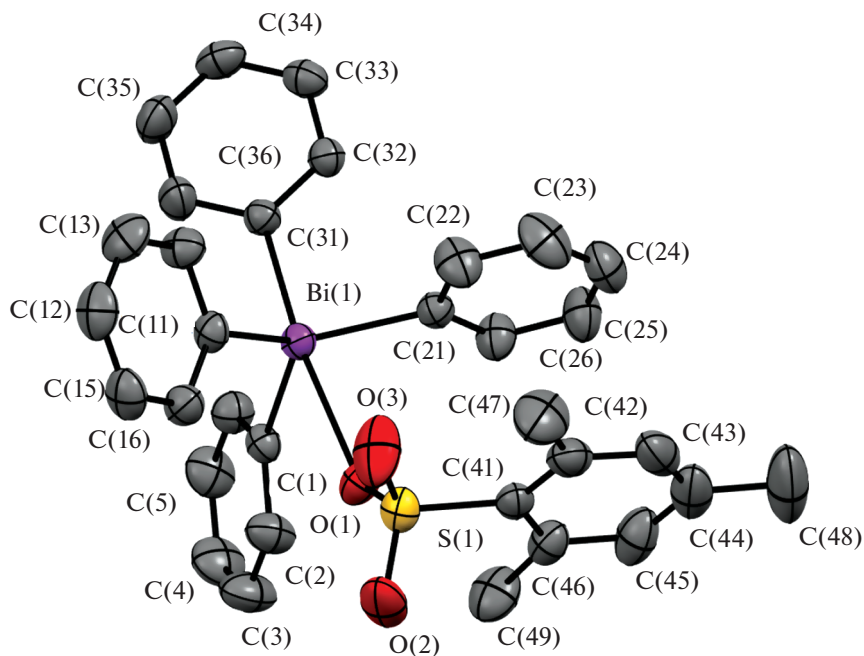


Рис. 3. Общий вид соединения III (атомы водорода не показаны). Bi–O(1) 2.658(2) Å, Bi–C 2.205(3)–2.237(3) Å; S–O(1) 1.458(2) Å, S–O(2,3) 1.433(3), 1.447(3) Å, S–C 1.806(3) Å; $C_{\text{эКВ}}\text{Bi}C_{\text{эКВ}}$ 115.10(12)°–119.46(11)°, $\text{O}BiC(31)$ 173.47(9)°, $\text{O}BiC_{\text{эКВ}}$ 75.71(10)°–84.19(10)°, $C(31)BiC_{\text{эКВ}}$ 97.85(12)°–101.41(12)°.

сти значений связей E–C_{эКВ} и E–C_{акс}, которые составляют 2.111(3)–2.124(3), 2.144(3) Å в II и 2.205(3)–2.213(3), 2.237(3) Å в III. Суммы валентных углов SEC в экваториальной плоскости меньше 360° (352.64(10)° в II, 351.61(11)° в III), при этом углы C_{акс}EC_{эКВ} (97.20(11)°–100.14(10)° и 97.85(12)°–101.41(12)° соответственно) больше, а углы OEC_{эКВ} (77.07(9)°–84.85(10)° в II и 75.71(10)°–84.19(10)° в III) меньше 90°. Аксиальные углы CEO (174.13(8)° и 173.47(9)° соответственно) имеют обычные значения для соединений типа Ar₄EX. Координационные связи E–O (2.469(2) и 2.658(2) Å) превышают сумму ковалентных радиусов атомов-партнеров (2.05 Å для сурьмы и кислорода; 2.14 Å для висмута и кислорода [31]), но значительно меньше суммы их ван-дер-ваальсовых радиусов (3.58 и 3.59 Å соответственно [32]). В сульфатном заместителе соединения II длина одной из связей S–O(1) (1.471(2) Å) близка к значению одинарной связи и превышает две другие связи S–O(2) и S–O(3) (1.437(2) и 1.431(2) Å), порядок которых больше. В III связи S–O более выравнены и расстояние S–O(1) (1.458(2) Å) лишь немного превосходит расстояния S–O(2) и S–O(3) (1.447(3) и 1.433(3) Å).

Упаковка ионов в кристалле I определяется слабыми контактами O_{Mes}⋯H_{Ph} 2.45–2.65 Å, при этом наиболее прочные межкатионные контакты (2.46 и 2.48 Å) образуются с участием *para*- и *ortho*-атомов водорода одного фенильного лиганда, для трех других фенильных групп аналогичные

контакты (2.64 и 2.66 Å) превышают сумму ван-дер-ваальсовых радиусов атомов водорода и кислорода (2.62 Å) [32]. В II и III межмолекулярные контакты O_{Mes}⋯H_{Ph} (2.47, 2.51 Å в II и 2.45, 2.47 Å в III) прочнее, чем O_{Mes}⋯H_{Mes} (2.60 Å в II и III).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мезитиленсульфонаты тетрафенилфосфора, -сурьмы и -висмута, синтезированные из пентафенильных соединений элементов или элементоорганических хлоридов Ph₄EX (E = P, Sb, Bi) и мезитиленсульфоновой кислоты, имеют различное строение: для производного фосфора наблюдается ионное строение, в соединениях сурьмы и висмута Ph₄EOSO₂C₆H₂Me₃-2,4,6 связи E–O имеют координационный характер.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Онлайн-версия содержит дополнительные материалы, доступные по адресу <https://doi.org/10.31857/S0044457X22600803>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ugarte R.A., Devarajan D., Mushinski R.M., Hudnall T.W.* // Dalton Trans. 2016. V. 45. P. 11150. <https://doi.org/10.1039/C6DT02121B>
2. *Зыкова А.Р.* // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Химия. 2020. Т. 12. № 4. С. 5. <https://doi.org/10.14529/chem200401>
3. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 1. P. 45. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Журн. неорганической химии. 2020. Т. 65. № 1. С. 49.] <https://doi.org/10.1134/S1070328420100012>
4. *Шарутин В.В., Мосунова Т.В.* // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Химия. 2020. Т. 12. № 3. С. 7. <https://doi.org/10.14529/chem200301>
5. *Sharutin V.V., Poddel'sky A.I., Sharutina O.K.* // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. № 10. P. 663. [*Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К.* // Коорд. химия. 2020. Т. 46. № 10. С. 579.] <https://doi.org/10.1134/S1070328420100012>
6. *Sharutin V.V., Poddel'sky A.I., Sharutina O.K.* // Russ. J. Coord. Chem. 2021. V. 47. № 12. P. 791. [*Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К.* // Коорд. химия. 2021. Т. 47. № 12. С. 719.] <https://doi.org/10.1134/S1070328421120022>
7. *Шарутин В.В., Мукушева Н., Уржумова А.В.* // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Химия. 2018. Т. 10. № 2. С. 48. <https://doi.org/10.14529/chem180206>
8. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Губанова Ю.О.* // Изв. высш. учебн. завед. Сер. Химия и хим. технология. 2019. Т. 62. № 2. С. 4. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196202.5823>
9. *Akutsu H., Masaki K., Mori K. et al.* // Polyhedron. 2005. V. 24. P. 2126. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2005.03.023>
10. *Galpothdeniya W.I.S., Fronczek F.R., Cong M. et al.* // J. Mater. Chem. B. 2016. V. 4. P. 1414. <https://doi.org/10.1039/C5TB02038G>
11. *Akutsu H., Yamada J., Nakatsuji S., Turner S.S.* // CrystEngComm. 2009. V. 11. P. 2588. <https://doi.org/10.1039/b909519e>
12. *Onoda A., Yamada Y., Doi M. et al.* // Inorg. Chem. 2001. V. 40. P. 516. <https://doi.org/10.1021/ic0003067>
13. *Akutsu H., Ishihara K., Ito S. et al.* // Polyhedron. 2017. V. 136. P. 23. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2017.02.001>
14. *Camerel F., Le Helloco G., Guizouarn T. et al.* // Cryst. Growth Des. 2013. V. 13. P. 1979. <https://doi.org/10.1021/cg401416h>
15. *Ferrer E.G., Williams P.A.M., Castellano E.E., Piro O.E.* // Z. Anorg. Allg. Chem. 2002. Bd. 628. S. 1979. [https://doi.org/10.1002/1521-3749\(200209\)628:9/10<1979::AID-ZAAC1979>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1521-3749(200209)628:9/10<1979::AID-ZAAC1979>3.0.CO;2-V)
16. *Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Boyarkina E.A.* // Russ. J. Gen. Chem. 2009. V. 79. № 1. P. 78. [*Шарутин В.В., Сенчуринов В.С., Шарутина О.К., Бояркина Е.А.* // Журн. общ. химии. 2009. Т. 79. № 1. С. 80.] <https://doi.org/10.1134/S1070363209010125>
17. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Панова Л.П., Бельский В.К.* // Журн. общ. химии. 1997. Т. 67. № 9. С. 1531.
18. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Т.А. и др.* // Журн. общ. химии. 2000. Т. 70. № 8. С. 1311.
19. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2004. V. 30. № 1. P. 13. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакузина А.П. и др.* // Коорд. химия. 2004. Т. 30. № 1. С. 15.] <https://doi.org/10.1023/B:RUCO.0000011636.28262.d3>
20. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Егорова И.В. и др.* // Журн. общ. химии. 1999. Т. 69. № 9. С. 1470.
21. *Sharutin V.V., Egorova I.V., Ivanenko T.K. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2003. V. 29. № 7. P. 468. [*Шарутин В.В., Егорова И.В., Иваненко Т.К. и др.* // Коорд. химия. 2003. Т. 29. № 7. С. 502.] <https://doi.org/10.1023/A:1024722812183>
22. *Sharutin V.V., Egorova I.V., Pakusina A.P. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2007. V. 33. № 3. P. 168. [*Шарутин В.В., Егорова И.В., Пакузина А.П. и др.* // Коорд. химия. 2007. Т. 33. № 3. С. 176.] <https://doi.org/10.1134/S1070328407030037>
23. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S.* // J. Struct. Chem. 2020. V. 61. № 5. P. 734. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуринов В.С.* // Журн. структур. химии. 2020. Т. 61. № 5. С. 776.] <https://doi.org/10.1134/S0022476620050091>
24. *Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н.* Методы элементоорганической химии. Сурьма. Висмут. М.: Наука, 1976. 485 с.
25. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. T. 65. № 11. С. 1712. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуринов В.С.* // Журн. неорганической химии. 2020. Т. 65. № 11. С. 1516.] <https://doi.org/10.1134/S0036023620110170>
26. SMART and SAINT-Plus. Version 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
27. SHELXTL/PC. Version 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison: (WI, USA), 1998.
28. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // J. Appl. Crystallogr. 2009. V. 42. P. 339. <https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
29. *Шрайнер Р., Фьюзон Р., Кертин Д., Моррил Т.* Идентификация органических соединений. М.: Мир, 1983. 704 с.
30. *Преч Э., Бюльманн Ф., Аффельтер К.* Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2006. 440 с.
31. *Cordero B., Gomez V., Platero-Prats A.E. et al.* // Dalton Trans. 2008. P. 2832. <https://doi.org/10.1039/B801115J>
32. *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>