

УДК 546.719:546.22:546.571:547.828.1:548.736:54.057:661.664.2

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА [$\{\text{Ag}_3(\text{Bipy})_3(\text{CN})\}_2\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6$]

© 2022 г. А. В. Ермолаев¹, *, Ю. В. Миронов¹

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

*e-mail: ermolaev@niic.nsc.ru

Поступила в редакцию 06.05.2022 г.

После доработки 10.06.2022 г.

Принята к публикации 23.06.2022 г.

Супрамолекулярный ансамбль [$\{\text{Ag}_3(\text{Bipy})_3(\text{CN})\}_2\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6$] (I) получен реакцией $\text{Cs}_{2.75}\text{K}_{1.25}[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_4(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ с $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ и 2,2'-бипиридином (Bipy) в условиях гидротермального синтеза. Кристаллическая структура состоит из полимерных слоев [$\{\text{Ag}_3(\text{Bipy})_3(\text{CN})\}_2\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6$]. Внутри слоя каждое кластерное ядро $\{\text{Re}_6\text{Se}_8\}^{2+}$ соединено с шестью атомами Ag через CN-мостик. Завершают формирование слоя аргентофильные взаимодействия $\text{Ag} \cdots \text{Ag}$ 2.9035(6)–2.9697(5) Å. Наблюдаются π – π -стекинг-взаимодействия как внутри слоя, так и между полимерными слоями. Полученное соединение охарактеризовано методами PCA (CCDC № 2170365), ИК и элементного анализа.

Ключевые слова: гидротермальный синтез, рений, октаэдрический кластерный комплекс, серебро, кристаллическая структура

DOI: 10.31857/S0132344X22600175

Среди множества известных разнообразных кластерных соединений рения наиболее представительными являются октаэдрические кластерные халькоцианидные комплексы $[\text{Re}_6\text{Q}_8(\text{CN})_6]^{4-}$ ($\text{Q} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) [1–9]. В результате развития химии кластеров рения данный ряд соединений был дополнен смешанолигандными кластерными анионами *транс*- $[\text{Re}_6\text{Q}_8(\text{CN})_{6-n}(\text{OH})_n]^{4-}$ ($\text{Q} = \text{S}, n = 2, 4$ [10, 11]; $\text{Q} = \text{Se}, n = 2$ [12]). Подобные соединения интересны тем, что включают в состав как относительно лабильные лиганды OH^- , которые можно заместить на неорганические или органические [10, 11], так и амбидентатные лиганды CN^- , способные формировать полимерные соединения с переходными металлами различной размерности за счет мостиков $-\text{CN}-\text{M}-\text{CN}-$ [13]. В то же время встречающиеся у одновалентных монетных металлов взаимодействия металл–металл можно рассматривать как способ увеличения размерности или обогащения супрамолекулярной топологии [14–16]. Такие взаимодействия обладают прочностью, сравнимой с прочностью водородных связей, что дает возможности для укрепления желаемых каркасов [17, 18]. Эти взаимодействия (для серебра обычно называемые аргентофильными взаимодействиями) встречаются во многих многоядерных комплексах Ag(I) [19–22]. Широкое использование Ag(I) обусловлено его высоким сродством к лигандам-донорам наряду с гибким координационным

числом и геометрией [23–25]. Недавно нами были получены первые примеры соединений на основе анионных октаэдрических кластерных халькогенидных комплексов рения и одновалентных комплексных катионов переходных металлов (Cu^+ и Ag^+) [26–31].

В настоящей работе в продолжение этих исследований изучено взаимодействие $\text{Cs}_{2.75}\text{K}_{1.25}[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_4(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ с $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ и Bipy.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходную кластерную соль $\text{Cs}_{2.75}\text{K}_{1.25}[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_4(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ получали по ранее описанной методике [10]; остальные реагенты коммерческие (чистота 99.5+%). Порошковые дифрактограммы регистрировали в интервалах углов 2θ 5°–60° на автоматическом дифрактометре Philips PW 1700 (CuK_α -излучение, $\lambda = 1.54056$ Å, графитовый монохроматор, внутренний кремниевый стандарт). Соотношение тяжелых элементов определяли методом энергодисперсионного рентгеновского анализа (EDAX) с помощью анализатора химического состава Bruker QUANTAX 70 на настольном сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM3000. ИК-спектры в диапазоне 4000–400 cm^{-1} записывали для образцов в виде таблеток с KBr на Фурье-спектрометре Bruker

Vertex 80. Элементный анализ на С, Н, N проводили на приборе Euro EA 3000 analyzer.

Синтез $[\{Ag_3(Bipy)_3(CN)\}_2Re_6Se_8(CN)_6]$ I. Запаянную стеклянную ампулу, заполненную смесью 50.0 мг $Cs_{2.75}K_{1.25}[Re_6Se_8(CN)_4(OH)_2] \cdot H_2O$ (0.022 ммоль), 25.7 мг $K[Ag(CN)_2]$ (0.129 ммоль), 20.2 мг 2,2'-бипиридила (0.129 ммоль) и 0.5 мл дистиллированной воды, нагревали до 150°C, выдерживали 48 ч, затем охлаждали в течение 12 ч. Выделенный продукт представлял собой оранжевые ромбовидные кристаллы. Выход 61.1 мг (80%). EDAX показал соотношение элементов в образце $Ag : Re : Se = 5.81 : 6 : 7.89$.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3086 сл, 3074 сл, 3059 сл, 3032 сл, 2124 с, 2077 с, 1589 с, 1576 с, 1564 с, 1483 ср, 1469 с, 1435 с, 1311 ср, 1279 ср, 1244 ср, 1213 сл, 1151 ср, 1097 сл, 1055 сл, 1039 пл, 977 сл, 895 сл, 758 с, 735 с, 650 ср, 619 ср.

Найдено, %: C 23.2; H 1.4; N 8.0.

Для $C_{68}H_{48}N_{20}Se_8Ag_6Re_6$

вычислено, %: C 23.06; H 1.37; N 7.91.

РСА монокристалла I проведен на дифрактометре Bruker D8 Venture, оснащенном CMOS PHOTON III детектором и источником $I\mu S$ 3.0 (фокусирующие зеркала Монтея, MoK_α -излучение, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$) при 150(2) К. Поглощение учтено эмпирически по интенсивностям эквивалентных отражений (SADABS) [32]. Кристаллическая структура расшифрована прямым методом. Положения атомов водорода молекул $Bipy$ рассчитаны геометрически и уточнены по модели "наездника". Окончательное уточнение проведено полноматричным МНК в анизотропном приближении для всех неводородных атомов. Все расчеты выполнены по комплексу программ SHELX-2018/3 [33], рисунки — в программе DIAMOND [34]. Кристаллографические данные, детали экспериментов и уточнения приведены в табл. 1.

Координаты атомов и величины тепловых параметров депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 2170365; <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/>) и могут быть получены у авторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе исследовано взаимодействие анионного октаэдрического кластерного комплекса рения $[Re_6Se_8(CN)_4(OH)_2]^{4-}$ с $K[Ag(CN)_2]$ и 2,2'-бипиридином ($Bipy$). Методики синтеза, использованные нами при изучении реакций октаэдрических кластерных комплексов рения, например с Ni^{2+} [35–37], в данном случае привели к получению рентгеноаморфного порошка. Недавно реакцией с участием $Cs_{2.75}K_{1.25}[Re_6Se_8(CN)_4(OH)_2] \cdot H_2O$ с

$AgCN$ и $Bipy$ в гидротермальных условиях синтезировано (и охарактеризовано) соединение $[\{Ag(Bipy)\}\{Ag_4(Bipy)_4(\mu-CN)\}\{Re_6Se_8(CN)_6\}]$, представляющее собой трехмерный каркас, построенный из кластерных анионов $[Re_6Se_8(CN)_6]^{4-}$ и двух различных типов $Ag(I)$ -содержащих катионов, моноядерного $\{Ag(Bipy)\}^+$ и четырехядерного $\{Ag_4(Bipy)_4(\mu-CN)\}^{3+}$, все из которых связаны между собой цианидными мостиками [27]. Супрамолекулярная структура поддерживается аргентофильными взаимодействиями $Ag \cdots Ag$, но неожиданно демонстрирует очень ограниченное π – π -стекинг-взаимодействие пиридиновых колец. Гидротермальный синтез с использованием $K[Ag(CN)_2]$ вместо $AgCN$ в аналогичных условиях приводит к получению соединения I. Процедура этого метода состоит в следующем: стеклянную ампулу заполняют реагентами и запаивают, затем нагревают и выдерживают при заданной температуре.

В ИК-спектре соединения I преобладают полосы поглощения характерные для хелатных лигандов $Bipy$. Относительно слабые полосы поглощения 3086, 3074, 3059, 3032, 1483, 1469, 1435 cm^{-1} обусловлены колебаниями $C-H$ с участием ароматических атомов водорода. Полосы поглощения переменной интенсивности около 1589, 1576, 1564, 1244, 1151, 894, 650 cm^{-1} соответствуют колебаниям ароматических колец лигандов $Bipy$. Полосы колебаний между 1213 и 977 cm^{-1} указывают на присутствие $Bipy$. Кроме того, полосы в области 758–619 cm^{-1} можно рассматривать как характерные колебания координированных лигандов $Bipy$. Очень сильная полоса при 2124 cm^{-1} относится к частотам валентных колебаний мостикового ($Ag-CN-Re$) лиганда CN^- . К валентным колебаниям координированного к атому Ag лиганда CN^- относится очень сильная полоса при 2077 cm^{-1} [38].

Соединение I кристаллизуется в пр. гр. $P\bar{1}$ (триклинная сингония). В независимой части элементарной ячейки содержится два фрагмента слоистого координационного полимера $[\{Ag_3(Bipy)_3(CN)\}_2Re_6Se_8(CN)_6]$. Координационный полимер формируется из кластерного аниона $[Re_6Se_8(CN)_6]^{4-}$ (рис. 1) и мостиковых катионных комплексов $\{Ag_3(Bipy)_3(CN)\}^{2+}$ (рис. 2). Пространственное строение кластерного аниона в I аналогично тому, что и в других родственных комплексах [10, 27, 39]. Атомы рения образуют октаэдр, атомы селена координированы к его граням по μ_3 -типу, при этом каждый атом рения дополнительно координирован лигандом CN^- через атом углерода. Значение длин связей в кластерном ядре сравнимы с данными для других комплексов, содержащих кластерное ядро $[Re_6Se_8(CN)_6]^{4-}$ (табл. 2). В структуре есть два кристаллографически независимых мостиковых катионных ком-

Таблица 1. Кристаллографические данные и параметры уточнения структуры I

Параметр	Значение
Брутто-формула	$C_{68}H_{48}N_{20}Se_8Ag_6Re_6$
M	3541.36
Сингония	Триклинная
Пр. гр.	$P\bar{1}$
a , Å	13.8161(3)
b , Å	14.3229(3)
c , Å	19.0861(4)
α , град	86.955(1)
β , град	84.297(1)
γ , град	88.279(1)
V , Å ³	3751.7(2)
Z	2
ρ (выч.), г см ⁻³	3.135
$\mu(MoK\alpha)$, мм ⁻¹	15.099
Размер кристалла, мм	$0.10 \times 0.08 \times 0.04$
Область сбора данных θ , град	2.375–36.293
Диапазоны h, k, l	$-23 \leq h \leq 23$, $-23 \leq k \leq 23$, $-31 \leq l \leq 31$
Число измеренных отражений	93083
Число независимых отражений (R_{int})	36205 (0.0475)
Число наблюдаемых отражений ($I > 2\sigma(I)$)	27915
Число уточняемых параметров	219
$F(000)$	3200
$R(F^2 > 2\sigma(F^2))$	$R_1 = 0.0361$ $wR_2 = 0.0721$
$R(F^2$ по всем отражениям)	$R_1 = 0.0548$ $wR_2 = 0.0861$
GOOF	1.024
$\Delta\rho_{max}/\Delta\rho_{min}$, e Å ⁻³	2.615/–2.185

плекса $\{Ag_3(Віру)_3(CN)\}^{2+}$. В данном катионном комплексе к каждому атому Ag хелатно координирован лиганд Віру. Кроме этого, каждый атом Ag соединен с кластерным ядром CN^- мостиком. Свой вклад в общую структурную стабилизацию обсуждаемого фрагмента вносят аргентофильные взаимодействия Ag–Ag (2.9035(6), 2.9233(5), 2.9312(6), 2.9697(5) Å), которые объединяют три атома Ag в цепь, формирующую полимерный слой (рис. 3). Значения длин связей хорошо согласуются с удвоенным эмпирическим ковалентным радиусом атома Ag (3.06 Å) и лишь незначительно превышают расстояние между атомами в металлическом серебре (2.886 Å). Углы AgAgAg равны 97.248(15)° и 97.341(15)°. Между этими тремя ато-

мами Ag находится терминальный лиганд CN^- . Кратчайшие расстояния Ag–N_{CN} равны 2.118(5) и 2.150(5) Å, расстояния от крайних атомов Ag до N_{CN} равны 2.465(5)–2.591(5) Å. В структуре наблюдаются π – π -стекинг взаимодействия как внутри катионного фрагмента, так и между соседними ближайшими катионными фрагментами внутри полимерного слоя и между слоями (рис. 4). Расстояние между центрами ароматических колец внутри катионного фрагмента несколько длиннее (4.121–4.211 Å), чем между слоями (3.710–3.842 Å). Вместе они образуют практически прямую линию вдоль оси b . Расстояние между центрами ароматических колец ближайших катионных фрагментов внутри слоя 3.654 Å. Таким образом, за счет

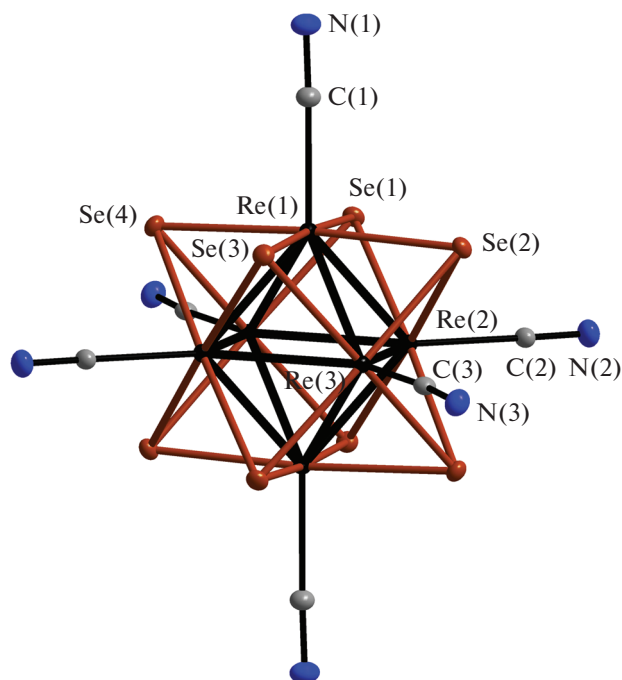


Рис. 1. Структура кластерного аниона $[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6]^{4-}$. Приведены тепловые эллипсоиды с 50%-ной вероятностью.

π – π -стекинг-взаимодействий формируется супрамолекулярный ансамбль, состоящий из полимерных слоев, перпендикулярных оси *a*. Структура является плотноупакованной.

Таким образом, в результате взаимодействия $\text{Cs}_{2.75}\text{K}_{1.25}[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_4(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ с $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ и Bipy в условиях гидротермального синтеза происходит замещение лигандов OH^- на CN^- , формирова-

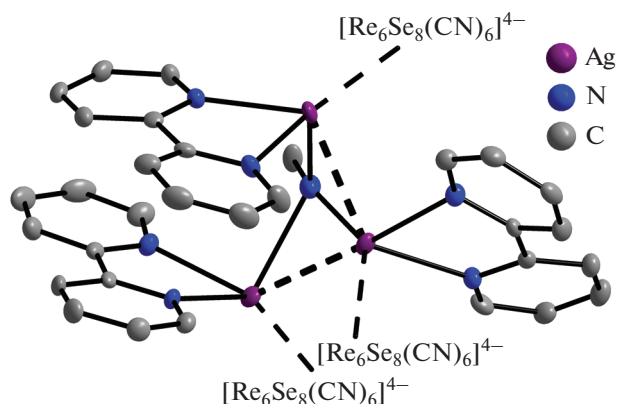


Рис. 2. Структура мостиковых катионных комплексов $\{\text{Ag}_3(\text{Bipy})_3(\text{CN})\}^{2+}$. Приведены тепловые эллипсоиды с 50%-ной вероятностью.

ние катионных фрагментов и образование соединения $[\{\text{Ag}_3(\text{Bipy})_3(\text{CN})\}_2\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6]$, представляющего собой супрамолекулярный ансамбль, в котором аргентофильные взаимодействия формируют полимерный слой, а π – π -стекинг- взаимодействия связывают ближайшие слои между собой. Оказалось, что замена источника $\text{Ag}(\text{I})$ с полимерного AgCN на анионный комплекс $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ приводит к кардинальной разнице продуктов реакции с октаэдрическим кластерным комплексом рения.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.С. Сухих за предоставление данных, измеренных в рентгенодифракционном ЦКП ИХХ СО РАН.

Таблица 2. Основные геометрические характеристики в комплексе I и некоторых известных соединениях

Соединение	<i>d</i> , Å			
	Re–Re	Re–(μ_3 -Q)	Re–C	Ag/Cu–N
I	2.6281(2)– 2.6421(2)	2.5076(4)– 2.5299(5)	2.100(4)– 2.123(4)	2.118(5)– 2.591(5)
$\text{Cs}_{2.75}\text{K}_{1.25}[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_4(\text{OH})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ [10]	2.6160(2)– 2.6239(2)	2.518(2)– 2.532(2)	2.01(2)– 2.05(2)	
$\text{K}_4[\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6] \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ [39]	2.624(1)– 2.642(1)	2.516(1)– 2.538(1)	2.09(2)– 2.12(2)	
$[\{\text{Cu}(\text{Bipy})(\mu\text{-CN})\text{Cu}(\text{Bipy})\}_2\{\text{Cu}(\text{Bipy})\}_2\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6]$ [26]	2.6306(2)– 2.6420(2)	2.5107(4)– 2.5385(4)	2.106(4)– 2.110(4)	1.844(4)– 2.118(4)
$[\{\text{Ag}(\text{Bipy})\}\{\text{Ag}_4(\text{Bipy})_4(\mu\text{-CN})\}\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6]$ [27]	2.6285(4)– 2.6386(4)	2.5171(7)– 2.5309(7)	2.096(6)– 2.118(7)	2.111(7)– 2.577(5)

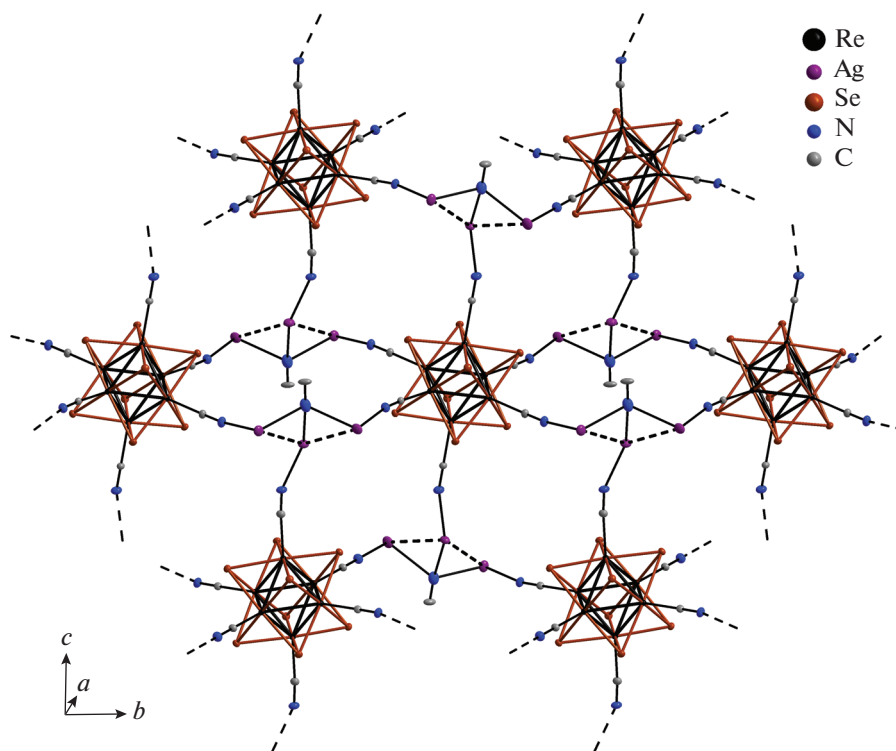


Рис. 3. Фрагмент полимерного слоя I. Молекулы Виру не показаны для ясности.

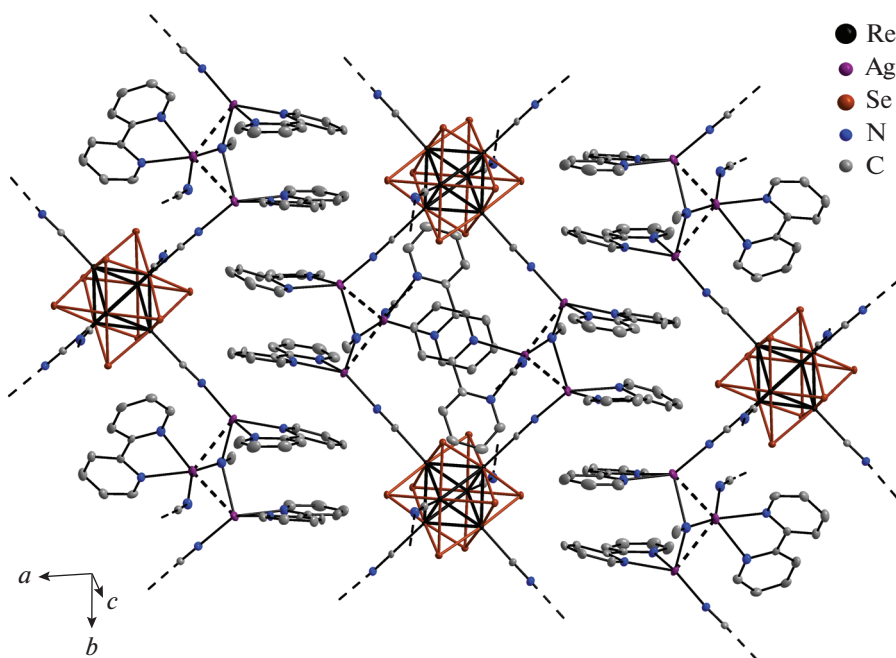


Рис. 4. Фрагмент супрамолекулярного ансамбля $[\{Ag_3(Bipy)_3(CN)\}_2Re_6Se_8(CN)_6]$. Атомы водорода не показаны для ясности.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700321-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bennett M.V., Beauvais L.G., Shores M.P. et al.* // J. Am. Chem. Soc. 2001. V. 123 P. 8022.
<https://doi.org/10.1021/ja0110473>
2. *Baudron S.A., Deluzet A., Boubekeur K. et al.* // Chem. Commun. 2002. P. 2124.
<https://doi.org/10.1039/b205241e>
3. *Park S.-M., Kim Y., Kim S.-J.* // Eur. J. Inorg. Chem. 2003. P. 4117.
<https://doi.org/10.1002/ejic.200300255>
4. *Baudron S.A., Batail P., Coulon C. et al.* // J. Am. Chem. Soc. 2005. V. 127. P. 11785.
<https://doi.org/10.1021/ja0523385>
5. *Ranganathan A., El-Ghayoury A., Meziere C. et al.* // Chem. Commun. 2006. P. 2878.
<https://doi.org/10.1039/b600159a>
6. *Xu L., Kim Y., Kim S.-J. et al.* // Inorg. Chem. Commun. 2007. V. 10. P. 586.
<https://doi.org/10.1016/j.inoche.2007.02.005>
7. *Carlsson S., Zorina L., Allan D.R. et al.* // Inorg. Chem. 2013. V. 52. P. 3326.
<https://doi.org/10.1021/ic302790m>
8. *Fedorov V.E., Naumov N.G.* // Struct. Bond. 2019. V. 180. P. 31.
https://doi.org/10.1007/430_2019_33
9. *Азафонов М.А., Александров Е.В., Артюхова Н.А. и др.* // Журн. структур. химии. 2022. Т. 63. С. 535.
https://doi.org/10.26902/JSC_id93211
10. *Naumov N.G., Ledneva A.Y., Kim S.J. et al.* // J. Cluster Sci. 2009. V. 20. P. 225.
<https://doi.org/10.1007/s10876-009-0233-x>
11. *Mironov Y.V., Brylev K.A., Kim S.-J. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2011. V. 370. P. 363.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2011.01.110>
12. *Mironov Y.V., Brylev K.A., Smolentsev A.I. et al.* // Rsc Adv. 2014. V. 4. P. 60808.
<https://doi.org/10.1039/c4ra10697k>
13. *Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В.* // Ко-орд. химия. 2014. Т. 40. С. 487 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40. P. 558).
<https://doi.org/10.1134/s1070328414080028>
14. *Liu X., Guo G.C., Fu M.L. et al.* // Inorg. Chem. 2006. V. 45. P. 3679.
<https://doi.org/10.1021/ic0601539>
15. *Etaiev S.E.H., El-Bendary M.M.* // Inorg. Chim. Acta. 2015. V. 435. P. 167.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2015.06.020>
16. *Zheng R., Zhang H.X., Liu Y.P. et al.* // J. Solid State Chem. 2017. V. 246. P. 258.
<https://doi.org/10.1016/j.jssc.2016.11.037>
17. *Yuan L., Qin C., Wang X. et al.* // Dalton Trans. 2009. № 21. P. 4169.
<https://doi.org/10.1039/b818535b>
18. *Zhao X., Sun X., Han Z. et al.* // J. Solid State Chem. 2013. V. 207. P. 178.
<https://doi.org/10.1016/j.jssc.2013.09.023>
19. *Dai L.M., You W.S., Wang E.B. et al.* // Cryst. Growth Des. 2009. V. 9. P. 2110.
<https://doi.org/10.1021/cg8006734>
20. *Lin Y.M., Guan Z.J., Liu K.G. et al.* // Dalton Trans. 2015. V. 44. P. 2439.
<https://doi.org/10.1039/c4dt03394a>
21. *Hau S.C.K., Mak T.C.W.* // J. Organomet. Chem. 2015. V. 792. P. 123.
<https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2015.03.013>
22. *Gao X.M., Bigdeli F., Wang H.H. et al.* // Polyhedron. 2021. V. 194. P. 114940.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2020.114940>
23. *Dawn S., Salpage S.R., Smith M.D. et al.* // Inorg. Chem. Commun. 2012. V. 15. P. 88.
<https://doi.org/10.1016/j.inoche.2011.09.045>
24. *Banerjee K., Roy S., Biradha K.* // Cryst. Growth Des. 2014. V. 14. P. 5164.
<https://doi.org/10.1021/cg500898c>
25. *Emashova S.K., Titov A.A., Filippov O.A. et al.* // Eur. J. Inorg. Chem. 2019. V. 2019. P. 4855.
<https://doi.org/10.1002/ejic.201901050>
26. *Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // Polyhedron. 2015. V. 102. P. 417.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2015.10.024>
27. *Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Brylev K.A. et al.* // J. Mol. Struct. 2018. V. 1173. P. 627.
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.07.028>
28. *Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В.* // Журн. структур. химии. 2021. Т. 62. С. 626 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // J. Struct. Chem. 2021. V. 62. P. 585).
<https://doi.org/10.1134/s0022476621040107>
29. *Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В.* // Журн. структур. химии. 2021. Т. 62. С. 1754 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // J. Struct. Chem. 2021. V. 62. P. 1648).
<https://doi.org/10.1134/s002247662110019x>
30. *Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В.* // Ко-орд. химия. 2021. Т. 47. С. 424 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // Russ. J. Coord. Chem. 2021. V. 47. P. 473).
<https://doi.org/10.1134/s1070328421070022>
31. *Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В.* // Журн. структур. химии. 2022. Т. 63. С. 36 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. P. 75).
<https://doi.org/10.1134/s0022476622010085>
32. APEX2 (version 1.08), SAINT (version 7.03), SADABS (version 2.11). Madison (WI, USA): Bruker Advanced X-ray Solutions, 2004.
33. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. P. 3.
<https://doi.org/10.1107/s2053229614024218>

34. DIAMOND (version 3.2a). Bonn (Germany): Crystal Impact GbR, 2009.
35. Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В. // Журн. структур. химии. 2011. Т. 52. С. 1161 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // J. Struct. Chem. 2011. V. 52. P. 1124).
<https://doi.org/10.1134/s0022476611060151>
36. *Smolentsev A.I., Ermolaev A.V., Mironov Y.V.* // J. Mol. Struct. 2012. V. 1014. P. 57.
<https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2012.02.005>
37. Ермолаев А.В., Смоленцев А.И., Миронов Ю.В. // Ко-орд. химия. 2016. Т. 42. С. 700 (*Ermolaev A.V., Smolentsev A.I., Mironov Y.V.* // Russ. J. Coord. Chem. 2016. V. 42. P. 730).
<https://doi.org/10.1134/s1070328416110026>
38. *Nakamoto K.* Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. John Wiley & Sons, Inc., 2008. P. 1.
39. Наумов Н.Г., Вировец А.В., Подберезская Н.В. // Журн. структур. химии. 1997. Т. 38. С. 1018 (*Naumov N.G., Virovets A.V., Podberezskaya N.V. et al.* // J. Struct. Chem. 1997. V. 38. P. 857).
<https://doi.org/10.1007/bf02763902>