

КООРДИНАЦИОННЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ

УДК 546.571+546.18+547.53.024+548.312.2+547.491

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ДИЦИАНОАРГЕНТАТОВ
ОРГАНИЛТРИФЕНИЛФОСФОНИЯ $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3]^{2+}[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2^-$
и $[\text{Ph}_3\text{PR}]^+[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ (R = Et, CH=CMe₂)

© 2019 г. В. В. Шарутин¹, О. К. Шарутина¹, М. А. Попкова¹, Н. М. Тарасова¹*, В. В. Полозова¹

¹Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет,
пр-т им. В.И. Ленина, 76, Челябинск, 454080 Россия

*E-mail: tarasovanm@susu.ru

Поступила в редакцию 14.01.2019 г.

После доработки 18.02.2019 г.

Принята к публикации 17.06.2019 г.

Взаимодействием дицианоаргентата калия с хлоридами алкилтрифенилфосфония в водном растворе синтезированы ионные комплексы $\text{Ag}(\text{I}) [\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3]^{2+}[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2^-$ (I) и $[\text{Ph}_3\text{PR}]^+[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$, где R = Et (II), CHCMe₂ (III). ИК-спектры соединений I–III характеризуются наличием полос поглощения CN-групп в области 2131–2137 см⁻¹. В ходе рентгеноструктурных исследований установлено, что катионы алкилтрифенилфосфония имеют искаженную тетраэдрическую конфигурацию: углы СРС составляют 105.6(3)°–112.8(3)° (I), 108.0(3)°–110.6(4)° (II), 106.77(11)°–113.74(11)° (III), связи Р–С равны 1.790(6)–1.810(6) (I), 1.774(8)–1.806(7) (II) и 1.745(3)–1.806(2) Å (III). В анионах $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ углам САгС соответствуют значения 168.4(3)° (I), 175.5(3)° (II), 180.000(2)° (III), расстояния Ag–С составляют 2.039(10)–2.093(10) Å. Формирование кристаллов I–III обусловлено в основном слабыми водородными связями между атомами водорода катионов и азота анионов N⋯H–C (2.37–2.74 Å).

Ключевые слова: бис(дицианоаргентат) бут-2-ен-1,4-диил-бис(трифенилфосфония), дицианоаргентаты алкилтрифенилфосфония, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.1134/S0044457X19120158

ВВЕДЕНИЕ

Комплексы дицианидов металлов вызывают интерес исследователей в связи с их использованием при получении полупроводниковых и оптически активных материалов, которые приобретают при этом разнообразные свойства [1–6]. В частности, специфическое строение дицианоаргентатных анионов, способствующее образованию олигомеров, приводит к проявлению магнитной активности [7]. Кроме того, комплексы с анионами $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ перспективны в плане создания новых нано- и жидкокристаллических систем [8, 9]. С точки зрения поиска структур, обладающих ценными физико-химическими свойствами, перспективным является варьирование катионной части дицианоаргентатных комплексов [10]. В зависимости от строения катиона дицианоаргентатные анионы в кристаллах могут быть мономерными [2, 11, 12], полимерными с разветвленным строением [13–15], выполнять мостиковую функцию, связывая катионы и анионы [16], образовывать “димеры” с короткими расстояниями Ag⋯Ag [17–19]. Следует отметить, что комплексы

$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ с органическими и элементоорганическими катионами мало изучены. В литературе представлены немногочисленные примеры подобных систем с катионами имидазолия [11, 20], пиримидиния [21], бис(трифенилфосфан)иминия [22, 23] и трифенилтеллурия [24]. Данные о синтезе и особенностях строения дицианоаргентатов тетраорганилфосфония в литературе отсутствуют.

В настоящей работе впервые синтезированы и структурно охарактеризованы дицианоаргентатные комплексы органилтрифенилфосфония $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3]^{2+}[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2^-$ (I) и $[\text{Ph}_3\text{PR}]^+[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$, где R = CH₂CH₃ (II), R = CH=CMe₂ (III).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез бис(дицианоаргентата) бут-2-ен-1,4-диил-бис(трифенилфосфония) $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3]^{2+}[\text{Ag}(\text{CN})_2]_2^-$ (I). К водному раствору 326 мг (0.502 ммоль) дихлорида бутен-2-ен-1,4-бис(трифенилфосфония) добавляли раствор 200 мг

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

Параметр	I	II	III
<i>M</i>	898.45	451.24	792.63
Сингония	Триклинная	Моноклинная	Триклинная
Пр. гр.	$P\bar{1}$	$P2_1/c$	P
<i>a</i> , Å	9.57(2)	9.648(11)	8.997(5)
<i>b</i> , Å	9.624(19)	29.71(4)	10.579(5)
<i>c</i> , Å	12.698(18)	7.490(8)	10.647(8)
α , град	70.34(7)	90.00	101.11(3)
β , град	68.18(9)	106.61(3)	100.26(3)
γ , град	84.45(17)	90.00	92.80(2)
<i>V</i> , Å ³	1022(3)	2057(4)	974.8(10)
<i>Z</i>	2	4	1
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1.459	1.457	1.350
μ , мм ⁻¹	1.071	1.065	0.633
<i>F</i> (000)	452.0	912.0	409.0
Размер кристалла, мм	0.36 × 0.12 × 0.07	0.21 × 0.15 × 0.08	0.42 × 0.37 × 0.3
Область сбора данных по 2 θ , град	6.32–39.7	5.84–46.78	6.14–58.38
Интервалы индексов отражений	$-9 \leq h \leq 9, -9 \leq k \leq 9, -12 \leq l \leq 12$	$-10 \leq h \leq 10, -32 \leq k \leq 32, -8 \leq l \leq 8$	$-12 \leq h \leq 12, -14 \leq k \leq 14, -14 \leq l \leq 14$
Измерено отражений	7807	19859	40651
Независимых отражений	1839 ($R_{\text{int}} = 0.0345$)	2948 ($R_{\text{int}} = 0.0425$)	5267 ($R_{\text{int}} = 0.0276$)
Отражений с $I > 2\sigma(I)$	1454	2244	4282
Переменных уточнения	235	236	233
<i>GOOF</i>	1.069	1.103	1.062
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0.0371, wR_2 = 0.0842$	$R_1 = 0.0570, wR_2 = 0.1111$	$R_1 = 0.0519, wR_2 = 0.1629$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0.0541, wR_2 = 0.0934$	$R_1 = 0.0785, wR_2 = 0.1226$	$R_1 = 0.0632, wR_2 = 0.1743$
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	0.28/–0.38	0.48/–0.69	1.38/–0.72

(1.004 ммоль) дицианоаргентата калия в 5 мл воды. Воду удаляли, остаток экстрагировали ацетонитрилом (3 × 5 мл). Медленное испарение растворителя приводило к образованию бледно-желтых кристаллов, пригодных для проведения рентгеноструктурного анализа. Выделили 383 мг (85%) комплекса I с $t_{\text{пл}} = 218.5^\circ\text{C}$.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3415, 3055, 3043, 3020, 2964, 2933, 2893, 2862, 2792, 2131, 1631, 1585, 1496, 1481, 1458, 1435, 1408, 1315, 1247, 1186, 1157, 1112, 1072, 1026, 975, 844, 756, 744, 723, 705, 690, 613, 543, 516, 503, 493, 457, 443, 435, 422, 416.

	C	H
Найдено, %:	58.71;	4.13.
Для $\text{C}_{44}\text{H}_{36}\text{Ag}_2\text{N}_4\text{P}_2$		
вычислено, %:	58.80;	4.01.

Соединения II и III синтезировали по аналогичной методике.

Дицианоаргентат трифенилэтилфосфония (II). Выделено 85% комплекса II с $t_{\text{пл}} = 104.1^\circ\text{C}$.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3167, 3080, 3043, 3024, 3008, 2989, 2981, 2931, 2900, 2881, 2216, 2140, 2129, 2088, 1986, 1905, 1834, 1784, 1687, 1612, 1583, 1479, 1456, 1436, 1406, 1336, 1315, 1269, 1244, 1182, 1161, 1114, 1105, 1070, 1033, 1014, 997, 931, 856, 846, 748, 734, 721, 690, 661, 530, 503, 489, 451, 441, 418.

	C	H
Найдено, %:	58.42;	4.47.
Для $\text{C}_{22}\text{H}_{20}\text{AgN}_2\text{P}$		
вычислено, %:	58.54;	4.34.

Дицианоаргентат (2-метилпроп-1-ен-1-ил)трифенилфосфония (III). Выделено 87% комплекса III с $t_{\text{пл}} = 195.8^\circ\text{C}$.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3091, 3064, 3051, 3022, 3001, 2956, 2914, 2164, 2137, 1973, 1905, 1826, 1778, 1631, 1587, 1573, 1481, 1436, 1409, 1363, 1338, 1307,

1273, 1193, 1172, 1163, 1141, 1111, 1074, 1028, 997, 966, 931, 854, 846, 765, 754, 721, 694, 684, 642, 615, 599, 542, 518, 486, 455, 416.

	C	H
Найдено, %:	66.59;	5.42.
Для C ₄₆ H ₄₂ AgN ₂ P		
вычислено, %:	66.70;	5.30.

Дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) соединений I–III проводили с помощью комплекса синхронного термического анализа Netzsch 449C Jupiter.

ИК-спектры комплексов I–III записывали на ИК-Фурье-спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S в таблетках KBr.

РСА кристаллов I–III проводили на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK_α-излучение, λ = 0.71073 Å, графитовый монохроматор). Для сбора, редактирования данных и уточнения параметров элементарной ячейки, а также учета поглощения использовали программное обеспечение SMART и SAINT-Plus [25]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены по программам SHELXL/PC [26] и OLEX2 [27]. 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, избранные длины связей и валентные углы – в табл. 2.

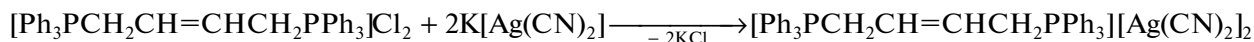
Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1878005 (I), 1878008 (II), 1878006 (III)); deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в структурах I–III

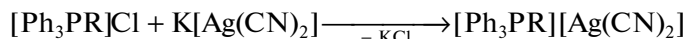
Связь	Длина, Å	Угол	ω, град
I			
Ag(1)–C(9)	2.039(10)	C(9)Ag(1)C(10)	168.4(3)
Ag(1)–C(10)	2.059(10)	C(21)P(1)C(7)	109.5(3)
P(1)–C(21)	1.798(7)	C(21)P(1)C(11)	108.6(3)
P(1)–C(1)	1.790(6)	C(1)P(1)C(21)	110.5(3)
P(1)–C(7)	1.810(6)	C(1)P(1)C(7)	105.6(3)
P(1)–C(11)	1.799(7)	C(11)P(1)C(11)	109.8(3)
N(1)–C(9)	1.101(9)	C(11)P(1)C(7)	112.8(3)
N(2)–C(10)	1.104(9)	N(2)C(10)Ag(1)	174.1(9)
C(1)–C(2)	1.403(8)	N(1)C(9)Ag(1)	171.7(8)
Преобразования симметрии: ¹ –x, 1 – y, 1 – z.			
II			
Ag(1)–C(9)	2.093(10)	C(10)Ag(1)C(9)	175.5(3)
Ag(1)–C(10)	2.068(11)	C(21)P(1)C(1)	110.6(3)
P(1)–C(21)	1.774(8)	C(21)P(1)C(11)	108.4(3)
P(1)–C(1)	1.806(7)	C(21)P(1)C(7)	110.6(6)
P(1)–C(11)	1.791(6)	C(11)P(1)C(1)	108.0(3)
P(1)–C(7)	1.787(8)	C(7)P(1)C(1)	110.6(4)
N(1)–C(9)	1.089(9)	C(7)P(1)C(11)	108.5(4)
N(2)–C(10)	1.121(11)	N(1)C(9)Ag(1)	177.1(8)
III			
Ag(1)–C(27 ¹)	2.059(5)	C(27 ¹)Ag(1)C(27)	180.000(2)
Ag(1)–C(27)	2.059(5)	C(1)P(1)C(11)	107.46(10)
P(1)–C(1)	1.794(2)	C(1)P(1)C(21)	108.22(11)
P(1)–C(11)	1.806(2)	C(21)P(1)C(11)	107.12(10)
P(1)–C(21)	1.802(2)	C(7)P(1)C(1)	113.25(12)
P(1)–C(7)	1.745(3)	C(7)P(1)C(11)	113.74(11)
P(1)–C(27)	1.113(6)	C(7)P(1)C(21)	106.77(11)
Преобразования симметрии: ¹ –x, 2 – y, 1 – z.			

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

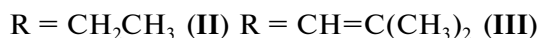
Комплексы I–III получали взаимодействием дицианоаргентата калия и хлоридов алкилтрифенилфосфония в водном растворе:



I



II, III



После испарения воды сухой остаток перекристаллизовывали из ацетонитрила для получения монокристаллов. Соединения I–III устойчивы на воздухе.

Согласно данным ДСК, кристаллы I, II, III плавятся при температурах 218.5, 104.1, 195.8°C соответственно и не претерпевают разложения при нагревании до 200°C.

Известно, что поглощение C≡N-групп в ИК-спектрах соединений независимо от их природы

(органические, неорганические, элементоорганические) наблюдается в нешироком интервале частот: 2200–2000 см⁻¹, т.е. колебания связей C≡N не чувствительны к влиянию окружения [28]. В связи с этим соединения с цианогруппами легко обнаружить по поглощению в указанной области. В ИК-спектрах соединений I, II, III колебаниям C≡N-групп соответствуют полосы при 2131, 2129, 2137 см⁻¹. Колебания связей P–Ph в катионах находятся в интервале частот

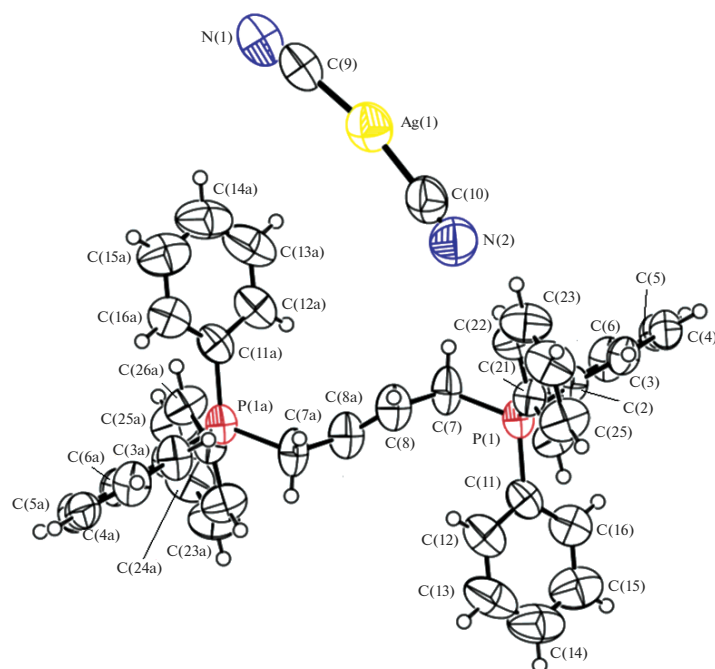


Рис. 1. Строение комплекса I.

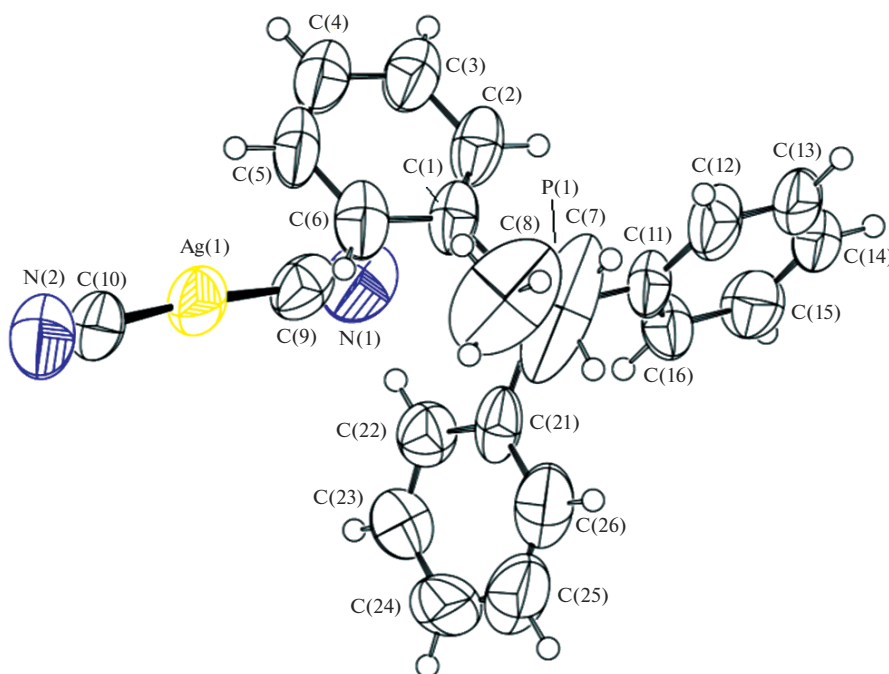


Рис. 2. Строение комплекса II.

1450–1435 cm^{-1} [28]. В спектрах соединений I, II и III имеет место поглощение при 1435, 1436 и 1436 cm^{-1} , относящееся к колебаниям связи фосфор–углерод фенильных колец. В спектрах I и III с неопределёнными алкильными радикалами на-

блюдаются полосы при 1585 и 1631 cm^{-1} , характерные для колебаний кратных связей C=C.

Рентгеноструктурные исследования показали, что кристаллы I–III сформированы из катионов органилтрифенилфосфония и мономерных ди-

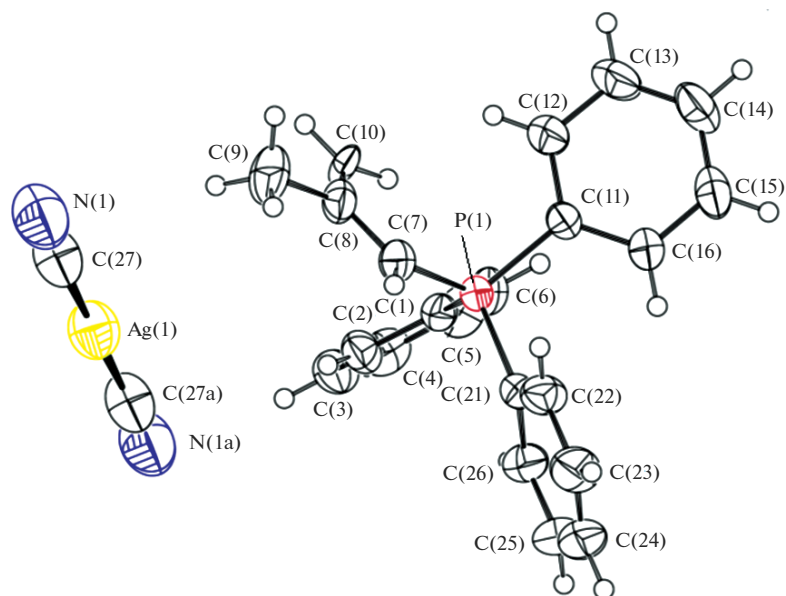


Рис. 3. Строение комплекса III.

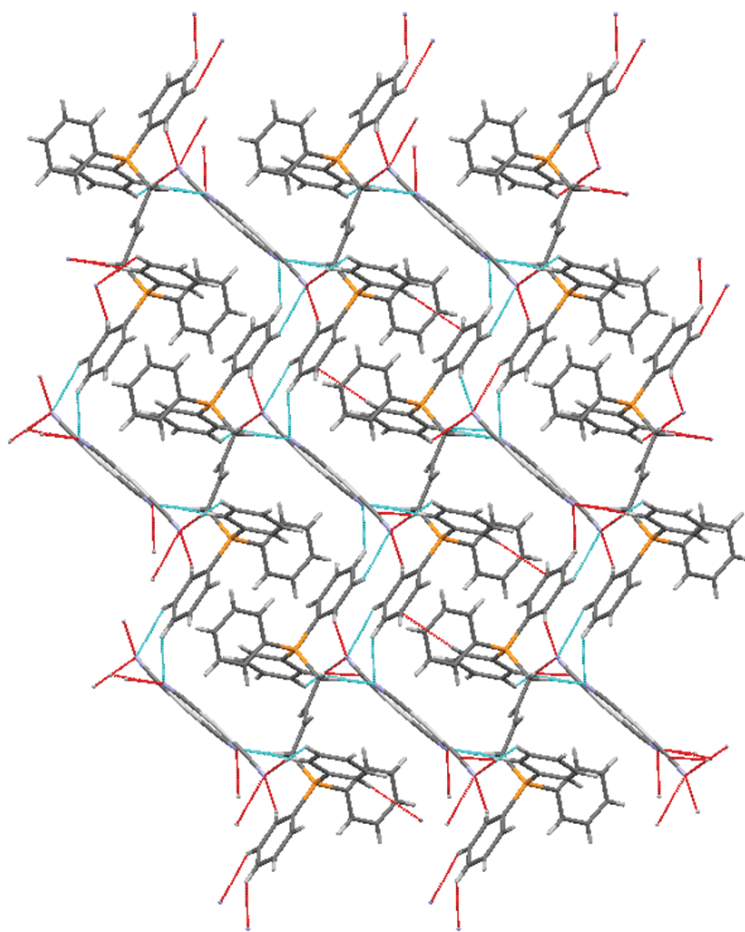


Рис. 4. Упаковка катионов и анионов в кристалле I (расположение вдоль кристаллографической оси *a*).

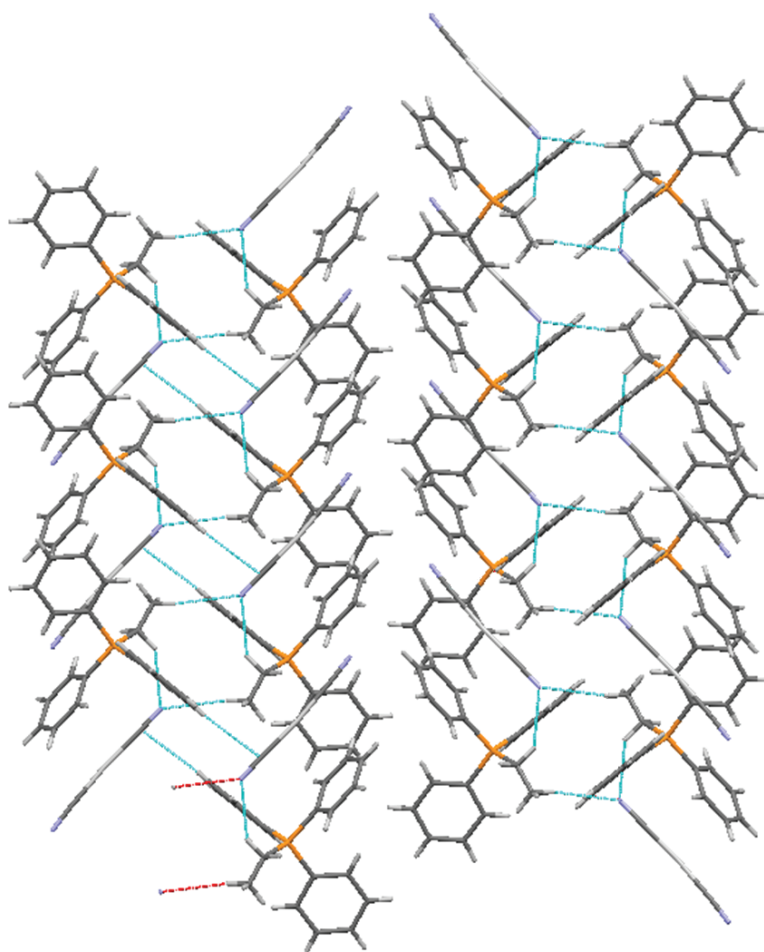


Рис. 5. Упаковка катионов и анионов в кристалле II (расположение вдоль кристаллографической оси *a*).

цианоаргентатных анионов (рис. 1–3). Расстояния $\text{Ag}\cdots\text{Ag}$ между анионами для всех структур значительно превышают суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов серебра (3.40(3) Å) [11].

В кристалле I катионы centrosимметричны с центром инверсии, совпадающим с серединой двойной связи фрагмента $\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2$. Тетраэдрическая конфигурация катионов несколько искажена, углы при атоме фосфора отличаются от теоретического значения и составляют: 105.6(3)°–112.8(3)° (I), 108.0(3)°–110.6(4)° (II), 106.77(11)°–113.74(11)° (III), длины связей $\text{P}-\text{C}_{\text{Ph}}$ (1.790(6)–1.799(7) Å (I), 1.774(8)–1.806(7) Å (II) и 1.794(2)–1.806(2) Å (III)) близки между собой, как и расстояния $\text{P}-\text{C}_{\text{alk}}$ (1.810(6), 1.787(7), 1.745(3) Å). Отметим, что в структурно исследованных комплексах рутения и палладия катионы $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3]^{2+}$ также centrosимметричны и имеют очень близкие значения валентных углов CPC и расстояний $\text{P}-\text{C}$ [29, 30].

В анионах $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ углы CAgC равны 168.4(3)° (I), 175.5(3)° (II), 180.000(2)° (III), расстояния $\text{Ag}-\text{C}$ (2.039(10)–2.093(10) Å) близки к сумме ковалентных радиусов указанных атомов (2.03 Å [31]). Тройные связи $\text{C}\equiv\text{N}$ в цианидных лигандах комплексов I, II и III равны 1.101(9), 1.104(9) Å; 1.089(9), 1.121(11) Å и 1.113(6), 1.113(6) Å соответственно. Структурная организация кристаллов соединений I–III обусловлена в основном образованием слабых водородных связей между атомом водорода катионов и атомом азота анионов $\text{N}\cdots\text{H}-\text{C}$ (2.37–2.74 Å).

На рис. 4–6 изображено относительное расположение катионов и анионов в кристаллах дицианоаргентатов тетраорганилфосфония I, II и III.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осуществлен синтез и проведены структурные исследования *bis*(дицианоаргентата) бут-2-ен-1,4-диил-*bis*(трифенилфосфония), а также дици-

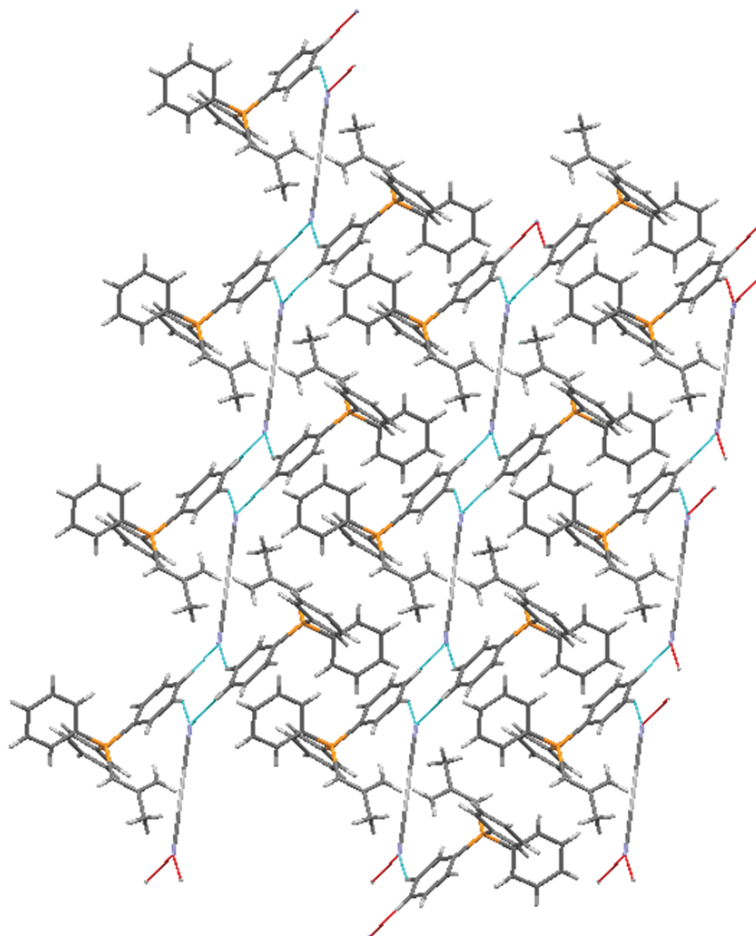


Рис. 6. Упаковка катионов и анионов в кристалле III (расположение вдоль кристаллографической оси *a*).

аноаргентатов трифенилэтилфосфония и (2-метилпроп-1-ен-1-ил)трифенилфосфония. Кристаллы комплексов состоят из катионов органилтрифенилфосфония, имеющих искаженную тетраэдрическую конфигурацию, и мономерных дицианоаргентатных анионов. Соединения термически стабильны до 200°C.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках государственного задания № 4.6151.2017/8.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Xiaobo L., Patterson H. // *Materials*. 2013. V. 6. P. 2595. <https://doi.org/10.3390/ma6072595>
- Dechambenoit P., Ferlay S., Kyritsakas N. et al. // *Cryst. Eng. Commun.* 2011. V. 13. P. 1922. <https://doi.org/10.1039/C0CE00607F>
- Hill J.A., Thompson A.L., Goodwin A.L. // *J. Am. Chem. Soc.* 2018. V. 138. P. 5886. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b13446>
- Assefaa Z., Haire R.G., Sykora R.E. // *J. Solid State Chem.* 2008. V. 181. P. 382. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2007.11.036>
- Brown M.L., Ovens J.S., Leznoff D.B. // *Dalton Trans.* 2017. V. 46. P. 7169. <https://doi.org/10.1039/C7DT00942A>
- Chorazy S., Wyczęsany M., Sieklucka B. // *Molecules*. 2017. V. 22. P. 1902. <https://doi.org/10.3390/molecules22111902>
- Agust G., Bele'n Gaspar A., Muñoz M.C. et al. // *Inorg. Chem.* 2007. V. 46. P. 9646. <https://doi.org/10.1021/ic060247i>
- Dobbs W., Suisse J.-M., Douce L. et al. // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2006. V. 45. P. 4179. <https://doi.org/10.1002/anie.200600929>
- Al Abbas A., Heinrich B., L'Her M. et al. // *New J. Chem.* 2016. V. 41. P. 2604. <https://doi.org/10.1039/C6NJ03590F>
- Ahern J.C., Shilabin A., Henline K.M. et al. // *Dalton Trans.* 2014. V. 43. P. 12044. <https://doi.org/10.1039/c4dt01110d>
- Mallah E., Abu-Salem Q., Sweidan K. et al. // *Z. Naturforsch.* 2011. V. 66b. P. 545.

12. *Tsujimoto K., Ogasawara R., Kishi Y. et al.* // *New J. Chem.* 2014. V. 38. P. 406.
<https://doi.org/10.1039/C3NJ00979C>
13. *Urban V., Pretsche T., Hart H.* // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2005. V. 44. P. 2794.
<https://doi.org/10.1002/anie.200462793>
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. *Geiser U., Wang H.H., Gerdorf L.E. et al.* // *J. Am. Chem. Soc.* 1985. V. 107. P. 8305.
<https://doi.org/10.1021/ja00312a106>
16. *Hill J.A., Thompson A.L., Goodwin A.L.* // *J. Am. Chem. Soc.* 2016. V. 138. P. 5886.
<https://doi.org/10.1021/jacs.5b13446>
17. *Korkmaz N., Aydin A., Karadag A. et al.* // *Spectrochim. Acta, Part A.* 2017. V. 173. P. 1007.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.10.035>
18. *Stender M., White-Morris R.L., Olmstead M.M. et al.* // *Inorg. Chem.* V. 42. P. 4504.
<https://doi.org/10.1021/ic034383o>
19. *Zhang H.-X., Kang B.-S., Deng L.-R. et al.* // *Inorg. Chem. Commun.* 2001. V. 4. P. 41.
[https://doi.org/10.1016/S1387-7003\(00\)00191-X](https://doi.org/10.1016/S1387-7003(00)00191-X)
20. *Yoshida Y., Muroi K., Otsuka A. et al.* // *Inorg. Chem.* 2004. V. 43. P. 1458.
<https://doi.org/10.1021/ic035045q>
21. *Jiang Z.-Y., Dong H.-Z., Zhang G. et al.* // *Acta Crystallogr.* 2008. V. E64. P. m858.
<https://doi.org/10.1107/S1600536808015791>
22. *Carcelli M., Ferrari C., Peliui C. et al.* // *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 1992. P. 2127.
<https://doi.org/10.1039/DT9920002127>
23. *Jaafar M., Liu X., Dielmann F. et al.* // *Inorg. Chim. Acta.* 2016. V. 45. P. 443.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2015.12.018>
24. *Klapötke T.M., Krumm B., Mayer P. et al.* // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2002. P. 2701.
[https://doi.org/10.1002/1099-0682\(200210\)2002:10<2701::AID-EJIC2701>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1099-0682(200210)2002:10<2701::AID-EJIC2701>3.0.CO;2-G)
25. Bruker (1998). SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
26. 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.
27. *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>
28. *Преч Э., Бюльманн Ф., Аффельтер К.* Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2006. 440 с.
29. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. et al.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2018. V. 63. P. 1178. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др.* // *Журн. неорганической химии.* 2018. Т. 63. С. 1153.
<https://doi.org/10.1134/S0044457X18090180>.
<https://doi.org/10.1134/S0036023618090188>
30. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. et al.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2018. V. 63. P. 747. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др.* // *Журн. неорганической химии.* 2018. Т. 63. С. 712.]
<https://doi.org/10.1134/S0036023618060220>
31. *Batsanov S.S.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 1991. V. 36. № 12. P. 2015. [*Бацанов С.С.* // *Журн. неорганической химии.* 1991. Т. 36. № 12. С. 3015.]