

УДК 548.63

**ПСЕВДОПОЛИМОРФИЗМ, СВЕРХСТРУКТУРА И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ  
В КРИСТАЛЛАХ СЕМЕЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОВОДНИКОВ  
(BEDT-TTF)<sub>4</sub>[MNOX<sub>5</sub>]<sub>2-x</sub>G<sub>x</sub>, где M = Os, Ru; X = Cl, Br; G — МОЛЕКУЛА РАСТВОРИТЕЛЯ**

© 2009 Л.В. Зорина\*, С.В. Симонов, С.С. Хасанов, Р.П. Шibaева\*

*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка**Статья поступила 15 декабря 2008 г.*

Проанализирована специфика структуры и свойств кристаллов семейства низкоразмерных молекулярных проводников на основе катион-радикальных солей BEDT-TTF (ET) с мононитрозильными металлокомплексами  $[MNOX_5]^{2-}$  (M = Os, Ru; X = Cl, Br) в качестве анионов. Показано, что при изменении компонентов синтеза образуются монокристаллы с  $\alpha'$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  и  $\kappa$ -типами проводящих слоев. Все катион-радикальные соли в этом семействе могут быть представлены как "псевдополиморфные" фазы с обобщенной формулой  $(ET)_4[MNOX_5]_{2-x}G_x$  (G — гостевая молекула растворителя, BN или NB). Рассматриваемые кристаллы демонстрируют ряд примечательных структурных особенностей, таких как конформационное и зарядовое упорядочение в проводящих ET слоях, а также соразмерные и несоизмерные структурные модуляции, связанные в основном с позиционным упорядочением компонентов комплексных анионных слоев.

**Ключевые слова:** низкоразмерные проводники, катион-радикальные соли, кристаллическая структура, бис(этилендитио)тетраафульвален, октаэдрический анион, осмий, рутений.

Низкоразмерные органические проводники на основе молекулярного  $\pi$ -электронного донора бис(этилендитио)тетраафульвалена (BEDT-TTF, или ET) отличаются характерной слоистой кристаллической структурой, в которой чередуются органические катионные и неорганические анионные слои [1—3]. Электронный транспорт происходит только в органических слоях, так как зона проводимости формируется при перекрывании молекулярных орбиталей соседних доноров. Конформационная гибкость терминальных этиленовых групп молекулы ET [4, 5], от которых зависит сценарий межмолекулярных взаимодействий на границе органического и неорганического слоев, увеличивает возможность формирования проводящих слоев с разными типами упаковки доноров. Топология органического слоя и, соответственно, транспортные свойства зависят не только от природы донора, но и от характера (формы, размера и заряда) аниона [4—6]. В органических проводниках с октаэдрическими металлокомплексными анионами, которым посвящена статья, неорганические слои часто многокомпонентны и включают, помимо анионов, нейтральные молекулы растворителя [6—8], причем обнаружено, что проводящая система реагирует на малейшие изменения в составе и структуре комплексного анионного блока. При изучении строения многокомпонентных молекулярных проводников особое значение приобретают вопросы структурной комплементарности анионной и катионной подсистем, роли каждого компонента кристалла в образовании структуры и стабилизации той или иной фазы.

В данной статье дается анализ и обобщение результатов, полученных при исследовании структурных особенностей кристаллов семейства катион-радикальных солей с общей форму-

---

\* E-mail: zorina@issp.ac.ru, shibaeva@issp.ac.ru

Кристаллы катион-радикальных солей семейства  $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$ ,  
 где  $\text{M} = \text{Os}, \text{Ru}$ ;  $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$ ;  $\text{G} = \text{BN}$  или  $\text{NB}$

№	Состав	Тип	Свойства	Литература
1*	$(\text{ET})_4[\text{OsNOCl}_5]_2$	$\beta$	П/п	[ 7 ]
2	$(\text{ET})_4[\text{OsNOCl}_5] \cdot \text{BN}$	$\kappa$	П/п, ( $c \times 2$ )	[ 7 ]
3	$(\text{ET})_4[\text{OsNOCl}_5] \cdot \text{NB}$	$\alpha'$	П/п, ф.п. $\sim 200$ и $100$ К	[ 7 ]
4	$(\text{ET})_4[\text{OsNOCl}_5]_{1,33}(\text{NB})_{0,67}$	$\delta$	$\text{M} - \text{Д} = 160$ К, ( $b \times 3$ )	[ 7 ]
5	$(\text{ET})_4[\text{RuNOBr}_5] \cdot \text{BN}$	$\kappa$	П/п, ф.п. $> 293$ К	[ 8 ]
6	$(\text{ET})_4[\text{RuNOCl}_5] \cdot \text{BN}$	$\kappa$	П/п, ф.п. $> 293$ К	[ 8 ]
7	$(\text{ET})_4[\text{RuNOCl}_5]_{1,33}(\text{BN})_{0,67}$	$\delta$	$\text{M} - \text{Д} = 50$ К, ( $b \times 3$ )	[ 7, 8 ]
8	$(\text{ET})_4[\text{RuNOBr}_5]_x(\text{BN})_{x-1}$	$\delta$	$\text{M} - \text{Д} = 80$ К, ( $\sim 2,5a$ )	[ 8 ]

\*  $(\text{ET})_2[\text{OsNOCl}_5]$  — в элементарной ячейке кристалла.

Примечание. М — металл; П/п — полупроводник; Д — диэлектрик; ф.п. — фазовый переход.

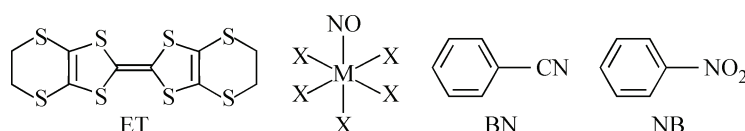


Схема компонентов, входящих в состав кристаллов семейства  $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$ .  
 $\text{M}^{\text{II}} = \text{Ru}, \text{Os}$ ;  $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$ ; BN — бензонитрил; NB — нитробензол

лой  $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$ , список которых приведен в табл. 1. Данные по структуре этих кристаллов были опубликованы ранее [ 7, 8 ], здесь будут приведены оригинальные результаты дополнительного дифракционного исследования сверхструктуры в кристаллах **2** и температурной стабильности зарядового упорядочения в кристаллах **3**.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Слабые сверхструктурные отражения, соответствующие удвоению периода  $c$ , обнаружены на дифракционной картине кристаллов **2**. Температурная динамика интенсивности сверхструктурного и основного рефлексов измерена на дифрактометре CAD4F с точечным детектором ( $\text{MoK}_\alpha$ , графитовый монохроматор,  $\omega$ -сканирование). Установлено, что сверхструктурные отражения существуют во всем интервале температур от 300 до 130 К. Экспериментальные данные получены при 293 К на дифрактометре Bruker X8 APEX ( $\text{MoK}_\alpha$ , OSMIC монохроматор,  $\varphi/\omega$ -сканирование).

На температурной зависимости сопротивления кристаллов **3** вблизи температур 200 и 100 К наблюдается изменение энергии активации [ 7 ]. Измерения температурной динамики объема элементарной ячейки (CAD4F, 300—130 К) обнаруживают изменение коэффициента теплового расширения при  $T = 190$  К. Экспериментальные массивы дифракционных отражений от монокристалла получены при температурах 130 и 30 К на дифрактометре Bruker KappaCCD ( $\text{MoK}_\alpha$ , графитовый монохроматор,  $\varphi/\omega$ -сканирование) с использованием азотной и гелиевой охлаждающих потоковых систем.

Экспериментальные данные и параметры уточнения структур приведены в табл. 2. Эмпирическая коррекция на поглощение экспериментальных интенсивностей была проведена с помощью программы SADABS [ 9 ]. Структуры решены прямым методом с последующими Фурье-синтезами и уточнены полноматричным методом наименьших квадратов с использованием пакета программ SHELX [ 10 ] в анизотропном приближении для неводородных атомов.

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные данные и параметры уточнения структур 2 и 3

Параметр	2	3	
<i>T</i> , К	293(2)	130(2)	30(2)
Дифрактометр	Bruker X8 APEX	Bruker KappaCCD	
Симметрия	Триклинная	Триклинная	
<i>a</i> , Å	8,7540(2)	9,5722(9)	9,5518(1)
<i>b</i> , Å	11,9199(3)	10,9641(5)	10,9230(2)
<i>c</i> , Å	34,4221(8)	17,964(2)	17,9469(2)
$\alpha$ , град.	95,305(1)	101,158(6)	101,125(1)
$\beta$ , град.	92,6464(9)	91,808(8)	91,801(1)
$\gamma$ , град.	95,1342(9)	110,921(6)	110,991(1)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	3556,7(2)	1717,3(3)	1705,00(4)
Пр. группа, <i>Z</i>	<i>P</i> $\bar{1}$ , 2	<i>P</i> $\bar{1}$ , 1	
$\rho_{\text{calc}}$ , г/см <sup>3</sup>	1,904	1,991	2,005
$\mu$ , см <sup>-1</sup>	29,61	30,69	30,91
<i>F</i> (000)	2028	1024	
Диапазон $\theta$ , град.	0,59—30,34	3,85—32,00	2,04—27,88
Число измерен. / независ. рефлексов	42521 / 17822	61823 / 11839	13467 / 7280
<i>R</i> <sub>int</sub>	0,0234	0,0251	0,0145
Число уточняемых параметров	903	451	443
Добротность уточнения по <i>F</i> <sup>2</sup>	1,094	1,035	1,106
<i>R</i> [ <i>I</i> > 2 $\sigma$ ( <i>I</i> )]	0,0375	0,0186	0,0205
Номер депозита в CCDC	711408	711407	711406

Положения атомов водорода были заданы геометрически с тепловыми факторами  $U_{\text{iso}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{eq}}(\text{C})$ . Структурная информация в виде CIF файлов находится в свободном доступе в Кембриджской базе структурных данных (<http://www.ccdc.cam.ac.uk/cgi-bin/catreq.cgi>, номера депозитов даны в табл. 2).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование при синтезе катион-радикальных солей ЕТ в качестве анионов фотохромных изостерических октаэдрических металлокомплексов  $[\text{MNOX}_5]^{2-}$  привело к получению большого семейства проводников. В табл. 1 систематизированы данные по структурным и физическим свойствам изученных кристаллов. Удвоенная формула кристаллов  $\beta$ -фазы  $(\text{ET})_4[\text{OsNOCl}_5]_2$  может служить базовой при рассмотрении всех катион-радикальных солей, приведенных в этой таблице. На одну формульную единицу в кристаллах **1—8** приходится приблизительно одинаковый объем [7, 8], и их можно назвать своего рода "псевдополиморфами" с общей формулой  $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$ , где *M* = Os, Ru; *X* = Cl, Br; *G* = BN или NB. В этом семействе слоистых молекулярных проводников было найдено четыре типа катион-радикальных слоев,  $\kappa$ ,  $\delta$ ,  $\alpha'$  и  $\beta$ , согласно общепринятой классификации [11—13] (рис. 1, *a*). Катион-радикальный слой  $\kappa$ -типа построен из приблизительно перпендикулярных друг другу димеров ЕТ. Катион-радикальные слои  $\delta$ ,  $\alpha'$  и  $\beta$  формируются из стопок ЕТ, но если в  $\delta$  и  $\beta$  плоскости всех молекул ЕТ параллельны, то в  $\alpha'$  молекулы из соседних стопок расположены под углом друг к другу.  $\delta$ -Тип слоя дополнительно отличается разворотом молекул ЕТ внутри стопки вокруг нормали к молекулярной плоскости.

Структура неорганического слоя кристаллов фаз  $\kappa$ ,  $\delta$ ,  $\alpha'$  и  $\beta$  показана на рис. 1, *б*. Как видно из этого рисунка, в первых трех фазах неорганический блок включает, кроме октаэдриче-

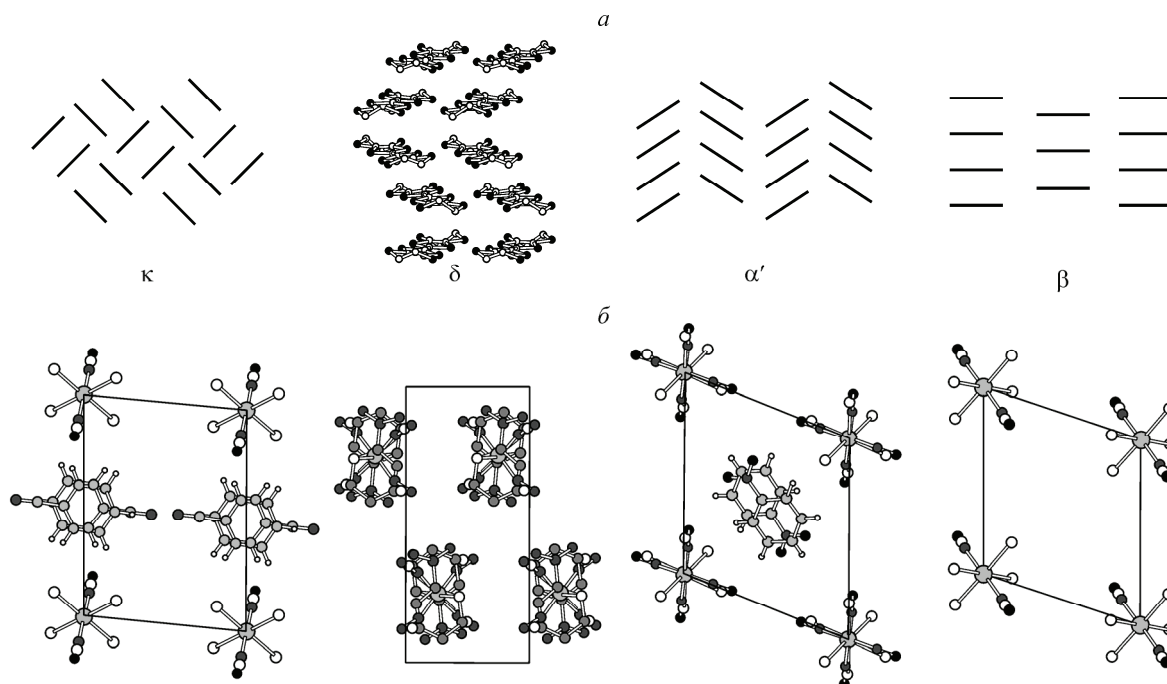
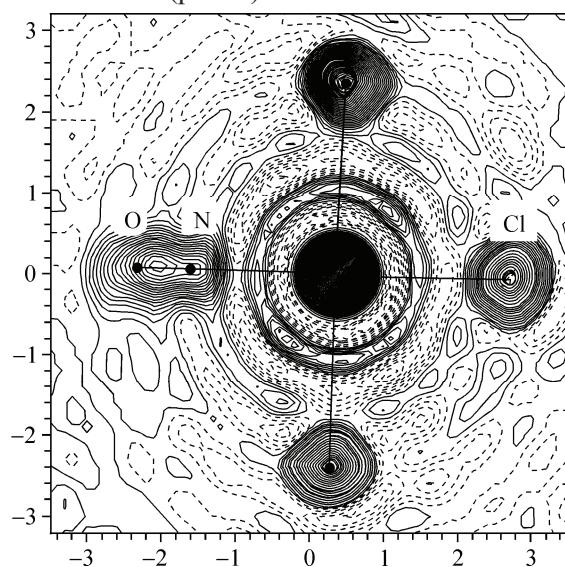


Рис. 1. Типы упаковки проводящего ET слоя (а) и проекции анионного слоя (б) в структурах  $\kappa$ ,  $\delta$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta$ - $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$  соответственно. Проекция ET вдоль длинной молекулярной оси для структур  $\kappa$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta$  схематически изображены черточками

ских металлокомплексных анионов, еще и гостевые молекулы растворителя BN или NB. Характерной особенностью неорганического слоя является то, что его компоненты разупорядочены относительно центра инверсии, кроме того, в  $\delta$ -фазах анион и гостевая молекула смешаны в одной позиции в соотношении 2:1. Разница в расположении и заселенности позиций в анионном слое кристаллов  $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$  приводит к специфическим эффектам в их структуре и свойствах. Рассмотрим эту специфику на конкретных примерах.

$\beta$ - $(\text{ET})_4[\text{OsNOCl}_5]_2$  (**1**) является катион-радикальной солью с полным переносом заряда. Нецентросимметричные анионы  $[\text{OsNOCl}_5]^{2-}$  в усредненной структуре находятся в центрах инверсии (см. рис. 1, б). Однако уточнение структуры в нецентросимметричной группе  $P1$  четко показывает в распределении электронной плотности преимущественное направление NO-группы в анионе (рис. 2).



Кристаллы **2**, **5** и **6** относятся к  $\kappa$ -фазам и имеют одну и ту же усредненную структуру, для которой характерна высокая степень беспорядка: в проводящем слое разупорядочены концевые этиленовые группы молекул доноров, а в комплексном анионном слое и анион, и молекула растворителя BN занимают две равновероятные позиции относительно центра инверсии (см. рис. 1, б). На дифракционной картине кристаллов **2** были обнаружены слабые (с интенсивностью на два порядка меньше основных) сверх-

Рис. 2.  $\beta$ - $(\text{ET})_2[\text{OsNOCl}_5]$  (**1**): распределение электронной плотности в анионном слое при уточнении структуры в группе  $P1$ , свидетельствующее об упорядочении аниона

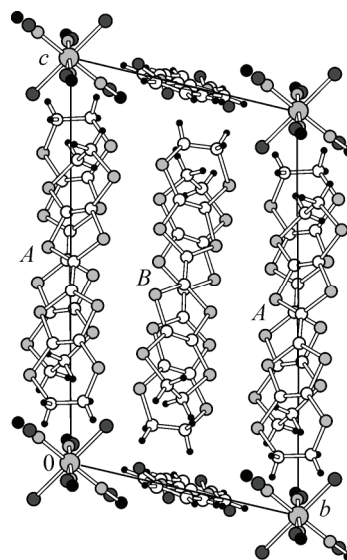
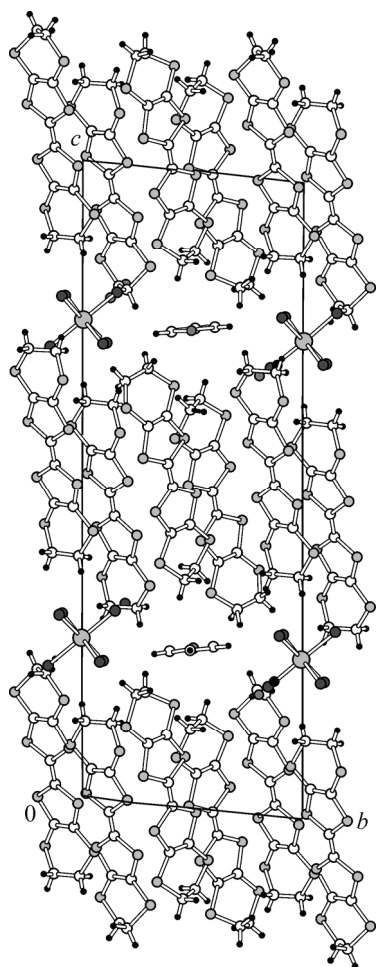


Рис. 3 (слева).  $\kappa$ -( $\text{ET}$ ) $_4$ [ $\text{OsNOC15}$ ]BN (2). Проекция структуры в удвоенной ячейке (с учетом сверхструктуры  $c \times 2$ ) вдоль оси  $a$

Рис. 4 (справа).  $\alpha'$ -( $\text{ET}$ ) $_4$ [ $\text{OsNOC15}$ ]NB (3): проекция структуры вдоль оси  $a$ . Заряд ET соответствует +0,7 в стопке A и +0,3 в стопке B

структурные отражения, соответствующие удвоению периода  $c$ . Учет этих отражений при решении и уточнении структуры позволил увидеть упорядочение молекул в структуре. На рис. 3 приведена проекция кристаллической структуры **2** вдоль направления  $a$ . В структурном плане удвоение периода в направлении, перпендикулярном слоям, означает переход к двухслойной структуре с двумя кристаллографически независимыми катионными или анионными слоями. В данном случае независимыми являются катион-радикальные слои, но частичное упорядочение возникает как в анионном, так и в катионном слоях. В симметрично связанных анионных слоях полностью упорядочивается только молекула растворителя, в то время как в одном из независимых катионных слоев происходит только частичное упорядочение этиленовых групп донора. Однако, несмотря на то, что катион-радикальные слои кристаллографически неэквивалентны, распределение внутримолекулярных связей остается таким же, как и в усредненной структуре. Характер межмолекулярных взаимодействий также не меняется, поэтому не приходится ожидать каких-либо сильных изменений проводящих свойств образца, что подтверждается измерениями проводимости.

Катион-радикальный слой кристаллов **2**, **5** и **6** сформирован из двух независимых донорных димеров, отличающихся по межплоскостному расстоянию, характеру перекрытия молекул ET и энергиям межмолекулярного взаимодействия. По-видимому, такой характер проводящего слоя приводит к определенной локализации носителей и активационному поведению проводимости кристаллов. Следует отметить, что по своей структуре кристаллы **2**, **5** и **6** аналогичны кристаллам  $\kappa$ -( $\text{ET}$ ) $_4$ PtCl $_6$ ·BN (низкотемпературная фаза), которые претерпевают фазовый переход I рода при 250 K [14—16]. Возможно, что изученные здесь кристаллы имеют аналогичный переход, но при более высоких температурах. Действительно, эксперименты с нагревом кристаллов **5** показали резкое возрастание их проводимости в районе 345 K [8].



Слоистая структура кристаллов катион-радикальной соли  $\alpha'$ -(ET)<sub>4</sub>[OsNOCl<sub>5</sub>]·NB (**3**) показана на рис. 4. Две кристаллографически независимых молекулы ET образуют в катион-радикальном слое две неэквивалентные стопки, одна из которых расположена между анионными цепочками (стопка *A*), другая (стопка *B*) между цепочками молекул растворителя [7]. Анализ длин связей в молекулах ET в стопках *A* и *B* показал, что первые имеют большую степень ионности, чем вторые. При этом количество укороченных контактов с анионом у катион-радикалов из стопки *A* больше, чем у менее заряженных молекул из стопки *B*. Можно предположить, что неэквивалентное электростатическое взаимодействие двух ET стопок с анионным слоем приводит к зарядовой локализации и, как следствие, к диэлектрическому ходу проводимости (см. табл. 1).

Проводимость кристаллов **3** имеет сложную активационную температурную зависимость с изменениями значения энергии активации при 200 и 100 К [7]. Низкотемпературное рентгеноструктурное исследование кристаллов **3** при 130 и 30 К (см. табл. 2) позволило провести детальный сравнительный анализ структуры при разных температурах. Было показано, что в анионном слое качественных изменений не происходит: беспорядок, связанный с тем, что несимметричный анион находится в центре инверсии, а молекула растворителя NB занимает две равновероятных позиции около центра симметрии (см. рис. 1, б), сохраняется и при низких температурах. В катион-радикальной части при понижении температуры происходит упорядочение концевых этиленовых групп, причем если при комнатной температуре отношение двух конформаций (заторможенной и затененной) составляло 0,72:0,28, то при  $T = 130$  К всего лишь 0,95:0,05, а при  $T = 30$  К донорный слой полностью упорядочен. Структура катион-радикального слоя (расположение доноров в проводящем слое, характер распределения межмолекулярных контактов) изменяются незначительно, однако наблюдаемые изменения проводимости в области температур 90—190 К довольно заметны [7]. Можно было предположить, что с понижением температуры изменяется характер зарядового упорядочения, найденный при комнатной температуре. Однако расчет зарядового состояния по эмпирической формуле [17] для катион-радикалов, расположенных соответственно между рядами анионов и нейтральных молекул растворителя, показывает, что заряд доноров сохраняется неизменным вплоть до низких температур и составляет +0,70(5) для молекул в стопке *A* и +0,30(5) для молекул в стопке *B*.

Следует отметить, что кристаллы **3** изоструктурны кристаллам катион-радикальных солей с другими октаэдрическими анионами (ET)<sub>4</sub>PtBr<sub>6</sub> [18] и (ET)<sub>4</sub>(ReCl<sub>6</sub>)·BN [19], которые также содержат проводящие слои типа  $\alpha'$  с упорядочением заряда, которое, по всей видимости, является характерной особенностью всех  $\alpha'$ -фаз.

Одинаковые по своей усредненной структуре кристаллы  $\delta$ -фаз — **4**, **7** и **8** (см. рис. 1) отличаются разным составом комплексного анионного блока и имеют разные физические свойства (см. табл. 1). Эти кристаллы характеризуются наличием соизмеримой и несоизмеримой структурной модуляции, свидетельством появления которой является наблюдение сателлитных диффузных рефлексов, соответствующих увеличению периода решетки 6,7 Å в 3 раза для кристаллов **4** и **7** и приблизительно в 2,5 раза для **8**. Наиболее вероятно, что структурная модуляция связана с позиционным упорядочением компонентов анионного блока. Следует отметить, что несмотря на подобие проводящих слоев в кристаллах **4**, **7** и **8** эти  $\delta$ -фазы должны отличаться по электронной структуре. Из-за разной стехиометрии блок (ET)<sub>4</sub> имеет в них разный заряд: +2,67 (в **4**, **7**) и +2 (в **8**), т.е. зоны проводимости отличаются по электронному заполнению, что объясняет наблюдаемые различия в проводящих свойствах кристаллов **8** по сравнению с кристаллами **4** и **7** (см. табл. 1). В кристаллах **4** рост сопротивления начинается при более высокой температуре, чем в кристаллах **7**, что может быть обусловлено включением в анионный слой растворителя других формы и размера.

Отметим специально, что с течением времени в кристаллах **4** происходит структурная трансформация в новую, ранее неизвестную в этом семействе фазу  $\beta''$ -(ET)<sub>3</sub>[OsNOCl<sub>5</sub>]. Переход связан с потерей молекул растворителя и происходит не полностью, в результате в кристалле сосуществуют обе фазы,  $\delta$  и  $\beta''$ , что затрудняет обработку экспериментальных данных. Особен-

ности трансформации  $\delta\text{--}\beta$ " и структурного упорядочения в  $\delta$ -фазе **4** с учетом сверхструктурных рефлексов будут подробно рассмотрены в отдельной публикации.

Таким образом, на примере катион-радикальных солей на основе ET с моонитрозильными октаэдрическими металлокомплексами в качестве анионов показано, что при изменении компонентов синтеза в кристаллах реализуются разные типы упаковки донорного слоя. Все катион-радикальные соли в этом семействе могут быть представлены как "псевдополиморфные" фазы с обобщенной формулой  $(\text{ET})_4[\text{MNOX}_5]_{2-x}\text{G}_x$ , где  $\text{M} = \text{Os}, \text{Ru}$ ;  $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$ ;  $\text{G} = \text{BN}$  или  $\text{NB}$  ( $x = 0$  для **1**,  $x = 0,67$  для **4** и **7**,  $x = 1$  для **2, 3, 5, 6** и **8**) и упаковкой слоя типов  $\kappa$ ,  $\alpha'$ ,  $\delta$  и  $\beta$  (см. табл. 1). Отметим, что тип упаковки полностью не определяет характер проводимости кристаллов, так как межмолекулярные взаимодействия в слое и степень заполнения зоны, от которых зависят параметры электронной структуры, могут существенно различаться в пределах одного и того же типа. Кроме того, неравномерное распределение заряда в проводящем слое зачастую является причиной диэлектризации кристаллов, как можно было видеть на примере  $\alpha'$ -фазы.

Работа проводится в рамках Программы Президиума РАН и Госконтракта 02.740.11.0216, в тесном сотрудничестве с лабораторией синтетических металлов, ИПХФ РАН, Черноголовка (Э.Б. Ягубский) и ISMAV, Барселона, Испания (E. Canadell).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ishiguro T., Yamaji K., Saito G.* Organic superconductors. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.
2. *Singleton J.* // Rep. Progr. Phys. – 2000. – **63**. – P. 1111.
3. *J rome D.* // Chem. Rev. – 2004. – **104**. – P. 5565.
4. *Williams J.M., Ferraro J.R., Thorn R.J. et al.* Organic Superconductors (Including Fullerenes). Synthesis, Structure, Properties, and Theory. – New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992.
5. *Шубаева П.П.* Структурная кристаллография. – М.: Наука, 1992. – С. 41.
6. *Шубаева П.П., Хасанов С.С., Зорина Л.В., Симонов С.В.* // Кристаллография. – 2006. – **51**. – С. 1014.
7. *Simonov S.V., Shevyakova I.Yu., Zorina L.V. et al.* // J. Mater. Chem. – 2005. – **15**. – P. 2476.
8. *Shevyakova I.Yu., Zorina L.V., Khasanov S.S. et al.* // J. Solid State Chem. – 2002. – **168**. – P. 514.
9. *Sheldrick G.M.* SADABS. University of Göttingen, Germany, 1996.
10. *Sheldrick G.M.* SHELX-97. University of Göttingen, Germany, 1997, Release 97-2.
11. *Mori T.* // Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1998. – **71**. – P. 2509.
12. *Mori T., Mori H., Tanaka S.* // Ibid. – 1999. – **72**. – P. 179.
13. *Mori T.* // Ibid. – P. 2011.
14. *Galimzyanov A.A., Ignat'ev A.A., Kushch N.D. et al.* // Synth. Met. – 1989. – **33**. – P. 81.
15. *Коротков В.Е., Молчанов В.Н., Шубаева П.П.* // Кристаллография. – 1992. – **37**. – С. 1437.
16. *Doublet M.-L., Canadell E., Shibaeva R.P.* // J. Phys. I France. – 1994. – **4**. – P. 1479.
17. *Guionneau P., Kepert C.J., Bravic G. et al.* // Synth. Met. – 1997. – **86**. – P. 1973.
18. *Шубаева П.П., Розенберг Л.П.* // Кристаллография. – 1990. – **35**. – С. 1149.
19. *Kepert C.J., Kurmoo M., Day P.* // J. Mater. Chem. – 1997. – **7**. – P. 221.