

548.735.864.234.87

*Лариса СОЙКА¹, Марек ДАШКЕВИЧ², Микола МАНЯКО¹, Богдана БЕЛАН¹,
Бернард МАРЦІНЯК³, Єва РУЖИЦЬКА-СОКОЛОВСКА³, Ярослав КАЛИЧАК⁴*

КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА СПОЛУК Dy₄Pd₁₀In₂₁ ТА DyPdIn₂

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

²Інститут низьких температур і структурних досліджень
ім. В.Гшебятковського, Вроцлав, Польща

³Інститут хімії та захисту довкілля,
Академія ім. Яна Длugoша, Ченстохова, Польща

Рентгеноструктурним методом монокристала досліджено кристалічну структуру сполук Dy₄Pd₁₀In₂₁ (структурний тип Ho₄Ni₁₀Ga₂₁, СП mC70, просторова група C2/m, a = 2.2899(4), b = 0.44134(5), c = 1.7224(2) нм, α = 124.60(2)°, R₁ = 0.0261) та DyPdIn₂ (структурний тип HfNiGa₂, СП tI80, просторова група I4mm, a = 1.36670(19), c = 0.91230(18) нм, R₁ = 0.0271).

Потрійні інтерметаліди індію це група сполук, яку інтенсивно вивчають останніми роками [1]. На сьогодні найповніше досліджені системи за участю рідкісноземельних і перехідних 3d-металів, зокрема, Co, Ni, Cu. В цих системах виявлено та досліджено кристалічну структуру близько 300 тернарних сполук. Багато з них мають цікавий комплекс фізичних властивостей. Сполуки CeMIn₅ та Ce₂MIn₈ де M = Co, Rh, Ir є першими представниками нового класу матеріалів — важкоферміонних систем із переходом у надпровідний стан при порівняно високих температурах [2].

Недостатньо вивчені системи, де перехідними металами є метали початків d-рядів або ж шляхетні метали. Для металів сімейства платини побудовано ізотермічний переріз діаграми стану лише системи Ce-Pd-In [3] та частково систем Tb-Pd-In та Ho-Pd-In [4]. Ми досліджуємо взаємодію компонентів у системах PЗМ-Pd-In. Аналіз літературних даних, який передував дослідженню системи Dy-Pd-In засвідчив, що в ній утворюються сполуки DyPd₂In (стр. тип MnCu₂In) [5], DyPdIn (структурний тип ZrNiAl) [6], Dy₂Pd₂In (структурний тип Mo₂FeB₂) [7], DyPdIn₂ (структурний тип HfNiGa₂) [8] та Dy₄Pd_{10.48}In_{20.52} (структурний тип Ho₄Ni₁₀Ga₂₁) [9]. Монокристали останньої сполуки вирощені з індієвого розтопу. Структури інших сполук віднесені до тих чи інших типів за значеннями періодів комірки та сингонією, отриманих на підставі рентгенівських порошкових даних.

Нам вдалося отримати монокристали двох сполук — Dy₄Pd₁₀In₂₁ та DyPdIn₂, дослідженню кристалічної структури яких присвячена ця праця.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Сплави масою до одного грама виготовляли електродуговою плавкою компактних металів (диспрозій — 99.8 мас. % Dy, паладій — 99.9 мас. % Pd, індій — 99.999 мас. % In) в середовищі очищеного аргону (як гетер використано губчастий титан). Втрати після сплавлення шихти становили не більше 1%. Гомогенізуюче відпалювання проводили в евакуйованих кварцевих ампулах при температурі 870 К впродовж 340 год. Після відпалювання сплави гартували в холодній воді без попереднього розбивання ампули. Після термічної обробки зі сплавів складу Dy₁₁Pd₂₉In₆₀ (I) та Dy₂₅Pd₂₅In₅₀ (II) вдалося відібрати монокристали, придатні для дослідження кристалічної структури. На попередньому етапі дослідження монокристалів використовували фотометод (CuK-випромінювання, камери РКВ-86, РГНС-2). Масиви дифракційних даних для уточнення структури отримували на чотирикružних монокристальних дифрактометрах САD-4 (сполука I) та X-Calibur CCD (сполука II) з використанням МоK_α випромінювання. Опрацювання одержаних експериментальних даних та обчислення структури проводили за допомогою програми SHELX-97 [10]. Для графічного зображення структур використовували програму ATOMS [11]. Деталі експерименту та уточнення кристалічних структур подано в табл. 1.

Таблиця 1

Деталі експерименту та результати уточнення структури сполук Dy₄Pd₁₀In₂₁ та DyPdIn₂

| Формула сполуки | Dy ₄ Pd ₁₀ In ₂₁ | DyPdIn ₂ |
|----------------------------------|---|---------------------------|
| Молярна маса, г/моль | 4125.22 | 498.54 |
| Просторова група | C2/m | I4mm |
| Кількість формульних одиниць, Z | 2 | 20 |
| Параметри комірки, нм | | |
| a | 2.2899(4) | 1.36670(19) |
| b | 0.44134(5) | – |
| c | 1.7224(2) | 0.91230(18) |
| V, нм ³ | 124.60(2) ^o | – |
| | 1.4329(3) | 1.7041(2) |
| Дифрактометр | САD-4 | X-Calibur CCD |
| Випромінювання МоK _α | λ = 0.071073 нм | |
| Монохроматор | графіт | |
| Температура, К | 293(2) | |
| 2θ | 3.70 ÷ 26.36 ^o | 2.98 ÷ 41.15 ^o |
| Кількість незалежних відбить | 1660 | 17343 |
| Кількість відбить із I > 2σI | 1305 | 2103 |
| Кількість уточнюваних параметрів | 108 | 62 |
| R _I | 0.0261 | 0.0271 |
| R _w | 0.0556 | 0.0410 |

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Кристалічні структури сполук розшифровано прямими методами в анізотропному наближенні. Уточнені значення координатних і теплових параметрів атомів наведено в табл. 2, 3 для сполуки $Dy_4Pd_{10}In_{21}$ та 4, 5 для сполуки $DyPdIn_2$.

Таблиця 2

Координатні та теплові параметри ($\text{нм}^2 \cdot 10^2$) атомів у сполуці $Dy_4Pd_{10}In_{21}$

| Атом | ПСТ | x | y | z | U_{eq} |
|------|------|------------|-----|------------|-------------|
| Dy1 | 4(i) | 0.77007(3) | 0 | 0.17201(4) | 0.01198(16) |
| Dy2 | 4(i) | 0.12251(3) | 0 | 0.33132(4) | 0.01191(16) |
| Pd1 | 4(i) | 0.25215(5) | 0 | 0.61507(7) | 0.0118(2) |
| Pd2 | 4(i) | 0.02536(5) | 0 | 0.61160(7) | 0.0140(2) |
| Pd3 | 4(i) | 0.34733(5) | 0 | 0.11694(7) | 0.0118(2) |
| Pd4 | 4(i) | 0.14048(5) | 0 | 0.10603(7) | 0.0123(2) |
| Pd5 | 4(i) | 0.50796(5) | 0 | 0.18969(7) | 0.0111(2) |
| In1 | 2(b) | 0 | 1/2 | 1/2 | 0.0155(3) |
| In2 | 4(i) | 0.11472(5) | 0 | 0.55038(6) | 0.0205(2) |
| In3 | 4(i) | 0.54232(5) | 0 | 0.36897(7) | 0.0126(2) |
| In4 | 4(i) | 0.06294(5) | 0 | 0.79532(6) | 0.0111(2) |
| In5 | 4(i) | 0.63198(5) | 0 | 0.19842(6) | 0.0105(2) |
| In6 | 4(i) | 0.01267(5) | 0 | 0.09412(7) | 0.0125(2) |
| In7 | 4(i) | 0.25206(5) | 0 | 0.29249(6) | 0.0111(2) |
| In8 | 4(i) | 0.38411(5) | 0 | 0.29807(7) | 0.0134(2) |
| In9 | 4(i) | 0.39912(5) | 0 | 0.00540(6) | 0.0112(2) |
| In10 | 4(i) | 0.20199(5) | 0 | 0.00315(6) | 0.0105(2) |
| In11 | 4(i) | 0.29986(5) | 0 | 0.50011(6) | 0.0106(2) |

U_{eq} визначено як 1/3 частини ортогональних U_{ij} тензорів.

Таблиця 3

Анізотропні теплові параметри атомів ($\text{нм}^2 \cdot 10^2$) у сполуці $Dy_4Pd_{10}In_{21}$

| Атом | U_{11} | U_{22} | U_{33} | U_{23} | U_{13} | U_{12} |
|------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. |
| Dy1 | 0.0105(3) | 0.0114(3) | 0.0141(3) | 0 | 0.0070(3) | 0 |
| Dy2 | 0.0100(3) | 0.0109(3) | 0.0138(3) | 0 | 0.0062(3) | 0 |
| Pd1 | 0.0124(5) | 0.0107(5) | 0.0130(5) | 0 | 0.0076(5) | 0 |
| Pd2 | 0.0148(5) | 0.0131(5) | 0.0148(5) | 0 | 0.0088(5) | 0 |
| Pd3 | 0.0107(5) | 0.0115(5) | 0.0129(5) | 0 | 0.0065(4) | 0 |
| Pd4 | 0.0147(5) | 0.0112(5) | 0.0133(5) | 0 | 0.0093(5) | 0 |
| Pd5 | 0.0101(5) | 0.0114(5) | 0.0117(5) | 0 | 0.0061(4) | 0 |
| In1 | 0.0208(7) | 0.0133(7) | 0.0136(7) | 0 | 0.0105(6) | 0 |
| In2 | 0.0122(5) | 0.0311(6) | 0.0184(5) | 0 | 0.0088(5) | 0 |

Закінчення таблиці 3

| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. |
|------|-----------|-----------|-----------|----|-----------|----|
| In3 | 0.0112(5) | 0.0125(5) | 0.0143(5) | 0 | 0.0077(4) | 0 |
| In4 | 0.0114(5) | 0.0109(4) | 0.0122(5) | 0 | 0.0073(4) | 0 |
| In5 | 0.0104(5) | 0.0100(5) | 0.0117(5) | 0 | 0.0068(4) | 0 |
| In6 | 0.0125(5) | 0.0123(5) | 0.0133(5) | 0 | 0.0077(4) | 0 |
| In7 | 0.0128(5) | 0.0102(4) | 0.0127(5) | 0 | 0.0087(4) | 0 |
| In8 | 0.0107(5) | 0.0122(5) | 0.0179(5) | 0 | 0.0084(4) | 0 |
| In9 | 0.0104(4) | 0.0120(5) | 0.0100(5) | 0 | 0.0051(4) | 0 |
| In10 | 0.0100(4) | 0.0104(4) | 0.0118(5) | 0 | 0.0067(4) | 0 |
| In11 | 0.0104(4) | 0.0101(4) | 0.0106(5) | 0 | 0.0055(4) | 0 |

Склад сполуки (I) за результатами уточнення структури описується формулою $Dy_4Pd_{10}In_{21}$ і збігається зі складом сплаву, з якого відібрали монокристал. Структура сполуки належить до типу $Ho_4Ni_{10}Ga_{21}$ [13] і, по суті, підтверджує результати, отримані авторами [9]. Подібні результати одержали автори [14] для сполук $P3M_4Pd_{10}In_{21}$ для $P3M = La, Ce, Pr, Nd, Sm$. Однак, існує декілька відмінностей. Параметри комірки дослідженого монокристала, $a = 2.2899$, $b = 0.44134$, $c = 1.7224$ нм, $V = 1.4329$ нм³, дещо більші від наведених у [9] $a = 2.2845$, $b = 0.4410$, $c = 1.7205$ нм, $V = 1.4316$ нм³ (стандартизовані за програмою TUPIX [12]), що може свідчити про наявність змінного складу за паладієм та індієм. Складу $Dy_4Pd_{10.48}In_{20.52}$, що містить менше індію, відповідають менші значення параметрів комірки, що добре узгоджуються з розмірами атомів паладію та індію. Як наслідок, положення 2(b) зайняте статистичною сумішшю атомів $Pd_{0.48}/In_{0.52}$ [9]. Наявність змінного складу, а отже, і статистичної суміші атомів In та Pt виявлена також і для серії сполук $P3M_4Pt_{10}In_{21}$ [15]. Наступна відмінність полягає у тому, що у зв'язку зі збільшеним значенням параметра U_{22} для атома In2 автори [9] подібно як і для сполук $P3M_4Pt_{10}In_{21}$ [15] помістили його у положення $8j$, ледь змістивши ($y \sim 0.03$) з площини m , із коефіцієнтом заповнення позиції 0.50. У нашому випадку для ідентичного атома U_{22} та U_{eq} також дещо більші, ніж для інших атомів (див. табл. 3). Порівняно підвищені значення U_{22} та U_{eq} простежуються для ідентичних атомів індію також у сполуках $P3M_4Pd_{10}In_{21}$ ($P3M = La, Ce, Pr, Nd, Sm$) [14]. Особливістю цього атома є те, що, на відміну від інших атомів індію, він має більше значення координаційного числа ($KЧ = 13$) і знаходиться у центрі пентагональної призми з додатковими атомами $[InIn_{10}Pd_3]$. Наявність таких пентагональних каналів вздовж осі Y, очевидно, і пояснюється більші значення U_{22} (або U_{eq}) атомів In2. Водночас для інших атомів індію $KЧ = 12$ і їхніми многогранниками є деформовані тетрагональні призми (деформовані кубооктаедри) з чотирма додатковими екваторіальними атомами (для атомів In4, $KЧ = 13$ є п'ять додаткових екваторіальних атомів), для атомів In6 $KЧ = 11$.

Варто зауважити, що пентагональні призми, правда з вісьмома додатковими екваторіальними атомами ($KЧ = 18$), характерні цій сполуці для великих атомів Dy. Атоми Pd в сполуці $Dy_4Pd_{10}In_{21}$ перебувають у тригонально-призматичному оточенні з трьома або чотирма додатковими еква-

торіальними атомами ($KЧ = 9$ або 10). Найкоротшими є міжатомні віддалі Pd-In (0.2676 нм), In-In (0.2918 нм) та Dy-In (0.3157 нм), що незначно менше суми атомних радіусів.

За своїм складом сполука є на концентраційному трикутнику практично на межі першої (багатошарові структури з високими значеннями $KЧ$ усіх сортів атомів) та другої (двошарові структури з меншими значеннями $KЧ$) груп сполук систем РЗМ- d_M -In [1].

Кристалічна структура сполуки II ($DyPdIn_2$) за результатами наших досліджень належить до структурного типу $HfNiGa_2$, що пропонувалось у [8], в якій значення періоду $a = 1.3686(1)$ дещо більше, а період $c = 0.9121(1)$ (за порошковими даними) практично збігається з отриманим нами. Уточнення структури, в тім числі і коефіцієнта заповнення кристалографічних позицій, призвело до стехіометричного складу $DyPdIn_2$. Автори [8] для ізоструктурних сполук із Tb і Tm виявили існування статистичних сумішей ($0.80Tb+0.20In$) та ($0.86Tm+0.14In$) в положенні $2a$ і, відповідно, склади сполук зміщені від $RMIn_2$ в напрямі більшого вмісту In, що відповідно описується формулами $Tb_{0.980}PdIn_{2.020}$ та $Tm_{0.986}PdIn_{2.014}$. Аналогічна сполука з празеодимом уточнена у [8] при складі $PrPdIn_2$. У структурі типу $HfNiGa_2$ [16] для атомів Hf (у нашому випадку Dy) властиві координаційні числа 17 (Dy_2, Dy_3, Dy_4) та 16 (Dy_1), для атомів Ni (Pd) — координаційні числа 10 (Pd_1, Pd_2) та 12 (Pd_3). Найкоротшими є міжатомні віддалі Pd-In (0.2731 нм), In-In (0.2998 нм), Dy-Pd (0.2953 нм) та Dy-In (0.3107 нм), що також незначно менше суми атомних радіусів.

Структурний тип $HfNiGa_2$ за складом, сингонією, метрикою комірки та мотивом структури є близькоспорідненим до типу $Ho_{10}Ni_9In_{20}$ ($=HoNi_{0.9}In_2$) (просторова група $P4/nmm$, СП $tP78$, $a = 1.3286$, $c = 0.083$ нм) [17]. Останній тип можна вважати дефектною структурою стосовно типу $HfNiGa_2$ який містить на комірку 80 атомів (СП $tI80$). Спорідненість цих типів видно з рисунка, на якому початок координат для типу $Ho_{10}Ni_9In_{20}$ зміщений у положення $1/4$ $3/4$ 0.64 . Наслідком такої подібності названих типів є практично ідентичні координаційні многогранники атомів. Детальний аналіз структурних типів $Ho_{10}Ni_9In_{20}$ та $HfNiGa_2$ наведено у [18, 19].

У системах рідкісноземельний метал-перехідний метал-індій при складі $RMIn_2$ реалізуються сполуки, які належать до типів $MgCuAl_2$, $PrNiIn_2$, $HTGdNiIn_2$, $HgNiGa_2$ (табл. 6) [1, 20–23]. Найпоширенішим є структурний тип $MgCuAl_2$, який більш властивий для великих за розмірами атомів рідкісноземельних і лужноземельних металів. До цього складу прилягають ще два типи структур, а саме $Pr_5Ni_6In_{11}$ ($=Pr_{0.83}NiIn_{1.83}$), дефектний на РЗМ та індій [1] та $Ho_{10}Ni_9In_{20}$ ($=HoNi_{0.9}In_2$), дефектний на перехідний метал. Перший з них нечисленний і має лише чотири представники у системах нікелю з легкими РЗМ, а другий численніший і властивий для важких РЗМ.

Таблиця 4

Координатні та теплові параметри ($nm^2 \cdot 10^2$) атомів у структурі сполуки $DyPdIn_2$

| Атом | ПСТ | x | y | z | U_{eq} |
|------|--------|-------------|-----|-------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Dy1 | $8(d)$ | $0.2806(1)$ | 0 | $0.3827(1)$ | $0.0008(1)$ |

Закінчення таблиці 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dy2 | 8(c) | 0.2974(1) | 0.2974(1) | 0.3703(1) | 0.0008(1) |
| Dy3 | 2(a) | 0 | 0 | 0.9835(1) | 0.0010(1) |
| Dy4 | 2(a) | 0 | 0 | 0.4550(1) | 0.0010(1) |
| Pd1 | 8(d) | 0.2146(1) | 0 | 0.213(1) | 0.0010(1) |
| Pd2 | 8(c) | 0.3394(1) | 0.3394(1) | 0.271(1) | 0.0008(1) |
| Pd3 | 4(b) | 0 | 1/2 | 0.1101(2) | 0.0011(1) |
| In1 | 16(e) | 0.1422(1) | 0.3512(1) | 0.1211(1) | 0.0009(1) |
| In2 | 8(d) | 0.1644(1) | 0 | 0.7127(1) | 0.0008(1) |
| In3 | 8(d) | 0.3828(1) | 0 | 0.8597(1) | 0.0010(1) |
| In4 | 8(c) | 0.1315(1) | 0.1315(1) | 0.2176(1) | 0.0009(1) |

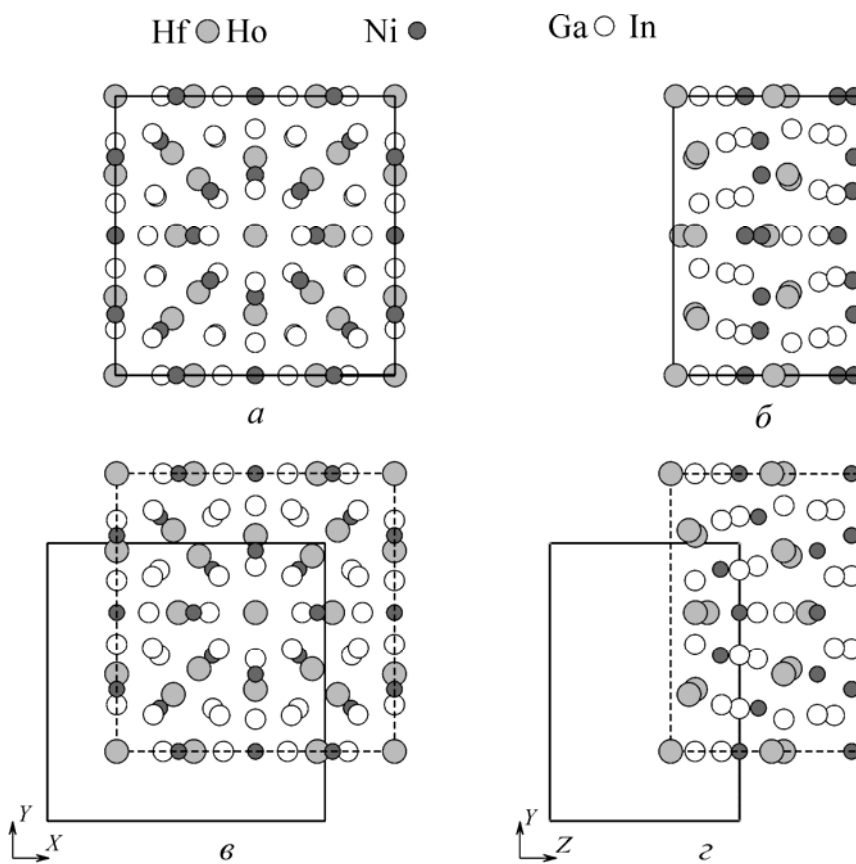
 U_{eq} визначено як 1/3 частини ортогональних U_{ij} тензорів.

Рис. Проекції структур $HfNiGa_2$ (а, б) та $Ho_{10}Ni_9In_{20}$ (в, г) на площини XY та YZ . Початок координат структури $Ho_{10}Ni_9In_{20}$ зміщено на $1/4 \ 3/4 \ 0.64$.

Таблиця 5

Анізотропні теплові параметри атомів ($\text{нм}^2 \cdot 10^2$) у сполуці DyPdIn_2

| Атом | U_{11} | U_{22} | U_{33} | U_{23} | U_{13} | U_{12} |
|-------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| Dy1 | 0.0009(1) | 0.0007(1) | 0.0009(1) | 0.000 | 0.0000(1) | 0.000 |
| Dy2 | 0.0008(1) | 0.0008(1) | 0.0008(1) | 0.0000(1) | 0.0000(1) | 0.0000(1) |
| Dy3 | 0.0008(1) | 0.0008(1) | 0.0013(1) | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Dy4 | 0.0009(1) | 0.0009(1) | 0.0012(1) | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Pd1 | 0.0010(1) | 0.0009(1) | 0.0012(1) | 0.000 | 0.0002(1) | 0.000 |
| Pd2 | 0.0007(1) | 0.0007(1) | 0.0011(1) | -0.0001(1) | -0.0001(1) | 0.0000(1) |
| Pd3 | 0.0010(1) | 0.0013(1) | 0.0011(1) | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| In1 | 0.0008(1) | 0.0009(1) | 0.0008(1) | 0.0000(1) | 0.0001(1) | 0.0000(1) |
| In2 | 0.0011(1) | 0.0006(1) | 0.0009(1) | 0.000 | -0.0001(1) | 0.000 |
| In(3) | 0.0010(1) | 0.0011(1) | 0.0009(1) | 0.000 | 0.0001(1) | 0.000 |
| In(4) | 0.0010(1) | 0.0010(1) | 0.0008(1) | 0.0000(1) | 0.0000(1) | 0.0003(1) |

Таблиця 6

Розподіл сполук, близьких до складу RMIn_2 , за структурними типами

| Структурний тип <i>R, M</i> -компонент | $\text{Pr}_5\text{Ni}_9\text{In}_{11}$ ($\text{Pr}_{0.83}\text{NiIn}_{1.83}$) | MgCuAl_2 | PrNiIn_2 | HT GdNiIn_2 | HfNiGa_2 | $\text{Ho}_{10}\text{Ni}_9\text{In}_{20}$ ($\text{HoNi}_{0.9}\text{In}_2$) |
|--|--|--|------------------------------|-------------------------------|--|---|
| Просторова група, символ Пірсона | <i>Cmcm</i> , <i>oC44</i> | <i>Cmcm</i> , <i>oC16</i> | <i>Cmcm</i> , <i>oC80</i> | <i>Cmcm</i> , <i>oC112</i> | <i>I4mm</i> , <i>tI80</i> | <i>P4/nmm</i> , <i>tP78</i> |
| Наближені параметри елементарної комірки ($a \times b \times c$ (нм)) | 1.4×1.4×0.4 | 0.4×1.0×0.7 | 0.4×1.8×2.1 | 0.4×1.8×2.8 | 1.4×1.4×0.9 | 1.4×1.4×0.9 |
| Co | – | – | – | – | – | Er, Tm, Lu |
| Ni | La, Ce, Pr, Nd | Y, Eu, Gd, Tb, Dy, Yb, Ca | Ce, Pr, Nd, Sm | Gd | – | Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Sc |
| Cu | – | Ca | – | – | – | – |
| Rh | – | La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Yb, Sr, Ba | – | – | – | Y, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu |
| Pd | – | La, Ce, Eu, Yb, Ca, Sr, Ba | – | – | Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu | – |
| Ir | – | La, Ce, Pr, Nd, Sm, Sr, Ba | – | – | – | – |
| Pt | – | Ca, Sr, Ba | – | – | – | – |
| Au | – | Eu, Yb, Na, Ca | – | – | – | – |

ЛІТЕРАТУРА

1. *Kalychak Ya.M., Zaremba V.I., Pöttgen R., Lukachuk M., Hoffmann R.-D.* Rare Earth-Transition Metal-Indides // in K. A. Gschneider Jr., V. K. Pecharsky, J.-C. Bünzli, Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Elsevier, Amsterdam. — 2005. — Vol. 34. — Chapter 218. — P. 1 – 133.
2. *Thalmeier P., Zwicknagl G.* Unconventional superconductivity and magnetism in lanthanide and actinide intermetallic compounds // in Gschneider Jr. K.A., Pecharsky V.K., Bünzli J.-C., Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Elsevier, Amsterdam. — 2005. — Vol. 34. — Chapter 219. — P. 135 – 287.
3. *Giovannini M., Saccone A., Delfino S., Rogl P., Ferro R.* The isothermal section at 750 °C of the Ce-Pd-In system // Intermetallics. — 2003. — Vol. 11. — P. 197 – 206.
4. *Giovannini M., Saccone A., Delfino S., Rogl P.* A comparative investigation of isothermal section of Rare Earth-Pd-In systems // Intermetallics. — 2003. — Vol. 11. — P. 1237 – 1243.
5. *Dwight A., Kimball C.W.* ScT_2X and LaT_2X compounds with the $MnCu_2Al$ -type structure // J. Less-Common Met. — 1987. — Vol. 127, № 3. — P. 179 – 182.
6. *Ferro R., Marazza R., Rambaldi G.* Equiatomic ternary phases in the alloys of the rare earths with indium and nickel or palladium // Z. Metallkd. — 1974. — Bd. 65, № 1. — S. 37 – 39.
7. *Hulliger F., Hue B.Z.* On new Mo_2FeB_2 -type representatives Me_2Pd_2In // J. Alloys Compd. — 1994. — Vol. 215. — P. 267 – 270.
8. *Zaremba V.I., Kaczorowski D., Rodewald U.Ch., Hoffmann R.-D., Pöttgen R.* $LaPdIn_2$ with $MgCuAl_2$ and $REPdIn_2$ ($RE = Y, Pr, Nd, Sm, Gd - Tm, Lu$) with $HfNiGa_2$ -type structure: synthesis, structure and physical properties // Chem. Mater. — 2004. — Vol. 16, № 3. — P. 466 – 476.
9. *Zaremba V.I., Rodewald U.Ch., Lukachuk M., Dybenskiy V.P., Heying B., Katoh K., Niide Y., Ochiani A., Pöttgen R.* Transition metal centered trigonal prisms as building units in various rare earth-transition metal-indides // Monatsh. Chem. — 2006. — Vol. 137. — P. 249 – 261.
10. *Sheldrick G.M.* SHELXL-97, Program for crystal structure refinement. — University of Göttingen: Germany, 1997.
11. *Dowty E.* Atoms. A Computer Program for Displaying Atomic Structures. Kingsport (TN), 1993. 153 p.
12. *Parthé E., Gelato L., Chabot B., Penzo M., Cenxual K., Gladyshevskii R.* TYPIX. Standardized Data and Crystal Chemical Characterization of Inorganic Structure Types. Vol. 1–4. — Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 1596 p.
13. *Гринь Ю.Н., Гладышевский П.Е.* Галлиды. — М.: Металлургия, 1989. 304 с.
14. *Zaremba V.I., Rodewald U.Ch., Kalychak Ya.M., Galadzhun Ya.V., Kaczorowski D., Hoffmann R.-D., Pöttgen R.* Ternary indides $RE_4Pd_{10}In_{21}$ ($RE = La, Ce, Pr, Nd, Sm$) — synthesis, structure and physical properties // Z. Anorg. Allg. Chem. — 2003. — Vol. 629. — P. 434 – 442.
15. *Zaremba V.I., Hlykhyy V., Rodewald U.Ch., Pöttgen R.* Synthesis and structure of $RE_4Pt_{10}In_{21}$ ($RE = La-Nd$) // Z. Anorg. Allg. Chem. — 2005. — Vol. 631. — P. 1371 – 1376.

16. Марків В.Я., Белявіна Н.М., Заводник В.Є. Кристалічна структура сполуки $\text{HfNi}_{1-x}\text{Ga}_{2-x}$ ($x = 0.2$) і її аналогів // Доп. АН УРСР. — 1988. — Сер. Б. — № 6. — С. 51 – 53.
17. Заремба В.І., Бельський В.К., Каличак Я.М., Печарський В.К., Гладішевський Є.І. Кристалічна структура сполук $\text{PЗМ}_{10}\text{Ni}_9\text{In}_{20}$ (PЗМ = Ho, Er, Tm, Lu) // Доп. АН УРСР. — 1987. — Сер. Б. — № 3. — С. 42 – 45.
18. Lukachuk M., Rodewald U.Ch., Zaremba V.I., Hoffmann R.-D., Pöttgen R. Ternary indides $\text{RE}_{10}\text{Rh}_{9\pm x}\text{In}_{20}$ (RE = Y, Tb – Tm, Lu) — synthesis and crystal chemical peculiarities // Z. Anorg. Allg. Chem. — 2004. — Vol. 630. — P. 2253 – 2261.
19. Zaremba V.I., Muts I.R., Rodewald U.Ch., Hlukhyy V., Pöttgen R. Synthesis and structures of $\text{RE}_{10}\text{Ni}_{9\pm x}\text{In}_{20}$ (RE = Tb, Dy) and YbNiIn_2 // Z. Anorg. Allg. Chem. — 2004. — Vol. 630. — P. 1903 – 1907.
20. Zaremba V.I., Dubenskiy V.P., Pöttgen R. Ternary indides LnRhIn_2 (Ln = La, Ce, Pr, Nd, Sm) with MgCuAl_2 type structure // Z. Naturforsch. — 2002. — Vol. 57b. — P. 798 – 802.
21. Dubenskiy V.P., Kalychak Ya.M., Zaremba V.I., Goreshnik E.A. // The crystal structure of $\text{R}_{10}\text{Co}_9\text{In}_{20}$ (R = Er, Tm, Lu) compounds // J. Alloys Compd. — 1998. — Vol. 280. — P. 199 – 203.
22. Pöttgen R., Kussmann D. New indium-rich compounds EuRhIn_2 and EuRh_2In_8 // Z. Anorg. Allg. Chem. — 2001. — Vol. 627. — P. 55 – 60.
23. Hoffmann R.-D., Pöttgen R. Two-dimensional $[\text{TIn}_2]$ polyanions in BaTIn_2 (T = Rh, Pd, Ir, Pt) — The collapse of the three-dimensional indium polyanion of BaIn_2 // Chem. Eur. J. — 2001. — Vol. 7, № 2. — P. 382 – 387.

SUMMARY

Larysa SOYKA¹, Marek DASZKIEWICZ², Mykola MANYAKO¹, Bogdana BELAN¹, Bernard MARCINIAK³, Ewa RÓŻYCKA-SOKOŁOWSKA³, Yaroslav KALYCHAK¹

THE CRYSTAL STRUCTURE OF $\text{Dy}_4\text{Pd}_{10}\text{In}_{21}$ AND DyPdIn_2 COMPOUNDS

¹Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine

²W.Trzebiatowski Institute of Low Temperature and Structure Research, Wrocław, Poland

³Institute of Chemistry and Environmental Protection, Jan Długosz Academy, Poland

The crystal structures of two compounds $\text{Dy}_4\text{Pd}_{10}\text{In}_{21}$ (str. type $\text{Ho}_4\text{Ni}_{10}\text{Ga}_{21}$, Pearson symbol $mC70$, sp. group $C2/m$, $a = 2.2899(4)$, $b = 0.44134(5)$, $c = 1.7224(2)$ nm, $\alpha = 124.60(2)^\circ$, $R_1 = 0.0261$) and DyPdIn_2 (str. type HfNiGa_2 , Pearson symbol $tI80$, sp. group $I4mm$, $a = 1.36670(19)$, $c = 0.91230(18)$ nm, $R_1 = 0.0271$) were determined by X-ray single crystal diffraction.