

УДК 548.1

ВОЗМОЖНЫЕ СОСТОЯНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР С ДИСКРЕТНЫМИ И КОНТИНУАЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КЛАССА (RRR)

Иванов В.В.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
АО «ОКТБ «ОРИОН», Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются особенности организации возможных состояний многокомпонентных детерминистических модулярных структур кристаллического класса (г г г) с дискретными и континуальными компонентами. Предложена классификация возможных состояний данных многокомпонентных структур точечных, точечно-линейчатых и плоскостных подклассов. Показана принципиальная возможность существования 83-х комплексных структурных состояний, которые характеризуют состояния в кристаллах (г г г), квазикристаллах $((r_0 \text{ г г}), (r_0 \text{ г}_0 \text{ г}), (r_0 \text{ г}_0 \text{ г}_0))$, аперiodических кристаллах $((r_s \text{ г г}), (r_s \text{ г}_s \text{ г}), (r_s \text{ г}_s \text{ г}_s))$, 1D и 2D-континуум содержащих объектах $((\tau \text{ г г}), (\tau \text{ г}_\tau \text{ г}))$ и возможные комбинации этих состояний. Некоторые из проанализированных вариантов комплексных структурных состояний могут быть результатом реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности антифрикционных и износостойких композиционных материалов и покрытий.

Ключевые слова: кристаллическая структура, модулярная структура, структурное состояние, кристаллическая компонента, кристаллы, квазикристаллы, аперiodические кристаллы, 1D и 2D-континуум содержащие объекты, модуль, симметрия

POSSIBLE STATES OF THE POLYCOMPONENTS DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES WITH A DISCRETE AND CONTINUAL COMPONENTS FROM THE CRYSTAL (RRR) CLASS

Ivanov V.V.

*Platov South-Russian state polytechnic university (NPI), J-SC «SDTU «ORION», Novocherkassk,
e-mail: valivanov11@mail.ru*

General peculiarities organization and the possible states of the poly-components deterministic modular structures of the crystal (r r r) class from discrete and continual components are discussed. Classification of possible states of these modular structures of pointer, point-linear and planar subclasses was proposed. Shows the possibility of existence of the eighty three complex structural states that characterize the crystals (r r r), quasi-crystals $((r_0 \text{ r r}), (r_0 \text{ r}_0 \text{ r}), (r_0 \text{ r}_0 \text{ r}_0))$, aperiodic crystals states $((r_s \text{ r r}), (r_s \text{ r}_s \text{ r}), (r_s \text{ r}_s \text{ r}_s))$, the states of 1D and 2D continuum containing objects $((\tau \text{ r r}), (\tau \text{ r}_\tau \text{ r}))$ and the possible its combinations. Some of these analyzed variants of the complex structural states may be a result of the implementation of specific phase-disordered state onto surface of the anti-frictional and wear resistant composite materials and coatings.

Keywords: crystal structure, modular structure, structural state, crystal component, crystals, quasi-crystals, aperiodic crystals, 1D and 2D continuum containing objects, module, symmetry

В соответствии с предложенной ранее в [6-8, 22, 23, 28, 29] классификацией состояний многокомпонентных модулярных структур для кристаллического класса (г г г) рассматривали только дискретные компоненты, полученные с помощью дискретной группы трансляций $\{t_i\}$ ($i = 1, 2, 3$). Однако наличие именно непрерывных компонент в описании возможных состояний позволят охарактеризовать также и некоторые гетерогенные и композитные структуры, структуры с 1D и 2D позиционной и ориентационной разупорядоченностью структурных элементов или структуры, содержащие аморфные 1D-цепочки или 2D-слои. При формировании и описании подобных состояний в ячеистом пространстве важно иметь представление о локальной переходной (транзитивной)

области. С целью классификации и идентификации локальной транзитивной области в ячейках структурированных 2D и 3D пространств в работах [33-40] авторы использовали метод гиперпространственного формализма. Данный метод может быть использован при интерпретации явления гиперкоординации атомов в структурах веществ [33-37], при распознавании генераторов детерминистических фрактальных структур и наноструктур [38-40], для 4D и 6D описаний комплексных структурных состояний соответственно поверхности и объема композиционных материалов [22, 23]. Этим методом, в частности, изучено влияние механизма локального проявления структурных элементов 4D Р-ячейки на геометрико-топологические свойства и структурные состояния транзитивной об-

ласти 3D ячеистого пространства [39, 40], определены возможные зависимости для описания влияния размерности объекта на его удельные характеристики в 4D пространстве [24-27].

Напомним, что структурирование 3D пространства и его разбиение на модулярные ячейки необходимо для моделирования новых невырожденных модулярных структур [30-32]. Структурные состояния в каждой модулярной ячейке можно определить с помощью трех видов компонентов:

- кристаллической компонентой g модулярной структуры с помощью дискретной $\{t_i\}$ или непрерывной группы трансляций $\{\tau_i\}$ ($i = 1, 2, 3$) [5-8],
- наноразмерной n компонентой с помощью дискретной группы трансляций $\{t_i\}$ нанообъектов [1, 9-13],
- фрактальной f компонентой с помощью задания соответствующих генераторов [2, 14-18, 43].

В 1D пространстве варианты реализации этих состояний могут быть комбинаторно перечислены и представлены в виде квадратной 3×3 матрицы $\|a_{ij}\|$. Матрица описывает множество вероятных структурных 1D состояний возможных детерминистических модулярных структур композитов. Множество состоит из трех основных состояний (кристаллического $r_r \equiv r$, наноразмерного $n_n \equiv n$ и фрактального $f_f \equiv f$) и трех пар из взаимодополняющих (сопряженных) комплексных состояний: кристалл из нанообъектов r_r и нанообъект с кристаллической структурой n_r , кристалл из локальных фракталов r_f и фрактал с кристаллической структурой f_r , нанообъект с фрактальной структурой n_f и фрактал из нанообъектов f_n , где $(r_r)^* = n_r$, $(n_r)^* = r_r$, $(r_f)^* = f_r$, $(f_r)^* = r_f$ и $(n_f)^* = f_n$, $(f_n)^* = n_f$. С учетом всех вариантов структурно совместимых сочетаний из двух компонент в [8, 9, 11] перечислены основные классы вероятных структурных состояний в 2D пространстве.

Анализ возможных классов структурных состояний

Проанализируем вероятные разновидности структурного состояния (r_1, r_2, r_3) детерминистических модулярных структур только с кристаллическими компонентами в 3D пространстве. При этом будем учитывать возможность получения компоненты g модулярной структуры не только с помощью дискретной группы трансляций $\{t_i\}$, но также с помощью непрерывной (континуальной) группы $\{\tau_i\}$ ($i = 1, 2, 3$) или их возможных комбинаций.

Очевидно, что симметрия R^3 -структур с данными структурными состояниями мо-

жет описываться не только пространственными группами класса G^3_3 . Для описания R^3_n -структур с $n < 3$ используются группы симметрии, которые учитывают отсутствие периодичности в расположении модулей в одном (3D дважды периодические группы G^3_2 для R^3_2 -структур, слоевые группы) или в двух независимых направлениях (3D одноперіодические группы G^3_1 для R^3_1 -структур, группы стержней) [4]. Для описания симметрии локальных R^3_0 -структур используются 3D аперіодические группы G^3_0 , точечные группы.

Для описания структурных состояний аперіодических кристаллов и квазикристаллов [47, 48, 50] требуется более точное понимание периодичности n в R^m_n -структурах. Нарушение закона упаковки асимметричных модулей в модулярной структуре или их разупорядоченность могут быть связаны в общем случае с возникновением как позиционной, так и ориентационной разупорядоченности. Формально позиционную упорядоченность n_s и ориентационную упорядоченность n_o можно рассматривать как две независимые компоненты периодичности n . В связи с этим вместо R^m_n -структур можно рассматривать $R^{m(s,o)}_n$ -структуры.

С учетом характера элементов группы трансляций структурно совместимыми сочетаниями компонент могут быть получены основные классы вероятных структурных состояний локальной области структурированного 3D пространства (таблица).

В таблице используются следующие обозначения: t и τ – дискретная и непрерывная трансляции как виды реализации генератора кристаллической компоненты, 0 и s – символы, характеризующие отсутствие периодичности в данном кристаллографическом направлении за счет ориентационной и позиционной разупорядоченности асимметричных модулей, соответственно.

Структуры вида $R^{3(s,3)}_3$ эквивалентны R^3_3 -структурам. Структуры $R^{3(s,3)}_3$ (где $n_o = 2, 1, 0$) и $R^{3(ns,3)}_3$ (где $n_s = 2, 1, 0$) можно объединить в группу аперіодических структур (1D, 2D и 3D, соответственно). Однако $R^{3(s, no)}_3$ -структуры, которые характеризуются позиционной упорядоченностью модулей, должны обладать кристаллографической симметрией – симметрией Федоровских групп G^3_3 , даже если локальная симметрия модуля не является кристаллографической. Структуры вида $R^{3(ns,3)}_3$ (при значениях $n_s < 3$) формально могут считаться несоизмерными. Известны 1D, 2D и 3D квазикристаллы [47, 48, 50], которые могут быть отнесены к модульным структурам вида $R^{3(2,1)}_3$, $R^{3(1,2)}_3$ и $R^{3(0,3)}_3$ соответственно.

Основные классы структурных состояний локальной области
структурированного 3D пространства

Структурное состояние	Подклассы структурных состояний		Структура и класс групп ее симметрии	Возможная симметрия структурных модулей
	Разновидности	Наименование и условное обозначение		
$(r_1 r_2 r_3)$	$(t_1 t_2 t_3)$	Точечный, P	$R^3_{(3,3)}(G^3_3)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_2 t_3)$	Точечно-линейчатый, PL	$R^3_{(3,2)}(G^3_2)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
	$(\tau_1 \tau_2 t_3)$	Плоскостной, Pl	$R^3_{(3,1)}(G^3_1)$	G^1_0, G^2_0 (предельная)
	$(\tau_1 \tau_2 \tau_3)$	Объемный, V	$R^3_{(3,0)}(G^3_0)$	G^3_0 (предельная)
$(r_1 r_2 r_0)$	$(t_1 t_2 t_0)$	Точечный, P ₀	$R^3_{(3,2)}(G^3_3)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_2 t_0)$	Точечно-линейчатый, PL ₀	$R^3_{(3,2)}(G^3_3)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
	$(\tau_1 \tau_2 t_0)$	Плоскостной, Pl ₀	$R^3_{(3,2)}(G^3_3)$	G^1_0, G^2_0 (предельная)
$(r_1 r_0 r_0)$	$(t_1 t_0 t_0)$	Точечный, P ₀₀	$R^3_{(3,1)}(G^3_3)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_0 t_0)$	Точечно-линейчатый, PL ₀₀	$R^3_{(3,1)}(G^3_3)$	G^2_0, G^1_0 (предельная)
$(r_0 r_0 r_0)$	$(t_0 t_0 t_0)$	Точечный, P ₀₀₀	$R^3_{(3,0)}(G^3_3)$	G^3_0
$(r_1 r_2 r_s)$	$(t_1 t_2 t_s)$	Точечный, P _s	$R^3_{(2,3)}(G^3_2)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_2 t_s)$	Точечно-линейчатый, PL _s	$R^3_{(2,3)}(G^3_2)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
	$(\tau_1 \tau_2 t_s)$	Плоскостной, Pl _s	$R^3_{(2,3)}(G^3_2)$	G^1_0, G^2_0 (предельная)
$(r_1 r_s r_s)$	$(t_1 t_s t_s)$	Точечный, P _{ss}	$R^3_{(1,3)}(G^3_1)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_s t_s)$	Точечно-линейчатый, PL _{ss}	$R^3_{(1,3)}(G^3_1)$	G^2_0, G^1_0 (предельная)
$(r_s r_s r_s)$	$(t_s t_s t_s)$	Точечный, P _{sss}	$R^3_{(0,3)}(G^3_0)$	G^3_0
$(r_1 r_s r_{0s})$	$(t_1 t_s t_{0s})$	Точечный, P _{ss0} *	$R^3_{(1,2)}(G^3_1)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_s t_{0s})$	Точечно-линейчатый, PL _{ss0} *	$R^3_{(1,2)}(G^3_1)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
$(r_s r_s r_0)$	$(t_s t_s t_0)$	Точечный, P _{ss0}	$R^3_{(1,2)}(G^3_1)$	$G^3_0, G^2_{1,0}$
$(r_1 r_0 r_{0s})$	$(t_1 t_0 t_{0s})$	Точечный, P _{s00} *	$R^3_{(2,1)}(G^3_2)$	$G^3_0, G^2_{1,0}$
	$(\tau_1 t_0 t_{0s})$	Точечно-линейчатый, PL _{s00} *	$R^3_{(2,1)}(G^3_2)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
$(r_s r_0 r_0)$	$(t_s t_0 t_0)$	Точечный, P _{s00}	$R^3_{(2,1)}(G^3_2)$	G^3_0
$(r_1 r_2 r_{0s})$	$(t_1 t_2 t_{0s})$	Точечный, P _{s0} *	$R^3_{(2,2)}(G^3_2)$	$G^3_0, G^3_{1,0^2}$
	$(\tau_1 t_2 t_{0s})$	Точечно-линейчатый, PL _{s0} *	$R^3_{(2,2)}(G^3_2)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
	$(\tau_1 \tau_2 t_{0s})$	Плоскостной, Pl _{s0} *	$R^3_{(2,2)}(G^3_2)$	G^1_0, G^2_0 (предельная)
$(r_1 r_0 r_s)$	$(t_1 t_0 t_s)$	Точечный, P _{s0}	$R^3_{(2,2)}(G^3_2)$	G^3_0
	$(\tau_1 t_0 t_s)$	Точечно-линейчатый, PL _{s0}	$R^3_{(2,2)}(G^3_2)$	$G^2_0, G^2_{1,0} G^1_0$ (предельная)
$(r_1 r_{0s} r_{0s})$	$(t_1 t_{0s} t_{0s})$	Точечный, P _{ss00} **	$R^3_{(1,1)}(G^3_1)$	$G^3_0, G^3_{2,0}, G^2_{1,0}$
	$(\tau_1 t_{0s} t_{0s})$	Точечно-линейчатый, PL _{ss00} **	$R^3_{(1,1)}(G^3_1)$	G^2_0, G^1_0 (предельная)
$(r_s r_0 r_{0s})$	$(t_s t_0 t_{0s})$	Точечный, P _{ss00} *	$R^3_{(1,1)}(G^3_1)$	$G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$
$(r_0 r_0 r_{0s})$	$(t_0 t_0 t_{0s})$	Точечный, P _{s000} *	$R^3_{(2,0)}(G^3_2)$	$G^3_0, G^2_{1,0}$
$(r_0 r_{0s} r_{0s})$	$(t_0 t_{0s} t_{0s})$	Точечный, P _{ss000} **	$R^3_{(1,0)}(G^3_1)$	$G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$
$(r_s r_s r_{0s})$	$(t_s t_s t_{0s})$	Точечный, P _{ss0} *	$R^3_{(0,2)}(G^3_0)$	$G^3_0, G^2_{1,0}$
$(r_s r_{0s} r_{0s})$	$(t_s t_{0s} t_{0s})$	Точечный, P _{ss00} **	$R^3_{(0,1)}(G^3_0)$	$G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$
$(r_{0s} r_{0s} r_{0s})$	$(t_{0s} t_{0s} t_{0s})$	Точечный, P _{ss000} ***	$R^3_{(0,0)}(G^3_0)$	$G^3_0, G^2_{2,0}, G^2_{1,0}$

**Классификация возможных состояний
многокомпонентных структур**

Точечные классы (20 подклассов, 56 состояний вида $(t t t)$ или его производные).

1. Класс кристаллический, подкласс P состояния $(r r r)$:

$(r r r)$ – 3D-кристалл из упорядоченных модульных цепочек, слоев,

$(r r r_n)$ – 3D-кристалл из упорядоченных 1D-наносфрагментов,

$(r r r_f)$ – 3D-кристалл из упорядоченных 1D локальных фракталов,

$(r_n r_n r_n)$ – 3D-кристалл из упорядоченных 2D наноразмерных частиц,

$(r_n r_n r_f)$ – 3D-кристалл из упорядоченных 1D-нанотрагментов и 1D локальных фракталов,

$(r_f r_f r_f)$ – 3D-кристалл из упорядоченных локальных 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур),

$(r_n r_n r_n)$ – 3D-кристалл из упорядоченных наноразмерных частиц,

$(r_n r_n r_f)$ – 3D-кристалл из упорядоченных 2D-нанотрагментов и 1D локальных фракталов,

$(r_n r_f r_f)$ – 3D-кристалл из упорядоченных 1D-нанотрагментов и 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур),

$(r_f r_f r_f)$ – 3D-кристалл из упорядоченных локальных 3D фракталов (детерминистическая фрактальная 3D структура).

2. Класс квазикристаллический, подкласс P_θ состояния $(r r r_\theta)$:

$(r r r_\theta)$ – 1D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных модульных слоев,

$(r r_n r_\theta)$ – 1D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных слоев 1D-нанотрагментов,

$(r_f r r_\theta)$ – 1D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных слоев 1D локальных фракталов,

$(r_n r_n r_\theta)$ – 1D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных слоев 2D наноразмерных частиц,

$(r_n r_f r_\theta)$ – 1D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных слоев из 1D-нанотрагментов и 1D локальных фракталов,

$(r_f r_f r_\theta)$ – 1D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных детерминистических фрактальных 2D структур.

3. Класс квазикристаллический, подкласс $P_{\theta\theta}$ состояния $(r r_\theta r_\theta)$:

$(r r_\theta r_\theta)$ – 2D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных модульных цепочек,

$(r_n r_\theta r_\theta)$ – 2D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных 1D-нанотрагментов,

$(r_f r_\theta r_\theta)$ – 2D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных 1D локальных фракталов.

4. Класс квазикристаллический, подкласс $P_{\theta\theta\theta}$ состояния $(r_\theta r_\theta r_\theta)$:

$(r_\theta r_\theta r_\theta)$ – 3D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных 0-мерных модулей.

5. Класс аперидический кристаллический, подкласс P_s состояния $(r r r_s)$:

$(r r r_s)$ – 1D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных модульных слоев,

$(r r_n r_s)$ – 1D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных слоев 1D-нанотрагментов,

$(r_f r r_s)$ – 1D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных слоев 1D локальных фракталов,

$(r_n r_n r_s)$ – 1D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных слоев 2D наноразмерных частиц,

$(r_n r_f r_s)$ – 1D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных слоев из 1D-нанотрагментов и 1D локальных фракталов,

$(r_f r_f r_s)$ – 1D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных детерминистических фрактальных 2D структур.

6. Класс аперидический кристаллический, подкласс P_{ss} состояния $(r r_s r_s)$:

$(r r_s r_s)$ – 2D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных модульных цепочек,

$(r_n r_s r_s)$ – 2D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных 1D-нанотрагментов,

$(r_f r_s r_s)$ – 2D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных 1D локальных фракталов.

7. Класс аперидический кристаллический, подкласс P_{sss} состояния $(r_s r_s r_s)$:

$(r_s r_s r_s)$ – 3D аперидический кристалл из позиционно разупорядоченных 0-мерных модулей.

8. Класс аперидический квазикристаллический, подклассы $P_{\theta s}$ и $P_{\theta s}^*$ состояния $(r r_\theta r_s)$:

$(r r_\theta r_s)$ – 1D аперидический 1D квазикристалл из позиционно разупорядоченных модульных цепочек,

$(r_n r_\theta r_s)$ – 1D аперидический 1D квазикристалл из позиционно разупорядоченных цепочек 1D-нанотрагментов,

$(r_f r_\theta r_s)$ – 1D аперидический 1D квазикристалл из позиционно разупорядоченных цепочек 1D локальных фракталов,

$(r r r_{\theta s})$ – 1D аперидический квазикристалл из позиционно разупорядоченных модульных слоев,

$(r r_n r_{\theta s})$ – 1D аперидический квазикристалл из позиционно разупорядоченных слоев 1D-нанотрагментов и модульных цепочек,

$(r_f r r_{\theta s})$ – 1D аперидический квазикристалл из позиционно разупорядоченных слоев 1D локальных фракталов и модульных цепочек,

$(r_n r_n r_{\theta s})$ – 1D аперидический квазикристалл из позиционно разупорядоченных слоев 2D наноразмерных частиц,

$(r_n r_f r_{\theta s})$ – 1D аперидический квазикристалл из позиционно разупорядоченных слоев из 1D-нанотрагментов и 1D локальных фракталов,

$(r_f r_f r_{0s})$ – 1D аperiодический квазикристалл из позиционно разупорядоченных детерминистических фрактальных 2D структур.

9. Класс аperiодический квазикристаллический, подклассы P_{00s}^* и P_{00s}^{} состояния $(r_0 r_0 r_0)$:**

$(r_0 r_0 r_0)$ – 1D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модулей,

$(r r_0 r_{0s})$ – 1D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модульных цепочек,

$(r_n r_0 r_{0s})$ – 1D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек 1D-наносфрагментов,

$(r_f r_0 r_{0s})$ – 1D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек 1D локальных фракталов,

10. Класс аperiодический квазикристаллический, подкласс P_{000s}^* состояния $(r_0 r_0 r_{0s})$:

$(r_0 r_0 r_{0s})$ – 1D аperiодический 3D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модульных слоев.

11. Класс аperiодический квазикристаллический, подкласс P_{000s}^{} состояния $(r_0 r_{0s} r_{0s})$:**

$(r_0 r_{0s} r_{0s})$ – 2D аperiодический 3D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модульных цепочек.

12. Класс аperiодический квазикристаллический, подкласс P_{0ss}^* состояния $(r_s r_s r_{0s})$:

$(r_s r_s r_{0s})$ – 3D аperiодический 1D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модульных слоев.

13. Класс аperiодический квазикристаллический, подклассы P_{0ss}^* и P_{0ss}^{} состояния $(r_0 r_s r_s)$:**

$(r_0 r_s r_s)$ – 2D аperiодический 1D квазикристалл из ориентационно разупорядоченных модульных слоев,

$(r r_s r_{0s})$ – 2D аperiодический квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модульных цепочек,

$(r_n r_s r_{0s})$ – 2D аperiодический квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек 1D-наносфрагментов,

$(r_f r_s r_{0s})$ – 2D аperiодический квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек 1D локальных фракталов.

14. Класс аperiодический квазикристаллический, подклассы P_{00ss}^* и P_{00ss}^{} состояния $(r_0 r_s r_{0s})$:**

$(r_0 r_s r_{0s})$ – 2D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модулей,

$(r r_{0s} r_{0s})$ – 2D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модульных цепочек,

$(r_n r_{0s} r_{0s})$ – 2D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек 1D-наносфрагментов,

$(r_f r_{0s} r_{0s})$ – 2D аperiодический 2D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек 1D локальных фракталов.

15. Класс аperiодический квазикристаллический, подкласс P_{00ss}^{} состояния $(r_0 r_{0s} r_{0s})$:**

$(r_0 r_{0s} r_{0s})$ – 2D аperiодический 3D квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модулей.

16. Класс аperiодический квазикристаллический, подкласс P_{000ss}^{*} состояния $(r_{0s} r_{0s} r_{0s})$:**

$(r_{0s} r_{0s} r_{0s})$ – 3D аperiодический квазикристалл из позиционно и ориентационно разупорядоченных модулей.

Точно-линейчатые (1D континуальные) классы (10 подклассов, 21 состояние вида $(\tau t t)$ или производные от него).

1. Класс континуально-кристаллический, подкласс PL состояния $(\tau r r)$:

$(\tau r r)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из упорядоченных модульных 2D-слоев и 1D-континуумов,

$(\tau r_n r)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из упорядоченных модульных цепочек, 1D-наносфрагментов и 1D-континуумов,

$(\tau r_n r_n)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из упорядоченных слоев 2D-наносфрагментов и 1D-континуумов,

$(\tau r_f r)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из упорядоченных модульных цепочек, 1D локальных фракталов и 1D-континуумов,

$(\tau r_f r_f)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из упорядоченных слоев 1D локальных фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур) и 1D-континуумов,

$(\tau r_n r_f)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из упорядоченных цепочек 1D локальных фракталов, 1D-наносфрагментов и 1D-континуумов.

2. Класс континуально-квазикристаллический, подкласс PL_0 состояния $(\tau r r_0)$:

$(\tau r r_0)$ – 3D-континуально-квазикристаллический объект из разориентированных позиционно упорядоченных модульных цепочек и 1D-континуумов,

$(\tau r_n r_0)$ – 3D-континуально-квазикристаллический объект из разориентированных позиционно упорядоченных 1D-наносфрагментов и 1D-континуумов,

$(\tau r_f r_0)$ – 3D- континуально-квазикристаллический объект из разориентированных позиционно упорядоченных 1D локальных фракталов и 1D-континуумов.

3. **Класс континуально-аперидический кристаллический, подкласс PL_s состояния $(\tau r r_s)$:**

$(\tau r r_s)$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из позиционно упорядоченных модульных цепочек и 1D-континуумов,

$(\tau r_n r_s)$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D-нанофрагментов и 1D-континуумов,

$(\tau r_f r_s)$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D локальных фракталов и 1D-континуумов.

4. **Класс континуально-квазикристаллический, подкласс PL_{00} состояния $(\tau r_0 r_0)$:**

$(\tau r_0 r_0)$ – 3D-континуально-квазикристаллический объект из 2D-квазикристаллов и 1D-континуумов.

5. **Класс континуально-аперидический кристаллический, подкласс PL_{ss} состояния $(\tau r_s r_s)$:**

$(\tau r_s r_s)$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из 2D-аперидических кристаллов и 1D-континуумов.

6. **Класс континуально-аперидический квазикристаллический, подклассы PL_{0s} и PL_{0s}^* состояния $(\tau r_s r_0)$:**

$(\tau r_s r_0)$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из 1D аперидических 1D квазикристаллов и 1D-континуумов,

$(\tau r r_{0s})$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из 1D аперидических квазикристаллов, модульных цепочек и 1D-континуумов,

$(\tau r_n r_{0s})$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из 1D аперидических квазикристаллов, позиционно упорядоченных 1D-нанофрагментов и 1D-континуумов,

$(\tau r_f r_{0s})$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из 1D аперидических квазикристаллов, позиционно упорядоченных 1D локальных фракталов и 1D-континуумов.

7. **Класс континуально-аперидический квазикристаллический, подкласс PL_{0s}^* состояния $(\tau r_s r_{0s})$:**

$(\tau r_s r_{0s})$ – 3D- континуально-аперидический квазикристаллический объект из 1D аперидических кристаллов и квазикристаллов и 1D-континуумов.

8. **Класс континуально-аперидический квазикристаллический, подкласс PL_{00s}^* состояния $(\tau r_0 r_{0s})$:**

$(\tau r_0 r_{0s})$ – 3D- континуально-аперидический кристаллический объект из 1D аперидических и периодических квазикристаллов и 1D-континуумов.

9. **Класс континуально-аперидический квазикристаллический, подкласс NL_{00ss}^{**} состояния $(\tau r_{0s} r_{0s})$:**

$(\tau r_{0s} r_{0s})$ – 3D-континуально-аперидический квазикристаллический объект из 2D аперидических квазикристаллов и 1D-континуумов.

Плоскостные (2D континуальные) классы (4 подкласса, 6 состояний вида $(\tau \tau t)$ или производные от него).

1. **Класс континуально-кристаллический, подкласс Pl состояния $(\tau \tau r)$:**

$(\tau \tau r)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из позиционно упорядоченных модульных цепочек и 2D-континуумов,

$(\tau \tau r_n)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D-нанофрагментов и 2D-континуумов,

$(\tau \tau r_f)$ – 3D-континуально-кристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D локальных фракталов и 2D-континуумов.

2. **Класс континуально-квазикристаллический, подкласс Pl_0 состояния $(\tau \tau r_0)$:**

$(\tau \tau r_0)$ – 3D-континуально-квазикристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D квазикристаллов и 2D-континуумов.

3. **Класс континуально-аперидический кристаллический, подкласс Pl_s состояния $(\tau \tau r_s)$:**

$(\tau \tau r_s)$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D аперидических кристаллов и 2D-континуумов.

4. **Класс континуально-аперидический квазикристаллический, подкласс Pl_{0s}^* состояния $(\tau \tau r_{0s})$:**

$(\tau \tau r_{0s})$ – 3D-континуально-аперидический кристаллический объект из позиционно упорядоченных 1D аперидических квазикристаллов и 2D-континуумов.

Объемный (3D континуальный) класс (1 подкласс, 1 состояние вида $(\tau \tau \tau)$).

1. **Класс континуальный, подкласс V состояния $(\tau \tau \tau)$:**

$(\tau \tau \tau)$ – 3D-континуум.

Таким образом, показана принципиальная возможность существования 83-х комплексных структурных состояний, которые характеризуют кристаллы, квазикристаллы, аперидические кристаллы, 1D и 2D-континуум содержащие объекты и возможные их комбинированные варианты. Необходимо отметить, что некоторые из проанализированных вариантов комплексных

структурных состояний могут быть результатом реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности антифрикционных и износостойких композиционных материалов и покрытий [19, 28, 29]. Эти состояния были, в частности, использованы при определении величины эффекта синергизма при трении и износе некоторых композиционных покрытий [41, 42, 44-46, 49]. Описание возможных структурных состояний модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов и их распределения на поверхности и в объеме антифрикционных композиционных материалов приведено в работах [3, 20-23].

Выводы

Рассмотрены особенности организации возможных состояний многокомпонентных детерминистических модулярных структур с дискретными и континуальными компонентами кристаллического класса (г г г). Предложена классификация возможных состояний данных многокомпонентных структур. Показана принципиальная возможность существования 83-х комплексных структурных состояний, которые характеризуют кристаллы, квазикристаллы, апериодические кристаллы, 1D и 2D-континуум содержащие объекты и возможные их комбинации. Некоторые из проанализированных вариантов состояний могут быть результатом реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности антифрикционных и износостойких композиционных материалов и покрытий.

Список литературы

1. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. Возможные комплексные компоненты состояний наноразмерного (п п п) класса детерминистических модулярных структур нанокмпозитов // Успехи соврем. естествознания, 2015. – № 1. – С. 13–15.
2. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. Возможные комплексные компоненты состояний фрактального гибридного (f f f) класса детерминистических модулярных структур композитов // Успехи соврем. естествознания, 2015. – № 1. – С. 16–18.
3. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. Фрактальные структуры 2D пространства как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ и распределения фаз на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 9. – С. 86–88.
4. Заморзаев А.М. Теория простой и кратной антисимметрии. – Кишинев: Штиинца. 1976. – 283 с.
5. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
6. Иванов В.В. Возможные пространственные компоненты структурных состояний детерминистических модулярных структур композиционных материалов с кристаллической компонентой в 3D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 9. – С. 92–97.
7. Иванов В.В. Возможные пространственные компоненты структурных состояний поверхности композиционных материалов и покрытий // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 126–128.
8. Иванов В.В. Особенности организации и возможные состояния многокомпонентных структур, включающих кристаллическую компоненту // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 93–95.
9. Иванов В.В. Пространственные компоненты структурных состояний детерминистических модулярных структур композиционных материалов с наноразмерной компонентой в 3D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12. – С. 79–84.
10. Иванов В.В. Комплексные компоненты состояний кристаллического фрактального наноразмерного класса детерминистических модулярных структур композитов // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12. – С. 84–90.
11. Иванов В.В. Возможные комплексные компоненты состояний (г г п) и (г п п) классов детерминистических модулярных структур композитов // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12(2). – С. 90–93.
12. Иванов В.В. Модулярное строение и идентификационные коды вероятных наноразмерных фрагментов и структур кристаллов // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2015. – № 8 (Часть 5). – С. 884–888.
13. Иванов В.В. Структурные состояния вероятных наноразмерных фрагментов и структур квазикристаллов и апериодических кристаллов // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований, 2015. – № 8 (Часть 5). – С. 896–899.
14. Иванов В.В. Возможные структурные состояния детерминистических модулярных структур с фрактальной компонентой в 2D пространстве // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – № 7-1. – С. 26–28.
15. Иванов В.В. Возможные структурные состояния детерминистических модулярных структур с фрактальной компонентой в 3D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 4. – С. 105–108.
16. Иванов В.В. Пространственные компоненты структурных состояний детерминистических модулярных структур композиционных материалов с фрактальной компонентой в 3D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12. – С. 90–93.
17. Иванов В.В. Возможные комплексные компоненты состояний (г г f) и (г f f) классов детерминистических модулярных структур композитов // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12(2). – С. 94–97.
18. Иванов В.В. Формирование и символическое описание детерминистических гибридных и кентавроподобных фрактальных структур в 2D пространстве // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2015. – № 10 (Часть 3). – С. 468–471.
19. Иванов В.В. Комплексные структурные состояния как формализованное представление вариантов реализации фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционного материала при трении и износе // Соврем. наукоемкие технологии, 2015. – № 6. – С. 15–18.
20. Иванов В.В. Фрактальные структуры как возможные абстракции сайз-распределения фаз и конфигурации межфазных границ на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. – № 10(3). – С. 493–494.
21. Иванов В.В. Описание возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и вариантов характера их сайт и сайз-распределений на поверхности композиционного материала или покрытия при трении и износе // Соврем. наукоемкие технологии, 2015. – № 7. – С. 30–33.
22. Иванов В.В. Возможные состояния модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных

объектов на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 8. – С. 24–27.

23. Иванов В.В. Возможные состояния распределения модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов в объеме антифрикционных композиционных материалов // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 5. – С. 16–19.

24. Иванов В.В. Возможные линейные зависимости аддитивного свойства комплексного объекта от его размерности // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. – № 1 (часть 8). – С. 1339–1341.

25. Иванов В.В. Размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную и наноразмерную компоненту // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 121–123.

26. Иванов В.В. Вероятное влияние размерных параметров возможных многокомпонентных структурных состояний системы на ее свойства // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 124–125.

27. Иванов В.В. Возможные зависимости для описания влияния размерности объекта на его удельные характеристики в 4D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. – № 1 (часть 8). – С. 1342–1344.

28. Иванов В.В. Возможные состояния с кристаллической компонентой в детерминистических модулярных структурах композиционных материалов // В сб.: *The Eighth International Conference on Eurasian scientific development. Proceedings of the Conference. Vienna, 2016.* – С. 33–39.

29. Иванов В.В., Попов С.В. Фазово-разупорядоченное состояние поверхности антифрикционных и износостойких композиционных покрытий // *Междуна. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. – № 10 (Часть 3). – С. 464–467.

30. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение и структурирование пространства, описание процесса формирования модульного кристалла // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 8. – С. 75–77.

31. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение структурированного 3D пространства на модулярные ячейки и моделирование невырожденных модулярных структур // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 10. – С. 78–80.

32. Иванов В.В., Таланов В.М. Формирование структурного модуля для модулярного дизайна в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 9. – С. 74–77.

33. Иванов В.В., Таланов В.М. Вероятные механизмы проявления гиперкубической Р-ячейки в ячеистом пространстве меньшей мерности // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 12. – С. 53–56.

34. Иванов В.В., Таланов В.М. Классификация структурных состояний локальной транзитивной области структурированного 2D пространства // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 1. – С. 38–41.

35. Иванов В.В. Гомологические соотношения и топологические преобразования возможных модулярных ги-

перячеек // *Междуна. науч.-иссл. журнал*, 2013. – № 8-1. – С. 27–30.

36. Иванов В.В., Таланов В.М. Символьные представления гиперполиэдров и преобразования их геометрических образов в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 7. – С. 74–77.

37. Иванов В.В., Таланов В.М. Возможные варианты проявления структурных особенностей 3D Р-ячейки в 2D квадратной сетке // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 12. – С. 56–60.

38. Иванов В.В., Таланов В.М. Классификация структурных состояний локальной транзитивной области структурированного 3D пространства // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 12. – С. 60–64.

39. Иванов В.В., Таланов В.М. Влияние механизма локального проявления структурных элементов 4D Р-ячейки на геометрико-топологические свойства и структурные состояния транзитивной области 3D ячеистого пространства // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 1. – С. 34–37.

40. Иванов В.В., Таланов В.М. Возможные варианты проявления структурных особенностей 4D Р-ячейки в 3D ячеистом пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 1. – С. 29–33.

41. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование антифрикционных свойств композиционных покрытий с учетом вероятных конфигураций межфазных границ // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки*. – 2011. – № 3. – С. 54–57.

42. Ivanov V.V. Possible states of the modular structures with nano-dimensional component into compositional coatings with anti-frictional properties // *Eastern European Scientific Journal*, 2016. – N.1 – pp. 192–195.

43. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1/LL^o/CM2 // *International journal of experimental education*, 2014. – № 4. – Part 2. – p. 58–59.

44. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1^o/CM2 // *International journal of experimental education*, 2014. – № 4. – Part 2. – p. 59–60.

45. Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional coatings with taking into consideration the solid component of the counter-body and the liquid lubricant // *European Journal of Natural History*, 2015. – № 3. – С. 36–37.

46. Ivanov V.V., Ivanova I.V. Structural states of the surface of compositional coatings with nano-dimensional and fractal components // *Eastern European Scientific Journal*, 2016. – N.1 – pp. 195–198.

47. Janot Ch., Dubois J.-M., De Boissien M. Quasiperiodic structures: Another type of long-range order for condensed matter. *Am. J. Phys.*, 1989. V.57, N.11. P. 972–987.

48. Levine D., Steinhardt P.J. Quasicrystals. I. Definition and structure. *Phys. Rev. B*, 1986. V.34, N.2. P. 596–616.

49. Scherbakov I.N., Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional Ni-P-coatings // *European Journal of Natural History*, 2015. – № 3. – С. 48.

50. Socolar J.E.S., Steinhardt P.J. Quasicrystals. II. Unit-cell configuration. *Phys. Rev. B*, 1986. V.34, N.2. P. 617–647.