

УДК 548.1

ВОЗМОЖНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ И КОНТИНУАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР НАНОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ КЛАССА (NNN)

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 наноразмерных объектов класса $(n\ n\ n)$ с дискретными и континуальными компонентами. Предложена классификация возможных состояний данных многокомпонентных структур наноразмерных и квазинаноразмерных подклассов. Показана принципиальная возможность существования восьмидесяти трех комплексных структурных состояний, которые характеризуют состояния в нанообъектах $(n\ n\ n)$, квазинанообъектах $((n_0\ n\ n), (n_0\ n_0\ n), (n_0\ n_0\ n_0))$, аперидических нанообъектах $((n_s\ n\ n), (n_s\ n_s\ n), (n_s\ n_s\ n_s))$, 1D и 2D-континуум содержащих объектах $((\tau\ n\ n), (\tau\ \tau\ n))$ и возможные их комбинации. Предполагается, что некоторые из проанализированных вариантов состояний могут быть результатом реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности антифрикционных и износостойких композиционных материалов и покрытий.

Ключевые слова: наноструктура, модулярная наноструктура, структурное состояние, наноразмерная компонента, наночастицы, квазинанообъекты, аперидические нанообъекты, 1D и 2D-континуум содержащие нанообъекты, модуль, симметрия

POSSIBLE DISCRETE AND CONTINUAL STATES OF THE POLYCOMPONENTS DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES OF THE NANODIMENSION OBJECTS FROM (NNN) 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 nano-dimensional objects from $(n\ n\ n)$ class with discrete and continual components are discussed. Classification of possible states of these modular structures from nano-dimensional and quasi-nano-dimensional subclasses was proposed. Shows the possibility of existence of the eighty three complex structural states, that characterize the states of nano-objects $(n\ n\ n)$, quasi-nano-objects $((n_0\ n\ n), (n_0\ n_0\ n), (n_0\ n_0\ n_0))$, aperiodic nano-objects states $((n_s\ n\ n), (n_s\ n_s\ n), (n_s\ n_s\ n_s))$, the states of 1D and 2D continuum containing nano-objects $((\tau\ n\ n), (\tau\ \tau\ n))$ and the possible its combinations. Some of these analyzed variants of the complex structural states are 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: nanostructure, modular nanostructure, structural state, nano-dimensional component, nano-objects, quasi-nano-objects, aperiodic nano-objects, 1D and 2D continuum containing nano-objects, module, symmetry

Ранее в работах [5 – 8] при описании возможных 3D состояний различных наноструктурированных объектов класса $(n\ n\ n)$ были использованы следующие 1D состояния:

- наноразмерное состояние $n_n \equiv n$ (наночастица),
- нанообъект с кристаллической структурой n_f (нанофрагмент),
- нанообъект с фрактальной структурой n_f (нанофрактал).

Однако при этом предполагалось, что все локальные объекты этих состояний (наночастица, нанофрагмент или нанофрактал) центросимметричны, как некоторые фуллереноподобные наночастицы [1 – 3, 9 – 11, 22]. Если они полностью упорядочены в ячеистом 3D пространстве, то образуют детерминистическую вырожденную модулярную структуру R^3_3 [33 – 35]. Очевидно, что в данном случае для некоторого нано-

структурированного объекта формально могут быть реализованы следующие 10 структурных состояний: $(n\ n\ n)$, $(n\ n\ n_f)$, $(n\ n_f\ n_f)$, $(n_f\ n_f\ n_f)$, $(n\ n\ n_f)$, $(n\ n_f\ n_f)$, $(n_f\ n_f\ n_f)$, $(n_f\ n_f\ n_f)$, $(n_f\ n_f\ n_f)$, $(n_f\ n_f\ n_f)$ [4, 12, 13]. В случае асимметричных локальных объектов и их частичной или полной разупорядоченности рассматривают детерминистические модулярные структуры вида $R^3_{s,0}$ [45 – 47]. Индексы s и 0 означают количества независимых кристаллографических направлений, в которых асимметричные нанообъекты соответственно позиционно и ориентационно упорядочены в 3D пространстве. По аналогии с аперидическими (несоразмерными) кристаллами и квазикристаллами [14, 15, 41, 48, 50] в этом случае можно рассматривать аперидические наноразмерные, аперидические квазинаноразмерные и просто квазинаноразмерные объекты.

Основные классы структурных состояний наноструктурированных объектов

Структурное состояние	Подклассы структурных состояний		Структура и класс групп ее симметрии	Возможная симметрия структурных модулей
	Разновидности	Наименование и условное обозначение		
(n n n)	(t ₁ t ₂ t ₃)	Наноразмерный, N	R ³ _(3,3) (G ³ ₃)	G ³ ₀
	(τ ₁ t ₂ t ₃)	Наноразмерный 1D континуальный, NL	R ³ _(3,2) (G ³ ₂)	G ² ₀ , G ² _{1,0} G ¹ ₀ (предельная)
	(τ ₁ τ ₂ t ₃)	Наноразмерный 2D континуальный, NPI	R ³ _(3,1) (G ³ ₁)	G ¹ ₀ , G ² ₀ (предельная)
	(τ ₁ τ ₂ τ ₃)	3D континуальный, V	R ³ _(3,0) (G ³ ₀)	G ³ ₀ (предельная)
(n n n ₀)	(t ₁ t ₂ t ₀)	Квазинаноразмерный, N ₀	R ³ _(3,2) (G ³ ₃)	G ³ ₀
	(τ ₁ t ₂ t ₀)	Квазинаноразмерный 1D континуальный, NL ₀	R ³ _(3,2) (G ³ ₃)	G ² ₀ , G ² _{1,0} G ¹ ₀ (предельная)
	(τ ₁ τ ₂ t ₀)	Квазинаноразмерный 2D континуальный, NPI ₀	R ³ _(3,2) (G ³ ₃)	G ¹ ₀ , G ² ₀ (предельная)
(n n ₀ n ₀)	(t ₁ t ₀ t ₀)	Квазинаноразмерный, N ₀₀	R ³ _(3,1) (G ³ ₃)	G ³ ₀
	(τ ₁ t ₀ t ₀)	Квазинаноразмерный 1D континуальный, NL ₀₀	R ³ _(3,1) (G ³ ₃)	G ² ₀ , G ¹ ₀ (предельная)
(n ₀ n ₀ n ₀)	(t ₀ t ₀ t ₀)	Квазинаноразмерный, N ₀₀₀	R ³ _(3,0) (G ³ ₃)	G ³ ₀
(n n n _s)	(t ₁ t ₂ t _s)	Аперидический наноразмерный, N _s	R ³ _(2,3) (G ³ ₂)	G ³ ₀
	(τ ₁ t ₂ t _s)	Аперидический наноразмерный 1D континуальный, NL _s	R ³ _(2,3) (G ³ ₂)	G ² ₀ , G ² _{1,0} G ¹ ₀ (предельная)
	(τ ₁ τ ₂ t _s)	Аперидический наноразмерный 2D континуальный, NPI _s	R ³ _(2,3) (G ³ ₂)	G ¹ ₀ , G ² ₀ (предельная)
(n n _s n _s)	(t ₁ t _s t _s)	Аперидический наноразмерный, N _{ss}	R ³ _(1,3) (G ³ ₁)	G ³ ₀
	(τ ₁ t _s t _s)	Аперидический наноразмерный 1D континуальный, NL _{ss}	R ³ _(1,3) (G ³ ₁)	G ² ₀ , G ¹ ₀ (предельная)
(n _s n _s n _s)	(t _s t _s t _s)	Аперидический наноразмерный, N _{sss}	R ³ _(0,3) (G ³ ₀)	G ³ ₀
(n n _s n _{0s})	(t ₁ t _s t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{ss0} [*]	R ³ _(1,2) (G ³ ₁)	G ³ ₀
	(τ ₁ t _s t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный 1D континуальный, NL _{ss0} [*]	R ³ _(1,2) (G ³ ₁)	G ² ₀ , G ² _{1,0} , G ¹ ₀ (предельная)
(n _s n _s n ₀)	(t _s t _s t ₀)	Аперидический квазинаноразмерный, N _{ss0}	R ³ _(1,2) (G ³ ₁)	G ³ ₀ , G ² _{1,0}
(n ₁ n ₀ n _{0s})	(t ₁ t ₀ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{s00} [*]	R ³ _(2,1) (G ³ ₂)	G ³ ₀ , G ² _{1,0}
	(τ ₁ t ₀ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный 1D континуальный, NL _{s00} [*]	R ³ _(2,1) (G ³ ₂)	G ² ₀ , G ² _{1,0} , G ¹ ₀ (предельная)
(n _s n ₀ n ₀)	(t _s t ₀ t ₀)	Аперидический квазинаноразмерный, N _{s00}	R ³ _(2,1) (G ³ ₂)	G ³ ₀
(n n n _{0s})	(t ₁ t ₂ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{s0} [*]	R ³ _(2,2) (G ³ ₂)	G ³ ₀ , G ³ _{1,0}
	(τ ₁ t ₂ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный 1D континуальный, NL _{s0} [*]	R ³ _(2,2) (G ³ ₂)	G ² ₀ , G ² _{1,0} , G ¹ ₀ (предельная)
	(τ ₁ τ ₂ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный 2D континуальный, NPI _{s0} [*]	R ³ _(2,2) (G ³ ₂)	G ¹ ₀ , G ² ₀ (предельная)
(n n ₀ n _s)	(t ₁ t ₀ t _s)	Аперидический квазинаноразмерный, N _{s0}	R ³ _(2,2) (G ³ ₂)	G ³ ₀
	(τ ₁ t ₀ t _s)	Аперидический квазинаноразмерный 1D континуальный, NL _{s0}	R ³ _(2,2) (G ³ ₂)	G ² ₀ , G ² _{1,0} , G ¹ ₀ (предельная)
(n n _{0s} n _{0s})	(t ₁ t _{0s} t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{ss00} ^{**}	R ³ _(1,1) (G ³ ₁)	G ³ ₀ , G ³ _{2,0} , G ² _{1,0}
	(τ ₁ t _{0s} t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный 1D континуальный, NL _{ss00} ^{**}	R ³ _(1,1) (G ³ ₁)	G ² ₀ , G ¹ ₀ (предельная)
(n _s n ₀ n _{0s})	(t _s t ₀ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{ss00} [*]	R ³ _(1,1) (G ³ ₁)	G ³ ₀ , G ² _{2,0} , G ² _{1,0}
(n ₀ n ₀ n _{0s})	(t ₀ t ₀ t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{s000} [*]	R ³ _(2,0) (G ³ ₂)	G ³ ₀ , G ² _{1,0}
(n ₀ n _{0s} n _{0s})	(t ₀ t _{0s} t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{ss000} ^{**}	R ³ _(1,0) (G ³ ₁)	G ³ ₀ , G ² _{2,0} , G ² _{1,0}
(n _s n _s n _{0s})	(t _s t _s t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{sss0} [*]	R ³ _(0,2) (G ³ ₀)	G ³ ₀ , G ² _{1,0}
(n _s n _{0s} n _{0s})	(t _s t _{0s} t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{sss00} ^{**}	R ³ _(0,1) (G ³ ₀)	G ³ ₀ , G ² _{2,0} , G ² _{1,0}
(n _{0s} n _{0s} n _{0s})	(t _{0s} t _{0s} t _{0s})	Аперидический квазинаноразмерный, N _{sss000} ^{***}	R ³ _(0,0) (G ³ ₀)	G ³ ₀ , G ² _{2,0} , G ² _{1,0}

Если учесть, что в каждой ячейке структурированного 3D пространства состояния наноструктурированных объектов могут быть определены с помощью действия дискретной $\{t_i\}$ и/или непрерывной группы трансляций $\{\tau_i\}$ ($i = 1, 2, 3$) на нанообъект [4, 12, 13, 35, 45, 47], то кроме дискретных возможны и континуальные компоненты структур – линии (1D континуумы) и плоскости (2D континуумы). Данные континуальные компоненты можно рассматривать не только как аморфные структурные элементы некоторого наноструктурированного гетерогенного объекта, но и как способ реализации разбиения детерминистической наноструктуры на подструктуры с континуальными 1D и 2D границами. Континуальные 1D и 2D элементы как условные границы между структурными элементами присутствуют опосредствованно в структурах частично упорядоченных и полностью разупорядоченных твердых растворов внедрения и вычитания [24-29], в структурах членов одномерных и двумерных гомологических рядов [23, 30, 31, 36, 37], композитных и гетерогенных структурах [38, 39].

Анализ возможных классов структурных состояний

С учетом характера элементов группы трансляций компонент могут быть получены основные классы вероятных структурных состояний наноструктурированных объектов в 3D пространстве (таблица). Условные обозначения, используемые в таблице: 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.

Отметим, что результаты анализа возможных видов структурных состояний наносистемы необходимы для учета влияния размерного параметра на некоторые аддитивные свойства соответствующего наноструктурированного материала [18-21]. Условный размерный параметр D может быть рассчитан для каждого структурного состояния:

– для наноразмерной компоненты n и состояния n_f имеем $D(n_f) = D(f)$
 $D(n) = (\langle n \rangle / n_0) < 1$, если средний размер нанообъекта $\langle n \rangle < n_0 = 100$ нм и $D(f)$
 $D(n) = 1$, если $\langle n \rangle \geq n_0$;

– для нанообъекта из локальных фракталов n_f размерный параметр определя-

ется следующим образом: $D(n_f) = D(f)$
 $D(n) = (\langle n \rangle / n_0) \text{Dim}(\text{GenR}_f) < 1$.

Отклонение значения параметра D для анализируемого многофазного объекта (за счет ультрадисперсного состояния и/или разветвленной конфигурации межфазных границ) от величины мерности пространства, в котором этот объект существует, может обусловить эффект синергизма свойств компонентов [22, 40, 42-44, 49].

Классификация возможных состояний наноструктурированных объектов

Наноразмерные классы (20 подклассов, 56 состояний вида $(n \ n \ n)$ или его производные).

1. *Класс наноразмерный, подкласс N состояния $(n \ n \ n)$:*

$(n \ n \ n)$ – 3D-нанообъект из упорядоченных 2D слоев наночастиц,

$(n \ n \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 1D нанофрагментов и 2D слоев из наночастиц,

$(n \ n \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 1D цепочек нанофракталов и 2D слоев из наночастиц,

$(n \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 2D слоев нанофрагментов и 1D цепочек наночастиц,

$(n \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 1D цепочек нанофрагментов, нанофракталов и наночастиц,

$(n \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 2D слоев нанофракталов и 1D цепочек наночастиц,

$(n_f \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из упорядоченных 2D слоев нанофрагментов,

$(n_f \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 2D слоев нанофрагментов и 1D цепочек нанофракталов,

$(n_f \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из 1D цепочек нанофрагментов и 2D слоев нанофракталов,

$(n_f \ n_f \ n_f)$ – 3D-нанообъект из упорядоченных 2D слоев нанофракталов.

2. *Класс квазинаноразмерный, подкласс N_0 состояния $(n \ n \ n_0)$:*

$(n \ n \ n_0)$ – 3D-квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 2D слоев наночастиц,

$(n \ n_f \ n_0)$ – 3D- квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 2D слоев из 1D цепочек нанофрагментов и 1D цепочек наночастиц,

$(n_f \ n \ n_0)$ – 3D- квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 2D слоев из 1D цепочек нанофракталов и 1D цепочек наночастиц,

$(n_f \ n_f \ n_0)$ – 3D- квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных слоев из 2D нанофрагментов,

$(n_f \ n_f \ n_0)$ – 3D- квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 2D слоев из 1D цепочек нанофрагментов и 1D цепочек нанофракталов,

$(n_f \ n_f \ n_0)$ – 3D-квазикристалл из разориентированных позиционно упорядоченных слоев детерминистических 2D нанофракталов.

3. Класс квазинаноразмерный, подкласс N_{00} состояния $(n\ n_0\ n_\rho)$:

$(n\ n_0\ n_0)$ – 3D-квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 1D цепочек наночастиц,

$(n_f\ n_0\ n_0)$ – 3D-квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 1D нанофрагментов,

$(n_f\ n_0\ n_0)$ – 3D-квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных 1D нанофракталов.

4. Класс квазинаноразмерный, подкласс N_{000} состояния $(n_0\ n_0\ n_\rho)$:

$(n_0\ n_0\ n_0)$ – 3D-квазинанообъект из разориентированных позиционно упорядоченных асимметричных наночастиц.

5. Класс аperiодический наноразмерный, подкласс N_s состояния $(n\ n\ n_s)$:

$(n\ n\ n_s)$ – 1D аperiодический 3D-нанообъект из слоев позиционно упорядоченных наночастиц,

$(n\ n_f\ n_s)$ – 1D аperiодический 3D-нанообъект из слоев позиционно упорядоченных 1D цепочек нанофрагментов и наночастиц,

$(n_f\ n\ n_s)$ – 1D аperiодический 3D-нанообъект из слоев позиционно упорядоченных 1D цепочек локальных фракталов и наночастиц,

$(n_f\ n_f\ n_s)$ – 1D аperiодический 3D-нанообъект из слоев позиционно упорядоченных 2D нанофрагментов,

$(n_f\ n_f\ n_s)$ – 1D аperiодический 3D-нанообъект из слоев позиционно упорядоченных 1D нанофрагментов и 1D нанофракталов,

$(n_f\ n_f\ n_s)$ – 1D аperiодический 3D-нанообъект из слоев позиционно упорядоченных детерминистических 2D нанофракталов.

6. Класс аperiодический наноразмерный, подкласс N_{ss} состояния $(n\ n\ n_s)$:

$(n\ n_s\ n_s)$ – 2D аperiодический 3D-нанообъект из цепочек позиционно упорядоченных наночастиц,

$(n_f\ n_s\ n_s)$ – 2D аperiодический 3D-нанообъект из цепочек позиционно упорядоченных нанофрагментов,

$(n_f\ n_s\ n_s)$ – 2D аperiодический 3D-нанообъект из цепочек позиционно упорядоченных нанофракталов.

7. Класс аperiодический наноразмерный, подкласс N_{sss} состояния $(n_s\ n_s\ n_s)$:

$(n_s\ n_s\ n_s)$ – 3D аperiодический нанообъект из позиционно разупорядоченных асимметричных наночастиц.

8. Класс аperiодический квазинаноразмерный, подклассы N_{0s} и N_{0s}^* состояния $(n\ n_0\ n_s)$:

$(n\ n_0\ n_s)$ – 1D аperiодический 1D квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно и ориентационно разупорядоченных цепочек наночастиц,

$(n_f\ n_0\ n_s)$ – 1D аperiодический 1D квазинаноразмерный 3D нанообъект из пози-

ционно разупорядоченных цепочек 1D нанофрагментов,

$(n_f\ n_0\ n_s)$ – 1D аperiодический 1D квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных цепочек 1D нанофракталов,

$(n\ n\ n_{0s})$ – 1D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных 2D слоев наночастиц,

$(n\ n_f\ n_{0s})$ – 1D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных цепочек 1D нанофрагментов и наночастиц,

$(n_f\ n\ n_{0s})$ – 1D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных цепочек 1D нанофракталов и наночастиц,

$(n_f\ n_f\ n_{0s})$ – 1D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных слоев 2D нанофрагментов,

$(n_f\ n_f\ n_{0s})$ – 1D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных слоев из 1D нанофрагментов и 1D нанофракталов,

$(n_f\ n_f\ n_{0s})$ – 1D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из позиционно разупорядоченных слоев детерминистических 2D нанофракталов.

9. Класс аperiодический квазинаноразмерный, подклассы N_{00s} и N_{00s}^* состояния $(n_0\ n_0\ n_s)$:

$(n_0\ n_0\ n_s)$ – 2D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из цепочек позиционно разупорядоченных наночастиц и слоев ориентационно разупорядоченных наночастиц,

$(n\ n_0\ n_{0s})$ – 2D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных наночастиц,

$(n_f\ n_0\ n_{0s})$ – 2D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных нанофрагментов,

$(n_f\ n_0\ n_{0s})$ – 2D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных нанофракталов.

10. Класс аperiодический квазинаноразмерный, подкласс N_{000s}^* состояния $(n_0\ n_0\ n_{0s})$:

$(n_0\ n_0\ n_{0s})$ – 3D аperiодический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц.

11. Класс аperiодический квазинаноразмерный, подкласс N_{000ss}^{**} состояния $(n_0\ n_{0s}\ n_{0s})$:

$(n_0\ n_{0s}\ n_{0s})$ – 3D аperiодический 2D квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц.

12. Класс аperiodический квазинаноразмерный, подкласс N_{0ss}^* состояния $(n_s n_s n_{0s})$:

$(n_s n_s n_{0s})$ – 3D аperiodический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц.

13. Класс аperiodический квазинаноразмерный, подклассы N_{0ss} и N_{0ss}^* состояния $(n_0 n_s n_s)$:

$(n_0 n_s n_s)$ – 2D аperiodический квазинаноразмерный 3D нанообъект из цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц,

$(n n_s n_{0s})$ – 2D аperiodический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных наночастиц,

$(n_r n_s n_{0s})$ – 2D аperiodический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных нанофрагментов,

$(n_f n_s n_{0s})$ – 2D аperiodический квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных нанофракталов.

14. Класс аperiodический квазинаноразмерный, подклассы N_{00ss}^* и N_{00ss}^{**} состояния $(n_0 n_s n_{0s})$:

$(n_0 n_s n_{0s})$ – 2D аperiodический 2D квазинаноразмерный 3D нанообъект из цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц,

$(n n_{0s} n_{0s})$ – 2D аperiodический 2D квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных наночастиц,

$(n_r n_{0s} n_{0s})$ – 2D аperiodический 2D квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных нанофрагментов,

$(n_f n_{0s} n_{0s})$ – 2D аperiodический 2D квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц и цепочек упорядоченных нанофракталов.

15. Класс аperiodический квазинаноразмерный, подкласс N_{00ss}^{**} состояния $(n_0 n_{0s} n_{0s})$:

$(n_0 n_{0s} n_{0s})$ – 3D аperiodический 2D квазинаноразмерный 3D нанообъект из слоев и цепочек позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц.

16. Класс аperiodический квазинаноразмерный, подкласс N_{000ss}^{***} состояния $(n_{0s} n_{0s} n_{0s})$:

$(n_{0s} n_{0s} n_{0s})$ – 3D аperiodический 3D квазинаноразмерный 3D нанообъект из цепочек и слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц.

чек и слоев позиционно и ориентационно разупорядоченных наночастиц.

1D континуальные наноразмерные классы (9 подклассов, 20 состояний вида $(\tau n n)$ или производные от него).

1. Класс наноразмерный 1D континуальный, подкласс NL состояния $(\tau n n)$:

$(\tau n n)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из упорядоченных 2D слоев наночастиц и 1D-континуумов,

$(\tau n_r n)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из упорядоченных цепочек наночастиц, 1D нанофрагментов и 1D континуумов,

$(\tau n_r n_r)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из упорядоченных слоев 2D нанофрагментов и 1D континуумов,

$(\tau n_f n)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из упорядоченных цепочек наночастиц, 1D нанофракталов и 1D континуумов,

$(\tau n_f n_r)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из упорядоченных слоев 2D нанофракталов (детерминистических фрактальных 2D структур) и 1D континуумов,

$(\tau n_r n_r)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из упорядоченных цепочек 1D нанофракталов, 1D нанофрагментов и 1D континуумов.

2. Класс квазинаноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_0 состояния $(\tau n n_0)$:

$(\tau n n_0)$ – 3D континуально-квазинаноразмерный объект из разориентированных и позиционно упорядоченных цепочек наночастиц и 1D континуумов,

$(\tau n_r n_0)$ – 3D континуально-квазинаноразмерный объект из разориентированных и позиционно упорядоченных 1D нанофрагментов, цепочек наночастиц и 1D континуумов,

$(\tau n_f n_0)$ – 3D континуально-квазинаноразмерный объект из разориентированных и позиционно упорядоченных 1D нанофракталов, цепочек наночастиц и 1D континуумов.

3. Класс аperiodический наноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_s состояния $(\tau n n_s)$:

$(\tau n n_s)$ – 3D континуально-аperiodический наноразмерный объект из позиционно упорядоченных модульных цепочек, 1D аperiodических нанообъектов и 1D континуумов,

$(\tau n_r n_s)$ – 3D континуально-аperiodический наноразмерный объект из позиционно упорядоченных 1D-нанофрагментов, 1D аperiodических нанообъектов и 1D континуумов,

$(\tau n_f n_s)$ – 3D континуально-аperiodический наноразмерный объект из упорядоченных 1D цепочек нанофракталов, 1D аperiodических нанообъектов и 1D континуумов.

4. Класс квазинаноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_{00} состояния $(\tau n_0 n_0)$:
 $(\tau n_0 n_0)$ – 3D континуально-квазинаноразмерный объект из 2D квазислоев наночастиц и 1D континуумов.

5. Класс аperiодический наноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_{ss} состояния $(\tau n_s n_s)$:

$(\tau n_s n_s)$ – 3D континуально-аperiодический наноразмерный объект из 2D аperiодических слоев наночастиц и 1D континуумов.

6. Класс аperiодический квазинаноразмерный 1D континуальный, подклассы NL_{0s} и NL_{0s}^* состояния $(\tau n_s n_0)$:

$(\tau n_s n_0)$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 1D аperiодических наноразмерных и квазинаноразмерных объектов и 1D континуумов,

$(\tau n n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 1D аperiодических квазинаноразмерных и 1D наноразмерных объектов и 1D континуумов,

$(\tau n_f n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 1D аperiодических квазинаноразмерных объектов и 1D цепочек наночастиц и 1D континуумов,

$(\tau n_f n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 1D аperiодических квазинаноразмерных объектов, 1D цепочек нанофракталов и 1D континуумов.

7. Класс аperiодический квазинаноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_{0ss} состояния $(\tau n_s n_{0s})$:

$(\tau n_s n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 1D аperiодических наноразмерных и периодических квазинаноразмерных объектов и 1D континуумов.

8. Класс аperiодический квазинаноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_{00s} состояния $(\tau n_0 n_{0s})$:

$(\tau n_0 n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 1D аperiодических и периодических квазинаноразмерных объектов и 1D континуумов.

9. Класс аperiодический квазинаноразмерный 1D континуальный, подкласс NL_{00ss}^{**} состояния $(\tau n_{0s} n_{0s})$:

$(\tau n_{0s} n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из 2D аperiодических квазинаноразмерных объектов и 1D континуумов.

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

1. Класс наноразмерный 2D континуальный, подкласс Nl состояния $(\tau \tau n)$:

$(\tau \tau n)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из позиционно упорядоченных цепочек наночастиц и 2D континуумов,

$(\tau \tau n_r)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из позиционно упорядоченных цепочек нанофрагментов и 2D континуумов,
 $(\tau \tau n_p)$ – 3D континуально-наноразмерный объект из позиционно упорядоченных цепочек нанофракталов и 2D континуумов.

2. Класс квазинаноразмерный 2D континуальный, подкласс Nl_0 состояния $(\tau \tau n_0)$:

$(\tau \tau n_0)$ – 3D континуально-квазинаноразмерный объект из позиционно упорядоченных квазинаноразмерных цепочек наночастиц и 2D континуумов.

3. Класс аperiодический наноразмерный 2D континуальный, подкласс Nl_s состояния $(\tau \tau n_s)$:

$(\tau \tau n_s)$ – 3D континуально-аperiодический наноразмерный объект из позиционно упорядоченных аperiодических наноразмерных цепочек наночастиц и 2D континуумов.

4. Класс аperiодический квазинаноразмерный 2D континуальный, подкласс Nl_{0s}^* состояния $(\tau \tau n_{0s})$:

$(\tau \tau n_{0s})$ – 3D континуально-аperiодический квазинаноразмерный объект из позиционно упорядоченных аperiодических квазинаноразмерных цепочек наночастиц и 2D континуумов.

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

1. Класс аperiодический 3D 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 состояния в нанобъектах, квазинанобъектах, аperiодических нанобъектах, 1D и 2D-континуум содержащих нанобъектах а также возможные их комбинации. Предполагается, что некоторые из этих комплексных структурных состояний могут быть результатом реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности антифрикционных и износостойких композиционных материалов и покрытий [16, 17, 32]. Данные состояния были, в частности, использованы при определении величины эффекта синергизма при трении и износе некоторых композиционных покрытий [40, 42-44, 49].

Выводы

Рассмотрены особенности организации возможных состояний многокомпонентных детерминистических модулярных структур с дискретными и континуальными компонентами наноразмерного класса $(n n n)$. Предложена классификация возможных состояний данных многокомпонентных структур наноразмерных и квазинаноразмерных подклассов. Показана принципиальная воз-

возможность существования восьмидесяти трех комплексных структурных состояний, которые характеризуют состояния в нанобъектах ($n\ n\ n$), квазинанобъектах ($(n_0\ n\ n)$, $(n_0\ n_0\ n)$, $(n_0\ n_0\ n_0)$), аperiodических нанобъектах ($(n_s\ n\ n)$, $(n_s\ n_s\ n)$, $(n_s\ n_s\ n_s)$), 1D и 2D-континуум содержащих объектах ($(\tau\ n\ n)$, $(\tau\ \tau\ n)$) 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. и др. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллеренов с оболочками пентагональной ветви классификации в антифрикционных композиционных покрытиях // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2013. – № 4. – С. 26–29.
2. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллеренов с оболочками тетраэдрической ветви классификации в антифрикционных композиционных покрытиях // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2013. – № 4. – С. 30–33.
3. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллеренов с оболочками октаэдрической ветви классификации в антифрикционных композиционных покрытиях // *Соврем. наукоемкие технологии*. – 2013. – № 5. – С. 25–28.
4. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. Возможные комплексные компоненты состояний наноразмерного ($n\ n\ n$) класса детерминистических модулярных структур нанокмпозитов // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. – № 1. – С. 13–15.
5. Иванов В.В. Возможные пространственные компоненты структурных состояний поверхности композиционных материалов и покрытий // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 126–128.
6. 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.
7. Иванов В.В. Комплексные компоненты состояний кристаллического фрактального наноразмерного класса детерминистических модулярных структур композитов // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 12. – С. 84–90.
8. Иванов В.В. Возможные комплексные компоненты состояний ($g\ n\ n$) и ($g\ n\ n$) классов детерминистических модулярных структур композитов // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 12(2). – С. 90–93.
9. Иванов В.В. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллерена C30 // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 7. – С. 82–84.
10. Иванов В.В. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллерена C36 // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 7 – С. 85–87.
11. Иванов В.В. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллерена C18 // *Успехи соврем. естествознания*, 2013. – № 8 – С. 131–133.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Иванов В.В. Структурные состояния вероятных наноразмерных фрагментов и структур квазикристаллов и аperiodических кристаллов // *Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. – № 8 (Часть 5). – С. 896–899.
16. 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.
17. 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.
18. Иванов В.В. Размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную и наноразмерную компоненту // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 121–123.
19. Иванов В.В. Вероятное влияние размерных параметров возможных многокомпонентных структурных состояний системы на ее свойства // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 124–125.
20. Иванов В.В. Возможные линейные зависимости аддитивного свойства комплексного объекта от его размерности // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. – № 1 (часть 8). – С. 1339–1341.
21. 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.
22. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
23. Иванов В.В. Моделирование гомологических рядов соединений, включающих фрагменты структуры шпинели // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. – 1996. – N1. – С. 67–73.
24. Иванов В.В. Гомологическая модель структурообразования упорядоченных сплавов ряда Li3N-2MeN // *Междунар. журн. эксп. образования*. 2015. – № 11 (Часть 2). – С. 215–217.
25. Иванов В.В. Гомологическая модель структурообразования упорядоченных сплавов ряда Li5N-3MeN // *Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. – 2015. – № 10 (Часть 3). – С. 461–463.
26. Иванов В.В. Моделирование одноступенчатых р-слоиных структур упорядоченных фаз внедрения щелочных металлов в графит состава MCn // *Междунар. журн. эксп. образования*. 2015. – № 11 (Часть 2). – С. 218–221.
27. Иванов В.В. Моделирование одноступенчатых р-слоиных структур разупорядоченных фаз внедрения щелочных металлов в графит состава M1+xSn // *Междунар. журн. эксп. образования*. 2015. – № 11 (Часть 2). – С. 212–214.
28. Иванов В.В. Анализ возможностей использования изоморфизма для получения неорганических катионных проводников // *Неорган. материалы*, 1992. – Т. 28, № 1. – С. 344–349.
29. Иванов В.В. Синергический эффект при образовании твердых растворов на основе нитрата аммония // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. – № 12. – С. 26–28.

30. Иванов В.В., Ерейская Г.П., Люцедарский В.А. Прогноз одномерных гомологических рядов оксидов металлов с октаэдрическими структурами // Изв. АН СССР. Неорганические материалы, 1990. – Т. 26, № 4. – С. 781–784.
31. Иванов В.В., Ерейская Г.П. Структурно-комбинаторный анализ одномерных гомологических рядов оксидов переходных металлов с октаэдрическими структурами // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1991. – Т. 27, № 12. – С. 2690–2691.
32. Иванов В.В., Попов С.В. Фазово-разупорядоченное состояние поверхности антифрикционных и износостойких композиционных покрытий // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2015. – № 10 (Часть 3). – С. 464–467.
33. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение и структурирование пространства, описание процесса формирования модульного кристалла // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 8. – С. 75–77.
34. 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.
35. Иванов В.В., Таланов В.М. Формирование структурного модуля для модулярного дизайна в 3D пространстве // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 9. – С. 74–77.
36. Иванов В.В., Таланов В.М. Структурно-комбинаторное моделирование одномерных соединений, включающих фрагмент шпинели // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1991. – Т. 27, № 11. – С. 2356–2360.
37. Иванов В.В., Таланов В.М. Структурно-комбинаторное моделирование двумерных соединений, включающих фрагмент шпинели // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1991. – Т. 27, № 11. – С. 2386–2390.
38. Иванов В.В., Таланов В.М. Структурный синергизм в гибридных шпинелоидах // Соврем. наукоемкие технологии, 2014. – № 10. – С. 25–33.
39. Иванов В.В., Ульянов А.К., Шабельская Н.П. Ферриты-хромиты переходных элементов: синтез, структура, свойства. – М.: Издательский дом Академия Естествознания, 2013 – 94 с.
40. Щербakov И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 132 с.
41. Janot Ch., Dubois J.-M., De Boissien M. Quasiperiodic structures: Another type of long-rang order for condensed matter. Am. J. Phys., 1989. V.57, N.11. P. 972–987.
42. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1/LL₀/CM2 // International journal of experimental education, 2014. – № 4. – Part 2. – p. 58–59.
43. 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.
44. 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.
45. 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, 1 – pp. 192–195.
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, 1 – pp. 195–198.
47. Ivanov V.V., Ivanova I.V. Principles of the structural states forming from nano-dimensional components // Материалы II междунар. научно-практич. конф. «Prospects for the development of fundamental and applied sciences», Praha, Czech Republic. 2016. – Vol. 2. – С. 80–87.
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.