

УДК 67

ВОЗМОЖНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЙ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР С КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТОЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Иванов В.В.

ФГУП ОКБ «ОРИОН», Новочеркасск

E-mail: valivanov11@mail.ru

Обсуждаются возможные пространственные компоненты состояний детерминистических модулярных структур с кристаллической компонентой в композиционных материалах.

Ключевые слова: структурное состояние, кристаллическая компонента, наноструктура, фрактальная структура

POSSIBLE SPACE COMPONENTS OF THE DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES STATES WITH THE CRYSTAL COMPONENT INTO COMPOSITIONAL MATERIALS

Ivanov V.V.

FGUE SDTU «ORION», Novochoerkassk

E-mail: valivanov11@mail.ru

The possible space components of the deterministic modular structures states with the crystal component into compositional materials were discussed.

Keywords: structural state, crystal component, nanostructure, fractal structure

Предположим, что состояния в случае детерминистических модулярных структур в каждой ячейке-параллелепипеде структурированного 3D пространства определяются возможными кристаллическими r , наноразмерными n и фрактальными f компонентами с помощью задания соответствующих генераторов [1-6]. Возможные структурные состояния в 1D пространстве могут быть комбинаторно перечислены и представлены следующей квадратной матрицей A

$$(1D) \quad A = \begin{pmatrix} r & n & f \\ r_n & n & f_n \\ r_f & n_f & f \end{pmatrix} = \|a_{ij}\|$$

С учетом всех структурно совместимых сочетаний из двух компонент перечислим основные классы вероятных структурных состояний в 2D пространстве [1, 2]: кристаллический (r r), кристаллический наноразмерный (r n), кристаллический фрактальный (r f), кристаллический наноразмерный фрактальный (r n f), кристаллический наноразмерный фрактальный гибридный (f f), фрактальный наноразмерный (f n) и наноразмерный (n n). Квадратная ма-

трица возможных состояний $A = \|a_{ij}\|$ в 2D пространстве

$$(2D) \quad A = \begin{pmatrix} r \|a_{ij}\| & n \|a_{ij}\| & f \|a_{ij}\| \\ r_n \|a_{ij}\| & n \|a_{ij}\| & f_n \|a_{ij}\| \\ r_f \|a_{ij}\| & n_f \|a_{ij}\| & f \|a_{ij}\| \end{pmatrix} = \|a_{ij}\| \|a_{ij}\|$$

содержит всего $N = 3^{2d} = 81$ ориентационно различных состояний из которых 45 – состояния разного вида, принадлежащие шести указанным выше классам. Тогда основные классы вероятных структурных состояний, содержащие хотя бы одну кристаллическую компоненту в 3D пространстве, следующие [1, 2]: кристаллический (r r r), кристаллический наноразмерный (r r n), кристаллический фрактальный (r r f), кристаллический наноразмерный фрактальный гибридный (r f n), кристаллический наноразмерный фрактальный гибридный (r n f), кристаллический наноразмерный гибридный (r n n). Квадратная матрица возможных состояний $A = \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| \|a_{ij}\|$ в 3D пространстве содержит всего $N = 3^{2d} = 729$ ориентационно различных состояний,

$$(3D) \quad A = \begin{pmatrix} r \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| & n \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| & f \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| \\ r_n \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| & n \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| & f_n \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| \\ r_f \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| & n_f \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| & f \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| \end{pmatrix} = \|a_{ij}\| \|a_{ij}\| \|a_{ij}\|$$

из которых 109 – состояния разного вида, принадлежащие шести указанным выше классам. Перечислим возможные структуры и их симметрию [7], охарактеризуем представителей этих видов состояний, соподчиненные (\in) и сопряженные им (*) состояния.

1 **Класс кристаллический (r r r)**, структуры $R_{\text{пр}}^3$ (симметрия пространственных групп $G_3^{\text{пр}}$):

1) (r r r) – 3D-кристалл из атомных цепочек, слоев, (r r r)* = (r r r), (r r r) \in (n_r n_r n_r),

2) (r r r_n) – 3D-кристалл из 1D-нанофрагментов, (r r r_n)* = (r r n_r), (r r r_n) \in (n_r n_r n),

3) (r r r_f) – 3D-кристалл из 1D локальных фракталов, (r r r_f)* = (r r f_r), (r r r_f) \in (n_r n_r n_f),

4) (r_n r_n r_n) – 3D-кристалл из 2D наноразмерных частиц, (r_n r_n r_n)* = (r n_r n_r), (r_n r_n r_n) \in (n_r n n),

5) (r r_n r_f) – 3D-кристалл из 1D-нанофрагментов и 1D локальных фракталов, (r r_n r_f)* = (r n_r f_r), (r r_n r_f) \in (n_r n n_f),

6) (r_f r_f r_f) – 3D-кристалл из локальных 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур), (r_f r_f r_f)* = (f_r f_r f_r), (r_f r_f r_f) \in (n_r n_f n_f),

7) (r_n r_n r_n) – 3D-кристалл из наноразмерных частиц, (r_n r_n r_n)* = (n_r n_r n_r), (r_n r_n r_n) \in (n n n),

8) (r_n r_n r_f) – 3D-кристалл из 2D-нанофрагментов и 1D локальных фракталов, (r_n r_n r_f)* = (n_r n_r f_r), (r_n r_n r_f) \in (n n n_f),

9) (r_n r_f r_f) – 3D-кристалл из локальных наноразмерных 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур), (r_n r_f r_f)* = (n_r f_r f_r), (r_n r_f r_f) \in (n n_f n_f),

10) (r_f r_f r_f) – 3D-кристалл из локальных 3D фракталов (детерминистическая фрактальная 3D структура), (r_f r_f r_f)* = (f_r f_r f_r), (r_f r_f r_f) \in (n_r n_f n_f),

2 **Класс кристаллический наноразмерный (r r n)**, структуры $R_{\text{пр}}^2$ (симметрия пространственных G_3^3 , слоевых G_2^3 или ленточных групп $G_{2,1}^3$):

1) (r r n) – 3D структура из упорядоченных цепочек нанообъектов в 2D пространстве, (r r n)* = (r r n), (r r n) \in (n_r n_r n),

2) (r r n_r) – 3D структура из упорядоченных цепочек кристаллических нанообъектов в 2D пространстве, (r r n_r)* = (r r r_n), (r r n_r) \in (n_r n_r n_r),

3) (r r n_f) – 3D структура из упорядоченных цепочек фрактальных нанообъектов в 2D пространстве, (r r n_f)* = (r r f_n), (r r n_f) \in (n_r n_f n_f),

4) (r r_n n) – 3D структура из 1D-фрагментов нанообъектов, (r r_n n)* = (r n_r n), (r r_n n) \in (n_r n n),

5) (r r_n n_r) – 3D структура из 1D-фрагментов кристаллических нанообъектов, (r r_n n_r)* = (r n_r r_n), (r r_n n_r) \in (n_r n n_r),

6) (r r_n n_f) – 3D структура из 1D-фрагментов фрактальных нанообъектов, (r r_n n_f)* = (r n_f r_n), (r r_n n_f) \in (n_r n n_f),

7) (r r_f n) – 3D структура из нанообъектов, упорядоченных по фрактальному и кристаллическому закону (r r_f n)* = (r f_r n), (r r_f n) \in (n_r n_f n),

8) (r r_f n_r) – 3D структура из кристаллических нанообъектов, упорядоченных по фрактальному и кристаллическому закону, (r r_f n_r)* = (r f_r r_n), (r r_f n_r) \in (n_r n_f n_r),

9) (r r_f n_f) – 3D структура из фрактальных нанообъектов, упорядоченных по фрактальному и кристаллическому закону, (r r_f n_f)* = (r f_r f_n), (r r_f n_f) \in (n_r n_f n_f),

10) (r_n r_n n) – 3D структура из 1D-фрагментов нанообъектов, упорядоченных в 2D пространстве, (r_n r_n n)* = (n_r n_r n), (r_n r_n n) \in (n n n),

11) (r_n r_n n_r) – 3D структура из 1D-фрагментов кристаллических нанообъектов, упорядоченных в 2D пространстве, (r_n r_n n_r)* = (n_r n_r r_n), (r_n r_n n_r) \in (n n n_r),

12) (r_n r_n n_f) – 3D структура из 1D-фрагментов фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 2D пространстве, (r_n r_n n_f)* = (n_r n_f r_n), (r_n r_n n_f) \in (n n n_f),

13) (r_n r_f n) – 3D структура из нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 1D пространстве, (r_n r_f n)* = (n_r f_r n), (r_n r_f n) \in (n n_f n),

14) (r_n r_f n_r) – 3D структура из кристаллических нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 1D пространстве, (r_n r_f n_r)* = (n_r f_r r_n), (r_n r_f n_r) \in (n n_f n_r),

15) (r_n r_f n_f) – 3D структура из фрактальных нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 1D пространстве, (r_n r_f n_f)* = (n_r f_r f_n), (r_n r_f n_f) \in (n n_f n_f),

16) (r_f r_f n) – 3D структура из нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 2D пространстве, (r_f r_f n)* = (f_r f_r n), (r_f r_f n) \in (n_f n_f n),

17) (r_f r_f n_r) – 3D структура из кристаллических нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 2D пространстве, (r_f r_f n_r)* = (f_r f_r r_n), (r_f r_f n_r) \in (n_f n_f n_r),

18) (r_f r_f n_f) – 3D структура из фрактальных нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 2D пространстве, (r_f r_f n_f)* = (f_r f_r f_n), (r_f r_f n_f) \in (n_f n_f n_f),

3 **Класс кристаллический фрактальный (r r f)**, структуры $R_{\text{пр}}^3$ (симметрия пространственных G_3^3 , слоевых G_2^3 , ленточных $G_{2,1}^3$ или точечных слоевых групп $G_{2,0}^3$):

1) $(r r f)$ – 3D структура из упорядоченных в 2D пространстве 1D фракталов, $(r r f)^* = (r r f)$,

2) $(r r f_r)$ – 3D структура из упорядоченных в 2D пространстве 1D детерминистических фракталов, $(r r f_r)^* = (r r r_r)$,

3) $(r r f_n)$ – 3D структура из упорядоченных в 2D пространстве 1D фрактальных нанообъектов, $(r r f_n)^* = (r r n_r)$,

4) $(r r_n f)$ – 3D структура из слоев 1D фракталов и 1D нанофрагментов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r r_n f)^* = (r n_r f)$,

5) $(r r_n f_r)$ – 3D структура из слоев 1D детерминистических фракталов и 1D нанофрагментов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r r_n f_r)^* = (r n_r r_r)$,

6) $(r r_n f_n)$ – 3D структура из слоев 1D фрактальных нанообъектов и 1D нанофрагментов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r r_n f_n)^* = (r n_r n_r)$,

7) $(r r_f f)$ – 3D структура из 2D фракталов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r r_f f)^* = (r f_f f)$,

8) $(r r_f f_r)$ – 3D структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r r_f f_r)^* = (r r_f f_r)$,

9) $(r r_f f_n)$ – 3D структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r r_f f_n)^* = (r f_r n_r)$,

10) $(r_n r_n f)$ – 3D структура из 2D нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону, $(r_n r_n f)^* = (n_r n_r f)$,

11) $(r_n r_n f_r)$ – 3D структура из 2D нанообъектов, упорядоченных по закону детерминистических фракталов, $(r_n r_n f_r)^* = (n_r n_r r_r)$,

12) $(r_n r_n f_n)$ – 3D структура из 2D нанообъектов, упорядоченных по закону фрактальных нанообъектов, $(r_n r_n f_n)^* = (n_r n_r n_r)$,

13) $(r_n r_f f)$ – 3D структура из 2D фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n r_f f)^* = (n_r f_r f)$,

14) $(r_n r_f f_r)$ – 3D структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов по фрактальному закону, $(r_n r_f f_r)^* = (n_r r_f r_r)$,

15) $(r_n r_f f_n)$ – 3D структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов по фрактальному закону, $(r_n r_f f_n)^* = (n_r f_r n_r)$,

16) $(r_f r_f f)$ – 3D структура из 3D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f r_f f)^* = (f_r f_r f)$,

17) $(r_f r_f f_r)$ – 3D структура из 3D локальных фракталов, упорядоченных в 1D про-

странстве по закону детерминистических фракталов, $(r_f r_f f_r)^* = (f_r f_r r_r)$,

18) $(r_f r_f f_n)$ – 3D структура из 3D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по закону фрактальных нанообъектов, $(r_f r_f f_n)^* = (f_r f_r n_r)$.

4 **Класс кристаллический фрактальный гибридный $(r f f)$** , структуры $R_{\text{гф}}^3$ (симметрия пространственных G^3_3 , слоевых G^3_2 , ленточных $G^3_{2,1}$):

1) $(r f f)$ – 3D структура из упорядоченных 2D гибридных фракталов, $(r f f)^* = (r f f)$,

2) $(r f f_r)$ – 3D структура из упорядоченных 2D детерминистических фракталов, $(r f f_r)^* = (r f_r r_r)$,

3) $(r f f_n)$ – 3D структура из упорядоченных 2D фрактальных нанообъектов, $(r f f_n)^* = (r f n_r)$,

4) $(r f_r f_r)$ – 3D структура из упорядоченных 2D детерминистических фракталов, $(r f_r f_r)^* = (r r_f r_r)$,

5) $(r f_r f_n)$ – 3D структура из упорядоченных 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, $(r f_r f_n)^* = (r r_f n_r)$,

6) $(r f_n f_n)$ – 3D структура из упорядоченных 2D фрактальных нанообъектов, $(r f_n f_n)^* = (r n_r n_r)$,

7) $(r_n f f)$ – 3D структура из 2D гибридных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f f)^* = (n_r f f)$,

8) $(r_n f f_r)$ – 3D структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f f_r)^* = (n_r f_r r_r)$,

9) $(r_n f f_n)$ – 3D структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f f_n)^* = (n_r f n_r)$,

10) $(r_n f_r f_r)$ – 3D структура из 2D детерминистического фрактала, упорядоченного в 1D пространстве, $(r_n f_r f_r)^* = (n_r r_f r_r)$,

11) $(r_n f_r f_n)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r_n f_r f_n)^* = (n_r r_f n_r)$,

12) $(r_n f_n f_n)$ – 3D структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве, $(r_n f_n f_n)^* = (n_r n_f n_r)$,

13) $(r_f f f)$ – 3D структура из 2D гибридных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f f)^* = (f_r f f)$,

14) $(r_f f f_r)$ – 3D структура из 2D детерминистических фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f f_r)^* = (f_r f_r r_r)$,

15) $(r_f f f_n)$ – 3D структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f f_n)^* = (f_f f_n)$,

16) $(r_f f_r f_r)$ – 3D структура из 2D детерминистического фрактала, упорядоченного в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_r f_r)^* = (f_r r_f r_f)$,

17) $(r_f f_r f_n)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_r f_n)^* = (f_r r_f n_f)$,

18) $(r_f f_n f_n)$ – 3D структура из 2D фрактальных нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_n f_n)^* = (f_n n_f n_f)$.

5 **Класс кристаллический фрактальный наноразмерный (r f n)**, структуры R_{fn}^3 (симметрия пространственных G^3 , слоевых G^2 , ленточных G^2_{21} , стержневых групп G^3_1):

1) $(r f n)$ – 3D фрактальная структура из упорядоченных нанообъектов, $(r f n)^* = (r f n)$,

2) $(r f n_r)$ – 3D фрактал из упорядоченных 1D-фрагментов структуры, $(r f n_r)^* = (r f r_n)$,

3) $(r f n_f)$ – 3D фрактал из упорядоченных 1D локальных фракталов, $(r f n_f)^* = (r f f_n)$,

4) $(r f_n n)$ – 3D фрактальный нанообъект из упорядоченных 1D нанообъектов, $(r f_n n)^* = (r n_f n)$,

5) $(r f_n n_r)$ – 3D фрактальный нанообъект из упорядоченных 1D-нанофрагментов структуры, $(r f_n n_r)^* = (r n_f r_n)$,

6) $(r f_n n_f)$ – 3D фрактальный нанообъект из упорядоченных 1D локальных фракталов, $(r f_n n_f)^* = (r f_n f_n)$,

7) $(r f_r n)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и упорядоченных нанообъектов, $(r f_r n)^* = (r r_f n)$,

8) $(r f_r n_r)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и упорядоченных 1D-нанофрагментов структуры, $(r f_r n_r)^* = (r r_f r_n)$,

9) $(r f_r n_f)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и упорядоченных 1D локальных фракталов, $(r f_r n_f)^* = (r r_f f_n)$,

10) $(r_n f n)$ – 3D фрактальная структура из нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f n)^* = (n_f f n)$,

11) $(r_n f n_r)$ – 3D фрактальная структура из 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве, $(r_n f n_r)^* = (n_f f r_n)$,

12) $(r_n f n_f)$ – 3D фрактальная структура из 1D локальных фракталов, упорядо-

ченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f n_f)^* = (n_f f f_n)$,

13) $(r_n f_n n)$ – 3D фрактальный нанообъект из 1D нанообъектов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f_n n)^* = (n_f n_f n)$,

14) $(r_n f_n n_r)$ – 3D фрактальный нанообъект из 1D-фрагментов структуры и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f_n n_r)^* = (n_f n_f r_n)$,

15) $(r_n f_n n_f)$ – 3D фрактальный нанообъект из 1D локальных фракталов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f_n n_f)^* = (n_f f_n f_n)$,

16) $(r_n f_r n)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов, нанообъектов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f_r n)^* = (n_f r_f n)$,

17) $(r_n f_r n_r)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов, фрагментов структуры и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f_r n_r)^* = (n_f r_f r_n)$,

18) $(r_n f_r n_f)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов, 1D локальных фракталов и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n f_r n_f)^* = (n_f r_f f_n)$,

19) $(r_f f n)$ – 3D фрактальная структура из нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f n)^* = (f_f f n)$,

20) $(r_f f n_r)$ – 3D фрактал из 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f n_r)^* = (f_f f r_n)$,

21) $(r_f f n_f)$ – 3D фрактал из 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f n_f)^* = (f_f f f_n)$,

22) $(r_f f_n n)$ – 3D фрактальный нанообъект из 1D нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_n n)^* = (f_n f_n n)$,

23) $(r_f f_n n_r)$ – 3D фрактальный нанообъект из 1D-нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_n n_r)^* = (f_n f_n r_n)$,

24) $(r_f f_n n_f)$ – 3D фрактальный нанообъект из 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_n n_f)^* = (f_n f_n f_n)$,

25) $(r_f f_r n)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и нанообъектов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_r n)^* = (f_r f_r n)$,

26) $(r_f f_r n_r)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и 1D-нанофрагментов структуры, упорядо-

ченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_r n_r)^* = (f_r r_f r_n)$,

27) $(r_f f_r n_r)$ – 3D структура из 1D детерминистических фракталов и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f f_r n_r)^* = (f_r r_f f_n)$.

6 **Класс наноразмерный кристаллический $(r n n)$** , структуры R_{mn}^3 (симметрия пространственных G^3 , слоевых G^3 , ленточных $G^3_{2,1}$):

1) $(r n n)$ – 3D структура из упорядоченных 2D наночастиц, $(r n n)^* = (r n n)$,

2) $(r n n_r)$ 3D структура упорядоченных 2D нанофрагментов структуры, $(r n n_r)^* = (r n r_n)$,

3) $(r n n_r)$ – 3D структура из упорядоченных 2D локальных фракталов, $(r n n_r)^* = (r n f_n)$,

4) $(r n_r n_r)$ – 3D структура из упорядоченного 2D нанофрагмента структуры, $(r n_r n_r)^* = (r r_n r_n)$,

5) $(r n_r n_r)$ – 3D структура из упорядоченного нанообъекта из 1D-фрагмента структуры и 1D локального фрактала, $(r n_r n_r)^* = (r r_n f_n)$,

6) $(r n_r n_r)$ – 3D структура из упорядоченного 2D локального фрактала, $(r n_r n_r)^* = (r f_n f_n)$.

7) $(r_n n n)$ – 3D структура из 2D наночастиц и упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n n n)^* = (n_r n n)$,

8) $(r_n n n_r)$ – 3D структура из 1D наночастиц и 1D нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве, $(r_n n n_r)^* = (n_r n r_n)$,

9) $(r_n n n_r)$ – 3D структура из 1D наночастиц и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n n n_r)^* = (n_r n f_n)$,

10) $(r_n n_r n_r)$ – 3D структура из 2D нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве, $(r_n n_r n_r)^* = (n_r r_n r_n)$,

11) $(r_n n_r n_r)$ – 3D структура из 1D нанофрагментов структуры и 1D локального фрактала, упорядоченных в 1D пространстве, $(r_n n_r n_r)^* = (n_r r_n f_n)$,

12) $(r_n n_r n_r)$ – 3D структура из 2D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве нанофрагментов, $(r_n n_r n_r)^* = (n_r f_n f_n)$.

13) $(r_f n n)$ – 3D структура из 2D наночастиц, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f n n)^* = (f_r n n)$,

14) $(r_f n n_r)$ – 3D структура из 1D наночастиц и 1D нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f n n_r)^* = (f_r n r_n)$,

15) $(r_f n n_r)$ – 3D структура из 1D наночастиц и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f n n_r)^* = (f_r n f_n)$,

16) $(r_f n_r n_r)$ – 3D структура из 2D нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_r n_r)^* = (f_r r_n r_n)$,

17) $(r_f n_r n_r)$ – 3D структура из 1D нанофрагментов структуры и 1D локального фрактала, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_r n_r)^* = (f_r r_n f_n)$,

18) $(r_f n_r n_r)$ – 3D структура из 2D локальных фракталов, упорядоченных в 1D пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_r n_r)^* = (f_r f_n f_n)$.

Ранее в [8-20] представления о состояниях поверхности композитов, обусловленных кристаллическими фазами, распределенными по объему наночастицами некоторых из этих фаз, а также квазифрактальными конфигурациями межфазных границ (некоторые состояния класса $(r n f)$) были использованы при целенаправленном поиске и интерпретации трибологических свойств поверхности некоторых композиционных материалов и покрытий.

Список литературы

1. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. 2013. № 7-1. С. 26-28.
2. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. 2014. № 4. С. 105-108.
3. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. № 5. С. 29-31.
4. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. 2013. № 8. С. 134-135.
5. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания. 2013. № 8. С. 129-130.
6. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал. 2013. № 7-1. С. 35-37.
7. Заморзаев А.М. Теория простой и кратной антисимметрии. Кишинев: Штиинца, 1976. 283 с.
8. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. 112 с.
9. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами / И.Н. Щербаков, В.В. Иванов, В.Т. Логинов и др. Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. 132 с.
10. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Иванов А.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии. 2006. Т. 79. Вып. 4. С. 619-621.
11. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В. и др. // Журн. прикладной химии. 2008. Т. 81. Вып. 12. С. 2059-2061.
12. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии. 2009. Т. 82. Вып. 5. С. 797-802.
13. Беспалова Ж.И., Иванов В.В., Смирницкая И.В., и др. // Журн. прикладной химии. 2010. Т. 83. Вып. 2. С. 244-248.
14. Беспалова Ж.И., Иванов В.В., Смирницкая И.В., и др. // Журн. прикладной химии. 2010. Т. 83. Вып. 5. С. 779-782.

15. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. № 3. С. 54-57.
16. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. № 5. С. 47-50.
17. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Современ. наукоемкие технологии. 2013. № 5. С. 21-24.
18. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Современ. наукоемкие технологии. 2013. № 10. С. 158-160.
19. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Современ. наукоемкие технологии. 2013. № 10. С. 161-163.
20. Иванов В.В. // Global Science and Innovation: materials of the I International Conference. Vol. II. Chicago, December 17-18th, 2013 / Publishing office Accent Graphics communications. Chicago – USA, 2013. P. 108-110.