

УДК 548.3:669.018

ВОЗМОЖНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЙ (R R N) И (R N N) КЛАССОВ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР КОМПОЗИТОВ

Иванов В.В.*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail:valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются возможные комплексные компоненты состояний (r r n) и (r n n) классов детерминистических модулярных структур композитов.

Ключевые слова: структурное состояние, кристалл, наноструктура, композиционный материал

POSSIBLE COMPLEX COMPONENTS OF THE STATES OF THE BOTH (R R N) AND (R N N) CLASSES FOR DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES OF COMPOSITES

Ivanov V.V.*South-Russian state polytechnic university named by M.I. Platov, Novocherkassk,
e-mail:valivanov11@mail.ru*

The possible complex components of the states of the both (r r n) and (r n n) classes for deterministic modular structures of composites were discussed.

Keywords: structural state, crystal, nanostructure, compositional material

Для детерминистических модулярных структур в каждой ячейке структурированного 3D пространства состояния определяются возможными кристаллическими r, наноразмерными n и фрактальными f компонентами [1 – 10]. Квадратная матрица A третьего порядка вида

$$A^{(1D)} = \left\| a_{ij} \right\|_1^3 = \begin{vmatrix} r & n_r & f_r \\ r_n & n & f_n \\ r_f & n_f & f \end{vmatrix}$$

описывает множество вероятных структурных 1D состояний детерминистических модулярных структур композитов. Множество включает три основные состояния (r_r° r, n_n° n, f_f° f) и три пары из сопряженных (взаимодополняющих) состояний (r_n и n_r, r_f и f_r, n_f и f_n). Матрица A вероятных структурных 1D состояний обладает следующими свойствами:

1) равенство сопряженной и транспонированной матриц, т.е. A* = A^T,

2) равенство дважды сопряженной и дважды транспонированной матрицы – исходной матрице, т.е. (A^T)^T = (A*)* = A,

3) наличие частичного порядка соподчинения вида r ∈ f_r ∈ n_r, r_n ∈ f_n ∈ n и r_f ∈ f ∈ n_f.

Из десяти классов вероятных структурных состояний [1, 2]: (n n n), (n n r), (n n f), (n f f), (r f n), (r r n), (r r f), (r f f), (f f f) и (r r r), – два класса характеризуют возмож-

ные структурные состояния, представители которых включают в себя одновременно кристаллическую и наноразмерную компоненты: ((r r n) и (n n r)). Возможные разложения данных состояний

$$\begin{aligned} 3(n n r) &= 2(n n n) + (r r r), \\ 3(n r r) &= (n n n) + 2(r r r), \\ (n n r) + (n r r) &= (n n n) + (r r r) \end{aligned}$$

позволяют рассматривать наряду с кристаллическими фазами наночастицы и могут служить аппроксимантами вероятных состояний на поверхности композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами, а также вблизи поверхности в зоне трения и износа.

Симметрия структур R_{nnn}³ и R_{rrr}³ может описываться пространственными G_{nnn}³ слоевыми G_{2,2}³ ленточными G_{2,1}³ группами [11]. Перечислим возможные виды состояний класса (r r n) и (r n n), приведем соподчиненные (∈) и сопряженные им (*) состояния.

Класс кристаллический наноразмерный (r r n):

1) (r r n) – 3D-структура из упорядоченных цепочек нанобъектов в 2D-пространстве, (r r n)* = (r r n), (r r n) ∈ (n_r n_r n),

2) (r r n_r) – 3D-структура из упорядоченных цепочек кристаллических нанобъектов в 2D-пространстве, (r r n_r)* = (r r r_n), (r r n_r) ∈ (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) $(r_r r_n n)$ – 3D-структура из 1D-фрагментов нанообъектов, $(r_r n)^* = (r_n n)$, $(r_r n) \in (n_r n n)$,

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

6) $(r_r r_n n_f)$ – 3D-структура из 1D-фрагментов фрактальных нанообъектов, $(r_r n_f)^* = (r_n f_n)$, $(r_r n_f) \in (n_r n_f n_f)$,

7) $(r_r r_f n)$ – 3D-структура из нанообъектов, упорядоченных по фрактальному и кристаллическому закону $(r_r f_n)^* = (r_f n)$, $(r_r f_n) \in (n_r n_f n)$,

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

9) $(r_r r_f n_f)$ – 3D-структура из фрактальных нанообъектов, упорядоченных по фрактальному и кристаллическому закону, $(r_r f_f n_f)^* = (r_f f_n)$, $(r_r f_f n_f) \in (n_r n_f n_f)$,

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

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

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

13) $(r_n r_f n)$ – 3D-структура из нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 1D-пространстве, $(r_n f_n)^* = (n_f n)$, $(r_n f_n) \in (n_n n_f n)$,

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

15) $(r_n r_f n_f)$ – 3D-структура из фрактальных нанообъектов, упорядоченных по фрактальному закону в 1D-пространстве, $(r_n f_f n_f)^* = (n_f f_n)$, $(r_n f_f n_f) \in (n_n n_f n_f)$,

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

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

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

Класс наноразмерный кристаллический $(r_n n)$:

1) $(r_n n)$ – 3D-структура из упорядоченных 2D наночастиц, $(r_n n)^* = (r_n n)$, $(r_n n) \in (n_n n n)$,

2) $(r_n n_r)$ 3D-структура упорядоченных 2D наночастиц структуры, $(r_n n_r)^* = (r_n n_r)$, $(r_n n_r) \in (n_n n_r n_r)$,

3) $(r_n n_f)$ – 3D-структура из упорядоченных 2D локальных фракталов, $(r_n n_f)^* = (r_n f_n)$, $(r_n n_f) \in (n_n n_f n_f)$,

4) $(r_n r_n)$ – 3D-структура из упорядоченного 2D наночастицы структуры, $(r_n r_n)^* = (r_n r_n)$, $(r_n r_n) \in (n_n r_n r_n)$,

5) $(r_n r_n)$ – 3D-структура из упорядоченного нанообъекта из 1D-фрагмента структуры и 1D локального фрактала, $(r_n r_n)^* = (r_n r_n)$, $(r_n r_n) \in (n_n r_n r_n)$,

6) $(r_n r_n)$ – 3D-структура из упорядоченного 2D локального фрактала, $(r_n r_n)^* = (r_n r_n)$, $(r_n r_n) \in (n_n r_n r_n)$,

7) $(r_n n n)$ – 3D-структура из 2D наночастиц и упорядоченных в 1D-пространстве наночастиц, $(r_n n n)^* = (n_n n n)$, $(r_n n n) \in (n_n n n)$,

8) $(r_n n n)$ – 3D-структура из 1D наночастиц и 1D наночастиц структуры, упорядоченных в 1D-пространстве, $(r_n n n)^* = (n_n n n)$, $(r_n n n) \in (n_n n n)$,

9) $(r_n n n)$ – 3D-структура из 1D наночастиц и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве наночастиц, $(r_n n n)^* = (n_n n n)$, $(r_n n n) \in (n_n n n)$,

10) $(r_n n_r n_r)$ – 3D-структура из 2D наночастиц структуры, упорядоченных в 1D-пространстве, $(r_n n_r n_r)^* = (n_n n_r n_r)$, $(r_n n_r n_r) \in (n_n n_r n_r)$,

11) $(r_n n_r n_f)$ – 3D-структура из 1D наночастиц структуры и 1D локального фрактала, упорядоченных в 1D-пространстве, $(r_n n_r n_f)^* = (n_n n_r n_f)$, $(r_n n_r n_f) \in (n_n n_r n_f)$,

12) $(r_n n_f n_f)$ – 3D-структура из 2D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве наночастиц, $(r_n n_f n_f)^* = (n_n n_f n_f)$, $(r_n n_f n_f) \in (n_n n_f n_f)$,

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

14) $(r_f n n_f)$ – 3D-структура из 1D наночастиц и 1D наночастиц структуры, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону, $(r_f n n_f)^* = (f_n n_f n_f)$, $(r_f n n_f) \in (n_f n_f n_f)$,

15) $(r_f n_f n_f)$ – 3D-структура из 1D наночастиц и 1D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_f n_f)^* = (f_f n_f f_f)$, $(r_f n_f n_f) \in (n_f n_f n_f)$,

16) $(r_f n_f n_f)$ – 3D-структура из 2D нанофрагментов структуры, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_f n_f)^* = (f_f r_f n_f)$, $(r_f n_f n_f) \in (n_f n_f n_f)$,

17) $(r_f n_f n_f)$ – 3D-структура из 1D нанофрагментов структуры и 1D локального фрактала, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_f n_f)^* = (f_f r_f n_f)$, $(r_f n_f n_f) \in (n_f n_f n_f)$,

18) $(r_f n_f n_f)$ – 3D-структура из 2D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону, $(r_f n_f n_f)^* = (f_f f_f f_f)$, $(r_f n_f n_f) \in (n_f n_f n_f)$.

Таким образом, 36 видов реализации состояний класса $(r_f n_f n_f)$ и $(r_f n_f n_f)$ включают в себя все 10 видов соподчиненных им состояний наноразмерного класса $(n_f n_f n_f)$ и имеют сопряженные с ними разновидности состояний всех остальных восьми классов.

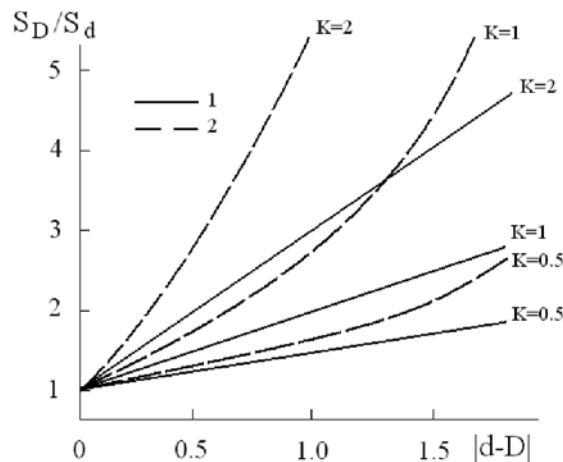
Условный размерный параметр D для каждого структурного состояния может быть рассчитан по одному из его возможных разложений следующим образом: $D = d_r D(r) + d_f D(f) + d_n D(n)$, где d_r , d_f и d_n – количества соответствующих компонент одного сорта, условный размерный параметр для кристаллической компоненты $D(r) = 1$, для фрактальной компоненты он полностью совпадает с фрактальной размерностью: $D(f) = \text{Dim}R_f = \text{Dim}(\text{Gen}R_f) < 1$, для наноразмерной компоненты $D(n) = \langle n \rangle / n_0 < 1$, если средний размер нанобъекта $\langle n \rangle < n_0 = 100$ нм и $D(n) = 1$, если $\langle n \rangle > n_0$.

Пример. Определим размерный параметр для 18-ой разновидности состояния: $(r_f$

$n_f n_f)$ – 3D-структуры из 2D локальных фракталов, упорядоченных в 1D-пространстве по фрактальному закону. Сопряженным с ним состоянием является состояние $(f_f f_f f_f)$, представляющее собой 3D-структуру из 1D детерминистических фракталов и 2D фрактальных нанобъектов. С учетом разложения $(r_f n_f n_f) = 1/6 [(r_f r_f r_f) + 3(f_f f_f f_f) + 2(n_f n_f n_f)]$ окончательно получим

$$D = 1/6 [3 + \text{DimGen}R_{\text{фф}}^1 + \text{DimGen}R_{\text{фф}}^2 + \text{DimGen}R_{\text{фф}}^3 + 6(\langle n \rangle / n_0)] < 3.$$

Будем считать, что величина условного размерного параметра оказывает функциональное влияние на чувствительные к особенностям структурной организации свойства систем, т.е. $S_i(D_i)$. Предположим, что характер этого влияния может определяться для i -го структурного состояния зависимостями типа $S_i(d-D_i)$. В этом случае на свойство S_D влияет отклонение условного размерного параметра D от мерности пространства d , т.е. величина $|d-D|$. Формально можно рассматривать два вида зависимостей: $S_D = S_d(1 + K|d-D|)$ и $\ln(S_D/S_d) = K|d-D|$, в которых K – коэффициент пропорциональности, обусловленный как характеристиками структурного состояния, так и характеристиками пространства существования системы с данным состоянием. При расчете размерных параметров структурных состояний для отдельных компонент использовали следующие условные значения: $D(r) = 1$, $D(f) = 0,5$, $D(n) = 0,1$. Очевидно, что вторая зависимость от размерного параметра – экспоненциальная $S_D = S_d \exp(K|d-D|)$ является более сильной по сравнению с первой (рисунок).



Влияние условного размерного параметра D структурного состояния детерминистических модулярных структур на свойства систем по зависимостям вида

$$S_D = S_d(1 + K|d-D|) \text{ (1) и } S_D = S_d \exp(K|d-D|) \text{ (2)}$$

Ранее представления о возможном влиянии комплексного состояния композитов, обусловленного как кристаллическими фазами, так и распределенными определенным образом наночастицами некоторых из этих фаз были использованы при целенаправленном поиске и интерпретации трибологических свойств поверхности композиционных материалов и покрытий на основе систем Ni-P и Ni-B [12–20].

Список литературы

1. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. – №11. – С.61-65.
2. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – №.9 – С.89-93.
3. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – №7-1. – С.26-28.
4. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – №.4. – С.105-108.
5. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. №.5. С.29-31.
6. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. №8. С.136-137.
7. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. №8. С.134-135.
8. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. – №8. – С.129-130.
9. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. №10 (3). – С. 493-494.
10. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – № 7-1. – С. 35-37.
11. Заморзаев А.М. Теория простой и кратной антисимметрии. Кишинев: Штиинца. 1976. – 283 с.
12. 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.
13. Щербаков 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.
14. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Иванов А.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2006. – Т.79. – Вып.4. – С.619-621.
15. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В., и др. // Журн. прикладной химии, 2008. – Т.81. – Вып. 12. – С. 2059-2061.
16. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т.82. – Вып. 5. – С.797-802.
17. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – №3. – С. 54-57.
18. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – №5. – С. 47-50.
19. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – №8-1. – С. 70-71.
20. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал, 2013. – №8-1. – С. 72-73.