7. Іщук, Н. В. Дослідження особливостей впливу попередньої лазерної обробки на фазовий склад, будову і властивості азотованих шарів на сталях У8, 40Х13, 12Х8Н10Т та 40Х / Н. В. Іщук // Проблеми тертя та зношування. – К. НАУ, 2010 – Вип. 53. – С. 221 – 225.
8. Пат. 19551 України МПК (2006) С23С 8/02. Спосіб комбінованої лазеро – хіміко – термічної обробки матеріалів / Іщук Н. В., Писаренко В. М., Кіндрачук М. В., Головко Л. Ф., - №4 2006 07450; заявл. 04.07.06; опубл. 15.12.06, Бюл. № 12. – 6с.
9. Пат. 25412 Україна, МПК (2006) С23С 8/02. Спосіб отримання зносостійких дискретних азотованих шарів / Кіндрачук М. В., Іщук Н. В., Писаренко В. М., Головко Л. Ф., Яхья М. С., – № 200703002; заявл. 22.03.07; опубл. 10.08.07, Бюл. № 12. – 5с.
10. Пат. 31198 Україна, МПК (2006) С23С 8/02. Спосіб комбінованої лазеро-хіміко-термічної обробки сталевих виробів / Кіндрачук М. В., Іщук Н. В., Писаренко В. М., Головко Л. Ф., Яхья М. С., Корнієнко А. О. – 3200714419; заявл. 20.12.07; опубл. 25.03.08, Бюл. № 6. – 4 с.

УДК 678, 62-976

КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР И УСЛОВИЕ ИХ ДВОЯКО-ПЕРИОДИЧНОСТИ

С. Т. Толмачев
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*
E-mail: kafEM@mail.ru

С. Л. Бондаревский
Старший преподаватель*
E-mail: kafEM@mail.ru

*Кафедра электромеханики
Криворожский национальный университет
ул. XXII Партсъезда, 11,
г. Кривой Рог, Украина, 50027

Розглянуто питання класифікації гетерогенних структур і середовищ. Основна увага приділена питанню упорядкованих (правильних) гетерогенних середовищ з двоякоперіодичною структурою. Приведено співвідношення зв'язку між парою еквівалентних періодів. Зроблено акцент на відмінність понять двоякоперіодична решітка періодів і двоякоперіодична структура та сформульована умова визначення її двоякоперіодичності

Ключові слова: двоякоперіодична структура, класифікація, паралелограм періодів, умова двоякоперіодичності

Рассмотрены вопросы классификации гетерогенных структур и сред. Основное внимание уделено вопросу упорядоченных (правильных) гетерогенных сред с двоякопериодической структурой. Приведено соотношение связи между парой эквивалентных периодов. Сделан акцент на различие понятий двоякопериодическая решётка периодов и двоякопериодическая структура и сформулировано условие определения ее двоякопериодичности

Ключевые слова: двоякопериодическая структура, классификация, параллелограмм периодов, условие двоякопериодичности

1. Введение

Гетерогенная структура (среда) (ГС) – неоднородная система, состоящая из двух или более однородных частей (фаз). Деление систем на гомогенные (однородные) и гетерогенные несколько условно, поскольку все физические системы состоят из дисперсионной среды и дисперсной фазы и различаются лишь размерами частиц последней: в гомогенных системах частицы дисперсной фазы имеют размеры молекул и атомов [1]. И хотя ГС имеют широкое распространение, в настоящее время отсутствует их общепринятая классификация.

Одним из элементов классификации является упорядоченность (правильность) ГС. Среди упорядоченных ГС важное место занимают двоякопериодические структуры. В теоретическом и практическом отношениях важен вопрос о принадлежности ГС к классу двоякопериодических структур, который не рассматривался в научно-технической литературе. Условие двоякопериодичности многокомпонентных ГС является конструктивным средством при решении задач их композиции и декомпозиции, определения локальных и приведенных свойств и т.п.

2. Литературный обзор

Несмотря на то, что чёткую границу между ГС и гомогенной фазой в общем случае провести затруднительно, в научно-технической литературе ГС получили достаточно точное определение. ГС – неоднородные системы, состоящие из внутренней (дисперсной) фазы частиц с четко выраженными границами, и внешней (дисперсионной) фазы, являющейся той средой, в которой распределены частицы дисперсной фазы [1]. Они имеют широкое распространение и отличаются большим разнообразием физических и геометрических параметров компонентов, масштабами неоднородностей, искусственным и естественным происхождением, назначением и другими особенностями.

Различие в свойствах отдельных фаз ГС иногда позволяет осуществить, по крайней мере, их механическое разделение. Примерами таких ГС могут быть [2]:

- газовзвеси, аэрозоли, дым, туман – смеси газа с твёрдыми частицами или каплями, например, вода и находящийся над ней водяной пар (различие в агрегатном состоянии);

- суспензии или взвеси (иногда их называют микрогетерогенными дисперсными системами) – смеси жидкости с мельчайшими твёрдыми частицами, находящимися чаще всего во взвешенном (не осевшем) состоянии, например, пульпа (различие в физических свойствах);

- эмульсии – смеси жидкости с каплями другой жидкости, например, две несмешивающиеся жидкости, масло и вода (различие в составе);

- газожидкостные среды, пены – смеси жидкости с газовыми пузырями, например, все моющие средства, содержащие поверхностно-активные вещества (различие химических свойств);

- зернистые среды (по своим свойствам занимают промежуточное место между твёрдым телом и жидкостью) – упакованные твёрдые частицы, в зазорах между которыми содержится газ или жидкость, например, пылеулавливающие фильтры (различие механических свойств);

- капиллярно-пористые среды – пористые тела, содержащие в порах газ или жидкость, например, все виды сорбентов, строительные материалы (различие в физических свойствах).

Основной класс ГС образуют дисперсионные среды, т.е. материалы, содержащие дисперсию включений определенной формы и размеров, которые отличаются своими термодинамическими, кинетическими, электрическими, магнитными и др. свойствами [3].

3. Постановка проблемы

В настоящее время отсутствует общепринятая классификация ГС. Очевидно, их можно классифицировать по геометрическим параметрам (форме и размерам элементов дисперсной фазы), концентрации включений, показателям симметрии (упорядоченные – с четко выраженной периодичностью – и неупорядоченные); по физическим свойствам (изотропные и анизотропные, линейные и нелинейные, электрические, магнитные, диэлектрические, гальваномагнитные и др.); по агрегатному состоянию дисперсионной среды (газовые, жидкие или твердые).

Большое распространение на практике получили так называемые правильные ГС упорядоченного типа. Как отмечалось выше, особо большое теоретическое и прикладное значения имеют двоякопериодические ГС. В теоретическом плане эти системы привлекательны тем, что для их анализа применима теория двоякопериодических (эллиптических) функций, что позволяет получить аналитические и численные решения двоякопериодических задач довольно общего вида. В практическом отношении двоякопериодические ГС также представляют интерес как составляющие многих технических устройств и материалов.

Рассматривая двоякопериодические ГС общего вида, необходимо установить условие двоякопериодичности. Основным здесь является вопрос определения основных периодов ω_1 и ω_2, являющихся образующими основного параллелограмма периодов Ω.

Рассмотрение указанных вопросов составляет основной предмет данной статьи.

4. Основная часть

Рассмотрим наиболее распространённые типы упорядоченных ГС:

- Слоистые структуры. Пример такой ГС - материал, состоящий из периодически чередующихся слоев с различной толщиной и с различными свойствами (рис. 1). Классическим примером слоистой структуры является шихтованная ферромагнитная среда. При этом слои могут быть как последовательные, так и параллельные или продольные и поперечные по отношению к внешнему воздействию, например, по отношению к направлению магнитного поля [4].

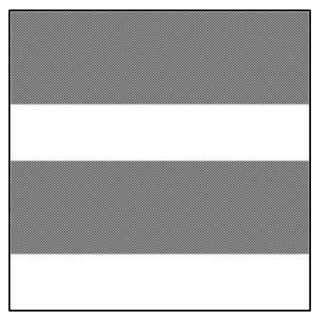


Рис. 1. Пример слоистой структуры

- Ленточные структуры – материалы, содержащие двоякопериодические прослойки одинаково ориентированных узких лент (рис. 2) [5].

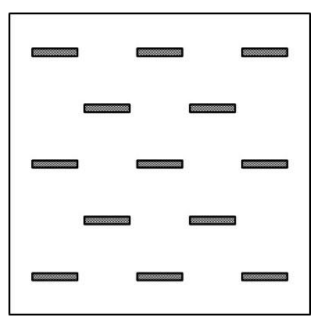


Рис. 2. Пример ленточной структуры

- Структуры с канонической формой включений: двоякопериодические в виде круговых [6] или эллиптических [7] цилиндров, стержней квадратного или прямоугольного сечения и троякопериодические в виде сферических [8] или сфероидальных элементов [9]. Примеры таких ГС представлены на рис. 3 и рис. 4.

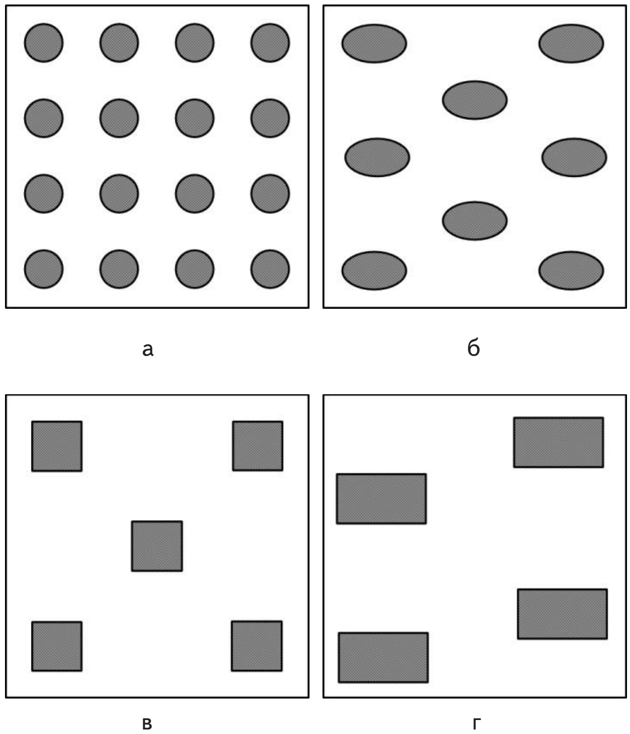


Рис. 3. Двоякопериодические структуры: а — цилиндры круговой формы; б — цилиндры эллиптической формы; в — стержни квадратного сечения; г — стержни прямоугольного сечения

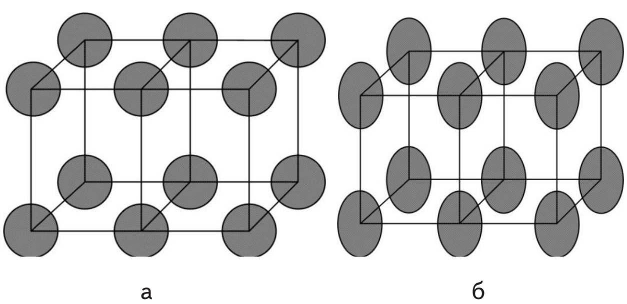


Рис. 4. Троякопериодические структуры: а — сферические элементы с разреженной упаковкой; б — сфероидальные элементы

Приведенные на рис. 3 и рис. 4 ГС являются двухфазными однокомпонентными. В более общем случае правильные ГС могут быть многофазными и многокомпонентными, когда в пределах дисперсной фазы имеется несколько фракций (компонентов) [2]. Примеры таких ГС показаны на рис. 5 [10]. Если элементы 1-4 трактовать как дискретные (рис. 5, а), то рассматривая среда при одинаковых свойствах элементов 2-4 является четырехкомпонентной двухфазной, а при различии свойств элементов 1-4 – четырехфазной. Если же границы 1-й фазы несущественны (например, при определении проводимости), то рассматриваемую среду (рис. 5, б) можно квалифицировать как ГС с дисперсионной фазой 1 и дисперсной фазой с компонентами 2-4 (при одинаковых свойствах элементов 2-4) или четырехфазной (при различии свойств элементов).

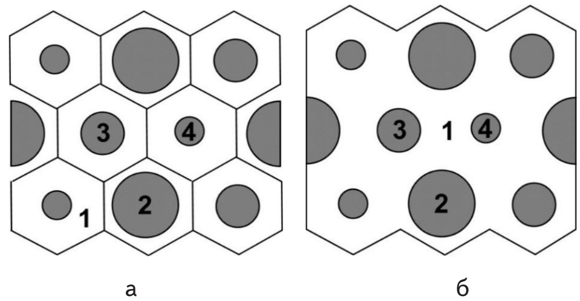


Рис. 5. Многофазные системы: а — четырёхкомпонентная; б — многокомпонентная

Исключительную группу правильных ГС составляют структуры, являющиеся объединением нескольких однотипных фаз с равными концентрациями, заполняющими все пространство (рис. 6) [11]. Эти ГС фактически не подпадают под классическое определение ввиду отсутствия дисперсионной среды, однако к ним применимы основные расчётные соотношения, рассматриваемые ниже.

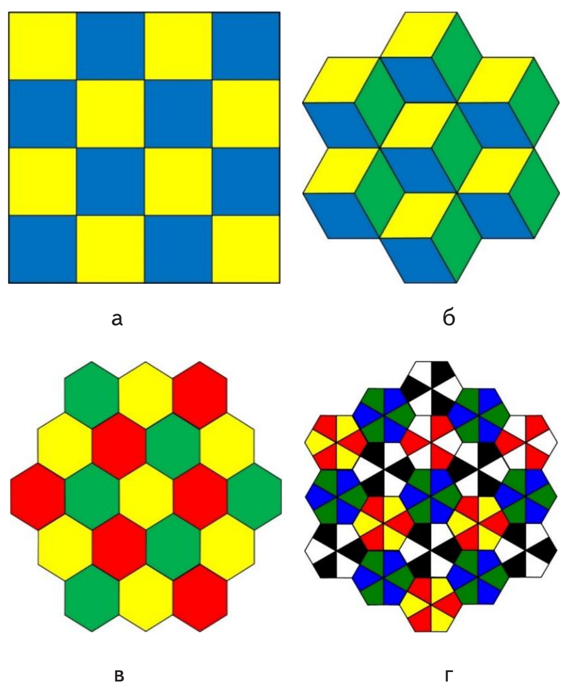


Рис. 6. Примеры двоякопериодических систем: а — двухкомпонентная (система половинного состава); б — трехкомпонентная (геометрия фаз типа «ромб»); в — трехкомпонентная (геометрия фаз типа «шестигранник»); г —шестикомпонентная

При анализе двоякопериодических ГС важное место занимает понятие двоякопериодической функции. В общем случае эта функция может иметь множество периодов, например ω_1, ω_2, ... ω_k, тогда периодами этой функции будут также числа $m_1\omega_1+m_2\omega_2+m_k\omega_k$, где m_1, m_2, m_k – произвольные целые числа. Из этого следует, что все периоды двоякопериодической функции являются суммой целых кратных двух периодов ω_1 и ω_2 [12]. При этом будем предполагать, что всегда выполняется условие $\mathrm{Im}(\omega_2/\omega_1)>0$.

Важным в теории двоякопериодических функций является также понятие конгруэнтности. Если для любых целых чисел m_1 и m_2 $u=v+m_1\omega_1+m_2\omega_2$, то точки u и v являются конгруэнтными: $\mathrm{u} \equiv \mathrm{v} \bmod(\omega_1,\omega_2)$. Очевидно, что вершинами всех параллелограммов периодов являются конгруэнтные точки.

Из сказанного вытекает, что если u_0 – произвольная точка комплексной плоскости, то соотношение $\mathrm{u}_0+\mathrm{m}_1\omega_1+\mathrm{m}_2\omega_2$, где $\mathrm{m}_1,\mathrm{m}_2=0,\pm1,\pm2,..$ описывает систему параллелограммов периодов, которые покрывают комплексную плоскость один (!) раз [12]. В этом случае периоды ω_1 и ω_2 будем называть основными (примитивными) периодами двоякопериодической функции.

Из теории эллиптических функций известно, что пара основных периодов ω_1 и ω_2 не является единственной. Если для произвольных целых чисел $\mathrm{m}_1,\mathrm{m}_2$ и $\mathrm{m}_1',\mathrm{m}_2'$ множества точек $\omega=\mathrm{m}_1\omega_1+\mathrm{m}_2\omega_2$, $\omega'=\mathrm{m}_1'\omega_1'+\mathrm{m}_2'\omega_2'$ совпадают, то пары периодов (ω_1,ω_2) и (ω_1',ω_2') являються эквивалентными. Известно [12], что пара периодов (ω_1,ω_2) тогда и только тогда эквивалента паре периодов (ω_1',ω_2'), когда справедливо соотношение $\omega_2'=\alpha\omega_2+\beta\omega_1$, $\omega_1'=\gamma\omega_2+\delta\omega_1$, где $\alpha,\beta,\gamma,\delta$ - целые числа, удовлетворяющие условию $\alpha\delta-\beta\gamma=\pm1$. Например, паре периодов $\omega_1=2$, $\omega_2=0{,}5+1{,}5j$ эквивалентными являются периоды $\omega_1'=2{,}5+1{,}5j$, $\omega_2'=-2$ (рис. 7), поскольку при $\alpha=0,\beta=-1,\gamma=1,\delta=1$ выполняется условие $\alpha\delta-\beta\gamma=1$.

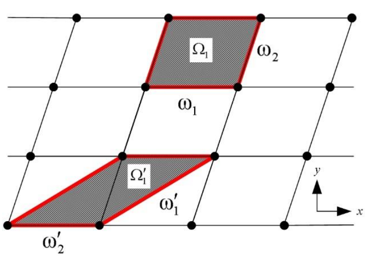


Рис. 7. Пример эквивалентных периодов

Понятие двоякопериодической ГС боле сложное, чем понятие двоякопериодической решётки периодов, поскольку кроме геометрических следует учитывать также физические и другие свойства отдельных фаз и компонентов. Например, приведенные на рис. 6 ГС являются в геометрическом смысле двоякопериодическими, однако они сохраняют двоякопериодичность свойств в более общем случае только тогда, когда физические параметры конгруэнтных систем тел, (например, проводимости), одинаковы.

Некоторые особенности определения двоякопериодической ГС проиллюстрируем на примере сложной ГС, показанной на рис. 8.

Дискретная фаза этой ГС представлена двумя крупными и четырьмя мелкими фракциями. Нетрудно видеть, что каждой фракции соответствует один и тот же набор эквивалентных периодов, показанных на рис. 9, а-е. Отметим, что в рассматриваемом случае в каждый из параллелограммов периодов входит по одному элементу дискретной фазы, а площади эквивалентных параллелограммов периодов одинаковы. Эти свойства сохраняются при параллельном сдвиге любого из приведенных параллелограммов в произвольном направлении.

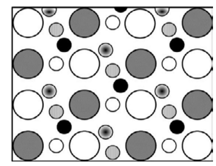


Рис. 8. Пример сложной двоякопериодической ГС

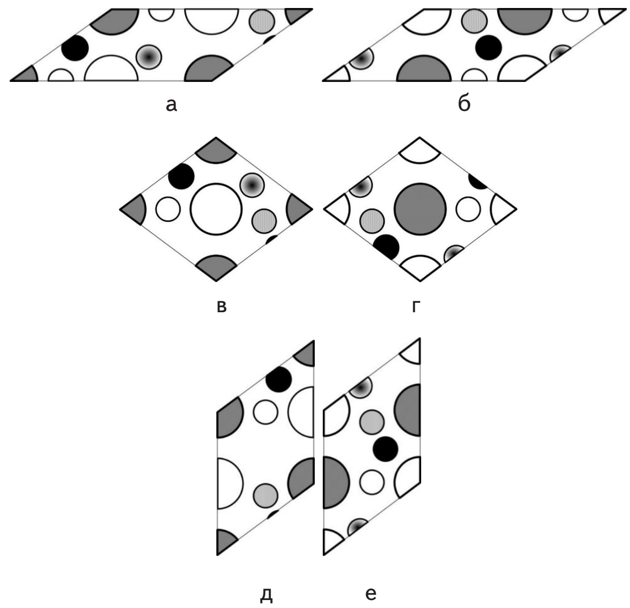


Рис. 9. К определению набора эквивалентных периодов для каждой фракции на примере ГС приведенной на рис. 8: а - е — эквивалентные основные параллелограммы периодов

С учётом сказанного приведенная на рис. 10, а ГС [13] является двоякопериодической, а на рис. 10, б – не двоякопериодической. Последнее вытекает из того, что основные периоды различных фракций не совпадают.

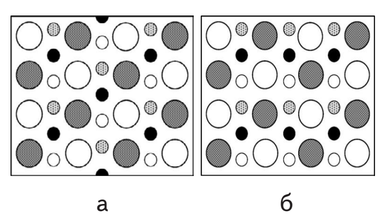


Рис. 10. Примеры многокомпонентных ГС: а — двоякопериодическая; б — недвоякопериодическая

Этот подход можно распространить и на более общие случаи ГС. Например, на рис. 11 показана двоякопериодическая ГС, которую можно рассматривать как наложение двух ГС с различными парами периодов: $\omega_1/2$, $\omega_2/2$ для ГС из рис. 12, а и ω_1, ω_2 для ГС из рис. 12, б.

В данном случае примитивные периоды ГС рис. 12, а кратны с коэффициентом кратности 2 примитивным периодам ГС рис. 12, б. Очевидно, рассмотренный пример легко обобщить на случай произвольных значений коэффициентов кратности, причем не обязательно одинаковых для основных периодов.

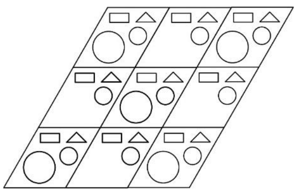
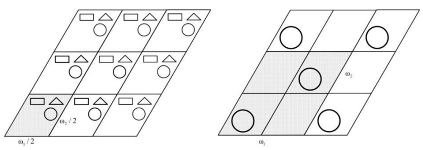


Рис. 11. Пример многокомпонентной ГС



а б

Рис. 12. Составляющие многокомпонентной ГС, приведенной на рис. 11: а — пара периодов $\omega_1/2$, $\omega_2/2$; б — пара периодов ω_1, ω_2

5. Апробация результатов исследований

Представляет интерес формулирование универсального условия двоякопериодичности некоторой многокомпонентной ГС, составленной из ряда правильных ГС более низкого уровня. Сначала рассмотрим вопрос о расчете глобальных периодов многокомпонентной ГС. Пусть задано множество Ω примитивных решёток $\boldsymbol{\omega}^i = \omega_1^i, \omega_2^i$, где i=1, 2, 3...P. В простейшем случае, когда $\omega_1^i = n^i\tilde{\omega}_1, \omega_2^i = m^i\tilde{\omega}_2$, где n^i, m^i – произвольные натуральные числа, глобальные периоды ω_1, ω_2 всегда существуют и определяются следующим образом. Обозначим через N и M наименьшие общие кратные для множеств чисел $\{n^i\}, \{m^i\}$: $N = НОК(n^1, n^2, ..., n^P)$, $M = НОК(m^1, m^2, ..., m^P)$. Тогда $\omega_1 = N\tilde{\omega}_1$, $\omega_2 = M\tilde{\omega}_2$. Например, пусть $\boldsymbol{\omega}^1 = \frac{3}{7}, \frac{2j}{5}$; $\boldsymbol{\omega}^2 = \frac{5}{7}, j$, что эквивалентно $\boldsymbol{\omega}^1 = 3\cdot\frac{1}{7},\ 2\cdot\frac{j}{5}$; $\boldsymbol{\omega}^2 = 5\cdot\frac{1}{7}, 5\cdot\frac{j}{5}$, т.е. $n^1 = 3, n^2 = 5, m^1 = 2, m^2 = 5, \tilde{\omega}_1 = \frac{1}{7}, \tilde{\omega}_2 = \frac{j}{5}$; при этом $N = НОК(3, 5) = 15$, $M = НОК(2, 5) = 10$. Таким образом $\omega_1 = N\tilde{\omega}_1 = \frac{15}{7}$, $\omega_2 = M\tilde{\omega}_2 = 2j$.

В более общем случае может потребоваться переход от заданных примитивных решеток к эквивалентным согласно методике, приведенной выше. Если преобразованное таким образом множество исходных решеток удается привести к виду $\omega_1^i = n^i\tilde{\omega}_1, \omega_2^i = m^i\tilde{\omega}_2$, то $\omega_1 = N\tilde{\omega}_1, \omega_2 = M\tilde{\omega}_2$. В противном случае для заданного множества Ω примитивных решёток не существуют глобальные периоды ω_1 и ω_2. Пусть, например, $\boldsymbol{\omega}^1 = \frac{3}{7}+\frac{2j}{5}, -\frac{3}{7}$; $\boldsymbol{\omega}^2 = \frac{5}{7}+j, j$. Очевидно, данное множество периодов невозможно привести к виду $\omega_1^i = n^i\tilde{\omega}_1, \omega_2^i = m^i\tilde{\omega}_2$ (*i*=1, 2). Однако при переходе к эквивалентным периодам $\boldsymbol{\omega}_э^1 = \frac{3}{7}, \frac{2j}{5}$ (которые, как легко проверить, получаются при α=6/5, β=-2, γ=-6/5, δ=3) и $\boldsymbol{\omega}_э^2 = \frac{5}{7}, j$ (при α=1, β=0, γ=1, δ=1) – приходим к примеру приведенному выше.

Приведенное выше условие двоякопериодичности относится к двоякопериодическим множествам точек. Очевидно, это условие можно распространить и на сложные ГС. Единственным ограничением здесь является исключение наложения (перекрытия) включений, содержащихся в разных примитивных решетках.

6. Выводы

1. Предложена классификация гетерогенных структур, основанная на различии геометрических и физических параметров компонентов, масштабов включений, типом происхождения и агрегатного состояния, назначением, областью применения и др.

2. Для двумерных упорядоченных структур сформулировано универсальное условие двоякопериодичности сложной многокомпонентной гетерогенной среды, полученной объединением произвольного количества правильных структур более низкого уровня. Это условие может быть полезным как при композиции, так и при декомпозиции в процессе анализа таких структур.

Литература

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А. Г. Касаткин. – М.: Госхимиздат, 1961. – 831 с.
2. Островский, Г. М. Прикладная механика неоднородных сред [Текст] / Г. М. Островский. – СПб.: Наука, 2000. – 359 с.
3. Бекман, И. Н. Феноменологическая теория диффузии в гетерогенных средах и ее применение для описания процессов мембранного разделения [Текст] / И. Н. Бекман, И. П. Романовский // Успехи химии. – 1988. – Вып. 6. – С. 944–958.
4. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников [Текст] / А. В. Нетушил, Б. Я. Жуховицкий, В. Н. Кудин, Е.П. Парини. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 480 с.
5. Емец, Ю. П. Электрические характеристики композиционных материалов с регулярной структурой [Текст] / Ю. П. Емец. – К.: Наукова думка, 1986. – 192 с.

6. Толмачев, С. Т. Однородное поле, возмущенное периодической системой круговых цилиндров [Текст] / С. Т. Толмачев // Теоретическая электротехника: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1977. – Вып. 23. – С. 97–106.
7. Толмачев, С. Т. Однородное поле, возмущенное периодической системой эллиптических цилиндров [Текст] / С. Т. Толмачев // Теоретическая электротехника: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1978. – Вып. 24. – С. 96–105.
8. Толмачев, С. Т. Расчет потенциала в прямоугольной пространственной системе сферических элементов, помещенных во внешнее однородное поле [Текст] / С. Т. Толмачев // Электричество. – 1974. – № 10. – С. 30–33.
9. Толмачев, С. Т. Потенциальное поле в периодической системе взаимодействующих сфероидов [Текст] / С. Т. Толмачев // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1975. – № 1. – С. 52–61.
10. Емец, Ю. П. Эффективные параметры многокомпонентных диэлектриков с гексагональной структурой [Текст] / Ю. П. Емец // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, вып. 1. – С. 51–59.
11. Вайнштейн, Б. К. Современная кристаллография [Текст]. Т. 1. Симметрия кристаллов. Методы структурной кристаллографии / Б. К. Вайнштейн. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
12. Гурвиц А. Теория функций / А. Гурвиц, Р. Курант. – М.: Наука, 1968. – 648 с.
13. Безымянный, Ю. Г. Методология акустического контроля многофазных гетерогенных материалов [Текст] / Ю. Г. Безымянный // Сборник трудов акустического симпозиума «КОНСОНАНС-2005». Киев, 27-29 сентября 2005 г. – Киев, 2005. – С. 50-55.

УДК 621.382.001.2

ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БАГАТОЗАРЯДНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ АРСЕНІД ГАЛІЮ В СТРУКТУРАХ ПРИЛАДІВ І СХЕМ

С. П. Новосядлий
Доктор технічних наук, професор*
E-mail: nsp@mail.pu.if.ua
Л. В. Мельник
Аспірант*
E-mail: lj-3d@rambler.ru
Т. П. Кіндрат
Аспірант*
E-mail: nsp@mail.pu.if.ua
*Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76025

Метою даної статті є систематизація даних про основні закономірності процесів іонного легування арсеніду галію, аналіз впливу технологічних факторів на параметри імплантованих шарів, використання методів іонної імплантації в тому числі високоенергетичної багатозарядної при формуванні приладних структур швидкісних великих інтегральних схем на арсеніді галію

Ключові слова: іонне легування, багатозарядні домішки, напівізолюючий арсенід галію

Целью данной статьи является систематизация данных об основных закономерностях процессов ионного легирования арсенида галлия, анализ влияния технологических факторов на параметры имплантированных слоев, использование методов ионной имплантации в том числе высокоэнергетической многозарядного при формировании приборных структур скоростных больших интегральных схем на арсениде галлия

Ключевые слова: ионное легирование, многозарядные примеси, полуизолирующий арсенид галлия

1. Вступ

Промислове освоєння технології іонного легування на арсеніді галію сьогодні вимагає рішення декількох специфічних задач, основними із яких є :

- зниження вартості і покращення якості вихідного матеріалу і підкладок великого діаметру (>100 мм);
- модифікація сучасного автоматизованого обладнання, яка обумовлена великою в порівнянні з кремнієм (майже в 2,7 рази) масою пластин GaAs , їх хрупкості і прозорістю високоомного матеріалу в ІЧ-діапазоні;
- забезпечення ефективного відведення тепла від структур GaAs в процесі обробки і експлуатації внаслідок низької теплопровідності матеріалу (складає близько 35% від теплопровідності Si);
- розробки методів багатозарядної імплантації і відпалу домішок для зниження дефектів в структурах ВІС.