

## **V. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ**

---

---

УДК 502.08

В. А. Игнатюк<sup>1</sup>, С. С. Ничипоренко<sup>2</sup>

### **СТАРЕНИЕ И ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРНОЙ РЕЛАКСАЦИИ В СТЕКЛАХ**

---

---

*Авторы анализируют применение информодинамического метода как универсальный индентификатор оценки характера порядок беспорядок различных решеточных систем. Рассмотрена возможность его применения и для диэлектрических стекол.*

**Ключевые слова:** информодинамика, ближний порядок, ядро, стеклообразное состояние, граф, перколяция

Одним из широко распространенных методов анализа упорядочения является корреляционно-спектральный. Если иметь в виду формулировку критерия дальнего упорядочения в этих терминах, то можно говорить об

---

<sup>1</sup> © Виктор Александрович Игнатюк, профессор кафедры Электроники Института информатики и бизнес систем Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, 690014, Россия, E-mail: viktor.ignatyuk@vvsu.ru.

<sup>2</sup> © Сергей Сергеевич Ничипоренко, аспирант кафедры Электроники Института информатики и бизнес систем Владивостокского государственного университета экономики и сервиса.

остаточных корреляциях. Для описания поведения процессов релаксации и старения удобно ввести критические индексы  $\gamma$ . Тогда условие дальнего действия в нулевой корреляционной асимптотике сведется к требованию  $\gamma \leq 1$ . В своих работах авторы этого метода [1,2] описывают феномен, когда в разупорядоченных неравновесных средах возникает многомасштабная иерархия пространственных неоднородностей. Удалось показать, что при таких условиях дальний порядок реализуется сеточной иерархией естественных неоднородностей мезомасштабного уровня [1]. С точки зрения математической, корреляционно-спектральный подход построен на ансамбле отдельностей, фрагментов, а корреляция сама по себе призвана учесть взаимосвязи между отдельностями, ячейками и т.д.

Однако, наряду с алфавитом отдельностей, структурных единиц, главным в сеточных системах является понятие соседства, смежности, инцидентности [2]. В таком случае, сеточные, решеточные системы удобно отображать в координационные древесные графы Кейли (ДГК), которые были систематически изучены в ряде работ [3-4]. В применяемом инфомодинамическом методе ДГК изучаются при помощи теории перечисления графов, которая подразумевает симплициальную декомпозицию. Образуются перечисляющие полиномы на каждом уровне иерархии ДГК. При помощи операции нормировки перечисляющие полиномы естественным образом преобразуются в вероятностную форму и выступают уже как распределения кустов ДГК по соответствующим ветвистостям. На ДГК решается задача перколяции в нетрадиционном понимании (т.н. собственная задача перколяции), которая может рассматриваться как в терминах перечисляющих структур, так и в форме различных скалярных сверток, функционалов от них. Например, можно выделить различные моменты и рассматривать их перколяцию по уровням иерархии ДГК. Для поиска более устойчивых, фундаментальных характеристик перколяции необходимо пользоваться свертками другого типа, а именно, мы решили остановиться на энтропийных и дивергентных функционалах (инфомодинамических). Именно в терминах энтропийных, дивергентных функционалов можно дать оценку степени координационного упорядочения сеточных, решеточных систем. Предлагаемый нами инфомодинамический метод позволяет высказать надежду, что он может быть универсальным количественным идентификатором характера порядка-беспорядка любых решёточных, сеточных систем.

Сеточные мезоструктуры — это многомасштабные иерархические поля флуктуаций плотности материала, состава в многокомпонентных сплавах. Над атомным уровнем надстраивается иерархия масштабов сеточных подсистем. Следующим масштабным уровнем с верхней границей  $30\div 50\text{\AA}$  является так называемая стохастическая волновая структура

(СТВС), затем в интервале  $10^2 \div 10^4 \text{ \AA}$  — иерархия собственно подсеток. На «микронном» уровне (макроуровне) в основном существуют структурно-морфологические подсистемы. Ясно, что вышеуказанные пространственные неоднородности должны сопровождаться и характерными временными масштабами. В наших работах устанавливались законы вложения масштабных уровней, характерные симметричные соотношения в ИСС (геометрические прогрессии, «золотой» вурф и прочие нетрадиционные характеристики симметрии). В частности, СТВС является характерной волноподобной модуляционной системой. Ее ДКФ обладают галодифракцией, типичной для аморфных сред. Аморфное разупорядочение не может быть синтезировано при помощи аддитивных алгоритмов численного моделирования. Сеточные системы нельзя свести к ансамблю даже взаимодействующих ячеек. Разбиение сеток на ячейки «убивает» сеточную систему. Ее нужно изучать в целом с привлечением соответствующих декомпозиционных методов.

Было доказано, что лабиринтная система микропор (ЛСМП) может обуславливать некоторые коллективные свойства в большей степени, чем зеренная компонента. Надо стремиться получить достаточно низкоэнтропийную ИСС на мезоуровне, что позволит скомпенсировать, хотя бы частично, процессы структурно-топологической деградации на атомном уровне. Необходимо отказаться от концепции абсолютной «дефектной» чистоты в изделиях микро-, нано- электроники. ИСС естественных мезодефектов позволит существенно затормозить кинетику процессов диффузионной гомогенизации, консервативного старения, а также элиминировать энтропийное влияние эксплуатационных воздействий. В цитируемых работах [3] этот раздел кинетики разупорядоченных сред был назван системофизикой.

С точки зрения кибернетики и синергетики необходимо реализовать декомпозиционные методы в исследовании СС. Среди последних методов особую роль играет симплициальный класс декомпозиций. Он подразумевает разложение суперсистемы на иерархию подсистем, каждая из которых подобна в каком-либо смысле исходной суперсистеме. Очевидно, что применяя тот или иной метод симплициальной декомпозиции СС, мы дойдем до последнего нижайшего уровня, на котором будет присутствовать огромное число минимальных элементов. Нетрудно понять, что «атомарной» декомпозиции при анализе СС не должно быть в принципе. Нет простейших атомов, изучая которые, можно понять действие СС. Категория взаимодействия таких ИСС находит экспликант в категории подчинения-командования. Адекватное математическое представление ИСС найдено нами в формализме древесных графов Бете, Кейли. Древесно-графовое представление ИСС дает возможность количественно подойти к категории их сложности. Очевидно, сложнее то дерево, которое содержит

больше уровней и обладает большей ветвистостью парциальных кустов. Из этих характеристик необходимо построить функционал, отражающий степень сложности ИСС [4].

Однако ячеистая топология ансамбля подсеток вовсе не предполагает наличие «границ раздела». Это просто градиенты, перепад плотности материала волноподобного типа. Они характеризуются определенными нечеткими диффузными границами, которые являются чисто топологическими, геометрическими. Это совсем не третья фаза. Именно инициация амплитуды волноподобных образований полностью укладывается в спинодальную схему. При этом нет необходимости выдумывать неизвестные ранее дальнедействующие силы. Открытые нами сеточные иерархии топологических неоднородностей характеризуются и средними, и дальними масштабами. Первичной структурой подобного типа является стохастическая волновая структура [5]. Средний размер этой модуляционной волноподобной структуры составляет 3-5 нм. Он на порядок выше атомного масштаба. Масштабы, превышающие 100 Å и меньшие нескольких микрон, мы назвали мезомасштабами. Важно подчеркнуть, что, как показано в работах [6, 7, 8], на всех указанных объектах при соответствующих способах приготовления в качестве реакции среды получалась мезомасштабная сеточная система. С точки зрения методологии, подобная общность синергетического эффекта, как реакция на сильную неравновесность, указывает на фундаментальный принцип универсальности. Для подтверждения данных положений нами были рассмотрены сеточно-кластерные структуры изученных ранее диэлектрических стекол различных систем с содержанием металлических включений [10]. Данные стекла имеют подобную структуру. В них выделены три уровня порядка [10-11]. Основу структуры ближнего порядка халькогенидных и фтороцирконатных стекол составляет ядро, содержащее 15-30 атомов и сохраняющее основные элементы кристаллографической симметрии фаз пар атомов. Ядро образовано короткими спиральными цепями пар атомов (Se-S, Se-Te, ZrF<sub>4</sub>), сшитыми между собой связями третьей компоненты. Несколько ядер (3-5) образуют «порядок» более низкого уровня — мезоуровня-кластер, содержащий остаточное число элементов симметрии, повышенное содержание трехцентровых и свободных (оборванных) атомных связей. Макропорядок в стекле формируется сращиванием кластеров и приводит к образованию пор, повышенному содержанию свободных связей.

Формирование макропорядка — основной механизм понижения плотности, твердости и других механических свойств аморфного материала.

Анализ данных структур позволяет сделать вывод, что и здесь установлен эффект локальной внутриуровневой межкустовой пересекаемости, который приводит к существованию фракталов

Мандельброта с «винеровской» топологией. СкМ можно рассматривать как фрактальное обобщение гладких фронтов Гюйгенса. Рассмотрена совместная перколяция во фронтально-лучевом представлении перечисляющих структур на ДГК и энтропийных функционалов на них. Именно энтропийная перколяционная зависимость и служит той универсальной мерой, благодаря которой можно диагностировать характер дальнего упорядочения решёточных и сеточных систем. Перколяция энтропийного функционала на квартетном алфавите  $[2q \times 2p]$  имеющая осцилляторно-волновой характер применима и к данным объектам. Это и есть имманентное свойство пентасимметричной мозаики Пенроуза.

Предлагаемый информодинамический метод позволяет высказать надежду, что он может быть универсальным количественным идентификатором характера порядка-беспорядка любых решёточных, сеточных систем, в том числе и для описываемых объектов.

- 
1. Биллингслей П. Эргодическая теория и информация. М.: Мир, 1969. 240с.
  2. Бонгард М. М. Проблемы узнавания. М.: Наука, 1967. 318 с.
  3. Братковский А. М., Данилов Ю. А., Кузнецов Г.И., ФММ, 68 (1989), 1045.
  4. Вайзин Дж. В. Классификация и кластер. М.: Мир, 1980. 392с.
  5. Юдин В. В., Щеголева С. А. Аморфные пленки, стекла, квазикристаллы как сложные системы // Тез. докл. VI Междисциплинарного семинара «Фракталы и прикладная синергетика». Москва, 2005.
  6. Юдин В. В., Щеголева С. А., Писаренко Т. А. Кинетика процессов термической релаксации сеточных систем мезодефектов Co-Ni-P аморфных пленок в модели случайных потоков // ФТТ. 2001. Т.43. №11. С.1991-1998.
  7. Юдин В. В., Щеголева С. А., Титов П. Л., Михалюк А. Н., Панов Е. С. Фрактальная радиационная кинетика аморфных плёнок с развитой наноструктурой / Тезисы XI Международной конференции «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы», Ульяновск: УлГУ, 2009. с.296.
  8. Ingersent K. and Steinhardt P. J., Matching rules and Growth rules for pentagonal quasicrystal tilings // Phys. Rev. Lett. **64** (1990), 2034.
  9. Игнатюк В.А., О природе процессов структурной релаксации в стеклах. Территория новых возможностей, Вестник ВГУЭС, №4,2009
  10. Игнатюк В.А., Исследование струк-ры и проводимости олово содержащих фтороц. стекол , XLV Всероссийская межвуз.научно-техн.конф-ция, ТОВМИ, 2002 г.
  11. Игнатюк В.А., Рентгенодифракционное изучение стекла состава  $2ZrF_4$ ,», 1990.