

УДК 536.759, 537.312

Н.В. Юркович, М.І. Мар'ян

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

e-mail: marjan@univ.uzhgorod.ua

ДИСИПАТИВНІ СТРУКТУРИ ТА ПРОЦЕСИ САМООРГАНІЗАЦІЇ В НЕКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛАХ

Представлені дослідження дисипативних структур та процесів самоорганізації при переході в некристалічний стан, дії зовнішніх полів (електромагнітного випромінювання, температурного поля) в некристалічних напівпровідниках систем $As-S(Se)$. Встановлено формування під дією електромагнітного випромінювання у видимій області спектру ($\lambda = 0.63 \mu\text{м}$) при густинах потужності випромінювання $P \geq P_{\min} = 1 \text{ мВт/см}^2$ у некристалічних матеріалах систем $As-S(Se)$ неоднорідних просторових структур уздовж перерізу пучка. За експериментальними структурно-чутливими даними некристалічних тіл As_2S_3 з використанням алгоритмів Кохонена та Хебба теорії нейронних мереж визначено в залежності від швидкості охолодження спектр станів дисипативних структур у вигляді фрактала Кантора.

Ключові слова: аморфне тіло, дисипативна структура, фотоіндуковані перетворення, процеси самоорганізації, функціональне впорядкування.

Вступ

При значних відхиленнях системи від стану рівноваги або значних зовнішніх полях визначальну роль у формуванні впорядкування, створення і зберігання функціональної організації відіграють синергетичні ефекти та механізми трансформації енергії, що може бути досліджено з використанням ідей нерівноважної термодинаміки [1, 2]. Підхід до розгляду некристалічних твердих тіл, який ґрунтується на врахуванні процесів самоорганізації та утворенні дисипативних структур з різним рівнем просторово-часового впорядкування, перебуває на початковій стадії розробки. Чільне місце займають задачі, пов'язані з розробкою та одержанням некристалічних напівпровідникових матеріалів зі структурно-чутливими властивостями та різним рівнем необхідного просторового або просторово-часового (функціонального) впорядкування [3-5]. Даний підхід дає можливість, базуючись на єдиному фізичному принципі, описати формування некристалічних матеріалів, їх структуру та особливості взаємодії із зовнішніми чинниками при наявності процесів самоорганізації. Слід

очікувати також можливість одержання гіперчутливості дисипативних структур некристалічних середовищ, отриманих через процеси самоорганізації, та розвитку на вказаному явищі нового підходу до одержання реєструючих середовищ, розробки сенсорних пристроїв [6-8].

1. Формування дисипативних структур при дії електромагнітного випромінювання на некристалічні матеріали систем $As-S(Se)$

Проведені теоретичні дослідження процесів самоорганізації при переході в некристалічний стан, дії зовнішніх полів (електромагнітного випромінювання, температурного поля) в некристалічних напівпровідниках систем $As-S(Se)$. Розглянемо формування під дією електромагнітного випромінювання у видимій області спектру ($\lambda = 0.63 \mu\text{м}$) при густинах потужності випромінювання $P \geq P_{\min} = 1 \text{ мВт/см}^2$ у некристалічних матеріалах систем $As-S(Se)$ неоднорідних просторових структур уздовж перерізу пучка, які

визначаються геометрією електромагнітного поля. При відсутності засвітки окремі м'які атомні конфігурації N_{2_0} статистично рівномірно розподілені по об'єму зразка. Розглянуто випадок геометрії електромагнітного поля $E(r, t)$ падаючої нормально до поверхні шару некристалічного тіла (НКТ) уздовж осі z хвилі, для якого на поверхні $r(x, y)$ шару виділено напрямком, та випадок аксіально-симетричного поля з розподілом Гауса уздовж перерізу пучка. Динаміка зміни числа атомів у м'яких конфігураціях N_2 та температури T при дії випромінювання задається системою рівнянь:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = G - \frac{N_2 - N_{2_0}}{\tau_{rel}} + D \cdot \nabla^2 N_2, \quad (1)$$

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\chi \cdot \text{grad}(T)) + W(T) - Q(T), \quad (2)$$

де $G = \mathcal{P} \beta V / \hbar \omega$ – швидкість генерації атомів у м'які конфігурації (β – квантовий вихід; V – об'єм системи; $I = I_0 \exp(-\gamma \cdot z)$ – інтенсивність електромагнітної хвилі; γ – коефіцієнт поглинання; $P = E^2 / (s_0 t_p)$ – густина інтенсивності опромінення ($s_0 = \pi \cdot r_0^2$ – ефективний переріз пучка опромінення, r_0 – ефективний радіус пучка опромінення, t_p – час опромінення); τ_{rel} – час релаксації в метастабільний стан; D – коефіцієнт дифузії; ρ , C і χ – густина, теплоємність та коефіцієнт теплопровідності матеріалу відповідно; $W(T) = \gamma \cdot P$ – потужність лазерного теплового джерела; $Q(T)$ – теплообмін з оточуючим середовищем. Просторова варіація числа атомів у м'яких конфігураціях та температури системи при дії випромінювання впливають зворотнім чином на ширину квазізабороненої зони E_g та коефіцієнт поглинання випромінювання γ . Фотоіндукований приріст коефіцієнта поглинання $\Delta\gamma$ на частоті ω поглинання лазерного випромінювання в лінійному наближенні розраховується згідно співвідно-

шення $\gamma(\omega) = \gamma_0 + \Delta\gamma$, де γ_0 – коефіцієнт поглинання до опромінення, і визначається потужністю випромінювання P та структурно-чутливими параметрами матеріалу НКТ через зміну N_2 , T :

$$\Delta\gamma = \frac{1}{\hbar} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \omega} \right)_s \cdot (\beta_{N_2} (N_2 - N_{2_0}) + \beta_T (T - T_0))$$

Тут коефіцієнти β_{N_2} і β_T враховують зміну коефіцієнта поглинання при переході атомів у м'яку конфігурацію та при нагріванні. Встановлено, що у випадку значного оптичного поглинання (для халькогенідних склоподібних напівпровідників систем $As - S(Se)$ у видимій області спектру

$\gamma_0 \approx (10^2 \div 10^3) \text{ см}^{-1}$) існує область значень хвильового вектора,

$$k^2 \leq k_c^2 = \frac{(G_0 - G_{min})}{D \tau_{rel} G_{min}},$$

$$G_{min} = \frac{\gamma_0 \hbar}{\tau_{rel} \beta_{N_2} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \omega} \right)_s} \left(1 - \frac{\beta_T}{a_T \beta_{N_2}} \right), \quad a_T = \frac{\chi}{\rho C}, \quad (3)$$

в якій інкремент затухання $\lambda(k) = D(k_c^2 - k^2) \geq 0$. Це свідчить про втрату стійкості однорідного розподілу атомів у м'яких конфігураціях. Внаслідок цього при $G_0 \geq G_{min}$ формується і стає стійкою одномірна просторова структура розподілу атомів у м'яких конфігураціях у випадку лінійного поля опромінення або неоднорідна радіально-кільцева структура з числом променів $m = \frac{k_c^2 r_0^2}{4} - 1 = \frac{G_0 - G_{min}}{4 D \tau_{rel} G_{min}} \cdot r_0^2 - 1$ у випадку аксіальної симетрії поля. Період L_c та час життя τ_{life} утвореної неоднорідної структури визначаються співвідношеннями

$$L_c = 2\pi / k_c = \frac{2\pi}{\sqrt{(G_0 - G_{min}) / (D \tau_{rel} G_{min})}},$$

$$\tau_{life} = \left(\frac{(G_0 - G_{min})}{\tau_{rel} G_{min}} - D \cdot k^2 \right)^{-1} \quad (4)$$

і залежать від густини потужності випромінювання.

Проведені дослідження взаємодії електромагнітного випромінювання із шарами НКТ, отриманих в сильно нерівноважних умовах, та враховано можливість формування кластерів м'яких конфігурацій. При характерних значеннях параметрів електромагнітного випромінювання $He - Ne$ -лазера (густина потужності випромінювання $P = 1 \text{ мВт/см}^2 \div 1 \text{ Вт/см}^2$, частота випромінювання $\omega = 3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, ефективний радіус пучка $r_0 \approx 0.11 \text{ см}$) та параметрів некристалічних матеріалів систем $As - S(Se)$ для густини потужності випромінювання $G_0 > G_{\min}$, де $G_{\min} \approx 10^{17} \div 10^{18} \text{ квант/(см}^2 \cdot \text{с)}$, період дисипативної структури порядку $L_c \approx (10^{-2} \div 5) \text{ мкм}$, час життя дисипативної структури, яка формується на основі розподілу м'яких атомних конфігурацій $\tau_{life} \gg 1 \text{ с}$, а для дисипативної структури на основі розподілу кластерів м'яких конфігурацій $\tau_{life} \approx (10^{-5} \div 10^{-1}) \text{ с}$. Встановлено прояв дисипативних структур та процесів самоорганізації в особливостях поведінки оптичних та структурно-чутливих параметрів As_2S_3 та показана можливість керуваної зміни параметрів дисипативних структур як хімічним складом і умовами синтезу, так і параметрами електромагнітного випромінювання. Зокрема, фотоіндукований приріст коефіцієнта поглинання при розвитку нестійкості має порядок $\delta\gamma/\gamma_0 \approx 10^{-3} \div 4 \cdot 10^{-2}$. Електронно-мікроскопічні знімки структур, які формуються в As_2S_3 при дії електромагнітного випромінювання $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$, $P \leq 1.5 \text{ мВт/см}^2$, свідчать про наявність неоднорідних структур на просторових масштабах $(0.5 \div 0.9) \text{ мкм}$. Результати розрахунку для випадку аксіальної геометрії електромагнітного випромінювання з густиною потужності $P = 1.5 \text{ мВт/см}^2$ на шари As_2S_3 визначають число променів радіаль-

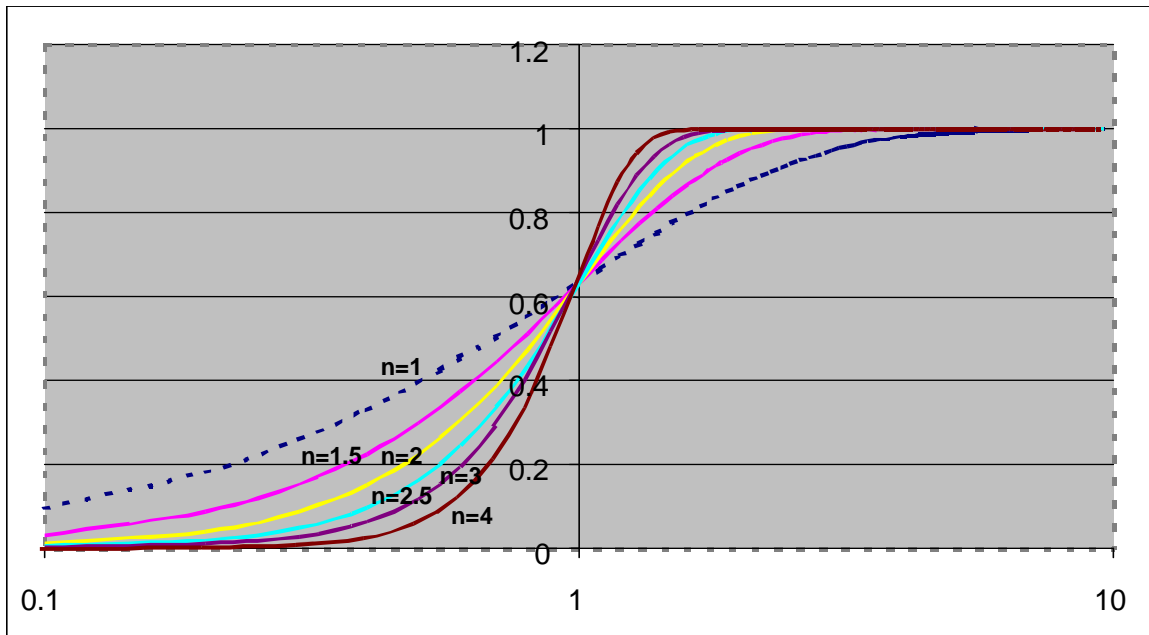
но-кільцевої структури $m = 34$, період структури $L_c \approx 1.2 \text{ мкм}$, що корелює з експериментальними даними [3, 4].

2. Інформаційна природа дисипативних структур в рамках моделі нейронних мереж

Вагомим серед моделей, які побудовані на принципах процесів самоорганізації, є моделі нейронних мереж [3]. Перспективність розробки нейронних мереж пов'язана з їх застосуванням при дослідженні дискретних динамічних систем обробки інформації, біосумісних напівпровідникових матеріалів твердотільної електроніки [1, 2]. Переваги застосування нейронних мереж (НМ) щодо моделювання впорядкування некристалічних матеріалів та інформаційної складової дисипативних структур в них обумовлено наступним. По-перше, НМ як і некристалічні тіла є відкритими системами з вхідними $x(\{x_1, x_2, \dots\})$ та вихідними $y(\{y_1, y_2, \dots\})$ сигналами: $y = f(x)$. Основу кожної НМ складають нейрони (елементи, комірки) [3, 4]. Кожен нейрон має групу синапсів – направлених вхідних зв'язків, сполучених із виходами інших нейронів, а також аксон – вихідний зв'язок даного нейрона (сигнал надходить на синапси наступних нейронів). Кожен синапс характеризується силою синаптичного зв'язку або його вагою w_i . Поточний стан нейрона визначається через суму його вхідів: $s = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i$. По-друге, вихід нейрона є функцією його стану: $y = f(x)$, де нелінійна функція $f(x)$ називається активаційною. Однією з найбільш поширених є нелінійна функція із насиченням – так звана логістична функція або сигмоїд [4]:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}$$

Наявність сигмоїдальної поведінки цілого ряду фізико-хімічних параметрів, зокрема при переході у некристалічний стан, низькотемпературних аномалій [5], є типовим прикладом та проявом активаційних процесів в НКТ (рис. 1).



Функція Аврамі $f(x)$ для різних n

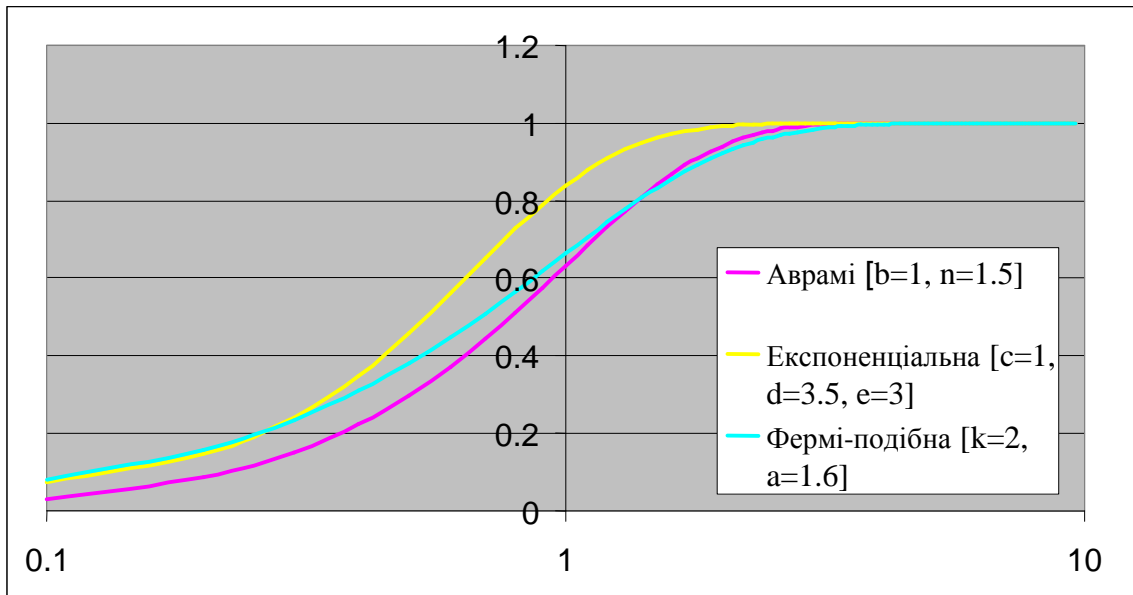


Рис. 1. Типи сигмоїдальних кривих в некристалічних системах (функція Аврамі $f(x) = 1 - \exp(-(b \cdot x)^n)$, експоненціальна функція $f(x) = c * \exp(-d * \exp(-e \cdot x))$, Фермі-подібна функція $f(x) = 1 - k / (1 + \exp(-a \cdot x))$).

По-третє, можливість опису за допомогою НМ гіперпростору та інформаційної складової дисипативних структур, що істотно при дослідженні функціонального впорядкування НКТ. Робота мереж зводиться до класифікації вхідних сигналів, що належать n -мірному гіперпростору за деяким числом класів (атракторів). З математичної точки зору це відбувається шляхом розбивки гіперпростору гіперплощинами. Кожна отримана область є областю визначення окремого класу. По-четверте, нейронна структура – це складна самоорганізована динамічна система зі змінни-

ми станами; інформація (образ) зберігається у вигляді динамічних послідовностей станів. Це дає змогу дослідити процеси самоорганізації, самоподібності та самоделювання в НКТ. Щодо самоделювання, то модель нейронних мереж може формувати внутрішню модель на основі матриці системи синапсів, яка і пов'язана з інформаційною складовою дисипативної структури та є результатом самоорганізації [6-8].

Нами розглянуто застосування НМ з алгоритмами Хебба, Кохонена [3, 6] до моделювання інформаційної складової

дисипативних структур НКТ. З використанням моделі НМ проведено моделювання впливу умов синтезу (швидкості охолодження q , температури гартування T_0) на температуру розм'якшення T_g та структурування даних – залежності

структурно-чутливих параметрів (густини, показника заломлення) від швидкості охолодження q для некристалічного As_2S_3 (табл.1).

Таблиця 1

Структурно-чутливі параметри некристалічного As_2S_3 , отриманого при різних температурах гартування T_0 (ρ – густина, E_g – ширина квазізабороненої зони на довжині хвилі $\lambda = 0.63 \mu\text{м}$, T_g – температура розм'якшення) [5]

T_0, K	$q, K/c$	$\rho, g/cm^3$	T_g, K	E_g, eV ($\gamma = 10^3 \text{ см}^{-1}$)
870	10^{-2}	3.201	463	2.20
	1.5	3.195	–	2.24
	$1.5 \cdot 10^2$	3.192	448	2.31
1120	10^{-2}	3.193	448	2.27
	1.5	3.190	–	2.34
	$1.5 \cdot 10^2$	3.183	441	2.36
1370	10^{-2}	3.192	443	2.32
	1.5	3.184	–	2.36
	$1.5 \cdot 10^2$	3.176	435	2.44

Слід зазначити, що вигляд відгуків на кожен клас вхідних зображень не відомий заздалегідь і буде певним сполученням станів нейронів вихідного шару при випадковому розподілі ваг на стадії ініціалізації. Мережа здатна узагальнювати схожі образи, відносячи їх до одного класу. Тестування навчання мережі дозволяє визначити топологію класів у вихідному шарі. Для приведення відгуків навчання мережі до зручного представлення мережу доповнено одним шаром, який за алгоритмом навчання одношарового перцептрона відображає вихідні реакції мережі в необхідні образи [4].

На першому етапі досліджувалось структурування за двома класами – ' $q < q_c$, термодинамічна вітка' та ' $q > q_c$, некристалічна вітка'. З цією метою задавались еталонні експериментальні дані $\{q, T_0, 1/\rho\}$ згідно табл. 1, які переводились у двійковий формат [6], та визначалась матриця синаптичного зв'язку для відповідних класів. Неструктуровані дані $1/\rho$ задавались в інтервалах $0 < q < 1.5 \cdot 10^{-2} K/c$ та $q > 1.5 \cdot 10^{-2} K/c$,

для них визначався розподіл за двома відповідними класами (рис. 2). На наступному етапі кластерування даних здійснювалось за чотирма можливими класами: $q < q_c$, $q \rightarrow q_c$, $q > q_c$, $q \gg q_c$. Таким чином, задавалась можливість кластерування даних в межах формування різних стійких станів (атракторів) НКТ, що еквівалентно формуванню дискретного спектру станів НКТ при різних зовнішніх контролюючих параметрах.

Введемо приведену швидкість охолодження $\tilde{q}_m = q/q_{\max}$, де q_{\max} – максимальна швидкість охолодження, яка визначається технологічними умовами одержання некристалічних матеріалів (наприклад, для розглядуваних халькогенідних склоподібних сполук $q_{\max} = 10^2 K/c$, для металічних стекол – $q_{\max} = 10^5 K/c$). Отже, діапазон зміни приведеної швидкості $0 \leq \tilde{q}_m \leq 1$. Відповідні рівні структурування за класами (спектри станів) приведені на рис. 2 у вигляді потенціального рельєфу станів та фрактального спектру станів.

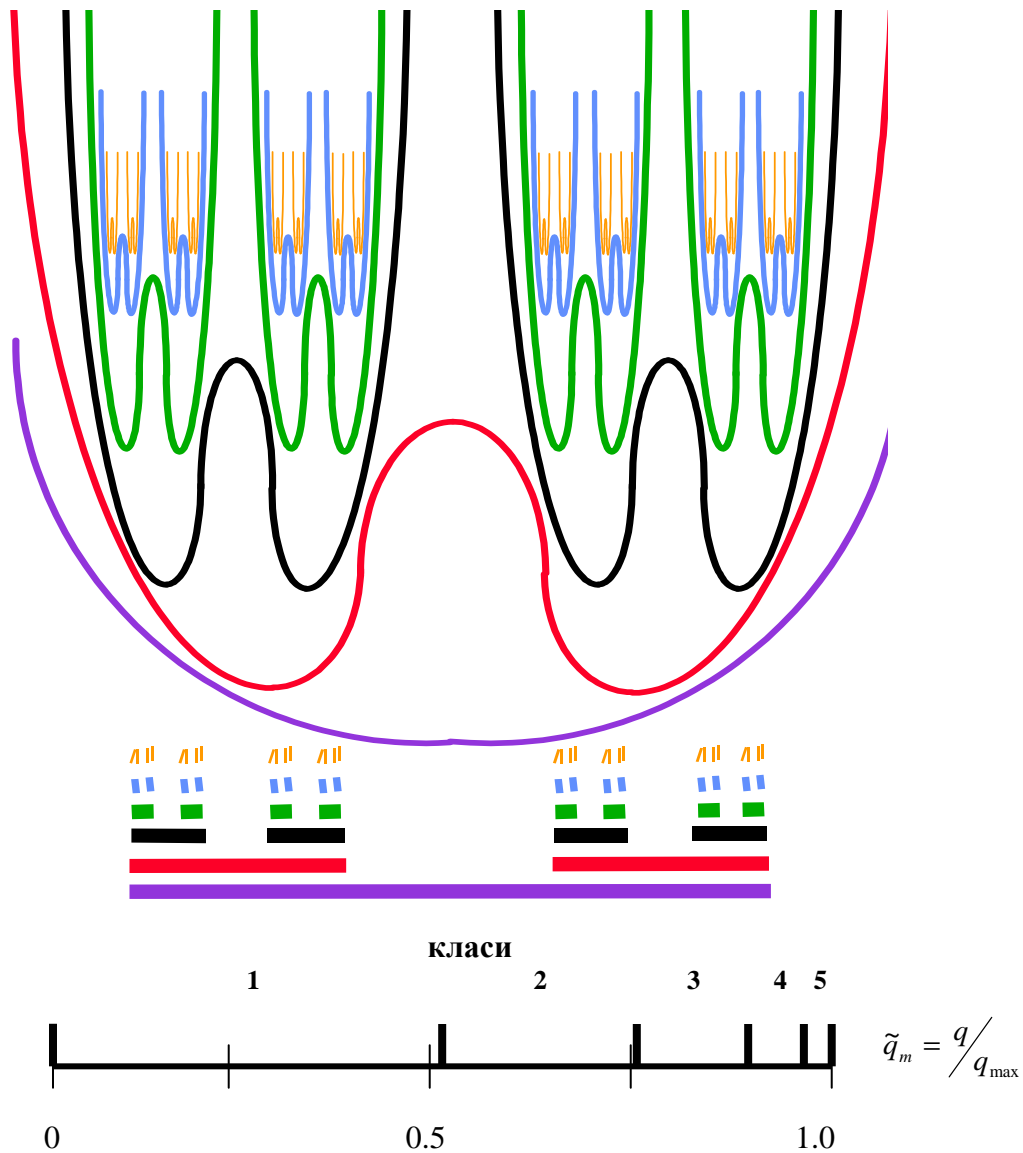


Рис. 2. Рівні структуривання станів дисипативних структур НКТ.

Структуривання стану НКТ при певному значенні зовнішнього параметра $q > q_c$ в рамках даного підходу задається у вигляді бінарного дерева, що відповідає визначеному в процесі формування „шляху” і відображає неергодичність некристалічного стану [7]. Так, до першого класу відносяться структури, отримані при $10^{-4} \leq \tilde{q}_m \leq 0.5$, до другого класу – $0.5 \leq \tilde{q}_m \leq 0.75$, до третього – $0.75 \leq \tilde{q}_m \leq 0.87$, до четвертого – $0.87 \leq \tilde{q}_m \leq 0.93$ і до п’ятого – $0.93 \leq \tilde{q}_m \leq 1$. Відмінність між НКТ, які належать до різних класів, на наш погляд, пов’язана з формуванням в залежності від технологічних умов одержання різних

типів дисипативних структур, що може бути виявлено, наприклад, за дослідженням фотоіндукованих змін структурно-чутливих параметрів. Слід відмітити, що застосування стандартної процедури апроксимації експериментальних даних дає змогу отримати функціональну залежність без структуривання даних.

Нижній рівень буде та структурується у верхній рівень за одним і тим самим алгоритмом; кожний наступний рівень визначається самоподібно до попереднього. Утворена таким чином фрактальна структура є фракталом Кантора з фрактальною розмірністю $d_f = 0.631$ [6]. Число рівнів структуривання визначає висоту фрактального дерева (для прикладу на рис. 2 приведено фрактали Кантора з

висотами рівнів 6, 8, 9 відповідно). Число рівнів структурування визначає число біфуркацій (оскільки перехід з одного рівня на інший є біфуркаційним процесом); фрактальним є сам процес формування НКТ (рис. 2). Неергодичність обумовлює асиметрію фрактального дерева і його виродження в один „шлях” структурування [8]. Проведене комп’ютерне моделювання із застосуванням моделей нейронних мереж дає змогу встановити функціональну залежність параметрів НКТ від приведеної швидкості охолодження наступним чином $f(\sigma) \approx \tilde{q}_m^{d_f}$ [9-12]. Як видно, при $\tilde{q}_m \rightarrow 0$ маємо $\sigma \rightarrow 0$ (рівноважний кристалічний стан). При $\tilde{q}_m \rightarrow 1$ формується фрактально некристалічна структура з $\sigma \neq 0$.

Висновки

Встановлено формування під дією електромагнітного випромінювання у видимій області спектру ($\lambda = 0.63 \mu\text{m}$) при густинах потужності випромінювання $P \geq P_{\text{min}} = 1 \text{ мВт/см}^2$ у некристалічних матеріалах систем $As-S(Se)$ неоднорідних аксіально-кільцевих структур уздовж перерізу пучка. На підставі аналізу інформаційних та ентропійних параметрів дисипативних структур показано, що процеси самоорганізації при переході в некристалічний стан, самоузгоджене виділення через процеси самоорганізації параметрів порядку можуть бути досліджені з використанням теорії нейронних мереж з алгоритмами Хебба та Кохонена.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. – 240 с.
2. Сугаков В.Й. Основы синергетики. К.: Оберіг, 2001. – 288 с.
3. Ditzinger T., Tuller B., Haken H., Kelso J.A.S. A synergetic model for the verbal transformation effect // Biological Cybernetics. – 1997. – 77(1). – P. 31 – 40.
4. Комиссаров В.И., Лопин В.Н. Дискретная динамическая модель нейронной сети с пространственно-временной организацией // Биофизика. – 1999. – 44(3). – С. 526-529.
5. Росола И.И., Зацаринная Т.А., Баранова Л.П., Химинец В.В. Влияние условий синтеза на физико-химические свойства стеклообразного As_2S_3 // Украинский физический журнал. – 1987. – 32(8). – С. 1256–1261.
6. Марьян М.И. Моделирование формирования диссипативных структур и алгоритмическая сложность некристаллических материалов // Сб. «Функциональные покрытия на стеклах», ННЦ ХФТИ «Контакт», Харьков. – 2003. – С. 51-55.
7. Mar'yan M., Szasz A., Szendro P., Kikineshy A. Synergetic model of the formation of non-crystalline structures // Journal of Non-Crystalline Solids, 351(2). – 2005. – P. 189-193.
8. Mar'yan M. Self-organizing processes and super sensibility of the dissipative structures in non-crystalline materials // 2nd International Scientific and Technical Conference «Sensors electronics and Microsystems technology». Odessa (Ukraine). – 2006. – P. 52.
9. Mar'yan M.I., Szasz A. Hyper sensibility of the dissipative structures and self-organizing processes in non-crystalline materials. XI international conference on physics and technology of thin films. Ivano-Frankivsk, May, 7-12, 2007. – P.70.
10. Mar'yan M.I., Szasz A. Super sensibility and self-organizing processes in non-crystalline semiconductors. III Ukraine Conference on semiconductors physics. Odessa, June, 17-22, 2007. P. 149.
11. Mar'yan M.I., Szasz A. Hyper sensibility of the dissipative structures and self-organizing processes in non-crystalline materials: quantum-mechanic description. – 3rd Int. Conf. Scientific and Technical Conf «Sensors electronics and

Microsystems Technology». Ukraine, Odessa, June 2-6, 2008. – P. 184.

12. Юркович Н.В., Мар'ян М.І. Процеси формування градієнтних структур на основі склоподібного Ge_2S_3 з

урахуванням технологічних режимів одержання. – Науковий вісник УжНУ. Серія Фізика, Вип. 28. – 2010. – С. 64-69.

Стаття надійшла до редакції 8.04.2011

Yurkovych N.V., Mar'yan M.I.

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

DISSIPATIVE STRUCTURES AND SELF-ORGANIZING PROCESSES IN NON-CRYSTALLINE MATERIALS

The investigation of the self-organizing processes at transition to the non-crystalline state and under the influence of external fields (electromagnetic radiation, temperature field) in non-crystalline materials is devoted. It was shown that such a dissipative structure with the hyper sensibility is formed under influence of electromagnetic radiation ($\lambda = 0.63\mu\text{m}$) at density

$P \geq P_{\min} = 1 \text{ mW} / \text{sm}^2$ in amorphous materials of $As - S(Se)$ systems. The nature of the bifurcation process of transition to a non-crystalline state on the basis of the theory of neural networks of Kohonen and Hebb are analysed at influence of velocity cooling. The structure bifurcation process of transition and functional dependence of structural-sensitive parameters f on velocity of cooling q in the form $f \approx q^{d_f}$ ($d_f = 0.631$ is fractal dimension of Kantor) are identified.

Key words: amorphous materials, dissipative structures, photoinduced transformation, processes of self-organization, functional ordering.

Н.В. Юркович, М.И. Марьян

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В НЕКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Представлены исследования диссипативных структур и процессов самоорганизации при переходе в некристаллическое состояние, воздействию внешних полей (электромагнитного излучения, температурного поля) в некристаллических полупроводниках систем $As - S(Se)$. Установлено формирование под действием электромагнитного излучения в видимой области спектра ($\lambda = 0.63\mu\text{m}$) при плотности мощности излучения $P \geq P_{\min} = 1 \text{ мВт} / \text{см}^2$ в некристаллических материалах систем $As - S(Se)$ неоднородных пространственных структур в поперечном сечении пучка. По экспериментальным структурно-чувствительным данным некристаллических тел As_2S_3 с использованием алгоритмов Кохонена и Хебба теории нейронных сетей определен спектр состояний диссипативных структур в зависимости от скорости охлаждения в виде фрактала Кантора.

Ключевые слова: аморфное тело, диссипативная структура, фотоиндуцированные превращения, процессы самоорганизации, функциональное упорядочение.