

УДК 615.47:616.073

Н.І. ЗАБОЛОТНА

## АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ БАГАТОШАРОВИХ ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЮЮЧИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ МЕРЕЖ

*Вінницький національний технічний університет,  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна  
E-mail: [Natalia.zabolotna@gmail.com](mailto:Natalia.zabolotna@gmail.com)*

**Анотація.** Розглянуто взаємозв'язок між Мюллер-матричним і поляризаційним картографуванням багатошарових двопротенезаломлюючих мереж. На основі моделювання координатних розподілів азимутів і еліптичностей двопротенезаломлюючих багатошарових мереж виявлені взаємозв'язки між їх статистичними, кореляційними і фрактальними характеристиками при збільшенні кількості шарів. Запропоновані результати є підґрунтям для розробки критеріїв диференціації оптичних властивостей багатошарових полікристалічних мереж.

**Аннотация.** Рассмотрена взаимосвязь между Мюллер-матричным и поляризационным картографированием многослойных двулучепреломляющих сетей. На основе моделирования координатных распределений азимутов и эллиптичностей выявлены взаимосвязи между их статистическими, корреляционными и фрактальными характеристиками при увеличении количества слоев. Предложенные результаты могут быть положены в основу разработки критериев дифференциации оптических свойств многослойных поликристаллических сетей.

**Abstract.** The relationship between the Mueller-matrix and polarization mapping of the multilayer birefringent networks considered. Based on modeling of coordinate distributions of azimuths and ellipticity are revealed the relationship between their statistics, correlation and fractal characteristics as the number of layers. The proposal results may be the basis for developing criteria for the differentiation of the optical properties of polycrystalline multilayer networks.

**Ключові слова:** поляризаційне картографування, багатошарові полікристалічні мережі, азимут поляризації, еліптичність поляризації, статистичний, кореляційний, фрактальний аналіз.

### ВСТУП

Формування нових цифрових детекторів реєстрації оптичного випромінювання забезпечило нові можливості у оптичній діагностиці структури фазово-неоднорідних біологічних об'єктів на основі статистичного, кореляційного, фрактального аналізу двовимірних розподілів станів поляризації. На цій основі створився і набув інтенсивного розвитку новий напрям – оптична когерентна томографія [1 - 5].

Для аналізу поляризаційно – неоднорідних зображень у межах цього напрямку діагностики запропонована новий підхід - лазерна поляриметрія оптико-анізотропної складової біологічних тканин [6 - 46]. Методи даного діагностичного напрямку базуються на аналізі впливу полікристалічних мереж одноосних двопротенезаломлюючих протеїнових фібрил на процеси формування поляризаційної структури лазерних зображень [6 – 8]. На цій методологічній основі знайдено взаємозв'язки між набором статистичних моментів 1 - 4 порядків і ступенем самоподібності (фрактальний, мультифрактальний або статистичний) розподілів напрямів оптичних осей та фазових зсувів сіток протеїнових фібрил двопротенезаломлюючої архітектоніки та статистичними і фрактальними параметрами розподілів станів поляризації лазерних зображень оптично тонких шарів біологічних тканин [6 – 10]. У результаті вдалось здійснити лазерну поляриметричну діагностику різноманітних патологічних (м'язової дистрофії, передракових станів сполучної тканини, колагенозів та ін.) станів біологічних тканин [8-11].

Мета даної роботи спрямована на пошук та аналітичне обґрунтування взаємозв'язків між статистичними, кореляційними і фрактальними підходами до поляриметричного аналізу процесів світлорозсіяння більш загальним типом об'єктів - багатошаровими структурованими полікристалічними мережами та створення на цій основі нових методів і систем діагностики структури складних мереж двопротенезаломлюючих біологічних структур. Даний тип біологічних об'єктів притаманний

морфологічній структурі широкого різноманіття фізіологічних органів людини, що являють собою суперпозицію шарів сполучної, м'язової, епітеліальної та нервової тканини.

### ОПТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОШАРОВИХ ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЮЮЧИХ МЕРЕЖ

Класично процес формування поляризації електромагнітної хвилі описує матричне рівняння трансформації вектора Стокса фазово-неоднорідними шарами [6, 7]

$$S^* = \{F\}S_0, \quad (1)$$

де  $S_0, S^*$  - вектора Стокса опромінюючого і об'єктного пучків;  $\{F\}$  – матриця Мюллера

$$\{F\}_j = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ 0 & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ 0 & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де

$$f_{ik}(\rho, \delta) = \begin{cases} f_{22} = \cos^2 2\rho + \sin^2 2\rho \cos \delta; \\ f_{23;32} = \cos 2\rho \sin 2\rho (1 - \cos \delta); \\ f_{33} = \sin^2 2\rho + \cos^2 2\rho \cos \delta; \\ f_{34;43} = \pm \cos 2\rho \sin \delta; \\ f_{24;42} = \pm \sin 2\rho \sin \delta; \\ f_{44} = \cos \delta. \end{cases} \quad (3)$$

Тут  $\rho$  - напрямок оптичної осі, що визначається напрямом укладання двоприменезаломлюючої фібрили;  $\delta = 2\pi/\lambda \Delta n d$  - фазовий зсув, який вноситься між ортогональними складовими амплітуди лазерної хвилі довжиною  $\lambda$ , що проходить крізь фібрилу з лінійним розміром геометричного перерізу  $d$  та показником двоприменезаломлення  $\Delta n$ .

Для найбільш загального стану еліптично поляризованої хвилі вектор Стокса має вигляд [12]

$$S_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 \\ \sin 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 \\ \sin 2\beta_0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де  $\alpha_0, \beta_0$  - азимут і еліптичність електромагнітної хвилі.

З урахуванням (1-3) можна записати вектор Стокса  $S^*$  у розгорнутому вигляді

$$S^* = \begin{pmatrix} 1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ f_{22} \cos 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 + f_{23} \sin 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 + f_{24} \sin 2\beta_0 \\ f_{32} \cos 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 + f_{33} \sin 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 + f_{34} \sin 2\beta_0 \\ f_{42} \cos 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 + f_{43} \sin 2\alpha_0 \cos 2\beta_0 + f_{44} \sin 2\beta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha \cos 2\beta \\ \sin 2\alpha \cos 2\beta \\ \sin 2\beta \end{pmatrix}. \quad (5)$$

На основі (5) одержимо вирази для визначення азимута  $\alpha$  і еліптичності  $\beta$  поляризації об'єктної електромагнітної хвилі

$$\alpha = 0,5 \arctg\left(\frac{S_3}{S_2}\right) \equiv u[f_{ik}(\rho, \delta), \alpha_0, \beta_0]; \quad (6)$$

$$\beta = 0,5 \arcsin(S_4) \equiv p[f_{ik}(\rho, \delta), \alpha_0, \beta_0]. \quad (7)$$

З аналізу співвідношень (6) і (7) випливає, що стан поляризації ( $\alpha, \beta$ ) кожної точки ( $X, Y$ ) зображення двошарової полікристалічної мережі визначається відповідними локальними орієнтаційно – фазовими ( $\rho, \delta$ ) параметрами. Іншими словами, за умови координатної неоднорідності розподілів  $\rho(X, Y)$  і  $\delta(X, Y)$  формується відповідне поляризаційно-неоднорідне зображення з розподілами  $\alpha(X, Y)$  і  $\beta(X, Y)$ . Останні, за умов одноразового розсіяння є поляризаційними “відбитками” орієнтаційно-фазової структури мережі біологічних кристалів, властивості якої визначають сукупністю Мюллер-матричних зображень  $f_{ik}(X, Y)$ .

Для випадку двошарової біологічної тканини з шарами  $\{Y\}, \{X\}$  матриця Мюллера має вигляд

$$\{F\} = \{Y\}\{X\}. \quad (8)$$

Зазначимо, що у багатьох оптико - медичних технологіях (оптична когерентна томографія, конфокальна мікроскопія [1 - 6]) дослідження структури біологічних об'єктів здійснюється на основі аналізу серії лазерних зображень (шарів багатошарової біологічної структури). Тому актуальним є пошук і діагностичне використання взаємозв'язку між Мюллер – матричним [7,8, 10,13] і поляризаційним [1 - 6, 8, 9, 11] картографуванням багатошарових полікристалічних мереж.

Було проведено комп'ютерне моделювання процесів формування координатних розподілів азимутів і еліптичностей поляризації зображень багатошарових двопроменезаломлюючих мереж різних типів. По аналогії з методикою моделювання, наведеною в роботах [8, 13, 14 ], як об'єкти дослідження використовувалися комбінації послідовно розташованих шарів плоско паралельних прямолинійних двопроменезаломлюючих циліндрів. Розглядалась система (кількість  $N = 55$ ) впорядкованих прямолинійних двопроменезаломлюючих ( $\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$ ) циліндрів з діаметром  $\otimes = 50 \mu m$ .

Багатошаровий об'єкт формувался шляхом обертання напряму ( $\theta$ ) укладання паралельних циліндрів на кут  $\Delta\theta = \frac{\pi}{q}$ , де  $q$  - кількість двопроменезаломлюючих шарів. Аналіз отриманих в результаті комп'ютерного моделювання поляризаційних мап ( $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$ ) багатошарової мережі, сформованої прямолинійними оптично одноосними двопроменезаломлюючими циліндрами (рис.1- ліві колонки), виявив:

- Незалежно від кількості шарів ( $q = 3; 5; 15$ ) поляризаційні мапи характеризуються координатно-неоднорідними розподілами з максимальним діапазоном зміни азимутів ( $-90^0 \leq \alpha \leq 90^0$ ) і еліптичності ( $-45^0 \leq \beta \leq 45^0$ ).
- Для  $q = 3$  координатні розподіли азимутів і еліптичності поляризації сформовані незамкненими лініями однакових значень  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$ .
- Для  $q = 5$  лінії однакових станів поляризації трансформуються у витягнуті вздовж геометричних осей двопроменезаломлюючих циліндрів замкнені контури.
- При  $q = 15$  для сукупності поляризаційних доменів ( $\alpha(X, Y) = const; \beta(X, Y) = const$ ) характерне збільшення ексцентриситету і формування двох переважних масштабів ( $40 \mu m \leq H \leq 100 \mu m$  і  $10 \mu m \leq h \leq 20 \mu m$ ) геометричних розмірів.

#### СТАТИСТИЧНИЙ, КОРЕЛЯЦІЙНИЙ І ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ КООРДИНАТНИХ РОЗПОДІЛІВ АЗИМУТІВ І ЕЛІПТИЧНОСТЕЙ ПОЛЯРИЗАЦІЇ МАП БАГАТОШАРОВИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ МЕРЕЖ

Для кількісної оцінки розподілів  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  визначаємо набори їх статистичних моментів 1-го – 4-го порядків [ 11]

$$M_1 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha; \beta)_j; M_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^2; \beta^2)_j};$$

$$M_3 = \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^3; \beta^3)_j; M_4 = \frac{1}{M_2^2} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha^4; \beta^4)_j,$$
(9)

Для кількісної характеристики автокореляційних залежностей  $K_{\alpha;\beta}(\Delta x)$  визначаємо: кореляційну площу та кореляційні моменти відповідно за формулами [ 11]:

$$S = \int_0^{X_0} K_{\alpha;\beta}(\Delta x) d(\Delta x);$$
(10)

$$Q_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K^2_{\alpha;\beta}(\Delta x))_j};$$
(11)

$$Q_4 = \frac{1}{Q_2^2} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K^4_{\alpha;\beta}(\Delta x))_j.$$
(12)

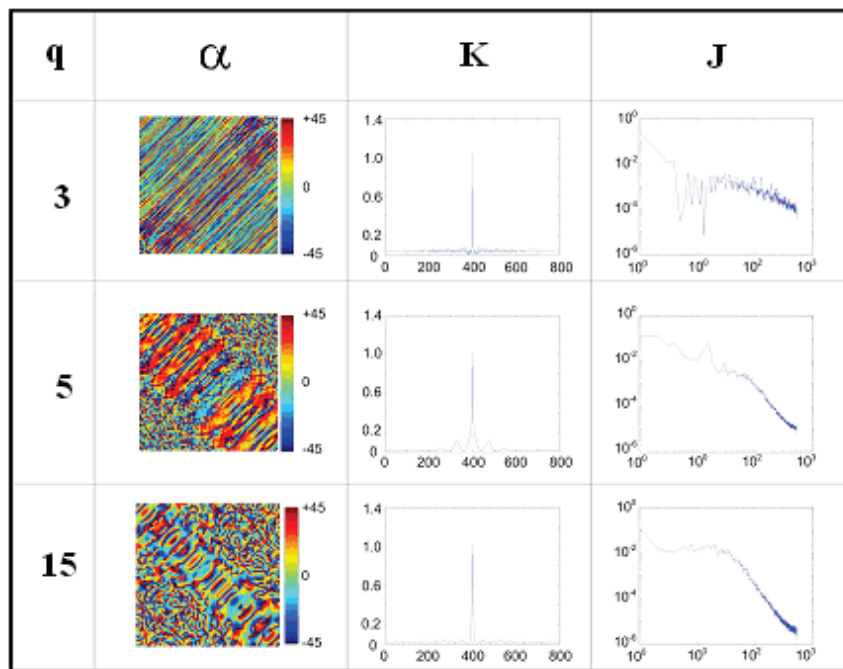
Фрактальний аналіз розподілів станів поляризації  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  зображень багат шарових двопротенезаломлюючих сіток полягає у такій послідовності дій [7, 11]:

- розраховувалися автокореляційні функції  $K_{\alpha;\beta}(\Delta x)$  і знаходилися відповідні спектри потужності  $PSD(\alpha; \beta)$  розподілів  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$ ;
- обчислювалися log-log залежності спектрів потужності  $\log PSD(\alpha; \beta) - \log(\nu)$  розподілів випадкових величин  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$ ;
- залежності  $\log PSD(\alpha; \beta) - \log(\nu)$  апроксимувалися методом найменших квадратів у криві  $\Phi(\alpha; \beta)$ , для прямих ділянок яких визначалися кути нахилу  $\eta_i$  і обчислювалися величини фрактальних розмірностей множин величин  $\alpha(X, Y); \beta(X, Y)$  за співвідношенням

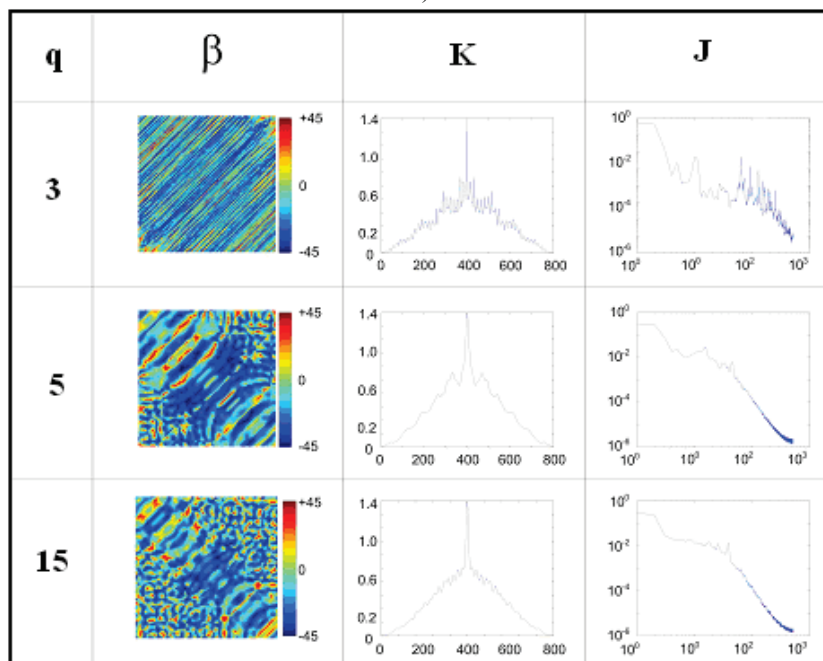
$$D(\alpha; \beta) = 3 - tg \eta_i.$$
(13)

Для кількісної оцінки розподілів логарифмічних залежностей  $\log PSD(\alpha; \beta) - \log(\nu)$  проводилось їх статистичне оцінювання на основі визначення набору статистичних (в подальшому спектральних  $J_{k=1;2;3;4}$ ) моментів згідно співвідношень (9).

З метою виявлення об'єктивних критеріїв аналізу поляризаційно-неоднорідних зображень багат шарових сіток оптично одноосних допротенезаломлюючих кристалів досліджувалася еволюція статистичних моментів  $M_{k=1;2;3;4}(\alpha, \beta)$ , кореляційних параметрів  $S(\alpha, \beta); Q_2(\alpha, \beta); Q_4(\alpha, \beta)$  і спектральних статистичних моментів  $J_{k=1;2;3;4}(\alpha, \beta)$ , які характеризують координатні розподіли азимутів ( $\alpha(X, Y)$ ) і еліптичності ( $\beta(X, Y)$ ) поляризації, автокореляційні функції  $K_{\alpha;\beta}(\Delta x)$  (рис.1, центральні колонки) і логарифмічні залежності  $\log PSD(\alpha, \beta) - \log d^{-1}$  спектрів потужності (рис. 1, – праві колонки) станів поляризації при збільшенні кількості шарів двопротенезаломлюючих сіток.



а)



б)

Рис. 1. Автокореляційні функції і логарифмічні залежності спектрів потужності координатних розподілів параметрів поляризаційних мап (а – азимутів, б – еліптичностей) багат шарової мережі прямолінійних двоприменезаломлюючих циліндрів

Проаналізуємо одержані результати з фізичної точки зору. Для незначної кількості ( $q = 3; 5$ ) парціальних шарів полікристалічної сітки участь в інтерференції приймають парціальні різнополяризовані хвильові фронти від близько розташованих ділянок двоприменезаломлюючих циліндрів.

Тому в формуванні поляризаційної структури ( $\alpha^*, \beta^*$ ) в кожній точці ( $X^*, Y^*$ ) такого поля переважну роль відіграє “ближній порядок” – фазова модуляція лазерного випромінювання в межах одного – двох циліндричних кристалів

$$\alpha^* = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^N E_y^{(i)}}{\sum_{i=1}^N E_x^{(i)}} = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^N E_0^{(i)} \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^N E_0^{(i)} \sin \alpha_i}; \quad (14)$$

$$\beta^* = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^N E_0^{(i)} (\cos \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i \sin \alpha_i)}{\sum_{i=1}^N E_0^{(i)} (\sin \alpha_i + \operatorname{tg} \beta_i \cos \alpha_i)}. \quad (15)$$

Тут  $N$  - кількість парціальних різнополяризованих  $(\alpha_i, \beta_i)$  фронтів з амплітудами  $E_0^{(i)}$ . Для двохвильової інтерференції таких хвиль можна записати

$$\begin{aligned} E_{12x} &= E_{1x} + E_{2x} + 2\sqrt{E_{1x}E_{2x}} \cos(\varphi_{12} + \delta_{12}); \\ E_{12y} &= E_{1y} + E_{2y} + 2\sqrt{E_{1y}E_{2y}} \cos \delta_{12}. \end{aligned} \quad (16)$$

Тут  $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n (d_1 - d_2)_{0 \div d}$  - високочастотна "оптична" різниця фаз між ортогональними складовими амплітуди  $E_0^{(i)}$ , сформована в межах одного двопронезаломлюючого циліндру діаметром  $d$ ;  $\varphi_{12} = \frac{2\pi}{\lambda} n_0 (s_1 - s_2)$  - низькочастотна "геометрична" різниця фаз, сформована відстанями  $S_i$  від точок поверхонь циліндрів та точки  $(X, Y)$  в площині інтерференції парціальних фронтів.

По мірі збільшення кількості шарів сітки прямолінійних оптично одноосних циліндрів кількість  $N$  парціальних фронтів когерентного випромінювання збільшується. Внаслідок цього, зростає вплив низькочастотних флуктуацій фази  $\varphi_{12}$  на формування координатних розподілів  $\alpha^*(X, Y)$  і  $\beta^*(X, Y)$ , випадкові значення яких усереднюються, а розміри поляризаційних доменів таким чином збільшуються.

При  $q = 15$  для інтерферуючих хвиль переважною є низькочастотна модуляція фаз  $\varphi(X, Y)$ . Тому, поляризаційні мапи такого поля являють собою стаціонарні домени ( $\alpha^*(X, Y) \approx \text{const}$  і  $\beta^*(X, Y) \approx \text{const}$ ).

З аналізу еволюції величин набору статистичних, кореляційних і фрактальних параметрів, які характеризують структуру розподілів азимутів і еліптичності поляризації зображень багат шарової двопронезаломлюючої сітки, зведених в таблицю 1, випливає:

- індивідуальна чутливість всіх статистичних  $M_{k=1;2;3;4}$ , кореляційних  $S$ ;  $Q_2$ ;  $Q_4$  і фрактальних  $J_{k=1;2;3;4}$  параметрів координатних розподілів значень азимутів  $\alpha$  і еліптичності  $\beta$  поляризації до особливостей структури зображення багат шарового структурованого полікристалічного об'єкту;
- діапазони зміни всього набору статистичних моментів  $M_{k=1;2;3;4}$  лежать у межах від 3,5 до 10 разів;
- діапазони зміни набору кореляційних параметрів  $S$ ;  $Q_2$ ;  $Q_4$  лежать у межах від 2 до 40 разів;
- діапазони зміни всього набору статистичних спектральних моментів  $J_{k=1;2;3;4}$  лежать у межах від 2 до 5 разів.

Таблиця 1.

Статистичні ( $M_{k=1;2;3;4}$ ), кореляційні ( $S$ ;  $Q_2$ ;  $Q_4$ ) і фрактальні ( $J_{k=1;2;3;4}$ ) параметри координатних розподілів  $\alpha(X, Y)$  і  $\beta(X, Y)$  зображень багат шарових сіток двопронезаломлюючих двопронезаломлюючих циліндрів

$q$	$\alpha(X, Y)$			$\beta(X, Y)$		
	$q = 3$	$q = 5$	$q = 15$	$q = 3$	$q = 5$	$q = 15$
$M_1$	0,77	0,79	0,83	0,08	0,15	0,28
$M_2$	0,27	0,21	0,14	0,26	0,34	0,57
$M_3$	0,32	0,59	1,48	0,23	0,46	0,72
$M_4$	0,24	0,42	0,87	0,34	0,58	0,91
$S$	0,05	0,07	0,095	0,11	0,13	0,15
$Q_2$	0,02	0,04	0,07	0,79	3,15	3,21
$Q_4$	6,44	5,18	4,23	3,49	2,68	2,02
$J_1$	0,83	0,78	0,74	0,71	0,81	0,85
$J_2$	0,38	0,24	0,21	0,43	0,29	0,25
$J_3$	1,97	0,61	0,47	2,17	0,84	0,63
$J_4$	1,52	0,84	0,67	1,92	0,81	0,44

### ВИСНОВКИ

1. Запропонована узагальнена модель оптико анізотропних властивостей багат шарових структурованих двопронезаломлюючих полікристалічних мереж на основі методу суперпозиції матричних операторів Мюллера для описання формування поляризаційно – неоднорідних зображень. Така модель розвиває та розширює теоретичний підхід до аналізу процесів формування поляризаційно – неоднорідних зображень оптично тонких моно шарів полікристалічних мереж.

2. На основі комплексного статистичного, кореляційного і фрактального підходу до аналізу поляризаційно – неоднорідних зображень багат шарових структурованих полікристалічних мереж тканин виявлено взаємозв'язки між тенденціями зміни величин набору статистичних, кореляційних і фрактальних параметрів, які характеризують розподіли азимутів і еліптичності поляризації, і кількістю парціальних шарів двопронезаломлюючих мереж. Одержана інформація є базовою для удосконалення аналізу лазерних зображень, сформованих із використанням техніки поляризаційно – чутливої когерентної томографії.

3. Виявлено статистичні, кореляційні і фрактальні критерії поляриметричної диференціації оптичних властивостей багат шарових структурованих полікристалічних сіток.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Johannes F. de Boer. Review of polarization sensitive optical coherence tomography and Stokes vector determination / Johannes F. de Boer, Thomas E. Milner // J. Biomed. Opt. – 2002. – Vol. 7. – P. 359-371.
2. Зимняков Д. А. Оптическая томография тканей / Д. А. Зимняков, В. В. Тучин // Квантовая электроника. – 2002. – №10. – С. 849-867.
3. Fercher A. F. Optical coherence tomography - principles and applications / A. F. Fercher // Rep. Prog. Phys. – 2003. – №66. – P. 239-303.
4. Yasuno Y. Birefringence imaging of human skin by polarization-sensitive spectral interferometric optical coherence tomography / Y. Yasuno, S. Makita, Y. Sutoh, M. Itoh, T. Yatagai // Opt. Lett. – 2002. – Vol.27. – P. 1803-1805.
5. Pierce M. C. Birefringence measurements in human skin using polarization-sensitive optical coherence tomography / Mark C. Pierce, John Strasswimmer, B. Hyle Park, Barry Cense, Johannes F. de Boer // J. Biomed. Opt. – 2004. – Vol.9. – P. 287-291.
6. Ushenko A.G. Laser Polarimetry of Biological Tissue: Principles and Applications / Alexander G. Ushenko and Vasilii P. Pishak [edited by Valery V. Tuchin] // Handbook of Coherent-Domain

- Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental and Material Science. – Kluwer Academic Publishers, 2004.-Vol. 1. – P. 93-138.
7. Statistical and Fractal Structure of Biological Tissue Mueller Matrix Images / O. V. Angelsky, A. G. Ushenko, Yu. A. Ushenko, V. P. Pishak [edited Oleg V. Angelsky] // Optical Correlation Techniques and Applications.- Washington: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers , 2007. – P. 213-266.
  8. Основи лазерної поляриметрії.- Ч.1.: Біологічні тканини людини / [Ушенко О.Г., Ушенко Ю.О., Томка Ю.Я. та ін.]; під ред. О.Г. Ушенка.- Чернівці: Чернів. нац. ун-т. 2010. – 588 с.
  9. Angel'skii O.V. Polarization-Phase Visualization and Processing of Coherent Images of Fractal Structures of Biotissues / O.V. Angel'skii , A.G. Ushenko, A.D. Arheluk [and all] // Journal of Applied Spectroscopy. – 2000. - Vol. 67(5). - P. 919-923.
  10. Ushenko A.G. Evolution of Statistic Moments of 2D-Distributions of Biological Liquid Crystal Net Mueller Matrix Elements in the Process of Their Birefringent Structure Changes / A.G. Ushenko, I. Z.Misevich, V. Istratiy [and all] // Advances in Optical Technologies.- 2010.- Vol. 2010, Article ID 423145, 2010.
  11. Заболотна Н.І. Принципи і методи поляризаційного картографування біологічних тканин / Н.І. Заболотна, Б.П. Олійниченко // Фотобіологія та фотомедицина. – 2010. - №3,4. – С.84 – 90.
  12. Ushenko A.G. Stokes-correlometry of biotissues / A.G Ushenko // Laser Physics. – 2000. - Vol. 10(5),. – P.1286-1292.
  13. Ушенко О.Г. Мюллер-матрична двовимірна томографія багатошарових полікристалічних мереж біологічних тканин і рідин / О.Г. Ушенко, Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. - №2(20). – С. 156 – 162.
  14. Заболотна Н.І. Моделювання та аналіз Мюллер-матричних зображень багатошарових полікристалічних мереж з детермінованими розподілами орієнтацій них та фазових параметрів / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота, Ю.Ю. Левандовська [ та ін.] // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. - №1(21). – С. 82 – 92.

Надійшла до редакції 17.11.2011р.

**ЗАБОЛОТНА НАТАЛІЯ ІВАНІВНА** – к.т.н., доцент, декан факультету функціональної електроніки та лазерної техніки, доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна.