
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 681.784.7:615.849.19

О.Г. УШЕНКО, О.В. ДУБОЛАЗОВ, І.В. СОЛТИС, О.В. ОЛАР,
А.В. МОТРИЧ, М.П. ГОРСЬКИЙ, В.Г. ЖИТАРЮК

БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ПОЛЯРИЗАЦІЙНА ДЖОНС- МАТРИЧНА РЕПРОГРАФІЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна

Анотація. Запропоновано модель-дизайн полікристалітної структури плівок поліетилену. У рамках репрографії розроблено метод статистичного, кореляційного та фрактального аналізу розподілів характеристичних значень графічних Джонс-матричних зображень двоприменезаломлюючих плівок поліетилену. Установлена діагностична ефективність визначення набору статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують розподіли характеристичних значень фазового Мюллер-матричного зображення плівок поліетилену у диференціації їхніх зовнішніх механічних і термічних деформацій.

Ключові слова: лазер, поляризація, полімер, двоприменезаломлення, статистичний, кореляційний, фрактальний аналіз

Abstract. A model-design of the polycrystalline structure of polyethylene films is proposed. Within the framework of reprography, a method of statistical, correlation and fractal analysis of the distributions of characteristic values of graphic Jones matrix images of birefringent polyethylene films has been developed. The diagnostic efficiency of determining a set of statistical moments of the 1st - 4th orders, which characterize the distributions of characteristic values of the phase Jones matrix image of polyethylene films in the differentiation of their external mechanical and thermal deformations, has been established.

Keywords: laser, polarization, polymer, birefringence, statistical, correlation, fractal, analysis

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-48-2-88-95

ВСТУП

Існує широке коло поліграфічних полімерних матеріалів з оптичною анізотропією [1-3], для яких методи репрографії на основі лазерної та Мюллер-матричної поляриметрії графічних мап двоприменезаломлення та їх дизайну ще не набули достатньо широкого розповсюдження.

Зазначені методи забезпечують можливість одержання максимально повної інформації про внутрішню полікристалічну архітектоніку фазово-неоднорідних шарів, яка характеризується набором механізмів оптичної анізотропії [4-14]:

- лінійне двоприменезаломлення;
- циркулярне двоприменезаломлення;
- лінійний дихроїзм;
- циркулярний дихроїзм.

На даний час розроблено низку методів поляризаційної і матричної томографії оптично анізотропної складової фазово-неоднорідних шарів [11-23]:

- двовимірне поляризаційне картографування розподілів азимута і еліптичності поляризації;
- двовимірну фазометрію лазерних спекл-полів;
- багатопараметричне диференціальне Мюллер-матричне картографування;
- поляризаційно-фазова Джонс-матрична томографія;
- дифузна Мюллер-матрична томографія.

© О.Г. УШЕНКО, О.В. ДУБОЛАЗОВ, І.В. СОЛТИС, О.В. ОЛАР, А.В. МОТРИЧ,
М.П. ГОРСЬКИЙ, В.Г. ЖИТАРЮК, 2024

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Зазначені методи використовують багатофункціональний алгоритмічний аналіз одержаних даних [7-17]:

- статистичний аналіз – обчислення центральних статистичних моментів 1-го – 4-го порядків;
- кореляційний аналіз – обчислення функцій автокореляції та кореляційних моментів 1-го – 4-го порядків;
- фрактальний аналіз – обчислення спектрів потужності та їх логарифмічних розподілів.

Проте, у поліграфічній галузі вказані методи ще не знайшли свого застосування до вивчення полімерних матеріалів. У першу чергу, до таких об'єктів можна віднести різноманітні полімерні пакувальні плівки, пластмаси та інше. Такі обставини забезпечують необхідність розроблення методів Джонс-матричної репрографії і WEB дизайну цифрових графічних мап двопронезаломлення полікристалічних поліграфічних матеріалів.

КОРОТКА ТЕОРІЯ

Дегідратована полікристалічна плівка полімеру може бути представлена у вигляді сукупності шести парціальних шарів з різними типами оптичної анізотропії:

- лінійне і циркулярне двопронезаломлення ($LB_{(0,90);(45,135)}$, $CB_{\otimes;\oplus}$);
- лінійний і циркулярний дихроїзм ($LD_{(0,90);(45,135)}$, $CD_{\otimes;\oplus}$).

Тут $LD_{0,90}$, $LD_{45,135}$ і $LB_{0,90}$, $LB_{45,135}$ – “лінійний дихроїзм – двопронезаломлення”; $CD_{\otimes;\oplus}$ and $CB_{\otimes;\oplus}$ – “циркулярний дихроїзм – двопронезаломлення” полімерної плівки біологічної рідини для лінійних ($0^\circ \div 90^\circ$ і $45^\circ \div 135^\circ$) і циркулярних право- (\otimes) і ліво- (\oplus) поляризованих ортів

$$LB_{0,90} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_0 - n_{90})h; \quad (1)$$

$$LB_{45,135} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{45} - n_{135})h; \quad (2)$$

$$CB_{\otimes;\oplus} = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{\otimes} - n_{\oplus})h; \quad (3)$$

$$LD_{0,90} = \frac{2\pi}{\lambda} (\chi_0 - \chi_{90})h; \quad (4)$$

$$LD_{45,135} = \frac{2\pi}{\lambda} (\chi_{45} - \chi_{135})h; \quad (5)$$

$$CD_{\otimes;\oplus} = \frac{2\pi}{\lambda} (\chi_{\otimes} - \chi_{\oplus})h, \quad (6)$$

де (n_0 , n_{90} , n_{45} , n_{135}) і (χ_0 , χ_{90} , χ_{45} , χ_{135}) – показники заломлення -поглинання для ортогональних компонент амплітуди $0^\circ - 90^\circ$ і $45^\circ - 135^\circ$; λ – довжина хвилі лазера; h - геометрична товщина полімерної плівки.

Механізми лінійного двопронезаломлення і дихроїзму (структурна анізотропія $LB_{(0,90);(45,135)}$, $LD_{(0,90);(45,135)}$) формуються високомолекулярними мережами полімерних плівок.

Молекулярні комплекси з хіральними кільцями володіють оптичною активністю і ($CB_{\otimes;\oplus}$) і циркулярним дихроїзмом ($CD_{\otimes;\oplus}$).

Прояви кожного з вищезгаданих механізмів оптичної анізотропії будемо описувати відповідними парціальними матрицями Джонса

$$J(LB_{0,90}) = \left\| \begin{array}{cc} \exp(-0.5iLB_{0,90}) & 0 \\ 0 & \exp(0.5iLB_{0,90}) \end{array} \right\|; \quad (7)$$

$$J(LB_{45,135}) = \left\| \begin{array}{cc} \cos 0.5LB_{45,135} & -i \sin 0.5LB_{45,135} \\ -i \sin 0.5LB_{45,135} & \cos 0.5LB_{45,135} \end{array} \right\|; \quad (8)$$

$$J(CB_{\otimes;\oplus}) = \left\| \begin{array}{cc} \cos CB_{\otimes;\oplus} & \sin CB_{\otimes;\oplus} \\ -\sin CB_{\otimes;\oplus} & \cos CB_{\otimes;\oplus} \end{array} \right\|; \quad (9)$$

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

$$J(LD_{0;90}) = \left\| \begin{array}{cc} \exp(-0.5LD_{0;90}) & 0 \\ 0 & \exp(0.5LD_{0;90}) \end{array} \right\|; \quad (10)$$

$$J(LD_{45;135}) = \left\| \begin{array}{cc} \cosh 0.5LD_{45;135} & -i \sinh 0.5LD_{45;135} \\ -i \sinh 0.5LD_{45;135} & \cosh 0.5LD_{45;135} \end{array} \right\|; \quad (11)$$

$$J(CD_{\otimes;\oplus}) = \left\| \begin{array}{cc} \cosh C D_{\otimes;\oplus} & \sinh C D_{\otimes;\oplus} \\ -\sinh C D_{\otimes;\oplus} & \cosh C D_{\otimes;\oplus} \end{array} \right\|. \quad (12)$$

Аналітична форма узагальненої матриці Джонса полікристалічної полімерної плівки має вигляд

$$\{J\} = \left\| \begin{array}{cc} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{cc} \cos 0.5|V| - i \frac{L}{|V|} \sin 0.5|V| & \frac{(c-iL')}{|V|} \sin 0.5|V| \\ -\frac{(c+iL')}{|V|} \sin 0.5|V| & \cos 0.5|V| + i \frac{L}{|V|} \sin 0.5|V| \end{array} \right\|. \quad (13)$$

Тут V – узагальнений вектор анізотропії

$$V = V(L_{0;90}, L_{45;135}; -C_{\otimes;\oplus}), \quad (14)$$

де

$$\begin{cases} L_{0;90} = LB_{0;90} - iLD_{0;90}; \\ L_{45;135} = LB_{45;135} - iLD_{45;135}; \\ C_{\otimes;\oplus} = CB_{\otimes;\oplus} - iCD_{\otimes;\oplus}. \end{cases} \quad (15)$$

З (14), (15) ми одержуємо наступний вираз модуля вектора V

$$\begin{aligned} |V| &= (|L_{0;90}| + |L_{45;135}| + |C_{\otimes;\oplus}|)^{0.5} = \\ &= \left((LD_{0;90}^2 + LB_{0;90}^2) + (LD_{45;135}^2 + LB_{45;135}^2) + (CD_{\otimes;\oplus}^2 + CB_{\otimes;\oplus}^2) \right)^{0.5}, \end{aligned} \quad (16)$$

На основі (1) - (16) знаходимо теоретичні взаємозв'язки між параметрами лінійного і циркулярного двопронезаломлення-дихроїзма та сукупністю елементів матриці Джонса $\{J\}$ оптичного тонкого шару полімерної плівки з поглинанням

$$|V| = 2 \arccos[0.5(\operatorname{Re} j_{11} + \operatorname{Re} j_{22})]; \quad (17)$$

$$LB_{0;90} = \frac{|V|}{2 \sin 0.5|V|} (\operatorname{Im} j_{22} - \operatorname{Im} j_{11}); \quad (18)$$

$$LD_{0;90} = \frac{|V|}{2 \sin 0.5|V|} (\operatorname{Re} j_{22} - \operatorname{Re} j_{11}); \quad (19)$$

$$LB_{45;135} = \frac{|V|}{2 \sin 0.5|V|} (\operatorname{Im} j_{12} + \operatorname{Im} j_{21}); \quad (20)$$

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

$$LD_{45,135} = \frac{|V|}{2 \sin 0.5|V|} (Re j_{12} + Re j_{21}); \quad (21)$$

$$CB_{\otimes;\oplus} = \frac{|V|}{2 \sin 0.5|V|} (Im j_{12} - Im j_{21}); \quad (22)$$

$$CD_{\otimes;\oplus} = \frac{|V|}{2 \sin 0.5|V|} (Re j_{12} - Re j_{21}). \quad (23)$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У нашій роботі ми зосередилися на дослідження фазової анізотропії плівок недеформованого (група 1) і термічно (до 40⁰С) деформованого (група 2).

Вимірювання мап двопронезаломлення проводилося в оптичному розташуванні Джонс-матричного поляриметра.

На серії фрагментів рис. 1 – рис. 4 представлені координатні та лінійні розподіли автокореляційних функцій (лівий стовпчик), а також статистичні (локальні таблиці) і фрактальні (правий стовпчик) параметри даних Джонс-матричної томографії лінійного (рис. 1 і рис. 2) і циркулярного (рис. 3 і рис. 4) двопронезаломлення зразків поліетилену з групи 1 (рис. 1 і рис. 3) і групи 2 (рис. 2 і рис. 4).

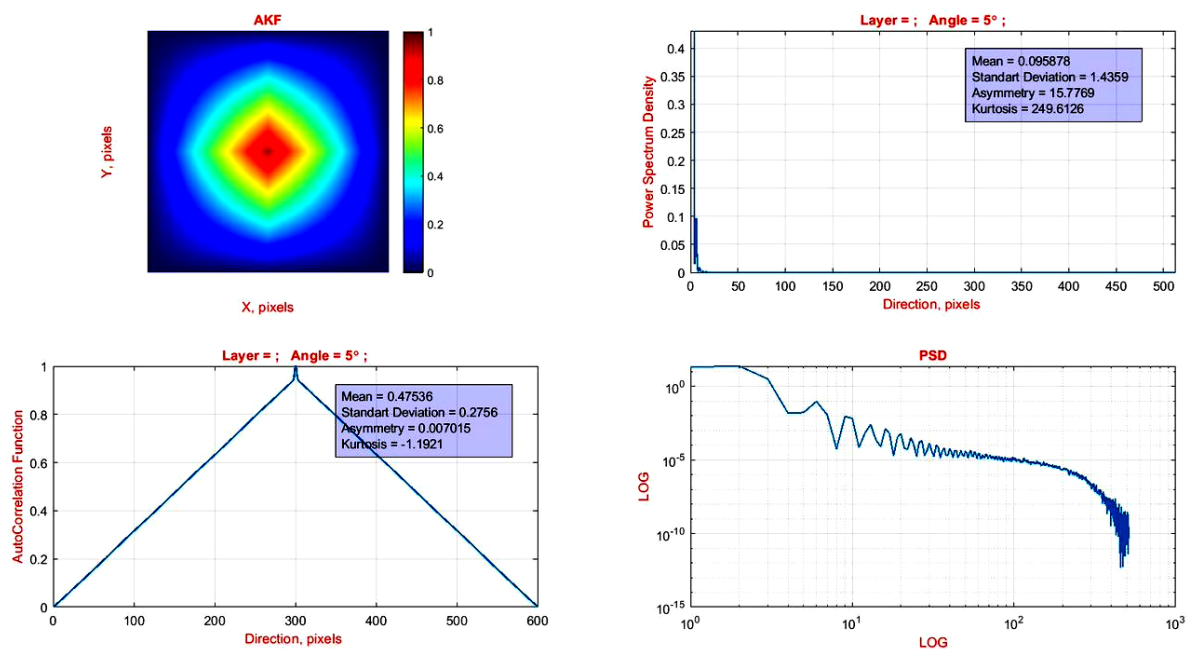


Рисунок 1 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики мапи лінійного двопронезаломлення зразку плівки поліетилену з групи 1

Аналіз одержаних даних виявив.

1. У рамках статистичного аналізу кореляційної обробки мап лінійного і циркулярного двопронезаломлення встановлено:
 - Індивідуальну структурність кореляційних, спектральних і фрактальних розподілів, які характеризують алгоритмічно відтворенні мапи оптичної анізотропії зразків неушкодженого (група 1) і термічно зміненого (група 2) поліетилену.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

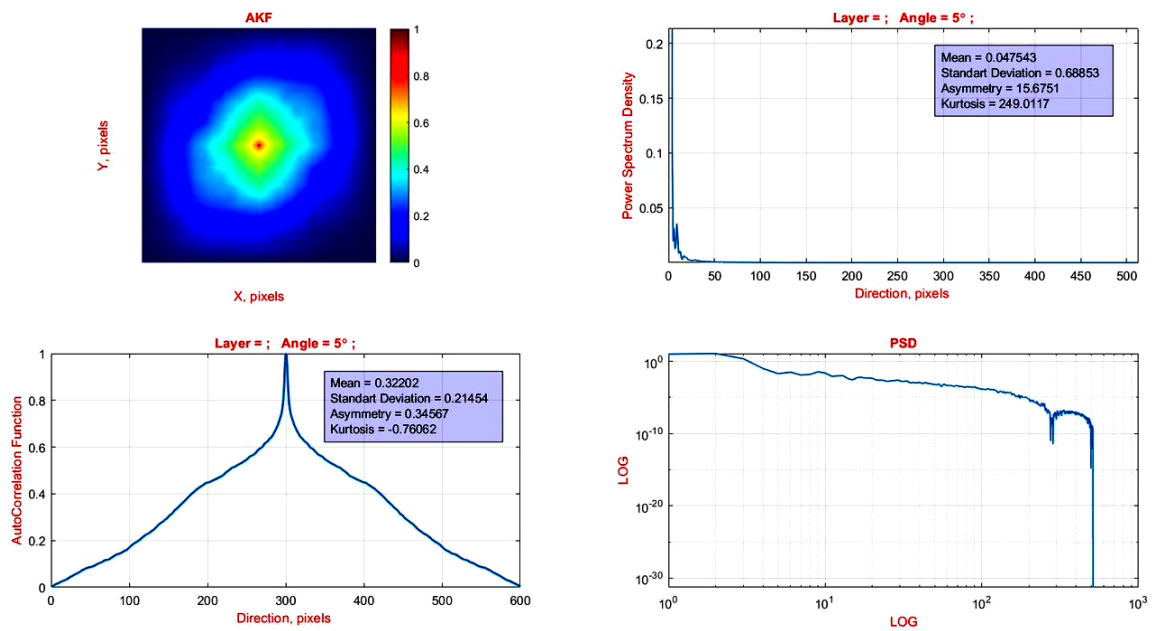


Рисунок 2 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики мапи лінійного двопромезаломлення зразку плівки поліетилену з групи 2

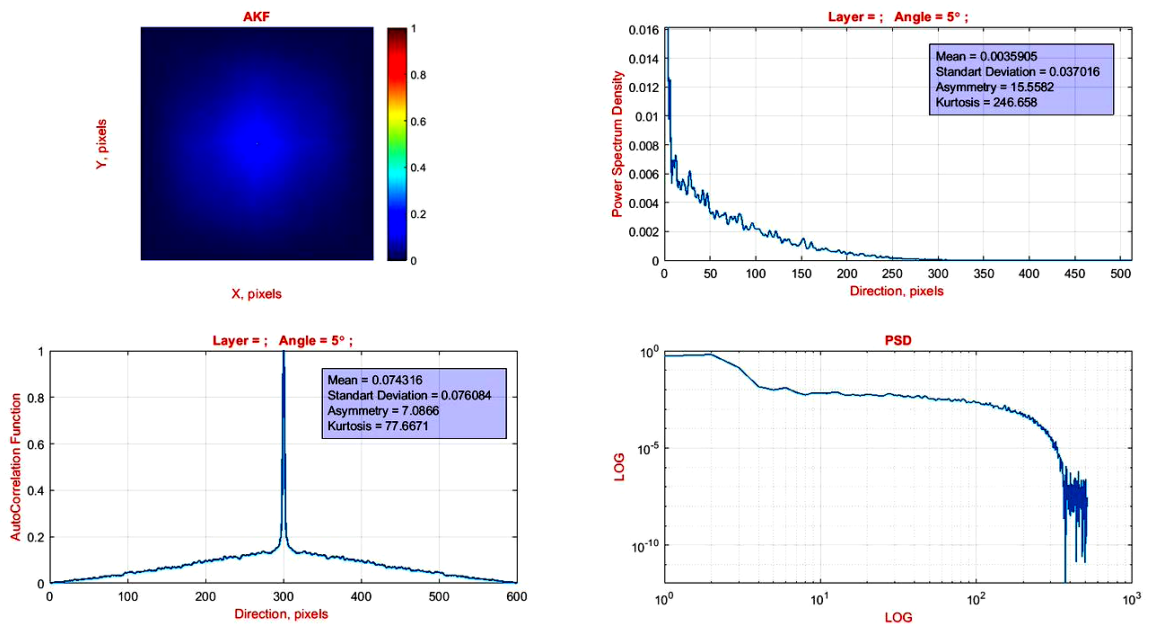


Рисунок 3 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики мапи циркулярного двопромезаломлення зразку плівки поліетилену з групи 1

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

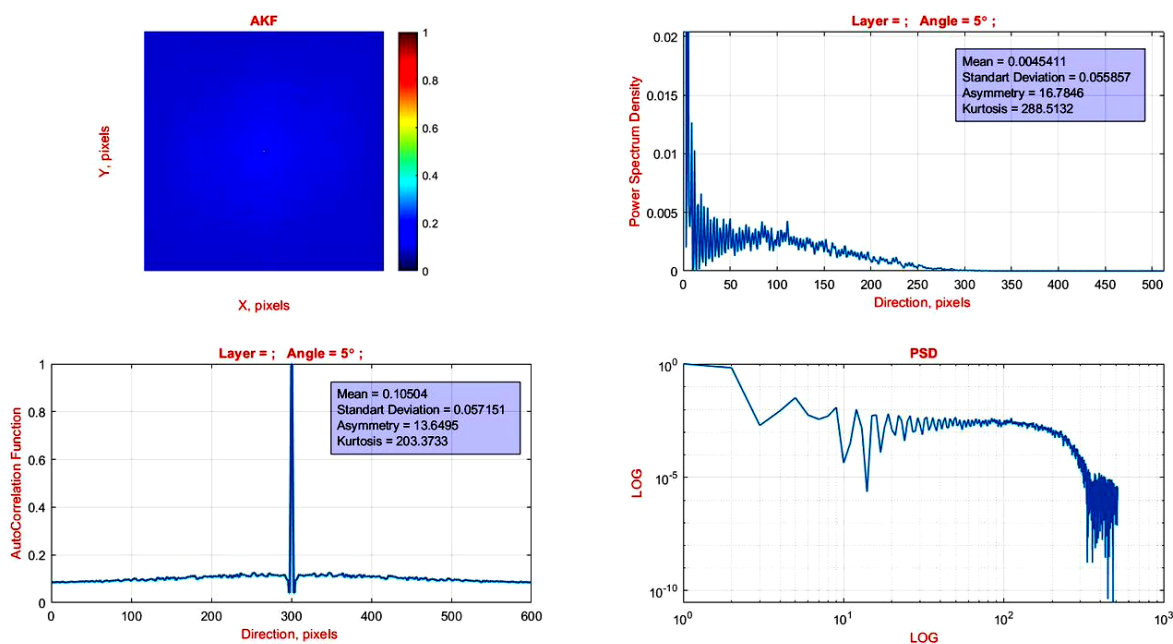


Рисунок 4 – Статистичні, кореляційні і фрактальні характеристики мапи циркулярного двопронезаломлення зразку плівки поліетилену з групи 2

- Відмінності центральних статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують автокореляційні функції мап лінійного двопронезаломлення досягають 2-3 разів.
- Відмінності центральних статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують автокореляційні функції мап циркулярного двопронезаломлення досягають 3-4 разів.
- Найбільш чутливими виявилися середнє, асиметрія та ексцес, які характеризують розподіли автокореляційних функцій лінійного і циркулярного двопронезаломлення.

2. У рамках фрактального аналізу встановлено:

- Індивідуальні логарифмічні залежності спектрів потужності автокореляційних функцій, що вказує на різні типи масштабної самоподібності мап лінійного і циркулярного двопронезаломлення зразків поліетилену з групи 1 і групи 2.
- Асиметрія та ексцес розподілів спектрів потужності автокореляційних функцій мап лінійного двопронезаломлення відрізняються у 2 (асиметрія) і 2,5 (ексцес) рази.

З фізичної точки зору одержані результати можна пов'язати з відомим фактом наявності оптичної анізотропії надмолекулярних мереж полімерних плівок – структурна анізотропія ниткоподібних сіток формує лінійне двопронезаломлення, молекули з хіральними кільцями – циркулярне двопронезаломлення.

При формуванні термічного ушкодження самоподібна ієрархія ниткоподібних сіток руйнується на різних масштабах геометричних розмірів морфологічної архітектури плівок поліетилену. Внаслідок цього формуються координатно-неоднорідні розподіли параметрів лінійного і циркулярного двопронезаломлення відповідних зразків полімерних плівок. Кількісно це виявляється у зростанні величини центральних статистичних моментів, які характеризують автокореляційні функції та їх спектри потужності.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблена і експериментально апробована поляризаційна Джонс-матрична система інтроскопії мап лінійного і циркулярного двопронезаломлення плівок поліетилену виявилася ефективною у кількісному оцінюванні процесів деструкції полікристалічної складової полімерних матеріалів.

З метою подальшого розширення функціональних можливостей і покращення чутливості та точності поляризаційної Джонс-матричної системи нами пропонується використання принципів флуориметрії та поляриметрії шляхом поєднання принципів поляризаційного аналізу лазерно-індукованої

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

автофлуоресценції окремих молекулярних доменів полікристалічної архітекtonіки полімерних плівок, включаючи плівки різноманітних біологічних рідин.

ВИСНОВКИ

Представлено короткий теоретичний опис процесів формування та Джонс-матричного відтворення мап лінійного і циркулярного двоприменезаломлення полімерних плівок поліетилену.

Методом Джонс-матричної томографії одержана серія мап лінійного і циркулярного двоприменезаломлення плівок неушкодженого і термічно деформованого поліетилену.

Визначено статистичні, кореляційні і фрактальні маркери детектування термічної деформації плівок поліетилену.

Дослідження виконано за підтримки грантів Національного фонду досліджень України 2022.01/0034 і №2023.03/0174.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lee H. R. et al. (2022). Digital histology with Mueller polarimetry and Fast DBSCAN. *Appl. Opt.* 61(32): 9616-9624.
2. Kim M. et al. (2022). Optical diagnosis of gastric tissue biopsies with Mueller microscopy and statistical analysis. *J. Europ. Opt. Soc. Rapid Publ.* 18(2):10.
3. Lee H. R. et al. (2019). Digital histology with Mueller microscopy: how to mitigate an impact of tissue cut thickness fluctuations. *J. Biomed. Opt.* 24(7): 076004.
4. Li P. et al. (2020). Analysis of tissue microstructure with Mueller microscopy: logarithmic decomposition and Monte Carlo modeling *J. Biomed. Opt.* 25(1): 015002.
5. Lee H. R. et al. (2018). Mueller microscopy of anisotropic scattering media: theory and experiments. *Proc. SPIE 10677 Unconventional Optical Imaging*, 10677:1067718.
6. Ma H., He H., J. C. (2023). Ramella-Roman "Mueller matrix microscopy" In: J. C. Ramella-Roman, T. Novikova, editors. *Polarized Light in Biomedical Imaging and Sensing*. Springer: Cham, p.281-321.
7. Ushenko V.A., Hogan B.T., Dubolazov A. et al. (2021). Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures. *Scientific Reports*, 11 (1): 3871.
8. Ushenko A.G., Dubolazov A.V., Ushenko V.A., Novakovskaya O.Y. (2016). Statistical analysis of polarization-inhomogeneous Fourier spectra of laser radiation scattered by human skin in the tasks of differentiation of benign and malignant formations. *Journal of Biomedical Optics*, 21 (7), 071110-071110.
9. Yermolenko S., Ushenko A., Ivashko P. et. al. (2009). Spectropolarimetry of cancer change of biotissues. *Ninth International Conference on Correlation Optics*, 7388, p.404-410.
10. Ushenko V.A., Hogan B.T., Dubolazov A. et.al. (2021). Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures. *Scientific Reports*, 11 (1), 3871.
11. Olar E.I, Ushenko A.G, Ushenko Y.A. (2004). Correlation microstructure of the Jones matrices for multifractal networks of biotissues. *Laser Physics*, 14 (7), p. 1012-1018.
12. Ushenko A, Sdobnov A, Dubolazov A, Grytsiuk M, Ushenko Y et.al. (2018). Stokes-correlometry analysis of biological tissues with polycrystalline structure. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 25 (1), p. 1-12.
13. Angelsky O.V., Ushenko A.G., Zenkova C.Y., Felde C.V., et.al. (2012). Optical measurements: polarization and coherence of light fields. *INTECH Open Access Publisher*,
14. Pishak V.P., Ushenko A.G., Gryhoryshyn P., et.al. (1997). Polarization structure of biospeckle fields in crosslinked tissues of a human organism: 1. Vector structure of skin biospeckles. *International Conference on Correlation Optics*, 3317, p. 418-424.
15. Peyvasteh M., Tryfonyuk L., Ushenko V. et al. (2020). 3D Mueller-matrix-based azimuthal invariant tomography of polycrystalline structure within benign and malignant soft-tissue tumours. *Laser Physics Letters*, 17 (11):115606.
16. Ushenko V.A., Hogan B.T., Dubolazov A. et al. (2021). Embossed topographic depolarisation maps of biological tissues with different morphological structures. *Scientific Reports*, 11 (1): 3871.
17. Wójcik Waldemar, Smolarz Andrzej (2017). *Information Technology in Medical Diagnostics*, July 11, 2017 by CRC Press, 210 Pages.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

18. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
19. Pavlov Sergii, Avrunin Oleg, Hrushko Oleksandr, and etc. (2021). System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project Peter Arras and David Luengo (Eds.), , Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). - 22 P. ISBN: 978-94-641-4245-7.
20. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.
21. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Srodowiska, , 13(3), pp. 101–106
22. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
23. Kukharchuk Vasyl V., Pavlov Sergii V, Katsyv Samoil Sh., and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws”, *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.

Надійшла до редакції: 7.09.2024 р.

УШЕНКО ОЛЕКСАНДР ГРИГОРОВИЧ – д.ф.м.н., професор, зав. кафедрою оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: o.ushenko@chnu.edu.ua*

ДУБОЛАЗОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ – д.ф.м.н., професор кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: o.dubolazov@chnu.edu.ua*

СОЛТИС ІРИНА ВАСИЛІВНА – к.ф.м.н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: i.soltys@chnu.edu.ua*

ОЛАР ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІУВИЧ – к.ф.м.н., асистент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: o.olar@chnu.edu.ua*

МОТРИЧ АРТЕМ ВОЛОДИМИРОВИЧ – к.ф.м.н., асистент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: a.motrich@chnu.edu.ua*

ГОРСЬКИЙ МИХАЙЛО ПЕТРОВИЧ – к.ф.м.н., доцент кафедри комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: m.gorskiy@chnu.edu.ua*

ЖИТАРІУК ВІКТОР ГРИГОРОВИЧ – к.ф.м.н., доцент кафедри оптики і видавничо-поліграфічної справи Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна, *e-mail: v.zhitariuk@chnu.edu.ua*

Olexander USHENKO, Olexander DUBOLAZOV, Irina SOLTYS, Olexander OLAR, Artem MOTRICH,
Mike GORSKIY, Victor ZHITARIUK

**MULTIPARAMETER POLARIZATION JONES MATRIX REPROGRAPHY AND WEB DESIGN
OF DIGITAL IMAGES BIBREFRICTION OF PRINTING MATERIALS**

Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University