

# СИСТЕМА НЕКОГЕРЕНТНОЇ ЦИФРОВОЇ ГОЛОГРАФІЇ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Розглянуто цифрову голографічну систему, яка використовує некогерентне джерело випромінювання. Наведено приклади вимірювання профілю поверхні об'єкту, який дифузно розсіює падаюче випромінювання.*

**Ключові слова:** некогерентна цифрова голографія, профілометрія.

## *Abstract*

*The non-coherent digital holography system is reviewed. The example of diffusely reflecting object shape measurement is presented.*

**Keywords:** non-coherent digital holography, profilometry.

## Вступ

Методи цифрової голографії дають змогу здійснювати одночасне кількісне вимірювання величини амплітуди та фази оптичної хвилі у всьому полі зору фотоматриці. Дані методи знайшли практичну реалізацію у таких комерційно наявних приладах як цифрові голографічні мікроскопи [1], які дозволяють вимірювати профіль поверхні досліджуваного об'єкта (режим роботи у відбитому світлі) або розподіл оптичної товщини (режим світлопольної мікроскопії).

Будучи інтерферометричним методом, цифрова голографія покладається на когерентні джерела випромінювання, за допомогою яких формується предметний та опорний промені, які створюють інтерференційну картину у площині запису голограми. При дослідженні оптичнопрозорих об'єктів у пропущеному світлі або об'єктів із дзеркальною поверхнею (наприклад, оптичні елементи) у відбитому світлі різниця оптичного шляху опорного та предметного променю може бути визначена із записаної інтерференційної картини [2]. В той же час, якщо мова йде про об'єкти, у розсіяному світлі яких присутня суттєва дифузна складова, кількісне вимірювання фази стає практично неможливим через появу спекл-складової у розсіяному випромінюванні. Для виключення появи спеклу можливо замінити когерентне джерело випромінювання (лазер) некогерентним, наприклад, світлодіодом.

В даній роботі представлені результати використання світлодіодних джерел випромінювання у цифровій голографічній системі на основі  $4f$  інтерферометра для вимірювання профілю дифуздорозсіюючого об'єкту.

## Основна частина

Когерентні випромінювачі на зразок HeNe лазерів широко використовуються у оптичній вимірювальній техніці. Завдяки вкрай вузькому спектру з шириною в декілька пікометрів [3], довжина когерентності таких джерел сягає десятків сантиметрів, що дозволяє записувати цифрові голограми без ретельного юстування довжини оптичного шляху предметного та опорного променів. В той же час, як зазначалось у вступі, у дифуздорозсіяному випромінюванні з великою довжиною когерентності буде присутній спекл, який внесе суттєві завади у величину вимірюваної фази. Дана проблема також має місце і у випадку використання напівпровідникових лазерних діодів, довжина когерентності яких хоч і значно менша (1-10 мм) за таку у HeNe чи DPSS лазерів, але є все одно достатньою для появи спекла.

Тим не менш, в ряді методів, наприклад, в спекл-інтерферометрії чи фазозсувній цифровій голографії, розподіл інтенсивності спеклу безпосередньо використовується при розрахунку фази [4]. Вказані методи об'єднує реєстрація декількох інтерферограм під час якої довжина оптичного шляху опорного променю змінюється на задану величину, за рахунок чого вноситься фазовий зсув між інтерферограмами, зазвичай, кратний  $\pi/2$ . Подібна модуляція, зазвичай, здійснюється за рахунок мікрозміщень дзеркала розміщеного на п'єзокерамічному елементі до якого прикладається напруга. Даному підходу властиві

декілька недоліків. По-перше, необхідність реєстрації декількох інтерферограм унеможливорює дослідження рухомих об'єктів. По-друге, п'єзокерамічний або інший фазовий модулятор повинен ретельно юстуватись, оскільки наявність будь-яких похибок при внесенні фазового зсуву в опорний промінь призведуть до погіршення точності виміру кінцевої фази оптичного поля.

Такі напівпровідникові некогерентні джерела світла як світлодіоди мають ширину спектру від 300 (біле світло) до 20-30 нм [5] (кольорове світло), що відповідає довжині когерентності від 1 до 20 мкм. Через таку малу довжину когерентності у світлі, яке було розсіяне дифузними об'єктами, буде абсолютно відсутній спекл. Однак, така мала довжина когерентності практично унеможливорює отримання інтерференційної картини у інтерферометрах на основі схем Майкельсона та Маха-Цендера. У роботі [6] було продемонстровано інтерферометричну схему на основі  $4f$  системи та дифракційної ґратки. Принципова відмінність такого типу інтерферометра порівняно з інтерферометрами Майкельсона та Маха-Цендера полягає у тому, що в ньому предметний та опорний промені формуються з випромінювання, яке пройшло або розсіялось об'єктом, за допомогою дифракційної ґратки. При цьому, за допомогою просторового фільтру виокремлюються 0 та 1 дифракційні порядки, які й утворюють інтерференційну картину в площині матриці. В такій схемі досягається максимальна просторова та часова когерентність предметного та опорного променів. У згаданій роботі опорний промінь (0 дифракційний порядок) додатково фільтрувався мікродіафрагмою для формування квазіплоскої опорної хвилі. Використання мікродіафрагми ускладнене тим, що значна частина енергії відповідного пучка буде втрачена. Проте, як було показано в роботі [7], така додаткова фільтрація мікродіафрагмою може не виконуватись, що дозволяє краще узгодити яскравості предметного та опорного променів.

Автором роботи був створений макет на основі  $4f$  інтерферометра, схема якого наведена на рис. 1. В якості джерела випромінювання використовувався світлодіод червоного кольору Cree XLamp XR-E HE Photo Red (центральна довжина хвилі – 660 нм, ширина спектру – 20 нм), випромінювання якого частково колімувалось об'єктивом мікроскопа з 40-кратним збільшенням. Сама  $4f$  система складалась з дифракційної ґратки (200 штрихів на мм) та двох об'єктивів з фокусною відстанню 50 мм. Цифрова голограма реєструвалась з використанням фотоматриці OmniVision OV5647 (5 мегапікселів,  $1.4 \times 1.4$  мкм розмір пікселя).

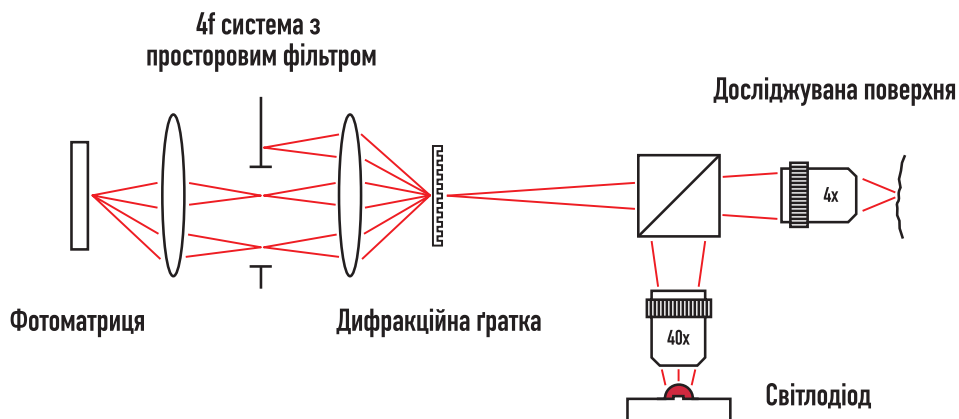


Рис. 1. Оптична схема створеного макету.

За допомогою наведеної системи було проведено виміри профілю поверхні фрагменту пластика. Для демонстрації шкідливого впливу спеклу на величину розподілу фази було також записано цифрову голограму з використанням лазерного діоду HL63133DG (638 нм, 3-4 мм довжина когерентності). На рис. 2 наведені фазові мапи після розгортки але без корекції аберацій внесених об'єктивами.

## Висновки

Інтерферометри з одним плечем на зразок показаної системи дозволяють використовувати джерела випромінювання з вкрай малою довжиною когерентності, що дозволяє уникнути проявів спеклу у

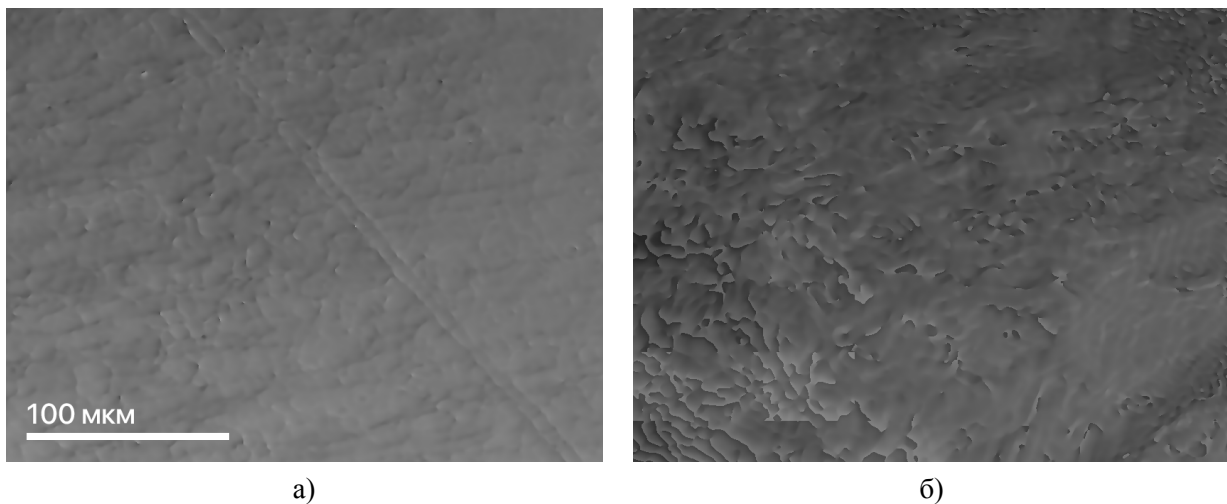


Рис. 2. Фазові мапи поверхні пластику отримані з використанням: а) світлодіоду, б) лазеру.

вимірному розподілі величини фази. Наведено результати використання кольорових світлодіодів для дослідження поверхні дифуздорозсіюючих об'єктів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Digital Holographic Microscopes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lynceotec.com>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 18.03.2018.
2. Picart P. *New Techniques in Digital Holography* / P. Picart. – John Wiley & Sons, 2015. – 302 p.
3. Helium–neon laser [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Helium–neon\\_laser](https://en.wikipedia.org/wiki/Helium–neon_laser). – Назва з екрану. – Дата звернення: 18.03.2018.
4. Myung K. K. Principles and techniques of digital holographic microscopy / K. K. Myung // *Journal of Photonics for Energy*. – 2010. – P. 018005-018005-50.
5. Cree XLamp XP-E Product Family Data Sheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXPE-25A.pdf>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 18.03.2018.
6. Bhaduri B. Diffraction phase microscopy: principles and applications in materials and life sciences / B. Bhaduri, C. Edwards, H. Pham, et. al. // *Advances in Optics and Photonics*. – 2014. – Vol. 6. – P. 57-119.
7. Besaga V. R. Common-path holographic objective for conventional photographic camera / V. R. Besaga, N. C. Gerhardt, P. P. Maksimyak, et. al. // *SPIE Proceedings*. – 2017. – Vol. 103760W.

**Довгалиук Ростислав Юрійович** — аспірант спеціальності 05.12.20 Оптоелектронні системи, Інститут магистратури, аспірантури та докторантури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [rostyslav.research@gmail.com](mailto:rostyslav.research@gmail.com).

Науковий керівник: **Заболотна Наталія Іванівна** — канд. техн. наук, в.о. зав. кафедри Лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Dovhaliuk Rostyslav Yu.** — postgraduate student in Optoelectronic Systems, Institute of Master, Postgraduate and Doctoral Studies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rostyslav.research@gmail.com](mailto:rostyslav.research@gmail.com).

Supervisor: **Zabolotna Nataliia I.** — Cand. Sc. (Eng), acting head of Department of Laser and Optoelectronic Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.