

R. L. Politanskyi<sup>1</sup>  
M. V. Vistak<sup>2</sup>  
W. Wuitsek<sup>3</sup>  
O. L. Zarytska<sup>4</sup>

## OPTIMIZATION AND PROSPECTS OF THE USE OF ANTI-REFLECTION OPTICAL FILMS IN BIOMEDICINE

<sup>1</sup>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University  
<sup>2</sup>Danylo Halytsky Lviv National Medical University  
<sup>3</sup>Lublin University of Technology  
<sup>4</sup>Lviv Polytechnic National University

### Abstract

*The work is devoted to the optimization of the structure of a multilayer anti-reflective film with good integral optical properties in a wide range of angles of incidence and wavelengths of the infrared range, coinciding with the absorption of CO<sub>2</sub>, and for both types of polarization of the incident wave. The optimization is performed on the basis of the initial solution of the problem, which is adjusted to a quarter-wave optical thickness of each layer (SiO<sub>2</sub>, SiO, SiO<sub>1-x<x<2</sub>, Si), where the optical thickness is chosen from the condition of maximum sensitivity to the absorption spectrum of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The matrix method is used to determine the integral reflection coefficient. Next, the thickness of the layers of the system is optimized by finding the global minimum of the function that determines the total amount of reflected radiation in a given range of wavelengths and angles of incidence of radiation. It is shown that by means of statistical modelling it is possible to determine the thickness of the film layers, which provides a systematic improvement in the value of the integral reflection coefficient. It is also shown that by means of statistical modelling it is indeed possible to obtain an optimized film structure, despite a small improvement in the integral reflection coefficient (less than 1%). Therefore, the developed analysis method has important practical significance for the analysis and detection of absorption effects of optical radiation of non-interference origin. The results of the research are also compared with studies using the Swanepoel method and published in literary sources. The obtained results are of practical interest in biomedical applications: biocompatible thin films of implanted organs, optical sensors for medical diagnostic systems, since in biological structures non-interference absorption effects of the optical range have a systematic and clearly expressed appearance.*

**Keywords:** Anti-reflective coating, statistical optimization, integral reflection coefficient, biomedicine, IoT.

### INTRODUCTION

The use of anti-reflective coatings in various optical devices and technologies is widely known. They are used to reduce the reflectance of incident optical radiation in classical optical devices, to increase the absorption coefficients of solar energy in solar photovoltaic cells in a wide range of angles of incidence and for the entire visible part of the spectrum, to increase the efficiency of photodetectors tuned to a certain wavelength, including infrared, to shield the unwanted effects of electromagnetic radiation in IoT devices that use absorbed electromagnetic radiation, to prevent the formation of standing waves in photolithography production processes. Optical coatings in the form of multilayer thin films have wide applications, in particular in biomedicine and biotechnology [1,2]. They are used to illuminate optical lenses and other parts of optical systems, to form biocompatible thin films of implanted organs, and optical sensors in medical diagnostic systems. The development of methods for modelling the properties of multilayer films makes it possible not only to improve their properties, but also to significantly increase the reliability of experimental results of their properties. Thus, in work [3], the combination of experimental studies of the transmission spectra of thin films and the method of modelling the transmittance coefficient (Swanepoel method) improved by the authors made it possible to detect a shift of the local minima of the transmittance coefficient from the real minima, which was only 0.4%-1.2%.

### Research methods and results

In our research, we used the matrix method. According to the matrix method, a complex film is replaced by a discrete structure, each of which is characterized by a thickness and a macroscopic

refractive index of the wave. In this work, we study the integral part of the reflected light generated by the LED, for improving the integral reflection coefficient by applying a four-layer film formed by silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>), monoxide (SiO), silicon suboxide (SiO<sub>1-x<x<2</sub>) and silicon (Si), deposited on the surface of indium antimonide (InSb). The initial optical thickness of each layer is chosen from the condition that this thickness is equal to a quarter of the wavelength. In order to optimize the integral reflection index, two statistical experiments were conducted: first, the thickness of the layers was randomly increased in the range from 0 to 15 percent. But this only led to an increase in the integral reflection index. Reducing the thickness of the layers in the range from 0 to 15 percent led to a systematic improvement in the integral reflection index. The accuracy of our researches is at the level of 0.7%.

### Conclusion

The combination of the traditional matrix method and the random search optimization algorithm allows to improve the simulation result for the frequency range by almost 0.7%. Such improvement is important because it allows to analyse the data of experimental studies of multilayer films, in which the effects of enhanced absorption, which has a non-interference origin and is due to the band structure of the semiconductors used, may appear.

### REFERENCES

1. Toudeshkhoui, Mahtab Ghasemi, et al. "Microfluidic Devices with Gold Thin Film Channels for Chemical and Biomedical Applications: A Review." *Biomedical Microdevices*, vol. 21, no. 4, 4 Nov. 2019. Accessed 30 Mar. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10544-019-0439-0>
2. Sonal Fande, et al. "Recent Trends in Electro-Microfluidic Devices for Wireless Monitoring of Biomarker Levels." *Applied Physics Letters*, vol. 126, no. 4, 27 Jan. 2025. Accessed 30 Mar. 2025. <https://doi.org/10.1063/5.0250921>
3. Ballester, Manuel, et al. "Enhancing the Swanepoel Method: Precise Envelope Detection of Thin-Film Transmission Spectra." *Optics Express*, 21 Feb. 2025, <https://doi.org/10.1364/oe.553824>. Accessed 30 Mar. 2025.

*Politanskyi Ruslan, doctor of Eng. Sciences, professor, professor at Department of Radio Engineering of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, [r.politansky@chnu.edu.ua](mailto:r.politansky@chnu.edu.ua).*

*Vistak Maria, doctor of Eng. Sciences, professor, professor at Department of Biophysics of Danylo Halytsky Lviv National Medical University (LNMU), [vistak\\_maria@ukr.net](mailto:vistak_maria@ukr.net).*

*Wójcik Waldemar, professor of the Department of Electronics and Information Technology, of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science at Lublin University of Technology, [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl).*

*Oksana Zarytska, PhD, Associate Professor Department of Business Economics and Investment at Lviv Polytechnic National University, [oksana.l.zarytska@lpnu.ua](mailto:oksana.l.zarytska@lpnu.ua)*

Оптимізація і перспективи використання анти-відбиваючих покриттів у біомедицині

**Ключові слова:** Антивідбиваючі покриття, статистична оптимізація, інтегральний коефіцієнт відбивання, біомедицина, IoT.

#### Анотація

У роботі проводиться пошук оптимальної товщини багатошарових антиблікових плівок із хорошими інтегральними оптичними властивостями, які зберігаються у широкому діапазоні кутів падіння та довжини хвилі. Дослідження виконуються на основі початкового розв'язку задачі, який налаштований на чверть-хвильову оптичну товщину кожного шару, де частота вибирається із умови максимальної чутливості до спектру поглинання діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>). У подальшому товщина шарів системи оптимізується методом пошуку глобального мінімуму функції, яка визначає кількість відбитого випромінювання у заданому діапазоні довжин хвиль і кутів падіння оптичного випромінювання на детектор. Показано, що методом статистичного моделювання можна визначити товщину шарів плівки, яка забезпечує систематичне покращення значення інтегрального коефіцієнту відбивання. Показано також, що методом статистичного моделювання можливо дійсно отримати оптимізовану структуру плівки, не дивлячись на незначне покращення інтегрального коефіцієнту відбивання (менше 1%). Тому розроблений метод аналізу має велике практичне значення для аналізу та виявлення ефектів поглинання оптичного випромінювання, які мають неінтерференційне походження

*Політанський Руслан Леонідович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Чернівці, [r.politansky@chnu.edu.ua](mailto:r.politansky@chnu.edu.ua)*

*Вістак Марія Володимирівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри біофізики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, [vistak\\_maria@ukr.net](mailto:vistak_maria@ukr.net)*

*Вуйцек Вольдемар, професор кафедри електроніки та інформаційних технологій Люблінського політехнічного університету, [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl).*

*Оксана Зарицька, кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки підприємств та інвестицій Національного університету «Львівська політехніка», [oksana.l.zarytska@lpnu.ua](mailto:oksana.l.zarytska@lpnu.ua)*