

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000710

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 30-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Герасимова Дарія Олександрівна

2. Dariia O. Herasymova

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 35357 Фізика та астрономія (104 Фізика та астрономія)

Дата захисту: 22-02-2024

Спеціальність за освітою: Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Місце роботи здобувача: Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534593

Місцезнаходження: вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ ID4362

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534593

**Місцезнаходження:** вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534593

**Місцезнаходження:** вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Англійська

**Коди тематичних рубрик:** 29.31, 29.35

**Тема дисертації:**

1. Дифракційне випромінювання на структурах з круглих діелектричних, металевих і графенових нанониток, що збуджуються модульованим потоком електронів
2. Diffraction radiation from dielectric, silver and graphene circular nanowire configurations excited by modulated electron beam

**Реферат:**

1. Мета роботи - аналіз резонансних ефектів у ДВ у присутності конфігурацій з одиничних круглих у поперечному перерізі нанониток, виготовлених з діелектриків, благородних металів та вкритих графеном, а також структур з їх скінченного числа, які збуджуються гармонійно модульованим пучком заряджених частинок. Об'єкт досліджень – явища розсіяння та поглинання модульованого поля електронного пучка конфігураціями скінченного числа круглих нанониток і нанотрубок, а також задачі на власні значення для таких круглих відкритих резонаторів з графеновим покриттям. Теоретичні та практичні результати. Запропонований метод і розроблені чисельні алгоритми мають контрольовану точність і можуть бути застосовані для надійного та ефективного обчислення характеристик розсіювання та поглинання

нанонитковими конфігураціями, виготовленими з діелектрика, благородного металу та графену, з використанням помірного комп'ютерного обладнання. Новизна наукових результатів. Вперше продемонстровано, що при зміщенні траєкторії пучка у спектрах ДВ з'являються раніше відсутні резонанси, пов'язані з супермодами даймера з двох оптично зв'язаних нанониток, поля яких ортогональні, в сенсі симетрії, до поля пучка; інтенсивності нових резонансних піків пропорційні зсуву пучка. Вищевказаний ефект виявлено для високодобротних супермод даймерів з діелектричних ниток з великим показником заломлення, тонких нанотрубок з благородних металів і ниток з графеновим покриттям при досить високих значеннях хімічного потенціалу графену. Також, при аналізі ДВ від скінченних решіток з багатьох нанониток, вкритих графеном, виявлено, що у спектрах потужності ДВ домінують резонанси на плазмонних модах кожної нитки та на ґраткових модах всієї решітки; інтенсивність ґраткових резонансів залежить від кількості ниток. Вперше проведено аналіз порогових умов для плазмонних мод нанолазера на основі даймеру з двох графенових нанотрубок з посилюючим матеріалом всередині. Показано, що одна з супермод даймеру має поріг, нижчий за моду одиничної нанотрубки. Нарешті, Оптичну теорему вперше адаптовано до ефекту ДВ модульованого пучка електронів. Методи досліджень. Теорія двовимірних крайових задач класичної електродинаміки. Що стосується графенових покриттів, то вони вважаються провідними трубками нульової товщини. Тут формалізм Кубо застосовано для характеристики поверхневого імпедансу графена з комплексним значенням, а для графену запитуються граничні умови резистивного типу. Крім того, ми використовуємо круглу форму нанониток і застосовуємо розкладання поля в ряди Фур'є в локальних полярних координатах кожної нитки в поєднанні з теоремою додавання Графа для циліндричних функцій. При підстановці в граничні умови це призводить до матричних рівнянь Фредгольма другого роду для коефіцієнтів розширення поля. Отже, така техніка належить до сімейства методів аналітичної регуляризації (MAP). Природа Фредгольма гарантує збіжність розв'язків усічених матричних рівнянь до точних розв'язків, якщо число зрізання стає більшим. Ступінь упровадження. Отримані результати чисельного аналізу характеристик розсіяння і поглинання та картини дальнього й ближнього поля ДВ від пучка заряджених частинок, що рухається поблизу різноманітних нанониткових розсіювачів та їхніх ґраток, мають фундаментальне значення для подальшого розвитку наноелектроніки та розробки нанорозмірних моніторів положення пучка й елементів діелектричних лазерних прискорювачів; аналіз порогових умов для плазмонних мод нанолазерів, розглянутих у дисертації, може допомогти у створенні нових більш ефективних нанолазерів, що перестроюються електростатичним чином. Сфера використання. Розроблені ефективні й збіжні коди для обчислення характеристик розсіяння та поглинання, а також частот і порогів власних мод, дозволяють використовувати їх як ядро в кодах для чисельної оптимізації оптичних конфігурацій, ключовими елементами яких є кругові нанонитки.

2. The purpose of the work is to analyze the resonance effects in DR from the mentioned above nanowire configurations excited by the harmonically modulated beams of charged particles. In terms of applications, we study the dimer structures that are most sensitive to variations in the beam trajectory and velocity and hence can be exploited as beam monitors. Finite arrays of nanowires are analyzed as key components of vacuum tubes and dielectric laser accelerators. The object of research is the phenomena of the scattering and absorption of the modulated electron beam field by configurations of finite-number circular nanowires and nanotubes, as well as the eigenvalue problems for such circular open resonators with graphene cover. Theoretical and practical results. The proposed method and the developed numerical algorithms have controlled accuracy and can be applied for the trusted and time-efficient computation of the DR-caused scattering and absorption by nanowire configurations made of dielectric, noble-metal and graphene, using the moderate computer hardware. Novelty of scientific results. It has been shown that if the particle beam trajectory is shifted from the central (symmetric) position, then the DR scattering and absorption spectra display appearance of previously absent resonances, associated with the dimer supermodes whose fields are orthogonal, in symmetry, to the beam field; the intensities of new peaks are proportional of the beam displacement. The above-mentioned effect has been found for the high-Q supermodes of the dimers of high refractive-index dielectric wires, thin noble-metal nanotubes, and graphene-covered wires at the high enough values of graphene's chemical potential; in the analysis of DR from sparse finite periodic arrays of

many graphene-covered nanowires, the dominant feature in the frequency spectra of DR power are the resonances on the plasmon modes of each wire and the lattice modes of the whole array. For the first time, an analysis of the threshold conditions for the plasmon modes of a nanolaser based on a dimer of two graphene nanotubes filled by the gain material was carried out. It is shown that one of the supermodes of the dimer has a threshold lower than that of a single nanotube. Also, the Optical Theorem, known previously in the plane-wave scattering, has been adapted to the DR effect of the modulated electron beam. nanowires. Research methods. The research methods include the theory of 2-D boundary-value problems of classical electromagnetics. As for the graphene covers, they are assumed to be zero-thickness conducting tubes. Here, the Kubo formalism is applied to characterize graphene's complex-valued surface impedance and the resistive-type boundary conditions are requested on the graphene. Further, we use the circular shape of the nanowires and apply the field expansions in the Fourier series in local polar coordinates of each wire, combined with the Graf addition theorem for the cylindrical functions. On substitution into the boundary conditions, this leads to the Fredholm second kind matrix equations for the field expansion coefficients. Therefore, such a technique belongs to the family of the methods of analytical regularization (MAR). The Fredholm nature guarantees that the solutions of the truncated matrix equations converge to the exact solutions if the truncation number gets larger. Degree of implementation. The obtained results of numerical analysis of the DR-caused scattering and absorption characteristics versus the frequency and other parameters, the far and near field patterns of the wave emission from charged particle beam moving near various nanowire scatterers and gratings of them have fundamental significance. They have also a wide range of applications including the BPM and DLA designs. The analysis of thresholds conditions for the plasmon modes of the considered in the thesis nanolasers can help in the creation of new, more efficient sources of waves. Scope of use. The developed computational codes of the DR-caused scattering and absorption characteristics permit using them as a core of the software for numerical optimization of optical configurations, key elements of which are circular.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0117U004036, 0119U102172, 0120U104419, 0122U001710, 0122U200724

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- 1. D. O. Herasymova, D.M. Natarov, S.V. Dukhopelnykov, T.L. Zinenko, M. Lucido, and A.I. Nosich, "Threshold conditions for transversal modes of tunable plasmonic nanolasers shaped as single and twin graphene-covered circular quantum wires," IOP Nanomaterials, vol. 33, no. 49, art. no 495001, 2022. (Q-2)
- 2. D. O. Herasymova, S. V. Dukhopelnykov and A. I. Nosich, "Infrared diffraction radiation from twin circular dielectric rods covered with graphene: plasmon resonances and beam position sensing," Journal of the Optical Society of America B, vol. 38, no. 9, pp 183-190, 2021. (Q-2)
- 3. D. O. Herasymova, S. V. Dukhopelnykov, M. Lucido and A. I. Nosich, "Optical sensing of electron-beam position with twin silver nanotube antenna tuned to hybrid surface plasmon resonance," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 27, no 1, art. no 3024114, 2020. (Q-1)
- 4. D. O. Yevtushenko and S. V. Dukhopelnykov, "Visible light from modulated electron beam moving between twin circular silver nanowires forming plasmonic photonic molecule," IOP Journal of Optics, vol. 22, no 2, art.

no 025002, 2020. (Q-1)

- 5. D. O. Yevtushenko, S. V. Dukhopelnykov, and A. I. Nosich, "Electron-beam excitation of supermodes of a photonic molecule built on twin high refractive index dielectric nanowires," *J Journal of Applied Physics*, vol. 125, no 22, art. no 223102, 2019. (Q-2)
- 6. D. O. Yevtushenko, S. V. Dukhopelnykov, and A. I. Nosich, "Optical diffraction radiation from a dielectric and a silver nanowire excited by a modulated electron beam," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 51, no 1, art. no 29, 2019. (Q-2)
- 7. D. O. Herasymova, "Diffraction radiation analysis of finite graphene-covered nanowire grating excited by electron beam," *Proc. European Microwave Conference (EuMC-2023)*, Berlin, 2023, pp. 544-547.
- 8. D. O. Herasymova, "Near and far field characteristics of two in line graphene coated dielectric nanowires excited by modulated electron beam," *Proc. 2023 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2023)*, San Diego, 2023, pp. 482-485.
- 9. D. O. Herasymova, "Infrared diffraction radiation from two in-line dielectric rods covered with graphene," *Proc. European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP-2023)*, Florence, 2023, pp. 1-4.
- 10. D. O. Herasymova and S.V. Dukhopelnykov, "Lasing threshold conditions for transversal modes of twin graphene-covered circular quantum wires," *Proc. European Microwave Conference (EuMC-2022)*, Milan, 2022, pp. 242-245.
- 11. D. O. Herasymova, "Infrared diffraction radiation from twin dielectric rods with graphene coatings as a tool for beam position sensing," *Proc. Int. Conference on Electronics and Nanotechnologies (ELNANO-2022)*, Kyiv, 2022, pp. 164-67.
- 12. D. O. Herasymova, "Electromagnetic analysis of lasing eigenmodes of twin semiconductor nanorods with graphene covers," *Proc. European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP-2022)*, Madrid, 2022, art. no 1570770733.
- 13. D. O. Herasymova, "Sensing the charged-particle beam position using the terahertz range diffraction radiation from two dielectric rods covered with graphene," *Proc. European Microwave Conference (EuMC-2021)*, London, 2021, pp. 249-253.
- 14. D.O. Herasymova, S.V. Dukhopelnykov, T.L. Zinenko, "Electromagnetic eigenvalue problem for twin dielectric rods covered with graphene: symmetry classes of the H-polarized supermodes," *Proc. IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2021)*, Lviv, 2021, pp. 771-774.
- 15. D. O. Herasymova, "Evaluation of twin silver nanotubes as a possible sensor of the charged particle beam position," *Proc. European Microwave Conference (EuMC-2020)*, Utrecht, 2020, pp. 615-618.
- 16. D. O. Herasymova, "Near fields of twin circular silver nanotubes excited by electron beam moving between them", *Proc. IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW-2020)*, IEEE 6th Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS), Kharkiv, 2020, pp. 937-941.
- 17. D. O. Herasymova and S. V. Dukhopelnykov, "Full-wave modeling of beam position monitors on silver nanowires and nanotubes: analysis of solution convergence," *Proc. Int. Conference on Electronics and Nanotechnologies (ELNANO-2020)*, Kyiv, 2020, pp. 77-80.
- 18. D. O. Herasymova, "Electromagnetic design of beam position monitor based on diffraction radiation from twin dielectric nanowires," *Proc. European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP-2020)*, Copenhagen, 2020, art. no 9135642.
- 19. D. O. Yevtushenko, "Bright and dark supermodes of twin dielectric nanowire photonic molecule excited by a modulated electron beam," *Proc. Int. Conference on Microwaves, Communications, Antennas, and Electronic Systems (COMCAS-2019)*, Tel Aviv, 2019, art. no 8958106.
- 20. D. O. Yevtushenko, "Optical range diffraction radiation of electron beam in the presence of twin circular dielectric nanowires," *Proc. European Microwave Conference (EuMC-2019)*, Paris, 2019, pp. 97-100.
- 21. D. O. Yevtushenko, "Optical resonances of photonic molecule of twin high refractive index dielectric nanowires excited by modulated electron beam," *Proc. IEEE Ukraine Conf. Electrical Computer Eng. (UKRCON-2019)*, Lviv, 2019, pp. 771-774.

- 22. D. O. Yevtushenko and S. V. Dukhopelnykov, "Total scattering cross-section of twin circular silver nanowires excited by electron beam moving between them," Proc. European Microwave Conference in Central Europe (EuMCE-2019), Prague, 2019, pp. 386-389.
- 23. D. O. Yevtushenko and S. V. Dukhopelnykov, "Near fields of twin circular silver nanowires excited by electron beam moving between them," Proc. Int. Conference on Electronics and Nanotechnologies (ELNANO-2019), Kyiv, 2019, pp. 340-343.
- 24. D. O. Yevtushenko, "Optical diffraction radiation of a beam of particles flowing near a circular silver nanowire," Proc. Int. Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED-2018), Tbilisi, 2018, pp. 43-46.
- 25. D. O. Yevtushenko, S. V. Dukhopelnykov, E. N. Odarenko, and A. I. Nosich, "Diffraction radiation of electron beam in the presence of dielectric optical nanowire resonator," Proc. Int. Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET-2018), Kyiv, 2018, pp. 148-151.
- Note: Dariia's maiden name is Dariia Yevtushenko, therefore, in the articles published in 2018-2020, she is marked as D. O. Yevtushenko.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** 0117U004036, 0119U102172, 0120U104419, 0122U001710, 0122U200724

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Черпак Микола Тимофійович
2. Mykola T. Cherpak

**Кваліфікація:** д.ф.-м.н., професор, 01.04.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5214-5015

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534593

**Місцезнаходження:** вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Духопельников Сергій Володимирович
2. Serhii V. Dukhopelnykov

**Кваліфікація:** к. т. н., с.д., 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0639-988

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534593

**Місцезнаходження:** вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Андрійчук Михайло Іванович
2. Mukhaylo I. Andriychuk

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 01.05.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9380-8807

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.  
С. Підстригача Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534430

**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 3-б, Львів, 79060, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ячин Володимир Васильович
2. Volodymyr V. Yachin

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., с.д., 01.04.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-4777-3927

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Радіоастрономічний інститут Національної академії наук  
України

**Код за ЄДРПОУ:** 02772020

**Місцезнаходження:** вул. Мистецтв, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сіренко Костянтин Юрійович

2. Kostyantyn Y. Sirenko

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., 01.04.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8401-2022

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534593

**Місцезнаходження:** вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Стешенко Сергій Олександрович

2. Serhii O. Steshenko

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-4777-3927

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534593

**Місцезнаходження:** вул. Академіка Проскури, буд. 12, Харків, Харківський р-н., 61085, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Свеженцев Олександр Євгенович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Свеженцев Олександр Євгенович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Іванченко І. В.

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна