Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000687

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 29-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Євтушенко Федір Олександрович
2. Fedir O. Yevtushenko

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: 15-02-2024

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 ID4382

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. Резонансне розсіяння та поглинання електромагнітних хвиль нескінченними решітками з графенових стрічок на діелектричних підкладках

2. Resonant scattering and absorption of electromagnetic waves by infinite gratings of grapheme strips on dielectric substrates

Реферат:

1. Мета роботи - по-перше, чисельний аналіз резонансних ефектів у розсіянні та поглинанні H- та E-поляризованих електромагнітних хвиль нескінченною решіткою з графенових стрічок, що лежать на пасивній діелектричній підкладці По-друге, ще однією важливою метою є дослідження порогових умов для H- і E-поляризованих мод лазерного випромінення нескінченної плоскої решітки з графенових стрічок, що лежать на підкладці з підсилюючого матеріалу. При цьому особливу увагу приділено перестроюванню плазмонних мод і надвисоко-добротних мод решітки за допомогою хімічного потенціалу графену. Об'єкт досліджень – електромагнітне поле, що розсіюється і поглинається нескінченною графеновою стрічковою решіткою на діелектричній підкладці та випромінюється такою решіткою на підкладці з немагнітного

підсилювального матеріалу. Теоретичні та практичні результати. Практичне значення розроблених алгоритмів полягає в тому, що вони дозволяють забезпечити достовірне моделювання характеристик відповідних сенсорів, поглиначів і фільтрів на основі графенових стрічкових решіток у ТГц та інфрачервоному діапазонах частот. Результати, пов'язані з пороговими умовами для режимів графенових стрічкових решіток на підкладках з підсилювального матеріалу, можуть бути використані при попередньому проектуванні та оцінці низькопорогових нанолазерів, що перестроюються, в ТГц та інфрачервоному діапазонах частот. Завдяки поєднанню високої швидкості та точності, розроблені коди можуть бути використані як рушійні в чисельних процедурах багатопараметричної оптимізації, що базуються на локальній (наприклад, градієнтної) та глобальній мінімізації цільових функцій. Новизна наукових результатів. Продемонстровано швидкість збіжності отриманих безсіткових чисельних алгоритмів і проведено перевірку обчислювальних результатів шляхом порівняння з даними, отриманими за допомогою іншого збіжного методу, МАР-Галеркіна. Ми продемонстрували, що завдяки перестроюванню Н-поляризованих плазмонних мод за допомогою хімічного потенціалу графену можна реалізувати електромагнітну індуковону прозорість. Це може бути корисним при розробці нових перестроюваних фільтрів, модуляторів і поглиначів, які використовують графен з періодичною структурою. Наші розрахунки підтвердили наявність високодобротних резонансів на РМ в обох поляризаціях, які не існують на стрічковій решітці, розміщеній у вільному просторі. У випадку Е-поляризації отримано аналітичні вирази для комплексних частот РМ. Ці вирази вперше демонструють, як полюси РМ ховаються на нефізичному листі поверхні АР Рімана і мігрують на фізичний лист завдяки підкладці скінченної товщини. Ми точно вивчили порогові умови для мод графенової стрічкової решітки на підкладці з підсилювального матеріалу. Виявлено, що моди розбиваються на два класи відповідно до симетрії чи антисиметрії відносно середньої лінії стрічки. Найнижчі пороги виявлено для РМ у кожному класі симетрії, тоді як найкращу перестроюваність за частотою, в межах 2-3 разів, демонструють ПМ. Методи досліджень. Методи дослідження включають теорію часово-гармонічного розсіяння хвиль, тобто двовимірні крайові задачі (КЗ) класичної електромагнетики, та теорію пов'язаних з ними задач на власні значення. Ступінь упровадження. Аналіз порогових умов для плазмонних мод нанолазерів, розглянутих у дисертації, може допомогти у створенні нових 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, плоскої решітки з графенових стрічок, що лежать на підкладці.

2. The purpose of the work is, first, to analyze numerically the resonance effects in the H- and E-polarized electromagnetic wave scattering and absorption by infinite grating of graphene strips lying on dielectric substrate. Second, another important goal is to study the threshold conditions for the H- and E-polarized lasing modes of infinite flat grating of graphene strips lying on the gain-material substrate. Here, special attention is paid to the tunability of the plasmon modes and ultrahigh-Q lattice modes with the aid of graphene's chemical potential. The object of research is the electromagnetic field scattered and absorbed by the infinite graphene strip grating on dielectric substrate and emitted by such a grating on non-magnetic gain-material substrate. Theoretical and practical results. The practical significance of the developed algorithms is seen in their ability to provide trusted modeling of the performance of corresponding sensors, absorbers and filters based on the graphene strip gratings in the THz and infrared frequency ranges. The results related to the threshold conditions for the modes of the graphene-strip gratings on gain-material substrates can be used in the pre-design and evaluation of low-threshold tunable nanolasers in the THz and infrared frequency ranges. Thanks to the combination of high speed and accuracy, the developed codes can be used as the engines in the numerical multi-parametric optimization routines that are based on the local (e.g. gradient-type) and global minimization of target functions. Novelty of scientific results. The rate of convergence of the resulting meshless numerical algorithms have been demonstrated and validation of the computed results has been performed by the comparison with data obtained using another convergent technique, MAR-Galerkin. We have demonstrated that thanks to the tunability of the H-polarized plasmon modes with the aid of graphene's chemical potential, it is possible to realize an EIT. This can be useful in

the design of novel tunable filters, modulators and absorbers that use periodically patterned graphene. Our computations have confirmed the presence of the high-Q resonances on LMs, in the either polarization, that do not exist on the strip grating placed in the free space. In the E-polarization case, we have derived analytical expressions for the complex frequencies of LMs. These expressions, for the first time, demonstrate how the LM poles hide to the non-physical sheet of the RA Riemann surface and migrate to the physical sheet thanks to finite-thickness substrate. We have accurately studied the threshold conditions for the modes of the graphene strip grating on the gain-material substrate. As we have found, the modes split into two classes according to the symmetry or anti-symmetry relatively to the strip middle line. The lowest thresholds are found for the LMs in each symmetry class, while the best tunability in frequency, within a factor of 2 to 3, is demonstrated by the PMs. Research methods. The research methods include the time-harmonic wave scattering theory, i.e. the 2-D boundary value problems (BVP) of classical electromagnetics, and the theory of associated eigenvalue problems. Degree of implementation. The analysis of threshold conditions for plasmonic modes of nanolasers discussed in this thesis can help in the development of new electrostatically tunable nanolasers. Scope of use. The developed efficient and convergent codes for calculating the scattering and absorption characteristics, as well as the frequencies and thresholds of natural modes, allow them to be used as the core in codes for numerical optimization of optical configurations, a flat grating of graphene strips lying on a substrate.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0117U004036, 0119U102172, 0120U104419,0120U104925, 0121U113145, 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. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, Y.G. Rapoport, T.L. Zinenko, R. Sauleau, and A.I. Nosich, " Tunability of non-plasmon resonances in the E-polarized terahertz wave scattering from microsize graphene strip-on-substrate grating," Optical Materials Express, vol. 13, no 8, pp. 2274-2287, 2023. Q-2. https://doi.org/10.1364/OME.496037
- 2. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, Y.G. Rapoport, T.L. Zinenko, and A.I. Nosich, “Spoiling of tunability of on-substrate graphene strip grating due to lattice-mode-induced transparency,” Royal Society of Chemistry Advances, vol. 12, pp. 4589–4594, 2022. Q-2. https://doi.org/10.1039/d1ra08287f
- 3. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, Y.G. Rapoport, and T.L. Zinenko, "Electromagnetic characterisation of tuneable graphene-strips-on-substrate metasurface in the whole THz range: analytical regularization and interplay of natural-mode resonances," IET Microwaves, Antennas and Propagation, vol. 15, no 10, pp. 1225-1239, 2021 Q-2. https://doi.org/10.1049/mia2.12158
- 4. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, and T.L. Zinenko, "E-polarized plane-wave scattering from a PEC strip grating on a dielectric substrate: analytical regularization and lattice-mode resonances," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 35, no 10, pp. 1388–1405, 2021. Q-3. https://doi.org/10.1080/09205071.2021.1887001
- 5. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, and A.I. Nosich, "Plane-wave scattering by a PEC strip grating on top of a dielectric substrate: analytical regularization based on the Riemann-Hilbert Problem solution," Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 33, no 4, pp. 483-499, 2020. Q-3.

https://doi.org/10.1080/09205071.2020.1722258

- 6. F.O. Yevtushenko, "Threshold analysis for the modes of microsize graphene strip grating laser," Proc. Int. Conference Applied Electromagnetics and Communications (ICECOM-2023), Dubrovnik, 2023.
- 7. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, "Emission frequencies and thresholds for microsize graphene strip grating on gain substrate," Proc. European Microwave Conference (EuMC-2023), Berlin, 2023, pp. 548-551.
- 8. F. O. Yevtushenko, "Resonance scattering and absorption of the E-polarized plane wave by graphene strip on-substrate grating" International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2022), Kyiv, 2022, pp. 196-201.
- 9. F. O. Yevtushenko, S. V. Dukhopelnykov, "Resonances in the E-polarized terahertz wave scattering and absorption by a graphene strip on-substrate grating"Proc. European Microwave Conference (EuMC-2022), Milan, 2022, pp. 736-739.
- 10. F. O. Yevtushenko, "Role of substrate in the H-polarized terahertz wave scattering and absorption by a graphene strip on-substrate grating," Proc. Int. Conf. EEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, Proceedings, (UkrMiCo 2021), Kyiv, 2021, pp. 279-282.
- 11. F. O. Yevtushenko, "H-polarized terahertz wave scattering from on-substrate graphene strip grating: electromagnetically induced transparency," Proc. Int. Conference Microwaves, Communications, Antennas, and Electronic Systems (COMCAS-2021), Tel Aviv, 2021, art. no 21483684.
- 12. F. O. Yevtushenko, S. V. Dukhopelnykov, and T. L. Zinenko, "Basic equations of the lasing eigenvalue problem for a graphene strip on-substrate grating, H-polarization," Proc. IEEE Ukrainian Conference Electrical Computer Eng. (UKRCON-2021), Lviv, 2021.
- 13. F. O. Yevtushenko, "Convergence study for the method of analytical regularization applied to the E-plane-wave scattering from a PEC strip grating on a dielectric substrate," Proc. Int. Conference Ukrainian Microwave Week (UKRMW-2020), Kharkiv, 2020, pp. 504-506.
- 14. F. O. Yevtushenko, S. V. Dukhopelnykov, and T. L. Zinenko, “Fano-shape lattice-mode resonances and near fields in the E-polarized wave scattering by a PEC strip grating on a dielectric substrate,” Proc. Int. Conference Ukrainian Microwave Week (UKRMW-2020), Kharkiv, 2020, pp. 516-519.
- 15. F. O. Yevtushenko and S. V. Dukhopelnykov, "Method of analytical regularization based on the static part inversion in the H-wave scattering by a PEC strip grating on top of a dielectric substrate," Proc. Int. Conference Microwaves, Communications, Antennas, and Electronic Systems (COMCAS-2019), Tel Aviv, 2019, art. no 8958263.
- 16. F. O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, and A. I. Nosich, "Plane-wave scattering by a PEC strip grating on top of a dielectric substrate: basic equations, regularization, and convergence," Proc. IEEE Ukrainian Conference Electrical Computer Eng. (UKRCON-2019), Lviv, 2019, pp. 797–801.

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, 0120U104419,0120U104925, 0121U113145, 0122U001710, 0122U200724

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ільєнко Костянтин Володимирович

2. Kostiantyn V. Ilienko

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.22

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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. Каліберда Мстислав Євгенович

2. Mstyslav Y. Kaliberda

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8169-4360

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Фітьо Володимир Михайлович
2. Volodymyr M. Fityo

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6086-4087

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки 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