ЗАТВЕРДЖУЮ
В. о. директора Інституту радіофізики
та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН
України

_____ Юрій ЛОГВІНОВ
15 жовтня 2024 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 5 від 01 серпня 2024 р. розширеного засідання фахового наукового семінару відділу твердотільної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України.

Були присутні: 45 учасників семінару, в тому числі: **доктори фізико-математичних наук:** Кириленко А. О., Луценко В. І., Хуторян Є. М., Єременко З. Є., Мележик П. М., Стешенко С. О., Когут О. Є., Кузьмичов І. К., Кулешов О. М., Миценко І. М., Іванченко І. В., Тарапов С. І., Аверков Ю. О., Воловічев І. М., Туз В. Р. (Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна), Грибовський О. В. (Радіоастрономічний інститут НАН України);
кандидати фізико-математичних наук: Соболяк О. В., Луценко І. В., Натаров М. П., Шубний О. І., Архипова К. А., Кривенко О. В., Головащенко Р. В., Полевой С. Ю., Кадигроб Д. В., Носатюк С. О., Сіренко К. Ю., Маслов В. В., Мосьпан Л. П., Борисенко С. А., Кадигроб Д. В., Кулік Д. Ю., Деркач В. М., Вакула А. С., Недух С. В., Сенкевич О. Б., Земляний О. В., Татьянко Д. М.;
кандидат технічних наук: Брюзгінова Н. В.; **доктор філософії** Сова К. Ю.

Слухали: доповідь і обговорення дисертаційної роботи молодшого наукового співробітника відділу радіоспектроскопії Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України Острижного Євгенія Михайловича на тему «Електродинамічні властивості кіральних об'єктів зі штучною оптичною активністю в мікрохвильовому діапазоні» на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Тему дисертаційної роботи затверджено на засіданні Вченої ради Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України (протокол № 3 від 11 лютого 2021 року). Наказом Інституту №149/ВК від 13.10.2020 р.

науковим керівником призначено кандидата фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Деркача В.М. Наказом Інституту № 30/ ВК від 28.03.2022 р. призначено другого наукового керівника кандидата фізико-математичних наук, старшого дослідника Недуха С. В. Наказом Інституту № 78/ВК від 31.05.2024 р. наукових керівників Деркача В.М. і Недуха С.В. замінено на наукових керівників доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Стешенка С.О. і доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Когута О.Є.

В обговоренні дисертаційної роботи **брали участь (ставили питання і виступили):** Полевой С. Ю., Натаров М. П., Грибовський О. В., Кулешов О. М., Кириленко А .О., Луценко В. І., Стешенко С. О., Когут О. Є., Деркач В. М.

Ухвалили: прийняти з даної роботи такий висновок

ВИСНОВОК
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Острижного Є. М.

Актуальність теми дослідження

Розробка сучасних радіотехнічних систем, що використовуються в техніці радіозв'язку, радіолокації, радіоастрономії, оборонних областях радіоелектроніки, вимагає нових принципів при побудові функціональних пристроїв і антен, зменшення їхніх масогабаритних параметрів одночасно із забезпеченням широкосмуговості, надійності та багатофункціональності. Задоволення цих вимог неможливо без реалізації нових фізичних явищ, матеріалів і технологій. В останні роки розробники НВЧ пристроїв і антен все більше звертають увагу на нові матеріали та середовища з незвичайними електромагнітними властивостями. Це, так звані, метаматеріали, які включають кіральні та перколяційні середовища, оптомагнетики, фотонні й електронні кристали.

На відміну від звичайних матеріалів, властивості яких визначаються їхніми атомами і молекулами, а точніше, тим, як електрони в них взаємодіють з електромагнітною хвилею, будівельними блоками метаматеріалів є значно більші, штучно створені об'єкти – електромагнітні резонатори – зазвичай

виглядають як металеві смужки, розімкнені кільця, спіралі, розміри яких значно менші за довжину хвилі. Завдяки цьому, в метаматеріалах все не так, як у звичайних матеріалах. Зокрема, коефіцієнт заломлення може приймати негативні та нульові значення, стають зверненими ефекти Доплера й Вавілова-Черенкова, проявляються цікаві поляризаційні ефекти. При цьому, можна не тільки задавати властивості метаматеріалів, а й динамічно ними керувати.

Цікавим, з точки зору застосування метаматеріалів, є керування поляризаційними характеристиками мікрохвильового випромінювання. Перспективними можуть бути тривимірні матеріали з практично значущими кіральними властивостями. На їхній основі вже створено компактні керовані обертачі площини поляризації. Слід зазначити, що в таких структурах можуть виникати своєрідні власні коливання, в яких є різні площини поляризації з обох боків від об'єкта, що відкриває нестандартні можливості застосування ефекту «гігантської оптичної активності», негативного заломлення, надроздільної здатності та, можливо, інших нових цікавих властивостей. У зв'язку з цим, майбутні дослідження об'єднають пошук кіральних об'єктів, аналіз і експериментальне дослідження їхніх властивостей, а також використання цих властивостей для розробки нових керованих приладів НВЧ.

У дисертації наведено результати впливу топології кіральних неоднорідностей, на прикладі круглого хвилеводу, на кількість і ширину смуги резонансів штучної оптичної активності.

Зв'язок роботи з планами наукових робіт

Дисертаційна робота виконувалась у відділі радіоспектроскопії Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України відповідно до планів виконаних НДР або НДР, що виконуються в цей час, державних наукових програм «Електродинаміка відкритих резонансних систем, періодичних структур із композитними матеріалами та антенних систем; прямі та зворотні задачі; розробка когерентних джерел, елементної бази і вимірювальних пристроїв міліметрового та субміліметрового діапазонів електромагнітних хвиль» (Шифр «Старт–3», 2012–2016 рр., № ДР 0111U010480); НДР «Генерація, посилення, детектування та розповсюдження терагерцового випромінювання: електродинамічне моделювання та експеримент» (Шифр «Старт–4», 2015–2019 рр., № ДР 0117U004034); НДР « Нові теоретичні та експериментальні методи в електродинамічному моделюванні, генерації та випромінюванні електромагнітних хвиль гігагерцового та терагерцового діапазонів частот» (Шифр «Старт–5», 2020–2024 рр., № ДР 0120U100980).

Роботу також пов'язано з виконанням досліджень у рамках проєкту, фінансованого за договором із центральним органом виконавчої влади, академією наук України «Діелектричні метаповерхні з поляризаційно-виродженим спектром для високоточного детектування кіральних речовин» (Шифр «СТОКС», 2022–2023 рр. , № ДР 0122U002101).

Наукова новизна одержаних результатів. Основні наукові результати:

1. Вперше показано, що, незважаючи на відсутність поздовжньої симетрії, неоднорідності з діедральною симетрією в круглому хвилеводі мають властивості симетричного двопортовика. А саме, мають 90-градусний зсув між фазами коефіцієнтів проходження й відбиття та характеризуються резонансами повного проходження.

2. Вперше показано, що найширша смуга штучної оптичної активності досягається в зоні зближення двох власних коливань. У випадку пари спряжених діафрагм з одним кільцем прямокутних щілин це дозволяє отримати смугу в 5 –7% з майже повним перетворенням лінійної поляризації на кросполяризовану.

3. Вперше показано, що резонансі частоти та добротність резонансів пари спряжених діафрагм з одним кільцем прямокутних щілин істотно залежать від кількості щілин. Чим більше щілин, тим нижче резонансні частоти й тим більша добротність резонансів.

4. Вперше показано можливість отримання багаторезонансного ефекту штучної оптичної активності при розташуванні щілин у декількох кільцях спряжених діафрагм.

5. Знайдено конструкції серії надкомпактних обертачів площини поляризації в круглому хвилеводі, які можуть бути налаштовані на необхідний кут обертання. Найкраща конструкція має загальний поздовжній розмір $\lambda/30$ і дозволяє налаштовувати кут обертання площини поляризації в діапазоні $\pm 33°$ при обертанні однієї з діафрагм пристрою на кут у діапазоні $\pm 9°$.

6. Запропоновано оригінальну конструкцію обертача площини поляризації, утвореного парою однакових, повернених один відносно іншого гофрованих фланців. Такий пристрій дозволяє перетворювати набіжну хвилю в кросполяризовану в смузі близько 5% з коефіцієнтом стоячої хвилі (КСХ) не гіршим за 1,2.

7. Розроблено експериментальний стенд і запропоновано методику проведення експерименту для вивчення ефекту штучної оптичної активності неоднорідностей у круглому хвилеводі.

Практичне значення результатів дисертації полягає в тому, що, завдяки більш поглибленому розумінню ефектів, які виникають у шарованих кіральних метаматеріалах, можна створити надкомпактні обертачі площини поляризації з можливістю керування як робочою смугою частот такого пристрою, так і кутом повороту площини поляризації хвилі, що пройшла. Макет такого поляризатора було розроблено й експериментально перевірено в X-діапазоні в круглому хвилеводі, загальний поздовжній розмір складає $\lambda/30$ і дозволяє налаштовувати кут обертання площини поляризації в діапазоні ± 33° при механічному обертанні однієї з діафрагм пристрою на кут у діапазоні ± 9°. Показано можливість для створення подібних обертачів з електронним керуванням.

Обґрунтованість і достовірність отриманих у роботі результатів базується на використанні власного пакету числово-аналітичного моделювання Microwave Desktop (MWD). Він ґрунтується на методі часткових областей і методі узагальнених матриць розсіяння. При цьому, спочатку визначаються базиси окремих хвилевідних ліній, що входять у пристрій, далі розраховується паралельно-площинне з'єднання відповідних щілин діафрагми з регулярним хвилеводом. Для цього спочатку обчислюються частотно-незалежні інтеграли зв'язку, за допомогою умов безперервності тангенціальних компонентів електромагнітного поля отримується система лінійних рівнянь алгебри для розв'язання розглянутої задачі дифракції, а потім знаходиться узагальнена матриця розсіяння відповідного чотириполюсника. Точність розрахунків регулюється єдиним параметром f_{cut} – верхньою межею критичних частот власних хвилевідних мод, що використовуються при розкладанні полів, тобто розміром проекційних хвилевідних базисів. Результати розрахунків неодноразово підтверджувалися експериментально та порівнювалися з комерційними пакетами CST Microwave studio та HFSS.

Публікації

За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 4 статті у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus та 8 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій. Публікації здобувача

повністю відповідають темі дисертації та правильно відображають її зміст і основні результати.

Публікації за темою дисертації:

1. Kirilenko A. A., Steshenko S. O., Derkach V. N., Ostryzhnyi Ye. M. Comparative analysis of tunable compact rotators. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 33, no. 3, pp. 304–319, 2018. DOI:10.1080/09205071.2018.1550443

2. Kirilenko A.A., Steshenko S.O., Derkach V.N., Ostryzhnyi Ye.M. A tunable compact polarizer in a circular waveguide. IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 67, no. 2, pp. 592–596, 2019. DOI:10.1109/TMTT.2018.2881089

3. A.A. Kirilenko, S.O. Steshenko, V.N. Derkach, Y.M. Ostrizhyi, L. P. Mospan, Tunable polarization rotator on a pair of grooved flanges, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 34, no. 17, pp. 2304–2316, 2020. doi:10.1080/09205071.2020.1812442

4. A. Kirilenko, S. Steshenko, Y. M. Ostrizhyi, V.Derkach, Eigen-oscillations of planar-chiral bilayer objects give rise to artificial optical activity, Radio phys. Radio astron., vol. 29, no. 1, pp. 15–25, 2024. DOI:https://doi.org/10.15407/rpra29.01.015

5. O. M. Salogub, S. A. Prikolotin, N. G. Kolmakova, Y. M. Ostrizhyi, Plane-chiral Metamaterial in a Waveguide and Free Space, 12th Kharkiv Young Scientists Conference on Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics (YSC-2012), 4 – 7 December 2012, Institute for Radiophysics and Electronics of NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

6. V. Derkach, A. Kirilenko, A. Salogub, S. Prikolotin, N. Kolmakova, Y. Ostrizhyi, Gigant Optical Activity in Artificial Plane-Chiral Structures, 2013 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), pp. 436-438, 2013.

7. V. N. Derkach, A. A. Kirilenko, A. N.Salogub, S. A .Prikolotin, N. G. Kolmakova, Y. M. Ostrizhyi, Polarization Conversion by Bilayer Chiral Structure with Giant Optical Activity, CriMiCo 2013 - 2013 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Ukraine, Sevastopol, 9– 13 September, 2013, pp. 994-995.

8. O.M. Salogub, A.O. Perov, Y.M. Ostrizhyi, Composite Plane-Chiral Iris as Part of Metamaterial Structure, 13th Kharkiv Young Scientists Conference on Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics (YSC-2013), 2 – 6 December 2013, O.Ya.Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

9. O. Salogub, Y. Ostryzhniy, Giant Optical Activity of Plane-Chiral Structure with Trapezoidal Slit, 14th Kharkiv Young Scientists Conference on

Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics (YSC-2014), 14 – 17 October 2014, Kharkiv, Ukraine, report SSR&NM-11.

10. Ye. Ostryzhnyi, S. Steshenko, A. Kirilenko, Topology of a planar-chiral iris as a factor in controlling the "optical activity" of a bilayer object, 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW'2020), Kharkiv, Ukraine, September 21 – 25, 2020: Proceedings. In 4 volumes. Volume 3: 2020 IEEE 10th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'2020). – 2020. – ISBN: 978-1-7281-7312-2. – [Electronic resource]. – P. 555 – 558.

11. A. Kirilenko, S. Steshenko, Y. Ostrizhyi, V. Derkach, Rotation of the polarization plane by grooved flanges in a circular waveguide, 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW'2020), Kharkiv, Ukraine, September 21 – 25, 2020: Proceedings. In 4 volumes. Volume 3: 2020 IEEE 10th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'2020). – 2020. – ISBN: 978-1-7281-7312-2. – [Electronic resource]. – P. 680 – 683.

12. Anatoliy Kirilenko, Sergiy Steshenko, Yevhenii Ostrizhyi, Multiring Slot Arrangements for Multiband Optical Activity of Bilayer Objects, 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, November 14th – 18th, 2022.

Структура дисертації є цілісною, а обсяг публікацій за матеріалами дисертаційної роботи відповідає встановленим вимогам МОН України і є достатнім для подання роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам.

У дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності.

Апробація результатів дисертації. Результати, представлені у дисертації, доповідалися на таких конференціях: 12th Kharkiv Young Scientists Conference on Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics (YS C – 2012), 4 – 7 December 2012, O.Ya.Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine; 2013 International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), 2013; CriMiCo 2013 – 2013 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Ukraine, Sevastopol, 9 – 13 September, 2013; 13th Kharkiv Young Scientists Conference on Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics (YSC – 2013), 2 – 6 December 2013, O.Ya.Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine; 14th Kharkiv Young Scientists Conference on Radiophysics, Electronics, Photonics and Biophysics (YSC-2014), 14 – 17 October 2014, Kharkiv, Ukraine 2020 IEEE Ukrainian Microwave

Week (UkrMW'2020), Kharkiv, Ukraine, September 21 – 25, 2020: Proceedings. In 4 volumes. Volume 3: 2020 IEEE 10th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'2020); 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, November 14th – 18th, 2022.

Особистий внесок здобувача. Публікації, в яких представлено основні результати дисертаційної роботи, написано та опубліковано в співавторстві. Всі основні результати були отримані автором особисто або за його безпосередньої участі в співпраці з колегами з Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України та Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

У роботах [1, 2, 4, 7, 8, 10-12] здобувач безпосередньо брав участь у проведенні експериментальних досліджень з вимірювання коефіцієнтів узгодження та проходження кросполяризованої хвилі. Здобувач особисто обробляв і проводив аналіз усіх наведених у дисертаційній роботі експериментальних даних, розробляв і виготовляв усі експериментальні зразки, брав участь в обговоренні та аналізі отриманих теоретичних результатів, підготовлював і редагував тексти публікацій, які лягли в основу даної роботи. У роботах [3, 9] проводив всі числові розрахунки та був доповідачем у [9].

Рішення. Науковий семінар відділу твердотільної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України на підставі доповіді Острижного Є.М. та детального обговорення дисертаційної роботи «Електродинамічні властивості кіральних об'єктів зі штучною оптичною активністю в мікрохвильовому діапазоні», що подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія, відзначає високий науковий рівень і фундаментальність проведених у ній досліджень. За актуальністю вирішуваних завдань, новизною, науковою обґрунтованістю та практичною значущістю отриманих результатів семінар вважає, що дисертаційна робота Острижного Є.М. повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Науковий семінар відділу твердотільної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України **рекомендує:**

1) Дисертаційну роботу Острижного Є.М. «Електродинамічні властивості кіральних об'єктів зі штучною оптичною активністю в мікрохвильовому діапазоні» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія в разовій спеціалізованій вченій раді Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України.

2) Утворити разову спеціалізовану вчену раду в складі:

Голова:

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України Прокопенко Юрій Володимирович.

Члени:

Рецензенти:

доктор фізико-математичних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу теорії дифракції та дифракційної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України Хуторян Едуард Михайлович;

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу твердотільної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України Натаров Михайло Петрович.

Опоненти:

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу теоретичної радіофізики Радіоастрономічного інституту НАН України Грибовський Олександр Володимирович;

доктор фізико-математичних наук, доцент, провідний науковий співробітник, кафедри теоретичної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Туз Володимир Ростиславович.

Головуючий на засіданні
фахового наукового семінару
відділу твердотільної електроніки
ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України
кандидат фізико-математичних наук _____ Олександр ШУБНИЙ