

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
Радіоастрономічного інституту НАН України

Вячеслав ЗАХАРЕНКО
(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

Дослідження шляхів створення та властивостей невзаємних контрольованих оптичних
(назва Проєкту)

метաповерхонь

Назва конкурсу: Конкурс НФДУ “Підтримка досліджень провідних та молодих учених”
Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0218

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0218 Дослідження шляхів створення та властивостей невзаємних контрольованих оптичних метաповерхонь

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу “Підтримка досліджень провідних та молодих учених” (назва конкурсу) протокол від « 16-17 » вересня 20 20 року № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 26 квітня 2021 року
(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15 грудня 2021 року

Загальна вартість Проєкту, грн. 5 979 630 п'ять мільйонів дев'ятсот сімдесят дев'ять тисяч шістсот тридцять гривень

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 487430 чотириста вісімдесят сім тисяч чотириста тридцять гривень

2-й рік 2674000 два мільйони шістсот сімдесят чотири тисячі гривень

3-й рік 2818200 два мільйона вісімсот вісімнадцять тисяч двісті гривень

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук 2 ;
кандидати наук 3 ;
інші працівники 2 .

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Грантоотримувач – Радіоастрономічний інститут НАН України, 61002, м. Харків, вул. Мистецтв, 4.

Організації субвиконавці до виконання проєкту не залучались.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Мета проєкту – побудова фізичної моделі невзаємних компактних приладів фотоніки на основі оптичних метаповерхонь, що утворені з використанням магніто-оптичних середовищ, нелінійних матеріалів і порушення РТ-симетрії.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Основні завдання проєкту:

- побудова чисельного та/або чисельно-аналітичного розв'язку задачі розсіяння світла періодичними структурованими у двох напрямках у площині невзаємними резонансними метаповерхнями;
- встановлення електромагнітних властивостей та фізичних закономірностей формування невзаємного відгуку на збуджуюче поле таких метаповерхонь та областей їх параметрів, які забезпечують цікаві для застосувань стани розсіяного поля.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Одним з ключових вузлів сучасної оптичної системи є хвильовий ізолятор та взаємний прилад із асиметричним відгуком на електромагнітне збудження. Розвиток теорії метаповерхонь оптичного діапазону довів перспективність їх застосування для побудови таких вузлів. На цей час відомі методи досягнення оптичного хвильового перемикачів за допомогою зовнішніх полів та температури, але надзвичайно актуальною є задача підвищення його ефективності та швидкості.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Новизна проєкту полягає у створенні теоретичних засад для побудови нових компактних приладів фотоніки, які здатні перелаштовуватись, на основі оптичних невзаємних меташарів з нелінійними та магніто-оптичними елементами, властивості яких можуть змінюватись з часом. З цією метою вивчається взаємодія власних коливань метаповерхні поміж собою та з збуджуючим полем у присутності в її складі таких елементів.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Основою дослідження властивостей невзаємних оптичних метаповерхонь у проєкті є порушення леми Лоренца на випадок косокутної двоперіодичної планарної структури, яка може включати у свій склад нелінійні та магніто-оптичні елементи. З цією метою передбачається поєднання аналітичних та чисельних методів електродинаміки, які довели свою ефективність та коректність під час аналізу властивостей метаповерхонь в попередніх роботах.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Основними завданнями перших етапів проєкту було, по-перше, узагальнення відомих фізичних явищ, які відповідають за формування резонансного відгуку взаємних метаповерхонь на електромагнітне збудження, на випадок складної геометрії базової комірки та використання середовищ, які здатні порушувати взаємність, а, по-друге, пошук конфігурацій метаповерхонь та фізичних ефектів, які є перспективними за для побудови невзаємних метаповерхонь.

На першому етапі проєкту, який виконувався протягом 2020 року, основну увагу було приділено дослідженню особливостям формування відгуку дискової відбивної метаповерхні на електромагнітне збудження в умовах існування у відбитому полі більш ніж одного дифракційного променя. Другим об'єктом дослідження була метаповерхня, яка складалась з двох схрещених решіток з діелектричних брусів.

На даному етапі, який виконувався протягом 2021 року, попередні результати досліджень були узагальнені на більш складні системи. До них відносяться наступні системи:

- дискова метаповерхня із періодичною коміркою у вигляді кластеру;
- метаповерхня, яка утворена з масиву складних за формою багат шарових діелектричних резонаторів;
- багат шарова метаповерхня, яка містить декілька періодичних масивів циліндричних резонаторів з різною конфігурацією базової комірки, у тому числі у вигляді кластеру, з високим ступенням електродинамічного зв'язку поміж масивами;
- метаповерхня, яка утворена у вигляді двох схрещених решіток, одна з яких утворена діелектричними брусами, а інша – брусами з магнітоактивної речовини (ферромагнетику);
- метаповерхня, що утворена періодичною тонкою решіткою металевих брусів із шаруватим діелектричним заповненням щілин, яке містило у своєму складі діелектрик з нелінійним відгуком на зовнішнє поле;
- відбивна метаповерхня з кремнієвих дисків в умовах формування нелінійного відгуку на потужне електромагнітне випромінювання оптичного діапазону.

Всі ці дослідження повністю відповідали запланованим у проєкті та досліджувались вперше. Як наслідок, отримана низка нових фізичних результатів, які мають як власне значення і можуть бути використані для розробки та вдосконалення систем та приладів фотоніки, так і є цікавими з точки зору побудови узагальненої моделі невзаємних метаповерхонь та розробки на їх основі унікальних за характеристиками невзаємних приладів оптичного та інфрачервоного діапазонів.

До основних результатів слід віднести наступне:

- вперше показана можливість формування частотних смуг з високим рівнем недзеркального відбиття при використанні відбивної метаповерхні з періодичною коміркою у вигляді кластеру діелектричних дисків;
- запропонована конфігурація двошарового діелектричного резонатору, що складається з двох однакових паралелепіпедів, за для створення метаповерхні, що демонструє круговий дихроїзм, величиною якого можна механічно керувати;
- виявлено умови формування колективних резонансів у багат шаровій метаповерхні з діелектричних частинок та показано, що властивості цих резонансів суттєво залежить від параметрів періодичної комірки та зазору поміж шарами, що, в свою чергу, відкриває шлях до аналізу нелінійних явищ у таких мета поверхнях;
- вперше показано формування частотних зон з високим рівнем недзеркального відбиття у повністю діелектричній багат шаровій метаповерхні;
- вперше досліджено розсіяне поле метаповерхні з елементами з невзаємних середовищ, яка може бути механічно реконфігурована та запропоновано фільтр з можливістю одночасного механічного та магнітного перелаштування його властивостей;
- досліджено можливість формування бістабільного стану розсіяного поля щілинної решітки з нелінійним заповненням та вивчено вплив властивостей діелектриків, що заповнюють

щілину, на цей стан, також показано, що така система може бути використана за для формування невзаємної метаповерхні;

- вперше показана можливість створення коліматору із бістабільним рівнем відбиття за рахунок використання нелінійного відгуку кремнієвих дисків, які утворюють відбивну метаповерхню, на потужне електромагнітне випромінювання.

Отримані у ході виконання роботи результати не обмежуються наведеними. Було виявлено закономірності формування резонансних режимів у метаповерхнях зі складною композицією періодичної комірки, відпрацьовані алгоритми врахування нелінійних та магнітоактивних середовищ у їх складі, обрані конфігурації, які є перспективними у подальшій роботі.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Запропоновані метаповерхні мають додаткові параметри, які впливають на фізичні процеси, що в них відбуваються при взаємодії зі світлом. Ці параметри надають можливість провести додаткову оптимізацію та забезпечуватимуть розширення експлуатаційних характеристик відповідних систем та приладів. Зокрема, використання багатошарової метаповерхні дозволяє створити недзеркальне відбиття без використання металевго екрану, якому у оптиці притаманні великі дисипативні втрати.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Результати поточного етапу Проєкту є з однієї сторони базою для подальших досліджень, а, з іншого боку, виявлені закономірності розсіяння світла та фізичні ефекти можуть бути використані за для створення унікальних приладів фотоніки

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Результати отримані в роботі суттєво розширюють відомості про особливості формування розсіяного поля мета поверхнями за рахунок ускладнення композиції останніх та розширення кількості параметрів, які здатні впливати на фізичні явища взаємодії світла із метаповерхнями.

На основі отриманих результатів можна розробити поверхні, що відбивають світло у заданому напрямку або забезпечують його поділ у просторі в залежності від частоти, бістабільного коліматору, фільтру з декількома каналами перелаштування його характеристик тощо. Всі ці системи є унікальними за своїми характеристиками і можуть бути використані за для розв'язання актуальних питань науки та техніки, наприклад, у лазерній техніці, системах оптичного зв'язку та таке інше.

Таким чином, Індикатори виконання ТЗ досягнуті. Усі завдання ТЗ виконані в повнім обсязі.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту

ГОЛОВНИЙ науковий співробітник

(посада)

Сергій ПРОСВІРНІН

(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)


(підпис)