

ФОРМУ ЗАТВЕРДЖЕНО
рішенням наукової ради Національного фонду
досліджень України
протокол № 1 від 19 березня 2021 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України



ф.-м. н., професор

В.П. Мельник

ІІБ

(підпис)

М.П.

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

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

Мікроеліпсометричні дослідження впорядкованих плазмонних наноструктур

(заключний)

Назва конкурсу: Ф81 Державного фонду фундаментальних досліджень та Німецького наукового товариства (DFG)

Реєстраційний номер Проєкту: 212/Ф81/41842 від 26.07.2021

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) Ф81/41842 від 2019 „Мікроеліпсометричні дослідження впорядкованих плазмонних наноструктур”

Рішення тимчасової комісії Національного фонду досліджень України щодо фінансування проєктів переможців конкурсу Ф81 Державного фонду фундаментальних досліджень протокол від « 29 » червня 2021 року № 12

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту 2019-2021

Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок; 26.07.2021

Закінчення – грудень 2021 року.

Загальна вартість Проєкту, грн. 850900,00 грн. (вісімсот п'ятдесят тисяч дев'ятсот гривень 00 копійок)

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 0,00 (нуль гривень, нуль копійок)

2-й рік 0,00 (нуль гривень, нуль копійок)

3-й рік 850900,00 грн. (вісімсот п'ятдесят тисяч дев'ятсот гривень 00 копійок)

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту було залучено 9 виконавців, з них:

доктори наук 2 ;
кандидати наук 5 ;
інші працівники 2 .

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

Грантоотримувач - Інститут фізики напівпровідників ім.В.Є.Лашкарьова НАН України
Субвиконавці – немає.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту

Систематичні дослідження впливу параметрів ґратки на оптичні властивості впорядкованих структур плазмонних наночастинок також як дослідження різних резонансів плазмонних систем, їхні взаємодії та розщеплення з утворенням різких ліній Фано в оптичних спектрах цих плазмонних систем.

4.2. Основні завдання Проєкту

- Систематичні еліпсометричні дослідження впорядкованого масиву плазмонних наночастинок в залежності від параметрів частинок та ґратки для пошуку умов та демонстрації гібридизації та розщеплення електромагнітних мод системи;
- Побудова динамічної моделі для опису оптичного відгуку впорядкованого масиву наночастинок з урахуванням фазових затримок, геометрії збудження та структури підкладки;
- Розробка наближення для якісної інтерпретації еліпсометричних спектрів систем з резонансами;
- Розгляд можливості реплікації структур наночастинок за допомогою електроформінгу та розробка необхідного обладнання.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми

Дослідження плазмонних структур впорядкованих наночастинок викликає зацікавленість багатьох наукових груп, але досі немає загального систематичного підходу до аналізу результатів подібних досліджень з урахуванням всіх взаємодій в такій системі.

- Новизна Проєкту

Запропоновано послідовний підхід до врахування всіх дипольних взаємодій в системі впорядкованих в ґратку плазмонних наночастинок на складній шаруватій підкладці та показано, як резонанси такої системи відбиваються в експериментальних спектрах. Розглянута можливість реплікації подібних структур відносно дешевими методами гальванопластики.

- Методологія дослідження

Мікроеліпсометрія – еліпсометрія з високою просторовою роздільною здатністю, що дозволяє досліджувати плазмонні структури з розміром в десятку нанометрів, які виробляються методами електронно-променевої літографії.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ 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)

В процесі виконання роботи були експериментально виготовлені методом електронно-променевої літографії та досліджені за допомогою унікального мікроеліпсометру впорядковані в квадратну ґратку з періодом 150 нм наночиліндри діаметром 50, 56, 62 або 72 нм і висотою 58 нм. Тобто досліджувалися як стовчикоподібні так і дископодібні структури.

Для інтерпретації спектрів було розглянуто прояв в результатах еліпсометрії резонансів в плівці та показано, що в більшості випадків резонанси проявляють себе у вигляді екстремумів, причому екстремум, який відповідає резонансу вздовж вісі Z зсунутий відносно положення самого резонансу. Для ізотропного випадку поява цієї додаткової особливості на зсунутій частоті має назву ефекту Беремана.

Була побудована теорія перенормування поляризованості окремої частинки за рахунок всіх дипольних взаємодій в системах, що досліджувалися, включаючи корекцію за рахунок кінцевого розміру, взаємодії з шаруватою підкладкою для чого вперше в макрооптиці був застосований підхід оптики ближнього поля, та міжчастинкових взаємодій в ґратці. Для останнього були поразовані ґраткові суми в широкому діапазоні параметрів.

Експериментально доведено взаємодію між локалізованими плазмонами наночастинок та поверхневим плазмоном в підкладці, якій за відсутності моделі не врахований в міжчастинкових взаємодіях. Саме цим пояснена розбіжність теорії і експерименту. Доведено, що для реальних параметрів системи далеких від появи аномалій Релея міжчастинкові взаємодії пригнічують підсилення поля окремою частинкою на підкладці.

Розглянуто можливість реплікації подібних структур методами гальванопластики, розроблена гальванічна ванна та визначені матеріали для реалізації цього процесу.

Мікроеліпсометричні дослідження проведені за допомогою еліпсометру з високою роздільною здатністю Nanofilm_EP4 від Accurion GmbH.

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

Як експериментальні дослідження так і теоретичний аналіз зроблені на рівні, або й з перевищенням рівня кращих світових аналогів.

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

-

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

Результати Проєкту є важливими для розуміння взаємодій в складних плазмонних системах, що є перспективними елементами сучасної електроніки, оптоелектроніки, сенсоріки тощо. Результати аналізу прояву резонансів в еліпсометричних спектрах мають широке коло застосувань для якісної інтерпретації результатів еліпсометрії, що вважалося практично неможливим.

Примітка: Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту

зав. лаб., д.ф.-м.н.

(посада)

Борщаківський Є.Г.

ПШБ



(підпис)