

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Баранника Олександра Анатолійовича «Квазіоптичні діелектричні резонатори з елементами незвичайних надпровідників», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

### Актуальність теми

Відкриття у 1986 році високотемпературних надпровідників (ВТНП) стимулювало у багатьох дослідників дуже оптимістичні надії щодо їх швидкого впровадження в сучасні технології. Однак з часом з'ясувалось, що структурна відмінність ВТНП від звичайних низькотемпературних надпровідників (НТНП) створює труднощі їх теоретичного опису і, відповідно, прогнозування властивостей і параметрів. Більш того, в останні роки було виявлено ще дві групи ВТНП: пніктиди і халькогеніди з іонами заліза, теоретичний опис яких теж не вкладався в існуючі створені для НТНП класичні теорії. Ці надпровідники отримали назву незвичайних, що підкреслює їх особливість.

У зв'язку з цим існує необхідність більш ретельного вивчення властивостей і особливостей незвичайних надпровідників. Слід відразу відмітити, що дослідження надпровідників, особливо експериментальні, взагалі дуже складна задача, оскільки при забезпеченні надзвичайно високої чутливості вимірювань треба ще враховувати вплив багатьох факторів.

В ході проведення дисертаційних досліджень був створений унікальний інструментарій, який вже на теперішній час дозволив отримати результати, що значно поліпшують розуміння фізичних процесів у незвичайних надпровідниках. Розроблені експериментальний комплекс і методики проведення досліджень дозволяють також проводити вивчення багатьох інших не менш цікавих матеріалів і структур, які створюються завдяки сучасним технологіям.

Отже, тема дисертаційної роботи є **актуальною**.

Додатковим вагомим підтвердженням актуальності досліджень дисертаційної роботи є високий рівень цитування наукових праць автора (h індекс – 12).

### Аналіз змісту дисертаційної роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано мету, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію, особистий внесок здобувача і характеристика публікацій.

У **першому розділі** розглянуто електродинамічні особливості квазіоптичних діелектричних резонаторів (КДР) міліметрового діапазону, які обрано в якості чутливого

елементу при вивченні властивостей незвичайних надпровідників. Розглянуто також взаємозв'язок мікрохвильового відгуку КДР при сполученні їх з надпровідниками. Наведені дані щодо застосування незвичайних надпровідників в радіофізиці та техніці.

**Другий розділ** присвячено аналізу особливостей функціонування різних типів КДР з торцевими провідними стінками (ТПС). Розглянуто конструкції і характеристики напівсферичних, конічних та асферичних КДР виготовлених з тefлону і сапфіру. Проведено дослідження чутливості характеристик КДР до впливів властивостей і конструктиву ТПС. Визначено оптимальні форми КДР в залежності від задач дослідження мікрохвильових властивостей незвичайних надпровідників.

**Третій розділ** присвячено аналізу та дослідженню КДР, які призначено для досліджень незвичайних надпровідників малих розмірів. Для проведення таких досліджень пропонується використання КДР з радіальною щілиною, в якій розміщується зразок надпровідника. Розглянуто особливості функціонування і моделювання КДР з радіальною щілиною, досліджено чутливість їх характеристик до впливу зразків, що досліджуються. Розглянуто також характеристики сапфірового КДР кільцевого типу зі зразком незвичайного надпровідника у вигляді внутрішнього циліндру.

У **четвертому розділі** наведено опис експериментальної техніки та результати досліджень мікрохвильових характеристик плівок ВТНП та нормальнопровідних матеріалів. Виміряно температурну залежність плівок ВТНП, вплив товщини плівок ВТНП на їх мікрохвильові характеристики та визначено залежність мікрохвильового відгуку КДР від товщини плівок. Дослідження проводилися у постійному сполученні і порівнянні чисельного моделювання процесів і структур с результатами експериментів.

**П'ятий розділ** містить опис і результати експериментальних досліджень мікрохвильових характеристик пніктидів та халькогенідів з іонами заліза. Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити значення мікрохвильових поверхневих імпедансів плівок цих незвичайних надпровідників, температурні залежності поверхневих імпедансів, лондоновської глибини і комплексної провідності. За результатами експериментальних досліджень запропоновано опис фізичних процесів, які відбуваються при взаємодії електромагнітних полів ДР і плівок незвичайних надпровідників.

У **шостому розділі** запропоновано і розглянуто можливості застосування надпровідникових елементів на основі незвичайних надпровідників в практичних пристроях. Запропоновано і експериментально досліджено планарний квазіоптичний резонатор з хвилями шепочучої галереї міліметрового діапазону хвиль, який забезпечує отримання значно вищої добротності ніж звичайні планарні резонансні структури. Розглянуто і експериментально досліджено конструкцію смуго-пропускнуго фільтру міліметрового діапазону на основі



хвилеводу і ВТНП вставки з резонансними елементами, які формують відповідну амплітудно-частотну характеристику.

Основні результати дисертації викладено у 38 наукових працях, у тому числі 25 статтях у провідних наукових фахових виданнях України і зарубіжжя, 1 закордонному патенті (USA), 1 патенті України на корисну модель та 11 публікаціях у матеріалах та працях міжнародних конференцій. Більш 30 з них зафіксовані у наукометричній базі Scopus.

Структура, зміст, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам. Автореферат дисертації досить повно (у межах встановленого об'єму) і правильно розкриває зміст і основні результати дисертаційної роботи.

### **Основні результати, які складають предмет наукової та практичної вагомості**

На підставі проведеного аналізу змісту роботи можна зробити висновки щодо наявності наукової новизни отриманих результатів, яка полягає в наступному:

1. Вперше отримано електродинамічні характеристики напівсферичних, конічних і асферичних КДР з надпровідними торцевими стінками, які були застосовані при проведенні досліджень індивідуальних мікрохвильових імпедансних характеристик плівок високотемпературних надпровідників. Виявлено частотну залежність  $\omega^{3/2}$  залишкового поверхневого опору епітаксialної плівки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\sigma}$  і наявність  $d$ -хвильової симетрії параметра порядку надпровідника.

2. Вперше отримано електродинамічні характеристики дискового КДР з радіальною щілиною, в якій розміщується малий надпровідний зразок, що дозволило провести дослідження незвичайних надпровідників малих розмірів в мм діапазоні довжин хвиль.

3. Вперше досліджено мікрохвильові імпедансні властивості монокристалів пніктиду  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$  в 8-мм діапазоні довжин хвиль та отримано температурні залежності комплексної провідності, глибини проникнення і часу квазічастинкового розсіювання.

4. Встановлено, що квазічастинкова провідність пніктиду  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$  зростає зі зниженням температури, що обумовлено різким зниженням швидкості розсіювання квазічастинок.

5. Вперше виявлено ефект впливу орієнтації плівки надпровідника складу  $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$  щодо мікрохвильового поля в діелектричному резонаторі з  $\text{TE}_{011}$  модою на температурну залежність добротності резонатора.

6. Вперше запропоновано і експериментально реалізовано високодобротний мікросмужковий резонатор міліметрового діапазону з хвилями шепочучої галереї та смугопрпусний фільтр на основі розміщення Е-площинної вставки з багатоелементною надпровідною структурою в хрестоподібному хвилеводі.

Практичне значення отриманих результатів:

Результати досліджень незвичайних надпровідників, які отримані в дисертаційній роботі, створюють додаткову можливість подальшого руху в напрямку вивчення фундаментальних властивостей незвичайних надпровідників з метою їх ефективного практичного застосування.

Запропоновані і реалізовані в роботі КДР з провідними та надпровідними елементами можуть бути використані в якості основи для створення систем дослідження фундаментальних властивостей новітніх матеріалів.

Запропоновані і досліджені модифікації КДР можуть бути також використані для створення апаратури безконтактного тестування і моніторингу параметрів надтонких провідних плівок та мікро-, нанорозмірних зразків.

Технічні рішення розроблених мікросмушкового КДР і смугопропускнуго фільтра можуть бути застосовні при створенні сучасних електронних і телекомунікаційних систем міліметрового діапазону з надпровідними елементами.

#### **Зауваження до роботи та недоліки в оформленні дисертації**

До роботи та її оформлення є деякі зауваження:

1. В роботі не приведено роз'яснень щодо методики визначення зсувів резонансних частот вимірювальних КДР структур, пов'язаних з об'єктами, що вивчаються, на фоні змін частоти за рахунок інших факторів.

2. Оглядова частина роботи розподілена по окремим розділам, де займає значне місце і, в той же час, оглядовий перший розділ дисертації дуже малий і аналіз стану досліджень в напрямку теми дисертаційної роботи виглядає не повним.

3. При наявності дійсно важливих і значних результатів дисертаційних досліджень в тексті реферату і дисертації немає чітко сформульованого загального результату, який отримано (яку наукову проблему вирішено або який напрямок науки значно розвинуто).

4. В дисертаційній роботі багато редакційних недоробок. Наприклад, в тексті, багатьох формулах і рисунках не дотримано загального єдиного розміру літер, на рис. 2.4 є помилки в позначенні експериментальних даних, які не збігаються з текстовим поясненням, зустрічаються не отформатовані частини тексту і т.ін.

5. Посилання на оригінальні публікації здобувача практично відсутні в основних текстах розділів і є тільки в анотаціях до них з нумерацією за окремим списком, що значно погіршує сприйняття матеріалів дисертаційної роботи.

Але вищезазначені зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертаційної роботи.



## Достовірність результатів роботи

Практично всі результати дисертаційної роботи отримані в ході експериментальних досліджень, які виконувались на основі застосування класичних методів визначення амплітудно-частотних характеристик резонансних структур. Чисельне моделювання процесів і структур, що вивчалися, здійснювалось за допомогою програм CST Microwave Studio і Comsol MULTIPHYSICS, в яких застосовується розв'язання рівнянь Максвелла методом кінцевих елементів. При проведенні досліджень результати чисельного моделювання корегувалися з урахуванням експериментальних даних.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів також підтверджується всебічною апробацією на багатьох міжнародних наукових форумах.

## Висновок

Дисертаційна робота Баранника О.А. є закінченим науковим дослідженням і містить рішення актуальної проблеми створення комплексу засобів високочутливих вимірювань мікрохвильових електрофізичних характеристик незвичайних надпровідників, який дозволяє вивчати їх фундаментальні властивості, а також властивості інших новітніх матеріалів, що реалізуються у вигляді плівкових і малорозмірних структур.

За кількістю публікацій, їх науковим рівнем та апробацією робота відповідає вимогам щодо докторських дисертацій.

Вважаю, що за актуальністю теми, ступеню обґрунтованості і достовірності результатів, наукової новизни і практичному значенню дисертаційна робота Баранника О.А. «Квазіоптичні діелектричні резонатори з елементами незвичайних надпровідників» є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам п.п. 9,10,12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 656 від 19.08.2015р. та № 1159 від 30.12.2015 р.), а її автор, Баранник Олександр Анатолійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.


### Офіційний опонент,

доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри мікроелектроніки, електронних  
приладів та пристроїв Харківського національного  
університету радіоелектроніки

Підпис І.М. Бондаренка засвідчую.

Учений секретар ХНУРЕ



  
І.М. Бондаренко  
23.01.2020

  
І.В. Магдаліна