

## ВІДГУК

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

### **1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами.**

Дослідженню електромагнітних властивостей високотемпературних надпровідників (ВТНП) присвячені вже тисячі публікацій, хоча з моменту відкриття ВТНП в 1986 році пройшло не так вже й багато часу. Інтерес до цих досліджень двоякий. По-перше, чисто фундаментальний, оскільки ВТНП-сполуки виявляють величезну різноманітність електронних властивостей: металів і діелектриків, магнітовпорядкованих і неідеальних систем, розупорядкованих і нелінійних середовищ і т.д., мінливих під впливом різних факторів. По-друге, очевидні вигідні перспективи освоєння ВТНП в різних областях техніки.

Пошук і вивчення особливостей температурних залежностей лінійного та нелінійного мікрохвильового відгуку монокристалів ВТНП; визначення в абсолютних одиницях електродинамічних величин, що характеризують надпровідний і нормальний стан ВТНП; розробка моделей, які були б застосовні для опису загальних і специфічних закономірностей поведінки високочастотного відгуку різних монокристалів ВТНП є актуальним завданням мікрохвильової радіофізики надпровідників. Одним з основних способів вивчення високочастотних властивостей надпровідників є вимірювання компонент їх поверхневого імпедансу і комплексної провідності. Найбільш точними методами вимірювання цих характеристик є резонансні методи.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової проблеми сучасної радіофізики – розвиток основ електродинаміки квазіоптичних діелектричних резонаторів (КДР) з елементами незвичайних надпровідників в міліметровому діапазоні хвиль, обґрунтування можливості дослідження фізичних властивостей плівок і монокристалів незвичайних надпровідників з використанням мікрохвильового відгуку КДР і встановлення властивостей поверхневого імпедансу низки незвичайних надпровідників, які містять залізо.

Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і великим значенням для прикладних застосувань. Тому тематика дисертації Баранника О.А. є актуальною як в теоретичному, так і в прикладному плані і становить великий інтерес для розробників апаратури мікрохвильового, терагерцового і оптичного діапазонів хвиль.

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації також свідчить і те, що вона виконувалася в рамках 5 держбюджетних науково-дослідних робіт ІРЕ ім. О.Я.Усикова НАН України, в яких здобувач брав участь як виконавець.



## 2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Представлені наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, представляються досить обґрунтованими. Постановка дослідницького завдання виконана аргументовано і переконливо. Дисертація Баранника О.А. складається зі вступу, що містить загальну характеристику роботи, шести розділів основного тексту, висновків до роботи і списку використаних джерел.

**У першому розділі** проведено огляд літератури з електродинамічних особливостям квазіоптичних діелектричних резонаторів у міліметровому діапазоні довжин хвиль, показано зв'язок мікрохвильового відгуку резонаторів, в тому числі квазіоптичних діелектричних резонаторів з надпровідними елементами і поверхневим імпедансом надпровідників та описано стан незвичайних надпровідників у мікрохвильовій радіофізики і техніці. Зроблено висновок про необхідність вивчення коливальних процесів в квазіоптичних діелектричних резонаторах з незвичайними надпровідниками і взаємодії електромагнітного поля мод шепочучої галереї з незвичайними надпровідниками в міліметровому діапазоні довжин хвиль.

**У другому розділі** представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень спектральних і енергетичних характеристик, запропонованих і модифікованих дисертантом ізотропних і анізотропних напівсферичного, конусоподібного і асферичного КДР. Вивчена радіаційна добротність різних КДР і проведено аналіз оптимальної форми резонатора для дослідження мікрохвильових властивостей незвичайних надпровідників. Показано, що для прецизійних вимірювань поверхневого опору надпровідників оптимальним є напівсферичний КДР, що має малі радіаційні втрати, а конічний КДР може бути використаний як для попередніх вимірювань, так і для вимірювань, коли не потрібна висока точність. Асферичні КДР займають проміжне положення і можуть в деяких випадках використовуватися як для прецизійних, так і для попередніх вимірювань.

**У третьому розділі** обґрунтована можливість проведення досліджень фізичних властивостей незвичайних надпровідників малих розмірів з використанням мікрохвильового відгуку КДР. З цією метою описані результати теоретичних і експериментальних досліджень спектральних і енергетичних характеристик КДР в формі диска з радіальною щілиною і досліджуваним зразком. Проведено аналіз радіаційних втрат в КДР з надпровідним зразком при різних положеннях зразка відносно діелектричного диска, включаючи положення зразка поза диском. Показано, що оптимальним для дослідження надпровідників малих розмірів є КДР з елементом незвичайного надпровідника, розташованого в радіальній щілині.

**У четвертому розділі** наведені результати експериментальних досліджень поверхневого опору високоякісної епітаксіальної тонкої плівки YBCO, нанесеної на монокристалічну підкладку. Вимірювання проведені в широкому інтервалі температур від критичної до 2 К з використанням анізотропного напівсферичного резонатора. Дана техніка вимірювань дозволила досягти високої чутливості вимірювань, до 10 мкОм, при низьких температурах. Наведено результати досліджень поверхневого опору тонких плівок YBCO різної товщини. Також наведені



результати досліджень КДР з плівками з нормального металу, товщина яких варіювалася від великих значень (об'ємні плоскі зразки) до субнанометрових значень (ультратонкі плівки).

Основні результати **п'ятого розділу** стосуються експериментальних досліджень мікрохвильових імпедансних властивостей монокристала пніктіда  $\text{BaFeCoAs}$  в двочастотному режимі. При цьому отримані температурні залежності комплексної провідності, глибини проникнення поля і часу квазічастинкового розсіювання. Проведено дослідження мікрохвильових імпедансних властивостей плівки  $\text{FeSeTe}$ . При цьому вперше виявлено ефект орієнтації плівки надпровідника відносно мікрохвильового поля в сапфіровому кільцевому діелектричному резонаторі на температурній залежності добротності резонатора.

У **шостому розділі** описані запропоновані і реалізовані дисертантом мікрохвильові пристрої на основі купратних плівок ВТНП ( $\text{YBaCuO}$ ): мікросмушковий резонатор з хвилями шепочучої галереї, локалізованими під диском надпровідника, розташованого на діелектричній підкладці, і смугопроникний фільтр з Е-площинною вставкою в хрестоподібному хвилеводі.

### **3. Достовірність та наукова новизна отриманих результатів.**

Достовірність і обґрунтованість результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в даній дисертаційній роботі, не викликає сумнівів і визначається коректністю постановки задач, а також тим, що при їх отриманні використовувалися всебічно апробовані експериментальні методики і перевірені вимірювальні прилади, а також хорошим збігом результатів, отриманих при теоретичному і чисельному моделюванні і в експериментах.

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів природно впливає з актуальності й новизни вибору об'єкта досліджень, а фізично обґрунтований підхід до вибору і рішення необхідних для його повного вивчення завдань дозволяє автору переконливо це підтвердити.

До результатів, які мають наукову новизну, можна віднести такі:

1. Отримано спектральні та енергетичні характеристики запропонованих і модифікованих дисертантом ізотропних і анізотропних напівсферичного, конусоподібного і асферичного КДР. Проведено аналіз оптимальної форми резонатора для дослідження мікрохвильових властивостей незвичайних надпровідників.
2. Обґрунтовано можливість проведення досліджень фізичних властивостей незвичайних надпровідників малих розмірів з використанням мікрохвильового відгуку КДР в формі диска з радіальної щілиною і досліджуванним зразком у ній.
3. Встановлено особливості температурної залежності мікрохвильового поверхневого імпедансу і комплексної провідності незвичайних надпровідників, що містять залізо.
4. Запропоновані і реалізовані мікрохвильові пристрої на основі плівок високотемпературних надпровідників



#### **4. Завершеність і стиль викладу, повнота відображення результатів в публікаціях.**

Дисертаційна робота Баранька О.А. є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні. У ній викладені нові фізичні результати, що мають як самостійне, так і прикладне значення, оскільки ці результати в достатній мірі сприяють вирішенню важливої наукової проблеми, яка стосується з'ясування закономірностей фундаментальних фізичних механізмів і прикладних аспектів мікрохвильової радіофізики квазіоптичних діелектричних резонаторів з елементами незвичайних надпровідників в міліметровому діапазоні довжин хвиль, дослідженні фізичних властивостей плівок і монокристалів незвичайних надпровідників з використанням мікрохвильового відгуку КДР.

Дисертація написана цілком зрозуміло і грамотно, науково-технічна термінологія використовується коректно, структура роботи є логічною.

Результати дисертації опубліковані в 25 статтях у фахових вітчизняних та зарубіжних наукових виданнях, в 11 збірниках тез доповідей на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях і в двох патентах. Результати роботи повністю відображені в зазначених публікаціях. Опубліковані статті за своїм змістом не дублюють одна одну. Всі опубліковані наукові праці відповідають темі дисертації. Зміст автореферату відповідає тексту дисертації.

#### **5. Науково-практична значимість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування**

Зі змісту дисертації видно, що автор цілком чітко уявляє практичну значимість проведених досліджень і, більш того, вибір завдань і об'єктів досліджень проводиться ним з урахуванням їх практичного застосування.

У дисертаційній роботі проведені комплексні дослідження наукової проблеми, яка стосується з'ясування фундаментальних фізичних механізмів і прикладних аспектів електродинаміки квазіоптичних діелектричних резонаторів (КДР) з елементами незвичайних надпровідників в міліметровому діапазоні хвиль, обґрунтування можливості дослідження фізичних властивостей плівок і монокристалів незвичайних надпровідників з використанням мікрохвильового відгуку КДР і встановлення властивостей поверхневого імпедансу низки незвичайних надпровідників, які містять залізо.

Запропоновані, досліджені і реалізовані в роботі КДР з надпровідними елементами становлять основну частину сенсорів поверхневого імпедансу незвичайних надпровідників у міліметровому діапазоні довжин хвиль, які дозволяють знаходити фундаментальні властивості електронної системи незвичайних надпровідників за допомогою вимірювань мікрохвильового відгуку КДР з надпровідними елементами в залежності від температури.

Мікросмужковий КДР на основі плівки високотемпературних надпровідників має перспективу для створення планарних структур міліметрового діапазону довжин хвиль. Смугопропускний фільтр з Е-площинною ВТНП вставкою в хрестоподібному хвилеводі може бути використаним у входних лініях передачі високочутливих мікрохвильових приймальних систем, а також/або в колах зво-



ротного зв'язку генераторів з низьким рівнем фазових шумів.

Дисертаційна робота представляє наукову і практичну цінність для фахівців в області діелектрометрії, обчислювальної електродинаміки, квантової радіофізики, оптоелектроніки та ін. Результати, отримані при її виконанні, можна рекомендувати для застосування в різних установах як дослідницького, так і науково-виробничого напрямків.

## 6. Недоліки і зауваження

Дисертаційна робота Баранника О.А. не вільна від недоліків.

1. У першому розділі роботи проведено огляд основних експериментальних і теоретичних досліджень щодо застосування КДР в сучасній радіофізиці і мікрохвильовій фізиці надпровідників, але в досить конспективній формі. Багато було б провести більш детальний і ґрунтовний огляд цих досліджень.

2. Не завжди зрозуміла аргументація при виборі значень фізичних параметрів при знаходженні кількісних характеристик досліджуваних закономірностей. Зокрема, при описі результатів розрахунків і експериментів з певними типами мод в підрозділах 2.1.2, 2.2.1, в розділі 3 бажано було б привести їх просторово-енергетичні характеристики.

3. Недостатньо проаналізовано фактори, що впливають на точність вимірювань.

4. У різних розділах дисертаційної роботи автор використовує різні позначення для однакових математичних об'єктів і операцій. Це ускладнює розуміння зв'язків між різними частинами роботи.

5. Робота не позбавлена деяких технічних огріхів – дивись, наприклад, підпис к Рис.2.4 (напівсферического), к Рис.2.20 (конусопкодібних); Рис.2.26 (в тексті кут  $20.59^\circ$ , на Рис. –  $20.69^\circ$ ) тощо.

## 7. Загальні висновки

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку рецензованої роботи і не стосуються принципів результатів і висновків дисертації. Деталізований аналіз дозволяє зробити висновок, що представлена до захисту робота є завершеним дослідженням. В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову проблему розвитку електродинаміки квазіоптичних діелектричних резонаторів з елементами незвичайних надпровідників в міліметровому діапазоні хвиль, обґрунтування можливості дослідження фізичних властивостей плівок і монокристалів незвичайних надпровідників з використанням мікрохвильового відгуку квазіоптичних діелектричних резонаторів і встановлення властивостей поверхневого імпедансу низки незвичайних надпровідників, які містять залізо.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Баранника О.А. повністю відповідає спеціальності 01.04.03 – радіофізика. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і були своєчасно подані на конференціях і симпозіумах, що проводилися за тематикою досліджень.

Автореферат повністю відповідає змісту дисертації. Виклад матеріалу в

дисертації відповідає сучасним вимогам, вона написана чітко, хорошою науково-літературною мовою.

Вважаю, що за актуальністю, обсягом та новизною рецензована дисертаційна робота “Квазіоптичні діелектричні резонатори з елементами незвичайних надпровідників” відповідає вимогам, зазначених у п. 11 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, які висуваються до докторських дисертацій, а її автор, Баранник Олександр Анатолійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри квантової радіофізики  
Харківського національного університету  
імені В. Н. Каразіна

В. О. Маслов

24 січня 2020 року

Начальник Служби управління персоналом  
доктор пед. наук, проф.



С.М.Куліш