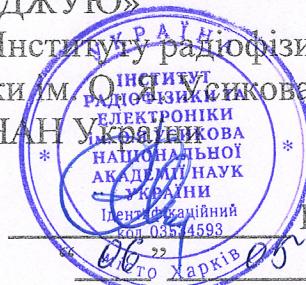


**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Директор Інституту радіофізики та  
електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України  
академік НАН України



П. М. Мележик  
2021 р.

**ВИТЯГ**

з протоколу № 1 від 29 квітня 2021 р. розширеного засідання фахового наукового семінару відділу радіоспектроскопії Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України

Були присутні: доктори фізико-математичних наук: Іванченко І.В., Попенко Н.О., Когут О.Є., Миценко І.М.; кандидати фізико-математичних наук: Недух С.В., Головащенко Р.В., Деркач В.М., Хруслов М.М., Полевої С.Ю., Калмикова Т.В., Харченко Г.О. та інші (всього 13 осіб).

**СЛУХАЛИ:**

Доповідь за матеріалами дисертаційної роботи молодшого наукового співробітника відділу радіофізики твердого тіла IPE ім. О. Я. Усикова НАН України Долі Романа Сергійовича «Планарні діелектричні резонатори в режимі збудження мод шепочучої галереї», поданої на здобуття наукового 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 Національної академії наук України (протокол № 2 від “7” лютого 2017 року).

Науковим керівником затверджено доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Когута О.Є.

В обговоренні дисертаційної роботи взяли участь (ставили питання і виступили):

Деркач В.М., Миценко І.М., Недух С.В., Іванченко І.В., Полевої С.Ю.

**Ухвалили: прийняти з даної роботи такий висновок**

**ВИСНОВОК**  
**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення**  
**результатів дисертації**

на тему «ПЛАНАРНІ ДІЕЛЕКТРИЧНІ РЕЗОНАТОРИ В РЕЖИМІ ЗБУДЖЕННЯ МОД ШЕПОЧУЧОЇ ГАЛЕРЕЙ» здобувача наукового ступеня доктора філософії Долі Романа Сергійовича з галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

Дисертаційну роботу виконано у відділі радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України. Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України Когут О. Є.

### **1. Актуальність теми дослідження**

Актуальність теми зумовлена розв'язанням нової задачі у низці важливих завдань сучасної радіофізики, а саме частотної селекції в міліметровому діапазоні довжин хвиль.

З численних наукових публікацій відомо, що діелектричні резонатори (ДР) з робочими модами шепочучої галереї (ШГ) добре себе зарекомендували як селективні пристрої міліметрового (мм) діапазону довжин хвиль. Завдяки своїй високій добротності вони здатні забезпечити вузьку робочу смугу частот в спектрі електромагнітних хвиль. Така безперечна перевага ДР в ряду інших резонаторів визначила достатньо широку сферу їх застосування як при створенні різних активних пристрійв мм хвиль, так і як базову основу пасивних систем. Однак, разом з означенюю перевагою, такі резонатори мають і певні недоліки. З позицій електродинаміки, головною з них є порівняно невисокі значення параметра зв'язку з елементами збудження робочих мод ШГ. Це зумовлено значою концентрацією резонансного поля всередині резонатора. В свою чергу це визначає низьку ефективність збудження робочих типів коливань в ДР. Okрім того, геометричні розміри таких резонаторів надто великі, що ускладнює їх застосування в інтегрованій техніці та мікроелектроніці. Запропонований в представлений дисертаційній роботі підхід щодо зменшення розмірів ДР шляхом переходу до надтонких планарних діелектричних структур, які раніше не розглядалися, дозволяє вирішити ці проблемні питання.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконувалась у відділі радіофізики твердого тіла Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України у відповідності до планів виконаних НДР або НДР, що виконуються у цей час:

1. «Вивчення взаємодії електромагнітних та звукових хвиль, а також заряджених часток з твердотільними структурами» (шифр НДР «Кентавр-5»), виконувалась з 2012 р. по 2016 р. (№ держреєстрації 0112U000211).

2. «Дослідження взаємодії електромагнітних та звукових хвиль, а також заряджених частинок з наноструктурами та метаматеріалами», (шифр НДР «Кентавр-6»), виконується з 2017 р. по 2021 р. (№ держреєстрації 0117U004038).

3. «Теоретичне та експериментальне дослідження взаємодії електромагнітних хвиль гіга-, терагерцевого та оптичного діапазонів у природних та штучних структурах з метою розробки перспективних функціональних пристройів антенної техніки, з квазіоптики, мікрохвильової електроніки та нових радіофізичних технологій у біології та медицині» (шифр НДР «БУКСИР-5»), виконується з 2017 по 2021 р., (номер держреєстрації 0117U004033).

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

1. Вперше показано, що, незважаючи на надто малу у порівнянні з робочою довжиною хвилі висоту дискових ДР, в них можливо досягнення режиму ефективного збудження мод ШГ. Використання провідних відбиваючих поверхонь з боку плоских основ дискової діелектричної структури, дозволяє значно розширити можливості застосування надтонких ДР.

2. Досягнення високої власної добротності планарних ДР шляхом введення в їх конструкцію малих за висотою повітряних зазорів. Показано, що причиною збільшення більш в ніж 4 рази власної добротності планарних ДР при введенні подвійного повітряного зазору в їх конструкцію є частковий зсув резонансного поля з діелектрика до оточуючого повітряного середовища. Розрахункові дані підтверджено експериментом. Okрім того, дещо несподіваним результатом проведених досліджень є те, що енергія резонансного поля, що запасається в надто тонкому повітряному зазорі, може перевищувати енергію, що запасається в діелектричному елементі резонатора.

3. Запропоновано використання планарного діелектричного резонатора в оригінальних конструкціях активних пристройів мм діапазону довжин хвиль, а саме, в суматорі потужності і в схемі стабілізації частоти твердотільного генератора хвилеводно-коаксіального типу.

### **4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації**

Результати, що одержані в дисертаційній роботі Долі Р.С., значно розширяють практичне застосування твердотільних резонансних структур з модами ШГ в техніці мм хвиль. Автором роботи запропоновано використання планарних ДР як базової основи малорозмірних активних пристройів.

Високі (закритичні) значення параметра зв'язку резонансних полів мод ШГ з активними твердотільними елементами фізично обґрунтують перспективність такого напряму застосування планарних ДР. Зокрема, автором запропоновано та створено діючий макет суматора потужностей. Показано, що завдяки ефективному електромагнітному зв'язку планарного ДР з діодами Гана забезпечується режим взаємної частотної синхронізації

збуджуваних коливань. При цьому досягається підсумовування їх потужностей з високим коефіцієнтом 0,91 і стабілізація частоти. Цей ефект став основою створення схеми стабілізації частоти генератора хвилевідно-коаксіальної конструкції. При цьому досягнуто стабільність частоти не гірше ніж  $10^{-5}$ .

Одною з головних переваг запропонованих активних пристройів є малі розміри, що дозволяє в подальшому використовувати їх в мобільних системах MM хвиль.

**5. Особиста участь автора** в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі, полягає в проектуванні лабораторних макетів пристройів, проведенні комп'ютерного моделювання планарних ДР і розрахунку їх електродинамічних характеристик, а також виборі методик експериментальних досліджень, проведенні вимірювань і участі в обговоренні отриманих результатів.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на plagiat, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Долі Р.С. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів plagiatу та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту та відповідає вимогам щодо її оформлення.

## **6. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача**

За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України та закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus, і 5 тез доповідей в збірниках матеріалів наукових конференцій.

### • Публікації у фахових виданнях України:

1. A.E. Kogut, I. K. Kuz'michev, E. A. Kogut, R. S. Dolia, S. O. Nosatiuk, Ye. A. Shulha, He Jaochan, "High-*Q* shielded dielectric disk resonator with whispering gallery modes," *Radio Physics and Radio Astronomy*, Vol. 22, №4, pp. 310-318, 2017.

У роботі експериментально і шляхом комп'ютерного моделювання досліджено спектральні та енергетичні характеристики фторопластового ДР.

### • Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації у зарубіжних спеціалізованих виданнях, що входять до міжнародних наукометрических баз Web of Science, Scopus:

2. A.E. Kogut, E.A. Kogut, R.S. Dolya, S.O. Nosatiuk, S.N. Kharkovsky, J. He, "Increasing *Q*-Factor of Planar Dielectric Resonators with Whisper Gallery Modes," *Radioelectronics and Communications Systems*, Vol. 61, No. 11, pp. 522–528, 2018.

Досліджено електродинамічні характеристики лейкосапфірового планарного ДР. Автором проведено цикл розрахункових досліджень на основі комп'ютерного моделювання, результати яких були підтвердженні експериментально.

3. Kogut, A., Islam, M., Kogut, E., Eremenko, Z., & Dolia, R. (2020). Increasing the  $Q$ -factor of thin planar dielectric resonator with whispering gallery modes. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 12(10), 960-968. doi:10.1017/S1759078720000525.

З метою суттєвого підвищення добротності планарних ДР автором запропоновано перехід до тонких резонансних структур з повітряним зазором між плоскими основами діелектричного диска і плоскими металевими дзеркалами. Проведено розрахунок розподілу полів робочих мод ШГ в такому резонаторі, на основі якого створено модель високодобротного тонкого планарного ДР.

4. Eremenko, Z., Shubnyi, A., Kogut, A., & Dolia, R. (2020). High loss liquid dielectric characterization: Comparison of microwave waveguide and resonator measurement techniques. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 12(9), 892-899. doi:10.1017/S1759078720000628.

Проведено розрахунок розподілу полів робочих мод ШГ в резонаторі, комп'ютерне моделювання втрат енергії в резонаторі з поглинаючими рідинами.

- Публікації основних результатів дисертації у зарубіжних спеціалізованих виданнях:

5. А.Е. Когут, Р.С. Доля, С.О. Носатюк, Е.А. Шульга, Джачан Хе, "Возбуждение колебаний шепчущей галереи в дисковом планарном диэлектрическом резонаторе щелью связи," *Весці Національної академії наук Беларусі. Сер. фіз.-тех. наук*, №3, сс. 121-128, 2017.

У роботі експериментально і шляхом комп'ютерного моделювання досліджено спектральні та енергетичні характеристики фторопластового дискового планарного ДР.

6. А.Е. Когут, Р.С. Доля, С.О. Носатюк, Джачан Хе, "Экранированный планарный диэлектрический резонатор с модами шепчущей галереи," *Весці Національної академії наук Беларусі. Сер. фіз.-тех. наук*, №4, сс. 478-485, 2018.

В роботі автором запропоновано використання екрану кільцевої форми для підвищення добротності планарного ДР.

- Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. A. Kogut, I. Kuz'michev, R. Dolia, S. Nosatiuk and Y. Shulha, "Excitation of whispering gallery modes in a high double-layer disc shielded dielectric resonator," *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Kiev, 2017, pp. 102-105, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100433.

Автором виконано цикл розрахункових та експериментальних робіт, зроблено доповідь на конференції.

8. A. E. Kogut, Z. E. Eremenko, I. K. Kuzmichev, R. S. Dolia and M. T. Islam, "Power Summation of the Gunn-Diodes in the Ultra-Thin Planar Dielectric Resonator," *2019 49th European Microwave Conference (EuMC)*, 2019, pp. 336-339, doi: 10.23919/EuMC.2019.8910948.

Автором запропоновано низку прикладних застосувань як планарних, так і класичних дискових ДР.

9. Aleksandr Kogut, Roman Dolia, Zoya Eremenko, Mohammad Islam, "Increasing the Q-factor of Thin Planar Dielectric Resonators with Whispering Gallery Modes," *Proceedings of European Microwave Conference in Central Europe (EuMCE2019)*, Prague, Czech Republic, 13-15 May, 2019, pp. 545-548.

У роботі експериментально і шляхом комп'ютерного моделювання досліджено спектральні та енергетичні характеристики лейкосапфірового дискового планарного ДР. Доповідь на конференції.

10. Mohammad Tariqul Islam, Aleksandr Kogut, Iskandar Yahya, Roman Dolia, "On the Possibility of Use of Planar Dielectric Resonators for Solving the Problems of Frequency Stabilization of Millimeter Waves Oscillators," *Proceed. Of 2019 IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE)*, Malacca, Malaysia, 25 - 27 November 2019, pp. 130-132.

В роботі запропоновано використання планарного ДР в схемі стабілізації частоти вихідного сигналу твердотільного генератора хвилевідно-коаксіальної конструкції. Проведено цикл експериментальних досліджень. Доповідь на конференції.

11. Z. E. Eremenko, A. Y. Kogut, R. S. Dolia and A. I. Shubnyi, "Comparison of High Loss Liquid Dielectric Properties Measurement Using Waveguide and Resonator Methods," *2019 European Microwave Conference in Central Europe (EuMCE)*, 2019, pp. 533-536.

В роботі експериментально досліджено спектральні та енергетичні характеристики класичних дискових ДР з робочими модами ШГ і вплив на їх поведінку рідин, що характеризуються високими втратами.

### **ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Долі Р.С.**

"ПЛАНАРНІ ДІЕЛЕКТРИЧНІ РЕЗОНАТОРИ В РЕЖИМІ ЗБУДЖЕННЯ МОД ШЕПОЧУЧОЇ ГАЛЕРЕЇ", яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп.9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженному постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми ІПЕ ім. О. Я. Усикова зі спеціальності 104 - Фізика та астрономія.

### **РЕКОМЕНДУВАТИ:**

1. Дисертаційну роботу "ПЛАНАРНІ ДІЕЛЕКТРИЧНІ РЕЗОНАТОРИ В РЕЖИМІ ЗБУДЖЕННЯ МОД ШЕПОЧУЧОЇ ГАЛЕРЕЇ", подану Долею Романом Сергійовичем на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.
2. Головою спеціалізованої вченої ради призначити:

Доктора фізико-математичних наук, професора, члена-кореспондента НАН України Ямпольського Валерія Олександровича, Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, головний науковий співробітник відділу теоретичної фізики.

Опонентами призначити:

1. Доктора фізико-математичних наук, старшого дослідника Ячина Володимира Васильовича, Радіоастрономічний інститут НАН України, завідувач відділу теоретичної радіофізики.
2. Кандидата фізико-математичних наук, доцента Думіна Олександра Миколайовича, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем, заступник декана з навчальної роботи.

Рецензенти:

Кандидат фіз. – мат. наук,  
старший науковий співробітник  
відділу радіоспектроскопії  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова НАН України

В.М. Деркач

Доктор фіз. – мат. наук,  
старший науковий співробітник  
відділу фізичних основ радіолокації  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова НАН України

І.М. Миценко

Секретар фахового наукового семінару  
відділу радіоспектроскопії  
Інституту радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова НАН України  
кандидат фіз. – мат. наук

Р.В. Головащенко