

ВІДГУК

опонента доктора фізико-математичних наук,
старшого дослідника Ячина Володимира Васильовича
на дисертаційну роботу Долі Романа Сергійовича на тему
"Планарні діелектричні резонатори в режимі збудження мод шепочучої
галереї", яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

Актуальність дисертаційної роботи Долі Р.С. зумовлено розв'язанням нової задачі в ряду 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 добре себе зарекомендували як селективні пристрої міліметрового (мм) діапазону довжин хвиль. Завдяки своїй високій добротності вони здатні забезпечити вузьку робочу смугу в спектрі електромагнітних хвиль. Така безперечна перевага ДР у ряду інших резонаторів визначила достатньо широку сферу їх застосування як при створенні різних активних пристроїв мм хвиль, так і як базову основу пасивних систем. Однак, разом з означеною 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 за причиною пріоритетної концентрації резонансного поля всередині резонатора. В свою чергу це визначає низьку ефективність збудження робочих типів коливань в ДР. Окрім того, геометричні розміри таких резонаторів надто великі, що ускладнює їх застосування в інтегрованій техніці та мікроелектроніці. Запропонований в представленій дисертаційній роботі підхід щодо зменшення розмірів ДР шляхом переходу до надтонких планарних діелектричних структур, які раніше не розглядались, дозволяє вирішити ці проблемні питання.

Наукова новизна та обґрунтованість результатів

Автором дисертаційної роботи вперше показано, що, незважаючи на надто малу у порівнянні з робочою довжиною хвилі висоту дискових ДР, у них можливо досягнення режиму ефективного збудження мод ШГ. Раніше проведеними теоретичними й експериментальними дослідженнями було показано, що критично найменшою для існування мод ШГ висотою відкритих дискових ДР є величина, що дорівнює половині робочої довжини хвилі. Причиною цього є порушення умови повного внутрішнього відбиття хвиль на плоских основах діелектричного диска за умови його меншої висоти. Однак, використання провідних відбиваючих поверхонь з боку плоских основ дискової діелектричної структури, запропоноване автором дисертаційної роботи,

дозволяє значно розширити можливості застосування надтонких ДР. З фізичної точки зору наявність відбиваючих плоских поверхонь в конструкції планарних ДР вирішує головну резонансну умову – створює можливість повного внутрішнього відбиття хвиль від плоских меж діелектричної резонансної структури при будь-яких надто малих її висотах. При цьому аксіально однорідний розподіл поля визначає високу його інтенсивність в області розташування елемента збудження мод ШГ – щілини зв'язку в площині одної провідної поверхні (металевого дзеркала). Таким чином, в роботі Долі Р.С. вирішено завдання ефективного збудження робочих мод ШГ в ДР.

В ході виконання роботи автором одержано низку нових результатів. На мій погляд, найбільш цікавим серед них є можливість досягнення високої власної добротності планарних ДР шляхом введення в їх конструкцію малих за висотою повітряних зазорів. Фізична обґрунтованість цього ефекту не викликає сумнівів. Автором дисертаційної роботи шляхом комп'ютерного моделювання 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 повітря. Розрахункові дані підтверджено експериментом. Окрім того, дещо несподіваним результатом проведених досліджень є те, що енергія резонансного поля, що запасасться в надто тонкому повітряному зазорі, може перевищувати енергію, що запасасться в діелектричному елементі резонатора. Однак, проведене комп'ютерне моделювання розподілу полів мод ШГ в таких резонаторах та підтверджене експериментальним визначенням енергетичних характеристик планарних ДР повністю підтверджують цей новий результат.

Практичне значення одержаних результатів. Результати, одержані в дисертаційній роботі Долі Р.С., значно розширюють практичне застосування твердотільних резонансних структур із модами ШГ в техніці мм хвиль.

Автором роботи запропоновано використання планарних ДР як базової основи малорозмірних активних пристроїв. Високі (закритичні) значення параметра зв'язку резонансних полів мод ШГ з активними твердотільними елементами фізично обґрунтовують перспективність такого напрямку застосування планарних ДР. Так, автором запропоновано та створено діючий зразок суматора потужностей. Показано, що завдяки ефективному електромагнітному зв'язку планарного ДР із діодами Гана досягається режим взаємної частотної синхронізації збуджуваних коливань. При цьому досягається підсумовування їх потужностей з високим коефіцієнтом 0,91 і стабілізація частоти. Останній ефект ліг в основу створення схеми стабілізації частоти генератора хвилевідно-коаксіальної конструкції. При цьому досягнуто стабільність частоти не гірше ніж 10^{-5} .

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

Зауваження та недоліки. Підтверджуючи наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, по суті їх змісту необхідно зробити наступні зауваження:

1. Необхідно зазначити деяку невідповідність термінології, застосованої автором дисертаційної роботи, до існуючої в зарубіжній науковій літературі. А саме, йдеться мова про термін планарності. Як зазначив автор роботи в Розділі 1, під терміном «planar DR» у зарубіжній літературі йдеться про будь-які за висотою ДР, що мають плоскі поверхні, обмежуючі їх розміри за висотою. Водночас автор концентрує увагу саме на надтонких дискових резонаторах. Можливо, використання терміна «копланарні» дозволило б автору запобігти такої розбіжності. Однак, треба звернути увагу на те, що раніше такі надтонкі резонатори не розглядались. Тому автор дисертаційної роботи вправі використати запропоновану ним термінологію. Більш того, раніше її було використано для опису надтонких хвилевідних ліній передачі.

2. В своїй роботі автор обмежився використанням способів збудження, характерних для класичних ДР, а саме, щілиною зв'язку та діелектричним хвилеводом, хоча більш перспективним для подальшого застосування планарних структур у мікроелектроніці було б використання мікросмужкових ліній.

3. В Розділах 2 і 3 більш доцільним є розгляд впливу щілини зв'язку як локальної неоднорідності на поведінку спектральних і енергетичних характеристик фторопластових і лейкосапфірових планарних ДР.

4. В Розділах 2 і 3 автор роботи вказує на те, що найбільшими втратами планарних ДР із металевими дзеркалами, що щільно прилягають до плоских основ тонкого діелектричного диска, є саме омичні втрати в металевих дзеркалах. Бажано було б узагальнити результати з позицій впливу різного імпедансу дзеркал на поведінку власної добротності планарних ДР.

5. В своїй роботі для проведення досліджень планарних ДР автор обмежився використанням тільки провідних поверхонь, що обмежують радіаційні втрати в аксіальному напрямку. Бажаним є розгляд інших матеріалів, наприклад, високотемпературних провідників або діелектриків з високою відносною діелектричною проникністю.

6. Список літератури містить багато літературних джерел достатньо давніх.

Разом з тим, вказані зауваження не порушують принципово суть роботи, не впливають суттєво на кінцеві результати досліджень, не зменшують наукову значущість і актуальність дисертації та не знижують високу оцінку наукового рівня роботи.

Переходячи до загальної оцінки дисертації слід зазначити, що вона є закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою та логічним викладанням матеріалу та свідчить про персональний внесок автора в науку.

Аналіз публікацій автора показав, що вони мають усі необхідні елементи, що підкреслюють повноту та глибину розкриття розроблених питань. Результати дисертаційної роботи досить повно висвітлено у відповідних публікаціях. Основні результати роботи апробовано на профільних міжнародних конференціях.

Порушень академічної доброчесності в дисертації Доли Р. С. не виявлено.

Висновки по роботі в цілому. Дисертаційна робота Доли Р.С. "Планарні діелектричні резонатори в режимі збудження мод шепочучої галереї" є завершеною працею, а відображені в ній науково обґрунтовані результати є значним досягненням для розвитку радіофізики.

З урахуванням актуальності, новизни, теоретичної та практичної значущості результатів вважаю, що Доля Р.С. заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Опонент

доктор фізико-математичних наук,
старший дослідник, завідувач відділу
теоретичної радіофізики
Радіоастрономічного інституту НАН України

В. В. Ячин

Підпис д. ф.-м. н. Ячина В. В. засвідчую:

Вчений секретар Радіоастрономічного інституту
НАН України
кандидат фізико-математичних наук



Ю. В. Антоненко

“2” вересня 2021 р.