

УДК 621.372.8; 621.317

О ПОВЫШЕНИИ ДОБРОТНОСТИ ПЛАНАРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ С МОДАМИ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

А. Е. КОГУТ¹, Е. А. КОГУТ², Р. С. ДОЛЯ¹, С. О. НОСАТЮК¹,
С. Н. ХАРЬКОВСКИЙ³, ДЖАОЧАН ХЕ⁴

¹Институт радиофизики и электроники Национальной Академии наук Украины,
Украина, Харьков, 61085, ул. Проскуры 12

²Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,
Украина, Харьков, 61077, пл. Свободы, 4
Университет Западного Сиднея,

³Австралия, Сидней

⁴Восточно-Китайский НИИ «Фотоэлектроника»,
Китай, Уху, 241002, Аньхой

Аннотация. Исследован новый класс дисковых диэлектрических резонаторов (ДР) миллиметрового диапазона длин волн с модами шепчущей галереи (ШГ) — планарных ДР, высота которых значительно меньше рабочей длины волны. Из литературных источников известно, что в открытом состоянии такие резонаторы на модах ШГ не возбуждаются по причине высоких радиационных потерь. Показано, что решением данной задачи является частичное экранирование дисковых диэлектрических структур плоскопараллельным экраном путем расположения диска между двумя плоскими проводящими зеркалами. Установлено, что путем введения воздушного зазора между плоским основанием диэлектрического диска и одним из проводящих зеркал удастся повысить собственную добротность планарных ДР почти в два раза. Одной из причин этого является частичное смещение резонансного поля мод ШГ из области диэлектрика в воздушный зазор, где диэлектрические потери снижаются. Кроме того, увеличение воздушного зазора в интервале оптимальных значений, сравнимых с половиной рабочей длины волны, приводит к снижению омических потерь. Вышеперечисленное обуславливает рост добротности планарных ДР с воздушным зазором.

Ключевые слова: планарный диэлектрический резонатор; колебания шепчущей галереи; электромагнитные характеристики; повышение добротности

ВВЕДЕНИЕ

Особое место в ряду диэлектрических резонаторов (ДР) с модами шепчущей галереи (ШГ) в силу своих малых размеров занимают планарные резонансные структуры. Данный термин, «planar dielectric resonators», обычно используется в зарубежной научной литературе и относится к классическим дисковым ДР, высота которых меньше диаметра [1–6]. В отечественной литературе пользуются принятой терминологией — дисковые ДР [4, 5].

Известно, что необходимым для возбуждения мод ШГ в таких открытых резонаторах является выполнение неравенства $H \geq \lambda_d/2$, где H — высота диэлектрического диска, λ_d — длина волны в диэлектрическом материале [1, 5]. Однако возможности понижения размеров (высоты) дисковых ДР для возбуждения в них рабочих мод ШГ не до конца изучены и использование данной терминологии может быть значительно шире. Поэтому для описания планарных диэлектрических резонансных

DOI: [10.20535/S0021347018110031](https://doi.org/10.20535/S0021347018110031)

© А. Е. Когут, Е. А. Когут, Р. С. Доля, С. О. Носатюк, С. Н. Харьковский, Джаочан Хе, 2018

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Annino, G.; Cassettari, M.; Martinelli, M. "Study on planar whispering gallery dielectric resonators. I. General properties," *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, Vol. 23, No. 4, P. 597-615, 2002. DOI: [10.1023/A:1015709927809](https://doi.org/10.1023/A:1015709927809).
2. Santhosh Kumar, G. D. V.; James Raju, K. C. "Whispering gallery modes of planar dielectric resonators in LTCC technology," *Proc. of Int. Conf. on Microelectronics, Communications and Renewable Energy*, 4-6 June 2013, Kanjirapally, India. IEEE, 2013, p. 474-479. DOI: [10.1109/AICERA-ICMICR.2013.6576026](https://doi.org/10.1109/AICERA-ICMICR.2013.6576026).
3. Nor, Nuramirah Mohd; Jamaluddin, Mohd Haizal; Kamarudin, Muhammad Ramlee; Ambia, Siti Zareen Naqiyah Zool. "Design of planar dielectric resonator antenna array at 28 GHz," *Indonesian J. Electrical Engineering Computer Science*, Vol. 5, No. 3, P. 622-627, 2017. DOI: [10.11591/ijeecs.v5.i3.pp622-627](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v5.i3.pp622-627).
4. Ильченко, М.Е.; Взятых, В.Ф.; Гасанов, Л.Г.; и др. *Диэлектрические резонаторы*. Под ред. М.Е. Ильченко. М.: Радио и связь, 1989. 328 с.
5. Кириченко, А.Я.; Прокопенко, Ю.В.; Филиппов, Ю.Ф.; Черпак, Н.Т. *Квазиоптические твердотельные резонаторы*. К.: Наукова думка, 2008. 296 с.
6. Yurchenko, V. B.; Altintas, A.; Ciydem, M.; Kos, S. "Experimental conditions for the excitation of thin disk whispering-gallery-mode resonators," *PIER C*, Vol. 43, P. 29-40, 2013. DOI: [10.2528/PIERC13062803](https://doi.org/10.2528/PIERC13062803).
7. Голубничая, Г.В.; Кириченко, А.Я.; Кривенко, Е.В.; Луценко, В.И. "Влияние величины зазора между дисками на добротность диэлектрического пластинчатого резонатора," *Письма в ЖТФ*, Т. 41, № 6, С. 50-57, 2015. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/41581>.
8. Kirichenko, A. Ya.; Golubnichaya, G. V.; Maximchuk, I. G.; Yurchenko, V. B. "Q-factor and excitation efficiency of laminar quasi-optical dielectric resonators," *Telecom. Radio Eng.*, Vol. 73, No. 1, С. 73-81, 2014. DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v73.i1.60](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v73.i1.60).
9. Когут, А.Е.; Доля, Р.С.; Носатюк, С.О.; Шульга, Е.А.; Хэ, Джаочан. "Возбуждение колебаний шепчущей галереи в дисковом планарном диэлектрическом резонаторе щелью святы," *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэх. Навук*, № 3, С. 121-128, 2017. URI: <https://vestift.belnauka.by/jour/article/view/327>.
10. Иванов, Е.Н.; Карачев, А.А.; Царапкин, Д.П. "Повышение эффективности возбуждения дисковых диэлектрических резонаторов," *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 30, № 10, С. 68-69, 1987.
11. Гинзтон, Э.Л. *Измерения на сантиметровых волнах*. М.: ИИЛ, 1960. 519 с.
12. Скрипка, С.Л.; Данилов, В.В.; Павловский, И.С. "Планарные структуры волноводной элементной базы миллиметрового диапазона," *Радиофизика и электроника*, Т. 2, № 4, С. 96-102, 2011.
13. Когут, А.Е.; Носатюк, С.О.; Солодовник, В.А.; Доля, Р.С. "Реализация режима вынужденных колебаний высших порядков в экранированных диэлектрических резонаторах путем использования щелевой линии," *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 57, № 10, С. 25-33, 2014. DOI: [10.20535/S0021347014100033](https://doi.org/10.20535/S0021347014100033).
14. Когут, А.Е.; Доля, Р.С.; Носатюк, С.О.; Не, Жаочан. "Возбуждение мод шепчущей галереи в экранированных диэлектрических резонаторах щелевой линией," *Радиофизика и электроника*, Т. 6, № 3, С. 49-54, 2015. DOI: [10.15407/rej2015.03.049](https://doi.org/10.15407/rej2015.03.049).
15. Когут, А.Е.; Кутузов, В.В.; Солодовник, В.А.; Харьковский, С.Н. "О возможности разрежения спектра вынужденных колебаний типа шепчущей галереи в цилиндрическом диэлектрическом резонаторе," *Радиофизика и электроника*, Т. 6, № 2-3, С. 218-221, 2001.

Поступила в редакцию 29.03.2018

После доработки 25.09.2018

Принята к публикации 01.10.2018