

PACS numbers: 42.60.Da, 43.58.Kr

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ  
«ДИСКОВЫЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР-  
ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА»**

***О.И. Белоус, О.Н. Сухоручко, А.И. Фисун***

Институт радиофизики и электроники НАН Украины,  
ул. ак. Проскуры 12, 61085, Харьков, Украина  
E-mail: [oniks@ire.kharkov.ua](mailto:oniks@ire.kharkov.ua)

*В работе экспериментально изучено влияние дифракционной ленточной решетки на спектр колебаний типа «шепчущей галереи» диэлектрического дискового резонатора. Определены условия одномодового режима возбуждения в широком интервале частот.*

***Ключевые слова:*** МИКРОВОЛНОВЫЙ ДИАПАЗОН, ДИСКОВЫЙ РЕЗОНАТОР, КОЛЕБАНИЯ ТИПА «ШЕПЧУЩАЯ ГАЛЕРЕЯ», ДИФРАКЦИОННАЯ ЛЕНТОЧНАЯ РЕШЕТКА, СПЕКТР КОЛЕБАНИЙ.

*(Одержано 13.04.2010, у відредагованій формі – 29.04.2010)*

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

Высокая добротность колебаний типа «шепчущей галереи» и относительно малые размеры определяют широкое использование квазиоптических диэлектрических резонаторов в качестве стабилизирующего контура микроволновых твердотельных генераторов [1]. Наиболее существенными недостатками являются наличие поля вне резонатора (внешняя компонента электромагнитного поля затухает по экспоненте вдоль радиальной координаты) и тот факт, что спектр дискового диэлектрического резонатора имеет эквидистантный характер. В последние годы данный тип резонаторов используется для измерения электрофизических свойств диэлектрических материалов [2]. Перспективным направлением для диэлектрических микрорезонаторов является их использование в лазерной технике. В этом случае резонатор представляет собой полупроводниковую активную среду толщиной в несколько нанометров, диаметр диска выбирается равным 2-50мкм при толщине диска  $50 \div 800$ нм [3].

Целью настоящей работы является исследование возбуждения колебаний в дисковом диэлектрическом резонаторе с дифракционной решеткой и исследование влияния дополнительного дисперсионного элемента (которым является дифракционная решетка) на разрежение спектра колебаний.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Спектр колебаний моды «шепчущая галерея»-сетка эквидистантных частот с интервалом между соседними частотами [1]:

$$\Delta f_{m-(m\pm 1)} = \frac{c}{2\pi R\sqrt{\varepsilon}}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света,  $m$  – азимутальное число,  $R$  – радиус диска,  $\varepsilon$  – диэлектрическая постоянная диэлектрика, из которого изготовлен резонатор. Отметим, что в работе мы пользуемся цилиндрической системой координат и введенной в [4] маркировкой типов колебаний «шепчущая галерея»  $TM_{mnl}$  и  $EH_{mnl}$ , отличающихся поляризацией. Здесь  $m$  – азимутальное число (координата  $\varphi$ ),  $n$  – радиальное число (координата  $r$ ) и  $l$  – аксиальное число ( $z$  – координата) вариаций поля. В случае тонкого диска ( $p$ - $n$  переход полупроводникового лазера или диск, напыляемый из магнитострикционного материала на подложку) в расчетах удобно пользоваться приведенной диэлектрической постоянной, поскольку фазовая скорость в таком резонаторе отличается от скорости распространения волны в диэлектрике. Из формулы видно, что соседние моды «шепчущей галереи» расположены на частотном интервале, зависящем от относительного радиуса диска  $R$ . Неустойчивости в колебаниях «шепчущей галереи» зависят от величины  $\Delta f_m$ , что, в свою очередь, ограничивает применение резонаторов. Применение различных способов связи резонатора с источником излучения способствует некоторому разрежению спектра, однако, в некоторых случаях этот путь селекции неадекватен требуемому результату.

Компьютерное моделирование возбуждения колебаний в диэлектрическом резонаторе было проведено методом конечных разностей во временной области [5]. В процессе моделирования использовалась двумерная модель полуцилиндрического резонатора, поскольку установлено, что физические процессы в цилиндрических резонаторах аналогичны процессам возбуждения колебаний в полуцилиндрических резонаторах, расположенных на проводящей плоскости [4]. Показано, что нанесение ленточной полупрозрачной решетки на боковую поверхность полудиска приводит к существенному изменению спектра «шепчущей галереи». Причем разрежение спектра зависит от коэффициента заполнения решетки

$$\theta = b/p, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина ленты решетки,  $p$  – период решетки. Компьютерное моделирование показывает, что при  $\theta \approx 0.3$  наблюдается только один отклик в широком диапазоне частот [6].

### 3. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование спектральных характеристик квазиоптического зеркального диэлектрического резонатора проведено с помощью стандартного измерителя КСВН и ослабления типа Р2-61 в диапазоне частот 8,2-12,5 ГГц. В эксперименте рассмотрены 3 случая:

- полудисковый резонатор без металлического экрана или решетки;
- полудисковый резонатор с металлическим экраном на боковой поверхности;
- полудисковый резонатор с дифракционной решеткой на боковой поверхности.

Функциональная схема измерительной установки, работающей по схеме «на отражение», показана на рис. 1.

Для экспериментальных исследований был изготовлен полудисковый диэлектрический резонатор из фторопласта диаметром 214 мм и толщиной 20 мм. Резонатор устанавливался в юстировочном механизме, позволяющем плавно изменять взаимное расположение исследуемого резонатора и открытого конца возбуждающего волновода сечением  $23 \times 0,9$  мм. Резонатор возбуждался через щель связи в плоском зеркале. На образующую диска наносился проводящий экран или дифракционная решетчатая решетка на диэлектрической подложке. Имелась возможность смещать дифракционную решетку относительно плоского зеркала и изменять поляризацию возбуждающих колебаний.

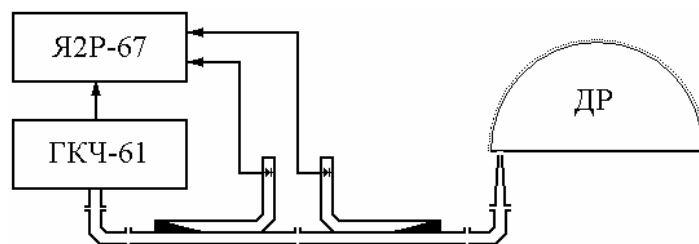


Рис. 1 – Функциональная схема измерительной установки

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В резонаторе без экрана или решетки наблюдается эквидистантный спектр колебаний «шепчущей галереи», соответствующий различным азимутальным модовым числам (рис. 2) [4]. В случае экранирования боковой поверхности сплошным экраном спектр колебаний «шепчущей галереи» несколько сдвинут (рис. 3 а), что можно объяснить смещением максимума поля к центру резонатора и как следствие, уменьшение оптической длины резонатора. Кроме того, в спектре наблюдаются менее интенсивные отклики (возможно, положение амплитудного максимума этих типов колебаний не совпадает с местоположением отверстий связи).

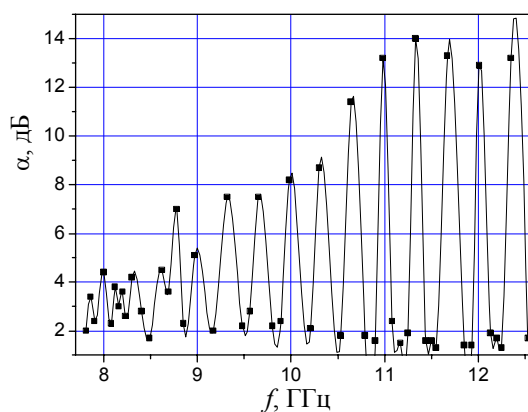
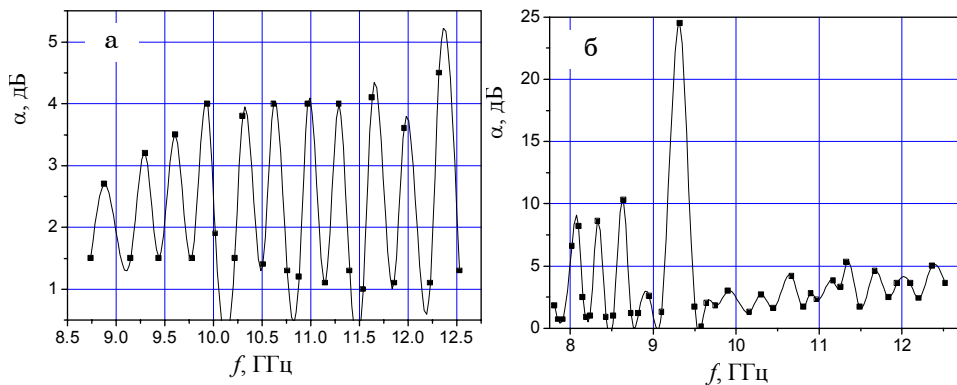


Рис. 2 – Спектр резонатора без экрана

На рис. 3 б показан спектр полуцилиндрического дискового резонатора с ленточной решеткой на боковой поверхности. В исследовании использовались решетки с различным периодом и коэффициентом заполнения. Наибольшая степень селекции была достигнута при коэффициенте заполнения  $\theta = 0.3$ . Из рисунка видно, что резонатор имеет разреженный спектр. Резонатор возбуждается на частоте, соответствующей частоте поверхностной волны, распространяющейся вдоль решетки, при условии, что целое число полуволн укладывается на оптической длине резонатора. На частотах выше частоты поверхностной волны ленточная решетка выполняет функцию рассеивающего элемента. В спектре присутствуют несколько маловыраженных типов колебаний. В этом случае, на частотах ниже частоты поверхностной волны условие азимутального резонанса в диэлектрическом резонаторе выполняется, а решетка играет роль экрана, поскольку  $\lambda > p$  [7]. Очень важную роль в формировании практически одночастотного возбуждения резонатора играет расположение дифракционной решетки относительно края полудиска. Так, при смещении первой ленты решетки на  $0.4p$  условия возбуждения выполнялись на других частотах (10 и 10.7 ГГц).



**Рис. 3** – Спектр резонатора с металлическим экраном на боковой поверхности (а). Спектр вынужденных колебаний резонатора с решеткой при  $\theta = 0.3$  (б)

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе экспериментально исследована возможность одномодового возбуждения колебаний типа «шепчущей галереи» в дисковом диэлектрическом резонаторе. Показано, что нанесение ленточных дифракционных решеток на образующую дискового диэлектрического резонатора позволяет эффективно разредить спектр его колебаний. Эксперимент выполнен на изготовленном из фторопласта полудисковом диэлектрическом резонаторе в 3-см диапазоне длин волн. Применение диэлектриков с большим  $\varepsilon$  (например, сапфира) и технологии нанесения пленок непосредственно на образующую диска позволит решить задачу создания компактных одночастотных элементов для схем микроволнового диапазона с высокой степенью интеграции.

**EXCITATION OF FORCED MODES IN THE DIELECTRIC DISK RESONATOR-DIFFRACTION GRATING SYSTEM**

*O.I. Belous, O.N. Sukhoruchko, and A.I. Fisun*

Institute of Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine  
12, Proskura St., Kharkov 61085, Ukraine  
E-mail [oniks@ire.kharkov.ua](mailto:oniks@ire.kharkov.ua)

*In this work the strip-like diffraction grating influence on the spectrum of "whispering gallery" modes of the disk dielectric resonator was studied experimentally. The conditions of single-mode excitation in a wide frequency range had been defined.*

**Keywords:** MICROWAVE RANGE, DISK RESONATORS, "WHISPERING GALLERY" MODES, DIFFRACTION GRATING, OSCILLATION SPECTRUM.

**ЗБУДЖЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ В СИСТЕМІ «ДИСКОВИЙ ДІЕЛЕКТРИЧНИЙ РЕЗОНАТОР-ДИФРАКЦІЙНА ГРАТКА»**

*О.І. Білує, О.М. Сухоручко, А.І. Фісун*

Інститут радіофізики та електроніки НАН України,  
Вул. ак. Проскури 12, 61085, Харків, Україна  
E-mail: [obel@ire.kharkov.ua](mailto:obel@ire.kharkov.ua)

*В роботі експериментально вивчено вплив дифракційної стрічкової ґратки на спектр коливань типу «шепочуча галерея» діелектричного дискового резонатора. Визначені умови одномодового режиму збудження в широкому інтервалі частот.*

**Ключові слова:** МІКРОХВИЛЬОВИЙ ДІАПАЗОН, ДИСКОВИЙ РЕЗОНАТОР, КОЛИВАННЯ ТИПУ «ШЕПОЧУЧА ГАЛЕРЕЯ», ДИФРАКЦІЙНА ГРАТКА, СПЕКТР КОЛИВАНЬ.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. O. Ishihara, T. Mori, H. Sawano, M. Nakatani, *IEEE T. Microw. Theory* **MMT-28** No 8, 817 (1980).
2. J. Krupka, K. Derzakowich, A. Abramowich, M.E. Tobar, and R.G. Geer, *Proceeding of the IEEE on MTT* **47** No 6, 752 (1999).
3. H. Cao, J.Y. Xu, W.H. Xiang, Y. Ma S.-H. Chang, S.T. Ho and G.S. Solomon, *Appl. Phys. Lett.* **76**, 3519 (2000).
4. *Диэлектрические резонаторы* (Ред. М.Е. Ильченко) (М.: Радио и связь: 1989).
5. Ю.К. Сиренко, *Моделирование и анализ переходных процессов в открытых периодических, волноводных и компактных резонаторах*, (Харьков: 2003).
6. О.І. Белоус, О.Н. Сухоручко, А.І. Фісун, *СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии, 19-я Международная конференция, 482 (Севастополь: 2009)*. (O.I. Belous, O.N. Sukhoruchko, A.I. Fisun, *CriMiCo - 2009 19th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology*, 482, Art. No 5293036).
7. В.П. Шестопапов, А.А. Кириленко, С.А. Масалов, Ю.К. Сиренко *Резонансное рассеяние волн. Т. Дифракционные решетки*. (К: Наукова думка:1986).