

07;09
©1995

ФОКУСИРОВКА ВОЛН ТИПА ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ В КВАЗИОПТИЧЕСКОМ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ

С.Н.Харьковский, А.Е.Козут, В.А.Солодовник

Электромагнитные волны типа шепчущей галереи (ШГ) наблюдались в диэлектрических сферических резонаторах в ряде экспериментов ^[1,2], охватывающих рабочие частоты от оптических до СВЧ. Их возможные применения связаны с такими свойствами колебаний типа ШГ, как высокая добротность, тонкие области локализации их полей, что позволяет создать резонансные поля большой интенсивности, и др.

При возбуждении сфер источниками излучения, не обладающими аксиальной симметрией, локализация резонансных полей колебаний типа ШГ происходит в областях, которые на поверхности сферы имеют вид поясков ^[2]. В настоящей работе приводятся результаты исследования распределения полей волн (колебаний) ШГ, возбуждаемых на сферической поверхности таким образом.

В эксперименте использовался квазиоптический полусферический диэлектрический резонатор. Он содержит (рис. 1) полусферу 1 из изотропного диэлектрика, расположенную на плоском металлическом зеркале 2. Возбуждение колебаний типа ШГ в таком резонаторе осуществляется через открытый суженный конец полого металлического волновода 3 или через щель связи 4 в зеркале, расположенную у края плоской части полусферы.

В зависимости от ориентации выходного сечения волновода относительно плоскости зеркала и полярной координаты θ_0 его центра (при $0 < \varphi_0 < 2\pi$, $r_0 \sim R \sim 10\lambda_d$, λ_d — длина волны в диэлектрике) возбуждаемые TE_{nml} ($E_r = 0$) колебания типа ШГ имеют три характерные формы распределения полей (n , m и l — число вариаций поля по полярной, азимутальной и радиальной координатам соответственно):

1. Если H -плоскость волновода параллельна плоскости зеркала и $0 < \theta_0 < \pi$, то возбуждаются колебания ШГ с локализацией поля в области, которая на поверхности полусферы имеет вид нерегулярного пояска вдоль θ (заштрихованные области на рис. 2, а-в). Наиболее характерные

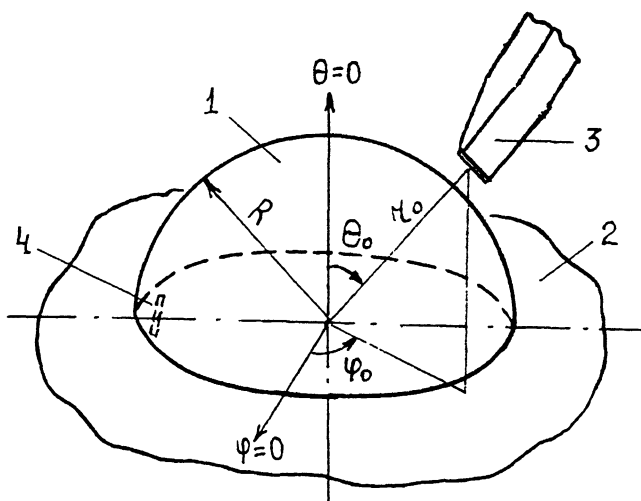


Рис. 1.

случаи соответствуют положениям волновода при $\theta_0 \sim \pi/2$ (а), $\theta_0 \sim 0, \pi$ (б), $0 < \theta_0 < \pi/2, \pi/2 < \theta_0 < \pi$ (в). При удалении полусферы от зеркала резонансы смещаются к меньшим частотам.

2. Если H -плоскость волновода перпендикулярна плоскости зеркала и $\theta_0 \sim 0, \pi$ (с учетом половины сечения волновода), то поля возбуждаемых колебаний локализируются в области, которая на поверхности полусферы имеет вид нерегулярного пояса вдоль φ (рис. 2, г). При удалении полусферы от зеркала их резонансы смещаются к большим частотам.

В случаях, изображенных на рис. 2, а-г, резонансные отклики представляют собой периодические последовательности резонансов. Каждый резонанс соответствует нескольким вырожденным колебаниям с различным распределением поля по ширине пояса, т. е. с различным m (рис. 2, а-в) или различным n (рис. 2, г).

3. При $\theta_0 \neq 0, \pi/2, \pi$ возбуждаются колебания, резонансные отклики которых появляются в виде широких резонансных кривых, состоящих из серии мелких резонансов, соседние пояски которых частично перекрываются и лежат в пределах области локализации, показанной на рис. 2, д.

Рассмотренные виды колебаний можно возбудить одновременно через щель связи в зеркале, расположенную вдоль радиуса основания полусферы. При расположении щели перпендикулярно радиусу полусферы возбуждаются TM_{nml} колебания с распределением пятна поля, подобным показанному на рис. 2, б.

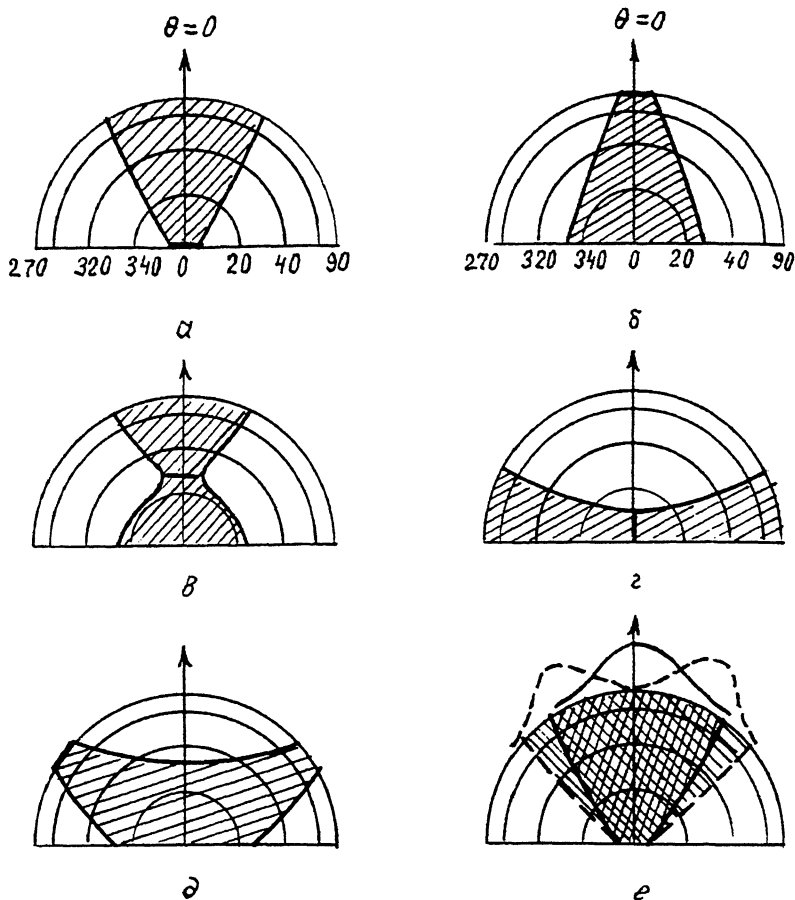


Рис. 2.

Замечаем, что пояски полей имеют сужения в области возбуждения и расширения при отходе от нее, а в случае (б-г) имеются два идентичных сужения: в области источника и его отображения на диаметрально противоположной стороне полусферы. В этом проявляется фокусирующее действие сферической поверхности на пучок волн ШГ. При этом в случае, изображенном на рис. 2, в, наблюдается особенность полусферического резонатора: источник и его отображение расположены в сечении сферы, не проходящем через ее центр.

Параметры пояска поля зависят от резонансной частоты, типа колебаний и размеров источника. Установлено, что с увеличением $m(n)$ уменьшается наибольшая ширина

L пояска, а наименьшая ширина b (область источника и его отображения) сохраняется. Так, для колебаний TM_{n11} в резонаторе из фторопласта с $R = 39$ мм, возбуждаемых через щель связи 7.2×0.1 мм, отношение L/b уменьшается на $\sim 9\%$ при увеличении резонансной частоты в диапазоне 29–38 ГГц. А на фиксированной резонансной частоте 37.46 ГГц при увеличении ширины щели от 0.1 мм ($L/b \sim 9.6$) до 1 мм это отношение уменьшается на $\sim 70\%$. На рис. 2, e сплошной и штриховой линиями показаны распределения полей по L четного ($m = 1$) и нечетного ($m = 2$) колебаний соответственно. Видно пространственное разделение полей этих колебаний на периферии расширенной части. Это создает возможность независимого воздействия на нечетное колебание. Кроме этого интересно, что распределение суммарного поля вырожденных колебаний можно целенаправленно формировать путем изменения условий возбуждения. Так, при возбуждении четного и нечетного колебаний со сравнимыми амплитудами удастся получить в области наибольшего расширения пояска однородное распределение поля вдоль дуги L окружности, составляющей несколько длин волн.

Особенности формирования колебаний типа ШГ в сферических резонаторах и их модификациях могут быть рассмотрены в рамках геометрооптических представлений. Симметрия резонатора и его возбуждения при используемых источниках оказывается разной. Выбранные источники имеют несимметричную относительно H - и E -плоскости диаграмму направленности излучения. Из общих оптических представлений следует, что лучи, испытывающие полное внутреннее отражение от границы раздела диэлектрика со свободным пространством внутри полусферы, распространяются по сферической поверхности вдоль кривых, которые лежат в плоскостях сечения сферы, проходящих через ее центр. Это так называемые геодезические линии, которые в сфере образуют семейство дуг большого круга, исходящих от источника и сходящихся в его отображении. Из свойств этих линий и характеристик источников понятно наличие вырождения по частоте колебаний с различными $m(n)$ и отличие их расходимости (ширины поясков): их лучи выходят из источника под разными углами [3], но проходят одинаковые расстояния вдоль дуги большого круга, сходясь в источнике. Отсюда следует возможность фокусировки волн ШГ в сфере, а также в полусфере при расположении источника на дуге большого круга основания. При $\theta_0 \neq 0, \pi/2, \pi$ в полусфере отображение источника возникает при $-\theta_0$ в результате пересечения в этих местах прямых и зеркальных геодезических линий.

Таким образом, свойства сферической поверхности и характеристики источника излучения определяют обнаруженные эффекты фокусировки волн ШГ в сферических резонаторах и их модификациях.

Список литературы

- [1] Брагинский В.Б., Ильченко В.С. // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293. № 6. С. 1358–1361.
- [2] Ганапольский Е.М., Голик А.В., Королюк А.П. // Физика низких температур. 1993. Т. 19. № 11. С. 1255–1259.
- [3] Вайнштейн Л.А. Теория дифракции и метод факторизации. М.: Сов. радио, 1966. 431 с.

Институт радиофизики
и электроники
НАН Украины
Харьков

Поступило в Редакцию
19 июня 1995 г.
