

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МОД ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ШАРЕ, ВОЗБУЖДАЕМОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВОЛНОВОДОМ

© С.Н.Харьковский, А.Е.Козут, В.В.Кутузов

Высокодобротные колебания типа шепчущей галереи (ШГ) в диэлектрическом шаре привлекают внимание исследователей в широком диапазоне рабочих частот: от оптических до СВЧ [1-3]. При возбуждении шара источником излучения с малой аксиально-несимметричной апертурой область локализации их полей на его поверхности имеет вид пояска [2,3]. В настоящей работе приводятся результаты исследования волн ШГ, возбуждаемых в диэлектрическом шаровом резонаторе путем распределенной связи с диэлектрическим волноводом (ДВ). Обнаружено, что моды ШГ, возбужденные на участке связи, преобразуются в моды двух расходящихся на поверхности шара волноведущих поясков при определенных положениях волновода и резонатора. В результате формируются колебания ШГ шара с областями пространственно-частотного разделения полей.

Эксперимент проведен в восьмимиллиметровом диапазоне длин волн. Одну половину шара заменяло плоское зеркало, и именно резонатор содержал полушар 1 из фторопласта с радиусом $R \sim 10\lambda_d$ (λ_d — длина волны в резонаторе), расположенный на плоском металлическом зеркале 2 (рис. 1, а). Продольная ось ДВ 3 прямоугольного поперечного сечения перпендикулярна оси симметрии полушара. Резонансные отклики системы волновод-резонатор, работающей в режиме режекции, представляют собой периодические последовательности резонансов. Каждый резонанс соответствует нескольким близким по частоте TE_{nml} ($E_r = 0$) либо TM_{nml} ($H_r = 0$) колебаниям ШГ (n , m и l — число вариаций поля по полярной, азимутальной и радиальной координатам соответственно). Эти колебания на поверхности полушара образуют пятно поля в виде пояска с перетяжкой на участке связи и с максимальным расширением на зеркале. Одно из модовых распределений в таком пояске соответствует описанной в [3] суперпозиции полей колебаний, имеющих различное, но симметричное относительно плоскости симметрии пояска, распределение поля по его ширине. На рис. 1, б эти распределения схематично показаны кривыми

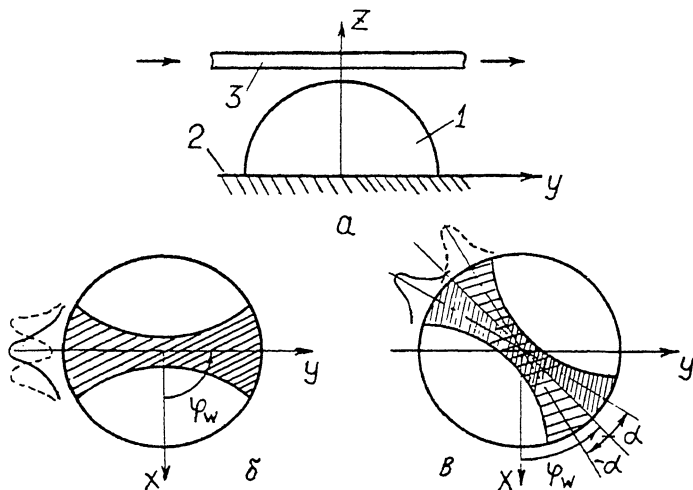


Рис. 1.

для $m = 1$ и 2 . Другое распределение поля колебаний состоит из двух поясков, плоскости симметрии которых составляют равные по величине, но противоположные по направлению углы α относительно плоскости симметрии суммарного пятна поля (рис. 1, в). Каждый поясик имеет одну или две вариации поля по его ширине.

При изменении азимутальной координаты φ_w проекции продольной оси ДВ на плоскость xy распределение мод в суммарном поле периодически меняется. На рис. 2 области существования выделенных распределений полей по φ_w разделены вертикальными штриховыми линиями. Вверху соответствующих областей схематично показаны осевые линии поясков. Знаки “+” и “-” у пересекающихся поясков обозначают соответствующие им резонансы с большей f^+ и меньшей f^- частотами. Отсчет φ_w ведется от $\varphi_w = 0$, при котором наблюдается максимум зависимости $\Delta f^+(\varphi_w)$, показанной на рис. 2 сплошной кривой для ТМ_{39,m,1} колебаний ($\Delta f^+ = f^+ - f_{\min}^+$, $f_{\min}^+ = 38.744$ ГГц). Вблизи экстремумов этой зависимости существует суперпозиция полей четного ($m = 1$) и нечетного ($m = 2$) относительно плоскости, проходящей через продольную ось ДВ, колебаний ШГ. А в переходных областях по φ_w существуют колебания с пересекающимися поясками полей. В каждом пояске идентифицируется мода с одной вариацией поля по его ширине. Величина расщепления частот $\delta f = f^+ - f^-$ немонотонно изме-

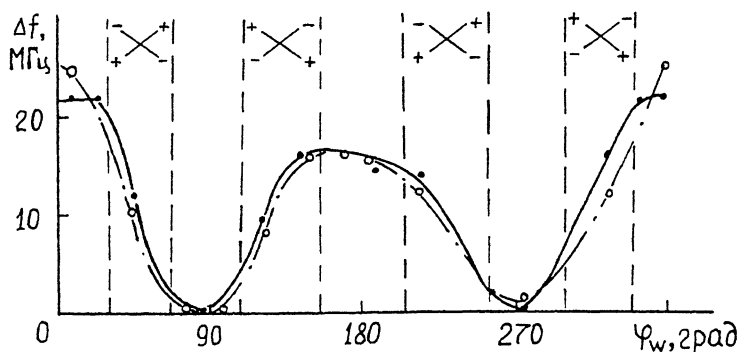


Рис. 2.

няется в каждой области, достигая максимума в ее центре ($\Delta f_{\max} \sim 20$ МГц). Замечаем, что положение пересекающихся поясков, соответствующих колебаниям с f^+ и f^- , периодически меняется.

При воздействии неоднородности в виде металлической сферы диаметром 20 мм на поля колебаний вблизи зеркала при $\varphi_w \sim 0$ один резонанс уходит к меньшим частотам, а оставшийся расщепляется на два близких резонанса. Сильно возмущенный резонанс соответствует колебанию с одной вариацией поля в пояске, который симметричен относительно плоскости, проходящей через продольную ось ДВ. Но он имеет перетяжки на зеркале и расширение на участке связи, что задается расположением и локальным характером неоднородности. Важно, что распределение его поля не преобразуется при изменении φ_w , а зависимость его резонансной частоты f_1 от φ_w показана на рис. 2 штрихпунктирной кривой ($\Delta f_1 = f_1 - f_{1\min}$, $f_{1\min} = 38.675$ ГГц). А распределения полей колебаний ШГ, которым соответствуют расщепленные близкие резонансы, наблюдаются в виде перекрещивающихся поясков в тех же областях по φ_w и с той же последовательностью, что и в шаре без неоднородности. Но поле в одном пояске имеет одну вариацию, а в другом — две.

Преобразование мод ШГ в исследуемой системе может быть рассмотрено на основе модели разветвляющегося ДВ [4] с учетом малой анизотропии образца фторопласта, из которого выполнен полушар. Эта анизотропия может возникнуть при спекании фторопласта под давлением. В нашем случае оптическая ось и геометрическая ось симметрии полушара не совпадают. Это подтверждают зависимости Δf_1 и Δf^+ от φ_w . Волноведущие пояски можно характеризовать с помощью усредненной по полярной координате диэлектрической проницаемости $\bar{\epsilon}$. Пусть пояскам с плоскостями

симметрии при $\varphi_w = 0, 180^\circ$ и $\varphi_w = 90, 270^\circ$ соответствуют $\bar{\varepsilon}_1$ и $\bar{\varepsilon}_2$ ($\bar{\varepsilon}_1 > \bar{\varepsilon}_2$). Тогда замечаем, что преобразование мод ШГ (рис. 1, в) происходит в поясах, которые имеют разные $\bar{\varepsilon}$ относительно их геометрических плоскостей симметрии, проходящих через продольную ось ДВ. Они и образуют две несимметричные ветви, расходящиеся от участка связи ДВ и резонатора. Если одной ветви соответствует $\bar{\varepsilon}_{1a}$, а второй — $\bar{\varepsilon}_{2a}$, $\bar{\varepsilon}_{1a} > \bar{\varepsilon}_{2a}$, то в областях вблизи $\varphi_w = 45$ и 225° слева от направления волны в ДВ ветвь с $\bar{\varepsilon}_{1a}$, справа — с $\bar{\varepsilon}_{2a}$, а вблизи $\varphi_w = 135$ и 315° наоборот: слева с $\bar{\varepsilon}_{2a}$, справа с $\bar{\varepsilon}_{1a}$.

Согласно правилу модового преобразования в несимметричном разветвляющемся ДВ [4], его мода преобразуется в одну из мод ветвей той же поляризации с ближайшей постоянной распространения. В нашем случае четные моды ($m = 1, 3, \dots$) должны ответвляться в ветвь с $\bar{\varepsilon}_{1a}$, а нечетные ($m = 2, 4, \dots$) — в ветвь с $\bar{\varepsilon}_{2a}$. Причем низшие моды участка связи ($m = 1, 2$) формируют низшую четную моду ветвей, а высшая четная ($m = 3$) — низшую нечетную моду ветви. Это и наблюдалось в эксперименте.

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] Харьковский С.Н., Козут А.Е., Солодовник В.А. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 18. С. 38–42.
- [4] Yajima H. // IEEE J. Quant. Electr. 1979. V. QE-15. N 6. P. 482–487.

Поступило в Редакцию
2 апреля 1996 г.