

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



Национальный исследовательский  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Т Р У Д Ы**  
**ПЯТНАДЦАТОЙ**  
**ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**СТУДЕНЧЕСКИХ**  
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ**  
**ИНКУБАТОРОВ**

**Томск, 17–19 мая 2018 г.**



ТОМСК  
«Издательство НТЛ»  
2018

## **Локальная резонаторная диагностика плоскопараллельных образцов**

**С.О. Ходовицкий, И.О. Дорофеев**

*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

В последние годы решаются задачи создания и исследования искусственных материалов в областях миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. В связи с этим необходима разработка новых и модернизация известных методов и средств неразрушающей диагностики для исследования параметров и свойств таких материалов.

Для плоскопараллельных образцов наиболее часто применяются методы свободного пространства, однако они требуют подготовленных образцов с достаточно большими по сравнению с длиной волны размерами и непригодны для исследования распределений неоднородностей коэффициента отражения по площади исследуемого объекта.

### **Основная часть**

Такие возможности предоставляет предложенный в [1] метод измерения через отверстие в отражателе открытого квазиоптического резонатора. Следует отметить, что для данного метода локальность ограничена размером отверстия, который, в свою очередь, определяет расходимость пучка вне резонатора. К размеру отверстия предъявляются два достаточно противоречивых требования. С одной стороны, размер отверстия должен быть большим по сравнению с длиной волны, чтобы обеспечить плоский фазовый фронт и небольшую расходимость волны за ним, с другой стороны, его размер должен быть малым по сравнению с диаметром пучка на зеркале открытого резонатора, если учесть неоднородность поля в направлениях, перпендикулярных оси резонатора. На практике удовлетворить этим двум требованиям достаточно сложно, поэтому часто приходится ограничиваться компромиссным вариантом. В рамках математической модели, реализованной для метода, нельзя провести какой-либо оценки границы влияния размеров отверстия, поэтому целесообразно провести экспериментальные исследования корректности теоретических предположений.

В первую очередь необходимо оценить распределение поля за отверстием. С этой целью была создана экспериментальная установка на

основе открытого резонатора, в одном из отражателей которого было расположено отверстие для взаимодействия поля резонансного колебания с исследуемым объектом.

Для измерения распределений полей зондовым методом необходимо выбирать зонды, размеры которых много меньше длины волны, при этом лучше использовать поглощающие зонды, чем рассеивающие. Однако в данном случае нет необходимости использовать точечный зонд. Так как отверстие квадратное, то электрическое поле будет к одним его сторонам ортогонально, относительно других – параллельно. Так как тангенциальная компонента поля на соответствующих сторонах будет стремиться к нулю, то отклонения от равномерного распределения будут в гораздо большей степени в направлении, перпендикулярном направлению вектора напряженности электрического поля. Поэтому использовался протяженный нитевидный зонд из тонкой поглощающей углеродной нити.

Для измерений значений коэффициента прохождения открытого резонатора на резонансной частоте применялся анализатор цепей типа Agilent E8363. При измерениях в полосе частот, величину которой определяли отрезки волноводов, образующие элементы связи, использовалось восемь основных типов колебаний открытого резонатора. Результаты измерения трех из них при распределении поля вблизи измерительного отверстия в направлении, перпендикулярном вектору электрического поля, приведены на рис. 1.

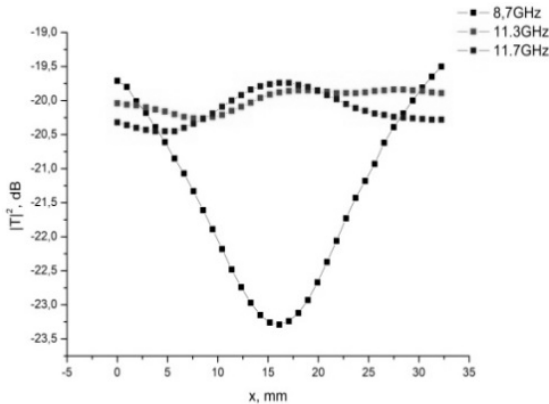


Рис. 1. Зависимость коэффициента передачи открытого резонатора от длины вблизи измерительного отверстия

Как следует из полученных результатов, наиболее равномерное распределение поля наблюдалось для типа колебаний с резонансной частотой 11,3 ГГц, а не как ожидалось, на самой высокочастотной. Для нее поле имеет осцилляции. Причиной этого является интерференция полей, рассеянных противоположными сторонами квадратного отверстия. Для низкочастотного типа колебаний можно наблюдать достаточно неоднородное распределение, напоминающее сформировавшийся квазиоптический пучок. Таким образом, предположение, заключающееся в том, что данное отверстие вырезает из резонансного пучка участок с равномерным амплитудным распределением поля, не выполняется не только при недостаточно больших по сравнению с длиной волны отверстиях, но также и при достаточно больших. Однако подбором размера отверстия можно добиться достаточно однородных распределений поля практически на всей площади отверстия.

В результате экспериментального исследования распределения поля установлено, что метод измерения коэффициента отражения за измерительным отверстием в отражателе открытого квазиоптического резонатора имеет ограничения не только коротковолнового приближения (размеры отверстия должны быть велики по сравнению с длиной волны), но и длинноволнового из-за интерференции полей, отраженных от краев отверстия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаевский Г.Е. Открытые резонаторные преобразователи. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 304 с.
2. Yang B., Katz S., Willis K., et al. A high-Q terahertz resonator for the measurement of electronic properties of conductors and low-loss dielectrics // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. 2012. V. 2. P. 449.

---

**Ходовицкий** Сергей Орестович, студент; sergey7415@mail.ru;  
**Дорофеев** Игорь Олегович, к.ф.-м.н.; idorofeev@mail.tsu.ru