

## К ИССЛЕДОВАНИЮ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА СВЧ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

П. И. ГОСЬКОВ, Г. А. УРАЛОВ

В настоящее время наряду с широким применением в технике и особенно в различных устройствах и приборах СВЧ диэлектрики оказываются весьма перспективными для использования в ускоряющих системах волноводных синхротронов как в качестве замедляющих структур, так и в качестве многослойных диэлектрических стенок, не экранирующих управляющих быстропеременных магнитных полей [1].

В последнем случае представляется интересным выяснить возможность экспериментального исследования свойств диэлектриков в условиях, близких к рабочим, т. е. при наличии вакуума, повышенной температуры, мощных быстропеременных полей и интенсивного излучения. В данной работе были исследованы свойства керамики с высокой проницаемостью и малыми потерями в зависимости от частоты, температуры и вакуума.

При измерении свойств диэлектриков на сверхвысоких частотах широко применяются резонансные способы, так как они позволяют сравнительно просто получать точные результаты, причем образцы диэлектриков чаще всего применяются либо в виде стержней, либо в виде пластин [2]. Резонансные способы исследования диэлектриков на сверхвысоких частотах основываются на двух методах: методе малых возмущений и методе, использующем строгое решение уравнений электромагнитного поля в резонаторе при наличии образца. Существенным недостатком последнего метода является неоднозначность получаемых результатов.

В виду того, что диэлектрик в волноводных ускоряющих системах будет иметь прямоугольную форму и сравнительно большие геометрические размеры, в данной работе для измерений использовался прямоугольный резонатор с  $H_{10n}$ -волной и образцы диэлектрика в виде пластин, точно подогнанных под внутреннее сечение резонатора. Пластины помещались на дно резонатора. Для устранения неоднозначности результатов измерения свойств интересующей нас керамики на основе титаната бария предварительно было проведено исследование образцов в виде прямоугольного стержня.

Различные варианты расположения образцов в прямоугольном резонаторе, определяемые величиной потерь исследуемых диэлектриков, рассмотрены в [3]. В настоящей работе прямоугольные стержни помещались в пучность электрического поля. Выражения для про-

ницаемости и тангенса угла потерь, полученные методом малых возмущений, имеют в этом случае следующий вид:

$$\epsilon = 1 + \frac{abL}{2a_1b_1L_1} \frac{\Delta f_p}{f_p}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{abL}{4\epsilon a_1b_1L_1} \left( \frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0} \right),$$

где

- $a, b, L$  — размеры резонатора;
- $a_1, b_1, L_1$  — размеры стержня;
- $\Delta f_p$  — сдвиг резонансной частоты резонатора  $f_p$  при помещении в него исследуемого образца;
- $Q_0$  и  $Q_1$  — добротность резонатора без образца и с образцом. На частоте 2250 МГц для керамического стерженька с размерами  $1,4 \times 0,65 \times 15$  мм были получены следующие результаты:  $\epsilon = 66$ ;  $\operatorname{tg} \delta = 1,83 \times 10^{-3}$ , а для стержня из пенополистирола с размерами  $8 \times 8 \times 34$  мм соответственно получили  $\epsilon = 1,1$  и  $\operatorname{tg} \delta = 5 \times 10^{-4}$ , что хорошо согласуется с литературными данными [4].

В дальнейшем для измерений использовался второй метод. Применялись пластины из этой же керамики сечением  $72 \times 34$  мм и толщиной несколько мм. Как показал анализ второго метода исследования диэлектриков, наименьшая погрешность при измерении свойств подобных керамик будет наблюдаться в случае четвертьволновых пластин, т. е. при толщине пластины порядка 3,5 мм.

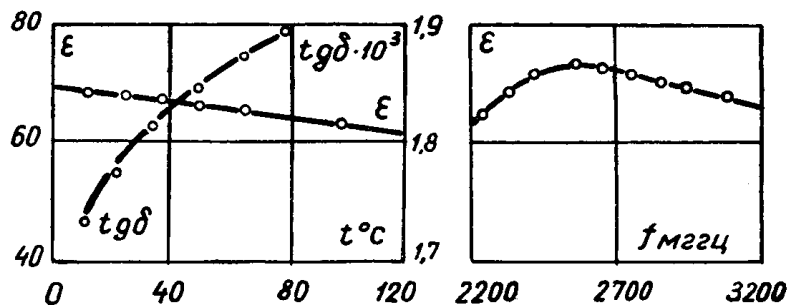


Рис. 1. Зависимость проницаемости и тангенса угла потерь от температуры и частоты

При экспериментальном исследовании температурных и частотных зависимостей свойств данной керамики было выяснено следующее (рис. 1): в исследуемом интервале температур изменение проницаемости и потерь не превышает 10%. В интервале частот 2200–3200 МГц данная керамика обладает слабой дисперсией. Наблюдается некоторый максимум зависимости  $\epsilon(f)$  на частоте около 2550 МГц.

Сравнение результатов измерения в интервале давлений от атмосферного до  $10^{-5}$  мм ртутного столба показывает, что свойства исследуемой керамики от давления не зависят.

В случае использования тонких пластин свойства диэлектриков (в том числе и керамик на основе титаната бария) можно исследовать также методом малых возмущений. Тогда при расположении

тонкой диэлектрической пластины на дне резонатора расчетные выражения для проницаемости и потерь имеют вид:

$$\epsilon = 1 + \frac{4}{n^2 \pi^2} \left( \frac{L}{L_1} \right)^3 \frac{\Delta f_p}{f_p},$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2}{2\epsilon n^2 \pi^2} \left( \frac{L}{L_1} \right)^3 \left( \frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0} \right),$$

где

$L$  — длина резонатора,  $L_1$  — толщина пластины.

Результаты измерения данным способом проницаемости гетинакса и оргстекла в диапазоне  $2000 \div 4000$  Мгц приведены на рис. 2.

Все измерения в данной работе проводились методом ударного возбуждения [5, 6].

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что используемая методика и измерительная установка [7] позволяют проводить исследование свойств керамик на основе титаната бария в зависимости от излучения и быстропеременных магнитных полей.

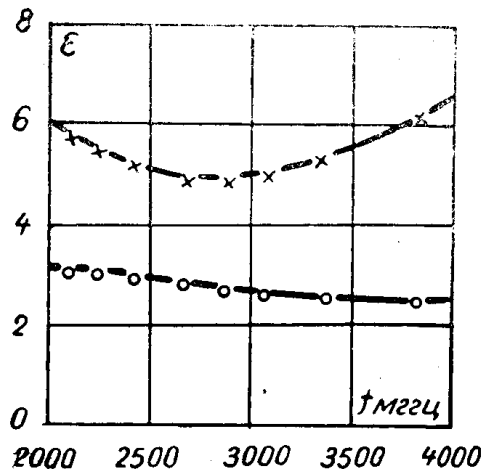


Рис. 2. Зависимость проницаемости от частоты.  
○ — оргстекло, × — гетинакс

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев, Л. Н. Безматерных, А. Н. Диденко, А. И. Лисицын, А. П. Ольшанский. Изв. вузов, «Радиофизика», VII, 1, 1964.
2. А. А. Брандт. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах, Физматгиз, 1963.
3. П. И. Госьков. Изв. вузов, «Физика», 4, 1965.
4. К. А. Водопьянов, Ю. Д. Панков, А. Н. Коробов. Изв. вузов, «Физика», 2, 1962.
5. П. И. Госьков. Изв. вузов, «Физика», 3, 1965.
6. П. И. Госьков, П. И. Матяж. Измерение низкодобротных резонаторов. Авторское свидетельство, кл. 21a<sup>4</sup>, 71, 31 октября 1964.
7. П. И. Госьков, П. И. Матяж. Широкодиапазонная установка для измерений на сантиметровых волнах. Удостоверение о регистрации № 50730 с приоритетом 29 января 1965.