УДК 626.373

ВОЛНОВОД С ТОНКИМИ ИМПЕДАНСНЫМИ ПЛЕНКАМИ

Г. Г. ОКСУЗЯН, Э. С. ПОГОСЯН, А. Д. ТЕР-ПОГОСЯН

Ереванский физический институт

(Поступила в редакцию 27 ноября 1997г.)

Исследовано распространение волны в волноводе, содержащем тонкие проводящие пленки. Рассмотрена возможность использования резонатора с импедансными стенками в качестве датчика ускоренного пучка заряженных частиц на основе переходного излучения в резонаторе. Проведено экспериментальное моделирование резонатора-датчика.

Переходное излучение может быть использовано для измерения параметров пучков заряженных частиц. Однако большинство типов датчиков (резонаторные, волноводные и др.), включенных в тракт ускорителя, находятся либо под высоким вакуумом, либо отделены от вакуума диэлектрической пролетной трубкой [1]. В последнем случае возникает проблема снятия статического заряда с поверхности диэлектрика.

Для решения этой задачи нами была исследована возможность создания резонаторного датчика со сверхтонкими металлическими стенками, которые обеспечивают достаточную радиопрозрачность для отбора энергии переходного излучения.

Для коэффициентов отражения и прохождения волны через тонкую металлическую пластину в волноводе получены следующие выражения, аналогичные выражениям для свободного пространства [2]:

$$R^{\mathcal{E}} = R^{\mathcal{H}} = \frac{|\varepsilon''|\alpha^2}{(\sqrt{|\varepsilon''|} \cdot \alpha + \sqrt{2})^2}; \quad T^{\mathcal{E}} = T^{\mathcal{H}} = \frac{2}{(\sqrt{|\varepsilon''|} \cdot \alpha + \sqrt{2})^2}, \tag{1}$$

где R^{E}, R^{H} и T^{E}, T^{H} — коэффициенты отражения и прохождения волны для *E* и *H* моды в волноводе, $\varepsilon^{\prime\prime}$ — мнимая часть диэлектрической проницаемости, $\alpha = \operatorname{Re}(\gamma\Delta), \gamma = \omega/c\sqrt{|\varepsilon^{\prime\prime}|} \cdot e^{-i\pi/4}; \Delta$ — толщина пластины,

$$\operatorname{Re} \gamma = -\operatorname{Im} \gamma = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{|\varepsilon''|}; \quad \operatorname{Re} \gamma \delta = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{|\varepsilon''|} \cdot \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\omega}} = 1,$$

δ-толщина скин-слоя, σ- проводимость пластины.

Результаты эксперимента приведены на рис.1. Металлическая пластина (пленка) устанавливалась перпендикулярно оси прямоугольного волновода и перекрывала сечение полностью.

В качестве основы для металического покрытия использовался майлар (0,1мм). По обе стороны от исследуемой пленки были включены волноводные ферритовые вентили с развязкой ~35 дБ. Это позволило ис-



Рис.1. Зависимость затухания волны, прошедшей через Alпленку в волноводе, от частоты и толщины металла: 1 – 66, 2 -77, 3 –112, 4 – 127, 5 – 140, 6 – 186Å.

ключить ошибки, связанные с болышими коэффициентами отражений и резонансными явлениями в тракте измерений. Следует отметить хорошее совпадение расчетного и измеренного затухания. Для толщины 66 Å расчет дает 48,5 дБ, а измерение – 43,5 дБ. Это расхождение можно объяснить ошибками в измерении толщины металлического покрытия, его неравномерностью и технологией изготовления пленки [3]. Значительное затухание, которое вносит одиночная пленка, несмотря на условие $\Delta/\delta <<1$ (для Al-пленки на частоте ~ 3 Ггц δ ~ 15000 Å) говорит о том, что имеет место существенное отражение даже от очень тонкого слоя проводника (рис.2).



Рис.2. Зависимость потерь в волноводе от толщины Al-пленки на частоте 2800 МГц.

Увеличить прозрачность пленки можно, если значительно уменьшить ее толщину (рис.1,2). Однако существует некоторая минимальная толщина, которая определяется требованием надежности работы устройств в аппаратуре ускорителей заряженных частиц. В связи с этим нами была рассмотрена также возможность увеличения прозрачности пленки при ее наклонном расположении относительно оси волновода (рис.3). Уменьшение потерь при углах пленки 15° и 30° на частоте ~ 3400 МГц можно объясныть близостью угла падения плоских волн к углу наибольшей поляризации [2,4].



Рис.3. Потери на Al-пленке толщиной 66 Å в диапазоне частот при различных углах пленки относительно оси волновода (срез по узкой стенке): 1 – 15°, 2 – 30°, 3 – 45°, 4 – 60°, 5 – 75°.

Моделирование излучения датчика пучка (рис.4) осуществлялось с помощью зонда, установленного по траектории движения частицы, пронизывающей резонатор между двумя импедансными стенками.

Рис.4. Схема датчика (преобразователя): 1 – волновод, 2 – Аl-пленки, 3 – предельные волноводы для пролета заряженной частицы; q, v – заряд и скорость частицы, пересекающей волновод перпендикулярно его оси.



Излучение зонда и его зеркального изображения на противоположной стенке волновода моделирует генерацию переходного излучения пролетающей релятивистской частицы. Нами показано, что энергия переходного излучения определяется выражением

$$W = \int \frac{f(\omega)}{|M_{mn}|^2} d\omega, \qquad (2)$$

которое при $|M_{mn}| = 1$ совпадает с выражением энергии переходного излучения частицы, пересекающей бесконечный регулярный волновод перпендикулярно его оси [5]. Для толщины пленок меньше скин-слоя, как для *E*, так и для *H*-типов волн

$$|M_{mn}|^{2} = 1 + 2\sqrt{2}\alpha \cdot \sqrt{|\varepsilon''|} \cos^{2}\left(\frac{2\pi}{\lambda_{g}}d\right),$$

где λ_g – длина волны в волноводе. Фактор |M_{ил}| обусловлен наличием

281 2012 9050000564 97476545 494476545 двух импедансных стенок, расположенных на растоянин 2*d*, между которыми пролетает заряженная частица (установлен зонд, имитирующий пролет частицы).

Значения измеряемых сигналов в эксперименте будут соответствовать величине

$$\frac{dW}{d\omega}\Delta\omega_{reg} = \frac{f(\omega)}{|M_{reg}|^2}\Delta\omega_{reg},$$
(3)

где $\Delta \omega_{\text{reg}} = \Delta \omega/Q$ – полоса частот регистрации, которая уменьшается обратно пропорционально добротности Q резонатора-датчика. Если нормировать значение (3) на энергию, излучаемую в бесконечном волноводе в полосе $\Delta \omega$, то для нормированных значений потерь L будем иметь выражение

$$L = \frac{1}{|M_{mn}|^2 Q}.$$
 (4)

Измерения (рис.5) хорошо согласуются с расчетными значениями, полученными по формуле (4).



Рис.5. Зависимость потерь (L), резонансной частоты (F) и добротности (Q) резонатора от толщины (Δ) импедансных стенок датчика.

Представляет интерес оценка выхода переходного излучения из резонатора-датчика в зависимости от его формы. С этой целью исследовался резонатор с наклонным расположением импедансных тонких стенок. Зависимости измеренных относительных амплитуд A/A_{max} от частоты приведены на рис.6. Наклонное расположение стенок увеличивает энергетический выход на ~ 5 дБ.

Между тем для параметров линейного ускорителя Ереванского синхротрона в случае прямого расположения импедансных стенок толщиной ~ 200 Å мощность переходного излучения, вышедшего из резонатора, составит ~ (1+2) Вт, что вполне достаточно для регистрации и анализа характеристик пучка. С другой стороны, проводящий слой такой толщины обеспечивает механическую устойчивость и стекание статического заряда.



Рис.6. Характеристики резонаторов-датчиков пучка с импедансными стенками. Толщина Аl-пленки – 66 Å. Пленки расположены под углами: 1 – 15° и 2 – 90°.

В заключение авторы выражают благодарность Э.Д.Газазяну за помощь в работе и ценные замечания. Работа выполнена при поддержке гранта МНТЦ А-087.

ЛИТЕРАТУРА

- В.А.Москалев, Г.И.Сергеев. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М., Энергоатомиздат, 1991.
- 2. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. М., Наука, 1970.
- В.В.Слупкая. Тонкие пленки в технике сверхвысоких частот. М.-Л., Госэнергоиздат, 1962.
- Х.С.Арутюнян, Э.А.Беглоян, Э.М.Лазнев, Г.Г.Оксузян. Условие Брюстера в волноводе. Препринт ЕрФИ-286(11)-78, 1978.
- 5. К.А.Барсуков, Э.Д.Газазян, Э.М.Лазнев. Изв. вузов, Радиофизика, 15, 192 (1972).

ԱՐԻԵՈՉՈՆ ԵՈՆՈՆ ԻՈՆԻՆՈՆՈՈՅԻՆ ԹՈՎՈՐԵՆԲԵՍՎ

Գ. Գ. ՕՔՍՈՒՉՅԱՆ, Է. Ս. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Ա. Դ. ՏԵՐ-ՊՈՂՈՍՅԱՆ

Հետազոտված է ալիքի տարածումը ալիքատարում, որը պարունակում է հաղորդիչ բարակ թաղանթներ։ Դիտարկված է բարակ իմպեդանսային պատեր ունեցող ռեզոնատորը՝ որպես լիցքավորված մասնիկների առաջացված փնջի պարամետրների չափման տվիչ՝ հիմնված փնջի անցումային ճառագայթման օգտագործման վրա։ Կատարված է այդպիսի ռեզոնատոր-տվիչի փորձարարական մոդելավորումը։

WAVEGUIDE WITH THIN IMPEDANCE FILMS

G. G. OKSUZYAN, E. S. POGOSSIAN, A. D. TER-POGOSSIAN

The wave propagation in a waveguide with thin impedance films is investigated. An application of a cavity with thin impedance walls as a bunch parameter pickup based on the transition radiation in the cavity is considered. The cavity-pickup model is investigated experimentally.