

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СТРУКТУРАМИ АНОДНЫЙ ОКСИД АЛЮМИНИЯ – ТОНКАЯ ПЛЕНКА МЕТАЛЛА

АХМЕД АЛИ АБДУЛЛАХ АЛЬ-ДИЛАМИ<sup>1</sup>, И.А. ВРУБЛЕВСКИЙ<sup>1</sup>,  
К.В. ЧЕРНЯКОВА<sup>1</sup>, Г.А. ПУХИР<sup>1</sup>, В.Х. ВИДЕКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
vrublevsky@bsuir.edu.by

<sup>2</sup>Технический университет – София  
бул. К. Охридски, 8, г. София, 1000, Болгария  
videkov@tu-sofia.bg

Одним из эффективных и простых способов уменьшения отражения является использование резонансного отражения электромагнитного излучения. В данной работе изучалось влияние толщины пленки металла в области четвертьволнового резонанса на коэффициент отражения электромагнитного излучения структур диэлектрик – пленка металла. В качестве образцов использовались мембраны анодного оксида алюминия с пленками никрома поверхностным сопротивлением от 140 до 10 Ом/□.

*Ключевые слова:* резонансное отражение, электромагнитное излучение, пленка никрома, анодный оксид алюминия.

Для достижения эффективного поглощения электромагнитного излучения необходимо использовать материалы, имеющие высокие значения мнимой части диэлектрической или магнитной проницаемости. Такому условию полностью отвечают только идеальные проводники – металлы. Однако при использовании металлов возникает проблема согласования бесконечно малого волнового сопротивления металла с конечным волновым сопротивлением свободного пространства. Одним из путей решения такой задачи является использование тонких пленок металла толщиной 10 – 100 нм для поглощения электромагнитного излучения. Существует несколько способов позволяющих значительно снизить отражение электромагнитных волн от проводящей поверхности. Одним из наиболее эффективных и простых способов уменьшения отражения является использование резонансного отражения электромагнитных волн. В этом случае тонкая пленка металла наносится на непоглощающий диэлектрический материал, толщина которого кратна четверти длины волны. Такая слоистая структура имеет узкополосную характеристику отражения и может использоваться в конструкциях фильтров поглощения электромагнитных волн.

Целью данной работы являлось изучить влияние толщины металлического слоя в области четвертьволнового резонанса на коэффициент отражения электромагнитного излучения структур диэлектрик – пленка металла. В работе исследовался спектр отражения электромагнитной волны, формируемый при взаимодействии ее со структурой анодный оксид алюминия – пленка никрома. Мембраны анодного оксида алюминия получали электрохимическим окислением алюминиевой фольги. Процесс проводили в двухэлектродной ячейке в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты при постоянном напряжении анодирования 60 В. В качестве катода использовалась сетка из платиновой проволоки. Остаточный слой алюминия удаляли с помощью селективного травителя на основе  $\text{CuCl}_2$  и  $\text{HCl}$ . Полученные мембраны пористого оксида алюминия имели толщину 140 мкм (значение диэлектрической проницаемости 8). На одну из сторон мембран по-

ристого оксида алюминия методом ионно-лучевого испарения наносились тонкие пленки нихрома различной толщины с поверхностным сопротивлением 140, 70, 30 и 10 Ом/□. Поверхностное сопротивление пленок нихрома измерялось на установке ИУС–2М. Для исследования экранирующих характеристик образцов использовался генератор качающей частоты и индикатор коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления Я2Р-67. Измерения проводились в частотном диапазоне от 8 до 12 ГГц. Излучателем и приемником сигнала служили концы прямоугольных волноводов.

На рис. 1, а приведены экспериментальные зависимости коэффициентов отражения для структур анодный оксид алюминия – нихром с различной толщиной пленки нихрома. Как видно из рис. 1, а, в исследуемых структурах при отражении электромагнитного излучения имел место четвертьволновой резонанс. Наиболее сильно резонансное отражение проявлялось в структуре с пленкой нихрома поверхностным сопротивлением 70 Ом/□. Резонансный минимум коэффициента отражения на частоте 9,5 ГГц достигал –3,6 дБ. В случае образцов с более тонкой пленкой нихрома (140 Ом /□) или с более толстой пленкой (30 Ом/□) наблюдалось уменьшение коэффициента резонансного отражения. Для образцов с пленкой нихрома поверхностным сопротивлением 10 Ом/□ коэффициент отражения приближался к насыщению и был равен –2,5 дБ.

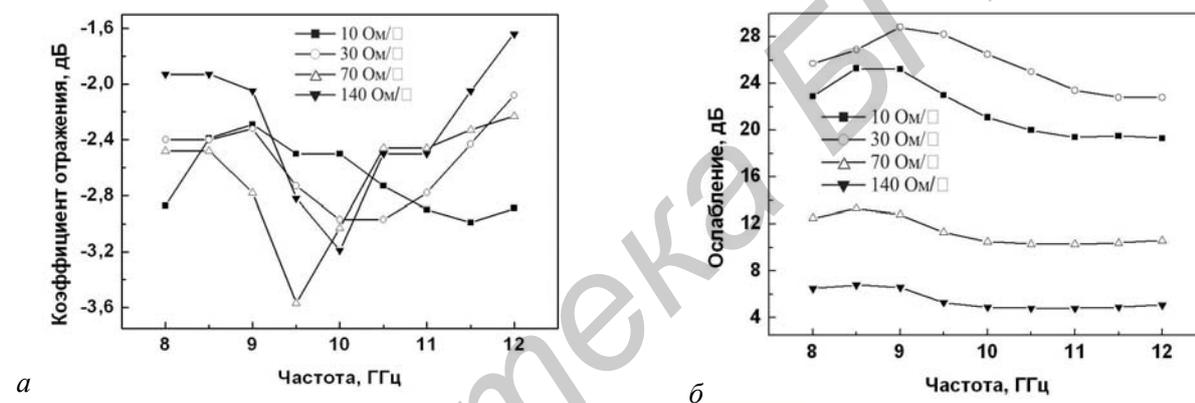


Рис.1 Спектры отражения (а) и ослабления (б) слоистых структур анодный оксид алюминия – нихром с поверхностным сопротивлением пленок нихрома

На рис. 1, б показано влияние толщины пленки нихрома на ослабление электромагнитного излучения слоистой структурой. Как видно из рис. 1, б, максимальное ослабление имели структуры с пленкой нихрома поверхностным сопротивлением 10 Ом/□ и 30 Ом/□, коэффициент ослабления для которых достигал значений 24 и 28 дБ соответственно. Ослабление на уровне 7 дБ показала структура с пленкой нихрома поверхностным сопротивлением 140 Ом/□. Образец с более толстой пленкой нихрома поверхностным сопротивлением 70 Ом/□ имел ослабление на уровне 13 дБ.

По результатам исследований можно сделать вывод, что наиболее сильно эффект резонансного отражения электромагнитного излучения проявлялся в структуре анодный оксид алюминия – нихром с пленкой нихрома поверхностным сопротивлением 70 Ом /□.

#### Список литературы

1. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Абрамов А.В., Боголюбов А.С. Резонансное отражение электромагнитного излучения от структур с нанометровыми металлическими слоями // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006, № 3, с. 59–63.