

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО ФИЛЬТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS HFSS

Ю.И. Бохан, С.М. Станкевич
Витебск, УО «ВГУ им. П. М. Машерова»

Основу решения трехмерных и двумерных задач электродинамики в пакете приложений ANSYS HFSS составляет метод конечных элементов (МКЭ) (*Finite Element Method*) [1]. ANSYS – универсальный программный комплекс конечно-элементного анализа, существующий и развивающийся на протяжении последних тридцати лет, является популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга и используется на многих ведущих предприятиях мировой промышленности. В данной работе была поставлена цель провести моделирование микрополоскового фильтра с различным числом слоев. Работа проводилась в рамках ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы».

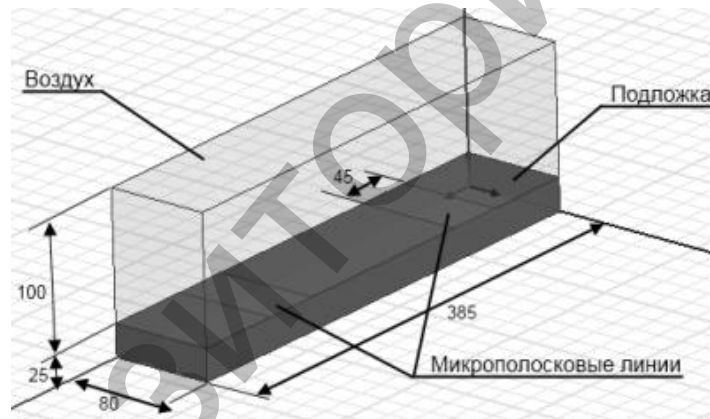


Рисунок 1 — Геометрия модели

Материал и методы. Объектом исследования являлась математическая модель микрополоскового фильтра [1]. В отличие от [1], в работе использовалась модель фильтра размером $385 \times 80 \times 100$ mils (1 mil=0,0254 mm). Верхний бокс над микрополосковым фильтром заполнен воздухом, подложка имеет электрическую проницаемость 9,6 и тангенс диэлектрических потерь 0,0003 (рис. 1).

Внешняя поверхность модели определяется как идеальный проводник (заземленный корпус). Сечениями портов служат вертикальные плоскости, включая часть в подложке под микрополосковой линией, и вся плоскость корпуса над микрополосковой линией. Такое описание порта позволяет связать поля в сечении слоев с разными диэлектрическими проницаемостями.

В модели были определены следующие граничные условия: в плоскости симметрии – Symmetric H-Boundary, на микрополосковых линиях – Perfect_E, расчет производился для диапазона частот 0–3 ГГц, толщина фильтра изменялась за счет изменения с количества слоев от 1 до 4.

Для апробации построенного метода расчета было проведено сравнение рас-

считанной данным методом и измеренной АЧХ фильтра на ПАВ на основе многослойной керамической структуры, изготовленной ОАО «ВЗРД МОНОЛИТ».

Результаты и их обсуждение. Результаты моделирования образцов с одним и двумя слоями приведены на рис. 2–3. Из графиков АЧХ видно возникновение резонанса вблизи частот 14 и 27 ГГц.

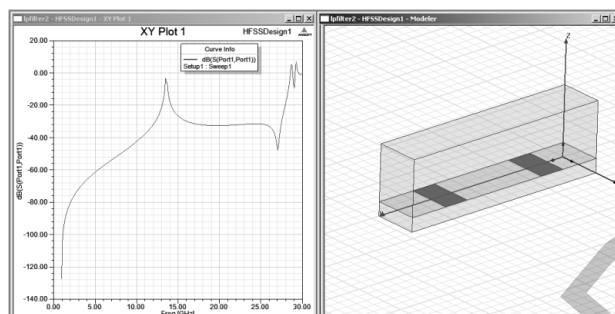


Рисунок 2 — Геометрия и АЧХ модели с одним слоем

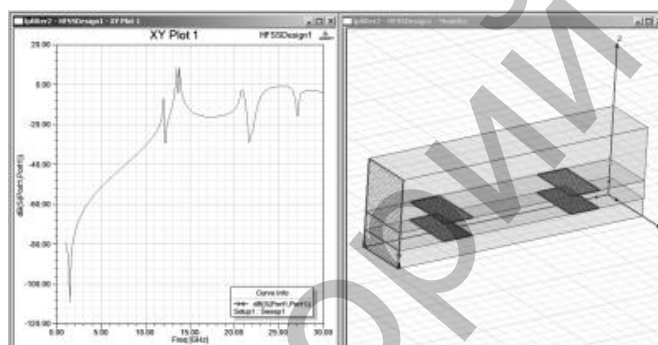


Рисунок 3 — Геометрия и АЧХ модели с двумя слоями

На рис. 4 представлены результаты измерения АЧХ фильтра на ПАВ на основе многослойной керамической структуры.

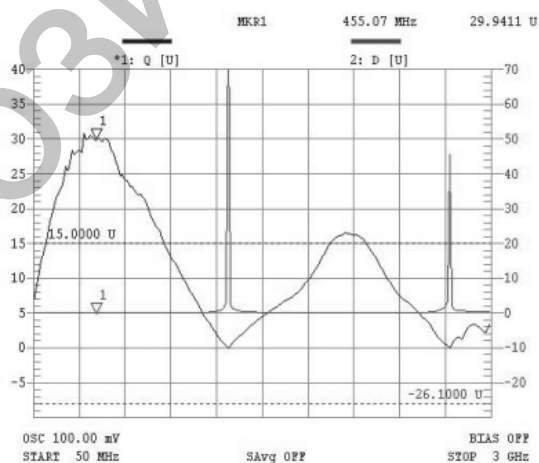


Рисунок 4 – АЧХ фильтра на ПАВ на основе многослойной керамической структуры

Сравнение модельных и экспериментальных результатов показывает, что учет слоистой структуры приводит к, качественно, хорошему согласию. При этом наблюдается хорошее совпадение теоретической и экспериментальной АЧХ в полосе про-

пускания, а вне ее небольшие отличия (не более 10 дБ) связаны с прямым прохождением сигнала в экспериментальном фильтре.

Заключение. Таким образом, практическое значение проведенного исследования состоит в том, что при проектировании устройств на ПАВ на частотах свыше 1 ГГц нужно учитывать двухслойную структуру электродов. Важным обнаруженным свойством двухслойных электродов является возможность значительного снижения вносимых потерь выбором толщины и материала адгезионного подслоя.

Список литературы

1. Банков, С.Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – Москва: ЗАО «НПП РОДНИК», 2009. – 256 с.

СПИН-КРОССОВЕРНЫЕ СИСТЕМЫ В ПОЛЕ СИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ

*Н.С. Буйнов, Н.А. Клиндухов
Витебск, УО «ВГУ им. П.М. Машерова»*

В случае релаксации из высокоспинового состояния 2 в низкоспиновое 1, если мы положим, что спин-активная подсистема состоит из одинаковых молекул, можно записать выражение для среднего значения всевдо-спина $\langle s \rangle$ в приближении молекулярного поля [1]:

$$\frac{d\langle s \rangle}{dt} = \frac{1}{\tau_0} e^{-\frac{E_a}{kT}} \left(\cosh \frac{\frac{kT}{2} \ln g - \Delta + qJ\langle s \rangle}{kT} - \langle s \rangle \sinh \frac{\frac{kT}{2} \ln g - \Delta + qJ\langle s \rangle}{kT} \right). \quad (1)$$

Здесь E_a представляет собой энергию внутримолекулярного барьера, Δ – энергию поля лигандов, g – отношение эффективного вырождения низкоспинового и высокоспинового состояний, J – константу взаимодействия между ближайшими спин-активными центрами, число которых есть q .

С другой стороны среднее значение $\langle s \rangle$ можно представить как разность диагональных элементов матрицы плотности двухуровневой системы: $\langle s \rangle = \rho_{22} - \rho_{11}$. Тогда с учетом условия $\rho_{22} + \rho_{11} = 1$ получим следующие дифференциальные уравнения для диагональных элементов матрицы плотности:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \rho_{11} &= \rho_{22} \Gamma_{21}(\rho_{22}) - \rho_{11} \Gamma_{12}(\rho_{22}) \\ \frac{d}{dt} \rho_{22} &= \rho_{11} \Gamma_{12}(\rho_{22}) - \rho_{22} \Gamma_{21}(\rho_{22}) \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \Gamma_{12}(\rho_{22}) &= \frac{2}{\tau_0} e^{-\frac{\Delta E_{LH}}{kT}} \exp\left(\frac{2qJ\rho_{22}}{kT}\right), \Gamma_{21}(\rho_{22}) = \frac{2}{\tau_0} e^{-\frac{\Delta E_{HL}}{kT}} \exp\left(\frac{2qJ\rho_{22}}{kT}\right) \\ \Delta E_{LH} &= E_a + \Delta + qJ - \frac{kT}{2} \ln g, \Delta E_{HL} = E_a - \Delta - qJ + \frac{kT}{2} \ln g \end{aligned} \quad (3)$$

В случае взаимодействия с внешним переменным электромагнитным полем происходит переход спин-активных молекул из состояния 1 в некоторое новое короткоживущее состояние 3, из которого идет быстрая релаксация в долгоживу-