

05.2; 09

© 1992

РЕЗОНАНСНОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ МОД В СИСТЕМЕ  $NiOFe_2O_3 - Cu - Al_2O_3$ 

В.В. Гуш и н

Стимулом для проведения исследований многослойных анизотропных структур является потребность срочной разработки на их основе невзаимных электронных схем в интегральном исполнении [1, 2]. В диапазоне крайне высоких частот (КВЧ – миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны) наиболее низкими потерями обладают волноводы в виде слоя из  $Al_2O_3$  (99.5%,  $tg\delta = 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $\epsilon_r^d = 10$ ). В настоящей работе исследуются особенности распространения миллиметровых волн ( $\lambda_0 = 8.33$  мм) в системе  $NiOFe_2O_3 - Cu - Al_2O_3$  при малых ( $H_1 < 0.1$  Нрез) полях подмагничивания анизотропного слоя. В тонких слоях коэффициент замедления  $K_{зам} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{зам}}$  является функцией толщины, поэтому электромагнитные параметры слоев феррита  $\epsilon_r^d, \mu_1' = \frac{\mu^2 - \mu_a^2}{\mu}$  и диэлектрика  $\epsilon_r^d$  входят в соотношения, как эффективные. Известно [3], что выбором толщины слоев можно добиться распространения только внешних мод в каждом слое: в диэлектрике  $Al_2O_3$  –  $TM_0$  мода, в феррите  $NiOFe_2O_3$  при поперечном намагничивании – гибридная  $TM_0 + TE_{11}$  мода. Установлено [4], что в проводнике  $Cu$  при толщине слоя  $\tau_c \leq K \frac{2\lambda_0}{\sigma_c \mu_c}$ , где  $\sigma_c$  и  $\mu_c$  – проводимость и магнитная проницаемость  $Cu$  соответственно,  $K = 1$  коэффициент, согласующий размерность, распространяется слабо затухающая несимметричная  $HE_{11}$  мода, не имеющая отсечки. Такой слой  $Cu$  является не направляющей плоскостью, а волноводом гибридной моды с распределением компоненты  $E_z^c$  по закону гиперболического синуса, равной нулю в центре сечения. На рис. 1 представлена зависимость коэффициента замедления  $K_{зам} = \lambda_0 / \lambda_{зам}$  моды  $TM_0 + TE_{11}$  в слое феррита  $NiOFe_2O_3$  ( $\epsilon_r^d = 10.4$ ,  $tg\delta = 1.1 \cdot 10^{-2}$ ) от высоты подъема  $h$  феррита над проводящим слоем  $Cu$  ( $\sigma_c = 5.8 \cdot 10^7 \frac{сшм}{м}$ ,  $d = 0.066 \cdot f^{-1/2}$ ). В противоположность классическим данным  $K_{зам}$  уменьшается с увеличением зазора. Это вызвано наличием замедления гибридной моды в слое  $Cu$ , которое ранее не учитывалось. На этом же рисунке приведена зависимость компоненты ближнего поля  $|E_z^p|$  поверхностной моды  $TM_0 + TE_{11}$  ферритового слоя в функции того же аргумента  $h/\lambda_0 \cdot 10^{-2}$ .

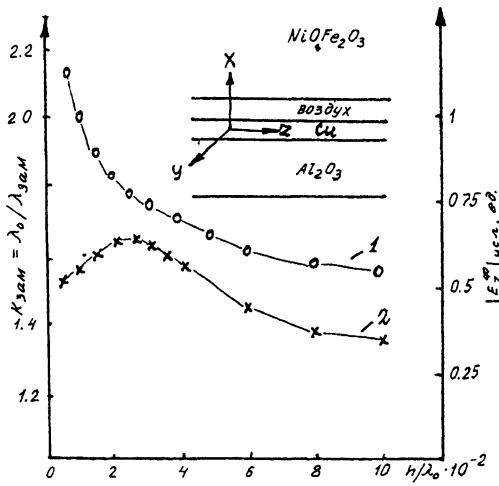


Рис. 1. Зависимость коэффициента замедления  $K_{\text{зам}} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{зам}}}$  (1) и компоненты поля  $|E_z^p(2)|$  моды  $TM_0 + TE_1$  от высоты подъема  $h$  феррита над проводящим слоем  $Cu$ .

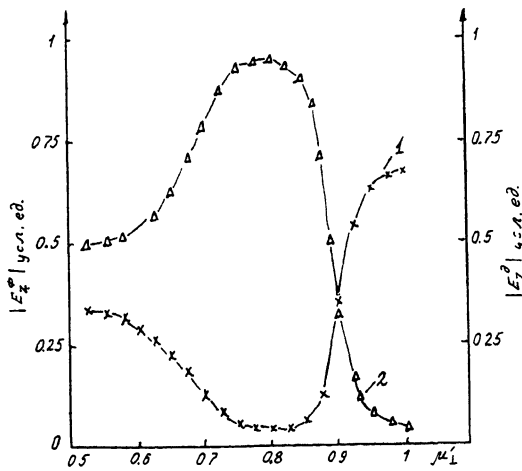


Рис. 2. Зависимость компоненты поля  $|E_z^p(1)|$  моды  $TM_0 + TE_1$  и компоненты поля  $|E_z^p(2)|$  моды  $TM_0$  от  $\mu_1 = \frac{\mu^2 - \mu_a^2}{\mu}$ .

Зависимость показывает, что существует расстояние, на котором компонента  $|E_z^p|$  максимальна для данного анизотропного слоя. Это является следствием того, что эффективная диэлектрическая проницаемость имеет оптимальное значение. На рис. 2 приведена зависимость компоненты  $|E_z^p|$  ближнего поля поверхностной моды  $TM_0 + TE_{11}$  и компоненты ближнего поля  $|E_z^p|$  поверхностной моды  $TM_0$  от эффективной магнитной проницаемости  $\mu_1' = \frac{\mu_1^2 - \mu_2^2}{\mu}$

при поперечном (вдоль оси  $y$ ) намагничивании. Здесь явно выражено скачкообразное перераспределение поля в слоях системы при изменении  $\mu_1'$ . Это обусловлено равенством разности фазовых скоростей  $TM_0 + TE_{11}$  моды в анизотропном слое и  $TM_0$  моды в слое  $Al_2O_3$  и разности фазовых скоростей гибридной моды в слое  $Cu$  и в воздухе. То есть существует определенное соотношение фазовых скоростей в слоях системы  $NiOFe_2O_3 - Cu - Al_2O_3$ , которая однозначно определяет перераспределение энергии полей мод в слоях и является необходимым и достаточным условием проявления наблюдаемого явления. Таким образом, в работе описано явление перераспределения энергии полей мод в трехслойной системе при совпадении (резонансе) разностей фазовых скоростей мод в проводнике  $Cu$  и прилегающих к нему слоях  $NiOFe_2O_3$  и  $Al_2O_3$ . Учет резонанса является необходимым при разработке невзаимных интегральных схем, так как представляется возможным проводить итерацию в диапазон КВЧ при малых полях подмагничивания.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гу щ и н В.В., З ы н ь В.И. Тез. докладов 8-й Всесоюзной научно-технической конференции по СВЧ ферритовой технике. Л., 1974. Т. 2. С. 19-21.
- [2] Гу щ и н В.В. // Тез. докладов 12-й Всесоюзной научно-технической конференции по СВЧ ферритовой технике. Л., 1982. Т. 3. С. 36-38.
- [3] У о л т е р К. Антенны бегущей волны. М.: Энергия, 1970. 448 с.
- [4] Гу щ и н В.В. // Тез. докладов 16-го Всесоюзного семинара „Гироманнитная электроника и электродинамика“. Куйбышев, 1990. 123 с.

Поступило в Редакцию  
13 февраля 1992 г.