

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ МОЩНОСТИ

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПИКОВОЙ СВЧ МОЩНОСТИ

А. А. Бокринская, В. С. Вунтесмери

К и е в

Задача измерения пиковой СВЧ мощности, а также измерения проходящей пиковой СВЧ мощности приводит к поискам новых материалов и эффектов, пригодных для создания измерителей мощности на их основе. Одним из путей решения этой задачи является использование гальваномагнитных явлений — аномального эффекта Холла и явления магнитосопротивления в ферромагнитных пленках (ФМП) в области ферромагнитного резонанса.

Сущность явлений состоит в том, что при наложении внешнего магнитного поля на намагниченную изотропно проводящую магнитную пленку в последней возникает анизотропия сопротивления, элементы тензора удельного сопротивления которой зависят от величины и направления намагниченности пленки — явление магнитосопротивления [1]. При наличии в пленке первичного электрического тока в последней возникает электрическое поле в направлении, перпендикулярном току, и также намагниченности — аномальный эффект Холла [2].

Результат действия этих явлений можно формально описать, используя закон Ома:

$$\vec{E} = \vec{\rho} \vec{j}, \quad (1)$$

где $\vec{\rho}$ — тензор удельного сопротивления ФМП;

\vec{j} — плотность электрического тока.

Расположим систему координат так, чтобы плоскость ФМП совпадала с плоскостью XOY. Тогда, учитывая электрическое

поле только в плоскости пленки, элементы тензора удельного сопротивления запишутся так:

$$\begin{aligned} \rho_{xx} &= \rho_0 + \Delta\rho_{\parallel} \cos^2\alpha + \Delta\rho_{\perp} \sin^2\alpha; \\ \rho_{yy} &= \rho_0 + \Delta\rho_{\parallel} \sin^2\alpha + \Delta\rho_{\perp} \cos^2\alpha; \\ \rho_{xy} &= \frac{1}{2}(\Delta\rho_{\parallel} - \Delta\rho_{\perp}) \sin 2\alpha + R_S M_{zi}; \\ \rho_{yx} &= \frac{1}{2}(\Delta\rho_{\parallel} - \Delta\rho_{\perp}) \sin 2\alpha - R_S M_x, \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ_0 — удельное сопротивление размагниченной пленки; $\Delta\rho_{\parallel}$, $\Delta\rho_{\perp}$ — изменение удельного сопротивления пленки в направлениях, соответственно параллельном и перпендикулярном намагниченности; α — угол между вектором намагниченности и осью OX ; M_z — Z — составляющая намагниченности пленки; R_s — постоянная аномального эффекта Холла.

Если наряду с постоянным полем на пленку воздействовать электромагнитным полем СВЧ, зависимость составляющих которого во времени примем $\exp(i\omega t)$, то в пленке будет возбуждаться СВЧ ток, а вектор намагниченности будет прецессировать вокруг своего положения равновесия, модулируя удельное сопротивление пленки. Величина модуляции зависит от магнитных и электрических свойств пленки, а также от величины постоянного и переменного магнитных полей. Следовательно, в этом случае ФМП представляет собой параметрический детектор, значение переменного параметра которого равно

$$\left. \begin{aligned} \rho_{xx\sim} &= -\rho_{yy\sim} = -\frac{\Delta\rho}{M_0} Q \sin 2\alpha \\ \rho_{xy\sim} &= \frac{\Delta\rho}{M_0} Q \cos 2\alpha - R_S N \\ \rho_{yx\sim} &= \frac{\Delta\rho}{M_0} Q \cos 2\alpha + R_S N \end{aligned} \right\} e^{i\omega t}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} Q &= \chi_{\parallel} (h_y \cos \alpha - h_x \sin \alpha) - ikh_z; \\ N &= ik(h_y \cos \alpha - h_x \sin \alpha) + \chi_{\perp} h_z; \\ \Delta\rho &= \Delta\rho_{\parallel} - \Delta\rho_{\perp}; \end{aligned}$$

h_x , h_y , h_z — комплексные амплитуды составляющих напряженности СВЧ магнитного поля χ_{\parallel} , χ_{\perp} — значение диагональных компонент тензора магнитной восприимчивости ФМП соответственно в плоскости пленки и перпендикулярно к ней; ik — значе-

ние недиагональной компоненты тензора магнитной восприимчивости ФМП.

Среднее значение напряженности электрического поля в плоскости пленки, согласно (1), определится как

$$\vec{E}_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} (\vec{\rho} \sim \vec{J}^*). \quad (4)$$

Экспериментальное исследование параметрического детектора проводилось в прямоугольном резонаторе на частоте

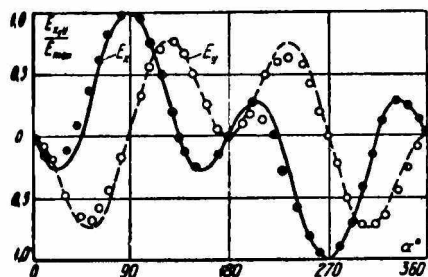


Рис. 1.

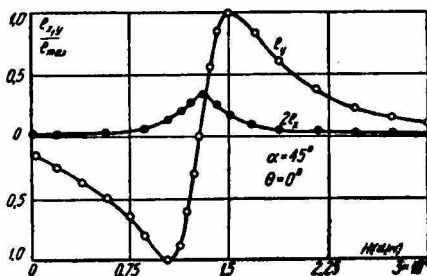


Рис. 2.

3 Гц, причем пленка супермаллоя располагалась на стенке торцовой части резонатора и к ней присоединялись выводы в двух взаимноперпендикулярных направлениях OX и OY . На пленку воздействовала h_x составляющая СВЧ магнитного поля и в ней протекала J_y составляющая электрического тока. Зависимость относительного значения напряженности электрического поля в OX и OY направлениях, в зависимости от направления магнитного поля, представлена на рис. 1. Точками показаны экспериментальные значения. На рис. 2 представлена зависимость относительных значений напряжений l_x и l_y в зависимости от величины внешнего магнитного поля для $\alpha = 45^\circ$. Угол сдвига фаз между током и СВЧ магнитным полем $\theta = 0$.

Быстродействие параметрического детектора на основе ФМП определяется в основном временем спин-решеточной релаксации, которая в ФМП имеет величины порядка 10^{-8} — 10^{-10} сек. Границу быстродействия такого детектора экспериментально оценить не удалось из-за отсутствия необходимой специальной аппаратуры.

При конструировании датчиков измерителей мощности выбирается конфигурация датчика, расположение его в электромагнитном и постоянном магнитном поле и расположение контактов съема ЭДС в зависимости от типа используемой линии

передачи и требований, предъявляемых к измерителю мощности.

Для создания оконечных измерителей малой мощности необходимо связать пленку с электромагнитными полями, чтобы мощность полностью поглощалась в пленке. В случае же измерителей большой мощности пленка в согласованной линии передачи располагается так, чтобы она поглощала небольшую часть мощности.

На основе ФМП были сконструированы два макета коаксиальных головок оконечных измерителей пиковой мощности. В первом макете ФМП располагалась в поперечном сечении линии и служила нагрузкой. Чувствительность головки — $1,2 \text{ мв/вт}$, допустимая средняя мощность — 200 мвт , $\text{КСВ} = 1,4$ в диапазоне $2\text{—}4 \text{ Гц}$.

Во втором макете ФМП помещалась в разрыве центральной жилы согласованной коаксиальной линии. Чувствительность — $0,12 \text{ мв/вт}$, допустимая средняя мощность — 10 вт , неравномерность частотной характеристики в диапазоне $1\text{—}3,5 \text{ Гц} \pm 12\%$, $\text{КСВ} = 1,3$.

При измерении проходящей импульсной мощности, согласно (4), ФМП нужно расположить так, чтобы ЭДС создавалась за счет поперечных составляющих СВЧ поля. При этом ФМП должна слабо взаимодействовать с СВЧ полем, не нарушая структуры поля в волноводе. Конструктивно датчик проходящей мощности представляет собой волновод, в поперечном сечении его параллельно широкой стенке расположена ФМП, в плоскости которой приложено резонансное магнитное поле.

Такой датчик может быть использован для контроля и измерения больших уровней проходящей пиковой СВЧ мощности.

К достоинствам датчиков на основе ФМП по сравнению с полупроводниковыми относится отсутствие выпрямляющих контактов, малое значение термо-э. д. с., некоторая избирательность и технологичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ву Динь Кы. О плоском гальваномагнитном эффекте и тонких ферромагнитных пленках. «Изв. АН СССР, серия физическая», т. XXIX, № 4, 1965.
2. Coren R, Iuretske H. I. Journ. Appl. Phys., 1963, v. 34, № 5.