

Л. В. КИРЕНСКИЙ и Н. С. ЧИСТЯКОВ

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ

Поведение сверхвысокочастотной восприимчивости тонких ферромагнитных пленок в слабых магнитных полях [4] имеет ряд интересных особенностей, которые, по нашему мнению, могли бы найти практическое применение для создания некоторых электрически управляемых устройств сверхчастотного диапазона.

Однако тонкая ферромагнитная пленка как гиротропный элемент оказывает на сверхвысокочастотное магнитное поле слабую реакцию, поскольку объем ферромагнитного вещества в ней очень мал. Увеличение же толщины пленки ограничено глубиной скин-слоя, которая для металлических ферромагнетиков в диапазоне сантиметровых волн ($\lambda = 3,2$ см) составляет $10^{-4} \div 10^{-5}$ см. Поэтому практическое использование, по-видимому, могут найти такие тонкопленочные элементы, объем ферромагнитного вещества в которых достаточно велик, а поверхностный эффект сведен к минимуму.

В связи с этим мы исследовали некоторые многослойные пленочные системы, сверхвысокочастотные свойства которых в значительной степени лишены недостатков, свойственных как однослойным пленкам, так и массивным металлическим ферромагнетикам.

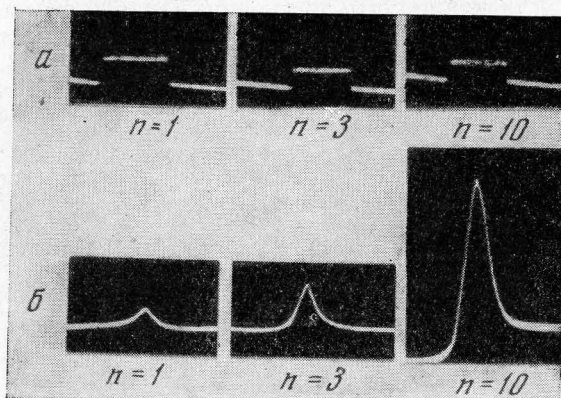
Многослойная пленочная система представляла собою совокупность нескольких слоев ферромагнитного металла (сплав 18Fe—79Ni—3Mo), изолированных один от другого слоями кварца. Ферромагнитные и изолирующие слои наносились на стеклянные нагретые до 200°C подложки (диски диаметром 9 мм и пластины размером 23×10 мм) методом термического распыления в вакууме 10^{-5} мм рт. ст.

Последовательность напыления была следующая: первоначально на подложку наносили слой ферромагнитного металла, затем на образовавшийся слой ферромагнетика из второго тигля напылялся слой SiO_2 , после чего нарушался вакуум и в тигли помещались навески металла и SiO_2 для последующего напыления. Для создания магнитной одноосной анизотропии напыление каждого ферромагнитного слоя производилось во внешнем магнитном поле 100 э. Толщина отдельного слоя ферромагнитного металла в многослойной системе составляла 1000 Å, толщина изолирующего слоя — $1500 \div 2000$ Å.

Представлялось интересным проследить, как влияет количество слоев ферромагнитного металла на прохождение СВЧ-энергии через многослойную пленочную систему. Для этого многослойная пленочная система помещалась в волновод таким образом, что она полностью перекрывала сечение волновода. Непосредственный электрический контакт между ферромагнитными слоями и стенками волновода отсутствовал.

СВЧ-колебания ($\lambda = 3,2$ см), промодулированные прямоугольными импульсами, после прохождения через многослойную пленочную систему могли наблюдаться на экране осциллографа, поэтому по амплитуде прямоугольных импульсов можно было судить о степени затухания сверхвысокочастотного магнитного поля.

На рисунке, *a* приведены осциллограммы этих импульсов, прошедших через многослойную пленочную систему, в зависимости от количества слоев ферромагнитного металла. Из рисунка видно, что амплитуда сверхвысокочастотного магнитного поля после прохождения через многослойную пленочную систему с десятью ферромагнитными слоями практически не отличается от амплитуды поля, прошедшего через однослойную пленку, несмотря на то, что суммарная толщина всех ферромагнитных слоев



Влияние количества слоев ферромагнитного металла в многослойной пленочной системе: *a* — на прохождение СВЧ-энергии и *b* — на изменение параметров резонатора. n — число слоев ферромагнитного металла в многослойной пленочной системе

в многослойной системе значительно больше глубины скин-слоя для данного материала.

На установке, подробно описанной в работе [4], исследовалось влияние перемагничивания многослойной пленочной системы (диск диаметром 9 мм), помещенной в максимум сверхвысокочастотного магнитного поля, на параметры резонатора.

Перемагничивание многослойной пленочной системы слабым синусоидальным полем приводило к появлению сигнала изменения СВЧ-восприимчивости, основные закономерности которого были описаны в работе [1]. Интенсивность этого сигнала в конечном итоге зависит от величины реакции, которую оказывает многослойная пленочная система на сверхвысокочастотное магнитное поле резонатора.

На рисунке приведены осциллограммы таких сигналов соответственно для одно-, трех- и десятислойной пленочных систем, из рисунка видно, что по мере увеличения числа ферромагнитных слоев реакция многослойной пленочной системы на сверхвысокочастотное магнитное поле резонатора значительно возрастает. Такое поведение многослойной пленочной системы на сверхвысоких частотах в области слабых магнитных полей в общих чертах можно объяснить следующим образом.

Основной причиной, препятствующей проникновению сверхвысокочастотного магнитного поля в ферромагнетику с большой электропроводностью, являются вихревые токи, интенсивность которых, как известно, повышается с увеличением частоты. Если ферромагнитные слои изолированы друг от друга непроводящей прослойкой, то условия для возникновения вихревых токов в этой системе значительно ухудшаются, поэтому сверхвысокочастотное магнитное поле свободно проникает в последующие

слои ферромагнитного металла. В результате, во взаимодействии с СВЧ-полем будет участвовать больший объем ферромагнитного материала, и, следовательно, реакция многослойной пленочной системы на сверхвысокочастотное магнитное поле значительно возрастет.

В заключение следует сказать, что сверхвысокочастотные свойства многослойных пленочных систем, рассмотренных в данной работе, обладают некоторыми интересными особенностями по сравнению с тонкими ферромагнитными пленками. Дальнейшее изучение этих особенностей, а также совершенствование технологии напыления многослойных пленочных систем, по-видимому, дадут возможность их практического применения на сверхвысоких частотах.

Институт физики Сибирского
отделения Академии наук СССР

Литература

1. Чистяков Н. С., Игнатченко В. А., Доклад на Всесоюзном симпозиуме по физике тонких ферромагнитных пленок, Иркутск, июль, 1964.