

Л. С. ПАЛАТНИК, Л. З. ЛУБЯНЫЙ, И. Х. ТАРТАКОВСКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛОСКИХ КОЛЬЦЕВЫХ ПЛЕНОК С КРУГОВОЙ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Плоские пленочные элементы с замкнутыми магнитопроводами могут быть использованы для создания пленочных катушек индуктивности, пленочных трансформаторов, необходимых для схем, аналогичных феррит-диодным и феррит-транзисторным, и в других случаях. В работах [1—3] рассмотрены способы получения и магнитные свойства однослойных пленочных кольцевых магнитопроводов с круговой магнитной анизотропией. Есть основания предполагать, что использование многослойных пленочных композиций, состоящих из чередующихся ферромагнитных и диэлектрических слоев толщиной 200—400 Å, позволит повысить качество пленочных магнитопроводов благодаря ряду

особых свойств таких многослойных пленок по сравнению с однослойными: повышенной скорости перемагничивания, ослаблению эффектов сползания доменных границ и уменьшению потерь на гистерезис [4—7].

В настоящей работе проведено сравнительное изучение магнитных свойств пленочных плоских многослойных (м) и однослойных (о) кольцевых магнитопроводов с круговой магнитной анизотропией (а) и без нее при перемагничивании в аксиальном поле проводника с током и в неоднородном поле катушки, охватывающей часть магнитопровода.

Для получения многослойных конденсатов кольцевой формы с круговой магнитной анизотропией было изготовлено устройство [8],

позволяющее проводить вакуумную конденсацию многослойных и однослойных кольцевых пленок в аксиальном поле проводника с током. Многослойные пленки состояли из чередующихся слоев пермаллоя (13% Fe, 87% Ni) и монооксида кремния с толщиной каждого слоя 200—400 Å и числом слоев $n = 10 \pm 20$. Все пленки конденсировались на стеклянные кольцевые подложки при температуре 180—200°С в вакууме $5 \div 7 \cdot 10^{-5}$ тор. Измерения магнитных характеристик при перемагничивании кольцевых пленок в аксиальном поле проводника с током производились при помощи керровской магнитооптической установки. В качестве источника света использовался газовый лазер ЛГ-36. Параллельный пучок монохроматического света диаметром 2÷3 мм при помощи телескопической системы преобразовывался в световой пучок диаметром 0,1÷0,2 мм. Этим размером определялась локальность проведенных измерений. Высокочастотные измерения пленочных магнитопроводов проводились при работе в режиме трансформатора в диапазоне частот 20—200 кГц. Использовался усилитель с коэффициентом усиления $K_y = 125$ и нижней границей пропускания 20 кГц. Перемагничивающая и съемная обмотки, как правило, располагались в диаметрально противоположных направлениях.

Пленки, полученные при конденсации в аксиальном поле проводника с током, имели прямоугольные петли гистерезиса, в отличие от пологой формы петли гистерезиса для пленок, полученных без поля, что свидетельствует о существовании в них наведенной круговой магнитной анизотропии. Многослойные пленки с круговой анизотропией имеют в 5—10 раз более высокую магнитную проницаемость по сравнению с однослойными пленками с тем же объемом магнитного материала. Для этих пленок характерны кривые намагничивания с крутым подъемом магнитной индукции в области малых полей (рис. 1). Наиболее высокие значения максимальной магнитной про-

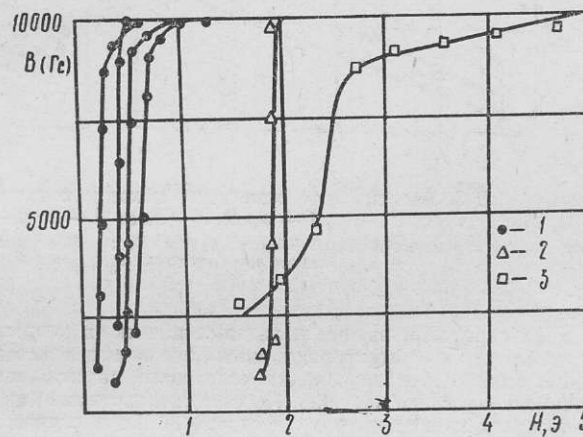


Рис. 1. Кривые намагничивания плоских кольцевых пленок при перемагничивании в аксиальном поле проводника с током ($f = 50$ Гц): 1 — м, а; 2 — о, а; 3 — о

ницаемости $\mu_{\max} = 35-40$ тыс. Гс/Э получены для многослойных кольцевых пленок с круговой магнитной анизотропией. Козрцитивная сила многослойных пленок составляла доли эрстеда ($H_c = 0,3 \div 0,6$ Э), однослойных — $H_c = 1,8 \div 2,5$ Э. Соответственно изменялось соотношение площади петель гистерезиса, что свидетельствует о преимуществах многослойных пленок с точки зрения меньших потерь при перемагничивании.

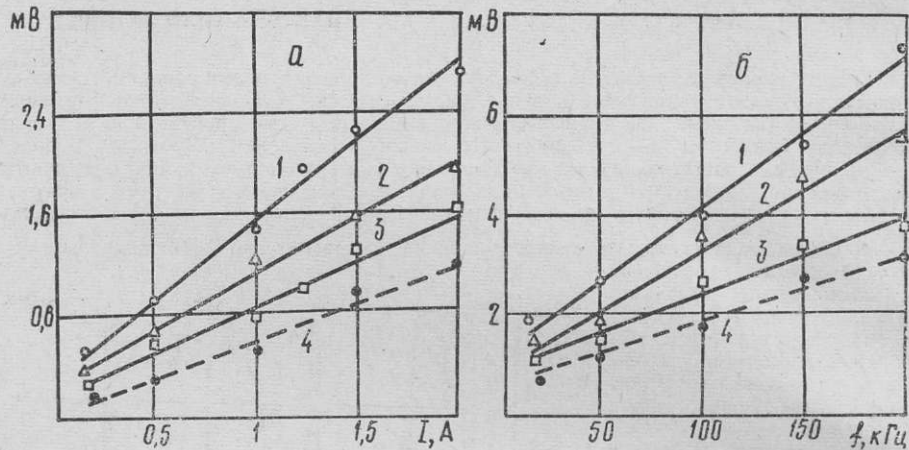


Рис. 2. Зависимость амплитуды выходного сигнала в съёмной обмотке:

1 — м, а; 2 — о, а; 3 — о; 4 — б/м

а) от тока в перемагничивающей обмотке ($f=50$ кГц); б) от частоты синусоидального перемагничивающего поля при токе $I_{\text{ампл}} = 2$ А

При перемагничивании кольцевых пленок в неоднородном поле катушки, охватывающей часть магнитопровода, магнитооптическим методом осуществлялось наблюдение за процессом перемагничивания кольцевого магнитопровода на разных расстояниях от перемагничивающей катушки. По обмотке, состоящей из 10–50 витков медного провода, пропускался переменный ток частотой 50 Гц в случае магнитооптических измерений и 20–200 кГц при высокочастотных измерениях. Перемагничивание наиболее удаленного от перемагничивающей обмотки участка многослойного пленочного магнитопровода (диаметрально противоположного) наблюдалось при увеличении тока в обмотке в 10–15 раз по сравнению с величиной тока, достаточного для перемагничивания магнитопровода вблизи витков. По данным [1] для однослойных пленок с круговой анизотропией отношение напряженности внешнего магнитного поля, при котором происходит перемагничивание наиболее удаленного от витков участка кольца, к коэрцитивной силе H_c ферромагнитной пленки равно 25.

На рис. 2 приведены зависимости амплитуды выходного сигнала в съёмной обмотке от тока и частоты синусоидального перемагничивающего поля, полученные методом высокочастотных измерений многослойных и однослойных пленочных магнитопроводов с круговой анизотропией и без круговой анизотропии. Соответствующие зависимости строились также для случая «без магнитопровода» (б/м).

Как видно из графиков, во всех случаях имела место линейная зависимость выходного сигнала в съёмной обмотке от тока и частоты синусоидального перемагничивающего поля. В случае отсутствия магнитопровода величина съёмного сигнала минимальна. Отмечается тенденция к увеличению съёмных сигналов для пленок с круговой магнитной анизотропией. Наиболее высокие величины съёмных сигналов получены для многослойных пленок с круговой анизотропией. Высокочастотные измерения пленочных магнитопроводов в режиме работы трансформатора подтвердили тот факт, что кольцевые пленки работают как сердечники. Однако для окончательных суждений о величине съёмных сигналов для различных сравниваемых вариантов пленочных магнитопроводов необходимо провести исследования с использованием пленочных проводниковых обмоток, поскольку взаимодействие магнитопровода с обмоткой определяется коэффициентом заполнения, который в случае проволоочной обмотки много меньше единицы.

Полученные нами результаты сравнительного изучения магнитных свойств многослойных и однослойных кольцевых пленок показали, что применение многослойных плоских кольцевых пленок, состоящих из чередующихся ферромагнитных и диэлектрических слоев и обладающих круговой магнитной анизотропией, в качестве сердечников для пленочных катушек индуктивности, пленочных высокочастотных трансформаторов

позволит повысить эффективность этих микроэлементов по сравнению с пленочными микроэлементами с однослойными кольцевыми магнитопроводами.

Авторы выражают благодарность С. И. Паникову за полезное обсуждение экспериментальных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. С. Лискер, Ю. Л. Данилевский. Вычислительные системы, Сб. трудов ин-та математики СО АН СССР, «Наука», Сибирское отделение, вып. 20, с. 31, 1966. [2] И. С. Лискер, Ю. Л. Данилевский. Способ изготовления катушек индуктивности тороидального типа. Авт. свид. СССР № 177472. [3] Ю. Л. Данилевский, А. А. Селезнев. Физика магнитных пленок, Материалы международного симпозиума, Иркутск, 1968. [4] S. Middelhoeck, D. Wild. Nature, 211, № 5054, 1169, 1966. [5] Л. С. Палатник, Ю. В. Золотницкий, А. Г. Равлик. ФТТ, 8, 12, с. 3714, 1966. [6] J. E. Thompson. Brit. Journ. Appl. Phys. Ser., 2, 2, № 7, 933, 1968. [7] Физика тонких пленок, под ред. Франкомба и Р. У. Гофмана, «Мир», М., 1973. [8] И. Х. Тартаковская, А. В. Сумороков, В. Ф. Нусан. Авт. свид. № 436895—Открытия, Изобретения. Промышленные образцы, Товарные знаки, № 27, с. 63, 1974.

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило в редакцию
7 октября 1975 г.