

УДК 539.216.2:538.21

МАГНИТОУПРУГИЙ ЭФФЕКТ В ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ
ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Н.М. Саланский, В.И. Литвинчук

Исследование тонких магнитных пленок в параметрической системе возбуждения позволяет получать информацию как о самой магнитной пленке, структуре и динамике намагниченности в ней, так и о системе, состоящей из пленки и подложки.

Данная работа касается вопроса изучения нелинейных эффектов в тонких магнитных пленках (ТМП) в параметрическом режиме, в частности, магнитострикционного эффекта в системе пленка+подложка.

Впервые магнитострикционный эффект в ТМП, работающей в качестве нелинейного элемента в параметроне, обнаружен в работах [1,2]. Он проявляется в том, что при определенных режимах работы параметрона и ориентации пленки внутри системы возбуждения - съема возникали вначале скачки амплитуды параметрических колебаний, которые при превышении энергетических порогов переходили в глубокую низкочастотную амплитудную модуляцию. Наблюдаемый эффект связывался с магнитоупругим взаимодействием пленки с подложкой. В работе [3] теоретически анализируется взаимодействие магнитной (пленка) и упругой (подложка) систем;

в ней показано, что в том случае, когда состояние магнитной системы резко меняется при деформации и запаздывает относительно нее, возможна магнитоупругая неустойчивость системы. Магнитоупругие силы, ответственные за взаимодействие систем, возникают вдоль поверхности пленки, являются запаздывающими и приводят к изгибным колебаниям подложки, что и вызывает периодическую неустойчивость магнитной системы.

Ниже описаны результаты дальнейших исследований магнитоупругого эффекта с целью изучения возможности его практического применения. Блок-схема установки представлена на рис. 1. Ко-

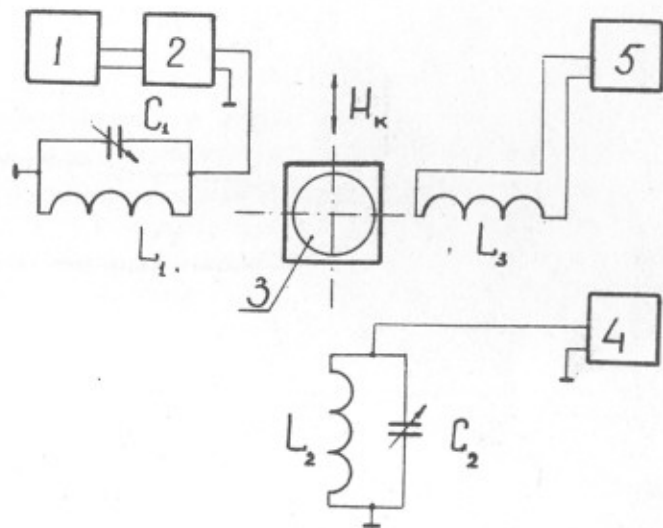


Рис. 1 Блок-схема установки;

1 - генератор высокой частоты; 2 - усилитель мощности; 3 - тонкая магнитная пленка; 4 - осциллограф; 5 - блок подмагничивания; L_1 , C_1 - контур накачки; L_2 , C_2 - параметрический контур.

лебания частоты f через усилитель мощности подавались в резонансную систему возбуждения и создавали в ней высокочастотное поле накачки H_p . Постоянное поле подмагничивания H_0 в системе создавалось кольцами Гельмгольца. Съем производился резонансным контуром, настроенным на частоту $f/2$. Тонкая пленка на немагнитной подложке, помещенная внутри системы возбуждающих и измерительных витков, могла вращаться по отношению к направлению действующих магнитных полей. Величины полей H_p и H_0 соответствовали возникновению в системе пленка + подложка

магнитоупругой неустойчивости, модулирующей амплитуду параметрических колебаний (рис. 2).

Исследовалась зависимость амплитуды параметрических колебаний от поля накачки при фиксированном поле подмагничивания, на рис. 3 приведена типичная кривая. В точке "а" характеристика в системе возникает магнитоупругое взаимодействие, в

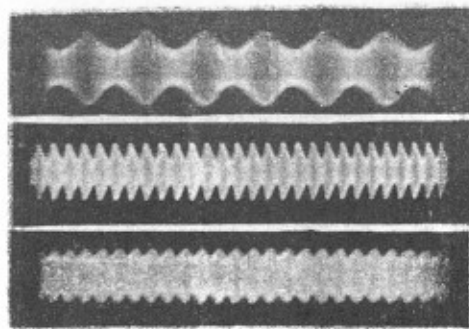


Рис. 2

Осциллограммы параметрических колебаний, модулированные упругими колебаниями подложки.

точке "а" - исчезает. Энергетические пороги магнитоупругого

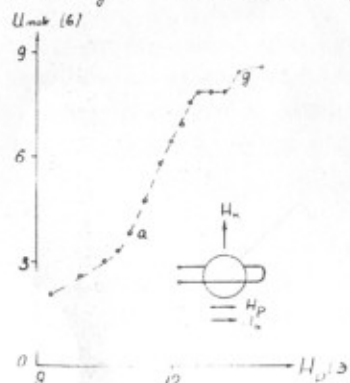


Рис. 3 Пороговая характеристика по переменному полю.

эффекта могут быть значительно снижены при возбуждении упругих мод в системах с более высокой добротностью, например, кварцевых, рутиловых, у которых $Q \geq (10^4 + 10^5)$, в то время как добротность механической системы в эксперименте не превышала 10^2 .

Оценочные пороги возбуждения и частоты модуляции, сделанные в [3], в основном соот-

ветствуют качественно полученным экспериментальным данным, однако расчеты в работе [3] проводились с привлечением модели вращения для ТМП и одномодовой модели для упругой системы. Исходя из этих представлений, частота возбуждаемых упругих мод должна определяться лишь жесткостью и массой системы, т.е.

$$\Omega^2 = \frac{\bar{c}}{\bar{m}},$$

где \bar{c} — обобщенная жесткость, \bar{m} — обобщенная масса.

Упругие моды различных частот возбуждались на одном и том же образце путем изменения энергетических режимов возбуждения. Установление в системе одной устойчивой моды происходило путем переключения колебаний нескольких мод. Устанавливался тот тип колебаний подложки, для которого данное энергетическое состояние системы соответствует устойчивому. Изменение частоты происходило в пределах $10^5 + 10^4$ гц при отношении частот модуляции и несущей

$$\frac{\Omega}{\omega} = (10^{-3} + 10^{-2}).$$

По сравнению с [3] эти результаты дают основание предполагать, что в процессе возбуждения упругих мод существенную роль играет доменная структура пленок, в частности, тонкая структура намагниченности.

Исследование магнитоупругого взаимодействия, очевидно, даст возможность изучать поведение магнитной структуры ТМП при различных режимах, особый интерес с этой точки зрения представляют пороговые характеристики. С другой стороны, открытый эффект может найти применение в технике: на базе магнитоупругой неустойчивости параметрона возможно конструирование магнитоупругих преобразователей для линий задержки, датчиков магнитных полей, пороговых элементов автоматики и многоустойчивых элементов вычислительной техники. Остановимся на работе некоторых из них.

1. Датчик слабых магнитных полей. Тонкая магнитная пленка на немагнитной подложке используется в нем как чувствительный элемент. Известно [4], что

магнитоупругое взаимодействие пленки с подложкой существует в интервале значений магнитных полей, образующих некоторую область в координатах H_p, H_o , расположенную внутри области существования параметрических колебаний.

С другой стороны, экспериментально получено, что для каждой возбужденной упругой моды на кривой зависимости глубины модуляции параметрических колебаний от поля подмагничивания может быть выделен линейный участок.

Если величина поля накачки лежит в пределах области существования в системе магнитоупругого взаимодействия и фиксируется, а значение поля подмагничивания соответствует пороговой величине (при этом значении возникает упругая мода) или любой другой величине, выбираемой на характеристике $M = F(H_o)$ и также фиксируется, то малая компонента внешнего (измеряемого) поля, перпендикулярная ОЛН ТМП и совпадающая (или противоположно направленная) с H_o , вызовет соответствующее изменение глубины модуляции параметрических колебаний. Это изменение будет пропорционально величине измеряемого поля, а его направление определится знаком приращения глубины модуляции. Измеряемое поле может быть постоянным или медленно меняющимся.

Датчик слабых магнитных полей на магнитоупругом эффекте может быть выполнен по блок-схеме, в которую, кроме элементов, представленных на рис. 1, включены система индикации (детектор, микровольтметр) и термостабилизация объема с предварительно остаренным магнитом для обеспечения стабилизации величины поля подмагничивания. При работе детектора в линейном режиме величину измеряемого поля характеризует амплитуда выходного низкочастотного сигнала, частота которого равна частоте модуляции параметрических колебаний. Экспериментальное исследование схемы было проведено с использованием в качестве чувствительного элемента тонкой магнитной пленки, напыленной на стеклянную подложку, значения поля анизотропии и коэрцитивной силы были соответственно равны: 10 э и 0,9 э. При подаче на контур накачки высокочастотного напряжения и соответствующего порогового поля подмагничивания в системе пленка + подложка возбуждалась упругая мода частоты $\Omega = 2 \cdot 10^4$ гц. Специальными ка-

тушками Гельмгольца создавалось малое поле H_x , совпадающее с направлением поля H_0 подложки. Из рис. 4 видно, что глубина модуляции зависит от H_x линейно в большом диапазоне изменения H_x . Здесь же справа по оси ординат даны величины выходного сигнала частоты $2 \cdot 10^4$ гц после детектора. Проведем оценочный расчет чувствительности датчика. Как следует из рис. 4, изменению поля $\Delta H_x = 83 \cdot 10^{-3}$ э соответствует изменение низкочастотного напряжения $\Delta U = 3в$. Учитывая, что зависимость $M = F(H_x)$

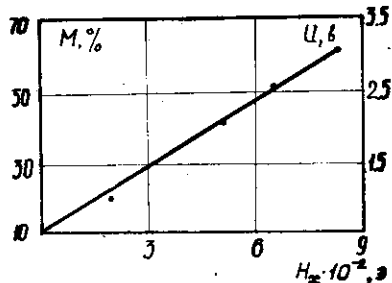


Рис. 4. Зависимость глубины модуляции параметрических колебаний от постоянного поля подмагничивания.

при $H_p = \text{const}$, $H_0 = \text{const}$ можно принять линейной, чувствительность датчика определится как:

$$\epsilon = \frac{\Delta U}{\Delta H_x} \frac{\text{шкв}}{\text{шкэ}} = 36 \frac{\text{шкв}}{\text{шкэ}}$$

2. Высокочастотный двухпороговый преобразователь - ограничитель с индикацией превышения порога. В известных пороговых устройствах на ТМП в качестве пороговой характеристики обычно используют зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля (петля гистерезиса), либо зависимость фазы выходного сигнала от фазы поля накачки (параметрон). При работе параметрона с магнитоупругой неустойчивостью на ТМП в качестве высокочастотного порогового элемента значение ВЧ поля является входной величиной; низкочастотное напряжение, частота которого равна частоте модуляции параметрических колебаний, является выходным сигналом. Рассмотрим принцип действия такого устройства. В исходном состоянии параметрон работает в режиме устойчивых параметрических колебаний, при этом величина поля H_0 соответствует возникновению в системе магнитоупругого взаимодействия.

При действии на элемент высокочастотным полем, амплитуда которого не превышает величины, соответствующей точке "а" (рис. 3) на экспериментальной кривой, на выходе элемента (после детектора) сигнала нет; точка "а" - первый порог. При превышении входным ВЧ полем величины, соответствующей значению первого порога, на выходе появляется сигнал, который после детектирования представляет собой низкочастотный сигнал с амплитудой, пропорциональной величине входного поля. Второй порог - точка "б" (рис. 3) - это порог ограничения, при превышении его на выходе устройства сигнала нет. Область α - β характеристики - область преобразования частоты, в которой на вход детектора в схеме элемента поступают параметрические колебания, промодулированные упругими колебаниями системы.

Следует отметить, что выходной сигнал в результате параметрического эффекта достаточно велик ($\sim 10в$), чтобы вызвать срабатывание отдельных схем или элементов управления без предварительного усиления.

Такое устройство может найти применение в автоматических схемах управления и контроля. Аналогичное устройство может быть построено для индикации и преобразования по постоянному медленно меняющемуся или импульсному полю, при этом величина поля накачки стабилизируется.

Л и т е р а т у р а

1. САЛАНСКИЙ Н.М., ШАНЦЕВ И.П., ШАПИРО В.Е., ХЛЕБОПРОС Р.Г. Изучение свойств ТМП в параметрической системе. - Аппаратура и методы исследования ТМП, Красноярск, 1968, стр. 316-323.
2. КИРЕНСКИЙ Л.В., САЛАНСКИЙ Н.М., ЛИТВИНЧУК В.И. Магнитоупругая неустойчивость параметрона на ТМП. - ДАН СССР (в печати).
3. ШАПИРО В.Е. Пондеромоторные и магнитоупругие эффекты в резонансных электромагнитных системах. Диссертация. Красноярск, 1968.
4. SALANSKY N.M., LITVINCHUK V.I. Magnetoelastic effect in thin magnetic films at parametric excitation. Intergran, 1969.

Поступила в редакцию
10.XI.1968