

0.5;0.8
©1995 г.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ПОДМАГНИЧИВАЮЩЕГО ПОЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ В МАГНИТОСТРИКЦИОННОМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ФЕРРИТЕ

В.А.Ермолов

Московский инженерно-физический институт,
115409, Москва, Россия
(Поступило в Редакцию 12 октября 1994 г.)

Выполнено экспериментальное исследование влияния внешнего подмагничивающего поля на формирование долговременной акустической памяти в никель-кобальтовом магнитоотрицательном поликристаллическом феррите. Исследованы зависимости амплитуды сигнала памяти от фазовых соотношений между записываемым сигналом и подмагничивающим полем, а также от амплитуды и частоты подмагничивающего поля. Предложено качественное объяснение полученных зависимостей.

Введение

Ранее сообщалось о наблюдении явления долговременной акустической памяти в никель-кобальтовом магнитоотрицательном поликристаллическом феррите для объемных, поверхностных и граничных акустических волн [1-3]. Это явление заключается в генерации ферромагнитным образцом когерентного магнитоупругого отклика при воздействии на него последовательностью высокочастотных магнитоупругих импульсов. Наблюдаемая в поликристаллическом феррите акустическая память характеризуется долговременностью, высокой эффективностью, малым временем записи, возможностью стирания небольшим магнитным полем. Все эти свойства делают многообещающим использование долговременной акустической памяти в устройствах хранения и обработки аналоговой информации.

Было обнаружено, что при воздействии на образец на этапе записи сигнала низкочастотного переменного магнитного поля с амплитудой, постепенно убывающей до нуля, амплитуда сигнала памяти существенно возрастает [4]. В силу практической важности этого эффекта целью настоящей работы является его подробное экспериментальное изучение.

Пусть в ферромагнитном образце в направлении вдоль оси X распространяется акустическая волна

$$u_1(x, t) = u_{01} \exp[-j(\omega t - kx)], \quad (1)$$

где u_{01} , ω и k — амплитуда, частота и волновое число акустической волны.

Приложим в момент времени $t = \tau$ к образцу импульс магнитного поля с частотой ω

$$H(t + \tau) = H_0 \exp[j\omega(t + \tau)], \quad (2)$$

где H_0 — амплитуда напряженности магнитного поля.

В результате нелинейного взаимодействия между акустической и электромагнитной волнами в области взаимодействия образуется постоянное во времени (за время взаимодействия) пространственно неоднородное магнитное поле

$$H \sim u_1(x, t)H(t + \tau) \sim u_{01}H_0 \exp[j(kx + \tau)]. \quad (3)$$

Под действием этого магнитного поля в ферромагнитном образце происходит движение доменных границ. После окончания движения доменных границ в образце возникает соответствующая структура пространственно неоднородного распределения намагниченности

$$M(t + \tau) \sim u_{01}H_0 \exp[j(kx + \tau)]. \quad (4)$$

Это распределение намагниченности и “фиксирует” состояние упругой волны в момент записи. Если в момент $t = T$ в области с пространственно неоднородным распределением намагниченности распространяется акустическая волна $u_2(x, T)$ с частотой ω

$$u_2(x, T) = u_{02} \exp[-j(\omega t + kx)], \quad (5)$$

то результатом ее нелинейного взаимодействия со стационарной структурой магнитных неоднородностей будет переменное магнитное поле также с частотой ω

$$H \sim M(t + T)u_2(x, t) \sim u_{01}H_0u_{02} \exp[-j\omega(t + \tau + T)]. \quad (6)$$

Это переменное магнитное поле, являющееся сигналом акустической памяти, может быть зарегистрировано, например, катушкой индуктивности, охватывающей образец.

Из (4) и (6) следует, что величина сигнала акустической памяти существенно зависит от возможности пространственно неоднородного магнитного поля, являющегося результатом нелинейного магнитоакустического взаимодействия, передвинуть доменные границы в образце. Это становится особенно важным, если учесть, что и сами эти магнитные поля весьма незначительны.

Дополнительное переменное поле, воздействующее на образец на этапе записи, приводит к установлению равновесного состояния доменной структуры, стремление к которому создается постоянным полем, неспособным самостоятельно завершить переход к этому равновесному состоянию из-за наличия потенциальных барьеров, обусловленных различном рода дефектами в образце.

Таким образом, в создании намагниченного нового равновесного состояния участвуют и те необратимые изменения намагниченности, которые не могут быть завершены под действием только слабого постоянного поля. В результате описанного механизма "перемагничивание" образца происходит по безгистерезисной или идеальной кривой намагничивания [5]. Для такой кривой характерно то, что намагниченность даже в области сравнительно слабых полей незначительно отличается от намагниченности насыщения. Таким образом, даже сравнительно незначительному магнитному полю (3) удастся существенно перестроить магнитную структуру образца, что в свою очередь приводит к увеличению амплитуды сигнала долговременной акустической памяти.

Методика эксперимента

Схема экспериментальной конфигурации представлена на рис. 1. Образец феррита 1 был изготовлен в форме параллелепипеда с размерами $40 \times 5 \times 5$ мм из горячепрессованного поликристаллического феррита состава $\text{Ni}_{0.98}\text{Co}_{0.02}\text{Fe}_2\text{O}_3$. Пьезопреобразователь сдвиговых волн 2, изготовленный из пьезокерамики, приклеивался к торцу образца и имел центральную частоту 7.8 МГц. Образец был охвачен катушкой медного провода 3, содержащей 3 включенные электрически параллельно секции по 7 витков медного провода в каждой секции.

Акустическая память наблюдалась следующим образом. Радиоимпульс с частотой заполнения 7.8 МГц подавался на акустический преобразователь 2. Через время τ в момент прохождения акустического импульса под катушкой 3 в последнюю подавался короткий записывающий импульс тока с длительностью 50 нс. Запоминание сигнала происходит при совпадении частот акустической волны и прикладываемого электромагнитного импульса. В нашем случае это условие было выполнено, поскольку в силу широкого спектра записываемого импульса он содержал также и спектральные составляющие, соответствующие полосе пропускания записываемого сигнала. С интервалом времени 10 мс к пьезопреобразователю и катушке прикладывались новые пары импульсов. Подавалось от 20 до 500 пар импульсов. Во время процесса записи к образцу прикладывалось низкочастотное поле подмагничивания со спадающей до нуля амплитудой (рис. 2). Поле подмагничивания возбуждалось с помощью дополнительной катушки 4

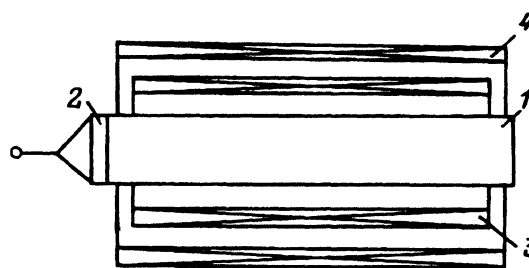


Рис. 1. Экспериментальная конфигурация.

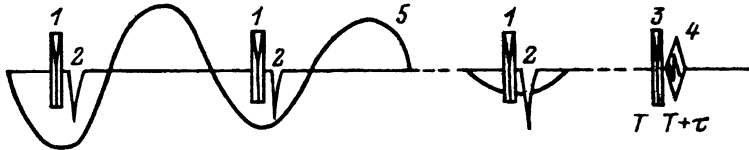


Рис. 2. Распределение сигналов при использовании низкочастотного подмагничивающего поля.

1 — записываемый сигнал, 2 — записывающий импульс, 3 — считывающий сигнал, 4 — сигнал памяти, 5 — низкочастотное поле подмагничивания.

и было направлено вдоль длинной оси образца. В экспериментах положение каждой пары записываемого и записывающего импульсов было синхронизировано с началом соответствующего периода подмагничивающего поля.

Для наблюдения сигнала памяти через произвольный интервал времени T на входной акустический преобразователь 2 подавался радиоимпульс с частотой 7.8 МГц. Через время τ на катушке 3 регистрировался сигнал акустической памяти. Для увеличения эффективности считывания использовалось электрическое согласование катушки 3.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Первоначально в описанной экспериментальной конфигурации наблюдался эффект довременной акустической памяти без использования низкочастотного поля подмагничивания. Величина сигнала памяти для входного радиоимпульса длительностью 5 мкс, амплитудой 10 В и записывающего импульса с амплитудой 60 В составила 20 мВ. Амплитуда сигнала памяти не уменьшалась от времени, а также при многократном воздействии считывающим импульсом. Приложение к образцу статического или переменного магнитных полей 100 Э вызывало полное разрушение записанной информации и позволяло вновь осуществить запоминание акустической волны.

Для исследования влияния внешнего подмагничивающего поля в момент записи акустического сигнала к образцу прикладывалось магнитное поле с частотой 100 Гц и амплитудой, экспоненциально спадающей до нуля (длительность спада 3 с). Параметры входного и записывающего импульсов при этом оставались неизменными.

Была исследована зависимость сигнала памяти от положения записываемого радиоимпульса относительно начала соответствующего периода поля подмагничивания. Для удобства представления результатов период поля подмагничивания принят за 360° , а положение записываемого импульса отсчитывалось от начала соответствующего периода поля подмагничивания в градусах. Полученная экспериментальная зависимость представлена на рис. 3, а. Действительно, для сдвига фазы 45° можно отметить существенное увеличение сигнала памяти, который в описанной экспериментальной конфигурации достигал 100 мВ. Тем не менее в отличие от результатов работы [4] для некоторых диапазонов углов сигнал памяти не только не увеличивается, а даже уменьшается. Однако наблюдаемый эффект хорошо описывается вышеприведенной моделью. В диапазоне углов $0-180^\circ$ при данной геометрии эксперимента записывающее поле и поле подмагничивания имеют одинаковую полярность и соответственно противоположную на участке $180-360^\circ$. Вследствие этого на участке $0-180^\circ$ эти

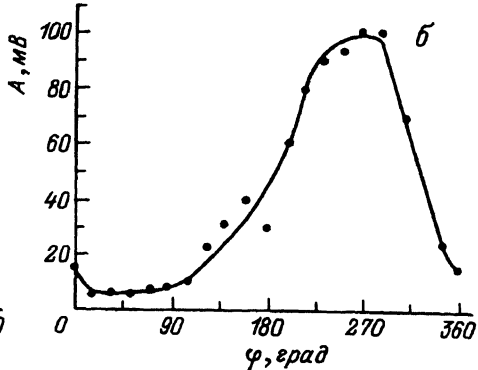
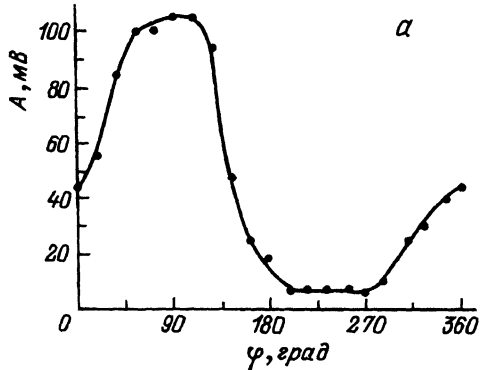


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала памяти от фазы записываемого импульса по отношению к началу соответствующего периода поля подмагничивания.

a — включение катушек записи и подмагничивания согласное, *b* — встречное.

поля суммируются (для сдвига 45° эта сумма оказывается максимальной) и действует вышеописанный механизм преодоления потенциальных барьеров, и, наоборот, для фаз $180-360^\circ$ поля противоположно направлены и затрудняется преодоление потенциальных барьеров, в результате чего сигнал памяти уменьшается. Справедливость описанной модели подтверждается результатами, представленными на рис. 3, б. Эта кривая снята для случая, когда для геометрии вышеописанного эксперимента полярность подмагничивающего поля была изменена на противоположную. В этом случае области с увеличением и уменьшением сигнала памяти также поменялись местами.

Наблюдавшееся в работе [4] увеличение сигнала памяти без синхронизации между подмагничивающим и записывающим полями можно объяснить тем, что в силу случайного распределения записываемых импульсов вдоль периодов подмагничивающего поля для части этих импульсов имеет место совпадение их направлений и подмагничивающего поля, что и приводит к увеличению сигнала памяти.

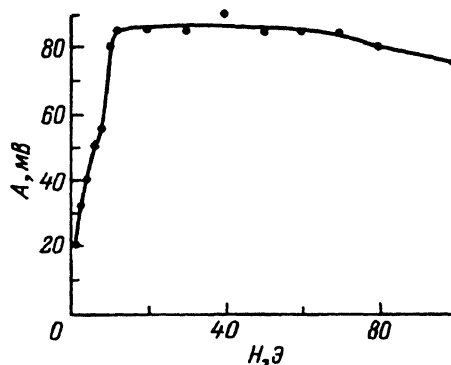


Рис. 4. Зависимость амплитуды сигнала памяти от первоначальной амплитуды спадающего до нуля поля подмагничивания (частота поля подмагничивания 100 Гц).

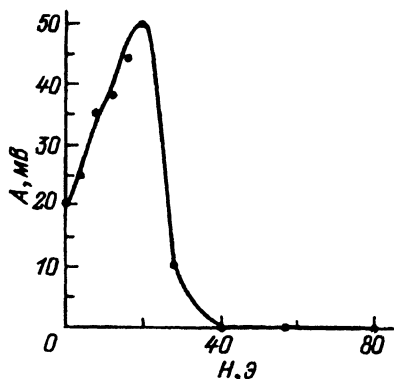


Рис. 5. Зависимость амплитуды сигнала памяти от амплитуды подмагничивающего поля постоянной амплитуды (частота поля подмагничивания 100 Гц).

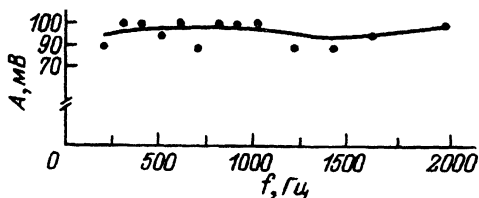


Рис. 6. Зависимость амплитуды сигнала памяти от частоты подмагничивающего поля.

Зависимость величины сигнала памяти от первоначальной амплитуды поля подмагничивания для оптимального положения записываемого импульса представлена на рис. 4. По мере роста начальной амплитуды подмагничивающего поля удается преодолеть все большее число потенциальных барьеров; когда большинство этих барьеров преодолено, наблюдается характерное насыщение.

Нами было обнаружено, что эффект увеличения сигнала памяти наблюдается не только при использовании подмагничивающего поля спадающей амплитуды, но и относительно слабых переменных полей постоянной амплитуды. Экспериментальная зависимость амплитуды сигнала памяти от амплитуды подмагничивающего поля постоянной амплитуды представлена на рис. 5. Измерения проводились для случая, когда записывающая 3 и подмагничивающая 4 катушки включены согласно, а сдвиг фаз между положением записываемого импульса и началом соответствующего периода поля подмагничивания равен 45° . Частота поля подмагничивания при этом была равна 100 Гц.

Представленная кривая в этом случае отражает две противоположные тенденции в действии переменного подмагничивающего поля. В диапазоне малых полей работает вышеописанный механизм, позволяющий преодолеть часть из существующих в образце потенциальных барьеров. По мере увеличения амплитуды поля начинает преобладать "размагничивающее" действие переменного поля, что в конечном итоге приводит к исчезновению сигнала памяти.

На рис. 6 представлена зависимость амплитуды сигнала памяти от частоты подмагничивающего поля. Измерения были сделаны для согласованного включения записывающей и подмагничивающей катушек и фазы 45° . Измерения проводились в диапазоне частот от 100 до 2000 Гц. Указанный диапазон частот поля подмагничивания определялся возможностью низкочастотного генератора, питающего подмагничивающую катушку 4, обеспечивать одинаковую величину переменного тока в ней для всего указанного диапазона частот. Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что для указанного диапазона частот амплитуда сигнала памяти не зависит от частоты.

Заключение

Наблюдаемое существенное увеличение сигнала долговременной акустической памяти при воздействии на образец на этапе записи сигнала низкочастотного переменного магнитного поля с амплитудой, постепенно убывающей до нуля, может быть объяснено перемагничиванием образца по идеальной кривой перемагничивания. Максимальное значение сигнала акустической памяти достигается при согласном включении записывающей и подмагничивающей катушек и сдвиге фазы между записываемым импульсом и началом соответствующего периода подмагничивания, равным 45° . Зависимость сигнала памяти от частоты поля подмагничивания не была обнаружена в диапазоне частот 100–2000 Гц.

Список литературы

- [1] Мануилов М.В., Бондаренко В.С., Криночкин В.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 10. С. 599-603.
 - [2] Бондаренко В.С., Криночкин В.В., Мануилов М.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. Вып. 7. С. 389-393.
 - [3] Ермолов В.А. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. Вып. 2. С. 49-52.
 - [4] Бондаренко В.С., Криночкин В.В., Мануилов М.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. Вып. 10. С. 598-601.
 - [5] Поливанов К.М. Ферромагнетики. Основы теории и технического применения. М.: Госэнергоиздат, 1957. 512 с.
-