

THE
OVERMAGNETIZATION
PROCESSES
AND METHODS
OF INFORMATION
RECORDING
ON MAGNETIC FILMS

V. G. KAZAKOV

The overmagnetization processes in thin ferromagnetic films and magnetic hysteresis phenomenon are considered. The different magnetic media and the principle of magnetic recording and reading of information are described. The physical phenomena underlying thermomagnetic recording are discussed.

Рассмотрены процессы перемагничивания тонких ферромагнитных пленок и явление магнитного гистерезиса. Описаны различные виды магнитных носителей, принцип записи и считывания информации. Раскрыты физические явления, лежащие в основе термомагнитной записи.

**ПРОЦЕССЫ
ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ
И МЕТОДЫ ЗАПИСИ
ИНФОРМАЦИИ НА МАГНИТНЫХ
ПЛЕНКАХ**

В. Г. КАЗАКОВ

Чебоксарский кооперативный институт Московского университета потребительской кооперации, Чебоксары

ВВЕДЕНИЕ

Эта статья является логическим продолжением начатого рассказа о тонкопленочных образцах [1]. На основе приведенных ранее данных о свойствах пленок излагаются основные представления о характере процессов их перемагничивания. Исходя из этих представлений рассматривается одно из важнейших практических применений пленок — их использование в качестве среды для записи и хранения информации в запоминающих устройствах. Подробно описываются механизмы записи и считывания информации на этих образцах.

**ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ТОНКИХ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК**

Под перемагничиванием будем понимать процесс, при котором ферромагнитный образец, намагниченный до насыщения в одном направлении, под воздействием внешнего магнитного поля намагничивается в противоположном направлении. Для получения полной картины явлений, наблюдаемых при перемагничивании ферромагнитной пленки, проанализируем основные этапы этого процесса. Удобно начать знакомство с изменениями, происходящими в пленке под влиянием магнитного поля, если она вначале находится в размагниченном состоянии. В этом случае пленка оказывается разбитой на отдельные области (домены), намагниченные до насыщения. Магнитные моменты доменов распределены так, что результирующий магнитный момент образца равняется нулю. Такому состоянию соответствует минимум суммарной энергии пленки. При воздействии на пленку внешнего магнитного поля происходит перераспределение магнитных моментов доменов, вследствие чего тонкопленочный образец приобретает магнитный момент, величина которого возрастает с увеличением магнитного поля. Происходит намагничивание пленки. Рассмотрим этот процесс подробнее.

Для конкретности допустим, что тонкая магнитная пленка обладает одноосной анизотропией с осью легкого намагничивания (ОЛН), лежащей в ее плоскости. Доменная структура такой пленки в

размагниченном состоянии показана на рис. 1, а. Домены имеют вид широких полос, разделенных междоменными границами. На рис. 1, б, где показана зависимость намагниченности от величины напряженности поля H , этому состоянию пленки соответствует точка 0. Векторы намагниченности M в соседних доменах имеют противоположные направления и ориентированы вдоль ОЛН. Намагниченностью называется магнитный момент единицы объема ферромагнетика. Напомним, что при ориентации векторов намагниченности вдоль ОЛН энергия одноосной анизотропии минимальна. Приложим к пленке вдоль ОЛН плавно возрастающее магнитное поле. В доменах, у которых векторы намагниченности ориентированы противоположно направлению внешнего поля H , плотность энергии окажется больше, чем в доменах с намагниченностью, направленной по полю, на величину $2\mu_0 HM$. Следовательно, эти домены станут энергетически невыгодными. Пленка может перейти в состояние с меньшей энергией, если домены с намагниченностью, направленной по направлению поля, начнут увеличиваться за счет невыгодно ориентированных доменов. Поэтому, когда магнитное поле достигает определенной величины, происходит движение доменных границ (ДГ), которое приводит к сужению “невыгодных” доменов и увеличению объема соседних (рис. 1, б). Пленка в целом оказывается намагниченной. У такого образца результирующая намагниченность совпадает с направлением вектора напряженности магнитного поля и равна разности магнитных моментов антипараллельных доменов, деленной на объем всей пленки.

На первом этапе намагничивания пленки, когда магнитное поле слабое, наблюдаются относительно небольшие смещения отдельных ДГ. В более сильных полях величина их смещения резко возрастает и размеры выгодно ориентированных доменов начинают быстро увеличиваться за счет соседних областей (рис. 1, б). В относительно узком интервале полей происходит значительный рост намагниченности пленки. Наблюдается линейный ход зависимости M от H (рис. 1, в). В магнитном поле еще большей величины оставшиеся невыгодно ориентированные домены продолжают уменьшаться в

размерах и постепенно исчезают. Происходит так называемое техническое насыщение ферромагнетика (рис. 1, в). Завершающая стадия намагничивания пленки дает относительно небольшой прирост M . Наблюдается нелинейный ход зависимости M от H (рис. 1, в). Кривая, характеризующая зависимость намагниченности от величины H , называется начальной кривой намагничивания. Поле, соответствующее техническому насыщению образца, называется полем насыщения H_s , а намагниченность — намагниченностью насыщения M_s (рис. 1, в). Форма кривой намагничивания в большой степени зависит от характера протекания процессов изменения доменной структуры в магнитном поле. В тонких магнитных пленках намагничивание часто происходит в результате нескольких больших скачков доменных границ. В этом случае линейная часть кривой намагничивания имеет небольшой наклон и наблюдается узкий интервал нелинейного хода кривой $M(H)$. В пленках толщиной более 100 нм под действием магнитного поля сначала происходит исчезновение невыгодно ориентированных доменов, расположенных в центральной части образцов. На краях остаются клиновидные домены с намагниченностью, направленной против направления магнитного поля.

Завершающий этап намагничивания происходит в результате медленного “подавления” клиновидных доменов в более сильных полях. Соответственно уменьшается крутизна кривой намагничивания и расширяется интервал нелинейного хода кривой $M(H)$. В полях выше технического насыщения идет последний этап намагничивания, который называется парапроцессом. Возрастание M происходит за счет поворота к направлению поля спиновых магнитных моментов отдельных электронов, находящихся внутри намагниченных до технического насыщения областей [2].

Ознакомившись с особенностями намагничивания пленок, рассмотрим процессы их перемагничивания. Пусть имеется тонкая пленка, намагниченная до насыщения в магнитном поле, направленном вдоль ОЛН (рис. 2, а). Примем это направление магнитного поля за положительное. Будем посте-

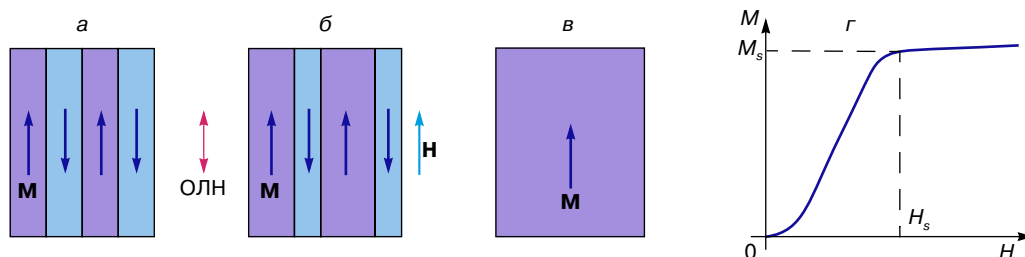


Рис. 1. а – в – схема процесса намагничивания ферромагнитной пленки в магнитном поле, приложенном вдоль оси легкого намагничивания. Стрелками обозначено направление намагниченности в доменах; g – зависимость намагниченности пленки от напряженности поля H

пенно уменьшать поле до нуля. В этот период пленка будет оставаться однодоменной и ее намагниченность заметно не изменится (рис. 2, *е*). Намагниченность пленки при $H = 0$ называется остаточной намагниченностью (M_r). Обозначим точку на рис. 2, *е*, соответствующую данному состоянию пленки, цифрой 1. Чтобы перемагнитить пленку, необходимо приложить к ней внешнее магнитное поле (отрицательное), направленное противоположно полю, в котором намагничивалась пленка. Поскольку в этом состоянии в пленке нет доменных границ, то ее перемагничивание может происходить только за счет процессов вращения векторов намагниченности. Обычно эти процессы начинаются на краю пленки, так как этому способствуют размагничивающие поля, имеющие наибольшее значение вблизи краев тонкопленочного образца.

Образование размагничивающего поля H_p связано с тем, что пленка в намагниченном состоянии представляет собой постоянный магнит, на полюсах которого сосредоточены поверхностные магнитные заряды (рис. 2, *а*). В действительности никаких магнитных зарядов не существует. Однако использование понятия “магнитный заряд” в некоторых случаях бывает удобным для объяснения отдельных свойств ферромагнетиков. Наличие поверхностных магнитных зарядов на границе образца

обуславливает существование собственного магнитостатического поля H_p пленки, направленного противоположно вектору намагниченности (рис. 2, *а*). Если поле H_p достаточно сильное, то под его действием векторы M будут отклоняться от своего первоначального направления, заданного внешним положительным полем H .

Отрицательное поле будет стремиться повернуть векторы намагниченности в сторону своего направления. Однако поворот векторов M будет затруднен, так как он приводит к увеличению энергии анизотропии пленки. Поэтому в первый момент возрастания отрицательного поля, пока оно является слабым, пленка остается однодоменной и ее намагниченность практически не изменяется ($M \approx M_r$). Затем, когда магнитное поле станет достаточно сильным, на краю пленки произойдет поворот векторов намагниченности. В итоге образуются небольшие домены клиновидной формы (зародыши обратной намагниченности). Поле, в котором происходит образование зародышей, называется полем зарождения доменов H_z . Образовавшиеся домены выгодно ориентированы по отношению к направлению отрицательного поля (рис. 2, *б*). С возрастанием магнитного поля они увеличивают свои размеры.

На рис. 3 показан процесс образования и роста зародыша, выявленный порошковым методом в железоникелевой пленке толщиной 60 нм. Пленка предварительно намагничивалась в сильном магнитном поле, направленном вдоль ОЛН пленки. Направление этого поля принято за положительное. После приложения к пленке отрицательного поля происходит разворот векторов намагниченности у края пленки, который выражается в появлении черных линий, направленных под углом к ОЛН пленки. Затем в магнитном поле определенной величины H_z , в тех участках пленки, где разворот наибольший, возникают зародыши обратной намагниченности. На рис. 3, *а* виден зародыш, возникший в отрицательном магнитном поле величиной 430 А/м. С увеличением поля он растет, превращаясь в клинообразный домен (рис. 3, *б*).

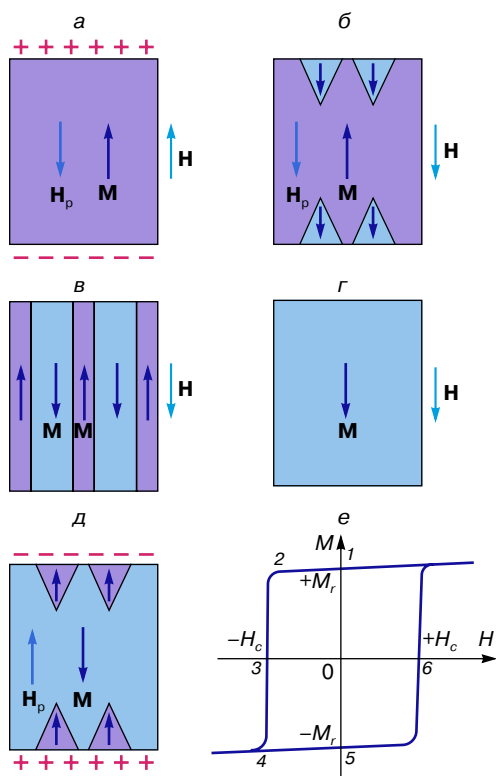


Рис. 2. Изменение доменной структуры и намагниченности в процессе перемагничивания пленки

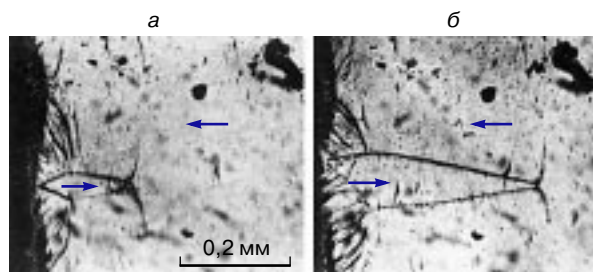


Рис. 3. Образование и рост зародыша в железоникелевой пленке толщиной 60 нм. Внешнее магнитное поле направлено горизонтально. $H = 430$ А/м (*а*), 520 А/м (*б*)

Увеличение размеров домена происходит в основном за счет смещения его границ. Если поле H_z по величине близко к полю, в котором происходит интенсивное движение доменных границ, процесс перемагничивания пленки протекает в виде одного или нескольких скачкообразных смещений доменных границ в узком интервале магнитных полей. Намагниченность пленки резко уменьшается до нуля (рис. 2, е, точка 3). Это происходит в результате быстрого роста зародышей намагниченности, которые сливаются и прорастают в крупные домены. Когда объем доменов с намагниченностью, направленной вдоль отрицательного поля, становится равным объему антипараллельных доменов, магнитный момент пленки уменьшается до нуля (рис. 2, е, точка 3). Физическая величина, равная напряженности отрицательного поля, в котором пленки переходят в размагниченное состояние, называется коэрцитивной силой (H_c). Затем даже при небольшом увеличении отрицательного поля продолжается бурный рост выгодно ориентированных доменов за счет соседних (рис. 2, в, з) и вся пленка намагничивается в отрицательном направлении (рис. 2, е, точка 4). С уменьшением отрицательного поля до нуля (рис. 2, е, точка 5) намагниченность пленки становится равной остаточной намагниченности ($-M_r$), для устранения которой снова необходимо приложить магнитное поле, равное коэрцитивной силе, но только направленное вдоль положительного направления. Рост магнитного поля сначала приводит пленку в размагниченное состояние (рис. 2, е, точка б), а затем намагничивает ее в прежнем положительном направлении. Пленка возвращается в исходное состояние. В итоге получается замкнутая кривая, которая называется петлей гистерезиса. Так как в рассматриваемом случае $M_r \approx M_s$, а процесс интенсивного перемагничивания протекает в узком интервале полей, петля гистерезиса имеет форму, близкую к прямоугольной (рис. 2, е). Из рис. 2, е следует, что намагничивание и размагничивание пленки происходят по разным кривым. Изменение намагниченности отстает от изменения напряженности внешнего магнитного поля. Это явление называется *магнитным гистерезисом*.

Как видно из рис. 2, е, с возрастанием H_c (петля становится шире) должно увеличиваться значение напряженности отрицательного магнитного поля, чтобы перевести образец в размагниченное состояние. То есть образец становится более устойчивым к действию внешних магнитных полей. Это учитывается в технике. Например, при изготовлении постоянных магнитов, применяемых в различных устройствах, используются материалы с большой величиной H_c .

Рассмотренный ход кривой $M(H)$ характерен для пленок толщиной менее 100 нм. В пленке большей толщины за счет достаточно сильных размагничивающих полей, существующих на краях, домены обратной намагниченности возникают еще в

положительном поле в процессе его уменьшения. По мере уменьшения поля домены увеличиваются в размерах и намагниченность пленки заметно уменьшается. При $H = 0$ остаточная намагниченность $M_r < M_s$. При изменении направления поля на отрицательное будут продолжаться рост доменов и плавное уменьшение намагниченности. Таким образом, в отличие от тонких пленок уменьшение намагниченности происходит в относительно широком интервале магнитных полей и за счет плавного смещения доменных границ. В отрицательном поле определенной величины смещение ДГ более интенсивное и пленка переходит в размагниченное состояние. С увеличением поля начинается процесс намагничивания пленки в отрицательном направлении. Как указывалось выше, на завершающей стадии намагничивания на краях пленки остаются невыгодно ориентированные домены клиновидной формы. Намагниченность в этих доменах направлена против результирующего магнитного момента намагниченной части пленки, то есть вдоль размагничивающего поля H_r (рис. 2, д). Поэтому краевые домены оказываются более устойчивыми к действию внешнего поля H .

Переход пленки в насыщенное состояние происходит из-за постепенного исчезновения оставшихся доменов в нарастающем магнитном поле. Изложенные особенности перемагничивания пленок приводят к тому, что возрастает наклон боковых сторон петли гистерезиса и прямоугольность петли уменьшается. Петля гистерезиса приобретает форму, характерную для массивных (объемных) ферромагнетиков. Следует заметить, что перемагничивание пленок не всегда протекает по описанной схеме. Характер протекания процессов перемагничивания в большой степени зависит от свойств магнитного материала, из которого изготовлены тонкопленочные образцы.

Получив представление о процессах перемагничивания тонких пленок, можно перейти к рассмотрению механизмов записи и считывания информации на этих образцах.

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ

Для осуществления записи информации применяются магнитные носители. Магнитный носитель состоит из основы, изготовленной из немагнитного материала, на которую наносится магнитный слой. Этот слой служит для накопления и сохранения информации и называется рабочим слоем. В качестве носителя магнитной записи используют магнитные ленты, жесткие и гибкие магнитные диски. Материал основы магнитных носителей должен обладать вполне определенными физико-механическими свойствами. Так, у магнитной ленты основа должна иметь высокую прочность на растяжение, хорошую износостойкость, гладкую поверхность, равномерную толщину, быть эластичной. Основным

материалом для изготовления основы лент и гибких дисков является полиэтилентерефталат (лавсан) [3]. Материалом основы жестких дисков является алюминиевый сплав. Он должен быть пригоден для полировки, обладать высокой твердостью и износостойкостью, в нем не должны образовываться микротрещины в процессе его обработки [3]. В качестве запоминающей (регистрирующей) среды в магнитных носителях используются ферролаковые рабочие слои. Ферролаковый слой готовят путем введения в состав лака магнитного порошка, который представляет собой систему, состоящую из микрочастиц размером менее микрона. Частицы должны быть максимально однородными. Магнитные поля, в которых перемагничиваются частицы, должны иметь близкие значения. Поверхность частиц должна быть идеально гладкой. Наличие на поверхности частиц различных неровностей, дефектов приводит к снижению их магнитной однородности [4].

В магнитных носителях применяют магнитные порошки с частицами, которые представляют собой в основном однодоменные образования. Коэрцитивная сила порошка должна быть достаточно большой. Кроме того, магнитные порошки должны обладать высокими значениями намагниченности насыщения. Частицы порошка могут иметь разную форму: игольчатую, сферическую и пластинчатую. В настоящее время предпочтение отдают порошкам, имеющим частицы игольчатой формы [4].

В носителях магнитной записи применяют следующие основные разновидности магнитных порошков: порошки гамма-оксида железа $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$; гамма-оксида железа, модифицированного кобальтом, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 + \text{Co}$, диоксида хрома CrO_2 и металлические магнитные порошки железа и его сплавов [4].

При изготовлении магнитной ленты на гибкую движущуюся основу наносится тонкий слой магнитного лака. После сушки широкая основа подвергается резке на ленты стандартной ширины.

Роль магнитной среды для записи информации могут также выполнять сплошные металлические слои — пленки, которые наносятся на немагнитную полимерную основу термическим испарением сплавов металла в вакууме. Порошковые рабочие слои имеют толщину от 1 до 10–20 мкм. Толщина металлических слоев порядка 0,1 мкм [4].

При изготовлении гибких дисков, как и в магнитных лентах, в качестве рабочего слоя используют магнитные порошки, введенные в немагнитное связывающее вещество, а также сплошные металлические слои. В порошковом слое активный материал — порошок занимает 35–40% объема рабочего слоя, остальное приходится на связывающую немагнитную среду. В сплошном металлическом слое эта немагнитная среда отсутствует. Поэтому намагниченность насыщения такого слоя существенно выше, чем у порошкового, и он может быть значительно тоньше, чем у лент с ферролаковым слоем

при одинаковом значении сигнала воспроизведения. В итоге лента с металлическим слоем обладает большей информационной емкостью на единицу объема.

ПРИНЦИП МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Система магнитной записи состоит из носителя записи и взаимодействующих с ним магнитных головок. На рис. 4 показаны носитель и головка записи кольцевого типа. Головка состоит из сердечника с обмоткой. В сердечнике имеется зазор шириной 0,1–10 мкм. При включении в обмотку тока записи (входной сигнал) в области зазора возникает магнитное поле рассеяния (поле записи), которое воздействует на прилегающую к головке область рабочего слоя движущегося магнитного носителя, например магнитной ленты [4].

В цифровой магнитной записи, используемой в компьютерной технике, в магнитную головку поступает ток, при котором поле записи через определенные промежутки времени изменяет свое направление на противоположное. В результате под действием поля рассеяния магнитной головки происходят намагничивание и перемагничивание отдельных участков движущегося магнитного носителя. При периодическом изменении направления поля записи в рабочем слое носителя возникает цепочка чередующихся участков с противоположным направлением намагниченности, которые соприкасаются друг с другом одноименными полюсами (рис. 4). В итоге сигнал, поступающий в головку записи, оставляет на движущемся носителе след, то есть магнитную запись. Рассмотренный вид записи, когда участки рабочего слоя носителя перемагничиваются вдоль его движения, называется *продольной записью*. Носители магнитной записи с продольным намагничиванием — магнитные ленты, жесткие и гибкие магнитные диски — составляют основную массу используемых в мире накопителей информации. Они играют важнейшую роль в современной науке, технике и промышленности, являясь одним из функциональных элементов вычислительной техники [3].

Чередующиеся участки, возникшие в металлизированном рабочем слое (пленке), являются доменами. Чем меньше размер домена, тем выше плотность записи информации. Однако с уменьшением размера доменов возрастает величина их размагничивающих полей, направленных в сторону, противоположную намагниченности в доменах. Эти поля способствуют их перемагничиванию. В результате смещение доменных границ одиночных доменов происходит в полях $H_{\text{см}}$, меньших по величине коэрцитивной силы H_c . С уменьшением длины домена разница между $H_{\text{см}}$ и H_c увеличивается. Понижается устойчивость домена к внешним полям. Из сказанного следует, что домен можно уменьшать до некоторого минимального размера. При меньших

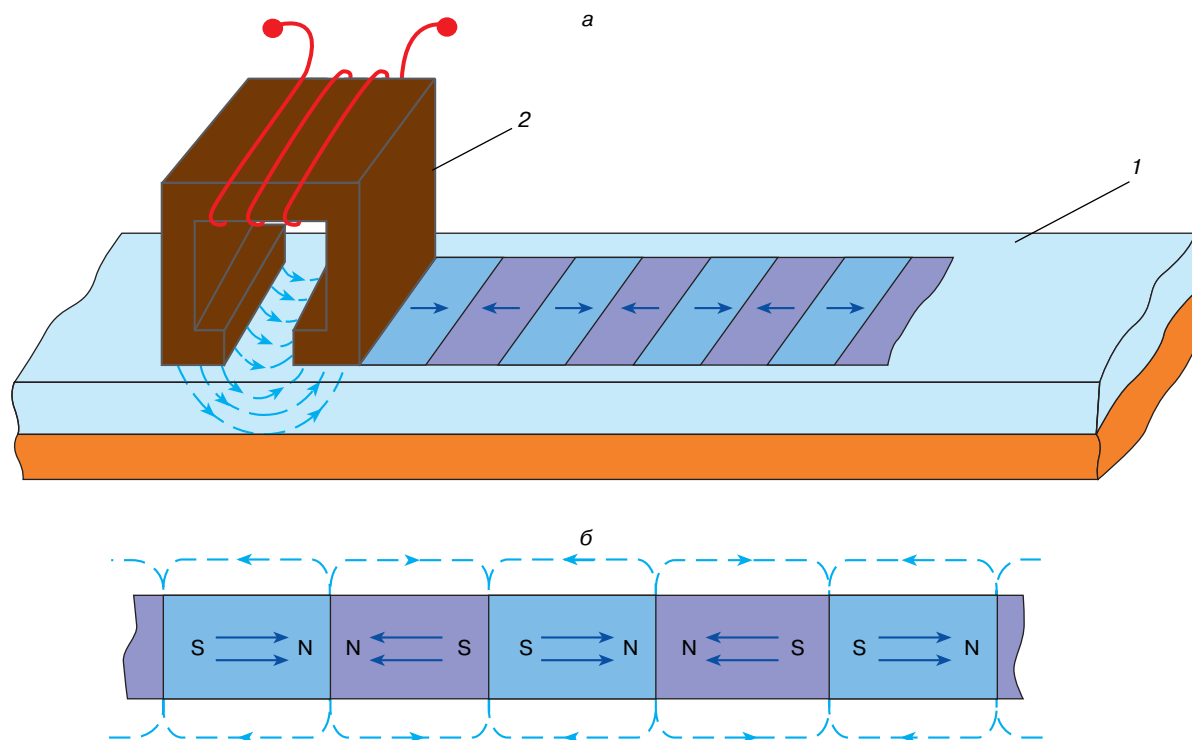


Рис. 4. Процесс магнитной записи: 1 – носитель записи, 2 – головка записи. Внизу показана последовательность участков с противоположным направлением намагниченности

размерах доменов размагничивающие поля становятся настолько значительными, что домен переманивается и исчезает. Происходит стирание информации. Минимальные размеры домена, то есть размеры, при которых он еще устойчив при отсутствии внешнего магнитного поля, зависят от параметров пленки, в частности большую роль играет коэрцитивная сила пленки. Увеличение H_c снижает влияние эффекта саморазмагничивания и повышает устойчивость домена к действию внешних магнитных полей. Поэтому с возрастанием величины H_c минимальные размеры доменов становятся меньше.

Размер стабильного домена также зависит от толщины пленок d . С понижением d ослабевают размагничивающие поля доменов и происходит уменьшение их минимальных размеров при прежних значениях H_c . Поскольку в металлических пленках отсутствует немагнитная связывающая среда, то, как было отмечено выше, металлизированный рабочий слой носителя может иметь меньшую толщину, чем ферролаковый. Поэтому в пленках можно реализовать переманиченные участки меньшего размера, а следовательно, обеспечить большую информационную плотность записи. Из сказанного следует, что магнитные пленки являются перспективным материалом и обладают достоинствами, ценными при их использовании в технике магнитной записи.

Как мы уже отметили, после записи информации на магнитном носителе остаются участки, обладающие разным магнитным состоянием. При двоичном кодировании принято обозначать одно состояние цифрой 0, а другое – цифрой 1. Цифры 0 и 1 и соответствующие им участки носителя называются *битами*. Определенная последовательность из фиксированного количества нулей и единиц соответствует тому или иному символу, например: букве алфавита, цифре, знаку препинания и т.д.

Таким образом, создавая в рабочем слое носителя нужную очередность намагниченных и переманиченных участков, можно осуществить запись информации.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Для воспроизведения записанной информации применяются магнитные головки, которые называются воспроизводящими. Их устройство такое же, как и головок записи. В накопителях на магнитных дисках в основном используются универсальные головки, то есть устройства, с помощью которых осуществляются как запись, так и воспроизведение информации. Считывание информации происходит при движении магнитного носителя относительно головки воспроизведения. В этих условиях часть магнитного потока от участков носителя

замыкается через сердечник магнитной головки. Во время движения носителя перед зазором головки проходят участки с противоположной ориентацией намагниченности. Поэтому магнитный поток в сердечнике периодически изменяется и в обмотке головки наводится ЭДС (выходной сигнал). Таким образом, статическое распределение намагниченности в магнитном слое носителя преобразуется в электрический сигнал.

МАГНИТНЫЕ ДИСКИ

В технике магнитной записи используются два вида магнитных дисков: жесткие и гибкие. Жесткий магнитный диск представляет собой круглую подложку толщиной около 1,5 мм, на обе стороны которой нанесен магнитный рабочий слой. Толщина ферролаковых рабочих слоев 1–3 мкм, сплошных металлических слоев — до 1 мкм. Информация на дисках записывается на дорожках, представляющих замкнутые концентрические окружности.

Накопители на магнитных дисках относятся к запоминающим устройствам с произвольной выборкой информации. Это значит, что для отыскивания и выборки заданной информации не требуется последовательно считывать всю предшествующую информацию, как это надо делать на магнитных лентах [4]. В результате существенно уменьшается время доступа к содержащейся на дисках информации.

Особенно широкое применение в компьютерной технике получили гибкие магнитные диски (ГМД). Они используются для записи программ, обработки результатов, расчетов и различных измерений. Уже первое применение ГМД выявило их достоинства: простоту смены дисков, малые габариты, удобство обращения, хранения и транспортирования. Продольная плотность записи информации на современных гибких дисках с рабочим слоем, содержащим ферропорошок $\text{Co}-\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, около 400 бит/мм. В перспективе плотность записи на ГМД может быть доведена до 2000 бит/мм [3].

Если в 70-е годы в технике магнитной записи монополярное положение занимали носители магнитной записи с ферролаковым рабочим слоем, то сейчас создаются и осваиваются в промышленном производстве также магнитоносители с металлизированным рабочим слоем. Применение металлизированных дисков, работающих в паре с интегральными магнитными головками, позволило получить продольную плотность записи, равную 780 бит/мм. Идеальным материалом рабочего слоя для металлизированного диска представляется сплошная (беспористая) пленка ферромагнитного материала толщиной несколько десятков нанометров [3].

Использование магнитных дисков с металлизированным рабочим слоем в перспективе позволит многократно повысить информационную емкость дисковых магнитоносителей. Особенно повышается роль металлизированных слоев при использова-

нии носителей с перпендикулярной записью информации, позволяющей существенно повысить плотность записи.

ТЕРМОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

Этот метод записи применяется на пленках, обладающих перпендикулярной анизотропией, то есть на образцах, у которых ось легкого намагничивания направлена перпендикулярно их поверхности (рис. 5). Он основан на использовании зависимости некоторых параметров пленки от ее температуры. Пленка предварительно намагничивается до насыщения по нормали к ее плоскости (исходное состояние). Затем к ней прикладывается магнитное поле \mathbf{H} противоположного направления (рис. 5). Запись информации осуществляется путем нагрева отдельных участков пленки, которая находится в магнитном поле \mathbf{H} . Нагревание производится кратковременным воздействием лазерного луча. Поле \mathbf{H} подбирается с таким расчетом, чтобы при отсутствии нагрева пленки его величина была недостаточной для перемагничивания пленки. При достаточно высокой температуре участка пленки происходит существенное изменение его магнитного состояния, например может в 3–4 раза уменьшаться коэрцитивная сила. Это приводит к тому, что нагретые участки пленки будут перемагничиваться. Ненагретые области обладают более высокой коэрцитивной силой и не изменяют своего состояния. То есть при одновременном воздействии лазерного излучения и магнитного поля \mathbf{H} в рабочем слое носителя формируются области с намагниченностью, ориентированной противоположно направлению \mathbf{M} пленки в исходном состоянии. Эти области и представляют собой записанную информацию (рис. 5).

Минимальные размеры области, соответствующей одному биту информации, определяются диаметром сфокусированного светового луча [5]. Векторы намагниченности в перемагниченных участках направлены по нормали к плоскости пленки. Следовательно, разноименные полюсы перемагниченных

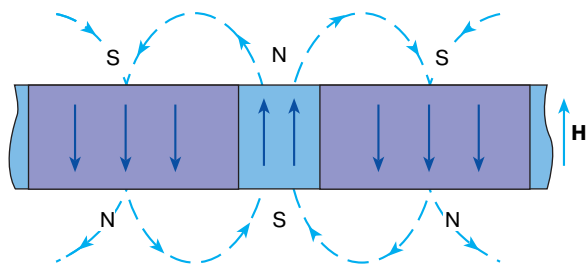


Рис. 5. Перпендикулярная запись информации на образцах с осью легкого намагничивания, направленной перпендикулярно их поверхности. В средней части рабочего слоя носителя находится перемагниченный участок

участков расположены на противоположных сторонах рабочего слоя носителя. Поэтому магнитные поля от соседних перемангнитенных участков будут стабилизировать состояние перемангнитенного участка. Это позволяет заметно уменьшить минимальные размеры стабильных доменов. В результате перпендикулярная запись обеспечивает в несколько раз более высокую плотность записи по сравнению с продольной. Следует отметить, что пленки с перпендикулярной анизотропией используются и в магнитной записи. Считывание информации осуществляется магнитооптическим методом или индукционным с помощью магнитных головок. При использовании магнитооптического метода считывания лазерный луч направляется на поверхность пленки. После отражения луч регистрируется фотоприемником. Благодаря специальному устройству, применяемому в данном случае, интенсивность отраженного луча, который попадает в фотоприемник, зависит от направления намагниченности в участках пленки. Это позволяет определить намагниченные и перемангнитенные области магнитного носителя. В качестве рабочего слоя у магнитооптических носителей могут использоваться аморфные пленки, полученные из сплавов редкоземельных элементов (тербий, гадолиний, диспрозий) с переходными металлами (железо, кобальт).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время вычислительная техника необычайно широко внедряется в различные сферы жизни общества. Достаточно сказать, что электронно-вычислительные машины используются при автоматизации различных производственных процессов, решении социально-экономических задач, в науке, образовании, медицине и т.д. Разнообразное применение вычислительной техники стимулирует ее быстрое развитие и дальнейшее совершенствование запоминающих устройств (ЗУ), на которых осуществляются запись и хранение информации. Улучшение качества ЗУ непосредственно связано с повышением плотности записи информации, увеличением их информационной емкости.

Большую роль в решении этой задачи играет применение в ЗУ тонких магнитных пленок. В статье описаны особенности поведения доменной структуры пленок в магнитном поле, которые позволяют лучше представить процесс записи информации в ЗУ на магнитных лентах и дисках.

При объяснении процессов перемангнитивания тонких магнитных пленок, принципа записи и считывания информации использовались физические термины, понятные не всем читателям. Поэтому автор рекомендует сначала ознакомиться с содержанием статьи [1], посвященной описанию структуры и магнитных свойств тонкопленочных магнитных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков В.Г. Тонкие магнитные пленки // Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 1. С. 107–114.
2. Белов К.П. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках. М.: Изд-во ТТЛ, 1957. 279 с.
3. Котов Е.П., Руденко М.И. Носители магнитной записи. М.: Радио и связь, 1990. 384 с.
4. Василевский Ю.А. Носители магнитной записи. М.: Искусство, 1989. 287 с.
5. Бенедичук И.В., Введенский Б.С. // Техника кино и телевидения. 1987. № 1. С. 61–68.

* * *

Владимен Георгиевич Казаков, доктор физико-математических наук, профессор. Читает спецкурс “Магнетизм” аспирантам Чебоксарского кооперативного института. Область научных интересов: физика тонких магнитных пленок, практическое применение пленок в микроэлектронике и вычислительной технике. Основные исследования связаны с выявлением закономерностей влияния атомно-кристаллической структуры, магнитоупругих и магнитостатических взаимодействий на магнитные свойства и процессы перемангнитивания тонких ферромагнитных пленок. Автор 190 научных работ и семи изобретений.