
УДК 621.318.12

Исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков при воздействии внешнего импульсного магнитного поля

Хлопов Б.В.

Аннотация.

Разработан и создан стенд для исследования параметров, определяющих устойчивость магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков при воздействии на них внешнего импульсного магнитного поля. Разработаны методики оценки магнитных полей, обеспечивающих надежное стирание информации с носителей на жестких магнитных носителях (НЖМД), в частности методика визуальной проверки полноты стирания информации с использованием атомной силовой микроскопии (АСМ), определены потери в защитных кожухах при экранировании магнитных полей. Представлены предложения в нормативные документы по определению амплитудного и частотного значений напряженности периодического магнитного поля и значения напряженности импульсного магнитного поля с оптимальной длительностью импульса.

Ключевые слова: импульсное магнитное поле, магнитный диск, коэрцитивная сила материала, атомная силовая микроскопия, намагниченность насыщения, магнитный рельеф, гарантированное стирание информации, нормативные требования.

Введение

Современное развитие вычислительной техники характеризуется использованием новых технологий, значительным увеличением объема и скорости обработки информации, что обуславливает использование новых тонкопленочных материалов с целью увеличения объемов хранимой информации. Магнитные свойства тонкопленочных материалов современных носителей на жестких магнитных дисках (НЖМД) и технологические процессы их разработки предприятия изготовители относят к коммерческой собственности и держат в секрете. Ответить на этот вопрос можно только, проведя исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков с помощью метода атомной силовой микроскопии (АСМ), определив значение намагниченности насыщения магнитного материала. В зависимости от состава материала намагниченность насыщения тонкопленочных образцов изменяется в широких

пределах - от 300 до 786 кА/м [1]. Коэрцитивная сила материала, применяемого в качестве рабочего слоя, зависит не только от его состава, но и от свойств подложки, наличия промежуточных слоев и технологии его изготовления [2]. При разработке устройств стирания информации руководствуются нормативными документами в, которых изложены общие и специальные технические требования, предъявляемые к устройствам уничтожения информации с магнитных носителей посредством электромагнитного воздействия [3]. Учитывая, что в настоящее время разрабатываются новые методы магнитной записи (HAMR) с применением новых конструктивных решений и с высокой плотностью записи возникает необходимость в целях совершенствования предложений в нормативные документы оценить основные нормативные требования для надежного стирания информации с современных НЖМД при воздействии внешним импульсным магнитным полем.

1. Стенд для исследования магнитных свойств материалов современных НЖМД

Для исследования воздействия импульсных электромагнитных полей на структуры НЖМД создан стенд по блок схеме приведенной на рисунке 1. Стенд позволяет проводить исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков при ослаблении воздействующего периодического импульсного магнитного поля, конструктивными элементами запоминающих устройств НЖМД.

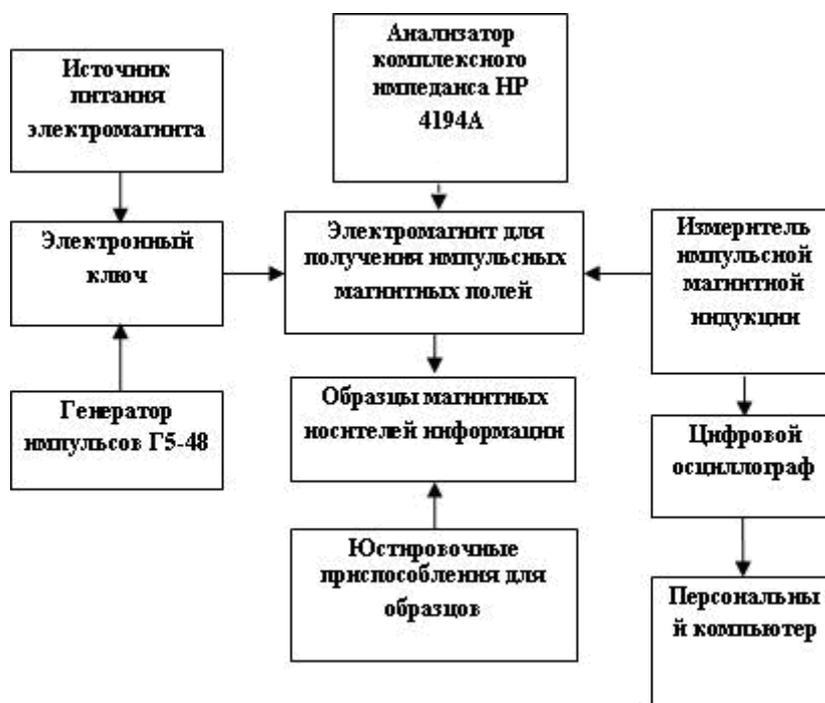


Рис.1. Блок схема стенда для исследования воздействия импульсными электромагнитными полями.

Стенд включает в себя электромагнит на основе безсердечниковых соленоидов, источник

регулируемого по длительности и амплитуде импульсного тока и схему регистрации магнитного поля на основе индуктивного датчика. На рисунке 2 приведена фотография стенда для исследования воздействия импульсными электромагнитными полями на структуру магнитных дисков носителей информации.



Рис.2. Фотография стенда для исследования воздействия импульсными электромагнитными полями на структуру магнитных носителей информации: 1 - катушки Гельмгольца, 2 - исследуемый образец, 3 - устройство позиционирования образца, 4 - электронный ключ, 5 - импульсный генератор с рабочей частотой в диапазоне от 0,1 до 20 кГц, 6 - источник питания, 7 - осциллограф, 8 - персональный компьютер, 9 - измеритель комплексного импеданса, 10 - измеритель магнитной индукции.

При подаче напряжения питания от вторичного источника питания на емкостной накопитель- заряжается емкость 100мкФ, которая через нормально разомкнутый электронный ключ, подключена к соленоиду. В качестве соленоидов применены катушки Гельмгольца с различными значениями индуктивности (от 100 мкГн до 10 мГн). Электронный ключ управляется прямоугольными импульсами от импульсного генератора. Длительность управляющих импульсов изменяется в пределах от 100 мкс до 10 мс при времени воздействия периодическим магнитным полем не менее 150 мс. Измеритель комплексного импеданса применяется для контроля параметров соленоидов. Измеритель напряжённости магнитного поля используется для оценки создаваемых соленоидом магнитных полей. Осциллограмма в виде последовательности импульсов изображающая форму тока протекающего через соленоид и форму проинтегрированного сигнала с индуктивного датчика показаны на рисунке 3.

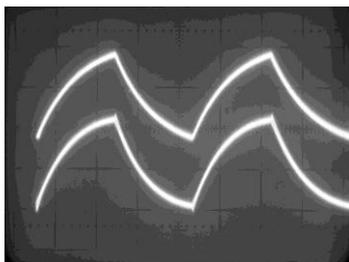


Рис.3. Осциллограмма импульса тока протекающего через электромагнит (верхняя кривая) и индуктивного датчика напряжённости магнитного поля (нижняя кривая). Развёртка по горизонтали 0,2 мс/клетку.

2. Методы исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков при воздействии внешнего импульсного магнитного поля

На исследуемый НЖМД фирмы Fujitsu осуществлялась запись информации до полного заполнения объема [4]. Затем из НЖМД извлекли магнитные диски с записанной информацией и из одного диска гильотинными ножницами вырезали 6 образцов размером 10x10мм для исследований. Исследуемый образец 2 помещался внутрь соленоидов с помощью диэлектрического манипулятора соединённого с устройством позиционирования 3 (рис.2). Для регистрации, обработки и сохранения информации использовался персональный компьютер 8, к USB входу которого подключён модуль USB-3000, работающий в режиме цифрового осциллографа.

Один из вырезанных образцов являлся контрольным и исследовался на оборудовании атомной силовой микроскопии (АСМ) о наличии записи и определения оптимальных режимов регистрации сигнала. На рисунке 4 приведен магнитный рельеф поверхности одного из контрольных образцов исследуемого диска, со служебной информацией.

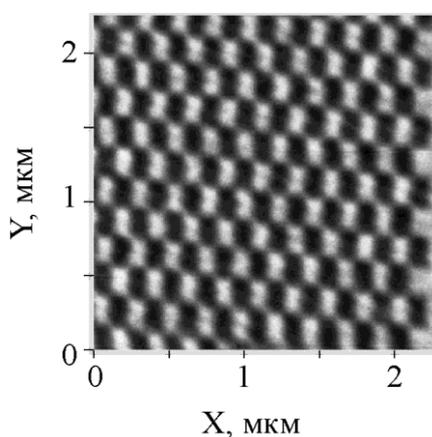


Рис.4. Магнитный рельеф поверхности одного контрольного образца диска, со служебной

информацией.

Каждый из оставшихся образцов диска последовательно устанавливался на стенде (рис.2), закреплялся на консоли юстировочного приспособления для исследования магнитных свойств материалов НЖМД так, чтобы его плоскость была ортогональна плоскостям полюсных наконечников электромагнита и экспонировался в течение 2 секунд импульсным магнитным полем с длительностью импульса $t=0,4$ мс. Значение напряженности магнитного поля для каждого образца фиксировано с возможностью изменения значения магнитной индукции в виде четного ряда. Начальное значение напряженности воздействующего магнитного поля устанавливалось равной $3,0\text{КЭ}$ (240кА/м).

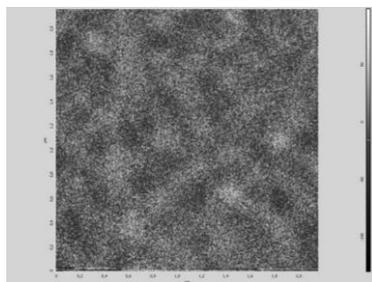


Рис.5. Магнитный рельеф поверхности одного образца диска, с записанной информацией после воздействия импульсным магнитным полем значением 240 кА/м .

После экспозиции образец исследовался на оборудовании АСМ с целью контроля наличия записи [5]. Если после экспозиции запись (или ее следы) остались, следующий образец экспонировали магнитным полем с напряженностью на $1,0\text{КЭ}$ выше и повторяли измерения до тех пор, пока не была достигнута напряженность магнитного поля, при которой исчезли следы записанной информации (магнитный рельеф поверхности тонкопленочного слоя, полученный на АСМ, будет иметь вид "туманного пейзажа"). Затем вышеприведенные измерения повторяли для других образцов при ортогональной ориентации относительно магнитного поля (так, чтобы плоскость образца была параллельна плоскостям полюсных наконечников электромагнита) и определяли значение напряженности магнитного поля ортогональной ориентации, при котором происходит гарантированное стирание информации. Аналогичный (рис.5) магнитный рельеф поверхности образца диска получен при воздействии значениями напряженности магнитного поля 240 кА/м с ортогональной ориентацией вектора напряженности магнитного поля. Экспериментально установлено, что информация записанная на магнитном диске стирается периодическим импульсным магнитным полем. Амплитудное значение напряженности

периодического магнитного поля в любой точке внутреннего пространства рабочей камеры устройства стирания информации должно составлять не менее 600 кА/м в частотном диапазоне от 0,1 до 20000 Гц, при продольной и перпендикулярной ориентациях векторов магнитной индукции относительно плоскости рабочего тонкопленочного магнитного слоя НЖМД с произвольным типом записи

3. Оценка значений импульсных магнитных полей при которых возможно стирание информации с образцов тонкопленочных носителей информации

Коэрцитивная сила при намагничивании перпендикулярно плоскости пленки лежит в пределах $H_c^\perp = 100 - 240$ кА/м. Коэрцитивная сила при намагничивании касательно плоскости пленки составляет величину $H_c^\parallel = (0,6 - 0,75) H_c^\perp$. Качественную оценку необходимого стирающего поля H можно получить исходя из следующей формулы аппроксимирующей формулу петли гистерезиса [2]:

$$M = \frac{2}{\pi} M_s \arctg\left(\eta \frac{H - H_c^\perp}{H_c^\parallel}\right), \quad (1)$$

где: $\eta = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi K_n}{2}\right)$, $K_n = M_r/M_s$ – критерий прямоугольности, $+M_r$ – остаточная намагниченность, соответствующая в исходной записи условной битовой единице, M_s – намагниченность насыщения. Условному битовому нулю в исходной записи соответствует остаточная намагниченность, равная $-M_r$. После воздействия положительного внешнего магнитного поля намагниченность исходного битового нуля становится равной $+M_r$. Величина битовой единицы $+M_r$ остается без изменений, поскольку ее перемагничивание происходит практически по предельной петле гистерезиса. При воспроизведении информации величина сигнала прямо пропорциональна M_r . Очевидно, что если разность $M_r - M_r^1$ будет давать сигнал воспроизведения меньше порога срабатывания компаратора воспроизводящего устройства, то информация не сможет быть прочитана штатной системой воспроизведения. Если разность $M_r - M_r^1$ при любом доступном методе восстановления информации не позволяет получить отношение С/Ш больше единицы, то учитывая непериодический характер записанного сигнала, можно считать, что запись будет гарантированно уничтожена. На рисунке 6 приведена зависимость $(M_r - M_r^1)/M_r$ от величины нормированного намагничивающего поля, рассчитанная на основе вышеприведенной формулы [6]. Из рисунка 6 следует, что если С/Ш при воспроизведении исходной записи не превышал 30 дБ, то во внешнем поле, превышающем коэрцитивную силу в 2.5 – 3 раза, информация будет уничтожена [7].

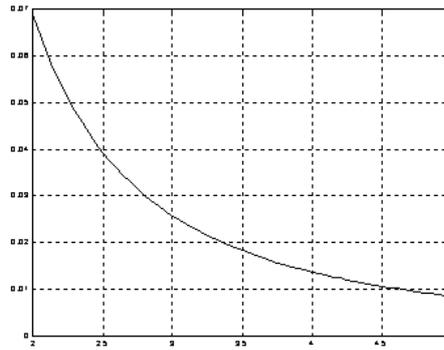


Рис. 6. Зависимость нормированной разности остаточной намагниченности битовых нуля и единицы после приложения намагничивающего стирающего поля. Коэффициент прямоугольности петли гистерезиса принят равным 0,9.

4. Результаты исследования методом атомной силовой микроскопии структуры записываемой информации на НЖМД до и после внешнего воздействия магнитного импульсного поля

Воздействие внешнем импульсным магнитным полем на НЖМД осуществлялось магнитным полем создаваемым унифицированным устройством стирания информации [8], которое представляет собой законченную конструкцию прибора для экстренного стирания информации с НЖМД, используемых в ПЭВМ. В состав прибора входят: блоки формирования магнитного импульса; блоки управления, имеющие в своем составе встроенную систему контроля (ВСК) работоспособности устройства; устройство вторичного источника электропитания; приспособление для размещения НЖМД; автономный источник питания. Прибор стирания информации обеспечивает создание магнитного импульса, с характеристиками, обеспечивающими последовательное воздействие магнитными полями в пределах от 200 кА/м до 1200 кА/м ориентированными продольно (касательно плоскости диска) и поперечно (ортогонально плоскости диска) с возможностью фиксированного изменения длительности воздействующего импульса в пределах от 1,0 мс до 7,0 мс.

Исследовалось стирание информации с современных многодисковых НЖМД, отличающихся высокой плотностью записи: Hitachi Travelstar 5K500 (2.5", 3 магнитных диска, 0.5 ТБ); Hitachi Ultrastar A7K1000 (5 магнитных дисков, 1ТБ); Seagate Barracuda <ST31000333AS> (4 магнитных диска, 1ТБ); Seagate Barracuda ES2 <ST31000340NS>(4 магнитных диска, 1ТБ).

Качество стирания информации контролировалось методами АСМ путём регистрации магнитного рельефа поверхности каждого диска в нескольких точках до и после воздействия магнитных полей. АСМ (см.рис.4) «Смена А», обеспечивает пространственное разрешение в магнитном изображении не хуже 20 нм с высоким контрастом между физическими нулём и

единицей. После воздействия импульсными магнитными полями снималось по 5 картин остаточного магнитного рельефа с различных участков каждой поверхности диска. На рисунке 7 приведены характерные магнитные картины с разных участков поверхности одного из дисков трёхдискового винчестера Hitachi Travelstar 5K500, после воздействия магнитными полями стирающего устройства значением напряженности 750 кА/м с длительностью импульса 2,5 мс. На картине (рис.7) полученной с помощью АСМ визуально запись не наблюдается откуда можно сделать заключение, что информация полностью стёрта. На рисунке 8 приведены характерные магнитные изображения с дисков НЖМД Hitachi Ultrastar A7K1000 после воздействия импульсного магнитного поля с такими же характеристиками. Характерной особенностью является то, что на всех поверхностях 5 дисков имеются участки как с полностью стёртой информацией, так и с её остатками.

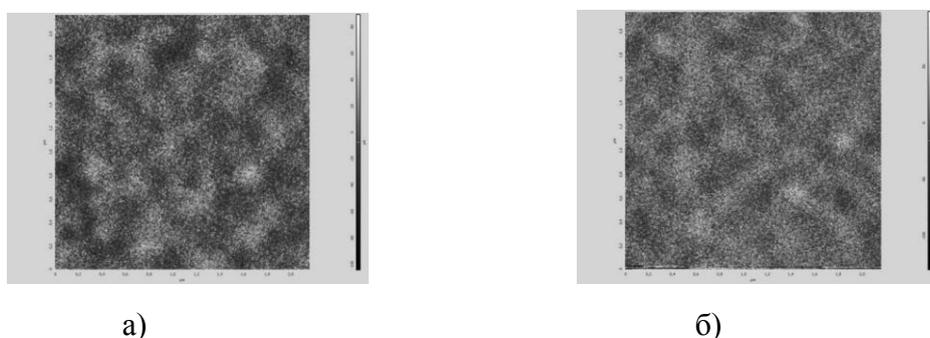


Рис.7. Примеры картин магнитного рельефа поверхностей дисков винчестера Hitachi Travelstar 5K500, после воздействия импульсными магнитными полями ориентированными: а) поперечно (ортогонально плоскости диска); б) продольно (касательно плоскости диска).



Рис.8. Картины магнитного рельефа в разных участках поверхностей дисков винчестера Hitachi Ultrastar A7K1000,1 ТВ после воздействия импульсным магнитным полем, а) первый диск, б) пятый диск.

Естественно, чтение этой информации штатными магнитными головками НЖМД практически неосуществимо [9]. Методами атомной силовой микроскопии это рельеф может быть визуализирован, однако восстановление остаточных фрагментов информации сопряжено с большими техническими трудностями. Следует отметить, что картины приведенные на рисунке 8 характерны для всех 5 дисков указанного типа НЖМД. Ниже будет показано, что неполное стирание информации связано с экранировкой импульсного магнитного поля металлическими элементами НЖМД. Заметную роль, при этом играют конструкция корпуса и алюминиевые подложки (толщиной ~ 1 мм) самих магнитных дисков.

Для проверки этого предположения один из НЖМД перед стиранием информации был разобран и воздействие магнитным полем осуществлялось непосредственно на каждый диск в отдельности. При этом стирание информации было полным, что подтверждает достаточную величину амплитуды применяемого магнитного импульса для надёжного перемагничивания магнитных материалов, используемых в исследованных НЖМД.

Аналогичные результаты были получены и для НЖМД Seagate Barracuda <ST31000333AS> (4 магнитных диска, 1ТБ); Seagate Barracuda ES2 <ST31000340NS>(4 магнитных диска, 1ТБ).

Главный вывод из этих экспериментов заключается в том, что используемые нами импульсные магнитные поля превышают коэрцитивную силу магнитных материалов, применяемых в современных винчестерах. Этих полей достаточно, чтобы эффективно и надёжно стирать информацию с винчестеров, в которых рабочий магнитный слой нанесен на стеклянные подложки. Ситуация со стиранием информации с наиболее распространённых многодисковых винчестеров с дисками из алюминиевого сплава намного сложнее вследствие экранирования импульсного магнитного поля металлическими частями НЖМД. При разработке нормативных требований для надёжного стирания информации с современных НЖМД при воздействии внешним импульсным магнитным полем необходимо учитывать возможное экранирование импульсного магнитного поля металлическими частями НЖМД.

5. Экранирование импульсного магнитного поля металлическими частями НЖМД.

Экранирование магнитного поля основано на использовании магнитной индукции, создающей в экране переменные индукционные вихревые токи (токи Фуко). Магнитное поле этих токов внутри экрана будет направлено навстречу возбуждающему полю, а за его пределами - в ту же сторону, что и возбуждающее поле. Результирующее поле оказывается ослабленным внутри экрана и усиленным вне его. Вихревые токи в экране распределяются неравномерно по его сечению (толщине). Это вызывается явлением поверхностного эффекта, сущность которого заключается в том, что переменное магнитное поле ослабевает по мере проникновения в глубь

металла, так как внутренние слои экранируются вихревыми токами, циркулирующими в поверхностных слоях. Благодаря поверхностному эффекту плотность вихревых токов и напряженность переменного магнитного поля по мере углубления в металл падают по экспоненциальному закону. Эффективность магнитного экранирования зависит от частоты и электрических свойств материала экрана. Чем ниже частота, тем слабее действует экран, тем большей толщины приходится его делать для достижения одного и того же экранирующего эффекта. Для высоких частот, начиная с диапазона средних волн, экран из любого металла толщиной от 0,5 до 1,5 мм действует весьма эффективно. Таким образом, на частоте 1 кГц при толщине металла 1,2 мм и $H \geq H_k$ корпус из АМцМ ослабляет поле на 33,33 %, при толщине металла 1,5 мм и $H \geq H_k$ корпус из АМцМ ослабляет поле на 39,76 % [10].

6. Экспериментальная оценка эффективности магнитного экранирования от внешнего воздействующего импульсного магнитного поля.

Магнитная система прибора двух секционная. Секция первого типа выполнена в виде соленоида прямоугольного сечения, генерирующего магнитный импульс длительностью около 1,5 мс по уровню половинной интенсивности и напряжённостью 550 кА/м. Длина соленоида составляла 110 мм, причём полость для размещения соленоида соответствует поперечным размерам стандартных жёстких дисков формата 3,5". Секция магнитной системы второго типа состоит из катушек Гельмгольца, в зазор между которыми помещается исследуемый жёсткий диск, генерирующих импульс магнитного поля длительностью около 5,5 мс и напряжённостью 500 кА/м. Наружный диаметр катушек составлял 120 мм, внутренний – 70 мм, расстояние между катушками – 35 мм. Осциллограммы генерируемых магнитных импульсов приведены на рисунке 9.

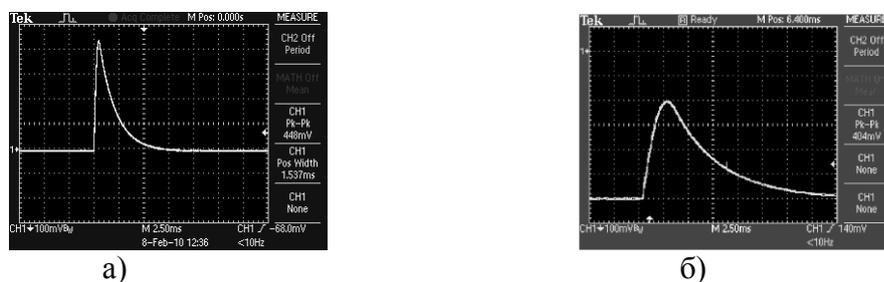


Рис.9. Осциллограммы магнитных импульсов, создаваемых магнитными системами а) первого и б) второго типов.

На рисунках 10 и 11 представлены экспериментально полученные с помощью АСМ фрагменты визуально иллюстрирующие изменение исходного информационного магнитного рельефа исследуемого образца НЖМД, Seagate 1,5 ТБ с записанной информацией до воздействия импульсным магнитным полем и после воздействия со значением напряженности 550 кА/м с длительностью магнитного импульса 1,5 мс и с длительностью магнитного импульса 5,5 мс по уровню половинной интенсивности[11].

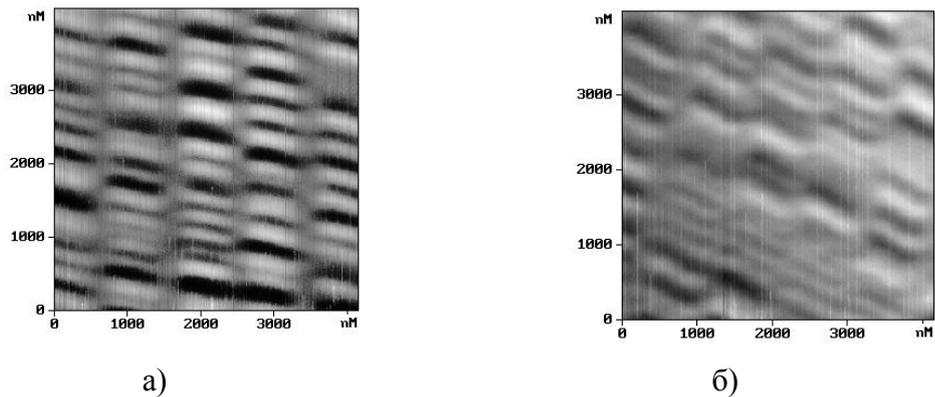


Рис.10. Фрагменты информационного магнитного рельефа исследуемого магнитного диска НЖМД, Seagate 1,5 ТБ: а) до воздействия импульсным магнитным полем; б) после воздействия импульсным магнитным полем со значением напряженности 550 кА/м с длительностью магнитного импульса 1,5 мс

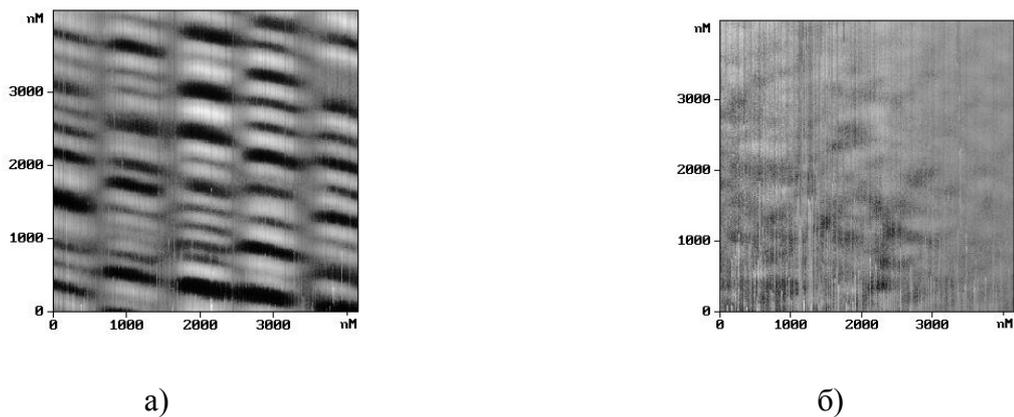


Рис.11. Фрагменты информационного магнитного рельефа исследуемого магнитного диска НЖМД, Seagate 1,5 ТБ: а) до воздействия импульсным магнитным полем; б) после воздействия импульсным магнитным полем со значением напряженности 550 кА/м с длительностью магнитного импульса 5,5 мс

По результатам проведенных экспериментальных работ установлено, что корпуса и

конструктивные элементы при суммарной толщине металлических элементов до 10мм ослабляют касательное импульсное МП с длительностью импульса 1,5 мс в 1,4 - 1,5 раза, а нормальное импульсное МП с длительностью импульса 5,5 мс в 1,6 - 1,7 раза. При уточнении нормативных требований необходимо также учитывать, что увеличение коэрцитивной силы рабочего слоя от 112 до 224 кА/м позволяет примерно в 2,5 раза повысить плотность записи, а переход к носителям с перпендикулярной анизотропией дает четырехкратное возрастание информационной плотности по сравнению с продольной записью. Такое же повышение плотности записи обеспечивается заменой индуктивных головок магниторезистивными. Применение перспективного материала с суперрешеткой вместо пермаллоя для магнитных головок делает возможным увеличение плотности приблизительно в 5 раз. Как нетрудно убедиться, в итоге при тысячекратном увеличении информационной плотности записи вклад от удвоения величины коэрцитивной силы составляет всего 2,5 раза [12].

Критерием полноты уничтожения записанной информации является невозможность её восстановления известными методами за время, при котором она не теряет своей актуальности. При этом необходимо учитывать и вопросы стоимости самой информации, и её восстановления. Для непериодического информационного сигнала, при котором исключается возможность увеличения отношения сигнал/шум за счёт накопления, критерием полноты стирания информации является уменьшения указанного отношения до значения меньше единицы. Учитывая выше рассмотренные определения и полученные экспериментальные результаты экранирования импульсных магнитных полей металлическими элементами НЖМД можно с высокой степенью допустить, что импульсным магнитным полем со значением напряженности превышающим коэрцитивную силу тонкопленочного магнитного материала диска в 2,5 – 3 раза и с оптимальной определенной длительностью импульса, информация будет стерта. При разработке конструкции устройства стирания информации с современных НЖМД, можно рекомендовать для надежного стирания информации достаточно устанавливать значение напряженности магнитного поля 1200 кА/м. При этом оптимальная длительность импульса должна быть не менее 2,5 мс, при продольной и перпендикулярной ориентациях векторов магнитной индукции относительно плоскости рабочего тонкопленочного магнитного слоя НЖМД с произвольным типом записи.

Заключение

1. Разработанный стенд позволяет создавать магнитные поля в виде магнитного импульса и периодически изменяющегося магнитного поля с определенной длительностью, а также проводить исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов НЖМД при ослаблении воздействующих импульсных магнитных полей, конструктивными элементами.
2. На основании экспериментальных исследований и проведенного анализа установлено, что при

амплитудном значении напряженности периодического магнитного поля равным не менее 600 кА/м в частотном диапазоне от 0,1 до 20000 Гц, при длительности воздействия периодическим магнитным полем не менее 150 мс информация с произвольным типом записи стирается с тонкопленочного магнитного слоя НЖМД.

3. Регистрация магнитного рельефа записи, а также изменение магнитного состояния тонкопленочного слоя магнитного носителя информации до стирания информации и после стирания, внешним импульсным магнитным полем проведена с использованием метода АСМ с пространственным разрешением в магнитном изображении не хуже 20 нм.

4. Из приведенных фрагментов электромагнитного рельефа испытуемых образцов НЖМД полученных экспериментальным путем установлено, что корпуса и конструктивные элементы при суммарной толщине металлических элементов до 10мм ослабляют касательное импульсное магнитное поле с длительностью импульса 1,5 мс в 1,4 - 1,5 раза, а нормальное импульсное магнитное поле с длительностью импульса 5,5 мс в 1,6 - 1,7 раза.

5. По результатам экспериментальных исследований для надежного стирания информации рекомендуется, устанавливая пиковое значение напряженности импульсного магнитного поля воздействующего на НЖМД, с учетом потерь за счет экранирования 1200 кА/м, при длительности импульса не менее 2,5 мс.

Литература

1. Гуляев Ю.В., Хлопов Б.В., Лобанов Б.С., Митягин Ал.Ю., Соколовский А.А., Тимирязева М.П., Фесенко М. В. Влияние внешних магнитных полей на информационную магнитную структуру современных жестких дисков // Нано - микросистемная техника, № 11. – М., 2010, С.- 10-14
2. Гуляев Ю.В., Хлопов Б.В., Житковский В.Д., Казанцев Г.В., Митягин Ал. Ю., Муравьев Э.Н., Романьков А.С., Соколовский А.А. Уничтожение информации с накопителей на жестких магнитных дисках // Инженерная физика, №2. -М., 2004, С.- 2-12
3. Хлопов Б.В., Митягин А.Ю., Романьков А.С., и др., Разработка нормативных документов, выбор перспективных инструментальных средств для создания и применения технологий проектирования, разработки и постановки на производство информационных и программных средств, информационных технологий и автоматизированных систем военного назначения, отвечающих требованиям по безопасности информации // «Первопут-Д1», М. Изд., НПФ «Промтехн», Т.1, 2000
4. Кравченко И.С., Хлопов Б.В., Фесенко М.В., Кузминых А.С. Внешнее магнитное поле для оперативного уничтожения информации на магнитных носителях // Журнал «Перспективные материалы», ISSN 1028-978X, -М.,2008, Спец. Вып. С.- 299- 30

5. Хлопов Б.В., Кузьминых А.С., Лобанов Б.С., Митягин Ал.Ю. Устройство для стирания записи с магнитных носителей / Патент на изобретение №2428749 от 10.09.2011г. (приоритет от 29.03.2010г). Бюл. №25
6. Nomma T. // J. Magn. Soc. Jap. 1991. V. 15. P. 113.
7. Ohnuma S. // IEEE Trans. on Magn. 1988. V. 24. P. 2551.
8. Хлопов Б.В. Устройство для стирания записей на магнитном носителе / Патент на изобретение № 2291500 (приоритет от 22.06.2005). Опубликовано 10.01.2007. Бюл. № 1
9. Хлопов Б.В., Лобанов Б.С., Бондарев Ю.С., Кузьминых А.С. Метод контроля стирания информации в информационных локальных сетях // Вестник МАИ, №3. – М., 2011, том 18, С.- 155-160
10. Хлопов Б.В., Фесенко М.В., Герус С.В., Митягин Ал.Ю., Соколовский А.А., Темиряева М.П. Влияние экранирования при воздействии импульсных магнитных полей на жесткие магнитные носители информации // Труды XV Международная научно-техническая конференция «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ», М., 2009, - С. - 223-227
11. Гуляев Ю.В., Хлопов Б.В., Митягин Ал.Ю., Соколовский А.А. Способ стирания записей на магнитном носителе и устройство для его осуществления / Патент на изобретение № 2267170 (приоритет от 05.05.2003 г). Опубликовано 27.12.2005. Бюл. №36
12. Хлопов Б.В., Соколовский А.А., Митягин Ал.Ю. Способ стирания записи с магнитного носителя и устройство для его осуществления / Патент на изобретение № 2217816 (приоритет от 12.02.2002 г). Опубликовано 27.11.2003. Бюл. № 33

Сведения об авторах

Хлопов Борис Васильевич, начальник научно-технического отдела ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», к.т.н., доцент,
тел. 8 (499) 263-96-25, e-mail: hlopovu@yandex.ru