

Изобретение относится к запоминающему устройству, предназначенному для хранения цифровой информации, такой как машинные файлы, цифровые музыкальные записи, цифровые видеозаписи и т.д. В частности, изобретение относится к запоминающему устройству, в котором запись и считывание данных могут осуществляться неограниченное количество раз.

В последние годы появилось большое разнообразие запоминающих устройств, в которых используется ряд носителей для решения ряда задач по хранению цифровых данных. При этом разработаны запоминающие устройства, которые наилучшим образом соответствуют некоторым из множества рабочих характеристик, включающих в себя емкость, скорость доступа, способность к записи/перезаписи, способность стабильно сохранять данные в течение времени (при наличии источника энергии или без него), размер, живучесть, мобильность и т.п.

Известные ныне запоминающие устройства включают в себя запоминающее устройство на магнитных лентах, запоминающее устройство на жестких магнитных дисках, запоминающее устройство на оптических дисках. Все они демонстрируют преимущества хорошей емкости запоминающего устройства и относительно быстрого доступа к данным, и все они могут быть приспособлены для быстрой записи и перезаписи данных. Все они требуют наличия движущихся компонентов в виде электромеханических или оптических считывающих устройств. Это может ограничить степень, до которой могут быть миниатюризированы устройства, содержащие в себе такие носители данных, а также ограничить использование этих устройств в условиях высоких вибраций. Хотя в каждом из этих случаев ключевым фактором в хранении данных является поверхность носителя, используемые механизмы требуют тщательного контроля свойств также и любой поддерживающей подложки. Таким образом, такие устройства должны иметь тщательно отрегулированную конструкцию. Более того, все они требуют, чтобы считывающее устройство имело доступ к поверхности такого устройства, что может накладывать ограничения на свободу конструктивных решений для такого устройства.

Цель настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить альтернативное запоминающее устройство для хранения цифровых данных, которое обеспечивает универсальность в альтернативных ситуациях, в частности, которое, например, допускает свою миниатюризацию, и/или которое может быть встроено в другие устройства, такие как смарт-карточки (интеллектуальные карточки, оснащенные микропроцессором), идентификационные бирки и нашивки и т.п., и/или которое может быть размещено на гибких подложках, и/или которое может использоваться в условиях высоких вибраций, и/или которое просто и дешево в изготовлении и т.д.

Особая цель данного изобретения состоит в том, чтобы предложить запоминающее устройство, которое компактно и эффективно сохраняет цифровые данные и позволяет осуществлять запись и считывание данных на изобретенном устройстве неограниченное количество раз.

В соответствии с этим, согласно данному изобретению запоминающее устройство для хранения цифровой информации (такой как машинные файлы, цифровые музыкальные записи, цифровые видеозаписи и т.д.) в пригодной для чтения форме содержит в себе один или несколько, и в частности, множество запоминающих элементов, причем каждый запоминающий элемент содержит в себе планарное магнитное проводящее звено, выполненное с возможностью поддержки и продвижения магнитной доменной стенки, выполненное в форме непрерывной дорожки продвижения, при этом на каждой непрерывной дорожке предусмотрено по меньшей мере один, а при необходимости множество и, в частности, большое количество узлов инверсии, в которых направление намагниченности доменной стенки, продвигающейся по проводящему звену под действием соответствующего приложенного поля, изменяется, и в частности, по существу изменяется на противоположное.

Каждое проводящее звено выполнено в форме непрерывной дорожки продвижения. Для удобства проводящее звено, чтобы образовать такую непрерывную дорожку продвижения, выполнено в форме замкнутого контура. На таком контуре предусмотрено по меньшей мере один, а при необходимости множество и, в частности, большое количество узлов инверсии. Данные способны совершать обход этого замкнутого контура в соответствии с механизмом, описанным ниже. В качестве варианта магнитное проводящее звено не образует полного замкнутого контура узлов инверсии, но, наоборот, образует линейную цепочку узлов инверсии, наделенную средствами, позволяющими передавать данные между двумя концами этой цепочки таким образом, что данные по-прежнему имеют возможность циркулировать по замкнутому контуру, по существу, например, это звено содержит устройство записи данных на одном конце цепочки, устройство считывания данных на другом конце цепочки и дополнительные цепи для электронной передачи данных назад от выхода цепочки к входу цепочки.

Для удобства узлы инверсии включают в себя элементы структуры и геометрии проводящего звена, приспособленные для того, чтобы вызывать изменение направления намагниченности домена, а предпочтительно, вызывать по существу изменение направления намагниченности домена на противоположное, при продвижении домена через них под действием соответствующего приложенного поля, такого как переменное по направлению и, в частности, вращающееся магнитное поле.

Тем не менее, необходимо, чтобы направление проводящего звена и, следовательно, направление продвижения доменной стенки изменялись без резких нарушений непрерывности в какой бы то ни было точке. Поэтому участки проводящего звена, расположенные в области узла инверсии, а также охваты-

вающие этот узел, должны иметь такие элементы конфигурации, чтобы вызывать изменение направления намагниченности домена, а предпочтительно вызывать, по существу, изменение направления намагниченности домена на противоположное при продвижении домена через них, но не вызывать при этом никаких специфических резких изменений направления продвижения доменной стенки.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения узел инверсии, по существу, изменение в узле инверсии направления намагниченности на противоположное. В предпочтительном варианте осуществления узел инверсии содержит в себе участок, на котором в проводящем звене обеспечивается изменение направления от направления первоначальной траектории и последующее изменение направления назад к направлению первоначальной траектории так, что никакая прямая траектория продвижения через этот отклоняющийся участок невозможна. В частности, отклонения составляют отклонения от первоначальной траектории на угол  $90^\circ$ . По указанным причинам в предпочтительном варианте осуществления изобретения отклонения от первоначальной траектории происходят постепенно на протяжении некоторого расстояния вдоль дорожки проводящего звена. Например, узел инверсии содержит в себе циклоидный участок, входящий в структуру контура проводящего звена, в частности, направленный внутрь контура, или же топологический эквивалент такой структуры.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения на каждом контуре устроено множество таких циклоидных участков. Таким образом, устройство согласно изобретению в его предпочтительном исполнении содержит в себе некоторое количество магнитных проводящих звеньев, выполненных в форме замкнутых контуров, каждый из которых содержит в себе множество циклоид, служащих для осуществления резких изменений направления на противоположное в отношении направления намагниченности доменной стенки, проходящей через них, и, следовательно, служащих точками инверсии для доменных стенок по мере их продвижения вдоль проводящего звена, описанного в изобретении, под действием соответствующего движущего поля.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения каждая циклоида имеет радиус поворота в диапазоне от трех до десяти значений ширины проводящего звена. По возможности циклоида должна быть такой, чтобы при прохождении через нее доменной стенки вызывать существенное изменение направления намагниченности, например, по существу изменение такого направления на противоположное, на  $180^\circ$ .

Согласно настоящему изобретению магнитное проводящее звено должно иметь конфигурацию, позволяющую обеспечить поддержание и продвижение доменной стенки под действием управляющего поля. В типичном случае магнитное проводящее звено может быть выполнено в виде непрерывной дорожки из магнитного материала. Таким образом, контуры в устройстве согласно данному изобретению в предпочтительном варианте его осуществления содержат магнитные проволоки, в частности, в общем случае, планарные магнитные проволоки на соответствующей подложке.

Таким образом, запоминающее устройство использует некоторое количество планарных магнитных проводящих звеньев, а в частности, магнитных проволок, которым в предпочтительном варианте осуществления изобретения придана форма замкнутых контуров, включающих в себя циклоиды. В частности, изобретение использует магнитную наномасштабную технологию, при этом устройство включает в себя некоторое количество планарных магнитных нанопроволок, которым в предпочтительном варианте осуществления изобретения придана форма замкнутых контуров, включающих в себя циклоиды.

Планарные магнитные нанопроволоки имеют в предпочтительном варианте осуществления ширину менее 1 мкм и формируются на любой подходящей подложке. Ширина является результатом компромисса между повышенной емкостью запоминающих устройств, использующих более узкие нанопроволоки, и издержками и сложностями производства. Однако устройства, содержащие проволоку шириной более одного микрона, вряд ли будут эффективны, а 50 нм являются вероятной определяемой практически путем нижней границей, эффективной с точки зрения издержек, практически целесообразной ширины для современных технологий формирования такой проволоки. Следует подчеркнуть, что это не является техническим пределом, и что улучшенные технологии производства могли бы сделать практически целесообразными и еще более миниатюрные устройства, воплощающие данное изобретение.

Проволоки размещаются на подложке в виде тонкого слоя магнитного материала. Толщина проволоки оптимизируется с целью получения оптимальной рабочей характеристики устройства и, в общих чертах, является функцией ширины. В частности, толщина проволоки обычно составляет около  $1/40$  от ширины проволоки. Толщина проволоки составляет, в общем случае, не менее чем 2 нм, а предпочтительно не менее чем 3 нм. Проволоки на практике едва ли бывают более 25 нм по толщине.

Проволоки могут изготавливаться при помощи фотолитографии, рентгеновской литографии, микроконтактной печати, электронно-лучевой литографии, осаждения через теневую маску или какого-либо другого подходящего способа. Проволоки изготавливаются из магнитных материалов, таких как пермаллой ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) или  $\text{CoFe}$  или любого другого мягкого магнитного материала.

Запоминающее устройство, включающее в себя узлы инверсии, описанные выше, подвергается воздействию соответствующего переменного по направлению, и в частности, вращающегося магнитного поля, способ действия которого описывается более подробно ниже, которое и наделяет узел инверсии

функцией памяти. Организация матрицы из множества контуров, каждый из которых включает в себя один или более узлов инверсии, позволяет устройству в соответствии с изобретением хранить данные последовательно в кольце.

Данные могут быть записаны на устройство согласно изобретению и считаны с него неограниченное количество раз. В отличие от запоминающего устройства на магнитных лентах или запоминающего устройства на жестких магнитных дисках изобретение не требует использования никаких движущихся деталей. Следовательно, оно может быть с легкостью сделано миниатюрным и может использоваться в условиях высоких вибраций. Принцип изобретения очень прост, и производственные издержки могут удерживаться на низком уровне. Более того, для сохранения данных в памяти при неиспользуемом устройстве не требуется никакой энергии.

В изобретении используется некоторое количество магнитных проводящих звеньев, таких как планарные магнитные проволоки. Планарные проволоки формируются на некоторой подложке, но в отличие от микроэлектронной памяти эта подложка не играет никакой роли в электронном или магнитном аспекте функционирования устройства и служит, по существу, только в качестве механической опоры. При этом по-прежнему могут использоваться традиционные кремниевые подложки, но поскольку никаких функциональных возможностей от подложки не требуется, могут применяться также и материалы, отличные от кремния, такие как различные виды стекла и пластмассы. В качестве примера можно привести полиимид, такой как Каптон, полиэтилентерефталат или материалы типа Майлара, ацетат, полиметилметакрилат или другие материалы. Пластмассовые подложки имеют преимущество, заключающееся в их низкой стоимости и простоте изготовления, а также предлагают потенциальную возможность механической гибкости, что делает изобретение пригодным для встраивания в пластиковые карточки, такие как смарт-карточки, или размещения на одежде.

Поскольку к поверхности предлагаемого в изобретении устройства не требуется никакого механического доступа, подобного тому, что требуется в запоминающих устройствах на компакт-дисках, на магнитных лентах, на жестких магнитных дисках, то большое количество подложек может быть уложено друг на друга таким образом, чтобы образовать трехмерный куб памяти.

Поверхностная плотность хранения данных в предлагаемом в изобретении устройстве является средней, будучи выше, чем значение этого показателя для магнитной ленты, но ниже, чем для жестких магнитных дисков. Скорости записи и считывания могут, если это требуется, быть очень высокими и даже выше чем скорости, присущие накопителям на жестких магнитных дисках. Однако предлагаемое в изобретении устройство хранит данные последовательно в кольце, поэтому время доступа к данному блоку данных, вероятно, будет относительно большим, что ограничивает применение изобретения в качестве прямой замены основного накопителя на жестких магнитных дисках в компьютерах.

Международная заявка на патент PCT/GB 01/05072 применяет и развивает некоторые принципы работы Коуберна (Cowburn) и Уэлланда (Welland), ссылка на которую давалась выше, при описании того, каким образом цифровые логические схемы могли бы строиться из цепочек наномасштабных точек магнитного материала или наномасштабных планарных магнитных проволок. В частности, приводится описание магнитного вентиля HE, который показан на фиг. 1 настоящей заявки.

На фиг. 1 стрелки показывают направление намагниченности в узких полосках магнитного материала, образующего вентиль. Центральный структурный элемент вентиля изменяет направление намагниченности на противоположное при движении слева.

При использовании вентиль должен быть помещен в магнитное поле, вектор напряженности которого поворачивается в течение времени в плоскости устройства. Хотя устройство по данному изобретению не ограничено никакой теорией работы, можно заметить, что в силу магнитной анизотропии формы вектор намагниченности в проволоке обычно принужден располагаться вдоль продольной оси проволоки. Это означает, что имеется два возможных направления намагниченности, и таким образом в данном устройстве существует естественное двоичное представление. Изменение направления намагниченности опосредуется магнитной доменной стенкой, продвигаемой по проволоке приложенным полем. Тот факт, что приложенное поле вращается, означает, что доменные стенки могут перемещаться, огибая углы.

Согласно изобретению вентиль HE, аналогичный тому, что описан выше, изготавливается соответствующим способом. С точки зрения целей настоящего изобретения идеально, чтобы форма вентиля была слегка изменена по сравнению с той, что изображена на фиг. 1, таким образом, чтобы приобрести форму циклоиды. Выход вентиля снова соединяется с его входом при помощи соответствующего магнитного проводящего звена, такого как планарная магнитная проволока, для того, чтобы образовать замкнутый контур. Матрица из таких контуров образует устройство по данному изобретению в соответствии с этим предпочтительным вариантом его осуществления, при этом устройство включает в себя планарные магнитные нанопроволоки, которым придана форма больших замкнутых контуров, состоящих из последовательно соединенных циклоид, образующих цепочки магнитных вентилях HE. Выходной сигнал последнего вентиля HE в каждой цепочке подается назад на вход первого вентиля HE посредством планарной магнитной проволоки таким образом, чтобы образовать замкнутый контур для циркуляции по нему последовательности данных.

Циклоиды служат узлами инверсии для продвигающихся доменных стенок, при продвижении этих доменных стенок по нанопроволокам под действием соответствующего вращающегося рабочего поля способом, который был упомянут выше и будет более подробно описан ниже. Инвертированный выходной сигнал появляется только по истечении временной задержки, равной одной второй периода приложенного вращающегося поля, что делает каждый узел инверсии похожим на ячейку запоминающего устройства емкостью один бит или на триггерную схему. Таким образом, контуры, состоящие из циклоид, выполняют ту же функцию запоминающего устройства, что и последовательный кольцевой сдвиговый регистр, и могут служить запоминающим устройством согласно данному изобретению.

Согласно другому аспекту изобретения предлагается система хранения данных, содержащая один или более таких элементов-устройств, как описаны выше и дополнительно содержащая формирователь магнитного поля для создания управляемого переменного по времени движущего магнитного поля. Формирователь магнитного поля в предпочтительном варианте осуществления изобретения настроен таким образом, что движущее поле прикладывается одновременно ко всем циклоидам в данном контуре и может быть приложено одновременно ко всем контурам системы. Это составляет отличительную особенность настоящей системы в работе. Магнитное поле прикладывается ко всему контуру сразу, так что все биты данных продвигаются одновременно, а не прикладывается локально, только под пишущей головкой, что имело бы место в случае с традиционными магнитными запоминающими устройствами.

При этом может быть предусмотрено любое подходящее поле. В предпочтительном варианте осуществления изобретения формирователь магнитного поля создает управляемое магнитное поле, состоящее из двух ортогональных полей, действующих в заранее определенной последовательности, предпочтительно переменных, а еще более предпочтительно формирующих периодическое поле, вращающееся в направлении по часовой или против часовой стрелки. При использовании такой системы данные могут храниться в запоминающем устройстве (запоминающих устройствах), соответствующем (соответствующих) первому аспекту данного изобретения.

Система может также содержать соответствующие электрические и/или информационные вход и/или выходы, позволяющие использовать это запоминающее устройство в запоминающей системе хранения и поиска информации.

Далее на примере, сопровождаемом ссылками на фиг. 2-8, будет описан пример работы магнитного запоминающего устройства, соответствующего принципам данного изобретения.

Ссылка на фиг. 1-8 сопровождающих чертежей дается в качестве такой иллюстрации, в которой фиг. 1 - схематическое представление магнитного вентиля НЕ предшествующего уровня развития техники (см. выше);

фиг. 2 - магнитный вентиль НЕ, модифицированный для использования в качестве запоминающего устройства согласно изобретению;

фиг. 3 - схематическое представление структуры вентиля НЕ, показанного на фиг. 2 (часть А) и ее влияние на доменную стенку, входящую в точку Р под действием вращающегося магнитного поля Н;

фиг. 4 - три магнитных вентиля НЕ, соединенных в кольцо и образующих 5-разрядный сдвиговый регистр в части А, а в части В показано то, как может быть осуществлена принудительная циркуляция простых (кривая I) и сложных (кривая II) последовательностей битов по кольцу посредством приложения вращающегося магнитного поля (звездочка в части А указывает точку на контуре, в которой производились измерения, показанные в точке В);

фиг. 5 - одиннадцать магнитных вентилях НЕ, соединенных в кольцо и образующих 13-разрядный сдвиговый регистр, в части А, а в части В показана простая 13-битовая последовательность данных, совершающих кругооборот по контуру под воздействием вращающегося магнитного поля (звездочка в части А указывает точку на контуре, в которой производились измерения, показанные в точке В);

фиг. 6 - схематическая иллюстрация механизма записи и считывания данных, предлагаемого в данном изобретении;

фиг. 7 - схематическая иллюстрация некоторого количества магнитных контуров на одной и той же подложке, адресуемых индивидуально при помощи электронных мультиплекторов и демультиплекторов;

фиг. 8 - схематическая иллюстрация укладки стопкой некоторого количества подложек, каждая из которых содержит некоторое количество контуров с данными, с целью получения трехмерного куба памяти.

На фиг. 2 показан вентиль НЕ, аналогичный вентилю, приведенному на фиг. 1, но специально приспособленный, чтобы оптимально соответствовать настоящему изобретению, имея форму циклоиды. Вентиль получен при помощи обработки сфокусированным ионным лучом пленки пермаллоя ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) толщиной 5 нм на кремниевой подложке. Магнитному материалу на изображении соответствует только яркий белый тон, другой контрастный ему тон, получился в результате многоступенчатого процесса обработки во время изготовления вентиля. На фиг. 2а показан вентиль, у которого его выход соединен в обратном направлении со входом при помощи планарной магнитной проволоки таким образом, что сформирован замкнутый контур. Фиг. 2b дает крупный план структуры вентиля, которая имеет форму циклоиды. На фиг. 2с показаны результаты магнитооптических измерений в точках I и II. Налицо задержка длительностью в полпериода между изменением состояния входа (кривая I) и выхода (кривая II),

причем задержка равна одной второй периода приложенного вращающегося магнитного поля, что соответствует функции памяти.

Фиг. 3 дает объяснение инвертирующему действию циклоиды и, в частности, происхождению этой задержки. В условиях низких значений напряженности магнитного поля направление намагниченности внутри субмикронных планарных ферромагнитных проволок из-за сильной магнитной анизотропии формы стремится расположиться вдоль продольной оси проволоки. Когда две противоположно направленные намагниченности встречаются внутри проволоки, переориентация магнитных моментов последовательно расположенных атомов происходит не резко, а постепенно на протяжении определенного расстояния, в результате чего образуется доменная стенка.

В настоящий момент известно, что доменные стенки могут распространяться по прямой субмикронной магнитной проволоке при приложении магнитного поля, параллельного проволоке. При использовании настоящего изобретения прикладывается магнитное поле, вектор напряженности которого поворачивается с течением времени в плоскости образца, что может быть использовано для продвижения доменных стенок по магнитным проволокам, которые также меняют направление и огибают углы. Вращение по часовой стрелке или против часовой стрелки определяет хиральность магнитного поля. Доменная стенка должна продвигаться, огибая угол магнитной проволоки, при том условии, что поле и угол имеют одну и ту же хиральность. Однако хиральность угла зависит от направления продвижения доменной стенки, так что внутри вращающегося магнитного поля данной хиральности доменная стенка будет способна пройти через данный угол только в одном направлении. Это удовлетворяет важному требованию любых логических систем о том, что должно существовать однозначно определенное направление потока сигнала. Два стабильных направления намагниченности в субмикронных магнитных проволоках предоставляют естественные средства представления двух булевых логических состояний, и это вместе с использованием вращающегося магнитного поля составляет базу для функционирования каждого логического элемента запоминающего устройства.

Циклоида, изображенная на фиг. 3, обеспечивает выполнение инвертирующей функции и демонстрирует функциональные возможности вентиля НЕ при помещении его в соответствующее вращающееся магнитное поле. Представьте, что магнитное поле вращается в направлении против часовой стрелки. Доменная стенка, прибывающая в пункт «Р» (фиг. 3В) узла, будет продвигаться, огибая первый угол узла (фиг. 3С), и далее до пункта «Q» по мере того, как вектор напряженности приложенного поля поворачивается от горизонтального к вертикальному направлению. Намагниченность между пунктами «Р» и «Q» теперь будет непрерывной (фиг. 3В). Далее по мере того, как вектор напряженности магнитного поля продолжает свое вращение в сторону противоположного горизонтального направления, доменная стенка должна продвигаться, огибая второй угол узла, выйдя в пункте «R» и восстановив непрерывную намагниченность между пунктами «Q» и «R». Намагниченность проволоки непосредственно после узла теперь должна быть противоположной по направлению по сравнению с намагниченностью проволоки непосредственно перед узлом. Этот узел должен, следовательно, выполнять требуемую функцию НЕ с задержкой на распространение сигнала, равной половине периода поля. Эта операция аналогична тому, как разворачивается машина, при выполнении трехпозиционного разворота.

Таким образом, между прибытием стенки в точку входа и уходом ее из точки выхода имеется общая временная задержка длительностью в половину периода. В данном изобретении мы устанавливаем, что данная синхронная задержка имеет связанную с ней функцию памяти, которая может быть использована путем соединения большого количества магнитных вентилях НЕ последовательно и последующей передачей выходного сигнала этой цепочки назад на вход.

На фиг. 4 показан редуцированный вариант изобретения, в котором три вентиля НЕ были соединены в цепочку, и выходной сигнал цепочки подавался на начало цепочки по планарной магнитной проволоке. В устройство вводили две различные последовательности битов данных при помощи приложенных специальным образом магнитных полей и затем, начав вращение магнитного поля, начали круговое перемещение данных по контуру.

Кривая I, приведенная на фиг. 4b, показывает циркулирующую по цепочке простую последовательность битов: структура сигнала повторяется каждые 5 циклов вращающегося поля. Кривая II, приведенная на фиг. 4b, показывает циркуляцию по контуру более сложной последовательности с периодом равным 5 циклам вращения поля. Последовательность битов данных сдвигается на один шаг вправо за каждый полный цикл вращающегося поля. Эти данные были получены с использованием поля, вращающегося против часовой стрелки, и поэтому данные циркулировали по магнитному кольцу в направлении против часовой стрелки. Было установлено, что изменение направления вращения поля на направление по часовой стрелке приводит к тому, что данные меняют свое направление на противоположное, и начинают циркулировать по магнитному кольцу в направлении по часовой стрелке.

На фиг. 5 показан тест предлагаемого в изобретении устройства, использующего 11 вентилях НЕ. На фиг. 5b показана простая последовательность битов, циркулирующая по контуру, с периодом повторения, равным 13 циклам вращающегося поля.

Данные записываются в каждый контур при помощи полученного литографическим способом прохода с электрическим током, проходящего поверх или под планарной магнитной проволокой. Данные

считываются из каждого контура при помощи магнитного туннельного перехода присоединенного к одному участку контура или при помощи измерения электрического сопротивления доменной стенки при нахождении ее в одном из углов проволоки или при помощи измерения электрического сопротивления доменной стенки при нахождении ее в одном из вентилях НЕ.

На фиг. 6 показаны примеры этих способов ввода/вывода данных. Данные записываются в контур при помощи полученного литографическим способом провода (61) с электрическим током, проходящего поверх или под кольцом. Данные циркулируют по контуру в направлении, указанном стрелкой А. Данные считываются из контура либо при помощи образования магнитного туннельного перехода между двумя электрическими контактами (62) в одной точке контура (верхний рисунок) или при помощи наложения двух электрических контактов (63) для измерения электрического сопротивления любой доменной стенки, содержащейся в пределах маленькой части кольца (нижний чертеж).

В варианте осуществления данного изобретения (не показанном на фигуре) магнитное проводящее звено само не образует замкнутого контура с узлами инверсии, но, напротив, образует линейную цепочку узлов инверсии, имеющую устройство записи данных на одном конце цепочки и устройство считывания данных на другом конце цепочки. В этом случае необходимо, чтобы внешние цепи управления подавали электронным способом данные назад, с выхода цепочки на вход цепочки, таким образом, чтобы данные по-прежнему были способны циркулировать по очевидно замкнутому контуру.

Замкнутые контуры находятся в магнитном поле, вектор напряженности которого поворачивается с течением времени в плоскости контуров с частотой вращения, находящейся в пределах 1 Гц - 200 МГц. Модуль напряженности поля может быть постоянным при вращении поля, что придает годографу вектора напряженности магнитного поля форму окружности, или этот модуль может изменяться, что придает годографу вектора напряженности магнитного поля эллиптическую форму. Это может быть достигнуто в небольших по площади устройствах путем размещения под контурами электромагнитной полосковой линии и последующего пропускания переменного электрического тока по этой полосковой линии. В устройствах, занимающих большую площадь, подложка, несущая на себе контуры, размещается внутри четырехполюсного электромагнита.

Модуль напряженности магнитного поля должен быть достаточно велик, чтобы обеспечить возможность продвигать доменную стенку по всему ее пути через каждый ventиль НЕ, но не настолько велик, чтобы доменные стенки могли зарождаться независимо от механизма ввода данных. Поле, которое требуется для продвижения доменной стенки через каждый ventиль НЕ, может быть настроено путем изменения толщины проволоки контуров, ширины проволоки контуров и магнитного материала, использованного для изготовления контура. Данное поле должно быть достаточно большим, чтобы устройство не подвергалось стиранию от воздействия окружающих магнитных полей рассеяния. Если стирание под действием полей рассеяния представляет реальную угрозу, то устройство, предлагаемое в изобретении, может быть экранировано при помощи мю-металла. Оптимизированное устройство будет использовать напряженности приложенного поля в диапазоне 50-200 Э.

Устройство, предлагаемое в изобретении, может, как показано на фиг. 7, содержать на одной подложке большое количество контуров с данными, при этом для адресации к нужному контуру используются электронные мультиплексоры и демультимплексоры. На фигуре ряд контуров показан расположенным между формирователями сигнала и мультиплексорами (71), обеспечивающими запись данных, и демультимплексорами и усилителями (72), обеспечивающими считывание данных.

Для приведенного варианта применения следует найти оптимальное соотношение между количеством контуров и количеством вентилях НЕ. Небольшое количество контуров, каждый из которых содержит большое количество вентилях НЕ, можно очень просто и дешево объединить в один модуль, но это чревато отказом всего устройства в случае, если в силу производственных дефектов неисправен один ventиль НЕ. Такое объединение также будет иметь большое время доступа к данным, поскольку придется ждать истечения в среднем большого количества циклов синхронизации, пока данный блок данных совершит свое круговое перемещение в позицию считывания. Большое количество контуров, каждый из которых содержит малое количество вентилях НЕ, будет весьма устойчиво к отказам отдельных вентилях НЕ (контур, содержащий неисправный ventиль, может быть с легкостью удален из схемы, не снизив при этом заметно общую емкость запоминающего устройства) и будет иметь малое время доступа, но потребует организации большого количества точек считывания и записи (и, следовательно, повлечет более высокие издержки), при этом будет более сложно объединить большое количество контуров в один корпус интегральной схемы. На всех фигурах в данном документе показаны контуры, состоящие из 8 вентилях. Это количество является чисто иллюстративным - на практике каждый контур будет содержать многие тысячи вентилях.

Особой отличительной особенностью изобретения является то, что оно при размещении контуров с данными не ограничено двухмерной плоскостью. В отличие от запоминающих устройств на компакт-дисках, на магнитных лентах и на жестких магнитных дисках к поверхности предлагаемого в изобретении устройства не требуется никакого механического доступа. Подложки могут быть уложены друг на друга таким образом, чтобы образовать трехмерный куб памяти, как это показано на фиг. 8. Это дает то преимущество, что позволяет достигнуть гораздо более высоких плотностей размещения данных в запо-

минающем устройстве. Если это желательно, все подложки, содержащиеся в кубе, могут совместно использовать одно и то же приложенное вращающееся магнитное поле, что поддерживает синхронизацию слоев между собой и снижает степень сложности устройства.

Предлагаемое в изобретении устройство может быть сконфигурировано для ввода/вывода одного последовательного потока данных или, если это необходимо, потоки слов данных шириной во множество битов могут храниться с использованием нескольких колец или слоев, расположенных параллельно.

По причине низкого показателя времени доступа изобретение не пригодно для замены основных жестких магнитных дисков в компьютерах. Однако оно может найти свое применение в некоторых из следующих ситуаций (равно как и в других ситуациях):

временное хранение цифровых музыкальных записей для карманных цифровых аудио-плееров, таких как плееры формата MP3. Это применение требует недорогого энергонезависимого перезаписываемого устройства хранения цифровой информации, которая обычно воспроизводится последовательно. Вентиль HE, использующий планарные проволоки шириной 200 нм, занял бы площадь размером 1 мкм<sup>2</sup>. Один слой площадью 1 см<sup>2</sup>, покрытый цепочками с данными, обеспечил бы таким образом хранение последовательно передаваемых данных объемом 12 мегабайтов, что достаточно для 12 мин музыкальных записей качества компакт-диска. Укладка слоев один на другой обеспечит хранение несколько часов аудиозаписей качества компакт-диска при очень низкой стоимости устройства;

временное хранение цифровых фотографий в цифровых фотокамерах. Эту функцию в настоящий момент выполняет электронная флэш-память, которая имеет высокую стоимость и ограниченное количество циклов перезаписи;

энергонезависимое автономное запоминающее устройство для мобильных телефонов, персональных органайзеров, наладонных компьютеров и смарт-карточек.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Запоминающее устройство, предназначенное для хранения цифровой информации в пригодной для чтения форме, которое содержит в себе один или более запоминающих элементов, причем каждый запоминающий элемент содержит планарное магнитное проводящее звено, выполненное с возможностью поддержки и продвижения магнитной доменной стенки, выполненное в форме непрерывной дорожки продвижения, при этом на каждой непрерывной дорожке предусмотрен по меньшей мере один узел инверсии, в котором направление намагниченности доменной стенки, продвигающейся по проводящему звену под действием соответствующего приложенного поля, изменяется, причем каждый узел инверсии содержит в себе участок, на котором в проводящем звене обеспечивается изменение направления от направления первоначальной траектории и последующее изменение направления назад к направлению первоначальной траектории так, что никакая прямая траектория продвижения через этот отклоняющий участок невозможна.

2. Запоминающее устройство по п.1, в котором на каждой непрерывной дорожке предусмотрен по меньшей мере один узел инверсии, в котором направление намагниченности доменной стенки, продвигающейся по проводящему звену под действием соответствующего приложенного поля, по существу изменяется на противоположное.

3. Запоминающее устройство по п.1 или 2, в котором на каждой непрерывной дорожке предусмотрено большое количество узлов инверсии.

4. Запоминающее устройство по любому предшествующему пункту, в котором проводящее звено, чтобы образовать непрерывную дорожку продвижения, выполнено в форме замкнутого контура.

5. Запоминающее устройство по любому предшествующему пункту, в котором проводящее звено не образует полного замкнутого контура узлов инверсии, но образует линейную цепочку узлов инверсии, при этом предусмотрены средства для того, чтобы передавать данные между двумя концами этой цепочки таким образом, что данные по-прежнему имеют возможность циркулировать по очевидно замкнутому контуру, причем эти средства содержат устройство записи данных на одном конце цепочки, устройство считывания данных на другом конце цепочки и дополнительные цепи для электронной передачи данных назад от выхода цепочки ко входу цепочки.

6. Запоминающее устройство по любому предшествующему пункту, в котором отклонения составляют отклонения от первоначальной траектории в проводящем звене на угол 90°.

7. Запоминающее устройство по любому предшествующему пункту, в котором отклонения от первоначальной траектории происходят постепенно на протяжении некоторого расстояния вдоль дорожки проводящего звена.

8. Запоминающее устройство по любому предшествующему пункту, в котором узел инверсии содержит в себе циклоидный участок, входящий в структуру контура проводящего звена или же топологический эквивалент такой структуры.

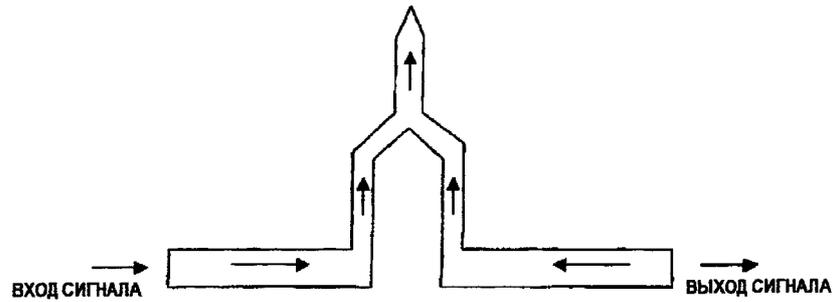
9. Запоминающее устройство по п.8, содержащее множество таких циклоидных участков на каждом контуре.

10. Запоминающее устройство по п.9, содержащее в себе некоторое количество магнитных проводящих звеньев, выполненных в форме замкнутых контуров, каждый из которых содержит в себе множество циклоид, служащих для осуществления резких изменений направления на противоположное в отношении направления намагниченности доменной стенки, проходящей через них.

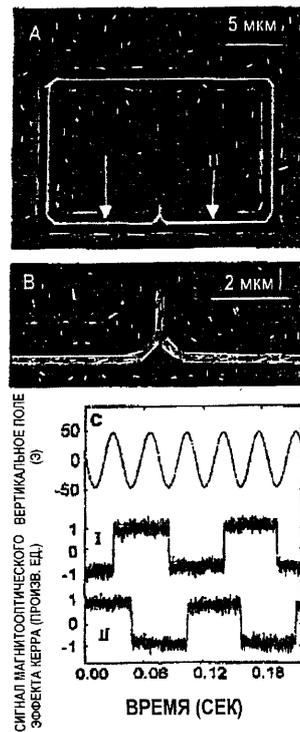
11. Запоминающее устройство по одному из пп.8-10, в котором каждая циклоида имеет радиус поворота в диапазоне от трех до десяти значений ширины проводящего звена.

12. Запоминающее устройство по любому предшествующему пункту, в котором магнитное проводящее звено содержит по существу планарную магнитную проволоку на соответствующей подложке.

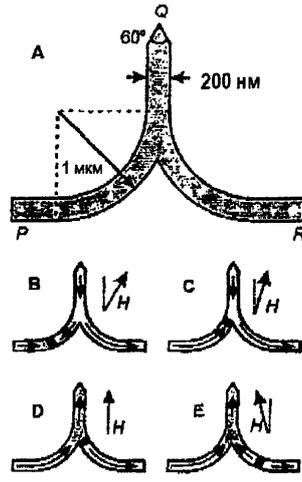
13. Запоминающее устройство по п.12, в котором магнитная проволока представляет собой магнитную нанопроволоку, имеющую толщину в диапазоне от 2 до 25 нм и ширину в диапазоне от 50 нм до 1 мкм.



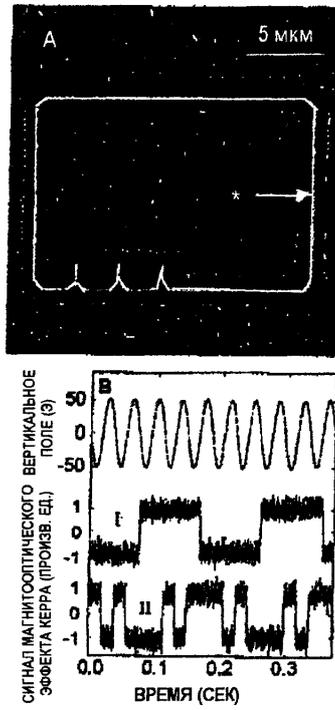
Фиг. 1



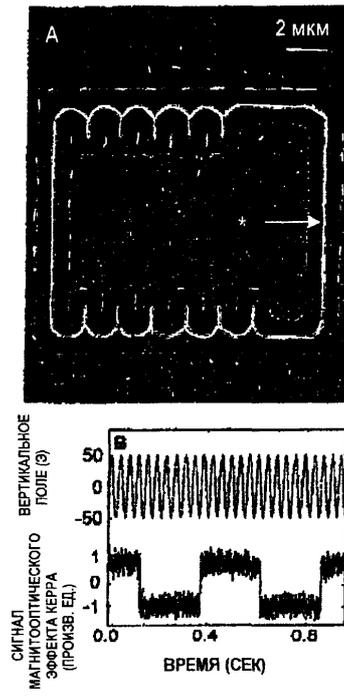
Фиг. 2



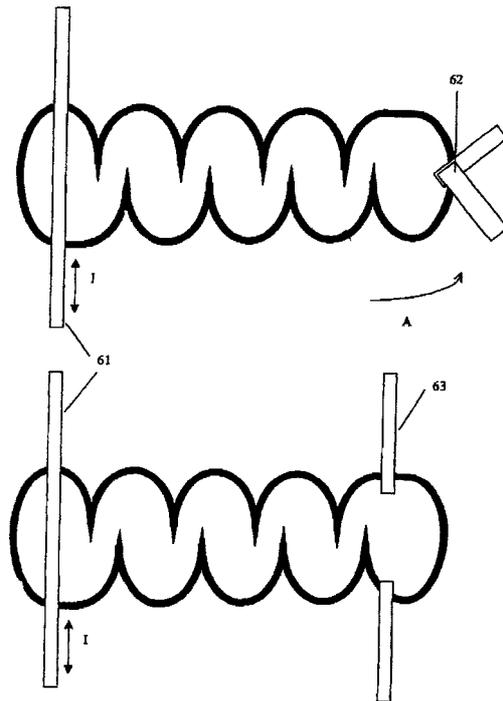
Фиг. 3



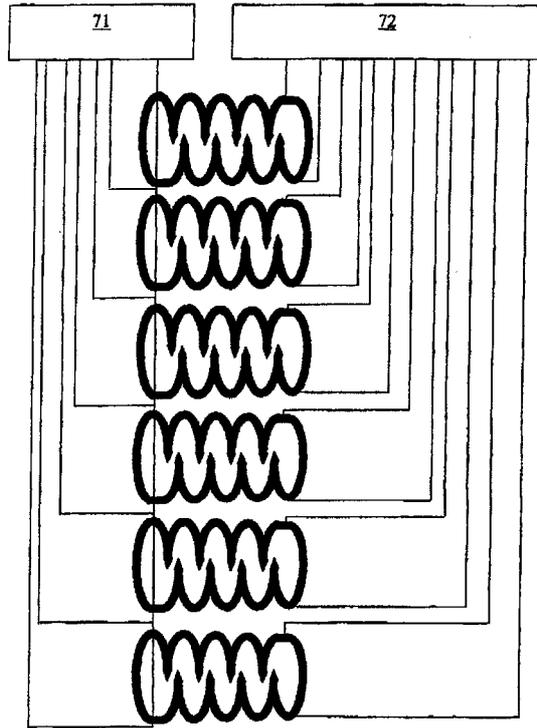
Фиг. 4



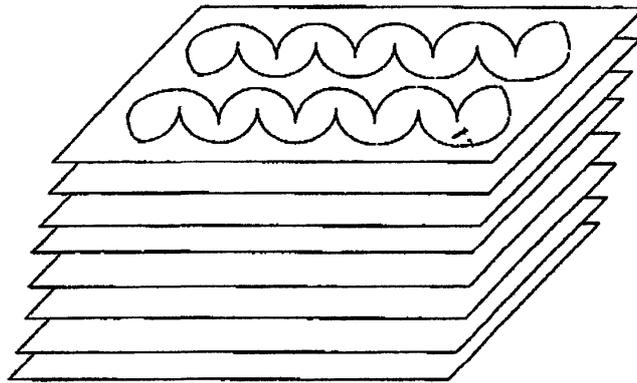
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

