



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104505124 B

(45)授权公告日 2017.07.28

(21)申请号 201510003797.5

(22)申请日 2015.01.06

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104505124 A

(43)申请公布日 2015.04.08

(73)专利权人 北京大学  
地址 100871 北京市海淀区颐和园路5号

(72)发明人 孙广宇 张超 张宪 张炜其

(74)专利代理机构 北京万象新悦知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11360  
代理人 苏爱华

(51)Int.Cl.  
G11C 19/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 101751989 A,2010.06.23,  
US 2011/0051490 A1,2011.03.03,  
CN 101609716 A,2009.12.23,

审查员 耿翠萍

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

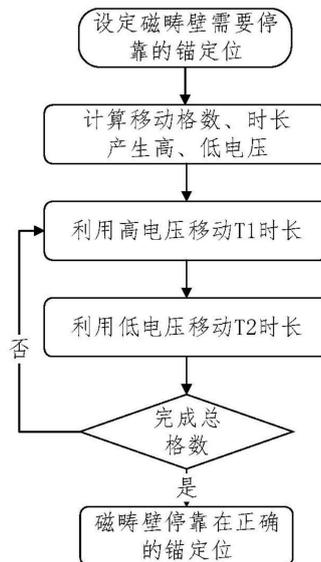
(54)发明名称

一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法及其电路

(57)摘要

本发明公布了一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法及其电路,该方法将小于阈值的电流称为亚阈值电流,通过所述亚阈值电流推动磁畴壁在锚定区域外移动,作为控制磁畴壁移动位置的补充;包括单步移动模式和多步移动模式,依次包括步骤:设定锚定位,准备移动长度和所需电压;利用高阈值电流驱动磁畴壁一段时间;利用亚阈值电流再驱动磁畴壁一段时间;判断移动距离总和是否达到磁畴壁需要移动的距离,直到磁畴壁停靠在锚定位。本发明提高了赛道存储磁畴壁移动的精确性,保证了磁畴壁移动可以较快速的完成,防止了磁畴壁随机移动可能引入的问题,从而提高赛道存储的可靠性与稳定性。

CN 104505124 B



1. 一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法,所述方法通过小于阈值的电流亚阈值电流推动磁畴壁在锚定区域外移动,作为控制磁畴壁移动位置的补充,从而提高赛道存储的可靠性与稳定性,依次包括如下步骤:

1) 设定磁畴壁需要停靠的锚定位,准备移动长度和所需电压

a) 设置移动格数和移动格数需要的时长 $T$ ,移动格数的长度为磁畴壁需要移动的距离长度 $L$ ;

b) 得到高电压和低电压两路电源;

2) 利用高电压提供的高阈值电流驱动磁畴壁一段时间,时长为 $T_1$

c) 利用计时器设置时长 $T_1$ ;包括单步移动模式和多步移动模式;所述多步移动模式将 $T_1$ 设置为步骤a)所述 $T$ 的一部分;所述单步移动模式将 $T_1$ 设置为步骤a)所述 $T$ ;

d) 利用高电压提供时长为 $T_1$ 的驱动电流方波 $P_1$ ,驱动磁畴壁 $T_1$ 时间,使磁畴壁移动的距离长度为 $L_{1i}$ ;

3) 利用低电压提供亚阈值电流再驱动磁畴壁一段时间,时长为 $T_2$

e) 利用计时器设置时长,将时钟设置为时长 $T_2$ ;

f) 利用低电压驱动提供时长为 $T_2$ 的驱动电流方波 $P_2$ ,驱动磁畴壁 $T_2$ 时间,使磁畴壁移动的距离长度为 $L_{2j}$ ;

4) 判断步骤2)和3)使得磁畴壁移动的距离长度的总和是否达到磁畴壁需要移动的距离长度 $L$ ,若达到则磁畴壁停靠在锚定位;若未达到则重复步骤2)和3),直到磁畴壁停靠在锚定位。

2. 如权利要求1所述基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法,其特征是,所述多步移动模式中 $T_1$ 设置为移动一格的时长。

3. 如权利要求1所述基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法,其特征是,步骤e)所述 $T_2$ 为时钟周期的2倍。

4. 如权利要求1所述基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法,其特征是,步骤b)所述高电压为电路输入电压,所述低电压为通过分压模块分压后产生的电压。

5. 一种实现如权利要求1所述磁畴壁移动控制方法的亚阈值电流移动电路,其特征是,包括计时器、分压模块、控制逻辑模块、驱动电路和选择器;所述控制逻辑模块接收移动格数,翻译成移动时间由所述计时器接收;所述计时器通过计数时钟信号进行计时;所述分压模块将输入的高电压降压产生低电压;所述选择器在所述控制逻辑模块的控制下,通过在高电压和低电压间进行选择并传递给驱动电路;所述驱动电路提供磁畴壁移动所需的电流方波。

## 一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法及其电路

### 技术领域

[0001] 本发明属于电路设计领域,涉及微系统结构和电路控制方法,尤其涉及一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法及其亚阈值电流移动电路。

### 背景技术

[0002] 赛道存储(Racetrack Memory, RM),又称为磁畴壁存储(Domain wall memory),是一种基于自旋存储技术的新型非易失存储。赛道存储由于其超高的存储密度和访问速度,目前正逐渐成为学界、业界的研究热点。赛道存储将磁方向编码成需要存储的数据,并存储长条状磁性材料的多个磁畴中。磁畴可以达到非常小的尺寸,因而提供了很高的存储密度。

[0003] 为支持高密度的存储,赛道存储引入了新的操作:移动(shift)。赛道存储的结构特点决定了几乎每次数据访问都需要执行移动操作,因而这将带来对系统稳定性的额外影响。移动操作依靠磁畴壁(Domain Wall, DW)的移动来完成:磁畴壁在自旋电流驱动下,在纳米线上移动并最终停止在锚定区域(pinning site)。然而计算和实验均表明,移动磁畴壁的操作有可能在规定时间内无法使磁畴壁停靠在锚定位,因而使磁畴不能对准访问端口,从而使读出的数据具有不确定性,从而产生错误。我们定义这种磁畴壁移动而产生的错位为停中型位置错误。

[0004] 实验表明,磁畴壁的移动由驱动电流控制,较大的电流可以提供较快的移动速度并通过锚定区域,而当电流小于一个阈值时磁畴壁不能穿出锚定区域,造成磁畴壁不能在锚定区域外移动,从而产生停中型位置错误。目前,该领域尚无现有技术能够有效解决磁畴壁停中型位置错误的问题。

### 发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法及其亚阈值电流移动电路,利用简单的算法和硬件开销,将小于阈值的电流称为亚阈值电流,并利用该电流推动磁畴壁在锚定区域外移动,以作为控制磁畴壁移动位置的补充;在保持较快速移动磁畴壁的情况下,减少停中型位置错误发生概率,解决赛道存储磁畴壁移动的停中型错误的问题,从而提高赛道存储的可靠性与稳定性。

[0006] 以下为本文中的缩略语和关键术语定义:

[0007] RM: Racetrack memory, 赛道存储;

[0008] DW: Domain Wall, 磁畴壁;

[0009] STS: Sub-threshold Shift, 亚阈值移动。

[0010] 本发明提供的技术方案是:

[0011] 一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法,所述方法将小于阈值的电流称为亚阈值电流,通过所述亚阈值电流推动磁畴壁在锚定区域外移动,作为控制磁畴壁移动位置的补充,从而提高赛道存储的可靠性与稳定性,依次包括如下步骤:

[0012] 1) 设定磁畴壁需要停靠的锚定位,准备移动长度和所需电压

[0013] a) 设置移动格数和移动格数需要的时长 $T$ , 移动格数的长度为磁畴壁需要移动的距离长度 $L$ ;

[0014] b) 得到高电压和低电压两路电源;

[0015] 2) 利用高电压提供的高阈值电流驱动磁畴壁一段时间, 时长为 $T_1$

[0016] c) 利用计时器设置时长 $T_1$ ;

[0017] d) 利用高电压提供时长为 $T_1$ 的驱动电流方波 $P_1$ , 驱动磁畴壁 $T_1$ 时间, 使磁畴壁移动的距离长度为 $L_{1i}$ ;

[0018] 3) 利用低电压提供亚阈值电流再驱动磁畴壁一段时间, 时长为 $T_2$

[0019] e) 利用计时器设置时长, 将时钟设置为时长 $T_2$ ;

[0020] f) 利用低电压驱动提供时长为 $T_2$ 的驱动电流方波 $P_2$ , 驱动磁畴壁 $T_2$ 时间, 使磁畴壁移动的距离长度为 $L_{2j}$ ;

[0021] 4) 判断步骤2) 和3) 使得磁畴壁移动的距离长度的总和是否达到磁畴壁需要移动的距离长度 $L$ , 若达到则磁畴壁停靠在锚定位; 若未达到则重复步骤2) 和3), 直到磁畴壁停靠在锚定位。

[0022] 上述基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法包括单步移动模式和多步移动模式; 其中, 多步移动模式是在步骤2) 的c) 中的 $T_1$ 设置为步骤1) 的a) 中的 $T$ 的一部分的模式; 单步移动模式是在步骤2) 的c) 中的 $T_1$ 设置为步骤1) 的a) 中的 $T$ 的模式。

[0023] 上述多步移动模式中 $T_1$ 通常设置为移动一格的时长。

[0024] 针对上述基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法中, 在本发明的实施例中, 步骤3) 的e) 中 $T_2$ 为时钟周期的2倍。步骤1) 的b) 中的高电压为电路输入电压, 所述低电压为通过分压模块分压后产生的电压。

[0025] 本发明还提供一种实现上述磁畴壁移动控制方法的亚阈值电流移动电路, 该电路包括计时器、分压模块、控制逻辑模块、驱动电路和选择器; 所述控制逻辑模块接收移动格数, 翻译成移动时间由所述计时器接收; 所述计时器通过计数时钟信号进行计时; 所述分压模块将输入的高电压降压产生低电压; 所述选择器在所述控制逻辑模块的控制下, 通过在高电压和低电压间进行选择并传递给驱动电路; 所述驱动电路提供磁畴壁移动所需的电流方波。

[0026] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是:

[0027] 本发明提供一种基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法, 利用简单的算法和硬件开销, 将小于阈值的电流称为亚阈值电流, 并利用该电流推动磁畴壁在锚定区域外移动, 以作为控制磁畴壁移动位置的补充; 在保持较快速移动磁畴壁的情况下, 减少停中型位置错误发生概率, 解决赛道存储磁畴壁移动的停中型错误的问题。本发明方法中, 单步移动模式可以在较短的时间内完成移动, 而多步移动模式可以尽可能提高移动的准确性。

[0028] 因此, 本发明方法提高了赛道存储磁畴壁移动的精确性, 同时保证了磁畴壁移动可以较快速的完成, 防止了磁畴壁随机移动可能引入的问题, 从而提高赛道存储的可靠性与稳定性。

## 附图说明

[0029] 图1是本发明提供的亚阈值电流磁畴壁移动控制方法的流程框图。

[0030] 图2是本发明实施例中亚阈值电流移动电路的结构图。

### 具体实施方式

[0031] 下面结合附图,通过实施例进一步描述本发明,但不以任何方式限制本发明的范围。

[0032] 本发明提供的基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法主要包括两个过程:过程1是使用高驱动电流推动磁畴壁移动一个理想长度,该长度通过理论计算和实验测量可得;过程2是在完成过程1之后,使用低于推动阈值的一个小电流(即亚阈值电流)推动磁畴壁移动一个时间长度,使磁畴壁最终停靠在锚定位。图1是本发明提供的亚阈值电流磁畴壁移动控制方法的流程框图,该方法的具体步骤如下:

[0033] 1) 设定磁畴壁需要停靠的锚定位,准备移动长度和所需电压

[0034] a) 计算移动格数和时长T:通过访问的地址信息确定移动总格数,通过查询预先计算的理想移动时长表,得到移动时间T;

[0035] b) 准备高电压和低电压两路电源:从外围电路计入高电压电源,通过分压模块得到低电压产生低电压电源;

[0036] 2) 过程1:利用高电压提供的高阈值电流驱动磁畴壁一段时间

[0037] c) 利用计时器设置时长T1;

[0038] d) 利用高电压驱动T1时间:从两种电压中选择高电压作为输出电压,并在时钟结束后停止,从而提供时长为T1的驱动电流方波P1,使磁畴壁移动距离接近所需长度;

[0039] 3) 过程2:利用低电压提供亚阈值电流再驱动磁畴壁一段时间

[0040] e) 利用计时器设置时长,将时钟设置为时长T2;

[0041] f) 利用低电压驱动T2时间:从两种电压中选择低电压作为输出电压,并在时钟结束后停止,从而提供时长为T2的驱动电流方波P2,移动距离达到所需长度;

[0042] 4) 磁畴壁停靠在锚定位。

[0043] 上述基于亚阈值电流的磁畴壁移动控制方法可包括单步移动模式和多步移动模式;当在步骤2)的c)中设置T1时,只将T1设置为步骤1)的a)中的T的一部分,通常为移动一格的时长,然后循环执行步骤2)和3),直至移动完总共需要的格数,这种模式为多步移动模式;当在步骤2)的c)中设置T1时,将T1设置为步骤1)的a)中的T,这种模式为单步移动模式。如图1所示,在单步移动模式下,“完成总格数”的判断恒为是,因此不存在循环操作;在多步移动模式下,只有在最后一步移动时“完成总格数”的判断为是,其他时刻为否,因此循环执行步骤2)和3)两步。

[0044] 本发明实施例中,所述步骤1)的b)中高电压为电路输入电压,低电压为分压模块分压后产生的电压,可以减少外围电路提供两路电源所导致的绕线开销。

[0045] T1和T2可以通过实际器件的参数计算确定。若材料磁畴壁移动特性是比较容易过冲,则可以将T1相应减小,反之则增大。T2的选择和工艺扰动相关:工艺扰动越大则需要的T2越长,以保证尽可能多的磁畴壁移入锚定区域,同时又不花费太多时间。本发明实施例中所述步骤3)的e)中的T2为2。T2的确定考虑到所应用的电路所提供的方波长度只能为时钟周期的整数倍,而以常见CPU所使用的2GHz时钟主频率计算,一个周期为0.5ns;而根据解磁畴壁移动的一维线性模型可以得到P2需要维持0.8ns,故使 $T2=2$ 。

[0046] 本实施例中,赛道存储的存储单元需要进行一个七格的移动操作,其中,每格的理想时长为2个周期。

[0047] 在单步移动模式的具体步骤中:

[0048] 步骤1) 准备移动长度和所需电压,其中,a) 中的理想移动时长 $T$ 设置为14周期,b) 中从外围电路计入高电压电源 $V_{dd}$ 为1.5V,通过分压模块得到低电压1V;

[0049] 步骤2) 使用高驱动电流推动一个理想长度,其中,c) 中设置 $T_1 = T = 14$ 周期,即设置时钟为时间长度 $T$ ,d) 中从两种电压中选择高电压作为输出电压,并在时钟结束后停止,从而提供时长为14高度为1.5V的驱动电流方波P1;

[0050] 步骤3) 使用低于推动阈值的一个小电流推动一个时间长度,其中,e) 中将时钟设置为时长 $T_2$ 为2周期,f) 中将1V的低电压作为输出电压,提供时长为 $T_2 = 2$ 、高度为1V的驱动电流方波P2;使得磁畴壁移动距离达到所需长度,最终停靠在所需的锚定区域。

[0051] 多步移动模式的具体步骤为:在上述单步移动模式的具体步骤中,将 $T_1$ 设置为2, $T_2$ 设置为2,循环7次完成7格的移动。

[0052] 上述方法所使用的电路结构为亚阈值电流磁畴壁移动方法电路结构,图2是该亚阈值电流移动电路的结构简图。该电路包括计时器、分压模块、控制逻辑模块、驱动电路和选择器。其中,计时器用于设置计时长度,分压模块提供高低电压转换,驱动电路提供对外的输出电流,选择器根据控制逻辑模块选择通过驱动电路的电压。具体地,控制逻辑模块接收移动格数(访问地址),并翻译成移动时间和计时器接收交互。计时器通过计数时钟信号进行计时。分压模块通过将输入的高电压降压后产生低电压(用于亚阈值电流驱动)。控制逻辑模块控制选择器在高、低电压间选择并传递给驱动电路。驱动电路最终提供移动所需的方波。

[0053] 需要注意的是,公布实施例的目的在于帮助进一步理解本发明,但是本领域的技术人员可以理解:在不脱离本发明及所附权利要求的精神和范围内,各种替换和修改都是可能的。因此,本发明不应局限于实施例所公开的内容,本发明要求保护的范围以权利要求书界定的范围为准。

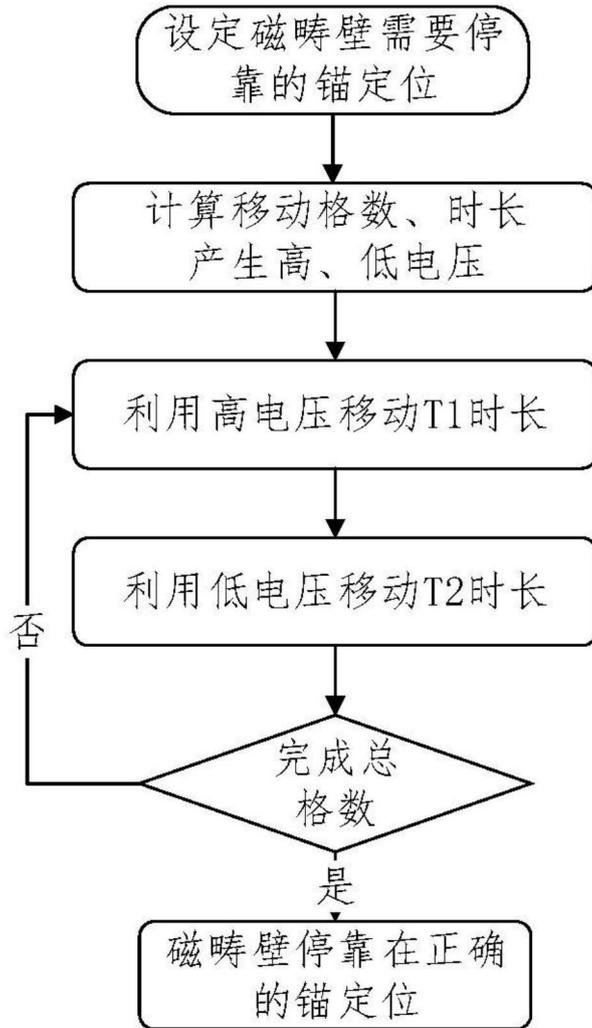


图1

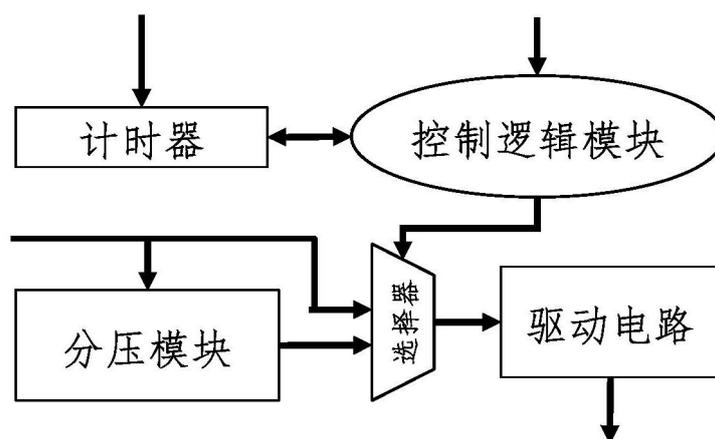


图2