



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102467954 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201110383019. 5

US 2010/0254042 A1, 2010. 10. 07, 全文 .

(22) 申请日 2011. 11. 15

US 2008/0225585 A1, 2008. 09. 18, 全文 .

(30) 优先权数据

审查员 房琦

12/946, 900 2010. 11. 16 US

(73) 专利权人 希捷科技有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 I · 金 王小斌 Y · 陆 习海文

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
31100

代理人 钱孟清

(51) Int. Cl.

G11C 11/16(2006. 01)

H01L 27/22(2006. 01)

H01L 43/08(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2009/0015958 A1, 2009. 01. 15, 摘要, 说明书第 0011-0012、0037-0038、0174-0176 段 .

US 7116529 B2, 2006. 10. 03, 全文 .

CN 1938780 A, 2007. 03. 28, 全文 .

US 2008/0144232 A1, 2008. 06. 19, 全文 .

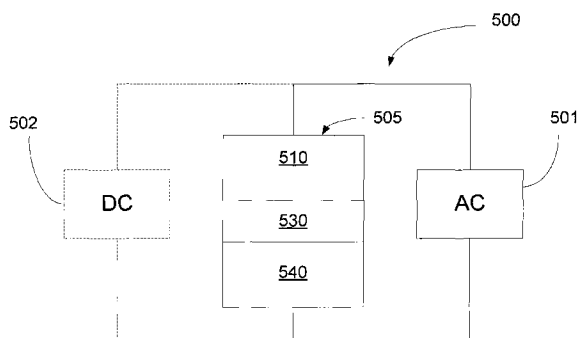
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

切换向平面外的磁性隧道结单元的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种切换向平面外的磁性隧道结单元的铁磁自由层的磁化方向的方法, 该方法包括: 使交流切换电流流经向平面外的磁性隧道结单元, 其中交流切换电流切换铁磁自由层的磁化方向。



1. 一种切换向平面外的磁性隧道结单元的铁磁自由层的磁化方向的方法,所述方法包括:

使交流切换电流流经向平面外的磁性隧道结单元,其中所述交流切换电流切换所述铁磁自由层的磁化方向,并且所述交流切换电流的频率与所述铁磁自由层的旋磁频率相匹配。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述交流切换电流感生绕开所述磁性隧道结单元的磁场。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述磁场在所述铁磁自由层的磁化方向上诱发旋磁驰豫。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述磁性隧道结单元包括铁磁自由层、阻挡层和铁磁基准层,其中所述阻挡层定位在所述铁磁自由层和铁磁基准层之间,并且其中所述交流切换电流从所述铁磁基准层流到所述铁磁自由层。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述磁性隧道结单元包括铁磁自由层、阻挡层和铁磁基准层,其中所述阻挡层定位在所述铁磁自由层和铁磁基准层之间,并且其中所述交流切换电流从所述铁磁自由层流到所述铁磁基准层。

6. 如权利要求 1 所述的方法,还包括:使直流读取电流流经所述磁性隧道结单元,以及感测所述磁性隧道结单元的电阻。

7. 如权利要求 6 所述的方法,其特征在于,所述直流读取电流的振幅比所述交流切换电流的振幅小。

8. 一种磁性存储系统,包括:

具有铁磁自由层、阻挡层和铁磁基准层的磁性隧道结单元,其中所述阻挡层定位在所述铁磁基准层和铁磁自由层之间,并且所述铁磁自由层和铁磁基准层的磁化方向是向平面外的;以及

电连接到所述磁性隧道结单元的交流电源,其中所述交流电源产生交流切换电流,而所述交流切换电流的频率与所述铁磁自由层的旋磁频率相匹配。

9. 如权利要求 8 所述的磁性存储系统,其特征在于,所述铁磁自由层和铁磁基准层的磁化方向是至少基本垂直的。

10. 如权利要求 8 所述的磁性存储系统,其特征在于,所述铁磁自由层和铁磁基准层的磁化方向是垂直的。

11. 如权利要求 8 所述的磁性存储系统,其特征在于,还包括构成阵列的多个磁性隧道结单元。

12. 如权利要求 8 所述的磁性存储系统,其特征在于,还包括电连接到所述磁性隧道结单元的直流电源。

13. 如权利要求 8 所述的磁性存储系统,还包括:构成阵列的多个磁性隧道结单元,其中所述多个磁性隧道结单元中的每一个电连接到所述交流电源;以及直流电源,其中所述多个磁性隧道结单元中的每一个电连接到所述直流电源。

14. 一种电存储数据的方法,包括:

设置向平面外的磁性隧道结存储器单元,所述向平面外的磁性隧道结存储器单元包括铁磁自由层、阻挡层和铁磁基准层,其中所述阻挡层定位在所述铁磁基准层和铁磁自由层

之间,并且所述铁磁自由层和铁磁基准层的磁化方向是向平面外的;以及

使交流切换电流流经所述向平面外的磁性隧道结单元,其中所述交流切换电流切换所述铁磁自由层的磁化方向,由此存储数据位,并且所述交流切换电流的频率与所述铁磁自由层的旋磁频率相匹配。

15. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于,所述交流切换电流感生绕开所述磁性隧道结单元的磁场。

16. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于,所述交流切换电流从所述铁磁基准层流到所述铁磁自由层或从所述铁磁自由层流到所述铁磁基准层。

17. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于,还包括:使直流读取电流流经所述磁性隧道结单元,以及感测所述磁性隧道结单元的电阻。

18. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于,还包括:

使直流读取电流流经所述磁性隧道结单元,并且感测所述磁性隧道结单元的电阻;以及

使第二交流切换电流流经所述磁性隧道结单元以对所述铁磁自由层的磁化方向进行第二次切换。

切换向平面外的磁性隧道结单元的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及切换向平面外的磁性隧道结单元的方法。

背景技术

[0002] 新型存储器已展现出与常用形式的存储器相媲美的显著可能性。例如，非易失性自旋转移 (spin-transfer) 扭矩随机存取存储器 (此处称为 ST-RAM) 作为“通用”存储器已被讨论过。磁性隧道结 (MTJ) 单元由于其高速、相对高的密度和低功耗而在 ST-RAM 的应用中引起了很多关注。

[0003] 大多数活动已集中在具有向平面内的 (in-plane) 磁各向异性的 MTJ 单元。预测具有向平面外的 (out-plane) 磁化方向的 MTJ 单元能够实现比具有相同磁各向异性场的向平面内的 MTJ 单元小的切换电流。因此，向平面外的磁化方向 MTJ 单元以及使用它们的方法引起了极大的关注。

发明内容

[0004] 本公开涉及经常被称为磁性隧道结单元的磁性自旋扭矩存储单元以及使用它们的方法，这些磁性自旋扭矩存储器单元具有与晶片平面垂直对准的、或“向平面外的”关联铁磁层的磁各向异性 (即，磁化方向)。

[0005] 本公开的一个特定实施例是切换向平面外的磁性隧道结单元的铁磁自由层的磁化方向的方法，该方法包括：使交流切换电流流经向平面外的磁性隧道结单元，其中交流切换电流切换铁磁自由层的磁化方向。

[0006] 本公开的另一特定实施例是磁性存储系统，该磁性存储系统包括：具有铁磁自由层、阻挡层和铁磁基准层的磁性隧道结单元，其中阻挡层定位在铁磁基准层和铁磁自由层之间，并且铁磁自由层和铁磁基准层的磁化方向是向平面外；以及电连接到磁性隧道结单元的交流电流源。

[0007] 本公开的又一特定实施例是电存储数据的方法，该方法包括：设置向平面外的磁性隧道结存储器单元，向平面外的磁性隧道结存储器单元包括铁磁自由层、阻挡层和铁磁基准层，其中阻挡层定位在铁磁基准层和铁磁自由层之间，并且铁磁自由层和铁磁基准层的磁化方向是向平面外的；并且使交流切换电流流经向平面外的磁性隧道结单元，其中交流切换电流切换铁磁自由层的磁化方向，由此存储数据位。

[0008] 通过阅读以下详细描述，这些以及各个其他特征和优点将是显而易见的。

附图说明

[0009] 考虑以下结合附图对本公开的各个实施例的详细描述，可更完整地理解本公开，在附图中：

[0010] 图 1A 是说明性 MTJ 单元的示意图；图 1B 是包括可任选钉扎层的说明性 MTJ 单元的示意图；图 1C 是在低电阻状态下具有向平面外的磁化方向的说明性 MTJ 单元的示意图；

图 1D 是高电阻状态下的说明性磁性隧道结存储单元的示意侧视图；

[0011] 图 2A 是示出直流 (DC) 切换电流对磁化方向的旋磁弛豫的影响的示意图；而图 2B 是示出交流 (AC) 切换电流对磁化方向的旋磁弛豫的影响的示意图；

[0012] 图 3 是包括 MTJ 单元和晶体管的说明性存储单元的示意图；

[0013] 图 4 是说明性存储器阵列的示意图；以及

[0014] 图 5 是说明性存储系统的示意图。

[0015] 这些附图不一定按比例示出。附图中所使用的相同数字表示相同部件。然而，应当理解，在给定附图中使用数字表示部件并不旨在限制在另一附图中用相同数字标记的部件。

具体实施方式

[0016] 本公开涉及具有磁各向异性的磁性隧道结 (MTJ) 单元的各个实施例，磁各向异性导致关联铁磁层的磁化方向是与晶片平面垂直对准的、或“向平面外的”。

[0017] 在以下描述中，参考形成本说明书一部分的一组附图，其中通过图示示出了若干具体实施例。应当理解，构想并可作出其他实施例而不背离本公开的范围或精神。因此，以下详细描述不采取限制性含义。本文中所提供的任何定义用于方便理解本文中频繁使用的某些术语，而不旨在限制本公开的范围。

[0018] 除非另外指出，否则在说明书和权利要求书中使用的表示特征大小、量和物理性质的所有数字应当理解为在任何情况下均由术语“约”修饰。因此，除非相反地指出，否则在上述说明书和所附权利要求中阐明的数值参数是近似值，这些近似值可利用本文中公开的教导根据本领域技术人员所寻求获得的期望性质而变化。

[0019] 如本说明书和所附权利要求书中所使用的，单数形式“一”、“一个”和“该”涵盖具有复数引用物的实施例，除非该内容另外明确地指出。如本说明书和所附权利要求书中所使用的，术语“或”一般以包括“和 / 或”的含义来使用，除非该内容另外明确地指出。

[0020] 尽管本公开不限于此，但通过讨论以下所提供的示例将获得对本公开的各个方面的理解。

[0021] 图 1A 示出具有向平面外的磁化方向的说明性 MTJ 单元 100。MTJ 单元 100 包括相对柔软的铁磁自由层 110、铁磁基准（例如，固定）层 140 和氧化物阻挡层 130。铁磁自由层 110 和铁磁基准层 140 被氧化阻挡层 130 或非磁性隧道阻挡层分隔开。MTJ 单元 100 还可被描述为具有定位在铁磁基准层和铁磁自由层之间的氧化物阻挡层。

[0022] 自由层 110 和基准层 140 各自具有相关联的磁化方向。层 110 和 140 的磁化方向不平行于层延伸和其上形成有 MTJ 单元 100 的晶片衬底的平面取向。在一些实施例中，层 110 和 140 的磁化方向可被称为“向平面外的”。在一些实施例中，层 110 和 140 的磁化方向可被称为“至少基本垂直的”。在一些实施例中，层 110 和 140 的磁化方向可被称为“垂直的”。自由层 110 的磁化方向比基准层 140 的磁化方向容易切换。诸如籽晶层、覆盖层、或其他层之类的其他可任选层可包括在 MTJ 单元 100 中，即使它们未在这些附图中示出。

[0023] 自由层 110 和基准层 140 可独立地由诸如例如 Fe、Co、或 Ni 及其合金（诸如 NiFe 和 CoFe）等任何有用铁磁 (FM) 材料制成。自由层 110 和基准层 140 中的一个或两个都可以是单层或多层。组成自由层和固定层的材料的具体示例可包括：具有诸如 TbCoFe、GdCoFe

和 FePt 之类的垂直各向异性的单层 ; 诸如 Co/Pt Co/Ni 多层之类的叠层 ; 以及用诸如 Co/Fe 和 CoFeB 合金之类的高自旋极化铁磁材料层叠的垂直各向异性材料。在一些实施例中, 自由层 110 可包括诸如 Co 之类的高自旋极化层和诸如 GdFeCo 之类的稀土过渡性金属合金层。在一些实施例中, 基准层 140 可包括诸如 Co 之类的高自旋极化层和诸如 TbFeCo 之类的稀土过渡性金属合金层。

[0024] 阻挡层 130 可由诸如例如氧化物材料 (例如, Al_2O_3 、 TiO_x 或 MgO_x) 等电绝缘材料或半导体材料制成。阻挡层 130 可以是单层、或者可以是与另一氧化物或金属 (例如, Mg/MgO 双层) 层叠的层。可取决于工艺可行性和设备可靠性, 用自由层 110 或基准层 140 可任选地图案化阻挡层 130。

[0025] 图 1B 示出 MTJ 单元的另一示例性实施例。该 MTJ 单元 101 包括设置成逼近或毗邻基准层 140 的可任选钉扎层 150。钉扎层 150 (如果存在的话) 则钉扎基准层 140 的磁化方向。在一些实施例中, 这种钉扎层 150 可具有零磁化, 但仍然可钉扎基准层 140 的磁化方向。钉扎层 (如果存在的话) 可以是诸如 PtMn、IrMn 及其他的反铁磁性有序材料 (AFM)。

[0026] 图 1C 示出低电阻状态下的磁性隧道结存储单元 105, 其中自由层 110 的磁化方向与基准层 140 的磁化方向处于相同方向。在图 1D 中, 磁性隧道结单元 106 处于高电阻状态下, 其中自由层 110 的磁化方向处于自由层 140 的磁化方向的相反方向。在一些实施例中, 低电阻状态可以是“0”数据状态、高电阻状态可以是“1”数据状态, 然而在其他实施例中, 低电阻状态可以是“1”、高电阻状态可以是“0”。

[0027] 当流经磁性隧道结单元的磁性层的切换电流变成自旋极化的并且将自旋扭矩施加到自由层 110 上时, 经由自旋转移而发生切换电阻状态并且因此切换磁性隧道结单元的数据状态。当将足够的自旋扭矩施加到自由层 110 时, 自由层 110 的磁化方向可在两个相反方向之间切换, 并且因此, 磁性隧道结单元可在低电阻状态和高电阻状态之间切换。

[0028] 此处公开了切换向平面外的磁性隧道结单元的铁磁自由层的磁化方向, 该切换包括使交流切换电流流经 MTJ 单元的步骤。此处也可被称为“AC”的交流电流是电荷 (或电子) 的移动周期性地反向的电流。流经 MTJ 单元的交流切换电流的施加 (经由如上所讨论的自旋扭矩) 使自由层的磁化方向得以切换。在所公开的实施例中, 旋磁弛豫也有助于切换自由层的磁化方向。这可提供较低切换电流的使用以用来将数据写入 MTJ 单元, 由此允许较少的功耗。

[0029] 磁场的旋磁弛豫可由等式 1 描述 :

$$[0030] \quad \tilde{\tau}_g = (\tilde{M} \times \tilde{H}) \quad (\text{等式 1})$$

[0031] 其中 $\tilde{M}$ 是自由层的磁化饱和, 而 $\tilde{H}$ 是电流所生成的磁场。相反地, 阻尼弛豫可由等式 2 描述 :

$$[0032] \quad \tilde{\tau}_d = \alpha \tilde{M} \times (\tilde{M} \times \tilde{H}) \quad (\text{等式 2})$$

[0033] 其中 $\tilde{M}$ 和 $\tilde{H}$ 如上给出, 并且 α 约为 0.01。由于幅度为 α , 因此在任何给定系统中旋磁弛豫比阻尼弛豫高至少约 100 倍。因此, 如果旋磁弛豫可用于帮助切换铁磁自由层的磁化方向, 则可降低总切换电流。

[0034] 在图 2A 中示意性地示出直流电流对旋磁弛豫的影响。如图 2A 中可见, 直流切换电流在所有方向上将自由层的磁化方向同等地拉 (由实线箭头所示) 离中心, 由此有效地

消除旋磁弛豫的影响。相反地,在图 2B 中示出交流切换电流的影响。如图 2B 中可见,此情况下的旋磁弛豫本身并未消除并且因此帮助切换自由层的磁化方向。在使用交流切换电流的实施例中,交流切换电流可感生绕开 (circumnavigate) 磁性隧道结单元的磁场,如图 2B 中可见。所感生的磁场可在铁磁自由层的磁化方向上诱发旋磁弛豫。这种旋磁弛豫可有助于切换铁磁自由层。由于旋磁弛豫对切换的贡献,可使用较低的切换电流,这可提供可在较低隔离要求的情况下运行的存储器。

[0035] 在一些实施例中,交流切换电流的频率可与铁磁自由层的旋磁频率相匹配。自由层的旋磁频率是自由层的磁性质和自由层的几何结构的函数。旋磁频率一般处于 GHz 频率范围内。

[0036] 交流切换电流可经由阻挡层从自由层流到基准层;或经由阻挡层从基准层流到自由层。

[0037] 所公开的方法还可任选地包括读取或感测 MTJ 单元的电阻状态或数据。可通过使读取电流流经 MTJ 单元来确定 MTJ 单元的电阻状态。在一些实施例中,读取电流可以是直流读取电流。所测量或感测的电阻(或电压)可与基准电阻(或电压)进行比较。在一些实施例中,读取电流的振幅可小于切换电流的振幅。在一些实施例中,振幅比交流切换电流小的直流读取电流可用于读取或感测 MTJ 单元的电阻。

[0038] 此处还公开了电存储数据的方法,该方法包括设置所公开的 MTJ 单元。设置可包括制造、购买、配置用于电存储数据的系统内的 MTJ 单元、或其他动作。该方法还可包括如上所述的使交流切换电流流经 MTJ 单元来切换铁磁自由层的磁化方向。切换铁磁自由层的磁化方向可用来存储数据位,0(例如,如果自由层与基准层平行)或 1(例如,如果自由层与基准层相反)。交流切换电流流经 MTJ 的方向将指示 0 或 1 被存储在 MTJ 中。

[0039] 这种方法还可包括使读取电流流经 MTJ 单元来测量或感测 MTJ 单元的电阻。在读取电流可流经 MTJ 单元之前、之后或两者,第二(和后续)交流切换电流(在相同或不同的方向上)还可流经 MTJ 单元。

[0040] 图 3 是说明性存储单元 300 的示意图,存储单元 300 包括经由导电元件 340 电连接到晶体管 320(诸如基于半导体的晶体管)的 MTJ 单元 310。MTJ 单元 310 可以是本文中所描述的任何 MTJ 单元。晶体管 320 可包括具有掺杂区(例如,示为 n 掺杂区)以及掺杂区之间的沟道区(例如,示为 p 掺杂沟道区)的半导体衬底 350。晶体管 320 可包括栅极 360,栅极 360 电耦合到字线(WL)以允许选择并且允许电流从位线(BL)流到 MTJ 单元 310。

[0041] 还可利用半导体制造技术在半导体衬底上形成可编程金属化存储部件的阵列。图 4 是说明性存储器阵列 400 的示意性电路图。此处描述的多个存储部件 450 可被排列在阵列中以形成存储器阵列 400。存储器阵列 400 可包括多条平行的导电位线 410。存储器阵列 400 还可包括多条平行的导电字线 420,导电字线 420 一般与位线 410 正交。字线 420 和位线 410 可形成交叉点阵列,其中存储部件 450 可被设置在每个交叉点处。可使用常规的半导体制造技术来形成存储部件 450 和存储器阵列 400。

[0042] 此处还公开了存储系统。所公开的存储系统可包括 MTJ 单元和交流电流源。在图 5 中示意性地示出示例性系统。如上所讨论的,磁性存储系统 500 可包括 MTJ 单元 505,MTJ 单元 505 包括自由层 510、阻挡层 530 和基准层 540。系统 500 还可包括电连接到 MTJ 单元 505 的交流电流源 501。虽然此处未示出,但是晶体管还可任选地电耦合到 MTJ 单元 505。

这些系统还可任选地包括例如构成阵列的多个 MTJ 单元。在这种实施例中,多个 MTJ 单元中的每一个可电连接到交流电流源。这些系统还可任选地包括直流电流源 502,直流电流源 502 电连接到 MTJ 单元 505(或多个 MTJ 单元中的每一个)。直流电流源可用于读取或感测 MTJ 单元(或多个 MTJ 单元)的电阻。

[0043] 如本文中所公开的 MTJ 单元可使用各种技术来制造,包括例如等离子体气相沉积(PVD)、蒸镀和分子束外延(MBE)。

[0044] 如本文中所公开的切换 MTJ 单元的方法、存储数据的方法以及存储系统可用于 MRAM 应用中。

[0045] 由此,公开了“切换向平面外的磁性隧道结单元的方法”的各个实施例。上述实现及其他实现在以下权利要求书的范围内。本领域技术人员应当理解,本公开可用除所公开的实施例以外的实施例来实施。所公开的实施例出于说明而非限制的目的而呈现,并且本公开仅由所附权利要求书来限定。

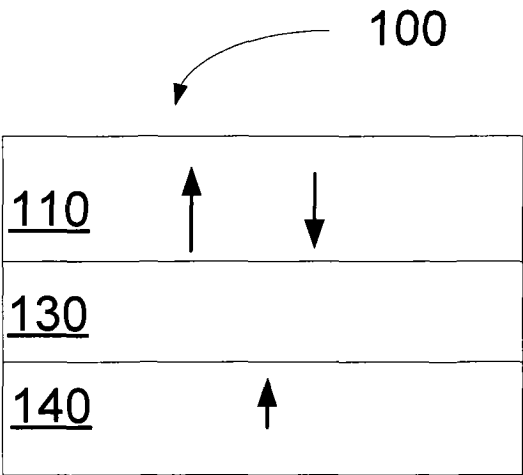


图 1A

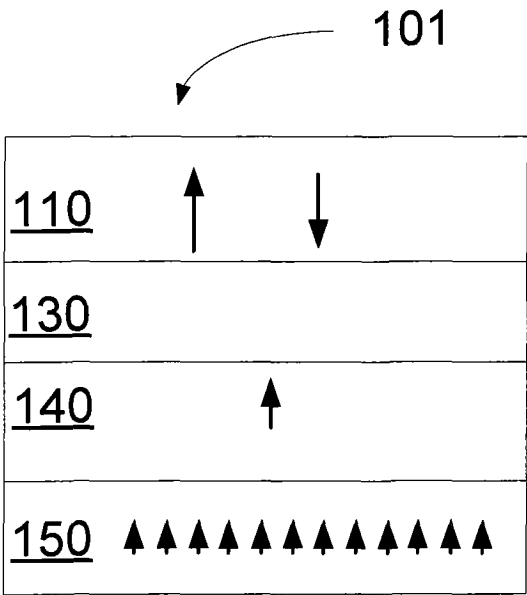


图 1B

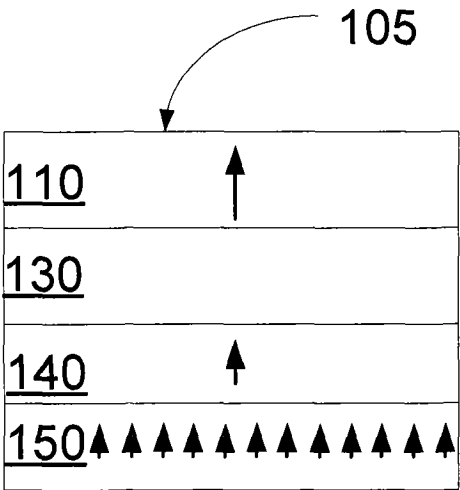


图 1C

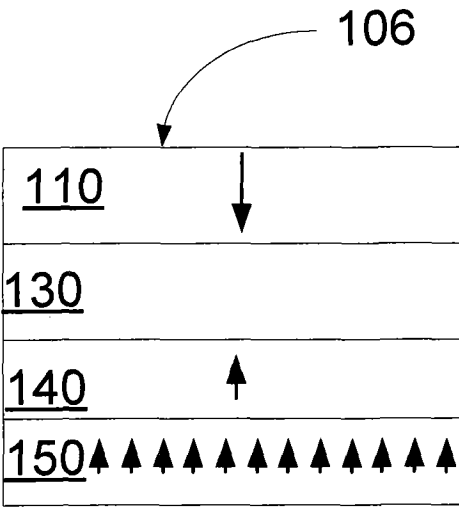


图 1D

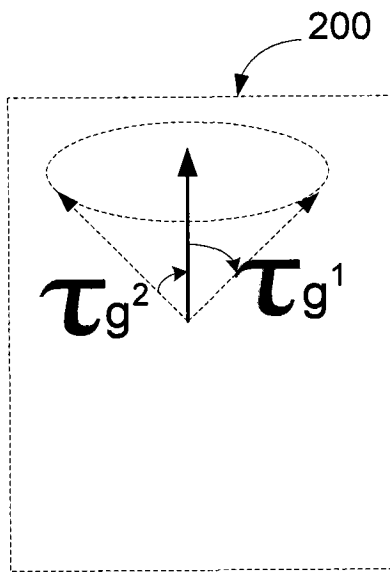


图 2A

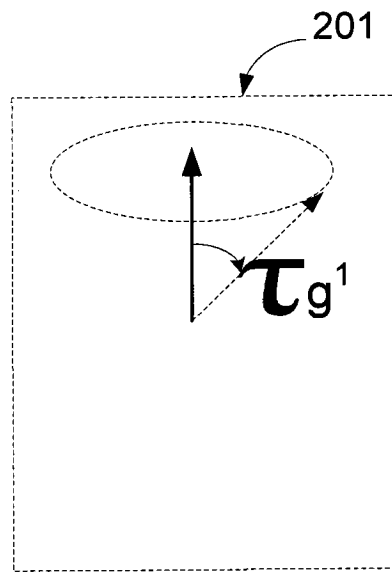


图 2B

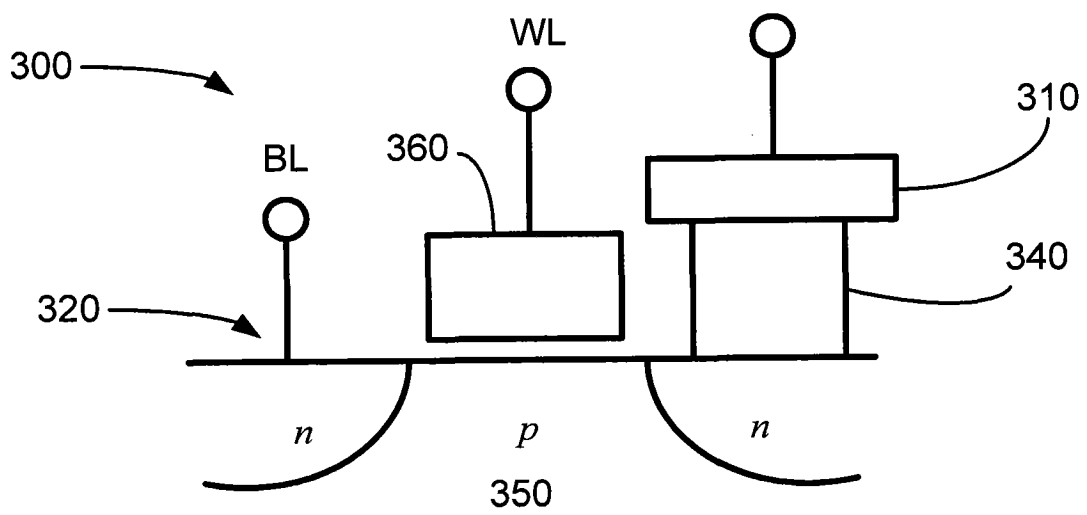


图 3

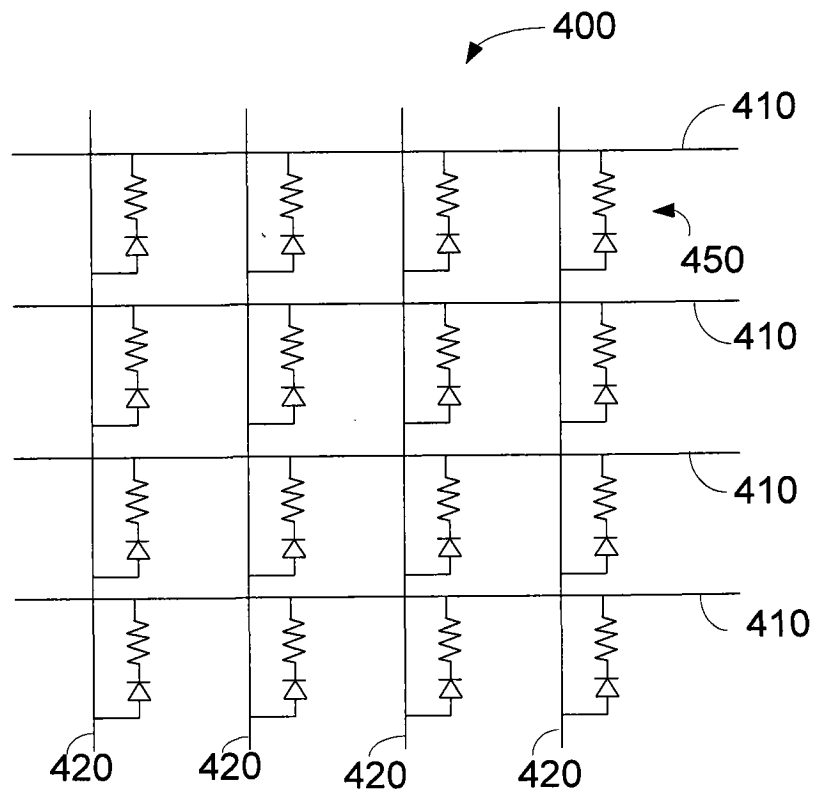


图 4

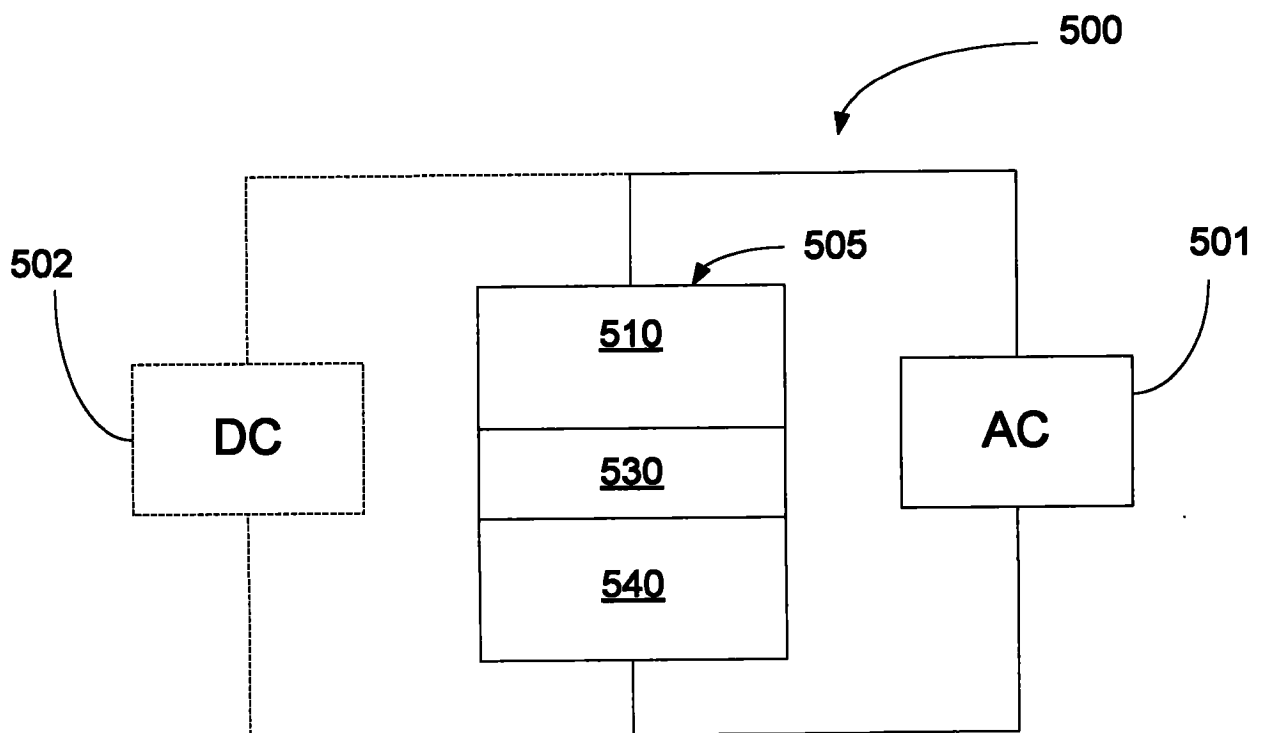


图 5