

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101688903 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 14

(21) 申请号 200880023901. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2008. 07. 04

G11B 5/39(2006. 01)

(30) 优先权数据

审查员 孙建强

0756395 2007. 07. 10 FR

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 01. 08

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2008/058704 2008. 07. 04

(87) PCT申请的公布数据

W02009/007324 FR 2009. 01. 15

(73) 专利权人 法国原子能委员会

地址 法国巴黎

专利权人 国立科学研究中心

(72) 发明人 伯纳德·迪耶尼

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司
11240

代理人 吴贵明

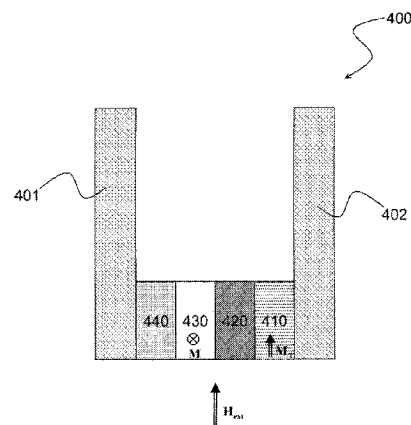
权利要求书3页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

使用侧向自旋转移的低噪音磁场传感器

(57) 摘要

本发明涉及一种磁阻传感器,其包括:第一俘获磁化磁层(410),被称作俘获层;和自由磁化磁层(430),被称作敏感层,在没有外场的情况下,敏感层的磁化基本上垂直于俘获层的磁化,所述俘获层和敏感层由用于磁去耦的第一隔离层(420)隔开。磁阻传感器还包括被称作侧向耦合层的层(440),其位于敏感层的与隔离层相对的一侧,并能够控制侧向自旋转移。



1. 一种磁阻传感器,包括被称作俘获层的第一俘获磁化磁层(410)、和被称作敏感层的自由磁化磁层(430),在没有外场的情况下,所述敏感层的磁化基本上垂直于俘获层的磁化,所述俘获层和敏感层由用于磁去耦的第一隔离层(420)隔开,其特征在于,所述磁阻传感器还包括:被称作侧向耦合层的层(440),其位于所述敏感层的与所述隔离层相对的一侧上,并适于在保持自旋的同时向所述敏感层反向散射电子;以及使直流电流从所述侧向耦合层流向所述俘获层的装置。

2. 根据权利要求1所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一绝缘层,形成第一隧道结。

3. 根据权利要求1所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一断续绝缘层,其适于限制沿着多条电流路径穿过所述隔离层的电流。

4. 根据权利要求1所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一非磁性金属层。

5. 根据权利要求2或3所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层包括第二绝缘层或半导体层,所述第二绝缘层或半导体层形成第二隧道结并具有小于所述隔离层的表面电阻率的表面电阻率。

6. 根据权利要求2或3所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层包括第二断续绝缘层,所述第二断续绝缘层适于限制通过其的电流并具有小于所述隔离层的表面电阻率的表面电阻率。

7. 根据权利要求2、3或4所述的磁阻传感器,其特征在于,所述磁阻传感器包括与所述敏感层直接接触的第二金属层(443),所述第二金属层包含有第三金属层(445)或者附加有第三金属层,所述第三金属层的电阻率比所述第二金属层的电阻率高。

8. 根据权利要求5所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第二绝缘层由氧化铝、MgO或 TiO_x 组成。

9. 根据权利要求5所述的磁阻传感器,其中,所述第二绝缘层由 TiO_x 组成,或由TaO的纳米层组成。

10. 根据权利要求5所述的磁阻传感器,其中,所述第二绝缘层由 TiO_x 组成,或由TaO的纳米层组成。

11. 根据权利要求5所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第二绝缘层通过合金的氧化来实现。

12. 根据权利要求5所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第二绝缘层通过AlCu双层的氧化来实现。

13. 根据权利要求7所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第二金属层由Cu组成,并且其中,所述第三金属层属于由Ta、Ru、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、W、Re组成的组。

14. 根据权利要求2所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第一隔离层由氧化铝、MgO或 TiO_x 组成。

15. 根据权利要求4所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第一非磁性金属层由Cu组成。

16. 根据权利要求1所述的磁阻传感器,其特征在于,所述磁阻传感器还包括合成铁磁层,所述合成铁磁层由第一和第二子磁层组成,所述第一和第二子磁层中间包含反铁磁耦合子层,所述第一子磁层由俘获反铁磁层俘获,所述第二子磁层构成所述俘获层(410)。

17. 根据权利要求 1 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述敏感层由 CoFe 合金组成。
18. 根据权利要求 1 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述敏感层由两个子层组成,一个子层是 Co 或 CoFe 合金层,具有 0.5nm 至 2nm 的厚度,直接位于与隔离层的界面处,另一个子层是具有 1.5 至 5nm 厚度的 NiFe 层。
19. 一种磁阻传感器,包括被称作俘获层的第一俘获磁化磁层 (410)、和被称作敏感层的自由磁化磁层 (430),在没有外场的情况下,所述敏感层的磁化基本上垂直于俘获层的磁化,所述俘获层和敏感层由用于磁去耦的第一隔离层 (420) 隔开,其特征在于,所述磁阻传感器还包括:被称作侧向耦合层的层 (440),其位于所述敏感层的与所述隔离层相对的一侧上,并适于减少电子的侧向散射和 / 或适于产生自旋存储损耗;以及使直流电流从所述俘获层流向所述侧向耦合层的装置。
20. 根据权利要求 19 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一绝缘层,形成第一隧道结。
21. 根据权利要求 19 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一断续绝缘层,其适于限制沿着多条电流路径穿过其的电流。
22. 根据权利要求 19 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一非磁性金属层。
23. 根据权利要求 20 和 21 中任一项所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层具有高电阻率,从而所述侧向耦合层中的电子的平均自由路径比所述敏感层的均匀磁化区域的特征侧向尺寸短。
24. 根据权利要求 20、21 或 22 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层是具有低电阻率的第二金属层,并包括适于导致自旋翻转的杂质。
25. 根据权利要求 24 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述隔离层是第一非磁性金属层,并且所述第二金属层具有比所述第一非磁性金属层的电阻率低的电阻率。
26. 根据权利要求 20 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第一隔离层由氧化铝、MgO 或 TiO_x 组成。
27. 根据权利要求 22 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述第一非磁性金属层由 Cu 组成。
28. 根据权利要求 23 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层由 Ta、Ru 或 Cr 组成。
29. 根据权利要求 23 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层由 NiFeCr 或 NiCoFeCr 合金组成。
30. 根据权利要求 23 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述侧向耦合层由 Ta 和 Cu 的原子单层的叠层结构组成。
31. 根据权利要求 24 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述杂质属于由 Mn、Pd、Ru、Pt、Hf、Ta、W、Re、Ir、Pt、Au 组成的组。
32. 根据权利要求 19 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述磁阻传感器还包括合成铁磁层,所述合成铁磁层由第一和第二子磁层组成,所述第一和第二子磁层中间包含反铁耦合子层,所述第一子磁层由俘获反铁磁层俘获,所述第二子磁层构成所述俘获层 (410)。
33. 根据权利要求 32 所述的磁阻传感器,其特征在于,所述合成铁磁层是 CoFe/Ru/

CoFe, 其中, CoFe 子磁层具有 1 至 5nm 的厚度, 并且 Ru 第一反铁磁耦合子层具有 0.5 至 1nm 的厚度。

34. 根据权利要求 32 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 所述合成铁磁层是 CoFe/Ru/CoFeB 或 CoFe/Ru/CoFe, 其中, CoFe 和 CoFeB 子磁层具有 1 至 5nm 的厚度, Ru 第一反铁磁耦合子层具有 0.5 至 1nm 的厚度, 并且所述第二子磁层由具有面心立方结构的 CoFeB 合金或 CoFe 合金组成。

35. 根据权利要求 32 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 所述俘获反铁磁层由 PtMn、PtPdMn 或 IrMn 组成。

36. 根据权利要求 35 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 所述俘获反铁磁层由具有 15 至 25nm 厚度的 PtMn 组成。

37. 根据权利要求 19 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 所述敏感层由 CoFe 合金组成。

38. 根据权利要求 37 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 所述敏感层由 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 组成。

39. 根据权利要求 19 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 所述敏感层由两个子层组成, 一个子层是 Co 或 CoFe 合金层, 具有 0.5nm 至 2nm 的厚度, 直接位于与隔离层的界面处, 另一个子层是具有 1.5 至 5nm 厚度的 NiFe 层。

使用侧向自旋转移的低噪音磁场传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及磁场传感器的领域,更具体地涉及具有垂直于层的平面的电流几何形状 (géométrie de courant) 的自旋阀的领域。

[0002] 本发明尤其用于磁记录领域。

背景技术

[0003] 磁场传感器应用于众多应用中:用于计算机硬盘的读头、用于读取磁道的装置、磁性墨水、位置编码器、角度编码器、电子罗盘等。

[0004] 磁场传感器是近年来主要研究的目标,以便与硬盘上的记录密度的快速增加同步前进。

[0005] 从 1992 年开始,在计算机硬盘读头中使用的磁场传感器是磁阻型的。在此类型的传感器中,磁场变化改变了磁阻材料的电阻,导致传感器端子处的电压变化。

[0006] 最初的磁阻传感器利用薄磁层的磁阻的各向异性,即利用这种层的电阻根据磁化和施加于其的电流之间的角度的从属性。

[0007] 最近的磁阻传感器以自旋阀为基础。通常将自旋阀定义为由通过非磁性金属的薄层隔开的两个磁层组成的结构。通过与反铁磁性材料的交换相互作用,将一个磁层(称作俘获层 (couche piégée)) 的磁化保持固定。另一磁层(称作自由层或敏感层)的磁化随着施加于其的磁场的变化而自由变化。两个磁层的各自磁化的方向的相对变化导致非磁层中的电阻的变化(称作巨磁阻效应)。例如,在 1994 年于 Journ. Magn. Mater. 136 的第 335 至 359 页发表的 B. Dieny 的名为“自旋阀多层中的巨磁阻”的文章中可发现关于自旋阀的描述。

[0008] 最初的自旋阀使用与根据 CIP(面内电流)构造的层的平面平行的电流几何形状。硬盘上的位尺寸(2006 年大约是 $100\text{nm} \times 40\text{nm}$) 的减小导致具有 CPP(电流垂直于平面)构造的自旋阀的发展, CPP 构造同时具有更高的集成度和更大的磁阻变化。

[0009] 根据此构造,包围磁阻元件的屏蔽 (écrans) 也用作电流输入 (amenée du courant) 和电压端子 (prise de tension)。具体地,在申请 W0-A-97/44781 中可发现具有 CPP 构造的自旋阀的描述。

[0010] 图 1 示意性地示出了使用具有 CPP 构造的自旋阀 100 的磁阻传感器。

[0011] 两个金属屏蔽 101 和 102 用来限制磁场测量区域,并用作电流输入和电压端子。此区域的宽度 d 给出了最大读取分辨率。自旋阀主要由反铁磁性层 110、磁化被层 110 俘获的磁层 120、非磁性薄层 130 和磁化随着外部磁场而自由变化的磁层 140 组成。可通过一对侧向永磁铁(未示出)将偏磁场施加于自由层 140,以便当没有外部磁场时给其预定的磁化方向。

[0012] 如果自由层 140 的磁化方向和俘获层 120 的磁化方向平行,那么自旋阀的电阻小,并且,在其反平行的情况中,自旋阀的电阻大。当将待测磁场施加于层的平面中时,此磁场在所述平面中产生自由层的磁化的旋转。自由层的磁化相对于俘获层的磁化的相对定向确

定自旋阀的电阻。

[0013] 由于构成自旋阀的层的低厚度及其金属特性,具有 CPP 构造的自旋阀具有非常低的电阻。为了制造适于前置放大器的典型输入阻抗(数十欧姆)的阻抗传感器,可以使用具有高表面电阻(以 $\Omega \cdot \mu\text{m}^2$ 测量)的磁阻材料。为此,提出将断续氧化层插入非磁性隔离层中,该断续氧化层用于限制电流路径。然而,此方法导致非常高的电流密度,并由此导致有害于传感器的使用寿命的电迁移现象。最后,最有前途的技术看起来是基于使用磁阻隧道结或 MTJ 的技术。MTJ 结与具有 CPP 构造的自旋阀的区别在于,隔离层 130 由绝缘材料制成,例如由氧化铝或氧化镁 (MgO) 制成。

[0014] 自旋阀的另一限制来源于影响读取信号的噪音。这从各种源中产生。如在 2001 年于 Appl. Phys. Lett. 第 78 期的第 1148 至 1150 页发表的 N. Smith 等人撰写的名为“磁阻头中的白噪音磁化波动”的文章所指出的,当自旋阀具有较低的磁阻相对变化(即,较低的 $\Delta R/R$ 比值,其中, ΔR 是平行和反平行状态之间的电阻变化)时,主要的噪音源是来源于电,更精确地,是从导电电子的布朗运动产生的约翰逊噪音。相反地,如果此比值较高,那么主要的噪音源是来源于磁。事实上,在此情况中,敏感层中的磁化波动可导致传感器电阻的较大波动。这些磁化波动可由热扰动导致,或者可从壁俘获 (piégeage de parois) 或磁域的不稳定性产生。对于相同的耗散功率,当传感器的尺寸更小时,热波动相应地更大。

[0015] 以相同的方式,对于具有低 $\Delta R/R$ 比值的 MTJ 结传感器,主要的噪音源是来源于电,即,隧道结的散粒噪音,而对于具有高 $\Delta R/R$ 比值的 MTJ 结传感器,噪音主要是来源于磁,如上所述。

[0016] 因此,对于具有自旋阀的磁阻传感器或具有非常高的敏感性(即具有高 $\Delta R/R$ 比值)的磁隧道结的磁阻传感器,信噪比 (SNR) 主要取决于来源于磁的噪音。

[0017] 图 2 示出了典型的噪音密度曲线(由 RI^2 标准化,其中, R 是传感器的电阻, I 是穿过其的电流),其根据所测磁场的频率 f 影响磁阻传感器(基于 CPP 自旋阀或磁隧道结)中的测量信号。

[0018] 区分三个不同的噪音状态:

[0019] 在低频区域(被标注为区域 (I),从 0 至数百 MHz)中,测量噪音是白噪音和 $1/f$ 的噪音的总和,该白噪音部分来源于电(约翰逊噪音或散粒噪音),部分来源于磁(传感器的敏感层中的磁化热波动),该 $1/f$ 的噪音来源于偏磁场对敏感层的不充分磁极化。事实上,在敏感层的磁化旋转的过程中,不充分极化可导致敏感层中出现能够不可逆移动的壁或磁化可能跳跃的不稳定磁域。

[0020] 在高频区域(被标注为区域 (III),典型地从大约 1.5GHz 延伸至数十 GHz)中,噪音曲线的形状归因于铁磁共振现象或 FMR。当热激活的 FMR 励磁的频率对应于敏感层的磁化的进动自然频率时,自然地放大热激活的 FMR 励磁。

[0021] 中间区域(被标注为区域 (II))将低频区域与高频区域隔开。在此区域中,主要是白噪音,几乎不存在 $1/f$ 噪音和 FMR 共振。

[0022] 因此,本发明的目的是提供一种具有非常高的性能(高敏感性、小尺寸)同时在有利的频率范围中表现出高信噪比的磁阻传感器结构。

发明内容

[0023] 本发明由包括第一俘获磁化磁层（被称作俘获层）和自由磁化磁层（被称作敏感层）的磁阻传感器定义，在没有外场的情况下，敏感层的磁化基本上垂直于俘获层的磁化，所述俘获层和敏感层由用于磁去耦（*découplage magnétique*）的第一隔离层隔开。

[0024] 根据第一实施方式，磁阻传感器还包括：被称作侧向耦合层（*couche de couplage latéral*）的层，其位于敏感层的与隔离层相对的一侧上，并适于在保持自旋的同时向所述敏感层反向散射电子；以及使直流电流从侧向耦合层流向俘获层的装置。

[0025] 根据第一替代方式，隔离层是第一绝缘层，形成第一隧道结。

[0026] 根据第二替代方式，隔离层是第一断续绝缘层，其适于限制沿着多条电流路径穿过其的电流。

[0027] 根据第三替代方式，隔离层是第一非磁性金属层。

[0028] 根据第一或第二替代方式，侧向耦合层可有利地包括第二绝缘层或半导体层，其形成第二隧道结并具有小于隔离层的表面电阻率的表面电阻率。

[0029] 可替代地，侧向耦合层可包括第二断续绝缘层，其适于限制通过其的电流并具有小于隔离层的表面电阻率的表面电阻率。

[0030] 磁阻传感器可进一步包括与敏感层直接接触的第二金属层，所述第二金属层包含有第三金属层或附加有第三金属层，所述第三金属层的电阻率比第二金属层的电阻率高。

[0031] 根据第二实施方式，磁阻传感器包括：侧向耦合层，其位于敏感层的与隔离层相对的一侧上，并适于减少电子的侧向散射和 / 或适于产生自旋存储损耗（*perte de mémoire de spin*）；以及使直流电流从俘获层流向侧向耦合层的装置。

[0032] 根据第一替代方式，隔离层是第一绝缘层，形成第一隧道结。

[0033] 根据第二替代方式，隔离层是第一断续绝缘层，其适于限制沿着多条电流路径穿过其的电流。

[0034] 根据第三替代方式，隔离层是第一非磁性金属层。

[0035] 根据第一或第二替代方式，侧向耦合层可具有高电阻率，从而所述侧向耦合层中的电子的平均自由路径比敏感层的均匀磁化区域的特征侧向尺寸短。

[0036] 可替代地，根据三个替代方式中的一个，侧向耦合层可以是具有低电阻率的第二金属层，并包括适于导致自旋翻转的杂质。

[0037] 第二金属层可具有比第一金属层的电阻率低的电阻率。

[0038] 第一隔离层可由氧化铝、MgO 或 TiO_x 组成。

[0039] 第一金属层可由 Cu 组成。

[0040] 第二绝缘层可由氧化铝、MgO 或 TiO_x ，或 TaO 的纳米层组成。

[0041] 第二绝缘层可通过合金的氧化或 AlCu 双层的氧化来实现。

[0042] 第二金属层可由 Cu 组成，第三金属层属于由 Ta、Ru、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、W、Re 组成的组。

[0043] 侧向耦合层可由 Ta、Ru 或 Cr 组成。

[0044] 侧向耦合层由 NiFeCr 或 NiCoFeCr 合金组成。

[0045] 侧向耦合层还可通过 Ta 和 Cu 的原子单层的叠层结构组成。

[0046] 适于导致翻转的杂质可属于由 Mn、Pd、Ru、Pt、Hf、Ta、W、Re、Ir、Pt、Au 组成的组。

[0047] 根据第一或第二替代方式的磁阻传感器可进一步包括合成铁磁层，所述合成铁磁

层由第一和第二子磁层组成,所述第一和第二子磁层中间包含反铁磁耦合子层,第一子磁层由俘获反铁磁层俘获,第二子磁层构成所述俘获层。

[0048] 合成铁磁层可以是 CoFe/Ru/CoFe,其中,CoFe 子磁层具有 1 至 5nm 的厚度,并且 Ru 第一反铁磁耦合子层具有 0.5 至 1nm 的厚度。

[0049] 可替代地,合成铁磁层可以是 CoFe/Ru/CoFeB 或 CoFe/Ru/CoFe,其中,CoFe 和 CoFeB 子磁层具有 1 至 5nm 的厚度,Ru 第一反铁磁耦合子层具有 0.5 至 1nm 的厚度,并且第二子磁层由具有面心立方结构 (structure cubique centrée) 的 CoFeB 合金或 CoFe 合金组成。

[0050] 俘获反铁磁层可由 PtMn、PtPdMn 或 IrMn 组成,例如,具有 15 至 25nm 厚度的 PtMn。

[0051] 敏感层可由 CoFe 合金组成,尤其是由 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 组成。

[0052] 可替代地,敏感层可由两个子层组成,一个子层是 Co 或 CoFe 合金,具有 0.5nm 至 2nm 的厚度,直接位于与隔离层的界面处,另一个子层是具有 1.5 至 5nm 厚度的 NiFe。

附图说明

[0053] 参照附图,通过阅读本发明的优选实施方式,本发明的其它特征和优点将会显现出来:

[0054] 图 1 示意性地示出了现有技术中已知的具有 CPP 构造的自旋阀的磁阻传感器;

[0055] 图 2 示出了影响图 1 中的磁阻传感器中的测量信号的噪音密度;

[0056] 图 3A 至图 3D 示意性地示出了磁层中的侧向自旋转移效应;

[0057] 图 4 示意性地示出了根据本发明的磁阻传感器;

[0058] 图 5A 和图 5B 示意性地示出了根据本发明的第一实施方式的两个变型例的磁阻传感器的细节。

具体实施方式

[0059] 本发明的基本想法是,使用侧向自旋转移效应来减少磁阻传感器中来源于磁的噪音。

[0060] 在 2004 年于 Phys. Rev. B. 第 69 卷,054408 中发表的 M. D. Stiles 等人撰写的名为“电流致磁化进动的现象学理论 (phenomenological theory of current-induced magnetization precession)”和在 2004 年于 Phys. Rev. Lett. 第 92 卷,2 号,026602 中发表的 M. L. Polianski 等人撰写的名为“薄纳米级磁体中的电流致横向自旋波不稳定性”中描述了侧向自旋转移效应(在文献中也称作自转矩)。

[0061] 图 3A 至图 3C 示意性地示出了侧向自旋转移现象。

[0062] 这些图示出了自由磁层或敏感层 310 和非磁性金属层 320 之间的界面 (interface)。

[0063] 区分两种情况,其中,假设在图 3A 和图 3B 中,敏感层中的磁化 M 理想地均匀,并且在图 3C 和图 3D 中,敏感层中的磁化 M 出现波动。

[0064] 在图 3A 和图 3C 中,自旋电流从敏感层流至非磁层,即电子从非磁层到达敏感层。相反地,在图 3B 和图 3D 中,自旋极化的电流从非磁层流至敏感层,即电子从敏感层到达非磁层。

[0065] 在图 3A 的构造中,来自非磁层并且具有与磁化 M 反平行的自旋 s 的电子被敏感层反射。然后,所反射的电子被侧向散射并通过电场再次返回至界面,同时,保持其自旋方向。因此,其与敏感层的磁化的相互作用是侧向不变的。然而,如下面图 3C 所示,敏感层的平衡是不稳定的。

[0066] 在图 3B 的构造中,来自敏感层的电子具有其沿着磁化方向 M 被极化的自旋 s ,并在电场的作用下透入非磁层。这些电子中的一些,在其布朗运动中,被反向散射至界面,但是,由于其自旋保持与 M 平行,所以其与敏感层的相互作用是侧向不变的。

[0067] 在图 3C 的构造中,来自非磁层并且具有与敏感层的第一区域 Z_1 的局部磁化 M_1 反平行的自旋 s 的电子在界面处被反射,然后,在返回至具有局部磁化 M_2 的敏感层的另一区域 Z_2 之前被侧向散射, M_2 的方向与 M_1 的方向不同。通过将其磁矩转移至敏感层,将其自旋 s 重新定向为与 M_2 反平行。此转移使 M_2 相对于 M_1 更难以定向。通过增加敏感层磁化的波动,侧向自旋效应使得敏感层不稳定。

[0068] 相反地,在图 3D 中,来自敏感层的第一区域 Z_1 且沿着此区域的局部磁化 M_1 极化的电子,在其布朗运动中,具有不可忽略的在非磁层中被反向散射至界面的可能性。如果其返回至具有局部磁化 M_2 (与 M_1 不同) 的敏感层的区域 Z_2 ,通过将其磁矩转移至敏感层,将其自旋 s 定向为平行于 M_2 。此转移相当于趋向于在 M_1 的方向上与磁化 M_2 对准的转矩。在此情况中,通过使敏感层的磁化均匀,侧向自旋转移效应使得敏感层稳定。

[0069] 侧向自旋转移效应是:通过穿过界面或被界面反射的电子所施加的侧向耦合,敏感层在其自身施加的自旋转移。

[0070] 图 4 示出了根据本发明的传感器的结构。

[0071] 传感器 400 包括两个金属屏蔽 401 和 402,其一方面用于限制磁场测量区域,另一方面用于输入直流电流并获得测量电压。

[0072] 与现有技术中一样,该传感器还包括磁化被反铁磁层(未示出)俘获的第一磁层 410 和构成敏感层的自由磁层 430。非磁性隔离层 420 用于使俘获层和敏感层去耦。隔离层可以是金属层,典型地由 Cu 组成,可选地布置在断续氧化层的中间以限制电流路径,或者隔离层可以是薄绝缘层(例如,氧化铝或氧化镁(MgO))。这分别获得自旋阀、电流限制自旋阀,或磁隧道结。

[0073] 反铁磁层可由合金 IrMn、PtMn、PtPdMn 组成。例如,俘获层是 3nm 的单层 CoFe,或者是将在下面示出的合成反铁磁结构 CoFe/Ru/CoFe 的一部分。

[0074] 第一俘获磁层 410 具有沿着固定方向定向的磁化 M_f ,所述固定方向基本平行于待测的磁场 H_{ext} 的方向。当没有外部磁场时,自由磁层在其平面中具有磁化 M ,该磁化 M 垂直于第一层的磁化。通过用一对位于磁阻元件两侧的侧向永磁铁(例如,由合金 CoCr 制成)来施加偏磁场,可获得此垂直定向。可替代地,在此元件是隧道结的情况下,通过位于隧道结和用于电流输入的金属屏蔽之间的堆栈(栈内偏移(in-stack bias))中的永磁铁层,可获得自由层的磁化的垂直定向。在层的平面和垂直于俘获层平面的平面中选择永磁铁层的磁化。通过部分地封闭隧道结的自由层,由永磁铁层产生的磁场使自由层在期望方向上极化。

[0075] 在敏感层中垂直极化的选择能够获得传感器的线性响应、如同敏感层和俘获层的磁化之间的角度的余弦而变化的自旋阀或隧道结的磁阻。

[0076] 与现有技术不同,传感器 400 进一步包括第二层 440(下面称作侧向耦合层),其用于控制敏感层上的侧向自旋转移效应。

[0077] 根据第一实施方式,传感器包括用于使直流电流从侧向耦合层流向俘获层(即,如图 3D 所示,电子从敏感层到达侧向耦合层)的装置(例如,电流源,未示出)。

[0078] 根据第一实施方式,侧向耦合层适于支持电子向敏感层的反向散射,在此反向散射过程中保持自旋。通常,侧向耦合层 440 包括反向散射层 445,其可能包含在金属层 443 中或附加到金属层 443 上,分别如图 5A 和图 5B 所示。侧向自旋效应使敏感层的磁化稳定,并且,当在图 2 中的区域(I)中使用,由此减小传感器中来源于磁的噪音。

[0079] 侧向耦合层的选择取决于隔离层 420 的性质。事实上,侧向耦合层的电阻与俘获层/隔离层/敏感层堆栈(自旋阀或隧道结)的磁阻串联。然而,耦合层的电阻基本上与所测磁场无关,从而减小传感器的电阻的相对变化 $\Delta R/R$,由此减小其灵敏度。因此,有利地,选择具有基本上小于俘获层/隔离层/敏感层堆栈电阻的电阻的侧向耦合层。

[0080] 例如,如果隔离层是隧道结,那么,根据情况,反向散射层 445 可以是:

[0081] a) 第二隧道结,其相对于第一隧道结更薄和/或具有更低的结高度,该第二隧道结是绝缘的或半导体的;

[0082] b) 电流限制层,即,确保限制电流路径的断续绝缘层;

[0083] c) 具有比金属层 443 更高电阻率的金属层,与敏感层直接接触。

[0084] 第二隧道结/电流限制层的表面电阻率被选择为基本上小于第一隧道结的表面电阻率。

[0085] 如果隔离层是电流限制层,那么,根据情况,反向散射层 445 可以是:

[0086] a) 非常薄的隧道结,其是绝缘的或半导体的;

[0087] b) 第二电流限制层;

[0088] c) 具有比金属层 443 更高电阻率的金属层,与敏感层直接接触。

[0089] 隧道结/第二电流限制层的表面电阻率被选择为基本上小于第一电流限制层的表面电阻率。

[0090] 最后,如果隔离层是金属层,那么反向散射层 445 优选地是具有比金属层 443 更高电阻率的金属层,该反向散射层包含在金属层 443 中或附加到其上,并与敏感层直接接触。

[0091] 为了使电子在其反向散射运动的过程中尽可能地保持其自旋,必须避免向侧向耦合层中引入趋向于产生自旋翻转的元素,例如,Pd、Pt、Mn、Au。

[0092] 根据本发明的第二实施方式,传感器包括使直流电流从俘获层流向侧向耦合层(即,如图 3C 所示,电子从侧向耦合层到达敏感层)的装置(例如,电流源,未示出)。

[0093] 根据第二实施方式,侧向耦合层适于减少电子(由敏感层反射)的侧向散射和/或适于产生反向散射的电子的自旋存储损耗。这样,侧向自旋转移效应不会放大敏感层的磁化波动。这能够将磁阻传感器中来源于磁的噪音保持在相对较低的水平。

[0094] 侧向耦合层的选择还取决于隔离层的性质。

[0095] 例如,如果隔离层是隧道结或电流限制层,那么,根据情况,侧向耦合层可包括:

[0096] a) 具有高电阻率的层,其中,电子具有短的平均自由路径。对于短的平均自由路径,表示比敏感层的均匀磁化区域的特征侧向尺寸小的平均自由路径;

[0097] b) 具有低电阻率但是包含导致电子自旋翻转的杂质的金属层。

[0098] 最后,如果隔离层是金属层,那么侧向耦合层可包括具有低电阻率的且包含导致自旋翻转的杂质的金属层。

[0099] 根据本发明的磁阻传感器可通过以下方式实现。

[0100] 首先,优选地在电流输入电极(例如,一个限制测量区域的金属屏蔽)上沉积非磁性缓冲层。此缓冲层具有促进结构生长的目的,并由例如 5nm 的 NiFeCr 构成。然后,依次实现:

[0101] (a) 第一俘获反铁磁层,例如,由 PtMn、PtPdMn 或 IrMn 构成,优选地,由具有 15 至 25nm 厚度的 PtMn 构成,;然后,继续选项 (b1) 或选项 (b2);

[0102] (b1) 与反铁磁层直接接触的单个磁层,例如,由 CoFe 合金构成的层,富含 Co,具有大约 3nm 的典型厚度。因此,此单层构成根据本发明传感器的俘获磁层;或者

[0103] (b2) 人造铁磁复合层,由以下层组成:

[0104] - 与反铁磁层接触的第一俘获子层,例如,富含 Co 的具有大约 3nm 的典型厚度的 CoFe 合金层;

[0105] - 具有 0.5 至 1nm 的典型厚度的 Ru 反铁磁耦合层;

[0106] - 实际构成传感器 400 的俘获磁层 410 的第二俘获子层。此第二俘获子层可由富含 Co 的 CoFe 组成。如果隔离层是绝缘的(由 MgO 构成),那么第二俘获子层也可由具有面心立方结构的 CoFeB 或 CoFe 组成;

[0107] (c) 构成根据本发明传感器的隔离层的非磁性层。其可以是绝缘的,例如,由氧化铝或 MgO 或 TiO_x 构成,以便实现隧道结。其也可以是金属的(例如,由 Cu 构成),以实现自旋阀。最后,其可以是绝缘体与金属的复合层,例如,由 $Al_{1-x}Cu_x$ 合金的薄层的氧化制成(按体积, x 在 0.005 和 0.05 之间),以实现电流限制结构;

[0108] (d) CoFe 合金的层,富含 Co,尤其是 $Co_{90}Fe_{10}$,其构成根据本发明的传感器的敏感层。此层可由两个子层 Co 和 Fe 的组合交替地形成,具有 1nm 的总厚度,与跟随 3nm 的 NiFe 层的第一隔离层直接接触,以增加上述层的磁性平稳性。

[0109] 然而,如果第一隐藏(sous jacente)隔离层由具有面心立方结构的 MgO 构成,那么优选地使用具有相同结构的 CoFe 合金或者随后可被退火的无定形 CoFeB 合金。从而可避免界面处的晶格失配;

[0110] (e) 侧向耦合层,将根据本发明的实施方式区分侧向耦合层的组成。

[0111] 在第一实施方式的情况中,如上所述,耦合层的组成取决于隔离层的性质。

[0112] 如果隔离层形成隧道结,那么,根据情况,侧向耦合层可包括:

[0113] e_1) 非常薄的第二隧道结,例如,与第一隧道结的材料相同的绝缘层,但是其更薄,例如,在 0.3 至 0.6nm 之间;

[0114] e_2) 能够限制电流路径的断续绝缘层,例如, TiO_x 的层,或非磁性氧化物(例如, TaO) 的纳米层。此断续绝缘层也可通过合金的氧化或包括少量百分比的 Cu 的 AlCu 双层的氧化来实现;

[0115] e_3) 金属双层,包括具有低电阻率的且与敏感层直接接触的第一金属子层和具有比第一子层的电阻率高的电阻率的第二金属子层,或者,其与第一子层的界面具有高电阻率或电子的电位阶跃,例如,第一子层由 Cu 构成和第二子层由 Ta、Ru、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、W 或 Re 构成。

[0116] 如果隔离层是电流限制层,那么侧向耦合层也可以是根据前述选项(e₁)、(e₂)或(e₃)的一个层。对于选项(e₁)和(e₂),隧道结/第二限制层必须具有比第一电流限制层的电阻率小的电阻率。

[0117] 如果隔离层是金属层,那么侧向耦合层将优选地包括:具有低电阻率的且与敏感层直接接触的第一金属子层;以及第二金属子层,该第二金属子层具有比第一子层更高的电阻率或者与第一子层的界面具有更高的阻值或电子的电位阶跃。例如,第一子层可以由Cu构成,第二子层可以由Ta、Ru、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、W或Re构成。

[0118] 在第二实施方式的情况下,如上所述,耦合层的组成取决于隔离层的性质。

[0119] 如果隔离层是隧道结或电流限制层,那么侧向耦合层可包括以下两个选项(e₄和e₅)的一个或另一个:

[0120] e₄具有高电阻率且厚度为0.2nm至几nm的层。例如,此层可以由Ta、Ru、Cr构成或者由NiFeCr或NiCoFeCr合金构成,使电子具有短的平均自由路径。此层也可由Ta和Cu的原子单层的叠层结构组成;

[0121] e₅具有低电阻率但是包含导致电子自旋翻转的杂质的金属层。作为杂质,可使用磁性离子(例如,Mn)和/或具有高自旋轨道耦合的元素(例如,Pd、Ru、Pt、Hf、Ta、W、Re、Ir、Au)。

[0122] 通过在诸如选项(e₄)中描述的高电阻率层中添加导致选项(e₅)中指示的电子自旋翻转的杂质,这两个选项也可组合。

[0123] 最后,如果隔离层是金属的,那么侧向耦合层将按照上述选项(e₅)实现。

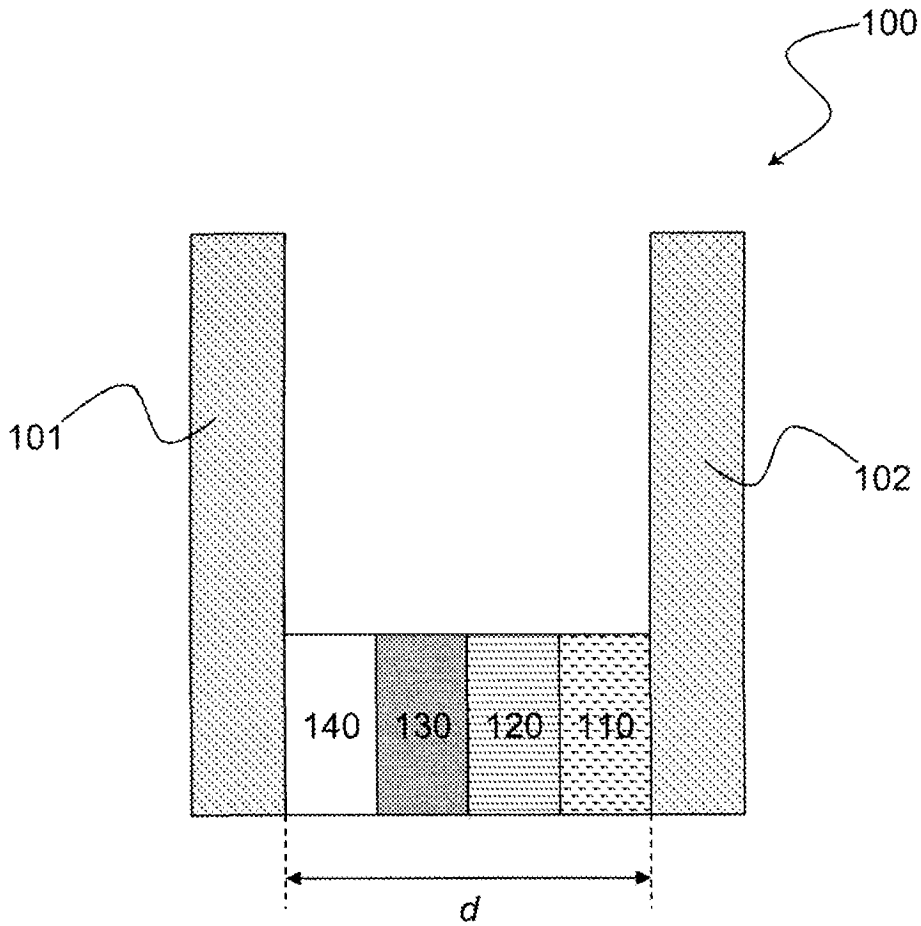


图 1

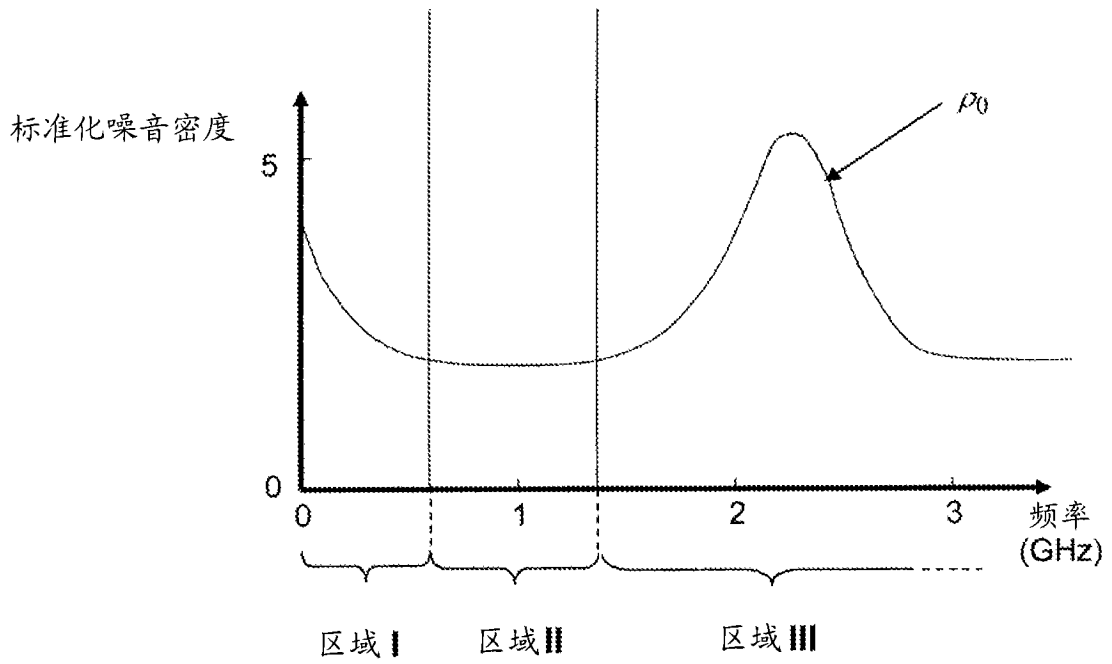


图 2

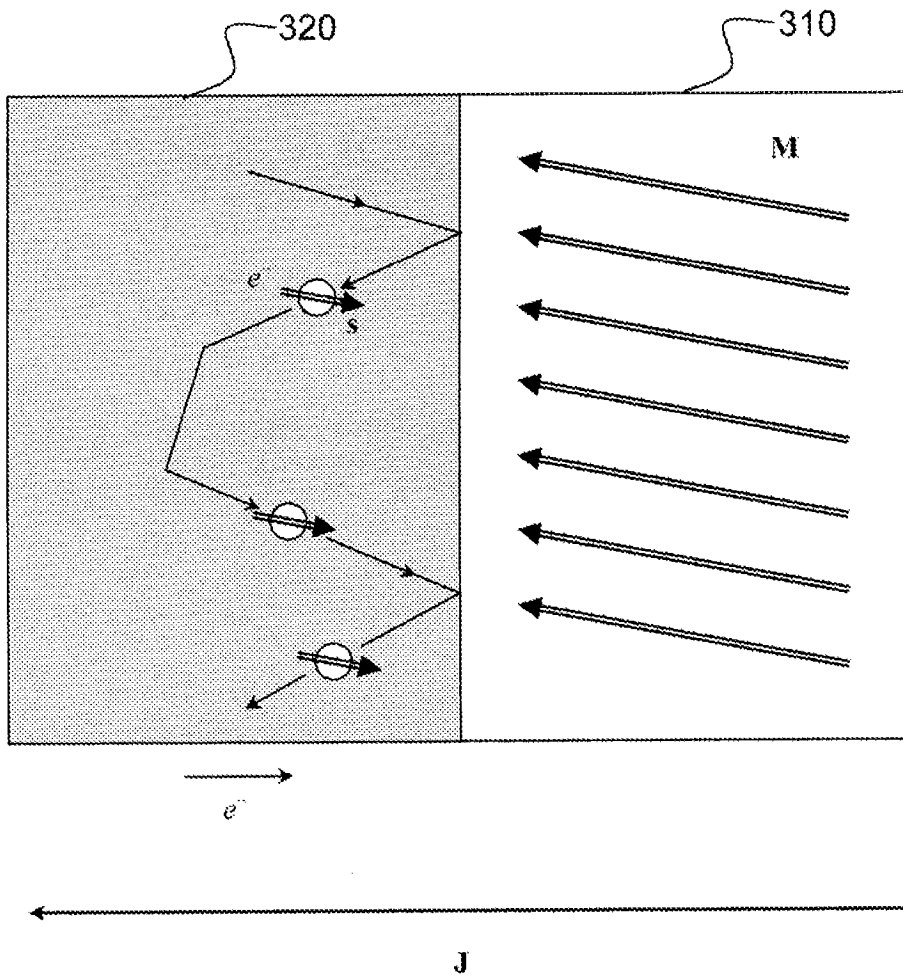


图 3A

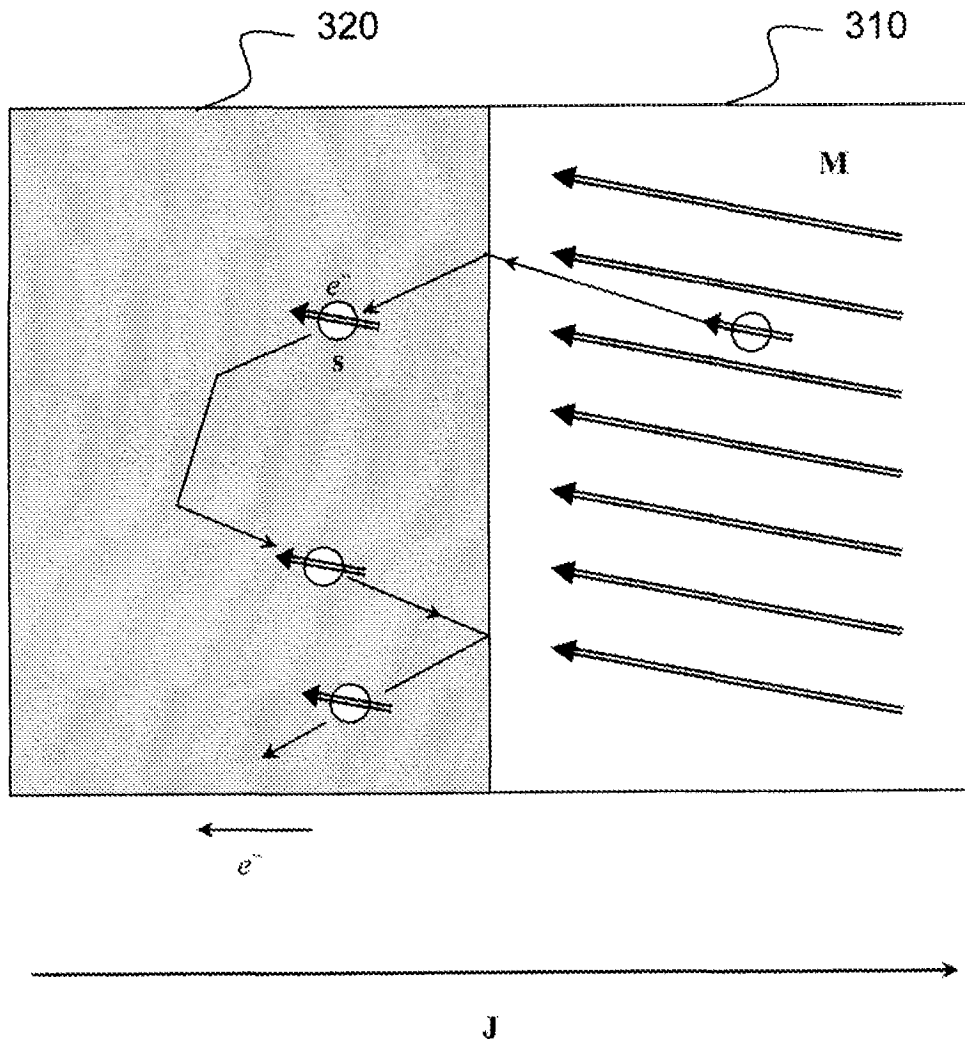


图 3B

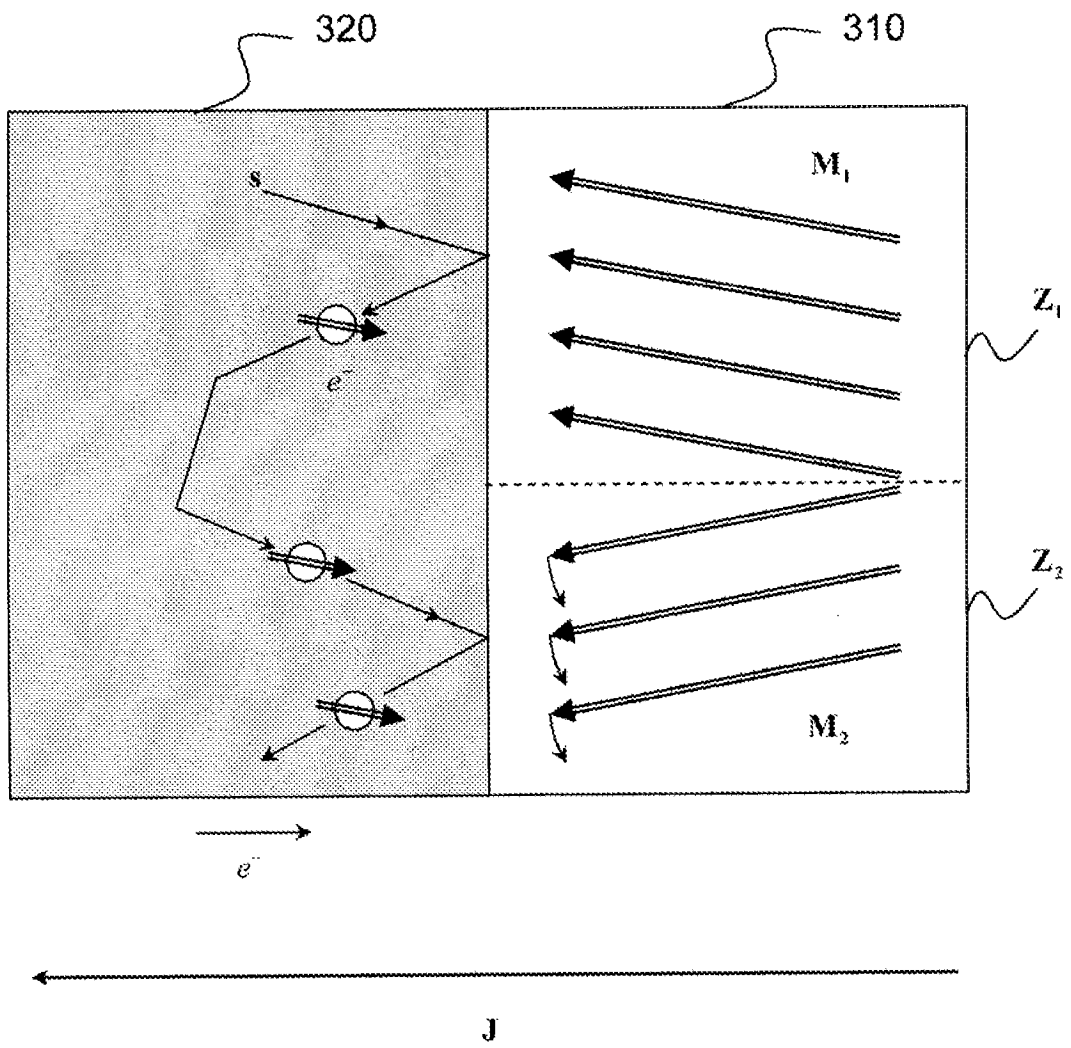


图 3C

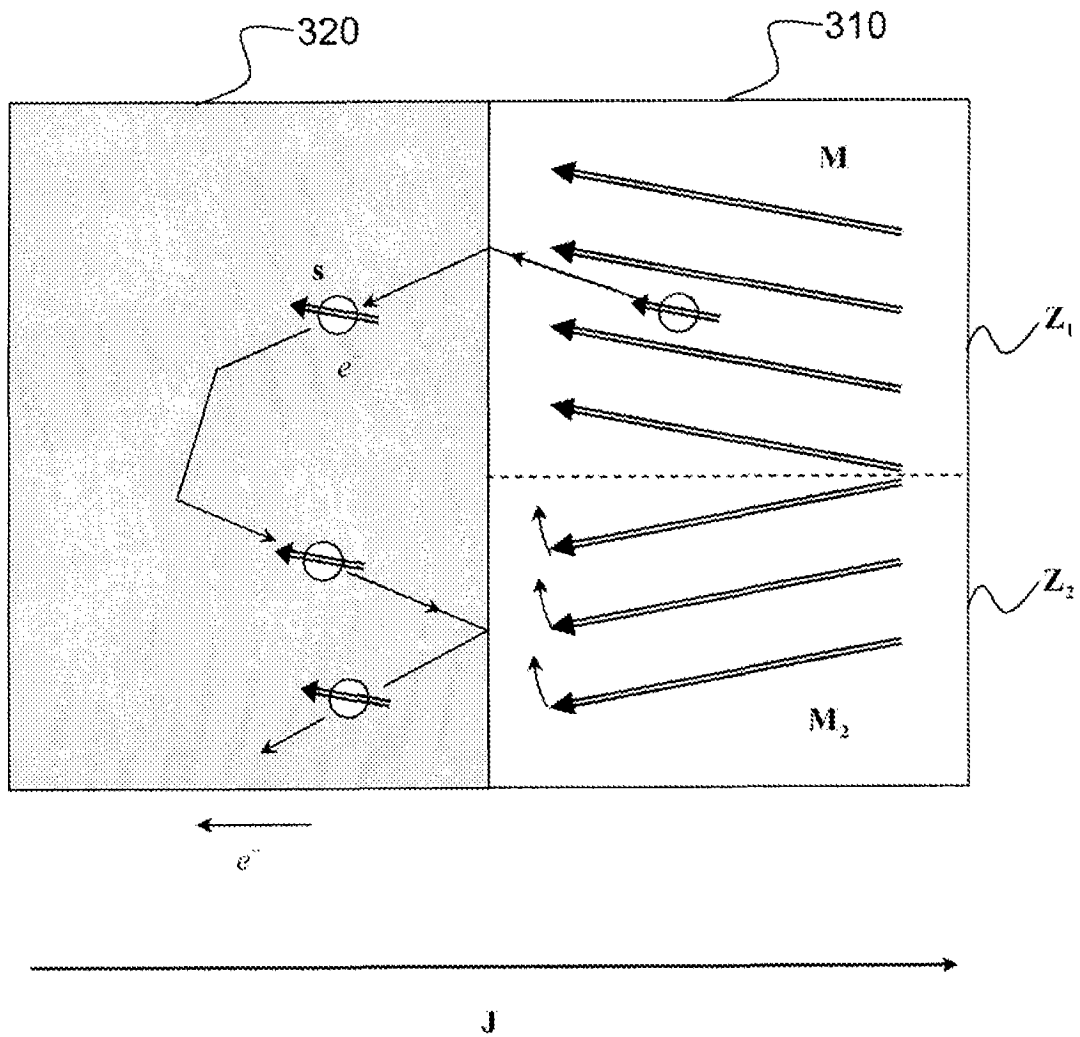


图 3D

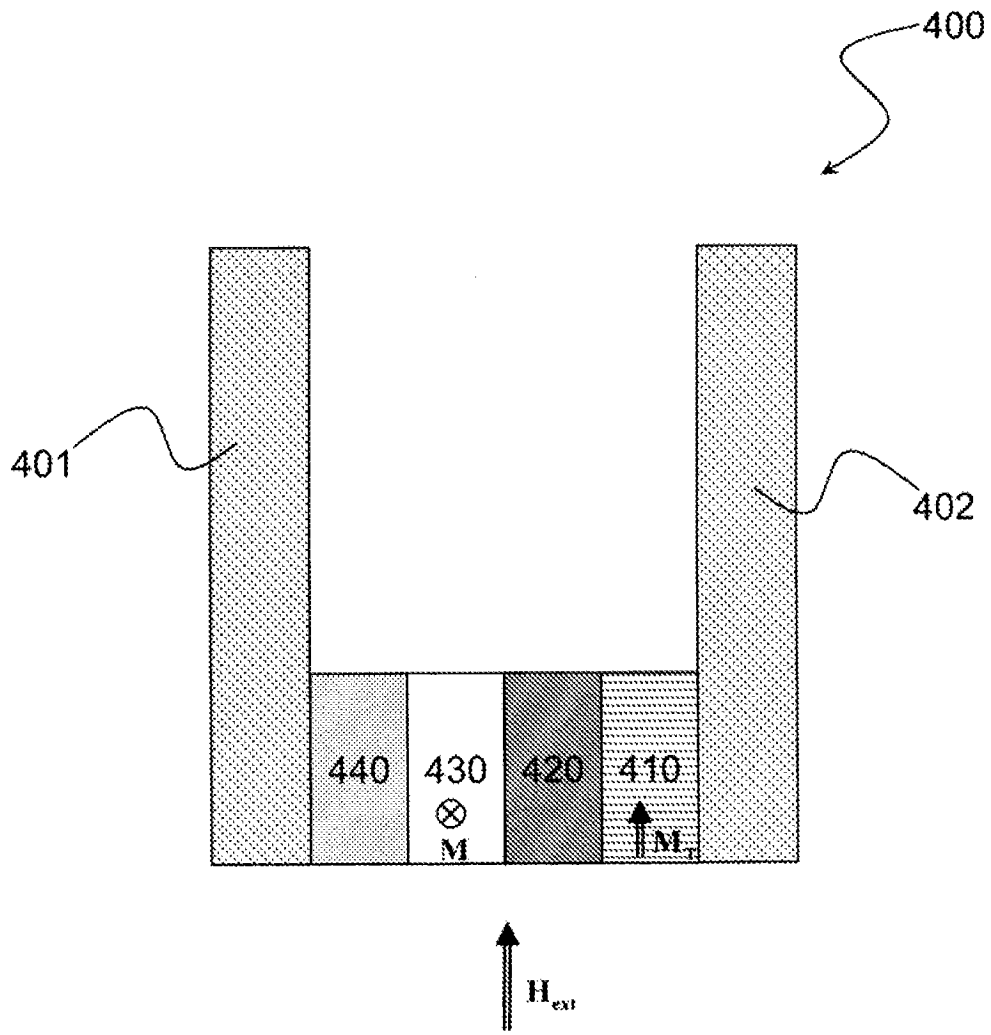


图 4

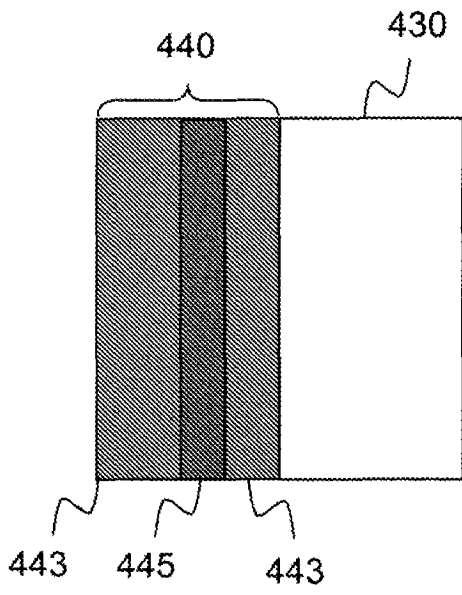


图 5A

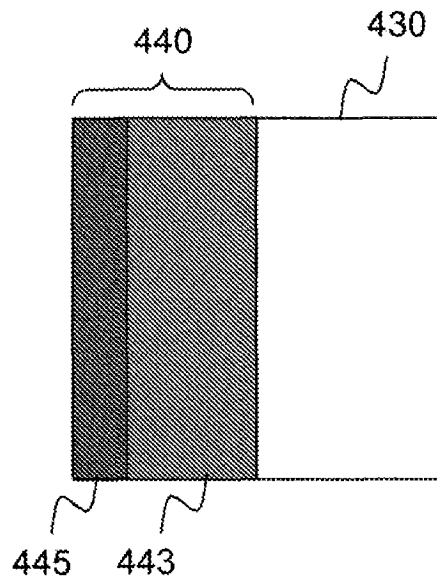


图 5B