



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101300735 B

(45) 授权公告日 2011. 11. 09

(21) 申请号 200680040970. 8

(22) 申请日 2006. 10. 31

(30) 优先权数据
0553321 2005. 11. 02 FR

(85) PCT申请进入国家阶段日
2008. 04. 30

(86) PCT申请的申请数据
PCT/IB2006/054692 2006. 10. 31

(87) PCT申请的公布数据
W02007/052240 EN 2007. 05. 10

(73) 专利权人 原子能委员会
地址 法国巴黎
专利权人 国家科学研究中心

(72) 发明人 贝纳德·迪耶尼
阿利娜-马里亚·德亚克-伦纳

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 高少蔚 李德山

(51) Int. Cl.
H03B 15/00 (2006. 01)
H01F 10/32 (2006. 01)

(56) 对比文件
US 2005219771 A1, 2005. 10. 06, 全文.
US 6958927 B1, 2005. 10. 25, 全文.

US 2005023938 A1, 2005. 02. 03,
US 2003029520 A1, 2003. 02. 13, 说明书第 2 页.
US 5726837 A, 1998. 03. 10, 全文.
US 6781799 B2, 2004. 08. 24, 全文.
US 2005041462 A1, 2005. 02. 24, 全文.
US 5695864 A, 1997. 12. 09, 全文.
M. R. Pufall, W. H. Rippard, S. Kaka, T. J. Silva, S. E. Rus. Frequency modulation of spin-transfer oscillators. 《APPLIED PHYSICS LETTERS》. American Institute of Physics, 2005, 第 86 卷 (第 8 期), 1-3.
A. D. Kent, B. Ozyilmaz, E. del Barco. Spin-transfer-induced precessional magnetization reversal. 《APPLIED PHYSICS LETTERS》. American Institute of Physics, 2004, 第 84 卷 (第 19 期), 3897-3899.
P. M. Braganca, I. N. Krivorotov, O. Ozatay, A. G. F. Garcia, N. Reducing the critical current for short-pulse spin-transfer switching of nanomagnets. 《APPLIED PHYSICS LETTERS》. American Institute of Physics, 2005, 第 7 卷 (第 17

(续)

(续)

审查员 李乐

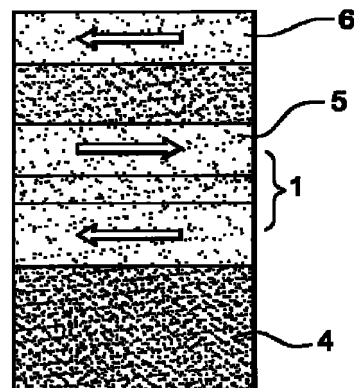
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 3 页

(54) 发明名称
具有自旋极化电流的射频振荡器

材料的单一层中测得的阻尼因子至少大 10% 的高激励阻尼因子。

(57) 摘要

本发明公开了一种射频振荡器, 包括自旋极化电流在其中流动的磁阻器件。该器件包括至少如下层的叠层: 第一所谓的“锚定”磁层 (1), 其具有固定的磁化方向; 第二磁层 (2); 非磁层 (3), 其插入在上述两个层之间, 旨在保证所述层的磁去耦合。该振荡器还包括使所述层中电子的流动垂直于这些层、并且如果可应用对该结构施加外部磁场的装置。对于波长等于或小于流过构成磁阻器件的叠层的电流的圆锥或圆柱范围的磁激励, 第二磁层 (2) 具有比在具有相同几何形状的同



[转续页]

CN 101300735 B

[接上页]

(51) Int. Cl.

H01L 43/08 (2006.01)

(56) 对比文件

期), 1-3.

W. H. Rippard, M. R. Pufall, S. Kaka, T. J. Silva, S. E. Russek. Injection Locking and Phase Control of Spin Transfer Nano-oscillators. 《PHYSICAL REVIEW LETTERS》. The American Physical Society, 2005, 第 95 卷 (第 6 期), 1-4.

I. N. Krivorotov, N. C. Emley, J. C. Sankey, S. I. Kiselev, D. C. Ralph, R. A. Bu. Time-Domain Measurements of Nanomagnet Dynamics Driven by Spin-Transfer Torques. 《SCIENCE》. SCIENCE, 2005, 第 307 卷 (第 5707 期), 228-230.

J. A. Katine, F. J. Albert, R. A. Buhrman, E. Yers, D. C. Ralph. Current-Driven Magnetization Reversal and Spin-Wave Excitations in Co/Cu/Co Pillars. 《PHYSICAL REVIEW LETTERS》. The American Physical Society, 2000, 第 84 卷 (第 14 期), 3149-3151.

G. D. Fuchs, N. C. Emley, I. N.

Krivorotov, P. M. Braganca. Spin-transfer effects in nanoscale magnetic tunnel junctions. 《APPLIED PHYSICS LETTERS》. American Institute of Physics, 2004, 第 85 卷 (第 7 期), 1205-1207.

S. I. Kiselev, J. C. Sankey, I.

N. Krivorotov, N. C. Emley, A. G. F. Garcia, R. A. Spin-transfer excitations of permalloy nanopillars for large applied currents. 《PHYSICAL REVIEW B》. The American Physical Society, 2005, 第 72 卷 (第 6 期), 1-7.

F. B. Mancoff, N. D. Rizzo, B. N. Engel, S. Tehrani. Phase-locking in double-point-contact spin-transfer devices. 《NATURE》. Nature Publishing Group, 2005, 第 437 卷 (第 15 期), 393-395.

Stephen E. Russek, Pavel Kabos, R. D. McMichael, C. G. Lee, William. Magnetostriction and angular dependence of ferromagnetic resonance linewidth in Tb-doped Ni_{0.8}Fe_{0.2} thin films. 《JOURNAL OF APPLIED PHYSICS》. American Institute of Physics, 2002, 第 91 卷 (第 10 期), 8659-8661.

1. 一种包括磁阻器件的射频振荡器,自旋极化电流在该磁阻器件中流动,所述器件包括至少如下层的叠层:

- 第一磁层 (1),该第一磁层 (1) 为具有固定的磁化方向的锚定层,

- 第二磁层 (2),

- 非磁层 (3),该非磁层 (3) 插入在上述两个层之间,用作隔离物并保证上述两个层的磁去耦合;以及

使所述层中电子的流动垂直于这些层、并且最终对该结构施加外部磁场的装置,

其特征在于,所述第二磁层 (2) 包括合成反铁磁层,对于波长等于或小于流过构成磁阻器件的叠层的电流的圆锥或圆柱范围的磁激励,所述第二磁层 (2) 的吉尔伯特阻尼因子比在具有同一几何形状的同一种材料的单一层中测得的吉尔伯特阻尼因子至少大 10%。

2. 根据权利要求 1 所述的射频振荡器,其特征在于,第二磁层 (2) 是通过交换来锚定的。

3. 根据权利要求 1 所述的射频振荡器,其特征在于,构成所述第二磁层的材料是富含钴的材料。

4. 根据权利要求 1 所述的射频振荡器,其特征在于,所述第二磁层 (2) 由磁矩小于或等于 CoFe 合金的磁矩的磁性材料制成。

5. 根据权利要求 1 至 4 中的任意一项所述的射频振荡器,其特征在于,用包括基于镧系的杂质或基于铽的杂质的杂质、以从 0.01% 至 2% 的原子百分比的低比例对第二磁层 (2) 进行掺杂。

6. 根据权利要求 1 至 4 中的任意一项所述的射频振荡器,其特征在于,所述第一磁层 (1) 用作极化器,并包括单一层,通过将所述第一磁层 (1) 与另一反铁磁层相关联来保证所述第一磁层 (1) 的锚定,该另一反铁磁层是由 IrMn 或 PtMn (4) 制成的,并且独立设置在所述第一磁层 (1) 的、与所述第一磁层 (1) 和所述非磁层 (3) 之间的界面相对的表面上。

7. 根据权利要求 1 至 4 中的任意一项所述的射频振荡器,其特征在于,所述第一磁层 (1) 用作极化器,并包括通过交换来锚定的合成反铁磁层。

8. 根据权利要求 7 所述的射频振荡器,其特征在于,在所述第一磁层 (1) 的与所述第一磁层 (1) 和所述非磁层 (3) 之间的界面相对的表面上独立地设置另一反铁磁层 (4)。

9. 根据权利要求 1 至 4 中的任意一项所述的射频振荡器,其特征在于,沿位于层平面内或外的任意方向锚定所述第一磁层 (1) 和所述第二磁层 (2)。

10. 根据权利要求 1、3 和 4 所述的射频振荡器,其特征在于,在与所述第二磁层 (2) 和所述非磁层 (3) 之间的界面相对的表面上独立地设置构成第二隔离物的第二非磁层,在该第二隔离物的与该第二隔离物和所述第二磁层 (2) 的界面相对的界面上独立地设置用作第二极化器的第二锚定层。

11. 根据权利要求 10 所述的射频振荡器,其特征在于,所述第二锚定层是单一的或者包括能够与独立地设置在该第二锚定层和第二隔离物之间的界面的相对侧上的反铁磁层耦合的合成反铁磁层。

12. 根据权利要求 1 至 4 中的任意一项所述的射频振荡器,其特征在于,构成磁阻器件的叠层通过“点接触”制成,从而不用纳米图案刻蚀有源层 (1, 2, 3),并且使用纳米尖端在所述第二磁层 (2) 上产生最大 50nm 量级的金属接触部。

13. 根据权利要求 1 至 4 中的任意一项所述的射频振荡器,其特征在于,将构成磁阻器件的叠层制成“柱”,至少刻蚀所述第二磁层(2)和所述非磁层(3),以制造具有 100nm 量级的直径的柱。

14. 根据权利要求 4 所述的射频振荡器,其特征在于,所述第二磁层(2)由包含 10%至 20%硼的 CoFeB 合金制成。

具有自旋极化电流的射频振荡器

技术领域

- [0001] 本发明涉及使用磁薄膜系统技术的射频振荡器的领域。
- [0002] 这些射频振荡器在基本为 GHz 或稍微小于 GHz 到几十 GHz 的频谱上工作。
- [0003] 本发明在电信领域、特别是在移动通信领域中得到具体的应用。

背景技术

[0004] 近年来,移动电话(手机、便携式电话)的显著增长促使该领域中的专业人员持续提供更多的新产品和业务。更具体地,多媒体的出现激励这些专业人员将大量应用集成到移动电话中。除了到无线个人局域网(WPAN,Wireless Personal Area Network)的连接性以外,这些新的应用还需要到蜂窝网络的多连接性,蓝牙(Bluetooth)是这种技术的一个例子,已经作为新标准 IEEE 802.15 的基础。

[0005] 因此,在这种情况下,为了符合各种标准,这些新产品的电子设备必须能够在非常宽的频带范围上工作。作为举例,在电信通信中使用的频带中会遇到下面不同的频带范围。

[0006]

频带	频率
GSM/GPRS/EDGE	850MHz, 900MHz, 1.8GHz, 1.9GHz
WCDMA	2GHz
802.11a/g	2.4GHz 和 5GHz
GPS	1.6GHz
UWB	3 至 7GHz
RFID	2.45GHz

[0007] W-CDMA :宽带码分多址

[0008] GPS :全球定位系统

[0009] UWB :超宽带

[0010] 802.11a/g :用于无线联网的系统

[0011] RFID :射频识别(尤其是标签)

[0012] 正如已知的,主要由频率合成器,即射频传感器中用于产生信号的载波频率的器件,决定接收器在灵敏性和选择性两方面的电性能。为了覆盖上述不同的频率范围,多标准、多频带设备需要使用大量射频振荡器。

[0013] 已知的振荡器包括 LC 谐振器(resonator),其具有相对低的品质系数或品质因子 $Q = f / \Delta f$ (在所讨论的频带中是 4 至 10)。使用这种谐振器制作的振荡器尤其在光谱纯度(相位抖动)方面具有平均性能。另外,通过可变 MOS 型电容(C)的协助获得频率的可

调性,并且可调性低,这是因为可获得的频率变化是载波频率值的 20%级别的。

[0014] 不仅如此,分配给电信通信的频带日益变得饱和,因此危及所述频带的静态分配原则。为了解决该饱和问题,一种解决方案是利用动态频率分配。该原理依赖于分析频谱的能力,就 1GHz 至 10GHz 的电信通信的应用而言,该原理依赖于识别未占用的频带以便能够使用它们的能力。这被称为“无线电机机会 (radio-opportunistic)”系统。

[0015] 然而,为了使用这种动态频率分配原理,所讨论的设备,在这种情况下是移动电话,必须具有频带非常宽的振荡器,并且在相位抖动方面提供非常好的性能,因此提供高的品质因子。该要求实际上排除了需要使用复杂且昂贵的结构的基于 LC 谐振器的振荡器。

[0016] 一种能够满足这些要求的技术方案可以是使用自旋电子射频振荡器 (spintronic radio-frequency oscillator)。因此,使用这种振荡器可以获得具有高品质因子 Q 的宽频带和直接的频率可调性,而且可以使用相对简单的结构。

[0017] 自旋电子学使用电子的自旋作为附加自由度以产生新的效果。

[0018] 电流的自旋极化是“上旋”型传导电子(即平行于局部磁化)的扩散和“下旋”型传导电子(即反平行于局部磁化)的扩散之间的不对称的结果。这种不对称在上旋和下旋的两个通道之间产生不对称的传导性,因此产生电流的净自旋极化。

[0019] 电流的这种自旋极化产生磁多层中的磁阻现象例如巨磁电阻 (Baibich, M., Broto, J. M., Fert, A., Nguyen Van Dau, F., Petroff, F., Etienne, P., Creuzet, G., Friederich, A. and Chazelas, J., “Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices”, Phys. Rev. Lett., 61(1988)2472), 或者隧道磁阻 (Moodera, J.S., Kinder, L.R., Wong, T.M. and Meservey, R., “Large magnetoresistance at room temperature in ferromagnetic thin film tunnel junctions”, Phys. Rev. Lett. 74, (1995)3273-6)。

[0020] 此外,还观察到在不存在任何外部磁场的情况下自旋极化电流通过磁薄膜可以引起磁化的反转 (Katine, J. A., Albert, F. J., Buhrman, R. A., Myers, E. B., and Ralph, D. C., “Current-Driven Magnetization Reversal and Spin-Wave Excitations in Co/Cu/Co Pillars”, Phys. Rev. Lett. 84, 3149 (2000))。

[0021] 极化电流还可以产生不间断磁激励,也称为“振荡”(Kiselev, S. I., Sankey, J. C., Krivorotov, I. N., Emley, N. C., Schoelkopf, R. J., Buhrman, R. A., and Ralph, D. C., “Microwave oscillations of a nanomagnet driven by a spin-polarized current”, Nature, 425, 380 (2003))。

[0022] 利用在磁阻器件中产生不间断磁激励的效应使得可以将这种效应转变成可以直接在电子电路中使用并因此能够在频率级别动作的电阻调制。

[0023] 文件 US 5695864 描述了利用上述物理原理的各种进展。其特别描述了自旋极化电流流过的磁层的磁化的旋进 (precession)。

[0024] 下面,与图 1 相关地详细描述所使用的物理原理。在三层磁性结构的情况下,两个磁层 (1 和 2) 被非磁层 (3) 分开 (术语“非磁”意为反磁性的 (diamagnetic) 或顺磁性的 (paramagnetic))。该中间层 (3) 也称为“隔离物”。其厚度要足够小以使其能够传输自旋极化电流,并且要足够大以保证由其分开的层 (1 和 2) 之间磁去耦。

[0025] 层 (1) 在其具有固定的磁化方向的意义上是所谓的“锚定 (anchored)”铁磁层。一

般来说,该层(1)耦合到反铁磁层,反铁磁层的功能是锚定所述层(1),使得在对该装置施加电流时所述层(1)的磁化不翻转。例如在文件US-A-5883725中所描述的,该层(1)还可以由若干层构成,以建立所谓的“合成反铁磁”层。该层(1)被称为“极化器(polariser)”。实际上,由于其固定的磁化方向,该层(1)引起流过其的电流的自旋极化。如上所述,在磁材料中,具有平行于局部磁化的自旋(上旋)的电子的传导率不同于具有相反的自旋(下旋)的电子的传导率。因而,在具有不同的磁性的两个层之间的界面处的反射和透射是取决于自旋的现象。到达层(1)和隔离物(3)之间的界面的传导电子大部分具有取决于所使用的材料的性质的自旋类型(上旋或下旋)。

[0026] 对于层(1)(极化器),选择具有足够厚度的铁磁层来保证最大的电流极化,或者选择具有适当厚度的“合成反铁磁”(SAF, synthetic antiferromagnetic)层来达到相同的目的。使用垂直于层平面的传输几何,已知特征长度是所谓的自旋扩散长度(Valet, T., Fert, A., “Theory of perpendicular magnetoresistance in magnetic multilayers”, Phys. Rev. B48, 7099(1993))。因此,对于极化层,术语“足够厚度”意为相对于该自旋扩散长度足够大的厚度(一般环境温度下在 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 中为5nm)。显然,极化层可以包括一个或多个层(例如, NiFe/CoFe 双层或者多层层叠的复合层 $(\text{CoFe}1\text{nm}/\text{Cu}0.3\text{nm})_3/\text{CoFe}1\text{nm}$),以促进电流的极化或缩短自旋扩散长度。

[0027] 如果隔离物(3)的厚度足够小,则几乎完全保持以直角流过这些层的电流的极化,直到其到达隔离物(3)和层(2)之间的界面。该层(2)是软磁即所谓的“自由(free)”层,例如其磁化方向可以容易地被弱外部场的影响改变(一般是由 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 坡莫合金(Permalloy)或 CoFe 合金制成的层或者通过将诸如 NiFe/CoFe 的两个层相关联而形成的层)。

[0028] 在层(2)和层(3)之间的界面的层面处,在自旋极化电流和层(2)的磁矩之间发生自旋转移。如果后者和(由层(1)的磁化赋予的)自旋极化方向不共线,则电流影响层(2)的磁化以使其旋转(旋进)。自旋转移扭矩的符号取决于所施加电流的方向:

[0029] - 如果传导电子从极化器(1)移动到层(2),则自旋转移扭矩使所述层(2)的磁化的朝向平行于层(1)的磁化;

[0030] - 相反,如果传导电子从层(2)移动到极化器(1),则所述扭矩使层(2)的磁化的朝向反平行于层(1)的磁化。

[0031] 已经证明,根据电流的幅值或者甚至根据所施加的外部磁场可以检测到两种截然不同的效果:

[0032] - 首先,层(2)的磁化的反转;根据电流的幅值或者甚至根据外部磁场,该反转可以是磁滞或可逆的;在生产随机存取存储器的情况下,

[0033] 这种现象还可以用作写入信息的手段,也称为MRAM;

[0034] - 此外,层(2)的磁矩的不间断旋进状态的激励:这是在本发明的框架内所使用的效应。

[0035] 当考虑层(2)的磁矩的不间断旋进时,通过微波频率测量,具体地根据所施加电流的相对强度,揭示了若干模式:

[0036] - 模式A:铁磁谐振(FMR, ferromagnetic resonance)类型的小角度旋进:对于相对弱强度的电流发生这种旋进模式,其特征表现为具有不依赖于所施加的电流的给定频率

的信号；

[0037] - 模式 B :大角度旋进 :如果所施加的电流增加到特定阈值以上则发生这种旋进模式,其特征表现为依赖于所施加的电流的标定频率 (marked frequency) ;

[0038] - 模式 C :针对除了弱磁场以外的中强度电流的微波 RTS 噪声。在这些条件下测得的光谱在 1Ghz 周围显示非常宽、非常高的幅值峰。

[0039] 在本发明的情况下,所利用的行为是通过影响电流或优选地通过影响电流和外部磁场二者可调节旋进频率的那些行为。在磁阻装置或器件中集成纳米结构上的这种结构。在金属系统中的巨磁电阻 (GMR, giantmagnetoresistance) 或金属绝缘体磁金属隧道结 (metal-insulator-magnetic-metal tunnel junction) 中的隧道磁阻 (TMR, tunnel magnetoresistance) 的情况下,磁化旋进导致在沿垂直于层平面的方向 (CCP 或 Current Perpendicular to Plane(电流垂直于平面) 几何) 施加电流时测得的电阻变化。

[0040] 不讨论被视为本领域技术人员所已知的细节,被称为 TMR 或 MTJ 的磁隧道结以其最简单的方式包括两个磁层,可以改变它们的磁化的相对朝向,并且层被绝缘层分开。

[0041] 所使用的磁阻器件利用以两种不同的方式制成的叠层 (stack) :

[0042] - 所谓的“点接触”叠层,其中不使用纳米图案刻蚀有源层 (层 1、层 2、层 3),或如果使用纳米图案刻蚀有源层,则使用非常大的图案 (大约 μm^2) 来制备有源层;通过外部纳米尖端 (例如,原子力显微镜的尖端) 或内部纳米尖端 (丝网打印柱 (screen printed pillar)) 来产生层 (2) 上方一般为 50nm 的极窄的金属接触部。

[0043] - “柱”型叠层 :刻蚀所有层来制备具有 100nm 量级的直径的柱 ;为了防止在层 (1) 和层 (2) 之间产生显著的静磁作用,有时不刻蚀层 (1)。

[0044] 当电流垂直于层平面流过第一种类型的器件时,所有电流线向纳米接触部 (点接触) 会聚,并且以锥体形向叠层内部发散,锥体的形状取决于各个层的电阻。在第二种情况下,在柱几何形状的情况下,电流几乎均匀地流过柱的整个横截面。

[0045] 通过微磁仿真已经证明,所谓的“点接触”法在使由边缘效应所产生的不连贯 (incoherent) 激励的发生最小化方面对于制造射频振荡器更有利。图 2(柱) 和图 3(点接触) 示出这两种类型的叠层。

[0046] 关于这些结构,文件 FR 2817999 描述了当极化器 (层 1) 沿垂直于构成磁阻器件的层的平面的方向被磁化并且层 (2) 的力矩朝向平行于界面的方向时,引起所述磁化的旋进所需的临界电流可以减小。

[0047] 虽然在理论层面上如此描述的磁阻器件使得可以实现满足工业制造要求 (宽频率范围、可以进行动态频率分配、高品质因子 Q) 的射频振荡器,然而很明显这些器件的实际品质取决于流过层的电流所产生的磁化旋进的一致性。

[0048] 术语“磁化旋进的一致性”表示相对于产生不一致的多个小的激励,磁化在整个结构中在电流片的整个范围上 (即如果存在纳米接触,则在自由层的层面处在具有柱几何形状的柱的横截面上以及在电流锥体的横截面上) 以单个单位移动。

[0049] 因而,越大的一致性产生频率越窄且幅值越小的振荡信号 :本发明的目的是提出一种增大磁化旋进的动态运动的一致性的方式。因为幅值的减小不是所希望的效果,因此在获得了频率窄化之后,将进行尝试以增大幅值。

发明内容

[0050] 因此,本发明涉及一种包括磁阻器件的射频振荡器,自旋极化电流在该磁阻器件中流动,所述器件包括至少如下层的叠层:

[0051] - 第一磁层,该第一磁层为具有固定的磁化方向的锚定层,

[0052] - 第二磁层,

[0053] - 非磁层,该非磁层插入在上述两个层之间,旨在保证上述两个层的磁去耦合;以及

[0054] 使所述层中电子的流动垂直于这些层、并且最终对该结构施加外部磁场的装置。

[0055] 根据本发明,第二磁层包括合成反铁磁层,对于波长等于或小于流过构成磁阻器件的叠层的电流的圆锥或圆柱范围的磁激励,第二磁层具有高激励阻尼因子(其吉尔伯特阻尼因子比在具有同一几何形状的同一种材料的单一(simple)层中测得的吉尔伯特阻尼因子至少大10%)。

[0056] 在本说明书的其余部分,为了简洁,将也称为“吉尔伯特阻尼因子(Gilbert damping factor)”的激励阻尼因子简单地称为“阻尼”。

[0057] 换句话说,选择所述第二磁层,使得当受到锚定层产生的自旋极化电流的作用时,并且如果可应用,受到施加的外部磁场作用时,其磁化以一致、不间断的方式旋进。

[0058] 换句话说,本发明的目的是以尽可能一致的旋进动态过程,由来自用作极化器的锚定层的自旋极化电流的影响引起也称为“自由层”的所述第二层的极化的旋进,即,磁化行为如作为一个单元旋转的单个物体,而不是作为局部无序磁化的随机小激励的结果。在绝对化方面,目标是保证磁化尽可能保持单域(single domain)(宏自旋)。

[0059] 这样,所述第二层的磁化动态过程比单一层的磁化动态过程更一致,例如层是由钴、镍或铁或两种这些金属的合金制成的,并且具有相同的几何形状、相同的磁化配置、在相同的条件下流过自旋电流、并且如果可应用施加外部磁场。

[0060] 针对波长等于或小于通过构成磁阻器件的叠层的圆锥或圆柱体的范围的磁激励,各种方法用于获得第二磁层的显著阻尼。可以使用上述使得可以成比例地增大激励阻尼因子的任何方式来实现本发明。下面说明三种主要方式。

[0061] 根据本发明的第一实施例,通过将反铁磁层与所述第二层相关联来获得该阻尼,该AFM层位于与隔离物或顺磁层相对的所述层的表面上。这种耦合增大了吉尔伯特阻尼。此外,由铁磁性/反铁磁性耦合施加的恢复力促进一致动态磁化运动。典型地,该反铁磁层可以包括厚度为3至10nm的 $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$,或者可以由一般厚度为5至12nm的FeMn或一般厚度为8至30nm的PtMn制成。

[0062] 优选地,该反铁磁层是基于金属的非氧化物的层,以便不过多地减小作为堆叠层的一部分的柱的串联电阻。

[0063] 根据本发明的第二实施例,对于所述第二层,通过使用具有高交换刚度(exchange stiffness)常数的材料来获得该阻尼。实际上,因为交换作用强迫自旋保持彼此平行,所以使得短波长激励难以发展。因而,相对于针对具有较低交换常数的层所获得的阻尼,短波长激励的阻尼增大。在通常称为“交换刚度”的该常数和居里温度(Curie temperature)之间有特定的相关性。优选选择富含钴并且由于其高居里温度而广为人知的材料(例如CoFe合金)。

[0064] 此外,可以通过使用具有低磁矩的磁性材料(例如包含 10%至 20%的硼的 CoFeB 合金优于具有较高力矩的 CoFe 合金)来提高旋进的一致性,这些磁性材料具有使与存在于器件的边缘处的强去磁场相关联的磁不均匀效应最小化的优点。

[0065] 根据本发明的第三实施例,通过将不同的镧系杂质加入到所述第二磁层来增大该阻尼。举例来说,这些杂质可以包括一般从 0.01%至 2%(原子百分比)的低比例的铽。

[0066] 根据本发明,沿位于层平面内或外的优化方向锚定所述第一和第二磁层。优化方向,使得旋进运动的幅值尽可能大,以便产生具有最大可能幅值的 RF 信号。例如,可以通过基于包含 Slonczewski 的自旋转移项的 Landau Lifshitz Gilbert 方程的动态宏自旋建模来指导该优化,然后对其进行实验调节。

[0067] 根据与上述第二实施例类似的本发明的另一实施例,磁化旋进的所述第二磁层不耦合到邻近的反铁磁层,但是将所述第二磁层首先在与第一非磁层的界面相对的界面上与第二非磁层相关联,其次在该第二层的另一侧,将所述第二磁层与极化层相关联,该极化层功能类似于第一极化层的功能。这样,所述第二磁层的磁化经受两个极化层的自旋转移效应,这使得可以增强使磁化旋进的现象的效力。

[0068] 一般来说,两个极化层的磁化方向是不相同的,甚至可以是基本反平行或正交的(一个极化层基本上在一个平面上被磁化,而另一个层在该平面外)。

[0069] 本发明使得可以实现非常一致的层(2)的磁化旋进,并且具有超过 10,000、可能超过 20,000 的品质因子。

附图说明

[0070] 通过以下仅作为例子参考附图所给出的对实施例的说明,实现本发明的方式及其产生的优点将更容易理解。

[0071] 如上所述,图 1 是示出根据现有技术的磁阻器件的堆叠层的示意图。

[0072] 图 2 和图 3 示出不同类型的这些层的堆叠。

[0073] 图 4 和图 5 示意性地示出本发明的两个实施例。

[0074] 图 6a 和图 6b 示出本发明对作为本发明的主题的结构激励光谱所产生的有益效果。这样,图 6a 示出针对流过该结构的不同电流的激励光谱,被激励的层是根据现有技术的单一 CoFe 层。图 6b 示出当由 IrMn 反铁磁层适度锚定该同一 CoFe 层时由于电流效应而产生的对激励线的精细度(fineness)的改进。图 6b 还示出作为流过该结构的电流的函数的激励线的可调性。

具体实施方式

[0075] 为了生产根据本发明的射频振荡器,使用包括与参考图 2 和 3 所描述的类型相同的类型的叠层的磁阻器件。该叠层插入在两个电流导线(lead)之间,导线与所述叠层的两个最外层的接触部是由铜或金制成的。

[0076] 如果该叠层的几何形状是圆柱形的,则该堆叠的几何形状的具体特征在于其宽度或其直径。

[0077] 该所谓的“锚定层”叠层的层(1)具有固定的磁化方向。该层(1)可以是例如由钴或 CoFe 或 NiFe 合金制成的相对厚(100nm 级别)的单一层。该层的厚度必须是制造该

层的材料的自旋扩散长度的同一量级的或超过制造该层的材料的自旋扩散长度。为了减小该自旋扩散长度,还可以通过插入几个(一般是2到4个)具有0.2至0.5nm级别的厚度的非常精细的铜、银和金层来层积该层。这些插入的层足够精细以保证整个层积层的强交换耦合,使得保持该层的强锚定。

[0078] 这种层积锚定层的典型组成可以是 $(\text{CoFe}1\text{nm}/\text{Cu}0.3\text{nm})_3/\text{CoFe}1\text{nm}$ 。但是还可以包括 $\text{CoFe}3\text{nm}/\text{Ru}0.7\text{nm}/\text{CoFe}2.5\text{nm}$ 类型的合成反铁磁(SAF)层。所选择的Ru厚度一般从0.6nm到1nm,以保证两个CoFe层之间的强反铁磁性耦合。此外,在构成该SAF层的两个层中,至少最接近自由层的CoFe层可以通过插入精细的Cu层来层积,以减小其自旋扩散长度。另外,在这两种配置中,可以通过与反铁磁层(4)进行交换来锚定单层和SAF层(见图4和图5)。该反铁磁层可以由厚度为6至10nm的 $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ 或厚度为15至30nm的 $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ 制成。该层(1)主要实现极化器的功能。因而,垂直于构成磁阻器件的层平面流过这些层并且被极化器反射或者透射的电流电子以自旋方向被极化,该自旋方向平行于层(1)和与反铁磁层(4)相接触的层相对的界面两者上的磁化。

[0079] 不管是单一的(图5)还是合成的(图4),该层(1)在其与接收反铁磁层(4)的表面相对的表面上接收用作隔离物的另一个层(3)。该层是金属的(一般是5nm至10nm的厚铜层),或者包括一般0.5至1.5nm厚的铝氧化物类型(氧化铝 Al_2O_3)或一般0.5至3nm厚的镁氧化物类型(MgO)的精细绝缘层。

[0080] 最后,可以改变层(2)的性质。一般而言,该层(2)的厚度小于层(1)的厚度。

[0081] 其首先可以包括单一磁层,所述磁层具有与锚定层(1)的合成反铁磁性结构的基准层(5)的厚度相当的厚度。

[0082] 根据第一实施例(图5),该层(2)与反铁磁层(6)耦合,该反铁磁层(6)独立地设置在与层(2)和隔离物(3)之间的界面相对的层(2)的表面上。该反铁磁层还可以由从 $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ 、 FeMn 和 PtMn 中选择材料制成。该反铁磁层将改变层(2)的磁化的相关自由度。然而,通过改变该反铁磁层的厚度或通过(沿着层(2)和(6)之间的界面)引入(0.1至0.5级别的厚度的)诸如Cu或Pt的非磁性材料的超精细层,可以保证产生的耦合比锚定层或极化器(1)的耦合弱,从而使得层(2)的磁化实现旋进,并且反铁磁层(6)固有的去耦合有助于保持所述磁化的一致。

[0083] 优化研究证明与该旋进相对应的信号甚至具有比与没有相关联的反铁磁层的同一层相对应的信号高10倍的功率。由于通过具有相关联的反铁磁层(6)的界面进行的交换作用而产生的层(2)的磁化旋进的一致性的改善解释了这种信号功率的增大(见图6)。这种交换作用对旋进磁化施加均匀的恢复力,并且通过相同的一致性促进旋进磁化运动。还观察到铁磁性/反铁磁性耦合产生增大的吉尔伯特阻尼(增加量合计为反铁磁层的阻挡温度的几乎+10%至+400%),这导致系统中的强磁激励衰减,从而有助于保持良好的磁化一致性。

[0084] 在本发明的另一变形例中,将基于镧系的杂质、尤其是铽的掺杂以0.01%至2%(原子百分比)的比例引入到层(2)中。已经证明,通过这种掺杂,可以增大激励阻尼因子,即“吉尔伯特阻尼因子”(Russek等, *Journ. Appl. Phys.* 91(2002)8659)。需要说明,吉尔伯特阻尼因子不必增大太多,因为这会导致需要流过该结构以产生不间断磁化旋进运动的临界电流的过度增加。因此,必须进行折衷——这一般对应于0.01至0.05的吉尔伯特阻尼。

[0085] 这种适度的阻尼使得可以使短波长激励减弱,特别是使具有比磁阻叠层的大小短的波长的短波长激励减弱,这是不希望的,因为其破坏旋进一致性。然而,该阻尼不要太强,从而不会导致过度的值(超过 10^7A/cm^2),以产生一致的磁化旋进运动。

[0086] 优选地,除了包含这种杂质以外,与以上描述的第一实施例类似,还可以将以这种方式掺杂的层(2)与上述反铁磁层(6)相关联。在这种情况下,后者不仅保证增大的阻尼,如前所述,而且还通过建立对磁化施加的恢复力来促进旋进一致性。

[0087] 优选地,层(2)使用的材料具有高交换刚性常数。为了实现这一点,使用3d金属,尤其是钴或富含钴的合金。本领域技术人员还将意识到层(2)可以包括彼此直接接触的多个铁磁层,例如通常在自旋阀中使用的(NiFe/CoFe)双层。

[0088] 优选地,还可以使用具有低磁矩的磁性材料(例如,包含10%至20%硼的CoFeB合金优于具有较高磁矩的CoFe合金),这种材料具有使与存在于器件边缘处的强去磁场相关联的磁性不均匀效应最小化的优点。

[0089] 在本发明的另一变形例中,层(2)可以不包括单一铁磁层,而像锚定层一样包括合成反铁磁(SAF)层,即通过0.5nm至1nm厚的钉层强反铁磁性耦合的两个铁磁层。然后,可以通过反铁磁层来适度锚定该SAF层(2)。

[0090] 在本发明的另一变形例中,可以沿相对于极化器(1)的磁化以及相对于层平面的任何方向锚定层(2),选择该方向以优化自由层的磁化的旋进运动的幅值。例如,可以通过基于包含Slonczewski的自旋转移项的Landau Lifshitz Gilbert方程的动态宏自旋建模来引导该优化(Slonczewski, J., "Currents and torques in metallic magnetic multilayers", J. Magn. Mater. 159, L1(1996); "Excitation of spin waves by anelectric current", 195, L261(1999)),然后进行实验调节。为了获得这种优化,还可能需要对该结构施加额外的外部磁场。然后,以与例如用于产生用于从计算机硬盘中读取信息的磁阻读取头中的偏置场相同的方式,可以通过例如位于柱周围合适的位置处的永磁体层来产生该磁场。

[0091] 此外,根据本发明的另一变形例,如果磁化旋进的所述第二磁层(单层或SAF)没有耦合到邻近的反铁磁层,可以将所述第二磁层在与和第一非磁层的界面相对的界面上与第二非磁层(第二隔离物)相关联,然后在该第二层的另一侧,将所述第二磁层与极化层相关联,该极化层功能类似于第一极化层的功能。用作第二极化器的该第二锚定层本身可以是单一的或者可以包括合成反铁磁(SAF)层,并且耦合到独立地设置在与该第二锚定层和第二非磁隔离物之间界面相对一侧的反铁磁层。

[0092] 这样,所述第二磁层的磁化受到两个极化层的自旋转移效应,这使得可以提高磁化旋进的现象的效力。一般而言,两个极化层的磁化方向是不相同的,必须根据磁化旋进的层的性质来进行优化。例如,如果磁化旋进的层是单一掺杂层,则两个极化层的磁化方向可以是基本反平行或正交的(一个极化层基本上在一个平面上被磁化,而另一层在该平面外被磁化)。

[0093] 如果磁化旋进的层是SAF层,则两个极化层的磁化方向可以是基本平行或正交的。

[0094] 通过例子来说明本发明对激励线的窄化提供的有益效果(品质因子的增大),图6a和图6b示出针对基于现有技术结构和根据本发明的结构所得到的激励线。图6a示出

流过该结构的不同电流的激励光谱,被激励的层是根据现有技术的插入到图 4 所示类型的包括锚定合成层的器件中的单一 CoFe 层。图 6b 示出当通过 IrMn 反铁磁层适度锚定该同一 CoFe 层时由于电流效应而产生的非常显著的激励线精细度的改进。图 6b 还示出作为流过该结构的电流的函数的激励线的可调性。

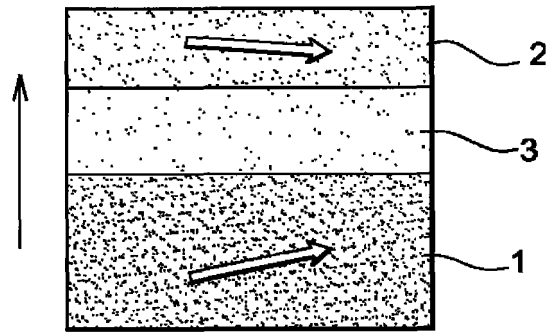


图 1

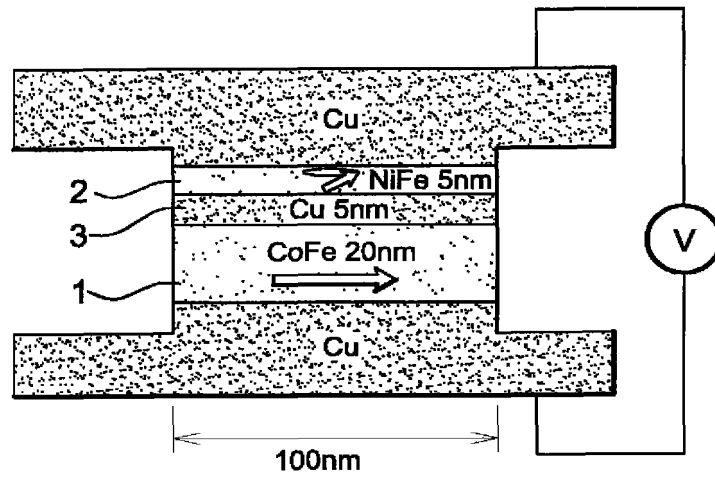


图 2

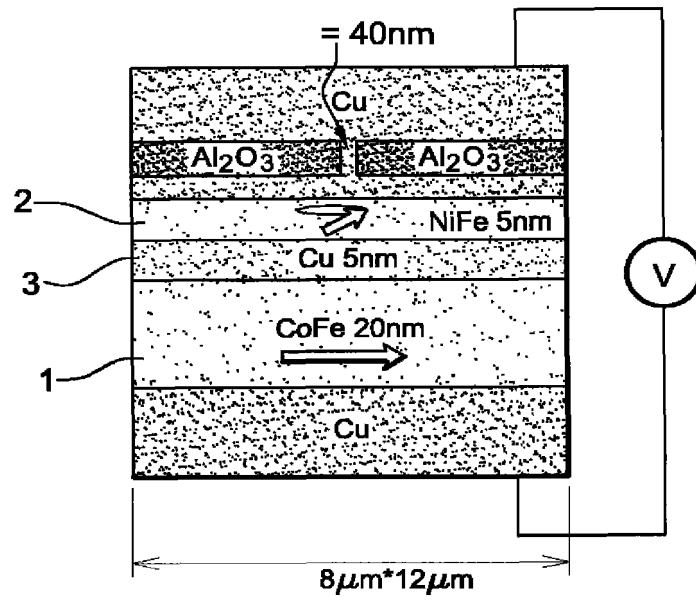


图 3

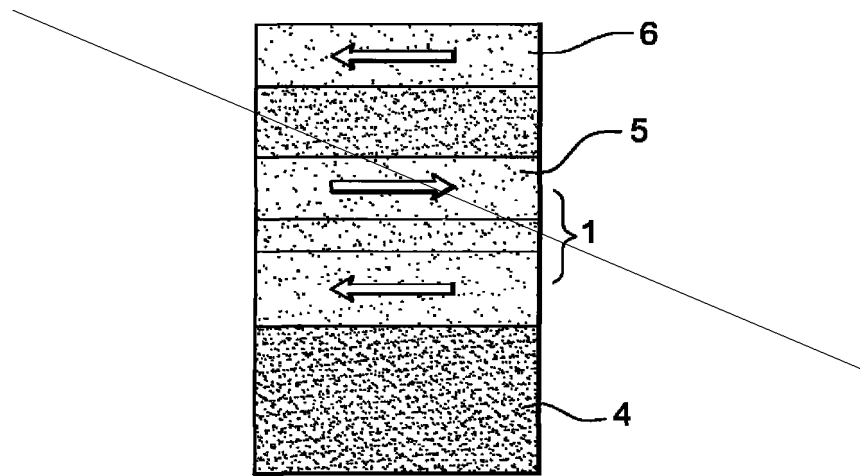


图 4

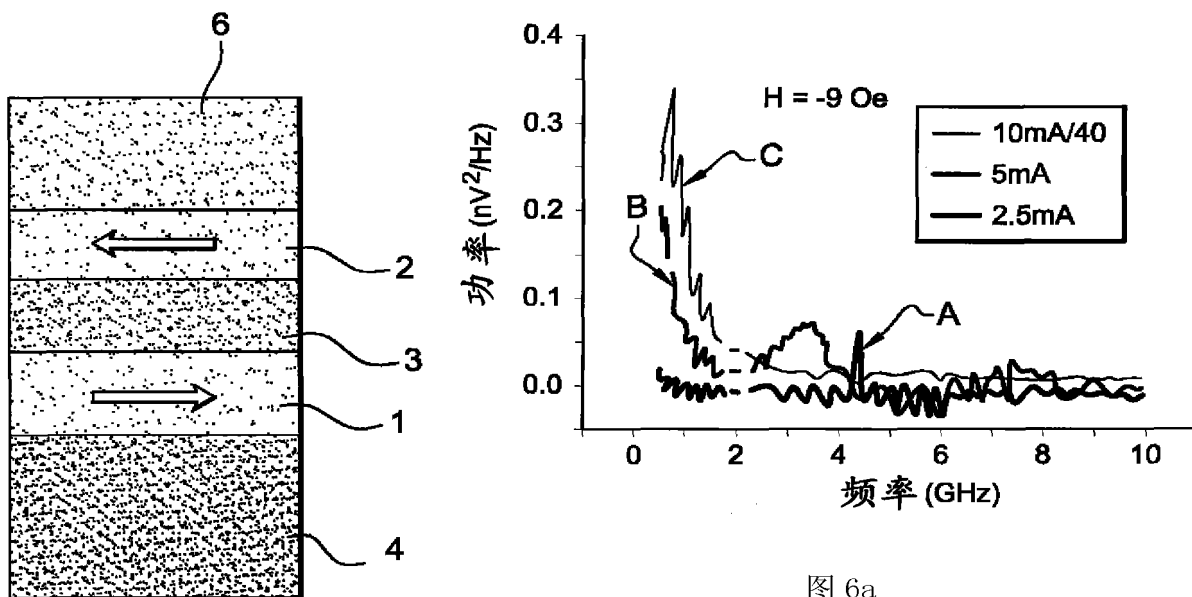


图 5

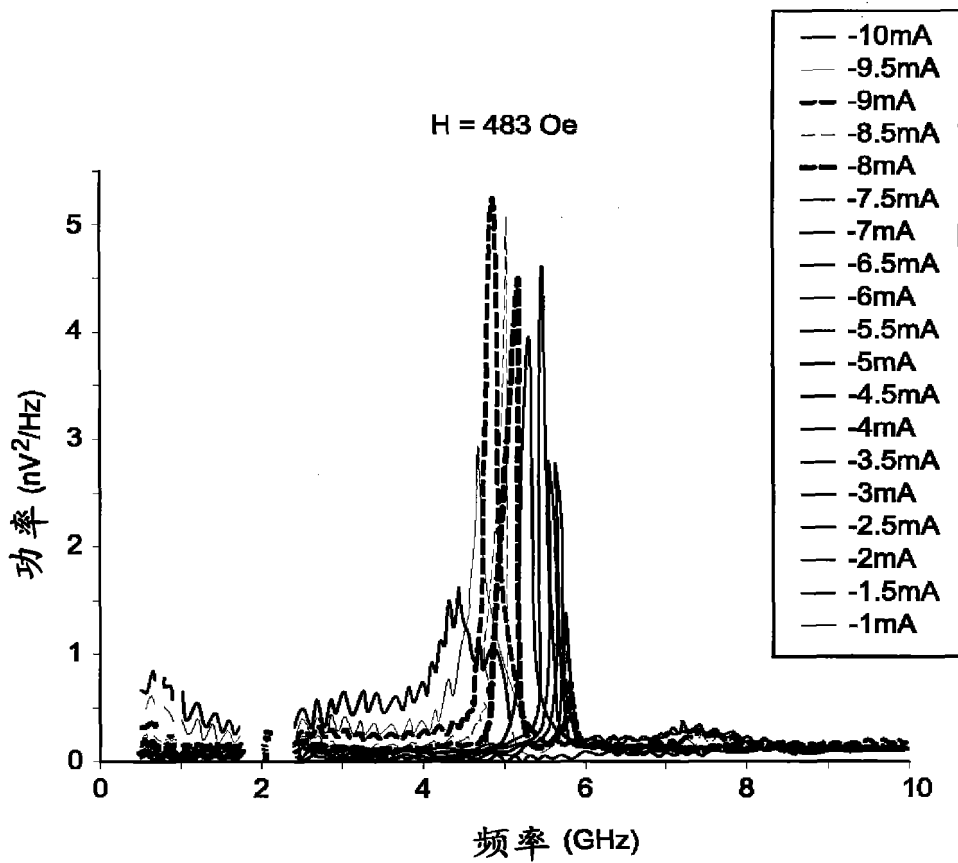


图 6b