

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 5/66 (2006.01)

G11B 5/64 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810171074.6

[43] 公开日 2009 年 6 月 3 日

[11] 公开号 CN 101447194A

[22] 申请日 2004.12.7

[21] 申请号 200810171074.6

分案原申请号 200410100047.1

[30] 优先权

[32] 2004. 3.23 [33] US [31] 10/808,020

[71] 申请人 日立环球储存科技荷兰有限公司

地址 荷兰阿姆斯特丹

[72] 发明人 霍亚·V·多 埃里克·E·富勒顿

戴维·马古利斯 安德烈亚斯·莫泽

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 张 波

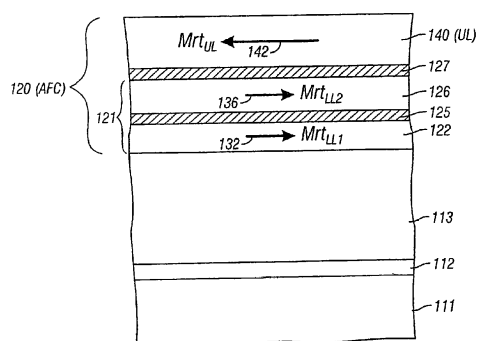
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称

具有多个铁磁耦合下层的反铁磁耦合层的磁记录盘

[57] 摘要

一种磁记录盘，其具有一反铁磁耦合(AFC)结构，该结构有一上铁磁层(UL)，和一由两个铁磁耦合下层(LL1、LL2)形成的下铁磁层结构。UL与下层结构跨过一反铁磁耦合层而反铁磁耦合。LL1和LL2跨过一铁磁耦合层而铁磁耦合，因此LL1和LL2的磁化在每个剩磁状态保持平行，但与UL的磁化在每个剩磁状态反向平行。UL的Mrt大于LL1和LL2的Mrt值之和。



1. 一种磁记录盘, 包括:
基片;
在该基片上的第一下铁磁层, 具有剩磁 M_r , 厚度 t 和剩磁-厚度积 Mrt ;
在该第一下铁磁层上的铁磁耦合层;
在该铁磁耦合层上的第二下铁磁层, 有一 Mrt ;
在该第二下铁磁层上的反铁磁耦合层; 和
在该反铁磁耦合层上的上铁磁层, 并且其具有一大于该第一和第二下铁磁层 Mrt 之和的 Mrt 。
2. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述下铁磁层由大致相同的材料形成。
3. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述下铁磁层有大致相同的 Mrt 。
4. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层是一包括 Co 和 Ru 的合金, 其中 Ru 在此合金中含量大于大约 40 原子百分比且小于大约 70 原子百分比。
5. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层是一包括 Co 和 Cr 的合金, 其中 Cr 在此合金中含量大于大约 27 原子百分比且小于大约 45 原子百分比。
6. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层主要由 Pt 或 Pd 组成。
7. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层厚度在大约 0.5 到 5nm 之间。
8. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层主要由 Ru 或 Cr 组成, 其交换常数大于大约 0.00002J/m^2 。
9. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层是一第一铁磁耦合层, 并且进一步包括:
第二铁磁耦合层, 其在所述第二下铁磁上; 和
第三下铁磁层, 其在该第二铁磁耦合层上; 并且
其中所述反铁磁耦合层直接形成在该第三下铁磁层上, 并且所述上铁磁

层有一 Mrt ，其大于该第一、第二和第三下铁磁层 Mrt 之和。

10. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘，其中所述上铁磁层是一包括 Co、Pt、Cr 和 B 的合金，并且其中每个所述下铁磁层是一包括 Co 和 Cr 的合金。

11. 如权利要求 10 中所述的磁记录盘，其中每个所述下铁磁层是一还包括 Ta 的合金。

12. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘，其中所述反铁磁耦合层是一从包括钌 (Ru)、铬 (Cr)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、铜 (Cu) 和其合金的组中选出的材料。

13. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘，其中还包括一位于所述基片上并且在所述基片和所述第一下铁磁层之间的底层。

14. 如权利要求 1 中所述的磁记录盘，其中还包括一形成在所述上铁磁层上的保护覆层。

15. 一种磁记录盘，包括：

基片；和

在该基片上的反铁磁耦合结构，并且其在没有外加磁场时有两个剩磁状态，该结构包括：

(a) 第一下铁磁层，其具有一剩磁 M_r ，厚度 t 和剩磁 - 厚度积 Mrt ；

(b) 铁磁耦合层，其在该第一下铁磁层上；

(c) 第二下铁磁层，其在该铁磁耦合层上，并有一 Mrt ；

(d) 反铁磁耦合层，其在该第二下铁磁层上；和

(e) 上铁磁层，其在该反铁磁耦合层上并有一 Mrt ，其大于该第一和第二下铁磁层的 Mrt 之和；

其中，在每个剩磁状态，该第一和第二下铁磁层的磁化方向相互大致平行，并与该上铁磁层的磁化方向反向平行，并且在一剩磁状态中，该上铁磁层的磁化方向与其在另一剩磁状态中的磁化方向大致反向平行。

16. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘，其中所述下铁磁层由大致相同的材料形成。

17. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘，其中所述下铁磁层有大致相同的 Mrt 。

18. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘，其中所述铁磁耦合层是一包括 Co 和 Ru 的合金，其中 Ru 在此合金中含量大于大约 40 原子百分比且小于大

约 70 原子百分比。

19. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层是一包括 Co 和 Cr 的合金, 其中 Cr 在此合金中含量大于大约 27 原子百分比且小于大约 45 原子百分比。

20. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层主要由 Pt 或 Pd 组成。

21. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层厚度在大约 0.5 到 5nm 之间。

22. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中所述铁磁耦合层主要由 Ru 或 Cr 组成, 并有一交换常数, 大于大约 0.00002 J/m^2 。

23. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中所述上铁磁层是一包括 Co、Pt、Cr 和 B 的合金, 并且其中, 每个所述下铁磁层是一包括 Co 和 Cr 的合金。

24. 如权利要求 23 中所述的磁记录盘, 其中每个所述下铁磁层是一还包括 Ta 的合金。

25. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中所述反铁磁耦合层是从包括钌 (Ru)、铬 (Cr)、铑 (Rh)、铱 (Ir)、铜 (Cu) 和其合金的组中选出的材料。

26. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中还包括位于所述基片上并且在所述基片和所述第一下铁磁层之间的底层。

27. 如权利要求 15 中所述的磁记录盘, 其中还包括形成在所述上铁磁层上的保护覆层。

具有多个铁磁耦合下层的反铁磁耦合层的磁记录盘

技术领域

本发明通常涉及一种在磁记录硬盘驱动器中使用的磁记录盘，更具体的，涉及一种具有反铁磁耦合（AFC, antiferromagnetically-coupled）的磁层的磁记录盘。

本申请与 2004 年 2 月 27 日申请的题为“具有多下层的反铁磁耦合的磁层的磁记录盘”的序列号为 10/788687 的待审理申请相关。

背景技术

随着磁记录硬盘的存储容量的增加，剩磁 - 厚度积（Mrt, magnetization - remanence - thickness product）相应减小，并且磁记录层的矫顽磁性（coercivity） H_c 相应增加。Mrt 是记录层厚度 t 和记录层的剩余（零外加磁场）磁化 M_r （其中 M_r 是以铁磁材料的每单位体积的磁矩为单位测量的）。 H_c 相关于盘驱动写头在记录层上写数据所需的短时切换场（short - time switching field）或者内矫顽磁性（ H_0 ）。这种 Mrt 和 H_c 的趋势导致 Mrt/ H_c 比减小。

为了得到 Mrt 的减小，可减小磁层的厚度 t ，但是只能有限的减小，因为层中存储的磁信息更可能衰减。这种磁化的衰减已经影响小磁粒（magnetic grain）的热激发（超顺磁性效应）。磁粒的热稳定性在很大程度上取决于 $K_U V$ ，其中 K_U 是层的磁各向异性常数， V 是磁粒的体积。随着层厚度减小， V 减小。如果层的厚度太薄， $K_U V$ 变得太小，并且所存储的磁信息在正常的磁驱动操作条件下将不稳定。

一种解决这种问题的方法是移动到较高的各向异性的材料（较高的 K_U ）。然而， K_U 的增加受到点的限制，即近似等于 K_U/M_s （ M_s = 饱和磁化）的 H_c 变得太大而不能由常规的记录头来写。相似的解决方法是磁层厚度固定而减小磁层的 M_s ，因为 M_r 相关于 M_s ，所以将减小 M_r ，但是这也受限于可写的矫顽磁性。

美国专利第 6280813 号, 授权给与本申请相同的受让人, 说明了一种磁记录介质, 其中磁记录层为至少两个铁磁层跨过非铁磁间隔层而反铁磁耦合在一起。在这种类型的磁介质中, 指 AFC 介质, 两个反铁磁耦合的层的磁矩剩磁取向平行, 结果是磁层的净 M_{rt} 或合成 (composite) M_{rt} 是上下铁磁层的 M_{rt} 之间的差。上铁磁层通常具有比下铁磁层更高的 M_{rt} , 使得合成 M_{rt} 由 $M_{rt_{UL}} - M_{rt_{LL}}$ 得到。这种 M_{rt} 的减小不需要减小体积 V 。因此, 记录介质的热稳定性不会减小。

AFC 介质因此极大的提高了磁记录盘的性能。低合成 M_{rt} 意味着 PW50 的低值, 其是低记录密度下测量的记录信号的分立回读脉冲 (isolated read-back impulse) 的半幅脉宽。PW50 值决定了可获得的线性密度, 而且优选采用 PW50 的低值。因此, 由于 $M_{rt_{composite}} = (M_{rt_{UL}} - M_{rt_{LL}})$, AFC 介质的可扩展性主要取决于该结构多大程度可用于减小 PW50, 并且取决于在下铁磁层中可获得多大的 M_{rt} 值。

然而, 现有 AFC 介质, 可在下铁磁层中使用最大的 M_{rt} 值。在这个最大的 M_{rt} 上, 介质的内信噪比 (S_0NR , 在特定记录密度下分立信号脉冲与噪声的比值) 将恶化, 即使 PW50 仍然降低并且合成 M_{rt} 仍然下降。例如, AFC 结构可由更厚的下铁磁层 (将下层的 M_{rt} 增加最大值上的 $0.0005A(0.05\text{memu/cm}^2)$) 制得, 以获得 PW50 值从使用最大下层 M_{rt} 的参考 AFC 结构减小 3.5%。然而, 这使得 S_0NR 降低大约 3.5db, 这是不可接受的。如图 1 所示。

当下层变得过厚, 有两种可能的解释 AFC 介质的 S_0NR 降低的原因。第一, 如果下铁磁层做的较厚, 其各向异性体积乘积 (KuV) 增加。这个 KuV 决定了层对热波动的易感性, KuV 越高, 层的易感性越低。已确定的是热激发反转 (thermal-activated reversal) 允许在 AFC 介质中的小的层间交换场 (interlayer exchange field) 以反转下层的磁化并因而产生希望的反向平行 (antiparallel) 剩磁结构。因此, 下层的 KuV 越大 (下层 M_{rt} 越大), 相对小的交换场越难以完成下层的磁化反转。第二, 交换场的大小是和下层 M_{rt} 成反比的, 也使得当它变得更厚时, 反转下层的磁化的反铁磁交互作用更难。因此, 随着下层 M_{rt} 增加, 发生两个效果, 更难反转下层磁化以形成反向平行剩磁结构。这些因素可使得一些下层粒无法与他们各自的上层粒相反向平行, 可在记录信号中增加额外的噪声使得被测的 S_0NR 减小。通过在 Ru 层

旁增加高矩层 (high moment layer) 来增加交换场是一种解决这个问题的可能途径, 但是增加高矩层降低了 S_0NR , 使得实际难于在不降低 S_0NR 的情况下极大的改变交换场。因此, 不能在 AFC 介质中增加下铁磁层厚度高于某最大值的问题是这种结构的普遍的问题。

所需要的是具有 AFC 结构的磁记录盘, 其可利用合成 Mrt 和 PW50 的减小, 而不会引起 S_0NR 减小。

发明内容

本发明是一种具有 AFC 结构的磁记录盘, 该结构有一上铁磁层 (UL) 和一下铁磁层结构, 该下铁磁层结构由两个铁磁耦合的下层 (LL1、LL2) 形成。UL 跨过一反铁磁耦合层, 与下层结构反铁磁耦合在一起。LL1 和 LL2, 跨过一铁磁耦合层而铁磁耦合, 使得 LL1 和 LL2 的磁化在每个剩磁状态保持平行, 但是与 UL 的磁化在每个状态反向平行。UL 具有大于 LL1 和 LL2 的 Mrt 值之和的 Mrt。此 AFC 结构的合成 Mrt 小于常规 AFC 结构的合成 Mrt。此 AFC 结构能够获得合成 Mrt 的减少, 而不用将这里两个下层中任一层的 Mrt 增加到常规 AFC 结构中的单个下层的最大 Mrt 之上, 因而避免了由于在下层中过大的 Mrt 而导致的 S_0NR 降级。

为了大致理解本发明的原理和优势, 将结合附图参考以下细节描述。

附图说明

图 1 是常规 AFC 结构以及增加下层 Mrt 的 AFC 结构的 S_0NR 对记录密度 (每英寸千通量变化) 的图表。

图 2 是依据现有技术的 AFC 磁记录盘的截面示意图。

图 3 是依据本发明的 AFC 磁记录盘的截面示意图。

图 4 是展现了本发明 AFC 结构的合成 Mrt, 用作下层 Mrt。

具体实施方式

图 2 展现了依据现有技术的磁盘结构的横截面, 该磁盘带有一反铁磁耦合 (AFC) 磁层 20。该磁盘基片是任何适合的材料, 例如玻璃, SiC/Si, 陶瓷, 石英或覆有 NiP 表层的 AlMg 合金。该籽晶层 (seed layer) 12 是一可选层, 该层可用于提高底层 13 的生长。籽晶层 12 通常是在基片 11 为非金属例如

玻璃时使用。籽晶层 12 的厚度在大约 1 到 50nm 的范围内并且是这些材料中之一, 例如 Ta, CrTi, NiAl 或 RuAl, 它们作为籽晶材料有助于提高在某些优选结晶取向的随后的沉积层的生长。一预籽晶层 (pre-seed layer) (未示出) 也可被用在玻璃基片 11 和籽晶层 12 之间。底层 13 被沉积到籽晶层上, 如果有籽晶层的话, 或者直接地沉积到基片 11 上, 并且底层 13 是一非磁性材料, 例如铬或者铬合金, 如 CrV, CrTi 或 CrMo。底层 13 的厚度在 5 到 100nm 的范围内, 并且通常值大约是 10nm。一保护覆层 (未示出), 例如无定形碳, 作为顶层形成在 AFC 层 20 上。

该 AFC 磁层 20 由一下铁磁层 (LL) 22 和一上铁磁层 (UL) 24 组成, 该下铁磁层 (LL) 22 和上铁磁层 (UL) 24 被作为反铁磁耦合层的非铁磁间隔层 23 隔开。选择该非铁磁间隔层 23 的厚度和复合, 使得邻近层 22、24 的磁矩 32、34, 分别地, 通过非铁磁间隔层 23 而反铁磁耦合, 并且它们在零外加场 (即剩磁状态) 中反向平行。层 20 的这两个反铁磁耦合层 22、24 有反向平行的磁矩, 并且上层 24 的磁矩较大。因而 $M_{rt_{UL}}$ 大于 $M_{rt_{LL}}$, 并且 AFC 层 20 的合成 M_{rt} 是 $(M_{rt_{UL}} - M_{rt_{LL}})$ 。

铁磁层通过一非铁磁过渡金属隔离层 (例如图 2 中层 20 的 AFC 结构) 的反铁磁耦合已经在文献中被广泛地研究和描述了。通常, 交换耦合从铁磁体到非铁磁体振动而隔离层厚度增加。选定材料复合物的这种振动的耦合关系由 Parkin 等人在“交换耦合中的振动以及金属超晶格结构 (Co/Ru、Co/Cr 和 Fe/Cr) 中的磁致电阻”, *Phys.Rev.Lett.*, Vol.64,p.2034(1990)一文中描述。该材料复合物包括铁磁层 (由 Co, Fe, Ni 和其合金, 例如 Ni-Fe, Ni-Co, 和 Fe-Co 制成) 和非铁磁隔离层 (例如 Ru、铬(Cr)、铑(Rh)、铱(Ir)、铜(Cu) 及其合金)。对于每一种这样的材料复合物, 振动交换耦合关系是确定的, 如果不是已知, 使得非铁磁隔离层的厚度被选定为确保两铁磁层之间的反铁磁耦合。振动的周期取决于非铁磁隔离材料, 但振动耦合的强度和相位也取决于铁磁材料和界面的质量。

对于该 AFC20 结构, 相邻铁磁层 22、24 的磁矩 32、34 的取向分别反向平行对齐并且因此叠加相抵消。因为在 AFC 结构中的这两个铁磁层对于记录起着不同的作用, 所以它们的材料特性大致不同。上层 24 通常具有几乎没有晶粒间交换耦合的小磁粒, 并且有高的内矫顽磁性 ($H_0 \sim 8kO_e$)。上层 24 的这些特性被调整以获得最好的 S_0NR 。上层 22 通常地是 CoPtCrB 合

金, 例如 $\text{Co}_{68}\text{Pt}_{13}\text{Cr}_{19}\text{B}_{10}$ 。下层 22 通常是具有大量晶粒间交换耦合和低内矫顽磁性 ($H_0 \sim 1\text{kOe}$) 的材料。这些特性便于 PW50 的减小并且该材料通常是 CoCr 合金, 具有低 Cr 含量 ($\text{Cr} < 15$ 原子百分比), 例如 $\text{Co}_{89}\text{Cr}_{11}$ 。对高性能介质, 下层所用的材料不能用于上层。非铁磁隔离层 23 通常是钌 (Ru)。

图 2 用于展现一 AFC 磁层 20, 该磁层 20 有一两层结构和一单隔离层。有两层以上铁磁层和额外的反铁磁耦合隔离层的 AFC 介质是优选的, 但是该材料不能同时降低合成 Mrt 和 $S_0\text{NR}$ 。

[本发明]

本发明是一 AFC 介质, 该 AFC 介质克服了当前 AFC 介质的限制, 并且使得可获得更低 Mrt 和 PW50, 而不会损失 $S_0\text{NR}$ 。该结构如图 3 所示, 并且包括一形成在一常规底层 113 上的 AFC 层 120 和在基片 111 上的籽晶层 112。

AFC 层 120 包括一下层结构 121, 一上铁磁层 (UL) 140, 以及一反铁磁耦合层 127。铁磁层 140 被称为上铁磁层, 因为它是 AFC 结构 120 中最高的层。下层结构 121 包括两个铁磁层 (LL1、LL2) (分别是 122 和 126), 它们跨过一铁磁耦合层 125 而铁磁耦合。AFC 层 120 有两个剩磁状态 (零外加磁场)。在这些状态之一的每个层的磁化方向如箭头 132、136、142 所示。在另一状态, 这些箭头的方向将是相反的。

铁磁耦合层 125 是任一材料, 该材料具有由层 122、126 的铁磁交换耦合而导致的复合和厚度。优选的是, 层 125 应当有一六边形封闭包 (hcp) 的水晶结构, 用于提高 hcp 的 Co 合金铁磁层 126 的生长。铁磁耦合层 125 的材料优选地是 CoRu 合金, 并且 Ru 大于大约 40 个原子百分比 (at.%) 且少于大约 70at.%。其它能够加入 CoRu 合金中的元素包括 B (少于大约 20at.%) 和 Cr (少于大约 20at.%)。其他用于铁磁耦合层 125 的材料包括一 CoCr 合金 (Cr 大于大于 27 at.%, 小于大约 45 at.%) 和 Pt 以及 Pd。这些铁磁耦合层的厚度应当在大约 0.5 到 5nm 之间。表征跨过铁磁耦合层而耦合的交换常数 (exchange constant) J 应当大于大约 0.00002J/m^2 (0.02ergs/cm^2), 但小于大约 0.0004J/m^2 (0.40ergs/cm^2)。例如 Ru 和 Cr 这样的材料, 它们伴随着厚度变化展现出振动耦合的行为, 可潜在地用作铁磁耦合层, 如果当它们的厚度被调整到铁磁状态 (regime) 时, J 的值大于 0.00002J/m^2 (0.02ergs/cm^2)。

UL 有一大于 LL1 和 LL2 的 Mrt 值之和的 Mrt。这些相关的 Mrt 值通过

箭头 132、136、142 的相对长度来表示。AFC 结构 120 的合成 Mrt 为：

$$\text{Mrt}_{\text{COMPOSITE}} = \text{Mrt}_{\text{UL}} - (\text{Mrt}_{\text{LL1}} + \text{Mrt}_{\text{LL2}}) \quad (\text{等式 } 1)$$

下层 LL1、LL2 中的每一个能有一等于常规 AFC 结构中单下层的最大 Mrt 值的 Mrt。因为获得该合成 Mrt 的减小而不用将任一下层 Mrt 增加到常规 AFC 结构中单下层的最大 Mrt 之上，所以这里不会有由下层 Mrt 过大引起的 $S_0\text{NR}$ 降级。本发明的 AFC 结构能够被制得而不需改变常规 AFC 结构中单下层的复合或增加下层的厚度。既然 UL 140 与下层结构 121 反铁磁耦合，并且底部铁磁层 LL1 122 和 LL2 126 是由具有低内矫顽磁性 H_0 的薄合金制成，类似常规 AFC 结构中使用的合金，那么记录到上铁磁层 UL 中的磁化模式将决定下铁磁层 LL1、LL2 的磁化取向。

图 4 展示了只改变 Mrt_{LL1} （假设 $\text{Mrt}_{\text{LL1}} = \text{Mrt}_{\text{LL2}}$ ）得到的一系列这些结构的合成 Mrt。 Mrt_{LL1} 越大，合成 Mrt 越小。通过增加 Mrt_{LL1} 到大约 0.0013A (0.13 memu/cm²)，合成 Mrt 可减少到低于参考 AFC 结构 0.0013A (0.13 memu/cm²) (0.0022A(0.22 memu/cm²), 与 0.0035(0.35 memu/cm²)相比)。本发明的 AFC 结构从而获得了给定 UL 厚度的 PW50 的减小，而无需牺牲 $S_0\text{NR}$ ，并且克服了常规 AFC 介质的基本限制之一。

用于 UL 的优选的材料是 CoPtCrB 合金，并且 Cr 在大约 16 到 22 个原子百分点 (at.%) 之间，Pt 在大约 12 到 20at.% 之间，以及 B 大约在 7 到 20 at.% 之间。其他元素，例如 Ta，能被加到 CoCrPtB 合金中。对于每个下层 LL1、LL2，优选的材料是 CoCr 合金，并且 Cr 在大约 5 到 24 at.% 之间。其他元素能被加入到该 CoCr 合金中，例如 B (少于 6 at.%), Ta (少于 5 at.%) 和 Pt (少于 10 at.%)。Ta 对于 CoCr 合金中 Cr 的分离 (segregation) 特别有益，并且便于随后沉积层的外延生长。UL 也可两个或更多在每一个顶部叠在一起且相互直接交换耦合的 CoPtCrB 合金的复合 UL。这里引用的 UL 的复合范围表示如果 UL 是一复合 UL 时的多合金的平均复合。

上述 AFC 结构不局限于仅仅两个下层的实现方式。例如，该下层结构可包括一或更多额外的下层以及相应的铁磁耦合层。参考图 3，如果在下层结构 121 中有三个下层，那么第二铁磁耦合层将位于 LL2 126 上，并且第三下层 LL3 将位于第二铁磁耦合和反铁磁耦合层 127 之间。在这个例子中，该 AFC 结构的合成 Mrt 表示为：

$$\text{Mrt}_{\text{COMPOSITE}} = \text{Mrt}_{\text{UL}} - (\text{Mrt}_{\text{LL1}} + \text{Mrt}_{\text{LL2}} + \text{Mrt}_{\text{LL3}}) \quad (\text{等式 } 2)$$

在此 AFC 结构中 UL 的 Mrt 大于 LL1、LL2 和 LL3 的 Mrt 值之和。在此例中,如果三个下层中的每一个的 Mrt 是大约 0.0013A (0.13 memu/cm^2) (大约是图 2 中参考的 AFC 结构的单下层的最大 Mrt), 那么合成 Mrt 将比参考的 AFC 结构减少 0.0026A (0.26 memu/cm^2) (0.0009A (0.09 memu/cm^2), 与 0.0035A (0.35 memu/cm^2) 相比)

当本发明参考优选的实施例被特别展现和描述时,技术人员将会明白形式上和细节上的改变不会偏离本发明的精神和范围。因而,本公开的发明仅考虑所附权利要求里列出的说明和范围限制。

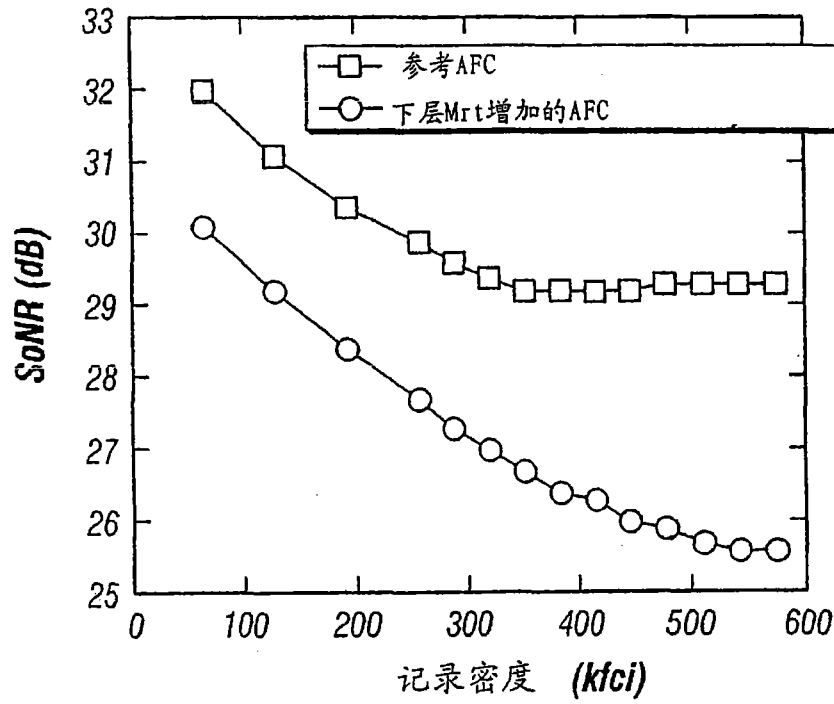


图 1

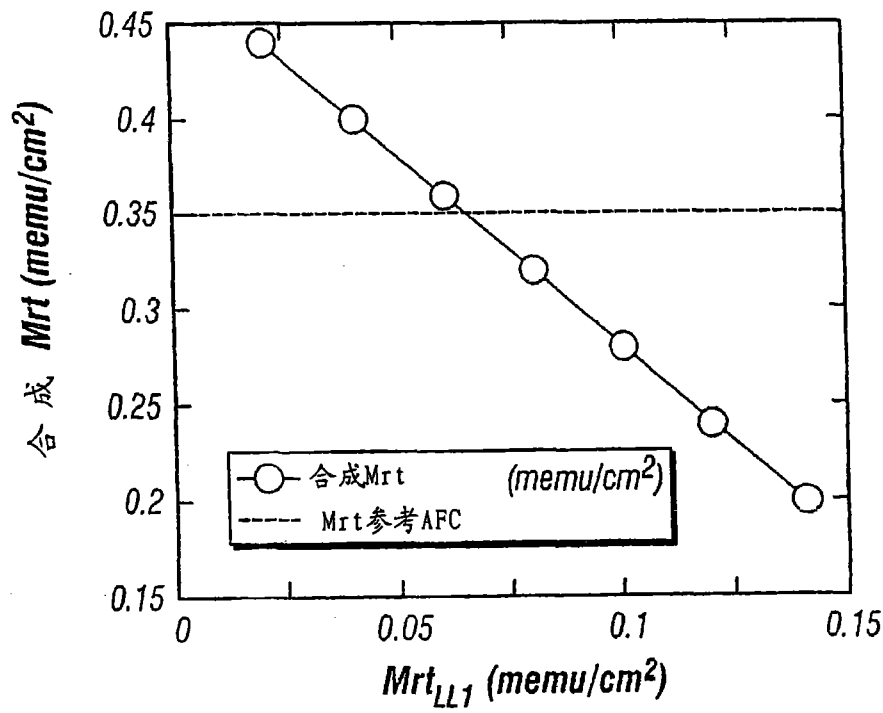


图 4

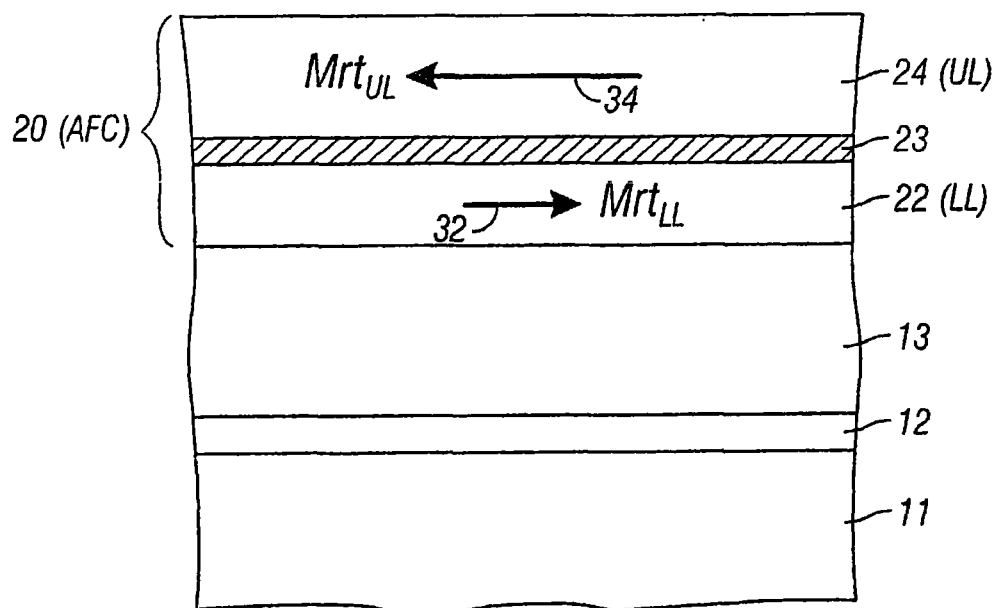


图 2

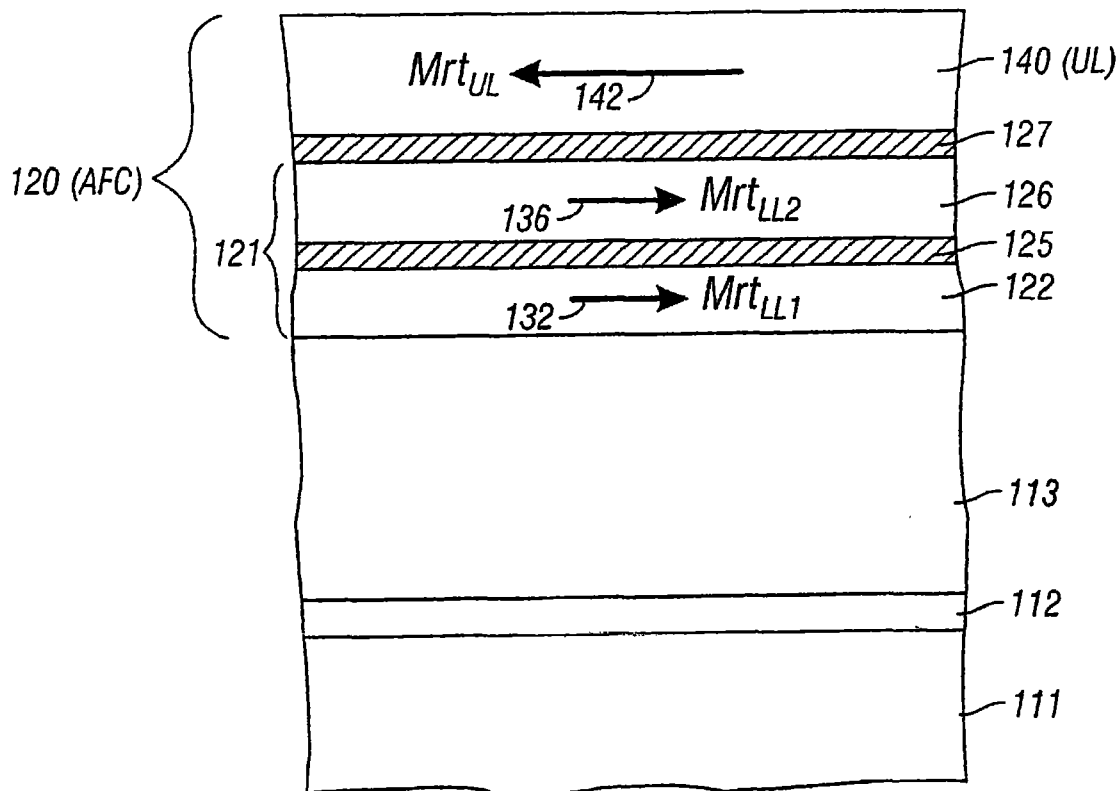


图 3