

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 5/66 (2006.01)

C22C 38/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510006442.8

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 100338656C

[22] 申请日 2005.2.1

[21] 申请号 200510006442.8

[30] 优先权

[32] 2004.2.26 [33] US [31] 10/788,687

[73] 专利权人 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

[56] 参考文献

EP1059629A2 2000.12.13

US2003/170499A1 2003.9.11

EP1343147A2 2003.9.10

WO03/65356A1 2003.8.7

US200387135A1 2003.5.8

US2003/124390A1 2003.7.3

审查员 梁小容

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 李晓舒 魏晓刚

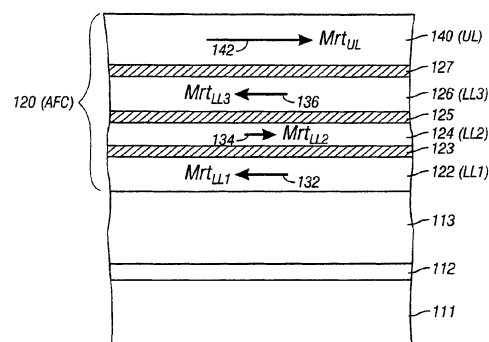
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 4 页

[54] 发明名称

具有带多重下层的反铁磁耦合磁性层的磁记录盘

[57] 摘要

一种磁记录层，具有反铁磁耦合 (AFC) 结构，其具有三层下铁磁层 (LL1、LL2、LL3) 和上铁磁层 (UL)，所有的四层铁磁层跨过相应的反铁磁耦合层反铁磁耦合在一起。UL 具有比三层下层 LL1、LL2、LL3 每一个的剩磁厚度积 (Mrt) 大且比 LL1 和 LL3 的 Mrt 值之和大的 Mrt。中间下层 LL2 的 Mrt 小于其它下层 LL1 和 LL3 中每一个的 Mrt，结果该 AFC 结构的合成 Mrt 的结果小于仅具有单个下层的传统 AFC 结构的合成 Mrt。该 AFC 结构实现了这种合成 Mrt 的减小而不增大三层下层中任何一个的 Mrt 超过传统 AFC 结构中单个下层的最大 Mrt。



1. 一种磁记录盘, 包括:

基板;

第一下铁磁层, 在该基板上且具有剩磁 M_r 、厚度 t 、剩磁厚度积 Mrt ;

第一反铁磁耦合层, 在该第一下铁磁层上;

第二下铁磁层, 在该第一反铁磁耦合层上, 且具有小于该第一下铁磁层的 Mrt 的 Mrt ;

第二反铁磁耦合层, 在该第二下铁磁层上;

第三下铁磁层, 在该第二反铁磁耦合层上, 且具有大于该第二下铁磁层的 Mrt 的 Mrt ;

第三反铁磁耦合层, 在该第三下铁磁层上; 以及

上铁磁层, 在该第三反铁磁耦合层上, 且具有大于该第一和第三下铁磁层的 Mrt 值之和的 Mrt ,

其中该上铁磁层和该第三下铁磁层的磁化方向在剩磁状态下反平行, 该第三下铁磁层和该第二下铁磁层的磁化方向在剩磁状态下反平行, 该第二下铁磁层和该第一下铁磁层的磁化方向在剩磁状态下反平行。

2. 根据权利要求 1 所述的盘, 其中所述下铁磁层由相同的材料形成, 且该第二下铁磁层的厚度小于该第一和第三下铁磁层中每一层的厚度。

3. 根据权利要求 1 所述的盘, 还包括:

第四下铁磁层, 在该第三反铁磁耦合层上;

第四反铁磁耦合层, 在该第四下铁磁层上;

第五下铁磁层, 在该第四反铁磁耦合层上; 以及

第五反铁磁耦合层, 在该第五下铁磁层上, 且其中该上铁磁层直接形成在该第五反铁磁耦合层上, 且具有大于该第一、第三和第五下铁磁层的 Mrt 值之和的 Mrt 。

4. 根据权利要求 1 所述的盘, 其中该上铁磁层为包括 Co、Pt、Cr 和 B 的合金, 且其中所述下铁磁层中的每一个为包括 Co 和 Cr 的合金。

5. 根据权利要求 4 所述的盘, 其中所述下铁磁层的每一个为还包括 Ta 的合金。

6. 根据权利要求 1 所述的盘, 其中每个所述反铁磁耦合层包括从钌 Ru、

铬 Cr、铑 Rh、铱 Ir、铜 Cu 及其合金构成的组中选取的材料。

7. 根据权利要求 1 所述的盘, 还包括底层, 其位于该基板上在该基板与该第一下铁磁层之间。

8. 根据权利要求 1 所述的盘, 还包括形成在该上铁磁层上方的保护覆层。

9. 一种磁记录盘, 包括:

基板; 以及

反铁磁耦合结构, 其在该基板上, 并在没有外加磁场的情况下具有两种剩磁状态, 该结构包括:

第一下铁磁层, 具有剩磁 M_r 、厚度 t 、剩磁厚度积 Mrt ;

第一反铁磁耦合层, 在该第一下铁磁层上;

第二下铁磁层, 在该第一反铁磁耦合层上, 且具有小于该第一下铁磁层的 Mrt 的 Mrt ;

第二反铁磁耦合层, 在该第二下铁磁层上;

第三下铁磁层, 在该第二反铁磁耦合层上, 且具有大于该第二下铁磁层的 Mrt 的 Mrt ;

第三反铁磁耦合层, 在该第三下铁磁层上; 以及

上铁磁层, 在该第三反铁磁耦合层上, 且具有大于该第一和第三下铁磁层的 Mrt 值之和的 Mrt ;

且其中该上铁磁层和该第三下铁磁层的磁化方向在每种剩磁状态下反平行, 该第三下铁磁层和该第二下铁磁层的磁化方向在每种剩磁状态下反平行, 该第二下铁磁层和该第一下铁磁层的磁化方向在每种剩磁状态下反平行, 且在一种剩磁状态下该上铁磁层和所述下铁磁层的磁化方向反平行于它们在另一种剩磁状态下的磁化方向。

10. 根据权利要求 9 所述的盘, 其中所述下铁磁层由相同的材料形成, 且其中该第二下铁磁层的厚度小于该第一和第三下铁磁层中每一个的厚度。

11. 根据权利要求 9 所述的盘, 其中该上铁磁层为包括 Co、Pt、Cr 和 B 的合金, 且其中所述下铁磁层的每一个为包括 Co 和 Cr 的合金。

12. 根据权利要求 11 所述的盘, 其中所述下铁磁层的每一个为还包括 Ta 的合金。

13. 根据权利要求 9 所述的盘, 其中每个所述反铁磁耦合层包括从钌 Ru、铬 Cr、铑 Rh、铱 Ir、铜 Cu 及其合金构成的组中选取的材料。

14. 根据权利要求 9 所述的盘,还包括底层,其位于该基板上在该基板与该反铁磁耦合结构之间。

15. 根据权利要求 9 所述的盘,还包括形成在该上铁磁层上方的保护覆层。

具有带多重下层的反铁磁耦合磁性层的磁记录盘

技术领域

本发明总体上涉及磁记录硬盘驱动器中使用的磁记录盘,更具体地涉及一种磁记录盘,其具有反铁磁耦合(AFC)磁性层。

背景技术

随着磁记录硬盘的存储密度增大,存在磁记录层的剩磁厚度积(Mrt: magnetization-remanence-thickness product)的相应减少和矫顽力(H_c)的相应增大。Mrt 为记录层的记录层厚度 t 和剩余(零外加磁场)磁化强度 M_r (其中 M_r 以每单位体积铁磁材料的磁矩为单位测量)的乘积。 H_c 涉及磁盘驱动器写入头在记录层上写入数据所需的瞬时反转磁场(short-time switching field)或内禀矫顽力(H_0)。Mrt 和 H_c 的趋势导致比率 Mrt/H_c 的减小。

为实现 Mrt 的减小,磁性层的厚度 t 可以减小,但仅能到一定的限度,因为该层中存储的磁信息更易于衰退。这种磁化强度的衰退归因于小磁晶的热活化(超顺磁效应)。磁晶(magnetic grain)的热稳定性在很大程度上由 $K_u V$ 确定,其中 K_u 为该层的磁各向异性常数, V 为磁晶的体积。随着层厚度减小, V 减小。若层厚度过薄,则 $K_u V$ 变得过小,且存储的磁信息在正常的磁盘驱动器操作条件下将不再稳定。

解决此问题的一种途径转向更高各向异性的材料(更高的 K_u)。然而, K_u 的增大受到矫顽力 H_c 变得过大以致无法通过传统的记录头写入的限定, H_c 近似等于 K_u/M_s (M_s =饱和磁化强度)。类似的方式为对于固定的层厚度减小磁性层的 M_s ,由于 M_r 涉及 M_s 所以这将减小 M_r ,但这也受到可以写入的矫顽力的限制。

转让给与本申请相同的受让人的美国专利第 6,280,813 号介绍了一种磁记录介质,其中磁记录层为经非铁磁间隔层反铁磁耦合在一起的至少两层铁磁层。在被称作 AFC 介质的这种磁性介质中,在剩磁上,两层反铁磁耦合层的磁矩反平行取向,结果记录层的净或合成 Mrt 为上和下铁磁层的 Mrt 之间的差。上铁磁层通常具有比下铁磁层更高的 Mrt,使得合成 Mrt 由 Mrt_{UL}

- Mrt_{LL} 给出。 Mrt 的这一减小是在不减小体积 V 的情况下实现的。由此，记录介质的热稳定性不减小。

由此，AFC 介质明显改善了磁记录盘的性能。低合成 Mrt 意味着低的 $PW50$ 值， $PW50$ 是以低记录密度测量的记录信号的孤立读回脉冲的半高脉宽(half-amplitude pulse-width)。 $PW50$ 值确定了可实现的线密度，且低的 $PW50$ 值是所期望的。因此，AFC 介质的可扩展性主要由该结构可用于将 $PW50$ 降低多少来确定，并且这由可以在下铁磁层中实现多大的 Mrt 值来确定，因为 $Mrt_{COMPOSITE}=(Mrt_{UL} - Mrt_{LL})$ 。

然而，对于当前的 AFC 介质，存在可用于下铁磁层的最大 Mrt 值，在该最大 Mrt 值以上介质的本征信噪比(S_0NR)将变差，即使 $PW50$ 依然被降低且合成(composite) Mrt 依然下降。例如，AFC 结构可用更厚的下铁磁层制造(在该最大值以上将下层 Mrt 提高 0.05memu/cm^2)，从而实现 $PW50$ 值由使用最大下层 Mrt 的参考 AFC 结构减小 3.5%。然而，这导致了近 3.5db 的 S_0NR 的无法接受的下降。

下层变得过厚时 AFC 介质发生 S_0NR 的减小有两种可能的原因。首先，随着下铁磁层制造得更厚，其各向异性体积积($K_U V$)增大。 $K_U V$ 确定了该层对热波动如何易受影响， $K_U V$ 越高该层越不易受影响。已经确定，是热活化反向允许 AFC 介质的小层间交换场将下层的磁化强度反向并由此产生所需的反平行剩磁构造。因此，下层的 $K_U V$ 越高(下层 Mrt 越高)，对于相对小的交换场更难以完全反向下层的磁化强度。其次，交换场的大小与下层 Mrt 成反比，还使得随着下层变得更厚对于反铁磁相互作用将更难以反向下层的磁化强度。因此，随着下层 Mrt 增大，发生了两种影响使得难以反向下层磁化强度来形成反平行剩磁构造。这些因素可以使得某些下层晶粒不与其各自的上层晶粒反平行，这可能在记录信号中产生额外噪音，其使得测得的 S_0NR 下降。通过在 Ru 层附近增加高磁矩层来增大交换场是延缓这一问题的可能方式，但此高磁矩层的加入降低了 S_0NR ，使得实际上非常难以明显改变交换场而不减小 S_0NR 。因此，无法将 AFC 介质中下铁磁层的厚度增大超过某些最大值的问题对于这些结构是普遍的问题。

所需要的是一种具有 AFC 结构的磁记录盘，其可以利用合成 Mrt 和 $PW50$ 的减小，而不会导致 S_0NR 降低。

发明内容

本发明是一种具有 AFC 结构的磁记录盘，该结构具有三个下铁磁层(LL1、LL2、LL3)和一上铁磁层(UL)，所有四层铁磁层穿过相应的反铁磁耦合层反铁磁耦合在一起。UL 具有比三个下层 LL1、LL2、LL3 中的每一个的 M_{rt} 更大且比 LL1 和 LL3 的 M_{rt} 值之和更大的 M_{rt} 。中间的下层 LL2 的 M_{rt} 小于其它下层 LL1 和 LL3 中每一个的 M_{rt} ，结果该 AFC 结构的合成 M_{rt} 的结果小于传统 AFC 结构的合成 M_{rt} 。本发明的 AFC 结构能够实现这种合成 M_{rt} 的减小而不增大三个下层中任何一个的 M_{rt} 超过传统 AFC 结构中单个下层的最大 M_{rt} ，由此避免了由于下层中 M_{rt} 过大导致的 S_0NR 的下降。

根据本发明，一种磁记录盘包括：基板；以及反铁磁耦合结构，其在该基板上，并在没有外加磁场的情况下具有两种剩磁状态，该结构包括：(a)第一下铁磁层，具有剩磁 M_r 、厚度 t 、剩磁厚度积 M_{rt} ；(b)第一反铁磁耦合层，在该第一下铁磁层上；(c)第二下铁磁层，在该第一反铁磁耦合层上，且具有小于该第一下铁磁层的 M_{rt} 的 M_{rt} ；(d)第二反铁磁耦合层，在该第二下铁磁层上；(e)第三下铁磁层，在该第二反铁磁耦合层上，且具有大于该第二下铁磁层的 M_{rt} 的 M_{rt} ；(f)第三反铁磁耦合层，在该第三下铁磁层上；以及(g)上铁磁层，在该第三反铁磁耦合层上，且具有大于该第一和第三下铁磁层的 M_{rt} 值之和的 M_{rt} ；且其中该上铁磁层和该第三下铁磁层的磁化方向在每种剩磁状态下反平行，该第三下铁磁层和该第二下铁磁层的磁化方向在每种剩磁状态下反平行，该第二下铁磁层和该第一下铁磁层的磁化方向在每种剩磁状态下反平行，且在一种剩磁状态下该上铁磁层和所述下铁磁层的磁化方向反平行于它们在另一种剩磁状态下的磁化方向。

为更全面地理解本发明的实质和优点，说明书将结合附图进行以下详细介绍。

附图说明

图 1 为根据现有技术的 AFC 磁记录盘的示意截面图；

图 2 为根据本发明的 AFC 磁记录盘的示意截面图；

图 3 示出了本发明 AFC 结构的合成 M_{rt} 与中间下层的 M_{rt} 的函数关系；

图 4 示出了本发明 AFC 结构的 $PW50$ 与中间下层的 M_{rt} 的函数关系；

以及

图 5A 至 5D 示出了四种不同记录密度下本发明 AFC 结构的 S_0NR 与参考 AFC 结构的比较。

具体实施方式

现有技术

图 1 示出了根据现有技术的具有反铁磁耦合(AFC)磁性层 20 的磁盘的截面结构。磁盘基板 11 为任何适合的材料, 诸如玻璃、SiC/Si、陶瓷、石英、或具有 NiP 表面涂层的 AlMg 合金基体。籽层 12 为可选层, 其可以用于改善底层(underlayer)13 的生长。在基板 11 为非金属(诸如玻璃)时, 籽层 12 最为常用。籽层 12 具有范围约在 1 至 50nm 的厚度, 并且为诸如 Ta、CrTi、NiAl 或 RuAl 的材料中的一种, 这些材料作为促进后续沉积层沿特定优选晶体取向的生长的晶种材料是有益的。还可以在玻璃基板 11 与籽层 12 之间使用预先籽层(pre-seed layer)(未示出)。若籽层存在, 则底层 13 沉积在籽层上,

否则底层 13 直接沉积在基板 11 上, 并且为非磁性材料, 诸如铬或铬合金, 例如 CrV、CrTi 或 CrMo。底层 13 具有在 5 至 100nm 范围内的厚度, 其典型值为约 10nm。在 AFC 层 20 上形成诸如无定形碳的保护覆层(未示出)作为顶层。

AFC 磁性层 20 由下铁磁层(LL)22 和上铁磁层(UL)24 构成, 其通过充当反铁磁耦合层的非铁磁间隔层 23 隔开。非铁磁间隔层 23 的厚度和组分被选择为使得邻近层 22 和 24 的磁矩 32 和 34 分别通过非铁磁间隔层 23 AF 耦合, 并在零外加场(zero applied field)时(即剩磁态下)反平行。层 20 的两层 AF 耦合层 22 和 24 具有反平行取向的磁矩, 且上层 24 具有更大的磁矩。由此 $M_{rt_{UL}}$ 大于 $M_{rt_{LL}}$, 且 AFC 层 20 的合成 Mrt 为 $(M_{rt_{UL}} - M_{rt_{LL}})$ 。

铁磁层的经非铁磁过渡金属间隔层的 AF 耦合(如图 1 的层 20 的 AFC 结构)已得到广泛研究, 并且在文献中介绍。通常, 随着间隔层厚度增大, 交换耦合由铁磁至反铁磁振荡。对于选定材料组合的这种振荡耦合关系(oscillatory coupling relationship)由 Parkin 等人在“Oscillations in Exchange Coupling and Magnetoresistance in Metallic Superlattice Structure: Co/Ru, Co/Cr and Fe/Cr”, Phys. Rev. Lett., Vol. 64, p.2034(1990)中介绍。该材料组合包括 Co、Fe、Ni 及它们的如 Ni-Fe、Ni-Co 和 Fe-Co 的合金制成的铁磁层和诸如 Ru、铬(Cr)、铑(Rh)、铱(Ir)、铜(Cu)及其合金的非铁磁间隔层。对于每一种这样的材料组合, 如果振荡交换耦合关系尚未已知, 则其必须被确定, 使得非铁磁间隔层的厚度被选择来确保两铁磁层之间的反铁磁耦合。振荡的周期依赖于非铁磁间隔材料, 但振荡耦合的强度和相位还依赖于铁磁材料和界面质量。

对于这种 AFC 结构 20, 相邻铁磁层 22 和 24 的磁矩 32 和 34 的取向分别反平行排列, 于是相消叠加。由于 AFC 结构中的两铁磁层对于记录起不同的作用, 所以其材料性质非常不同。上层 24 通常具有几乎没有晶粒间交换耦合的小磁晶, 并具有高内禀矫顽力(H_0 约 8KOe)。上层 24 的这些性质被调整以获得最佳 S_0NR 。上层 22 通常为 CoPtCrB 合金, 诸如 $Co_{68}Pt_{13}Cr_{19}B_{10}$ 。下层 22 通常为具有大量晶粒间交换耦合和低内禀矫顽力(H_0 约 1KOe)的材料。这些性质促进 PW50 减小, 并且该材料通常为具有低 Cr 含量([Cr]<15at.%)的 CoCr 合金, 诸如 $Co_{89}Cr_{11}$ 。对于高性能介质, 用于下层的材料不能用作上层。非铁磁间隔层 23 通常为钌(Ru)。

图 1 示出了具有两层结构和单个间隔层的 AFC 磁性层 20。已经提出了具有多于两层的铁磁层和额外的 AF 耦合间隔层的 AFC 介质,但仍没有一个这样的介质能够同时实现合成 Mrt 的减小和 S_0NR 。

本发明

本发明是一种 AFC 介质,其克服了当前的 AFC 介质的限制,并且能够实现更低的 Mrt 和 PW50 而不危害 S_0NR 。这种结构在图 2 中示出,并且包括形成在基板 111 上的传统底层 113 和籽层 112 之上的 AFC 层 120。

AFC 层 120 包括三层下铁磁层(LL1、LL2、LL3)(分别是图 2 中的 122、124、126)和上铁磁层(UL)(图 2 中的 140)。铁磁层 140 被称作上铁磁层,因为它是 AFC 结构 120 中的最上层。这四层铁磁层通过三层反铁磁耦合层 123、125、127 隔开。所有的四层铁磁层 122、124、126、140 反铁磁耦合在一起。AFC 层 120 具有两种剩磁状态(零外加磁场)。这些状态之一中每层的磁化方向由箭头 132、134、136、142 示出。在另一状态下,所有箭头的方向反向。

UL 具有的 Mrt 大于三层下层 LL1、LL2、LL3 中每一层的 Mrt,并大于 LL1 和 LL3 的 Mrt 值之和。中间下层 LL2 具有的 Mrt 小于其它下层 LL1 和 LL3 中的每一层的 Mrt。(这些相关的 Mrt 值由箭头 132、134、136、142 的对应长度表示)。AFC 结构 120 的合成 Mrt 由下式给出:

$$Mrt_{COMPOSITE} = (Mrt_{UL} - Mrt_{LL1}) + Mrt_{LL2} - Mrt_{LL3} \quad (\text{等式 1})$$

为将图 2 的 AFC 介质的记录性质与传统 AFC 介质(图 1)的相比较,上层 UL 140 和第一下铁磁层 LL1 122 在组分和厚度上可以与图 1 的现有技术 AFC 结构中的两个对应层(层 22 和 24)相同,使得其对应的 Mrt 值相同。两层中间下铁磁层 LL2 和 LL3 可以由与标准 AFC 结构的下层(图 1 的层 22)相同的材料形成,但 LL2 更薄。只要 LL2 保持为规定的磁性层(大于约 0.2nm),其被形成为基本上尽可能薄。由于 $Mrt_{LL2} < Mrt_{LL3}$,所以由上述等式 1 可见,AFC 结构 120 的合成 Mrt 将小于传统 AFC 结构的合成 Mrt ($Mrt_{UL} - Mrt_{LL1}$)。重要地,这种 AFC 结构能够实现此合成 Mrt 的减小而不增大三层下层中任何一层的 Mrt 超出传统 AFC 结构中单个下层的最大 Mrt,并且由此避免了由下层的过大 Mrt 导致的 S_0NR 降低。本发明的 AFC 结构可以被制造,而不需要相对于传统 AFC 结构中单个下层的成分和厚度改变该三层下层中任何一层的成分或增大其厚度。由于 AFC 结构 120 中所有铁磁层反铁磁耦合,且底部三层铁磁层 LL1、LL2、LL3 由具有低内禀矫顽力 H_0 的薄合金制成,类似传

统 AFC 结构中所用的合金,因此记录在上铁磁层 UL 中的磁化图形将确定其它铁磁层的磁化取向。

本发明的 AFC 结构将 PW50 改善为超过传统 AFC 结构,且不减小 S_0NR 。介质信噪比(S_0NR)为特定记录密度(磁通翻转数/所记录的磁性转变的直线距离)下孤立信号脉冲与噪音的比。所研究的结构仅变化了 LL2 的 Mrt ,同时保持 UL 厚度恒定,并固定 $Mrt_{LL1} = Mrt_{LL3} = 0.13\text{memu/cm}^2$ 。将这些结构与 $Mrt_{LL} = 0.13\text{memu/cm}^2$ (其近似为 Mrt_{LL} 的最大值,超过该值 S_0NR 下降)且 UL 对于所有结构均相同的参考 AFC 结构相比。

图 3 示出了一系列这些结构的合成 Mrt ,其作为仅改变 Mrt_{LL2} 的函数。 Mrt_{LL2} 越小,合成 Mrt 越小。通过减小 Mrt_{LL2} ,合成 Mrt 可以比参考 AFC 结构降低 0.11memu/cm^2 (0.24memu/cm^2 与 0.35memu/cm^2 相比)。图 4 示出随着合成 Mrt 降低, PW50 减小。测得了 PW50 的 5% 的减小。

图 5A 至 5D 在四种不同记录密度下比较了本发明 AFC 结构的 S_0NR 与参考 AFC 结构,该密度以千位每英寸(kbpi)测量。对于测得相对于参考 AFC 结构 PW50 减小的层,对于重要的中间记录密度区域(图 5B 和 5C)测得了 S_0NR 的明显改善。由此,本发明的 AFC 结构对于给定的 UL 厚度实现了 PW50 的减小,而不损害 S_0NR ,并且克服了传统 AFC 介质的基本限制之一。

用于 UL 的优选材料为 CoPtCrB 合金,其具有约 16 与 22 原子百分比(at.%)之间的 Cr、约 12 与 20 at.%之间的 Pt、以及约 7 与 20 at.%之间的 B。诸如 Ta 的其它元素可以添加至这种 CoPtCrB 合金中。下层 LL1、LL2、LL3 中每一层的优选材料为 CoCr 合金,其具有约 5 与 24 at.%之间的 Cr。其它元素可以添加至这种 CoCr 合金中,诸如 B(小于 6 at.%)、Ta(小于 5 at.%)和 Pt(小于 10 at.%)。Ta 尤其有益于 CoCr 合金中 Cr 的偏析,并促进后续沉积层的外延生长。UL 还可以是叠在彼此之上并彼此直接交换耦合的两层或更多层 CoPtCrB 合金的复合 UL。若 UL 为复合 UL,则此处对 UL 成分范围的提及意味着多重合金的平均成分。

上述 AFC 结构不限于仅以三层下层实施。例如, AFC 结构可以包括一个或更多个额外的次结构。次结构将包括一对下铁磁层(例如分别相应于图 2 中的 LL2 和 LL3 的下层 LL4 和 LL5)和 LL4 与 LL5 之间的反铁磁耦合层(相应于图 2 中 LL2 与 LL3 之间的层 125)。于是这种结构设置在图 2 中反铁磁耦合层 127 上方,并且在次结构与上层 UL 之间设置额外的反铁磁耦合层。

在此示例中，AFC 结构的合成 Mrt 将表示为：

$$\text{Mrt}_{\text{COMPOSITE}} = (\text{Mrt}_{\text{UL}} - \text{Mrt}_{\text{LL1}}) + \text{Mrt}_{\text{LL2}} - \text{Mrt}_{\text{LL3}} + \text{Mrt}_{\text{LL4}} - \text{Mrt}_{\text{LL5}} \quad (\text{等式 2})$$

此 AFC 结构中 UL 的 Mrt 大于 LL1、LL3、LL5 的 Mrt 值之和。

虽然已参照优选实施例具体示出并介绍了本发明，但是本领域技术人员应理解，可以在不脱离本发明的实质和范围的基础上进行各种形式和细节的改动。因此，所公开的本发明应仅视作是说明性的，且仅由所附权利要求指定的范围限定。

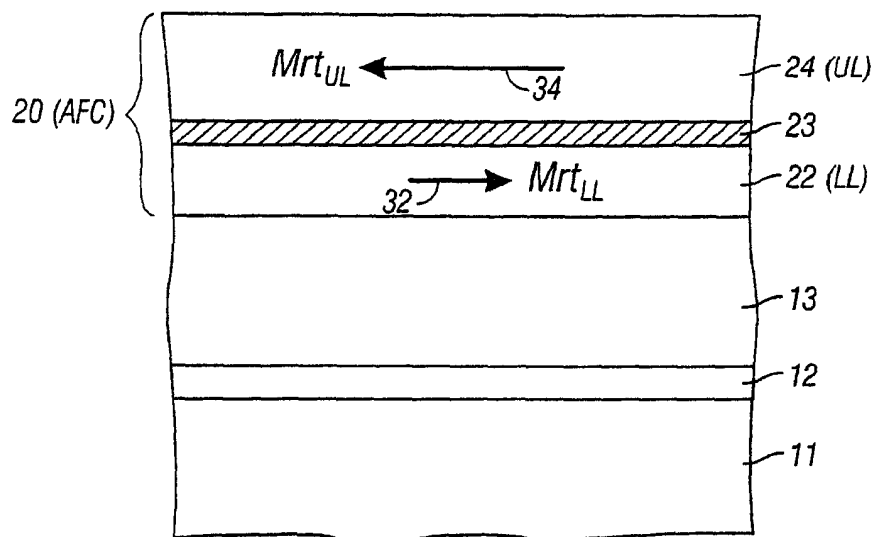


图 1

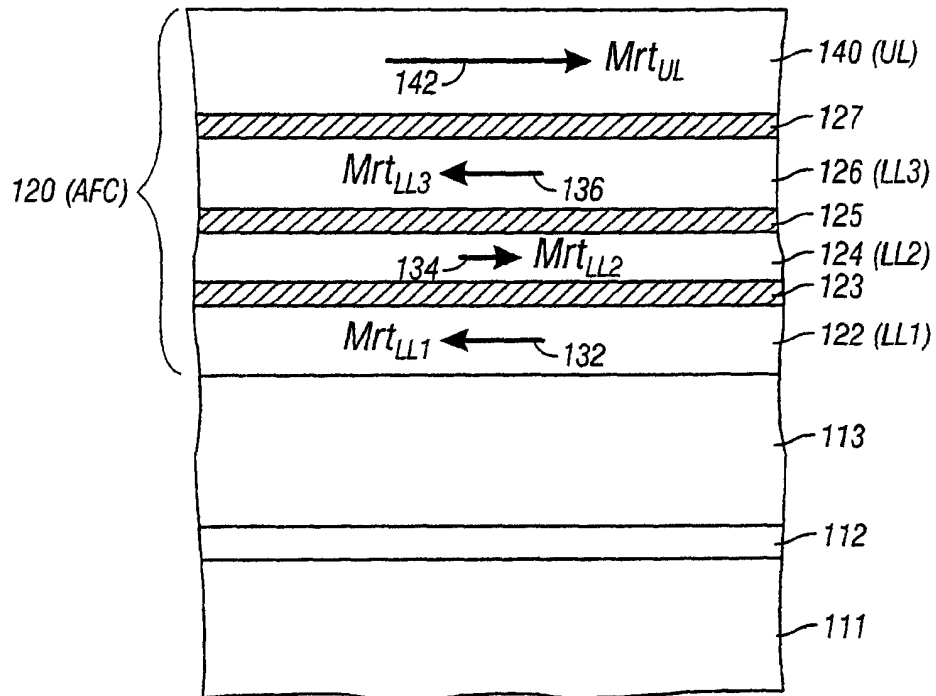


图 2

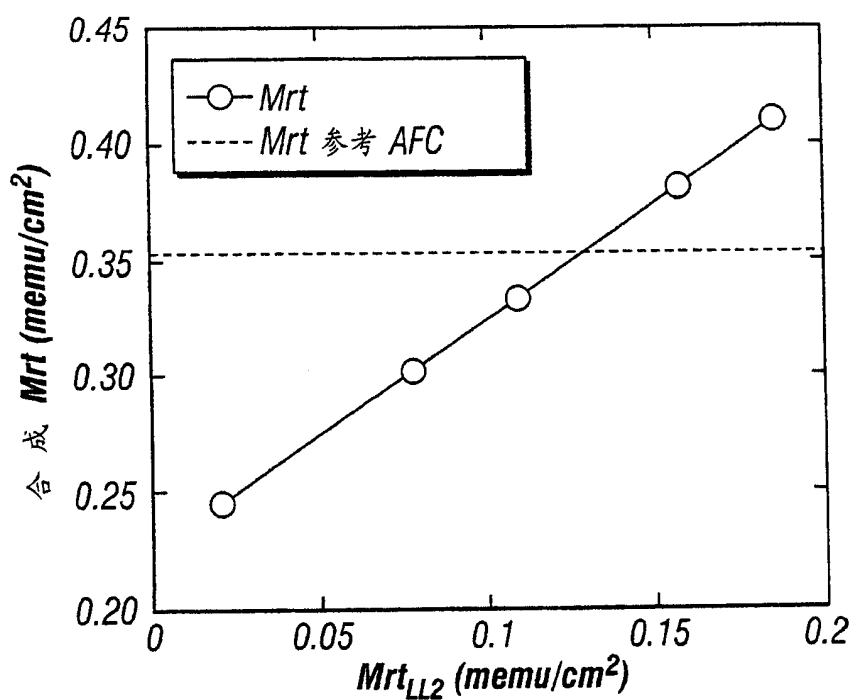


图 3

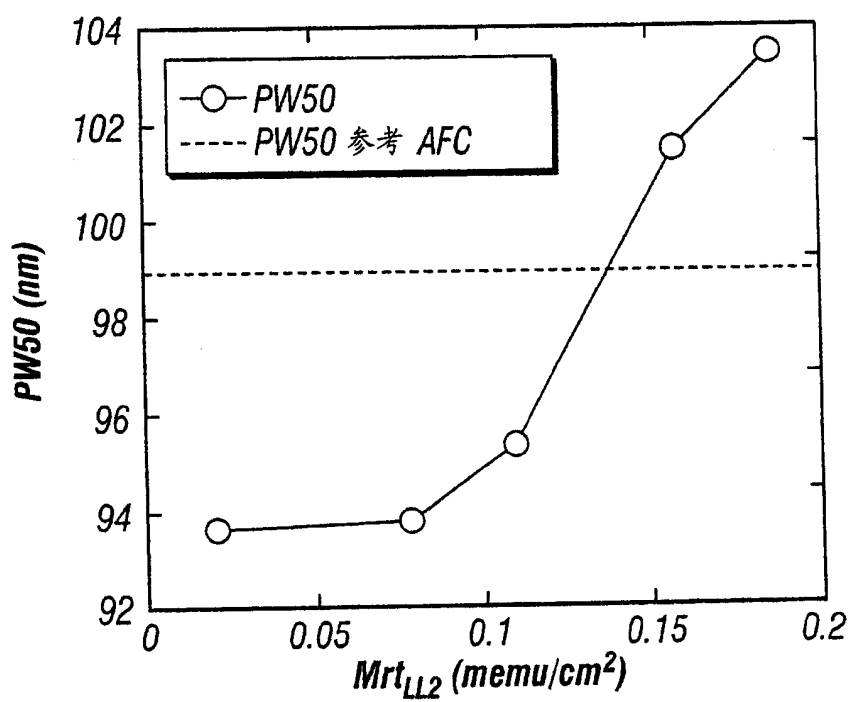


图 4

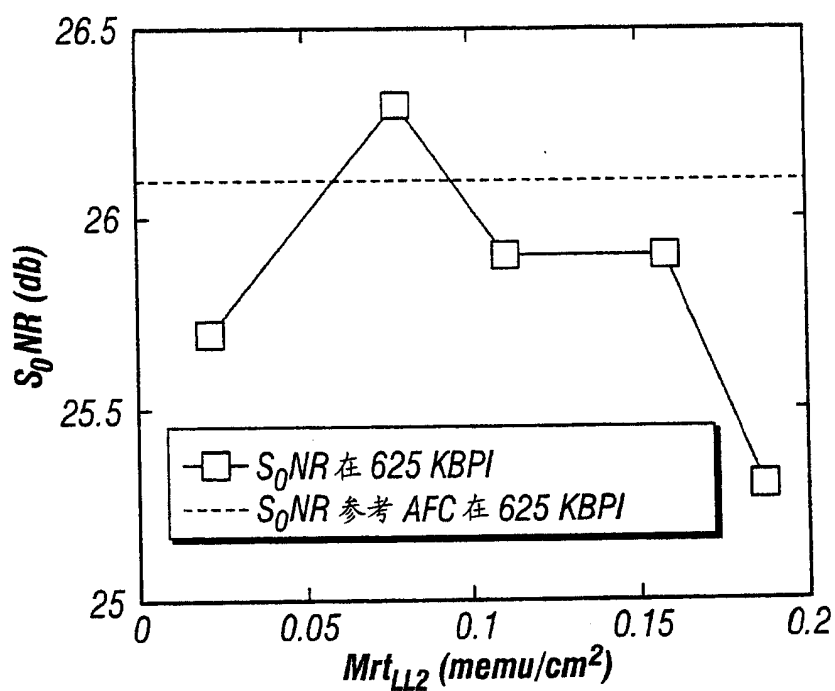


图 5A

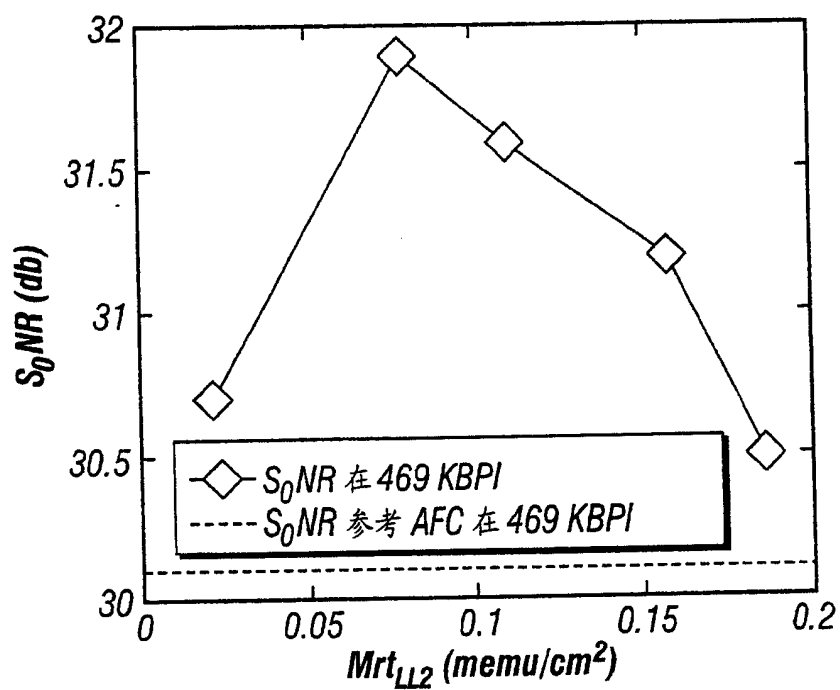


图 5B

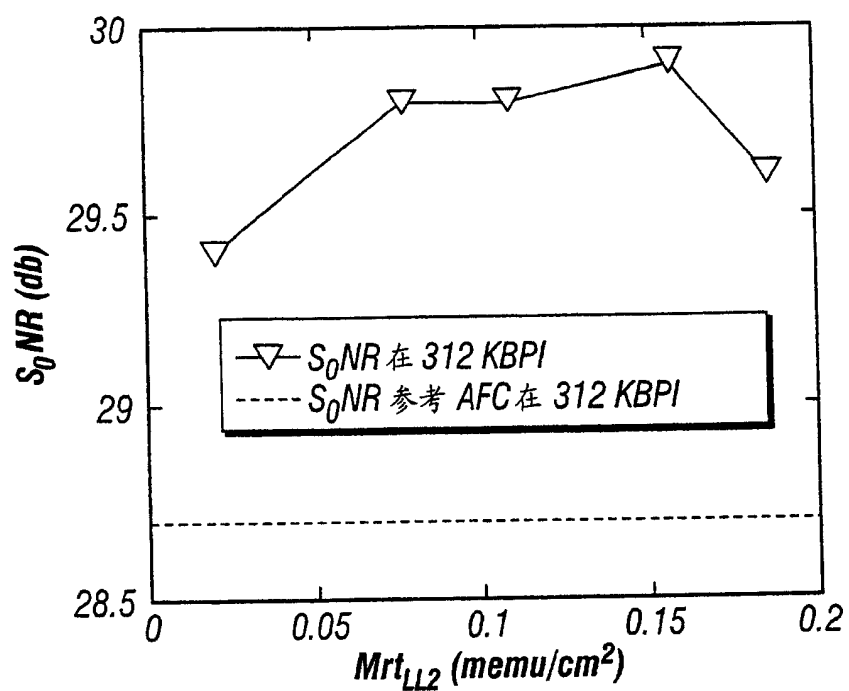


图 5C

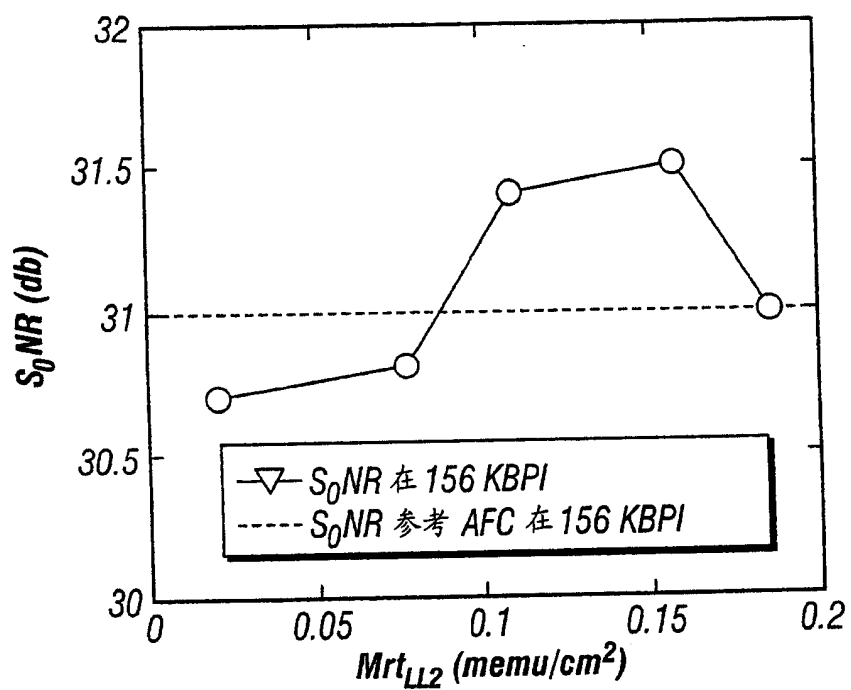


图 5D