



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410061669.8

[43] 公开日 2005 年 2 月 2 日

[11] 公开号 CN 1573946A

[22] 申请日 2004. 6. 23

[21] 申请号 200410061669.8

[30] 优先权

[32] 2003. 6. 24 [33] US [31] 10/602,504

[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 玛丽·F·朵尔纳

埃里克·E·弗勒顿

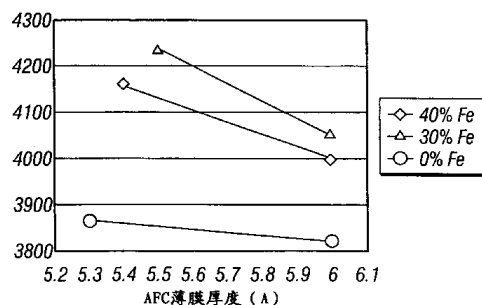
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所
代理人 付建军

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称 带有改进的反铁磁耦合薄膜的磁性器件

[57] 摘要

公开了一种带有改进的反铁磁耦合薄膜的磁性器件。本发明公开的磁性器件是一种磁阻传感器或一种磁沟道结器件，其铁磁结构带有以一种改进的 AFC 薄膜反铁磁耦合在一起的两个铁磁层。AFC 薄膜是一种 $\text{Ru}_{100-x}\text{Fe}_x$ 合金， x 是大约 10 和 60 之间的原子百分比。这种 AFC 薄膜使交换耦合提高至一个因数或 2，并且具有一种接近六边形的组合晶体结构，使它与 Co 合金铁磁层兼容。



1. 一种磁性器件，包括相互反铁磁耦合的第一和第二铁磁薄膜，以及位于所述第一和第二铁磁薄膜之间的反铁磁耦合薄膜，所述反铁磁耦合薄膜由含 Ru 和 Fe 的合金制成。

2. 根据权利要求 1 的磁性器件，其特征在于，所述第一和第二铁磁薄膜中的每一层都由含 Co 的合金制成。

3. 根据权利要求 1 的磁性器件，其特征在于，含 Ru 和 Fe 的合金是基本上由 Ru 和 Fe 组成、并且成分为 $\text{Ru}_{100-x}\text{Fe}_x$ 的合金，其中 x 是大约 10 和大约 60 之间的原子百分比。

4. 根据权利要求 1 的磁性器件，进一步包括：

扎钉铁磁层，在不存在所关注范围内的磁场时，使其磁矩固定在优选方向上；

自由铁磁层，在存在着所关注范围内的磁场时，使其磁矩相对于所述扎钉铁磁层的磁矩自由旋转；以及

非磁性隔离层，位于所述扎钉铁磁层和所述自由铁磁层之间并与二者接触；其中所述扎钉铁磁层和所述自由铁磁层中的至少一个包含所述反铁磁耦合的第一和第二铁磁薄膜以及所述反铁磁耦合薄膜。

5. 根据权利要求 4 的磁性器件，其特征在于，所述磁性器件是磁阻自旋阀传感器，并且所述非磁性隔离层由金属导电材料制成。

6. 根据权利要求 4 的磁性器件，其特征在于，所述磁性器件是磁沟道结器件，而且所述非磁性隔离层由电绝缘材料制成。

7. 一种磁阻自旋阀传感器，包括：

基底；

固定铁磁层，所述固定铁磁层在所述基底上形成，并且在不存在外加磁场时，使其磁化方向磁矩扎钉在优选方向上；

非磁性金属导电隔离层，所述非磁性金属导电隔离层与所述固定铁磁层接触；以及

自由铁磁层，所述自由铁磁层与所述隔离层接触，并且使其磁化

方向相对于所述固定铁磁层的磁化方向自由旋转；所述固定铁磁层和所述自由铁磁层中的至少一个包含相互反铁磁耦合的第一铁磁薄膜和第二铁磁薄膜、以及位于所述第一和第二铁磁薄膜之间并与二者接触的反铁磁耦合薄膜，所述反铁磁耦合薄膜具有足够的厚度使所述第一和第二铁磁薄膜耦合在一起，其中所述第一和第二铁磁薄膜的磁矩朝向相互反向平行，所述反铁磁耦合薄膜由基本上含 Ru 和 Fe 的材料制成，其成分为 $\text{Ru}_{100-x}\text{Fe}_x$ ，其中 x 是大约 10 和大约 60 之间的原子百分比。

8. 一种磁沟道结器件，包括：

基底；

固定铁磁层，在不存在外加磁场时，使其磁化方向固定在优选方向上；

绝缘沟道势垒层，所述绝缘沟道势垒层与所述固定铁磁层接触；以及

感应铁磁层，其磁化方向相对于所述固定铁磁层的磁化方向自由旋转，并且与所述绝缘沟道势垒层接触；所述固定铁磁层和所述感应铁磁层中的至少一个包含相互反铁磁耦合的第一和第二铁磁薄膜、以及反铁磁耦合薄膜，所述反铁磁耦合薄膜位于所述第一和第二铁磁薄膜之间并与二者接触，而且所述反铁磁耦合薄膜具有足够的厚度使所述第一和第二铁磁薄膜耦合在一起，其中所述第一和第二铁磁薄膜的磁矩朝向相互反向平行，所述反铁磁耦合薄膜由基本上含 Ru 和 Fe 的材料制成，其成分为 $\text{Ru}_{100-x}\text{Fe}_x$ ，x 是大约 10 和大约 60 之间的原子百分比。

带有改进的反铁磁耦合薄膜的磁性器件

技术领域

本发明涉及磁性器件，它们使用的铁磁层利用反铁磁耦合(AFC)薄膜进行反铁磁交换耦合。这些器件包括记录磁盘、基于巨磁阻(GMR)效应的磁阻读磁头以及用作磁性存储器单元和磁阻读磁头的磁沟道结(MTJ)器件。

本申请要求保护一种作为磁阻读磁头和 MTJ 器件的磁性器件，而一份同时提交的共同待批准申请要求保护作为记录磁盘的磁性器件。

背景技术

在 6,280,813 号美国专利中，介绍了一种记录磁盘，它使用至少两个铁磁层，由一层 AFC 薄膜分开，这里引用作为参考。钌(Ru)是 AFC 薄膜所用的优选材料，因为它与铁磁层中的钴(Co)合金材料具有相同的接近六角形密集(hcp)晶体结构，并且具有报导中最强的交换耦合。

自旋阀(SV)GMR 读磁头是一种夹层结构，包括两个不耦合的铁磁层，由一个非磁性的金属导电隔离层——典型情况下是铜(Cu)——分开，其中铁磁层之一的磁化方向(磁矩)被固定或者说扎钉，而自由或者说传感铁磁层的磁化方向自由旋转。在 5,206,590 号美国专利中，介绍了基本的 SV 磁阻传感器。

磁沟道结(MTJ)器件具有两个铁磁层，由一个非磁性的电绝缘层——称为沟道势垒层，典型情况下是由氧化铝制成——分开。铁磁层之一是扎钉层，其磁化方向朝向层面内，但是受到固定或者说扎钉，所以存在着外加磁场时也不能旋转。扎钉铁磁层可以利用一个邻近反铁磁层的界面交换偏磁进行扎钉，而自由铁磁层的磁化方向能够相对

于扎钉层的磁化方向旋转。垂直流过绝缘沟道势垒层的沟道电流，取决于这两个铁磁层的相对磁化方向。MTJ 器件已经在磁性存储器阵列中用作存储器单元，以及在磁记录设备中用作磁阻读磁头。

通过把自由层和扎钉铁磁层之一或二者都替换为一种层状结构，所述层状结构包括由一层 AFC 薄膜形成一种反向平行朝向的相互反铁磁交换耦合的两层铁磁薄膜，使 SV 磁阻传感器和 MTJ 器件得以改进。这种层状结构是磁刚性的，所以用作自由铁磁层时，这两层反向平行的薄膜一起旋转。在 5,408,377 号和 5,465,185 号美国专利中，介绍了这些改进的 SV 传感器，这里引用作为参考。正如 5,841,692 号和 5,966,012 号美国专利中的介绍，通过以这种层状结构取代自由层和扎钉层，也已经改进了 MTJ 器件，这里引用作为参考。

在 SV 传感器和 MTJ 器件中所用的这些层状结构中，Ru 也是 AFC 薄膜所用的优选材料。在 AFC 薄膜非常薄的极限情况下，Ru 展示出反铁磁强耦合，而且在钴 (Co)、钴-铁 (Co-Fe) 和镍-铁 (Ni-Fe) 铁磁薄膜——它们形成了这些层状结构中的反向平行朝向的铁磁薄膜对——之间，展示出非常强的反铁磁耦合。

对于某些磁性器件应用，需要使反铁磁交换耦合的强度提高到 Ru 所达到的强度之上。记录磁盘应用就是这种情况，公知合金铁磁层的磁矩越高，反铁磁交换耦合就越强。因此，在记录磁盘中提高交换耦合的一种方法是，在 AFC 薄膜与铁磁层的界面处加入高磁矩铁磁材料。不过，这种方法需要使磁盘中的层数增加，也可能增加固有的介质噪音。

我们所需要的是 AFC 薄膜所用的一种材料，该材料能增强铁磁层之间的反铁磁交换耦合。

发明内容

本发明是一种磁性器件，其铁磁结构带有以一种改进的 AFC 薄膜反铁磁耦合在一起的两个铁磁层。AFC 薄膜是一种 $\text{Ru}_{100-x}\text{Fe}_x$ 合金，其中 x 是大约 10 和 60 之间的原子百分比。这种 AFC 薄膜使交换耦合

提高至一个因数或 2，并且具有一种接近六角形密集晶体结构，使它与 Co 合金铁磁层兼容。

为了更全面地了解本发明的本质和优点，应当与附图一起参考以下的详细说明。

附图简要说明

图 1 是一幅示意图，展示了现有技术中带有一层 Ru AFC 薄膜的 AFC 记录磁盘；

图 2 是一条 M-H 磁滞回线，表现了例如图 1 中 AFC 记录磁盘的性质；

图 3 是一幅示意图，展示了现有技术中带有反铁磁耦合的层状自由和扎钉铁磁层的 SV 磁阻传感器；

图 4 是一幅示意图，展示了现有技术中带有反铁磁耦合的层状自由和扎钉铁磁层的 MTJ 器件；

图 5 是一幅曲线图，对比了多种原子百分比 Fe 的情况下，AFC 记录磁盘的矫顽力，分别带有现有技术的 Ru AFC 薄膜和带有本发明的 Ru-Fe 合金 AFC 薄膜。

具体实施方式

现有技术中反铁磁耦合的记录磁盘

图 1 显示了现有技术中反铁磁耦合的记录磁盘 10，带有两层铁磁薄膜 12、14，由一层 AFC 薄膜 16 分开。典型情况下，铁磁薄膜 12、14 由一种 Co 合金制成，比如 CoPtCrB，而 AFC 薄膜由 Ru 制成。选择 Ru AFC 薄膜 16 的厚度，分别使得相邻薄膜 12、14 的磁矩 22、24 通过 Ru 薄膜 16 反铁磁交换耦合，并且在外加磁场为零时反向平行。薄膜 12、14 分别具有磁矩值 Mr_1t_1 和 Mr_2t_2 ，其中 Mr 为剩余磁化， t 为层厚度。分别使相邻薄膜 12、14 的磁矩 22、24 朝向反向平行对齐，因此否定地相加以减小组合层 10 的磁矩。箭头 22、24 表示了正好相互上下跨越 AFC 薄膜 16 之各个磁畴的磁矩朝向。

图 2 显示的主磁滞回线,表现了如图 1 所示反铁磁耦合记录磁盘的性质。在磁滞回线的不同点上,水平箭头对指明了铁磁薄膜 12、14 的磁化朝向。外加磁场在正向增大(箭头 30、32)。外加磁场强时,反铁磁耦合被克服,两层铁磁薄膜 12、14 的磁矩都平行于外加磁场(箭头 42、44)。随着外加磁场减弱(箭头 34),较薄的底层铁磁薄膜 14 的磁矩反转,变为反向平行于较厚的顶层铁磁薄膜 12 的磁矩(箭头 52、54),并且反向平行于外加磁场,导致净磁矩减弱。这种转换大致发生在底层薄膜 14 感应到跨越 Ru AFC 薄膜 16 耦合的交换磁场(H_{ex})增强之时。要实现铁磁薄膜 12、14 的反向平行对齐,就需要交换磁场超过底层铁磁薄膜 14 磁化反转所需的矫顽磁场。

以 AFC 薄膜 16 反铁磁耦合的薄膜 12、14,也可以加入到反铁磁耦合的层状记录磁盘中,正如已公开的美国专利申请 US 2002/0098390 A1 中的介绍,这里引用作为参考。在这样一种层状磁盘的情况下,一层不提供反铁磁耦合的非磁性隔离薄膜,位于上层铁磁薄膜 12 的顶部,一层第三铁磁薄膜,位于这层隔离薄膜的顶部。

现有技术的自旋阀磁阻传感器

图 3 中示意性地显示的 SV 磁阻传感器,带有反铁磁耦合的层状铁磁薄膜,分别作为自由和扎钉铁磁层。该结构具有一层钽(Ta)薄膜,作为基底 61 上形成的缓冲层 62。层状自由铁磁层 90 包括由 Ru AFC 薄膜 93 分开的 NiFe(坡莫合金)薄膜 92、94。铁磁薄膜 92、94 使其磁矩反向平行对齐,分别如进入纸面的箭头 95 和出于纸面的箭头 96 所示。在自由层 90 上沉积了 Cu 层 65,作为自旋阀结构所用的非铁磁金属隔离层。虽然显示的是 Cu,但是也能够使用导电性高的其他非铁磁金属材料,比如银(Ag)、金(Au)以及它们的合金。扎钉铁磁层 70 也是一个层状结构,包括直接在 Cu 隔离层 65 之上的第一铁磁薄膜 72、在第一薄膜 72 上沉积的 Ru AFC 薄膜 73 以及 Ru AFC 薄膜 73 上的第二铁磁薄膜 74。从自由铁磁层 90 沉积期间的外加磁场旋转大约 90 度,在这种外加磁场存在的情况下,沉积两层扎钉铁磁薄

膜 72、74。在第二薄膜 74 上沉积反铁磁铁-锰 (Fe-Mn) 薄膜 66, 与第二薄膜 74 交换耦合。其他适当的反铁磁层包括 Ir-Mn、Pt-Mn、Pd-Mn 和 Ni-Mn。最后, 在 Fe-Mn 薄膜 66 之上形成保护层 67。适当的保护材料为高电阻材料, 比如 Ta、锆 (Zr)、Cu 和 Au 的合金或者多种氧化物。

图 3 也示意性地展示了在磁记录系统中, 把传感器连接到检测电路的方法。传感器配备了导电引线 80, 以形成传感器与电流源 82 和检测装置 84 之间的电路路径。业内公知, 可能需要其他的传感器元件, 比如横向和纵向偏置层 (未显示), 以提供最优的传感器响应电路。响应记录介质发出的外加磁信号, 层状自由铁磁层 90 的磁化方向, 相对于层状扎钉铁磁层 70 的固定磁化方向旋转, 此时检测装置 84 通过探测传感器的电阻改变, 检测记录介质中的磁信号。

层状扎钉层 70 中的两层薄膜 72、74 具有的磁化方向, 分别由箭头 76、78 指明。72、74 这两层磁矩的反向平行对齐, 是由于通过 Ru AFC 薄膜 73 的反铁磁耦合。因为这种反铁磁耦合, 以及因为 72、74 这两层具有基本上相同的厚度, 每一层薄膜中的磁矩就相互抵消, 使得在层状扎钉层 70 中基本上没有净磁矩。因此, 基本上没有扎钉层 70 产生的偶极磁场, 因此没有磁场来影响层状自由铁磁层 90 的净磁矩方向。

现有技术的磁沟道结器件

图 4 显示了一个 MTJ 器件。层状固定铁磁层 118 包括一种夹层, 由非铁磁 Ru AFC 薄膜 210 把两层铁磁薄膜 200 和 225 分开, 它使铁磁薄膜 200 和 225 反铁磁耦合, 使得薄膜 200 和 225 的磁矩排列为相互反向平行。层状固定铁磁层 118 中的 200 和 225 这两层铁磁薄膜具有的磁矩, 由于通过反铁磁耦合薄膜 210 的反铁磁交换耦合而反向平行。因为这种反铁磁耦合, 并且因为能够使 200、225 这两层铁磁薄膜制成基本上相同的厚度, 每一层薄膜中的磁矩就基本上相互抵消, 使得在固定铁磁层 118 中基本上没有净磁矩。因此, 固定铁磁层 118 基

本上不产生偶极磁场，因此没有磁场来影响自由或者说探测铁磁层 132 的磁化方向。因为不可能精确地使每层薄膜具有严格相同的厚度，固定铁磁层 118 的净磁矩很可能是一个小但是非零的数值，作为正常沉积过程的自然结果。下部铁磁薄膜 200 沉积在反铁磁交换层 116 上，它为薄膜 200 提供了交换偏磁，当存在着所关注范围内的磁场时，防止薄膜 200 的磁矩旋转。因为薄膜 225 与薄膜 200 反铁磁耦合，所以也防止了它的磁矩旋转。

同样，自由铁磁层 132 也包括 245 和 270 两层铁磁薄膜，由非铁磁 AFC 薄膜 260 分开，它使薄膜 245 和 270 的磁矩反铁磁耦合。

在图 4 的 MTJ 器件中，层状的固定铁磁层 118 和自由铁磁层 132 由非磁性隔离层 120 分开，它是绝缘的沟道势垒层，典型情况下由氧化铝制成。当 MTJ 器件用作磁阻记录磁头时，形成固定和自由铁磁层之铁磁薄膜的磁矩，将具有图 3 所示 SV GMR 磁头的朝向。不过，当 MTJ 器件用作磁性存储器单元时，对于层状铁磁层 118、132 中的每一个，铁磁薄膜的磁矩将相互反向平行对齐，但是自由铁磁薄膜 245、270 的磁矩将作为一个刚性单元一起旋转，使得自由铁磁层 132 的净磁矩将或者平行于（箭头 280）或者反向平行于（箭头 281）固定铁磁层 118 的净磁矩（箭头 282）。

优选实施例

本发明是一种磁性器件，如同以上介绍的器件，但是其中，AFC 薄膜由一种 Ru-Fe 合金制成。典型情况下，AFC 记录磁盘的结构为
基底\种子层\底层\铁磁层 1\AFC 薄膜\铁磁层 2\盖层。

使用 Ru-Fe 合金作为 AFC 薄膜，基本上提高了两个铁磁层之间的交换耦合强度。

对于铁磁层 1 和 2 使用相同的铁磁合金和厚度时，对于 $\text{Ru}_{65}\text{Fe}_{35}$ 作为 AFC 薄膜（下标指明原子百分比），作用在底部铁磁层上的交换磁场（ H_{ex} ）测量值为 2750 Oe，而对于纯 Ru AFC 为 1575 Oe。通过参考图 2 将会认识到，更高的 H_{ex} 表明对于底部铁磁层能够使用更厚

的和/或矫顽力更高的材料。此外，最后得到的结构将更加稳定。

图 5 显示了对于以下结构，矫顽力与 AFC 薄膜厚度的函数关系：

基底\CrTi₅₀\RuAl\CrTi₂₀\铁磁层 CoCr₁₀\Ru 或 Ru₆₅Fe₃₅ 的 AFC 薄膜\铁磁层 CoPt₁₂Cr₁₆B₉\盖层 CN_x。

与 Ru 相比，以 Ru-Fe 制成的磁盘矫顽力更高，是因为 Ru-Fe AFC 薄膜提供的耦合强度更高。反铁磁交换耦合强度更高的优点包括提高底部铁磁层 Mrt 的潜力，以及使用 AFC 薄膜接触的较低磁矩铁磁层时更大的灵活性。

改进的 AFC 薄膜所用的成分范围是 Ru_{100-x}Fe_x，x 是大约 10 和大约 60 之间的原子百分比。这种合金隔离层使交换耦合提高至一个因数或 2，并且具有一种接近六边形的组合晶体结构，以便与现有的磁盘结构兼容。这个范围的下端是交换耦合提高到最初可察觉时 Fe 的原子百分比，而这个范围的上端是 Ru-Fe 合金变为铁磁性和/或丧失其接近六边形的组合晶体结构之时。

图 2 和图 3 显示的磁性器件中，自由和固定铁磁层都能够以依据本发明的层状结构制成。不过，自由和固定铁磁层中的任何一层或另一层能够为层状结构，也是在本发明的范围之内。

虽然已经参考若干优选实施例，具体地显示和介绍了本发明，但是本领域的技术人员将会理解，在不脱离本发明实质和范围的情况下，在形式和细节上可以作出多种改变。所以，所公开的发明应当被视为只是展示性的，仅仅受到附带的权利要求书中指定范围的限制。

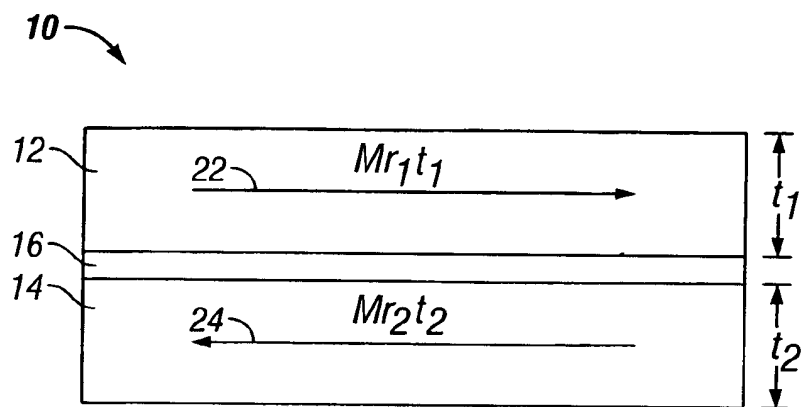


图 1
(现有技术)

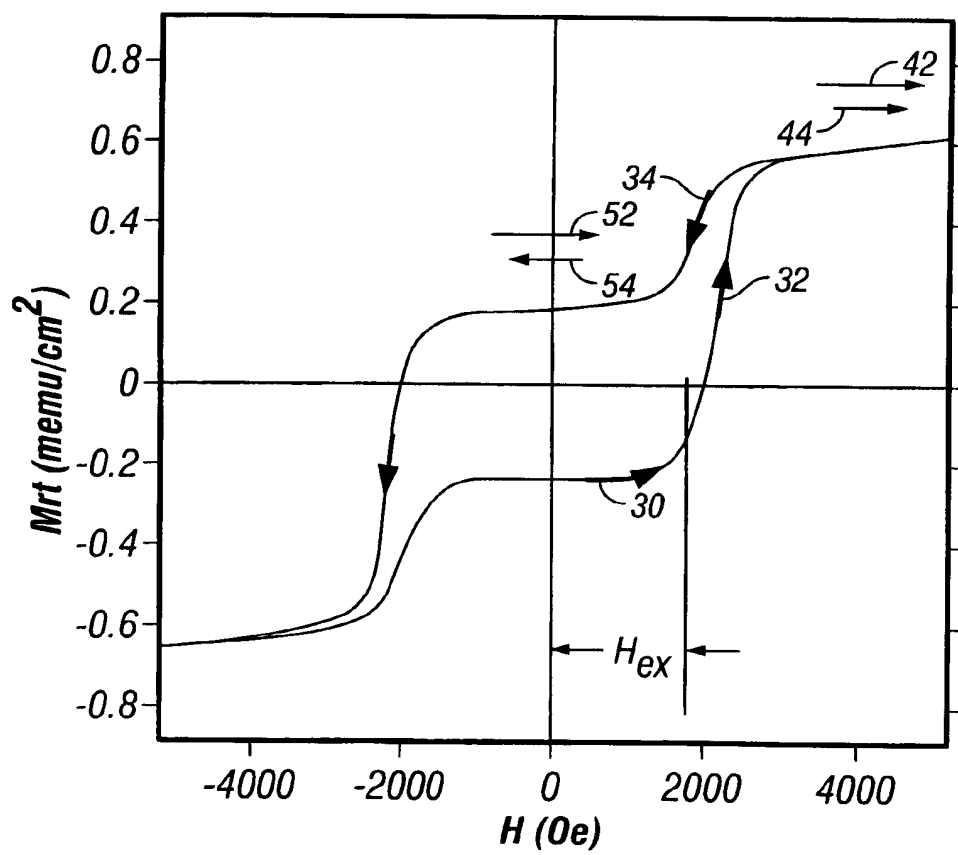


图 2

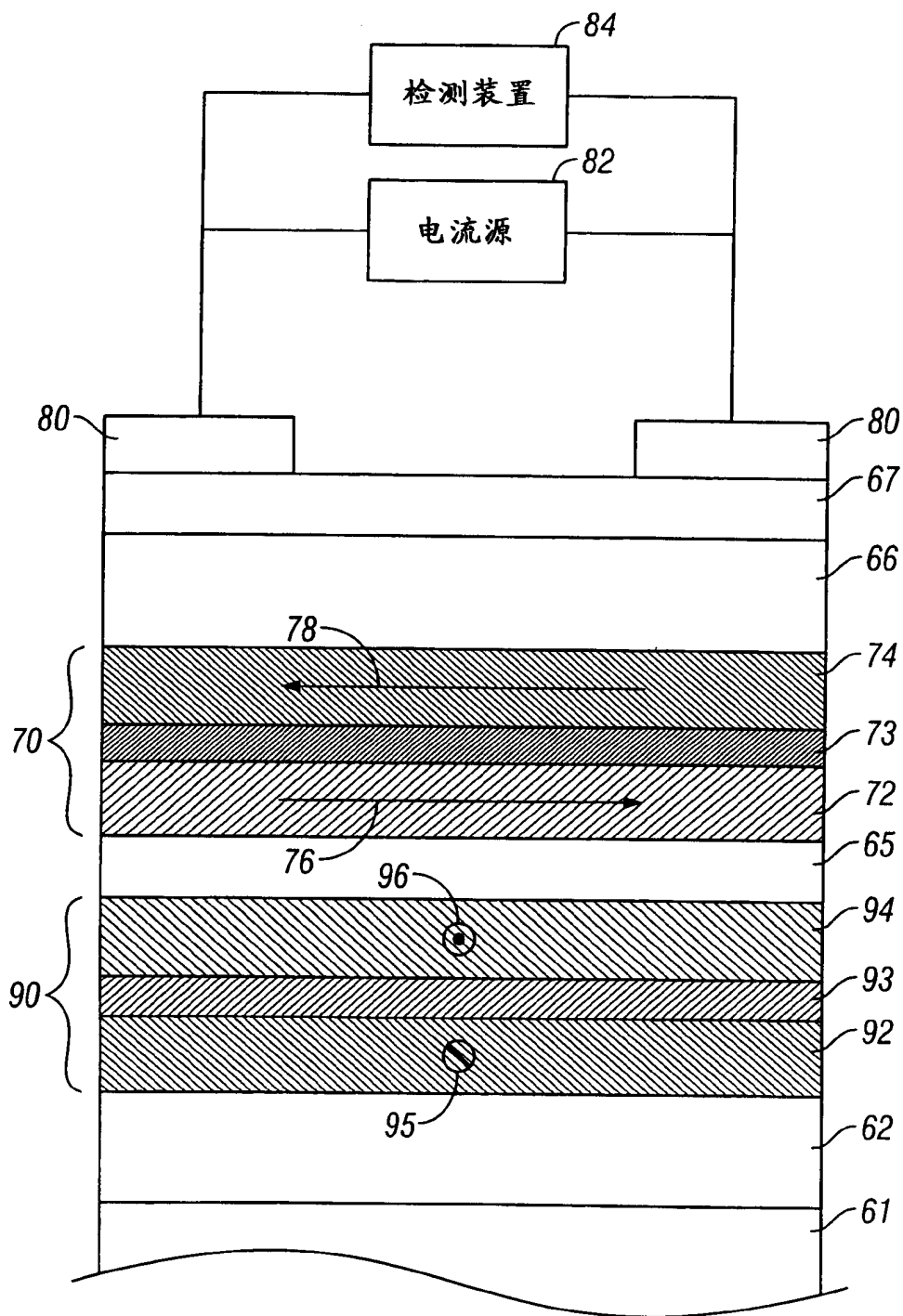


图 3
(现有技术)

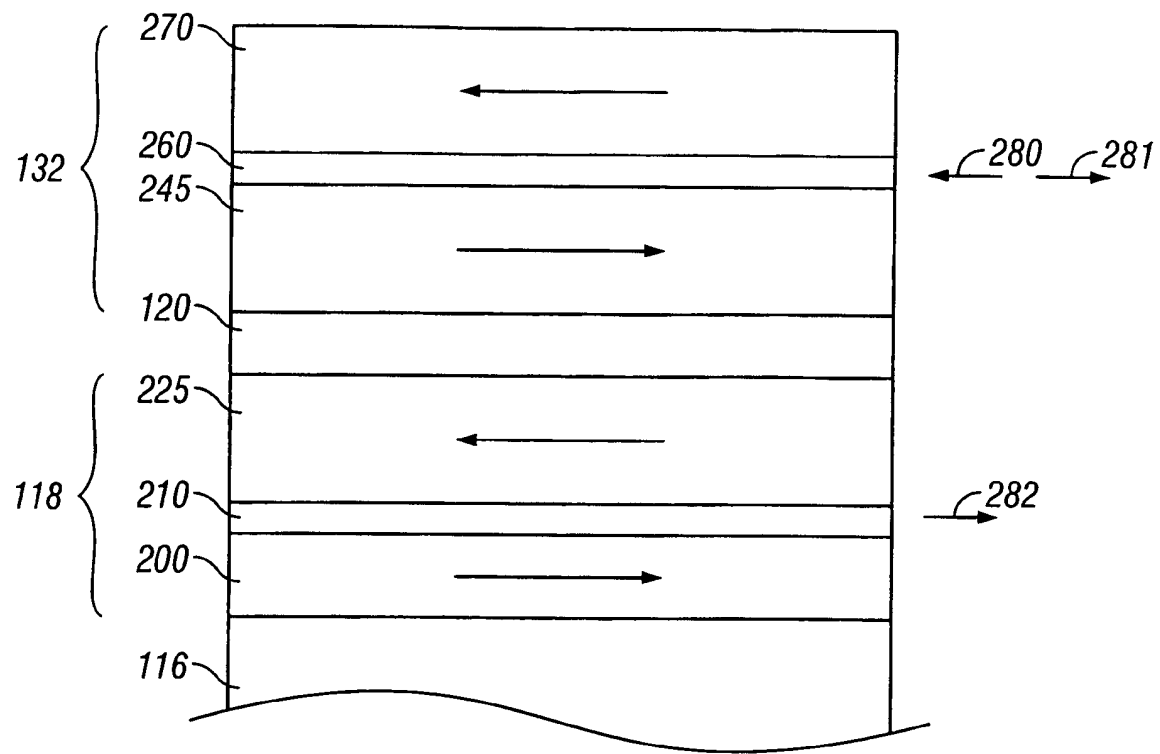


图 4
(现有技术)

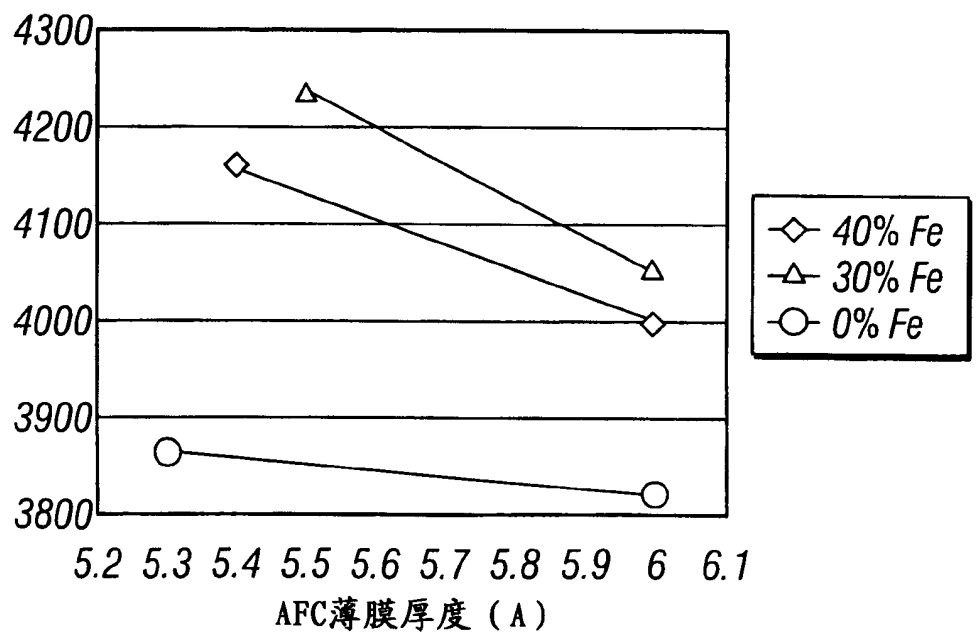


图 5