

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410004934.9

[51] Int. Cl.

H01L 43/08 (2006.01)

H01L 43/10 (2006.01)

G11C 11/14 (2006.01)

G11B 5/127 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 10 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 100423313C

[22] 申请日 2004.2.13

[21] 申请号 200410004934.9

[30] 优先权

[32] 2003.2.24 [33] US [31] 10/374,819

[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 马修·J·凯里

杰弗里·R·柴尔德莱斯

斯蒂芬·马特

[56] 参考文献

CN1271927A 2000.11.1

WO00/74097A1 2000.7.12

US2002/0012812A1 2002.1.31

CN1076498C 2001.12.19

CN1310440A 2001.8.29

US5465185A 1995.11.7

US2003/0016475A1 2003.1.23

JP7-147437A 1995.6.6

US2002/0043307A1 2002.4.18

审查员 季茂源

[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 王永刚

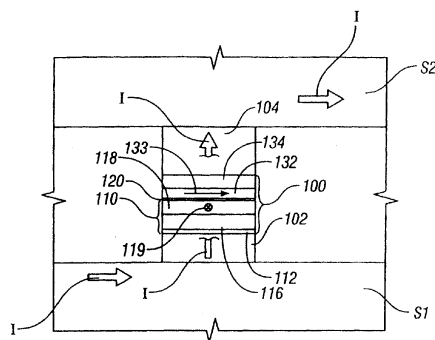
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 7 页

[54] 发明名称

具有在被钉扎层中含半金属铁磁性哈斯勒合金的交换耦合结构的磁电阻器件

[57] 摘要

一种具有通过非磁性间隔层分隔的被钉扎铁磁层和自由铁磁层的磁电阻器件，该器件具有使用接近 100% 自旋极化的半金属铁磁性哈斯勒合金作为被钉扎铁磁层的交换耦合反铁磁性/铁磁性结构。交换耦合结构包括 AF 层和被钉扎半金属铁磁性哈斯勒合金层之间的中间铁磁层，这导致交换偏置。可以结合交换耦合结构的磁电阻器件包括电流在平面内的 (CIP) 读磁头和电流垂直于平面的 (CPP) 磁性隧道结和读磁头。交换耦合结构在磁电阻器件中可以位于非磁性间隔层的下部或上部。



- 1.一种具有交换耦合结构的磁电阻器件，并且该器件包含：
衬底；和
衬底上的交换耦合结构，所述结构包含：
反铁磁性材料层，
 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层，其中 x 在 0 至 1 之间，和
在反铁磁性材料和所述合金之间并与反铁磁性材料和所述合金接触的铁磁材料层。
- 2.如权利要求 1 的器件，其中所述反铁磁性材料为选自由 PtMn、PdPtMn、RuMn、NiMn、IrMn、IrMnCr、FeMn、NiO 和 CoO 构成的组中的一种材料。
- 3.如权利要求 1 的器件，其中所述铁磁材料为 Co、Ni 和 Fe 中的一种或多种材料的合金。
- 4.如权利要求 1 的器件，其中 x 为 0.6。
- 5.如权利要求 1 的器件，其中所述器件为电流垂直于平面的磁电阻传感器，所述平面为该磁电阻传感器的传感器层的平坦表面。
- 6.如权利要求 1 的器件，其中所述器件为电流在平面内的磁电阻传感器，所述平面为该磁电阻传感器的传感器层的平坦表面。
- 7.如权利要求 1 的器件，其中所述器件为磁记录读磁头。
- 8.如权利要求 1 的器件，其中所述器件为磁性隧道结器件。
- 9.如权利要求 8 的器件，其中所述磁性隧道结器件为存储单元。
- 10.如权利要求 8 的器件，其中所述磁性隧道结器件为磁记录读磁头。
- 11.一种磁电阻器件，该器件包含：
衬底；
衬底上的自由铁磁层，并且该自由铁磁层的磁矩在存在外加磁

场的情况下自由旋转;

衬底上的交换耦合结构, 所述交换耦合结构包含:

反铁磁性材料层,

$\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层, 其中 x 在 0 至 1 之间, 和

在反铁磁性材料层和所述 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层之间并与反铁磁性材料层和所述 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层接触的铁磁材料层, 所述 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层的磁矩通过与反铁磁性材料层的交换偏置被固定; 和

在自由铁磁层和所述 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层之间并与自由铁磁层和所述 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层接触的非磁性间隔层。

12.如权利要求 11 的器件, 其中所述交换耦合结构位于衬底和非磁性间隔层之间, 并且所述自由铁磁层位于非磁性间隔层的上部。

13.如权利要求 11 的器件, 其中所述自由铁磁层位于衬底和非磁性间隔层之间, 并且所述交换耦合结构位于非磁性间隔层的上部。

14.如权利要求 11 的器件, 其中所述器件为磁性隧道结器件, 并且其中所述非磁性间隔层是电绝缘的。

15.如权利要求 14 的器件, 其中所述磁性隧道结器件为存储单元。

16.如权利要求 14 的器件, 其中所述磁性隧道结器件为磁记录读磁头。

17.如权利要求 11 的器件, 其中所述非磁性间隔层是电绝缘的。

18.如权利要求 17 的器件, 其中所述器件为电流在平面内的自旋阀磁记录读磁头, 所述平面为所述器件的传感器层的平坦表面。

19.如权利要求 17 的器件, 其中所述器件为电流垂直于平面的自旋阀磁记录读磁头, 所述平面为所述器件的传感器层的平坦表面。

20.如权利要求 11 的器件, 其中所述反铁磁性材料为选自由

PtMn、PdPtMn、RuMn、NiMn、IrMn、IrMnCr、FeMn、NiO 和 CoO 构成的组中的一种材料。

21.如权利要求 11 的器件，其中所述铁磁材料为 Co、Ni 和 Fe 中的一种或多种材料的合金。

22.如权利要求 11 的器件，其中 x 为 0.6。

具有在被钉扎层中含半金属铁磁性哈 斯勒合金的交换耦合结构的磁电阻器件

技术领域

本发明通常涉及磁电阻器件，并且更具体地说，涉及使用交换耦合反铁磁性/铁磁性（AF/F）结构的磁电阻器件，例如电流在平面内的(current-in-the-plane)(CIP)读磁头和电流垂直于平面的(current-perpendicular-to-plane)(CPP)磁性隧道结和读磁头。

背景技术

由相邻反铁磁性(AF)薄膜引起的铁磁性(F)薄膜的磁偏置的现象已经被证明在磁器件中具有很多有用的应用，并由 W.H.Meiklejohn 和 C.P.Bean 首先在 Phys.Rev.102,1413 (1959) 中做了报道。而铁磁性单层薄膜的磁滞回线以零磁场为中心，一种 F/AF 交换耦合结构显示被交换偏磁场从零磁场偏移的不对称磁滞回线。除 F 薄膜的磁滞回线的偏移之外，F/AF 交换耦合结构中的 F 薄膜通常在低于 AF 薄膜的阻塞(blocking)温度下表现增加的矫顽力。阻塞温度通常接近但低于 AF 薄膜的 Neel 或磁有序温度。决定交换偏磁场和增加的矫顽磁场大小的详细机制是由 F 和 AF 薄膜之间的界面交互作用引起的。

使用交换耦合结构的最普通的 CIP 磁电阻器件是用作磁记录磁盘驱动器的读磁头的自旋阀(SV)型巨磁电阻(GMR)传感器。SV GMR 磁头具有通过非常薄的非磁性导电间隔层分隔的两铁磁层，这种间隔层通常为铜，其中在层面内的检测电流的电阻率决定于两铁磁层中的磁化相对取向。一铁磁层（“自由”层）的磁化或磁矩方向在存在来自记录数据的磁场的情况下可以自由旋转，而另一铁磁层（“被固定”或“被钉扎”层）具有与相邻反铁磁层交换耦合而固定的磁化。被钉扎铁磁层和相邻反铁磁层形成交换耦合结构。

一种提出的使用交换耦合结构的 CPP 磁电阻器件为磁性隧道结

(MTJ)器件, 该器件具有通过非常薄的非磁性绝缘隧道间隔层分隔的两铁磁层, 这种间隔层通常为氧化铝, 其中垂直通过铁磁层的隧道电流决定于两铁磁层中的磁化相对取向. MTJ 已经被建议用于磁电阻传感器, 例如磁记录磁盘驱动器读磁头, 和磁随机存取存储器(MRAM)的非易失性存储元件或单元中. 在例如 CIP SV GMR 传感器之类的 MTJ 器件中, 一铁磁层通过与相邻反铁磁层的交换耦合具有被固定的磁化, 导致交换耦合结构.

另一种使用交换耦合结构的 CPP 磁电阻器件为被建议用作磁记录读磁头的 SV GMR 传感器. 所建议 CPP SV 读磁头在结构上与被广泛应用的 CIP SV 读磁头类似, 主要差别在于检测电流被控制垂直通过两铁磁层和非磁性间隔层. A.Tanaka 等人在 2002 年 1 月 IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 38(1)84-88 页 Part1 题为 “Spin-valve heads in the current-perpendicular-to-plane mode for ultrahigh-density recording” 的论文中说明 CPP SV 读磁头.

在这些种类的磁电阻器件中, 与非磁性间隔层相邻的铁磁材料的高自旋极化对高磁电阻而言必不可少. 用于自由和被钉扎铁磁层的最普通型的材料为 Co、Fe 和 Ni 的常规合金, 但是这些合金仅具有大约 40% 的较低的自旋极化. 最近, 具有近 100% 自旋极化的某些半金属铁磁性哈斯勒合金已经被提出. 最近被报道的这种合金为 $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$ 合金 (T.Block, C.Felser 和 J.Windeln 在 4 月 28-5 月 2 日荷兰阿姆斯特丹 IEEE 国际磁会议发表的题为 “Spin Polarized Tunneling at Room Temperature in a Huesler Compound –A non-oxide Material with a Large Negative Magnetoresistance Effect in Low magnetic Fields” 的论文). 其它半金属铁磁性哈斯勒合金为已经被建议作为位于 CIP SV 读磁头的铁磁层中的 “镜面反射” 层的 NiMnSb 和 PtMnSb, 如在已公布专利申请书 US 2002/0012812 A1 中所述. 对半金属铁磁性哈斯勒合金 NiMnSb 而言, 当它被沉积在 FeMn 反铁磁性材料层上时未观测到交换偏置, 如 J.A.Caballero 等人在 1998 年 J.Vac.Sci.Technol.A16 第 1801-1805 页的题为

“Magnetoresistance of NiMnSb-based multilayer and spin-valves”的论文中所报道的那样。在因特网上可查到的未标注日期的一篇文章中，在不需要与反铁磁层的交换耦合的情况下据推测观测到某多层半金属铁磁性哈斯勒合金的交换偏置，如 K.Westerholt 等人在“Exchange Bias in $[\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{Au}]_n$, $[\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{Cr}]_n$ 和 $[\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{Cu}_2\text{MnAl}]_n$ Multilayers”中所报道的那样。

所需要的是一种具有包括半金属铁磁性哈斯勒合金的交换耦合结构的磁电阻器件。

发明内容

本发明为一种具有使用接近 100% 自旋极化的半金属铁磁性哈斯勒合金作为铁磁(F)层的交换耦合反铁磁性/铁磁性(AF/F)结构的磁电阻器件。交换耦合结构包括 F 和 AF 之间的中间铁磁层，这使得半金属哈斯勒合金 F 层显示交换偏置。在一种实施方式中，半金属铁磁性哈斯勒合金为 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ ，中间铁磁层为 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ，而反铁磁层为 PtMn。可以结合交换耦合结构的磁电阻器件包括电流在平面内的(CIP)读磁头和电流垂直于平面的(CPP)磁性隧道结和读磁头。交换耦合结构在磁电阻器件中可以位于非磁间隔层的下部或上部。

为了更全面地理解本发明的特性和优点，应该参照下文的详细说明及附图。

附图说明

图 1 为现有技术的包含磁电阻(MR)读磁头部件和感应写磁头部分的集成读/写磁头的剖面图。

图 2A 为按照本发明的作为 MTJ MR 读磁头的 CPP 磁电阻器件的剖面图，该剖面表示如果沿图 1 中线 42 所示边界的平面取截面并从磁盘表面看去的视图。

图 2B 的剖面图与图 2A 的视图垂直，并且器件的传感面向右。

图 3 为哈斯勒合金的结晶晶胞的示意图。

图 4 表示按照本发明具有中间铁磁层的交换耦合结构的多种实施例和没有中间铁磁层的结构的磁滞回线。

图 5 表示作为中间铁磁层厚度的函数的按照本发明的交换耦合结构的正(H^+)和负(H^-)翻转磁场。

图 6 表示对于厚度为 $6\text{\AA}$ 的中间 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层作为 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层厚度的函数的按照本发明的交换耦合结构的正(H^+)和负(H^-)翻转磁场。

图 7 表示对于厚度为 $12\text{\AA}$ 的中间 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层作为 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 半金属铁磁性哈斯勒合金层厚度的函数的按照本发明的交换耦合结构的正(H^+)和负(H^-)翻转磁场。

具体实施方式

现有技术

图 1 为包含磁电阻(MR)读磁头部件和感应写磁头部分的集成读/写磁头 25 的剖面示意图。磁头 25 被搭接(lap)以形成磁头托架的检测表面,例如空气支承滑动器型磁头托架的空气支承表面(ABS)。检测表面或 ABS 被从磁盘驱动器中的旋转动磁盘的表面分离开。读磁头包括被夹在第一和第二间隙层 G1 和 G2 之间的 MR 传感器 40,而第一和第二间隙层 G1 和 G2 又被夹在第一和第二磁屏蔽层 S1 和 S2 之间。从 MR 传感器 40 引出与传感电路连接的电导体(未示出)与 MR 传感器 40 接触并位于 MR 传感器 40 和间隙层 G1,G2 之间。间隙层 G1,G2 从而将电导线从磁屏蔽层 S1,S2 电绝缘。写磁头包括夹在绝缘层 I1 和 I3 之间的线圈层 C 和绝缘层 12,而绝缘层 I1 和 I3 又被夹在第一和第二极片 P1 和 P2 之间。间隙层 G3 被夹在极尖靠近 ABS 的第一和第二极片 P1,P2 之间,以提供磁隙。在写操作过程中,信号电流被通过线圈层 C 传导,并且磁通量被引入第一和第二极层 P1,P2 导致磁通量边缘穿过 ABS 处的极尖。该磁通量在写操作过程中磁化转动磁盘上的数据磁道区域。在读操作过程中,转动磁盘上的被磁化区将磁通量注入读磁头的 MR 传感器 40,导致 MR 传感器 40 中的电阻变化。该电阻变化通过检测沿 MR 传感器 40 的电压变化而被检测。电压变化被磁盘驱动器电子设备处理并被转换为用户数据。图

1 所示的组合磁头 25 为“合并”磁头，其中读磁头的第二屏蔽层 S2 被用作写磁头的第一极片 P1。在级联(piggyback)磁头（未显示）中，第二屏蔽层 S2 和第一磁极片 P1 为分离层。MR 传感器 40 可以为 CIP SV GMR 读磁头、MTJ 读磁头或 CPP SV GMR 读磁头。

优选实施方式

图 2A 为按照本发明的作为 MTJ MR 读磁头的 CPP 磁电阻器件的剖面图，该剖面表示如果沿图 1 中线 42 所示边界的平面取截面并从磁盘表面看去的视图。因此图 2A 的纸面为平行于 ABS 的平面，并且实质上通过 MTJ MR 读磁头的有源传感区域，即隧道结，以暴露组成磁头的层。图 2B 的剖面图与图 2A 的视图垂直，并且具有向右的传感面 200 或 ABS。参照图 2A-2B，MTJ MR 读磁头包括直接形成在第一磁屏蔽 S1 之上的导电间隔层 102、在第二磁屏蔽 S2 下面并与之直接接触的导电间隔层 104、和在导电间隔层 102、104 之间形成叠层的 MTJ 100。在这种实施方式中，磁屏蔽 S1、S2 同时起到磁屏蔽和连接 MTJ 100 至检测电路的电导线的作用。这在图 2A 中通过箭头显示，表示检测电流流经第一屏蔽 S1，垂直通过间隔层 102、MTJ 100、间隔层 104，并从第二屏蔽 S2 流出的方向。

MTJ 100 包括按照本发明的交换耦合结构 110。结构 110 包括铁磁层 118，铁磁层 118 的磁矩由交换偏置通过中间铁磁层 116 被钉扎至反铁磁层 112。铁磁层 118 被称作固定或被钉扎层，因为在感兴趣的所需范围内外加磁场的情况下它的磁矩或磁化方向（箭头 119）被阻止旋转。MTJ 100 也包括在被钉铁磁层 118 上的通常由铝形成的绝缘隧道势垒层 120，和在势垒层 120 上的上自由铁磁层 132。压盖(capping)层 134 位于自由铁磁层 132 的上部。自由或传感铁磁层 132 未被交换耦合至反铁磁层，因此它的磁化方向（箭头 133）在感兴趣的所需范围内外加磁场的情况下可以自由旋转。制作传感铁磁层 132 以使其磁矩或磁化方向（箭头 133）在不外加磁场的情况下被取向为通常平行于 ABS（ABS 为平行于图 2A 的纸面的平面，并在图 2B 中被示为 200），并通常垂直于被钉扎铁磁层 118 的磁化方向。被钉扎

铁磁层 118 的磁化方向被取向为通常垂直于 ABS, 即伸出或进入图 2A 中的纸面 (如箭头 119 所示)。

检测电流 I 被从组成第一屏蔽 S1 的导电材料引导至第一间隔层 102, 垂直通过交换耦合结构 110、隧道势垒层 120、和传感铁磁层 132, 并随后到达第二间隔层 104, 并通过第二屏蔽 S2 流出。在 MTJ 磁电阻器件中, 通过隧道势垒层 120 的隧道电流量为临近并与隧道势垒层 120 接触的被钉扎和自由铁磁层 118, 132 的磁化相对取向的函数。来自被记录数据的磁场导致自由铁磁层 132 的磁化方向旋转远离方向 133, 即伸出或进入图 2A 中的纸面。这改变铁磁层 118, 132 的磁矩相对取向, 并从而改变隧道电流的数量, 这被反映为 MTJ 100 的电阻变化。该电阻变化通过磁盘驱动器电子设备检测并被处理为从磁盘读回的数据。

在本发明中, 被钉扎铁磁层 118 由一种近乎 100% 自旋极化的半金属哈斯勒合金形成, 而中间层 116 为与哈斯勒合金材料和下方的反铁磁层 112 接触的铁磁层。反铁磁层 112 可以为任何反铁磁材料, 例如 PtMn、PdPtMn、RuMn、NiMn、IrMn、IrMnCr、FeMn、NiO、或 CoO, 而中间铁磁层 116 可以为选自由 Co、Ni 和 Fe 构成的组中的一种或更多材料的铁磁合金。

这种交换耦合结构 10 起因于最近报道的半金属铁磁性哈斯勒合金 $\text{Co}_2\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{Al}$ 在被直接沉积在 PtMn 反铁磁性材料层上时不会变成交换偏置的发现。因此, 在本发明之前, 不可能形成带有作为 F 层的半金属铁磁性哈斯勒合金的常规 AF/F 交换耦合。

哈斯勒合金的化学式为 X_2YZ , 并具有一种立方 L_{21} 晶体结构。立方 L_{21} 晶体结构可以被描述为如下构造的四个互穿立方密堆结构: Z 原子组成第一立方密封结构, Y 原子占据八面体位置 - 由 Z 原子限定的立方棱的中心, 而 X 原子占据四面体位置 - 由四个 Y 和四个 Z 原子限定的立方体的中心。图 3 表示哈斯勒合金结晶晶胞。

由能带结构计算已知的半金属铁磁性哈斯勒合金为 PtMnSb 和 NiMnSb (均为所谓的半哈斯勒合金, 因为 - X 亚点阵(sublattice)为

空), 和 Co_2MnSi 、 Mn_2VAl 、 Fe_2VAl 、 Co_2FeSi 、 Co_2MnAl 、和 Co_2MnGe 。 Co_2CrAl 也是一种半金属铁磁体, 因为在费米能级下它的状态电子密度对称作通道 1 的自旋通道而言为有限的, 而对称作通道 2 的另一自旋通道而言为零。对于 Co_2CrAl 而言, X 代表 Co, Y 代表 Cr, 而 Z 代表 Al。通过对 Co_2CrAl 掺入足够多的, 有可能在自旋通道 1 获得 van-Hove 特性 (van-Hove singularity), 以使费米能级在自旋通道 1 中被转移至态密度的峰值, 而在自旋通道 2 中保持零态密度, 因此合金保持半金属态。尽管不是必需的, 由于在某些超大磁电阻材料中存在显示 van-Hove 特性的半金属铁磁体, 该半金属铁磁体的使用可以成为一种优点, 这些超大磁电阻材料显示大的磁电阻值和自旋极化隧道。

最近, 哈斯勒合金 $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.6}\text{Cr}_{0.4}\text{Al}$ 被假定为具有 van-Hove 特性的半金属铁磁体, 并且对块材试样的试验显示高自旋极化的令人信服的证据。在 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ 中, 在 Y 位置处存在 Fe 和 Cr 原子之间的替代无序, 这意味着 Fe 或 Cr 原子在位置 Y 的可能性分别为 x 和 1-x。在确定这种材料是否将在磁电阻器件中具有应用时, 通过溅射沉积制造 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ (其中下标代表大约原子百分比, 并且因此该分子式相当于 $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.6}\text{Cr}_{0.4}\text{Al}$) 薄膜。在 250°C 下退火 4 小时之后, 根据对块材试样的工作, 这些试样在室温下显示如假定的接近 800emu/cc 的磁化强度和接近 350°C 的居里温度, 并且磁性非常软 (矫顽力 H_c 通常小于 10 Oe), 使得它们适于应用。但是, 当 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 薄膜被沉积在 PtMn 上时未观测到交换偏置。同样, 未观测到沉积在 FeMn 上的 NiMnSb 的交换偏置 (见 J.A.Caballero 等人在 1998 年 J.Vac.Sci.Technol.A16 第 1801-1805 页的题为 "Magnetoresistance of NiMnSb-based multilayer and spin-valves" 的论文)。

本发明通过在反铁磁层与半金属铁磁性哈斯勒合金层之间插入中间铁磁层 116, 使得半金属铁磁性哈斯勒合金能够作为交换耦合结构中的被钉扎层。在一种实施方式中, 在 PtMn 反铁磁层和

$\text{Co}_2\text{Fe}_{0.6}\text{Cr}_{0.4}\text{Al}$ 薄层之间形成 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 薄层。制造多个试样并与没有中间铁磁层的试样比较。试样的通常结构为：

$\text{Ta}(50\text{\AA})/\text{PtMn}(200\text{\AA})/\text{CoFe}(t)/\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}(45\text{\AA})/\text{Cu}(5\text{\AA})/\text{Ta}(100\text{\AA})$ 。Cu 层被插入 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 层和 Ta 盖层之间以防止 Ta 扩散进入 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 层中。所有试样被在 1 特斯拉的外部磁场中于 250°C 下退火 4 小时。

图 4 显示多种试样的磁滞回线。回线 A 对应无中间铁磁层的结构，并显示无交换偏置。回线 B 对应具有 $6\text{\AA}$ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 中间层的结构，而回线 C 对应具有 $12\text{\AA}$ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 中间层的结构。

图 5 显示插入 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层的中间层的效应，作为 $\text{Ta}(50\text{\AA})/\text{PtMn}(200\text{\AA})/\text{CoFe}(t)/\text{CoFe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{20}(20\text{\AA})/\text{Cu}(5\text{\AA})/\text{Ta}(100\text{\AA})$ 试样的中间铁磁层厚度的函数。 H^+ 和 H^- 分别代表交换耦合结构的正和负磁反向场（需要施加的获得零磁化的磁场）。随着 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层厚度的增加，等于 $(H^+ + H^-)/2$ 的钉扎磁场起初增加，在大约 $9\text{\AA}$ 达到峰值，然后下降，而等于 $(H^+ - H^-)/2$ 的矫顽力连续地增加。

为了证明 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 铁磁性地耦合至 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 层而不是为失效(dead)层，测量两不同 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 厚度的作为 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 层厚度的函数的交换耦合结构的 H^+ 和 H^- （图 6 和 7）。对两图而言，钉扎磁场随 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_{15}\text{Al}_{25}$ 层厚度的增加而下降，如所期望的那样。

上述所示数据对应于具有 $\text{Co}_2\text{Fe}_{0.6}\text{Cr}_{0.4}\text{Al}$ 薄膜成分的交换耦合结构，因为大块材料的能带结构计算显示通过以 Fe 替代约 40% 的 Cr 原子可获得半金属铁磁性质，如在前面引用 T.Block 等人的文章中所报道的那样。但是，在薄膜中总是存在应变和缺陷，并可以显著改变材料的能带结构。因此优选一定范围的成分： $\text{Co}_2\text{Cr}_x\text{Fe}_{1-x}$ ，其中 $0 < x < 1$ 。期望此整个范围内的合成物为半金属铁磁体，但是具有约等于 0.6 的 x 的某种成分也在自旋通道 1 中显示 van-Hove 特性。

图 2A-2B 以 MTJ 磁电阻器件的 MR 读磁头实施方式显示交换耦合结构 110。但是，交换耦合结构也完全适用于 MTJ 存储单元。在这种应用中，该结构将与图 2A 所示结构类似，不同的是层 102、

104 将起到被连接至位和字线的的电导线的作用，将没有屏蔽 S1、S2，并且不外加磁场的情况下被钉扎铁磁层 118 的磁矩 119 将被取向为平行或反向平行于自由铁磁层 132 的磁矩。除应用于 MTJ 型 CPP 磁电阻器件之外，交换耦合结构 110 也完全适用于 CPP SV-GMR 读磁头。在这种应用中，该结构将类似于图 2A-2B 所示的结构，不同的是非磁性间隔层（隧道势垒层 120）将由导电材料形成，该导电材料通常为铜。

交换耦合结构也完全适用于 CIP 磁电阻器件，例如 CIP SV-GMR 读磁头。在这种应用中，该结构将类似于图 2A-2B 所示的结构，不同的是层 102、104 将起到绝缘材料的作用以将读磁头从屏蔽 S1、S2 电绝缘，非磁性间隔层 120 将由通常为铜的导电材料形成，电导线将位于图 2A 所示结构的侧部以在铁磁层 118、132 的平面内提供检测电流。

在交换耦合 AF/F 结构的所有的实施方式中，被钉扎 F 层可以由铁磁性中间层和半金属哈斯勒合金层构成的基本双层结构（如上所述）或者反铁磁性被钉扎（AP）结构。在 AP 结构中，被钉扎 F 层包含由金属中间耦合薄膜反铁磁性耦合的两铁磁薄膜，该金属例如 Ru、Ir、或 Rh。最靠近 AF 层的铁磁薄膜被交换耦合至 AF 层，并包含上述中间铁磁层（靠近 AF 层）和半金属哈斯勒合金层（靠近金属耦合薄膜）的双层结构。IBM 的第 5,465,185 号美国专利说明该 AP 交换耦合结构。

在所有上述实施方式中，交换耦合结构 110 位于磁电阻器件的底部。但是，众所周知交换耦合结构可以位于磁电阻器件的顶部。举例说来，参照图 2A，自由铁磁层 132 可以位于层 120 之上，层 120 在自由层 132 上，被钉扎铁磁层 118 在层 120 上，中间铁磁层 116 在被钉扎铁磁层 118 上，而反铁磁层 112 在中间铁磁层 116 的上部。

尽管已经参照优选实施方式具体说明本发明，本领域的技术人员将理解在不偏离本发明的精神和领域的前提下可以在形式和内容上做各种改变。因此，所公开的发明仅被视为示例性，并仅受限于如权利要求

所限定的范围。

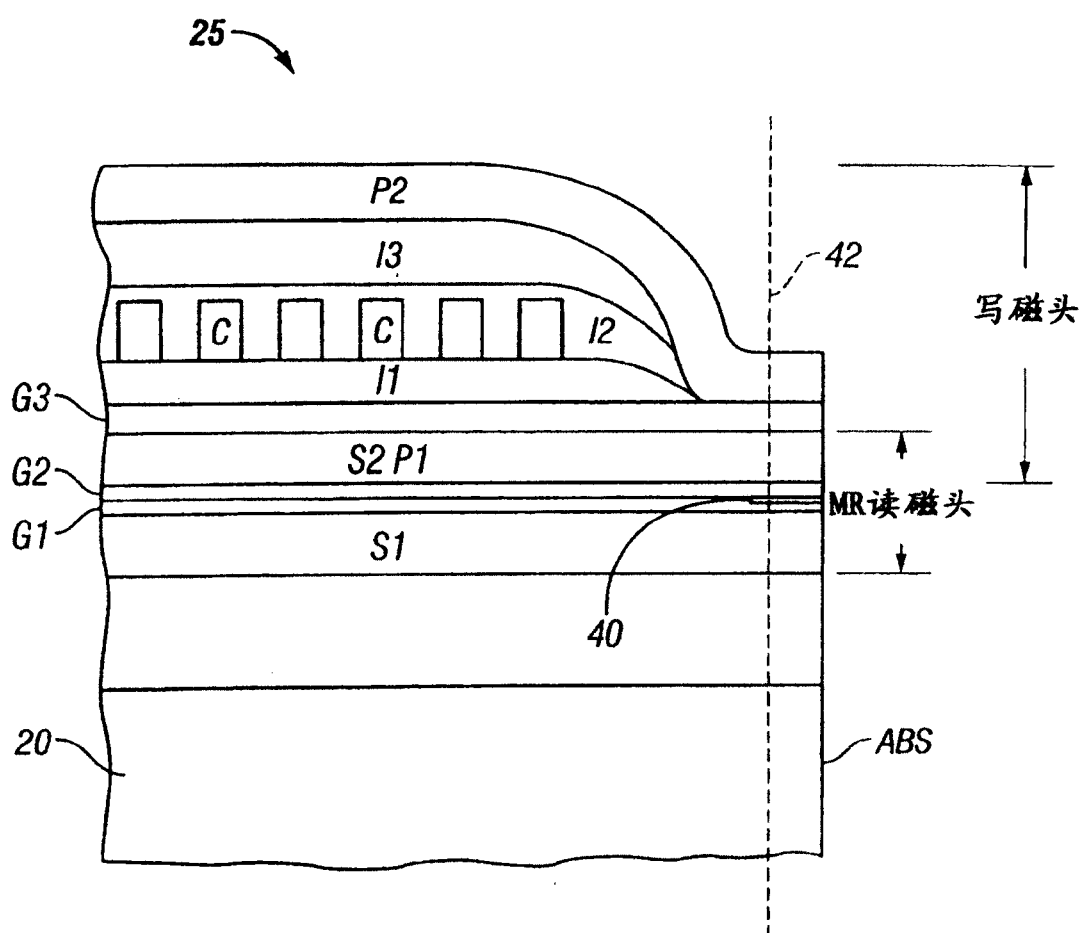


图 1

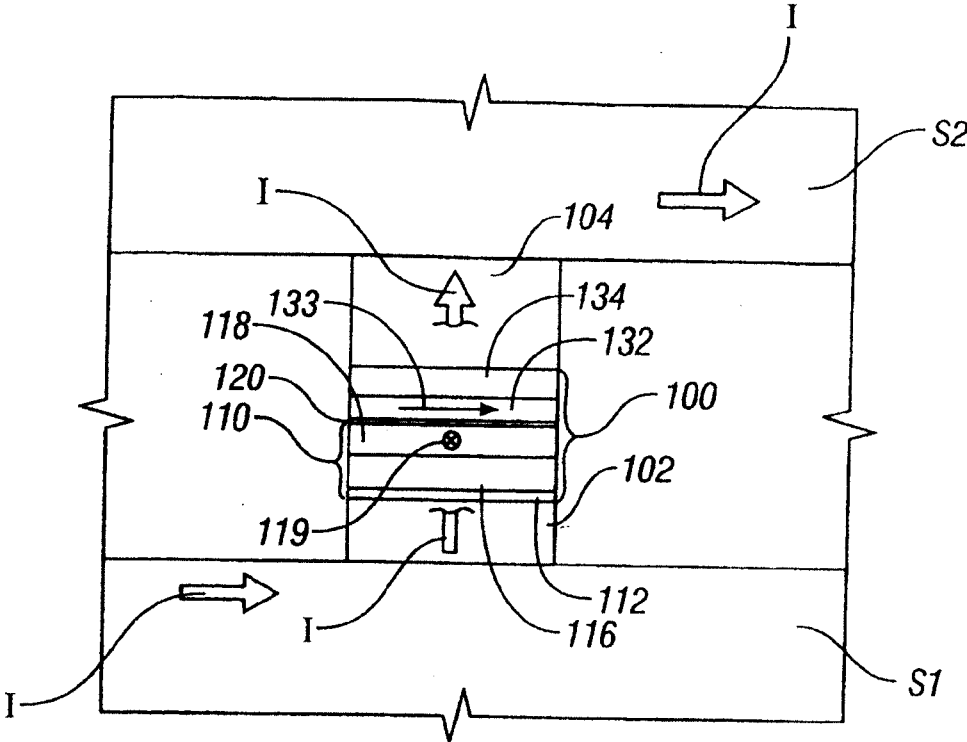


图 2A

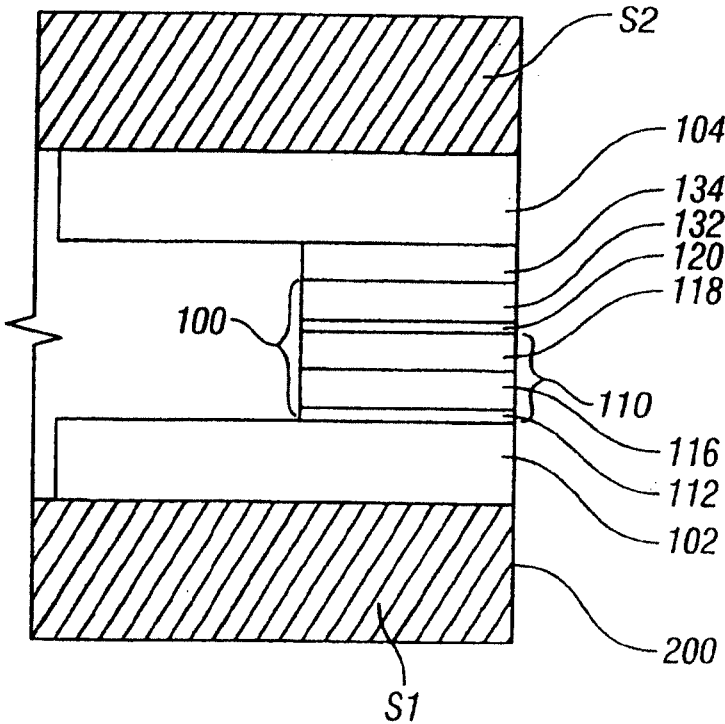


图 2B

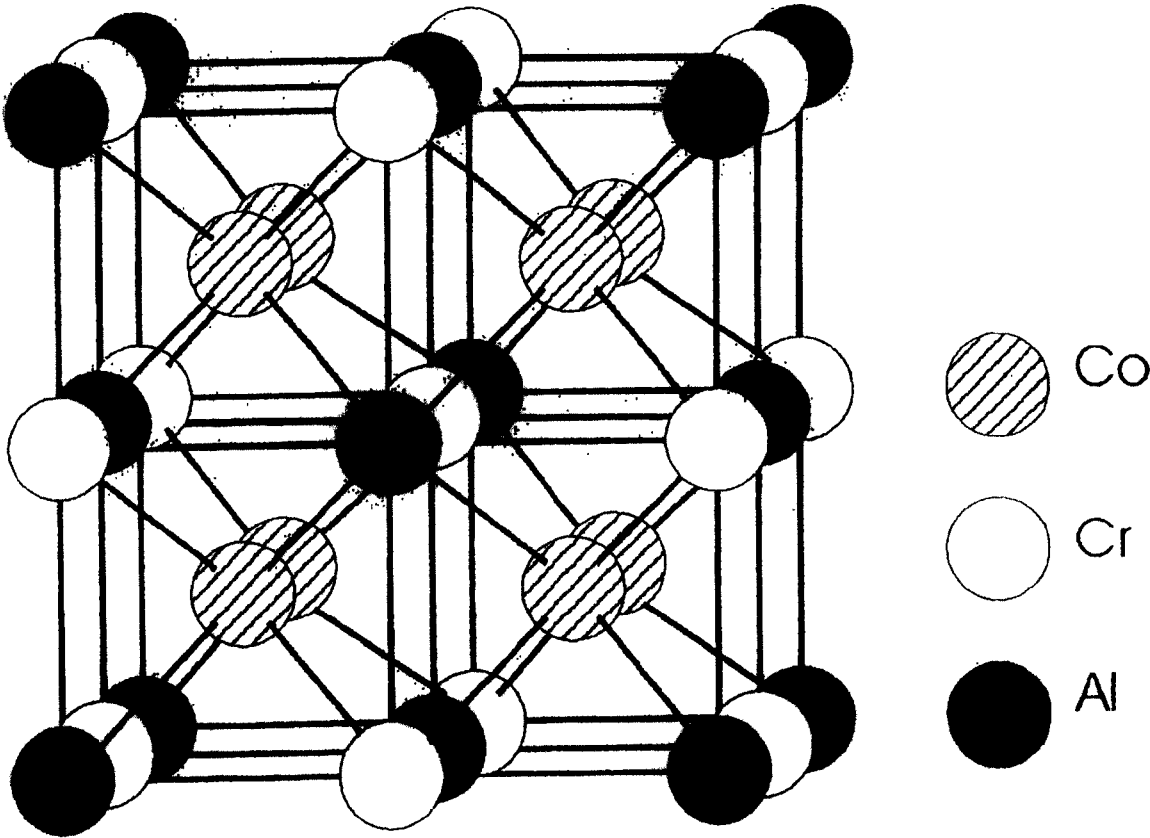


图 3

A Ta(50 Å)/PtMn(200 Å)/Co₈₀Fe₁₀(12 Å)/Co₂Fe_{0.4}Cr_{0.6}Al(45 Å)/Cu(5 Å)/Ta(100 Å)
 B Ta(50 Å)/PtMn(200 Å)/Co₈₀Fe₁₀(6 Å)/Co₂Fe_{0.4}Cr_{0.6}Al(45 Å)/Cu(5 Å)/Ta(100 Å)
 C Ta(50 Å)/PtMn(200 Å)/Co₂Fe_{0.4}Cr_{0.6}Al(45 Å)/Cu(5 Å)/Ta(100 Å)

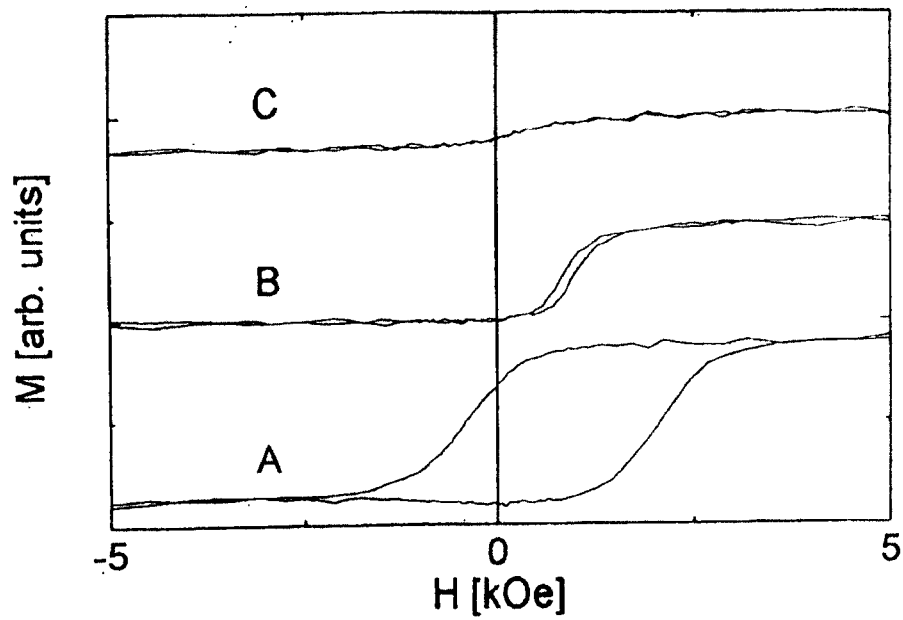


图 4

Ta(50 Å)/PtMn(200 Å)/Co₉₀Fe₁₀(t)/Co₂Fe_{0.4}Cr_{0.6}Al(41 Å)/Cu(5 Å)/Ta(100 Å)

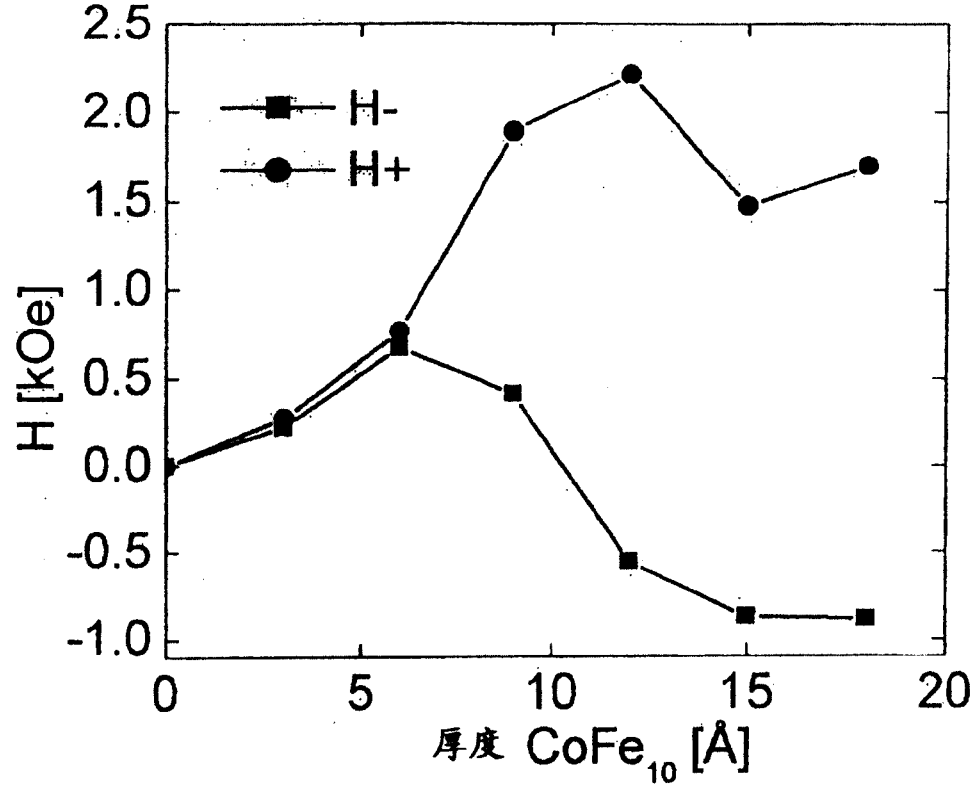


图 5

Ta(50 Å)/PtMn(200 Å)/Co₉₀Fe₁₀(6 Å)/Co₂Fe_{0.6}Cr_{0.4}Al(t)/Cu(5 Å)/Ta(100 Å)

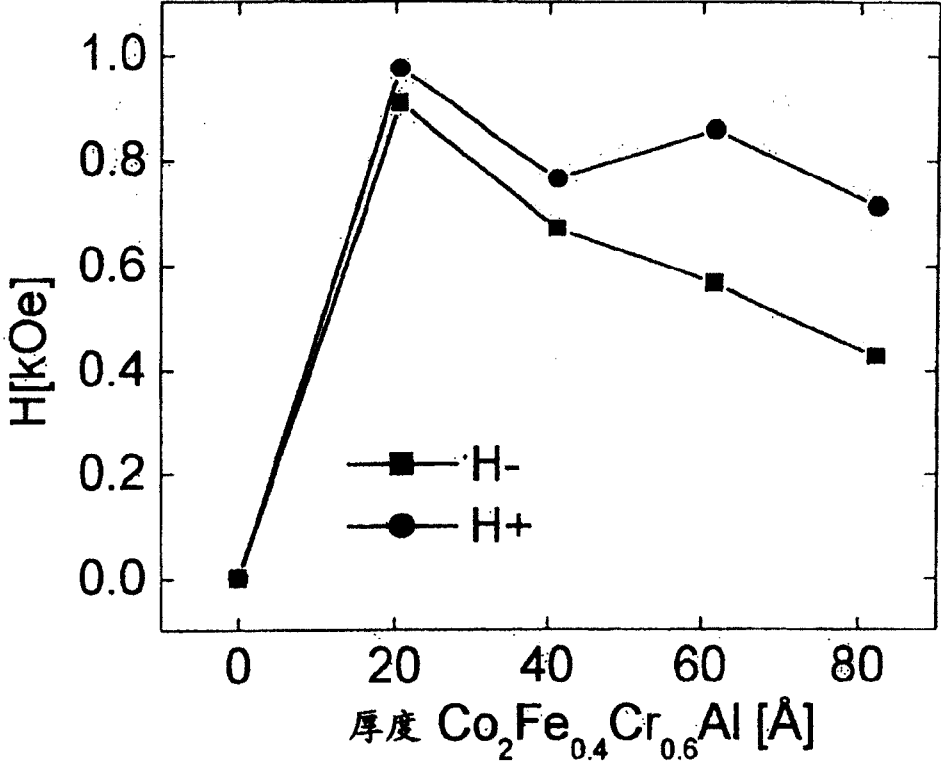


图6

Ta(50 Å)/PtMn(200 Å)/Co₉₀Fe₁₀(12 Å)/Co₂Fe_{0.6}Cr_{0.4}Al(t)/Cu(5 Å)/Ta(100 Å)

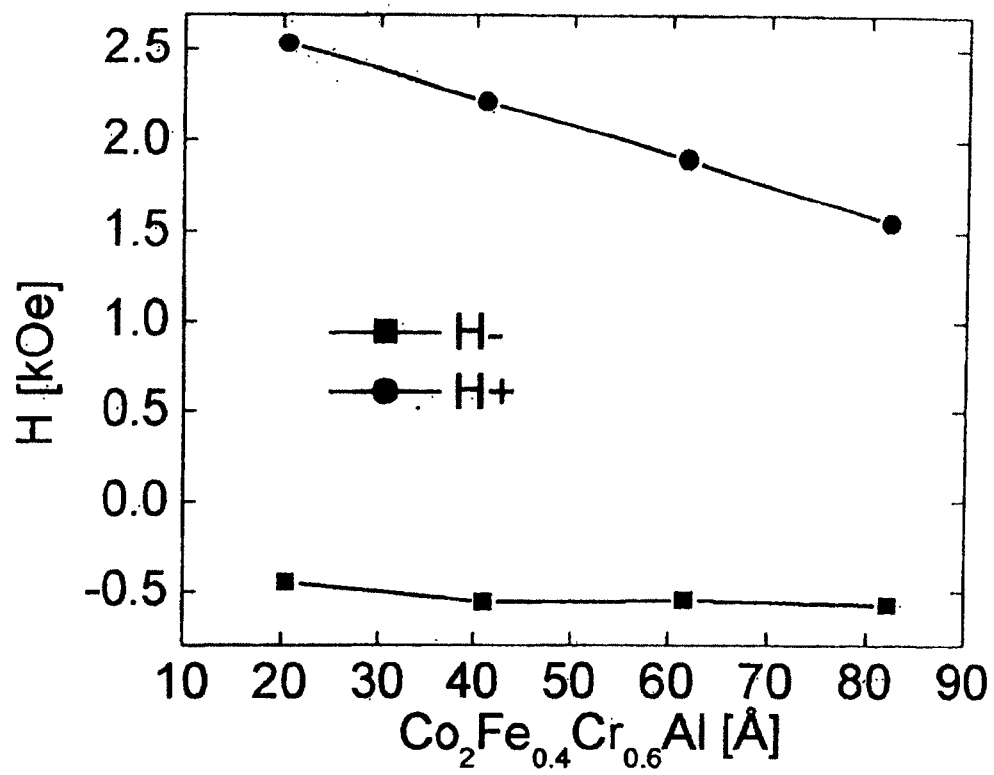


图7