

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G11B 5/39

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 94118724.1

[45] 授权公告日 2001 年 7 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1068689C

[22] 申请日 1994. 11. 19 [24] 颁证日 2001. 6. 9

[21] 申请号 94118724.1

[30] 优先权

[32] 1993. 12. 23 [33] US [31] 173,590

[73] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 凯文·罗伯特·科非

罗伯特·爱德华·冯塔纳

詹姆斯·肯·霍华德

托德·莱尼尔·西尔顿

迈壳尔·安德鲁·帕克 桑秦华

[56] 参考文献

EP 427171 1991. 5. 15 G11B5/39

US 134533 1992. 7. 28 G11B5/33

审查员 张 景

[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

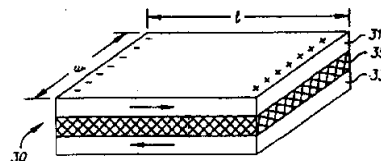
代理人 范本国

权利要求书 14 页 说明书 17 页 附图页数 8 页

[54] 发明名称 多层磁电阻检测器及其制造方法和磁存储系统

[57] 摘要

磁电阻读检测器, 含有由一个平面阵列中的一个或多个磁电阻元件形成的磁电阻检测元件, 各个磁电阻元件具有被非磁层分隔的至少两个铁磁层构成的多层结构。铁磁层由铁磁层相对边的静磁耦合以反铁磁方式耦合。由间隔层分离于磁电阻检测元件的偏置层提供磁场, 在非信号点偏置磁电阻检测元件, 用于线性响应。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种多层磁电阻检测器, 包括第一和第二铁磁材料层, 由一非磁性材料层分隔, 形成多层磁结构, 其特征在于:

所述多层磁结构上形成有图案以形成一个多元件平面阵列, 所述阵列的各个元件与相邻的元件相分隔, 在所述阵列上形成有一个由导电材料制成的导电层, 导电材料填充所述元件之间的空间, 以在所述多层磁结构的平面中的所述元件之间提供导电性, 所述阵列的各个所述元件具有所希望的形状, 且其在所述多层磁结构的平面中的最大尺寸为 10.0 微米或更小, 各个所述元件的第一和第二铁磁层在其相对的边缘上借助静磁耦合而以反铁磁的方式耦合, 作用场包括存在于各个所述元件的所述第一和第二铁磁层之间的所述静磁耦合部分和交换耦合部分, 所述第一和第二铁磁层之间的净作用场是反铁磁的, 所述第一铁磁层中的磁化方向基本上与所述第二铁磁层中的磁化方向反平行, 在各个铁磁层中的磁化方向根据所加的磁场而转动, 所述磁电阻检测器的电阻作为相邻铁磁层中的磁化方向之间角度变化的函数而变化。

2. 根据权利要求 1 的多层磁电阻检测器, 其特征在于各个所述元件具有一般为圆形的形状。

3. 根据权利要求 1 的多层磁电阻检测器, 其特征在于各个所述元件具有一般为矩形的形状。

4. 根据权利要求 1 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述多层磁结构上被形成图案以形成一个不连续阵列, 这种不连续阵列与所述铁磁层相垂直并与各个所述铁磁层中的磁各向异性

有受到调节的宽度的所述带包括一个由连接起来的一般为圆形的元件组成的阵列。

30. 根据权利要求 20 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述铁磁材料包括一个从由铁、钴、镍、镍-铁和基于铁、钴、镍或镍-铁的铁磁合金组成的组中选出的材料。

31. 根据权利要求 29 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述铁磁材料包括镍-铁。

32. 根据权利要求 20 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述非磁性材料包括一种导电材料。

33. 根据权利要求 32 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述导电材料是从由银、金、铜和钎以及银、金、铜或钎的导电合金组成的组中选出的材料。

34. 根据权利要求 33 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述导电材料是银。

35. 根据权利要求 33 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述导电材料是铜。

36. 根据权利要求 22 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述导电层包括从由铬、钽、银、金、铜、铝和钎和铬、钽、银、金、铜、铝或钎的导电合金组成的组中选出的非磁性导电材料。

37. 根据权利要求 36 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述非磁性导电材料包括铬。

38. 根据权利要求 36 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述非磁性导电材料包括钽。

39. 根据权利要求 20 的多层磁电阻检测器, 其特征在于 N 在 2 至 10 的范围内。

40. 根据权利要求 20 的多层磁电阻检测器, 其特征在于奇数铁磁层的总厚度基本上等于偶数铁磁层的总厚度。

41. 根据权利要求 40 的多层磁电阻检测器, 其特征在于其中铁磁材料构成的所述顶和底层的厚度基本上为在所述多层磁结构中的铁磁层的厚度的一半。

42. 一种多层磁电阻检测器, 包括:

一个基底;

一个淀积在所述基底的主表面上的隔离层;

由淀积在所述隔离层上的磁性材料制成的偏置层;

其特征在于包括:

淀积在所述偏置层上的磁电阻检测元件, 它包括 N 个双层, 其中各个双层包括一个形成在一层非磁性材料上的铁磁材料层, 所述 N 个双层形成在由所述铁磁材料制成的底层上, 从而形成了由交替的铁磁材料层和非磁性材料层构成的多层磁结构, 顶层和底层是由铁磁材料构成的, 各个铁磁层与相邻的铁磁层通过在其相对边缘处的静磁耦合而以反铁磁的方式耦合, 作用场包括存在于相邻铁磁层之间的所述静磁耦合部分和交换耦合部分, 相邻铁磁层之间的净作用场是反铁磁的, 铁磁层中的磁化方向基本上与在相邻铁磁层中的磁化方向反平行, 在各个铁磁层中的磁化方向根据所加的磁场而转动, 所述磁电阻检测器的电阻作为相邻铁磁层中的磁化方向之间角度变化的函数而变化, 所述多层磁结构上形成有图案以形成一个多元件平面阵列, 所述阵列的各个元件与相邻的元件相分隔, 所述阵列的各个元件具有与所述多层磁结构相同的层状结构, 所述阵列的各个所述元件具有所希望的形状, 且其在所述多层磁结构的平面中的最大尺寸为 10.0 微米或更小, 在所述阵列上形成有导电材料构成的导电层, 它填充在所述元件之间的空间中, 以在所述多层磁结构的平面中的所述元件之间提供导电性;

形成在所述多层磁结构的顶层之上的覆盖层; 以及

一个淀积在所述偏置层上并置于所述偏置层和所述磁电阻检测元件之间的非磁材料的间隔层，用于解除所述偏置层与所述磁电阻检测元件的磁耦合。

43. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于双层的数目 N 处于 1 至 10 的范围内。

44. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于各个所述元件是一个一般为圆形的、具有 10.0 微米最大直径的元件。

45. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于各个所述元件是一个一般为矩形的、最大尺寸为 10 微米或更小的元件。

46. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述铁磁材料包括从由铁、钴、镍、镍-铁和基于铁、钴、镍或镍-铁的铁磁合金组成的组中选出的材料。

47. 根据权利要求 46 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述铁磁材料包括镍-铁。

48. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述非磁层包括导电材料, 是从由银、金、铜和钌以及银、金、铜或钌的导电合金组成的组中选出的材料。

49. 根据权利要求 48 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述导电材料是银。

50. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述间隔层包括从由钽、锌、钛、钇和铪组成的组中选出的材料。

51. 根据权利要求 50 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述间隔层包括钽。

52. 根据权利要求 42 的多层磁电阻检测器, 其特征在于所述偏置层包括由软磁性材料制成的层, 以提供所述的磁偏置

材料是银。

70. 根据权利要求 61 的磁存储系统, 其特征在于所述间隔层包括从由钽、锌、钛、钇和铪组成的组中选出的材料。

71. 根据权利要求 61 的磁存储系统, 其特征在于所述偏置层包括由软磁性材料制成的层, 以提供所述的磁偏置场, 所述软磁性材料包括从由镍-铁-铬、镍-铁-铈、镍-铁和镍-铁-铈组成的组中选出的材料。

72. 根据权利要求 61 的磁存储系统, 其特征在于所述偏置层包括一个由硬磁材料制成的层, 用于提供所述磁偏置场, 所述硬磁材料从由钴-铂和钴-铂-铬组成的组中选出。

73. 根据权利要求 61 的磁存储系统, 其特征在于所述铁磁层具有在大约 10 埃至大约 100 埃的范围内的厚度。

74. 根据权利要求 61 的磁存储系统, 其特征在于所述非磁层具有在大约 10 埃至大约 400 埃的范围内的厚度。

75. 根据权利要求 61 的磁存储系统, 其特征在于所述导电层包括从由铬、钽、银、金、铜、铝和钨以及铬、钽、银、金、铜、铝或钨的导电合金组成的组中选出的非磁性导电材料。

76. 一种制造用于在磁电阻检测器中使用多层磁电阻结构的方法, 所述多层磁电阻结构包括磁电阻元件的一个平面阵列, 各个所述磁电阻元件具有多个铁磁层, 各个所述铁磁层由一非磁性材料间隔层分隔, 在所述磁电阻元件阵列中的各个所述磁电阻元件与相邻的磁电阻元件相分隔, 在所述磁电阻元件之上和之间形成导电材料层, 所述导电材料填充所述磁电阻元件之间的空间, 所述方法特征在于包括以下步骤:

在一个基底上形成铁磁材料的底层;

形成多个双层, 各个所述双层包括一个由非磁性材料构成的第一层和在所述第一层上形成的由所述铁磁材料构成的第二

层，所述多个双层形成在由所述铁磁材料构成的所述底层上；

在所形成的多层磁结构上形成图案，以形成一个多元件平面阵列，所述阵列的各个元件与相邻的元件相分隔，所述阵列的各个元件具有与所述多层磁结构相同的分层结构，所述阵列的各个所述元件具有所希望的形状，且其在所述多层磁结构的平面中的最大尺寸为 10.0 微米或更小，以及

在所述阵列上形成导电材料构成的导电层，所述导电材料填充在所述元件之间的空间中，以在所述多层磁结构的平面中的所述元件之间提供导电性。

77. 根据权利要求 76 的方法，其特征在于所述铁磁层具有在大约 10 埃至大约 100 埃范围内的厚度。

78. 根据权利要求 76 的方法，其特征在于所述非磁层具有在大约 10 埃至大约 400 埃范围内的厚度。

79. 一种多层磁电阻检测器，包括：

一个基底；

一个淀积在所述基底的主表面上的隔离层；

由淀积在所述隔离层上的磁性材料构成的偏置层；

淀积在所述偏置层上的磁电阻检测元件；

形成在所述多层磁结构的顶层之上的覆盖层；以及

一个淀积在所述偏置层上并位于所述偏置层和所述磁电阻检测元件之间的非磁材料间隔层，用于解除所述偏置层与所述磁电阻检测元件的磁耦合，

其特征在于：

所述磁电阻检测元件包括 N 个双层，其中各个双层包括一个形成在一层非磁性材料上的铁磁材料层，所述 N 个双层形成在由所述铁磁材料制成的底层上，因而形成了由交替的铁磁材料和非磁性材料层构成的多层磁结构，顶层和底层是由铁磁材

场，所述硬磁材料包括从由钴 - 铂和钴 - 铂 - 铬组成的组中选出的材料。

86. 根据权利要求 79 的多层磁电阻检测器，其特征在于所述铁磁层具有在大约 10 埃至大约 100 埃的范围内的厚度。

87. 根据权利要求 79 的多层磁电阻检测器，其特征在于所述非磁层具有在大约 10 埃至大约 400 埃的范围内的厚度。

说明书

多层磁电阻检测器及其制造方法和磁存储系统

本发明一般地涉及用于读出记录在磁介质上的信息信号的磁传感器,且具体地涉及一种由多层铁磁结构呈现大磁电阻的磁电阻读取检测器,在该多层铁磁结构中铁磁层以反铁磁的方式耦合。

现有技术中已知,利用被称为磁电阻(MR)检测器或头的磁读取传感器来从磁介质上读取高密度记录数据。*MR*检测器借助用磁性材料制成的读取元件的电阻变化,来检测作为被该读取元件所感测的磁通量的强度和方向的函数的磁场信号。这些先有技术 *MR* 检测器,是根据各向异性磁电阻(AMR)效应工作的,在该效应中读取元件的电阻与磁化和通过读取元件的检测电流之间的角度的余弦的平方($\cos^2$)成正比。对该 *AMR* 效应更详细的描述见于 *D. A. Thompson* 等人在 *IEEE Trans. Mag. MAG-11*, *p. 1039*(1975) 上的“*Memory, Storage, and Related Applications*”一文。

于 1990 年 1 月 23 日授予 *Takino* 等人的名称为“利用磁电阻效应的磁传感器头”的美国专利第 4,896,235 号,公开了一种多层磁检测器,它采用了 *AMR* 并包括被一个非磁层分开的第二和第一磁层,其中至少一个磁层是由呈现 *AMR* 效应的材料制成的。在各个

磁层中的易磁化轴被设定得与所加的磁信号相垂直,从而使该 *MR* 检测元件的检测电流在磁层中提供了一个与该易磁化轴相平行的磁场,以消除或减小在该检测器中的 巴克豪森 噪声。*H. Suyama* 等人在 *IEEE Trans. Mag.*, Vol. 24, No. 6, 1988 (2612—2614 页) 上题目为“用于高密度硬盘驱动器的薄膜 *MR* 头”的论文中,公布了一种与 *Takino* 等人公布的相似的多层 *MR* 检测器。

采用 *AMR* 效应的磁电阻读检测器一般比感应检测器优越,其理由有几个,其中最重要的一个是与检测器和磁介质之间的相对运动无关的更大的信号和信/噪比。然而,在大于 5 千兆/平方英寸的数据记录密度下,*AMR* 检测器可能不能提供充分的灵敏度。在这些密度下的信号强度的损失,主要是由于在更高的记录密度所要求的 *MR* 检测器带的变薄引起的。另外,该 *AMR* 效应对于小于 10nm 的检测器带厚度会迅速地消失;例如在 3nm 的厚度下, $\Delta R/R$ 为大约 0.5%。

还已经描述了第二种不同且更显著的磁电阻效应,其中层状磁检测器的电阻的改变是由于在铁磁层之间经过分隔铁磁层的非磁层的传导电子的与自旋有关的传送和所伴随的在层界面上的与自旋有关的散射引起的。该磁电阻效应称为“大磁电阻”或“自旋阀”效应。用适当材料制成的这种 *MR* 检测器与采用 *AMR* 效应的检测器相比,提供了改善的灵敏度和更大的电阻变化。在这种类型的 *MR* 检测器中,在一对被非磁层分隔的铁磁层之间的平面内电阻,与两

层中的磁化之间的角度的余弦($\cos$)成正比。

在 *G. Binasch* 等人在美国物理学会 1989 年 3 月 1 日的 *Physical Review B*, Vol. 39, No. 7 上的题目为“*Enhanced Magnetoresistance in Layered Magnetic Structures with Antiferromagnetic Interlayer Exchange*”的论文中,描述了由于在被铬制成的薄非磁中间层分开的相邻铁层之间的反铁磁交换耦合造成的磁电阻效应的大幅度增加。授予 *Grunberg* 的美国专利第 4,949,039 号,公布了一个层状磁结构,它产生了由在磁层中的磁化的反平行排列而引起增大的磁电阻效应。作为可能用于这种层状结构中的材料,*Grunberg* 列出了铁磁过渡金属和合金,但是没有从该清单中指出对于优越的 *MR* 信号幅度来说最佳的材料。

转让给本受让人的美国专利第 5,206,590 号,公开了一种 *MR* 检测器,其中观测到由一个非磁材料薄层分开的两个相邻铁磁层之间的电阻与两层的磁化之间的角度的余弦成正比,且与通过检测器的电流的方向无关。该机制产生了一种磁电阻,它取决于自旋阀效应,且对于选定的材料组合来说在幅度上大于 *AMR*。

在上述美国专利中描述的这种自旋阀结构,要求在两个铁磁层之一中的磁化方向被固定在选定的方向上,以使另一铁磁层中的磁化方向在无信号状态下与该固定层的磁化相垂直。另外,在 *AMR* 和自旋阀结构中,为了降低 巴克豪森 噪声,需要提供一个纵偏置场,以至少把读取元件的检测部分保持在单一的磁畴状态。

因此,需要一个用于固定磁化方向并提供纵偏置场的装置。例如,如在上述专利申请和专利中所述的,能够使一个附加的反铁磁材料层与该铁磁层相接触,以提供一个交换耦合偏置场。或者,可利用一个相邻的硬磁层来为该铁磁层提供硬偏置。

因此,本发明的一个主要目的,是提供一种根据多层结构中的 *GMR* 效应的低场 *MR* 磁检测器。

本发明的另一目的,是提供一种 *MR* 检测器,其中不需要提供用于固定一个或多个铁磁层中的磁化方向的附加结构装置,也不需要为场检测元件提供纵偏置场。

这些和其他的目的和优点,是按照本发明的原理实现的,其中一个包含一个多层 *MR* 检测元件的 *MR* 读取检测器,它包括一个形成在一个适当的基底上的层状结构,该基底包括一个包含多个铁磁材料层的磁电阻检测元件,各铁磁由一个非磁性导电材料层与相邻的层分开。该 *MR* 检测元件是通过在一个基底上,在适当的绝缘和保护底层上,交替地淀积铁磁材料层和非磁性导电材料层而形成的。该多层结构还被覆盖有保护层。在最佳实施例中,借助磁控管溅射技术,制备了具有交替的磁和非磁层的薄膜。当淀积完成时,利用光刻技术对产生的薄膜结构制作出图案,在参考或记录面上形成一个具有点状结构的阵列。这些点具有大约为 2 微米(μm)或更小的主尺寸,并被分开了大约 $2\mu\text{m}$ 。一个 *MR* 检测器读取元件包括单个或若干个点状结构。在各个点状结构中的铁磁层的边缘之间

的弱反铁磁耦合,在各个铁磁层中,相对于相邻的铁磁层,提供了反平行的磁化排列。一个电流源给 *MR* 检测器提供了一个检测电流,它在检测元件上产生了与 *MR* 检测器的电阻变化成比例的电压降,该变化是由于铁磁层中的磁矩的转动而引起的并且是检测到的所加的外磁场的函数。*MR* 检测器的电阻与两个相邻铁磁层的磁化之间的角度的余弦成正比。当铁磁层的磁化反平行排列,即沿着相反的方向时,该电阻具有最大值。当铁磁层的磁化平行排列,即沿着相同的方向时,该电阻具有最小值。

因此,本发明提供了一种 *MR* 检测器,其中磁电阻检测元件由多个被非磁分隔层分开的相邻磁层组成,其中各个磁矩响应于所加的磁信号转动。由于这种响应是带有有限磁畴壁运动的磁矩转动,所以不需要纵偏置场来降低 巴克豪森 噪声。

从下面结合附图对本发明的最佳实施例所进行的详细描述,本发明的上述和其他目的、特征和优点将变得明显。在这些附图中,相同的标号被用来表示相同的部分,其中:

图 1 是体现本发明的一个磁盘存储系统的简化框图;

图 2a 和 2b 显示了根据本发明的原理的多层磁阻结构;

图 3 是曲线图,显示了对于图 2 所示的磁电阻检测元件最佳实施例的计算机模型的反铁磁作用场强,该场强是磁电阻点结构主轴长度的函数;

图 4 是剖视图,显示了根据本发明的原理的多层磁电阻结构最

佳实施例;

图 5 是根据本发明的原理的多层 *MR* 检测元件的最佳实施例的剖视图;

图 6 是平面图,显示了图 5 所示多层磁电阻检测元件的最佳实施例;

图 7a 和 7b 是曲线图,分别显示了对于图 4 所示磁电阻检测元件的图案化和未图案化的实施例的磁电阻与所加的磁场的关系;

图 8a—8d 是曲线图,显示了对于图 4 磁电阻检测元件的图案化和未图案化实施例,沿着易磁化轴和难磁化轴的磁化与所加的磁场之间的关系;

图 9a 和 9b 是平面图,显示了图 5 所示多层磁电阻检测元件的其他实施例;

图 10 和 11 是剖视图,显示了图 4 和 5 所示的磁阻检测元件的其他最佳实施例的层状结构;且

图 12 是根据本发明的原理的磁电阻检测系统最佳实施例的剖视图。

现在参见图 1,虽然本发明被描述为是如图 1 所示地存在在一个磁盘存储系统中进行实施的,但显然本发明也能够被应用到诸如磁带记录系统的其他磁记录系统中,或是其中利用检测器来检测磁场的其他应用中。一个磁盘存储系统包括至少一个可转动的磁盘 12,该盘 12 由一个转轴 14 进行支撑并由盘驱动马达 18 进行转动,而

在盘 12 上有至少一个浮动块 13, 各个浮动块 13 支撑着一个或多个磁读/写传感器 21, 通常被称为读/写头。在各个盘上的磁记录介质是在盘 12 上的同心数据道(未显示)的环形图案的形式的。当盘转动时, 浮动块 13 沿着径向在盘表面 22 上被移入或移出, 以使头 21 能够对记录有所希望的数据的不同的盘部分进行存取。各个浮动块 13 借助一个悬挂装置 15 而与一个传动臂 19 相连。该悬挂装置 15 提供了轻微的弹簧力, 该力对浮动块 13 进行偏置以使其抵住盘表面 22。各个传动臂 19 与一个致动装置 27 相连。如图 1 所示, 该致动装置可以是诸如一个音圈马达(VCM)。该 VCM 包括一个能够在固定磁场中移动的线圈, 该线圈运动的方向和速度受到由一个控制器提供的马达电流信号的控制。

在该盘存储系统的工作期间, 盘 12 的转动在浮动块 13 和盘表面 22 之间产生一个空气轴承, 后者在浮动块上施加了一个向上的力或升力。该空气轴承与悬挂装置 15 的轻微的弹簧力达到了平衡, 并支撑着浮动块 13 以使其脱离盘表面, 并在工作中与盘表面之间有一个小且大体恒定的间隔。

该盘存储系统的各种部件在运行中由控制单元 29 产生的控制信号—诸如存取控制信号和内部时钟信号—进行控制。一般地, 控制单元 29 包括诸如逻辑控制电路、存储装置和微处理器。控制单元 29 产生控制信号, 诸如在线 23 上的驱动马达控制信号和线 28 上的头定位和寻找控制信号, 以控制各种系统操作。在线 28 上的控制

信号提供了所希望的电流特性,以便以最佳的方式将选定的浮动块 13 移动和定位到有关的盘 12 上的所希望的数据道上。读取和写入信号借助记录通道 25 被传送到读/写头 21 或从之传送出来。

以上对典型的磁盘存储系统的描述和图 1 的有关显示,都只是为了说明的目的。显然的是,盘存储系统可以包含大量的盘和致动器,且各个致动器可支持若干个浮动块。

现在参见图 2a、2b 和 3。图 2a 是立体图,显示一个多层磁电阻结构 30,后者包括被一个非磁性材料层 35 分开的两个磁性材料层 31、33。非磁层 35 可以是一个导电材料或绝缘材料层,后者足够地薄以使传导电子能够通过隧道效应而在磁性材料层之间通过。磁层 31、33 是由诸如镍、铁或钴或它们的合金——诸如 $NiFe$ (坡莫合金)——的铁磁材料制成的。借助诸如溅射淀积,交替地淀积磁性和非磁性材料层,且各个层的厚度受到诸如一个石英监测器的控制。磁性结构 30 的横向尺寸可以是几个 μm ,但最好为大约 $2.0\mu m$ 或更小。磁层 31、33 的厚度在 10 至 100 埃的范围内,而非磁性层 35 的厚度在 10 至 400 埃的范围内。

一般地,诸如图 2a 和 2b 所示的多层磁结构呈现出较大的层间磁耦合,后者随着间隔层的厚度以大约 $1nm$ 的周期变化而从铁磁到反铁磁振荡。采用这种交换耦合的实际的 MR 检测器是难于制造的,因为这种交换耦合很大且它对于层厚度的变化极其灵敏。另一方面,在处于居里温度以下的温度的铁磁材料中,在磁畴中的磁

矩被平行地排列,从而在层的一边形成了正或北极,并在相对的一边形成了负或南极,如图 2 中的正和负号所分别表示的。这由于静磁作用而不是交换作用而在相邻的层之间产生了如箭头 34 所示的弱的反铁磁耦合。净作用场是静磁作用和交换作用之和。如果交换作用是铁磁的,则它将部分或全部地抵消总是反铁磁的静磁作用。只有在净作用场是反铁磁的时候,才能够实现反铁磁顺序和 *GMR*。

对作用场的控制能够以几种方法实现。一般地,交换作用的幅度随着磁层和间隔层的组份和厚度而变。通常,较厚的间隔层和磁层会导致较小的交换作用场。另外,随着例如图 2a 所示的长度 l 和宽度 w 的结构实际尺寸的减小,由于静磁耦合而引起的反铁磁场的强度增大。图 3 的曲线 32 和 36 分别显示了在由被一个 20 埃的 *Cu* 层分隔的两个 20 埃的相邻 *NiFe* 层组成的磁结构中该反铁磁作用场的强度和铁磁交换场的强度与尺寸的关系。对于图 3 所示的例子,在颗粒的主尺寸为大约 $6\mu\text{m}$ 时,反铁磁作用场 32 与铁磁作用场 36 大体相等。对于具有小于 $6\mu\text{m}$ 的主尺寸的颗粒,净作用场总是反铁磁的,从而保证了相邻铁磁层的磁化是反平行排列的。

图 3 的曲线 32 是一种模型计算的结果,在该模型中,假定两个扁球形颗粒被一个 20 埃的间隔层分隔并沿着球形的颗粒的中心轴彼此堆置,且磁化是均匀的并与各个颗粒的主轴平行。各个颗粒的短轴的长度即厚度是 20 埃。绘制出了该作用场的强度与颗粒的主直径的关系。当该主直径减小时,反铁磁作用场强度增大,因为层

的边缘的相对影响随着颗粒变得不那么扁而增大。在反铁磁场强度幅度与颗粒的厚度之间,观测到类似但相反的关系。重要的物理参数是厚度直径比。另外,具有相同的厚度直径比的颗粒产生大体相同的静磁场强度。例如一对 $20\mu\text{m}$ 宽和 20 埃厚的颗粒产生约 15 奥斯特(Oe)的静磁场强度(见图 3);类似地,一对 $1\mu\text{m}$ 宽和 10 埃厚的颗粒也将产生约 15Oe 的静磁场强度。

现在参见图 4、5 和 6,根据本发明的原理的一个多层磁结构 40 包括两个由铁磁材料制成并被一个由非磁材料制成的间隔层 49 所分隔的相邻的层 47 和 51、一个覆盖层 53 和一个底层 45;这些层被淀积在适当的基底 41 上的一个二氧化硅(SiO_2)层 43 上。例如一个最佳实施例具有结构 $\text{Ta}(50\text{\AA})/\text{NiFe}(20\text{\AA})/\text{Ag}(40\text{\AA})/\text{NiFe}(20\text{\AA})/\text{Ta}(40\text{\AA})/\text{SiO}_2(700\text{\AA})/\text{Si}$ 。该 Ta 覆盖层 53 保护磁层不受腐蚀和其他可能由于暴露在大气中或随后的处理所造成的不利影响。Ta 底层 45 为磁层 47 的淀积准备了二氧化硅层 43 并促进了在磁层中所需晶体和磁性质的形成。取决于磁层所用的材料,可以不需要覆盖层和底层中的一个或两个。

层状的磁结构 40 随后如图 5 所示地被作出图案并得到蚀刻,以产生出如图 6 所示的点阵 50。该磁结构被蚀刻至二氧化硅层 43 的表面,以形成一个磁化点 55 的阵列,其中各个点具有如图 4 所示的层状结构。一个由导电材料制成的导电层 57 随后被淀积在该点阵上并填充点 55 之间的空间 59,以提供通过该结构的导电性。点

55 的主尺寸(直径)最好是 $2.0\mu\text{m}$ 或更小。虽然图 5 和 6 显示了点 55 之间的间隔是在点的直径的量级,这些点在实际中在不进行物理接触的情况下最好尽可能地接近并提供足够的间隔,以在边缘上的铁磁层之间提供所希望的静磁耦合。如果点 55 相接触或不足以分开,则会产生不希望的交换或静磁作用,从而造成低的信/噪比和降低的灵敏度。图案化的点阵 50 可利用众所周知的光刻和蚀刻技术—诸如离子琢磨(RIE)或湿蚀刻—来产生。

现在参见图 7 和 8,制备出测试样品并对其测量磁电阻,该测试样品包括磁膜,该磁膜具有上述的多层结构、材料和尺寸,并具有 500 埃的钽(Ta)覆盖层 57。图 7a 绘制了对于带图案的膜 50 而言,磁电阻与沿难磁化轴和易磁化轴所加磁场强度的关系,其中 Ta 覆盖层被用作导电层。类似地,图 7b 是对于未带图案的膜 40 而言,磁电阻与沿着难和易磁化轴所加的磁场强度的关系。各向异性 MR 效应(AMR)是分别沿着平行和垂直曲线 81 的差。巨 MR 效应(GMR)是两个曲线 81、83 的平均。未带图案的膜 40 呈现出具有小 GMR 分量的占据优势的 AMR 效应。相反,带图案的膜 50 呈现出带有小 AMR 分量的占据优势的 GMR 效应。带图案的膜几乎不呈现磁滞,而未带图案的膜沿着易磁化轴呈现出很大的磁滞。在带图案和未带图案的测试膜中的 MR 效应的测量幅度都很小,这是由于来自 Ta 覆盖层的电流分流和在多层磁结构与 Ta 覆盖层之间的不良电接触。这些是在实际的 MR 检测装置中易于解决的加工问题。在未带

图案的、被覆盖的且具有相同或类似的结构磁膜中,已知 AMR 效应的幅度在大约 0.2 至 0.4%。在带图案的测试膜 50 中, AMR 效应大约为 GMR 效应的 7.6%,这意味着 2.5 至 5.0% 的 GMR 效应。该多层结构所呈现的 MR 效应, $\Delta R/R$ 的幅度大体上由所选用的材料和磁层及非磁层的厚度确定。

图 8a、8b、8c 和 8d 分别描绘了对于带图案的膜 50 和未带图案的膜 40 磁化(M/M_s)与所加的场强(H)沿着难和易磁化轴方向的关系。由于在测试膜中测量的磁性材料的数量极其小,所以在测量数据中观测到了较大的背景噪声,特别是对于带图案的膜 50。未带图案的膜 40 对于具有大约 30e 的感应各向异性场的铁磁耦合多层结构,呈现出了典型的难和易磁化轴滞后环。然而,点阵带图案的膜 50 的数据则表征了带有大约 200e 的作用场(相当于饱和场)的反铁磁排列的多层结构,这与图 7a 和 7b 所示磁电阻曲线的饱和场相一致。对所检验的所有带图案的测试膜,都观测到极小的或零滞后和 M/M_s 与 H 的几乎为线性的关系,特别是沿着难磁化轴。图 7a 和 7b 所示的数据意味着该磁层是单个的磁畴。

参见图 9a 和 9b,点阵不是呈现上述 GMR 效应的唯一图案。一般,只要在多层结构中有不连续或断裂从而使磁化的优先方向的某些分量(由结构的某些各向异性特性—诸如形状、晶体结构、表面特征—确定或是感应的)与该不连续相垂直时,就会出现多层结构中的磁层之间的反铁磁静磁作用。几乎是不倾向于发生反铁磁排列的

只带图案的结构,是一种长的线形结构,它带有在各处都是平行的边缘且易磁化轴沿着该线的长度,例如典型的先有技术 *MR* 条形结构。不连续的频率和大小将确定层之间的作用场。在某些结构中会呈现复杂的多磁畴现象。其他的结构,诸如形成在多层膜中的孔或其他开口 93 的阵列 91,如图 9a 所示,或诸如连接或接合点 94 的具有受调宽度的线,如图 9b 所示,可以提供简单的、大规模的 *GMR* 装置,且这些装置可被用于磁记录系统中的 *MR* 读取头以外的应用。

现在参见图 10,其中显示了本发明的另一最佳实施例。由磁性材料制成的磁层 47 和 51 被一个非磁间隔层 49 所分隔。通过在磁层 47、51 和间隔层 49 之间加上一个由磁性材料制成的非常薄的层,使该结构的磁电阻得以加强。例如,在结构 40 的间隔层 49 与 *NiFe* 层 47、51 的界面形成的由钴制成的薄层 46、48,大大地增加了该结构的所测到的磁电阻。

现在参见图 11,本发明的另一最佳实施例包括一个由 n 个磁层构成的多层磁结构并具有如下的一般结构:

$$Ta(100) / \sum_{j=1}^{n-1} [NiFe(x_j) / Ag(y)] / NiFe(x_n) / Ta(40) \\ / SiO_2(1000) / Si$$

其中 $x, y = 10-400$ 埃, $n = 2-10$ 且

$$\sum_{j \text{ 偶}} x_j = \sum_{j \text{ 奇}} x_j$$

即偶数层的总厚度等于奇数层的总厚度。例如,由 *NiFe* 制成的磁层 127、131、135、139 与由 *Ag* 制成的非磁间隔层 129、133、137 和覆盖层 141 是交替的,在适当的 *Si* 基底 121 的 *SiO₂* 表面层 123 上形成 *Ta* 底层 125。可以用任何适合的铁磁材料,诸如 *Fe*、*Ni*、*Co* 或它们的合金来作为磁层的材料。类似地,可以用任何适当的非磁性材料,诸如 *Au* 或 *Cu*,来作为用于非磁间隔层的材料。如上面结合图 4 和 5 所述的,利用光刻和碾磨或蚀刻技术,制备出点阵或其他适当形状的阵列,这些阵列具有 10.0 μm 或更小的主尺寸且最大长度受到限制以使层之间的净作用是反铁磁的(如图 3 所示)。随后在点阵上淀积出一个导电层(如图 5 所示),填充阵列中的点之间的空间,以提供通过该结构的导电性。其他的图案阵列,诸如在上面结合图 9a 和 9b 所示的,也是适当的。在其中在磁层中保持了连续性的图案结构中,诸如在孔的阵列 91 或具有受调宽度 92 的线中,不需要导电层 57。对于这种类型的图案结构,只需要一个覆盖层。

现在参见图 12,其中显示了包含根据本发明的原理的多层检测元件的 *MR* 磁检测器。*MR* 检测器 150 包括设置在适当的基底 151 上的一个由磁性材料制成的磁偏置层 153、一个非磁化间隔层 155 和多层 *MR* 检测层 157。基底 151 可以是玻璃、石英、蓝宝石、氧

化镁、硅、二氧化硅、 Al_2O_3 - TiC 或其他适当的材料。一个底层 152 先被淀积在基底 151 上。底层 152 的目的,是使随后淀积的磁化层 153 和 155 的结构、晶粒大小和形态得到优化。底层 152 必须具有高电阻,以减小电流旁路效应。一般地,非磁性、高电阻材料,诸如氧化铝、钽(Ta)或钌(Ru),是制作底层 152 的适当材料。在 MR 检测层 157 上,淀积有一个由 Ta 或其他适当材料—诸如 SiO_2 或 AlO_2 制成的覆盖层 159,以提供腐蚀保护和与随后的层及加工步骤的隔离。

多层 MR 检测层 157 包括交替的磁和非磁性层,这些层已经图案化为点阵,例如如结合图 4、5、10 和 11 所描述的。在最佳实施例中, MR 检测层 157 包括一个单个的、通常为正方形或矩形的点元件,后者具有适当的长度和宽度,由所希望的数据道宽度和在磁化层之间提供一个反铁磁作用场的要求所确定。多层 MR 检测层 157 最好包括 1—10 个由淀积在磁性材料底层上的磁和非磁性材料构成的双层。该磁层是由铁磁材料制成的,最好是由 $NiFe$ 制成的,但也可以是由任何适当的铁磁材料制成的,诸如 Ni 、 Co 、 Fe 和基于例如 Ni 、 Fe 或 Co 的铁磁合金。间隔层最好由非磁的金属导电材料制成,诸如 Au 、 Ag 或 Cu ,但是也可以由任何具有适当的导电性或足够地薄以使传导电子能够通过的非磁材料制成。

偏置层 153 为 MR 检测层 157 提供了横向磁偏置场,以为检测器提供线性响应。如先有技术已知的,该偏置层可以由诸如 $CoPt$

或 *CoPtCr* 的硬磁材料制成(硬偏置),或者叠由诸如 *NiFe* 或 *NiFeRh* 的软磁材料制成(软偏置)。间隔层 155 解除偏置层 153 与 *MR* 检测层 157 的磁耦合,并还使 *MR* 检测层的结构、晶粒大小和形态达到优化。间隔层 155 应该是非磁性的高电阻材料,诸如 *Ta*、*Zr*、*Ti*、*Y*、*Hf* 或具有所希望的晶体结构的其他适当材料。

MR 检测器 150 的一个最佳实施例包括:一个图案化的多层 *MR* 检测层 157,由在 *NiFe* 底层(20 埃)上的 5 个 *NiFe*(20 埃)/*Ag*(35 埃)双层组成;一个软偏置层 153,它由淀积在 Al_2O_3 制成的底层 152 上的 *NiFe* 构成,并借助 *Ta* 制成的、具有大约 50 埃厚度的间隔层 155 而与 *MR* 检测层 157 相分隔。*MR* 检测器 150,通过溅射淀积或其他先有技术中已知的适当的淀积方法,被淀积在陶瓷基底 151 上。底层 152 的厚度最好在 100 埃至 500 埃的范围内。*NiFe* 软偏置层 153 的厚度在 50—300 埃的范围内,且最好为 100 埃。由 *Cu* 或诸如 *Ta*、*Ag* 或 *Au* 的其他适当材料形成的 *MR* 检测器 150 的相对端部上的导电端 161,将 *MR* 检测器通过连接导体 167 与电流源 163 和信号检测电路 165 相连。电流源 163 向 *MR* 检测器 150 提供检测电流,而 *MR* 检测器 150 检测当施加了外磁场时 *MR* 检测元件 157 的电阻的变化。在 *MR* 检测层 157 上,还可以淀积一个由诸如 *Ta* 或 *Zr* 的高电阻材料制成的覆盖层 159。

虽然结合具体的最佳实施例而显示并描述了本发明,但本领域中的技术人员应该理解的是,在不脱离本发明的精神、范围和教导

的情况下，能够在形式和细节上进行各种改变。例如，虽然所描述的最佳实施例是未屏蔽的器件，但是本发明的磁电阻检测可同样应用到屏蔽或磁通量引导的结构中。因此，这里所分立的本发明只应该被理解为说明性的，且其范围只由所附权利要求书限定。

说明书附图

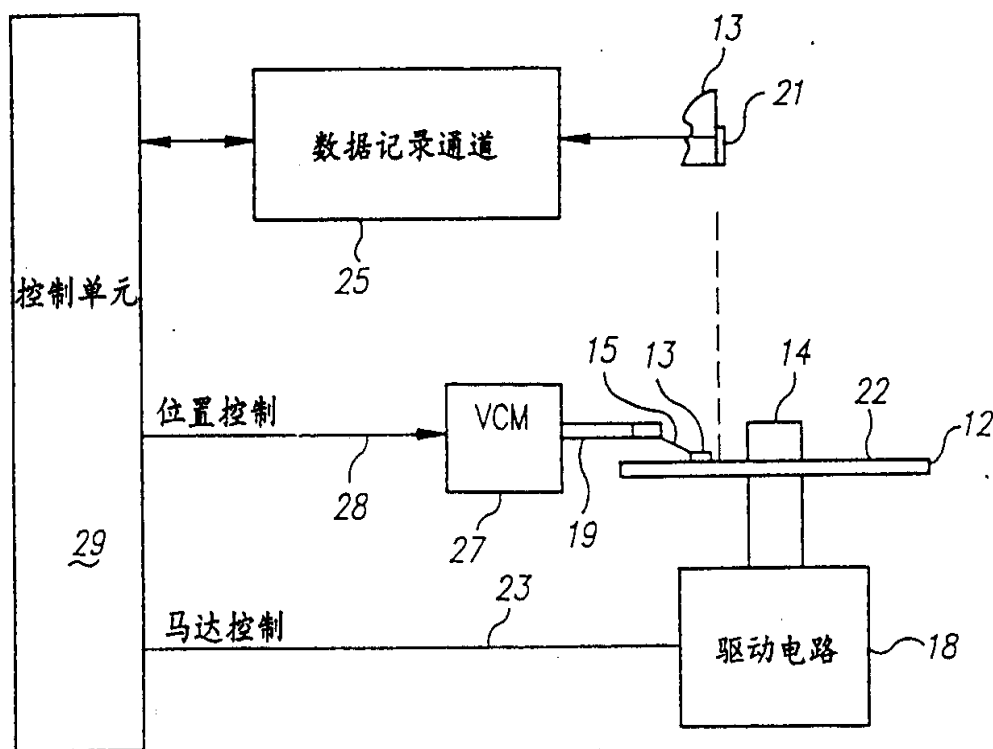


图 1

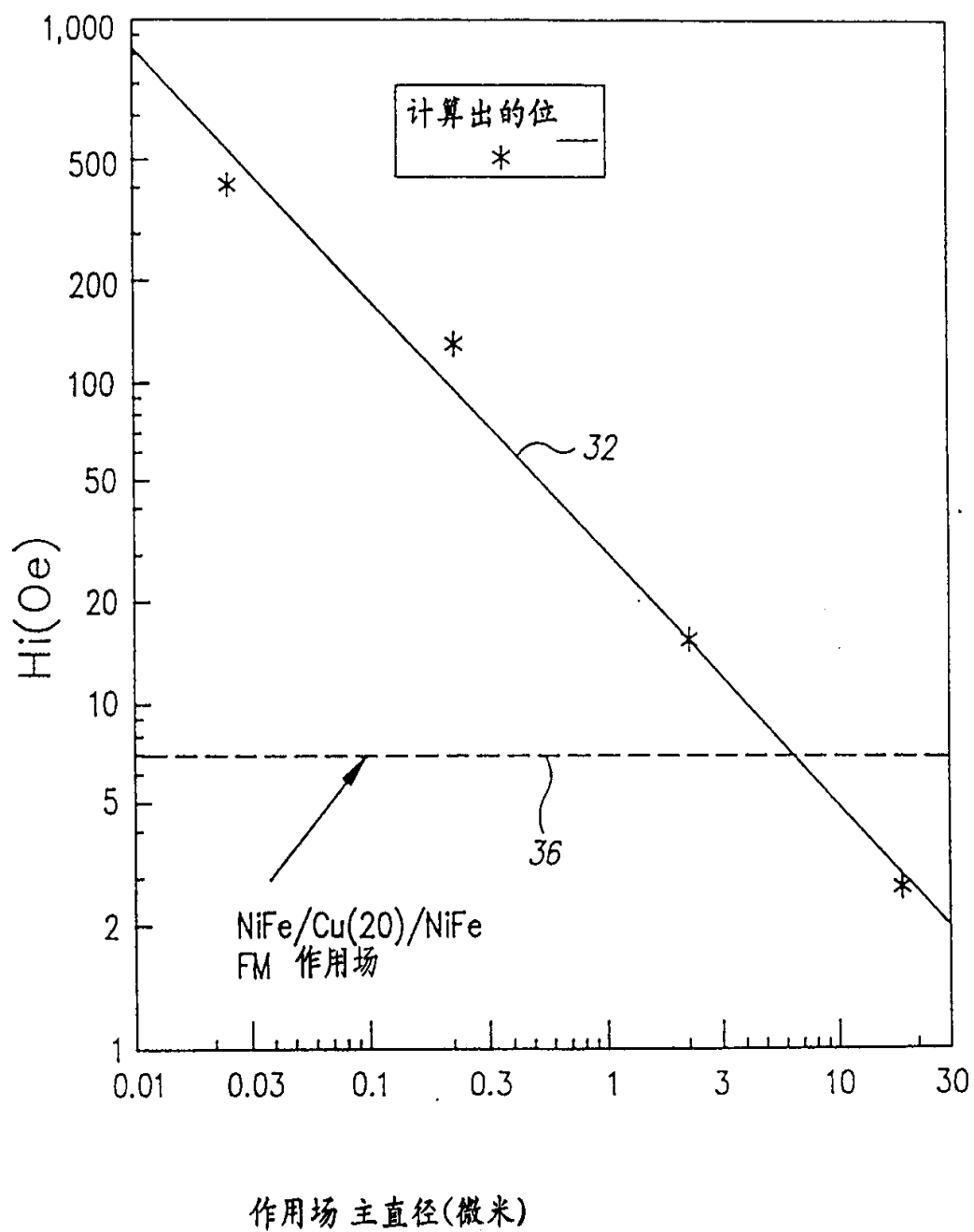


图 3

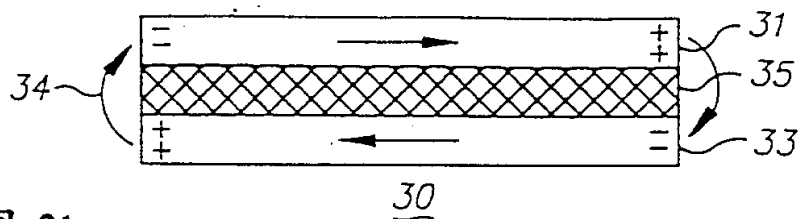


图 2b

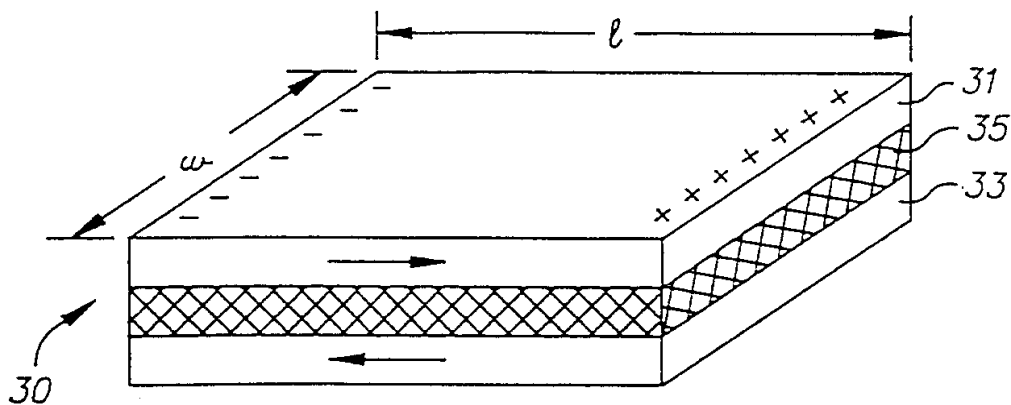


图 2a

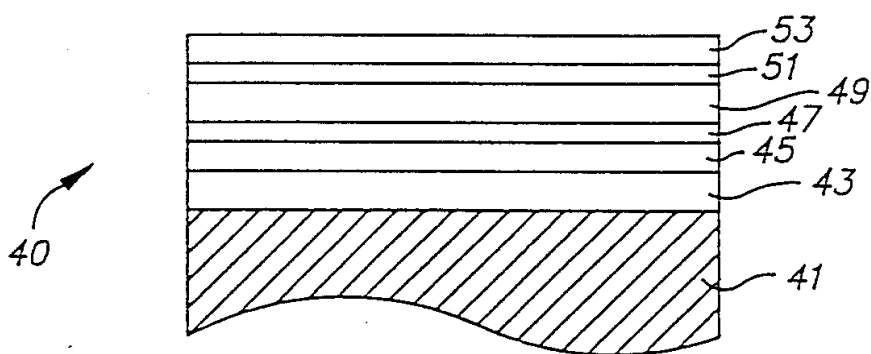


图 4

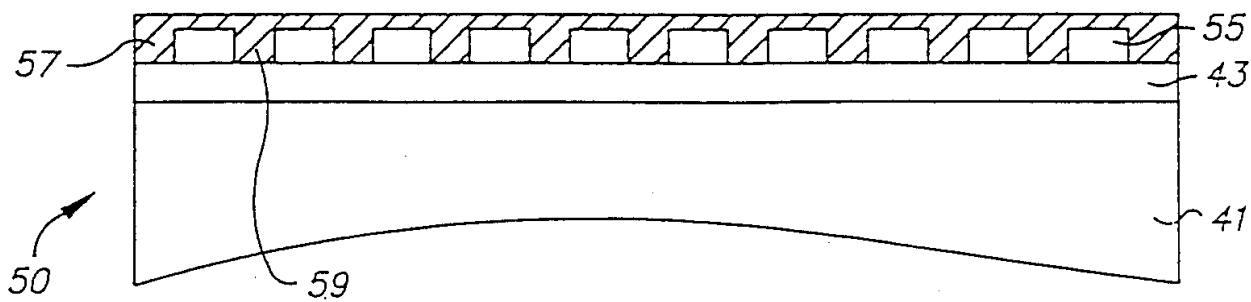


图 5

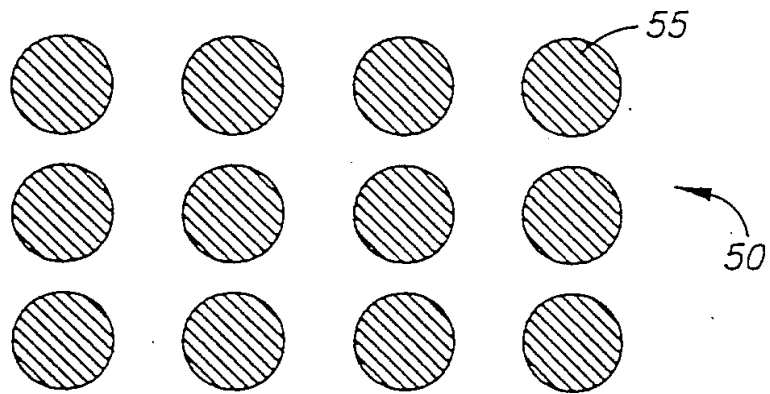


图 6

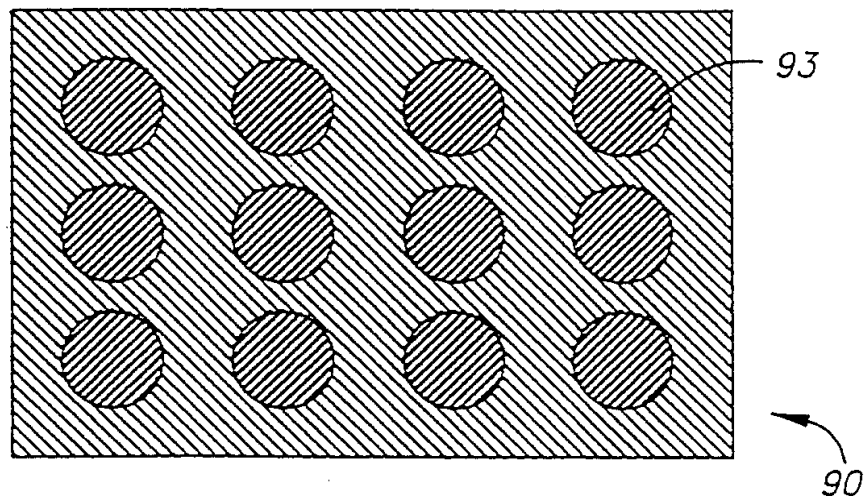


图 9a

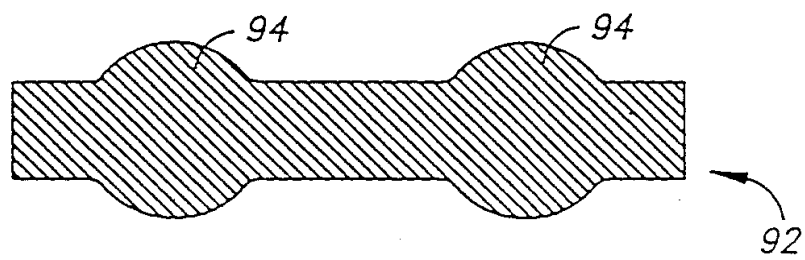


图 9b

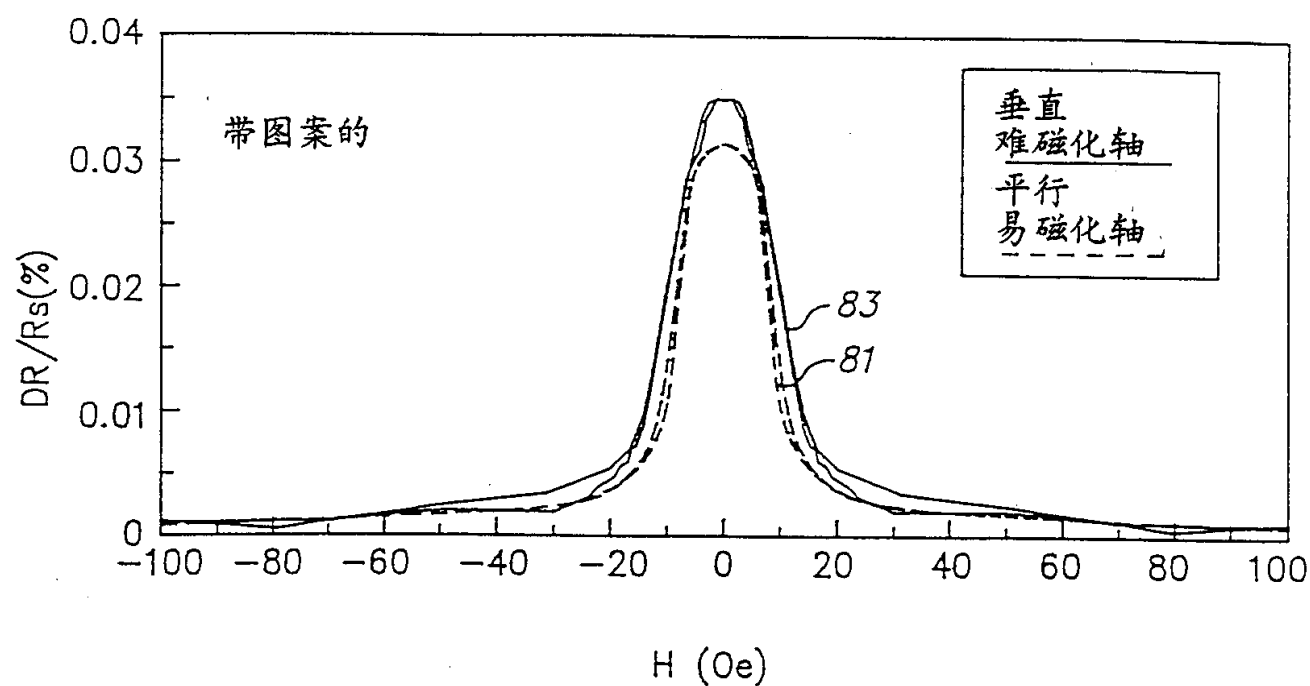


图 7a

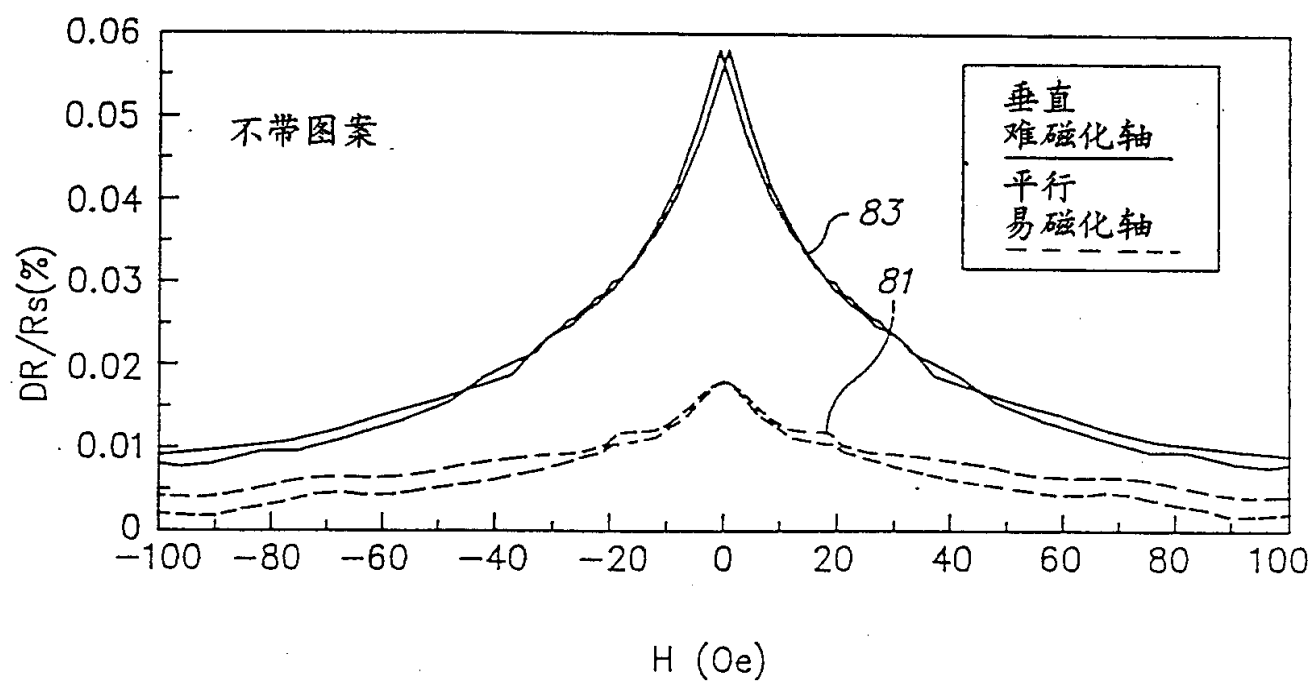


图 7b

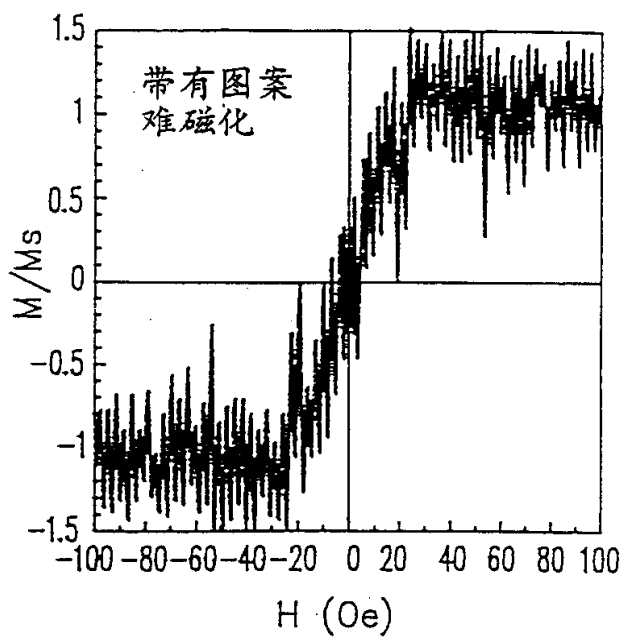


图 8a

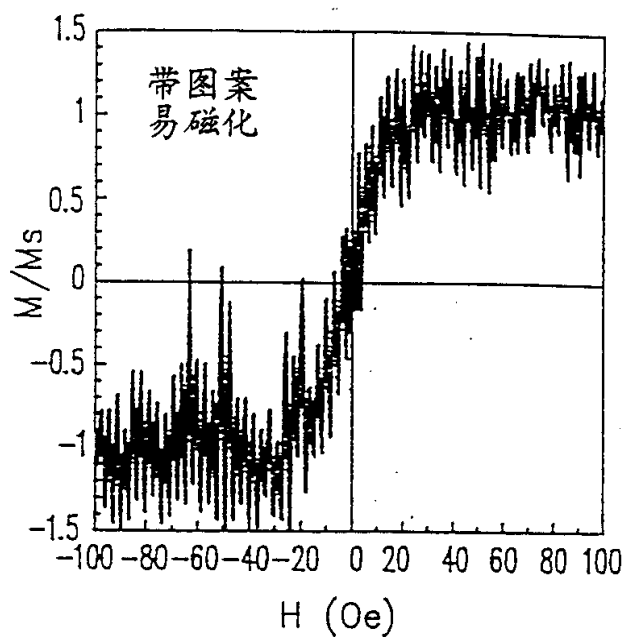


图 8b

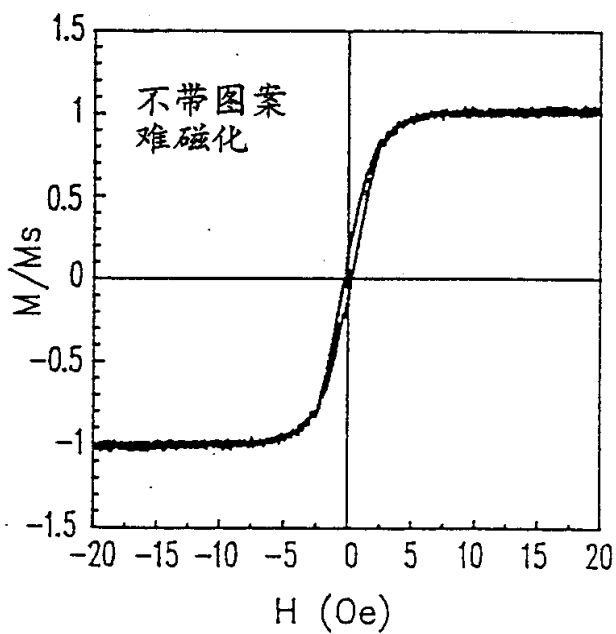


图 8c

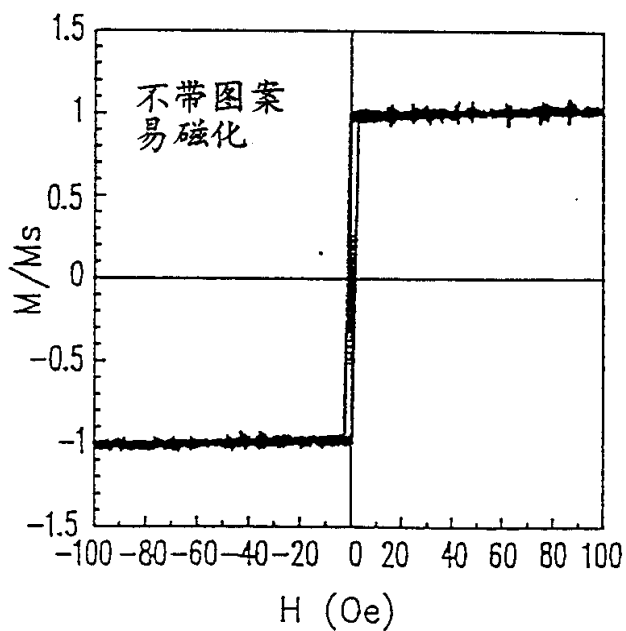


图 8d

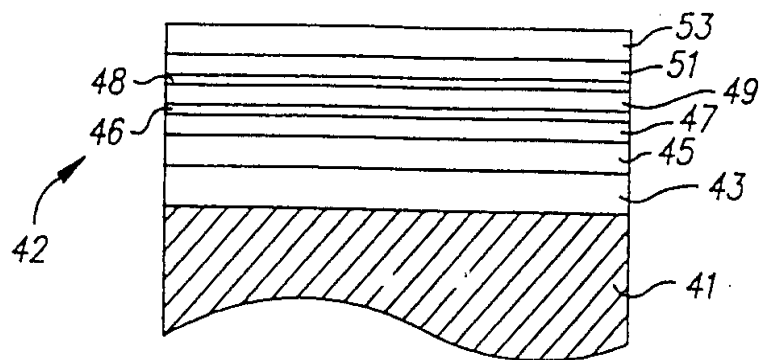


图 10

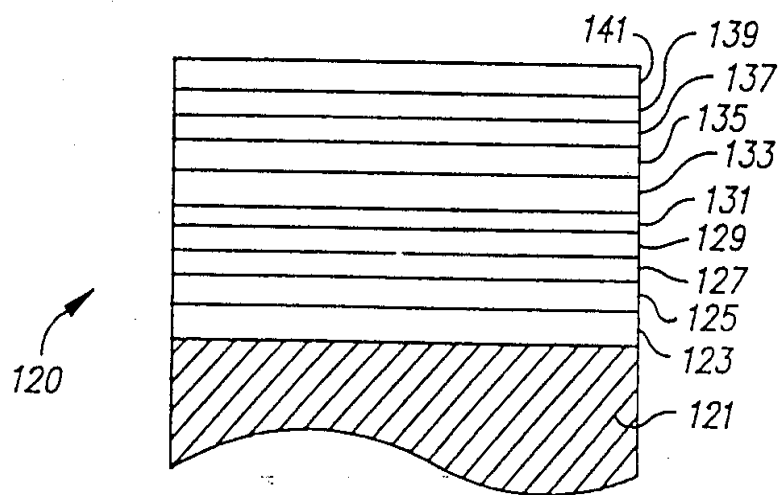


图 11

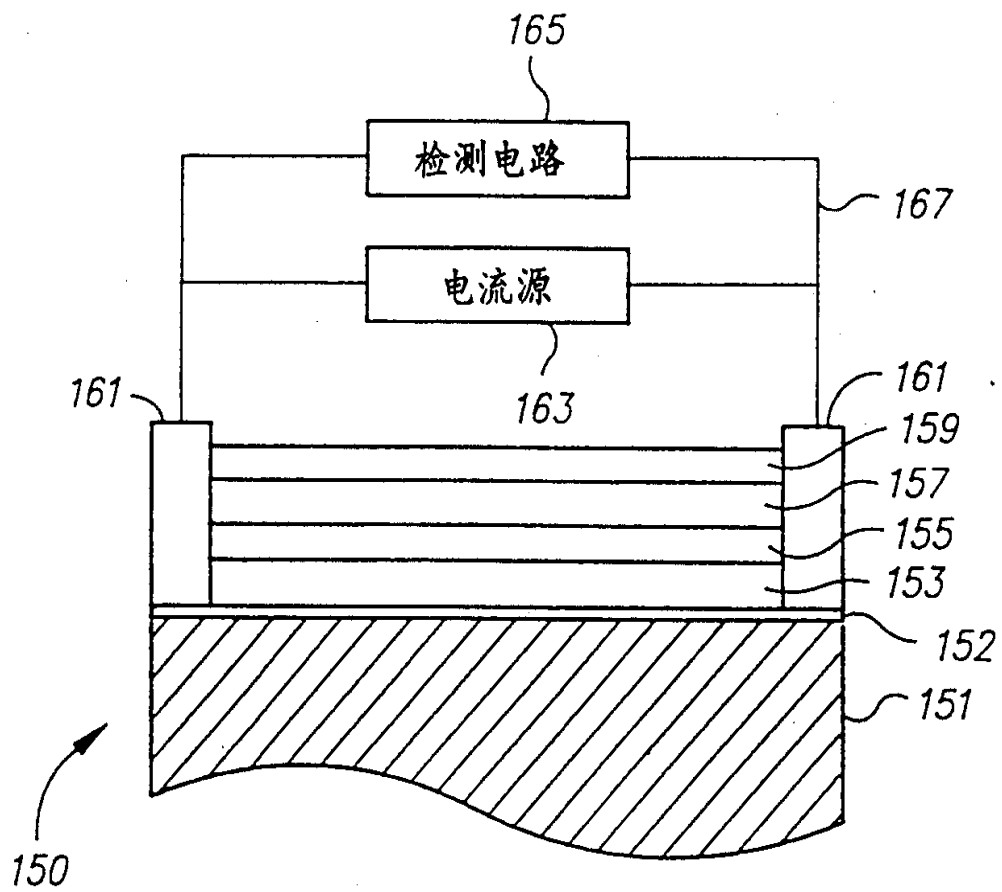


图 12