



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102682788 B

(45) 授权公告日 2015.09.23

(21) 申请号 201210070755.X

(22) 申请日 2012.03.09

(30) 优先权数据

13/046117 2011.03.11 US

(73) 专利权人 TDK 株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 岛泽幸司 水野友人 清野浩

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 何欣亭 王忠忠

US 2006/0114590 A1, 2006.06.01, 全文.

US 2009/0141387 A1, 2009.06.04, 全文.

王占国, 陈立泉, 屠海令主编. 《信息功能材料手册(中)》. 《信息功能材料手册(中)》. 北京市: 化学工业出版社, 2009, 第257页至262页、第265、267页.

王占国, 陈立泉, 屠海令主编. 《信息功能材料手册(中)》. 《信息功能材料手册(中)》. 北京市: 化学工业出版社, 2009, 第257页至262页、第265、267页.

审查员 包红霞

(51) Int. Cl.

G11B 5/66(2006.01)

G11B 5/48(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1089744 A, 1994.07.20,

US 5986978 A, 1999.11.16, 全文.

US 2002/0119348 A1, 2002.08.29, 全文.

CN 1607578 A, 2005.04.20,

US 2001/0006436 A1, 2001.07.05, 全文.

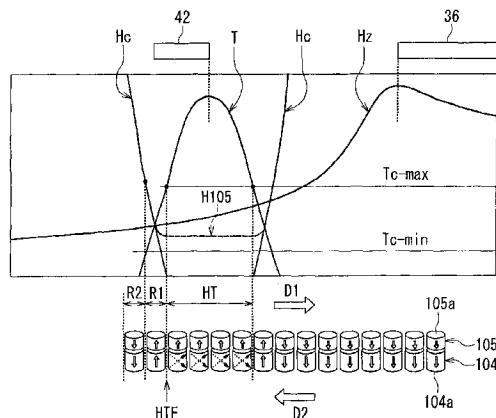
权利要求书2页 说明书27页 附图19页

(54) 发明名称

在硬盘介质记录信息的热辅助磁记录方法

(57) 摘要

热辅助磁记录方法包括第1步骤和第2步骤。在第1步骤中, 将热施加至硬盘介质的一部分, 在硬盘介质的磁记录层形成移动的高温区域。高温区域是温度与其周围相比较高、且为磁记录层的多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值以上的温度的区域。高温区域的移动方向上的与高温区域的后端邻接的至少1个磁性粒子具有除0以外的值的顽磁力。在第2步骤中, 将记录磁场施加至硬盘介质, 使得施加至与高温区域的后端邻接的至少1个磁性粒子的记录磁场的大小为3kOe以下。



1. 一种热辅助磁记录方法,对硬盘介质施加记录磁场和热而记录信息,所述硬盘介质具有磁记录层,所述磁记录层包括多个磁性粒子以及由非磁性材料构成并将多个磁性粒子隔开的粒子边界部,

其特征在于,所述热辅助磁记录方法包括:

第 1 步骤,在所述硬盘介质的表面上形成移动的光的斑点,从而将所述热施加至所述硬盘介质的一部分且使所述热在所述硬盘介质中的施加位置移动,由此在所述磁记录层形成移动的高温区域,所述高温区域是温度与其周围相比较高、且为所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值以上的温度的区域,所述高温区域的移动方向上的与所述高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子具有除 0 以外的值的顽磁力;以及

第 2 步骤,将所述记录磁场施加至所述硬盘介质,使得施加至与所述高温区域的所述后端邻接的所述至少 1 个磁性粒子的所述记录磁场的大小为 $3k_0e$ 以下,

当将与所述高温区域的后端邻接、并具有轨道方向上的多个磁性粒子的排列的 1 个间距的长度的区域定义为第 1 邻接区域,将相对于所述第 1 邻接区域在所述高温区域的移动方向的后方邻接、并具有所述 1 个间距的长度的区域定义为第 2 邻接区域时,

所述第 1 邻接区域与所述第 2 邻接区域的边界位置处的温度比所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最小值低,

所述第 1 邻接区域与所述第 2 邻接区域的边界位置处的所述记录磁场的大小不超过该位置处的具有所述最小值的顽磁力消失温度的磁性粒子的顽磁力,

所述磁记录层的顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度的绝对值的最大值在 $70\sim 2200e/K$ 的范围内,

所述硬盘介质还包括由强磁性材料构成的盖层,所述盖层具有比所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值高的顽磁力消失温度,

所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的分布的宽度为 $60K$ 以下。

2. 如权利要求 1 所述的热辅助磁记录方法,其特征在于,

在所述硬盘介质中的有效轨道宽度为 MWW 、轨道方向上的所述斑点的直径为 $W1$ 、轨道宽度方向上的所述斑点的直径为 $W2$ 时,与所述高温区域的所述后端邻接的所述至少 1 个磁性粒子的位置,在所述磁记录层中,特定为在所述斑点的移动方向的相反方向上与所述斑点的中心正下方位置相距以 $MWW \times (W1/W2)/2$ 表示的距离的位置。

3. 一种硬盘驱动器,具备:

硬盘介质,具有磁记录层,所述磁记录层包括多个磁性粒子以及由非磁性材料构成并将多个磁性粒子隔开的粒子边界部;以及

磁头,相对于所述硬盘介质而相对地移动,通过热辅助磁记录对所述硬盘介质记录信息,

其特征在于,

所述磁头具有:对所述硬盘介质施加记录磁场的磁极;以及在所述硬盘介质的表面上形成光的斑点,从而对所述硬盘介质施加热的加热元件,

所述磁头使用所述加热元件来将热施加至所述硬盘介质的一部分,且所述热在所述硬盘介质中的施加位置移动,由此在所述磁记录层形成移动的高温区域,

所述高温区域是温度与其周围相比较高、且为所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的

最大值以上的温度的区域,所述高温区域的移动方向上的与所述高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子具有除 0 以外的值的顽磁力,

所述磁头使用所述磁极来将所述记录磁场施加至所述硬盘介质,使得施加至与所述高温区域的所述后端邻接的所述至少 1 个磁性粒子的所述记录磁场的大小为 $3kOe$ 以下,

当将与所述高温区域的后端邻接、并具有轨道方向上的多个磁性粒子的排列的 1 个间距的长度的区域定义为第 1 邻接区域,将相对于所述第 1 邻接区域在所述高温区域的移动方向的后方邻接、并具有所述 1 个间距的长度的区域定义为第 2 邻接区域时,

所述第 1 邻接区域与所述第 2 邻接区域的边界位置处的温度比所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最小值低,

所述第 1 邻接区域与所述第 2 邻接区域的边界位置处的所述记录磁场的大小不超过该位置处的具有所述最小值的顽磁力消失温度的磁性粒子的顽磁力,

所述磁记录层的顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度的绝对值的最大值在 $70\sim 2200e/K$ 的范围内,

所述硬盘介质还包括由强磁性材料构成的盖层,所述盖层具有比所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值高的顽磁力消失温度,

所述多个磁性粒子的顽磁力消失温度的分布的宽度为 $60K$ 以下。

4. 如权利要求 3 所述的硬盘驱动器,其特征在于,所述加热元件是产生近场光的元件。

5. 如权利要求 3 所述的硬盘驱动器,其特征在于,相对于所述加热元件,所述磁极配置于所述高温区域的所述移动方向的前方。

6. 如权利要求 3 所述的硬盘驱动器,其特征在于,在所述硬盘介质中的有效轨道宽度为 MWW 、轨道方向上的所述斑点的直径为 $W1$ 、轨道宽度方向上的所述斑点的直径为 $W2$ 时,与所述高温区域的所述后端邻接的所述至少 1 个磁性粒子的位置,在所述磁记录层中,特定为在所述斑点的移动方向的相反方向上与所述斑点的中心正下方位置相距以 $MWW \times (W1/W2)/2$ 表示的距离的位置。

在硬盘介质记录信息的热辅助磁记录方法

技术领域

[0001] 本发明涉及对硬盘介质施加记录磁场和热而记录信息的热辅助磁记录方法以及适用该记录方法的硬盘驱动器及硬盘介质。

背景技术

[0002] 近年来,在硬盘驱动器中,伴随着高记录密度化,要求磁头及硬盘介质的性能提高。作为磁头,广泛地使用相对于基板而层叠有具有读出用的磁阻效应元件(以下,记为MR(Magnetoresistive)元件)的再现(再生)头和具有写入用的感应性电磁变换元件的记录头的构造的复合型薄膜磁头。在硬盘驱动器中,磁头设在从硬盘介质的表面稍微露出的滑块。

[0003] 硬盘介质具有许多微小的磁性粒子集合的磁记录层。各磁性粒子为单磁畴构造。在该硬盘介质中,1个记录位至少由沿轨道宽度方向并排的多个磁性粒子构成。为了提高记录密度,必须减小邻接的记录位的边界的凹凸。因此,必须减小磁性粒子。然而,如果减小磁性粒子,则伴随着磁性粒子的体积的减少,产生磁性粒子的磁化的热稳定性下降的问题。为了消除该问题,增大磁性粒子的各向异性能量是有效的。然而,如果增大磁性粒子的各向异性能量,则磁记录层的顽磁力变大,在现有的磁头中,产生信息的记录变得困难的问题。

[0004] 作为解决如上所述的问题的方法,提出了所谓的热辅助磁记录的方法。在该方法中,使用具有顽磁力大的磁记录层的硬盘介质,在信息的记录时,在对磁记录层中的记录信息的部分施加磁场的同时也施加热,使该部分的温度上升、顽磁力下降而进行信息的记录。

[0005] 在现有的仅使用磁的记录方法中,有助于提高线记录密度的原因主要有在轨道方向上的记录磁场的变化的梯度大。此外,在热辅助磁记录中,由于施加至硬盘介质的热而在磁记录层中沿轨道方向产生温度变化和由于该温度变化而沿轨道方向产生磁记录层的顽磁力的变化均有助于提高线记录密度。因此,认为依据热辅助磁记录能够大大提高线记录密度。

[0006] 例如,如文献“Robert E. Rottmayer et al;IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 42, No. 10, October, 2006, p. 2417-2421”所记载的,在热辅助磁记录中,在轨道方向上的磁记录层的顽磁力的变化的梯度由顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度与温度的变化相对于位置的变化梯度的积表示。因此,以往,认为作为用于热辅助磁记录的硬盘介质中的磁记录层的特性,优选顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度大。

[0007] 然而,以往,实际上存在着这样的问题:即使使用具有顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度大的磁记录层的硬盘介质来实施热辅助磁记录,在高的线记录密度也得不到足够的信噪比。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于,提供作为对硬盘介质记录信息的方法的能够实现高的线记录密度和高的信噪比的热辅助磁记录方法、以及适用该记录方法的硬盘驱动器及硬盘介质。

[0009] 本发明的第 1 及第 2 热辅助磁记录方法是对硬盘介质施加记录磁场和热而记录信息的方法。硬盘介质具有磁记录层,该磁记录层包括多个磁性粒子以及由非磁性材料构成并将多个磁性粒子隔开的粒子边界部。

[0010] 本发明的第 1 热辅助磁记录方法包括以下的第 1 步骤和第 2 步骤。在第 1 步骤中,将热施加至硬盘介质的一部分,且使热在硬盘介质中的施加位置移动,由此在磁记录层形成移动的高温区域。高温区域是温度与其周围相比较高、且为多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值以上的温度的区域。高温区域的移动方向上的与高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子具有除 0 以外的值的顽磁力。在第 2 步骤中,将记录磁场施加至硬盘介质,使得施加至与高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子的记录磁场的大小为 $3kOe$ 以下 ($10e$ 为 $79.6A/m$)。此外,磁性粒子的顽磁力消失温度是指在使磁性粒子的温度上升的过程中磁性粒子的顽磁力消失时的温度。

[0011] 本发明的第 2 热辅助磁记录方法包括以下的第 1 步骤和第 2 步骤。在第 1 步骤中,为了将热施加至硬盘介质的一部分而将光照射至硬盘介质,在硬盘介质的表面上形成移动的光的斑点。在第 2 步骤中,将记录磁场施加至硬盘介质,使得施加至磁记录层的既定位置的记录磁场的大小为 $3kOe$ 以下。在硬盘介质中的有效轨道宽度为 MWW 、轨道方向上的斑点的直径为 $W1$ 、轨道宽度方向上的斑点的直径为 $W2$ 时,磁记录层中的所述既定位置是在斑点的移动方向的相反方向上与斑点的中心正下方位置相距以 $MWW \times (W1/W2)/2$ 表示的距离的位置。此外,斑点的中心正下方位置是通过斑点的中心与硬盘介质的表面垂直的假想直线上的位置。

[0012] 在本发明的第 1 或第 2 热辅助磁记录方法中,磁记录层的顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度的绝对值的最大值也可以在 $70 \sim 2200e/K$ (K 为开尔文) 的范围内。在该情况下,硬盘介质也可以还包括由强磁性材料构成的盖层 (cap layer),多个磁性粒子的顽磁力消失温度的分布的宽度也可以为 $60K$ 以下。盖层具有比多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值高的顽磁力消失温度。此外,盖层的顽磁力消失温度是指在使盖层的温度上升的过程中盖层的顽磁力消失时的温度。

[0013] 本发明的第 1 及第 2 硬盘驱动器分别具备硬盘介质和磁头。硬盘介质具有磁记录层,该磁记录层包括多个磁性粒子以及由非磁性材料构成并将多个磁性粒子隔开的粒子边界部。磁头相对于硬盘介质而相对地移动,通过热辅助磁记录而对硬盘介质记录信息。

[0014] 在本发明的第 1 硬盘驱动器中,磁头具有对硬盘介质施加记录磁场的磁极以及对硬盘介质施加热的加热元件。磁头使用加热元件来将热施加至硬盘介质的一部分,且热在硬盘介质中的施加位置移动,由此在磁记录层形成移动的高温区域。高温区域是温度与其周围相比较高且为多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值以上的温度的区域,高温区域的移动方向上的与高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子具有除 0 以外的值的顽磁力。磁头使用磁极来将记录磁场施加至硬盘介质,使得施加至与高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子的记录磁场的大小为 $3kOe$ 以下。

[0015] 在本发明的第 2 硬盘驱动器中,磁头具有对硬盘介质施加记录磁场的磁极以及产生用于将热施加至硬盘介质的光的光产生元件。为了将热施加至硬盘介质的一部分,磁头使用光产生元件来将光照射至硬盘介质,在硬盘介质的表面上形成移动的光的斑点。另外,磁头使用磁极来将记录磁场施加至硬盘介质,使得施加至磁记录层的既定位置的记录磁场

的大小为 $3k_0e$ 以下。在硬盘介质中的有效轨道宽度为 MWW 、轨道方向上的斑点的直径为 $W1$ 、轨道宽度方向上的斑点的直径为 $W2$ 时,磁记录层中的所述既定位置是在斑点的移动方向的相反方向上,与斑点的中心正下方位置相距以 $MWW \times (W1/W2)/2$ 表示的距离的位置。

[0016] 在本发明的第 1 或第 2 硬盘驱动器中,磁记录层的顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度的绝对值的最大值也可以在 $70 \sim 2200e/K$ 的范围内。在该情况下,硬盘介质也可以还包括由强磁性材料构成的盖层,多个磁性粒子的顽磁力消失温度的分布的宽度也可以为 $60K$ 以下。盖层具有比多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值高的顽磁力消失温度。

[0017] 另外,在本发明的第 1 或第 2 硬盘驱动器中,加热元件或光产生元件也可以是产生近场光的元件。在本发明的第 1 硬盘驱动器中,磁极也可以相对于加热元件而配置于高温区域的移动方向的前方。另外,在本发明的第 2 硬盘驱动器中,磁极也可以相对于光产生元件而配置于斑点的移动方向的前方。

[0018] 本发明的硬盘介质通过热辅助磁记录而记录信息,具备磁记录层和盖层。磁记录层包括多个磁性粒子以及由非磁性材料构成并将多个磁性粒子隔开的粒子边界部。磁记录层的顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度的绝对值的最大值在 $70 \sim 2200e/K$ 的范围内。多个磁性粒子的顽磁力消失温度的分布的宽度为 $60K$ 以下。盖层由强磁性材料构成、具有比多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值高的顽磁力消失温度。

[0019] 在本发明的第 1 热辅助磁记录方法或第 1 硬盘驱动器中,在硬盘介质的磁记录层形成移动的高温区域,将记录磁场施加至硬盘介质,使得施加至与该高温区域的后端邻接的至少 1 个磁性粒子的记录磁场的大小为 $3k_0e$ 以下。由此,在磁记录层中,对与高温区域的后端邻接的、顽磁力小的至少 1 个磁性粒子施加比较弱的记录磁场,控制该至少 1 个磁性粒子的磁化方向。通过利用这样的动作进行信息的记录,依据本发明,能够实现高的线记录密度和高的信噪比。

[0020] 在本发明的第 2 热辅助磁记录方法或第 2 硬盘驱动器中,在硬盘介质的表面上形成移动的光的斑点,将记录磁场施加至硬盘介质,使得施加至磁记录层的既定位置的记录磁场的大小为 $3k_0e$ 以下。所述既定位置是由斑点的中心及形状以及有效轨道宽度决定的位置,存在于该既定位置的至少 1 个磁性粒子的顽磁力小。在本发明中,对该顽磁力小的至少 1 个磁性粒子施加比较弱的记录磁场,控制该至少 1 个磁性粒子的磁化方向。通过利用这样的动作进行信息的记录,依据本发明,能够实现高的线记录密度和高的信噪比。

[0021] 另外,本发明的硬盘介质通过使用本发明的第 1 或第 2 热辅助磁记录方法来记录信息,实现高的线记录密度和高的信噪比。

[0022] 通过以下的说明,本发明的其他目的、特征以及益处将变得十分明显。

附图说明

[0023] 图 1 是示出本发明的第 1 实施方式的热辅助磁记录方法的原理的说明图。

[0024] 图 2 是示出本发明的第 1 实施方式中的记录动作与磁记录层的多个磁性粒子的顽磁力变化的关系的说明图。

[0025] 图 3 是示出本发明的第 1 实施方式中的磁头的主要部分的截面图。

[0026] 图 4 是示出本发明的第 1 实施方式中的磁头的主要部分的正视图。

[0027] 图 5 是示出本发明的第 1 实施方式的硬盘驱动器的立体图。

- [0028] 图 6 是示出图 5 所示的硬盘驱动器中的头万向架组件的立体图。
- [0029] 图 7 是示出本发明的第 1 实施方式中的磁头的立体图。
- [0030] 图 8 是图 7 中的 8-8 线截面图。
- [0031] 图 9 是示出本发明的第 1 实施方式的硬盘驱动器的电路结构的框图。
- [0032] 图 10 是示出本发明的第 1 实施方式中的硬盘介质的截面图。
- [0033] 图 11 是示出本发明的第 1 实施方式中的记录动作中的一个步骤的说明图。
- [0034] 图 12 是示出继图 11 所示的步骤之后的步骤的说明图。
- [0035] 图 13 是示出继图 12 所示的步骤之后的步骤的说明图。
- [0036] 图 14 是示出继图 13 所示的步骤之后的步骤的说明图。
- [0037] 图 15 是示出比较例的记录方法的原理的说明图。
- [0038] 图 16 是示出比较例的记录方法的问题点的说明图。
- [0039] 图 17 是用于说明测定磁记录层的顽磁力的方法的说明图。
- [0040] 图 18 是用于说明测定磁记录层的多个磁性粒子的顽磁力消失温度的分布宽度的方法的说明图。
- [0041] 图 19 是用于说明在本发明的第 1 实施方式中确定施加 3kOe 以下的大小的记录磁场的磁记录层中的位置的方法的说明图。
- [0042] 图 20 是示出本发明的第 2 实施方式中的磁头的主要部分的截面图。
- [0043] 图 21 是示出本发明的第 2 实施方式中的磁头的主要部分的正视图。
- [0044] 图 22 是示出本发明的第 2 实施方式中的磁头的截面图。
- [0045] 图 23 是示出本发明的第 3 实施方式中的磁头的主要部分的截面图。
- [0046] 图 24 是示出本发明的第 3 实施方式中的磁头的主要部分的正视图。
- [0047] 图 25 是示出本发明的第 3 实施方式中的磁头的截面图。
- [0048] 图 26 是示出本发明的第 4 实施方式中的磁头的主要部分的截面图。
- [0049] 图 27 是示出本发明的第 4 实施方式中的磁头的主要部分的正视图。
- [0050] 图 28 是示出本发明的第 4 实施方式中的磁头的截面图。

具体实施方式

[第 1 实施方式]

[0052] 以下,参照附图,对本发明的实施方式详细地进行说明。首先,参照图 5,对本发明的第 1 实施方式的硬盘驱动器进行说明。如图 5 所示,硬盘驱动器具备多个硬盘介质 100 以及使该多个硬盘介质 100 旋转的主轴马达 202。硬盘驱动器还具备:具有多个驱动臂 211 的组件滑架 (assembly carriage) 装置 210 以及安装于多个驱动臂 211 的前端部的多个头万向架组件 212。头万向架组件 212 具备磁头 1 和支撑该磁头 1 的悬架 (suspension) 220。

[0053] 组件滑架装置 210 是用于将磁头 1 定位在硬盘介质 100 的轨道上的装置。组件滑架装置 210 还具有枢轴承 (pivot bearing) 轴 213 和音圈马达 (voice coil motor) 214。多个驱动臂 211 在沿着枢轴承轴 213 的方向上层叠,由音圈马达 214 驱动,能以轴 213 为中心摇动。此外,本发明的硬盘驱动器不限于以上所说明的构成。例如,本发明的硬盘驱动器也可以具备各 1 个的硬盘介质 100、驱动臂 211、头万向架组件 212 以及磁头 1。

[0054] 硬盘驱动器还具备控制电路 230,控制磁头 1 的记录动作及再现动作,并且控制作

为产生后述的热辅助磁记录用的激光的光源的激光二极管的发光动作。

[0055] 图 6 是示出图 5 中的头万向架组件 212 的立体图。如前所述,头万向架组件 212 具备磁头 1 和悬架 220。悬架 220 具有负载梁 (load beam) 221、与该负载梁 221 固接并具有弹性的弯曲部 (flexure) 222、设在负载梁 221 的基部的底板 (base plate) 223 以及设在负载梁 221 及弯曲部 222 上的布线部件 224。布线部件 224 包括多个引线。磁头 1 以相对于硬盘介质 100 的表面而具有既定间隔 (露出量) 地对置的方式、在悬架 220 的前端部与弯曲部 222 固接。布线部件 224 的一端部电连接至磁头 1 的多个端子。在布线部件 224 的另一端部,设有配置于负载梁 221 的基部的多个垫状 (pad-shaped) 端子。

[0056] 此外,头万向架组件不限于图 6 所示的结构。例如,头万向架组件也可以在悬架 220 的途中装配头驱动用 IC 芯片。

[0057] 接着,参照图 7 及图 8,对磁头 1 的结构进行说明。图 7 是示出磁头 1 的立体图。图 8 是图 7 中的 8-8 线截面图。磁头 1 具备滑块 10 和光源单元 150。图 8 表示将滑块 10 和光源单元 150 分离的状态。

[0058] 滑块 10 具备由氧化铝 / 碳化钛 (Al_2O_3/TiC) 等陶瓷材料构成的长方体形状的滑块基板 11 和头部 12。滑块基板 11 具有与硬盘介质 100 对置的介质对置面 11a、与该介质对置面 11a 相反侧的背面 11b 以及连结介质对置面 11a 和背面 11b 的 4 个面。连结介质对置面 11a 和背面 11b 的 4 个面中的 1 个是元件形成面 11c。元件形成面 11c 与介质对置面 11a 垂直。头部 12 配置于元件形成面 11c 上。对介质对置面 11a 进行加工,从而得到滑块 10 相对于硬盘介质 100 的恰当的露出量。头部 12 具有与硬盘介质 100 对置的介质对置面 12a 以及与该介质对置面 12a 相反侧的背面 12b。介质对置面 12a 与滑块基板 11 的介质对置面 11a 平行。

[0059] 在此,关于头部 12 的构成要素,相对于基准位置,将位于与元件形成面 11c 垂直且从元件形成面 11c 远离的方向的位置定义为“上方”,将位于其相反方向的位置定义为“下方”。另外,关于头部 12 所包括的任意的层,将更接近元件形成面 11c 的面定义为“下表面”,将从元件形成面 11c 起更远的面定义为“上表面”。

[0060] 另外,如以下那样地定义 X 方向、Y 方向、Z 方向、-X 方向、-Y 方向、-Z 方向。X 方向是与介质对置面 11a 垂直且从介质对置面 11a 向着背面 11b 的方向。Y 方向是与介质对置面 11a 及元件形成面 11c 平行的方向,是图 8 中的从里面向着跟前的方向。Z 方向是与元件形成面 11c 垂直的方向,是从元件形成面 11c 离开的方向。-X 方向、-Y 方向、-Z 方向分别是与 X 方向、Y 方向、Z 方向相反的方向。从滑块 10 看到的硬盘介质 100 的前进方向是 Z 方向。滑块 10 的空气流入端 (前端) 是介质对置面 11a 的 -Z 方向上的端部。滑块 10 的空气流出端 (后端) 是介质对置面 12a 的 Z 方向上的端部。另外,轨道宽度方向 TW 是与 Y 方向平行的方向。

[0061] 光源单元 150 具备作为出射激光的光源的激光二极管 160 以及支撑该激光二极管 160 的长方体形状的支撑部件 151。支撑部件 151 具有粘接面 151a、与该粘接面 151a 相反侧的背面 151b 以及连结粘接面 151a 和背面 151b 的 4 个面。连结粘接面 151a 及背面 151b 的 4 个面中的 1 个是光源设置面 151c。粘接面 151a 是与滑块基板 11 的背面 11b 粘接的面。光源设置面 151c 与粘接面 151a 垂直,与元件形成面 11c 平行。激光二极管 160 搭载于光源设置面 151c。

[0062] 如图 8 所示,头部 12 具备配置于元件形成面 11c 上的绝缘层 13、依次层叠于该绝缘层 13 上的再现头 14、记录头 16 以及保护层 17。保护层 17 由绝缘层材料形成。

[0063] 再现头 14 具有配置于绝缘层 13 上的下部屏蔽层 21、配置于该下部屏蔽层 21 上的 MR 元件 22、配置于该 MR 元件 22 上的上部屏蔽层 23 以及在 MR 元件 22 的周围配置于下部屏蔽层 21 与上部屏蔽层 23 之间的绝缘层 24。下部屏蔽层 21 和上部屏蔽层 23 由软磁性材料形成。

[0064] MR 元件 22 的一端部配置于介质对置面 12a。作为 MR 元件,能够使用例如 GMR(巨大磁阻效应)元件或 TMR(隧道磁阻效应)元件。作为 GMR 元件,也可以是使磁信号检测用的感测电流(sense current)沿相对于构成 GMR 元件的各层的面大致平行的方向流动的 CIP(Current In Plane(平面内的电流))型,也可以是使感测电流沿相对于构成 GMR 元件的各层的面大致垂直的方向流动的 CPP(Current Perpendicular to Plane(垂直于平面的电流))型。在 MR 元件 22 是 TMR 元件或 CPP 型的 GMR 元件的情况下,下部屏蔽层 21 和上部屏蔽层 23 也可以兼作用于使感测电流流动至 MR 元件 22 的电极。在 MR 元件 22 是 CIP 型的 GMR 元件的情况下,在 MR 元件 22 与下部屏蔽层 21 之间以及 MR 元件 22 与上部屏蔽层 23 之间,分别设有绝缘膜,在这些绝缘膜之间,设有用于使感测电流流动至 MR 元件 22 的 2 个引线。

[0065] 头部 12 还具备配置于上部屏蔽层 23 上的绝缘层 25、配置于该绝缘层 25 上的中间屏蔽层 26 以及配置于该中间屏蔽层 26 上的绝缘层 27。中间屏蔽层 26 具有将 MR 元件 22 从记录头 16 所产生的磁场屏蔽的功能。中间屏蔽层 26 由软磁性材料形成。也可以省略绝缘层 25 和中间屏蔽层 26。

[0066] 记录头 16 是垂直磁记录用的。记录头 16 具备配置于绝缘层 27 上的旁轭(return yoke)层 31、在从介质对置面 11a 离开的位置配置于旁轭层 31 上的连结层 32 以及在绝缘层 27 上配置于旁轭层 31 的周围的绝缘层 71。旁轭层 31 及连结层 32 由软磁性材料形成。旁轭层 31 及绝缘层 71 的上表面平坦化。

[0067] 记录头 16 还具备配置于旁轭层 31 及绝缘层 71 上的绝缘层 72 以及配置于该绝缘层 72 的线圈 40。线圈 40 具有以连结层 32 为中心而卷绕的平面漩涡形状。线圈 40 产生与记录于硬盘介质 100 的信息对应的磁场。线圈 40 由铜等导电材料形成。

[0068] 记录头 16 还具备配置于线圈 40 的绕组间及周围以及连结层 32 的周围的绝缘层 73、在绝缘层 72 上配置于绝缘层 73 的周围的绝缘层 74 以及配置于线圈 40 及绝缘层 73、74 上的绝缘层 75。连结层 32、线圈 40 以及绝缘层 73、74 的上表面平坦化。

[0069] 记录头 16 还具备配置于连结层 32 及绝缘层 75 上的轭(yoke)层 33 以及在绝缘层 75 上配置于轭层 33 的周围的绝缘层 76。轭层 33 由软磁性材料形成。轭层 33 具有配置于介质对置面 12a 的端面。轭层 33 及绝缘层 76 的上表面平坦化。

[0070] 记录头 16 还具备配置于轭层 33 上的连结层 34 以及在轭层 33 及绝缘层 76 上配置于连结层 34 的周围的绝缘层 77。连结层 34 由软磁性材料形成。连结层 34 具有配置于介质对置面 12a 的端面。连结层 34 及绝缘层 77 的上表面平坦化。

[0071] 记录头 16 还具备配置于连结层 34 上的连结层 35 以及配置于连结层 35 上的磁极 36。连结层 35 及磁极 36 由软磁性材料形成。连结层 35 具有配置于介质对置面 12a 的端面。磁极 36 具有配置于介质对置面 12a 的端面及其相反侧的后端面。

[0072] 在记录头 16, 旁轭层 31、连结层 32、轭层 33、连结层 34、35 以及磁极 36 构成使与由线圈 40 产生的磁场相对应的磁通通过的磁路。磁极 36 使与由线圈 40 产生的磁场相对应的磁通通过, 并且产生用于通过垂直磁记录方式将信息记录于硬盘介质 100 的记录磁场。

[0073] 记录头 16 还具备包括芯部 (core) 41 和包层 (clad) 的波导。包层具有覆层 (clad layer) 78、79、80。覆层 78 在连结层 34 及绝缘层 77 上配置于连结层 35 的周围。连结层 35 及覆层 78 的上表面平坦化。芯部 41 配置于连结层 35 及覆层 78 上。覆层 79 在连结层 35 及覆层 78 上配置于磁极 36 及芯部 41 的周围。磁极 36、芯部 41 以及覆层 79 的上表面平坦化。覆层 80 配置于磁极 36、芯部 41 以及覆层 79 上。

[0074] 芯部 41 在与介质对置面 12a 垂直的方向 (X 方向) 延伸。芯部 41 具有入射端 41a。芯部 41 使从激光二极管 160 出射并入射至入射端 41a 的激光传播。芯部 41 由使激光通过的电介质材料形成。覆层 78、79、80 由电介质材料形成, 且具有比芯部 41 的折射率小的折射率。

[0075] 覆层 80 具有在上表面开口的槽部。记录头 16 还具备容纳于覆层 80 的槽部内的等离子体激元产生器 42。等离子体激元产生器 42 是产生近场光并通过该近场光对硬盘介质 100 施加热的元件。因此, 等离子体激元产生器 42 是对硬盘介质 100 施加热的加热元件, 并且是产生用于将热施加至硬盘介质 100 的光的光产生元件。在介质对置面 12a 附近, 等离子体激元产生器 42 配置于磁极 36 及芯部 41 的上方。等离子体激元产生器 42 由金属等导电材料形成。等离子体激元产生器 42 及覆层 80 的上表面平坦化。此外, 后续对芯部 41、等离子体激元产生器 42 以及磁极 36 的形状及配置详细地进行说明。

[0076] 记录头 16 还具备配置于等离子体激元产生器 42 及覆层 80 上的绝缘层 81 以及配置于绝缘层 81 上的冷却层 43。冷却层 43 用于吸收在等离子体激元产生器 42 中产生的热而冷却等离子体激元产生器 42。冷却层 43 的下表面的一部分经由绝缘层 81 与等离子体激元产生器 42 的上表面对置。冷却层 43 由例如 SiC 等热传导率大的非磁性材料形成。

[0077] 如图 8 所示, 以覆盖记录头 16 的方式配置保护层 17。如图 7 所示, 头部 12 还具备配置于保护层 17 的上表面并电连接至 MR 元件 22 的一对端子 18 以及配置于保护层 17 的上表面并连接至线圈 40 的一对端子 19。这些端子 18、19 电连接至图 6 所示的布线部件 224 的多个垫状端子。

[0078] 如图 8 所示, 激光二极管 160 具有包括下部电极 161、活性层 162 以及上部电极 163 的多层构造。在该多层构造中的 2 个劈开面, 设有用于对光进行全反射而激励振荡的反射层 164。在反射层 164, 在包括发光中心 162a 的活性层 162 的位置, 设有用于出射激光的开口。

[0079] 光源单元 150 还具备配置于光源设置面 151c 并电连接至下部电极 161 的端子 152、以及配置于光源设置面 151c 并电连接至上部电极 163 的端子 153。这些端子 152、153 电连接至图 6 所示的布线部件 224 的多个垫状端子。当经由端子 152、153 将既定电压施加至激光二极管 160 时, 从激光二极管 160 的发光中心 162a 出射激光。从激光二极管 160 出射的激光优选为电场的振动方向相对于活性层 162 的表面垂直的 TM 模式的偏振光。

[0080] 如图 8 所示, 支撑部件 151 的粘接面 151a 与滑块基板 11 的背面 11b 粘接, 由此光源单元 150 相对于滑块 10 固接。对激光二极管 160 和芯部 41 进行定位, 使得从激光二极管 160 出射的激光入射至芯部 41 的入射端 41a。

[0081] 接着,参照图 3 及图 4,对芯部 41、等离子体激元产生器 42 以及磁极 36 的形状及配置详细地进行说明。图 3 是示出磁头 1 的主要部分的截面图。图 4 是示出磁头 1 的主要部分的正视图。如图 3 及图 4 所示,磁极 36 具有配置于介质对置面 12a 的端面 36a。端面 36a 的形状例如是矩形。

[0082] 除了图 8 所示的入射端 41a 以外,如图 3 所示,芯部 41 还具有更接近介质对置面 12a 的前端面 41b、作为上表面的瞬逝光产生面 41c、下表面 41d 以及 2 个侧面(未图示)。瞬逝光产生面 41c 基于在芯部 41 传播的光产生瞬逝光。前端面 41b 与磁极 36 的后端面相接。

[0083] 等离子体激元产生器 42 具有包括以下所说明的多个部分的外表面以及配置于介质对置面 12a 的近场光产生边缘 42g。如图 3 所示,等离子体激元产生器 42 的外表面包括相对于瞬逝光产生面 41c 以既定间隔对置并沿与介质对置面 12a 垂直的方向延伸的传播边缘 42a。如后续所说明的,传播边缘 42a 使等离子体激元传播。近场光产生边缘 42g 位于传播边缘 42a 的端部。

[0084] 如图 3 所示,覆层 80 中的配置于瞬逝光产生面 41c 与传播边缘 42a 之间的部分,构成为具有比芯部 41 的折射率小的折射率的缓冲部 80A。

[0085] 如图 4 所示,等离子体激元产生器 42 的外表面还包括第 1 斜面 42b 及第 2 斜面 42c,分别连结至传播边缘 42a、且随着从传播边缘 42a 离开而互相的距离变大。

[0086] 如图 3 及图 4 所示,等离子体激元产生器 42 的外表面还包括上表面 42d、配置于介质对置面 12a 的前端面 42e 以及其相反侧的后端面 42f。前端面 42e 具有位于传播边缘 42a 的端部的尖端。该尖端形成近场光产生边缘 42g。

[0087] 另外,等离子体激元产生器 42 在介质对置面 12a 的轨道宽度方向 TW(Y 方向)的尺寸、以及等离子体激元产生器 42 在介质对置面 12a 的 Z 方向的尺寸均比在芯部 41 传播的激光的波长充分地小。这些尺寸均在例如 10 ~ 100nm 的范围内。另外,等离子体激元产生器 42 的 X 方向的长度在例如 0.6 ~ 4.0 μm 的范围内。

[0088] 另外,等离子体激元产生器 42 的传播边缘 42a 中的与瞬逝光产生面 41c 对置的部分的 X 方向的长度、以及传播边缘 42a 与瞬逝光产生面 41c 的间隔均为用于实现表面等离子体激元的适当的激励、传播的重要的参数。上述的 X 方向的长度优选在 0.6 ~ 4.0 μm 的范围内,优选比在芯部 41 传播的激光的波长大。上述的间隔优选在 10 ~ 100nm 的范围内。

[0089] 接着,参照图 3 及图 4,对本实施方式中的近场光产生的原理以及使用近场光的热辅助磁记录的原理进行说明。从激光二极管 160 出射的激光在波导的芯部 41 传播而到达缓冲部 80A 的附近。在此,在芯部 41 与缓冲部 80A 的界面,激光进行全反射,由此产生渗出至缓冲部 80A 内的瞬逝光。接着,以该瞬逝光和等离子体激元产生器 42 的外表面中的至少传播边缘 42a 的电荷的波动耦合的形式感应表面等离子体激元极化声子模式。这样,至少在传播边缘 42a,通过与从瞬逝光产生面 41c 产生的瞬逝光耦合,激励表面等离子体激元。

[0090] 在等离子体激元产生器 42 的外表面中的至少传播边缘 42a 激励的表面等离子体激元,成为边缘等离子体激元的形态,沿着传播边缘 42a 传播至近场光产生边缘 42g。其结果是,边缘等离子体激元集中于近场光产生边缘 42g,基于该边缘等离子体激元,从近场光产生边缘 42g 产生近场光。该近场光向着硬盘介质 100 照射、到达硬盘介质 100 的表面,对硬盘介质 100 的磁记录层的一部分进行加热。由此,该磁记录层的一部分的顽磁力下降。在

热辅助磁记录中,对这样地顽磁力下降的磁记录层的一部分施加从磁极 36 产生的记录磁场,由此进行信息的记录。

[0091] 接着,参照图 9,对图 5 中的控制电路 230 的电路结构及磁头 1 的动作进行说明。控制电路 230 具备控制 LSI(大规模集成电路)110、连接至控制 LSI110 的 ROM(只读存储器)111、连接至控制 LSI110 的写入门(write gate)121 以及连接至写入门 121 和线圈 40 的写入电路 122。

[0092] 控制电路 230 还具备连接至 MR 元件 22 和控制 LSI110 的恒流电路 131、连接至 MR 元件 22 的放大器 132 以及连接至该放大器 132 的输出端和控制 LSI110 的解调电路 133。控制电路 230 还具备连接至激光二极管 160 和控制 LSI110 的激光控制电路 141、以及连接至控制 LSI110 的温度检测器 142。

[0093] 控制 LSI110 将记录数据供给至写入门 121,并且将记录控制信号施加至写入门 121。另外,控制 LSI110 将再现控制信号施加至恒流电路 131 和解调电路 133,并且接收从解调电路 133 输出的再现数据。另外,控制 LSI110 将激光 ON/OFF 信号和动作电流控制信号施加至激光控制电路 141。温度检测器 142 检测硬盘介质 100 的磁记录层的温度,将该温度信息供给至控制 LSI110。为了控制供给至激光二极管 160 的动作电流值,ROM111 存放控制表等。

[0094] 在记录动作时,控制 LSI110 将记录数据供给至写入门 121。写入门 121 仅在记录控制信号指示记录动作时向写入电路 122 供给记录数据。写入电路 122 根据该记录数据使记录电流流动至线圈 40。由此,从磁极 36 产生记录磁场,由该记录磁场将数据记录至硬盘介质 100 的磁记录层。

[0095] 在再现动作时,恒流电路 131 仅在再现控制信号指示再现动作时,将一定的感测电流供给至 MR 元件 22。MR 元件 22 的输出电压由放大器 132 放大并输入至解调电路 133。在再现控制信号指示再现动作时,解调电路 133 将放大器 132 的输出解调、生成再现数据并供给至控制 LSI110。

[0096] 激光控制电路 141 基于激光 ON/OFF 信号控制对激光二极管 160 的动作电流的供给,并且基于动作电流控制信号控制供给至激光二极管 160 的动作电流的值。在激光 ON/OFF 信号指示开启动作的情况下,通过激光控制电路 141 的控制、将振荡阈值以上的动作电流供给至激光二极管 160。由此,从激光二极管 160 出射激光,该激光在芯部 41 传播。而且,根据上述的近场光产生的原理,从等离子体激元产生器 42 的近场光产生边缘 42g 产生近场光,由该近场光加热硬盘介质 100 的磁记录层的一部分,该一部分的顽磁力下降。在记录时,对该顽磁力下降的磁记录层的一部分施加从磁极 36 产生的记录磁场,由此进行数据的记录。

[0097] 控制 LSI110 根据动作电流控制信号控制激光控制电路 141,从而基于由温度检测器 142 测定的硬盘介质 100 的磁记录层的温度等、并参照存放在 ROM111 内的控制表,决定激光二极管 160 的动作电流的值,将该值的动作电流供给至激光二极管 160。控制表包括例如激光二极管 160 的振荡阈值及表示光输出-动作电流特性的温度依赖性的数据。而且控制表也可以还包括表示动作电流值与由近场光加热的磁记录层的温度上升量的关系的数据、磁记录层的顽磁力的温度依赖性的数据。此外,控制电路 230 的电路结构不限于图 9 所示。

[0098] 接着,参照图 10,对硬盘介质 100 的结构进行说明。硬盘介质 100 具备基板 101、依次层叠在该基板 101 上的软磁性层 102、定向层 103、磁记录层 104、盖层 105 以及保护层 106。

[0099] 基板 101 由非磁性材料构成。构成基板 101 的非磁性材料可以是铝等金属材料,也可以是玻璃等非金属材料。软磁性层 102 由软磁性材料构成。软磁性层 102 具有通过从磁头 1 施加至硬盘介质 100 的记录磁场而向磁头 1 回流的功能。定向层 103 是用于使形成于其上的磁记录层 104 的定向性良好的层。

[0100] 磁记录层 104 具有所谓的颗粒构造。即,磁记录层 104 包括分别由强磁性材料的结晶粒子构成的多个磁性粒子以及由非磁性材料构成并将多个磁性粒子隔开的粒子边界部。磁性粒子的直径例如在 4 ~ 12nm 的范围内。另外,磁性粒子具有向着磁记录层 104 的厚度方向的易磁化轴。

[0101] 盖层 105 由强磁性材料构成。另外,盖层 105 具有比磁记录层 104 的多个磁性粒子的顽磁力消失温度的最大值高的顽磁力消失温度。盖层 105 优选为连续膜。

[0102] 保护层 106 由非磁性材料构成。保护层 106 具有保护盖层 105 及磁记录层 104 并防止硬盘介质 100 的表面的损伤的功能。

[0103] 接着,参照图 1,对本实施方式的热辅助磁记录方法(以下,简称为记录方法)及使用该记录方法的本实施方式的硬盘驱动器的记录动作进行说明。在以下的说明中,将等离子体激元产生器 42 记为加热元件 42。在图 1 中,标号 104a 表示磁记录层 104 的磁性粒子。另外,标号 105a 表示盖层 105 中的与磁性粒子 104a 相对应的部分(以下,称为磁性粒子对应部分)。在图 1 中,示出沿轨道方向(图 1 中的左右方向)排列成一排的多个磁性粒子 104a 及位于该多个磁性粒子 104a 上的多个磁性粒子对应部分 105a。在图 1 中,磁性粒子 104a 或磁性粒子对应部分 105a 内的空心(白抜き)箭头表示磁性粒子 104a 或磁性粒子对应部分 105a 的磁化方向。另外,相交的 2 个虚线的箭头表示磁化消失。

[0104] 在图 1 中,示出磁头 1 的磁极 36 和加热元件 42。另外,图 1 所示的图表表示轨道方向的位置与磁记录层 104 的温度 T 、记录磁场的大小 H_z 以及顽磁力 H_c 的关系。在该图表中,横轴表示轨道方向的位置。另外,在该图表中,纵轴表示温度 T 、记录磁场的大小 H_z 以及顽磁力 H_c ,越靠上侧这些的值就越大。在本 1 实施方式中,温度 T 在与作为加热元件 42 的前端侧(图 1 中的右侧)的端部的近场光产生边缘 42g 相对应的位置取得最大值。另一方面,记录磁场的大小 H_z 在与磁极 36 的后端侧(图 1 中的左侧)的端部相对应的位置取得最大值。

[0105] 磁记录层 104 的多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度具有分布。以下,分别由记号 $T_c\text{-max}$ 、 $T_c\text{-min}$ 表示多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布内的最大值、最小值。在图 1 中,示出 $T_c\text{-max}$ 、 $T_c\text{-min}$ 的水平。

[0106] 在本实施方式的记录方法中,磁头 1 相对于硬盘介质 100 而相对地移动,由该磁头 1 对硬盘介质 100 施加记录磁场和热,通过热辅助磁记录记录信息。本实施方式的记录方法包括第 1 步骤和第 2 步骤。在第 1 步骤中,使用加热元件 42 来对硬盘介质 100 的一部分施加加热,且在硬盘介质 100 施加热的位置移动,由此在磁记录层 104 形成移动的高温区域 HT。在图 1 中,由记号 D1 表示高温区域 HT 的移动方向。方向 D1 也是磁头 1 相对于硬盘介质 100 的相对移动方向。另外,在图 1 中,记号 D2 表示硬盘介质 100 相对于磁头 1 的相

对的移动方向。方向 D2 是与方向 D1 相反的方向。在本实施方式中,相对于加热元件 42,磁极 36 配置于高温区域 HT 的移动方向 D1 的前方(前端侧)。

[0107] 高温区域 HT 是温度与其周围相比较为高、并为磁记录层 104 的多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的最大值 T_{c-max} 以上的温度的区域。高温区域 HT 的移动方向 D1 上的与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 具有除 0 以外的值的顽磁力。

[0108] 此外,在盖层 105,也形成有与高温区域 HT 同样地温度与周围相比较为高的区域。该区域内的最高温度不超过盖层 105 的顽磁力消失温度。

[0109] 在此,将磁记录层 104 中与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接、并具有轨道方向上的多个磁性粒子 104a 的排列的 1 个间距的长度的区域定义为第 1 邻接区域 R1。另外,将相对于第 1 邻接区域 R1 在高温区域 HT 的移动方向 D1 的后方邻接、并具有轨道方向上的多个磁性粒子 104a 的排列的 1 个间距的长度的区域定义为第 2 邻接区域 R2。由于高温区域 HT 移动,所以在某个时刻位于高温区域 HT 内的 1 个磁性粒子 104a 随着时间的经过而从高温区域 HT 移出,按照该顺序通过第 1 邻接区域 R1、第 2 邻接区域 R2。

[0110] 如图 1 所示,磁记录层 104 的温度 T 随着从高温区域 HT 的后端 HTE 向移动方向 D1 的后方离开而变低。与此相伴的是,磁记录层 104 的顽磁力 H_c 随着从高温区域 HT 的后端 HTE、向移动方向 D1 的后方离开而变大。如上所述,磁记录层 104 的多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度具有分布。以此为起因,某个相同的温度下的多个磁性粒子 104a 的顽磁力也具有分布。

[0111] 第 1 邻接区域 R1 与第 2 邻接区域 R2 的边界位置处的温度 T 比多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的最小值 T_{c-min} 低。因此,第 1 邻接区域 R1 的磁性粒子 104a 具有除 0 以外的值的顽磁力。

[0112] 在第 2 步骤中,使用磁极 36 来将记录磁场施加至硬盘介质 100,使得施加至与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a、即第 1 邻接区域 R1 内的至少 1 个磁性粒子 104a 的记录磁场的大小 H_z 为 $3kOe$ 以下。第 1 邻接区域 R1 的任意的位置处的记录磁场的大小 H_z 大致相等。在本实施方式中,相对于加热元件 42,磁极 36 配置于高温区域 HT 的移动方向 D1 的前方。因此,第 1 邻接区域 R1 的任意的位置处的记录磁场的大小 H_z ,为后端 HTE 的记录磁场的大小 H_z 以下。因此,在本实施方式中,如果后端 HTE 的记录磁场的大小 H_z 为 $3kOe$ 以下,则施加至与后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的记录磁场的大小 H_z 为 $3kOe$ 以下。施加至与后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的记录磁场的大小 H_z 优选为 $0.5kOe$ 以上。另外,在本实施方式中,第 2 邻接区域 R2 的记录磁场的大小 H_z 不超过第 2 邻接区域 R2 内的磁性粒子 104a 的顽磁力。

[0113] 磁头 1 相对于硬盘介质 10 而相对地移动,并且,同时地执行第 1 步骤和第 2 步骤。

[0114] 此外,记录磁场的方向根据所记录的信息而切换成图 1 中向上的方向和图 1 中向下的方向。上述的记录磁场的大小意味着不依赖于记录磁场的方向的记录磁场的绝对值。

[0115] 另外,在本申请中,磁记录层 104 的记录磁场的大小 H_z 定义为磁记录层 104 的厚度方向的中心的记录磁场的大小,盖层 105 的记录磁场的大小定义为盖层 105 的厚度方向的中心的记录磁场的大小。

[0116] 在本实施方式的记录方法中,如上所述,在磁记录层 104 形成移动的高温区域 HT,将记录磁场施加至硬盘介质 100,使得施加至与该高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个

磁性粒子 104a 的记录磁场的大小 Hz 为 $3k_0e$ 以下。高温区域 HT 内的磁性粒子 104a 的温度为该磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度以上。因此,高温区域 HT 内的磁性粒子 104a 不具有顽磁力。另一方面,磁性粒子 104a 在通过第 1 邻接区域 R1 时,具有接近 0_0e 的小的顽磁力。在第 1 邻接区域 R1 的至少一部分,记录磁场的大小 Hz 超过通过第 1 邻接区域 R1 的磁性粒子 104a 的顽磁力。因此,在磁性粒子 104a 通过第 1 邻接区域 R1 时,磁性粒子 104a 的磁化方向向着记录磁场的方向。

[0117] 另一方面,第 2 邻接区域 R2 的记录磁场的大小 Hz 不超过第 2 邻接区域 R2 内的磁性粒子 104a 的顽磁力。因此,第 2 邻接区域 R2 内的磁性粒子 104a 的磁化方向,不随记录磁场的方向而变化。

[0118] 如上所述,在某个时刻,位于高温区域 HT 内的 1 个磁性粒子 104a 伴随着时间的经过而从高温区域 HT 移出,按照该顺序通过第 1 邻接区域 R1、第 2 邻接区域 R2。该 1 个磁性粒子 104a 的磁化方向在通过第 1 邻接区域 R1 时向着记录磁场的方向,在进入第 2 邻接区域 R2 时固定。这样,在磁记录层 104,根据磁化方向的不同记录信息。此外,后续进一步详细地说明该记录动作。

[0119] 接着,参照图 2,对本实施方式的记录动作与磁记录层 104 的多个磁性粒子 104a 的顽磁力变化的关系进行说明。在图 2 中,示出第 1 邻接区域 R1 内的磁性粒子 104a、在其轨道方向的前后邻接的 2 个磁性粒子 104a 以及与这些相对应的盖层 105 的 3 个磁性粒子对应部分 105a。另外,图 2 所示的图表示出磁记录层 104 的轨道方向的位置及温度与磁性粒子 104a 的顽磁力的关系。在该图表中,横轴表示轨道方向的位置及磁记录层 104 的温度。在横轴上,越靠右侧磁记录层 104 的温度越高。另外,纵轴表示顽磁力,越靠上侧顽磁力的值越大。另外,在该图表中,示出磁记录层 104 的记录磁场的大小 Hz 的水平。在图 2 所示的位置的范围内,由于记录磁场的大小 Hz 不随位置而较大地变化,所以在图 2 中,将记录磁场的大小 Hz 作为固定值表示。

[0120] 在此,用记号 $H_c\text{-max}$ 表示多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布内的具有最大值 $T_c\text{-max}$ 的顽磁力消失温度的磁性粒子 104a 的顽磁力。另外,用记号 $H_c\text{-min}$ 表示上述分布内的具有最小值 $T_c\text{-min}$ 的顽磁力消失温度的磁性粒子 104a 的顽磁力。另外,用记号 $H_c\text{-ave}$ 表示上述分布内的具有中央的顽磁力消失温度的磁性粒子 104a 的顽磁力。在图 2 的图表中,示出这些 $H_c\text{-max}$ 、 $H_c\text{-min}$ 、 $H_c\text{-ave}$ 。 $H_c\text{-max}$ 也是多个磁性粒子 104a 的顽磁力的分布内的最大值。 $H_c\text{-min}$ 也是多个磁性粒子 104a 的顽磁力的分布内的最小值。

[0121] 高温区域 HT 的后端 HTE 的温度为 $T_c\text{-max}$ 以上。第 1 邻接区域 R1 和第 2 邻接区域 R2 的边界位置处的温度比 $T_c\text{-min}$ 低。因此,即使多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度具有分布,1 个磁性粒子 104a 在通过第 1 邻接区域 R1 期间也具有除 0 以外的值的顽磁力。由此,在磁性粒子 104a 通过第 1 邻接区域 R1 时,磁性粒子 104a 的磁化方向向着记录磁场的方向。

[0122] 另外,第 1 邻接区域 R1 与第 2 邻接区域 R2 的边界位置处的记录磁场的大小 Hz 不超过该位置处的 $H_c\text{-min}$ 。因此,即使多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度及顽磁力具有分布,在 1 个磁性粒子 104a 进入第 2 邻接区域 R2 时,该磁性粒子 104a 的磁化方向也固定。

[0123] 如以上所说明的,在本实施方式的记录方法中,通过第 1 步骤在硬盘介质 100 的磁记录层 104 形成移动的高温区域 HT,通过第 2 步骤将记录磁场施加至硬盘介质 100,使得施

加至与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的记录磁场的大小 Hz 为 $3kOe$ 以下。由此,在磁记录层 104 的第 1 邻接区域 R1,对与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的、顽磁力小的至少 1 个磁性粒子 104a 施加比较弱的记录磁场,控制该至少 1 个磁性粒子 104a 的磁化方向。通过这样的动作进行信息的记录,由此依据本实施方式,能够实现高的线记录密度和高的信噪比。后续,参照模拟的结果,对该效果进一步进行说明。

[0124] 在本实施方式中,特别地,加热元件 42 是产生用于对硬盘介质 100 施加加热的光的光产生元件。而且,在第 1 步骤中,为了对硬盘介质 100 的一部分施加热,使用光产生元件(加热元件 42)来将光照射至硬盘介质 100,在硬盘介质 100 的表面上形成移动的光的斑点。通过该移动的斑点在磁记录层 104 形成移动的高温区域 HT。斑点的移动方向是与高温区域 HT 相同的方向 D1。

[0125] 在第 2 步骤中,将记录磁场施加至硬盘介质 100,使得施加至磁记录层 104 的既定位置的记录磁场的大小 Hz 为 $3kOe$ 以下。所述既定位置是与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的位置。该既定位置由斑点的中心及形状以及有效轨道宽度决定。后续对此详细地进行说明。如上所述,存在于该既定位置的至少 1 个磁性粒子 104a 的顽磁力是小的值。在本实施方式中,对该顽磁力小的至少 1 个磁性粒子 104a 施加比较弱的记录磁场,控制该至少 1 个磁性粒子 104a 的磁化方向。

[0126] 接着,参照图 1,对盖层 105 详细地进行说明。盖层 105 具有比 Tc_{max} 高的顽磁力消失温度。另外,高温区域 HT 内的最高温度不超过盖层 105 的顽磁力消失温度。因此,盖层 105 在与高温区域 HT 相对应的区域也具有除 0 以外的值的顽磁力。在图 1 中,用记号 H105 示出的虚线表示与高温区域 HT 相对应的区域附近的盖层 105 的顽磁力。

[0127] 在盖层 105 中的从与高温区域 HT 的后端 HTE 相对应的位置、至与第 1 邻接区域 R1 和第 2 邻接区域 R2 的边界相对应的位置的范围内的至少一部分,盖层 105 的顽磁力比磁记录层 104 的顽磁力大。另一方面,室温 ($25^{\circ}C$) 下的盖层 105 的顽磁力比磁记录层 104 的顽磁力小。室温 ($25^{\circ}C$) 下的盖层 105 的顽磁力例如在 $0.3 \sim 2kOe$ 的范围内。

[0128] 另外,在与高温区域 HT 的后端 HTE 相对应的位置,施加至盖层 105 的记录磁场的大小为盖层 105 的顽磁力以上。因此,与第 1 邻接区域 R1 内的磁性粒子 104a 相对应的盖层 105 的磁性粒子对应部分 105a 的磁化方向,为施加至该磁性粒子对应部分 105a 的记录磁场的方向。

[0129] 通过设置这样的盖层 105,能够提高上述的记录动作的稳定性,进一步提高信噪比。其理由如下。如上所述,在本实施方式中,对第 1 邻接区域 R1 内的顽磁力小的磁性粒子 104a 施加比较弱的记录磁场,控制该磁性粒子 104a 的磁化方向。如果具有盖层 105,则在与顽磁力小的磁性粒子 104a 相对应的位置,存在着具有比该磁性粒子 104a 的顽磁力大的顽磁力的盖层 105 的磁性粒子对应部分 105a。该磁性粒子对应部分 105a 的磁化方向向着与针对第 1 邻接区域 R1 内的磁性粒子 104a 而设定的磁化方向相同的方向,且与磁性粒子 104a 的磁化相比稳定。由此,即使在磁性粒子 104a 的顽磁力小的状态下,也能够稳定地设定磁性粒子 104a 的磁化方向。

[0130] 接着,参照图 11 至图 14,对本实施方式中的记录动作进一步详细地进行说明。图 11 是示出记录动作中的一个步骤的说明图。在图 11 中示出某个时刻的磁极 36、加热元件 42、磁记录层 104 以及盖层 105。在该时刻,记录磁场的方向向下。在此,在图 11 中,着眼于

位于高温区域 HT 内的多个磁性粒子 104a 中的最接近高温区域 HT 的后端 HTE 的磁性粒子 104a。以下,用标号 104a1 表示该磁性粒子。由于磁性粒子 104a1 位于高温区域 HT 内,所以其顽磁力消失。

[0131] 图 12 是示出继图 11 所示的步骤之后的步骤的说明图。如图 12 所示,磁性粒子 104a1 伴随着时间的经过而从高温区域 HT 移出,进入第 1 邻接区域 R1 内。此时的记录磁场的方向也向下。磁性粒子 104a1 在通过第 1 邻接区域 R1 期间具有除 0 以外的值的顽磁力,磁性粒子 104a1 具有记录磁场的方向即向下的磁化。

[0132] 图 13 是示出继图 12 所示的步骤之后的步骤的说明图。如图 13 所示,磁性粒子 104a1 进一步伴随着时间的经过而进入第 2 邻接区域 R2 内。此时的记录磁场的方向向上。在磁性粒子 104a1 进入第 2 邻接区域 R2 时,磁性粒子 104a1 的磁化方向固定为向下。另一方面,与磁性粒子 104a1 邻接的第 1 邻接区域 R1 内的磁性粒子 104a 具有记录磁场的方向即向上的磁化。

[0133] 图 14 是示出继图 13 所示的步骤之后的步骤的说明图。如图 14 所示,磁性粒子 104a1 进一步伴随着时间的经过而从第 2 邻接区域 R2 移出。此时的记录磁场的方向向下。磁性粒子 104a1 的磁化方向保持固定为向下。另一方面,在与磁性粒子 104a1 邻接的磁性粒子 104a 进入第 2 邻接区域 R2 内时,该磁性粒子 104a 的磁化方向固定为向上。另外,新进入第 1 邻接区域 R1 的磁性粒子 104a 具有记录磁场的方向即向下的磁化。在本实施方式中,重复以上那样的动作而进行记录。

[0134] 以下,对本实施方式的记录方法及硬盘驱动器的效果进行说明。首先,参照图 15 及图 16,对比较例的记录方法及其问题点进行说明。图 15 是示出比较例的记录方法的原理的说明图。图 16 是示出比较例的记录方法的问题点的说明图。

[0135] 在图 15 及图 16 中,由多个圆表示磁记录层的多个磁性粒子。将该磁性粒子的顽磁力记在圆中。图 15 示出相同的温度下的多个磁性粒子的顽磁力一致的理想情况。图 16 示出相同的温度下的多个磁性粒子的顽磁力具有分布的情况。在实际的磁记录层中,相同的温度下的多个磁性粒子的顽磁力具有分布。相同的温度下的多个磁性粒子的顽磁力具有分布的原因之一,能举出多个磁性粒子的顽磁力消失温度具有分布。

[0136] 在比较例中,磁性粒子的直径为 12nm。在图 15 及图 16 中,虚线 108 示出磁记录层的温度与磁性粒子的顽磁力消失温度一致的位置。在比该虚线 108 更靠右侧的区域,磁记录层(磁性粒子)的温度超过磁性粒子的顽磁力消失温度,磁性粒子的顽磁力为 0kOe。另外,在虚线 108 与虚线 109 之间的区域,随着从虚线 108 离开,磁记录层的温度以 3K/nm 的温度梯度下降。另外,在该区域,对于温度 1K 的下降,磁性粒子的顽磁力增加 2000e。在比较例中,在虚线 109 附近,施加 18kOe 的记录磁场。这可以说是现有的记录方法。在比虚线 109 更靠左侧的区域,磁性粒子的顽磁力超过记录磁场的大小。虚线 109 示出顽磁力超过记录磁场的大小的多个磁性粒子与顽磁力为记录磁场的大小以下的多个磁性粒子的边界。

[0137] 在理想情况下,多个磁性粒子的顽磁力如图 15 所示。在该情况下,虚线 108 与虚线 109 之间的区域内的多个磁性粒子的磁化方向根据记录磁场的方向而变化,比虚线 109 更靠左侧的区域内的多个磁性粒子的磁化方向不根据记录磁场的方向而变化。因此,在虚线 109 的位置的两侧,能够改变磁性粒子的磁化方向。在理想情况下,虚线 109 为直线。

[0138] 在图 16 示出相同温度下的多个磁性粒子的顽磁力具有分布的情况下的多个磁性

粒子的顽磁力的一个例子。在该情况下,示出顽磁力超过记录磁场的大小的多个磁性粒子与顽磁力为记录磁场的大小以下的多个磁性粒子的边界的虚线 109、存在着不是直线而是例如如图 16 所示的弯曲的线的可能性。由此,磁化迁移宽度增加,在高的线记录密度下,未得到足够的信噪比。

[0139] 相对于此,依据本实施方式,能够实现高的线记录密度和高的信噪比。以下,对示出该本实施方式的效果的模拟的结果进行说明。在该模拟中,通过使用 LLG(Landau-Lifshitz-Gilbert) 方程式的 LLG 模拟而调查多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布与硬盘介质 100 的信噪比的关系。

[0140] 首先,对能够测定的顽磁力与模拟所使用的顽磁力的关系进行说明。如文献“M. P. Sharrock et al ;IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-17, No. 6, November, 1981, p. 3020-3022”所记载的,磁性粒子的顽磁力依赖于对磁性粒子的磁场施加时间而变化。在该文献中,记载了表示顽磁力对磁场施加时间的依赖性的式子(以下,称为 Sharrock 式子)。

[0141] 作为能够使用振动样品型磁力计(Vibrating Sample Magnetometer :VSM)或克尔效应(Kerr effect)测定装置等来测定的静磁特性的顽磁力,是秒级的磁场施加时间的顽磁力。在本申请中,将作为该静磁特性的顽磁力称为静顽磁力。另一方面,与测定作为上述静磁特性的顽磁力时的磁场施加时间相比,记录动作时的磁场施加时间非常短,例如为 10^{-9} 秒级。因此,记录动作时的磁性粒子的顽磁力与静顽磁力不同。在本申请中,将记录动作时的顽磁力称为动顽磁力。另外,在本申请中,没有特别载明为动的时的顽磁力是指静顽磁力。此外,能够基于滞后曲线测定静顽磁力。严格而言,虽然轻微,但基于滞后曲线测定的静顽磁力随着滞后曲线生成时的磁场变化速度而变化。本申请中的静顽磁力是磁场变化速度为 $600\text{e}/\text{秒}$ 时的值。

[0142] 使用动顽磁力来进行模拟。另一方面,为了表示磁记录层的特性而使用的顽磁力是静顽磁力。为了表示磁记录层的特性而使用的静顽磁力与模拟所使用的动顽磁力之间的转换,使用 Sharrock 式子来进行。

[0143] 对以下所说明的第 1 及第 2 比较例以及第 1 至第 6 实施例进行模拟。在第 1 及第 2 比较例中,利用与本实施方式的记录方法不同的方法来进行对磁记录层 104 的信号的记录。在第 1 至第 6 实施例中,使用本实施方式的记录方法来进行对磁记录层 104 的信号的记录。在第 1 及第 2 比较例以及第 1 至第 3 实施方式中,假设为不包括盖层 105 的硬盘介质。在第 4 至第 6 实施例中,假设为包括盖层 105 的硬盘介质。在表 1 示出模拟所假设的磁记录层 104 和盖层 105 的特性。此外,在表 1 中, $1\text{erg}/\text{cc} = 1 \times 10^{-1} \text{J}/\text{m}^3$, $1\text{emu}/\text{cc} = 1 \times 10^{-3} \text{A}/\text{m}$ 。

[0144] [表 1]

[0145]

	磁记录层 104	盖层 105
厚度 (nm)	15	3
磁各向异性 (erg/cc)	5×10^6	1×10^4

饱和磁化 (emu/cc)	300	300
顽磁力消失温度 (°C)	250	700

[0146] 在模拟中,对磁记录层 104 施加的热相对于轨道方向的位置的变化的温度的变化的梯度的大小为 5K/nm。另外,磁记录层 104 所记录的信号的线记录密度为 2500kFCI (FCI 每 1 英寸的磁通反转数)。这可以说是足够高的线记录密度。另外,使磁记录层 104 的多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布的宽度 ΔT_c 在 10 ~ 80K 的范围内变化。

[0147] 另外,包括模拟在本实施方式中,作为表示磁记录层 104 的特性的 1 个参数,使用以下那样定义的 dH_c/dT 。 dH_c/dT 是磁记录层 104 的顽磁力的变化相对于温度的变化的梯度的绝对值的最大值,更详细而言,是磁记录层 104 的顽磁力的变化相对于 $T_c\text{-max}$ 至室温 (25°C) 范围内的温度的变化的梯度的绝对值的最大值。

[0148] 使用如上所述地定义的 dH_c/dT 的理由如下。在实际的硬盘介质 100 的磁记录层 104 中,能够容易地测定如上所述地定义的 dH_c/dT 。具体而言,能够将 dH_c/dT 作为示出磁记录层 104 的顽磁力的温度依赖性的曲线上的微分值的绝对值的最大值而求出。另外,认为磁记录层 104 的顽磁力的变化相对于对记录动作造成影响的第一邻接区域 R1 内的温度的变化的梯度、与如上所述地定义的 dH_c/dT 具有十分大的相关。

[0149] 在第 1 比较例中, dH_c/dT 为 2500e/K。另外,在第 2 比较例及第 1 至第 6 实施例中,使 dH_c/dT 在 60 ~ 2500e/K 的范围内变化。

[0150] 在第 1 比较例中,在磁性粒子 104a 的顽磁力为 15kOe 时,对该磁性粒子 104a 施加 15kOe 的大小的记录磁场,进行信号的记录。这样,在第 1 比较例中,对具有相对本实施方式较大的顽磁力的磁性粒子 104a,施加相对本实施方式较大的记录磁场,进行信号的记录。这可以说是现有的记录方法。在表 2 示出第 1 比较例的信噪比 (以下,也记为 SNR)。SNR 的单位是 dB。此外,理论上进行理想状态的记录再现时的 SNR 是 7dB。

[0151] [表 2]

[0152] (第 1 比较例)

[0153]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)
10	3.1
20	2.3
40	1.5
60	0.4
80	0

[0154] 在第 2 比较例和第 1 至第 6 实施例中,对磁记录层 104 的第一邻接区域 R1 施加既定大小的记录磁场,进行信号的记录。在第 1 实施例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 1kOe。在表 3 示出第 1 实施例的 SNR。

[0155] [表 3]

[0156] (第 1 实施例)

[0157]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	5.1	5.0	4.1	3.6	3.5	3.2	3.2
20	3.0	4.3	3.8	3.7	3.6	3.8	3.0
40	1.8	2.1	2.9	3.7	3.7	3.8	2.8
60	1.4	1.9	2.2	1.8	1.8	1.7	1.3
80	1.0	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	0.0

[0158] 在第 2 实施例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 2kOe。在表 4 示出第 2 实施例的 SNR。

[0159] [表 4]

[0160] (第 2 实施例)

[0161]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	5.2	5.4	4.6	4.1	3.8	3.6	3.4
20	2.9	3.6	3.7	3.8	3.6	3.2	2.9
40	1.7	2.1	2.9	3.1	3.2	3.4	2.7
60	1.4	2.6	3.0	2.8	2.4	2.0	1.4
80	1.0	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	0.0

[0162] 在第 3 实施例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 3kOe。在表 5 示出第 3 实施例的 SNR。

[0163] [表 5]

[0164] (第 3 实施例)

[0165]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	4.5	4.7	3.9	3.4	3.3	3.2	3.2
20	2.9	3.3	3.2	3.2	3.2	3.1	2.7
40	1.5	2.0	2.4	2.9	2.3	2.0	1.8
60	1.1	2.1	2.6	2.4	1.8	1.7	1.1
80	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

[0166] 在第 2 比较例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 4kOe。在表 6 示出第 2 比较例的 SNR。

[0167] [表 6]

[0168] (第 2 比较例)

[0169]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	1.8	1.9	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0
20	1.6	1.6	1.8	1.2	0.4	0.5	0.6
40	1.5	1.5	1.4	1.0	0.2	0.2	0.3
60	1.2	1.3	1.2	0.3	0.0	0.0	-0.2
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

[0170] 在第 4 实施例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 1kOe。在表 7 示出第 4 实施例的 SNR。

[0171] [表 7]

[0172] (第 4 实施例)

[0173]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	6.1	6.0	5.1	4.6	4.5	4.2	4.2
20	4.2	5.5	5.0	4.9	4.8	5.0	4.2
40	3.2	3.5	4.3	5.1	5.1	5.2	4.2
60	2.9	3.4	3.7	3.3	3.3	3.2	2.8
80	2.5	2.6	2.2	1.9	1.6	1.4	1.5

[0174] 在第 5 实施例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 2kOe。在表 8 示出

第 5 实施例的 SNR。

[0175] [表 8]

[0176] (第 5 实施例)

[0177]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	6.2	6.4	5.6	5.1	4.8	4.6	4.4
20	4.1	4.8	4.9	5.0	4.8	4.4	4.1
40	3.1	3.5	4.3	4.5	4.6	4.8	4.1
60	2.9	4.1	4.5	4.3	3.9	3.5	2.9
80	2.5	2.6	2.2	1.9	1.6	1.4	1.5

[0178] 在第 6 实施例中,施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 3kOe。在表 9 示出第 6 实施例的 SNR。

[0179] [表 9]

[0180] (第 6 实施例)

[0181]

ΔT_c (K)	dH_c/dT (Oe/K)						
	60	70	120	165	190	220	250
10	5.5	5.7	4.9	4.4	4.3	4.2	4.2

[0182]

20	4.1	4.5	4.4	4.4	4.4	4.3	3.9
40	2.9	3.4	3.8	4.3	3.7	3.4	3.2
60	2.6	3.6	4.1	3.9	3.3	3.2	2.6
80	1.9	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

[0183] 在比较例 1(表 2)中, ΔT_c 越是变小, SNR 就越是变大, ΔT_c 为 10K 时的 3.1dB 是 SNR 的最大值。在实际的磁记录层 104 中, ΔT_c 为 10K 是非常小的值。因此,超过 3.1dB 的 SNR 在现有的记录方法中难以实现。因此,认为如果 SNR 为 3.1dB 以上,则 SNR 十分高。

[0184] 在施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 3kOe 以下的第 1 至第 3 实施例(表 3~5)中,至少在 ΔT_c 为 10K 的情况下,在 dH_c/dT 为 60~2500e/K 的广范围内,能得到超过 3.1dB 的 SNR。在施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 4kOe 的第 2 比较例(表 6)中,只能得到比第 1 比较例小的 SNR。从该结果判明,通过像本实施方式那样使施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 3kOe 以下,能够得到十分高的 SNR。

[0185] 在本实施方式中,在第 1 邻接区域 R1 内,产生磁性粒子 104a 的顽磁力,在第 1 邻

接区域 R1 与第 2 邻接区域 R2 的边界,磁性粒子 104a 的顽磁力为记录磁场的大小以上。因此,在第 1 邻接区域 R1 内的多个磁性粒子 104a 的顽磁力均小且这些的分布也小的阶段,对该多个磁性粒子 104a 施加比较弱的记录磁场,控制多个磁性粒子 104a 的磁化方向。因此,认为依据本实施方式能得到高的 SNR。

[0186] 另外,在第 1 至第 3 实施例(表 3~5)中,在 dHc/dT 为 $70 \sim 2200e/K$ 的范围内,不仅在 ΔTc 为 $10K$ 的情况下,而且在 ΔTc 为 $20K$ 的情况下,得到 $3.1dB$ 以上的 SNR。因此,优选 dHc/dT 在 $70 \sim 2200e/K$ 的范围内。

[0187] 另外,在施加至第 1 邻接区域 R1 的记录磁场的大小为 $2k0e$ 以下的第 1 及第 2 实施例(表 3、4)中,在 dHc/dT 在 $165 \sim 2200e/K$ 的范围内,在 ΔTc 为 $40K$ 以下的范围内,能得到 $3.1dB$ 以上的 SNR。因此,更优选施加至第 1 邻接区域 R 的记录磁场的大小为 $2k0e$ 以下,且 dHc/dT 在 $165 \sim 2200e/K$ 的范围内。

[0188] 另外,在具有盖层 105 的第 4 至第 6 实施例(表 7~9)中,相对于不具有盖层 105 的第 1 至第 3 实施例(表 3~5),SNR 整体地提高 $1.0 \sim 1.5dB$ 。特别地,如果不具有盖层 105,则在 SNR 变小、 ΔTc 像 $60 \sim 80K$ 那样大的情况下,盖层 105 导致的 SNR 提高的效果大。由此,优选硬盘介质 100 包括盖层 105。

[0189] 另外,在第 4 至第 6 实施例(表 7~9)中,在 dHc/dT 在 $70 \sim 2200e/K$ 的范围内且 ΔTc 在 $60K$ 以下的范围内的情况下,能得到超过 $3.1dB$ 的 SNR。由此,优选硬盘介质 100 包括盖层 105、且 dHc/dT 在 $70 \sim 2200e/K$ 的范围内, ΔTc 在 $60K$ 以下的范围内。

[0190] 接着,参照图 17,对测定磁记录层 104 的顽磁力 Hc 的方法进行说明。在该方法中,使用在硬盘介质 100 的制造过程中制作的、形成盖层 105 前的层叠体、即在基板 101 上形成有软磁性层 102、定向层 103 以及磁记录层 104 的层叠体。在该方法中,使用克尔效应测定装置,使施加至上述层叠体中的磁记录层 104 的磁场 H 的大小变化而测定磁记录层 104 的克尔旋转角 θ_K ,求出磁记录层 104 的克尔旋转角 θ_K 的滞后曲线(以下,称为 θ_K - H 滞后曲线)。通过将直线偏振的光照射至磁记录层 104,检测磁记录层 104 处的反射光,测定反射光的偏振面相对于入射光的偏振面的旋转角度,由此能得到磁记录层 104 的克尔旋转角 θ_K 。

[0191] 求出上述 θ_K - H 滞后曲线时的条件如下。由照射至磁记录层 104 的光形成于磁记录层 104 上的斑点的直径是 $1mm$ 。此外,斑点的直径为放射强度成为斑点中心处的放射强度的 $1/e^2$ 的环状的放射强度等高线的直径。上述光的波长为 $350nm$ 。施加至磁记录层 104 的磁场 H 的方向是磁性粒子 104a 的易磁化轴方向,即磁记录层 104 的厚度方向。磁场 H 的变化速度是 $600e/秒$ 。磁场 H 的变化范围是 $-20k0e \sim 20k0e$ 。

[0192] 图 17 示出 θ_K - H 滞后曲线的一个示例。在图 17 中,横轴表示施加至磁记录层 104 的磁场 H ,纵轴表示磁记录层 104 的克尔旋转角 θ_K 。在此,对图 17 所示的 θ_K - H 滞后曲线进行说明。如果使磁场 H 从 0 起增加,则克尔旋转角 θ_K 增加,在图 17 中的点 A 处达到最大值 θ_{KS} 。点 A 处的磁场 H 的大小是饱和磁场 Hs 。如果使磁场 H 从点 A 起减少,则克尔旋转角 θ_K 以经由点 B、C 到达点 D 的方式减少。点 B 是磁场 H 为 0 的点。点 C 是克尔旋转角 θ_K 为 0 的点。点 C 处的磁场 H 的大小是 $-Hc$ 。点 D 是克尔旋转角 θ_K 为 $-\theta_{KS}$ 、磁场 H 为 $-Hs$ 的点。

[0193] 如果使磁场 H 从点 D 起增加,则克尔旋转角 θ_K 以经由点 E、F、G 到达点 A 的方式增加。点 E 是磁场 H 为 0 的点。点 F 是克尔旋转角 θ_K 为 0 的点。点 F 处的磁场的大小是

顽磁力 H_c 。点 G 是克尔旋转角 θ_k 的大小为 $\theta_{ks}/2$ 的点。经由以上说明的点 A、B、C、D、E、F、G、A 的闭合的曲线被称为主循环。如图 17 所示,点 C 处的相对于主循环的切线和通过点 A 而与横轴平行的直线的交点为 N。点 N 处的磁场 H 的大小为成核磁场 H_n 。

[0194] 能够基于以上说明的 θ_k -H 滞后曲线测定磁记录层 104 的顽磁力 H_c 。另外,通过针对每个温度求出 θ_k -H 滞后曲线,能够求出磁记录层 104 的顽磁力 H_c 的温度依赖性。由此,还能够求出 dH_c/dT 。

[0195] 接着,参照图 17 及图 18,对测定磁记录层 104 的多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布的宽度 ΔT_c 的方法进行说明。图 18 示意性地表示图 2 所示的 H_c -max、 H_c -min、 H_c -ave、磁记录层 104 的顽磁力 H_c 以及后述的参数 $\Delta H_c/H_c$ 的温度依赖性。在图 18 中,横轴表示磁记录层 104 的温度,越靠右侧温度越高。在图 18 中,纵轴表示顽磁力及 $\Delta H_c/H_c$,越靠上侧,这些的值越大。

[0196] 如图 18 所示,在室温下, H_c 与 H_c -ave 相等或大致相等。伴随着温度的上升,磁性粒子 104a 的顽磁力减少,所以 H_c 也减少。在该过程中, H_c 接近 H_c -max。这是因为,随着多个磁性粒子 104a 的顽磁力减少,磁记录层 104 的顽磁力 H_c 大大地依赖于多个磁性粒子 104a 的顽磁力的分布内的相对较大的顽磁力。而且, H_c -max 实际上为 0,由此, H_c 最初实质上为 0。在 ΔT_c 的测定方法中,求出 H_c 的温度依赖性,求出作为 H_c 的绝对值为最小值即实质上为 0 的最低的温度 T1。如从图 18 所理解的,第 1 温度 T1 与多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布内的最大值 T_c -max 相等或大致相等。能够根据以上说明的原理从 H_c 的温度依赖性求出与 T_c -max 相等或大致相等的第 1 温度 T1。

[0197] 另外,在 ΔT_c 的测定方法中,求出参数 $\Delta H_c/H_c$ 的温度依赖性。如文献“I. TAGAWA and Y. NAKAMURA ;IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 27, No. 6, November, 1991, p. 4975-4977” (以下,记为文献“TAGAWA and NAKAMURA”)所记载的, $\Delta H_c/H_c$ 与用磁记录层 104 的顽磁力 H_c 除磁记录层 104 内的多个磁性粒子 104a 的顽磁力的分布的标准偏差 σ 而得到的值 σ/H_c 相关。

[0198] 在此,参照图 17,对 ΔH_c 和 $\Delta H_c/H_c$ 的求解方法进行说明。首先,求出使磁场 H 从图 17 所示的 θ_k -H 滞后曲线上的点 C 增加并经由点 L 的次要曲线。在次要曲线上,点 L 是克尔旋转角 θ_k 的大小为 $\theta_{ks}/2$ 的点。接着,求出主循环上的点 G 处的磁场 H 的大小与上述点 L 处的磁场 H 的大小的差。该差是 ΔH_c 。 ΔH_c 是与多个磁性粒子 104a 的顽磁力的分布的宽度有关的值,具体而言,如文献“TAGAWA and NAKAMURA”所记载的,与 1.35σ 相等。接着,求出 $\Delta H_c/H_c$ 。这里的 H_c 是从主循环求出的磁记录层 104 的顽磁力。这样,能够基于 θ_k -H 滞后曲线求出 $\Delta H_c/H_c$ 。

[0199] 在 ΔT_c 的测定方法中,求出每个温度的磁记录层 104 的 θ_k -H 滞后曲线,基于该滞后曲线求出参数 $\Delta H_c/H_c$ 的温度依赖性。然后,求出作为 $\Delta H_c/H_c$ 取最大值时的磁记录层 104 的温度的第 2 温度 T2。

[0200] 在此,参照图 18,对第 2 温度 T2 的意义进行说明。如果提高磁记录层 104 的温度而接近 H_c -min 为 0 的温度,则 ΔH_c 不大变化,相对与此, H_c 急剧减小,所以 $\Delta H_c/H_c$ 增加。另一方面,如果磁记录层 104 的温度为 H_c -min 成为 0 的温度以上,则伴随着温度的上升,顽磁力为 0 的磁性粒子 104a 的数量增加,由此 ΔH_c 急剧减小。因此, $\Delta H_c/H_c$ 在 H_c -min 为 0 的温度取最大值。 H_c -min 为 0 的温度与多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布内的

最低的顽磁力消失温度 $T_{c-\min}$ 相等或大致相等。第 2 温度 T_2 是 $\Delta H_c/H_c$ 取最大值时的磁记录层 104 的温度、即 $H_c-\min$ 为 0 的温度。因此,第 2 温度 T_2 与 $T_{c-\min}$ 相等或大致相等。这样,能够求出与 $T_{c-\min}$ 相等或大致相等的第 2 温度 T_2 。

[0201] 如从以上的说明所理解的, T_1-T_2 与多个磁性粒子 104a 的顽磁力消失温度的分布的宽度 ΔT_c 相等或大致相等。因此, T_1-T_2 为 ΔT_c 。

[0202] 如前所述,在本实施方式中,将记录磁场施加至硬盘介质 100,使得施加至磁记录层 104 的既定位置的记录磁场的大小 H_z 为 $3kOe$ 以下。所述既定位置是与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的位置。在此,参照图 19,对在实际的硬盘装置中确定施加 $3kOe$ 以下的大小的记录磁场的磁记录层 104 的所述既定位置的方法进行说明。在该方法中,使用由照射至硬盘介质 100 的光(近场光)形成于硬盘介质 100 的表面的光的斑点的直径、和有效轨道宽度(以下,记为 MWW),确定所述既定位置。

[0203] 图 19 是用于说明确定所述既定位置的方法的说明图。在图 19 中,实线的椭圆表示由照射至硬盘介质 100 的光在硬盘介质 100 的表面上形成的光的斑点的形状。记号 PGC 表示该斑点的中心。另外,虚线的椭圆表示形成于磁记录层 104 的高温区域 HT。高温区域 HT 的形状与斑点的形状相似。另外,高温区域 HT 的中心位于斑点的中心 PGC 的正下方。此外,高温区域 HT 及斑点的形状不限于椭圆,也可以是圆或矩形。

[0204] 能够通过例如文献“T. Matsumoto et al ;OPTICS LETTERS, Vol. 31, No. 2, January 15, 2006, p. 259-261”所记载的方法识别形成于硬盘介质 100 的表面的斑点的形状。在该文献中,记载了观察由照射至相变记录介质的光形成于相变记录介质的记录层的记录标记的方法。在确定所述既定位置的方法中,使用该文献所记载的方法,识别斑点的形状。

[0205] 在确定所述既定位置的方法中,首先,在使滑块 10 与相变记录介质接触的状态下,对相变记录介质照射用于本实施方式的记录方法的光。相变记录介质的记录层由例如非晶态的 Ge_2Sb_2Te 形成。记录层中的照射光的部分从非晶相变为结晶物质。接着,将相变记录介质浸入碱性的蚀刻液,对记录层进行蚀刻。由此,记录层中的照射光的部分成为相对周围凹陷的状态。该凹陷的形状能够看作形成于硬盘介质 100 的表面的斑点的形状。因此,使用例如扫描型电子显微镜 (SEM) 来观察该凹陷,由此能够识别形成于硬盘介质 100 的表面的斑点的形状。

[0206] 从 PGC 的正下方的高温区域 HT 的中心至与高温区域 HT 的后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的距离 CE 与轨道方向(图 19 中的左右方向)上的高温区域 HT 的半径(在图 19 中为短半径)大致相等。另外,轨道宽度方向 TW(图 19 中的上下方向)上的高温区域 HT 的直径(在图 19 中为长径)与 MWW 大致相等。如上所述,高温区域 HT 的形状与斑点的形状相似。因此,由记号 W_1 表示轨道方向上的斑点的直径(短径),由记号 W_2 表示轨道宽度方向 TW 上的斑点的直径(长径)时,距离 CE 由下述式 (1) 表示。

$$[0207] \quad CE = MWW \times (W_1/W_2) / 2 \dots \dots (1)$$

[0208] 在磁记录层 104 中的所述既定位置是在斑点的移动方向 D_1 的反方向上与斑点的中心正下方位置相距以 $MWW \times (W_1/W_2) / 2$ 表示的距离 CE 的位置。斑点的中心 PGC 能够由磁头 1 的位置、具体而言等离子体激元产生器 42(光产生元件)的近场光产生边缘 42g 的位置确定。因此,所述既定位置能够由磁头 1 的位置和式 (1) 确定。

[0209] 此外, MWW 是轨道宽度方向 TW 上的再现波形的半值全宽。沿轨道宽度方向 TW 改

变磁头 1 的位置, 求出每个位置的再现输出, 由此能够生成轨道宽度方向 TW 上的再现波形。

[0210] 接着, 对关于本实施方式的记录方法的效果而确认的实验的结果进行说明。在实验中, 制作下述表 10 所示的构成的硬盘介质 100, 对该硬盘介质 100 记录线记录密度为 2500kFCI 的信号, 再现所记录的信号而求出硬盘介质 100 的 SNR。施加至磁记录层 104 的记录磁场的大小为 1kOe。

[0211] [表 10]

[0212]

	构成	厚度
保护层 106	类金刚石	3nm
盖层 105	CoFe 类非晶连续膜	3nm
磁记录层 104	CoB/Pd 多层膜	15nm
定向层 103	Ru	20nm
软磁性层 102	CoFe 合金	50nm
基板 101	玻璃基板	0.6mm

[0213] 在实验中, 制作磁记录层 104 中的 Pd 层的厚度不同的 2 个硬盘介质 100。这 2 个硬盘介质 100 的磁记录层 104 的 dHc/dT 分别是 70.20e/K、219.70e/K。另外, 在这 2 个硬盘介质 100 中, ΔTc 是 59.8K。在表 11 示出实验结果。

[0214] [表 11]

[0215]

ΔTc (K)	dHc/dT (Oe/K)	
		70.2
59.8	3.5dB	3.2dB

[0216] 从上述实验结果判明, 依据本实施方式, 能够实现高的线记录密度和高的信噪比。

[0217] [第 2 实施方式]

[0218] 接着, 参照图 20 至图 22, 对本发明的第 2 实施方式进行说明。图 20 是示出本实施方式中的磁头的主要部分的截面图。图 21 是示出本实施方式中的磁头的主要部分的正视图。图 22 是示出本实施方式中的磁头的截面图。

[0219] 本实施方式中的记录头 16 在以下方面与第 1 实施方式中的记录头 16 不同。本实施方式中的记录头 16 具备磁极 37、芯部 45、等离子体激元产生器 46 以及覆层 83、84, 以代替第 1 实施方式中的磁极 36、芯部 41、等离子体激元产生器 42 (加热元件 42) 以及覆层 78、79、80。另外, 在本实施方式中, 未设置第 1 实施方式中的连结层 34、35、冷却层 43 以及绝缘层 77、81。

[0220] 磁极 37 配置于轭层 33 上。如图 20 及图 21 所示, 磁极 37 具有配置于介质对置面

12a 的端面 37a。端面 37a 的形状例如为矩形。本实施方式中的记录头 16 还具备在轭层 33 及绝缘层 76 上配置于磁极 37 的周围的绝缘层 82。磁极 37 及绝缘层 82 的上表面平坦化。

[0221] 等离子体激元产生器 46 配置于磁极 37 上。覆层 83 以覆盖磁极 37、等离子体激元产生器 46 以及绝缘层 82 的方式配置。芯部 45 配置于覆层 83 上。覆层 84 在覆层 83 上配置于芯部 45 的周围。芯部 45 及覆层 83 的上表面平坦化。

[0222] 芯部 45 沿与介质对置面 12a 垂直的方向 (X 方向) 延伸。如图 20 至图 22 所示, 芯部 45 具有入射端 45a、配置于介质对置面 12a 的前端面 45b、上表面 45c、作为下表面的瞬逝光产生面 45d 以及 2 个侧面 45e、45f。瞬逝光产生面 45d 基于在芯部 45 传播的光而产生瞬逝光。芯部 45 传播从激光二极管 160 出射并入射至入射端 45a 的激光。

[0223] 等离子体激元产生器 46 在介质对置面 12a 的附近配置于芯部 45 的下方。等离子体激元产生器 46 具有包括以下所说明的多个部分的外表面以及配置于介质对置面 12a 的近场光产生边缘 46g。如图 20 所示, 等离子体激元产生器 46 的外表面包括相对于瞬逝光产生面 45d 而具有既定间隔地对置并沿与介质对置面 12a 垂直的方向延伸的传播边缘 46a。传播边缘 46a 传播等离子体激元。近场光产生边缘 46g 位于传播边缘 46a 的端部。

[0224] 如图 20 所示, 覆层 83 中的配置于瞬逝光产生面 45d 与传播边缘 46a 之间的部分构成具有比芯部 45 的折射率小的折射率的缓冲部 83A。

[0225] 如图 21 所示, 等离子体激元产生器 46 的外表面还包括第 1 斜面 46b 及第 2 斜面 46c, 分别连结至传播边缘 46a, 随着从传播边缘 46a 离开, 互相的距离变大。

[0226] 如图 20 及图 21 所示, 等离子体激元产生器 46 的外表面还包括将第 1 斜面 46b 和第 2 斜面 46c 的下端彼此连接的下表面 46d、配置于介质对置面 12a 的前端面 46e 以及其相反侧的后端面 46f。前端面 46e 的形状是三角形。下表面 46d 与磁极 37 的上表面相接。

[0227] 本实施方式中的其他构成、作用以及效果与第 1 实施方式相同。

[0228] [第 3 实施方式]

[0229] 接着, 参照图 25, 对本发明的第 3 实施方式进行说明。图 25 是示出本实施方式中的磁头的截面图。本实施方式中的头部 12 具备记录头 28, 以代替第 1 实施方式中的记录头 16。

[0230] 记录头 28 具备配置于绝缘层 27 上的旁轭层 51、以及在绝缘层 27 上配置于旁轭层 51 的周围的未图示的绝缘层。旁轭层 51 由软磁性材料形成。旁轭层 51 及未图示的绝缘层的上表面平坦化。

[0231] 记录头 28 还具备包括芯部 61 和包层的波导。包层具有覆层 85、86、87。覆层 85 配置于旁轭层 51 及未图示的绝缘层上。芯部 61 配置于覆层 85 上。覆层 86 在覆层 85 上配置于芯部 61 的周围。芯部 61 及覆层 86 的上表面平坦化。覆层 87 配置于芯部 61 及覆层 86 上。

[0232] 芯部 61 沿与介质对置面 12a 垂直的方向 (X 方向) 延伸。芯部 61 具有入射端 61a 及其相反侧的前端面。芯部 61 传播从激光二极管 160 出射并入射至入射端 61a 的激光。

[0233] 记录头 28 还具备: 在介质对置面 12a 的附近配置于芯部 61 的上方的等离子体激元产生器 62、以及配置于将等离子体激元产生器 62 夹在其与芯部 61 之间的位置的磁极 52。此外, 后续对芯部 61、等离子体激元产生器 62 以及磁极 52 的形状及配置详细地进行说明。

[0234] 记录头 28 还在从介质对置面 12a 离开的位置处具备埋入覆层 85、86、87 的 2 个连结部 53A、53B。连结部 53A、53B 由软磁性材料形成。连结部 53A、53B 在芯部 61 的轨道宽度方向 TW 的两侧相对于芯部 61 隔开间隔而配置。连结部 53A、53B 的下表面与旁轭层 51 的上表面相接。

[0235] 记录头 28 还具备埋入覆层 87 的连结层 54。连结层 54 由软磁性材料形成。连结层 54 配置于连结部 53A、53B 的上方的位置。连结层 54 的下表面与连结部 53A、53B 的上表面相接。

[0236] 记录头 28 还具备配置于磁极 52 和连结层 54 的周围的绝缘层 88、配置于该绝缘层 88 上的绝缘层 89、配置于该绝缘层 89 上的线圈 60 以及覆盖线圈 60 的绝缘层 90。线圈 60 具有以连结层 54 为中心而卷绕的平面漩涡形状。线圈 60 产生与记录于硬盘介质 100 的信息对应的磁场。线圈 60 由铜等导电材料形成。

[0237] 记录头 28 还具备轭层 55。轭层 55 配置于磁极 52、绝缘层 90 以及连结层 54 上，在介质对置面 12a 附近与磁极 52 的上表面相接，在从介质对置面 12a 离开的位置处与连结层 54 的上表面相接。轭层 55 由软磁性材料形成。

[0238] 在记录头 28 中，旁轭层 51、连结部 53A、53B、连结层 54、轭层 55 以及磁极 52 构成使与由线圈 60 产生的磁场相对应的磁通通过的磁路。磁极 52 具有配置于介质对置面 12a 的端面，使与由线圈 60 产生的磁场相对应的磁通通过，并且产生记录磁场。

[0239] 接着，参照图 23 及图 24，对芯部 61、等离子体激元产生器 62 以及磁极 52 的形状及配置详细地进行说明。图 23 是示出本实施方式中的磁头的主要部分的截面图。图 24 是示出本实施方式中的磁头的主要部分的正视图。

[0240] 除了图 25 所示的入射端 61a 以外，如图 23 及图 24 所示，芯部 61 具有配置于介质对置面 12a 的前端面 61b、作为上表面的瞬逝光产生面 61c、下表面 61d 以及 2 个侧面 61e、61f。瞬逝光产生面 61c 基于在芯部 61 传播的光产生瞬逝光。

[0241] 等离子体激元产生器 62 具有包括以下所说明的多个部分的外表面、以及配置于介质对置面 12a 的近场光产生边缘 62g。如图 23 所示，等离子体激元产生器 62 的外表面包括相对于瞬逝光产生面 61c 而具有既定间隔地对置并沿与介质对置面 12a 垂直的方向延伸的传播边缘 62a。传播边缘 62a 传播等离子体激元。近场光产生边缘 62g 位于传播边缘 62a 的端部。

[0242] 如图 23 所示，覆层 87 中的配置于瞬逝光产生面 61c 与传播边缘 62a 之间的部分构成具有比芯部 61 的折射率小的折射率的缓冲部 87A。

[0243] 如图 24 所示，等离子体激元产生器 62 的外表面还包括第 1 侧面 62b 及第 2 侧面 62c，分别连结至传播边缘 62a，随着从传播边缘 62a 离开，互相的距离变大。

[0244] 如图 23 及图 24 所示，等离子体激元产生器 62 的外表面还包括配置于介质对置面 12a 的前端面 62e。前端面 62e 的下端位于传播边缘 62a 的端部。该下端形成近场光产生边缘 62g。

[0245] 等离子体激元产生器 62 具有包括 V 字形状部分的第 1 部分 621。V 字形状部分沿与介质对置面 12a 垂直的方向 (X 方向) 延伸。V 字形状部分的与介质对置面 12a 平行的截面的形状是 V 字形状。V 字形状部分的下端部构成传播边缘 62a。等离子体激元产生器 62 还在从介质对置面 12a 离开的位置处具有容纳于 V 字形状部分的第 2 部分 622。

[0246] 磁极 52 的一部分容纳于由等离子体激元产生器 62 的第 1 部分 621 的 V 字形部分形成的空间内。磁极 52 具有配置于介质对置面 12a 的端面 52a。

[0247] 在本实施方式中,与第 1 实施方式不同,磁极 52 相对于作为加热元件及光产生元件的等离子体激元产生器 62 而配置于高温区域 HT 的移动方向 D1 的后方(后端侧)。因此,在本实施方式中,第 1 邻接区域 R1 的任意的任意位置处的记录磁场的大小 Hz、为第 1 邻接区域 R1 与第 2 邻接区域 R2 的边界位置处的记录磁场的大小 Hz 以下。因此,在本实施方式中,如果第 1 邻接区域 R1 与第 2 邻接区域 R2 的边界位置处的记录磁场的大小 Hz 为 3kOe 以下,则施加至与后端 HTE 邻接的至少 1 个磁性粒子 104a 的记录磁场的大小 Hz 为 3kOe 以下。

[0248] 本实施方式中的其他构成、作用以及效果与第 1 实施方式相同。

[0249] [第 4 实施方式]

[0250] 接着,参照图 26 至图 28,对本发明的第 4 实施方式进行说明。图 26 是示出本实施方式中的磁头的主要部分的截面图。图 27 是示出本实施方式中的磁头的主要部分的正视图。图 28 是示出本实施方式中的磁头的截面图。

[0251] 本实施方式中的记录头 28 在以下方面与第 3 实施方式中的记录头 28 不同。本实施方式中的记录头 28 具备磁极 56、芯部 65、等离子体激元产生器 66、覆层 91、92、93 以及绝缘层 94,以代替第 3 实施方式中的磁极 52、芯部 61、等离子体激元产生器 62、覆层 85、86、87 以及绝缘层 88。

[0252] 等离子体激元产生器 66 配置于旁轭层 51 上。覆层 91 配置为覆盖旁轭层 51、等离子体激元产生器 66 以及配置于旁轭层 51 的周围的未图示的绝缘层。

[0253] 磁极 56 和芯部 65 均配置于覆层 91 上。覆层 92 在覆层 91 上配置于磁极 56 及芯部 65 的周围。磁极 56、芯部 65 以及覆层 92 的上表面平坦化。如图 26 及图 27 所示,磁极 56 具有配置于介质对置面 12a 的端面 56a 及其相反侧的后端面。端面 56a 的形状例如为矩形。

[0254] 芯部 65 沿与介质对置面 12a 垂直的方向(X 方向)延伸。如图 26 至图 28 所示,芯部 65 具有入射端 65a、更接近介质对置面 12a 的前端面 65b、上表面 65c、作为下表面的瞬逝光产生面 65d 以及 2 个侧面(未图示)。瞬逝光产生面 65d 基于在芯部 65 传播的光产生瞬逝光。芯部 65 的前端面 65b 与磁极 56 的后端面相接。芯部 65 传播从激光二极管 160 出射并入射至入射端 65a 的激光。

[0255] 等离子体激元产生器 66 在介质对置面 12a 的附近配置于磁极 56 及芯部 65 的下方。等离子体激元产生器 66 具有包括以下所说明的多个部分的外表面以及配置于介质对置面 12a 的近场光产生边缘 66g。如图 26 所示,等离子体激元产生器 66 的外表面包括相对于瞬逝光产生面 65d 具有既定间隔地对置并沿与介质对置面 12a 垂直的方向延伸的传播边缘 66a。传播边缘 66a 传播等离子体激元。近场光产生边缘 66g 位于传播边缘 66a 的端部。

[0256] 如图 26 所示,覆层 91 中的配置于瞬逝光产生面 65d 与传播边缘 66a 之间的部分构成具有比芯部 65 的折射率小的折射率的缓冲部 91A。

[0257] 如图 27 所示,等离子体激元产生器 66 的外表面还包括第 1 斜面 66b 及第 2 斜面 66c,分别连结至传播边缘 66a,随着从传播边缘 66a 离开互相的距离变大。

[0258] 如图 26 及图 27 所示,等离子体激元产生器 66 的外表面还包括将第 1 斜面 66b 与第 2 斜面 66c 的下端彼此连接的下表面 66d、配置于介质对置面 12a 的前端面 66e 以及其相反侧的后端面 66f。前端面 66e 的形状是三角形。前端面 66e 的顶点之一位于传播边缘 66a 的端部。该顶点形成近场光产生边缘 66g。下表面 66d 与旁轭层 51 的上表面相接。

[0259] 本实施方式中的记录头 28 还具备配置于磁极 56 上的连结层 57。连结层 57 由软磁性材料形成。连结层 57 具有配置于介质对置面 12a 的端面。覆层 93 在芯部 65 及覆层 92 上配置于连结层 57 的周围。连结层 57 及覆层 93 的上表面平坦化。

[0260] 本实施方式中的记录头 28 还具备配置于连结层 57 及覆层 93 上的连结层 58。连结层 58 由软磁性材料形成。连结层 58 具有配置于介质对置面 12a 的端面。绝缘层 94 在覆层 93 上配置于连结层 58 的周围。连结层 58 及绝缘层 94 的上表面平坦化。轭层 55 在介质对置面 12a 的附近与连结层 58 的上表面相接。

[0261] 在本实施方式中,连结部 53A、53B 埋入覆层 91、92、93。另外,连结层 54 埋入绝缘层 94。

[0262] 在本实施方式中的记录头 28 中,旁轭层 51、连结部 53A、53B、连结层 54、轭层 55、连结层 58、57 以及磁极 56 构成使与由线圈 60 产生的磁场相对应的磁通通过的磁路。磁极 56 具有配置于介质对置面 12a 的端面,使与由线圈 60 产生的磁场相对应的磁通通过,并且产生记录磁场。

[0263] 本实施方式中的其他构成、作用以及效果与第 3 实施方式相同。

[0264] 此外,本发明不限于上述各实施方式,能够进行各种变更。例如,磁头的构成不限于上述各实施方式所示,只要满足权利要求范围所规定的必要条件即可。

[0265] 显然,能够基于以上的说明而实施本发明的各种方式或变形例。所以,在以下的权利要求的均等的范围内,也能够以除了上述的最佳方式以外的方式实施本发明。

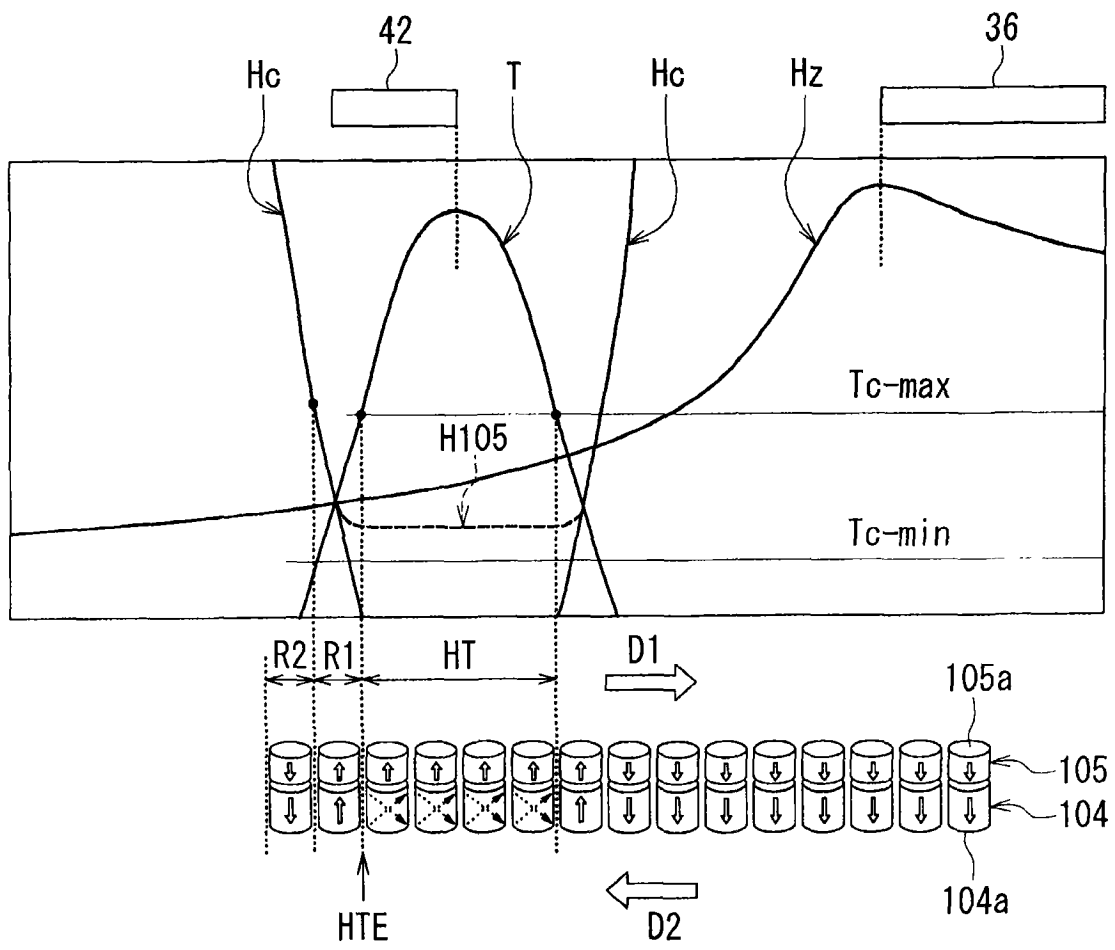


图 1

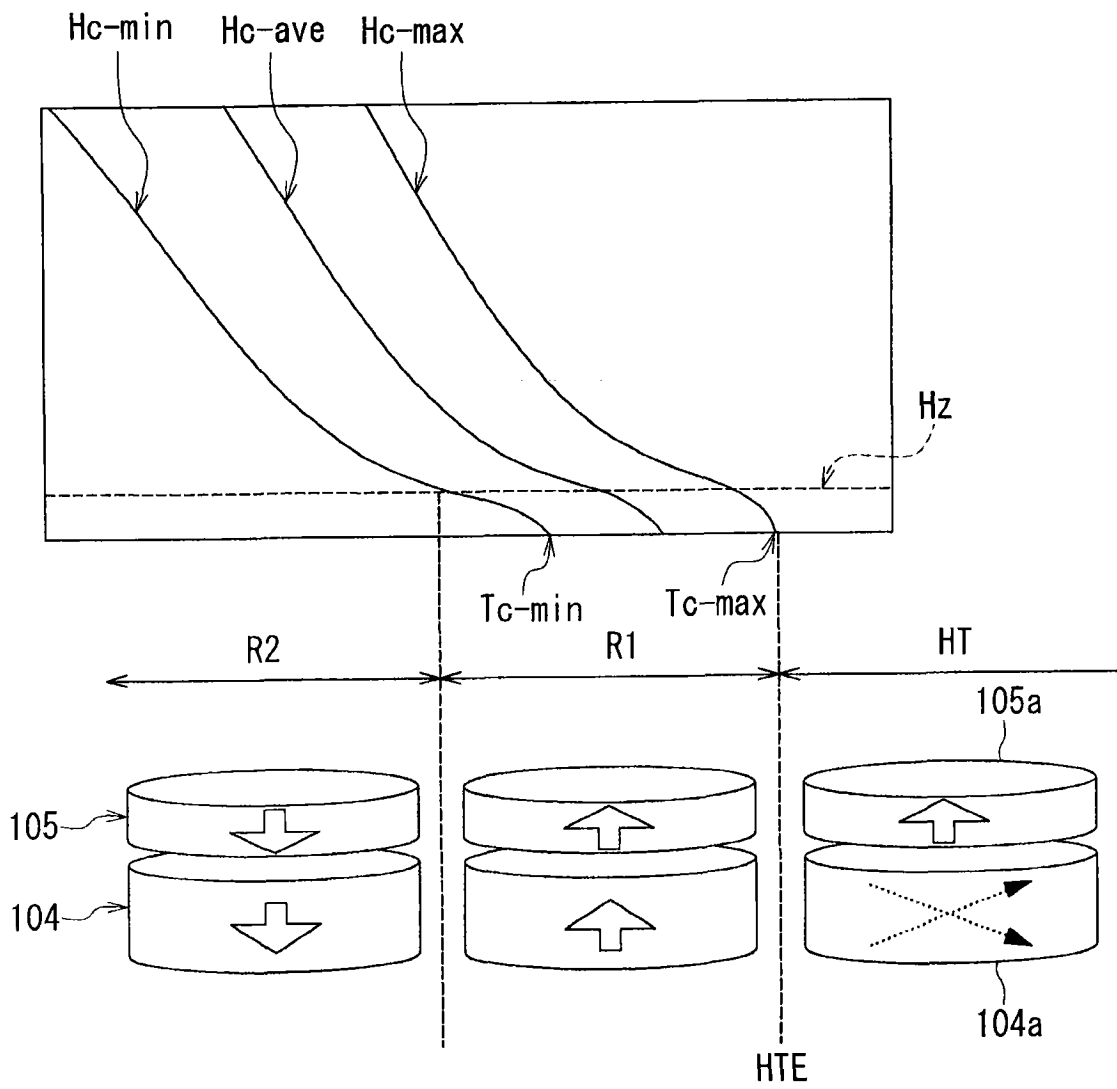


图 2

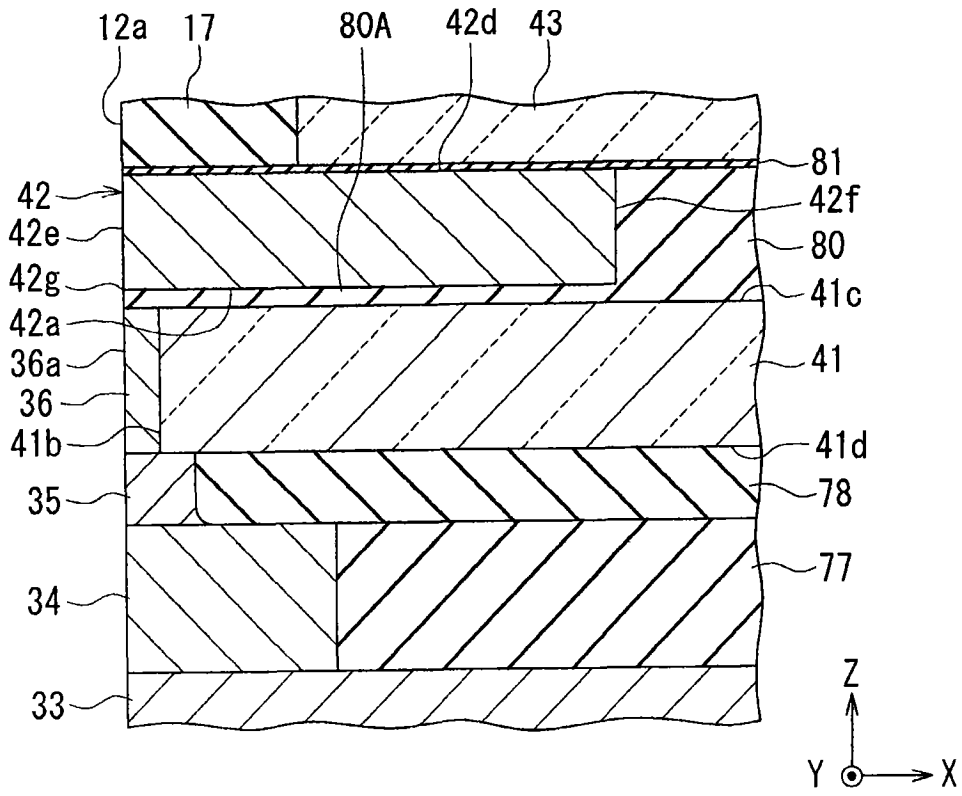


图 3

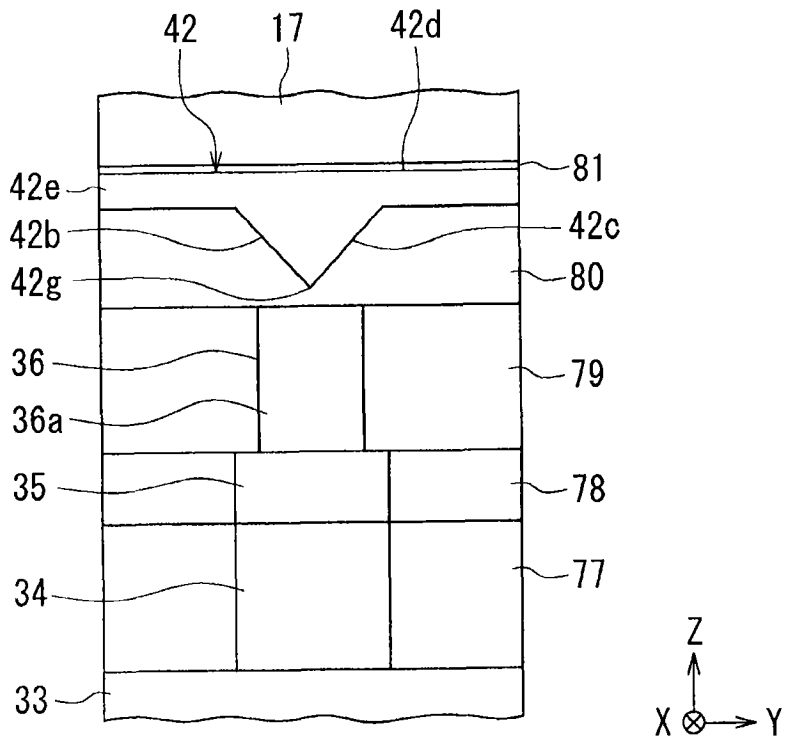


图 4

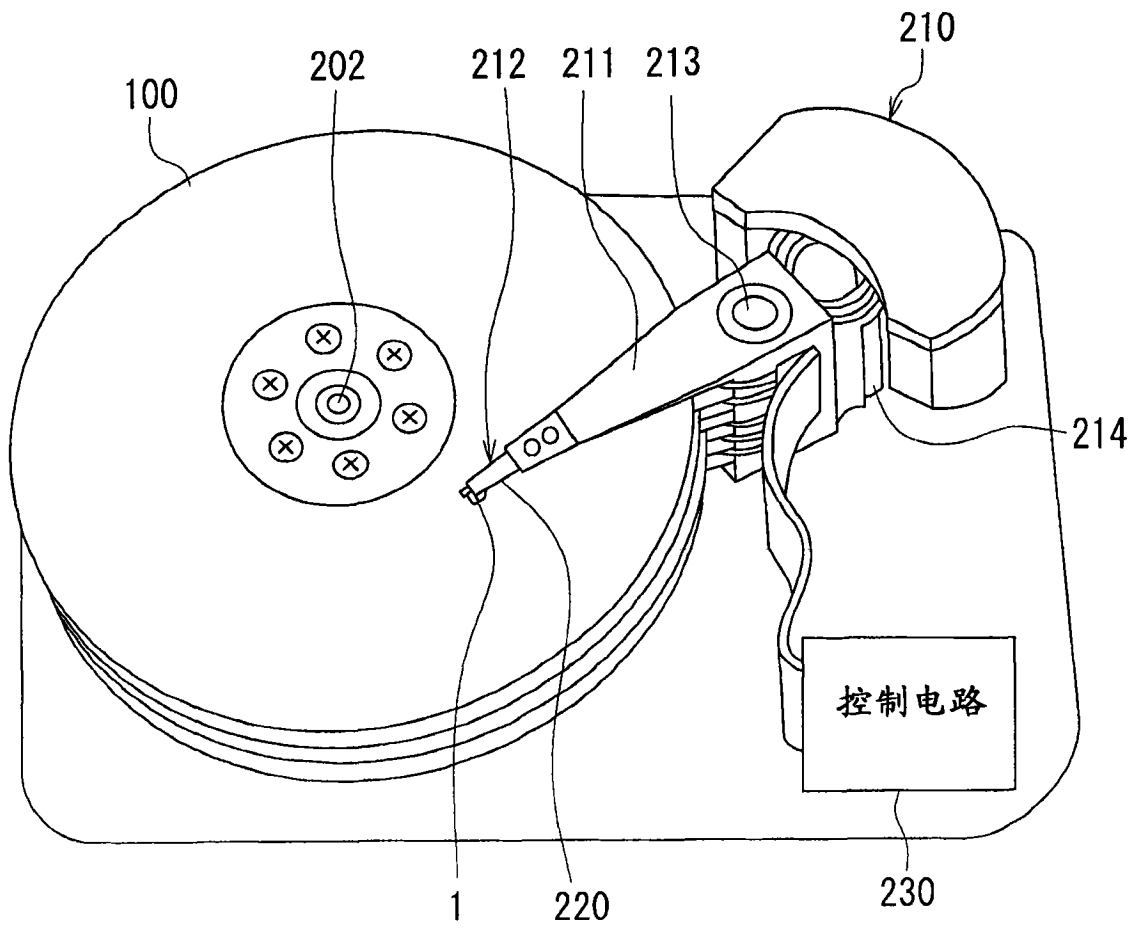


图 5

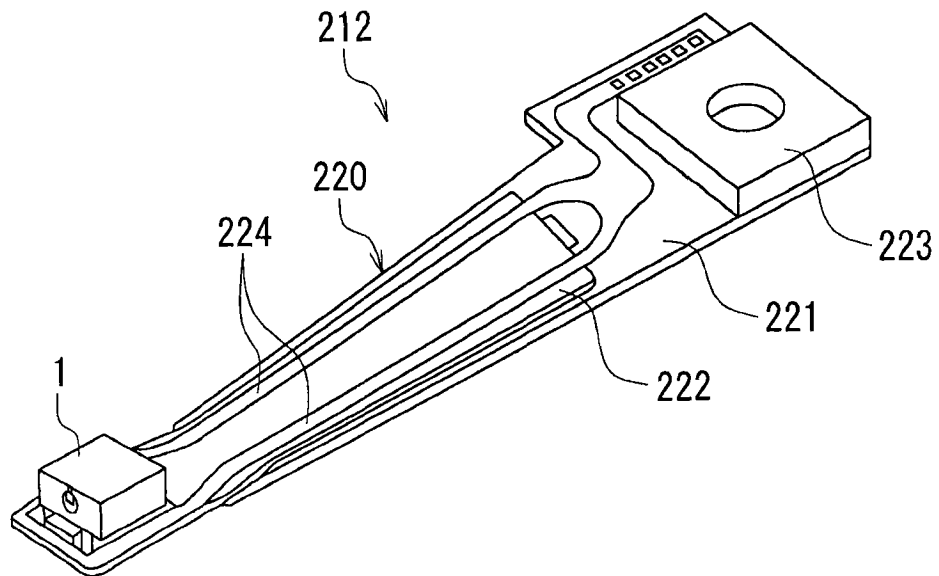


图 6

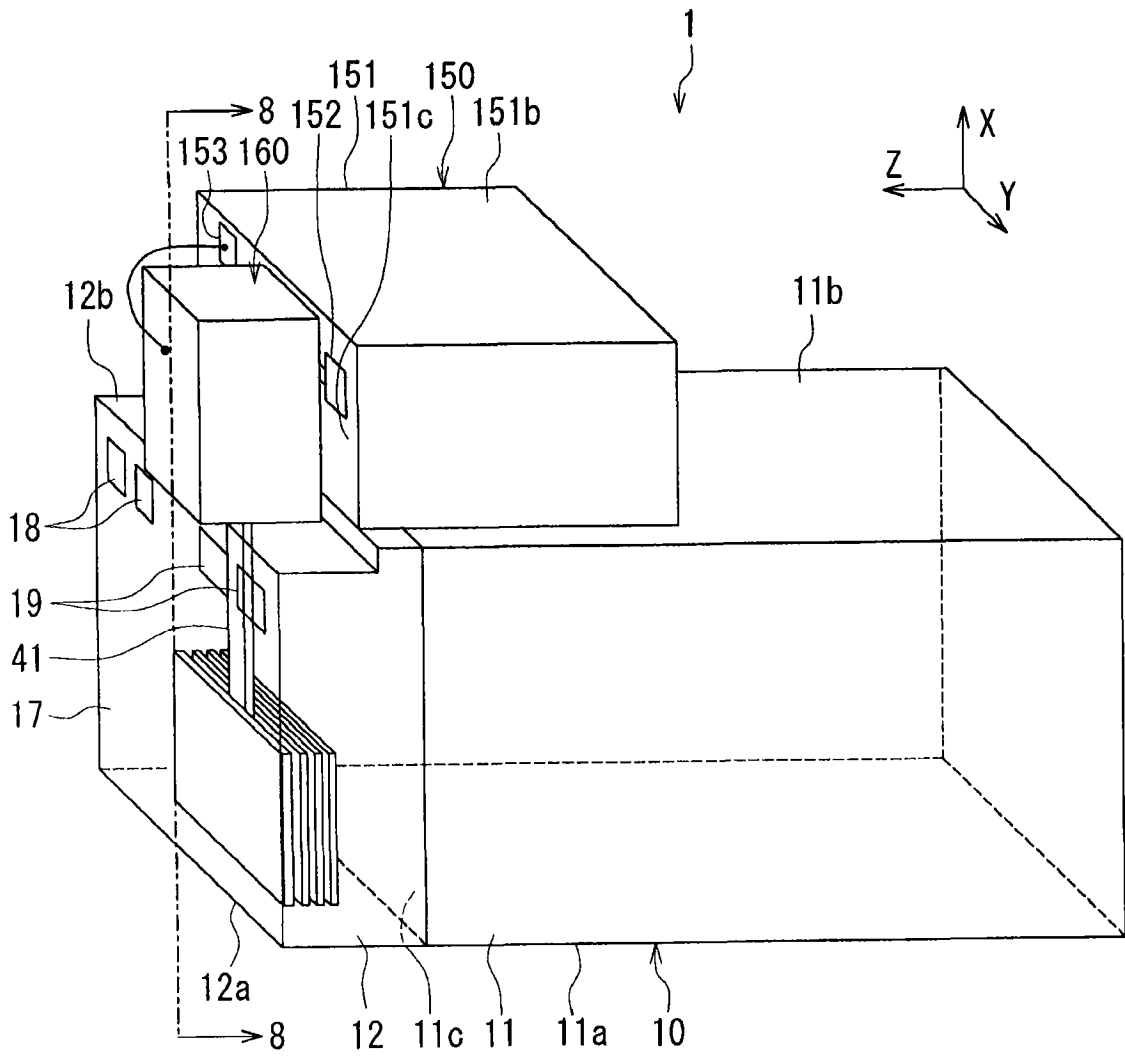


图 7

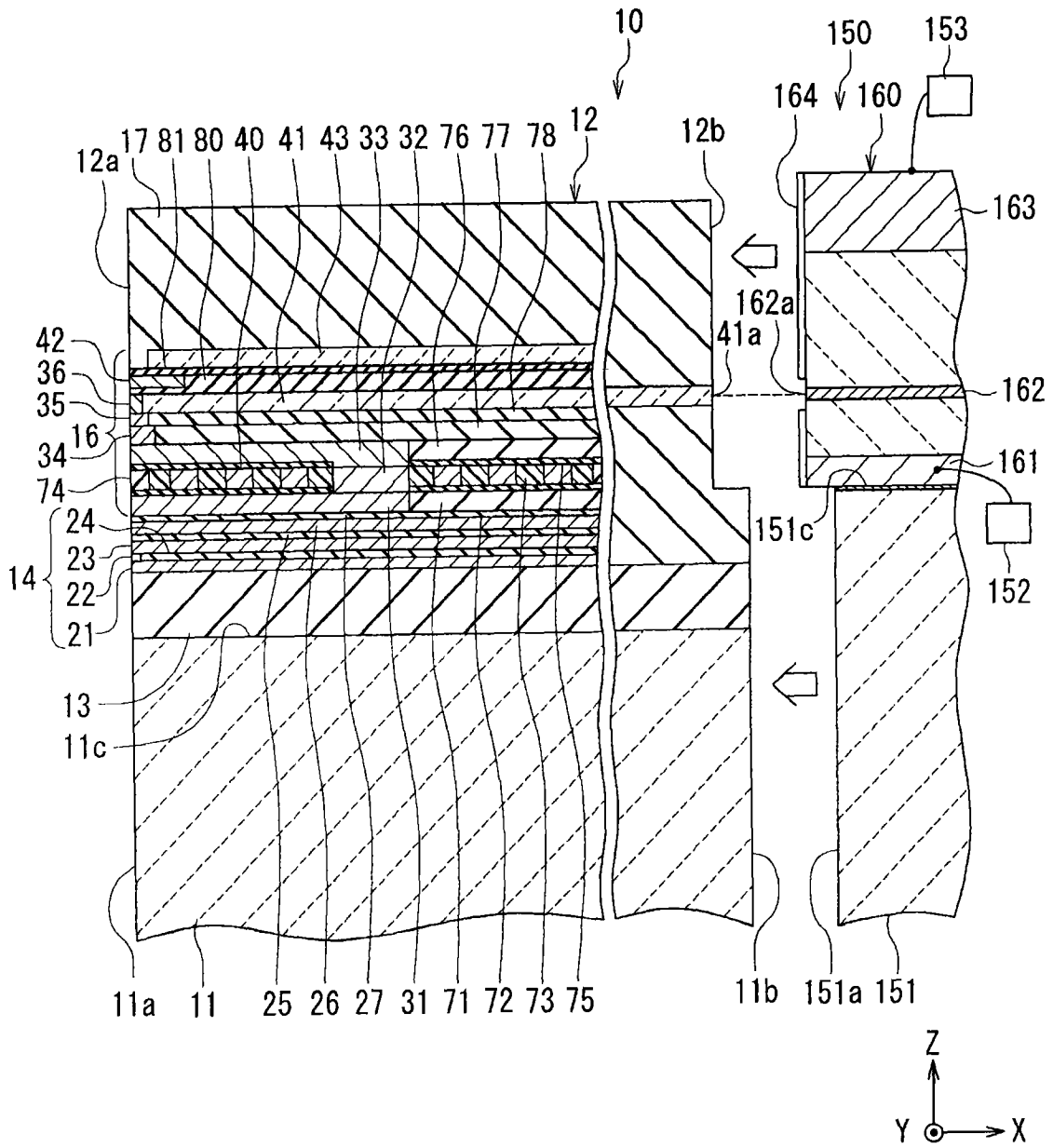


图 8

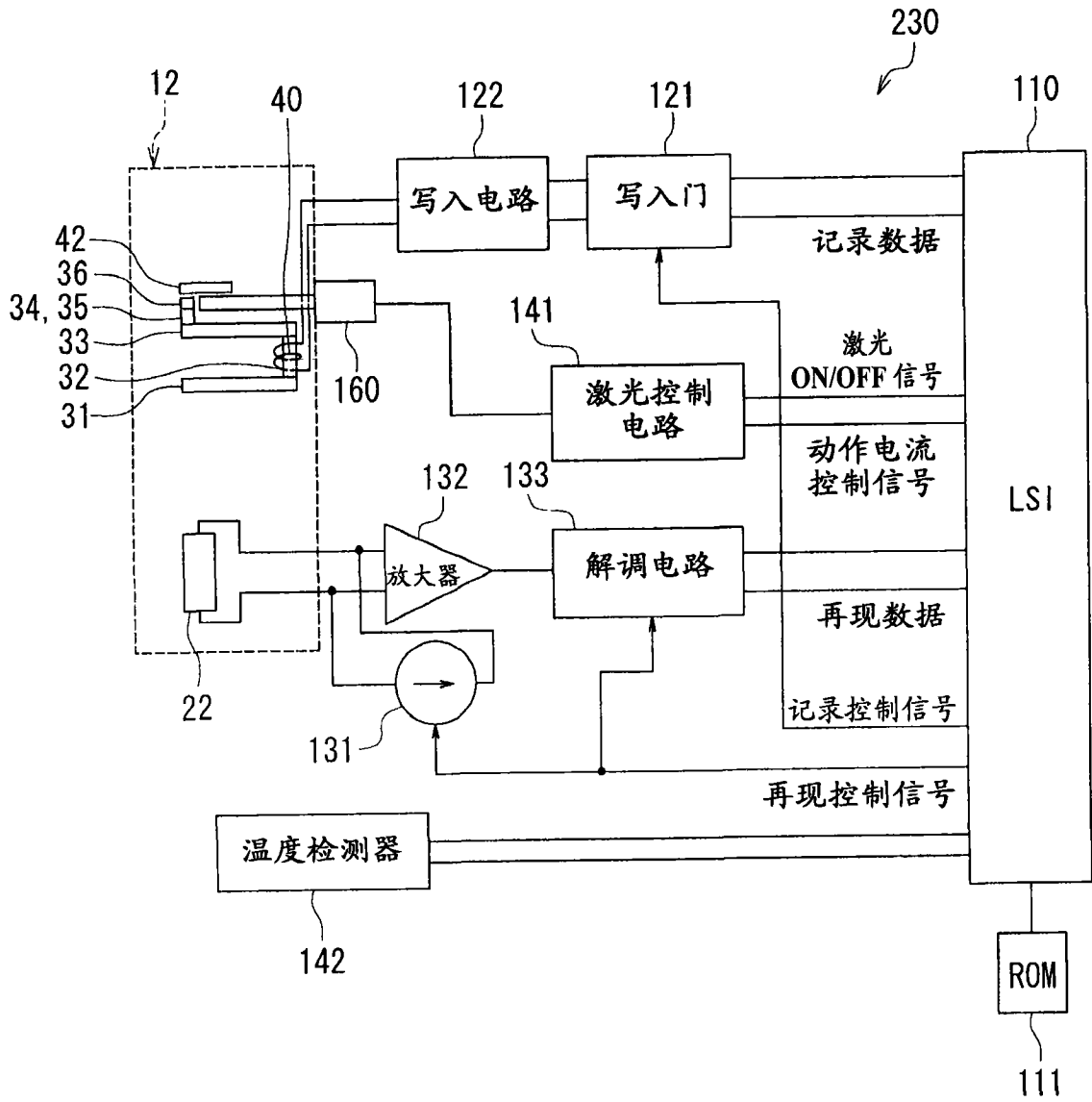


图 9

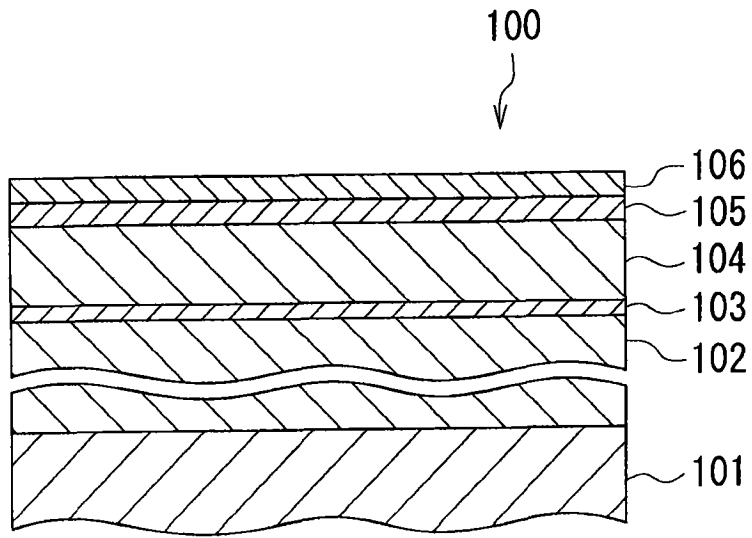


图 10

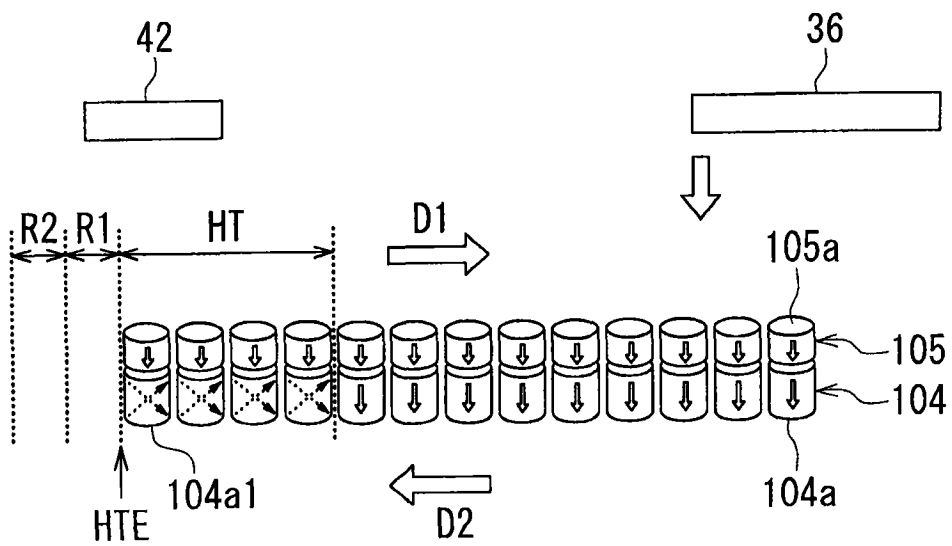


图 11

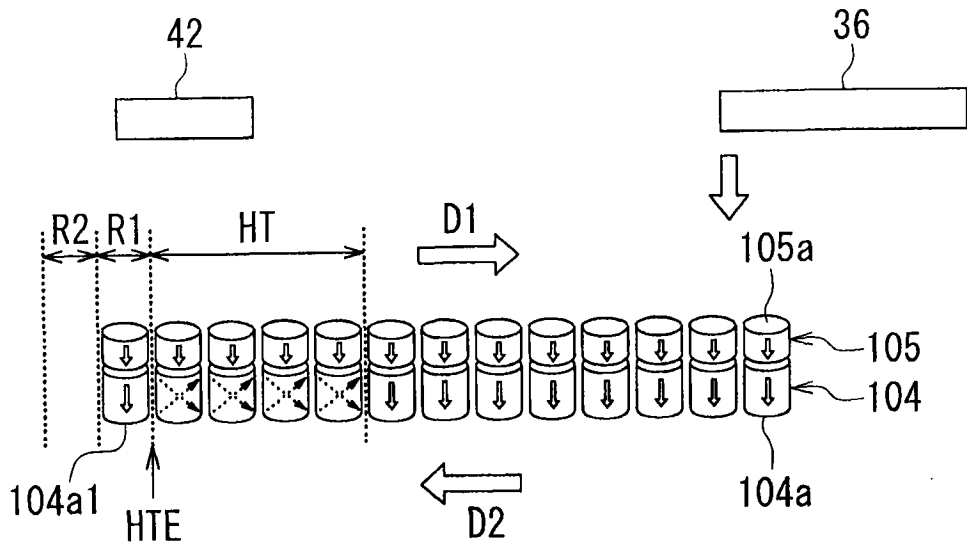


图 12

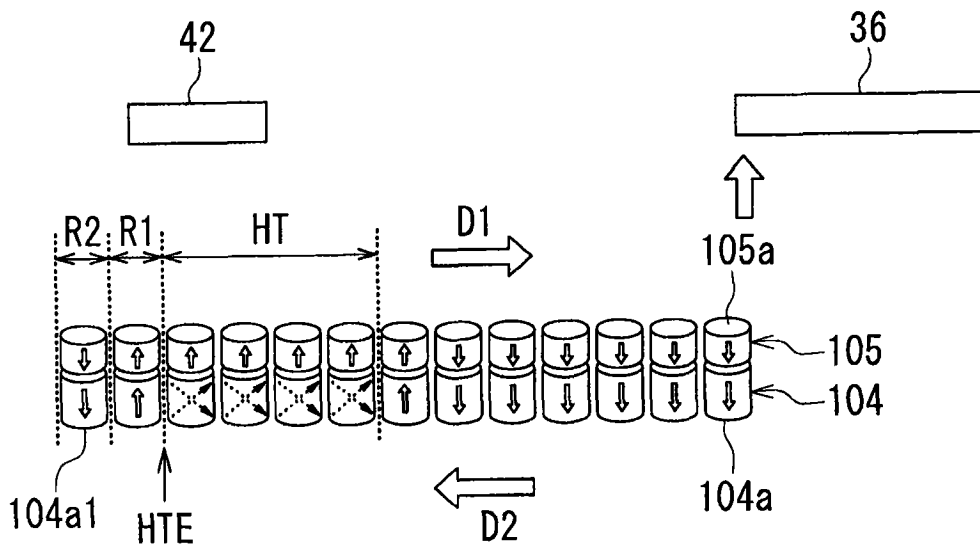


图 13

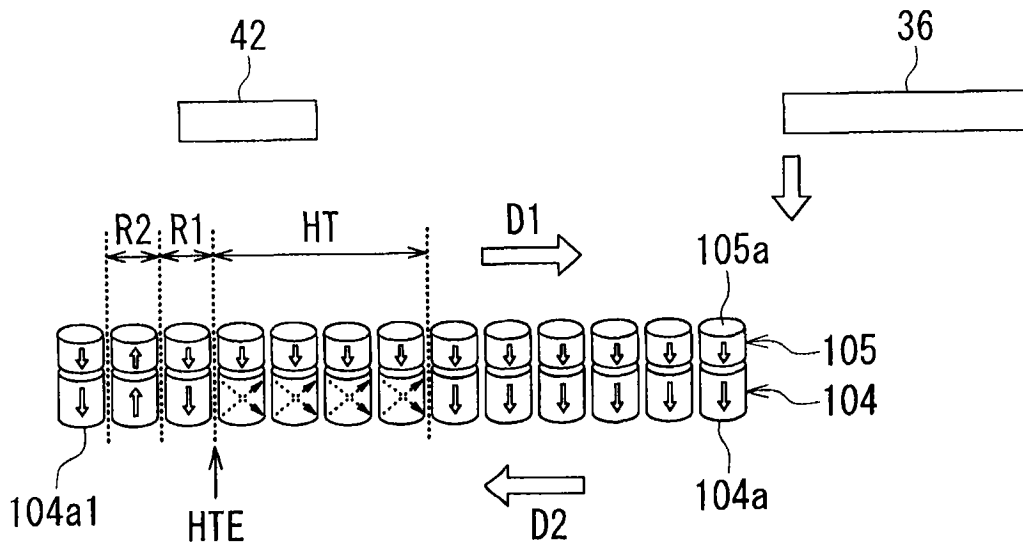


图 14

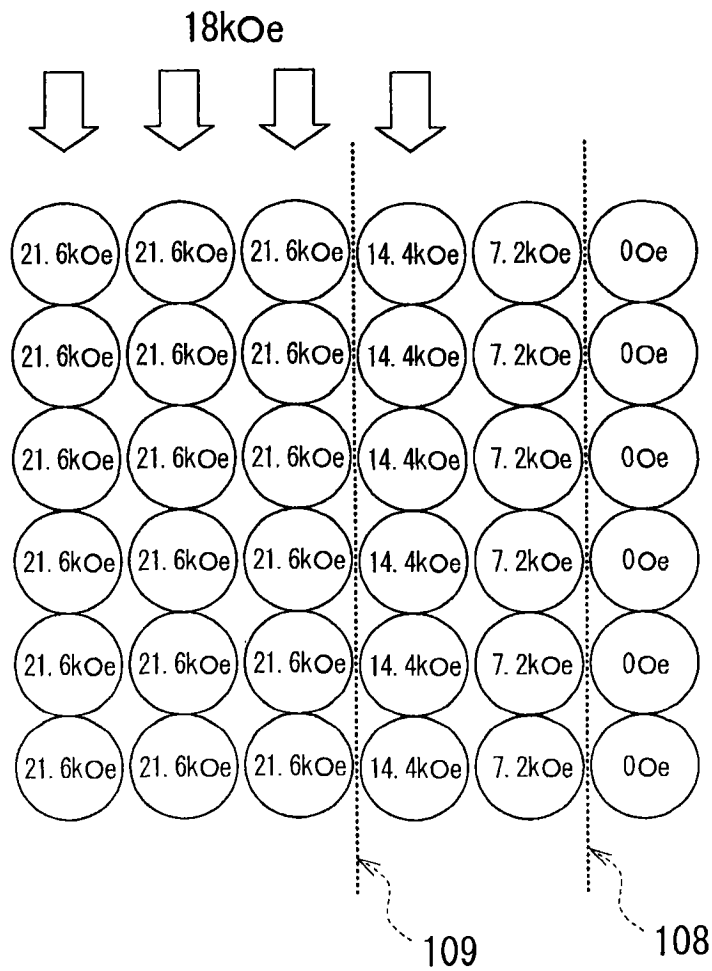


图 15

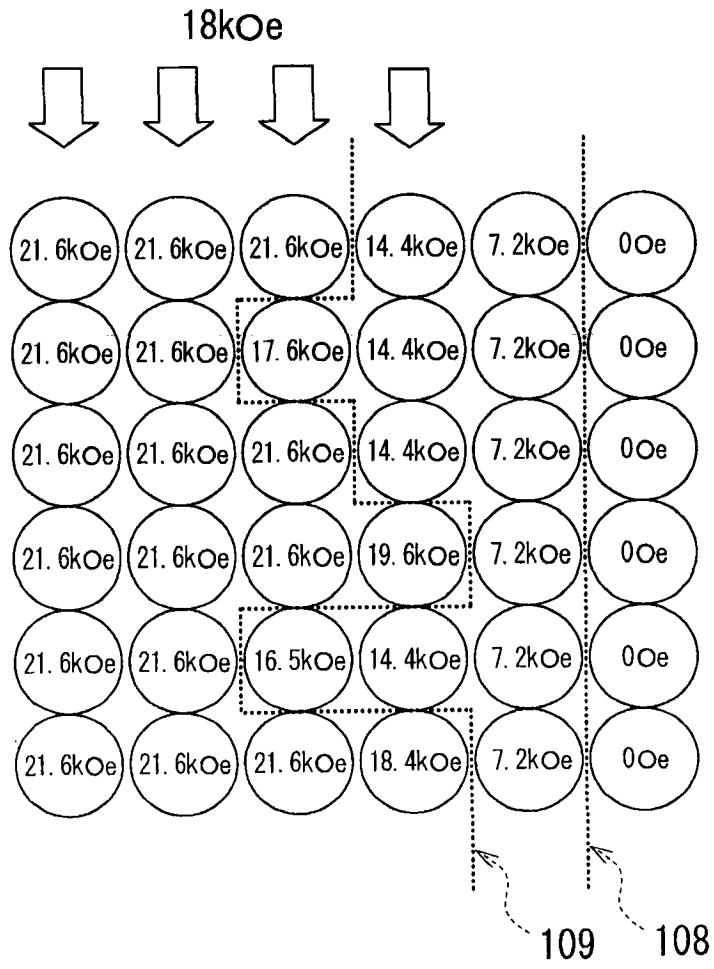


图 16

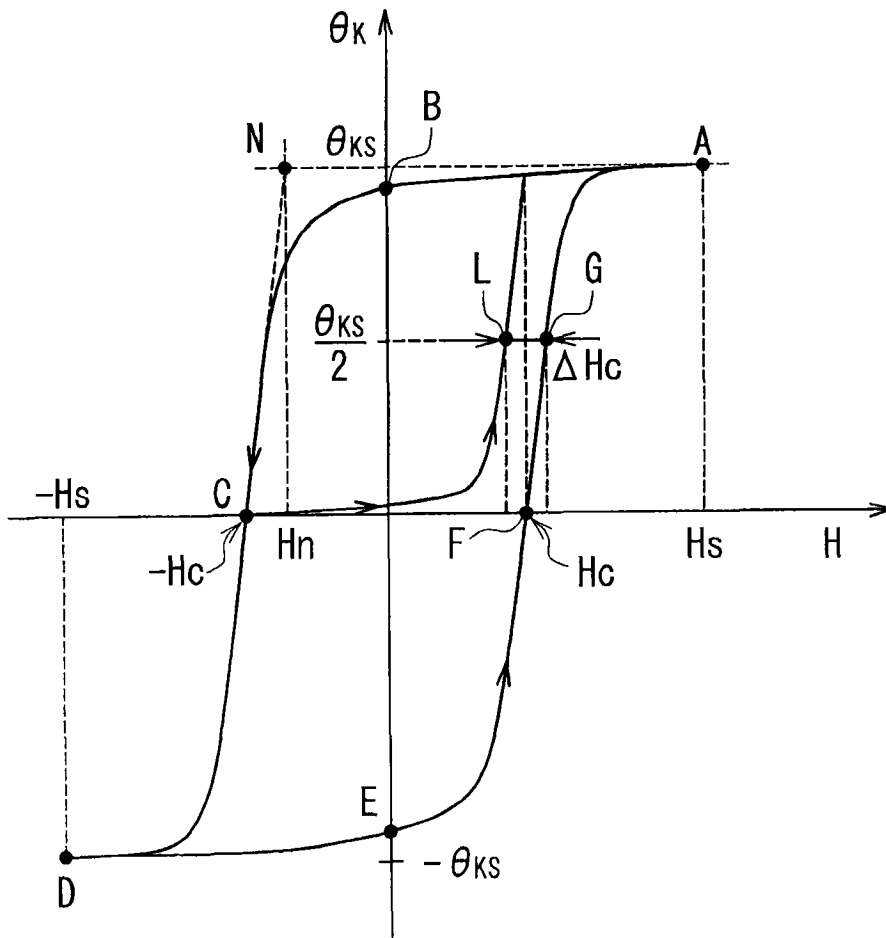


图 17

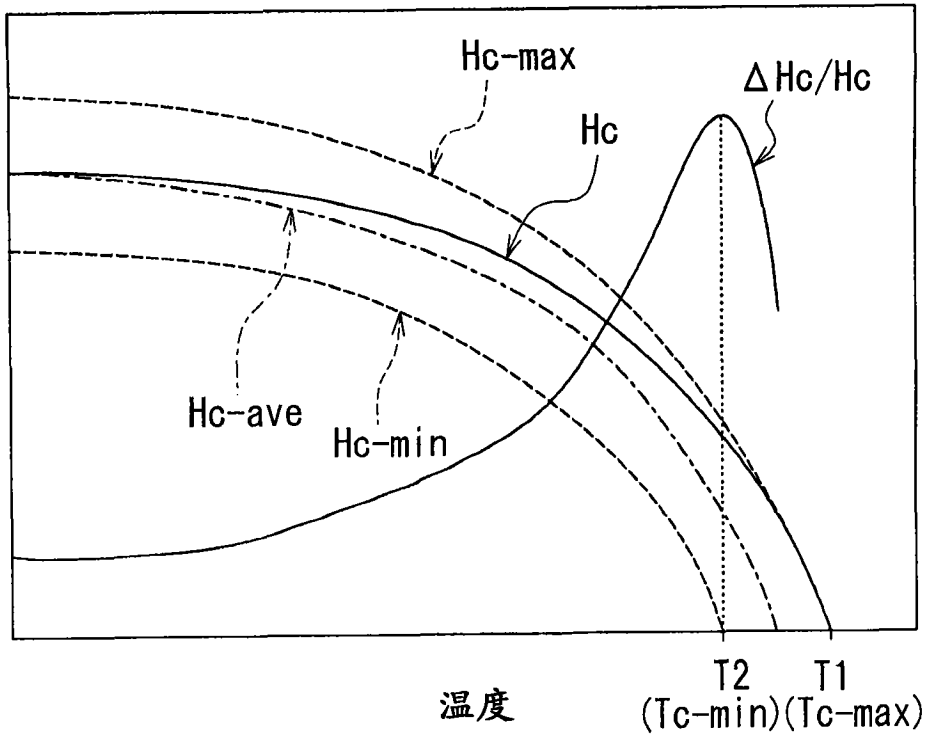


图 18

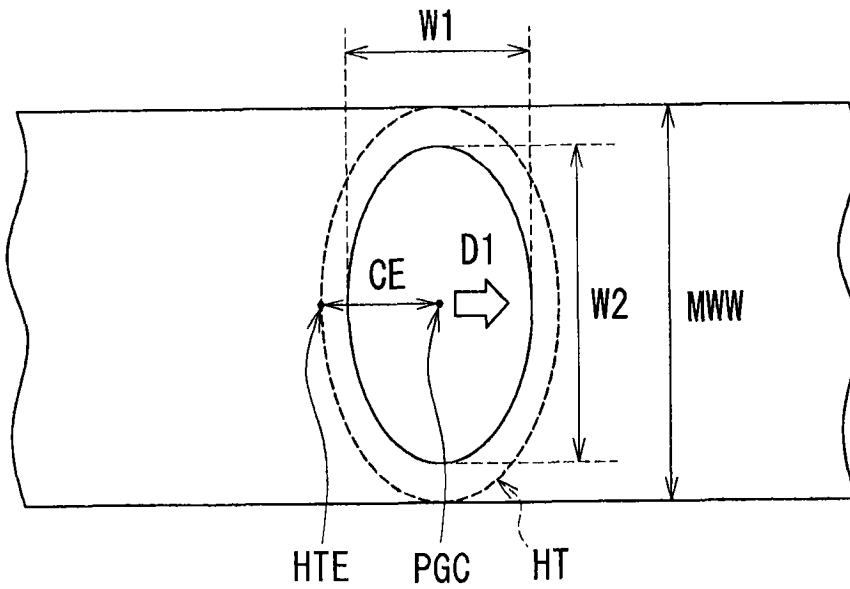


图 19

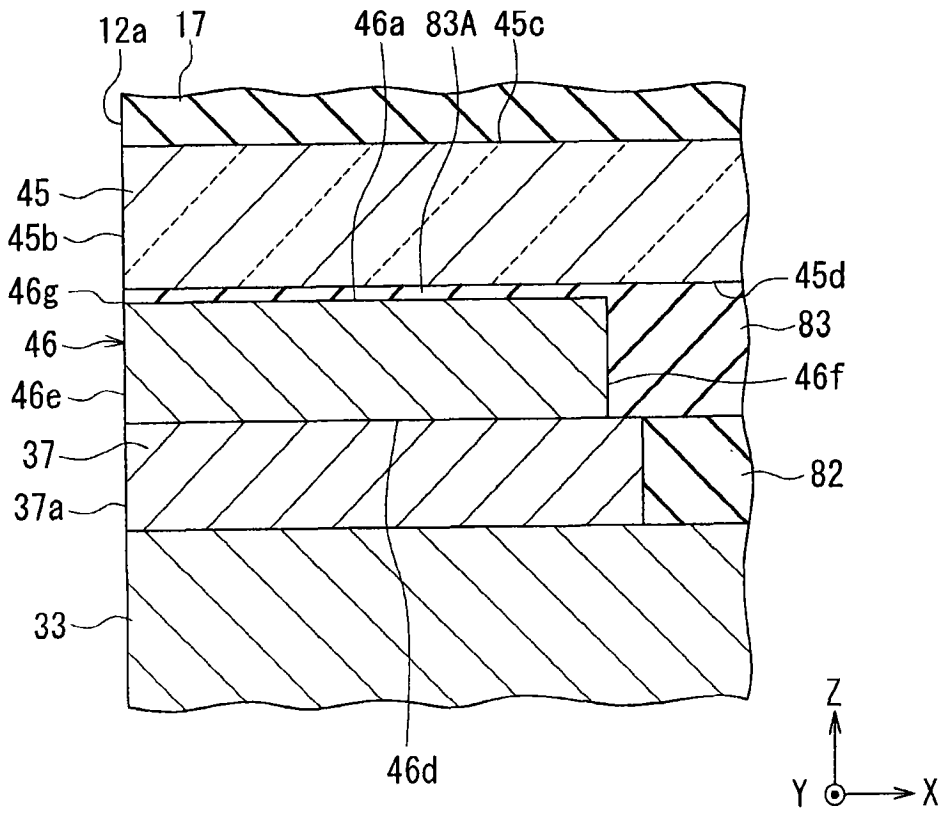


图 20

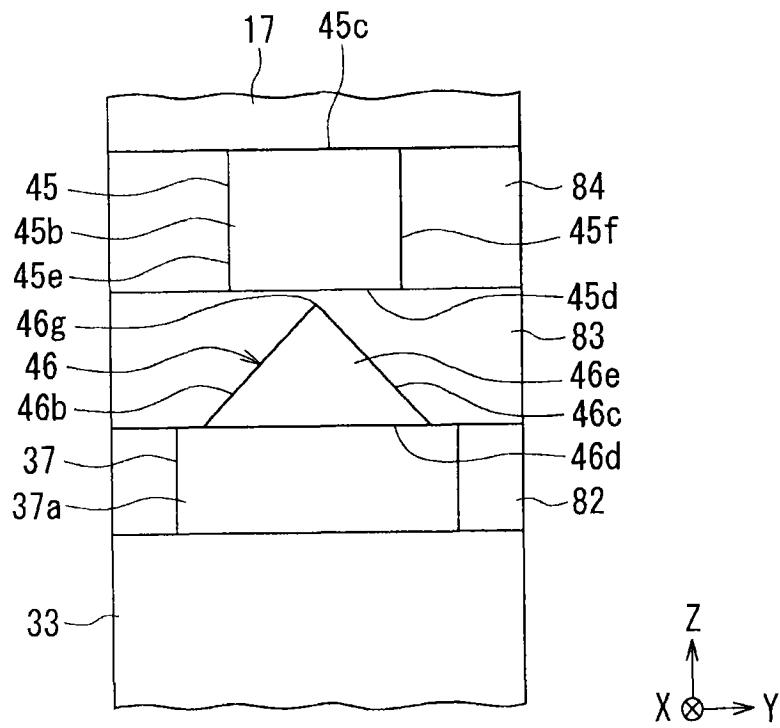


图 21

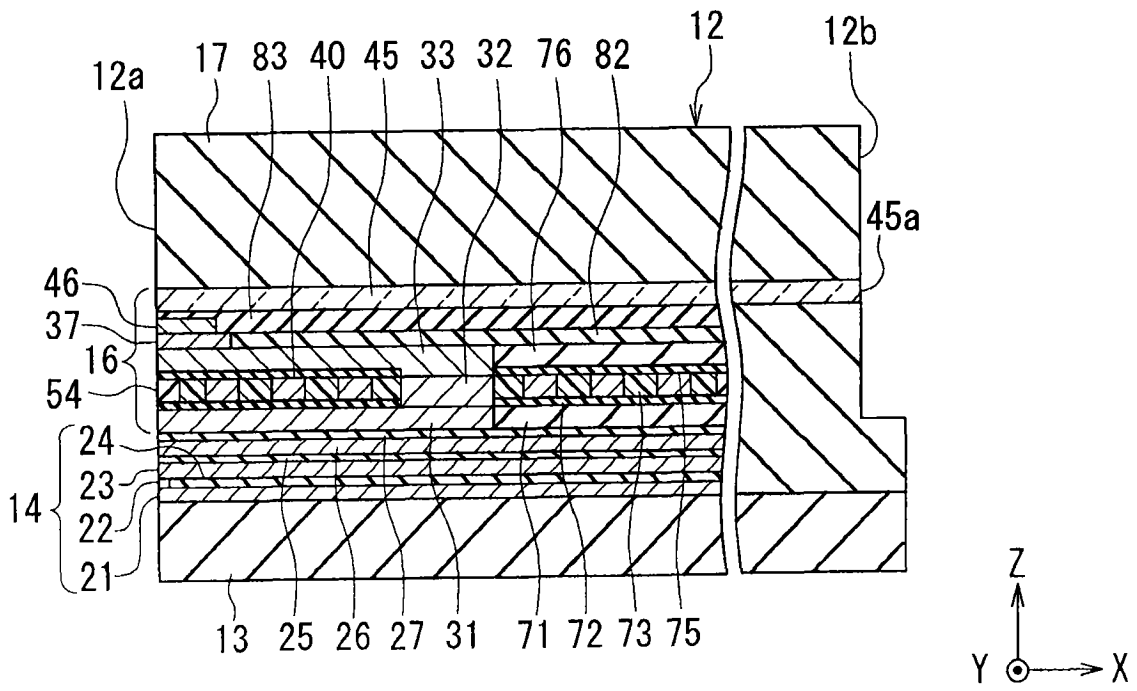


图 22

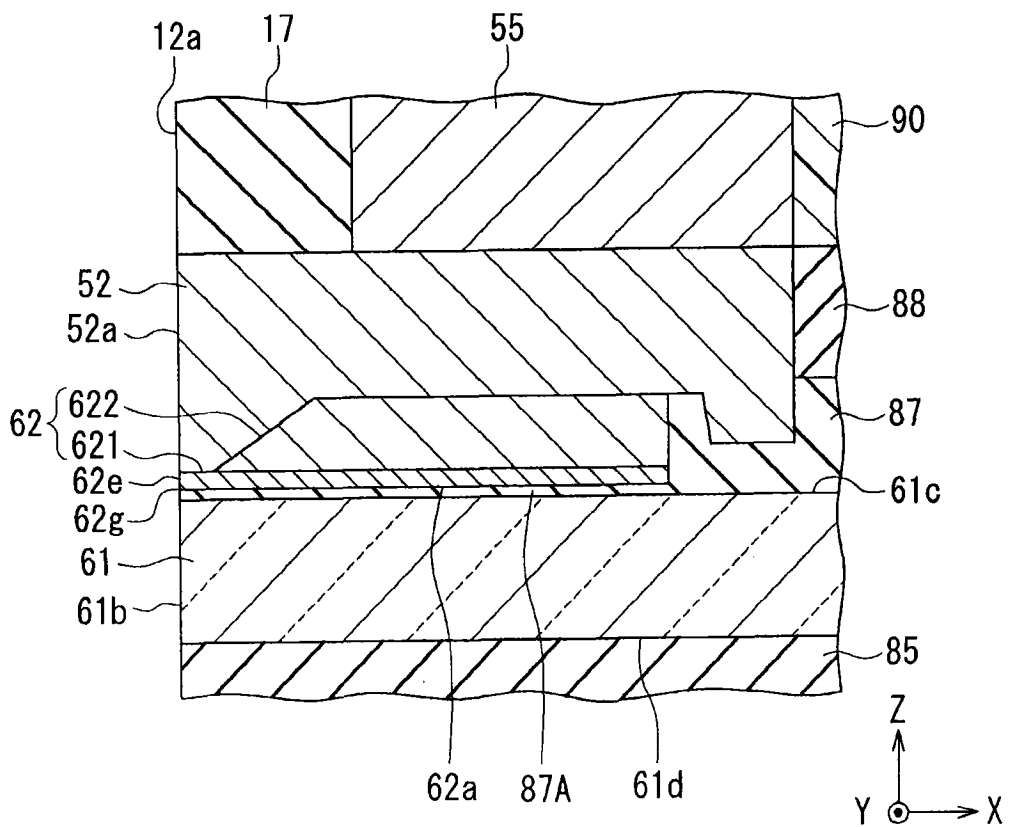


图 23

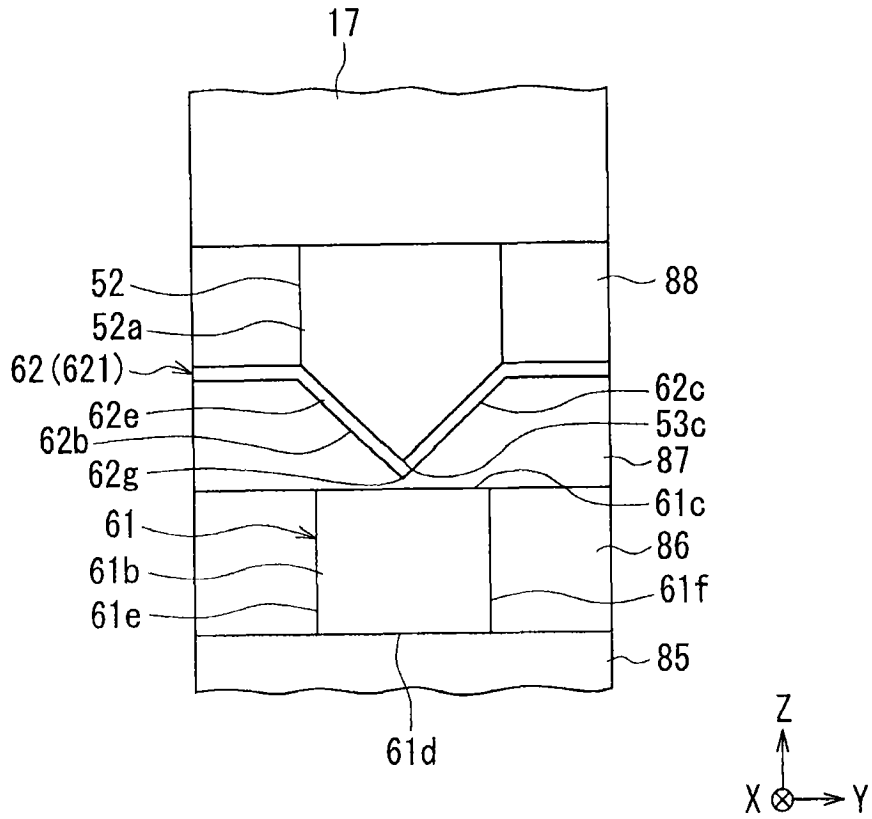


图 24

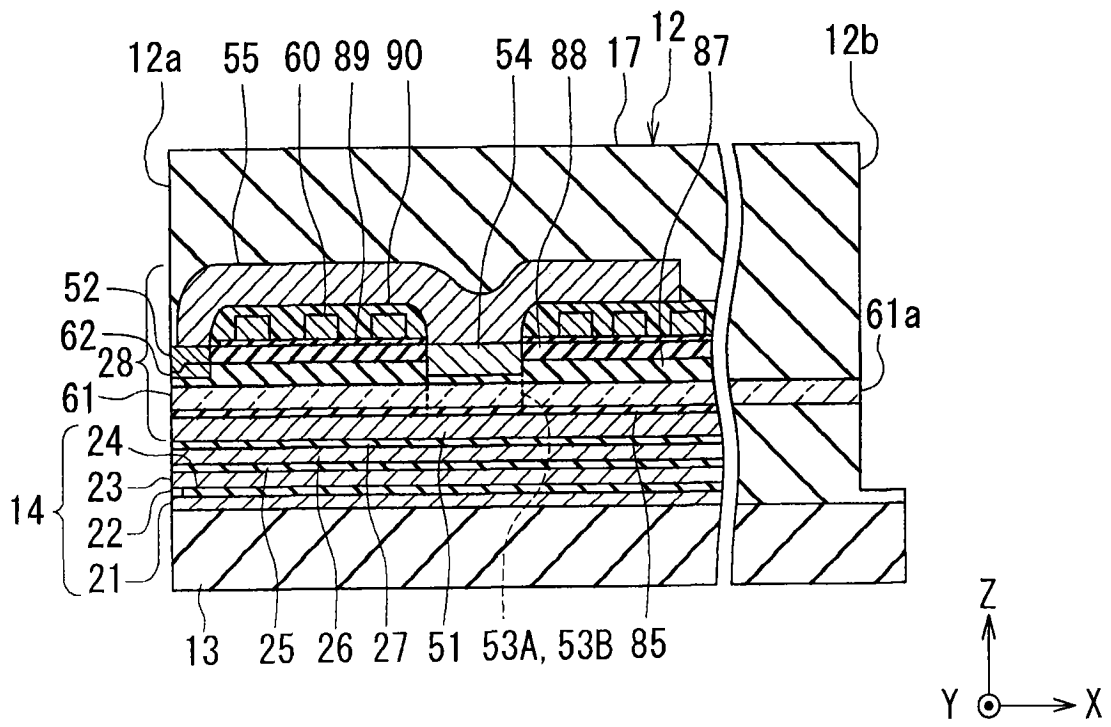


图 25

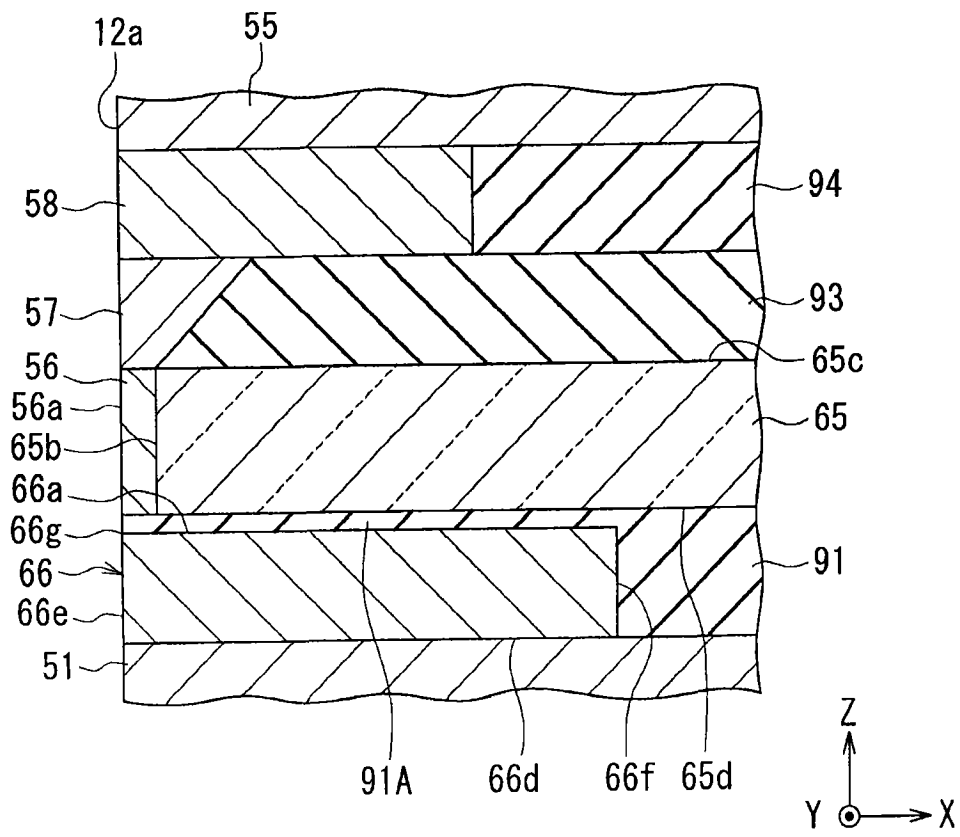


图 26

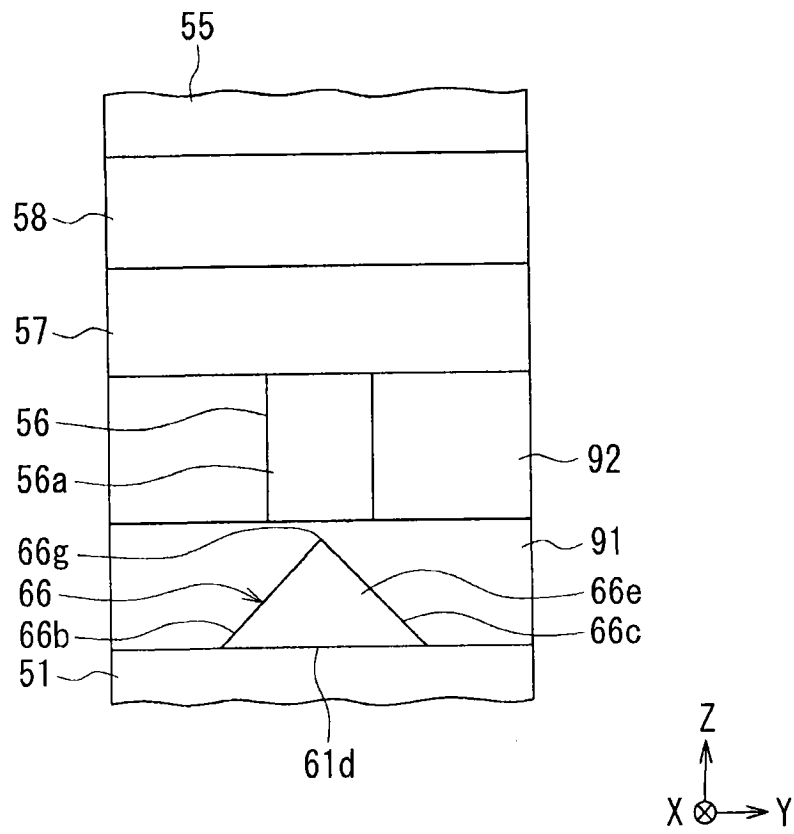


图 27

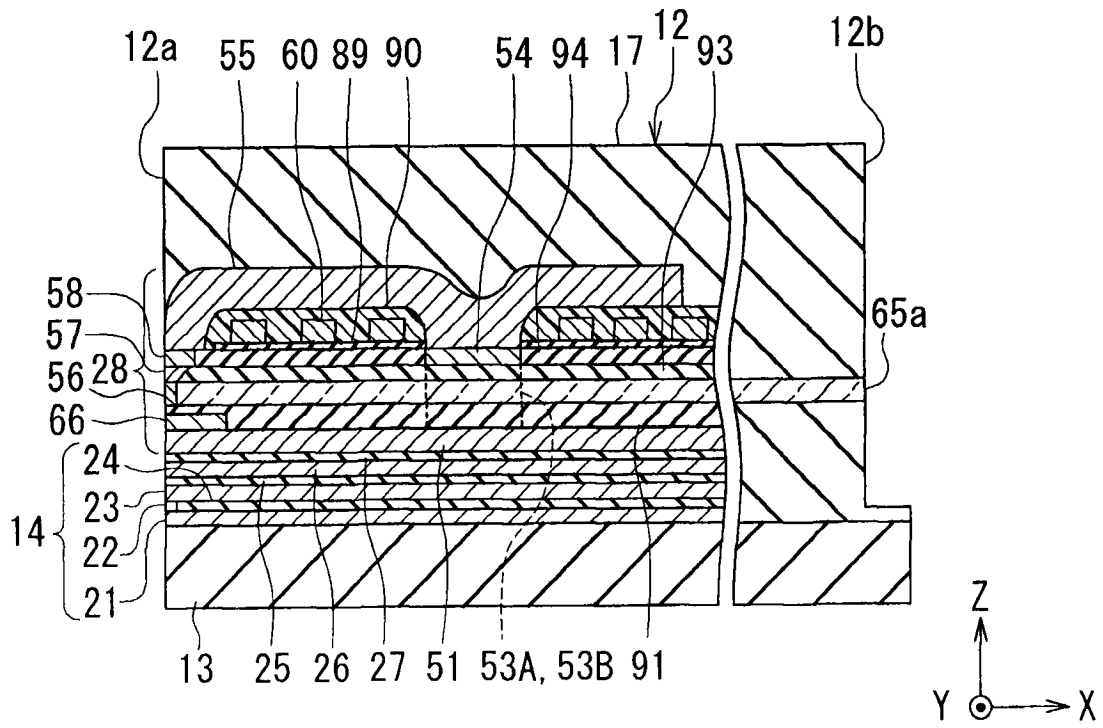


图 28