

微观摩擦学研究的急迫任务：磁记录

R Kaneko

日本东京应用电子学实验室

提要 在不久的将来，磁头与介质的间隙可望从亚微米的范围减小到亚亚微米的范围，因此不得不考虑纳米（nm）级的磨损。微观摩擦学的目的是在轻载荷和小质量工况下获得无磨损状态，因而它成为磁记录的一种重要技术。表面微观摩擦学观测已经开始。润滑剂的分子图象已经通过扫描隧道显微术而得到。高分辨率形貌以及表面硬度与微磨损的特性已经用点接触显微镜获得¹⁾。

1. 高密度记录的难点

对于高密度磁记录来说，减小磁头与记录介质之间的间隙是头等重要的。在不久的将来，这个间隙可望从亚微米减小到亚亚微米的范围。然而，产生了三个问题：①磁头能否安全地以亚亚微米间隙浮动？②磁头和介质的磨损能否减小到可以忽略的程度？③能否防止磁头的静摩擦？

为了设计具有亚亚微米间隙的浮动磁头，已经提出了一个基于 Boltzmann 方程的广义润滑方程以及求解它的有效算法^[1,2]。于是制定了磁头的设计方法。然而，在实践中使用了具有许多凸出体的易碎记录表面。在这种情况下，磨损问题变得很严重。另一方面，使用很光滑的表面时，发生了磁头静摩擦。

没有简易的方法来解决磨损与静摩擦问题。如图 1 所示，传统的薄膜磁盘是有纹理的，并且有许多超过记录层厚度的微凸体。尽管纹理的确防止了磁头的静摩擦，但它也阻碍了获得高密度记录。传统磁盘的保护层厚度约为 20—30nm，在不久的将来这一厚度将减小到 10nm 或更薄。然而，这样的薄膜的性质是不清楚的。保护层上的润滑剂防止了磨损，但润滑剂的润滑机理与吸附机理同样是不清楚的。尽管在工厂和实验室里积累了大量关于这些问题的工

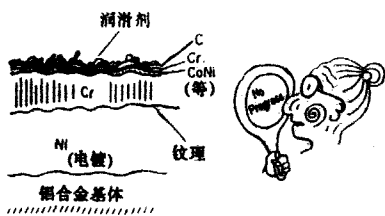


图 1 有纹理的磁盘

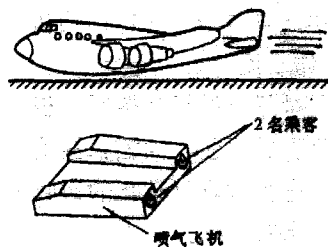


图 2 浮动磁头与喷气飞机之间的比拟

1) 关于磁记录摩擦学的研究方向，可参看：力学进展，20，2（1990）：234—235“摩擦学研究的未来方向”一文讨论部分 J. U. Lemke 的发言。——校者

程数据，但其物理与化学基本原理仍然不清楚。

浮动磁头和以几毫米高度飞行的大型喷气式飞机之间的比拟，有助于想象磁头的非常小的浮动高度（图2）。然而，装在一个滑块上的两个薄膜磁头比滑块要小得多。继续这种比拟，我们可以说，这架大型喷气飞机上只有两名乘客。此外，实际上只使用了一个薄膜磁头，因而另一个薄膜磁头是一个不工作体。对于薄膜磁头来说，可认为传统的滑块过于大了。

以上这些问题都与摩擦学有关，而磁记录的摩擦学问题是发展高密度磁记录的难点。

2 微观摩擦学

在传统摩擦学的许多情况下，固体表面间的摩擦被认为是表面破坏的结果。由于在重载荷和大质量作用于固体表面的情况下发生的是快速严重磨损，因此整块材料的性质是重要的。反之，微观摩擦学的目的是要在轻载荷和小质量情况下获得无磨损状态。在此情况下，最重要的因素是表面的物理化学性质，而不是整块材料的力学特性。图3是传统摩擦学与微观摩擦学的比较。在磁记录磁头与介质的力学界面上可使用一个很小的载荷与质量。因此，在磁记录中微观摩擦学是重要的。

摩 擦 学	
传统摩擦学	微观摩擦学
整块材料	表 面
重 载 荷	轻 载 荷
大 质 量	小 质 量
磨损（不可避免）	无磨损状态

图3 传统摩擦学与微观摩擦学

3 表面的评估

有多种微观摩擦学的研究方法。例如已经报道的有：微观硬度测量^[3]，摩擦涨落的原子级分辨率的观测^[4]，由润滑剂分子分隔开的两个固体表面的粘附与摩擦的评估^[6]，两个固体表面间原子论摩擦的分析^[6]。本节介绍在作者的实验室获得的几个实验结果。

图4示出全氟烷基聚醚润滑油（Rf）的分子图象。这种润滑油含有吸附在高度定向热解石墨（HOPG）表面上的苯环。这个图象是在大气环境下用扫描隧道显微术（STM）获得的。STM图象表明苯环牢固地吸附在石墨表面上，而附着的Rf链则自由地穿过表面移动。这种现象揭示了具有苯环的单层Rf衍生物的润滑机理。Rf链的流动性减小了摩擦，而吸附的苯



图4 含苯环润滑剂的扫描隧道显微术图象

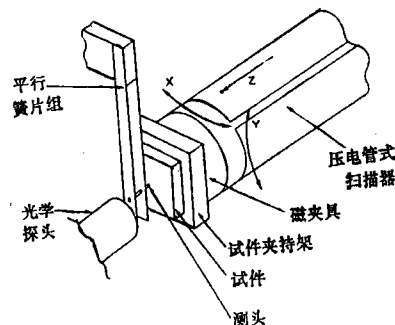


图5 点接触显微镜装置

环的碇系效应 (anchoring effect) 则防止润滑分子从表面移走^[7]。

非导体表面不能直接用 STM 测量。为了测量非导体表面，研制了使用超轻载荷测头的点接触显微镜 (PCM) (图 5)^[8,9]。一个半径为 $0.1\mu\text{m}$ 的金刚石测头被平行簧片 或一个簧片支承。用一个压电管式扫描器 (PZT) 来放置测头使其与试件表面相接触，并扫描该表面。在扫描过程中测头位移可用一个聚焦误差光学探头测量，而该位移信号则用来作为管式扫描器的 z 向位移的控制信号以保持载荷为常值。这个装置能够在很轻的载荷 (例如 10nN) 下工作。图 6 示出用 PCM 观测到的软盘表面形貌。PCM 也可以用作表面硬度测试仪或微观磨损测试仪。用一个重加载下的测头在表面上产生压痕或刮伤，然后，用轻加载下的同一测头测得压痕或刮伤的外貌。图 7, 8 和 9 分别示出加氟的 SiC 表面 1 次扫描和多次扫描所形成的磨痕。1 次扫描由载荷为 $20\mu\text{N}$ ，跨距为 $1\mu\text{m}$ ，进给量为 10nm 的 100 次反复划痕所组成^[10]。这 3 幅图表明，每一次扫描大约磨掉了表面上的 2 个原子层。PCM 可以用来测量测头与试件表面间的粘附力^[11]。此外，通过对 PCM 的改进研制出了摩擦力显微镜 (FFM)。



图 6 用点接触显微镜得到的软盘表面形貌

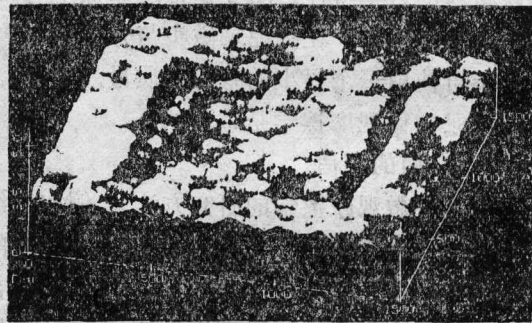


图 7 1 次扫描在 SiC 表面上形成的磨痕

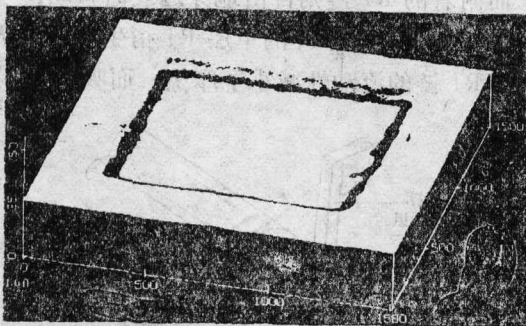


图 8 6 次扫描在 SiC 表面上形成的磨痕

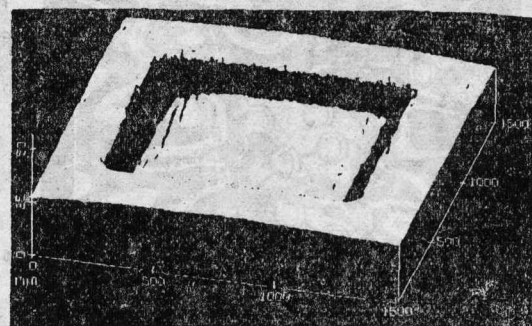


图 9 36 次扫描在 SiC 表面上形成的磨痕

4 进一步的工作

微观摩擦学研究是重要的。本文介绍的方法和仪器对发展磁记录装置很有用。这项研究

(下转第 529 页)

(上接第 558 页)

的最终目的是获得无磨损状态。

与无磨损状态成对比, 微观摩擦学的概念可以推广到纳米 (nm) 级的机加工和局部表面的改善处理, 因为这些技术也涉及表面性质。图 10 示出电解质击穿所形成的小凹坑的例子^[9]。在这个实验中使用了一个具有导电测头的 PCM。若使用一个磁测头, 则点式磁记录 (PMR) 也是可能的, 如图 11 所示。用测头非常尖的点式磁记录有可能得到 10^8 bit/mm^2 以上的非常高的记录密度。在点式记录中可以使用几种记录原理: 磁化, 充电, 表面破坏, 沉积等等^[13]。

笔者确信, 微观摩擦学将不仅用于磁记录装置, 而且在不久的将来也将用于许多其他技术领域。

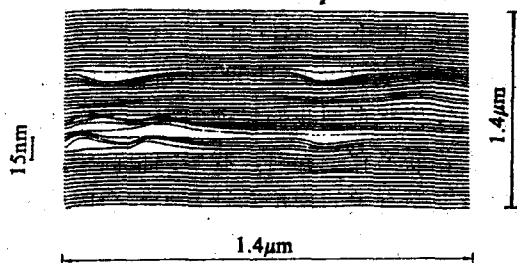


图 10 电介质击穿所形成的凹坑

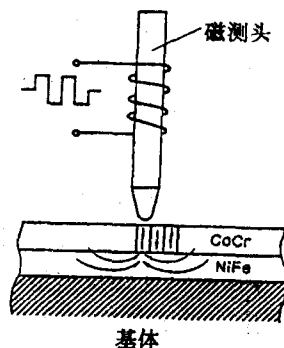


图 11 点式磁记录原理

参 考 文 献

- 1 Fukui S, Kaneko R, *Trans. ASME J. Tribol.*, **110** (1988) : 253.
- 2 —, —, *ibid.*, **112** (1990) : 78.
- 3 Yamaguchi H, Tsukamoto Y, Yanagisawa M, STLE Special Publication SP-25 (1988) : 82.
- 4 Mate C M, McClelland G M, Erlandsson R, Chang S, *Phys. Rev. Lett.*, **59** (1987) : 1942.
- 5 Homola A M, Israelachvili J N, Gee M L, McGuiggan P M, *Trans. ASME J. Tribol.*, **111** (1989) : 675.
- 6 Hirano M, Shinjo K, *Phys. Rev. B*, to be published.
- 7 Oguchi S, Andoh Y, Kaneko R, Unpublished communication.
- 8 Kaneko R, Nonaka K, Yasuda K, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A6-2** (1988) : 291.
- 9 —, Hamada E, *ibid.*, **A8-1** (1990) : 577.
- 10 This wear mark test was suggested by Hamada E.
- 11 Miyamoto T, Kaneko R, Andoh Y, *Trans. ASME J. Tribol.*, **112** (1990), to be published.
- 12 Kaneko R, *J. Microscopy*, **152**, Pt. 2 (1988) : 363.
- 13 Quate C F, US Patent 4575822.

吴承伟译自: Proceedings of the Japan International Tribology Conference, Nagoya (名古屋) (1990) : 1289—1292. (程屏芬校)