

磁记录硬盘介质研究进展

阴津华[†] 潘礼庆

(北京科技大学物理系 北京 100083)

摘要 硬盘磁记录介质是磁性材料应用的一个重要方面,目前在信息存储领域占有重要的地位.文章概述了磁记录硬盘介质的发展过程以及研究和开发的状况,并对硬盘未来的发展前景作了分析.

关键词 磁记录介质,硬盘,闪存

Research progress in hard disk recording media

YIN Jin-Hua[†] PAN Li-Qing

(Department of Physics , University of Science and Technology Beijing , Beijing 100083 , China)

Abstract Hard disk recording media is one of the most important applications of the magnetic materials. It is the dominant technology in information storage area today. In this paper , the development process and research status of hard disk recording media are summarized. Finally the prospect of hard disk drives is analyzed.

Keywords magnetic recording media , hard disk , flash memory

1 引言

硬盘是计算机的主要数据存储器件,近年来由于各种消费类电子产品对读写数据的需求不断增加,硬盘的需求量随着应用范围的扩大得到了急速提升.目前主要应用于电脑、手机、便携式大容量语音和影像播放器、游戏机、掌上电脑(PDA)、数码摄像机,以及车载数码产品等.虽然在某些方面有其他产品与之竞争,但由于高的性价比,到目前为止,还没有能够完全替代它的产品问世.在科技高速发展的现在,其重要性不言而喻.

硬盘主要包括磁记录盘片,读写磁头,主轴电机和音圈电机,电路以及其他一些附件,如图1所示.其中盘片、读写磁头和电机分别用到了磁记录介质、软磁薄膜、磁电阻器件和稀土永磁材料,而这些正是目前磁性材料的高端产品.所以说硬盘不仅仅是重要的数据存储器件,它的发展还能带动一个国家在磁性材料和器件,半导体微加工工艺乃至精密机

械加工工业的科学和技术的整体进步.从另一个角度来说,目前硬盘的发展已经到了一个相当的高度,它上面所应用到的各种技术都是最前沿的技术.

美国、日本和欧洲对硬盘工业都十分重视,企业对硬盘研究和开发的支持力度是很大的.很多研究机构得到了硬盘企业的资助,协助硬盘企业从事专项研究并为之培养未来的员工.此外还有硬盘企业联盟(日本和美国均有,甚至还成立了美日硬盘企业联盟),共同支持科研机构进行相关研究并定期开会讨论分享研究成果,提出下一步的发展方向,重新选择支持的科研机构.企业在推动硬盘的研究和开发中扮演了主角,使得产学研紧密结合,良性发展.

2 硬盘磁记录的发展简史和目前的概况

* 国家自然科学基金(批准号 50472092,50672008)资助项目
2008-01-14 收到初稿,2008-02-01 收到修改稿

[†] 通讯联系人. Email yinjinhua@sas.ustb.edu.cn



图1 硬盘的内部结构

自从1956年IBM开发出第一代商用硬盘后,硬盘磁记录的面记录密度以每十年提高一个数量级以上的速度几何式增长.尤其从1998到2003年,得益于GMR(giant magnetic resistivity)磁头的商业化,面记录密度提高了30倍,记录密度到了60Gbits/in²,这已经接近于面内记录的极限100—200Gbits/in²,如图2所示.随后从面内磁记录逐渐过渡到了垂直磁记录.2007年,Seagate声称年内要彻底放弃面内磁记录,完全过渡到垂直磁记录.目前的面记录密度仍然以大约每年提高40%以上的速度向前推进.

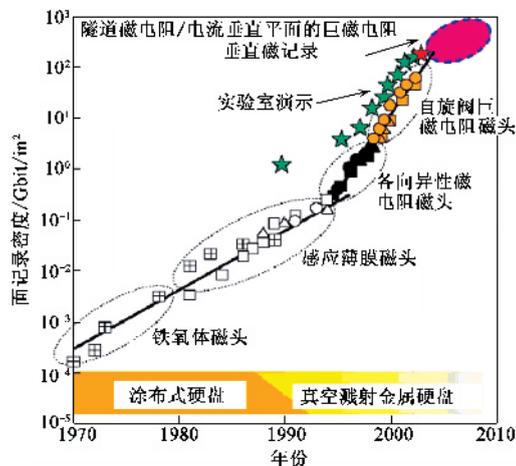


图2 硬盘磁记录发展的路线图(引自 Fujitsu. Sci. Tech. J., 2006 42:122)

在工业界,2006年Maxtor公司与Seagate公司以及2007年Komag公司与Western digital公司的合并,使得硬盘记录介质的元件生产商只有日本的Showa Denko公司, Fuji electric公司以及Hoya公司.这是因为一方面价格竞争的加剧,使得硬盘记录介质的元件生产商难以得到高额利润,另一方面,由

于技术方面难度的加大,硬盘驱动器本身也要求进行最终产品的整体优化.目前的硬盘驱动器厂家主要有Seagate, Western digital, Samsung, HGST, Toshiba, Fujitsu等公司.其中只有HGST公司在中国深圳设有生产硬盘介质的工厂.目前磁记录介质的生产、研究和开发的基地主要分布在美国、日本、新加坡、台湾和马来西亚等.

3 面内磁记录介质^[3]

自从硬盘问世到2006年,面内磁记录是硬盘的主要记录方式.面内介质的发展也经历了铝镁合金盘片到玻璃盘片,单层记录介质到反铁磁耦合(AFC)介质,以及晶粒尺寸不断降低,矫顽力不断提高的过程.

图3(a)给出了面内记录介质的膜结构示意图.其中磁性记录层主要是CoCrPtB合金.这种合金为hcp结构,易磁化轴为c轴.根据基板和底层的不同,平行于膜面的晶面有(11 $\bar{2}$ 0)和(10 $\bar{1}$ 0)两种.目前磁性晶粒的尺寸已经降低到10nm以下.面内的记录密度主要由记录位(bit)之间的过渡区宽度来决定.过渡区宽度与矫顽力成反比,与晶粒尺寸、晶粒间的交换耦合以及剩磁膜厚积($M_r t$)成正比,小的过渡区宽度有利于提高记录密度.如图3(b)所示,晶粒之间由一个薄层分离开来,这个薄层是由富Cr的非磁性相组成,所以它具有减弱晶粒间交换耦合的作用.在记录介质溅射沉积的过程中,需要将基片加热至大约200°C的温度才能产生这种富Cr的非磁性相在晶粒间界上析出.信噪比是评价介质性能的一个重要参数.在记录密度一定的条件下,提高信噪比是工业界不断追求的目标.面内记录的信噪比与晶粒的取向成正比.提高取向度(orientation ratio)几乎是目前面内记录介质唯一可能的改进方向.取向度定义为:沿圆周方向的剩磁(或矫顽力)与沿半径方向的剩磁(或矫顽力)的比值.提高取向度的一个方法是在NiP层用机械织构的方法在沿圆周方向上划出很浅的洼槽,从而使得溅射时磁性晶粒受到应力的作用而使其易磁化轴沿圆周方向取向.如图3(c)所示,在磁性层的电镜照片中仍然可以看到织构的方向.

图4给出了面内AFC反铁磁交换耦合介质的结构示意图,它具有低的 $M_r t$ 和好的热稳定性,所以记录密度要比通常的面内介质高.这种磁性介质由较厚的记录层、较薄的稳定层以及夹在两者之间

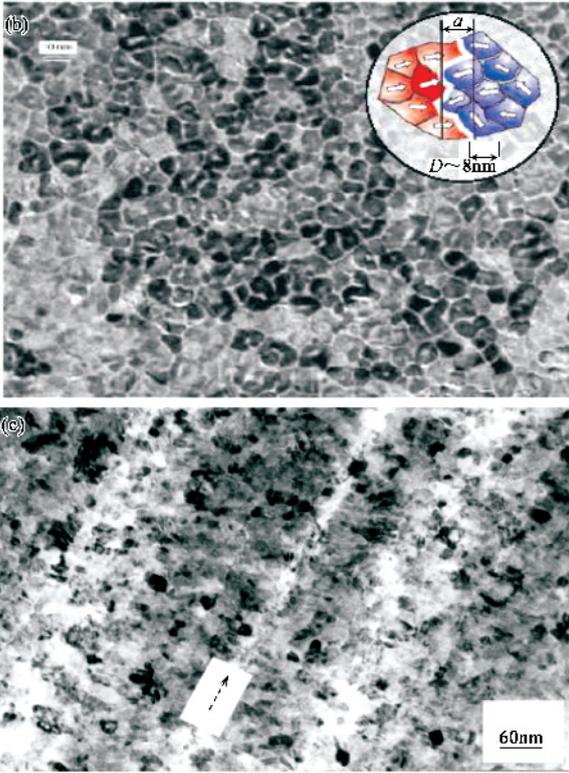


图3 (a)面内磁记录硬盘结构 (b)面内磁性记录层电镜照片, a 为过渡区宽度, D 为晶粒平均尺寸(引自 J. Phys. D :Appl. Phys. 2002 35 R157) (c)面内磁记录介质电镜照片, 虚箭头方向为织构方向(引自 J. Phys. D :Appl. Phys. , 1998 31 2975)

的 Ru 层组成. 在剩磁状态时, 上下两层的磁化方向相反, 因此 $M_r t$ 小, 有利于提高记录密度. 另外, 由于上下两层的交换作用增大了晶粒的有效体积, 因此热稳定性得到了提高. 上下两层的晶粒与晶粒边界完全对应. 仿佛 Ru 并不存在一样, Ru 层通常为 0.8nm. 相对于垂直磁记录介质, 面内磁记录介质由于没有使用软磁底层, 因此具有成本低的优势.

4 垂直磁记录介质^[4]

2005 年, Showa Denko 公司和 Toshiba 公司联手推出了世界上第一批 1.8in(1in = 2.54cm)商用垂直磁记录硬盘, 从此揭开了磁记录转向垂直磁记录的序曲. 为进一步提高记录密度, 突破面内记录的超

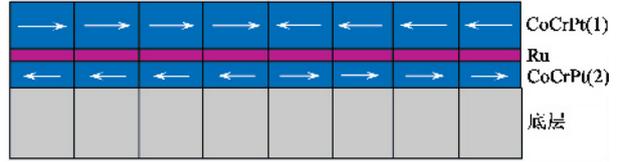


图4 面内 AFC 反铁磁交换耦合介质的结构示意图(引自 Materials Today 2003 6 22)

顺磁极限, 迈出了跨时代的第一步. 图5给出了面内记录和垂直记录方式的比较. 首先记录头不同, 面内为环形磁头, 垂直为单极磁头. 其次, 垂直磁记录介质具有一个较厚的软磁底层. 这个软磁层的主要作用为传导磁力线, 增加写头磁场. 所以也有人认为软磁底层应看作记录头的一部分. 为了减小软磁层的磁畴壁对信号读取的影响, 采用了 AFC 结构的软磁底层. 此外, 由于磁矩的垂直排列具有强的垂直各向异性, 对记录位的热稳定性起到增强的效果. 综合以上优点, 垂直磁记录的记录密度要比面内记录密度高出很多. 目前的硬盘商品记录密度大约为 200—250Gbits/in². 垂直磁记录的记录密度预期可以达到 500—1000 Gbits/in².

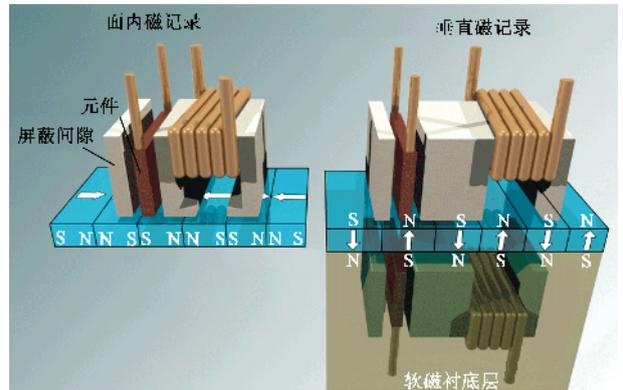


图5 面内记录和垂直记录的比较(引自 www.mcc.uiuc.edu/nsf/ciw - 2006/talks/Kryder.ppt)

垂直磁记录介质的结构如图6所示, 记录层主要是由 Co 合金和适量氧化物组成, 软磁层的厚度一般为 50nm. 在溅射过程中不需要加热. 夹在软磁层和记录层之间非磁性中间层, 其作用是 (1) 为 hcp 结构的记录层提供一个好的沿垂直方向的 c 轴取向 (2) 阻断软磁层和记录层之间的交换耦合. (3) 控制记录层晶粒尺寸. 目前垂直磁记录介质的研究内容包括: 在确保记录层 c 轴良好的垂直取向的基础上, 尽量减小非磁性层的厚度; 尽可能地降低所用材料的成本; 降低记录层的初始生长层内晶粒间的交换耦合作用; 改善记录层的微结构, 提高机械硬度等.

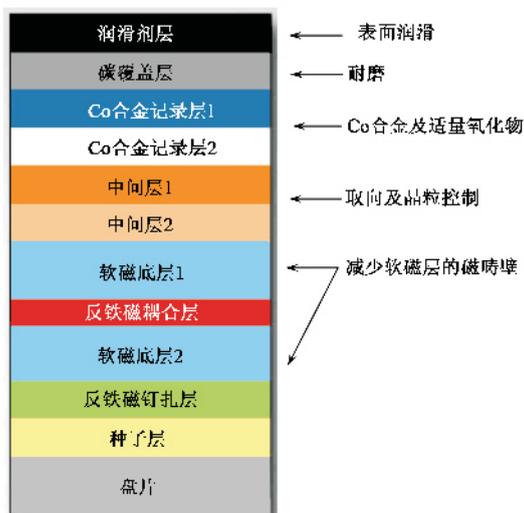


图6 垂直磁记录介质的膜结构(引自 www.intevac.com)

5 硬盘与闪存(flash memory)的竞争

表1 比较了2007年12月日本市场上闪存与移动硬盘的容量和价格。可以看出,在低容量的领域,闪存正在逐步取代移动硬盘,而在高容量领域,硬盘磁记录介质的地位依然不可动摇。2008年1月4日,HGST宣布,由于闪存的竞争将逐步淘汰1.8in和1.0in的硬盘,今后将只专注于2.5in和3.5in的硬盘。硬盘由于自身的设计,能耗和重量相对较大是在所难免的,可携带性肯定不及闪存,所以硬盘很有可能在便携式语音和影像播放器领域的应用中被淘汰。总之,性价比是两者的竞争核心,硬盘必须具有比闪存更快的发展速度,才有可能不被淘汰。

表1 便携式硬盘(2.5in)与闪存的比较 引自 www.kakaku.com)

种类	容量/GB	价格/日元
闪存	16	13 000
	32	27 000
便携式硬盘(2.5in)	20	停产
	40	7 000
	160	13 000
	400	37 000

6 总结和展望

随着记录密度的提高,采用小晶粒尺寸和高磁各向异性常数的材料成为必然的选择。这就意味着需要提高记录磁场,而由于材料磁化强度的限制,提高写头磁场已经十分困难。在这种背景下,研究者提出了如下的几种解决方案:热辅助磁记录方式^[5]、量子磁盘介质^[6]、具有倾斜易磁化轴的记录介质^[7]、交换耦合复合垂直磁记录介质^[8],其中与目

前记录介质最为接近的应该是交换耦合复合垂直磁记录介质。如图7所示,这种介质由交换耦合的软磁层和硬磁层组成。它可在确保较高的热稳定性的前提下具有适当的矫顽力。

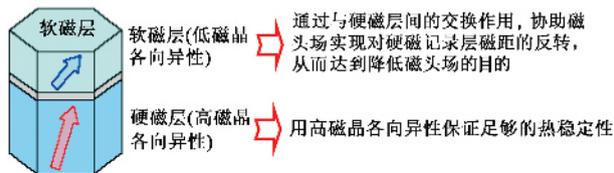


图7 交换耦合复合垂直磁记录介质

另外为了提高磁道密度并且减小临近磁道间记录信号的相互影响,提出了分离轨道记录介质(discrete track media)^[9]。这种介质是在连续介质的基础上,采用光刻和等离子刻蚀等手段,将硬盘磁道刻成一系列分离的同心圆。预计2008年将会有交换耦合复合垂直磁记录介质甚至分离轨道记录介质的产品问世。Seagate 声称,2009年将会生产采用热辅助磁记录方式的硬盘。而倾向于量子磁盘介质的HGST却没有提出近期大规模生产量子磁盘介质的计划。具有倾斜易磁化轴的记录介质目前还只是一种概念,虽然发表了一些文章,但距离商品化还有很长的距离。

随着信息量的爆发式增长以及环保压力的增大,信息存储的市场前景毫无疑问是十分广阔的。硬盘能否在其发展到极限之前被其他记录介质完全取代的问题,很显然没有人可以回答。实际上 Samsung 等生产厂家就是硬盘和闪存两类产品一起做。然而硬盘和闪存之间并不只是竞争,也存在合作。2007年,Samsung 和 Seagate 分别与微软合作,对外宣布,在它们的新款2.5in160G的笔记本硬盘中放有256M的闪存,这种混合型硬盘适用于 Vista 操作系统,有利于提升计算机系统的启动速度并降低能耗。

参考文献

- [1] Grundy P J. J. Phys. D : Appl. Phys. ,1998 ,31 2975
- [2] Moser A ,Takano K et al. J. Phys. D : Appl. Phys. ,2002 ,35 R157
- [3] Gerardo A. Bertero et al. IEEE Trans. on Mag. ,2003 ,39 651
- [4] Iwasaki S. IEEE Trans. on Mag. ,1984 20 657
- [5] Rottmayer R E et al. IEEE Trans. on Mag. ,2006 ,42 2417
- [6] Richter H J et al. IEEE Trans. on Mag. ,2006 ,42 2255
- [7] Richter H J. IEEE Trans. on Mag. ,1993 ,29 :2258
- [8] Victora R H ,Xiao S. IEEE Trans. on Mag. ,2005 ,41 :537
- [9] Hattori K ,Ito K ,Soeno Y et al. IEEE Trans. on Mag. ,2004 ,40 2510