

磁光记录——信息记录的下次革命

F. E. Luborsky

(美国通用电气公司)

编者按：美国电机和电子工程学会下设的磁学会前任主席、美国通用电气公司 Luborsky 博士，应邀在 1985 年 5 月西安举行的第四届全国非晶态物理讨论会上作了“磁光记录——信息记录的下次革命”的报告。下面是他报告的主要内容。

激光能被聚焦成高功率的光点，可以用来作为光存贮中的信息写入、读出的光源。由于光存贮具有密度高、容量大、制造成本低和随机快速取数等优点，光存贮一直是近年来活跃的研究领域。

存入信息不可擦除的模式有写入式光存贮和只读式光存贮两种，它们现在都已经得到了实际应用。目前，国外各大公司正在致力于研制信息可擦、重写达百万次以上的可擦式光盘——磁光光盘。虽然磁光光盘当前还没有实用化，但多年来的努力，已为它从实验室研制走向工业生产扫除了障碍，预期将在近年内商品化。

由于磁光光盘比传统磁存贮的存贮密度高 10—100 倍，并可拆、易携带，不易损坏（光头和盘面不接触），耐用，性能稳定和具有高速的数据传输率等优点，因此，磁光光盘的投入使用，对传统的磁存贮系统将是一个很大的挑战。

备工艺较简单，能获得大面积性能均匀的薄膜介质，因而，目前一般认为，上述材料是较为合适的磁光存贮材料。

图 1 是磁光信息存贮的原理示意图。其中 (a) 表示信息如何写入，(b) 则是存入信息后怎样读出。在图 1 (a) 中，当二极管激光器产生一束一定功率的激光，通过透明的盘基聚焦到记录介质上时（通常被激光束辐照的区域的

一、磁光记录原理

磁光记录介质目前采用非晶态稀土和过渡族合金薄膜，如钆钴 (GdCo)、钆铽铁 (GdTbFe) 薄膜等。用真空溅射或蒸发方法制备得到的上述非晶薄膜具有垂直膜面的磁单轴各向异性，即磁化强度矢量垂直于样品表面，它们有较大的克尔转动角，一般在 0.3 至 0.5 度，信息写入时所要求的激光束功率仅为数毫瓦，加上制

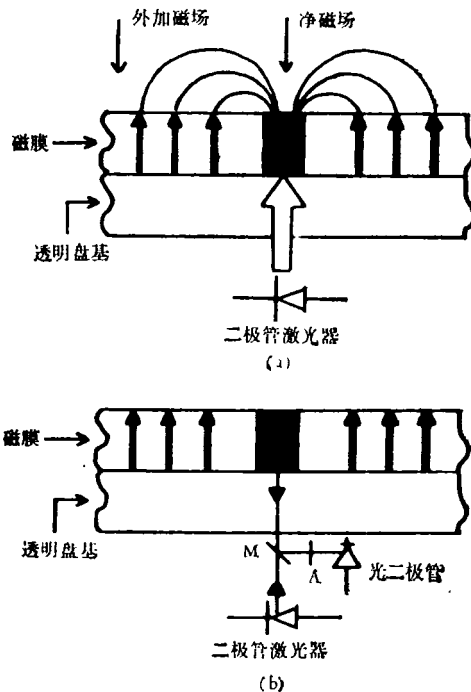


图 1 磁光存储信息写入、读出原理
(图中箭头表示磁化强度方向，M 为半反射镜，A 为检偏棱镜)

直径约 $1\mu\text{m}$), 被辐照区域的温度可升至记录介质的磁抵消点或居里点. 若图 1(a) 中箭头朝上表示存入“1”信号. 为了存入“0”信号, 只要在记录介质上向下施加一个强度大于记录介质受热时矫顽磁场强度的合适外磁场, 那么, 当激光脉冲过后, 该小区域的磁矩就朝下取向, 存入了“0”信号. 实际操作时, 由存入信息调制的激光脉冲聚焦在光盘的循环数据道上, 并借助于外磁场, 实现信息的热磁写入. 读出信息时, 平面偏振光的激光束[如图 1(b) 中所示], 被聚焦到需要读出的微小区域上. 由于相反取向的磁化矢量使反射平面偏振光的偏振面有不同的转向, 所以经过半透射镜 M 的反射光经检偏振棱镜后, 在光二极管检测器上识别出被存入信号是“1”还是“0”. 上述过程可以简单地概括为: 利用热磁效应并借助于外磁场实现信息的写入, 利用克尔磁光效应读出信息.

二、美国通用电气公司开展的磁光存贮工作

1. 目标

美国通用电气公司开展磁光存贮工作的目标是演示以非晶钆钴膜 ($\text{Gd}_{21}\text{Co}_{79}$) 为存贮介质的可擦除磁光盘的特性. 其性能指标为: 信息密度大于 $10^8\text{bit}/\text{cm}^2$ (1 MHz 载波, 带宽为 50kHz), 具有满意的信噪比 (大于 50dB) 具有满意的数据率 (大于 20Mbit/s) 以及有足够高的性能稳定性.

2. 研究内容

(1) 磁光记录性能与材料参数间的关系

写入磁畴(信息位)的最小尺寸 d 与材料参数间的关系由下式决定:

$$d = 4(AK_u)^{1/2}/M_s(H_c - H), \quad (1)$$

其中 A 为交换常数, K_u 为垂直膜面的磁各向异性常数, M_s 为饱和磁化强度, H_c 为矫顽力, H 为热磁写入时的外加磁场. 这样, 知道记录介质参数 K_u , M_s , H_c 的变化行为, 就能从 (1) 式推知写入畴直径 d 的变化, 从而可以决定 d 值所要求的材料参数.

引起上述材料参数变化的因素是样品溅射制备时的阴极电压、负偏压、氩气压、薄膜厚度、信息被写入时外加磁场的大小和写入激光脉冲的宽度等.

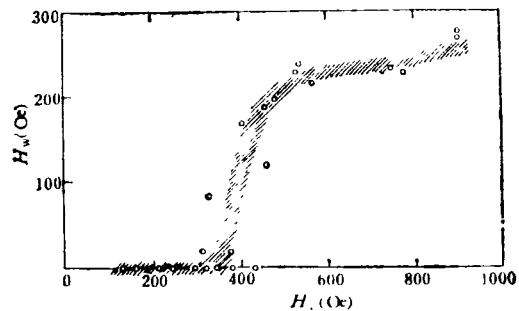


图 2 8×8 写入磁畴阵列中, 写入畴稳定时所对应的写入磁场 H_w 和矫顽力 H_c 的关系

图 2, 3, 4 分别表示在存入信息为 8×8 阵列和写入信息位(磁畴)稳定时, 写入磁场与矫顽力, 不同矫顽力所对应的写入畴直径, 不同膜厚所对应的写入畴直径之间的关系. 从图 2 可以看到, 样品矫顽力小于 350Oe 时, 不需要外加磁场就能使写入畴稳定, 矫顽力大于 550Oe 时, 仅靠相邻位的退磁场不能写入畴或使写入畴稳定, 这时必须外加大约 250Oe 的外场. 由图 3, 4 可看到, 写入畴直径随矫顽力和磁各向异性常数的变化与 (1) 式预期的一致. 写入畴直径还与写入激光脉冲宽度有关.

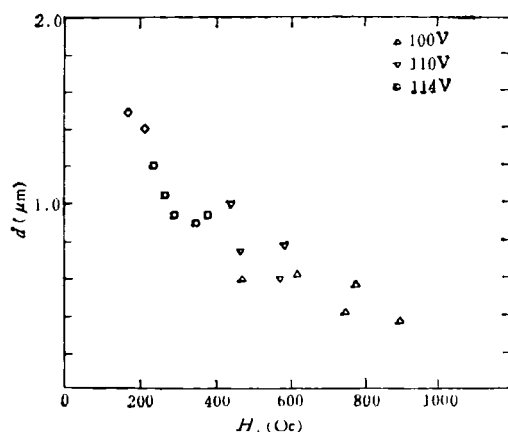


图 3 8×8 写入磁畴阵列中, 磁畴平均直径 d 与矫顽力 H_c 的关系 (信息写入时不加外磁场. 图中不同矫顽力值的样品是在不同偏压条件下制备的)

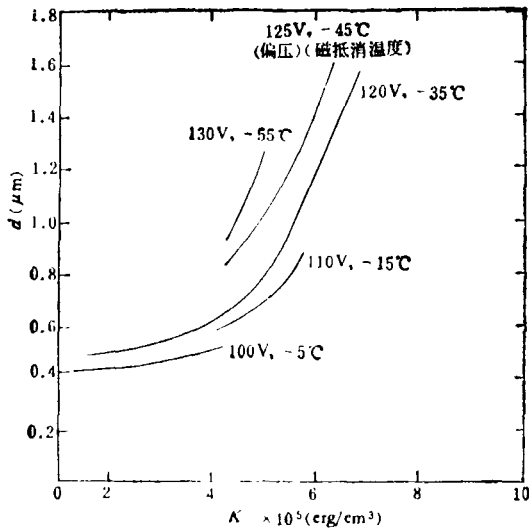


图4 8×8写入矩阵中,磁畴平均直径 d 与垂直磁各向异性常数 K_{\perp} 关系 (信息写入时不加外磁场, 样品制备时, 采用不同的偏压以期得到不同的磁抵消温度)

它的直径随脉冲宽度的增加而加大, 原因是热扩散时受热面积随脉冲宽度增加而扩大。

(2) 性能的稳定性

稀土和过渡族合金薄膜性能的稳定性对于实际应用是非常重要的。所谓稳定性, 大致上可以说是(1)式中诸参数 K_u , M_s , H_c 等对环境 and 热的稳定性。

材料退火行为的研究是材料性能稳定性研究的一项重要内容。先前, $1\mu\text{m}$ 左右厚的钆钴膜在真空、空气和惰性气体中的退火行为的研究已有报道。这些研究表明, 退火导致饱和磁化强度 M_s 和磁抵消温度 T_{comp} 的增加, 原因是材料中的钆容易氧化。作为光存储应用的非晶钆钴膜的厚度通常在 $0.1\mu\text{m}$ 左右, 因而 Luborsky 研究了带有或不带有二氧化硅保护膜的钆钴膜在空气中的退火行为。

(A) 磁各向异性性能的退火行为: 图5给出了没有保护膜的钆钴膜的垂直磁各向异性性能和平面磁各向异性性能随退火时间变化的曲线。退火温度为 130°C , 140°C , 159.5°C 和 171°C 。图5左上方的转矩曲线表明, 退火前的样品是具有垂直膜面磁单轴各向异性行为。退火 10^5 分钟后, K_{\perp} 消失, 磁矩位于膜平面内, 成为平面

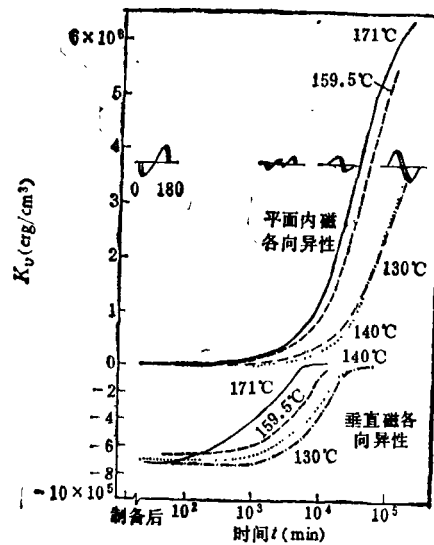


图5 样品制备条件: 阴极电压 1200V, 氢气压 $20\mu\text{m}$, 偏压 125V

磁各向异性。其余的二条转矩曲线表明, 样品随着退火时间的增加, 垂直磁各向异性逐渐消失, 代之以磁平面各向异性。

Luborsky 然后作了带二氧化硅保护膜的钆钴膜的退火行为。结果表明, 加了保护膜样品, 其垂直磁各向异性在 250°C 时开始变坏。(B) 非晶态结构稳定性研究: 相变动力学方程通常由下面的 Johnson-Mehl-Avrami 迁移方程来描述:

$$x = 1 - \exp[-kt^n], \quad (2)$$

其中, x 是经过时间 t 后系统变化的部分, n 是反应指数, 与形核, 生长机制相关, K 是反应速率常数, 它可写为

$$K = K_0 \exp[-\Delta E/kT], \quad (3)$$

其中 ΔE 为激活能, k 为玻耳兹曼常数。 (3) 式又可改写为

$$\ln[-\ln(1-x)] = \ln K + n \ln t, \quad (4)$$

故可作出 $\ln[-\ln(1-x)]$ 与 $\ln t$ 的关系图, 并可给出图中直线的斜率为 n , 在纵坐标上的截距为 $\ln K$ 。若定义 x 为磁各向异性变化部分, K_{\perp} 由 1 变至 0, 而 K_{\parallel} (平面磁各向异性) 由 0 增至 1, 那么从图 5 的实验值得到, 用(4)式表示的关系图, 如图 6 所示。图中直线的斜率相应于(4)式中的反应指数 n 。从图 6 可以看出, 所

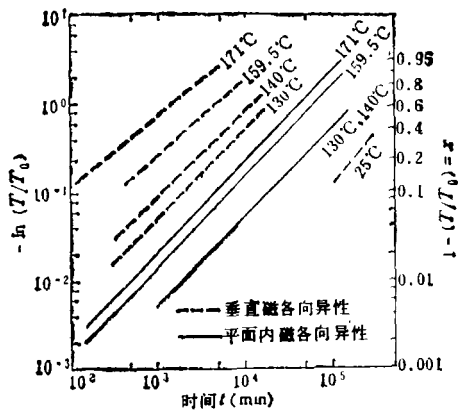


图6 从磁矩测得的磁各向异性变化的 Avrami 曲线 (图中 x 为磁各向异性变化的数值)

有的实验曲线几乎都平行,并得到 $n = 1$ 。 n 为 1 相应于一级动力学过程。 Luborsky 推测这是单原子扩散过程,可能是氧通过样品表面的氧化层或通过二氧化硅的保护层扩散到体内。除了氧的作用会导致 K_{\perp} 消失外,另一可能的原因是在退火过程中,样品内氩的重新分布,导致微观结构不均匀程度发生变化或原子对取向程度发生改变,从而使 K_{\perp} 消失。

从图 6 的实验结果还可以得到 K_{\perp} , K_{\parallel} 的激活能。方法是作出 K_{\perp} 或 K_{\parallel} 减至起始值的 0.8 时所需要的时间与退火温度的倒数 ($1/T$) 的关系图。采用相同的方法,也可得到 H_c 的激活能。不同偏压下制备的样品的激活能见表 1。

表 1 激活能

偏压 (V)	ΔE (eV)		
	K_{\perp}	K_{\parallel}	H_c
49	—	0.5	0.4
80	—	1.1	0.8
123.5	1.2	—	—
125	1.1	0.6	—
179	0.8	—	0.6
200	0.9	—	—

Luborsky 还比较了非晶态钆钴带(采用高速淬火法得到)与溅射非晶钆钴膜从非晶到晶态转变的激活能的大小。他发现膜的激活能要小,其原因可能是由于膜的结构较疏松引起。

表 2 给出了磁光盘介质的寿命。表 2 括号中的值为实验值的外推值。寿命的物理意义是,在某一给定温度下,一物理量的数值变至它起始时的 0.8 或钆钴膜开始晶化时所需的时间。对于信息写入,只是在写入时样品上才被加热。从表 2 给出的结果来看,带保护层的非晶钆钴磁光存储膜的热稳定性完全满足实际使用的要求。

表 2 寿命(年)

温度 (°C)	0.8 $K_{\perp,0}$	0.8 $H_{c,0}$	0.8 $A_{r,0}$	开始晶化
20	(3000)	(20—6000)	—	—
50	(70)	(10—1000)	—	—
175	3.8×10^{-4}	0.5	—	(0.5)
200	(4×10^{-5})	(0.1—0.4)	0.1	0.1
温度 (°C)	信息写入次数的寿命*			
175	2×10^{11}	3×10^{14}	—	2.5×10^4
200	(2×10^{10})	$(6—20 \times 10^{13})$	—	5×10^{11}

* 写入时,脉冲宽度为 60ns。

3. 美国通用电气公司已制作的 10 个光盘的性能

外径: 20—30cm。

钆钴膜厚: $0.1 \mu\text{m}$ 。

克尔转角: $0.2^\circ—0.5^\circ$ 。

反射率: 0.6—0.7。

读出信噪比: 48dB。

(30kHz 带宽)

写入功率: 12mW。

原始差误率: 10^{-7} 。

写入位直径: $0.8 \mu\text{m}$ 。

写入位间隔: $1.5 \mu\text{m}$

搁置寿命: $20^\circ\text{C} > 3000$ 年。

$50^\circ\text{C} > 70$ 年。

写入周期数: $> 10^{11}$ 次。

参 考 文 献

- [1] F. E. Luborsky, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 61-62(1984), 829—834
- [2] F. E. Luborsky, *IEEE Tran. on Mag.*, MAG20 (1984), 1305—1307
- [3] F. E. Luborsky, *J. Appl. Phys.*, 57(1985), 3592.

(中国科学院物理研究所王荫君

整理,未经报告人审阅)