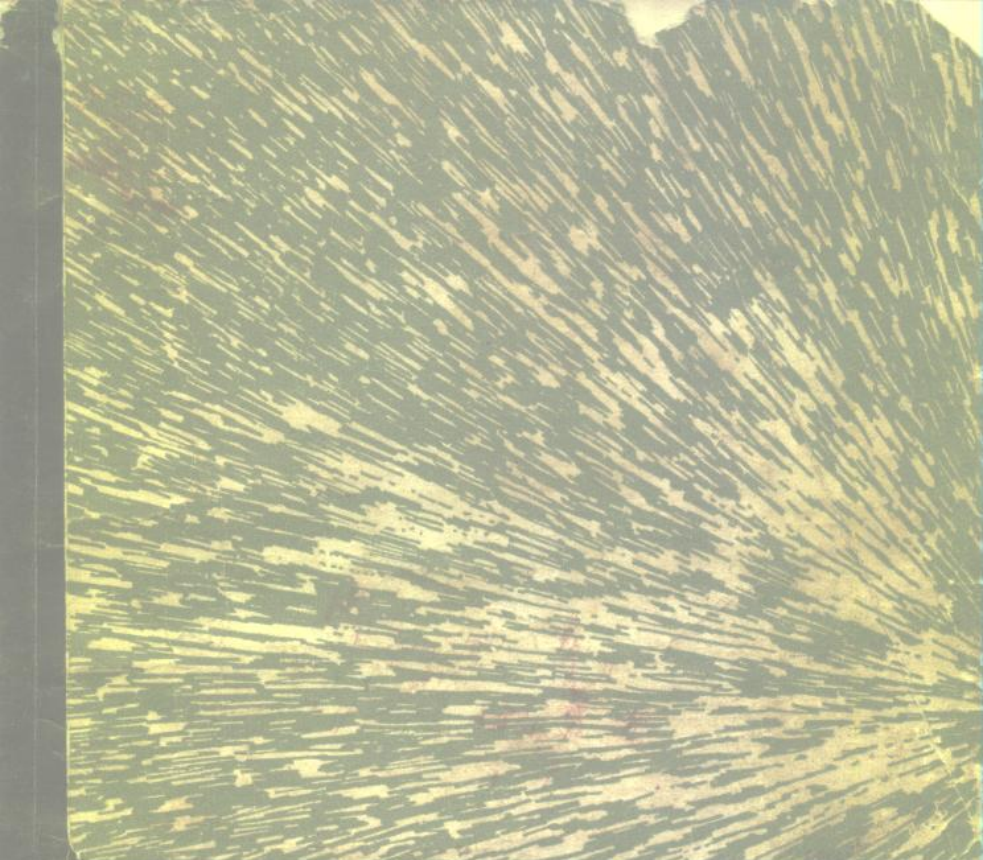




磁记录

〔日〕松本光功 著

科学出版社

磁 记 录

〔日〕松本光功 著

陈贵民 译

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书以论述磁记录的原理为重点,全书共分十章。首先扼要介绍了记录方式的分类和磁记录技术的发展,然后从理论上详细叙述磁头产生的磁场,记录磁化过程,偏磁记录,调制记录方式,数字记录,重放过程,新的记录技术,现代的记录媒质以及磁头的构造和材料的选择等。

为了从理论上进行叙述,在本书各章里,应用了许多高等数学知识。读者应具有一定的物理学、电磁学和应用数学的基础知识。

本书适用于从事磁记录理论研究人员和从事录音、录象、电子计算机以及磁带研制的技术工作者阅读,也可供大专院校磁学和磁记录专业师生阅读参考。

〔日〕松本光功 著

磁気記録

共立出版株式会社, 1977

磁 记 录

〔日〕松本光功 著

陈 贵 民 译

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1983年7月第一次印刷 印张: 7 7/8

印数: 0001- 5,800 字数: 175,000

统一书号: 15031·505

本社书号: 3132·15-7

定价: 1.25元

序 言

在通信工程、电子工程、特别是最近的信息工程部门的极大发展的高潮中，磁记录时常是被社会作为时代的宠儿来看待的一门技术，并且预期它今后会继续踏踏实实地向前发展。在磁学领域中，从实用方面讲磁记录是最先进的部门。为了建立牢固的基础，磁记录常常需要物理学、化学、机械程在它的后面给以有力的支持。

磁记录技术是在欧洲诞生和成长后经美国引进到我国的技术，又与我国独自の磁学、磁性录音、铁氧体等的独立研究的历史相结合，现在，磁记录技术已成为我国居于世界领先地位的技术之一。

现在，我国大肆宣传所谓独创精神，并且正在逐渐收到一些效果。要想产生新的技术，就得真正理解现在的技术。也就是说，为了研究新的技术，就必须首先学好现有技术的基本原理。

本书根据现时代的要求，以磁记录的原理为重点进行了论述。因此，本书可以被认为是直接与先进技术相结合的。

磁记录技术不能看做是任何类别的技术，它是多种技术的综合，同时由于它是应用范围的扩大和进步显著的领域，往往将它归入技术学科的范畴。著者认为大学和大学研究院中有这类课程的讲义仅有信州大学和东北大学。将来一般大学研究院等设置这门课程时，我认为大致的内容也就是这些，本书也是一种设想。

磁记录是电磁现象的应用，为此阅读本书时应具有电磁

学和应用数学(微积分学, 矢量分析, 保角映射, 傅里叶变换等)的知识。遗憾的是, 在本书中没有对此作详细的解说, 只对要点进行了易懂的论述。

本书是以提高我国磁记录技术工作者的水平为任务, 恳切希望我国的磁记录技术成长为领先世界的部门。

著者在仙台东北大学攻读时, 在永井健三, 岩崎俊一两位教授的直接指导下, 从事磁记录技术的研究, 其后就职于信州大学, 曾蒙土屋英俊教授及东京电气化学工业股份有限公司工作的今岗保郎博士以及其他各位前辈给予各方面的指导。在本书出版时又得到共立出版社的竹内正隆常务董事及尾崎修先生的大力协助。仅在这里向各位一一表示衷心的感谢。

松本光功

1977年10月

译者的话

磁记录技术已有84年的历史(1898~1982),当今已广泛地被应用在各个科学领域和人们的日常生活之中。

在二十世纪里,随着科学技术的发展,已经进入电子时代,磁记录技术是其中一个重要组成部分。其中包括录音、录象、电子计算机、录象唱片、磁卡、磁盘等磁记录技术。磁记录技术普及的今天,从事磁记录应用技术的人居多,很少有人对磁记录的基本理论问题进行深入的探讨。

本书的著者松本光功副教授是日本磁记录技术有名的学者,也是永井健三、岩崎俊一两位教授的得意门生,现于日本信州大学任教,从事磁记录的教学和研究工作。本书从理论上对磁记录的发展、磁记录原理、磁化过程、重放理论等进行了比较全面深入的阐述和推导,是一部磁记录理论较深的著作,是目前科技书中所不多见的。

在本书各章里,应用了许多高等数学,没有一定的数学、电磁学等基础的读者,阅读本书时可能会遇到一些困难。但若深入钻研,认真学习还是可以理解的。

本书适合从事磁记录理论研究的人员,以及从事录音技术、录象技术、磁带技术、电子计算机等方面的读者阅读。

本书在翻译过程中,得到广播电视部技术部门的领导同志的鼓励和支持,又蒙北京广播学院无线电系张绍高副教授对全部译稿进行了审校,在这里一併表示衷心的感谢。

最后,由于译者水平所限,译文中也许会有欠妥之处和错误,诚恳欢迎广大读者给予批评和指正。

目 录

第一章 总论	1
1.1 记录方式的分类	1
1.2 磁记录技术的发展	4
1.3 磁记录机构的概述	7
第二章 磁头产生的磁场	13
2.1 磁路	13
2.2 磁头缝隙附近磁场的计算	21
2.3 磁头缝隙附近磁场分布的验证	41
第三章 记录磁化过程	48
3.1 引言	48
3.2 磁化曲线的性质	49
3.3 自去磁作用	51
3.4 记录媒质的磁化	65
第四章 偏磁记录	78
4.1 记录方式的分类	78
4.2 剩磁的生成过程	79
4.3 无磁滞剩磁	82
4.4 粒子间的互相作用	85
4.5 交流偏磁磁化过程	90
4.6 直流偏磁记录	101
第五章 调制记录方式	106
5.1 引言	106
5.2 FM 调制	107
5.3 磁性录象	109

5.4	脉冲编码调制(PCM)	110
第六章	数字记录	112
6.1	引言	112
6.2	调制方式	113
6.3	磁化机构	116
第七章	重放过程	118
7.1	引言	118
7.2	由记录媒质产生的磁场	120
7.3	重放响应	125
7.4	重放损失	134
7.5	数字信号的重放	147
7.6	噪声	158
第八章	其他记录技术	163
8.1	横方向记录,厚度方向记录	163
8.2	磁强记录仪	164
8.3	边界偏位记录	165
8.4	磁性复制	167
第九章	记录媒质	175
9.1	记录媒质的设计标准	175
9.2	记录用材料	176
9.3	微粒子的磁化机构	189
第十章	磁头	208
10.1	磁头的构造和材料	208
10.2	铁心损失和导磁率	214
10.3	磁头噪声	225
10.4	各种形态的磁头	226
索引		236

第一章 总 论

1.1 记录方式的分类

我们想知道过去的事情,想表现现在的心情,想为了未来留下字迹,想向远方传送信息,这种冲动是我们的本性,于是就产生了绘画、雕刻、文学艺术或是文化遗迹。作为科学技术发展的必然产物,对符号、图象等信息加以记录和保存就成为必要的了。

为了记录信息,对应信息的内容,给物质加上“应力”就必然呈现“应变”(图 1.1)。但是,这里所说的“应力”,并不是指力学的作用,而是指与信息具有一定关系的能量。所谓“应变”也是指与应力具有一定关系而产生的变形。利用它作为记录装置时,下述两点是必要的。

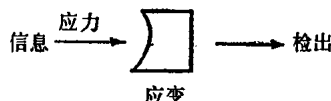


图 1.1 信息的记录

(1) 应变应是稳定的;

(2) 加应力的方法, 应

该容易检出应变。其次,希望满足下列条件:

(3) 应变涉及的区域应该小,能够加上许多应力(即记录容量大和记录密度大)。

(4) 加应力和检出应变所需要的时间要短(高速性)。

A. 记录媒质的种类

(1) 机械的变形(包括涂布) (记录媒质举例) 石头、墙壁、黑板、纸张(各种书籍、复印件等)木材、唱片。

(2) 光透过度 光学胶片、穿孔卡片(punch card)、纸带(paper tape)。

(3) 磁化 磁带、磁鼓、磁盘、磁卡片、磁心、磁性薄膜、磁片、磁泡。

(4) 电荷 半导体触发电路、电荷转移器件 (CCD)、静电记录管、超导元件。

(5) 振动的传播 延迟线。

B. 挥发性

切断电源后,记录信息消失的情况,称为有挥发性(volatile)。磁记录、记忆均属于非挥发性。用电荷作为信息记录形式的容易呈现挥发。延迟线等,即使不切断电源由于每一定期进行重写(regeneration),需要保持信息。

C. 连续性

非挥发性的存贮器可分为对信息消去,再使用(改写)可能的和不可能的两种。磁记录、存贮器属于可能的,而改写不可能的存贮器称为固定存贮器[只读存贮器(read only memory—ROM)、永久性存贮器(permanent memory)、静存贮器(dead memory)]。穿孔卡片,纸带是这种存贮器的典型例子,而半导体集成电路也有由于在FET晶体管上贮存电荷,作成IC ROM后使用的方法。也有能够变更存贮或作若干的改写的(半固定式)。

D. 媒质可动型和媒质静止型

用纸记笔记或使用打字机时,纸(媒质)和笔记用具(或是铅字)必须作某些相对运动。其中,媒质逐渐作机械的移动而写入或读出的方式称为媒质可动型。相当于A项中所例举的

由机械的变形而记录的以及磁带、磁鼓、磁盘、磁卡、磁片。

媒质是连续的，无构造的。因为它是逐次按序存取 (sequential access) 的，由被记录地址(address)存取所必需的时间(存取时间 access time)也不同。媒质可动型可分成如磁鼓装置那样存取时间是周期性的(periodic)和磁带装置那样前进式的(progressive)。

将媒质固定，通过电子电路存取也能进行写入和读出。这种方式称为媒质静止型。因为没有伴随机械的运动，存取时间短。存贮媒质是分散的，又因为各存贮元件(存贮单元 memory cell)在空间排列，所以就没有由于地址而造成的存取时间之差，这称为等速存取存贮器(随机存取存贮器 random access memory——RAM)。相当于在 A 项中所列举的以电荷形态而记录的媒质，以及磁心、磁性薄膜。

再者，延迟线媒质是静止型，所以存取如同磁鼓那样是周期性的，这种称为循环型(cyclic)。

当记录媒质是人脑时，将记录(recording)改用“存贮(memory)”这一术语来代替。对电子计算机而言，拟人化而用记忆或与其相反用存贮(storage)。将信息写入和取出分别称为“写入(write in)”，“读出(read out, sense)”。但在磁性录音、录象里使用“记录”、“重放(reproduction, play back)”这种术语。

磁记录是以磁化的形式而记录的媒质可动型记录，媒质上信息的换能器使用的是磁头。

电子计算机使用的各种存贮器的性能如表 1.1 所示。磁心或半导体集成电路，元件的尺寸越小则速度越高。通常磁心外径为 0.3~2.0 mm 左右。磁心是由于磁畴壁位移引起磁化的变化，而磁性薄膜是由于旋转而引起磁化反转的，所以可以形成高速。但是，制成非常均匀的膜是有困难的，输出

表 1.1 各种存贮器的特性

	存贮密度 [kbits/in ²]	存 取 时 间	挥发性	消去后 再使用
磁 心	0.08~0.16	0.1~10 μ s	无	可 以
磁 鼓	30~120	5~20 ms	无	可 以
磁 盘	100~1700	5~300 ms	无	可 以
磁 卡	10~60	200~600 ms	无	可 以
磁 带	10~1500	1~100 sec	无	可 以
磁性薄膜	30	200~500 ns	无	可 以
半导体集成电路	13~100	50~200 ns		
穿孔卡片	10[kbits/in ²]	50~150 ms	无	不可以

也小,这是它的缺点。

还有所谓存取时间,是指从指定地址开始到实际读出为止的时间而言。一般情况下,取其平均值。此外,静止型存贮器也使用循环时间(cycle time;地址被指定后到下一个地址指定所需时间)。因为磁盘装置一般磁头是移动的,存取时间可分成查找时间(seek time, head settling time)和旋转等待时间(latency time)。

1.2 磁记录技术的发展

下面就有关录音、录象技术的诞生以及进步发展的道路进行探讨。表 1.2 为形成磁记录原理的电磁现象发现的年代。从表中可以看出,基础理论的研究中心是在历史悠久的欧州。

磁性录音机是在 1898 年由丹麦 Valdemar Poulsen 发明的,1900 年在法国巴黎国际博览会上被称赞为“最近电气发明中最有兴趣的发明”。电话是在 1876 年由美国 A. G.

表 1.2 电磁现象的发现

1820	电流的磁效应 奥斯特(Oersted) (荷兰)
1820	安培法则 安培(Ampere) (法国)
1831	感应电流 法拉第(Faraday) (英国)
1832	自感 亨利(Henry) (美国)
1865	光的电磁理论及电磁场基础方程式 麦克斯韦(Maxwell) (英国) $\nabla \times \mathbf{H} = i + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho, \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$

Bell 所发明,留声机是在 1877 年由美国 T. A. Edison 所发明,1888 年美国 O. Smith 首先提出“磁性录音媒质采用与铁丝相同的材料是不适当的,可否将颗粒较小的磁性材料在棉布或绢上制成薄带”。Poulsen 将发明的录音机取名为 Telegraphone,显然是以电话的录音为目的。磁性录音机达到实用程度是在 1906 年由美国 L. De Forest 发明三极管和 1912 年由 L. De Forest 发明了放大器之后。表 1.3 表示磁记录的特别重要的发明年度,从表中不难看出,德国的磁记录技术是领先的。

表 1.3 磁记录的历史

1898	钢丝式录音机 V. Poulsen (丹麦)
1935	环状磁头 E. Schüller (德国)
1936	细颗粒磁粉涂布磁带 F. Pfeleumer (德国)
1940	交流偏磁法 永井健三等 (日本)
1950年代	计算机存储器的应用
1956	VTR(磁带录象机) Ampex公司 (美国)
1960年代	卡盘式、盒式化

比磁记录具有较长历史的录音、录象技术是唱片录音,光学摄影(摄影胶片)。其发展过程的要点分别如表 1.4,表 1.5

表 1.4 唱片录音的历史

1857	将声波记录在油烟纸上 L. Scott (美国)
1877	在黄铜制的圆筒上卷上锡箔进行高低录音 T. A. Edison (美国)
1887	在圆盘上作横向录音 E. Berliner (美国)

表 1.5 光学摄影技术的历史

1822	由柏油和熏衣草(larender)油制成软片 J. N. Niepce(法国)
1838	碘化银软片 L. J. M. Daguerre (法国)
1898	有声影片录音(采用变密式或变积式的光调制方式,多用于电影) T. A. Edison (美国)
1970年代	超级微型胶卷(缩小率 1/100~1/1000)

所示。上述三种记录技术中,任何一种直到今天还具有其独特的优点,其优点是:

- 磁记录——富有机动性,容易记录,能够消磁。
- 唱片录音——可大量复制。
- 光学摄影技术——分辨能力大。

由于磁记录具有上述的优点,所以已广泛应用于声音、图象、计算机用数字信息、测量用模拟数据的记录,虽然重点已从研制转移到应用方面,但对每个技术来看时,不少仍然可以看做是研制阶段。一方面唱片录音、光学摄影技术分别作为声音、图象的记录,已达到成熟时期。可是,利用上述的优点,在唱片上采用机械的方法将图象记录重放作了尝试(接触录象唱片),对在摄影胶卷上采用电子束记录电视信号和计算机输出作了尝试(如 EVR 系统, COM 系统),并进行了磁带采用接触法大量复制的尝试等。

记录分解能力的限度随磁性粒子或卤化银粒子的大小而

不同。现在,前者为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$,后者为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 左右,理论上讲分解到粒子内的单位晶格的大小是可能的,所以约在 $10\text{ }\text{\AA}$ 以下。因而记录媒质不一定是粒子。

1.3 磁记录机构的概述

磁带方式的磁记录系统如图 1.2(a) 所示。磁带是由供带盘送到收带盘,走带机构的中间装有消磁(消去)、记录(写入)、重放(读出)三个磁头。带速由主导轴来保持恒定。记录磁头[图 1.2(b)]和重放磁头是将信号电流变为磁化记录,将磁化记录转变成输出信号的变换器,它们的基本构造是相同的(这个关系,可看做是传声器和扬声器,发送和接收天线等各种换能器共同具有的),因而将两者合并在一起使用的情況也不少。

关于这个系统的记录重放作用,可按下列分类来考虑。

A. 消磁过程

磁带记录之前,先用消磁头的超音频磁场,将已记录信号消去。此外也有采用直流磁场(是由直流电流或永久磁铁)按一定方向磁化,从而将已记录信号消去的方法。这种方法,使用在数字记录或为了节约电力的简易型录音机上。此外,若将记录媒质加热到居里(Curie)点以上也能够进行消磁。

B. 记录过程

在高导磁率材料上绕上线圈,当线圈有电流流过,则记录磁头就产生磁场,导致磁带的磁性粒子磁化。磁带是将磁性粒子(粒子长度小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的针状 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 在粘合剂中进行分散,然后涂布在带基上,涂层厚度为 $3\sim 12\text{ }\mu\text{m}$ 。带基材料

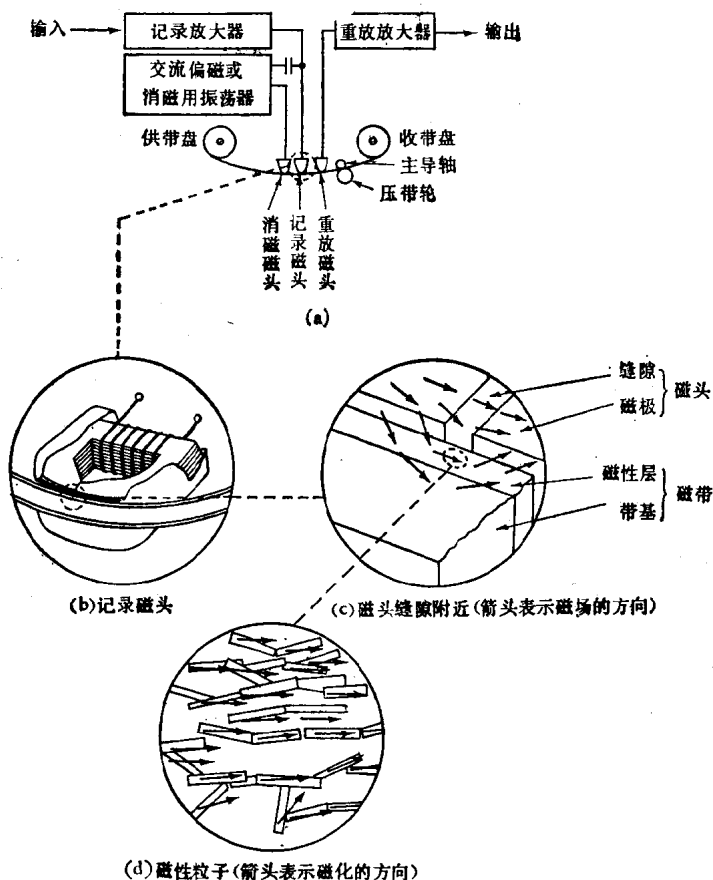


图 1.2 磁带方式记录系统

要考虑断裂强度、耐热性、耐湿性、柔软性等。通常使用氯化乙烯、醋酸纤维和聚酯作为带基材料。带基厚度取 $6 \sim 38 \mu\text{m}$, 磁带宽度为 $3.81 \sim 50.8 \text{ mm}$ 。

对记录磁头的磁场要求是：

- (1) 在磁带长度方向要有足够强度的磁场。

(2) 在窄缝隙范围内产生急陡的磁场。

这样才能进行高密度记录。磁带的磁化是根据磁头产生的磁场的大小、方向、频率、带速以及磁带的磁特性来决定它的大小和方向。希望磁带的剩余磁化尽量大些,在录音时,还要求剩余磁化和磁头磁场成线性关系。

记录磁场与剩余磁化的关系,一般情况下具有明显的非线性,但在某个范围内这一特性曲线的斜率(非可逆磁化率)大,而且有接近直线部分。为了充分利用这个直线段,在记录时要加上交流偏磁(或直流偏磁)。这个交流偏磁磁场,希望在不使磁带磁化的超音频率(实际上取 $50\sim 100\text{ kHz}$)下能够使磁带饱和磁化。在数字记录方式时,因为要进行正负的饱和磁化记录(饱和型记录),所以不采用偏磁(偏压)记录方式。

记录过程首先受磁头铁心的高频损失(涡流损失和磁滞损失)的影响。其次受磁带在磁头缝隙附近由于磁场的扩张而产生记录去磁,磁头和磁带之间的间隙产生的损失(记录间隔损失)以及由于磁带磁化而产生的减磁场(自去磁场)的影响。严格讲,由于记录磁头也受磁带磁化的作用,所以磁头磁场也因磁带的有无而异。就是说,磁带受记录磁头的镜像磁荷的影响。在记录波长短的情况下,磁带磁性层表面和深部产生相位差,显著情况下形成旋转磁化方式成为较大损失的原因。

C. 存贮过程

磁带从记录磁头离开时,仅仅受自去磁场的作用。缠绕在带盘时,当带基很薄时相邻磁带层的信号被记录下来(通常称为复印效应)。由于使用条件不同,磁带的复印效应会受到周围的磁场、湿度、温度或压力的影响。