

新一代高密度数字多用光盘(HD-DVD)研究进展*

刘波[†] 阮昊 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所 上海 201800)

摘要 文章综述了新一代高密度数字多用光盘的研究进展,介绍了多种新型蓝绿光高密度可录和可擦重写光盘存储材料,讨论了高密度数字多用光盘所面临的问题及其解决方法,最后提出了中国超高密度光盘存储技术发展的研究思路.

关键词 高密度数字多用光盘,数据传输速率,扰动,串扰/串擦

OVERVIEW AND FUTURE PROSPECTS OF NEW HIGH-DENSITY DIGITAL VERSATILE DISKS

LIU Bo[†] RUAN Hao GAN Fu-Xi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract Progress in the development of new high-density digital versatile disk(HD-DVD) is reviewed. Several novel blue-green laserrecording materials, the problems facing HD-DVD and their solutions are discussed. Various issues that should be taken into consideration in future research on super high-density optical disk storage in China are pointed out.

Key words high-density digital versatile disk(HD-DVD), data transfer rate, jitter, cross-talk/cross-erase

1 引言

进入 21 世纪,全球性的数字革命已经拉开帷幕,网络和计算机软件领域的突飞猛进加速了信息量的爆炸式产生.信息技术是 21 世纪的关键技术,信息产业是 21 世纪的支柱产业.在信息技术的几个环节(获取、传播、存储、显示和处理)中,信息存储是关键.

光存储最早的形式为缩微照相,从 20 世纪初开始,经历了较长的时间,成为文档资料长期保存的主要形式.光盘存储技术发展到了 20 世纪 80 年代,开创了 CD(compact disk)的应用新纪元.进入 20 世纪 90 年代以来,与只读式光盘读出驱动器相兼容的一次写入型和可擦重写型系列光盘相继出现在多媒体领域,主要包括 CD-R(CD-recordable),PD(Phase-change dual),CD-RW(CD-rewritable)和 DVD-RAM(digital versatile disk-random access memory).在 21 世纪初,即将推向市场的光盘主要为 DVD-R(DVD-recordable)和 DVD-RW(DVD-rewritable).为适应通讯网络和数字广播日益增加的爆炸式数字

信息容量,存储容量更大的 HD-(DVD) high density-DVD)系列光盘将成为今后光存储领域的研究重点.表 1 列出了今后光盘存储密度和数据传输速率的发展趋势^[1].

本文将综述新一代高密度数字多用光盘(HD-DVD)的研究进展及其所面临的几个主要问题,并讨论解决问题的方法和措施.

2 光盘存储技术的发展及对 HD-DVD 的要求

引导光存储领域不断向前发展的一条主线是如何提高存储密度.在目前光盘存储技术中,载有信息的调制激光束通过物镜聚焦于光盘存储介质层上记录,属于远场光记录,记录点的尺寸决定于聚焦光的衍射极限.众所周知,在光的衍射极限下,光线的聚焦直径(d)与光波长(λ)成正比而与镜头的数值孔

* 上海应用物理中心和国家自然科学基金(批准号:59832060)资助项目

2002-04-14 收到初稿 2002-05-27 修回

[†] 通讯联系人. E-mail: lb73sd@sina.com.cn; Tel: 021-59913286

表 1 光盘存储技术发展进程

时间	型号	记录波长 /nm	$\phi 5''$ 单面容量 /GB	存储密度 (Gb/in^2)	道间距 / μm	最小记录长度 μm	扫描速度 (m/s)	存取时间 /ms	数据传输速率 (Mb/s)
目前	CD 系列	780	0.6	0.25	1.6	0.83	1.2—1.4	100	4.32
约 2000 年	DVD 系列	630/650	4.7	2.0	0.74—0.59	0.44—0.28	3.84	30	26—27
约 2005 年	HD-DVD 系列	400—500	20—50	10—20	< 0.3	< 0.2	10—20	10—20	50—100
约 2010 年	SHD	200—350	250	100	< 0.1	0.05—0.1	30	2—5	500—1000

径(NA)成反比,即

$$d = 1.22 \frac{\lambda}{NA}$$

而存储密度正比于 $(NA/\lambda)^2$ 。所以要提高存储的位密度,就要缩短激光波长和升高物镜的数值孔径。增加存储的道密度,就要缩短伺服道的间距,也可以采取台和槽同时记录的方法^[2]。

近年来,蓝绿光半导体激光器有很快的发展,特别是 GaN 半导体激光器,不久将实用化,因此光盘的容量达到 20GB 的目标可望实现。这方面目前各国都在研究开发,希望 21 世纪初(约 2005)能实用化,称之为高密度 DVD(HD-DVD)存储技术,其目标和措施见表 2^[1]。

表 2 超高密度光盘(HD-DVD)存储技术的目标和措施

目标	存储密度	10—20GB/in ²
	最小记录尺寸	< 200nm, 接近或小于光衍射极限
措施	· 缩短记录激光波长和记录点尺寸 短波长 GaN 激光器: 波长 400—450nm 高数值孔径物镜: $NA = 0.65—1.0$ 短波长多层膜结构存储介质	
	· 超分辨率检测 光学超分辨率技术 热虹食(iris thermal eclipse)技术 磁致超分辨率技术	
	· 缩短道间距: 300—400nm	
	· 改进存储格式、编码和记录/读出方式 改进存储格式: 区域等角速度(ZCAV), 区域等线速度(ZCLV), 取样伺服(SS)	
	编码方式: 标记边缘记录	
	记录方式: 台和槽同时记录	

3 HD-DVD 的记录材料选择

存储介质一直是高密度光存储技术中的关键问题。目前研究工作主要集中在无机材料和有机光色材料的研究探索方面。中国科学院上海光学精密机械研究所高密度光存储实验室承担了“九五”国家自然科学基金重点项目“蓝绿光高密度光盘存储材料研究”,对蓝绿光高密度可录和可擦写光盘存储材料

的化学成分、微观结构、制备条件与其存储性能间的关系及存储机理等进行系统的研究,为第三代光盘(HD-DVD)提供了性能优良、有实用价值的无机和有机存储材料。概括地讲,主要有以下几类^[3]:

(1)无机光存储材料: Ag-In-Sb-Te 系和 Ge-Sb-Te 系相变材料及其掺杂材料,如 Ag-In-Sb-Tb-O, Ag-In-Sb-Te-Ge 和 Ge-Sb-Te-O 等。Ag-In-Sb-Te 系相变材料的特点是晶态的反射率较高(约 60%),写入功率也较低,缺点是结晶温度较低,当用于高密度记录时稳定性较差,但可通过掺杂 Ge 予以改善^[4]。另外,进行氧掺杂后其记录前后反射率对比度和写入/擦除循环等记录性能都得到了不同程度的改善。Ge-Sb-Te 系相变材料具有结晶速度快的特点,能够获得较大的数据传输速率,适度掺杂氧后,对光盘的读出性能改善很大,同时能进一步缩短结晶时间^[5]。除以上几种外,TeO_x、掺杂 SbTe^[6]和电子俘获材料也有用作高密度光存储介质的潜力。

(2)有机光存储材料: 有机光存储材料具有记录灵敏度高(导热性小、载噪比大、熔点及软化温度低、可实现分子记忆)、容易加工和便于调整结构性能等优点。目前可能用于高密度光存储介质的有推拉型偶氮染料、亚酞菁染料和金属-TCNQ 化合物等三种新型材料。

一般来讲,无机材料主要用作可擦重写型光盘,有机材料由于变化速度慢和状态稳定性差等缺点而多用作一次写入、多次读出型光盘。本文将以可擦重写型光盘为叙述重点。

4 目前国际上 HD-DVD 的最新研究成果

近来,随着数字视频播放机等数字设备的市场化,在不久的将来,数字广播会逐渐普及全世界,表 3 列出了不同类型视频应用领域对高密度光盘的要求^[7]。很明显,图像质量越高,要求的光盘容量和数据传输速率就越高,因此就迫切要求大容量、高数据传输速率的存储器的问世。为此,世界各主要存储器

研究开发机构,如索尼、飞利浦、理光、松下等跨国大公司,都非常重视新一代高密度光盘的研究开发,并为此投入了大量的人力和物力资源,也取得了一系列令人振奋的成果,具体见表4。中国科学院上海光学精密机械研究所高密度光存储实验室在蓝绿光光

盘研究方面也取得了可喜的成果,但由于目前还没有405nm波长的激光器,实验结果仅限于514.5nm波长,如果引入405nm波长激光器,存储容量完全可以达到20GB以上,与世界水平不相上下。

表3 视频应用领域对光盘的要求及实现目标所需的系统配置

视频应用领域	视频数据速率/Mbps	光盘容量/GB	光盘数据速率/Mbps	系统配置
4小时DVD视频	10(最大) 4.5(平均)	9	10—15	650nm, NA = 0.85
双道DVD质量视频(2小时/道)	2—10	9	33	650nm, NA = 0.85
2小时高分辨率视频	24	22	24—35	405nm, NA = 0.85
数字视频编辑	28	22	30—50	405nm, NA = 0.85
双道高分辨率视频	2—24	40	80	405nm, NA = 0.85

表4 世界上有关HD-DVD的最新研究成果

研究单位	记录材料	λ /nm	NA	容量/GB	数据速率/Mbps	记录位长度/nm	道间距/nm	参考文献
Sony	GeSbTe	407	0.85	22	35	130	300	[8]
Philips	GeSbTe	400	0.85	21.5	28	135	300	[9]
Ricoh	AgInSbTe	405	0.6	12	30	580	350—450	[10]
Pioneer	只读式	405	0.85	25	—	119	300	[11]
Philips	掺杂SbTe	405	0.85	22.5	70	174	300	[6]
Victor	AgInSbTe	405	0.7	17	—	218	400	[12]
TDK	AgInSbTeGe	405	0.85	22	140	130	300	[4]
Matsushita	GeSbTe GeSnSbTe	405	0.65	27(双层)	33	290	340	[13]
Samsung	—	405	0.65	30(双层)	—	230—300	340	[14]
LG	GeSbTeO	407	0.65	15	—	240	340	[15]
SIOFM	GeSbTe 或 AgInSbTe	514.5	0.85	17	—	230	—	—

注 SIOFM为Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, CAS(中国科学院上海光学精密机械研究所)

5 HD-DVD所面临的主要问题及其解决措施

5.1 光盘数据传输速率的提高

高密度和高数据传输速率是相变光盘目前两大发展重点方向。但是,随着记录速率的增加,记录材料的温度保持在结晶温度以上的时间就会减少,从而使擦除不彻底,这正是实现相变光盘高速重写的瓶颈所在。另外,记录光斑的减小会使高能量的空间分布增加,这也会限制记录速度。因此,要想获得高的数据传输速率,目前需要解决的主要问题是让GeSbTe等记录材料有足够的时间进行成核与生长(重写擦除过程)。

Yamada^[16]认为,数据传输速率的提高依赖于光盘转速和记录密度的增加,他计算了不同条件下GeSbTe相变光盘可能获得的数据传输速率,见表5。

Kasami等^[8]报道了三种提高数据传输速率的方法:首先是吸收控制法,即记录层晶态的吸收率被设计成比非晶态的大些,其次是快速结晶法,GeSbTe

记录层被陶瓷层(如SiN, AlN, SiO₂和SiC等)包夹着,界面处的成核得到了促进。第三种方法是前两种方法的结合,即吸收控制快速结晶法。利用第三种方法,记录波长为640nm,数值孔径为0.85,在直径为5英寸的光盘上获得了9.2GB的存储容量,数据传输速率达50Mbps;当记录波长缩短为407nm,数值孔径不变,存储容量为22GB时,数据传输速率为35Mbps。

表5 GeSbTe相变光盘可能获得的数据传输速率

λ (NA)	680nm	650nm	410nm
	(0.55)	(0.6)	(0.6)
转速/(m/s)=6	15.8	18.2	28.6
12	31.6	36.4	57.1
15	39.5	45.5	71.4
22	57.9	66.7	104.5
30	78.9	90.9	142.9

5.2 光盘扰动值(jitter)的降低

对于相变光盘来说,jitter是一个很重要的衡量参数,jitter值越低越好。但由于受多种因素的影响,相变光盘的jitter往往会比较高,如低的擦除率、晶

态与非晶态间吸收性能的差异、热干扰或信息间的干扰以及记录介质中针孔的增多等都会使 jitter 值升高。

计算机模拟和大量的实验发现^[17-19],晶态与非晶态间吸收性能的差异是造成 jitter 升高的主要原因。另外,槽深、散焦和径向摆动引起的偏差以及写入脉冲波形对 jitter 也有影响。因此,要想降低 jitter,首先就要从控制晶态与非晶态间吸收率的差异入手。控制吸收率就意味控制晶态与非晶态的温度升高。由于热延迟效应的存在,可以通过使晶态的吸收率比非晶态的略高来减小两相间温升的差异。但是,对于具有金属反射层的光盘,其非晶态的吸收率一般比晶态的高,同时由于金属的消光系数很大,使吸收率的控制也就变得很困难。但是,在衬底与下介电层间夹一薄层半透膜,如 Au 膜^[17],可很容易控制记录膜晶态与非晶态的吸收率。Ohkubo 等^[18]发现,通过合理设计下介电层的厚度和更换反射层材料,可以控制两相的吸收率。Si 具有很小的消光系数,它的折射率也大到足以使其用作反射层。当以 Si 作为反射层,晶态与非晶态的吸收率被调整为 71% 和 58% 时, jitter 降低了 2—3 倍。另外,他们还认为降低光盘的转速也可以减小 jitter,因为低转速时热扩散变得相对大些,而激光光斑的移动速度相对较小,使得非晶记录畴在激光光斑到达之前就已开始晶化,这意味着非晶态的吸收率会变得与晶态的几乎相同,从而降低了温升的差异,抑制了 jitter 的升高。

Jeong 等^[15,20]认为, jitter 与结晶速率密切相关,如果结晶速率不能快到足以和光盘的转速相匹配的话,将使原来的非晶畴不能完全结晶而遗留下尾巴,显然会使 jitter 升高。他们发现在记录层和上下介电层间夹杂一层掺氧的 GeSbTe 记录介质膜可以显著抑制 jitter,因为 GeSbTe - O 膜的结晶时间比 Ge - SbTe 膜短得多,同时由于记录层的成核主要发生在界面处,因此记录层的结晶速度被 GeSbTe - O 膜加速了。

Chang 等^[21]报道了一种新型的光盘记录介质保护膜——类金刚石薄膜(DLC),这种薄膜具有质量密度高、摩擦系数低、硬度大及表面平滑等优点,表面平滑有助于降低表面散射,从而降低 jitter,提高重写性能。

5.3 光盘的串扰或串擦

串扰指的是某一道内的信息受相邻道上信息的干扰。串擦是指擦除某一道内的信息时由于热扩散使相邻道因温度升高而使部分信息被擦除。

由于光盘的道间距比较小,特别是高密度光盘要求道间距尽可能的小,因此道间的串扰/串擦是不可避免的,但可以通过各种途径减轻道间的串扰/串擦。岸/槽记录可以抑制道间串扰,但岸和槽的深度要精确而又恰当地选择^[22]。在光路中插入屏蔽带能降低道间串扰^[23]。Ooki 等^[24]的报道中提到光学滤光器能有效地减轻道间串扰,并且对中心道上的信息强度不造成衰减。不过他们指出,这种方法尽管确实可以降低长记录畴的道间串扰,但对短记录畴而言,反而会使道间串扰加强。基于此,他们提出了一种新型的光学掩模,通过改变掩模的形状可以使不同长度记录畴的道间串扰都得到很好的抑制。Xu 等^[25]比较了相变可擦重写光盘的相位编码和振幅编码的串扰性能之后,发现相位编码的串扰率比振幅编码的大,而其对槽深的适应性比振幅编码的要小,这意味着振幅编码比相位编码能更有效地增加道密度,而相位编码仅适合应用于大道间距的情况。Peng 等^[26]通过计算后发现,槽的几何形状对串扰影响很大,深槽和陡的侧壁能减轻串扰,他们还指出,岸道对与其相邻的槽道产生的串扰要比槽道对与其相邻的岸道产生的串扰大。Meinders 等^[27]通过热学模拟计算了串擦发生的可能性,发现采用导热性很好的金属层作为反射层以及高转速有利于减轻串擦,并且槽记录对串擦的影响比岸记录大。

6 小结

综上所述,HD - DVD 作为新一代高密度光盘,能够满足高清晰度数字电视、数码相机、数码电影、数字录像等数字领域对存储器的要求。GaN 半导体激光器估计在未来两年内会实用化并得以快速普及,从而使 HD - DVD 高密度光盘有可能在 2—3 年的时间内实现市场化。特别是 2002 年 2 月份,索尼、松下、飞利浦等九家公司宣布目前已经开发研究出第三代光盘,并称之为“蓝光光盘(blue - ray optical disk)”,同时他们还制定了该光盘的标准制式,进一步加快了 HD - DVD 高密度光盘实用化的进程,这就对我国的光盘产业提出了严峻的挑战,因为随着我国加入 WTD,一切与国外的贸易往来都要遵循国际化规则,因此我国今后的光盘产业发展方向必须与国际标准接轨,加强与国际大公司的合作,同时尽可能多地研究开发出具有自主知识产权的成果,否则我国的光盘产业就会面临一条极其曲折艰难的道路。

参 考 文 献

- [1] 干福熹.物理,1999,28(6):323 [Gan F X. Wul(Physics),1999,28(6):323 in Chinese]
- [2] Miyagawa N ,Gotoh Y ,Ohno E *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,1993,32(11B):5324
- [3] 干福熹.中国科学基金 2002 年 [Gan F X. Bulletin of National Natural Science Foundation of China 2002 年 [in Chinese]]
- [4] Inoue H ,Hirata H ,Kato T *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):164
- [5] Men L Q ,Tominaga J ,Fuji H *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2000,39(5A):2639
- [6] Borg H J ,Van Schijndel M ,Rijpers J C N *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1592
- [7] Narahara T ,Kobayashi S ,Hattori M *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2000,39(2B):912
- [8] Kasami Y ,Kuroda Y ,Sato K *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2000,39(2B):756
- [9] Tieke B ,Dekker M ,Pfeffer N *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2000,39(2B):762
- [10] Shinotsuka M ,Onagi N ,Harigaya M. Jpn. J. Appl. Phys. ,2000,39(2B):976
- [11] Yanagisawa T ,Nomoto T ,Ohsawa S *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1536
- [12] Iwata K ,Nakano E ,Hosoda A *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1637
- [13] Akiyama T ,Uno M ,Kitama H *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1598
- [14] Ko J ,Park I S ,Yoon D S *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1604
- [15] Jeong T H ,Seo H ,Lee K L *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1609
- [16] Yamada N. SPIE ,1997,3109:28
- [17] Nakamura N ,Morishita N ,Suzuki K *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,1998,37(6A):3339
- [18] Ohkubo S ,Okada M ,Murahata M *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,1993,32(11B):5230
- [19] Ohkubo A ,Yanagisawa T ,Nomoto T *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1556
- [20] Jeong T H ,Seo H ,Yeon C *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2000,39(2B):741
- [21] Chang J F ,Hwang W C ,Guo C T *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3A):1267
- [22] Peng C ,Mansuripur M ,Nagata K *et al.* International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage ,1998,8:65
- [23] Dobashi H ,Tanabe T ,Yamamoto M. Jpn. J. Appl. Phys. ,1997,36(1B):450
- [24] Ooki H ,Otaki K ,Ishii K. International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage ,1998,8:103
- [25] Xu B X ,Chong C T ,Wang W. Jpn. J. Appl. Phys. ,1999,38(3B):1652
- [26] Chubing P ,Mansuripur M. J. Appl. Phys. ,2000,88(3):1214
- [27] Meinders E R ,Lankhorst M H R ,Borg H J *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. ,2001,40(3B):1558

· 信息服务 ·

中国科学院力学研究所

招收纳米物理力学博士研究生、博士后

——欢迎物理、材料、力学、物理化学等专业硕士、博士加入纳米科技研究队伍

专 业 纳 米 物 理 力 学

专业简介 物理力学是中国科学院力学研究所首任所长钱学森院士开创,并已成为世界科技热门的物理与力学的交叉学科,以纳米材料和纳米机电系统为研究对象的物理力学称为纳米物理力学,它是纳米科技的支柱。

有志青年应该勇于跨入交叉学科,因为它是最容易出创新成果的领域。据统计,诺贝尔奖中有70%属于交叉学科。纳米力学中的许多重要问题正等待着具有物理学功底和眼光的有志青年来解决。

研究方向 纳米材料的结构与性质,固体的细观物理力学问题,分子动力学和第一原理分子动力学,它们是原子设计、纳米与微米机电系统设计的基础的一部分,选题具有较大自由。

博士研究生主要招生对象 物理、材料、力学、物理化学等专业硕士(学士可直读博士)。

博士研究生考试科目 1. 英语 2. 数学(一定条件下,可以免试) 3. 从量子力学、统计物理中任选一科(参考书:物理系本科教材)。

拟招生人数 博士研究生3名、博士后2名(学士直博考试科目与学士考硕士相同)。

报名时间 博士研究生2002年12月—2003年2月20日,2003年7月至9月20日,博士后时间不限。

指导教师 朱如曾 <http://www.imech.ac.cn/Chinese/Personnel/zhuruzeng.htm>

E-mail: ruzengzhu@yahoo.com

电话 010-62545533 转 2108 010-62554185