

清华大学学术专著

High Density Optical Data Storage

高密度光盘数据存储

徐端颐 著

Xu Duanyi

清华大学出版社



清华大学学术专著

High Density Optical Data Storage

高密度光盘数据存储

徐端颐 著

Xu Duanyi



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

北京

内 容 简 介

本书主要介绍高密度光盘系统工作原理,光学、精密机械及控制系统设计方法、测试技术,以及通过系统集成实现超大容量超高速信息存储的原理与方法。本书主要内容包括:高密度光盘存储技术发展方向及研究目标;矢量衍射理论在高密度光盘存储中的应用;DVD光盘、光盘机的结构,机、光、电、控制系统设计及测试技术;用光的频率维记录数字信息的基本原理、存储机理、记录模型,多波长(彩色)多阶存储技术;超分辨率存储原理,非线性介质膜的静、动态光能分布模型;超分辨率存储光学特性、信息符尺寸对读出信号的影响及读出信号的测试分析;高密度母盘刻录系统结构,高频调制器设计,闭式气浮精密机械伺服与气动自动调焦技术;蓝光存储及高密度磁光盘存储系统;总容量在20TB以上超大容量存储系统集成原理、数据传输模型、可靠性分析、容错编码与高速数据存取传输技术。

图书在版编目(CIP)数据

高密度光盘数据存储/徐端颐著. —北京:清华大学出版社,2003

(清华大学学术专著)

ISBN 7-302-06282-X

I. 高… II. 徐… III. 高密度光盘—信息存储 IV. TP333.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第027640号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.com.cn>

责任编辑: 王一玲

印 刷 者: 北京大中印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 42.75 插页: 1 字数: 987千字

版 次: 2003年7月第1版 2003年7月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-06282-X/TP·4916

印 数: 1~2000

定 价: 200.00元

作者简介



徐端颐 清华大学教授，博士生导师。1960年毕业于清华大学光学仪器专业，长期从事光信息存储及光学微细加工技术的研究。70年代完成超精细聚焦激光数字式数据存储实验，80年代初完成光学可擦除数据读、写、擦实验系统的研制。创建热应变微信息衍射物理数学模型，以矢量衍射理论为基础，解决了高密度光盘存储系统参量设计的精确计算问题。90年代初完成光盘存储系统结构模块化、标准化工程设计与系统集成研究，为超大容量光盘存储系统的设计、开发与生产奠定了基础。1995年完成的“光/热效应型光盘读写擦技术及系统”研究达到了当时国际领先水平，获国家发明二等奖及科技部颁发的王丹萍科技奖。在本世纪初创建特征词向量空间自动标引算法及处理模型，完成容量10TB的光盘学术期刊数据库及超大容量光盘库、光盘阵列的研制。2000年任国家重点基础研究(973)“超高密度超快速光信息存储”项目首席科学家，提出综合利用光的频率维、非线性吸收及可分阶特性存储光信息，为提高光盘存储容量开辟了一条新的途径。作为第一完成人获国家发明二等奖及科技进步三等奖各1项，省部级科技进步一等奖3项，二等奖2项，国家优秀图书提名奖及科技图书一等奖各1项，发明专利41项。发表论文138篇，出版专著5本。现任清华大学光盘国家工程研究中心主任、全国光盘标准化技术委员会主任、中国电子学会理事、光存储专业委员会主任、中国光学学会全息分会副理事长、光电子分会常务理事、中国学术期刊(光盘版)编辑委员会副主任、国际光学工程学会微细加工技术委员会委员等职。

序

“以信息化带动现代化”是我国国民经济建设发展的基本国策,而信息的保存则是社会信息化中的重要环节。随着信息量以指数函数递增,对信息的存储容量及存取速度的要求必将同步增长。光盘存储是近代继磁盘存储之后发展起来的重要信息存储技术,近年来不仅在技术上取得了重大突破,在商业性规模生产方面也获得了巨大成功,全面被信息产业采用。我国也已成为世界光盘与光盘机生产消费的大国。但与其他高科技产业一样,我国光盘产业目前所用的技术基本源于国外,知识产权问题长期困扰我国光盘工业的发展。我国光盘存储技术的基础研究,包括专利技术及高水平的论文和专著都明显落后于产业发展的需求。我国政府对此十分重视,“超高密度超快速光存储技术的基础研究”被列为国家重点基础研究(973)项目。本书作者徐端颐教授作为此项目的首席科学家,曾于2000年出版过《光盘存储系统设计原理》一书,并于2001年同时获“国家优秀科技图书一等奖”和“全国优秀图书提名奖”。该书主要介绍了目前光盘工业界所用的现实产品的设计技术,对今后光盘技术的新发展及下一代高密度光盘存储技术均未提及。所以清华大学出版社目前出版《高密度光盘数据存储》是适宜的。此书不仅介绍了容量在5GB以上的DVD光盘存储技术,而且重点介绍了容量在10GB以上的新一代高密度光盘存储技术。

本书的内容还有如下特点:第一,系统介绍了光盘存储密度提高以后,分析计算原理发生的变化。例如高密度光盘存储系统中,由于光学系统的数值孔径增大,原光盘系统设计所用的标量衍射理论及以此为基础的分析计算方法误差很大。本书系统介绍了将矢量衍射理论引入高密度光盘存储系统分析计算的基本原理、应用方法及实验结果,有效地提高了理论计算精度,对高密度光盘存储光学系统设计有重要参考价值。第二,不是简单地归纳和介绍国内外高密度光盘存储技术,而是在全面分析提高光盘存储密度的各种技术路线的基础上,重点介绍利用光的频率维、光信号的可分阶特性及某些介质在强光能作用下的非线性吸收等特性提高光盘存储密度的原理和方案。按照此技术路线,可在同样光学系统数值孔径下大幅度提高光盘密度、容量和数据传输率,为提高光盘存储容量开辟了一条新的途径。第三,比较全面地介绍了实现超大容量、超高密度光盘存储所需的相关技术,包括高密度母盘刻录及20TB以上超大容量存储系统的集成技术。令人欣慰的是在本书出版前,书中介绍的许多关键技术,包括多波长多阶光盘存储技术、超大容量存储系统的集成技术等已通过了国家鉴定,初步展示了这些技术的应用前景。笔者认为,本书是我国光信息存储领域中的一部极有价值的专著,它的出版将对该领域技术的发展作出重要贡献。

金国藩

2002年12月25日

前 言

随着信息社会的到来,信息存储在国民经济建设及现代军事科学技术中的重要性日益突出,信息的存储是社会信息化中不可缺少的环节。由于信息量以指数函数递增,因此信息的存储必须与之相适应,高密度、大容量信息存储技术已成为社会信息化中需要长期研究解决的重要课题。据预测,到2005年,计算机外部存储容量至少为100GB,数据传输率至少应达到50MB/s。所以必须不断研究开发高密度、高速信息存储技术和系统。高密度大容量光盘信息存储是当前的主流研究发展方向,它建立在包括衍射光学、近场光学、微光学、光电子学、精密工程、材料科学、光化学、并行工程、信息编码与处理算法等多学科综合发展的基础之上,属于新兴的边缘科学。正因为如此,光盘存储有较大的技术发展空间,是继磁记录之后新兴起的重要信息存储技术,受到有关主管部门的高度重视,1999年被列为国家“973”重点基础研究项目。本书涉及的成果大部分正是在国家重点基础研究,即“新型超高密度、超快速光信息存储与处理的基础研究”(G199903000)项目基金的支持下完成的。

由于此项技术发展迅速,而系统介绍高密度光盘存储技术的专著很少,作者根据学术界和产业界朋友的建议,在完成《光盘存储系统设计原理》(北京:国防工业出版社出版,2000)一书之后,又编写了此书。希望本书的出版能对我国光盘技术和新产品的研究、开发、生产有所帮助。本书主要介绍盘容量在1GB以上的光盘技术,包括DVD光盘技术,故称为《高密度光盘数据存储》。光盘存储密度及容量的大幅度提高,显然不是简单的数量上的增加,许多重要环节有根本性的、原理性的变化。例如高密度光盘存储系统中由于光学系统的数值孔径加大,普通密度的CD光盘光学系统设计所用的标量衍射理论已不能满足要求,必须采用更精确的矢量衍射理论。另外,缩小记录信息符几何尺寸,已不再是提高存光盘密度的唯一途径。本书将介绍通过其他技术路线,如采用光的频率维、光度的可分阶特性及介质的非线性吸收等来提高存储密度及容量的可能性;利用系统集成概念实现超大容量信息存储等技术。本书的另一特点是以拥有自主知识产权的研究成果、发明专利为主,重点介绍清华大学在此领域的最新前沿研究成果,对国内外已公开发表的内容基本上不作具体介绍,仅将其列在参考文献中供读者参考。

本书主要介绍新一代高密度光盘数据存储系统工作的原理,光学、精密机械及控制系统设计方法、测试技术,各种专用的实验装置与系统,以及通过系统集成实现超大容量超高速信息存储的原理与方法。其中部分内容曾作为研究生教材在校内使用过,这次出版时虽作了全面的修改,但仍保留了各章内容相对独立、自成体系的特点,大部分内容亦是首次公开发表。本书的主要内容包括:高密度光盘存储发展方向;矢量衍射理论在高密度光盘中的应用;DVD光盘,光盘机的结构,机、光、电、控系统设计及盘片测试技术;用光的

频率维记录数字信息的基本原理和方法,存储机理,记录模型,多波长(彩色)多阶光盘存储技术;超分辨率存储原理,非线性介质掩膜的静、动态光能分布模型;超分辨率存储光学特性,信息符尺寸对读出信号的影响及读出信号的测试分析;高密度母盘刻录技术,刻录系统结构;关键部件,如连续发光激光束高频调制、高刚度闭式气浮精密导轨、机械伺服微补偿,以及气动自动调焦等技术和系统的设计方法;盘容量在 5GB 以上磁光盘存储系统及信号读取,控制电路设计;总容量在 20TB 以上超大容量存储系统集成原理,数据传输模型,可靠性分析,容错编码与高速数据存取传输等技术。本书共分为 10 章,各章的主要内容如下:第 1 章“概述”,介绍光存储技术的发展现状、高密度光存储技术及光存储技术的研究方向。第 2 章“矢量衍射理论”,主要介绍传统的标量衍射理论在光盘存储中应用的局限性,矢量衍射理论在高密度光盘存储中的应用背景,实际应用数学模型及衍射实验分析。第 3 章“高密度光盘存储系统”与第 4 章“高密度光盘及测试技术”,具体介绍从 CD 到 DVD 技术的发展情况,DVD 光盘,光盘机的结构,RF 信号的读取及具体的机械系统、光路系统与控制系统,DVD 光盘参数规范,盘片测试技术、方法及设备。第 5 章“光致变色存储”与第 6 章“多波长多阶存储”,介绍用光的频率维记录数字信息的基本原理和方法,包括光致变色数字存储机理、记录模型、静态实验及记录介质的特性与应用,重点介绍多波长(彩色)存储及与之配套的多阶存储技术,例如多波长的合成与分解、数字控制电路设计与实验系统;第 7 章“超分辨率存储”,介绍超分辨存储原理,非线性介质掩膜静态光能分布模型、动态模型及光学特性分析,信息符尺寸对读出信号的影响及读出信号的测试分析。第 8 章“高密度母盘刻录”,介绍继 DVD 之后的高密度母盘刻录技术,包括刻录系统结构,关键部件高频调制器的设计,闭式气浮精密机械伺服与气动自动调焦等主要关键技术。第 9 章“蓝光存储”,具体介绍用蓝光半导体激光器提高光盘密度及容量的各种技术方案,包括蓝光半导体激光器在单波长、双波长及在高密度磁光存储中的应用、原理、记录介质特性及信号读取等技术。第 10 章“超大容量存储系统集成”,介绍总容量在 20TB 以上的超大容量存储系统集成原理,典型集成系统光盘阵列塔的数据传输模型及参数优化、可靠性分析、容错编码与高速数据传输技术。

本书的主要内容来自清华大学光盘国家工程研究中心在高密度光盘存储领域的研究成果,研究生胡华、成先富、蔡忠平、麦雪松、张雷、张意、李赫雄、雷志军、赵辉、杨建东、马立军、岳宏达、刘嵘、余鹏、吕悦川、徐敏、连波、潘晋等不仅在研究工作中做出了杰出的贡献,而且都积极参与了本书的编写工作。组织领导和参与这些课题研究的还有清华大学光盘国家工程研究中心的齐国生、贾惠波、潘龙法三位教授,特别是金国藩院士还在百忙中对本书进行了审阅,并亲自为本书写了序言。在此向他们表示衷心的感谢。

作者

2002 年 12 月于清华园

High Density Optical Data Storage

Abstract

The principles of high density optical storage systems and design of optical, precision mechanical and control systems are described in this book in the main. It is including; optical storage development and research targets; theory of vector diffraction and application in high density optical storage; structure of DVD and drive, design of optics, mechanics, electronics, control systems and testing technology; mechanism and model of digital data storage with optics frequency dimension, multi-wave length(color) and multi-level storage technology; principles of super-resolution storage, model of dynamic and static model of energy distribution in inlinear medium film; optical performances, information mark size effect to readout signal and testing analysis in super resolution optical storage; mastering system structure, design of high frequency modulator, close air-bearing precision mechanical servo and air auto-focusing in super high density mastering system; blue laser and high density magnetic optical storage; high speed data transfer model, reliability analysis and error correction in system integration of capacity over 20TB.

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 光存储技术的发展现状	1
1.2 高密度光存储技术	4
1.3 光存储技术的研究方向.....	13
第 2 章 矢量衍射理论	19
2.1 标量衍射理论简介.....	19
2.2 矢量衍射理论.....	26
2.3 矢量衍射理论的应用.....	50
2.4 衍射实验分析.....	71
第 3 章 高密度光盘存储系统	92
3.1 从 CD 到 DVD 的发展及标准	92
3.2 DVD 光盘结构	95
3.3 信号处理	100
3.4 机械系统	106
3.5 光路系统	112
3.6 控制系统	131
3.7 系统调试分析	147
附录.....	155
第 4 章 DVD 光盘及测试技术	161
4.1 DVD 光盘参数规范.....	161
4.2 盘片测试技术	171
4.3 盘片测试仪	185
4.4 性能试验测试方法	201
第 5 章 光致变色存储	217
5.1 光致变色数字存储机理	217
5.2 光致变色信息记录模型	226
5.3 数字光存储静态实验	235

5.4 其他有机染料在光存储中的应用	261
第 6 章 多波长多阶存储	277
6.1 多波长(彩色)存储	277
6.2 彩色多阶光存储	281
6.3 多波长的合成与分解	300
6.4 数字控制电路	312
6.5 实验系统性能与实验结果	335
第 7 章 超分辨率存储	340
7.1 超分辨存储原理	340
7.2 非线性介质掩膜静态光能分布模型	349
7.3 动态模型及光学特性分析	360
7.4 信息符尺寸对读出信号的影响	375
7.5 读出信号测试系统	391
第 8 章 高密度母盘刻录	415
8.1 刻录系统的基本结构	415
8.2 声光调制器的设计	425
8.3 闭式气浮导轨的设计与测试分析	476
8.4 气体静压轴承工作特性	499
8.5 气动自动调焦系统	521
第 9 章 蓝光存储	530
9.1 蓝光存储技术的发展现状	530
9.2 与 DVD 兼容的蓝光存储系统	538
9.3 高密度磁光存储	548
第 10 章 超大容量存储系统集成	591
10.1 超大容量存储系统集成原理	591
10.2 典型集成系统——光盘阵列塔	598
10.3 数据传输模型及参数优化	616
10.4 数据可靠性分析	624
10.5 容错编码技术	635
10.6 高速数据传输	645
参考文献	661

Contents

Chapter 1 Summarize	1
1.1 Optical Storage Development	1
1.2 High Density Optical Storage Technology	4
1.3 The Targets of Optical Storage Research	13
Chapter 2 Theory of Vector Diffraction	19
2.1 Introduction for Theory of Vector Diffraction	19
2.2 Theory of Vector Diffraction	26
2.3 Application of Vector Diffraction Theory	50
2.4 Diffraction Experiment Analysis	71
Chapter 3 High Density Optical Storage Systems	92
3.1 Development and Standard from CD to DVD	92
3.2 The Configuration of DVD	95
3.3 Signal Processing	100
3.4 Mechanical System	106
3.5 Optical System	112
3.6 Control System	131
3.7 System Debugging and Analysis	147
Appendix	155
Chapter 4 High Density Optical Disc and Testing	161
4.1 Criterion of DVD Disc Parameters	161
4.2 Disc Testing Technology	171
4.3 Instruments of Disc Testing	185
4.4 Method of Performance Testing	201
Chapter 5 Photochromic Storage	217
5.1 The Mechanism of Photochromic Digital Storage	217
5.2 The Model of Photochromic Recording	226
5.3 Static Experiment of Optical Digital Storage	235

5.4	Application of Other Organic Dyes in Optical Storage	261
Chapter 6	Multi-wavelength and Multi-level Optical Storage	277
6.1	Multi-wavelength (Color) Optical Storage	277
6.2	Color Multi-level Optical Storage	281
6.3	Compound and Decompose of Multi-wavelength	300
6.4	Digital Control Circuit	312
6.5	Performance of Experiment System and Testing Results	335
Chapter 7	Super-resolution Optical Storage	340
7.1	Principles of Super-resolution Optical Storage	340
7.2	Static Model of Energy Distribution in Inlinear Medium Film	349
7.3	Dynamic Model and Optical Performance Analysis	360
7.4	Effect of the Mark Size to Readout Signal	375
7.5	Readout Signal Testing System	391
Chapter 8	High Density Mastering	415
8.1	Typical Structure of Mastering System	415
8.2	Design of Audio-Optical Modulator(AOM)	425
8.3	Theory Analysis and Experiment of Close Air Bearing	476
8.4	Specification of Air Bearing	499
8.5	Automatic Air Focusing System	521
Chapter 9	Blue Laser Optical Storage	530
9.1	Development of Blue Laser Optical Storage	530
9.2	Blue Laser Optical Storage System Compatible with DVD	538
9.3	High Density Magnet-optical Storage	548
Chapter 10	Super Capacity Optical Storage System Integration	591
10.1	Principles of Super Mass Data Storage System Integration	591
10.2	Typical System Integration—Optical Array Tower	598
10.3	Data Transfer Model and Parameters Optimized	616
10.4	Data Reliability Analysis	624
10.5	Error Correction Technology	635
10.6	High Speed Data Transfer	645
References	661

第1章 概述

1.1 光存储技术的发展现状

信息存储在国民经济建设及现代军事科学技术中具有十分重要的地位,光存储是继磁记录之后新兴起的重要信息存储技术。近年来,光存储不仅在技术上取得了重大突破,在商业性规模生产方面也获得了巨大成功,逐渐形成了一个引人注目的高科技产业。以光盘为代表的光学数字式数据存储技术已成为当代信息社会中不可缺少的信息载体,并且因其渗透性极强和自成体系而备受社会关注。我国对光盘技术及产品的研究、开发、生产及推广应用均已取得了显著成效。

20世纪80年代的光存储产品进入市场时,它比当时通常使用的紧密磁盘具有高出一个数量级的存储密度。由于它采用非接触式读写操作,具有易于更换盘片,保存寿命长,每位信息的成本低廉等优点而被认为是下一代数字存储的主流产品。但在90年代中期,由于磁盘技术得到了突破性的发展而使其记录密度达到甚至超过了光存储的记录密度,另外由于光学头的质量比磁头大得多,使得光存储的读写速度也受到了很大的制约。光存储技术将面临严峻的竞争,如图1-1-1所示。

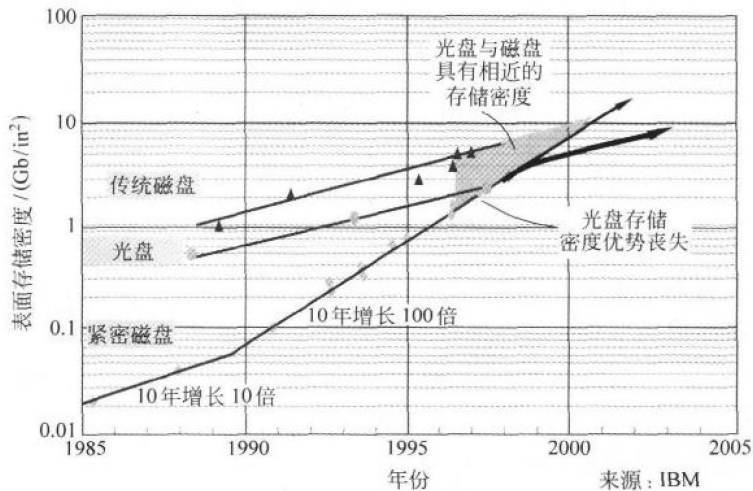


图 1-1-1 光盘与磁盘存储密度的增长

如何继续提高光盘存储密度已成为本领域中极为重要的研究课题,研究开发新一代的高密高速数字光盘存储技术具有重要的现实意义。就光盘技术与系统发展的潜能而

言,在不久的将来,用户的所有信息,包括操作系统在内的软件都可存储在光盘上,而不用加载到 HDD 上。而且有可能带来应用上的新概念,即每个人或部门只要单独携带自己的一张光盘,就可以随时在任何一台计算机上运行自己独立的系统。有理由相信,新一代的密度和容量更高的光盘会在多媒体应用方面起重要的作用,为下一代计算机增添新的功能。总之,随着光盘存储技术的不断发展,光盘的可靠性、位存储价格、可携带性、可重复写次数、长期保存寿命等方面居于显著优势,在技术和市场方面具有良好的前景。

在社会需求方面,近年来随着多媒体技术的发展,对计算机外存的容量和速度不断提出了更高的要求。如图 1-1-2 所示,始于 1993 年的第一代多媒体技术,对于容量为 650MB、数据传输率 1Mbps 的光盘已完全满足要求,而预计始于 2005 年的第三代多媒体技术,特别是三维动画的出现,预计要求外存容量至少为 100GB,数据传输率至少为 50Mbps,现有的光磁软盘、磁光光盘、相变光盘均不能满足要求。当然,光盘存储技术本身存在巨大的发展空间,随着高密度光存储技术研究工作的进展,光盘存储将在容量、读写速度等方面不断提高并在数字存储领域重新定位。

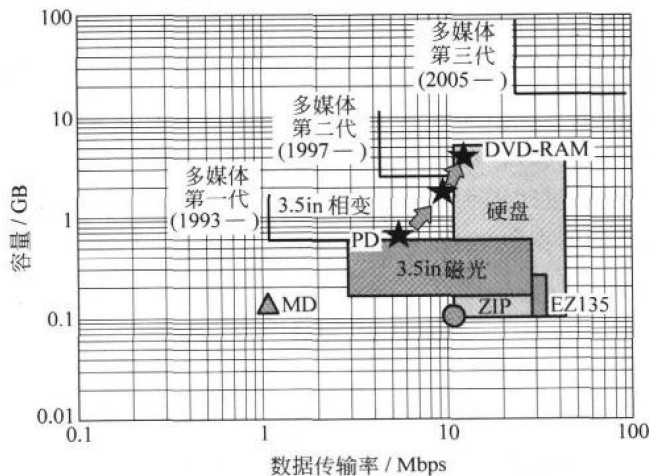


图 1-1-2 多媒体技术的发展对高密高速外存的需求

提高光盘密度和容量首先考虑的就是缩短所用激光器的波长和增大物镜数值孔径,第一代 CD 光盘使用的半导体激光器的波长为 830nm,物镜数值孔径为 0.38,其后采用的激光波长为 780nm,物镜数值孔径为 0.45,轨道间距为 $1.6\mu\text{m}$,最短信息坑长度约 $0.8\mu\text{m}$,容量为 650MB,广泛地用于 VCD,CD-ROM,CD-R 及 CD-RW 等产品系列。目前面世的新一代的高密度光盘即 DVD 光盘,激光波长减小到 650nm,物镜数值孔径增加到 0.6,轨道间距为 $0.74\mu\text{m}$,最短信息坑长度约 $0.4\mu\text{m}$,物理密度比 CD 光盘提高了 4 倍以上,实现单面单层 4.7GB,最大盘容量可达到 18GB,即 DVD 光盘,如图 1-1-3 所示。预计下一代主流光盘将进一步沿着这一方向发展,其目标是采用波长更短的蓝光激光器,继续增大物镜的数值孔径,将波长缩短至 400nm 左右,而数值孔径加大至 0.8~0.9,最终实现 120mm 盘的单面单层容量在 25GB 以上。若要再进一步提高光盘的密度和容量,则不能完全依赖这一技术思路,必须引进新的技术,例如利用空间三维或光的频率维进行信

息存储,采用多阶存储代替目前的二阶存储,采用近场超分辨率技术取代传统的远场技术等,这些光盘存储技术的研究工作大部分已在实验室基本完成,商品化推向市场尚待时日,目前还没有统一的名称和标准。按清华大学光盘国家工程研究中心制定的分类方法,光盘被分为以下系列:容量在 1GB 以下为 CD 系列;容量在 1GB~10GB 之间为 ECD 系列;容量在 10GB~100GB 之间为 HCD;容量在 100GB 以上为 TCD。本书将系统介绍可能用于这些光盘存储的基本技术。

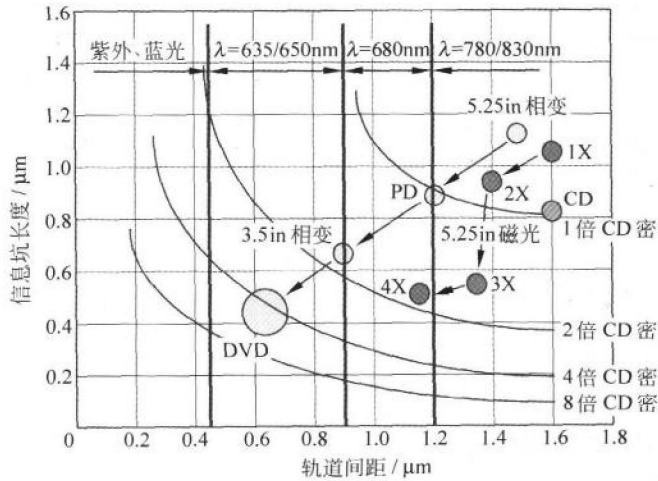


图 1-1-3 光盘密度提高的传统方法:减小读写光斑尺寸

图 1-1-4 为新一代的蓝光光盘(图 c)与普通密度的 CD 光盘、密度较高的 DVD 光盘记录信息符尺寸的比较。此光盘读写系统所用激光器波长为 405nm,物镜数值孔径为 0.85,轨道间距为 $0.3\mu\text{m}$,最短信息坑长度 $0.16\mu\text{m}$,容量为 25GB。

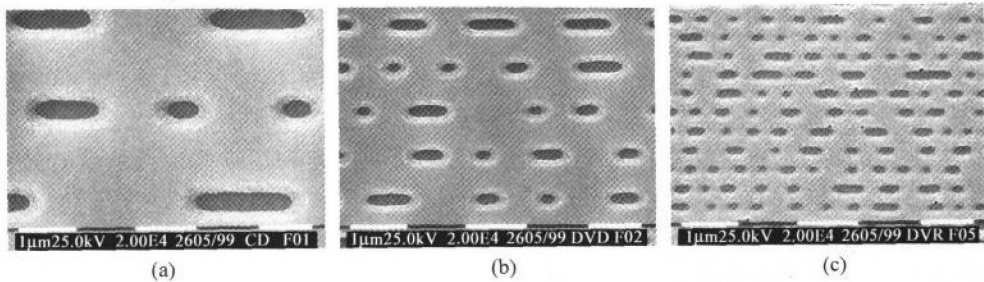


图 1-1-4 普通 CD(a), DVD(b), HCD(c) 光盘记录信息符尺寸形貌比较

从图 1-1-3 中还可看出,进一步提高光盘存储密度的基本方案是继续缩小信息符所占的空间尺寸,即加大光学头物镜的数值孔径和缩短半导体激光器的波长,这也是当今提高光盘存储密度和容量的主流技术。但这一技术路线发展至今所剩的空间已经不大。例如上面介绍的蓝光光盘存储系统,其盘片覆盖层的厚度已降到 0.1mm ,光盘具有较厚保护层的优点已逐渐消失,且继续大幅度减小激光器的波长和增大物镜数值孔径的难度很

大,因此有必要寻求其他提高存储密度和数据速率的途径,如图 1-1-5 所示。

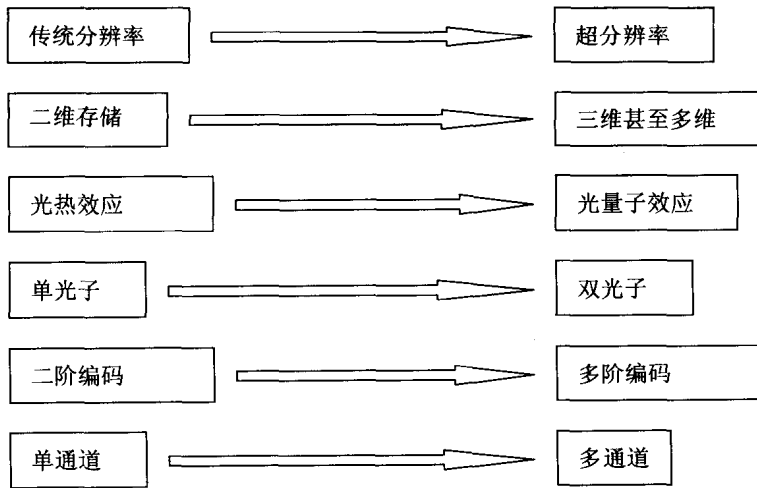


图 1-1-5 继续提高光盘存储密度与容量的各种技术路线

超分辨率技术的研究有两方面,其一是采用近场技术。近场技术可以使数值孔径超过 1,甚至达 2~3,所以信息符长度可同比例地减小,理论分析可达到 40nm 或更低。但这时物镜与光盘表面之间的距离趋于零,与目前光存储技术要求有距离,所以该技术最明显的用途是母盘刻录。其二是在盘片结构上作改进。超分辨率掩膜技术及磁光盘中所用的磁放大、孔径探测技术等都属于此技术范畴。其他提高光存储容量最显著的方法是增加存储空间,从二维至三维,DVD 系列的双层结构就比单层结构的容量提高一倍。当然简单采用此技术很难实现很多层。能大幅度利用三维空间的技术是双光子存储,由于采用荧光读出,盘中无反射层,因此可实现 100 层以上的存储。实际上多维存储的概念不限于空间三维,还可利用光的频率维及光信号的可分阶特性,在不改变光学系统数值孔径情况下提高光盘密度和容量,多波长多阶光存储就是一例。这种方法具体实施是利用半导体激光器发射光谱与许多有机或无机介质之吸收光谱相匹配的原理,实现在同一空间记录多种波长所载的信息;同时又利用介质对光强吸收程度的可分阶性,将常用的二进制编码改为多阶编码。将这两项技术结合,可实现在同一空间利用纵向编码取代传统的二进制长度编码,从而能在不改变记录光斑尺寸的情况下大幅度提高光盘密度与容量。此外,为提高数据读写速度,可利用光量子效应替代目前采用的光热效应;为提高数据传输率,在系统中采用多通道取代目前的单通道。以上技术路线的实施,能实现单盘容量 1Tb,数据传输率超过 100GB/s。对于光存储技术,还有很多可供选用的技术路线,在此不一一列举。

1.2 高密度光存储技术

在传统的光学系统和二维存储模式下,光存储的密度已经接近由物镜的数值孔径和激光波长所确定的衍射极限,所以存储密度的提高受到了极大的制约。

为了突破这一极限并进一步提高存储密度,必须探索新的技术路线,首先被纳入研究计划的是利用光在空间的互不干扰特性,即三维光存储。此项技术是将传统的平面二维光盘存储发展到三维体存储。二维光盘的记录密度取决于光的衍射极限因子 λ^2 ,而在三维存储中,记录斑点的尺寸则取决于 λ^3 ,因此三维存储将理论记录容量由 S/λ^2 提高到 V/λ^3 ,其理论存储容量扩大了 d/λ 倍(以上式中, S 为存储介质的面积, V 为存储体的体积, d 为存储体厚度, λ 为记录波长)。提高光盘存储密度的另一方向是超分辨率存储技术,即改进光盘的读写光学系统和在记录介质的性能、结构等方面进行改进,突破传统光学衍射极限的光斑尺寸,实现高密度信息储存。

1.2.1 三维光存储技术

由于光线之间互不屏蔽,所以光存储较之磁存储更容易实现三维存储。三维存储的方案很多,可利用不同波长、不同的偏振态和光波干涉等方法在存储介质上实现立体三维存储。目前已实现的主要方案包括多层存储、页面存储、多色存储、多阶存储和体全息存储等方面。

1. 页面存储

页面存储是三维存储中应用较早的方法,主要采用具有双光子吸收特性的光致变色材料作为存储介质,其原理如图 1-2-1 所示。

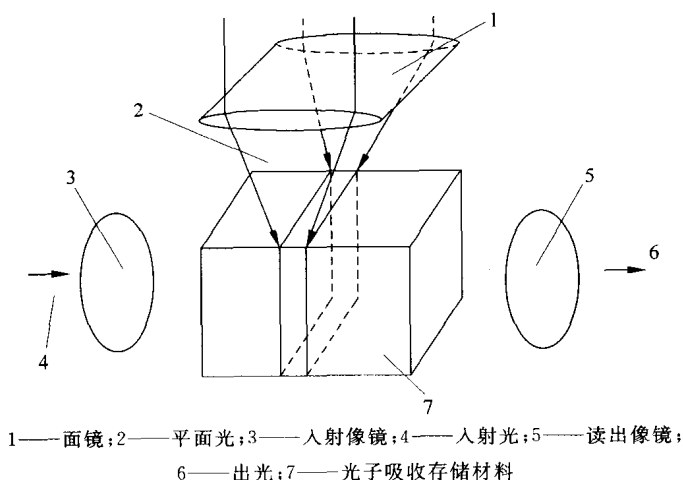


图 1-2-1 页面三维存储示意图

图 1-2-1 中,由柱面镜 1 展宽的平面光束 2 用于选择存储工作面。若另一带信息的激光束 4 同时照射在此选择面上时可实现写入,只要光束 2 沿写入光束光轴方向平移一定距离,对入射光进行调制,在两束光的交点处就又可以记录另一幅信息。两束光通过不同的光路和控制系統,就可以在整个记录介质上存储信息。读出时,先移动平面光束 2 到相应的位置,再由另一束激光束 4 垂直于此平面进行照射。此时,光束 4 作为激励光而不进行调制,在平面光所选择的平面上交会,由于双光子效应发生荧光,通过透镜 5 用 CCD 器件进行信息提取。这种方法原理相对简单,由于采用平面光束选择记录操作页面,避免了层间的串扰。数据是以页面形式存储的,可以实现整页并行数据写入和读出,可获得较