

文章编号: 0253-2239(2003)12-1513-5

蓝光相变光盘的多层膜结构设计*

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: 为了使光盘获得优良的记录/读出性能并能够长期稳定地使用, 必须优化设计相变光盘的多层膜结构。采用自行设计的模拟分析相变光盘读出过程设计软件, 从光学角度出发模拟计算了蓝光(405 nm)相变光盘的膜层结构, 研究了多层膜系的反射率和反射率对比度等光学参量与各层膜厚度和槽深的关系。研究得出的最佳多层膜结构为: 下介电层/记录层/上介电层/反射层的厚度对于台记录为 100 nm/10 nm/25 nm/60 nm, 而对于槽记录则为 140 nm/15 nm/30 nm/60 nm, 槽深为 50 nm。模拟计算结果对于将来高密度蓝光相变光盘的制备具有一定的指导意义。

关键词: 薄膜光学; 相变光盘; 蓝光; 多层膜结构

中图分类号: O438 文献标识码: A

1 引 言

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 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, 它们主要包括一次记录式光盘(CD-recordable, CD-R)、相变双层光盘(phase-change dual disk, PD)、可擦写光盘(CD-rewritable, CD-RW)、随机存取数字多功能光盘(digital versatile disk-random access memory, DVD-RAM)、一次记录数字多功能光盘(DVD-recordable, DVD-R)和可擦写数字多功能光盘(DVD-rewritable, DVD-RW)^[1]。为适应通信网络和数字广播日益增加的爆炸式数字信息容量, 存储容量更大的高密度数字光盘(high density-DVD, HD-DVD)系列光盘将成为今后光存储领域的研究重点。

为了使光盘获得优良的记录/读出性能并且能够长期稳定地使用, 必须优化设计光盘的多层膜结构。关于相变光盘多层膜结构方面的工作, 国内外已有一些报道^[2~7], 国内的报道主要以光学性能的分析为主, 集中于红光及红外波段的无预刻槽衬底上模拟计算, 而国外的报道则以热学性能模拟计算为主。本文从光学性能角度出发, 模拟计算蓝光波段有预刻槽衬底上相变光盘的多层膜结构。

2 理论模型和模拟方法

对一个多层膜系统利用薄膜的特征导纳矩阵表示其性质最为方便。图 1 为根据相变光盘实际读写情况提出的简化近似模型。并作如下假设: 将垂直盘面入射的写/读光束近似为平面平行光, 实际入射光为高斯光, 在高斯光束的近场近似条件下, 此假设是可行的; 忽略预刻槽边缘对反射光的影响, 这是因为 HD-DVD 盘基的槽间距为 300~400 nm, 槽侧壁角大于 45°, 槽侧壁上的反射光无法被探测到, 并且在蓝光波段采用大数值孔径记录时的记录畴径向尺寸一般为 130 nm 左右^[8], 与光盘衬底槽的底面或台的顶面宽度基本相当, 因此记录畴几乎延伸不到槽的侧壁上, 这一点与采用红光记录时不同, 故此假定是完全合理的。这样台/槽记录的主要差别在于衬底厚度的不同, 台记录时的衬底厚度为 d_s , 而槽记录时的衬底厚度为 $(d_s - h)$, h 为槽的深度(图 2),

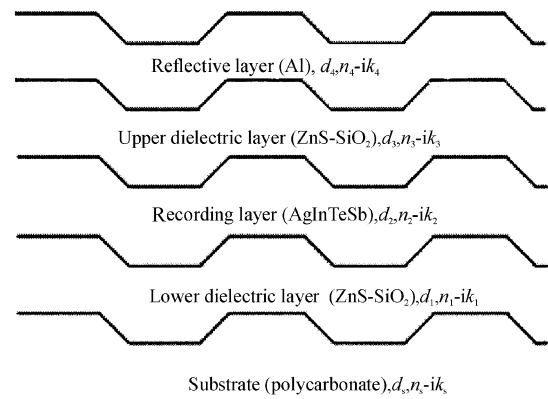


Fig. 1 Structure of phase-change optical disk

* 国家 863 计划(2001AA313010)、上海市科学技术发展基金(012261068)资助课题。

E-mail: lb73sd@sina.com.cn

收稿日期: 2002-10-18; 收到修改稿日期: 2003-01-17

另外,图 2 中的 L_1 为预刻槽台的宽度, L_g 为预刻槽槽的宽度,二者均为半高宽, θ 为槽侧壁角。

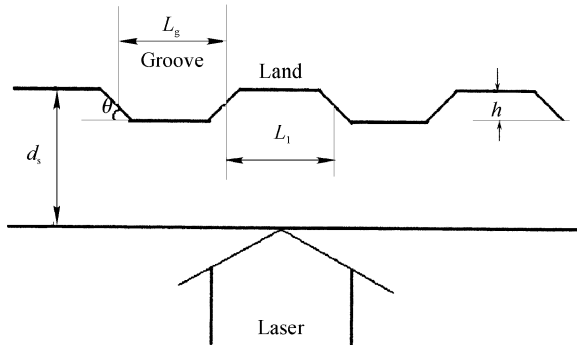


Fig. 2 Structure of pre-grooved substrate

根据麦克斯韦方程,与图 1 相应的膜系的特征矩阵为^[9]

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^k \begin{bmatrix} \cos \delta_j & (i/\eta_j) \sin \delta_j \\ i\eta_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{k+1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中 B 和 C 为特征矩阵的两个矩阵元, η_j 为第 j 层膜的光学导纳, k 为层数,即等于 5。

各膜层的相位厚度为

$$\delta_j = \frac{2\pi}{\lambda} N_j d_j \cos \theta_j, \quad (2)$$

其中 λ 为入射光波长,第 j 层膜的复数折射率为 $N_j = n_j - ik_j$, d_j 为第 j 层膜的物理膜厚。由于写/读光束垂直盘面入射,则有 $\theta_j = 0$,故有

$$\delta_j = \frac{2\pi}{\lambda} N_j d_j = \frac{2\pi}{\lambda} (n_j - ik_j) d_j. \quad (3)$$

根据膜系的特征矩阵得到膜系的能量反射率为

$$R = \left(\frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right) \left(\frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right)^*, \quad (4)$$

计算时取非晶态的反射率为 R_a ,晶态的反射率为 R_c ,记录膜在写入前后的反射率对比度 ΔR 定义为

$$\Delta R = \left| \frac{R_c - R_a}{R_c + R_a} \right| \times 100, \quad (5)$$

因此对一个多层膜系,根据需要设定参量,编程计算(1)式、(4)式和(5)式,从而得到对相变光盘膜层的优化匹配设计结果。

3 膜层匹配设计与讨论

模拟计算中所用的激光波长为 405 nm,光盘衬底厚度为 0.1 mm,预刻槽的槽间距 ($L_1 + L_g$) 为 300 nm,由于槽侧壁角的具体数值目前还未有报道,为了简化计算和减小槽侧壁对反射光的影响,在此不妨假定槽侧壁角 $\theta = 80^\circ$,因为 Seiji Morita

等^[10]也曾经针对 CD-RW 盘基设计过类似矩形的槽形,其槽侧壁角为 85° 。表 1 为各膜层和衬底在 405 nm 处的光学常数^[11,12]。在进行下介电层的计算时根据经验或实际测定先假定其余三层的厚度和槽深的初始值;同样,在进行记录层厚度的计算时也根据经验或实际测定先假定剩余两层的厚度和槽深的初始值,下介电层的厚度取模拟计算数值;依此类推,逐步确定各层的厚度和槽深的值。然后重复上述各步骤,反复调整直至各参量的模拟计算数值与预设定的初始值基本相符为止,最后得到较好的膜层匹配和槽深的值。计算中记录层、上介电层、反射层和槽深的值分别先取 20 nm、30 nm、70 nm 和 40 nm。

Table 1 Optical constants of films and substrate

	Refractive index n	Extinction coefficient μ
Polycarbonate	1.580	0
ZnS-SiO ₂	2.071	0
AgInTeSb (amorphous)	2.516	2.143
AgInTeSb (crystalline)	1.708	2.518
Al	0.473	3.770

图 3 是台、槽记录时下介电层厚度与非晶态和晶态反射率及反射率对比度间的关系曲线。从图 3 可以看出,采用台记录方式时,记录膜处于非晶态的反射率出现极大时下介电层厚度在 80 nm 和 180 nm 附近,极小值出现在 30 nm 和 130 nm 附近;晶态的反射率在 90 nm 和 190 nm 附近出现极大值,而在 35 nm 和 135 nm 附近有极小值;反射率对比度在 20 nm 和 120 nm 附近有极大值,在 40 nm 和 140 nm 附近有极小值。槽记录与台记录相比,二者的差别比较大,但非晶态的反射率曲线变化不大;而晶态的反射率在 60 nm 和 160 nm 附近出现极大值,在 10 nm 和 110 nm 附近有极小值;反射率对比度在 10 nm、40 nm、110 nm 和 140 nm 附近有极大值,在 20 nm、90 nm、120 nm 和 190 nm 附近有极小值。一般来讲,相变光盘的载噪比与其反射率对比度呈正比,因此为获得良好的读出性能,光盘的反射率对比度要尽量高些,一般大于 30%。但同时需要非晶态记录畴具有一定的反射率 ($>5\%$),晶态反射率要求在 15% 以上,以保证对光盘有良好的聚焦和跟踪。另外,下介电层除了保护记录层外,主要起控制记录层加热速度和温度的作用,还对衬底起保护作用,这就要求下介电层不能太薄。最佳膜厚的选择要综合考虑以上各种因素的影响,因此我们选择下介电层的厚度为 100 nm (台记录) 和 140 nm (槽记录),此时反射率对比度均在 50% 以上。

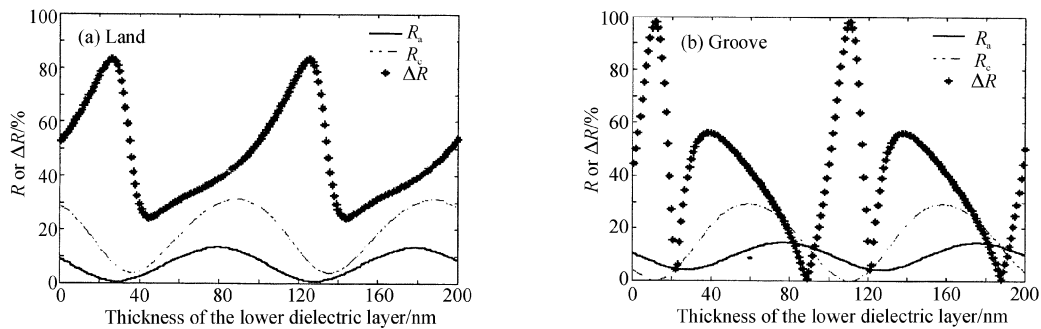


Fig. 3 Dependence of the reflectivity and reflectivity contrast on the thickness of lower dielectric layer.

(a) Land recording; (b) Groove recording

图 4 是台、槽记录时记录层厚度与非晶态和晶态反射率及反射率对比度间的关系曲线。由图 4 知, 台、槽记录时膜系的反射率和反射率对比度分别在 10 nm 和 15 nm 附近出现极值。反射率先随记录膜厚度增大而迅速减小, 此后又逐渐增大, 最后基本趋于稳定。反射率对比度随记录膜厚度增加的变化趋

势为: 先迅速增大, 后减小, 在约 40 nm 后又缓慢增加, 最后趋于一稳定值。由于记录膜厚度较小时 (< 30 nm) 其光学常数随厚度的改变有很大的变化^[13], 因此记录膜厚度的选择应更加慎重, 最终我们选择台、槽记录时记录膜的厚度分别为 10 nm 和 15 nm, 反射率对比度均大于 50%。

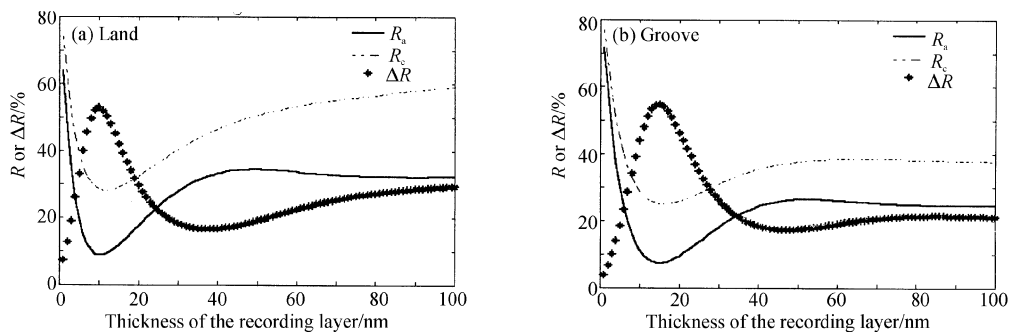


Fig. 4 Dependence of the reflectivity and reflectivity contrast on the thickness of recording layer.

(a) Land recording; (b) Groove recording

图 5 是台、槽记录时上介电层厚度与非晶态和晶态反射率及反射率对比度间的关系曲线。台、槽记录时上介电层厚度对反射率和反射率对比度的影响趋势差别不大, 只是槽记录时反射率和反射率对比度出现极值的膜厚大些。随上介电层厚度增加,

膜系的反射率逐渐减小, 在达到一极小值后又迅速增大。反射率对比度的变化趋势随上介电层厚度的变化显得比较复杂, 在模拟计算范围内出现了两个极大值和一个极小值。但由于 40~60 nm (台记录) 和 50~70 nm (槽记录) 范围内记录膜处于非晶态的

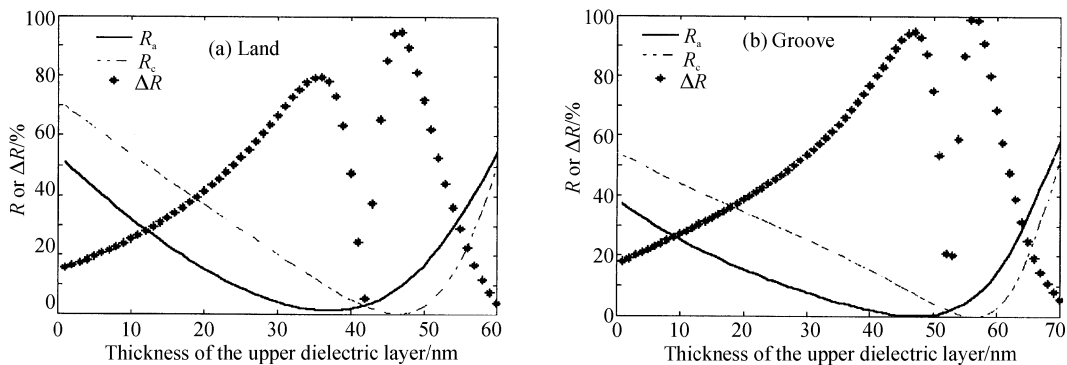


Fig. 5 Dependence of the reflectivity and reflectivity contrast on the thickness of upper dielectric layer.

(a) Land recording; (b) Groove recording

反射率比晶态的反射率高,这与通常相变光盘的情况恰恰相反,故不在此厚度范围内选择。通常,上介电层较薄,其厚度对温度很敏感,主要作为热阻层,调整记录层的最高温度和冷却速率,所以选择上介电层的厚度为 25 nm(台记录)和 30 nm(槽记录),反射率对比度也都大于 50%。

图 6 是台、槽记录时反射层厚度与非晶态和晶态反射率及反射率对比度间的关系曲线。随反射膜厚度的增大,膜系的反射率和反射率对比度在 30 nm 后都基本趋于一定值,台记录时记录膜处于非晶态和晶态的反射率及反射率对比度分别稳定在 8%、28% 和 53%,而槽记录时的相应数值为 5%、

20% 和 65%,都符合要求,并且采用槽记录时的载噪比要比台记录方式高。反射层主要起调整光盘反射率和控制记录层被激光照射后的冷却速率,同时反射层的质量也会影响到光盘的记录性能,特别是从记录介质读出信息使用低功率密度的激光扫描信息轨道,其反射光通过光电探测器检测、解调以取出所需信息的过程,反射膜反射率的高低及其耐久性、抗腐蚀性能决定着读出信息的可靠性。最近,Andrei Mijiritskii 等^[14]指出,由于随记录密度的提高光盘的记录灵敏度降低,解决办法之一是降低反射层的厚度。综合考虑上述各种因素后,我们选择反射层的厚度为 60 nm。

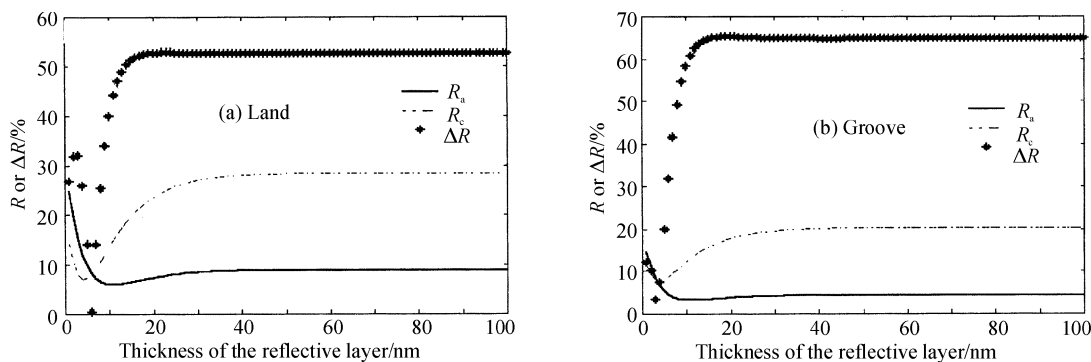


Fig. 6 Dependence of the reflectivity and reflectivity contrast on the thickness of reflective layer.

(a) Land recording; (b) Groove recording

图 7 是台、槽记录时槽深与非晶态和晶态反射率及反射率对比度间的关系曲线。由于台记录时衬底厚度不随槽深变化而改变,因此台记录时的反射率和反射率对比度也不随槽深变化。随槽深的增加,槽记录时记录膜处于非晶态的反射率先略微有所减小,在 20 nm 附近达极小值,之后又增加;晶态

反射率则先增大,在 60 nm 附近达极大值,而后又减小;而反射率对比度先减小,在 10 nm 附近有极小值,之后增加,30 nm 附近达极大值后又减小。从以上分析可以知道,采用槽记录时的槽深可在 35~60 nm 范围内选取,我们最终选择的槽深为 50 nm,反射率对比度在 50% 以上。

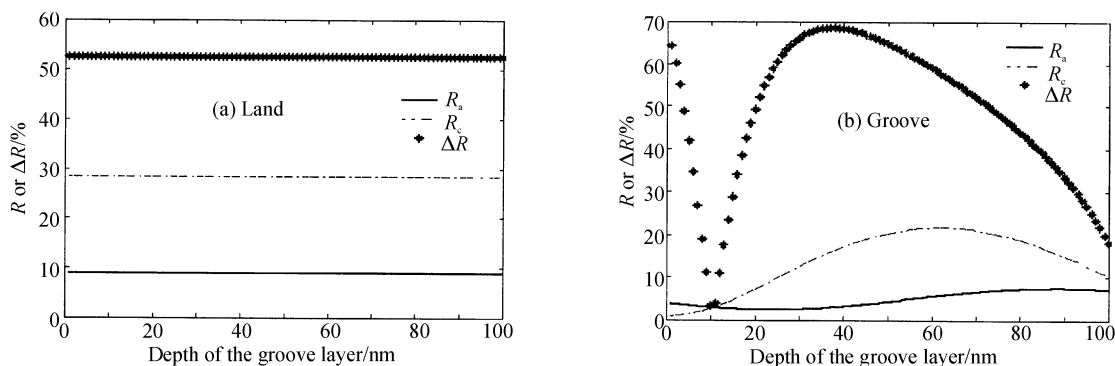


Fig. 7 Dependence of the reflectivity and reflectivity contrast on the depth of groove.

(a) Land recording; (b) Groove recording

结论 利用导纳矩阵法逐层优化设计,最终得到了具有较好光学性能的膜层匹配,波长为 405 nm,衬

底厚度和槽深分别为 0.1 mm 和 50 nm 时,相变光盘的多层膜系结构为:下介电层、记录层、上介电层和反射层的厚度对于台记录为 100 nm、10 nm、25 nm

和60 nm,而对于槽记录则为140 nm、15 nm、30 nm和60 nm。虽然在模拟计算过程中作了比如各层薄膜的光学常数不随膜厚而变化、槽侧壁的影响忽略不计等假设,就不可避免地引入了一定误差,但由于在选择各层膜厚度时都有较大的选择余地,本文的模拟计算结果还是很有意义的。但是HD-DVD盘基的相关参量是国外一些大公司于2002年刚刚发布的,预计2003年底才会有产品上市,目前许多必要的技术参量(如槽的形状、槽侧壁角等)无法获得;同时如果考虑槽侧壁对反射光的影响,将会使模拟计算更加精确,这一部分工作有待今后进一步完善。

参 考 文 献

- 1 Gan Fuxi. Development of the high-density optical digital storage technology. *Physics* (物理), 1999, **28**(6):323~332 (in Chinese)
- 2 Xue Songsheng, Fan Zhengxiu, Gan Fuxi. Multilayer structure for phase change optical recording disk. *Laser & Infrared* (激光与红外), 1991, **21**(3):47~50 (in Chinese)
- 3 Wang Yang, Gu Donghong, Gan Fuxi. The thickness error analysis of multilayers for recordable and phase-change optical disks. *Proc. SPIE*, 2001, **4085**:137~141
- 4 Li Jinyan, Ruan Hao, Gan Fuxi. Calculation and analysis of multilayers for phase-change super-resolution optical disks. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(1):30~35 (in Chinese)
- 5 Liao Wen-Yih, Lee Sanboh, Huang Der-Ray *et al.*. The effect of disc structure on the characteristics of the phase change medium. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1999, **38**(3B):1642~1644
- 6 Zhao Rong, Lim Kianguan, Li Zirui *et al.*. Computer-aided design and analysis of rewritable phase-change optical disk. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, **39**(6A):3458~3462
- 7 Peng Chubing. Polarization dependence of thermal behavior in rewritable phase-change optical recording media. *Appl. Opt.*, 2002, **41**(2):379~387
- 8 Kato T, Hirata H, Komaki T *et al.*. The phase change optical disc with the data recording rate of 140 Mbps. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2002, **41**(3B):1664~1667
- 9 Tang Jinfa, Zheng Quan. *Applied Thin Film Optics* (应用薄膜光学). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984 (in Chinese)
- 10 Morita S, Nishiyama M. Deep-groove and low-noise-mastering. *International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage*, 1998, **8**:55~57
- 11 Liu Bo, Ruan Hao, Gan Fuxi. The study on the optical constants of laser-induced crystalline $\text{Ag}_{11}\text{In}_{12}\text{Te}_{26}\text{Sb}_{51}$ phase-change media. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(10):1266~1270 (in Chinese)
- 12 Liu Bo, Ruan Hao, Gan Fuxi. The study on characteristic of ZnS-SiO_2 film used as phase-change optical disk dielectric layer. *Chin. J. Inorganic Mater* (无机材料学报), 2003, **18**(1):190~194 (in Chinese)
- 13 Li Jinyan, Hou Lisong, Gan Fuxi. Effect of film thickness on optical properties of AgInTeSb phase-change films. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(8):952~956 (in Chinese)
- 14 Andrei Mijiritskii, Jochen Hellmig, Herman Borg *et al.*. Development of recording stacks for a rewritable dual-layer optical disc. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2002, **41**(3B):1668~1673

Design of the Multilayer Structure for Blue Laser Phase Change Optical Disk

Liu Bo Ruan Hao Gan Fuxi

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

(Received 18 October 2002; revised 17 January 2003)

Abstract: In order to make the optical disk having good recording/reading performance and long-term stability, the multilayer structure of the phase-change optical disk must be optimized. By using the design software capable of simulating and analyzing the reading process for phase-change optical disk design, a phase-change optical disk structure for the blue laser (405 nm) was designed optically. The relationships between the multilayer's optical parameters (reflectivity and reflectivity contrast) and the film thickness of the structure and the depth of the groove are studied. The optimum structures of the phase-change optical disk are lower $\text{ZnS-SiO}_2/\text{AgInTeSb}$ /upper $\text{ZnS-SiO}_2/\text{Al}$ layered structure of 100 nm/10 nm/25 nm/60 nm for land recording and 140 nm/15 nm/30 nm/60 nm for groove recording. The depth of the groove is 50 nm. The simulation results have great instructional effect on the fabrication of the high density blue-ray phase-change optical disk in the future.

Key words: film optics; phase change optical disk; blue laser; multilayer structure