

文章编号: 0258-7025(2007)04-0530-04

超分辨近场结构中二元共晶合金掩膜 的工作机制

瞿青玲, 王 阳, 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 超分辨近场结构(super-RENS)技术通过在传统光盘结构中插入掩膜结构而实现近场超分辨,是目前最具实用化前景的超高密度光存储技术之一,其中掩膜层的近场光学特性是决定其光存储性能的关键。利用三维时域有限差分法(3D-FDTD)对合金掩膜的近场光强分布进行了数值仿真和分析,提出二元共晶合金薄膜在激光作用下形成的规则微结构可能是以其作为掩膜层的超分辨近场结构光盘产生较高信噪比(SNR)的原因。

关键词 光存储;超分辨近场结构;三维时域有限差分法;二元共晶合金;信噪比

中图分类号 O 484.4⁺1 **文献标识码** A

Working Mechanism of the Binary Eutectic Alloy Mask Layer in Super-Resolution Near-Field Structure

QU Qing-ling, WANG Yang, GAN Fu-xi

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

Abstract Super resolution near-field structure (super-RENS) is one of the most promising candidates for the ultrahigh-density optical storage, and near-field optical properties of the mask layer in super-RENS optical disk are crucial for its optical storage performance. The near-field distribution through the eutectic alloy mask layer has been studied by using three-dimensional finite-difference time-domain (3D-FDTD) method. Simulation results indicate that the periodic micro-/nano-structures formed in the eutectic binary alloy films after or during irradiation of a laser beam will result in a prominent near field enhancement and may be the origin of the higher signal-to-noise ratio (SNR) in super-RENS optical disk.

Key words optical storage; super resolution near-field structure; three-dimensional finite-difference time-domain; binary eutectic alloy; signal-to-noise ratio

1 引 言

超高密度、超大容量、快速存取技术已经成为光存储技术不可逆转的发展趋势,然而受到衍射极限的限制,传统的光盘存储技术无法实现存储密度的进一步提高。为了超越这一限制,E. Betzig 等^[1]将近场光学技术引入光存储获得了 6.98 Gb/cm² 的存储密度,从而实现了超分辨光存储,但由于光纤扫描

探针飞行高度的精确控制需要复杂的执行机构,使这一技术难以实用化。J. Tominaga 等^[2]于 1998 年提出的超分辨近场结构(super-RENS)技术成功地克服了这一难题,该技术不需要改变传统的光学读出系统,仅仅在传统的光盘结构中插入一非线性掩膜层结构即可实现近场超分辨,因此该技术被认为是目前最有实用化前景的超高密度光存储技术之一。

大量研究表明超分辨近场结构中的掩膜是产生

收稿日期:2006-09-05;收到修改稿日期:2006-10-20

基金项目:国家自然科学基金(60207005,60490290)资助项目。

作者简介:瞿青玲(1977—),女,江苏盐城人,博士研究生,主要从事近场超分辨光存储方面的研究。

E-mail:lindaqu@siom.ac.cn

导师简介:干福熹(1933—),男,浙江杭州人,研究员,博士生导师,中国科学院院士,主要从事信息光电子材料和技术的研
究。E-mail:fxgan@mail.shnc.ac.cn

超分辨的关键,目前研究人员对掩膜的特性进行了多方面的研究^[3~5],但是产生超分辨的内在机制仍然不清楚,这就使掩膜材料的选择和优化成为一大难题。Tominaga 小组最近^[6]对以二元合金(Sb_3Te ^[7]和 Ag_2Te ^[8])作为掩膜层的超分辨近场结构光盘进行了系统的实验研究,结果发现当两种元素的组成比例处于共晶点附近时,读出信噪比(SNR)最高,但是未能对二元共晶合金作为掩膜层而产生较高信噪比的原因给出合理的理论解释。本文根据二元共晶合金的共晶转变特性并利用三维时域有限差分法(3D-FDTD)对二元共晶合金作为掩膜层时的近场光强分布进行了数值仿真和分析,对其产生较高信噪比的内在机制进行了理论探讨。

2 数值仿真模型的建立

在记录过程中,由于激光束的高斯分布使光斑中心部分因热效应而转变为液态,记录激光移去后随着温度的降低,二元共晶合金将在共晶点发生共晶转变,同时析出两种不同固相(设为 α 相和 β 相),并可形成规则排列的共晶显微组织(层状、片状或环状等)。因此可以利用三维时域有限差分法对发生共晶转变部分的近场光强分布特性进行数值分析,从而对二元共晶合金产生超分辨的机制给出理论解释。

时域有限差分法是由 Kane S. Yee^[9]于 1966 年提出来用于求解电磁问题的一种数值技术。它的实质在于把麦克斯韦(Maxwell)方程在空间、时间上离散化,用差分方程代替一阶偏微分方程,从而可求解出各网格单元的场值,直观地反映电磁场分布情况^[10,11],是研究超分辨近场结构的有效工具^[12,13]。为计算方便,文中的时域有限差分法(FDTD)数值计算模型简化为将中心发生结构变化的部分嵌入一理想金属薄膜内,一束 y 偏振的均匀

$$\begin{aligned} \lambda &= 650 \text{ nm} \\ E_x = E_z &= 0, E_y = 1 \text{ V/m} \\ N_x = N_y &= 0, N_z = 45 \\ \Delta x = \Delta y &= 2 \text{ nm}, \Delta z = 4 \text{ nm} \end{aligned}$$

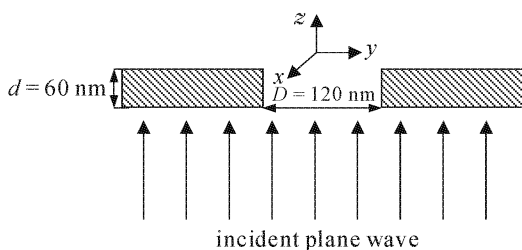


图 1 简化的计算模型与参量

Fig. 1 Simulation model and parameters

平面波从下方垂直入射到掩膜表面,具体参量如图 1 所示:坐标原点取在掩膜上表面的中心,波长为 650 nm 的 y 偏振均匀平面波从下方沿 z 方向垂直入射,整个计算区域为 $200 \text{ nm} \times 200 \text{ nm} \times 45 \text{ nm}$,选择的空步长为 $2 \text{ nm} \times 2 \text{ nm} \times 4 \text{ nm}$ 。

3 计算与讨论

根据二元共晶合金在共晶点处发生共晶转变所形成的不同结构^[14],将其分为如图 2 所示的两种情况分别进行计算研究。

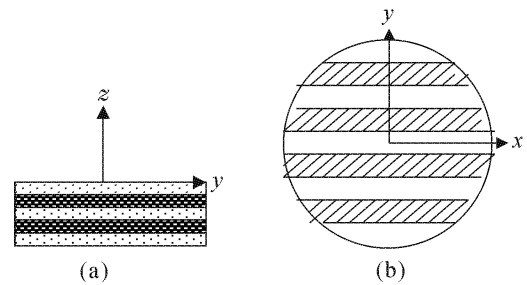


图 2 二元共晶合金掩膜发生共晶转变后形成的不同结构

(a) 层状周期结构; (b) 片状周期结构

Fig. 2 Different structures of binary eutectic alloy
(a) layer periodic structure; (b) slice periodic structure

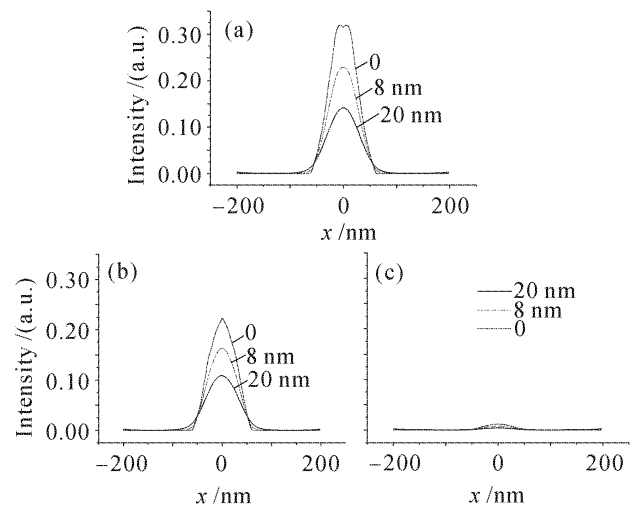


图 3 $z = 0, 8, 20 \text{ nm}$ 平面内沿 x 轴的光强分布

(a) 层状周期结构; (b) 片状周期结构; (c) 空孔

Fig. 3 Distribution of light field along x axis in $z = 0, 8, 20 \text{ nm}$ plane

(a) layer periodic structure; (b) slice periodic structure;
(c) aperture structure

利用三维时域有限差分法分别计算了这两种结构的近场光强分布,为了便于比较,另外还计算了没有微结构时空孔的近场光强分布,所得结果如图 3 和图 4 所示。

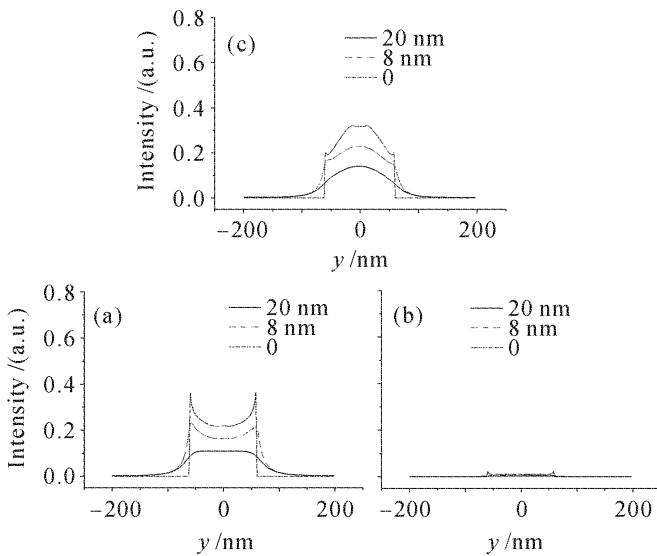


图 4 $z = 0, 8, 20$ nm 平面内沿 y 轴的光强分布
(a) 层状周期结构; (b) 片状周期结构; (c) 空孔

Fig. 4 Distribution of light field along y axis in
 $z = 0, 8, 20$ nm plane

(a) layer periodic structure; (b) slice periodic structure;
(c) aperture structure

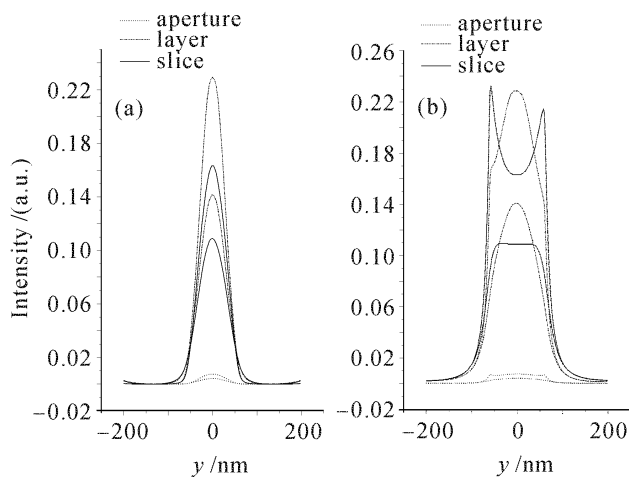


图 5 不同结构在 $z = 8, 20$ nm 平面内沿
 x 和 y 轴的光强分布比较

Fig. 5 Comparison of light field for different structures
along x and y axes in $z = 8, 20$ nm plane

分别将图 3 和 4 中的 (a), (b) 与 (c) 相比较, 可以看出在层状和片状周期结构中近场光强得到了很大的增强, 正是由于这种近场增强效应使以二元共晶合金作掩膜的超分辨近场结构光盘的读出信噪比得以提高。而从图 5 可以看出, 在 $z = 20$ nm 时层状、片状周期结构与空孔相比仍然具有很强的增强效应, 并且层状周期结构的增强效应比片状周期结构的增强效应略强。在实际的共晶析出过程中所形成的结构一般不是单一的层状或片状, 而可能是两者的混合, 而且周期数目可能比计算模型中多, 所以

产生的增强效应会更复杂。因此, 通过材料体系的选择和记录/读出条件的优化, 在掩膜层中产生规则的多相纳米微结构是使得超分辨近场结构光盘具有优越的超分辨读出性能的有效途径。

4 结 论

依据二元共晶合金在共晶点发生共晶转变时可形成不同的共晶组织结构的特点, 利用三维时域有限差分法研究了二元共晶合金作掩膜层的超分辨近场结构光盘的近场光强分布, 根据数值计算结果提出规则的纳米微结构可能是该二元共晶合金超分辨近场结构光盘产生较高信噪比的原因。这一研究可进一步帮助加深对超分辨近场结构工作机制的认识, 并为掩膜材料的选择提供理论依据。

参 考 文 献

- 1 E. Betzig, J. K. Trautman, R. Wolfe *et al.*. Near-field magneto-optics and high density data storage [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **61**(2):142~144
- 2 J. Tominaga, T. Nakano, N. Atoda. An approach for recording and readout beyond the diffraction limit with an Sb thin film [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(15):2078~2080
- 3 Din Ping Tsai, Chi Wen Yang, Wei Chih Lin *et al.*. Dynamic aperture of near-field super resolution structures [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, **39**(2B):982~983
- 4 Fu Han Ho, Hsun Hao Chang, Yu Hsaun Lin *et al.*. Functional structures of AgO_x thin film for near-field recording [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2003, **42**(2B):1000~1004
- 5 Hiroo Ukita, Yasushi Ueda, Mai Sasaki. Read/write mechanism for a scattered type super-resolution near-field structure using an AgO_x mask layer and the smallest mark reproduced [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2005, **44**(1A):197~201
- 6 Takayuki Shima, Takashi Kikukawa, Takashi Nakano *et al.*. A study of material selection for super-resolution readout of optical disk with PtO_x recording layer [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2006, **45**(1A):136~137
- 7 Takashi Kikukawa, Narutoshi Fukuzawa, Tatsuhiro Kobayashi. Properties of super-resolution near-field structure with platinum-oxide layer in blu-ray disc system [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2005, **44**(5B):3596~3597
- 8 Takayuki Shima, Takashi Nakano, Junji Tominaga. An approach to lower the threshold laser power of super-resolution-readout optical disk using silver telluride layer [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2004, **43**(11B):L1499~L1501
- 9 Kane S. Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 1966, **14**(3):302~307
- 10 Liu Kai, Bai Ming, Lu Yonghua *et al.*. Electromagnetic propagation of fiber probe for near-field optical recording using 3D-FDTD method [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(3):253~256
- 11 刘凯, 白明, 鲁拥华等. 用 3D-FDTD 法分析用于近场光存储的光纤探针电磁波传输特性 [J]. *中国激光*, 2001, **A28**(3):253~256
- 12 Jiao Xiaojin, Lu Yonghua, Ming Hai. Near-field analysis of the output light of the VSAL for near-field optical storage with 2D-

- NL-FDTD method [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(7):619~623
焦小瑾,鲁拥华,明海. 二维非线性时域有限差分法分析微孔激光器出射光的近场特性[J]. *中国激光*, 2003, **30**(7):619~623
- 12 Jingsong Wei, Fei Zhou, Yang Wang *et al.*. Optical near-field simulation of Sb thin film thermal lens and its application in optical recording [J]. *J. Appl. Phys.*, 2005, **97**(7):073102-1~073102-5
- 13 Fei Zhou, Wendong Xu, Yang Wang *et al.*. Optical transmission enhancement by a sub-wavelength film lens [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(1):52~54
- 14 Yu Jueqi, Yi Wenzhi, Chen Bangdi *et al.*. Collective Drawings of Binary Alloy State Diagram [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. 35~36
虞觉奇,易文质,陈邦迪等. 二元合金状态图集[M]. 上海:上海科技出版社, 1987. 35~36

LASER2007' Harbin

第十八届全国激光学术会议第一轮通知

中国光学学会与中国电子学会联合主办的系列会议——第十八届全国激光学术会议,定于2007年8月在黑龙江哈尔滨举行。本次会议将为我国激光与光电子新老学者提供探讨新思想、新概念、新技术的交流平台,促进学术领域的科技创新和科技成果转化。多名院士和著名专家到会作大会报告,各分会设立高水平的邀请报告。欢迎积极投稿,踊跃参加。同时欢迎各公司、企事业单位刊登广告、到会展示科技成果产品和发布信息。

会议时间:2007年8月,会期4天

会议地点:中国·黑龙江·哈尔滨

主办单位:中国光学学会、中国电子学会

承办单位:哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家级重点实验室

名誉主席:周炳琨院士

会议主席:范滇元院士、周寿桓院士

会议副主席:姚建铨、彭堃堦、朱健强、王 骐、王树国

秘书长:陈德应

会议主题/征稿范围:1) 激光物理(激光器动力学、激光等离子体物理、X光激光、激光光谱等);2) 非线性光学与量子光学;3) 全固态激光器及新型激光器;4) 激光信息及处理技术;5) 激光生物与激光医学;6) 工业激光及其应用;7) 激光材料、薄膜及元器件;8) 光束传输、控制及光束特性

征文要求:将500~800字摘要(用于审稿)和300字提要(用于出版)各一份,以电子邮件附件的形式发送至:Laser2007@hit.edu.cn,摘要应能准确反映研究成果的创新点,包括研究目的、方法结果、结论等内容。不引用参考文献、数学公式和化学式。不接受已在国内外正式出版刊物上发表过的论文,提交截稿日期为2007年5月31日。

来稿需注明论文题目、作者姓名、单位、通讯地址(包括邮编、电话、E-mail等)、关键词3~6个。题目用小三号黑体,摘要用宋体小四号字按word格式编排,务必在左上角标明所属征稿范围的第几类。一般不接受书面邮寄件。经审稿录用的论文,将由《中国激光》以增刊形式出版。

会议秘书组联系人及联系电话:

陈德应 0451-86402837,何伟明 0451-86412710-214,

程元丽 0451-86402920,王春晖 0451-86402910,王瑞环 0451-86413164

传真:0451-86413164,E-mail:Laser2007@hit.edu.cn,网页:www.Laser2007.hit.edu.cn

地址:黑龙江哈尔滨南岗区一匡街2号哈工大科学园3031信箱(王瑞环收),邮编:150001

中国光学学会激光专业委员会

中国电子学会量子电子学与光电子学分会

哈尔滨工业大学

可调谐激光技术国家级重点实验室

哈尔滨工业大学光电子技术研究所(代章)

二〇〇七年一月二十二日