

GeSbTe 与 AgInSbTe 体系相变光盘的研究进展*

张广军 顾冬红 王阳[†] 吴谊群 干福熹

(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 上海 201800)

摘要 自 Ovshinsky 把相变材料用于光存储以来,一大批具有可逆光存储性能的材料不断出现,其中研究较多的是 GeSbTe 和 AgInSbTe 两种体系.文章着重介绍了利用这两种材料制成的相变光盘记录介质的微观结构特点,阐述了其晶化机理,同时,较详细地概述了光盘的堆栈结构及掺杂其他元素对相变光盘性能的影响,并对比说明了 GeSbTe 和 AgInSbTe 两种体系在蓝光记录方面的各自特点.

关键词 相变,光盘,光存储,高密度存储,蓝光

Compact discs based on phase transformations in GeSbTe and AgInSbTe systems

ZHANG Guang-Jun GU Dong-Hong WANG Yang[†] WU Yi-Qun GAN Fu-Xi

(Laboratory for High Density Optical Storage, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract Many new materials with reversible optical storage have been developed since Ovshinsky first realized optical storage based on phase transformation. Of these, the two most widely investigated systems are GeSbTe and AgInSbTe. We review the microstructural phase change characteristics of the recording layer in compact discs made of GeSbTe and AgInSbTe and describe the nucleation mechanism. In particular, we examine the influence of stacking and the doping of other elements on the disc properties, and compare the respective qualities of GeSbTe and AgInSbTe for use with blue laser input.

Key words phase change, optical disc, optical storage, high density storage, blue laser

1 引言

光盘存储技术于 20 世纪 70 年代开拓出来并在 80 年代迅速发展^[1].随着技术的进步,相变光盘的重要地位日益显现.相变光盘是利用光-热过程使半导体合金薄膜的晶态与非晶态产生可逆变化达到信号的读出、记录和可擦重写.

目前相变光盘的重点研究方向是提高存储密度、数据传输率和可擦重写能力.在技术上,提高存储密度可以通过运用短波长激光束和具有高数值孔径(NA)的光学系统来获得^[2].提高光盘数据传输速率的技术方向有:减轻光头重量,简化结构,使光头实现光电集成化;实现可擦重写过程中的直接重写技术,提高光盘驱动器的转速和光盘的写、擦响应

时间;采用多光头记录和读出等^[3].尽管各种新技术不断出现,但存储材料的研究与选择仍是光盘向高密度、高数据传输率发展不可缺少的条件.到目前为止,用于相变光盘存储的材料大多是由元素周期表中 III-IV 族的一些半导体元素构成,主要有 Te 基、Se 基和 InSb 基合金三类.如 GeTeAs, SnTeSe, GeTe, InSe, InSeSb, GeSbTe, GeSbTeSe, AgInSbTe 等.这些体系之所以能够用于相变光盘存储是因为它们都具有易非晶化的性质.但它们之中除了 GeTe, GeSbTe, AgInSbTe 有相对较短的晶化时间(分别是:GeTe, 30ns; GeSbTe, 100ns; AgInSbTe,

* 国家自然科学基金(批准号 60207005)、上海市科技启明星计划(批准号 03QG14057)资助项目

2003-06-02 收到初稿 2003-08-15 修回

[†] 通讯联系人. E-mail: ywang@siom.ac.cn

200ns)外,其余的体系晶化时间都过长而不适于高速可擦重写的要求.对于 GeTe 体系而言,其晶化时间对组成十分敏感,只有化学计量比组成是 $Ge_{50}Te_{50}$ 的体系才有最短的晶化时间.因此,相变光盘存储材料研究的主流是 GeSbTe 和 AgInSbTe 体系^[4].本文较详细地阐述了 GeSbTe 和 AgInSbTe 两种体系记录层的微观结构、晶化机理及其在近年的研究与应用进展,并将两种体系进行对比,论述了其各自的特点.

2 GeSbTe 与 AgInSbTe 体系相变光盘的研究进展

GeSbTe 薄膜材料已广泛用于相变光盘.常用作记录膜的一般为符合化学计量比的化合物,如 $GeSb_2Te_4$, $Ge_2Sb_2Te_5$, $GeSb_4Te_7$.它们在相图上位于 GeTe 和 Sb_2Te_3 连线上^[5],如图 1. GeTe- Sb_2Te_3 附近体系有以下特点^[6](1)室温热稳定性高(可稳定存在 30 年以上),高温晶化速率快(激光加热脉冲不到 50ns 即可晶化)(2)晶态与非晶态间具有优良的可逆性(循环次数 $> 10^5$)(3)相变特性可通过薄膜组分的调整在较宽的范围内精确地控制.这些特点使 GeSbTe 体系具备了实现相变存储的基本条件,成为人们研究相变光盘的热门材料之一.

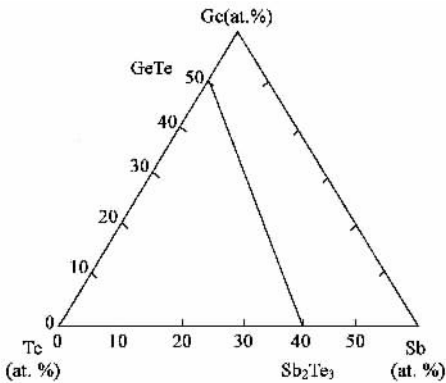


图 1 GeSbTe 体系三元相图

AgInSbTe 薄膜材料具有高的非晶态和晶态反射率对比度,高擦除性、易控制记录畴长度和高的线记录密度等优点,在 CD-RW, DVD + RW 等相变光盘中也有应用;并由于该种材料在蓝光下可获得更高的记录密度,具有潜在巨大的市场与用途,近年来的发展也十分迅速.

2.1 GeSbTe 与 AgInSbTe 体系的微观结构

2.1.1 GeSbTe 体系的微观结构

Yamada 的研究表明^[6],以 $Ge_2Sb_2Te_5$ 为例,其相变记录层的晶态结构近似 NaCl 型.如图 2 所示,在 NaCl 晶体中 A(a) A(b) 的位置分别是 Cl 离子和 Na 离子,而就 GeSbTe 而言,如图 3 所示, A(a) 位置全部被 Te 占据, A(b) 位置被 Ge, Sb 随机占据,其余空位的形成则与材料的组成有关.可以看出, GeSbTe 体系相变记录层的晶态结构是一种面心立方结构 (fcc).这种结构使 GeSbTe 材料的非晶态可以在非常短的时间内晶化,主要原因如下:(1)在 GeTe- Sb_2Te_3 连线上变化组成的原子不需要移动多大距离就可以被固定在晶体点阵中;(2)非晶态的 GeSbTe 相变记录层转变成的面心立方结构有高度的对称性,这种对称性与具有各向同性的原子分布的非晶态结构最相似,因此这种相变的完成不需要大量原子运动;(3)GeSbTe 相变记录层的非晶态与其面心立方结构之间存在能量差,这种巨大的能量差就是快速晶化时的推动力.

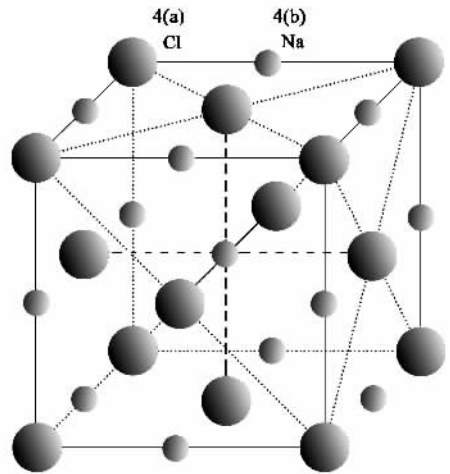


图 2 NaCl 晶体结构示意图

2.1.2 AgInSbTe 体系的微观结构

对于 AgInSbTe 体系,Price 指出^[7],初始化的 AgInSbTe 相变光盘记录层存在两种晶相,最多的是晶格点阵常数为 43.8nm 的体心立方相 (bcc),其次是晶格点阵常数为 61.5nm 的面心立方相 (fcc),而经一次重写后,其晶态结构基本转变为面心立方相. Tashiro 等人还研究了 AgInSbTe 体系相变记录层的局部结构^[8].他们发现在 AgInSbTe 晶体中,加入 Ag 和 In 并没有改变 Sb 周围的局部结构,而 Te 周围的局部结构却因 Ag, In 的加入而发生了变化,这一结果表明,在短程序上,Ag 和 In 键合到 Te 的结构中了.同时,在 AgInSbTe 晶体结构中, Sb, Te 附近存在

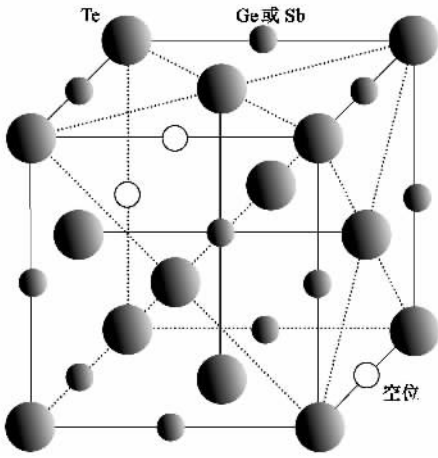


图3 晶化后 GeSbTe 薄膜内 NaCl 型晶体的确定原子排列

两种局部结构,这说明在 Sb,Te 周围,AgInSbTe 的晶体结构被扭曲.另外,他们还研究了 Ag,In 的局部结构,他们指出,Ag 的局部结构在晶态与非晶态间有巨大的不同,这表明在相变过程中需要很高的能量,也就是说,Ag 的存在增强了非晶态记录点的热稳定性.因此 Ag 在 AgInSbTe 相变材料中起到了热稳定的作用;而对于 In 的局部结构,在晶态与非晶态间差别不大,这表明原子运动距离很小,相变发生时间短,因此 In 的存在对高速相变起作用.从表 1 中的 AgInSbTe 相变记录层的非晶态和晶态的键距和配位数也可看出,Ag,In,Sb,Te 局部结构发生了变化.

表 1 AgInSbTe 中 Sb,Te,Ag 和 In 的局部结构

	键距 R / nm		配位数 N	
	非晶态	晶态	非晶态	晶态
Sb-X	0.285(0.1)	0.285(0.2) 0.296(0.2)	3.4(5)	2.2(7) 3.6(7)
Te-X	0.282(0.1)	0.281(0.2) 0.294(0.2)	1.9(6)	2.1(7) 1.4(7)
Ag-X	0.273(0.1)	0.279(0.1)	2.2(6)	3.8(9)
In-X	0.282(0.1)	0.284(0.1)	3.6(6)	3.6(9)

2.2 GeSbTe 与 AgInSbTe 体系的晶化机理

2.2.1 GeSbTe 体系的晶化机理

通过初始化的相变光盘记录层呈晶态,用一定功率的脉冲激光加热使其融化,快速冷却,熔体固化后来不及晶化而形成非晶态记录点,然后再用相同的激光照射,使其重新晶化,实现信息的擦除.对于 GeSbTe 体系而言,如图 4(a)所示,其晶化是从非晶态记录点的中心开始的,这是一种成核驱动机理,即

成核速度高于生长速度.对于这种机理而言,当记录点中心温度高于晶化所需的温度时,成核就会在记录点中心发生.靠成核驱动的材料其完全晶化(擦除)时间是指完全填充已写的非晶态记录点所需的时间,该时间对非晶态记录点的尺寸不敏感,一定范围内 GeSbTe 体系相变记录层的完全晶化时间是随着记录层厚度的增加而降低的.

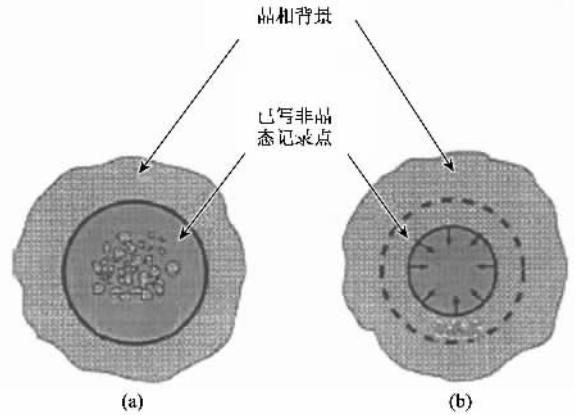


图 4 两种类型相变材料的擦除(晶化)过程示意图
(a)成核驱动擦除 (b)生长驱动擦除

2.2.2 AgInSbTe 体系的晶化机理

AgInSbTe 的晶化机理与 GeSbTe 不同,如图 4(b)所示. AgInSbTe 晶化是从非晶态记录点与晶态区域之间的界面开始的,然后进行生长驱动(growth-driven)过程,即生长速率高于成核速率.对于这种机理而言,如果非晶态记录点的边缘(如晶态与非晶态的界面)达不到晶化温度,成核就不会在记录点中心发生.与 GeSbTe 体系的完全擦除(晶化)时间的定义不同,生长驱动材料的完全擦除(晶化)时间是指晶体生长超过非晶态记录点区域宽度的 1/2 所需的时间.因此,这种晶化机理的晶化速率与非晶态记录点尺寸有密切关系,也就是说 AgInSbTe 完全擦除时间随着记录层厚度的增加而增加.这种现象可以说是二维生长对三维生长的结果.当记录层很薄时,仅有二维生长出现,而当记录层变厚时,非晶态体积增加,三维生长将发生.这种情况尤其是在记录层厚度大于晶相尺寸时易产生,因为此时生长在垂直方向也会进行.

2.3 堆栈结构对 GeSbTe 与 AgInSbTe 体系相变光盘性能的影响

在相变光盘中,堆栈结构即是一种层状结构,一般分为上下介电层、记录层和反射层.随着记录层材料的研究不断成熟,堆栈结构对相变光盘的存储密

度、数据传输速率等性能的影响逐渐引起了人们的关注。

2.3.1 堆栈结构对 GeSbTe 体系相变光盘性能的影响

GeSbTe 体系相变光盘中堆栈的通常结构如图 5 (a)所示,记录层通常是位于由 ZnS · SiO₂ 组成的上下两层介电层之间;另有一层反射层来实现高速冷却。这种四层结构记作 IPIM,其中 I 是介电层,P 是 GeSbTe 相变记录层,M 是反射层。一般情况下可满足光盘的力、光和热性能。图 5 (b)是一种六层结构 (II'P I'IM)的光盘堆栈,其中 I'是碳化物或氮化物界面层。这些界面层可以加速 GeSbTe 晶化过程,比

IPIM 拥有更短的完全擦除时间,从而产生高的数据传输速率。这种以 GeSbTe 作为存储记录材料的六层堆栈结构相变光盘的数据传输率可达到 40Mbps。最近,Kasami 等又提出了七层结构 (I I'P I'AI),如图 5 (c)所示。这里 I'是界面层 SiC,A 是一个吸收控制层(如 Si),用于调整非晶态与晶态之间的热平衡,使直接重写过程中的晶态部分与非晶态部分的温度相同,从而减少新形成的非晶态记录点的扭曲失真。与六层结构光盘相比,七层结构光盘就是用吸收控制层和另一个介电层来代替反射层,该光盘可获得 50Mbps 的数据传输速率^[9]。

UV 树脂	UV 树脂	介电层
金属镜面反射层	金属镜面反射层	吸收控制层
ZnS · SiO ₂ 介电层	ZnS · SiO ₂ 介电层	ZnS · SiO ₂ 介电层
	SiC 或 GeN 界面层	SiC 界面层
GeSbTe 相变记录层	GeSbTe 相变记录层	GeSbTe 相变记录层
ZnS · SiO ₂ 介电层	SiC 或 GeN 界面层	SiC 界面层
	ZnS · SiO ₂ 介电层	ZnS · SiO ₂ 介电层
聚碳酸酯基片	聚碳酸酯基片	聚碳酸酯基片

(a) 4 层 IPIM 堆栈结构

(b) 6 层 II'PI'IM 堆栈结构

(c) 7 层 II'PI'IAI 堆栈结构

图 5 GeSbTe 体系光盘堆栈结构示意图

(I 为 ZnS · SiO₂ 介电层,I'为 SiC 或 GeN 界面层,P 为 GeSbTe 相变记录层)

2.3.2 堆栈对 AgInSbTe 体系相变光盘性能的影响

堆栈结构对 AgInSbTe 体系相变光盘的性能同样有影响。

Shinotsuka 等提出了以 AgInSbTe 为记录层,厚度为 15nm;上下介电层均为 ZnS · SiO₂,厚度分别为 20nm 和 45nm。Al 合金为反射层,厚度 120nm,通过膜层厚度的调整,并采用 405nm 蓝光激光和数值孔径为 0.6 的光记录系统,获得了存储密度为 12GB、数据传输率为 30Mbps 的相变光盘^[10]。此光盘记录速度 6.5m/s,线记录密度 0.18μm/bit,道间距 0.42μm。其光盘结构如图 6 (a)所示。

在运用具有蓝光波长(405nm)和高数值孔径(0.85)的光记录系统的基础上,Inoue 开发了一种新型结构的相变光盘^[11],该光盘结构如图 6 (b)所示。与以往不同之处在于多了一层 Ag 合金,下层介电层为 Al₂O₃ 或 ZnS · SiO₂。表面是一层薄的透明覆盖层。记录层为 Ge 掺杂的 AgInSbTe。Ge 的掺杂提高了 AgInSbTe 晶化温度,并且可以提高文档存储稳定性,该光盘的晶化速度是由 Sb 含量调控的。通过一系列的改变,Inoue 等最终获得的传输速率为

70Mbps。随后,作者对这种光盘又进行了改进[如图 6 (c)],重新调配了 AgInSbTeGe 的配比,用 Al₂O₃ 完全代替下层的 ZnS · SiO₂,并在上层 ZnS · SiO₂ 上又加了一层 Al₂O₃,形成一种称为超快冷结构,从而将传输速率提高到 100Mbps^[12]。在此基础上,Kato 等人利用与 Inoue 开发的相同的超快冷结构控制晶化速度,并再次调整 AgInSbTeGe 的配比,通过采用一种新的写入步骤最终将 AgInSbTe 相变光盘的传输速率提高到 140Mbps^[13]。

2.4 掺杂其他元素对 GeSbTe 与 AgInSbTe 体系相变光盘性能的影响

掺杂其他元素是提高相变光盘性能的另一个途径。通过掺杂其他元素可以提高记录材料结晶速率、非晶态稳定性以及可擦重写等能力。

2.4.1 掺杂其他元素对 GeSbTe 体系相变光盘性能的影响

在 GeSbTe 体系中掺杂氮和氧都会明显地影响光盘性能。这一方面已成为 GeSbTe 体系近年来研究的新热点。在一定程度内,随着氮、氧含量的增加,GeSbTe 体系的晶化速度有所提高,从而使完全晶化

VU 树脂	0.1mm 覆盖层	0.1mm 覆盖层
AL 合金	ZnS · SiO ₂ 介电层	Al ₂ O ₃
ZnS · SiO ₂ 介电层	AgInSbTe 相变记录层	ZnS · SiO ₂ 介电层
AgInSbTe 相变记录层	ZnS · SiO ₂ 或 Al ₂ O ₃ 介电层	AgInSbTeGe 相变记录层
ZnS · SiO ₂ 介电层	Ag 合金	Al ₂ O ₃
		Ag 合金
聚碳酸酯基片	聚碳酸酯基片	聚碳酸酯基片

(a)30Mbps 相变光盘堆栈结构 (b)70Mbps 相变光盘堆栈结构 (c)100Mbps 相变光盘堆栈结构

图6 不同数据传输速率的 AgInSbTe 体系相变光盘堆栈结构示意图

时间降低.同时,氮、氧的加入还可以提高相变光盘的可擦重写能力^[14,15].Ebina 等的研究表明^[16],6at.% 的掺杂氧可使 GeSbTe 体系相变光盘可擦重写能力达 5×10^5 .Kojima 等研究表明^[15],在氮的含量为 (2—3)at.% 时,可获得重写能力为 8×10^5 相变光盘.Takase 等认为氮是以氮化物如 Ge-N,Sb-N 和 Te-N 的形式存在于记录层中的,这些氮化物倾向于聚集在颗粒边界而形成包裹晶态颗粒的包裹物.记录时,氮化物包裹物以固态形式存在(GeSbTe 微晶颗粒熔点 600℃,低于氮化物的熔点).这些包裹物以固态形式保留在非晶态记录点中,极大地抑制了物质流,从而提高了重写循环能力^[17].

Lee 等人研究了掺杂少量 B 的 Ge₄₀Sb₂₀Te₅₀.结果表明,B 的加入可提高 GeSbTe 的晶化温度,并且发现随着硼的掺杂量的增加,晶格常数增大,晶态反射率增加,非晶态反射率减少,即反射率对比度增加.B 的掺杂量为 0.3at.% 时,这类记录层在 380—780nm 波长范围内的反射率对比度超过 40%.掺杂量为 0.3at.% 和 1.1at.% 时,晶化温度比不掺杂 B 的记录层分别增加了 1.3℃ 和 2.5℃^[18].

Hirota 等将 0.2at.% 的 Pd 掺杂到 GeSbTe 体系中,研究结果表明,Pd 的掺杂可使记录层的晶化温度升高,非晶态记录点的稳定性增强^[19].

2.4.2 掺杂其他元素对 AgInSbTe 体系相变光盘性能的影响

为了获得更高性能的 AgInSbTe 体系的相变光盘,人们同样采取了掺杂其他元素的方法.

Tominaga 等^[20]在研究 V 掺杂的 AgInSbTe 体系时发现,加入的 V 大部分与 Te 而不是 Sb 成键.当 V 的含量增加时,Ag 的含量降低,Ag 被 V 替代.从而在 AgInTe₂ 主晶相中产生了 VSbTe₂ 相.掺杂微量的 V 后,在 1.4m/s 的低线速度下,VAgInSbTe 体系光盘可实现重写记录,并表现出较好的可擦除性.

Guo 等研究表明^[14],在 AgInSbTe 体系中掺杂

氮并不能提高数据传输速率,反而会使完全晶化时间显著增长.表面上观察,氮加入后晶态生长速度会显著下降,这可能是因为,在 AgInSbTe 相变材料中,主要的晶态是 AgSbTe₂,而增加的氮原子可能进入了该相的晶格点阵,导致晶体生长速率下降,增加了晶化时间.

对掺杂氧的 AgInSbTe 记录层的研究结果表明^[21],在分压比 $P_{O_2}/P_{Ar} = 2\% - 4\%$ 时,制备的记录层反射率较高,氩气保护下在 300℃ 退火 30min 后,在 500—700nm 波长范围内,记录层反射率增长可达 17%—25%;当分压比 $P_{O_2}/P_{Ar} = 2\%$ 时,记录层在 400—650nm 波长范围有较强吸收,光学常数在退火前后也有较大差别.对记录层静态记录性能的测试结果表明:记录功率为 10mW、脉宽为 100ns 时,记录层在记录前后反射率对比度高达 20%,具有良好的写入灵敏性.该记录层可连续多次进行写入/擦除循环,且擦除前后反射率对比度稳定,具有一定的可擦除性能.这类记录层材料有望用于短波长(514.5nm)高密度的光盘存储.

2.5 GeSbTe 与 AgInSbTe 体系相变光盘的蓝光记录

GeSbTe 和 AgInSbTe 是相变光盘的两种重要的存储介质材料.选择哪一种材料主要是依据应用的特殊要求而定.一般说来,GeSbTe 体系材料更适合于槽沟(land-groove)记录格式,这主要是因为该体系有快的晶化性质和超过 10^5 直接重写能力;而 AgInSbTe 则更典型地用于凹槽(groove-only)记录格式,该体系的重写能力一般要比 GeSbTe 体系低 1—2 个数量级,但仍足够满足影响记录的要求.然而与 GeSbTe 体系相比,AgInSbTe 体系更具有蓝光记录的优势.首先,AgInSbTe 体系比 GeSbTe 体系的线密度高.以 AgInSbTe 和 Ge₂Sb₂Te₅ 为例,如图 7 所示,10 次直接重写后,当底部跳动值为 9% 时,GeSbTe 线密度的最大值是 0.30μm/bit,而 AgInSbTe 最大线密度是 0.27μm/bit.其次,AgInSbTe 材料的数据

传输速率与聚焦激光斑点大小有密切关系. 最大传输速率随激光斑点的缩小而显著提高, 如图 8 所示, 光点直径越小即激光波长越小, 最大传输速率越大, 相应地随着波长的缩短, 记录密度也会提高. 因此运用蓝光激光可大幅度提高 AgInSbTe 体系的存储密度和数据传输速率; 而对于 GeSbTe 体系, 激光斑点尺寸对其数据传输速率的影响不大. 也就是说, GeSbTe 体系的数据传输速率在红外波段和蓝光波段相似^[22].

在未来一段时间内, GeSbTe 和 AgInSbTe 体系仍将是相变光存储材料的研究主体. 今后相变光盘的发展趋势将集中在以下两个方面: 一方面是基于现有成果, 结合更先进的技术, 调整光盘结构, 调配记录层物质组分进一步优化 GeSbTe 和 AgInSbTe 相变光盘的性能, 减少由于高密度而引起的诸如跳动、串扰等问题; 另一方面, 要大力探索适用于相变光盘的新型材料, 特别是适合于蓝光记录的介质, 这将是下一代高密度光盘的发展方向.

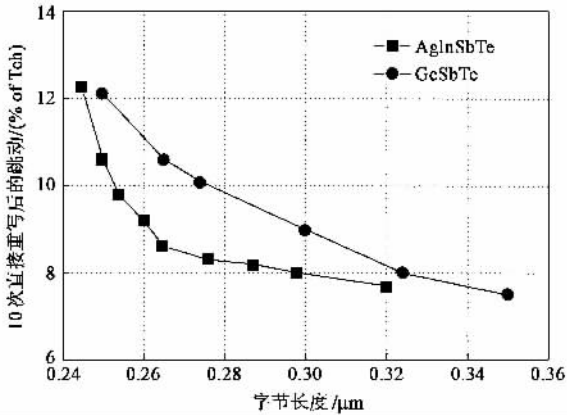


图 7 10 次直接重写后跳动与线密度的关系

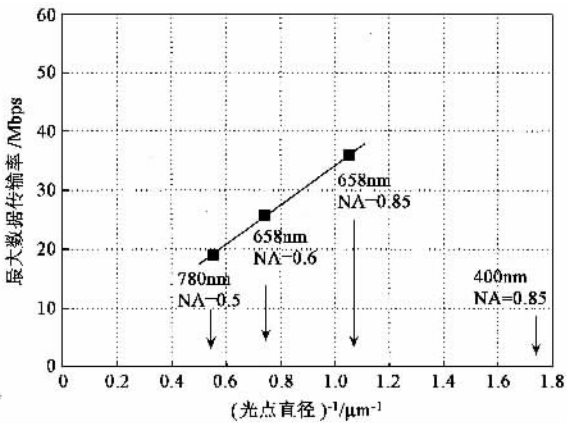


图 8 激光光点直径与最大传输速率的关系

参考文献

[1] 干福熹. 物理, 1999, 28(6): 323 [Gan F X. WuLi (Physics), 1996 28(6): 323(in Chinese)]

[2] Ohta T, Nishiuchi K, Narumi K *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 2000, 39 : 770

[3] Narahara T, Kobayashi S, Hattori M. Jpn. J. Appl. Phys. , 2000, 39 : 912

[4] Borg H J, Woudenberg V. J. Magnetism and Magnetic Materials. , 1999, 193 : 519

[5] Jacobs B A J, Johan P. W. B. Jpn. J. Appl. Phys. , 1997, 36 : 491

[6] Yamada N. J. Appl. Phys. , 2000, 88 : 7020

[7] Price S J, Greer A L, Davies C E. SPIE , 2000, 4090 : 122

[8] Tashiro H, Harigaya M, Kageyama Y *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 2002, 41 : 3758

[9] Kasami Y, Kuroda Y, Seo K *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 2000, 39(2B): 756

[10] Shinotsuka M, Onagi N, Harigaya M. Jpn. J. Appl. Phys. , 2000 39(2B): 976

[11] Inoue H, Hirata H, Kato T *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. 2001, 40 : 1641

[12] Inoue H, Hirata Hi, Kato T *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 2002, 41 : 810

[13] Kato T, Hirata H, Inoue H *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 2002, 41 : 1664

[14] Guo F Z. Materials Science and Engineering A. , 2001, 304 - 306 : 73

[15] Kojima R, Okbashi S, Kashihara T *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 1998, 37 : 2098

[16] Ebina A, Hirasaka M, Nakatani K. J. Vac. Sci. Technol. A , 1999, 17 : 3463

[17] Takase A, Fujinawa G, Ebina Ai *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 2002, 41 : 2189

[18] Lee C M, Chin T S, Huang Y Y *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. , 1999, 38 : 6369

[19] Hirota K, Ohbayashi G. Jpn. J. Appl. Phys. , 1998, 37 : 1847

[20] Tominaga J, Kikukawa T, Takanashi M *et al.* J. Appl. Phys. , 1997, 82(7): 3214

[21] 李青会, 侯立松, 李进延等. 中国激光, 2001, 28 : 651 [Li Q H, Hou L S, Li J Y *et al.* Chinese Journal of Lasers , 2001, 28 : 651(in Chinese)]

[22] Borg H J, Blom P W M, Jacobs B A J *et al.* Proc. SPIE , 1999 3864 : 191

3 结论

随着探索的不断深入, 对适用于蓝光的存储材料的研究相继出现, 但基本延续着红光所用的 GeSbTe 和 AgInSbTe 两种体系. 目前掺杂的低共熔点 SbTe 材料在提高记录密度和数据传输率方面非常有希望. 利用 DVR(405nm, 0. 85NA) 系统获得的存储密度是 22. 5GB, 数据传输率是 70Mbps, 并有望在将来超过 100Mbps.