

文章编号 : 0253-2239(2002)11-1281-05

AgInSbTe 薄膜的短波长记录性能分析*

魏劲松 阮 昊 陈仲裕 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 采用自制的装置研究了 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的静态记录性能与记录激光的功率和脉冲宽度的关系, 并对其记录畴形貌特点进行了直接观察。结果表明只有记录激光的功率和脉冲宽度在一定范围之内才能起到信息记录的作用, 所得的记录畴形貌十分清晰, 基本为非晶态 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$; 小于该范围的激光能量不能使材料结构发生较大的变化, 所得的记录畴形貌模糊, 反射率对比度低于 2%; 大于该范围所得的记录畴由烧蚀区和其周围的非晶态 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 组成。另外, 得到了记录激光功率为 12 mW、脉冲宽度为 90 ns 的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的短波长最佳记录条件, 其记录畴的反射率对比度为 22%, 直径为 380 nm ~ 400 nm。

关键词: AgInSbTe 薄膜; 记录畴; 记录性能

中图分类号: O484.4⁺1 文献标识码: A

1 引 言

可擦写相变光盘是近十几年开发出来的新一代光盘存储技术。在该技术中, 以硫系或碲系半导体合金为信息记录膜, 在不同功率密度和脉冲宽度的激光照射下使其发生晶态 \leftrightarrow 非晶态的可逆相变, 利用其反射率也发生相应的可逆变化来实现信息的写入和擦除。信息的读取则是利用不会引起材料结构变化的低功率密度的激光照射记录膜并测其反射率来实现的。在上述过程中, 材料的晶态与非晶态的反射率对比度是实现信息记录和读出的关键^[1-3]。另外, 信息技术的高速发展要求光盘的存储密度必须大大提高, 其有效途径之一就是采用短波长激光和高数值孔径的透镜来缩小记录光斑, 从而减小记录畴尺寸来实现高密度存储^[4-8]。 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 由于具有高的晶态与非晶态的反射率对比度而成为当前相变光存储材料研究的热点^[3, 9-11], 我们课题组也一直致力于这方面的研究工作^[12-16]。为了将 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜用于高密度信息存储, 我们在自制的装置上对其短波长的记录性能进行了研究, 并通过该装置直接观察和研究了在不同记录条件下 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的记录畴形貌特点与其记录性能的关系, 从而为优化 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的记录

性能和实现信息的高密度存储提供依据。

2 实 验

2.1 试样制备

非晶态的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的制备采用射频磁控溅射法。溅射前将真空室抽至 8×10^{-4} Pa, 然后充高纯 Ar 至 1.0 Pa 进行溅射, 溅射功率为 200 W, 靶直径为 $\phi 200$ mm, 基片为 K₉ 玻璃。薄膜厚度采用多光束干涉仪进行测量, 厚度为 30 nm。然后溅射一层厚度为 20 nm 的 ZnS-SiO₂ 作为保护膜, 防止在测试过程中 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的氧化从而影响其记录性能。参考文献^[17]的真空退火法对试样进行热致晶化。退火过程为: 首先将系统抽真空至 3×10^{-3} Pa, 然后以 10 °C/min 的升温速率到 220 °C 保温 30 min, 随炉冷却至室温后取出。

2.2 性能测试

$\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的记录性能与记录畴的测量装置如图 1 所示。该装置由静态记录系统和记录畴的观察系统组成。其中静态记录系统采用波长为 514.5 nm、输出功率为 50 mW 的氩离子激光器的激光束。该激光束由声光调制器调制之后经过数值孔径 NA = 0.85 的透镜聚焦到试样表面, 激光束的脉宽和功率通过可编程脉冲发生器进行调节。入射到样品表面的激光功率和脉冲宽度的可变范围分别为 0.1 mW ~ 30 mW 和 0.01 μ s ~ 6 μ s。薄膜记录性能的检测采用 1 mW 或更低功率的激光束照射试

* 国家自然科学基金重点项目(59832060) 国家基础研究 973 项目和上海市应用物理研究中心资助课题。

E-mail: weijingsong@netease.com

收稿日期 2001-12-12; 收到修改稿日期 2002-01-23

样经试样表面反射之后由会聚透镜聚焦到光电管输入计算机。通过测试薄膜记录前后反射率对比度 C 来衡量试样的记录性能, 反射率对比度 C 定义为

$$C = \frac{2|R_i - R_f|}{R_i + R_f} \times 100\%$$

其中 R_i 和 R_f 分别为写入前、后薄膜的反射率。测试完成之后在记录畴观察系统上直接对记录畴进行观察, 这样避免了采用原子力显微镜及透射电子显微镜观察记录畴时制样和寻找记录畴的困难^[18,19]。该观察系统由成像物镜、半反镜、放大系统及 CCD 接收系统组成。白光经准直透镜后变为平行光, 该平行光由半反镜进入透镜后聚焦到试样上。来自试样的反射光经成像物镜进入放大系统, 由 CCD 接收直接成像在监视器和计算机上。

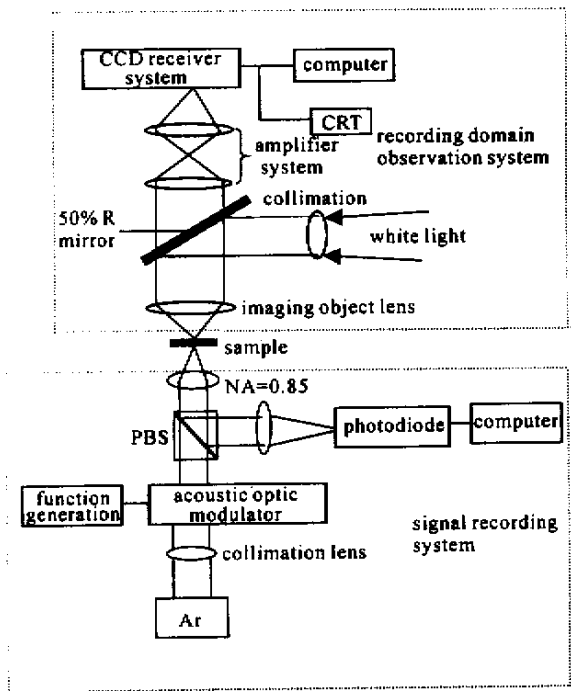


Fig.1 Apparatus of the recording properties measurement

3 实验结果与讨论

相变记录材料的记录性能主要与记录激光的功率和脉冲宽度有关, 因此首先研究了在相同脉冲宽度下不同激光功率作用下 $Ag_5In_5Sb_{47}Te_{33}$ 薄膜的记录性能, 其结果如图 2 所示。将图 2 分成三个阶段, 分别记为阶段 I、阶段 II 和阶段 III。

在阶段 I, 记录功率小于 7 mW, 反射率对比度低于 2%, 称为记录前阶段;

在阶段 II, 记录功率为 7 mW ~ 13 mW, 反射率对比度随记录激光的功率增加从 10% 升高到 25%,

称为记录阶段;

在阶段 III, 记录功率大于 13 mW, 反射率对比度大于 30%, 反射率对比度随着记录功率的增加而增加, 称为烧蚀阶段。

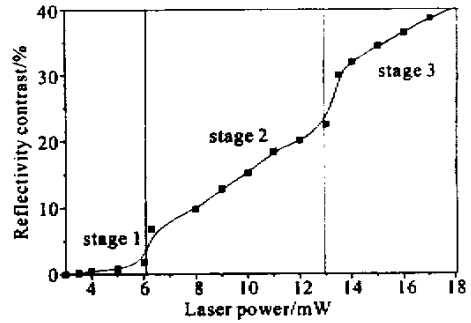


Fig.2 Dependence of reflectivity contrast on laser power (laser pulse width :100 ns)

同时对相同记录功率下不同激光脉冲宽度辐照 $Ag_5In_5Sb_{47}Te_{33}$ 薄膜的记录性能进行了研究, 其结果如图 3 所示。同样可以将图 3 分成三个阶段, 分别称为记录前阶段、记录阶段和烧蚀阶段。

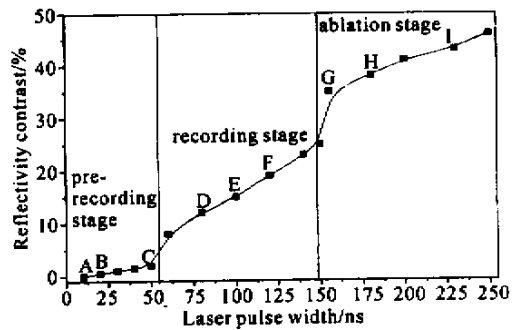


Fig.3 Dependence of reflectivity contrast on laser pulse width (laser power :10 mW)

从图 3 可以看出:

在记录前阶段, 激光脉冲宽度小于 50 ns, 反射率对比度基本为 0 ~ 2%;

在记录阶段, 激光脉冲宽度为 50 ns ~ 150 ns, 反射率对比度随激光的脉冲宽度增加由 10% 升高到 25%;

在烧蚀阶段, 激光脉冲宽度大于 150 ns, 反射率对比度大于 30%, 反射率对比度随激光脉冲宽度的增加而增加。

对比图 2 和图 3 可以发现, $Ag_5In_5Sb_{47}Te_{33}$ 薄膜在三个阶段内反射率对比度的变化规律基本一致。为了对上述三个阶段内 $Ag_5In_5Sb_{47}Te_{33}$ 薄膜的记录性能有一个更加直观深刻的理解, 对图 3 所示的记录前阶段 A、B 和 C, 记录阶段 D、E 和 F, 烧蚀阶段 G、H 和 I 记录条件下的记录畴在图 1 所示的装置上

分别进行了直接观察。观察结果如图 4 所示。

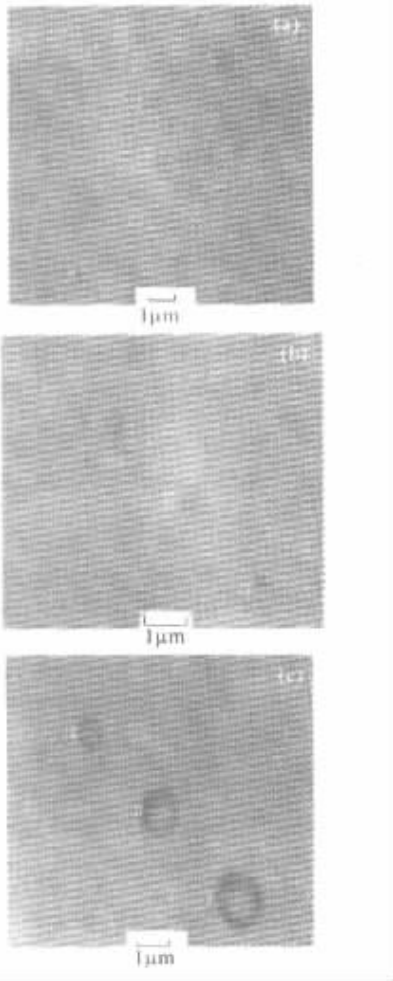


Fig. 4 Morphology of the recording domain. (a) Pre-recording stage ;(b) Recording stage ;(c) Ablating stage

在图 4(a)中,记录畴 A、B 形貌十分模糊,记录畴 C 较 A、B 略微清晰,从图 3 的记录前阶段的反射率对比度低于 2% 也能说明这一点,这主要是激光脉冲时间较短, $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜吸收激光的能量没有达到其熔化能,材料没有发生任何结构上的改变。随着激光脉冲宽度的增加, $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜吸收激光的能量增加,当脉冲宽度达到 50 ns 以上时,其吸收的能量超过 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的熔化热,随即进入了记录阶段。从图 3 的记录阶段及图 4(b)的记录畴 D、E 和 F 可以看出,随激光脉冲宽度的增加,记录畴直径变大,形貌也随之更加清晰,其反射率对比度也相应增加。当脉冲宽度达到 150 ns 以上时,反射率对比度有一个较明显的突变,薄膜进入烧蚀阶段。在烧蚀阶段,我们观察了记录畴 G、H, [见图 4(c)]。根据记录畴的形貌特点可以将其分成两部分:中心颜色较浅的区域为烧蚀区,在烧蚀区周围颜色较深,为 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 非晶态区域,同

时将图 3 的烧蚀阶段与图 4(c)进行对照可以发现,随激光脉冲宽度的增加,记录畴尺寸增加,烧蚀区的孔径也加大。

在图 2 和图 3 所示的三个阶段中,各个阶段之间均出现一个反射率对比度的突变。记录前阶段到记录阶段的突变主要是 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜发生了晶态 $\xrightarrow{\text{激光加热}}$ 熔化态 $\xrightarrow{\text{急冷}}$ 非晶态的转变,非晶态的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 较其晶态反射率低,从而使反射率对比度有一个小的突变。从记录阶段到烧蚀阶段的过程中, $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜发生晶态 $\xrightarrow{\text{激光加热}}$ 熔化态变化,随着激光脉冲宽度的增加,熔化态的 AgInSbTe 继续吸收能量,温度不断增加,从而其粘度降低,光斑中心部分的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 向四周流动,使得光斑中心部分的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 减少,当脉冲激光移去之后, $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 变为非晶态,最终使得记录畴中心部分膜厚减小,而边缘部分的膜厚增加。这正如图 4(c)所观察到的记录畴中心部分颜色较浅,呈烧蚀状态,而边缘部分颜色较深,为非晶态 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 。因烧蚀态的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜与晶态的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜反射率相差较大,因此图 2 和图 3 中的记录阶段到烧蚀阶段的反射率对比度有一个较大的突变,使得烧蚀阶段的反射率对比度最高,但烧蚀态的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 不具有可擦和重写的特性,不能用于信息记录。因此对于 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜,其记录激光的功率和脉冲宽度必须低于其烧蚀阶段的最低记录激光功率和脉冲宽度。同时,由于 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜用于信息存储,其晶态与非晶态的反射率对比度是提高信噪比的关键因素,图 2 和图 3 所示的记录前阶段的反射率对比度都低于 2%,在该阶段内的记录激光的功率和脉冲宽度均不能达到其要求。因此对于 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜而言,其记录条件必须在记录阶段内。然而,提高存储密度最有效的途径之一就是减小记录畴的尺寸。为此,根据图 2 和图 3 所示的反射率对比度与记录条件的关系对 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的记录性能进行了优化,其结果为在记录激光功率 12 mW、脉冲宽度 90 ns 的条件下得到了反射率对比度为 22% 和直径为 380 nm ~ 400 nm 的记录畴,如见图 5 所示。

利用 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜晶态与非晶态的反射率对比度实现信息的写入,信息的擦除则采用较低功率密度和较宽脉冲激光照射非晶态的

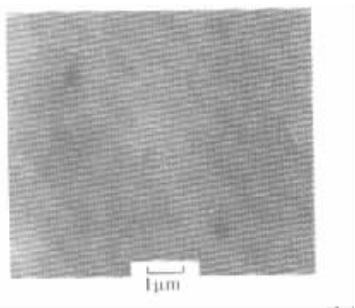


Fig. 5 Morphology of the recording domain obtained under optimum recording condition

$\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ (记录畴)区域,使该区域发生晶化,这样原来记录的信息已被擦除。经过擦除过程的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜为均匀一致的晶态,若此时再次采用高功率密度和窄脉宽的激光照射,则光照区的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 又会发生晶态 $\xrightarrow{\text{激光加热}}$ 熔化态 $\xrightarrow{\text{急冷}}$ 非晶态的转变,而非光照区仍为晶态,这样就实现了信息的重写。

结论 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜的静态记录性能分三个阶段:记录前阶段、记录阶段和烧蚀阶段。记录前阶段和烧蚀阶段不宜用于可擦写信息记录,只有记录条件在记录阶段之内所得到的记录畴才能用于记录可擦写信息;采用自制的装置直接观察了 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 薄膜三个阶段内的记录畴形貌。观察结果表明,记录前阶段的记录畴形貌十分模糊,烧蚀阶段的记录畴由烧蚀区和非晶态的 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ 两部分组成,记录阶段的记录畴为比较均匀的非晶态 $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$,在记录激光的功率为12 mW、脉冲宽度为90 ns时,得到了最佳记录性能,反射率对比度为22%,记录畴直径为380 nm~400 nm。

参 考 文 献

[1] Feinleid J, de Neufville J, Ovshinsky S R. Rapid reversible light-induced crystallization of amorphous semiconductors. *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **18**(6):254~257

[2] Iwasuke H, Harigaya M, Nonoyama O *et al.*. Completely erasable phase change optical disc II: Application of mixed-phase system for rewritable compact disc compatible with CD-velocity and double CD-velocity. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1993, **32**(11B):5241~5245

[3] Matsushita T, Suzuki A, Okuda M *et al.*. Phase-change optical recording films with AgInTe₂-Sb-Te system. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1995, **34**(2A):519~521

[4] Yanagisawa T, Nomoto T, Ohsawa S *et al.*. Signal

simulation of 25 Gbytes read-only optical disk system using a high numerical aperture objective lens. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(3B):1536~1541

[5] Lee K G, Park C M, Yoon D *et al.*. Experimental results of space layer thickness for blue-wavelength dual-layered disc. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(3B):1643~1644

[6] Sato M, Ezuka T, Koike K *et al.*. High-numerical-aperture objective lens for blue laser disk system. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(3B):1790~1791

[7] Kouchiyama A, Ichimura I. Optical recording using high numerical-aperture microlens by plasma etching. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(3B):1792~1793

[8] Borg H J, Schijndel M. Phase-change media for high-numerical-aperture and blue-wavelength recording. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(3B):1592~1597

[9] Iwasaki H, Ide Y *et al.*. V and Ti doping effect on optical phase-change rewritable disc. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, **31**(2B):461~464

[10] Kageyam Y, Ide Y, Harigaya M *et al.*. Compact disc erasable (CD-E) with phase-change recording materials. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(1B):500~504

[11] Jiang F S, Okuda M. The effect of doping on the erasure speed and stability of reversible phase-change optical recording films. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1991, **30**(1):97~100

[12] Li Jinyan, Gan Fuxi. Optical and short-wavelength recording properties of $\text{Ag}_8\text{In}_{14}\text{Sb}_{55}\text{Te}_{23}$ phase-change films. *Chinese J. Lasers (B)*, 2001, **B10**(4):305~309

[13] Li Jinyan, Ruan H, Gan Fuxi *et al.*. Effect of sputtering parameters on the optical properties of phase-change film. *Proc. SPIE*, 2000, **4085**:125~127

[14] Li Qinghui, Gu D, Gan Fuxi *et al.*. Optical properties and static recording performances of Ag-In-Sb-Te-O films using short-wavelength laser. *Proc. SPIE*, 2000, **4085**:133~135

[15] Li Jinyan, Ruan H, Gan Fuxi *et al.*. Effect of sputtering parameter on optical properties of the phase-change thin films. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2001, **21**(5):638~640 (in Chinese)

[16] Li Jinyan, Ruan H, Gan Fuxi *et al.*. Effect of thin film thickness on optical properties of thin films. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2001, **21**(8):952~955 (in Chinese)

[17] Liu Huiyong, Jiang F, Gan Fuxi *et al.*. Heat-induced microstructure and optical properties change of the high reflectivity phase-change thin films. *Chinese Science Bulletin*, 1998, **43**(16):1783

[18] Lin Qinghui, Sun Jieli, Wang Haifeng *et al.*. Atomic force microscopic study of the structure of short-wavelength laser static recording bits in TeO_x thin film. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2001, **21**(10):1177 (in Chinese)

[19] Meinders E R, Lankhorst M H R, Borg H J *et al.*. Thermal cross-erase issues in high-data-density phase-change recording. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, **40**(3B):1558~1564

Analysis of Short-Wavelength Recording Properties of AgInSbTe Thin Films

Wei Jingsong Ruan Hao Chen Zhongyu Gan Fuxi

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

(Received 12 December 2001 ; revised 23 January 2002)

Abstract : The relationships between the recording properties and the recording laser power and pulse width of the $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$ thin films were investigated and the recording domains morphology was observed. The results showed that the recording domains could be obtained when the recording laser power and pulse width were within a certain range, and the morphology of the recording domains is very clear and is amorphous $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$. When the laser power and pulse width could not provide efficient energy to induce significant change in the films, the morphology of the recording domains is very illegible. When the ablation took place the recording domains were composed of the ablation area and the surrounding amorphous $\text{Ag}_5\text{In}_5\text{Sb}_{47}\text{Te}_{33}$. In addition, the optimum recording conditions (12 mW recording power and the 90 ns laser pulse width) were obtained, the reflectivity contrast of the recording domains obtained under the condition is 22% and the domain diameter is 380 nm ~ 400 nm.

Key words : AgInSbTe thin films ; recording domain ; recording properties