

# 晶态 InSb 薄膜在脉冲 YAG 激光作用下的熔化与再结晶过程的研究

孙 扬 邓 和 干福熹  
(中国科学院上海光机所, 201800)

**提要:** 观察了不同能量的 YAG 激光脉冲辐照引起的晶态 InSb 薄膜熔化与再结晶的瞬态过程, 分析了 InSb 薄膜在激光作用下发生相变的时间过程和微观机制。

**关键词:** InSb 薄膜, 激光相变, 热熔化

## Investigation of melting and recrystallization process of crystal InSb films under pulsed Nd:YAG laser irradiation

*Sun Yang, Deng He, Gan Fuxi*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

**Abstract:** We have observed the transient melting and recrystallization process of crystal InSb films by Nd:YAG laser pulse irradiation with various powers, and have analysed the temporal process and mechanics in InSb films after laser pulse irradiation.

**Key words:** InSb films, laser induced phase change, heat melting

### 一、引 言

用脉冲激光辐照引起薄膜相变的工作已有了很大的发展<sup>[1~3]</sup>。在相变机理的探讨上, 简单热熔化和再结晶模型<sup>[4,5]</sup>在对很多实验现象尤其是长脉宽尺度的解释上是成功的, 然而它还没有得到完全的证实。InSb 薄膜作为一种有前途的光信息存贮材料, 研究它在激光作用前后的形态变化无疑是很有意义的。本文将通过对晶态 InSb 薄膜在不同能量的 YAG 激光脉冲辐照下的受热熔化与再结晶的瞬态过程的观察和分析, 给出晶态 InSb 薄膜中相变发生的时间过程, 推断 InSb 薄膜在激光作用后发生相变的微观机制和物理图像。

### 二、实验和样品

实验中用调 Q YAG 脉冲经透镜聚焦后照于薄膜样品之上, 一束连续 He-Ne 激光以 15° 入射于 YAG 脉冲辐照点作为探测光, 并被光电二极管接收后输入存贮示波器, 则示波器上显

示的样品对 632.8 nm 红光的反射波形变化就实时反映了样品中的相变过程。实验装置如图 1 所示。

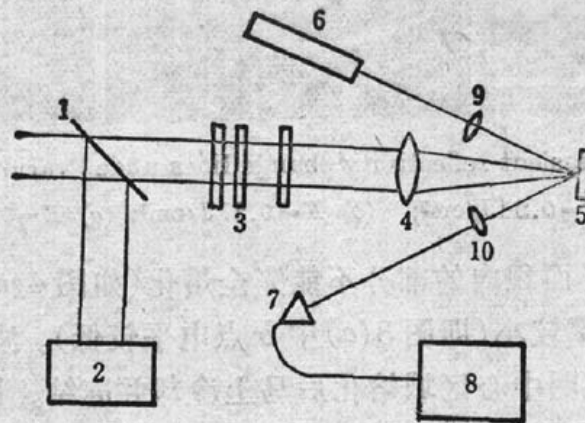


Fig. 1 Experimental set-up

1—beam splitter; 2—radiometer; 3—attenuator; 4, 9, 10—lens; 5—sample;  
6—He-Ne laser; 7—diode; 8—oscilloscope

样品采用真空蒸发的方法将 InSb 蒸镀于玻璃基板之上，膜厚为 150.0 nm。YAG 激光波长为 1.06  $\mu\text{m}$ ，脉宽为 10 ns。

激光作用前后的样品用透射电镜测定其结构与形貌变化作为相变发生的佐证。

### 三、结果与讨论

热熔化理论认为脉冲激光对介质薄膜的作用主要是加热过程，即样品吸收了激光能量后引起表面温度上升。如果这个能量足够大，样品表面的一薄层就会达到熔点而熔化。在辐照

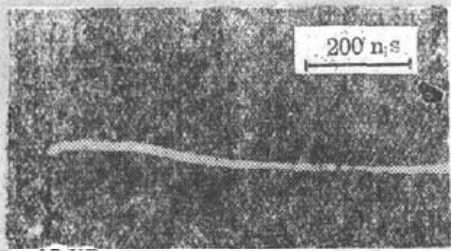


Fig. 2 Typical reflectivity change line

停止后样品冷却并冻结，如果冷却速率足够大就生成非晶态，冷却速率小则发生结晶。冷却速率是由样品材料性质、激光条件、环境氛围等条件决定的。

#### 3.1 反射率瞬态观测

典型的反射率变化波形如图 2 所示。其中的高反射相对应于熔融态。由波形可见样品在激光脉冲到来时几乎立刻受热熔化，而冻结过程则要慢得多，约需几百 ns 才能完成。末

相的信号电平比初相高，说明激光作用后反射率增大。在我们的实验装置上对激光作用前后样品的局部反射率变化作了测量，其对 632.8 nm 光的反射率由 43% 增至 52%。

#### 3.2 不同能量下的反射波形

激光能量在特定范围内时引起样品中的相变，随着能量的不同，其反射波形也有一些差异。图 3 给出了激光能量略高于相变阈值(a)、中间范围(b)、接近破坏阈值(c)时的反射波形。

能量不同时反射波形在形态上的差异主要是由于探测光面积与熔融区面积的相对不同所造成的。图 4 示出了 He-Ne 束斑与熔融区面积大小的比较。

分析图 3 的波形可知，当能量较小时(如图 3(a))，由于激光脉冲能量的空间高斯分布，只有样品被辐照区域的中心部分吸收了足够的能量而熔化，而周围区域并未被加热到熔点。此

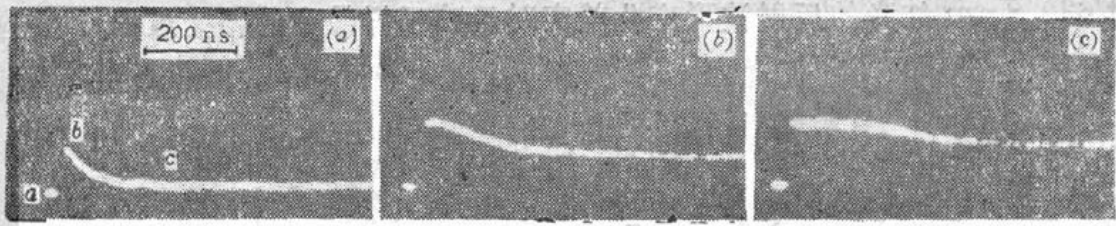


Fig. 3 Transient reflectivity change lines under various laser powers  
 (a)  $E=0.21\text{J/cm}^2$ ; (b)  $E=0.27\text{J/cm}^2$ ; (c)  $E=0.34\text{J/cm}^2$

时作为探测光的 He-Ne 光面积内的部分不能完全熔化(如图 4(a)), 所以面积平均后示波器上看到的高反射相的反射率较小(即图 3(a)中 b 点电平较低)。波形中没有出现意味着熔融态持续的高反射相平台, 这说明中心区域熔化后马上冷却并冻结。同样由于面积效应, 冻结时反射波形的下降也不呈阶梯型。图中 b 点和 c 点分别对应着熔化区达到最大和冻结过程结束的时刻。图 3 中 (a) 图的波形下降时间(即 b-c)最短, 是因为能量小时, 熔化区域也小, 冷却迅速。

当能量增大一些时, 如图 3(b), 它对应于 He-Ne 照射区内的薄膜刚好全部熔化。和 (a) 的波形比较, 它的高反射相电平更高, 而且由于熔态面积大, 冻结所需的时间长, 表现为波形中反射率下降时间也长。

当能量再增大时(波形如图 3(c)), 熔化区面积更大, 以至超过了 He-Ne 束斑面积。冷却时由外向内固化, 而 He-Ne 照射区域则保持为熔态达 160 ns, 然后固化才发展到 He-Ne 面积内的区域中, 这和波形中的高反射相平台相对应。此高反射相持续时间即为固化前沿从最大熔区边缘移动到 He-Ne 束斑边缘处所用的时间。注意到此时波形下降时间与图 3(b) 中相等, 是因为 He-Ne 光面积内的冻结过程并不受周围状态及热历史的影响。

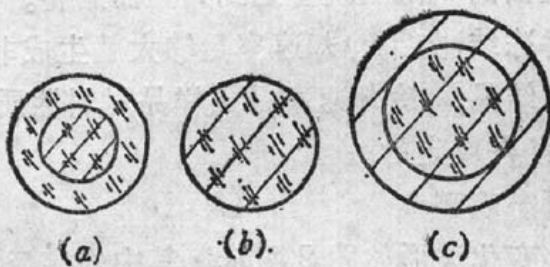


Fig. 4 Comparison of the melting area and the probe laser beam area. The melting area increased with laser pulse power

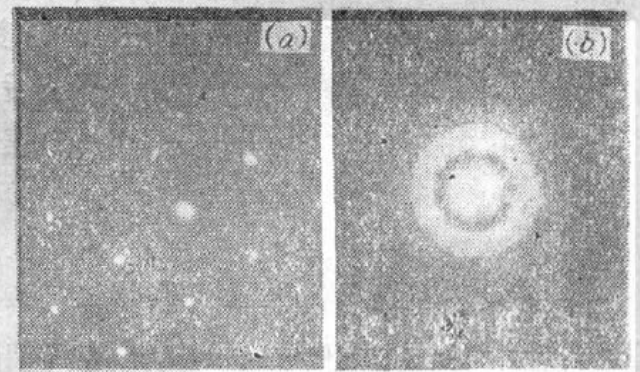


Fig. 5 Transmission electron diffraction pattern (a) before, and (b) after laser irradiation

### 3.3 激光作用后的状态变化的电镜测量

把经激光辐照后的薄膜样品用透射电镜进行观测, 激光作用前后的电子衍射图像由图 5 示出, 可见样品原来是晶态, 而且晶粒较大, 经激光处理后晶粒变细, 以致衍射花样很象非晶。这可能是由于样品在激光作用下熔化, 然后发生了均匀的体成核。

## 四、结 论

10ns YAG 激光脉冲能引起晶态 InSb 薄膜的熔化并再结晶。薄膜几乎在激光脉冲到来

时立刻熔化, 熔化区的面积随着激光能量上升而增大。固化和结晶过程则需要  $10\sim 10^2$  ns 之久。脉冲激光作用使得薄膜中晶粒变细而且反射率增大。由此我们可推测当薄膜再薄时经激光辐照后可能生成非晶态<sup>[6]</sup>。激光辐照前后 InSb 的表面反射率变化达 20% 以上, 表明 InSb 作为相变型光存储介质是可行的。

### 参 考 文 献

- 1 T. Nishida *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **50** (11), 667(1987)
- 2 K. A. Rubin *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **50**(21), 1488(1987)
- 3 D. E. Savage *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **50**(24), 1719(1987)
- 4 R. F. Wood *et al.*, *Phys. Rev.*, **B23**, 2923(1981)
- 5 R. F. Wood *et al.*, *Phys. Rev.*, **B23**, 5555(1981)
- 6 P. L. Liu, R. Yen *et al.*, *Laser and Electron Beam Processing of Materials*, ed. C. W. White and P. S. Pearoy, 1980, 156
- 7 Y. Sun, H. Deng *et al.*, *Japan. J. Appl. Phys.*, Suppl. **26**(4), 75(1987)

## 掺钛蓝宝石晶体激光器连续输出功率超过 1W

用我们自创的感应温场上移法(IFUS)新技术生长的掺钛蓝宝石晶体已先后实现了脉冲、准连续激光运转, 并于 1991 年 12 月在国内首次实现了氩离子激光泵浦连续钛宝石激光运转<sup>[1]</sup>, 激光输出功率为 303mW, 阈值功率为 1.5W。最近我们生长的晶体质量又获得进一步提高, 做成的连续激光器输出功率和调谐性能又取得了新进展。

用几种不同掺杂浓度( $Ti^{3+}0.04\text{Wt}\%\sim 0.2\text{Wt}\%$ )和不同长度(6.5mm~26mm)的晶体进行了一系列氩离子激光泵浦连续激光实验。其中尺寸为  $3.5\times 3.5\times 15\text{mm}^3$ ;  $\alpha_{490}=2.0\text{cm}^{-1}$  的 Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光棒, 用国产 A-240 氩离子激光泵浦(波长: 488nm, 514nm, 全线)最大输出功率达 1.25W, 阈值功率小于 1W, 总体转换效率 12.5%, 斜率效率 15%。

最近还获得了连续锁模激光输出, 所有参数正在测量中。

(中国科学院上海光机所八室 邓珮珍 乔景文 柴 跃 张 强  
激光技术开放室 刘玉璞 张影华 陆培华 1992 年 3 月 10 日收稿)