

ZnS 光波导中微微秒激光的三次谐波

赵继然 江敏华

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

徐德维 汪贤秀

(中国科学院长春物理研究所)

提 要

在具有光栅耦合器的 $1.69 \mu\text{m}$ 厚真空沉积 ZnS 薄膜光波导内, 用 $1.064 \mu\text{m}$ 被动锁模 Nd:YAG 微微秒激光获得三次谐波。能量转换效率约为 0.1%。

波导薄膜非线性效应和器件的研究工作, 在开展相干光源的波段、光谱学、信息处理和光通讯等方面具有重要意义。在薄膜光波导中, 已通过非线性混频实现了微微秒信号的卷积^[1], 用棱镜耦合器进行光波耦合, 在 Ti-LiNbO₃ 薄膜光波导中获得 $1.08 \mu\text{m}$ 基波的二次谐波^[2]。我们用 Nd:YAG 染料被动锁模微微秒脉冲激光, 入射到光栅耦合以上, 借助光波耦合, 在真空沉积的多晶硫化锌波导内, 获得 $1.064 \mu\text{m}$ 的三次谐波。由于薄膜光波导的厚度为波长数量级, 所以激光束耦合到光波导中, 可以得到很大的功率密度, 易于激发非线性效应。利用波导中基波和谐波的波导膜式间的色散关系, 选择适当的工作状态, 就可以满足基波向三次谐波模式转换的相位匹配条件。

一、理论分析

采用光栅耦合器^[3]实现光波耦合的相位匹配条件为

$$\beta_\nu = K n_a \sin \theta_a + 2\pi\nu/d = \beta_m, \quad (1)$$

式中 $K = 2\pi/\lambda$, λ 为真空中的激光波长, n_a 为空气折射率, $\nu = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ 是衍射波级数, θ_a 为激光束入射角, d 为光栅周期, β_m 为薄膜的 m 阶波导膜式的本征值。为了描述波导模式有效折射率 n_e 与波导薄膜参数之间的关系, 方程 (1) 又可写成如下形式:

$$n_a \sin \theta_a + \lambda\nu/d = n_f \sin \theta_f = n_e, \quad (2)$$

式中 θ_f 为波导薄膜内的模角, n_f 为薄膜折射率。由方程 (2) 可见, 我们适当选择 θ_f 或 θ_a , 就可以使方程 (2) 等于特定的波导模式本征有效折射率 n_e 。对于所采用的激光波长, 只要它们满足光波耦合的相位匹配条件方程 (2), 同时满足光波导本征模式方程^[4]

$$KW(n_f^2 - n_e^2)^{1/2} = m\pi + \tan^{-1} \left[\left(\frac{n_f}{n_e} \right)^{2\rho} \left(\frac{n_c^2 - n_a^2}{n_f^2 - n_e^2} \right)^{1/2} \right] + \tan^{-1} \left[\left(\frac{n_f}{n_a} \right)^{2\rho} \left(\frac{n_c - n_e^2}{n_f^2 - n_e^2} \right)^{1/2} \right], \quad (3)$$

那么激光束就可以耦合到薄膜波导内持续传播。上式中 m 为波导模式的阶数, 对于 TE 模

式 $\rho=0$, 对于 TM 模式 $\rho=1$, n_s 为衬底折射率, n_e 为波导模式本征有效折射率, W 为波导薄膜厚度。要想实现从一种波长向另一种波长的频率转换, 对于两种波长而言, 都要满足方程 (2) 和 (3)。

我们的波导样品是在 F_1 衬底玻璃上, 真空沉积硫化锌薄膜制成的。对于 $1.064 \mu\text{m}$ 基波, 取 $n_f(\omega)=2.2899$, $n_s(\omega)=1.58608$; 对三次谐波 $0.35467 \mu\text{m}$, 取 $n_f(3\omega)=2.72984$, $n_s(3\omega)=1.65089^{[5]}$, $n_a=1$ 。将上述数值代入方程 (3), 可算出对应波导薄膜不同厚度 W 的各个阶次波导模式的有效折射率 n_e 的数值。图 1 给出 $\text{TE}_m(\omega)$ 模式和 $\text{TM}_n(3\omega)$ 模式的色散曲线, 从图中可见, 要想使激励的基波 $\text{TE}_m(\omega)$ 模式与三次谐波 $\text{TM}_n(3\omega)$ 模式间实现相位匹配, ω 必须取两族相应曲线交点处的值才有可能, 这时对应 $\text{TE}_m(\omega)$ 模式和 $\text{TM}_n(3\omega)$ 模式的有效折射率 $n_e(\omega)$ 与 $n_e(3\omega)$ 相等。如此, 图 1 曲线可用来指导样品的选择与制作。我们的 ZnS 薄膜光波导样品, 膜厚为 $1.69 \mu\text{m}$ 。从图中计算曲线可知, 它可以实现 $\text{TE}_3(\omega)$ 模式到 $\text{TM}_{17}(3\omega)$ 模式间的模式转换。

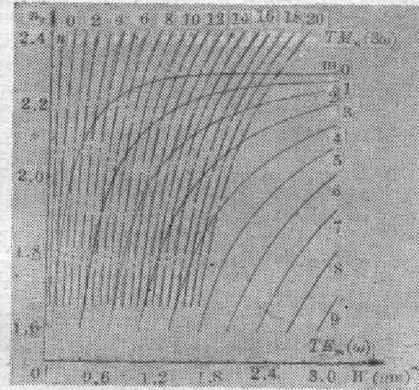


图 1 波导模式的有效折射率 n_e 与波导膜厚 W 的关系

Fig. 1 The dependence of the effective refractive index n_e of waveguide modes on the thickness W of the film

二、实验与结果

我们选用在刻有光栅的 F_1 玻璃衬底上真空沉积硫化锌薄膜作为波导样品, 是因为真空沉积硫化锌膜容易制备, 而且硫化锌材料具有较大的非线性系数 $d_{14}=1.87 \times 10^{-4} \text{esu}$, 可与 ADP 的非线性系数 $d_{36}=(1.8 \pm 0.36) \times 10^{-4} \text{esu}$ 相近。刻在 F_1 玻璃衬底上的光栅作为光束耦合器, 结构紧凑, 便于相位匹配角的调整。光栅周期 $d=0.417 \mu\text{m}$ 。

在 ZnS 薄膜光波导中, 实现 $1.064 \mu\text{m}$ 微微秒激光三次谐波的实验方框图示于图 2。被动锁模 Nd:YAG 激光器输出微微秒脉冲宽度为 40ps , 序列脉冲能量为 $0.5 \sim 4 \text{mJ}$ 。由会聚透镜将光束略加会聚, 照射到光波导的光栅耦合器上, 测得光栅耦合器的光束耦合效率 η 约为 30% 。耦合进入硫化锌波导薄膜的 $1.064 \mu\text{m}$ 激光功率密度 P_w 值在 $6 \sim 40 \text{GW/cm}^2$ 之间变化, 在这个范围内, ZnS 薄膜未见有激光破坏。

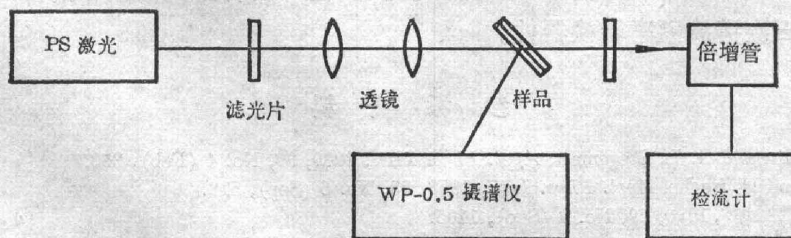


图 2 实验方框图

Fig. 2 Experiment diagram

调整激光束对光栅耦合器的入射角 θ_a ，满足基波 $TE_3(\omega)$ 模式与三次谐波 $TM_{17}(3\omega)$ 模式的相位匹配条件时， $\theta_a=34.1^\circ$ 。在相位匹配条件下， $1.064\ \mu\text{m}$ 激光在 ZnS 薄膜中，借助材料的非线性极化，实现基波向三次谐波的转换。从光栅耦合器的光束耦合相位匹配条件方程 (2) 可以看出，对于 $1.064\ \mu\text{m}$ 激光束的耦合相位匹配角 $\theta_a=\sin^{-1}\left(\frac{n_o-\lambda\nu/d}{n_a}\right)$ ，同时也是三次谐波的光束耦合相位匹配角， $\lambda_\omega\nu_{-1}=\lambda_{3\omega}\nu_{-3}$ ，对于三次谐波只是衍射波级数不同而已。输入光栅耦合器对波导中的导波而言，又是输出耦合器，这样波导中传播的基波和三次谐波就可以沿相同方向从输出光栅耦合器的衍射光束中传播出来。我们从样品耦合输出的反向和正向(相对激光入射方向而言)衍射束中可以观测到三次谐波。实验中，激光脉冲序列能量为 $3.7\ \text{mJ}$ ，用 WP-0.5 光栅摄谱仪摄谱。狭缝前放置紫外滤光片，峰值透过波长 $3293\ \text{\AA}$ ，半宽 $950\ \text{\AA}$ ，峰值透过率 75%。摄得三次谐波光谱照片示于图 3(b)，图中右边的三条谱线是汞灯的标准谱。其黑度扫描曲线如图 3(a) 所示。三次谐波中心波长 $3546.7\pm 0.1\ \text{\AA}$ ，谱线半高全宽 $1.4\pm 0.1\ \text{\AA}$ 。分别从样品的输出光栅耦合器输出的衍射光束中测出基波和三次谐波的强度，得到基波至三次谐波的能量转换效率约为 0.1%。

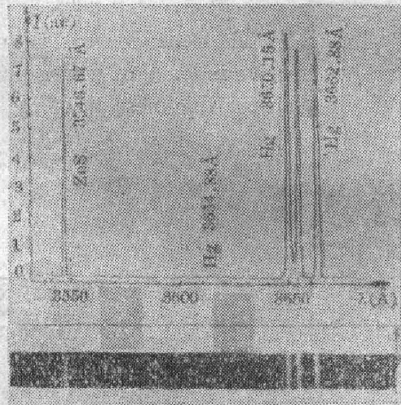


图 3

(a) 三次谐波的相对光谱强度; (b) 三次谐波的光谱照片

Fig. 3

(a) Relative spectral intensity of third harmonic;
(b) The third harmonic spectrum

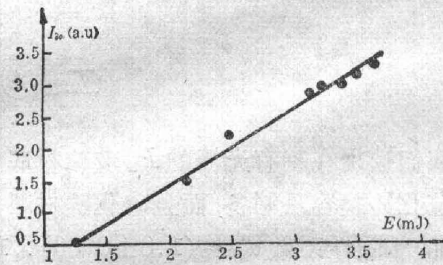


图 4 三次谐波强度随 $1.064\ \mu\text{m}$ 激光能量的变化

Fig. 4 The third harmonic intensity vs the input energy from a $1.064\ \mu\text{m}$ laser

ZnS 光波导中微微秒激光产生的三次谐波强度随输入激光能量的变化如图 4 曲线所示。在 $1.2\sim 3.6\ \text{mJ}$ 能量范围内呈线性关系。从实验可以看出光栅耦合的 ZnS 薄膜光波导可作为一种三次谐波频率转换器件。

参 考 资 料

[1] R. Normandin and G. L. Stegeman; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, No. 4 (Feb), 253.
 [2] W. Sohler and H. Suche; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**, No. 6 (Sep), 518.
 [3] 徐德维;《物理学报》,1980, **29**, No. 9 (Sep), 1135.
 [4] 徐德维;《光学学报》,1981, **1**, No. 3 (May), 265.
 [5] E. M. 沃伦科娃等著;《红外光学材料手册》,(国外红外与激光技术编辑组出版,1973), 269.

Third harmonic of ps laser in a ZnS thin film waveguide

ZHAO JIRAN JIANG MINHUA

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

XU DEWEI WANG XIANXIU

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

(Received 18 May 1983, revised 15 August 1983)

Abstract

Third harmonic of $1.064\mu\text{m}$ laser has been obtained in a ZnS thin film waveguide with thickness of $1.69\mu\text{m}$ produced by vacuum evaporation. In this experiment, a passively mode-locked ps laser and a specially fabricated grating were used. The conversion efficiency of energy is 0.1%.

(上接第 121 页)

2. 摄影技术和方法

论文报道了高速摄影机与光线示波器的精密同步装置;用微电脑确定拍摄参数的方法;直角坐标网格拍摄法以及二维全向偏折指示的彩色纹影技术等。此外,还报道了探索 Pentazet-35 型高速摄影机的正确使用方法和局部改进该机部件后提高工作效率的情况。

3. 光源

代表们对报道光源的论文特别感兴趣,因为在高速摄影条件下要获得高亮度照明和提高分帧的分辨率,光源是一个关键性的技术措施。在会上宣读的有关论文有“提高高速摄影时间分辨率的短脉冲闪光灯”,“一种新颖的频闪光源”等。

4. 感光材料

会上介绍了上海牌 27 Din 高速片的性能、应用及其评价;胶片冲洗加工中的温控技术;一步法瞬间摄影在高速摄影中的应用等。

5. 图像处理与判读

主要是介绍了对摄影底片的后期处理;如何正确使用运动分析仪和实现半自动图像处理技术。

这次会议的论文反映了我国高速摄影技术从军用转向民用,不仅显示了高速摄影技术的应用面已相当广泛,而且已取得了相当的效益,研究和应用这项技术的队伍正在不断地扩大。当然,就目前而言,某些方面应用高速摄影技术还属初始阶段,许多工作尚有待进一步研究、改进和提高。会议还提出应加强微处理技术在高速摄影技术中的应用。

(乙 民)