

文章编号: 1001-3806(2008)03-0268-04

# Semamont棱镜对单模高斯光束光强分布影响的分析

王 涛<sup>1,2</sup>, 吴福全<sup>1\*</sup>, 马丽丽<sup>1</sup>, 郝殿中<sup>1</sup>, 宋连科<sup>1</sup>

(1. 曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165; 2. 曲阜师范大学 物理工程学院, 曲阜 273165)

**摘要:** 为了研究 Semamont棱镜对单模高斯光束光强分布的影响, 采用了分析相干的两束光光程差的方法, 对光在 Semamont棱镜胶合介质层中的干涉效应进行了详细分析。结果表明, 对于给定的入射单模高斯光束, 若光在胶合层界面上的入射角、胶合层的厚度和胶合剂的折射率, 三者确定其二, 棱镜对透射光束光强分布的影响将随另一参量的变化作周期性振荡, 且透射高斯光束的形状也会随之改变; 相比较而言, 棱镜对透射 o 光的影响要大于 e 光, 但从总体上看, 棱镜无论对 o 光还是对 e 光的影响均小于 3%, 在要求不是特别严格的应用中, 可以忽略 Semamont棱镜对单模高斯光束光强分布的影响。

**关键词:** 物理光学; 偏光棱镜; 高斯光束; 透射光强; 干涉

**中图分类号:** O436.3 **文献标识码:** A

## Effect of Semamont prism on distribution of light intensity of single mode Gaussian beam

WANG Tao<sup>1,2</sup>, WU Fu-quan<sup>1</sup>, MA Li-li<sup>1</sup>, HAO Dian-zhong<sup>1</sup>, SONG Lian-ke<sup>1</sup>

(1. Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China; 2. College of Physics Engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

**Abstract** In order to study the transmitting characteristics of single mode Gaussian beam passing through polarizing prism, after analyzing the optical path difference in two coherent beams, the interference effect at the cementing layer of Semamont prism was analyzed in detail. The results reveal that for single mode Gaussian beam, the transmission of the polarized light oscillates in period with one of the three parameters, i.e., the incident angle at the interface of the cementing layer, the thickness of the cementing layer and the refracting index of cement. The shape of the transmitted beam will change with them too. Comparatively, the effect of prism on o light is more than e light. In general, the effect on the transmitted Gaussian beam less than 3%, so the effect of Semamont prism on the transmitting characteristics of Gaussian beam can be neglected in practice if the requirement is not extraordinary strict.

**Key words** physical optics; polarizing prism; Gaussian beam; transmitted light intensity; interference

### 引 言

冰洲石晶体具有光学性能稳定、双折射率大、透射光谱范围宽等特点<sup>[1-8]</sup>, 以其为原料制成的 Semamont 棱镜具有消光比高 (优于  $10^{-5}$ )、透射比高 (大于 87%)、抗损伤阈值高等一系列优点, 且由于光经过棱镜, 被分束的两束光其中的一束光 (o 光) 不变向, 所以它既有偏光分束镜的功能, 又可作为起偏镜使用, 是当前激光应用技术中广泛使用的偏光分束镜和起偏镜<sup>[9]</sup>。单模高斯光束在当前激光技术中应用广泛, 作者从理论上系统分析了单模高斯光束通过 Semamont

棱镜后, 其光强分布受到的影响, 以给相应的应用研究提供必要的参考。

### 1 理论分析

对于 Semamont 棱镜, 单模高斯光束进入棱镜的前半部分, 由于光的传播方向与光轴平行, 所以并不分开; 光束由胶合介质层进入棱镜的后半部分时, 才被分成 e 光和 o 光, o 光的传播方向不变, 而 e 光发生偏折, 如图 1 所示, 图中  $S$  为棱镜的结构角,  $i_1$  和  $i_2$  为两条正

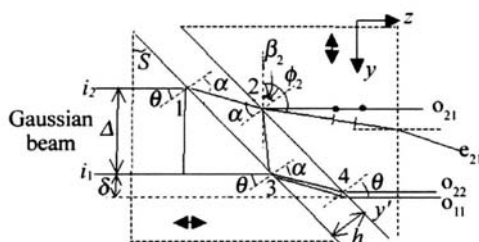


Fig 1 Beam path map at the interface of cementing layer

**作者简介:** 王 涛 (1977-), 男, 讲师, 硕士研究生, 主要从事偏光器件理论与参量测试研究。

\* 通信联系人。E-mail: fqwu@mail.qfnu.edu.cn

收稿日期: 2007-03-19; 收到修改稿日期: 2007-03-26

入射于棱镜的光线。

不考虑晶体非线性效应的影响, 则棱镜对高斯光束光强分布的影响来源于光在通过胶合剂介质层时发生的多次反射。以 o 光为例, 若设  $i_1$  入射到胶合层上的光强为 1, 对于  $\lambda = 633\text{nm}$ , o 光的主折射率  $n_o = 1.6557$ , 取胶合层介质折射率  $n = 1.54$  光在晶体-胶合层界面上的入射角  $\theta = 27^\circ$ , 那么经两次反射后, 透射光束  $o_2$  的光强为  $9.7916 \times 10^{-6}$ , 4 次反射后, 透射光束的光强为  $9.6480 \times 10^{-11}$ , 可见, 4 次及 4 次以上的反射光对高斯光束光强分布的影响可以忽略; 同样, 对于 e 光, 也忽略 4 次及 4 次以上的反射光的影响, 因此, 只考虑经两次反射后的出射光束  $o_2$  与直接透射光束  $o_1$  相遇时形成的干涉。  $\alpha$  为折射角, 由折射定律可得:

$$n_o \sin\theta = n \sin\alpha \quad (1)$$

对于单模高斯光束, o 光和 e 光在  $(x, y, z)$  处的电场  $U_{00}$  均可表示为<sup>[10]</sup>:

$$U_{00}(x, y, z) =$$

$$E_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left[-\frac{r^2}{w^2(z)}\right] \exp\left\{-i\left[k\left(z + \frac{r^2}{2R}\right) - \Psi\right]\right\} \quad (2)$$

式中,  $E_0$  为原点处电矢量的振幅,  $w_0$  为高斯光束的腰斑半径,  $z$  为棱镜距离束腰的距离,  $w(z)$  为与束腰相距  $z$  处的光斑半径, 且  $w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{z}{f}\right)^2\right]^{1/2}$ ,  $r^2 = x^2 + y^2$ ,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $f$  为瑞利长度, 且  $f = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ ,  $R$  为等相位面的曲率半径, 且  $R = R(z) = z + \frac{f^2}{z}$ ,  $\Psi$  为相移, 且  $\Psi = \arctan \frac{z}{f}$ , 其光强分布:

$$I_0(x, y, z) = E_0^2 \frac{w_0^2}{w^2(z)} \exp\left[-\frac{2(x^2 + y^2)}{w^2(z)}\right] \quad (3)$$

对  $x$  积分后, 得到:

$$I_0(y, z) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} E_0^2 \frac{w_0^2}{w(z)} \exp\left[-\frac{2y^2}{w^2(z)}\right] \quad (4)$$

取  $w_0 = 0.146\text{mm}$ ,  $z = 200\text{mm}$ ,  $\lambda = 633\text{nm}$ , 则 (4) 式中  $\sqrt{\frac{\pi}{2}} E_0^2 \frac{w_0^2}{w(z)}$  为常数, 令其为 1, 则单模高斯光束的光强分布由下式给出:

$$f_0(y) = \exp\left[-\frac{2y^2}{w^2(z)}\right] \quad (5)$$

坐标系如图 1 所示, 对于 o 光, 刚进入胶合层时, 设  $E_{o_1} = U_{00}(x, y, z)$ , 则  $E_{o_2} = U_{00}\left[x, y - \Delta z + \frac{2nh}{\cos\alpha} - n_o \Delta \tan\theta\right]$ , 因为  $\frac{2nh}{\cos\alpha} - n_o \Delta \tan\theta \ll z$ , 所以不考虑其对  $z$  产生的影响, 并略去在胶合层中 4 次及 4 次以上反射对透射光的影响, 则在  $y_1'$  处的光强为:

$$I(x, y, z) = (1 - R_1)(1 - R_4)E_0^2 \frac{w_0^2}{w(z)} \times \left\{ \exp\left[-\frac{2[x^2 + (y - \delta)^2]}{w^2(z)}\right] + R_2 R_3 \exp\left[-\frac{2[x^2 + (y - \Delta - \delta)^2]}{w^2(z)}\right] + 2\left[R_2 R_3 \exp\left[-\frac{2[2x^2 + (y - \delta)^2 + (y - \Delta - \delta)^2]}{w^2(z)}\right]\right]^{0.5} \cos\Phi(y) \right\} \quad (6)$$

且有:

$$f(y) = (1 - R_1)(1 - R_4) \left\{ \exp\left[-\frac{2(y - \delta)^2}{w^2(z)}\right] + R_2 R_3 \exp\left[-\frac{2(y - \Delta - \delta)^2}{w^2(z)}\right] + 2\left[R_2 R_3 \exp\left[-\frac{2[(y - \delta)^2 + (y - \Delta - \delta)^2]}{w^2(z)}\right]\right]^{0.5} \cos\Phi(y) \right\} \quad (7)$$

式中,  $\Delta = 2h \tan\alpha \cos\theta$ ,  $\Phi(y) = k \left[ n_o \Delta \tan\theta - \frac{2nh}{\cos\alpha} + \frac{(y - \delta)^2 - (y - \Delta - \delta)^2}{2R} \right]$ ,  $h$  为胶合层的厚度,  $\delta = (h / \cos\alpha) \sin(\alpha - \theta)$ ,  $R_1, R_2, R_3, R_4$  对于 o 光取  $R_{o_1}, R_{o_2}, R_{o_3}, R_{o_4}$  对于 e 光取  $R_{e_1}, R_{e_2}, R_{e_3}, R_{e_4}$ , 它们分别由下式给出<sup>[11]</sup>:

$$\left\{ \begin{aligned} R_{o_1} &= R_{o_2} = R_{o_3} = R_{o_4} = \frac{\sin^2(\theta - \alpha)}{\sin^2(\theta + \alpha)} \\ R_{e_1} &= \frac{\tan^2(\theta - \alpha)}{\tan^2(\theta + \alpha)} \\ R_{e_2} &= R_{e_4} = \frac{\tan^2[\alpha - (\phi_2 - \beta_2)]}{\tan^2[\alpha + (\phi_2 - \beta_2)]} \\ R_{e_3} &= \frac{\tan^2[\alpha - (\phi_3 - \beta_3)]}{\tan^2[\alpha + (\phi_3 - \beta_3)]} \end{aligned} \right. \quad (8)$$

式中,  $\phi_2$  为 e 光进入棱镜后半部分时, 晶体光轴与 e 光波法线方向之间的夹角,  $\beta_2$  为胶合层与棱镜后半部分界面法线与光轴之间的夹角;  $\phi_3$  为 e 光由胶合层与棱镜后半部分分界面反射后, 再进入前半部分时, 光轴与波法线之间的夹角,  $\beta_3$  为棱镜前半部分分界面法线与光轴之间的夹角。且满足:

$$\left\{ \begin{aligned} n \sin\alpha &= n_{e_2}' \sin(\phi_2 - \beta_2) \\ n_{e_2}' &= \frac{n_o n_e}{n_o^2 \sin^2 \phi_2 + n_e^2 \cos^2 \phi_2} \\ \beta_2 &= \frac{\pi}{2} - S \\ n \sin\alpha &= n_{e_3}' \sin(\phi_3 - \beta_3) \\ n_{e_3}' &= \frac{n_o n_e}{n_o^2 \sin^2 \phi_3 + n_e^2 \cos^2 \phi_3} \\ \beta_3 &= S \end{aligned} \right. \quad (9)$$

则棱镜对透射光束光强分布的影响由下式给出:

$$\Delta f(y) = f_o(y) - f_e(y) \quad (10)$$

## 2 棱镜对透射光束光强分布的影响

### 2.1 结构角的影响

对于正入射于棱镜的入射端面的光,棱镜的结构角  $S = 0$ , 取胶合层厚度  $h = 0.01\text{mm}$ , 入射光波长  $\lambda = 633\text{nm}$ , 则 o光、e光在晶体中的主折射率分别为  $n_o = 1.6557$ ,  $n_e = 1.4852$  若胶合层介质为加拿大树脂, 其折射率  $n = 1.54$  结构角  $S = 27^\circ$ , 对应  $n_{e_2}' = 1.5317$  和  $n_{e_3}' = 1.4858$  当  $S$  在  $20^\circ \sim 35^\circ$  范围内取值时,  $n_{e_2}'$  和  $n_{e_3}'$  产生的偏差小于 3%, 图 2a 图 2b 中分别给出了  $S$  在这一范围内取值时, 棱镜对透射 o光和 e光光束光强分布的影响  $\Delta f(y)$  随入射角  $\theta$  的变化关系。

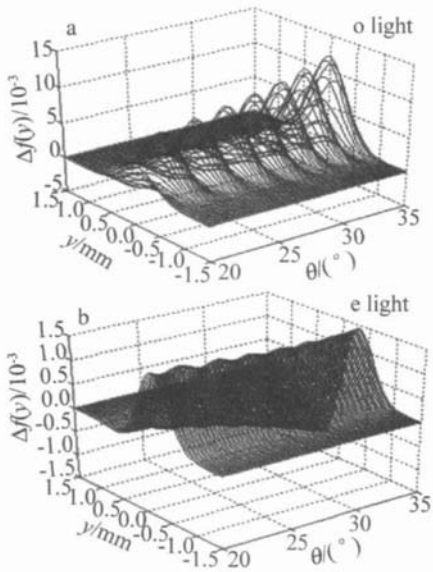


Fig 2 Transmitted light characteristics changes with prism's structure angle

由图可见,对于 o光,当入射角  $\theta$  增大时,棱镜对光束的影响  $\Delta f(y)$  将呈现周期性的振荡,且随着入射角的增大,这种振荡的振幅会增大且振荡频率增加,另外,  $\Delta f(y)$  总的趋势是增加的,且在  $\Delta f(y) > 0$  的区域尤为明显,即入射角增大时,Semamount棱镜对 o光透射光束光强分布的影响增大。e光与 o光相比,当入射角  $\theta$  增大时,棱镜对 e光光强分布的影响  $\Delta f(y)$  呈现小幅度周期性的振荡,但随着入射角的增大,这种振荡的振幅将减小而频率将增大,  $\Delta f(y)$  总的趋势是增大的,但在  $\Delta f(y) < 0$  的区域尤为明显,所以,入射角增大时, Semamount棱镜对 e光透射光束光强分布的影响增加。比较图 2a 图 2b 可见,棱镜对 o光的影响大于 e光,总的来看,棱镜结构角在  $20^\circ \sim 35^\circ$  的范围内取值时,  $\Delta f(y)$  对于 o光最大不超过  $1.5 \times 10^{-2}$ , e光最大不超过  $1.5 \times 10^{-3}$ ,可见棱镜结构角的变化对透射光束光强分布的影响不大。

### 2.2 胶合层厚度的影响

取胶合层介质折射率  $n = 1.54$ ,  $n_o = 1.65567$ ,  $n_e = 1.48515$ ,  $S = 27^\circ$ , 对于正入射的高斯光束,棱镜对 o光和 e光光强分布的影响  $\Delta f(y)$  随胶合层厚度  $h$  的变化分别如图 3a 图 3b 所示。

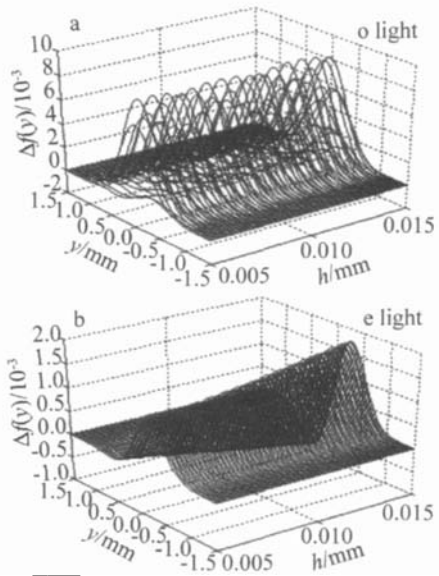


Fig 3 Effects of cementing layer thickness to the light intensity of single-mode Gaussian beam

由图可见,对于 o光和 e光,当胶合层厚度  $h$  增大时,棱镜对光束的影响  $\Delta f(y)$  呈现较高频率的周期性振荡。比较图 3a 图 3b 可知,对于 o光,当  $h$  增大时,  $\Delta f(y)$  呈现幅度较大的振荡,且  $\Delta f(y) > 0$  区域内的振幅要明显大于  $\Delta f(y) < 0$  的区域,但从总体上来看,  $\Delta f(y)$  的振荡与  $h$  的变化无明显关系。对于 e光,当  $h$  增大时,  $\Delta f(y)$  呈现小幅度振荡,从总体上来看,  $\Delta f(y)$  随  $h$  的增大,在正反两个方向均增大,但正方向增大的幅度要大于负方向。从总体上看,棱镜对 o光光强分布的影响大于 e光。另外,胶合层厚度  $h$  在  $0.005\text{mm} \sim 0.015\text{mm}$  的范围内取值时,  $\Delta f(y)$  对于 o光最大不超过  $1 \times 10^{-2}$ , e光最大不超过  $2 \times 10^{-3}$ ,可见胶合层厚度的变化对透射光束光强分布的影响很小。

### 2.3 胶合层介质折射率的影响

取胶合层厚度  $h = 0.01\text{mm}$ ,  $n_o = 1.65567$ ,  $n_e = 1.48515$ ,  $\theta = 27^\circ$ , 对于 o光和 e光,  $\Delta f(y)$  随胶合层介质折射率  $n$  的变化分别如图 4a 图 4b 所示。

由图可知,对于 o光,当胶合层介质折射率  $n$  增大时,棱镜对光束的影响  $\Delta f(y)$  均呈现周期性的振荡,且振荡的幅度随  $n$  的增大而减小。对于 e光,随着胶合层介质折射率  $n$  的增大,  $\Delta f(y)$  无明显的振荡变化,但总的趋势也是减小的。总的来看,介质折射率  $n$  在  $1.45 \sim 1.58$  范围内取值时,  $\Delta f(y)$  对于 o光最大不超过  $0.03$ , e光最大不超过  $4.0 \times 10^{-3}$ ,可见胶合层介质折

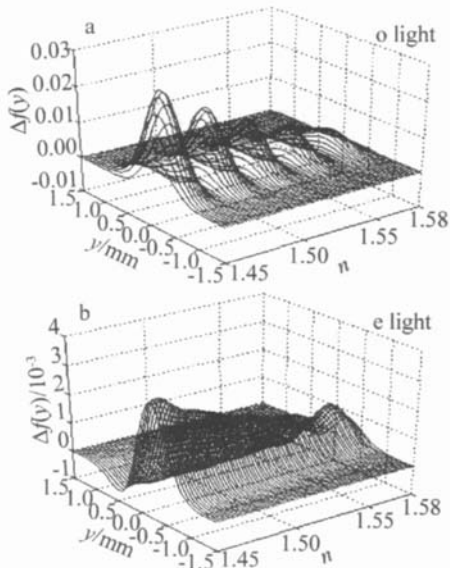


Fig 4 Effects of refraction of the transmitter in the cementing layer to the light intensity of single mode Gaussian beam

射率的变化对透射光束光强分布的影响很小。

### 3 结 论

由于光的干涉效应,导致了单模高斯光束通过 Semamont 棱镜后,棱镜会对透射光束的光强分布产生影响,这种影响除了与入射光本身的性质,如波长、腰斑半径等有关以外,还与棱镜的结构角、胶合层的厚度以及胶合层介质的折射率有关。当三者确定其二时,这种影响均会随另一参量的变化而呈现周期性振荡,且振荡的状态也会相应的发生变化。总体上看,棱镜对透射光束光强分布的影响均小于 3%,所以,在要

求不是太严格的应用中,可以忽略 Semamont 棱镜对高斯光束光强分布的影响。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] WANG T, WU F Q, MA L L. Effect of air-gap polarizing prism on distribution of light intensity of single mode gaussian beam [ J ]. Acta Optica Sinica 2006, 26(9): 1335-1339 ( in Chinese ).
- [ 2 ] FAN J Y, LIH X, WU F Q. A study on transmitted intensity of disturbance for air spaced Glan-type polarizing prisms [ J ]. Opt Commun 2003, 223: 11-16
- [ 3 ] MA L L, LI G H. Polarized light expressed by poincare sphere [ J ]. Laser Technology, 2003, 27(4): 302-303 ( in Chinese ).
- [ 4 ] LIH X, WU F Q, FAN J Y. Thermodynamic effect on transmitted intensity perturbation of air-gapped Glan-type polarizing prisms [ J ]. Acta Physica Sinica 2003, 52(8): 2081-2086 ( in Chinese ).
- [ 5 ] WANG T, WU F Q, MA L L. Transmitting characteristics of decentered grating radius single mode Gaussian beam [ J ]. Journal of Qufu Normal University ( Nature Science ), 2006, 32(4): 72-74 ( in Chinese ).
- [ 6 ] LI J Zh, LI G H, XIAO Sh G, et al. Spectrophotometer polarization spectrum measurement [ J ]. Spectroscopy and Spectral Analysis 1994, 14(5): 121-126 ( in Chinese ).
- [ 7 ] TANG H J, WU F Q, DENG H Y. Transmittance comparison of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism [ J ]. Laser Technology 2006, 30(2): 215-217 ( in Chinese ).
- [ 8 ] REN Sh E, WU F Q, ZHAO P, et al. Tera-parallel beam splitter combined of Iceland and glass [ J ]. Laser Technology, 2006, 30(3): 311-316 ( in Chinese ).
- [ 9 ] WU F Q, ZHENG Ch H, XUE D. Characteristic study of backward use of the rochan prism [ J ]. Journal of Optoelectronic Laser 2002, 13(10): 1010-1012 ( in Chinese ).
- [ 10 ] ZHOU BK, GAO Y Zh, CHEN TR, et al. Laser principle [ M ]. Beijing National Defence Industry Press 2000: 71-74 ( in Chinese ).
- [ 11 ] BORN M, WOLF E. Principles of optics [ M ]. Beijing Science Press 1978: 61-71 ( in Chinese ).
- [ 9 ] YU Y G, GUIDO G, SILVANO D. Measurement of the linewidth enhancement factor of semiconductor lasers based on the optical feedback selfmixing effect [ J ]. IEEE Photonics Technology Letters, 16(4): 990-992
- [ 10 ] LI Sh Y, YU Y G, YE H Y, et al. The estimation of the parameters in the model of the selfmixing effect in semiconductor lasers [ J ]. Laser Technology 2005, 29(5): 519-521 ( in Chinese ).

(上接第 267 页)

- [ 7 ] DNG Y Ch, ZHANG Sh L, LI Y, et al. Experimental study on the selfmixing interference with orthogonal polarized HeNe light [ J ]. Laser Technology, 2004, 28(1): 33-35 ( in Chinese ).
- [ 8 ] GUIDO G, MICHELE N. Laser diode linewidth measurement by means of selfmixing interferometry [ J ]. IEEE Photonics Technology Letter 2000, 12(8): 1028-1030