

文章编号: 1001-3806(2005)02-0194-02

基于“猫眼效应”的 Nd YAG 激光谐振腔

万 勇^{1,2}, 夏惠军², 曾钦勇^{1,2}, 苏心智², 韩 凯², 朱大勇^{1*}

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054; 2 西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 阐述了“猫眼效应”的基本原理, 分析了将“猫眼”目标作为激光谐振腔腔镜, 取代普通激光器球面腔镜, 获得激光振荡的可能性; 计算了“猫眼”目标作为激光腔镜时的等效反射率, 指出利用激光在其焦平面的聚焦特性实现激光干扰的新方法。并在实验中得到证实。

关键词: 猫眼效应; 激光干扰; 激光谐振腔; 光电探测器

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Nd YAG laser resonator with “cat eye effect”

WAN Yong^{1,2}, XIA Hui-jun², ZENG Qin-yong^{1,2}, SU Xin-zhi², HAN Kai², ZHU Da-yong¹

(1. School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2 Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: In an optical system, “cat eye effect” can be modeled as a focal lens system. Based on the model, with the property that it can reflect the input laser exactly back along the direction the laser incides, a “cat eye” system can be applied as an equivalent laser resonant mirror to achieve the laser resonance. At the same time, the equivalent reflectivity of the “cat eye” system has been calculated. The experimental results have also proved this point of view. The laser resonance has been obtained with deferent mediums at the focal plane of our simulated “cat eye” system and all these mediums have been destroyed by the focal laser spots.

Key words: cat eye effect; laser jamming; laser resonator; opto-electric detector

引 言

激光及光电技术在武器系统中的应用, 促进了光电对抗技术的飞速发展。“猫眼效应”是通常光电系统都具有的一种特性, 这给光电对抗的实施提供了一个有效途径。很多学者对这种现象及其应用技术进行了深入持久的研究, 但内容大都集中在基于“猫眼效应”的光学目标识别、定位上^[1~3]。笔者给出了利用光学系统的“猫眼效应”构成激光谐振腔的一个腔镜, 形成激光振荡; 从而可直接对光电系统实现目标干扰的效果(饱和、破坏等), 通过原理性试验得到了验证, 与理论分析相吻合。

1 “猫眼效应”基本原理

猫的眼睛之所以在夜间看起来很亮, 原因就在于光线通过猫眼的瞳孔后射到眼底上, 然后由于眼底的反射, 使光束沿原路返回, 所以, 此时的猫眼就显得比

较亮。通常的光电装备都具有类似猫眼的结构, 在大多数光电装备的光学系统中, 在其焦平面上安装有反射元件(如瞄准叉丝, 光电传感器的光敏面, 调制盘等)。这些反射面都能够对入射的光束进行反射, 使光束沿原路返回, 即形成所谓的“猫眼效应”。

1.1 “猫眼效应”物理模型

“猫眼效应”的物理模型可简化为如图 1 所示

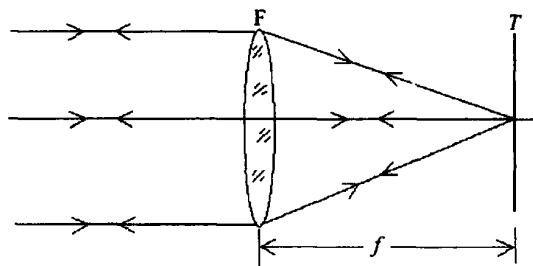


Fig 1 Optical model of “cat eye effect” system 的光学系统^[3]。聚焦透镜是系统的入瞳, T 即为聚焦透镜的焦平面(叉丝, 光敏面等), f 为光学系统的等效焦距。根据光的可逆原理及光波的界面反射定理, 当一束束散角为 θ 的激光照射到该光学系统, 经过聚焦, 在其焦平面上形成一个光点, 通过焦平面介质的反射, 相当于其焦平面上有一点光源, 它将通过光学系统沿原光路返回, 形成“猫眼效应”。

作者简介: 万 勇 (1970-), 男, 博士研究生, 现从事激光技术等方面研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: dyzhu@uestc.edu.cn

收稿日期: 2003-12-17; 收到修改稿日期: 2004-02-03

1.2 “猫眼”目标与普通目标返回率比较

激光照射在普通目标上时,视受照目标为符合朗伯定律的漫反射体,其各个方向的漫反射强度相等,光源向立体角空间散射,其散射空间立体角 $\Omega_0 = 2\pi$,受照目标的辐射强度为^[4]:

$$I_0 = \rho_0 \phi_r / \Omega_0 = \rho_0 \phi_r / 2\pi \quad (1)$$

式中, ρ_0 为漫反射目标的反射率, ϕ_r 为照射光的辐射通量。

激光照射在“猫眼”目标上并形成“猫眼效应”时,光将沿原光路返回,可见其发射角与入射光的发射角基本一致,其立体角为:

$$\Omega_c = 4\pi \sin^2 \frac{\theta}{2} \approx \pi \theta^2 \quad (2)$$

而“猫眼”目标的辐射强度为:

$$I_c = \rho_c \phi_r / \Omega_c = \rho_c \phi_r / \pi \theta^2 \quad (3)$$

式中, ρ_c 为“猫眼”目标的反射率, θ 为反射光经“猫眼”光学系统后的发散角,约等于入射光发散角。

$$\frac{I_c}{I_0} = \frac{\rho_c \phi_r / \pi \theta^2}{\rho_0 \phi_r / 2\pi} = \frac{2\rho_c}{\rho_0 \theta^2} \quad (4)$$

(4)式中,由于 $\theta \ll 1$ 且通常又有 $\rho_c \gg \rho_0$,必有 $I_c \gg I_0$,即具有“猫眼效应”的目标的反射率远大于普通目标反射率,作为估计,一般认为其差别有 3 个数量级^[4]。

1.3 应用“猫眼效应”的激光谐振腔

激光的形成,必须有能够提供光反馈的激光谐振腔,一般概念的激光谐振腔由两个相对平行平面镜或曲面镜构成,也有利用定向反射棱镜以及猫眼逆向反射器构成所谓的“免调”谐振腔的,它们都可以等效为曲面镜腔或平面镜腔。

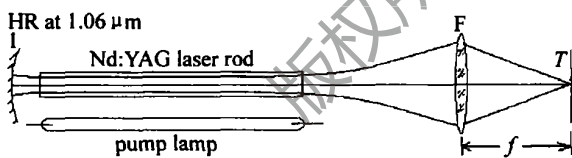


Fig 2 Schematic diagram of the laser resonator with “cat eye” device

利用“猫眼效应”的激光腔如图 2 所示,当激光工作物质受到抽运,粒子数反转,形成受激光放大,由于“猫眼”目标有将入射光沿原路返回的作用,它和全反射镜 1 共同构成激光谐振腔,起到高选择性反馈作用,从而形成激光振荡。建立激光振荡的阈值条件可表示为^[5]:

$$R_1 R_2 \exp(g - a) 2l = 1 \quad (5)$$

式中, l 为激光介质长度, g 为激光介质单位长度增益系数, a 为损耗系数, $R_1 = 1$ 为腔镜 1 的反射率, R_2 为“猫眼”目标的等效反射率。

下面对 R_2 进行估算,如图 3 所示。设焦平面 T 介质(叉丝,光敏面、调制盘等)为余弦反射体,反射率为 ρ_c ,“猫眼”目标入瞳半径为 d ,焦距为 f ;设有辐射通量

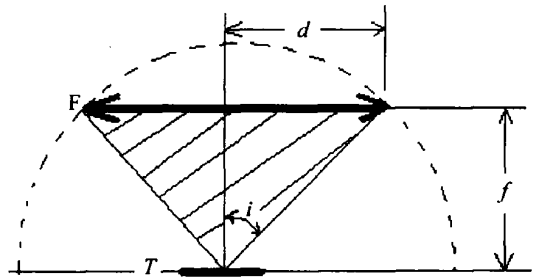


Fig 3 Schematic diagram of the cat eye effect system

ϕ_i 的平行光通过光学系统入瞳进入光学系统照射到焦平面介质上,由介质向 2π 立体角 Ω 均匀漫反射,只有在出瞳(此处与入瞳相等)方向立体角 Ω 内的光辐射通量才能形成“猫眼效应”沿原光路返回。则反射光的辐射通量:

$$\phi_o = \rho_c \phi_i \int_{\Omega} \sin i d\Omega = 2\pi \rho_c \phi_i \int_0^i \sin i \cdot \sin i di = \pi \rho_c \phi_i \sin^2 i \quad (6)$$

由图 3 可知, $\tan i = d/f$ 为光学系统的相对孔径,则:

$$R_2 = \frac{\phi_o}{\phi_i} = \pi \rho_c \sin^2 [\arctan(d/f)] \quad (7)$$

当相对孔径较小时, $\sin i \approx \tan i = \frac{d}{f}$,此时:

$$R_2 = \frac{\phi_o}{\phi_i} = \pi \rho_c (d/f)^2 \quad (8)$$

即“猫眼”目标的等效反射率由焦平面介质反射率和光学系统的相对孔径决定。

由于“猫眼效应”,使光学系统具有定向反射特性,可以利用它作为激光器的一个腔镜,实现激光振荡,又由于所产生激光在“猫眼”目标焦平面是聚焦的,激光有较高的功率(能量)密度,对目标的光灵敏元件(如探测器光敏面等)容易实现干扰,破坏。对此,从下面的实验中得到了证实。

2 实验验证及结果

实验装置见图 2,其中 Nd YAG 激光棒 $\varnothing 6\text{mm} \times 100\text{mm}$,脉冲氙灯抽运,镜 1 为镀 $1.06\mu\text{m}$ 增反膜平面镜。作为“猫眼”目标的光学系统用光学透镜模拟,焦距 $f = 150\text{mm}$,入瞳半径 $d = 40\text{mm}$ 。作为估计,取焦平面介质漫反射率 $\rho_c = 0.5$,该“猫眼”系统作为激光谐振腔镜的等效反射率:

$$R_2 = \frac{\phi_o}{\phi_i} = \pi \rho_c \left(\frac{d}{f}\right)^2 = \pi \times 0.5 \times \left(\frac{40}{150}\right)^2 \approx 11\% \quad (9)$$

透镜到全反射镜 1 的距离在实验室条件下拉大到 4.85m 。实验中氙灯输入脉冲能量 20J/pulse ,焦平面处分别放置像纸和普通 CD-ROM 光盘,均获得激光振荡并在相纸和光盘上留下光斑烧痕,如图 4 所示。

(下转第 224 页)

用时间过短,来不及发生氮化就被移到另一作用点。因此,理论结果与实验值之间存在一些偏差。

3 结论

(1)激光功率密度和扫描速度是决定 Ti表面能否实现氮化的主要因素。当激光功率密度小于 $6.5 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$,扫描速度不超过 $600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,可实现大气气氛下 Ti表面的激光氮化。(2)氮化物中以 TN为主,还有少量 Ti_2N 。(3)根据温度场模型计算出的激光氮化扫描速度理论阈值与实验值基本吻合。

参考文献

- [1] 汪洪海,郑启光,陶星之 *et al* 大功率 CO_2 激光原位直接反应合成 TN/Ti复合材料的研究 [J]. 复合材料学报, 1999, 16(1): 111~116.
- [2] BOWDEN E P, TABOR D. The friction and lubrication of solids [M]. London: Oxford University Press, 1986. 399.
- [3] WALLKER A. Lasermelting treatment for metal surface [J]. Surf Engng, 1985, 1(1): 23~27.
- [4] LU J L. Laser gas alloying of titanium alloy [J]. Surf Coat Technol, 1993, 57(2): 191~195.
- [5] XU D, ZHANG Z, LU X *et al* Improvement of oxidation resistance of TiAl by ion-beam-enhanced deposition coatings [J]. Surf Coat Technol, 1994, 66: 486~492.
- [6] LANIGUCHI S, SHIBATA T, TOSHID Y *et al* High temperature oxidation of TiAl improved by BED Si_3N_4 coating [J]. ISIJ International, 1993, 33: 869~875.
- [7] GREGG I, LATANOR C M, MUNZ W D. Plasma nitriding of Ti and TiAl coatings [J]. Surf Coat Technol, 1993, 61: 338~343.
- [8] THOMANN A L, SICARD E, BOULMER-LEBORGNE C *et al* Surface nitriding of titanium and aluminium by laser-induced plasma [J]. Surf Coat Technol, 1997, 97: 448~452.
- [9] WU J D, WU C Z, ZHONG X X *et al* Surface nitridation of transition metals by pulsed laser irradiation in gaseous nitrogen [J]. Surf Coat Technol, 1997, 96: 330~336.
- [10] KREUTZ E W, KROSCHM, SUNG H *et al* Reactive TN deposition on alloys using laser radiation [J]. Surf Coat Technol, 1992, 53: 57.
- [11] 吴嘉达,吴凌晖,宋宙模 *et al* 钛的 ns脉冲激光氮化 [J]. 中国激光, 1994, A21(9): 753~757.
- [12] 胡光立,谢希文. 钢的热处理(原理与工艺) [M]. 西安:西安工业大学出版社, 1993. 252.
- [13] 关振中. 激光加工工艺手册 [M]. 北京:中国计量出版社, 1998. 238.
- [14] 王家金. 激光加工技术 [M]. 北京:中国计量出版社, 1992. 110.

(上接第 144页)

完善,按照这些冲击点冲击,能够得到满足尺寸要求的成形件。

3 结束语

为了获得激光冲击轨迹数据,在对 STL模型进行分层处理前,即读入 STL文件时,可以利用 OpenGL来生成真实图形,在分层处理求交后,还可以利用它来显示切片图形,这样可以更直接观察程序执行的结果。另外,要获得满意的成形件,如果选择的工艺参数不理

想,可能两轮冲击也达不到要求。所以,在进行实际冲击成形前,一定要选择合适的激光参数,并根据加工对象的尺寸要求,进行合理的轨迹规划,如冲击点的疏密程度等,就能得到较理想的成形件尺寸。

参考文献

- [1] 邵健升. 材料的激光冲击处理及其发展 [J]. 光电子技术与信息, 1997, 10(4): 19~21.
- [2] 胡德洲. 快速成型中 STL和 STEP模型中分层处理技术研究 [D]. 西安:西安交通大学, 1999. 10~16.
- [3] 周建忠,张永康,杨继昌 *et al* 基于激光冲击波的板材塑性成形新技术 [J]. 中国机械工程, 2002, 13(22): 1938~1940.