

文章编号: 1001-3806(2004)03-0266-05

## 偏光棱镜温度特性的研究

李红霞<sup>1,2</sup>, 吴福全<sup>2</sup>, 苏富芳<sup>2</sup>

(1 南京大学 固体微结构重点实验室, 南京 210093; 2. 曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

**摘要:** 研究了温度变化对偏光棱镜性质的影响。从理论上对棱镜透射比以及透射光强扰动的温度效应进行了讨论。理论结果与实验结果相符合。实验研究了温度对棱镜消光比的影响, 并对器件进行了破坏性实验。结果表明, 温度过低或者温度升高过快均会造成器件的损坏。

**关键词:** 偏光棱镜; 温度效应; 透射比; 消光比; 透射曲线

**中图分类号:** O436.3      **文献标识码:** A

### The effect of temperature on the polarizing prisms

LI Hong-xia<sup>1,2</sup>, WU Fu-quan<sup>2</sup>, SU Fufang<sup>2</sup>

(1. National Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

**Abstract:** Thermodynamic effects on properties of the polarizing prisms are studied. How the temperature affects the transmissivity and the transmitted intensity disturbance is analytically discussed. The results are in accordance with the experimental ones. The thermodynamic effect on the extinction ratio is studied in the experiment. At last, the destructive experiment has been conducted. It indicates that when the temperature changes too fast, the polarizing prisms will be damaged severely.

**Key words:** polarizing prism; effect of temperature; transmissivity; extinction ratio; the curves of the transmitted intensity

## 引 言

随着激光应用技术的发展, 光信息处理、激光调制和测量的核心部分, 即光源部分, 大都采用便于调制的偏振光源。各种新型偏振器件<sup>[1, 2]</sup>的出现无疑给这方面工作提供了极大的方便。格兰-泰勒棱镜是当前偏光技术采用最普遍的高精度激光偏光镜之一。它采用冰洲石晶体设计而成, 由于光学冰洲石晶体的光学性能好, 光谱透射范围广, 双折射率大, 且棱镜采用空气隙胶合, 所以格兰-泰勒棱镜的透射比高, 消光比优于  $10^{-5}$ , 使用光谱范围 300nm ~ 2500nm, 且具有高抗光损伤的优越性。

温度是研究器件问题的一个非常重要的参数, 它对器件的光学性质的影响在现代光学技术和信息技术中有着非常重要的意义。以前人们的工作主要集中在各种偏光器件的设计、性能的测试<sup>[3-5]</sup>上, 没

有考虑温度对器件性能的影响。本文中研究了温度变化对偏光棱镜(以较为常用的格兰-泰勒棱镜为例)一些性质的影响。首先从理论上分析透射比的温度效应。与透射比温度测试系统给出的实验结果一致。然后建立消光比温度特性测试系统, 结果表明, 消光比随温度升高而减小。讨论了透射光强扰动的温度效应, 给出减小扰动的方法。最后对器件进行了破坏性实验, 表明温度过低或者温度升高过快均会造成器件的损坏。

## 1 偏光器件温度特性测试

### 1.1 温度对器件透射比的影响

通常偏光镜的透射比定义为:

$$T = (T_1 - T_2) \cos^2 \varphi + T_2 \quad (1)$$

式中,  $T_1$ ,  $T_2$  分别是入射光的振动方向相对于偏光镜主截面的平行分量和垂直分量的透射比, 两者统称为透射比, 通常  $T_1 \gg T_2$ ,  $\varphi$  为两棱镜的夹角。显然, 如果入射光是完全偏振光, 旋转待测偏光镜, 测量其主截面与入射光振动方向平行和垂直时的透射光强, 即可得到  $T_1$  和  $T_2$ , 从而得出待测偏光镜

作者简介: 李红霞(1978), 女, 博士研究生, 主要从事偏光器件设计及性能测试。

E-mail: hongxialijy@eyou.com

收稿日期: 2003-06-30; 收到修改稿日期: 2003-08-01

的透射比。

温度的变化对器件的影响主要体现在折射率上, 根据透射比的定义, 可以先从理论上计算温度对透射比的影响。在理论计算中, 垂直分量的透射比  $T_2$  取为 0, 平行分量的透射比  $T_1$  按照线偏振光通过偏光棱镜的透射光强计算<sup>[6]</sup>, 透射光强公式如下:

$$I_1 = I_0 \left[ \frac{\sin 2\theta \sin 2\alpha}{\sin^2(\theta + \alpha) \cos^2(\theta - \alpha)} \right]^2 \quad (2)$$

式中,  $\theta$  是 e 光在晶体-空气界面上的入射角(当光正入射进入棱镜时,  $\theta$  与棱镜的结构角  $S$  相等),  $\alpha$  为折射角, 它们之间的关系为:  $n_e \sin \theta = \sin \alpha$  (3) 将(2)式和(3)式代入(1)式中, 并将不同温度的折射率值代入, 用 MATLAB 画出两个温度下的透射比曲线, 如图 1 所示。由图 1 看出, 当温度由  $-30^\circ\text{C}$  升高到  $80^\circ\text{C}$  时, 透射光强最大值变小; 即温度越高, 器件透射比越低; 反之亦然。

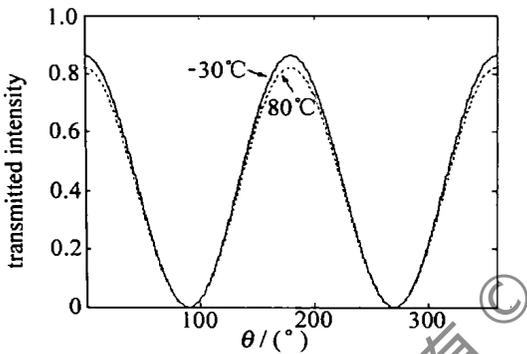


Fig. 1 The curve of the transmitted intensity at different temperature

根据上述原理和方法, 组建了温度对偏光器件透射比影响的测试系统。实验装置如图 2 所示。

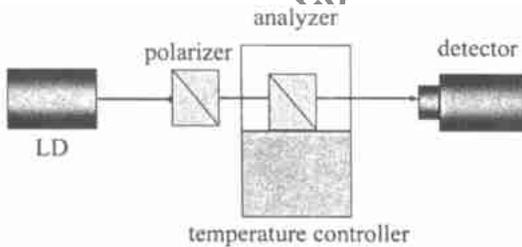


Fig. 2 The devices of experiment

LD 为半导体激光器, 它产生的波长为  $650\text{nm}$  的单色光经起偏棱镜起偏, 正入射进入待测棱镜。待测棱镜放置在由精密温控系统控制的平台上, 平台上加有一保温装置盒。温控系统温度变化范围是  $-30^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ , 精度可控制在  $0.2^\circ\text{C}$  以内。通过设定可以控制在每一温度点, 也可以连续调节温度变化。保温盒侧面有两个通光孔, 以使光线通过; 另外, 保温装置上方有一小孔, 以便外置温度表可同时测量保温盒内的空间温度。

分别测量和计算不同温度下透射光强的最大值, 将实验数据和理论数据输入 MATLAB 程序中, 透射光强最大值点随温度变化移动曲线如图 3 所示。其中图中实线表示的是理论计算值, + 点表示的是实际测得的数据。

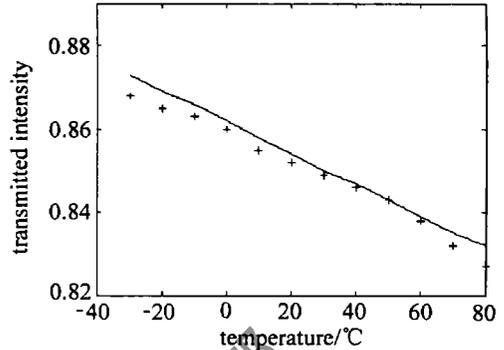


Fig. 3 The alteration of the transmitted intensity with temperature

理论分析及实验测试均证明了偏光器件的透射比随着温度的升高而有所降低。

理论数据与实验数据不一致, 因为在实际测量过程中有系统误差及实验误差的存在。引起误差产生的原因主要有: (1) 起偏镜的方位的精度及消光比的精度可影响测量结果, 起偏器由垂直转动测角仪控制, 在转动过程中应尽量细致地来回转动找到最大值点, 以尽可能减少其引起的误差; 另外, 应选用高消光比的棱镜, 以达到较好的实验结果; (2) 固体激光器输出虽然相对于氦氖激光器稳定, 但光源强度还是有起伏; (3) 光路不准直也会带来一定的误差。

### 1.2 温度对器件消光比的影响

通常偏光镜的消光比定义为:  $\rho = I_{\parallel} / I_{\perp}$  (4) 定义同上。显然, 如果入射光是完全偏振光, 则旋转待测偏光镜测量其主截面与入射光振动方向平行和垂直时的主透射光强, 即可得到  $T_1$  和  $T_2$ , 从而定出待测偏光镜的消光比<sup>[7,8]</sup>。

根据上述原理和方法, 组建了温度对偏光器件消光比影响的测试系统<sup>[9]</sup>。实验装置如图 4 所示。

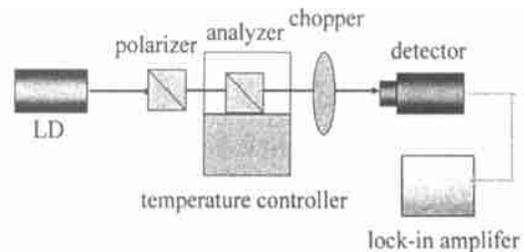


Fig. 4 The experimental devices for extinction at different temperature

在这套实验系统中, 为了高精度地检测到到达探测器的微弱信号、消除杂散光影响, 在光路中采用斩光

器对光强进行交流调制,利用弱信号测量仪——锁相放大器测量从探测器出来的与斩光器调制频率相同的交流信号,即对应待测的微弱光信号。斩光器由斩光电源控制其频率,锁相放大器的各种设置均需与斩光器频率相匹配。其它实验装置均与上面透射比测试系统中的装置相同。

利用该系统对同一偏光镜的消光比进行了多次测量,结果重复性很好,实验数据如表1所列。

Table 1 Experimental data of testing extinction index at the same temperature

measurement order	1	2	3	4	5	6	7
extinction index / 10 <sup>-4</sup>	6.56	6.61	5.91	6.67	5.85	7.21	6.93
mean values / 10 <sup>-4</sup>	6.53						

同时,应用该系统对不同温度下的器件进行了消光比的测量,如表2所示。

Table 2 Experimental data of testing extinction index at different temperature

temperature / °C	-25	-15	10	25	40	60	65
extinction index / 10 <sup>-4</sup>	5.11	5.27	6.21	6.67	6.77	7.10	7.99

由表2看出,消光比在各种不同的温度下是不同的。在温度较低时,消光性能较好,而温度升高时,消光性能随之变低。

消光性能随温度的升高而降低可以定性的进行分析,根据前面分析的棱镜透射比随温度的变化可知,透射光强最大值随温度的升高而减小,即 T<sub>1</sub> 变小, T<sub>2</sub> 是一极小值,根据消光比的定义,可知当 T<sub>1</sub> 变小时,消光比值变大,也就是说消光性能变差。这与实验数据相符合。

虽然这一消光比测试系统不能测出格兰-泰勒棱镜应有的高消光比(优于 10<sup>-5</sup>),但是可以看出棱镜的消光比受温度影响的变化。

1.3 温度对器件透射光强扰动的影响

线偏振光正入射的情况下,格兰-泰勒棱镜的透射光强应为旋转角的光滑余弦函数。然而在实验中发现,它们的透射光强曲线出现了随旋转角周期性的扰动。

实验装置如图5所示。半导体激光器产生的波长为 650nm 的单色光进入起偏镜,通过它产生的线

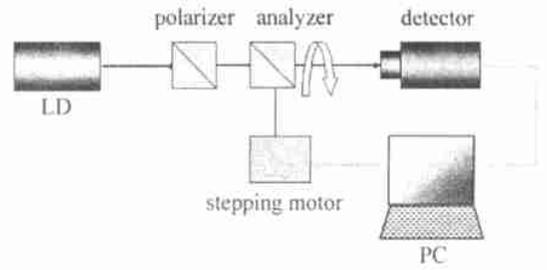


Fig. 5 The experimental devices of testing transmitted intensity

偏振光正入射进入待测的格兰-泰勒棱镜。格兰-泰勒棱镜放置在由步进电机带动的可以使棱镜绕光线轴连续旋转的支架上,从而使得两棱镜的晶体光轴夹角可以连续变化。透射光强由光电探测器测得后,输入微机,由偏振光强测试系统软件进行处理,可在微机上直接显示出透射光强曲线图。偏振光强测试系统发出信号可控制电机转动。激光通过起偏镜后,成为强度为 I<sub>0</sub> 的线偏振光;然后通过待测的棱镜时,透射光强按照马吕斯定律变化:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \tag{5}$$

式中,φ是待测格兰型棱镜透射光电矢量的振动方向与入射的线偏振光的振动方向之夹角,即为旋转角。透射光强应为一光滑的余弦曲线。实验中,发现曲线大体上是按上述规律变化的,但存在一定的不规则扰动。这种扰动在两棱镜晶体光轴相平行的位置附近最为明显。图6中给出了格兰-泰勒样品

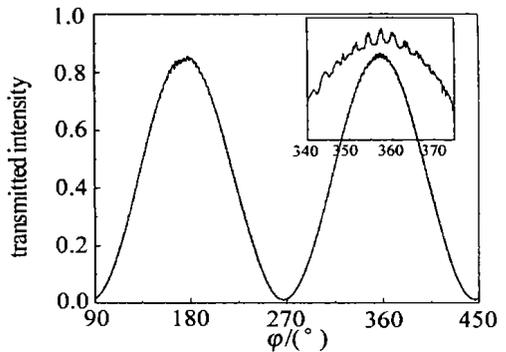


Fig. 6 Curves of transmitted light intensity for random rotation periods

棱镜在旋转一周过程中的透射光强实验曲线。考虑入射光线在格兰-泰勒棱镜中的传播过程中,经两次反射后的出射光束与直接透射光束相遇形成干涉,由于这种干涉效应以及界面处的反射比,出射光强为:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \left[ 1 - \frac{\tan^2(\theta - \alpha)}{\tan^2(\theta + \alpha)} \right]^2 \times \left[ 1 + \frac{\tan^4(\theta - \alpha)}{\tan^4(\theta + \alpha)} + 2 \frac{\tan^2(\theta - \alpha)}{\tan^2(\theta + \alpha)} \cos \frac{4\pi h \cos \alpha}{\lambda} \right] \tag{6}$$

式中,θ是 e 光在晶体-空气界面上的入射角(当光

正入射进入棱镜时,  $\theta$  与棱镜的结构角相等),  $\alpha$  为折射角, 它通过折射定律与入射角  $\theta$  相联系;  $\lambda$  为入射光波长;  $h$  为空气隙厚度, 且是均匀的。将上式右方与  $\theta$  有关的部分用  $f(\theta)$  表示。根据  $f(\theta)$ , 可以详细讨论减小扰动的方法<sup>[6]</sup>。作者已在参考文献[6]中详细讨论了结构角、空气隙厚度对减小扰动的影响。实验结果较好地验证了理论分析。图 7 中给出了结构角选取在  $f(\theta)$  选取斜率为 0, 即  $38.68^\circ$  处, 空气隙厚度选取 0.03mm 时的透射光强曲线。

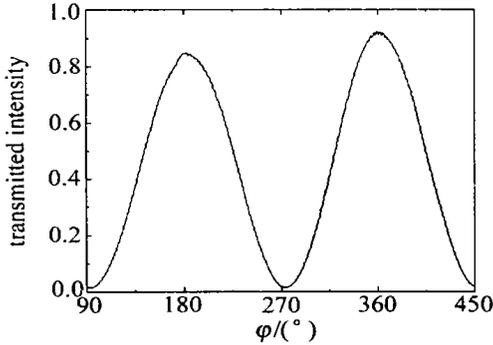


Fig. 7 Curves of transmitted light intensity for random rotation periods after modification

作出温度分别为  $-60^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  和  $100^\circ\text{C}$  时的扰动因子曲线, 如图 8 所示。从图中可以看出, 在温度

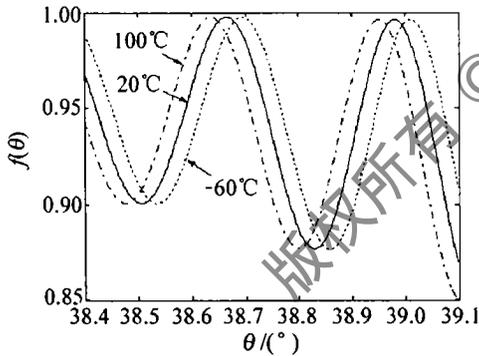


Fig. 8 The curves of  $f(\theta)$  at different temperature  $\lambda = 650\text{nm}$ ,  $n_e = 1.48480$ ,  $h = 0.02\text{mm}$

改变时, 扰动因子曲线形状基本保持不变, 只是沿着水平方向产生一定的平移。为了减小扰动, 已将结构角选为室温时扰动因子曲线的极大值点。然而当温度发生变化时, 极大值点将随之发生移动。造成扰动因子在入射角  $\theta_0$  附近的变化随着温度逐渐偏离初始值而逐渐增大, 导致透射光强扰动增强。其它条件不变, 将温度由  $20^\circ\text{C}$  变为  $-60^\circ\text{C}$ , 作出透射光强曲线如图 9 所示。与图 7 相比较可以看出, 由于  $-60^\circ\text{C}$  时的扰动因子极大值点偏离入射角, 相比  $20^\circ\text{C}$  时扰动明显变大。

以上分析表明, 当温度在一定范围内变化时, 为了减小扰动所带来的不利影响, 应选结构角为中间

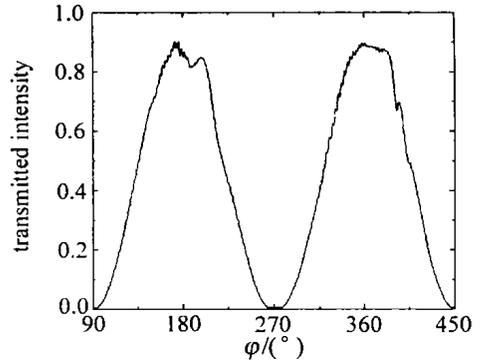


Fig. 9 Curves of transmitted light intensity at  $-60^\circ\text{C}$ ,  $h = 0.03\text{mm}$

温度值所对应的扰动因子在  $38.75^\circ$  附近的极大值角, 这样可以使得扰动的幅度最小。另外, 通过改变空气隙厚度, 作出相应的透射光强曲线, 发现随着空气隙厚度减小, 扰动变小。图 10 中给出了格兰泰勒棱镜在空气隙厚度为 0.015mm 时的透射光强曲线, 其中入射角  $\theta_0$  取为与空气隙厚度为 0.015mm 相对应的扰动因子的极大值点。与空气隙厚度为 0.03mm 时相比, 扰动明显减小。由于光的干涉效应, 以及晶体-空气界面处光的反射比, 导致了空气隙间隔格兰型棱镜的透射光强对入射角有较为敏锐的依赖关系。实验中, 棱镜在转动过程中不可避免地会产生微小振动, 致使入射角在一定范围内不规则变化, 最终引起透射光强的扰动。选取合适的结构角可以减小扰动。然而当温度变化时, 由于扰动因子极大值点移动导致扰动持续增强, 影响透射偏振光的质量。为了减小这种不利因素, 首先, 对于特定波长的入射光来说, 应在允许范围内尽量减小空气隙厚度; 其次, 当温度在一定范围内变化时, 选取结构角为平均值温度所对应的极大值点也可以减小扰动所造成的影响。

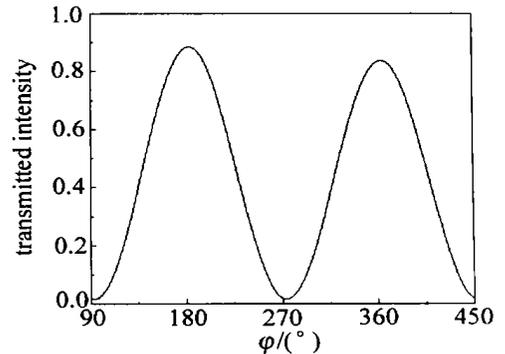


Fig. 10 Curves of transmitted light intensity at  $-60^\circ\text{C}$ ,  $h = 0.015\text{mm}$

#### 1.4 温度对器件的破坏性

应用前面所建立的测试系统, 将各种偏光起偏棱镜和分束棱镜分别从  $80^\circ\text{C}$  变化到  $-30^\circ\text{C}$  时, 以及进行相反的实验过程。结果发现, 当温度升高过快

时,由于热透镜效应,棱镜被损坏。同样的,温度降低过快时,棱镜的胶合层被破坏;同时发现,不同的温度变化速率,棱镜胶合层的破坏程度不同,也就是说,在温度变化较为缓慢的情况下,棱镜的破坏程度降低。由冰洲石晶体的热学性质和棱镜的结构及胶合剂的热学性质可知,当温度下降很快时,组成棱镜的两半块冰洲石晶体由于受到突然的方向不同的应力,不能再保持平行的结构,致使空气隙层发生了变化;而这时胶合剂在低温下变的固化和僵硬,所以,由于晶体和胶合剂在低温下性质的变化,致使棱镜遭到了破坏。但如果变化缓慢,破坏程度降低。根据实验结果,证明我所生产的偏光器件性能优良,可在变化缓慢的各种温度下使用。

## 2 结 论

随着温度的升高,偏光器件的透射比降低、消光比增大,这将给实际使用带来一定的不便;而且光滑的余弦曲线随着温度的变化出现了扰动,讨论了如何改善曲线质量,选取合适的结构角和改变空气隙间隔厚度是有效的方法。最后,还对温度对器件的

破坏性进行了测试,结果表明,温度升高过快或者降低过快,均会破坏器件。因此,应尽量在室温下使用偏光器件;若温度需要变化,则应缓慢进行,不会破坏器件。

## 参 考 文 献

- [1] DRISCALL W G. Handbook of optics [M]. New York: McGraw-Hill, 1978. 43~ 45.
  - [2] 冯克成,李 凌,焦文韬 *et al.* 632.8nm 波长质子交换光波导型偏振器的研究 [J]. 光学学报, 1997, 17(7): 941~ 945.
  - [3] 吴福全,李国华,宋连科 *et al.* 激光高效偏光镜的研究 [J]. 中国激光, 1995, A22(1): 37~ 39.
  - [4] WU F Q, LI G H, HUANG J Y *et al.* Calcite/barium fluoride ultraviolet polarizing prism [J]. Appl Opt, 1995, 34(19): 3668~ 3670.
  - [5] 李建利,王英伟,李艳红 *et al.* 冰洲石晶体偏光器件性能研究 [J]. 人工晶体学报, 2002, 31(4): 413~ 416.
  - [6] 李红霞,吴福全,范吉阳. 偏光棱镜调制器调制光强扰动的理论分析 [J]. 光学学报, 2003, 23(12): 1456~ 1459.
  - [7] 李国华,赵明山,吴福全 *et al.* 高消光比测试系统的研究 [J]. 中国激光, 1990, 17(1): 51~ 53.
  - [8] 刘训章,黎高平,杨照金 *et al.* 用单 1/4 波片法测量晶体消光比的研究 [J]. 中国激光, 1999, 26(7): 589~ 601.
  - [9] 王召兵,李国华,陆书龙 *et al.* 消光比自动测试系统的实验研究 [J]. 中国激光, 2000, 27(5): 415~ 418.
- 
- (上接第 240 页)
- [2] LI Q, ZHANG D W, LEI T C *et al.* Comparison of laser clad and furnace melt Ni based alloy microstructures [J]. Surf Coat Technol, 2001, 137(2~ 3): 122~ 135.
  - [3] LI Q, SONG G M, ZHANG Y Z *et al.* Microstructure and dry sliding wear behavior of laser clad Ni based alloy coating with the addition of SiC [J]. Wear, 2003, 254(3~ 4): 222~ 229.
  - [4] MONSON P J E, STEEN W M. Comparison of laser hardfacing with conventional processes [J]. Surf Engng, 1990, 6(3): 185~ 193.
  - [5] YANG S, ZHONG M, LIU W. TiC particulate composite coating produced in situ by laser cladding [J]. Mater Sci Engng, 2003, A343: 57~ 62.
  - [6] RENAND L, FOUQUET F, MILLET J P *et al.* Microstructural characterization and comparative electrochemical behavior of FeNiCr and FeNiCrP laser surface alloys [J]. Mater Sci Engng, 1991, A134: 1049~ 1053.
  - [7] WEERASINGHE V M, STEEN W M, WEST D R F. Laser deposited austenitic stainless steel clad layers [J]. Surf Engng, 1987, 3(2): 147~ 153.
  - [8] LI R, FERREIRA M G S, ANJOS M *et al.* Localized corrosion performance of laser surface cladded UNS S44700 superferritic stainless steel on mild steel [J]. Surf Coat Technol, 1996, 88: 96~ 102.
  - [9] LI R, FERREIRA M G S, ANJOS M *et al.* Localized corrosion of laser surface cladded UNS S31254 superaustenitic stainless steel on mild steel [J]. Surf Coat Technol, 1996, 88: 90~ 95.
  - [10] ANJOS M A, VILAR R, QIU Y Y. Laser cladding of ASTM S31254 stainless steel on a plain carbon steel substrate [J]. Surf Coat Technol, 1997, 92: 142~ 149.
  - [11] 毛协民,傅恒志, FRENKA *et al.* Co-Cr-C 合金激光重熔时  $\gamma$ -Co 与  $Cr_{7-8}Co_3$  的共晶共生生长研究 [J]. 材料科学进展, 1992, 6(4): 295~ 300.
  - [12] BRUCK G J. High power laser beam cladding [J]. J Met, 1987, 2: 10~ 13.
  - [13] 崔 昆. 钢铁材料及有色金属材料 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981. 223~ 225.
  - [14] SEDRICKS A J. Corrosion of Stainless Steel [M]. New York: John Wiley and Sons, 1979. 77~ 93.