

# 强脉冲 CO<sub>2</sub> 激光破坏金膜反射镜的实验研究

本文对在激光研制中常用的一些不同基底的金膜反射镜,用脉宽为1微秒的10.6微米脉冲 CO<sub>2</sub> 激光器,在 57 焦耳/厘米<sup>2</sup>、127 焦耳/厘米<sup>2</sup>、300 焦耳/厘米<sup>2</sup>三种能量密度下进行照射,将照射结果进行了显微观察和分析并对其破坏机制进行了初步的讨论。

实验用一台双放电 CO<sub>2</sub> 激光器,脉宽为 1 微秒。实验用的能量范围为 1~1.5 焦耳,将输出的能量用一个焦距为 100 毫米的锗透镜聚焦到样品上(锗透镜镀膜增透膜)。

试验的样品放在焦点位置或焦点前的各种位置

上,以变换照射到目标上的光斑尺寸和功率密度。

实验装置如图 1 所示。

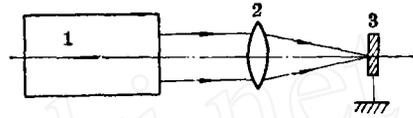


图 1 实验装置示意图

1—双放电 CO<sub>2</sub> 激光器; 2—锗透镜, 焦距  $f=100$  毫米; 3—样品, 脉冲能量  $<300$  焦耳/厘米<sup>2</sup>, 多模输出

## 实验结果

基 底 材 料	膜 层	试 验 观 察 结 果		
		57 焦耳/厘米 <sup>2</sup>	127 焦耳/厘米 <sup>2</sup>	300 焦耳/厘米 <sup>2</sup>
紫 铜	化学涂镍 后真空镀金	照射面积上有直观破坏显微观察如图(2)	照射面积上有直观破坏显微镜下观察如图(3)	
黄 铜	真空镀金	直接观察和显微观察无可见破坏	无直观破坏, 显微观察, 微见膜层氧化	有直观破坏, 显微镜下观察如图(4), 膜层脱落破碎。
轴承钢	真空镀金	直接观察与显微观察无可见破坏	无直观破坏, 显微镜下看到膜层氧化	有明显直观破坏, 显微镜下观察如图(5) 破坏区域内金膜汽化掉基底熔化。
石 英	真空镀 Cr/Au	有明显的大面积直观破坏。显微镜下观察基底材料有不透明如图(6)	膜层破坏面积增大, 中心区域的基底不透明区域加大已开始破坏如图(7)	
石 英	真空镀金	有明显大面积直观破坏, 破坏区域内的膜层全部脱落, 中心基底已不透明如图(8)	明显大面积直观破坏, 膜破坏区域加大中心区基底不透明程度加大如图(9)	
光 学 玻 璃	真空镀 Cr/Au	有直观破坏显微镜下观察到破坏的中心区域有不透明基底出现如图(10)	直观破坏面积加大显微镜下看到中心区域有较大面积不透明区域, 心部有基底破裂如图(11)	
光 学 玻 璃	真空镀金	有直观破坏, 显微镜下可见中心区域已有不透明基底如图(12)	直观破坏面积加大破坏区域可分为下列层次; 中心基底开始熔化——基底破裂区——基底不透明区——金膜失掉基底未变如图(13)	

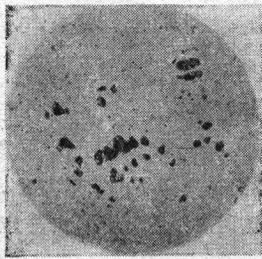


图2 铜基底, Ni/Au,  $R=0.75$  毫米, 57 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 59×

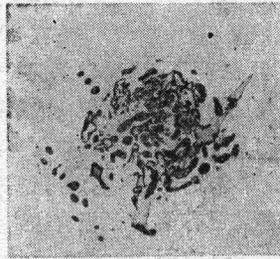


图3 铜基底, Ni/Au,  $R=0.5$  毫米, 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 59×

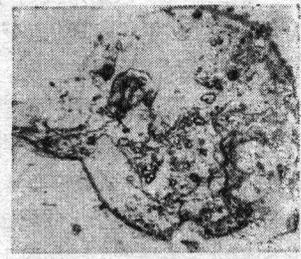


图4 铜基底, Au 膜,  $R=0.4$  毫米, 300 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 330×

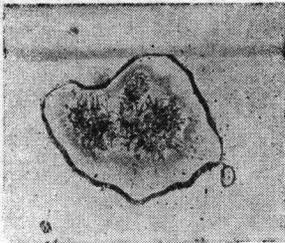


图5 轴承钢基底, Au 膜,  $R=0.4$  毫米, 300 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 100×

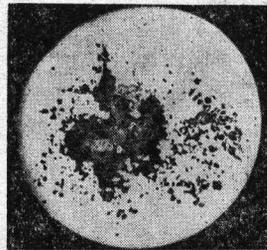


图6 石英基底, Cr/Au,  $R=0.75$  毫米, 57 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 19×



图7 石英基底, Cr/Au,  $R=0.5$  毫米, 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 19×

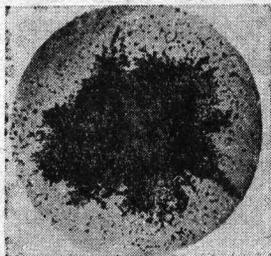


图8 石英基底, Au 膜,  $R=0.75$  毫米, 57 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 19×

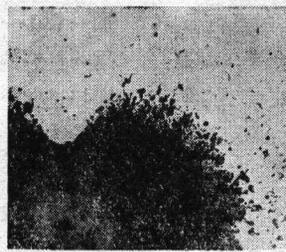


图9 石英基底, Au 膜,  $R=0.5$  毫米, 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 31×

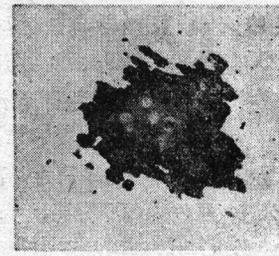


图10 玻璃基底, Cr/Au,  $R=0.75$  毫米, 57 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 31×



图11 玻璃基底, Cr/Au,  $R=0.5$  毫米, 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 31×



图12 玻璃基底, Au 膜,  $R=0.75$  毫米, 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 19×

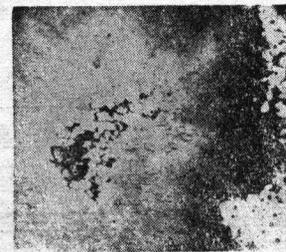


图13 玻璃基底, Au 膜,  $R=0.5$  毫米, 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 放大 31×

由上面的实验结果我们可以看到能量密度为 57 焦耳/厘米<sup>2</sup>和 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>, 石英和玻璃基底镜子其破坏程度有明显的差别。在同一能量密度下, 先镀一层铬膜的镜子破坏程度比没有镀铬层的镜子破坏程度小些。如 127 焦耳/厘米<sup>2</sup>玻璃基底 Cr/Au 膜层破坏掉, 破坏区域中心基底不透明且略有裂碎, 但在没有铬层的镜子上破坏区域中心的基底已有熔化和较大区域显著裂碎如图 11 和图 13。这一方面由于铬的热传导系数比石英和玻璃都大, 另外可能由于金膜与铬层的热和机械结合要比直接与玻璃和石英基底结合更牢固。随着能量密度的增加基底破坏程度的加大, 这在所有样品的显微照片中(图 2、3、6~13)都可以见到。在这两个能量密度下, 黄铜基底的镜子没有能够被破坏, 显然这是由于铜的热传导系数比石英和玻璃的热传导系数高 1~2 个数量级造成的。而紫铜化学涂镍后再镀金的镜子都观察

到了膜层的破坏。

在 300 焦耳/厘米<sup>2</sup>的能量密度下照射铜基底和轴承钢基底反射镜的结果表明, 铜基底的镜子膜层脱落成破碎状浮在破坏区域上, 没有看到明显的金膜熔化迹象, 这是因为在这个能量密度下, 脉宽为 1 微秒, 铜基底的表面温升估算只有 600°C 左右, 显然没有达到金的熔点, 这时的膜层破坏是由热应力引起的。

轴承钢基底的反射镜在此能量密度下, 照射的结果是在破坏区域上的金膜全被汽化掉。钢的基底已出现熔化和汽化如图 5 所示。这是因为轴承钢的热传导系数比铜差一个数量级, 粗略估计钢的表面温升可达几千度, 足以使得金膜和钢产生熔化和汽化。

(中国科学院力学研究所 方慧英  
王春奎 傅裕寿)

## CO<sub>2</sub> 激 光 稳 频

这里报导我们采用 SF<sub>6</sub> 气体进行稳定 CO<sub>2</sub> 激光频率的结果, 实验装置如图 1 所示。CO<sub>2</sub> 激光器参数: 腔长 980 毫米; 放电长度 700 毫米; 管径 8 毫米。充 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、He、Xe、H<sub>2</sub> 共五种气体, 气压 240 毫米硅油柱, 选支光栅为 66 条线/毫米, 定向角 22° ( $\lambda=10.6$  微米), 一级反射率 63%。激光从光栅的零级输出, 单支线功率约为 3 瓦。SF<sub>6</sub> 吸收池长 1300 毫米, 气压约为 100 毫托。为避免反馈光对 CO<sub>2</sub> 激光的影响, 吸收池中的正、反光束之间有一较小夹角(约为 3 毫弧度), 此夹角应尽可能地小, 以减小几何加宽。自控回路的参数如下: 选频放大的开环增益为 10<sup>4</sup>(中心频率 876 赫, 带宽 20~30 赫), 直流放大的开环增益为 10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup>。压电陶瓷的参数为 500 千赫/伏。TeCdHg 接收器的响应率为 1.6×10<sup>3</sup> 微伏/微瓦。

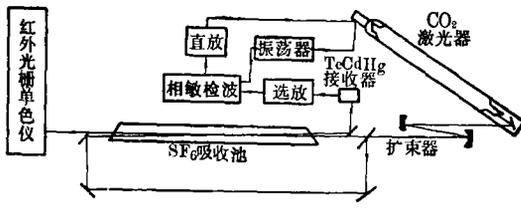


图 1 CO<sub>2</sub> 激光稳频实验装置

为了确定 SF<sub>6</sub> 的饱和吸收共振中心, 并将 CO<sub>2</sub> 激光频率锁定在该中心上, 我们除了在压电陶瓷上加一 0.1~0.5 伏的 876 赫的交流调制电压而外, 还用一直流偏压沿一个方向匀速扫动, 使激光振荡频率扫过整个 CO<sub>2</sub> 的增益轮廓, 同时在选放的输出端用示波器监测激光调制信号随激光频率的变化, 而且在开环状态下用记录仪在相敏检波的输出端记录鉴频曲线。实验发现, 当 CO<sub>2</sub> 激光调到 P(18) 支

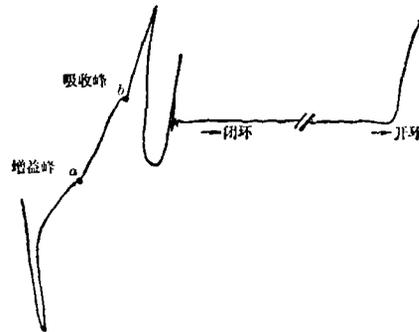


图 2 CO<sub>2</sub> 激光的鉴频曲线与闭环后激光的稳频输出

搜索幅度(峰-峰)46 千赫; CO<sub>2</sub> 增益线宽~91 兆赫; 增益峰 a 与吸收峰 b 相距~35 兆赫; 吸收池长 1300 毫米; 气压~100 毫托; 记录速度 1 厘米/分