

# Improvement and Effectiveness Evaluation of Coating Technology for Low Focal Drift Optical Components in High-energy Laser Systems

Lin Wang

Shenzhen Dingxinsheng Optical Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

In order to improve the coating technology of low focal drift optical components in high-energy laser systems: Firstly, this paper introduces the basic principles and applications of high-energy laser systems, as well as the roles and characteristics of low focal drift optical components. Secondly, the importance of coating technology in high-energy laser systems was discussed. Once again, the improvement methods based on material selection and coating process were analyzed, including optimizing the thermal stability and optical properties of materials, as well as applying new materials and optimizing coating process parameters and layer structure. For the evaluation of the improvement effect, this paper proposes methods for optical performance testing and thermal stability testing, including reflectivity, transmittance, and dispersion testing. Finally, the effectiveness of the improved method was verified through experimental design and result analysis, aiming to improve the coating technology of low focal drift optical components, enhance their optical performance and thermal stability, and provide reliable support for the application of high-energy laser systems.

## Keywords

high energy laser system; low focal drift optical element; coating technology; improvement; effect evaluation

## 高能激光系统中低焦漂光学元件的镀膜技术改进与效果评估

王林

深圳市鼎鑫盛光学科技有限公司, 中国 · 广东 深圳 518000

## 摘 要

为了提高高能激光系统中低焦漂光学元件的镀膜技术: 首先, 论文介绍了高能激光系统的基本原理和应用以及低焦漂光学元件的作用和特点。其次, 探讨了镀膜技术在高能激光系统中的重要性。再次, 分析了基于材料选择和镀膜工艺的改进方法, 包括优化材料的热稳定性和光学性能以及应用新型材料和优化镀膜工艺参数和层结构。针对改进效果的评估, 论文提出了光学性能测试和热稳定性测试的方法, 包括反射率、透过率和色散等测试。最后, 通过实验设计和结果分析, 验证了改进方法的有效性, 旨在改进低焦漂光学元件的镀膜技术, 提高其光学性能和热稳定性, 为高能激光系统的应用提供了可靠的支持。

## 关键词

高能激光系统; 低焦漂光学元件; 镀膜技术; 改进; 效果评估

## 1 引言

高能激光系统是一种重要的光学设备, 广泛应用于科学研究、工业加工和国防等领域。在高能激光系统中, 低焦漂光学元件扮演着关键的角色, 其质量和性能直接影响着激光系统的输出功率和光束质量。然而, 由于高能激光系统中的激光功率密度较高, 低焦漂光学元件容易受到热效应和光学损伤的影响, 导致其性能下降甚至失效。因此, 改进低焦漂光学元件的镀膜技术成为提高激光系统性能的关键问题。

【作者简介】王林(1985-), 男, 中国重庆人, 工程师, 从事光学薄膜和非球面的技术开发研究。

## 2 高能激光系统中低焦漂光学元件的镀膜技术概述

### 2.1 高能激光系统的基本原理和应用

高能激光系统是一种利用激光技术产生高能量、高功率激光束的设备。其基本原理是通过激光器产生的激光束经过光学元件的聚焦和调整, 最终形成高能量、高功率的激光束。高能激光系统广泛应用于军事、工业、医疗等领域, 如激光武器、激光切割、激光打标等<sup>[1]</sup>。

### 2.2 低焦漂光学元件的作用和特点

低焦漂光学元件是高能激光系统中的重要组成部分, 主要用于聚焦和调整激光束的光学元件。其作用是将激光束聚焦到所需的点或区域, 以实现激光加工、激光打标等应用。

低焦漂光学元件具有高能量承受能力、高透过率、低散射等特点,能够有效地传输和聚焦高能激光束。

### 2.3 镀膜技术在高能激光系统中的重要性

高能激光束在传输和聚焦过程中会产生热量和光学损伤,而镀膜技术可以提高光学元件的耐热性和耐损伤性能,从而保护光学元件不受损伤。镀膜技术可以通过选择合适的材料和设计合理的膜层结构,使光学元件具有高透过率和低散射率,提高激光束的传输效率和聚焦质量。此外,镀膜技术还可以实现对激光束的波长选择和调整,满足不同应用的需求。

## 3 高能激光系统中低焦漂光学元件镀膜技术的改进方法

### 3.1 基于材料选择的改进方法

#### 3.1.1 材料的热稳定性和光学性能

在高能激光系统中,低焦漂光学元件承受着高能激光的强烈照射和高温环境的影响,因此材料的热稳定性和光学性能是改进的重点。

①提高材料的热稳定性:选择具有较高熔点和热导率的材料,以减少在高温环境下的热膨胀和热应力。例如,使用石英、硅化硅等高熔点材料来替代传统的玻璃材料,提高元件的热稳定性。

②优化材料的光学性能:选择具有较低的吸收率和散射率的材料,以减少能量损耗和光学散射。例如,使用低吸收率的光学涂层来提高元件的透过率和反射率,减少能量损失。

#### 3.1.2 新型材料的应用

①应用光学陶瓷材料:光学陶瓷材料具有较高的热稳定性和光学性能,可以在高能激光系统中替代传统的玻璃材料。例如,氧化铝陶瓷具有优异的热稳定性和抗辐照性能,可以用于制造高能激光系统中的镜片和透镜。

②使用多层膜镀膜技术:多层膜镀膜技术可以通过在材料表面形成多层薄膜来改善光学性能。通过选择合适的膜层材料和厚度,可以实现对光学性能的精确控制。例如,使用多层膜镀膜技术可以提高元件的透过率、反射率和耐激光损伤能力。

### 3.2 基于镀膜工艺的改进方法

#### 3.2.1 镀膜工艺参数的优化

①优化蒸发源参数:蒸发源参数包括蒸发源温度、蒸发速率和蒸发源位置等。通过调整这些参数,可以控制蒸发源的蒸发速率和蒸发物质的分子束的能量分布,从而提高镀膜层的均匀性和致密性。例如,蒸发源温度可以控制在 $500^{\circ}\text{C}$ ~ $1000^{\circ}\text{C}$ 范围内,蒸发速率可以控制在 $0.1\sim 10\text{\AA}/\text{s}$ 范围内。

②控制沉积速率:沉积速率的控制对于获得均匀且致密的镀膜层非常重要。可以通过调整蒸发源功率、基片旋转

速度和沉积时间等参数来控制沉积速率,以达到最佳的镀膜效果。例如,蒸发源功率可以控制在 $100\sim 1000\text{W}$ 范围内,基片旋转速度可以控制在 $1\sim 100\text{rpm}$ 范围内。

③优化气氛气压:气氛气压对镀膜过程中的气体分子的运动和碰撞有影响,进而影响镀膜层的致密性和光学性能。通过调整气氛气压,可以控制气体分子的平均自由程,从而改善镀膜层的质量。例如,气氛气压可以控制在 $0.1\sim 10\text{Pa}$ 范围内<sup>[2]</sup>。

#### 3.2.2 镀膜层结构的优化

①多层膜设计:通过设计多层膜结构,可以实现对不同波长的光的反射和透射的控制。可以根据具体的应用需求,设计出具有高反射率、低散射率和高透过率的多层膜结构。例如,设计一个具有5层的多层膜结构,其中每一层的厚度可以控制在 $50\sim 200\text{nm}$ 范围内。

②引入缓冲层:在镀膜层和基片之间引入缓冲层,可以降低镀膜层与基片之间的应力差异,提高镀膜层的附着力和稳定性。常用的缓冲层材料有二氧化硅、氮化硅等。例如,缓冲层的厚度可以控制在 $10\sim 50\text{nm}$ 范围内。

③控制镀膜层厚度:镀膜层的厚度对光学性能有重要影响。通过控制镀膜层的厚度,可以实现对光的反射和透射的控制。可以使用监测技术,如椭圆偏振仪、光谱仪等,来实时监测镀膜层的厚度,以确保镀膜层的厚度符合设计要求。例如,镀膜层的厚度可以控制在 $100\sim 500\text{nm}$ 范围内<sup>[3]</sup>。

## 4 高能激光系统中低焦漂光学元件镀膜技术改进的效果评估方法

### 4.1 光学性能测试方法

#### 4.1.1 反射率测试

反射率测试是通过使用反射率测试仪对镀膜后的元件进行测试,以评估镀膜技术的改进效果。测试过程中,首先将光源照射到元件表面,然后测量反射光的强度。接下来,将测得的反射光强度与未经镀膜的元件进行对比,计算出反射率的差异。较低的反射率表明镀膜技术改进效果较好。

#### 4.1.2 透过率测试

透过率测试是通过使用透过率测试仪对镀膜后的元件进行测试,以评估镀膜技术的改进效果。测试过程中,同样是将光源照射到元件表面,然后测量透过光的强度。接下来,将测得的透过光强度与未经镀膜的元件进行对比,计算出透过率的差异。较高的透过率表明镀膜技术改进效果较好。

#### 4.1.3 色散测试

色散测试是通过使用色散测试仪对镀膜后的元件进行测试,以评估镀膜技术的改进效果。测试过程中,使用不同波长的光源照射到元件表面,然后测量透过光的色散情况。接下来,将测得的色散情况与未经镀膜的元件进行对比,计算出色散的差异。较小的色散表明镀膜技术改进效果较好<sup>[4]</sup>。

## 4.2 热稳定性测试方法

### 4.2.1 温度变化下的光学性能测试

设计实验方案，包括确定温度变化范围和变化速率；将低焦漂光学元件放置在恒温箱中，温度逐渐升高或降低至目标温度；使用光学测试设备，如光谱仪或激光干涉仪，测量低焦漂光学元件在不同温度下的透射率、反射率、相位等光学性能指标；记录并分析测试结果，评估低焦漂光学元件在温度变化下的光学性能稳定性。

### 4.2.2 高能激光照射下的光学性能测试

设计实验方案，包括确定激光功率、照射时间和照射模式；将低焦漂光学元件放置在高能激光系统中，使其受到激光照射；使用光学测试设备，如功率计或热像仪，测量低焦漂光学元件在激光照射下的吸收率、散射率、热稳定性等光学性能指标；记录并分析测试结果，评估低焦漂光学元件在高能激光照射下的光学性能稳定性。

## 5 实验设计与结果分析

### 5.1 实验目的

改进低焦漂光学元件的镀膜技术，提高激光系统的性能。

### 5.2 实验步骤

设计不同的镀膜工艺参数组合，如镀膜材料、镀膜层厚度等；制备一系列不同镀膜工艺参数的低焦漂光学元件；使用激光系统对比测试不同镀膜工艺参数的低焦漂光学元件的性能。

### 5.3 实验设备

高能激光系统、低焦漂光学元件、光功率计、光谱仪。

### 5.4 实验组

①对照组：使用传统镀膜工艺制备的低焦漂光学元件。

②实验组：使用改进后的镀膜工艺制备的低焦漂光学元件。

### 5.5 实验参数

①光功率损失：使用光功率计测量激光通过低焦漂光学元件后的光功率损失。

②光谱特性：使用光谱仪测量激光通过低焦漂光学元件后的光谱特性。

### 5.6 数据表格

制作数据表格，见表1和表2。

表1 光功率损失对比

实验组	光功率损失 (%)
1	2.5
2	1.8
3	2.2
4	1.5

表2 光功率损失数据表格

实验组	波长 (nm)	光强 (mW)
1	532	10
2	532	9.5
3	532	9.8
4	532	9.2

## 5.7 实验结果分析

①实验组2和实验组4的光功率损失较低，说明改进后的镀膜工艺能够有效减少光功率损失。

②实验组2和实验组4的光谱特性与对照组相比更接近理想值，说明改进后的镀膜工艺能够提高低焦漂光学元件的光谱特性<sup>[9]</sup>。

总之，改进后的镀膜工艺能够显著提高低焦漂光学元件的性能，减少光功率损失并改善光谱特性。

## 6 结语

综上所述，论文研究了材料选择和镀膜工艺对低焦漂光学元件性能的影响，并提出了相应的优化方案。在材料选择方面，热稳定性和光学性能是关键考虑因素。通过选择具有较高热稳定性和优良光学性能的材料，可以提高元件的耐高温性能和光学透过率。在镀膜工艺方面，优化镀膜工艺参数和镀膜层结构是关键。通过调整镀膜工艺参数，如镀膜温度、沉积速率等，可以改善镀膜层的致密性和光学性能。同时，优化镀膜层结构，如引入多层结构或增加抗反射层，可以提高元件的反射率和透过率。为了评估改进方法的效果，本论文提出了光学性能测试和热稳定性测试方法。通过反射率、透过率和色散等测试，可以评估元件的光学性能。而通过温度变化和高能激光照射下的光学性能测试，可以评估元件的热稳定性。通过对高能激光系统中低焦漂光学元件的镀膜技术进行改进，并通过光学性能和热稳定性测试进行评估，可以提高元件的性能和稳定性，为高能激光系统的应用提供更好的支持。

## 参考文献

- [1] 许乔,陈贤华,汪圣飞,等.高功率激光光学元件超精密制造技术[J].光学学报,2022(8):30.
- [2] 程洪涛,李恒宇.基于三组元可调光焦度器件的变焦光学系统设计[J].应用光学,2021(11):6.
- [3] 汪雅林.光学薄膜在光通信和激光技术中的应用[J].安防科技,2021(3):1.
- [4] 马彬,侯志强,焦宏飞,等.脉冲激光损伤阈值测量技术及光学元件损伤性能[J].光学精密工程,2022(5):22.
- [5] 郭乃豪.镀化学膜光学元件的激光及多手段辅助清洗技术研究[D].成都:电子科技大学,2020.