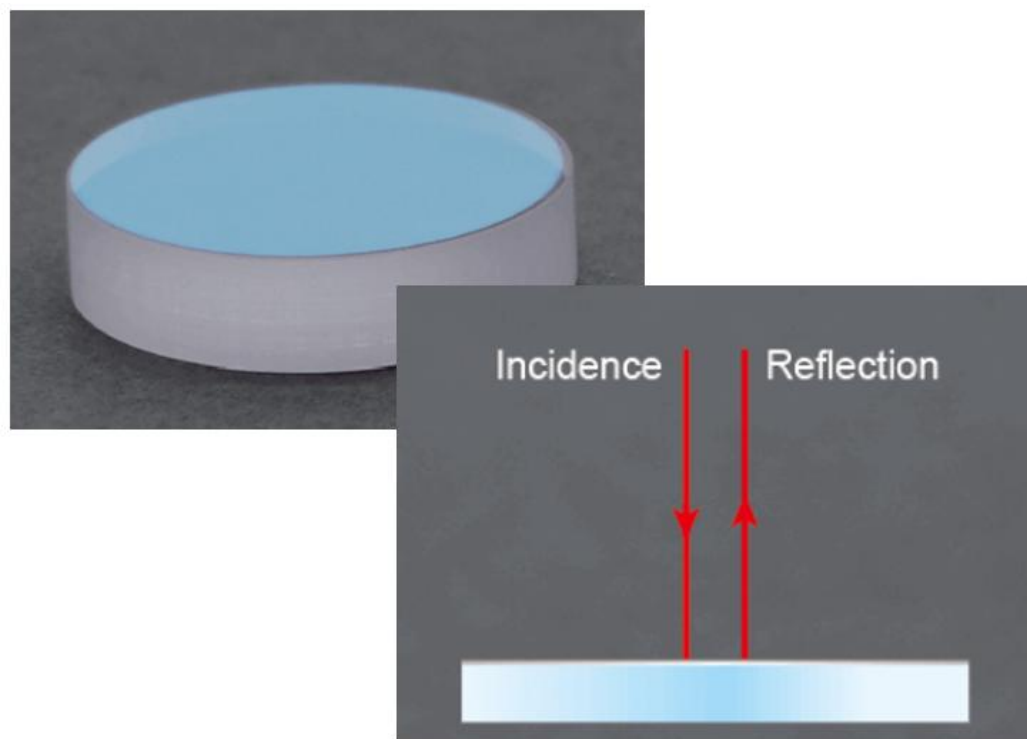


激光谐振腔高反射膜



在本案例中，针对Nd:YAG激光器的谐振腔，我们基于 $\lambda/4$ 膜堆结构，通过理论分析确定了初始膜系设计；同时利用电场分布分析对膜层结构进行优化，使得在满足高反射率要求的同时，薄膜整体的激光损伤阈值得到了显著提高。

应用情景

设计任务：

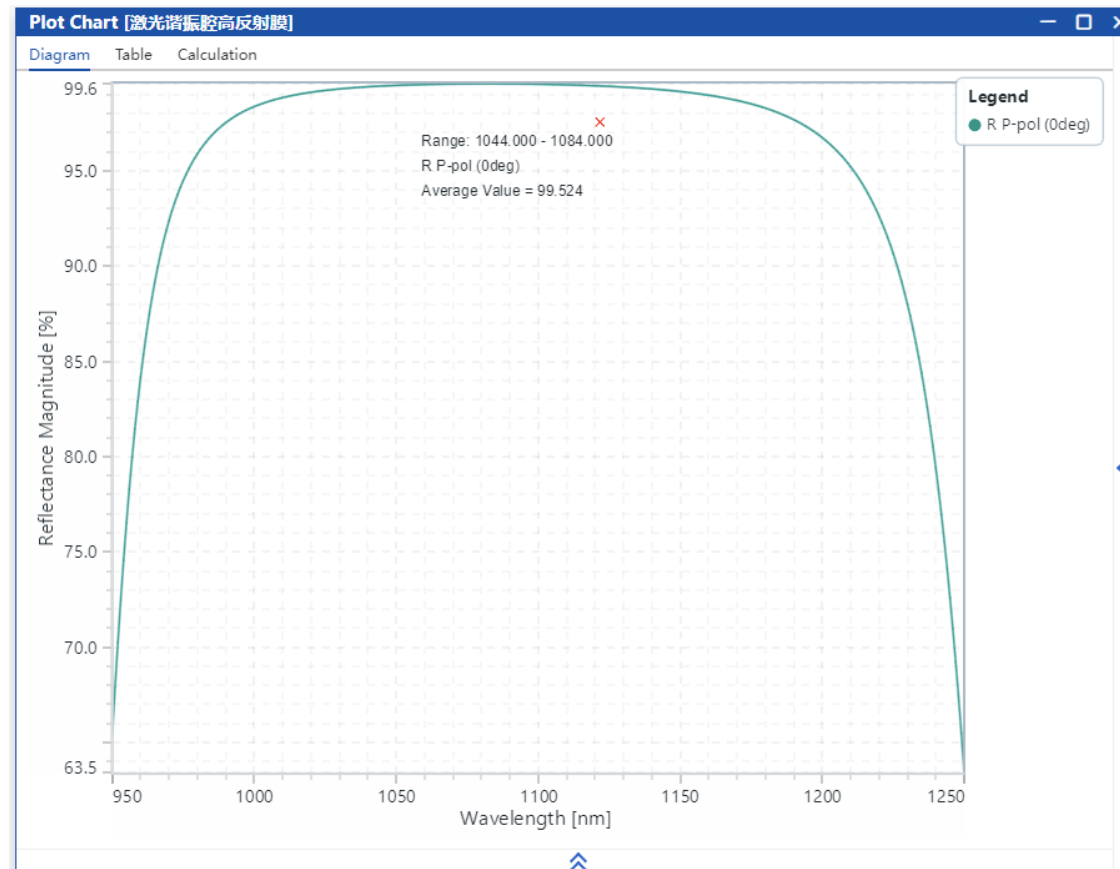
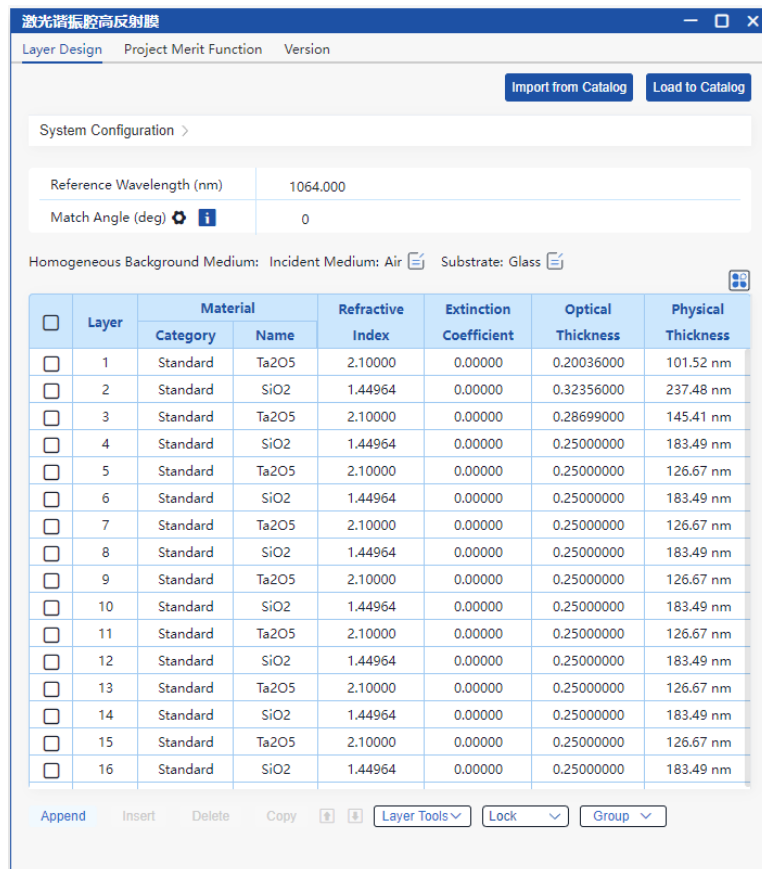
基于初始结构，通过手动调整前三层膜厚提升薄膜整体的抗激光损伤阈值

指标：

- 入射介质: 空气
- 基板: 玻璃
- 工作波长: $1064 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$
- 入射角: 0°
- 反射率: $R_{\text{avg}} > 99.5\%$

1064nm是Nd : YAG激光器常用的光谱线。为适应激光波长漂移及不同激光模式的需求，必须在中心波长附近保持约20nm的宽带高反射性能。本案例中，我们通过理论计算确定了基于1/4波长膜堆结构的周期数 m ，确保在 $1064\text{nm} \pm 20\text{nm}$ 范围内的反射率均大于99.5%。此外，借助电场工具，对膜层结构进一步调整，从而提升薄膜整体的激光损伤阈值。

设计结果



设计结果如上图所示，在 $1064\text{nm} \pm 20\text{nm}$ 带宽范围内，平均反射率达 99.514%，

设计流程

初始结构

结构确定

光谱分析

电场分析

调整膜厚

电场分析

光谱分析

入射介质: 空气		基板: 玻璃	
λ_0 : 1064nm			
符号	材料	光学厚度(全波)	物理厚度(nm)
L	SiO2	0.25	
H	Ta2O5	0.25	
初始公式		空气 (HL) ⁸ H 玻璃	
计算范围	1000nm	1100nm	

尽管金属或金属+介质膜可用于高反射膜，但由于金属存在热吸收且反射率有限。而高功率激光器对反射镜要求极高，需尽可能接近100%反射率并最小化吸收损耗。因此，必须采用全电介质膜堆以降低吸收并提高反射率。

通过向量法或导纳轨迹法可以证明在基板中镀高低折射率交替的多层1/4波长膜堆可获得极高的反射率。反射率公式为：

$$R = \left(\frac{1 - \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2m} \frac{n_H^2}{n_S}}{1 + \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2m} \frac{n_H^2}{n_S}} \right)^2$$

应用该公式，为了使反射率要到达99.5%，周期数m至少需为8.

初始结构

结构确定

光谱分析

电场分析

调整膜厚

电场分析

光谱分析

Symbol	Material	Optical Thickness	Physical Thickness	Packing Density
H	Standard Ta2O5	0.25000000	126.67 nm	1.0000
L	Standard SiO2	0.25000000	183.49 nm	1.0000

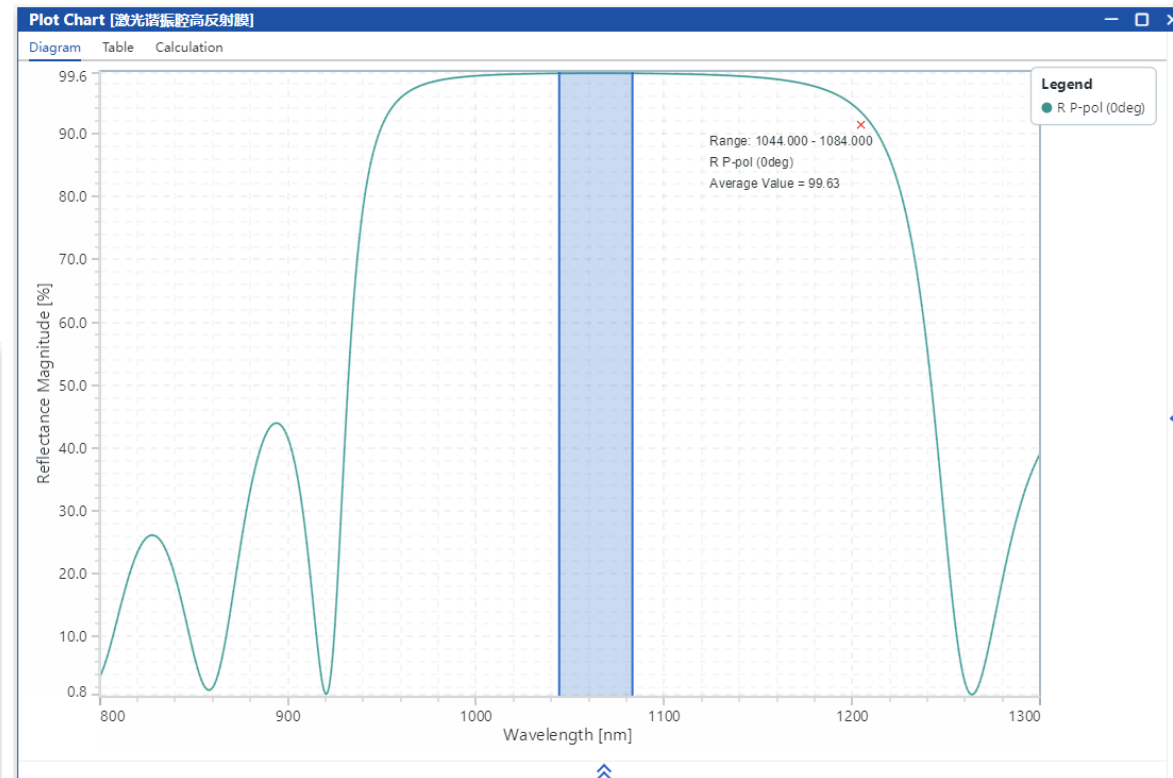
Formula:
(HL)ⁿH

System Configuration

Reference Wavelength (nm): 1064.000
Match Angle (deg): 0

Homogeneous Background Medium: Air | Incident Medium: Air | Substrate: Glass

Layer	Material	Refractive Index	Extinction Coefficient	Optical Thickness	Physical Thickness
9	Standard Ta2O5	2.10000	0.00000	0.25000000	126.67 nm
10	Standard SiO2	1.44964	0.00000	0.25000000	183.49 nm
11	Standard Ta2O5	2.10000	0.00000	0.25000000	126.67 nm
12	Standard SiO2	1.44964	0.00000	0.25000000	183.49 nm
13	Standard Ta2O5	2.10000	0.00000	0.25000000	126.67 nm
14	Standard SiO2	1.44964	0.00000	0.25000000	183.49 nm
15	Standard Ta2O5	2.10000	0.00000	0.25000000	126.67 nm
16	Standard SiO2	1.44964	0.00000	0.25000000	183.49 nm
17	Standard Ta2O5	2.10000	0.00000	0.25000000	126.67 nm



使用公式工具构建了膜系作为基础结构，并分析了在1064nm ± 20nm 带宽范围内的反射率分布。右图显示了相应的结果，可见在工作波段内的平均反射率达99.63%，已经达到了设计指标。

关于公式工具的更多信息: [Tutorial : Formula Tool](#)

初始结构

结构确定

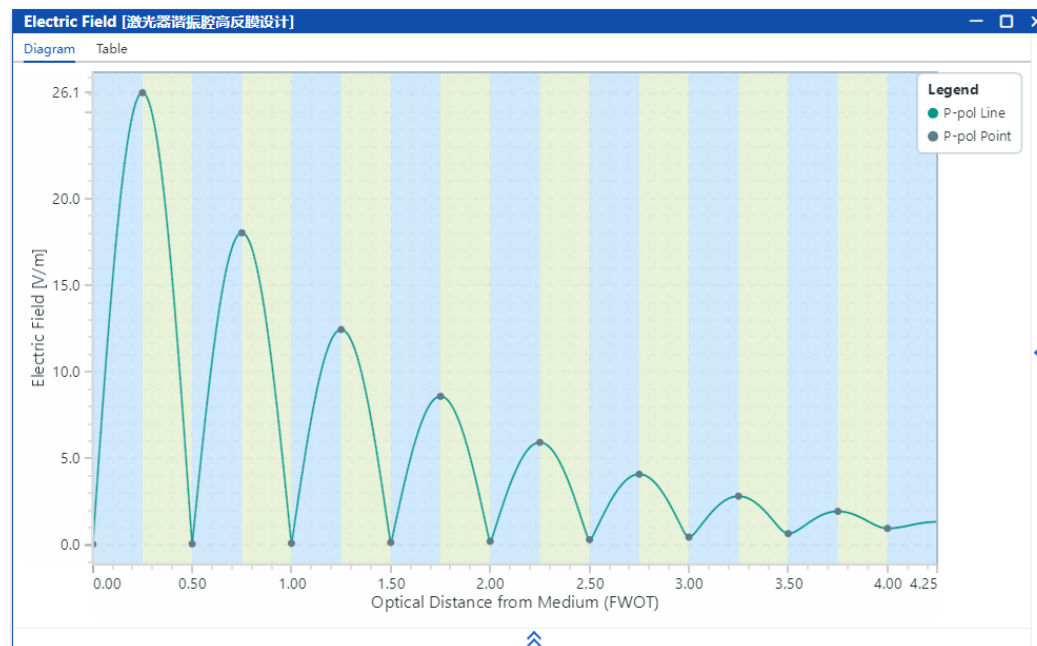
光谱分析

电场分析

调整膜厚

电场分析

光谱分析



通过电场分析工具可以查看电场在膜层间的分布，左图是标准的四分之一波膜堆的电场分布图。可见强电场峰值分布于高低折射率的界面上。

初始结构

结构确定

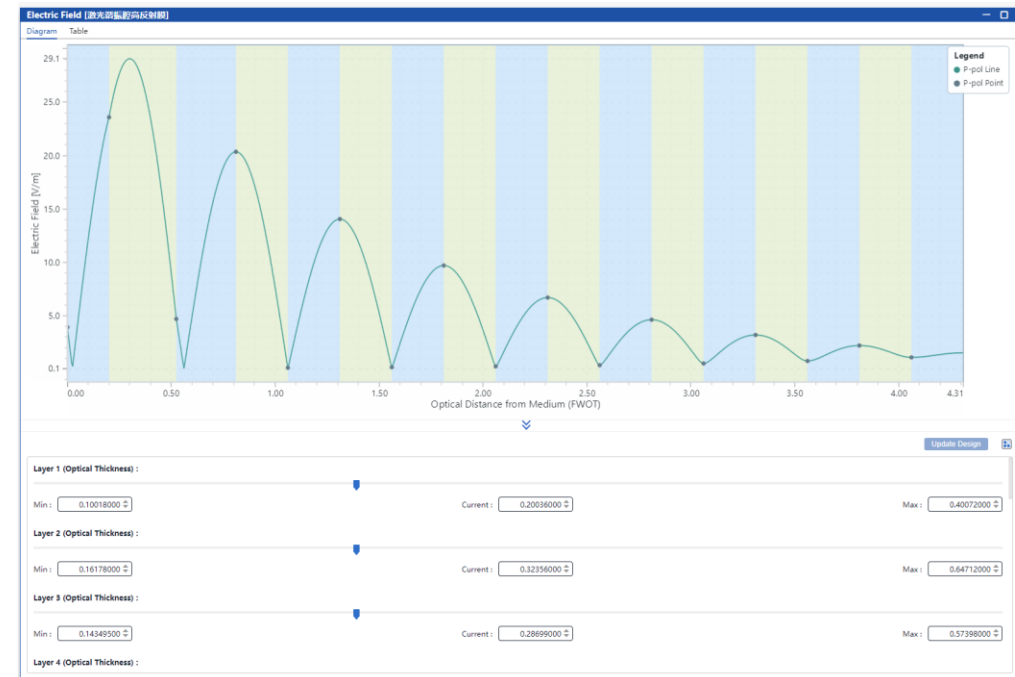
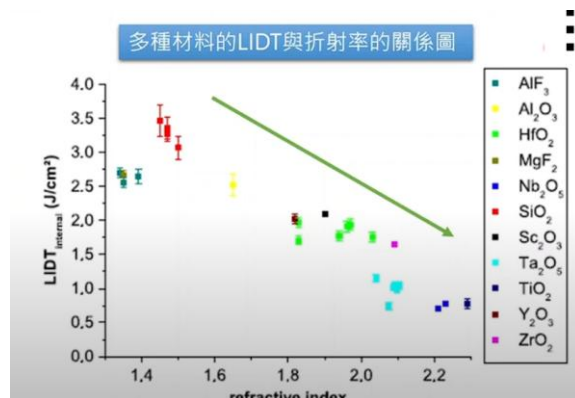
光谱分析

电场分析

调整膜厚

电场分析

光谱分析



左图显示，高折射率材料的激光损伤阈值低于低折射率材料。通过适当调整靠近空气三层的膜厚，可将强电场峰值转移至低折射率膜层，从而来提高整体薄膜的抗激光损伤阈值。

初始结构

结构确定

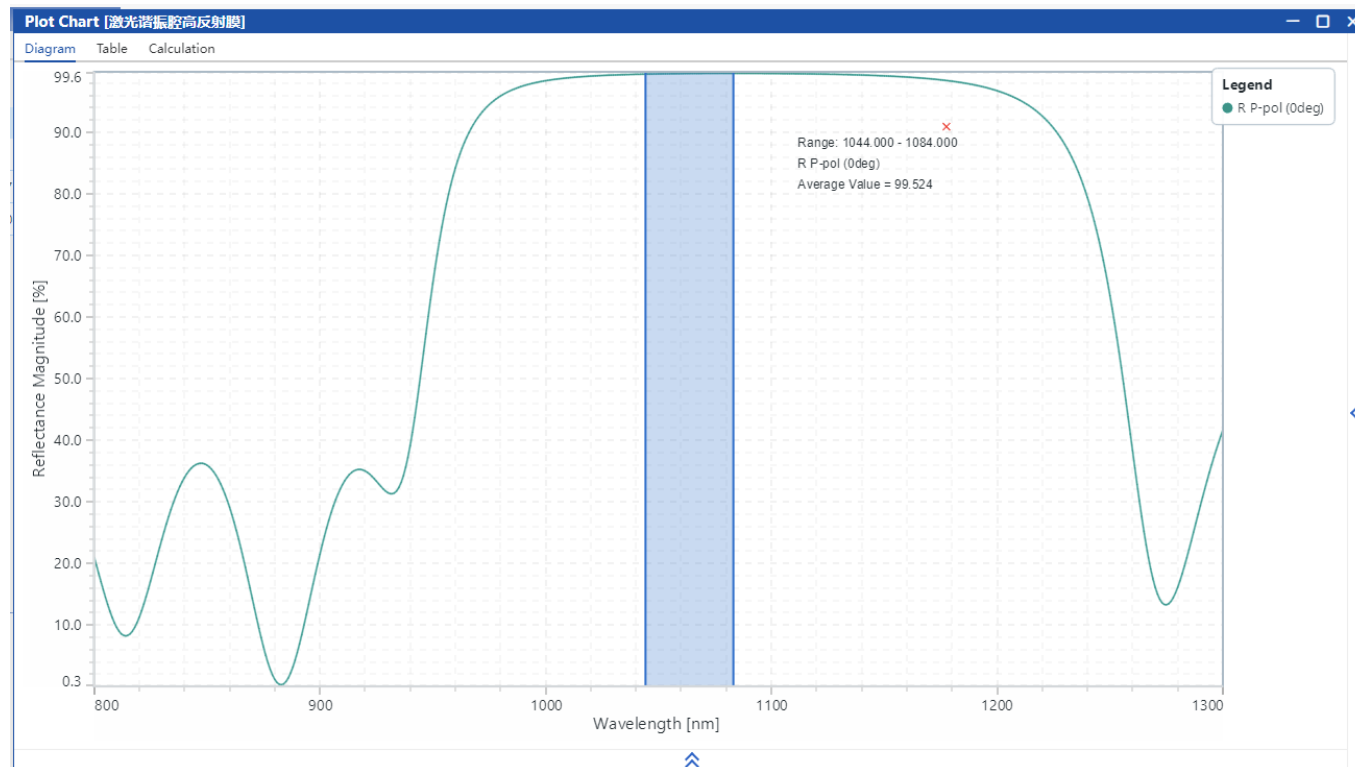
光谱分析

电场分析

调整膜厚

电场分析

光谱分析



再次查看调整后膜系的光谱，在 $1064\text{nm} \pm 20\text{nm}$ 带宽范围内，平均反射率达 99.52%，仍然满足设计指标。证明了当前设计不仅满足高反射率要求，还提高了薄膜的整体激光损伤阈值。

内容	信息
标题	激光谐振腔高反射膜
文档编号	VLU-S_20250708_01
文档版本	1.0
发布日期	2025/07/08
所需软件包	光学薄膜设计工具包 v1.0
软件版本	2025R1
分类	应用场景

包罗万象

All Inclusive

迅捷高效

Efficient and Fast



<http://www.luoxun.com/>