

原创：用 ZEMAX 设计光学薄膜应用举例---增透膜

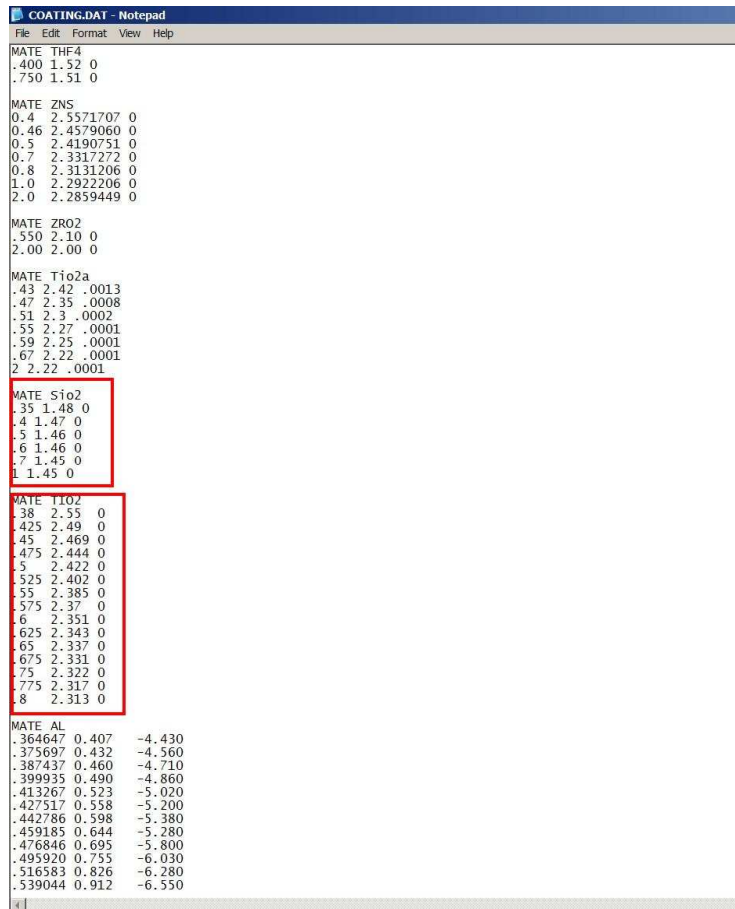
摘要：光学薄膜的设计分析功能是 ZEMAX 亮点之一。作为一个应用例子，本笔记总结了三年前我用 V2005 版作的一个 4 层增透膜设计，涵盖了 AR 膜系的分析，优化及公差，现分享给光行论坛，抛砖引玉，希望与同好一起探讨。

MANG2004, 20110429.

要求：设计一个增透膜，用于可见波长 430nm~670nm 激光窗口，石英基底，通光口径 ~Φ20，厚 3，入射角 0~2°，剩余反射小于 0.5%。

设计步骤：建模，分析，优化，公差，结论。详细如下：

- 在 COATING.DAT 中定义膜系材料 SIO2 和 TIO2 的光学常数(n, k)，如图 1。



```

COATING.DAT - Notepad
File Edit Format View Help

MATE THF4
.400 1.52 0
.750 1.51 0

MATE ZNS
0.4 2.5571707 0
0.46 2.4379060 0
0.5 2.4190751 0
0.7 2.3317272 0
0.8 2.3131206 0
1.0 2.2922206 0
2.0 2.2859449 0

MATE ZRO2
.550 2.10 0
2.00 2.00 0

MATE Tio2a
.43 2.42 .0013
.47 2.35 .0008
.51 2.3 .0002
.55 2.27 .0001
.59 2.25 .0001
.67 2.22 .0001
2 2.22 .0001

MATE Sio2
.35 1.48 0
.4 1.47 0
.5 1.46 0
.6 1.46 0
.7 1.45 0
1 1.45 0

MATE TIO2
.38 2.55 0
.425 2.49 0
.45 2.469 0
.475 2.444 0
.5 2.422 0
.525 2.402 0
.55 2.385 0
.575 2.37 0
.6 2.351 0
.625 2.343 0
.65 2.337 0
.675 2.331 0
.75 2.322 0
.775 2.317 0
.8 2.313 0

MATE AL
.364647 0.407 -4.430
.375697 0.432 -4.560
.387437 0.460 -4.710
.399935 0.490 -4.860
.413267 0.523 -5.020
.427517 0.558 -5.200
.442786 0.598 -5.380
.459185 0.644 -5.280
.476846 0.695 -5.800
.495920 0.755 -6.030
.516583 0.826 -6.280
.539044 0.912 -6.550
  
```

图 1

- 在 COATING.DAT 中定义膜系 mang2004，结构为 1|LHLH|G，各膜层物理厚度初始化值均为 20nm，如图 2。各膜层的厚度将在稍后进行优化。

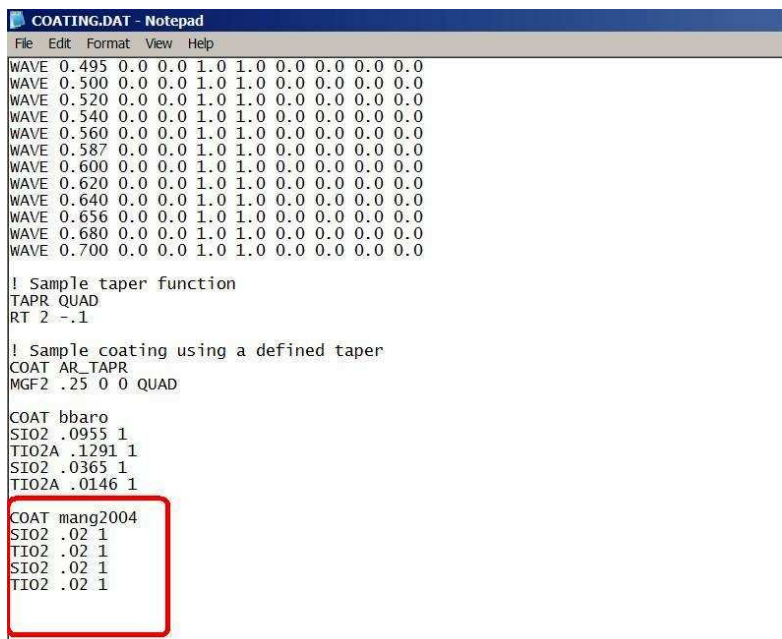


图 2

- 在 ZEMAX 中建一个石英基底平-平透镜，通光口径 $\Phi 20$ ，外径 $\Phi 22$ ，厚 3，入射角 $0^\circ \sim 2^\circ$ ，选取图 3 所示波长。

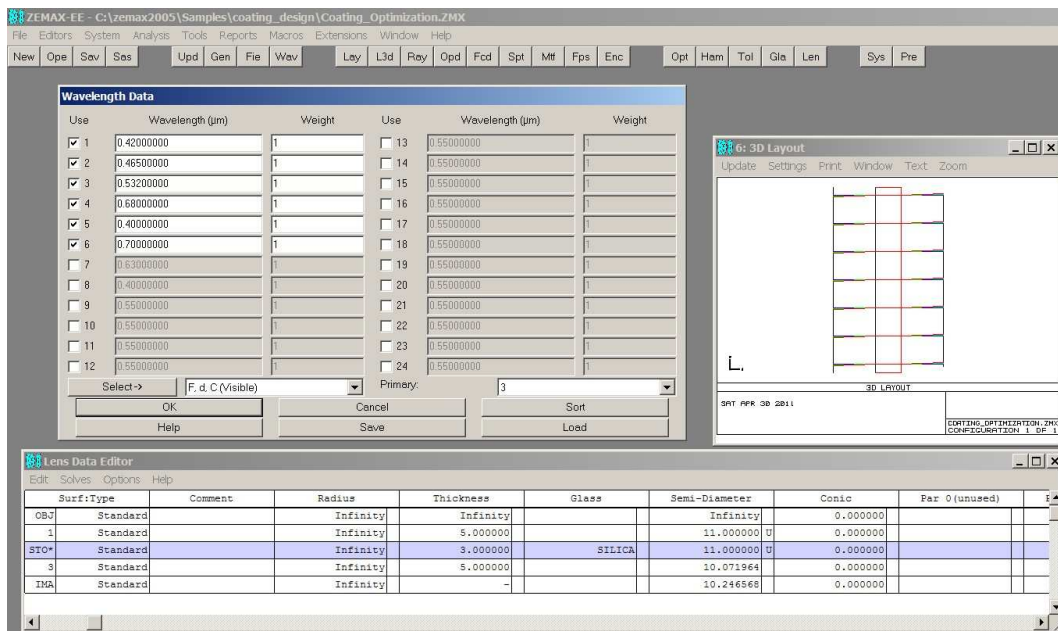


图 3

- 1) 设置第 2 面为 mang2004 镀膜；2) 选中 Use Layer Multiplier；3) 选择 All Variable 使所有膜层物理厚度成为变量，如图 4。

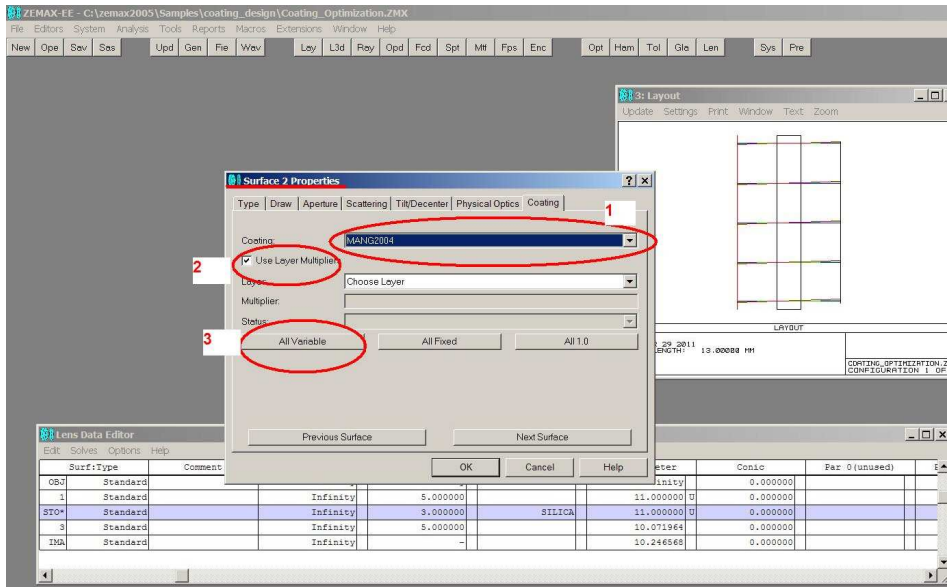


图 4

- 如图 5：1) 绘制反射率-波长曲线：可以看出剩余反射~20%，没有达到要求，膜系需要优化。2) 编辑评价函数及边界条件：用操作数 CODA 定义评价函数--0° 视场处波长#1#2#3#4 透过率目标值为 100%，用操作数 CMGT, CMLT 定义膜层厚度的边界条件>10nm, <180nm, 权重均为 1。

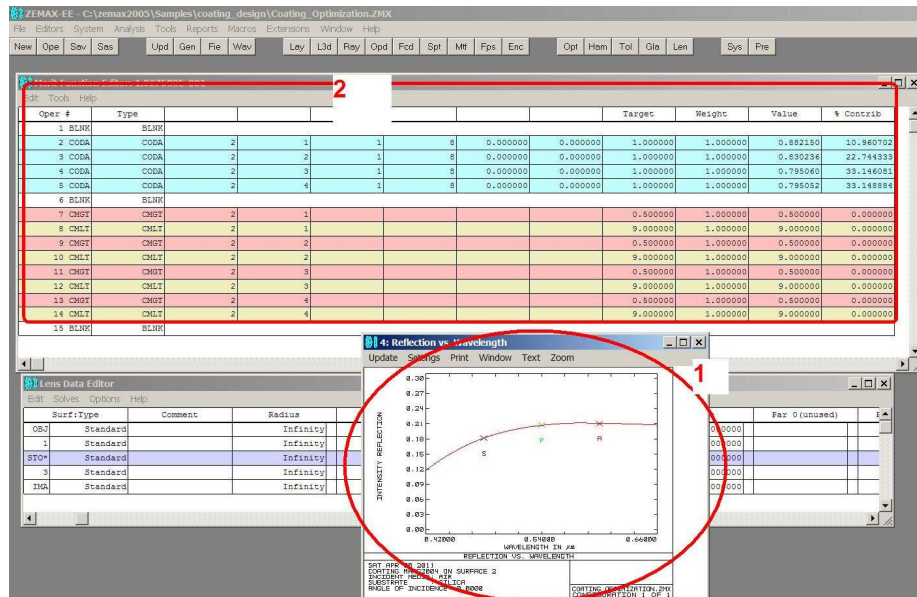


图 5

- 图 6: 1) 用全局搜索算法优化, 这个过程需要点耐心; 2) 某个优化结果: 镀膜面四个波长透过率的标称值分别为 0.9976, 0.9985, 0.9994, 0.9962。

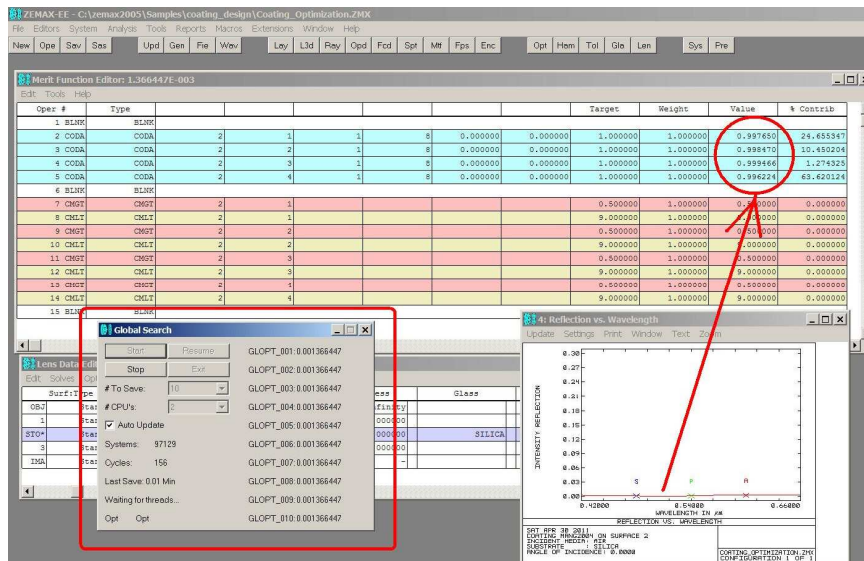


图 6

- 进一步研究图 6 的数据, 1) 选择适当比例绘制 0° 和 2° 反射率-波长曲线, 可看出剩余反射标称值均小于 0.5%; 2) 编辑公差表操作数 TCMU, 从 Nominal 栏提取到膜系结构为: 0.0876L0.11336H0.0352L0.01292H, 如图 7。

目前的设计标称值是不错的! 如果考虑制造公差因素, 这个结果是否满足工作要求? 随后的公差分析, 将有助于我们对此有更明确的了解。

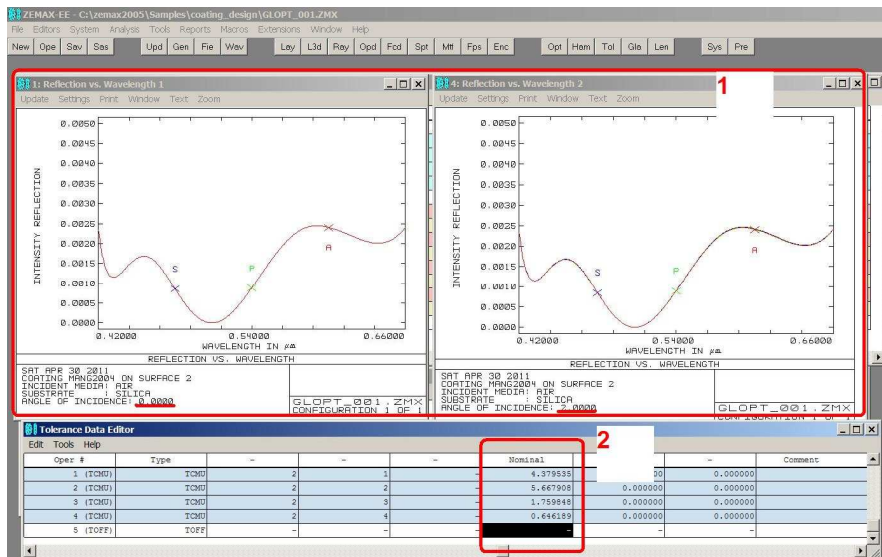


图 7

- 公差分析的准备：1) 设置边界条件操作数 CMGT, CMLT 的权重均为 0。2) 一般而言，膜厚制造公差约 3%，所以将膜层物理厚度的公差初始值设为 $\pm 3\%$ ，如图 8。

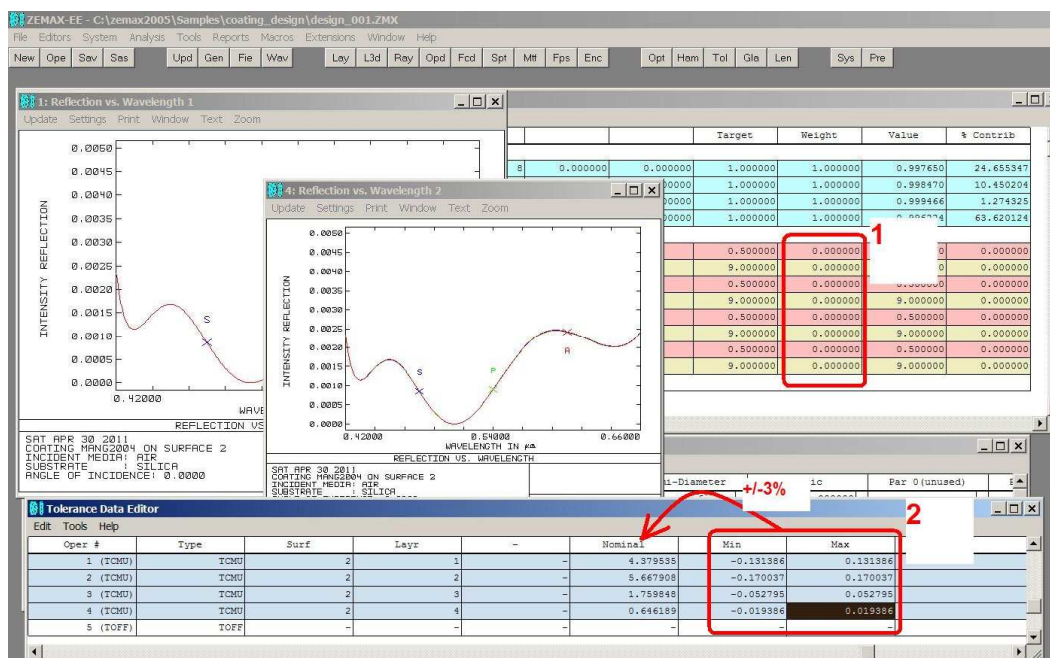


图 8

- 图 9 是公差分析一种可能的选项。

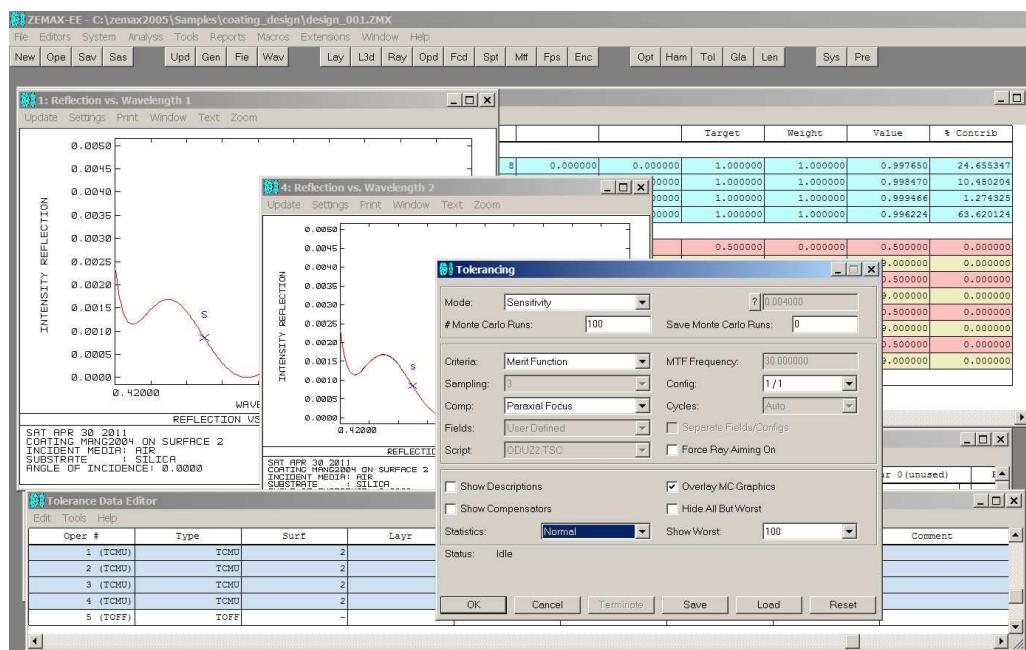


图 9

- 图 10-1 是公差分析可能出现的结果，可以看出膜厚 $\pm 3\%$ 公差使剩余反射相当勉强地满足小于 0.5% 的要求，图 10-2 是膜厚公差紧缩至 $\pm 2\%$ 的分析，这个结果显然让人放心多了，---当然，最终的公差还是要和生产厂家协定的。

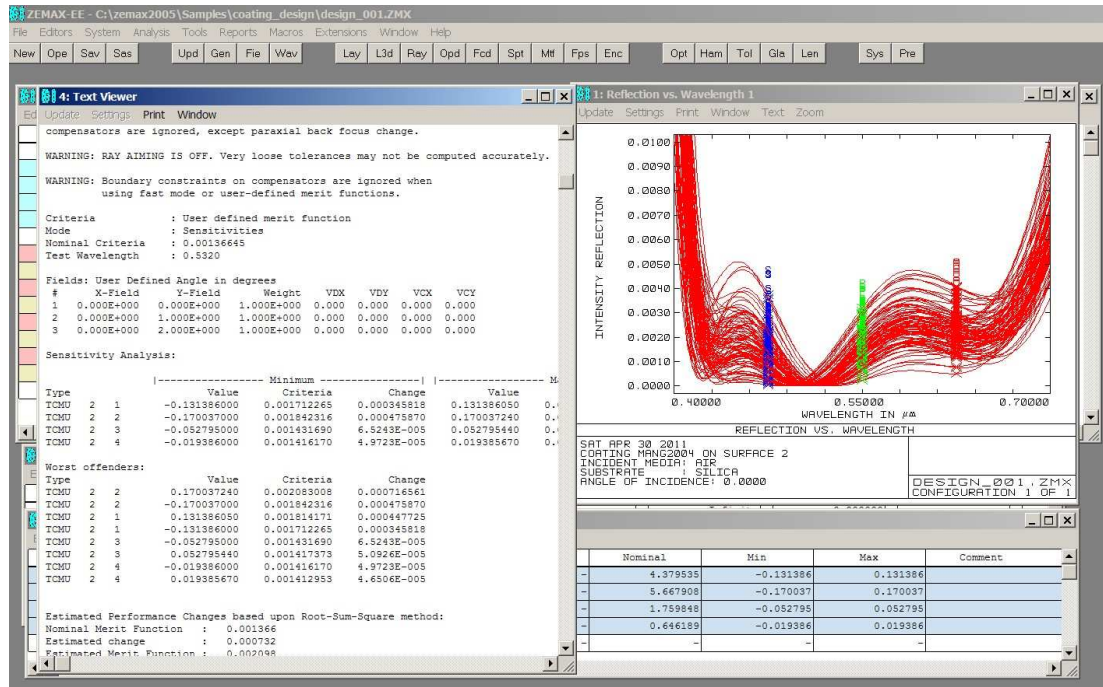


图 10-1

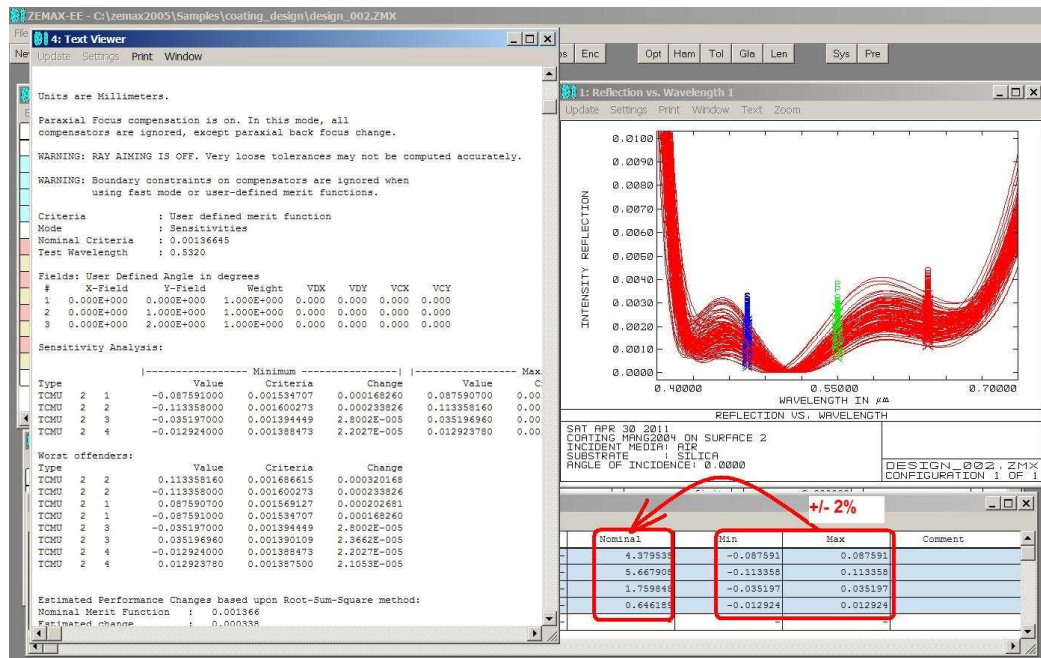


图 10-2

- 到此为止，用于可见波长 430nm~ 670nm 激光窗口的增透膜设计完成，其格式为：

COAT mang2004o

SIO2 0.0876 1

TIO2 0.11336 1

SIO2 0.0352 1

TIO2 0.01292 1

总结：介绍了运用 ZEMAX 设计一个石英基底激光窗口增透膜的详细过程，有关背景知识请大家参考相关的书籍及手册。

虽然 ZEMAX 不是一款专业薄膜设计软件，但其基本的光学薄膜功能还是实用的，尤其在 2005 之后版本中，加进了诸多的膜系计算优化及公差操作数，使薄膜设计分析更有效和容易，本人将在适当的时候分享一些用 ZEMAX 做的高反，分色，偏振薄膜。