



光研科学有限公司
江苏省南京市小卫街 20 号 310 室
电话: 025-57929358 传真: 025-57929359
Email: china@wavelab-sci.com

TFCalc

薄膜设计软件

功能强大

★TFCalc 是一个光学薄膜设计和分析的通用工具，这里有按顺序排列介绍了 TFC 的功能：吸收、有效镀膜、角度匹配、双锥形的穿透、黑体光源、色彩优化、约束、继续优化目标、派生目标、探测器、散射公式、电场强度、同等折射率、同等堆叠、获得材质、全局优化、组优化、发光体、膜层敏感性、局部优化、多重环境、针优化、光学监控、光学密度、相位移动、psi、发光分布、折射率的确定、反射、敏感度分析、堆叠公式、综合、穿透率、隧道效应、可变材料。

创新

★TFCalc 软件是膜系设计软件中提供创新方法的领导者。例如，TFCalc 允许活动材料-材料的折射率随着外部影响而改变。这个功能是其它商业软件没有的功能。

容易使用

★TFCalc 是标准的 windows 和苹果机程序；薄膜设计工程师利用菜单、对话框和窗口来输入并显示结果。

★Software Spectra 努力让 TFCalc 软件尽可能的容易使用，特别是对仅仅偶尔使用软件的工程师来说这一点更加重要。TFCalc 软件包中包含了大量的设计实例。

价格

★TFCalc 软件每套售价 1.6 万元人民币，包含一年的升级和技术支持服务。量大和教学会有一定的折扣优惠。

多种平台

TFCalc 可以在以下计算家和操作系统下工作：

- ★运行 windows 3.1 , 3.11, 95, 98, 2000, XP 的 PC。
- ★运行 System 7 或更新版本的苹果电脑。
- ★TFCalc 所输出的文件格式兼容这两个平台，让你和同时可以共享数据。

更多信息

获得更多信息或 TFCalc 的演示版本，你可以和光研科学有限公司取得联系：

电话: +86 25 57929358 传真: +86 25 57929359 Email: china@wavelab-sci.com

或者访问我们的网站: www.wavelab-sci.com



光研科学有限公司
江苏省南京市小卫街 20 号 310 室
电话: 025-57929358 传真: 025-57929359
Email: china@wavelab-sci.com

TFCalc 3.5 功能概要

TFCalc 是一款具有多种强大功能的软件。这个概要并没有列出它的所有功能。要想了解 TFCalc 的所有功能,可以阅读 TFCalc 用户手册。另外一种学习 TFCalc 软件的方法就是使用它的演示版本。

薄膜

- ★基层的两侧可以达到 5000 层
- ★膜层可以手动的添加,也可以使用堆叠公式自动创建,例如 (HL)^5 1.2(HL)^5
- ★膜层可以具有可变的折射率
- ★膜层可以是两种材料的混合体
- ★膜层的厚度可以用物理的或波长的四分之一作为厚度输入值
- ★膜层的厚度可以被束缚
- ★厚度可以根据角度值做调整
- ★一个膜层可以被等效膜层的 (HLH) 或者 (LHL) 的堆叠所代替
- ★膜层可以成组的对称保存或者按顺序移动
- ★折痕的镀膜也可以模拟
- ★膜层可以由活动性和增益性材料组成

分析

- ★计算反射、穿透、吸收、光学密度、损耗、相位改变、psi、组延迟 (GD)、组延迟散射 (GDD)、TOD 和电场密度
- ★计算反射或穿透颜色 (CIE 和 LAB)
- ★计算连续膜层的等价折射率 (Herpin)
- ★计算反射、投射、吸收、光学密度、损耗、相位改变和正常生产中的公差 (厚度和折射率) 的敏感度
- ★计算膜层的敏感度
- ★计算反射, 穿透、吸收、密度和用户自定义的损耗平均锥角 (也叫做 biconical)
- ★交互式的分析可以用来决定影响表现的参数的改变
- ★使用交互式的功能可以创造生动的结果
- ★生产分析可以让用户决定一个膜层的生产
- ★Muller 或 Abeles 相位改变的定义都可以选定
- ★模拟光的监控器的输出

优化

- ★三个局部方法: 可变的公制、梯度和单一的
- ★全局搜索可以用来找到最佳的镀膜设计
- ★针优化 (带有隧道效应的) 用来针对综合的非寻常设计
- ★厚度和折射率都可以设为变量
- ★膜层的厚度可以在优化过程中被束缚
- ★背离和折射率的轮廓可以在优化过程中显示出来
- ★灵活的评价函数



光研科学有限公司
江苏省南京市小卫街 20 号 310 室
电话: 025-57929358 传真: 025-57929359
Email: china@wavelab-sci.com

-
- ★同时地优化前后层
 - ★优化组因子
 - ★敏感度也可以被优化
 - ★零厚度的层看可以能在优化过程中自动地移出
 - ★可以输入照明和探测功能，这样对于膜层在特定环境下的优化成为可能
 - ★产品的 $R \cdot T$ 能够被优化
 - ★膜层两侧的表现都可以被优化
 - ★锥角平均值可以被优化
 - ★极端快速量可以被优化（GD、GDD、TOD）
 - ★使用原型方法自动设计带通滤波器

优化目标

- ★优化目标可以为反射、穿透、吸收、密度、颜色、照明、相位移动、组延迟、组延迟散射、TOD 和任意波长、偏振以及角度的 ψ
- ★目标可以是不连续的（单一波长）、连续的（一段波长）或者锥角平均（对于锥形角）
- ★这些量的第一、第一和第三派生都可以作为变量
- ★目标可以手动的、一般情况是自动的或者从文件读取
- ★一般情况下目标是波长、波数或者对数的形式
- ★目标值可以是不等的。
- ★最多可以设定 5000 个目标
- ★针对多种环境的目标
- ★等波纹的目标
- ★目标值可以用 dB 的形式输入

结果

- ★结果可以用数字和图片的方式显示
- ★所有的表格和图片都可以打印
- ★结果可以保存到文件中，让其他程序使用
- ★结果可以灵活的保存
- ★五个膜系设计的结果可以同时显示在一张图片中
- ★两个结果，例如反射和投射可以同时在一张图片中涵盖
- ★屏幕上有一个指针，用户可以利用它在图片上读出数值
- ★对于随机的结果可以计算出统计值

光学数据

- ★材料、基质、光源、探测器和辐射文件的数值没有限制
- ★折射率可以用表格或散射公式的形式输入
- ★对于基质，内部穿透率可以读出
- ★使用填写功能（interpolation）可以增加丢失的 N 或 K 数值
- ★折射率可以从频谱或椭圆偏振光中计算出
- ★材料和基质数据可以产生吸收和散射



光研科学有限公司
江苏省南京市小卫街 20 号 310 室
电话: 025-57929358 传真: 025-57929359
Email: china@wavelab-sci.com

-
- ★一个膜层的反射和投射可以保存为一个发光体
 - ★每个文件都可以保存注释
 - ★数据可以从文本文件中读取
 - ★可以建立黑体发光体
 - ★数据文件可以保存为苹果电脑和 IBM-PC 的兼容格式

镀膜文件

- ★包含膜层、目标、注释、可变材料等等的信息
- ★方便的将一个膜层的部分复制到其它文件中
- ★镀膜文件兼容苹果电脑和 IBM-PC

精确而快速

- ★所有的计算都是 16 位浮点算法
- ★在优化过程中, TFCalc 可以计算 50 万层/接近计算机的最好水平

用户界面

- ★容易使用, 标准 Windows 或苹果用户界面
- ★和 Windows 一样的菜单、对话框、表格
- ★非常容易编辑和重新计算

TFCalc 3.5 的更新

重要的新功能

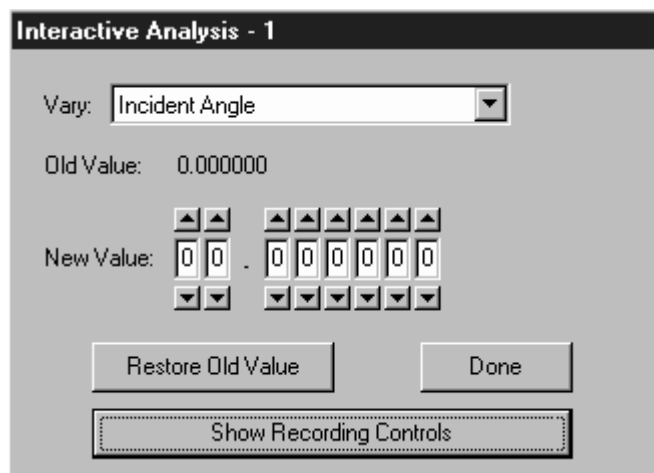
- ★ 交互式的分析
- ★ 灵活的保存
- ★ 生产分析
- ★ 极限快速表现计算
- ★ 分析参数的交互式设定
- ★ 等效膜层的散射
- ★ 敏感度分析: 各折射率独立变化
- ★ 带锥角的敏感度分析
- ★ 极限快速量的优化
- ★ 锥角目标优化
- ★ 带通滤波器的自动设计
- ★ 材料的混合
- ★ 结构参数存储在每一个设计中

有很多升级在本文档中没有提及, 这里提到的更新只是针对 Windows 版本的; 除了以下 bug 被修正外, 苹果电脑版本没有其它改变。

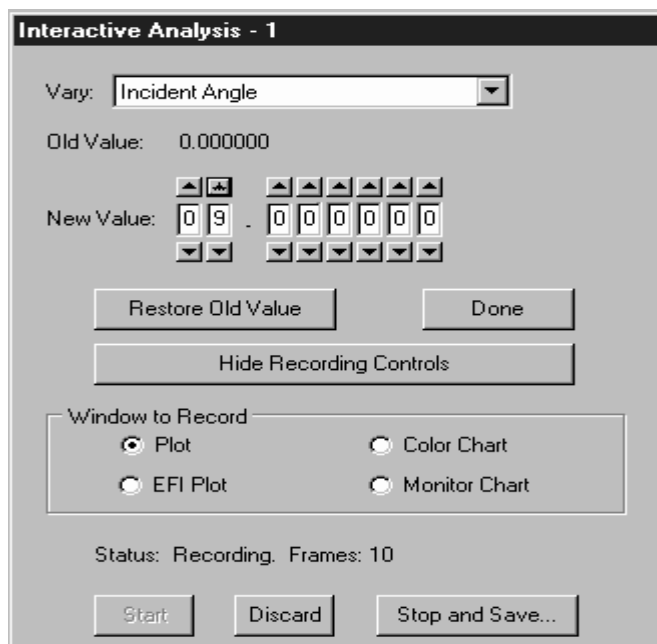
分析

★ 交互式的分析

这个功能可以让设计者改变参数，并且立刻看到这个改变对系统表现所造成的影响。以下参数可以改变：膜层厚度(QWOT 或物理的)、组因子、折射率 (N or K)、入射角度、入射波长、电场波长、监测波长、混合比和可变材料因子。每一次使用者改变参数的时候，下面的窗口都会自动升级：图形、表格、电场、色彩曲线和监测曲线。对话框显示如下。



在这个例子中，用户可以使用上下的按钮改变入射角，或者输入数字到按钮之间的文本框。在更改之后，所有的窗口将自动升级。可以同时打开 5 个交互式窗口。如果你选择“Show Recording Controls”按钮，所有交互式的分析将会灵活的保存。在点击“start”按钮之后，你的每个更改都将保存为一个图片。参考下面的图片：



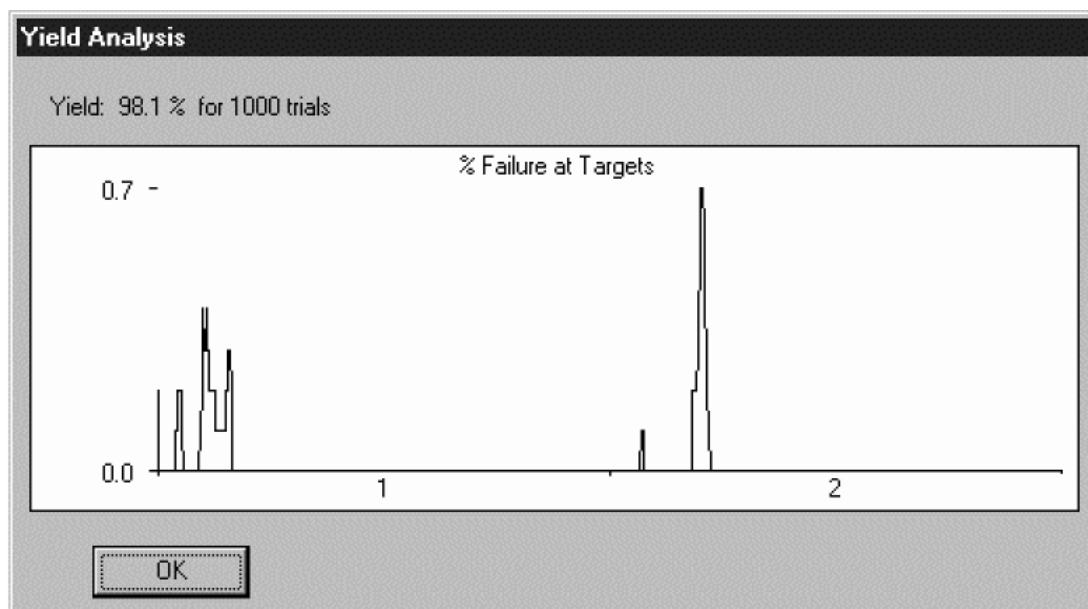
★ 灵活的保存

当 TFCalc 创建一系列图片的时候, 图片会按顺序存储到一个 GIF 格式的文件中-一个存储图片的流行的格式。创建这种灵活保存有两种方法: (1) 使用交互式分析保存图形、EFI 图形、色彩或监控窗口的内容 (2) 分析角度和波长的膜层。

接下来在图形菜单选项中会有一个新的命令: **Save Animation to File**。GIF 文件可以在浏览器中查看。

★ 生产分析

这个功能能够帮助决定镀膜设计的制造。用户必须指定公差表现的不同目标, 然后生产分析使用这些参数进行随机的公差扰动。生产就是这些随机公差分析结果的百分比。生产分析会给出一个图形结果, 可以看出是哪个波长对公差失败贡献最大。图片显示如下, 在这个例子中, 公差输入了两个连续的目标。



只有所有设计膜层的厚度都是波长的四分之一的整数倍, 才有可能用 TFCalc 优化对话框中的“optimize sensitivity”选项来提高设计的生产。

★ 极限快速表现计算

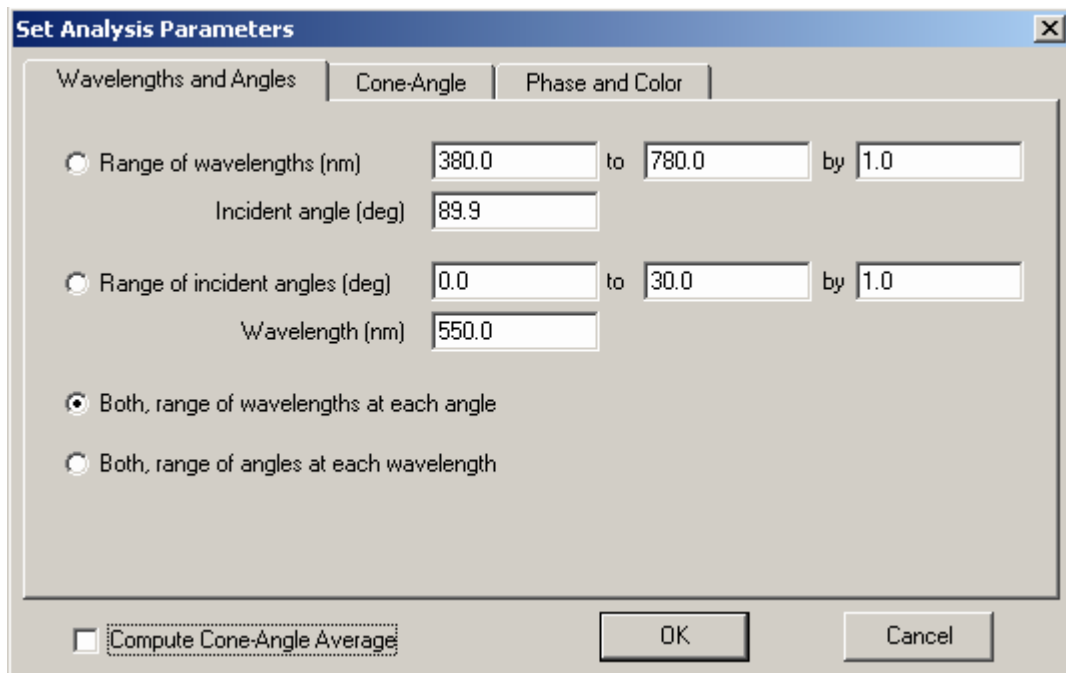
TFCalc 可以计算一个极限快速表现量 GD(组延迟), GDD(组延迟散射)和 TOD (三阶散射)。随着波数的相位的改变, 仅有一阶、二阶和三阶派生。单位是 ps (picosecond)、 ps^2 和 ps^3 。这些量可以用于反射和穿透、P 和 S 的偏振光以及不同于 P-S 的光。这些量使用数值派生来计算。用户可以通过选择图形参数和表格参数对话框来显示它们。

★ 后方项位

现在可以通过反面镀膜来计算和优化相位的移动。这个功能在前后膜层都要控制的时候经常使用。

★ 分析参数的交互式设定

有两种方式来分析膜层的质量：准直光或者锥角光。在以前的 TFCalc 版本中，软件不能够记录膜层是如何分析的。现在，这些准直光和锥角光的参数都定义在带有三个面板的一个对话框中，第一个面板是：



Set Analysis Parameters

Wavelengths and Angles | Cone-Angle | Phase and Color

☐ Range of wavelengths (nm) 380.0 to 780.0 by 1.0
Incident angle (deg) 89.9

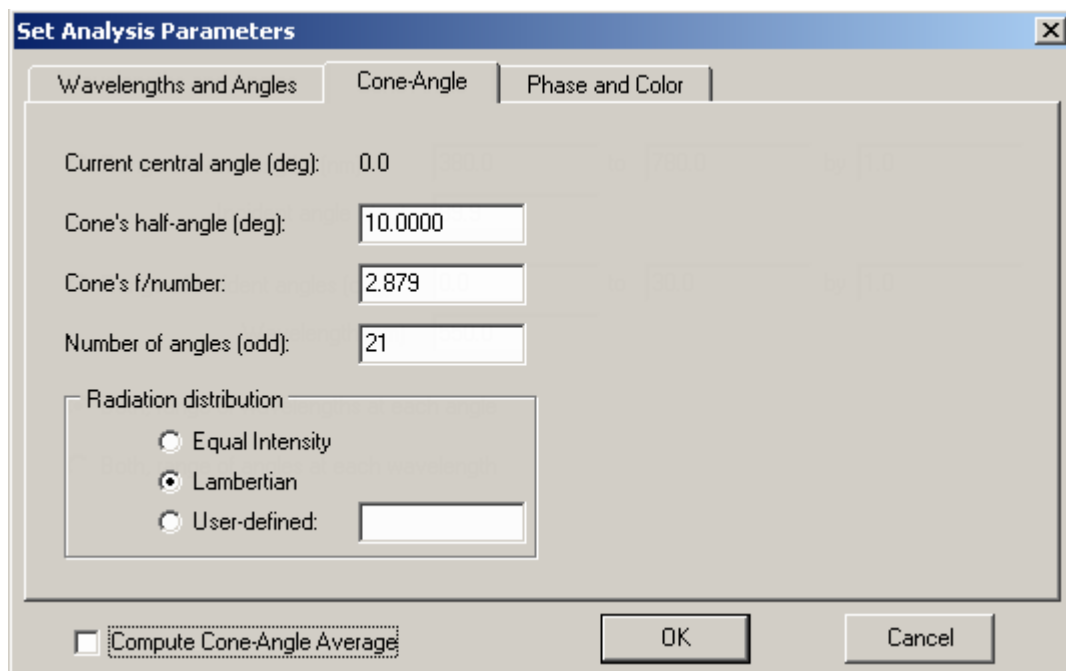
☐ Range of incident angles (deg) 0.0 to 30.0 by 1.0
Wavelength (nm) 550.0

☒ Both, range of wavelengths at each angle
☐ Both, range of angles at each wavelength

☐ Compute Cone-Angle Average

OK Cancel

第二个面板是针对锥形角的：



Set Analysis Parameters

Wavelengths and Angles | Cone-Angle | Phase and Color

Current central angle (deg): 0.0

Cone's half-angle (deg): 10.0000

Cone's f/number: 2.879

Number of angles (odd): 21

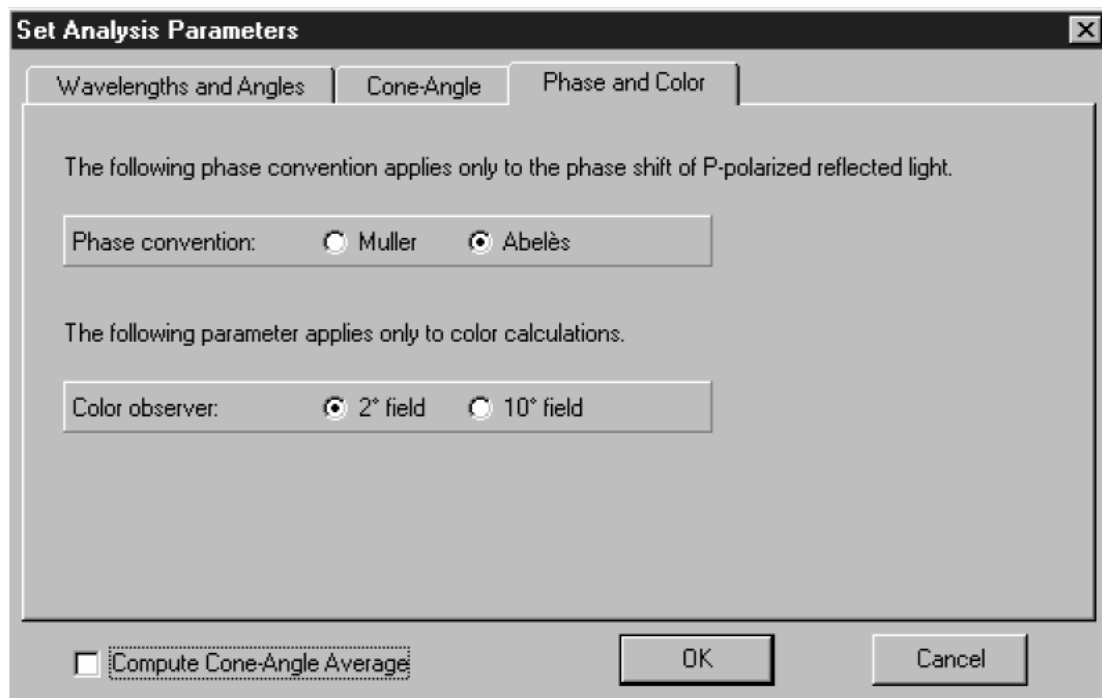
Radiation distribution
☐ Equal Intensity
☒ Lambertian
☐ User-defined:

☐ Compute Cone-Angle Average

OK Cancel

进行锥角的计算很少会选择底部的对话框。第三个对话面板是针对相位和颜色计算的。以前这些参

数是针对所有膜层进行设定和应用的。



★相位可以用一个发光体存储

一个发光体的数据可以包含波长函数的相位改变。相位的信息对于设计膜层来控制相位的改变和它的派生来说非常重要。如果光源的相位的改变不重要，应该将它设定为零。

★ 等效膜层的散射

当一个膜层被一个等效膜层所替代的时候，有时候需要知道这个等效膜层的散射是什么样的。在“Compute Equivalent Stack”对话框中，散射对于所有的 HLH 和 LHL 算法进行计算。

★四个活动材料

现在使用四个活动材料取代原来的三个。

★最小波长是 0.1 埃

这一点对于 X 光镀膜的设计者来说非常重要。

★ 敏感度分析：各折射率独立变化

在敏感度对话框中，用户可以选择折射率各自独立的变化。此前，材料的折射率已经是变量；同一层的材料要有相同的折射率。

★ 带锥角的敏感度分析

当计算锥角平均（Compute Cone-Angle Average）的时候，选择“Analysis Parameters”对话框，然后敏感度的计算会使用一个锥角光的计算。注意这样会使分析的时间显著增加。

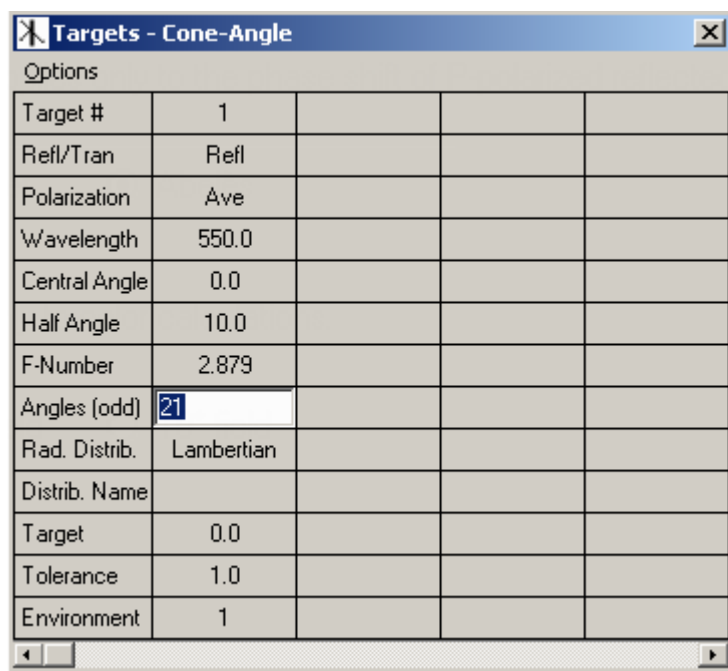
★敏感度的改变

在敏感度对话框中，最小允许的相对公差为 0.0001%。

优化

★ 锥角目标优化

TFCalc 具有锥角照明的膜层计算的功能已经很多年了。现在设计者仍然使用这一功能来优化锥角光的镀膜。使用这个优化，设计者必须在窗口中输入锥角的目标，如下所示：



Target #	1			
Refl/Tran	Refl			
Polarization	Ave			
Wavelength	550.0			
Central Angle	0.0			
Half Angle	10.0			
F-Number	2.879			
Angles (odd)	21			
Rad. Distrib.	Lambertian			
Distrib. Name				
Target	0.0			
Tolerance	1.0			
Environment	1			

这个窗口可以通过从“Modify”菜单中选择“Targets-Cone Angle”来打开

★ 极限快速量的优化

在“Targets-Discrete”窗口中的一个新的选项是“Generate ultra-fast targets”。它可以让设计者增加 GD、GDD 和 TOD 的目标

★ 不同的目标和公差可以在一个文本文件中读取

以前，所有的目标都是在各自得文件中读取。现在一个目标文件具有三个栏：波长（wavelength）、目标值（target value）和公差（tolerance）。如果没有公差栏，公差将使用 1.0。下面为一个公差文件的部分实例：

500.0> 45.0

500.0< 55.0

550.0 100.0 0.1

注意波长可以出现多次。在这个例子中的前两个目标的公差默认为 1.0;第三个目标公差为 0.1。

★ 等效波纹目标

在“Targets-Discrete”窗口中的新的命令选项是“Generate equal-ripple targets”。这个功能在设计等效的带通滤波器的时候会使用到。

★带通滤波器的自动设计

在膜层前窗口新的“More Options”菜单上，有三个命令可以最多创建 25 个通道的带通滤波器。用户可以选择通道的数量、带宽、波纹和 H 以及 L 的材料。三个命令可以使用户（1）创建一个原型带通滤波器（2）将原型滤波器转换为包含一些变量的中间设计（3）利用等效膜层替代变量材料将中间设计转换为一个真实的设计。

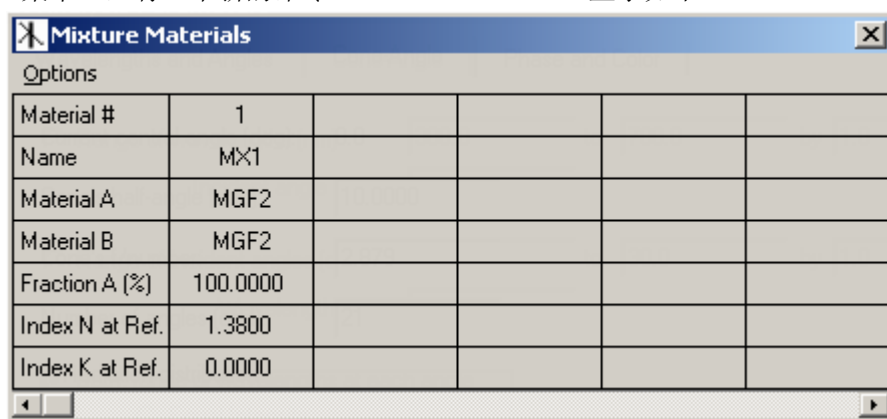
★用dB的形式输入目标

在离散的目标、连续的目标和锥角目标窗口中，优化目标可以使用 dB 的方式输入。这可以用一个负数的形式输入。例如，-0.5 将会转换为 89.1251%。

材料

★ 材料的混合

在“Modify”菜单上，有一个新的命令“Mixture Materials”显示如下：



Mixture Materials					
Options					
Material #	1				
Name	MX1				
Material A	MGF2				
Material B	MGF2				
Fraction A (%)	100.0000				
Index N at Ref.	1.3800				
Index K at Ref.	0.0000				

窗口可以让用户输入两种材料，从而得到混合材料，还可以设定各自材料的百分比。这种混合仅仅是线性的混合。窗口也会给出混合后的材料针对参考波长的折射率。混合材料在至少两个方面是非常重要的：（1）决定膜层上混合物的影响（2）创造特定性质的材料。使用交互式分析选项，用户可以改变混合材料的百分比，随时看到混合材料对膜层的影响。

★删除了散射公式的限制

在以前的 TFCalc 中，大多数散射公式的参数都被限制为正数。现在这些限制在遇到散射公式符合测量数据的时候就被删除掉。如果用户想要限制这些参数，他们可以在“Constraints”对话框中设定它们。

★首先查找变量和混合材料

当 TFCalc 打开一个新的设计的时候，现在它在规定的材料列表前就在可变材料和混合材料中搜索材料的名字。当设计者进行其它设计的时候，这个功能比免了使用现有的变量或混合材料的问题。

★变量材料因子

当使用一个变量材料设计原型带通滤波器的时候，有时要求调整带通滤波器的宽度。这一点可以通



光研科学有限公司
江苏省南京市小卫街 20 号 310 室
电话: 025-57929358 传真: 025-57929359
Email: china@wavelab-sci.com

通过使用一个因子增加让所有的折射率有小于 1 而变为大于 1。TFCalc 的新的交互式分析功能，让用户可以容易的找到正确的因子；用户仅仅打开一个交互式分析对话框，选择“variable material factor”，同时调整它到一个符合滤波图形的值即可。

用户界面

★用户可以由黑到白改变窗口的背景颜色

在一些计算机上，灰色背景显得太黑了。尽管白色比较亮，但是可以使窗口中的数字更加清晰。在“Misc”菜单上选择“Windows Options”选项可以实现这一功能。

★图形复制到剪贴板中具有白色背景

以前，灰色背景复制到剪贴板中，现在通常是白色的。

★检测器彩色打印机

如果图形打印使用的是彩色打印机，TFCalc 将使用固体线而不使用冲撞线。

★打开文件探测

当 TFCalc 要打开一个正在被其他程序使用的文件的时候，会出现一个警告信息。以前 TFCalc 是不能读取这样的文件的，也不给出警告信息。

★无线按钮自动选择

当用户使用无线按钮改变关联文本的时候，这个按钮将会自动选择。

集合

★结构参数存储在每一个设计中。

每一个设计文件都会存储结构的设定（波长单位、厚度优先权、色彩观察、相位变换等等）。

更多信息

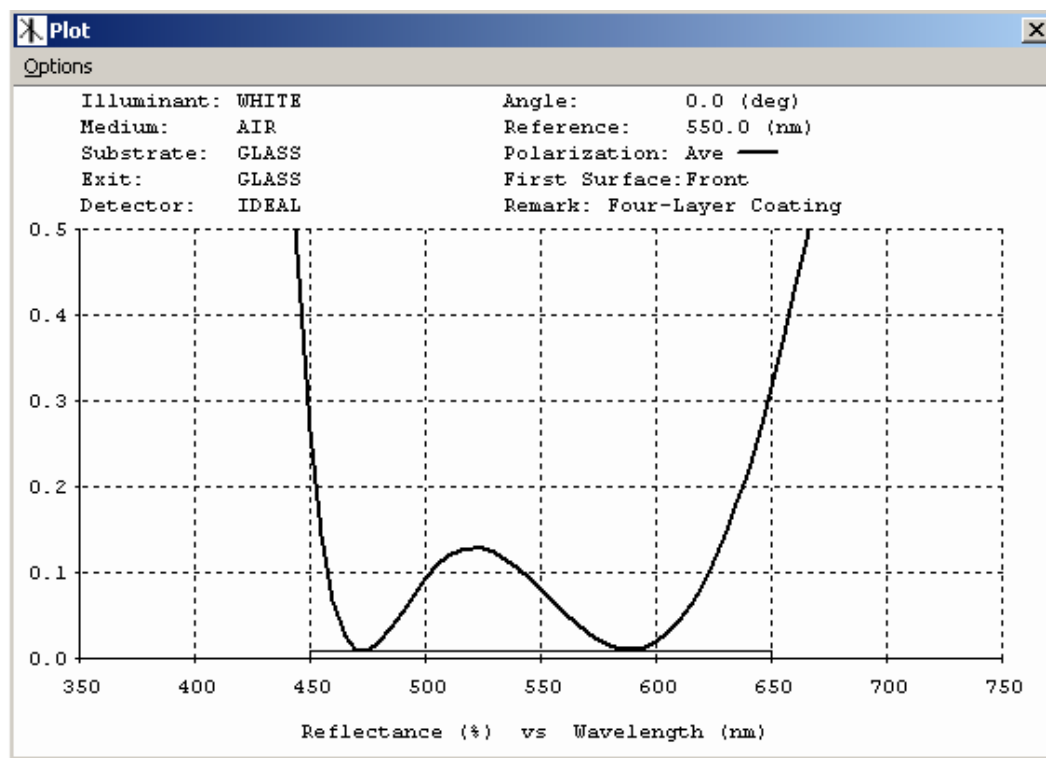
想获得关于TFCalc的更多信息，请查看www.wavelab-sci.com 或 www.tfcalc.com

自动目标实例

下面的五个例子在 TFCalc 光盘的 AUTOTARG 路径下。这些例子举例说明了使用连续的目标去解决镀膜设计问题非常容易。

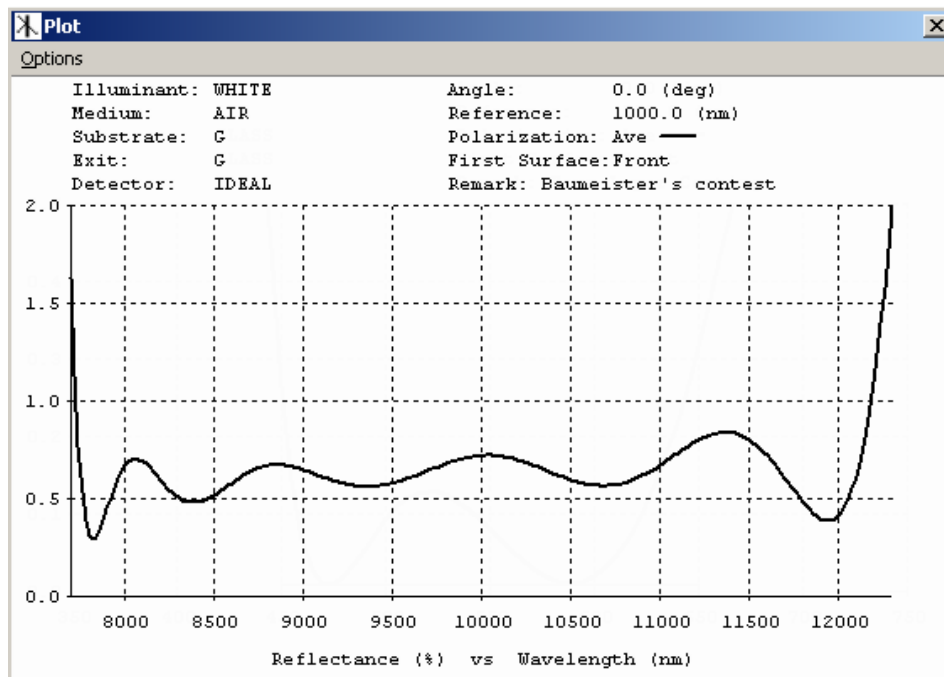
使用连续目标有两个原因: (1) 方便输入优化目标-特别是在一定波段内有多个入射角或存在偏振的情况; (2) 用连续波段来控制镀膜的性能, 而不是用离散的波长; 如果使用离散的目标, 会有一种情况: 目标波长之间的膜层表现将会下降。

使用连续目标优化的唯一缺点就是在一定情况下优化速度很慢, 但是因为整个波长的波段都被控制, 使用连续优化可以获得一个好的设计结果; 使用离散目标, 要不断去调整目标, 做许多次优化才能得到一个好的设计。



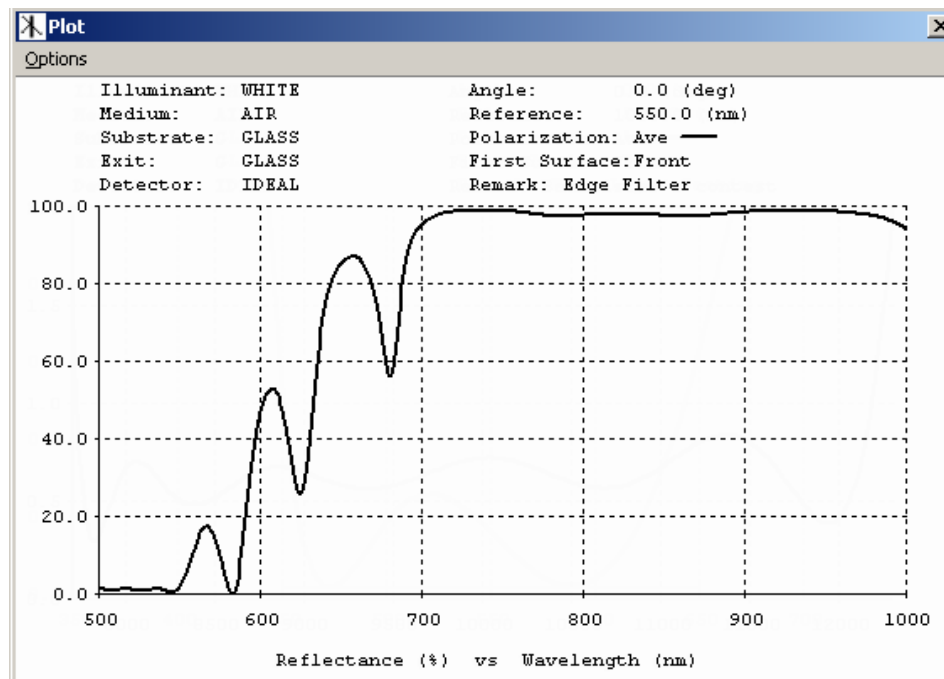
文件名: 4LAYER.TFD

这是一个简单的在玻璃上四层的增透镀膜, 连续目标显示在 450nm—650nm 之间。



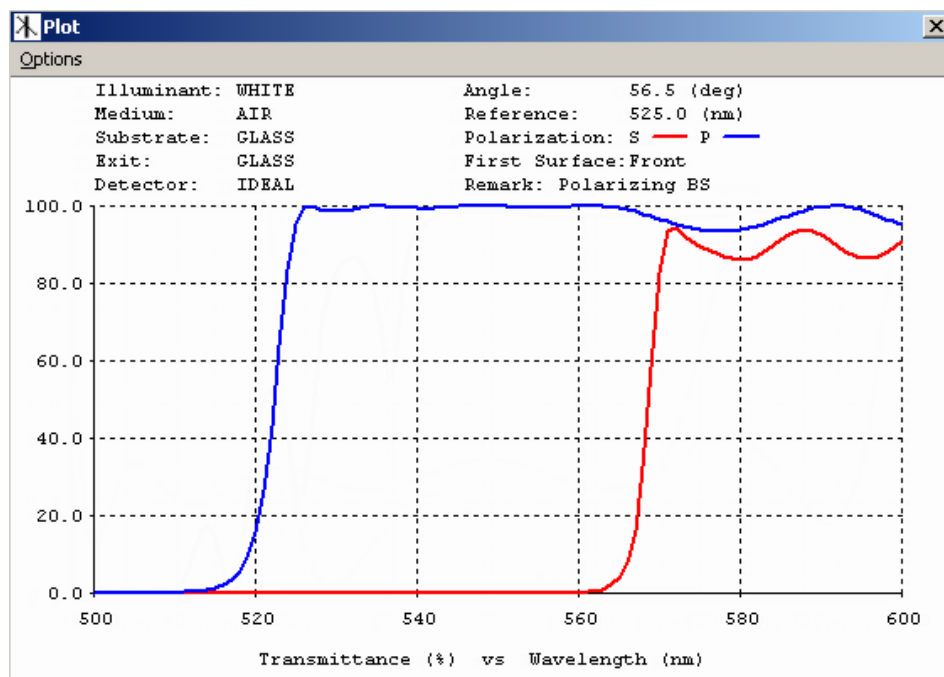
文件名: CONTEST.TFD

在铱上进行“AR”镀膜是 1987 年 P.W.Baumeister 提出的问题。他建议在 7700nm 到 12300nm 使用 47 个等效的空间。我们可以通过连续目标使用这些目标。



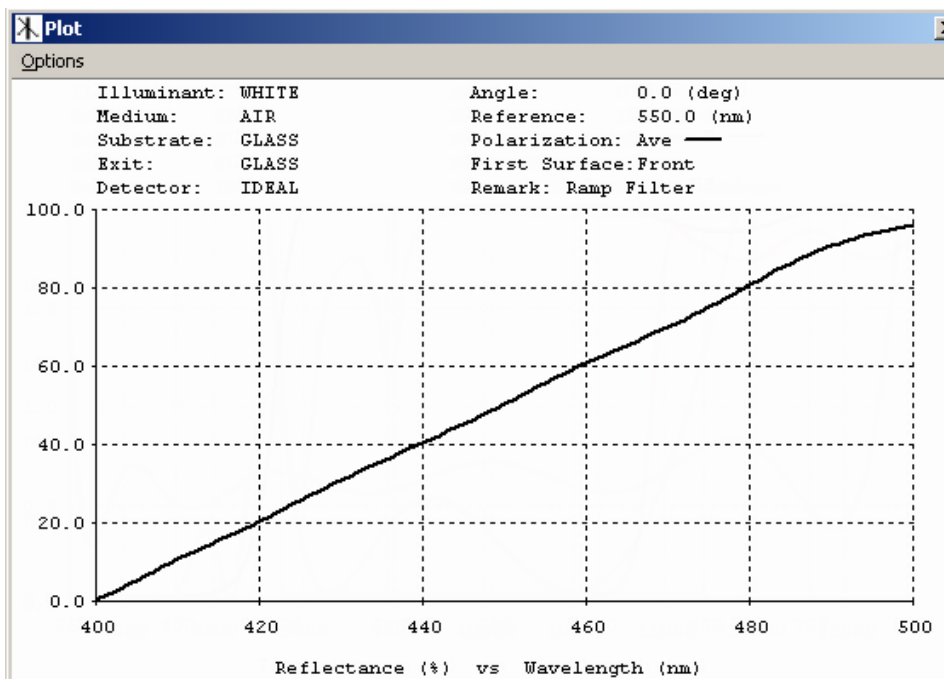
文件名: EDGE.TFD

边缘滤波器在 Laser Focus World 的文章中有定义。它的目标是在 500nm 到 550nm 波段有很低的反射，在 700nm 到 1000nm 有较高的反射。以单层膜和两个连续目标为开始，隧道和针优化用来实现。



文件名: POLAR_BS.TFD

这个偏振分光器用来设计 525nm 到 565nm 的入射为 56.5 度。使用两个连续目标, $T_s=0$ 和 $T_p=100\%$ 。采用一个单层膜作为起始点, 隧道和针优化来实现这个设计。



文件名: RAMP.TFD

这个非凡的设计要随着波长范围 400nm 到 500nm 将反射率从 0 到 100% 连续的变化。使用一个连续目标。单层膜层作为起始点, 隧道和针优化来实现这个设计。