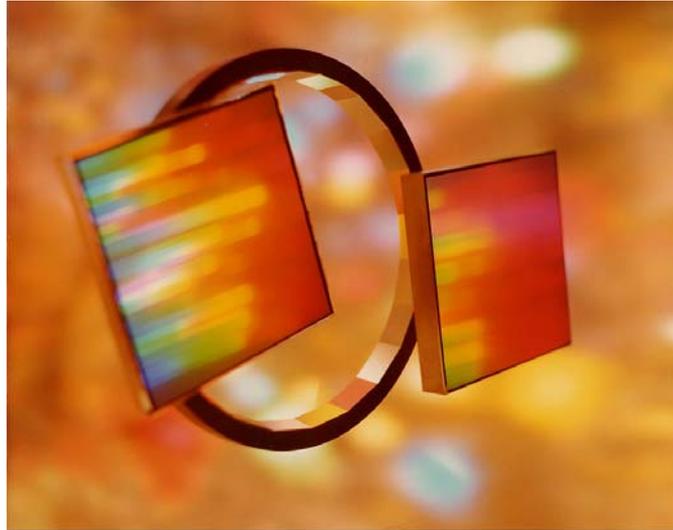


## 衍射光栅-Diffraction Gratings

Optometrics 公司有着四十多年衍射光栅设计和生产经验，在工业，教育，科研领域为各种各样的应用提供广泛的光栅选择。Optometrics 公司自身的刻划技术能力以及生产和开发全息实验室，为客户应用提供最佳光栅选择。

用于光谱仪器的标准光栅包括刻划和全息复制两种。激光应用的标准光栅包括：用于分子激光器的高损伤阈值原始和复制光栅，用于染料激光器的全息掠入射光栅以及阶梯光栅。

Optometrics 公司衍射光栅产品线最新增加了透射光栅和反射/透射“Polka-dot”分束器。



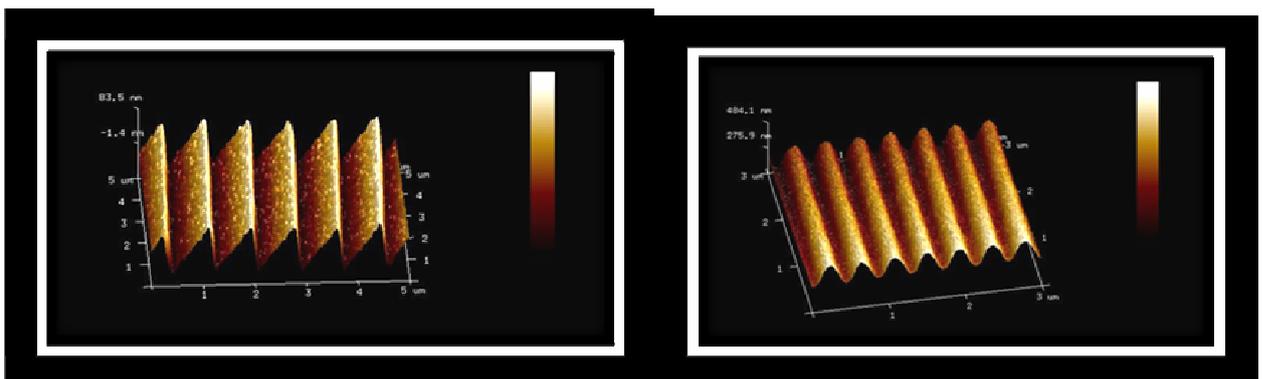
### Optometrics 增加 3D 纳米成像对衍射光栅进行优化

原子力显微镜为衍射光栅生产提供了新的优化基准

Optometrics 公司最近为其计量体系增加了扫描原子力显微镜 (AFM)，对衍射光栅优化设计中涉及的纳米测量，特性描述，操作处理技术树立了新的标杆。AFM 增强了 Optometrics 对 OEM 客户的特殊支持和服务。

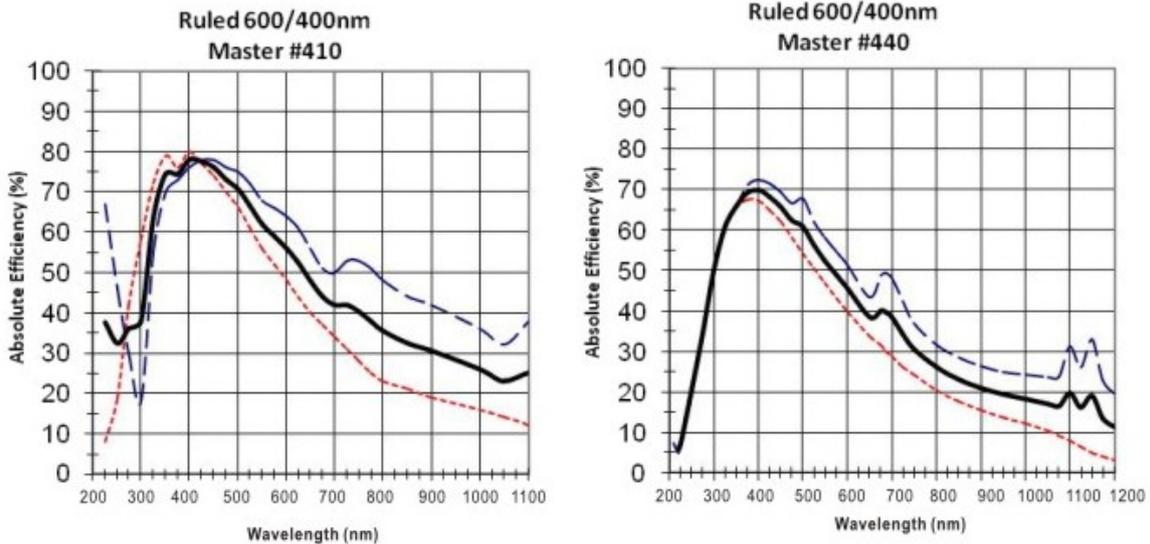
AFM 是 Optometrics 使用的几种精密制造和工程计量工具中的一种，用于了解光栅表现的缘由。在准备生产新的母光栅时，AFM 通常用于对光栅刻槽的尺寸，形状，以及角度进行确认。同时作为取证工具用于帮助发现光栅性能异常原因。

当用金刚石刀刻划或全息方法制作一个新的母光栅时，通过高分辨率成像工具检察，可以确认微观刻槽的形状和纹路是否优化和符合设计要求。下面是 Optometrics 生产的衍射光栅扫描图像。图像 1 为全息记录的 1200 刻线/mm 紫外闪耀光栅。注意由 AFM 获得并确认的高清晰槽纹剖面。图像 2 为 2180 刻线/mm 全息记录衍射光栅正弦槽纹剖面。



在众多光谱仪器设计中，衍射效率和动态范围是至关重要的参数。了解为什么一个特定的衍射光栅可能有一个小的但却是必然的性能差异，对仪器设计的成功是很重要的。

通常许多衍射光栅只是简单说明其原本的制作方式，刻线频率和闪耀波长（如市面上通常标明的每毫米 600 刻线及闪耀波长 400nm 的刻划式光栅）。但是，不是所有刻划式的 600 刻线/mm 闪耀波长 400nm 的光栅都相同。同样，用于复制光栅的“母光栅”会由于刻槽面的大小，形状或位置的异常，而导致性能的相互差异。正如下面两种不同的每毫米 600 刻线及 400nm 闪耀波长母光栅的衍射效率曲线所示，这些纳米级的差异可能在或窄或宽的光谱范围内显著影响光栅性能。



## 衍射光栅背景和技术

光栅是在镀有反射膜的基片上，由一系列等距平行刻线组成的光学器件。邻近刻线的距离以及刻线相对于基底的角度会影响光栅的色散和效率。如果入射波长远远大于刻线间距，就不会发生衍射现象。如果入射波长远远小于刻线间距，光栅刻面只能对入射光进行反射，衍射现象也不发生。

根据光栅刻线的成型方式可以将光栅分为两种基本类型，全息光栅和刻划光栅。刻线光栅由钻石刀头的刻划机在反射表面刻出而成。由激光形成干涉条纹和光刻工艺生产的光栅叫做干涉或者全息光栅。

Optometrics 公司是少有的几个既可以生产刻划光栅，也可以生产全息光栅的公司。两种光栅光学特性不同，对于特定应用各具优势。

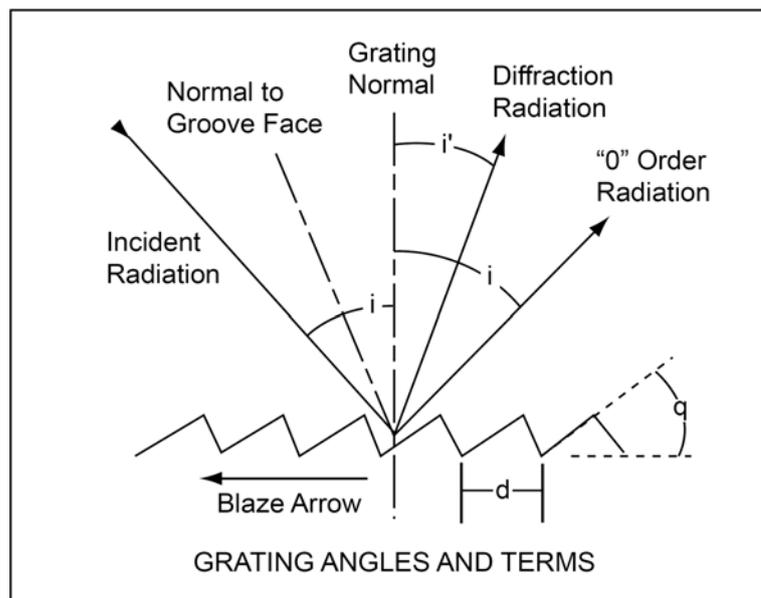
### 光栅方程

一般光栅方程表达为：

$$n\lambda = d(\sin i + \sin i')$$

$n$  为衍射级次， $\lambda$  为衍射波长， $d$  为光栅常量（相邻刻线间距）， $i$  为入射光与光栅法线夹角， $i'$  为衍射光线与光栅法线夹角。

对于特定衍射级（ $n$ ）和入射角（ $i$ ），不同波长（ $\lambda$ ）会有不同的衍射角（ $i'$ ），光栅将入射的复合光按不同波长区分开来。



### 刻划过程

制作原始或者母光栅的初始步骤是对基底材料的选择，通常为玻璃或者铜。将基底材料抛光至高平整度并对其镀一层很薄的铝膜。刻划平行度和刻线的等距需要漫长的时间进行调整，可能需要花费几天进行设置并在实际刻划之前进行测试。刻划机必须能够在每次刻划后让钻石刀头按精确路线折回，并按预定量对基底进行刻划。刻线的平行度和位移必须精确控制。对刻划要有一系列的测试，对光栅的效率，刻线外形和杂散光要进行检查。每次测试后，可能需要一个小的机械调整。为了优化刻线外形以达到特定的光学特性，可能需要一周或者更长时间进行重复测试。经过彻底测试后，才能在一块大的基板上刻划原始光栅。原始光栅非常昂贵，所以在复制光栅开发出来之前，光栅只能有限使用。

### 全息过程

类似于刻划光栅，全息光栅生产的第一步也要选择合适的基底。不同于刻划光栅镀有反射膜，全息光栅基底镀有光敏材料。将有光敏材料涂层的基板置于由激光器产生的单色光和相干光束组成的相交光束之间，使光敏材料感光。相交激光束产生一系列平行且等距的干涉条纹，条纹强度按照正弦曲线形状变化。干涉条



纹显示了光敏材料的差异。由于光敏材料的溶解度由对其照射的光强决定，干涉条纹显示了光敏材料表面不同光强。然后可以对基底镀反射膜然后与复制刻划的原始光栅相同的过程用于复制。

由于全息光栅由光学方法生产，其刻线形状以及刻线间距是完全一致的。所以，全息光栅没有周期性和随机性间隔误差，也就没有刻划光栅“鬼线”和杂散光。其结果是，全息光栅产生的杂散光远少于刻划光栅。

### 衍射效率

影响光栅效率的主要因素有：刻线形状，入射角度和膜层的反射率。

光栅的绝对效率是衍射到某衍射级入射单色光的百分比。相比之下，相对效率是衍射到某衍射级的能量与衍射到与光栅有相同膜层平面反射镜的能量对比。当对比光栅的性能曲线时，牢记这一点很重要。对于相同的光栅，相对效率曲线显示的效率往往高于绝对效率曲线。本文涉及效率曲线均为绝对效率数据。

入射角对光栅性能有影响。由于光栅结构可以有无数种，可以用一种标准几何结构用于光栅计算。这就是 Littrow(或自准直)结构。在这种准直结构中，衍射阶次和所感兴趣的波长可以沿着入射光路线直接原路返回 ( $i=i'$ )。刻划光栅的闪耀角基于该结构计算得出。这种结构对于激光调谐应用具有实用性和必要性，但是大多数应用需要在入射光束和衍射光束之间有一些偏移。除了对最大可响应波长有影响，Littrow 结构中小的偏移很少会对光栅性能有实质性的影响。除非特别说明，本文中所有性能曲线均为 Littrow 结构中的一级衍射数据。

### 闪耀角和闪耀波长

刻划光栅的刻槽为一边比另一边长的锯齿形。刻槽长边与光栅平面的夹角为闪耀角。改变闪耀角可以将衍射光指向到光谱的一个特定区域，增加光栅在该区域的效率。衍射效率最高的波长即为闪耀波长。

由于全息光栅不容易产生通常意义上的闪耀，所以全息光栅的效率通常低于刻划光栅。在某些情况下，全息光栅正弦形状的改变可以使其接近刻划光栅的效率。有些特殊情况需要注意，比如：当槽间距与波长比接近 1 时，正弦光栅的效率几乎与刻划光栅效率相同。一个 1800 刻线/mm 全息光栅在 500nm 闪耀波长和刻划光栅拥有相同的效率。另外，Optometrics 采用特殊工艺，使全息光栅可以获得闪耀波长为 250nm 的真实锯齿形效果，这种结构对于需要高效率低杂散光的紫外应用，是理想的选择。

### 分辨能力

光栅的分辨能力取决于光栅工作时的衍射阶次和入射光可辐射范围内的光栅刻线数。

它也能由光栅的宽度、刻线间隔和衍射角来体现。一个有 N 条刻线的衍射光栅的“理论分辨能力”为：

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = Nn$$

光栅的实际分辨能力取决于其刻划精度。精度能达到理论值的 80-90%，即可称为高品质刻划。

分辨能力是光栅的一个性能参数。分辨能力与分辨率不同，分辨率依赖于工作时系统的光学和机械特性。

### 系统分辨率

一个光学系统的分辨率往往取决于按瑞利判据 ( $R=\lambda / \Delta\lambda$ ) 所能测得或甄别出的最近相邻吸收和发射谱线的能力。它不仅取决于光栅的分辨能力，同时还取决于焦距、狭缝尺寸、f 数和所有元件的表面光洁度及系统的准直度。一个光学系统的分辨率通常要低于光栅的分辨能力。

### 色散

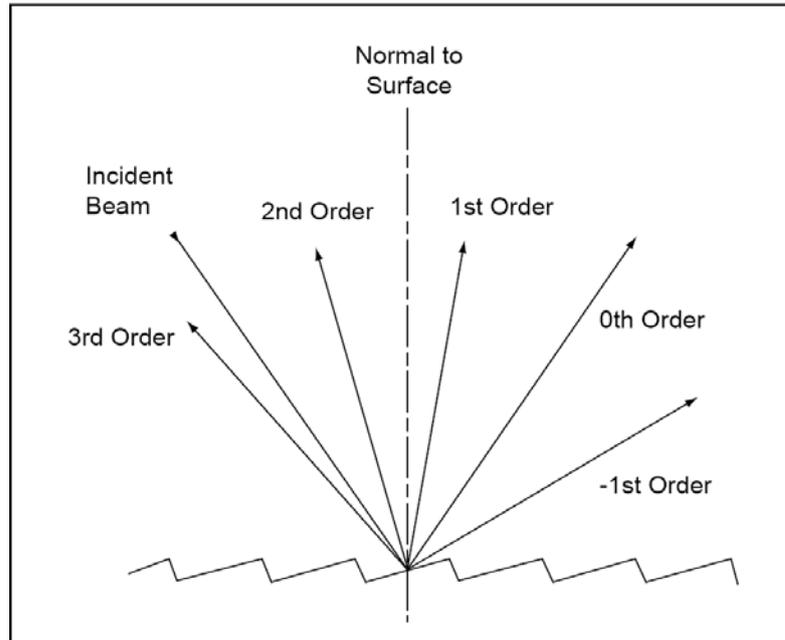
光栅的角色散由入射角与刻线间距决定。通过增大入射角或减小刻线间距，均可增大角色散。在一个紧凑的光学系统中，使用角色散大的光栅可以获得良好的分辨率。角色散为曲线  $\lambda = f(i)$  的斜率。在自准直仪中，色散方程式为：

$$\frac{d\lambda}{di} = \frac{\lambda}{2 \tan i}$$

该公式可以用来判断光栅中两个谱线分开的角度或者在给定角度的情况下的带宽。

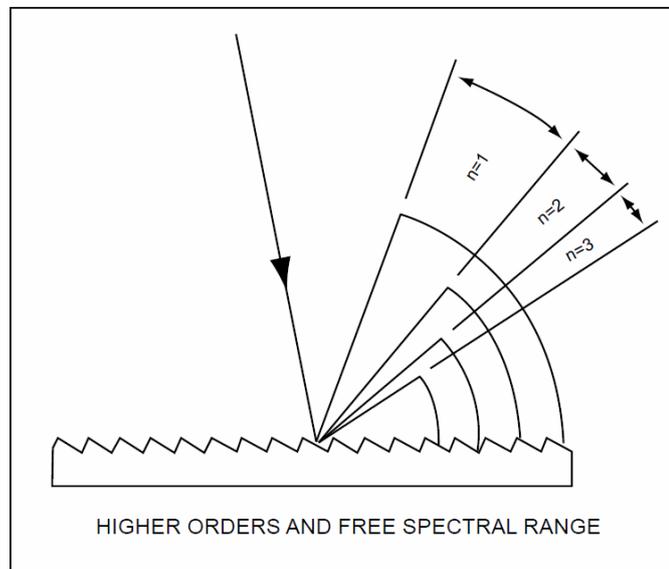
### 衍射阶次

对于给定的角度 ( $i, i'$ ) 和槽间距, 根据光栅方程, 不同的波长可以引起几种阶次衍射光。当入射光同相位整数倍延迟时相邻刻槽间的衍射会发生加强。衍射阶次的产生受限于刻槽的空间和入射角度, 很明显入射角度不可能超过 90 度。高阶次衍射会随着角色散的增加而降低。正确的使用光源、探测器和滤光片可以补偿阶次重叠, 阶次重叠并不是使用低阶光栅的主要原因。



### 自由光谱范围

自由光谱范围是在临近衍射阶次没有光谱重叠的情况, 特定的衍射阶次能够获得的最大光谱带宽。当槽间距减小的时候, 自由光谱范围就会增加。衍射阶次越高, 自由光谱范围越小。如果  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别是下限和上限, 那么自由光谱范围  $= \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_1/n$



### 鬼线和杂散光

鬼线的定义:由于槽间距的周期性误差而产生的假谱线。干涉控制的刻线机可以减少鬼线的出现,而全息过程则可以消除鬼线。

刻划光栅的杂散光源于随机误差和反射表面的不规则。而全息光栅产生的杂散光很少,这是因为全息光栅利用相干光束在感光材料上产生干涉条纹的过程不受机械不规则和不一致影响。

### 尺寸

光栅为几种规格的标准正方形和矩形,尺寸为从 12.5mm 到 50mm 的正方形。非标准的规格也可以根据要求定制。除非特别说明,小尺寸光栅由矩形光栅保持刻线平行切割而来。

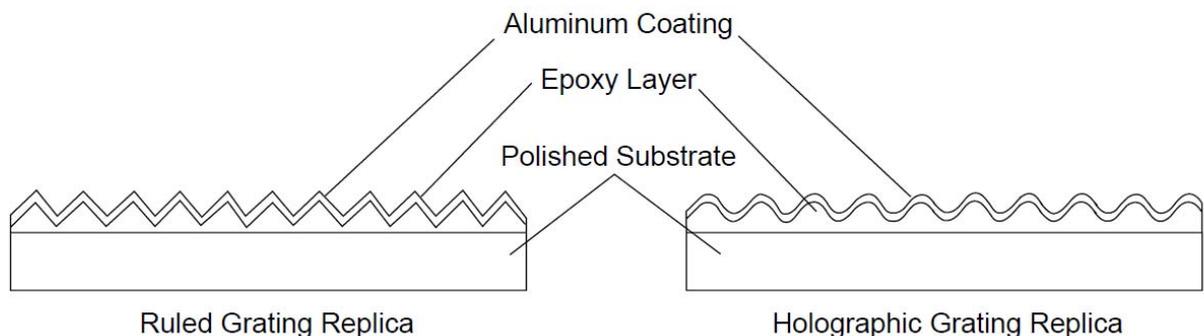
### 基底

所有类型的复制光栅都可以在浮法玻璃, Pyrex®(耐热玻璃)或者 Zerodur®(微晶玻璃)上复制。Optometrics 都对三种基底均有库存,厚度为 3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 9.5mm 和 12mm。其他材料或者厚度也可以定制。

### 复制工艺

在 19 世纪 40 年代晚期, White 和 Frazer 开发了精密的复制工艺,用一个母光栅可以大量生产复制光栅(包括刻划光栅和全息光栅)。它是一种将母光栅的三维结构传递到另一块基底上的工艺,使母光栅得以完全复制而公差极小。这种工艺使光栅得以商品化,并且使光栅在光谱仪行业得到广泛应用。

## THE REPLICATION PROCESS

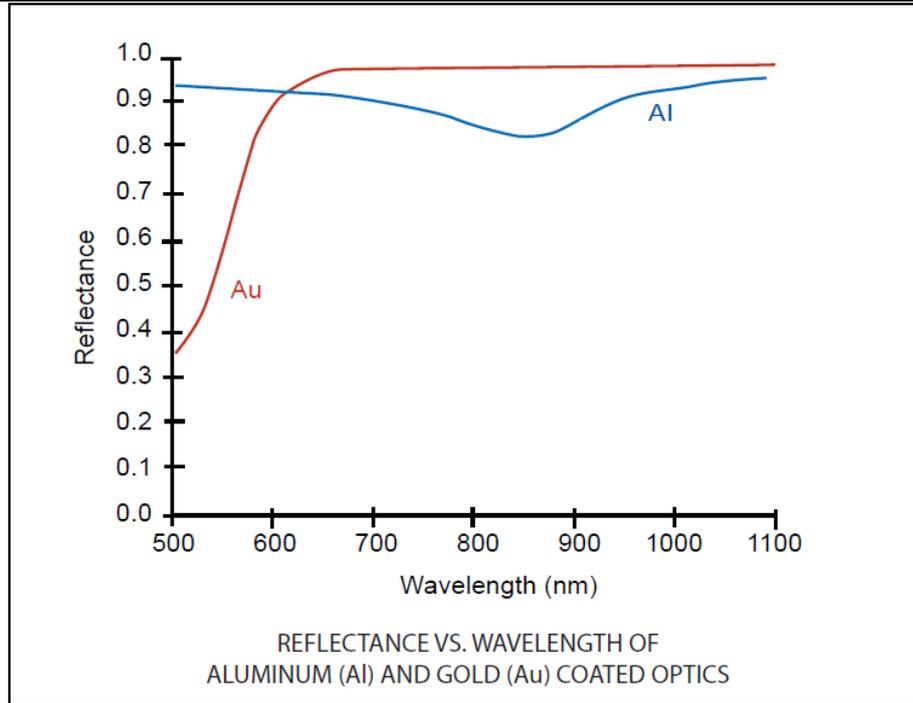


### 镀膜

用于紫外,可见和红外的光栅复制的时候采用铝膜。因为铝的抗氧化能力和对紫外光的反射率都比银更强。除了 750~900nm 反射率大约为 85%,从 200nm 到远红外的范围内,铝的反射率都超过 90%。如果在近红外波段要求最大的反射率,或者用于光纤方面的应用,铝层上会再镀金。虽然金很软,但是金的抗氧化能力很高,并且在近红外波段的反射率超过 96%,2 微米以上波段的反射率超过 98%。在 600nm 以下波段,金的反射率的大幅下降,因此,不推荐其应用在可见和紫外波段。

诸如  $\text{AlMgF}_2$  这样的介质保护涂层可以保护铝膜不被氧化,保持铝在可见和紫外波段的高反射率。如需金保护涂层和  $\text{AlMgF}_2$  介质保护层,须在订购的时候说明。

虽然金保护涂层可以提高反射率,但是任何保护涂层都会降低损坏阈值两倍以上。



### 选择光栅

选择一款标准 Optometrics 光栅需要考虑跟光栅应用相关的几个变量。

**效率：**一般来说，刻划光栅的效率高于全息光栅。例如荧光激发和其他辐射诱发的应用可以采用刻划光栅(参考两种光栅的效率对比)。从经验来看，在闪耀波长的  $2/3$  和  $3/2$  处，刻划光栅的一阶效率会下降 50%。

**闪耀波长：**刻划光栅由于其锯齿凹槽轮廓，会在其闪耀波长附近有一个相对尖锐的波峰，而全息光栅则有更为平坦的光谱响应。因此，窄波段范围为中心的应用更受益于刻线光栅在该波段的闪耀。

**波长范围：**光栅覆盖的光谱范围由其刻线间距决定。具有相同光栅常数的刻划光栅和全息光栅，其光谱范围是相同的。光栅可以衍射的最大波长等同于该光栅周期 2 倍，在入射光和衍射光与光栅法线成 90 度时可以获得最大衍射波长。

**杂散光：**对于诸如拉曼光谱这样的应用，信噪比对其至关重要。可以选择具有低杂散光优势的全息光栅。

**分辨能力：**对于具有完全相同刻线间距的全息和刻划光栅，他们的分辨能力没有差别。全息光栅的刻线密度可以达到 3600 刻线/mm，而刻划光栅的刻线密度不会超过 1200 刻线/mm。

### 一般规格

- 尺寸公差： $\pm 0.5$  mm
- 厚度公差： $\pm 0.5$  mm
- 效率：
  - 刻划：60 - 80% at 闪耀波长
  - 全息：.45 - 65% at 峰值波长
  - 有效孔径：90%
  - 刻线与边缘平行度： $\pm 0.5^\circ$

### 工作温度范围

- 标准反射光栅： $-50^\circ$  C to  $+125^\circ$  C
- 标准透射光栅： $-50^\circ$  C to  $+125^\circ$  C



- UTF-CW 光栅：-50° C to +200° C
- ML 光栅：-50° C to +200° C

#### 触摸光栅

标准光栅表面镀有铝膜或金膜，触摸时需要极度小心。只允许触摸其边缘。指纹和各种气雾会对光栅镀膜造成损坏。微小的划痕或者表面瑕疵通常不会影响其光学性能。如需对光栅进行清洁，请首先进行咨询。

#### 矩形/刻线方向

除非另有说明，小尺寸光栅由矩形光栅沿与刻槽平行的线切割获得。

#### 损伤阈值

任何标准 Optometrics 光栅可以为 P 型或者 CW 型结构，或者更高的损伤阈值性能。

**损伤阈值：**( 镀有覆膜的光栅没有最低限度损伤阈值 )

#### 标准复制光栅：

脉冲：350 mJ/cm<sup>2</sup> @ 200 n sec.

CW：40 watts/cm<sup>2</sup>

#### P 型复制光栅：(脉冲)

脉冲：3.5J/cm<sup>2</sup> @ 200 n sec.

CW：80 watts/cm<sup>2</sup>

#### CW 型复制光栅 (用于连续高功率应用)

脉冲：3.5J/cm<sup>2</sup> @ 200 n sec.

CW：250 watts/cm<sup>2</sup>

#### 镀膜

金覆膜 (AU-3)

氟化铝美 (ALMG-3)

注意：虽然镀金覆膜可以提升反射率，但任何镀膜都可能导致损伤阈值减半或者更多。



## 刻划和全息光栅

标准复制光栅由原始刻划和全息光栅复制获得，主要用于要求中等分辨率，低成本，高效率，低杂散光的光栅光度计，光谱仪以及单色仪。由于标准光栅由较大的复制光栅切割而成，所以其整个表面均有刻线。但是对入射光的响应局限于 90%的刻划面。

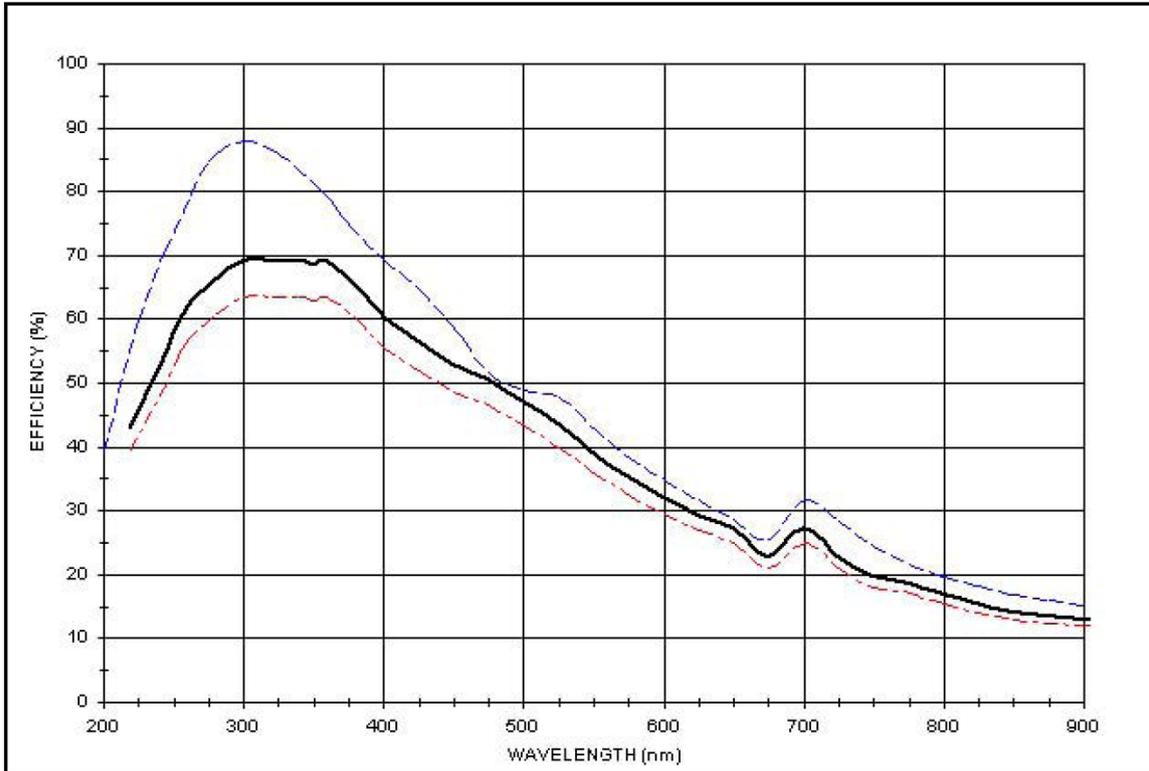
标准系列复制刻划光栅

GROOVES /MM	BLAZE λ (nm)	BLAZE ANGLE	DISPERSION (nm/mr)	12.7 x 12.7 x 6	25 x 25 x 6	25 x 25 x 9.5	30 x 30 x 9.5	50 x 50 x 9.5	12.5 x 25 x 6	12.5 x 25 x 9.5	25 x 50 x 9.5
120	12000	46° 3'	5.78	3-4112	3-8112	3-2112	3-3112	3-5112	3-6112	3-1112	3-7112
150	500	2° 8'	6.66	3-4155	3-8155	3-2155	3-3155	3-5155	3-6155	3-1155	3-7155
300	300	2° 34'	3.33	3-4330	3-8330	3-2330	3-3330	3-5330	3-6330	3-1330	3-7330
300	1000	8° 36'	3.30	3-4310	3-8310	3-2310	3-3310	3-5310	3-6310	3-1310	3-7310
300	2000	17° 27'	3.18	3-4320	3-8320	3-2320	3-3320	3-5320	3-6320	3-1320	3-7320
300	4000	36° 52'	2.67	3-4340	3-8340	3-2340	3-3340	3-5340	3-6340	3-1340	3-7340
600	300	5° 9'	1.66	3-4630	3-8630	3-2630	3-3630	3-5630	3-6630	3-1630	3-7630
600	400	6° 53'	1.66	3-4640	3-8640	3-2640	3-3640	3-5640	3-6640	3-1640	3-7640
600	500	8° 37'	1.65	3-4650	3-8650	3-2650	3-3650	3-5650	3-6650	3-1650	3-7650
600	750	13° 0'	1.62	3-4675	3-8675	3-2675	3-3675	3-5675	3-6675	3-1675	3-7675
600	1000	17° 27'	1.59	3-4610	3-8610	3-2610	3-3610	3-5610	3-6610	3-1610	3-7610
600	1250	22° 1'	1.55	3-4612	3-8612	3-2612	3-3612	3-5612	3-6612	3-1612	3-7612
600	1600	28° 41'	1.46	3-4616	3-8616	3-2616	3-3616	3-5616	3-6616	3-1616	3-7616
830	800	19° 23'	1.14	3-4880	3-8880	3-2880	3-3880	3-5880	3-6880	3-1880	3-7880
830	1200	29° 52'	1.05	3-4812	3-8812	3-2812	3-3812	3-5812	3-6812	3-1812	3-7812
900	500	13° 0'	1.08	3-4712	3-8712	3-2712	3-3712	3-5712	3-6712	3-1712	3-7712
1200	250	8° 37'	0.82	3-4125	3-8125	3-2125	3-3125	3-5125	3-6125	3-1125	3-7125
1200	300	10° 22'	0.82	3-4130	3-8130	3-2130	3-3130	3-5130	3-6130	3-1130	3-7130
1200	400	13° 53'	0.81	3-4140	3-8140	3-2140	3-3140	3-5140	3-6140	3-1140	3-7140
1200	500	17° 27'	0.80	3-4150	3-8150	3-2150	3-3150	3-5150	3-6150	3-1150	3-7150
1200	750	26° 44'	0.74	3-4175	3-8175	3-2175	3-3175	3-5175	3-6175	3-1175	3-7175
1200	1000	36° 52'	0.67	3-4110	3-8110	3-2110	3-3110	3-5110	3-6110	3-1110	3-7110
1800	240	12° 29'	0.54	3-4162	3-8162	3-2162	3-3162	3-5162	3-6162	3-1162	3-7162
1800	500	26° 44'	0.50	3-4185	3-8185	3-2185	3-3185	3-5185	3-6185	3-1185	3-7185

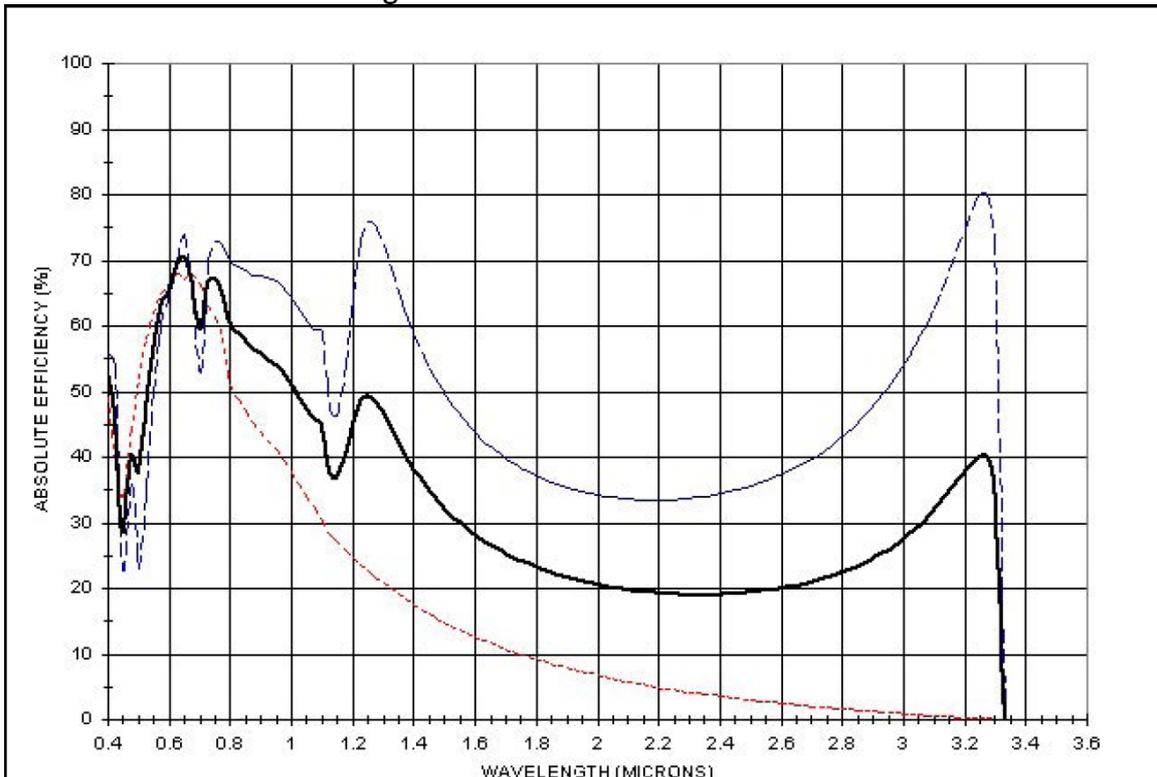
标准系列复制全息光栅

GROOVES /MM	OPTIMUM EFFICIENCY	DISPERSION (nm/mr)	12.7 x 12.7 x 6	25 x 25 x 6	25 x 25 x 9.5	30 x 30 x 9.5	50 x 50 x 9.5	12.5 x 25 x 6	12.5 x 25 x 9.5	25 x 50 x 9.5
600	UV	1.67 @ 250 NM	3-4021	3-8021	3-2021	3-3021	3-5021	3-6021	3-1021	3-7021
1000	UV	0.99 @ 250 NM	3-4061	3-8061	3-2061	3-3061	3-5061	3-6061	3-1061	3-7061
1200	UV	0.82 @ 250 NM	3-4121	3-8121	3-2121	3-3121	3-5121	3-6121	3-1121	3-7121
1200	VIS	0.79 @ 500 NM	3-4122	3-8122	3-2122	3-3122	3-5122	3-6122	3-1122	3-7122
1800	UV	0.54 @ 250 NM	3-4181	3-8181	3-2181	3-3181	3-5181	3-6181	3-1181	3-7181
1800	VIS	0.50 @ 500 NM	3-4182	3-8182	3-2182	3-3182	3-5182	3-6182	3-1182	3-7182
2400	UV	0.40 @ 250 NM	3-4241	3-8241	3-2241	3-3241	3-5241	3-6241	3-1241	3-7241
2400	VIS	0.33 @ 500 NM	3-4242	3-8242	3-2242	3-3242	3-5242	3-6242	3-1242	3-7252
3600	UV	0.25 @ 250 NM	3-4361	3-8361	3-2361	3-3361	3-5361	3-6361	3-1361	3-7361

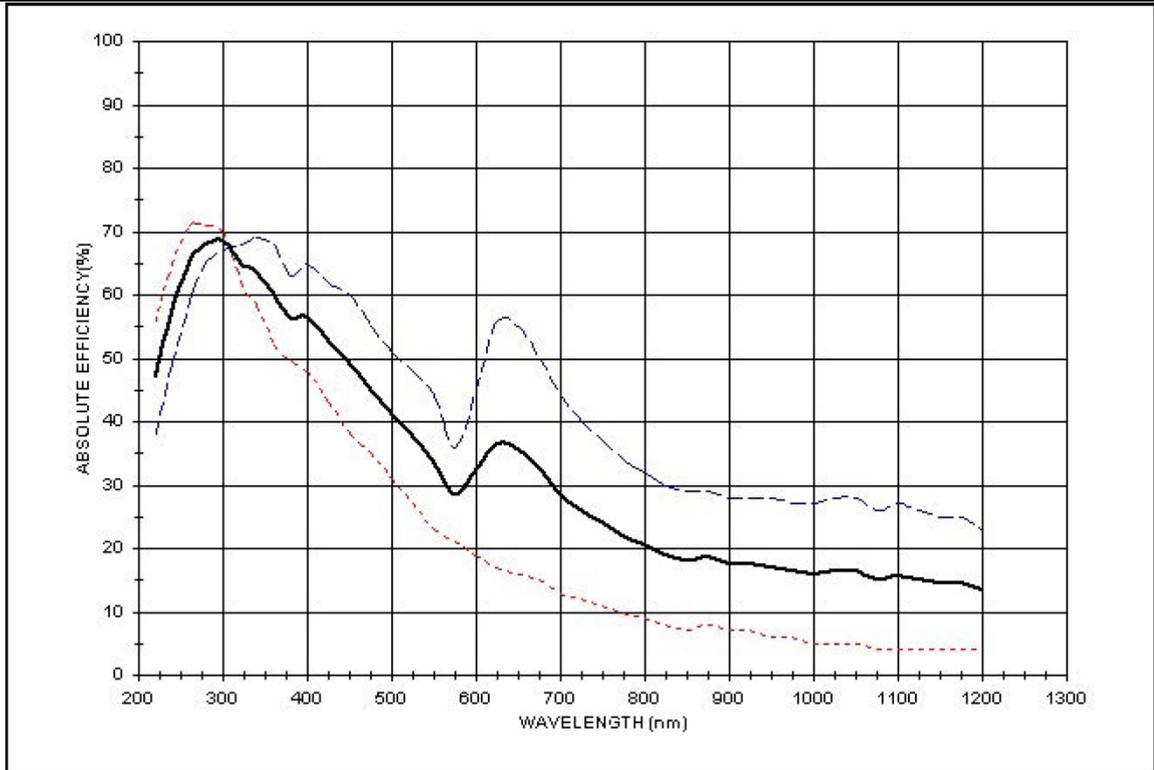
刻划光栅典型效率曲线



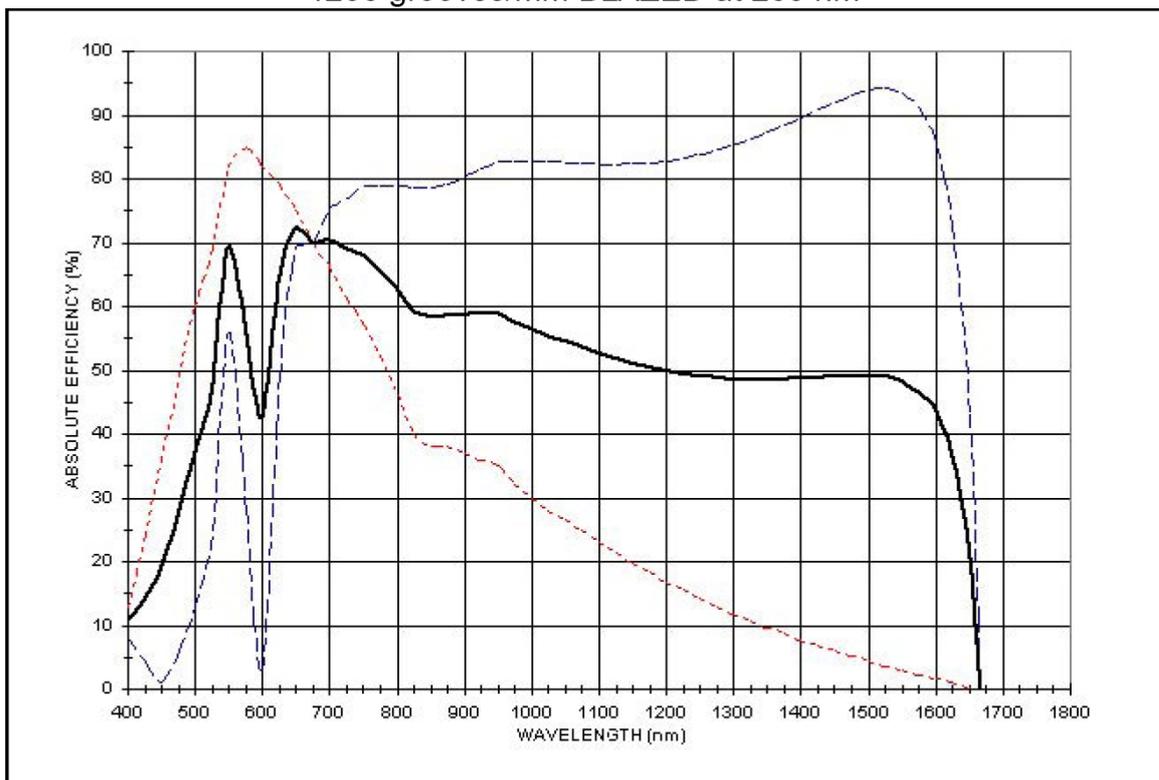
600 grooves/mm BLAZED at 300 nm



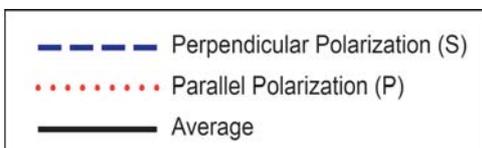
600 grooves/mm BLAZED at 750 nm



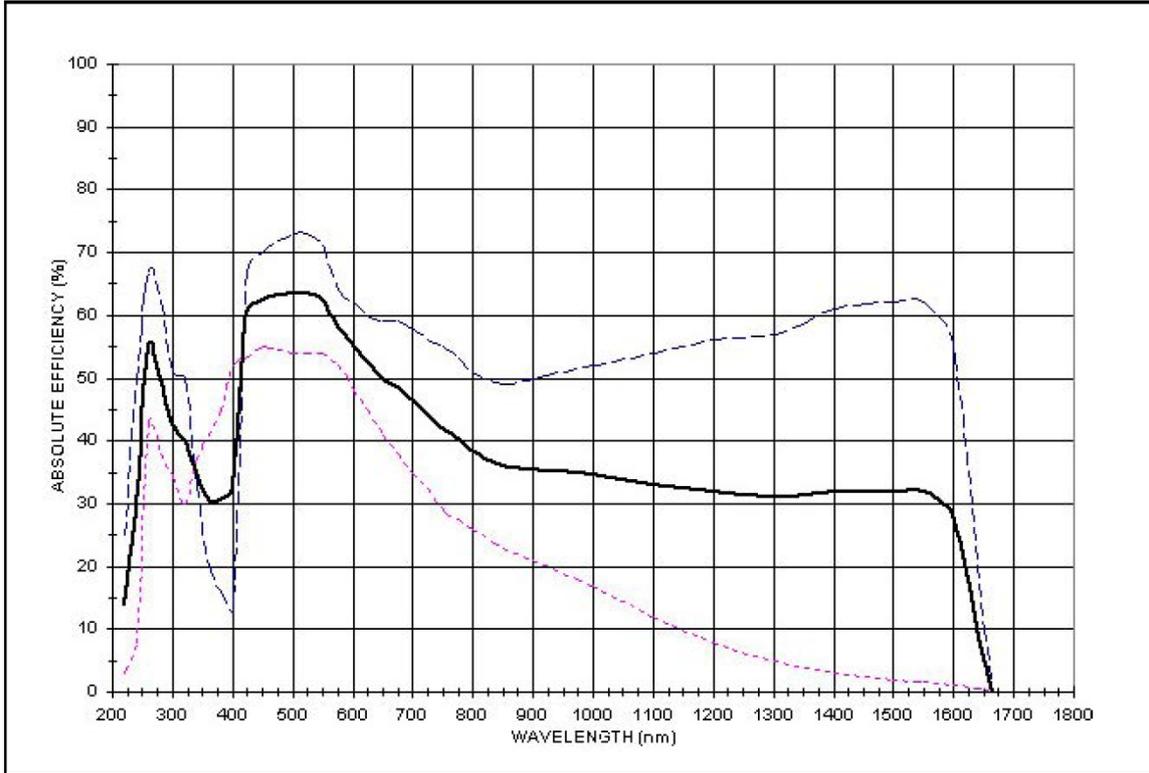
1200 grooves/mm BLAZED at 250 nm



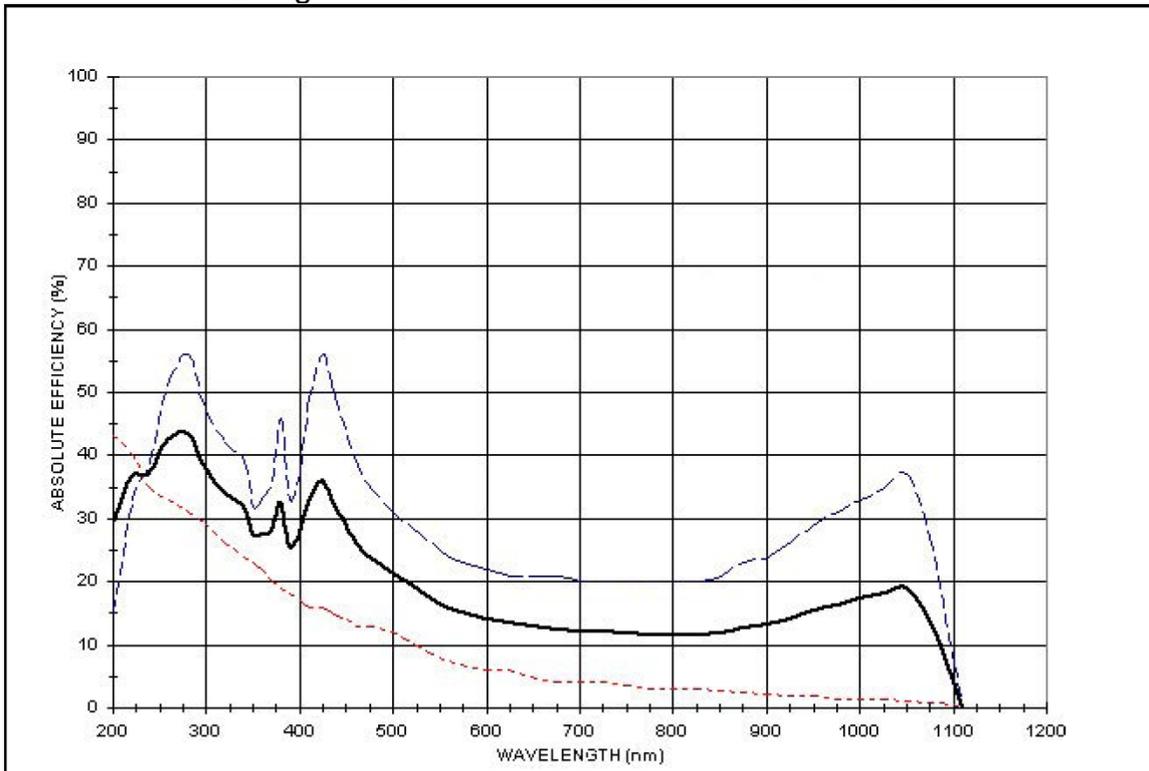
1200 grooves/mm BLAZED at 750 nm



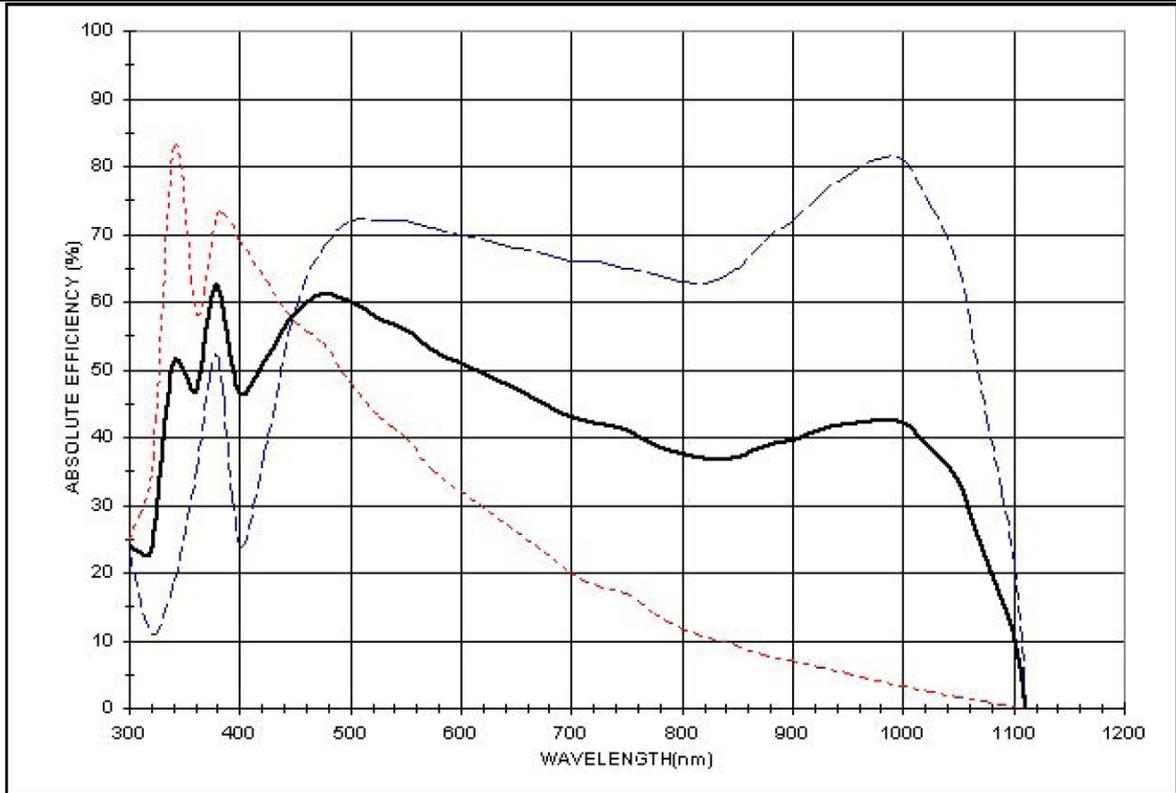
全息光栅典型效率曲线



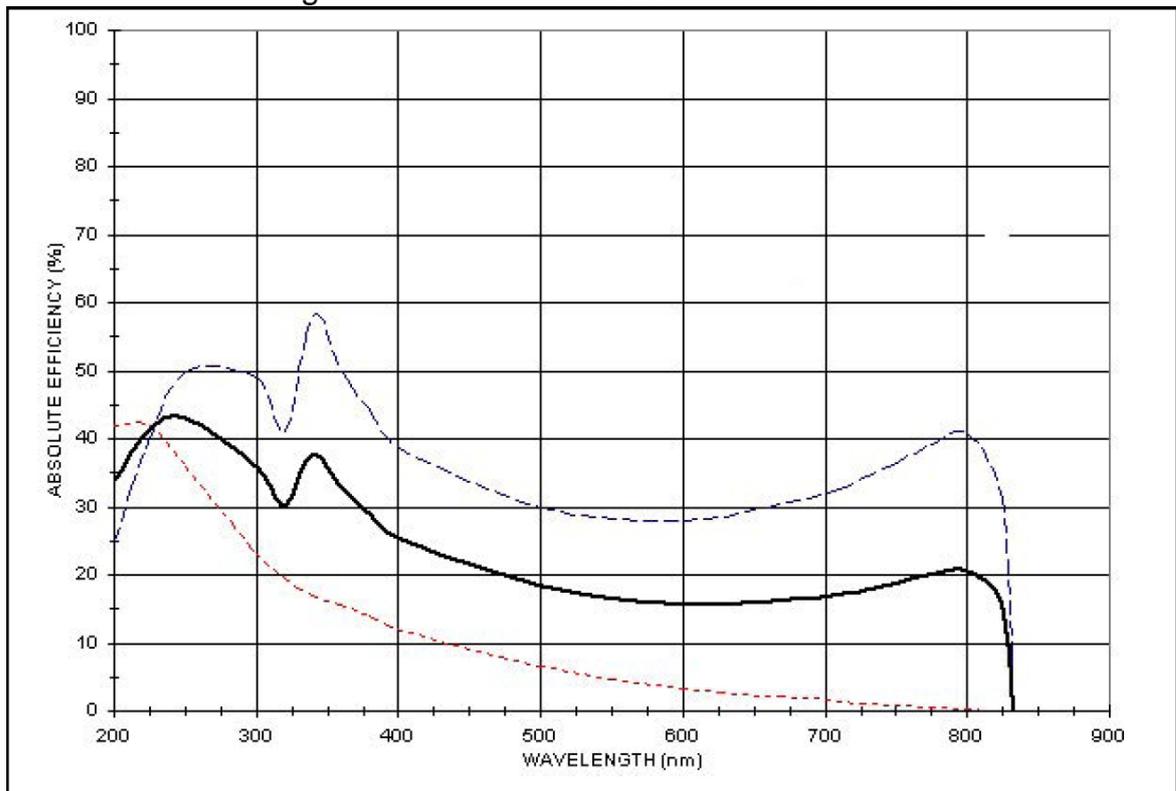
1200 grooves/mm OPTIMIZED FOR THE VISIBLE



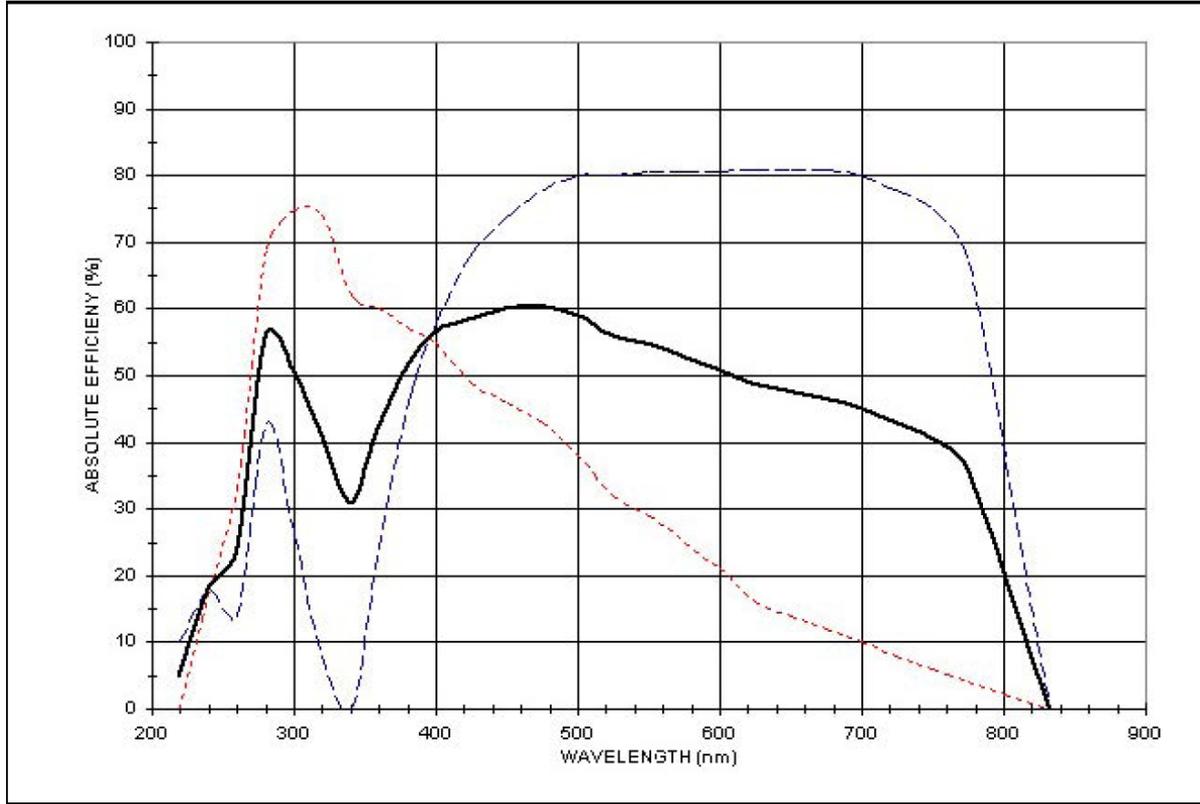
1800 grooves/mm OPTIMIZED FOR THE UV



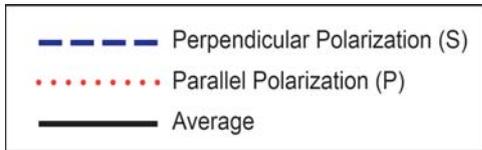
1800 grooves/mm OPTIMIZED FOR THE VISIBLE



2400 grooves/mm OPTIMIZED FOR THE UV



2400 grooves/mm OPTIMIZED FOR THE VISIBLE





## 高分辨率光栅和阶梯光栅

### 高分辨率刻划光栅

在 Pyrex®上对母光栅进行复制, 可以使复制光栅的平面度达到  $\lambda/4$  甚至更好, 获得良好的热稳定性, 以及达到母光栅 80-90%的分辨率。高分辨率光栅的刻线密度可以从 120-1800g/mm, 闪耀波长从 240nm-12.0 $\mu$ 。如果需要更好的热稳定性, 可以考虑在 Zerodur®上进行复制。

### 高分辨率刻划光栅

GROOVES /MM	BLAZE $\lambda$ (nm)	BLAZE ANGLE	DISPERSION (nm/mr)	12.7 x 12.7 x 6	25 x 25 x 6	25 x 25 x 9.5	30 x 30 x 9.5	50 x 50 x 9.5	12.5 x 25 x 6	12.5 x 25 x 9.5	25 x 50 x 9.5
120	12000	46° 3'	5.78	3-4219	3-8219	3-2219	3-3219	3-5219	3-6219	3-1219	3-7219
150	500	2° 8'	6.66	3-4559	3-8559	3-2559	3-3559	3-5559	3-6559	3-1559	3-7559
300	300	2° 34'	3.33	3-4339	3-8339	3-2339	3-3339	3-5339	3-6339	3-1339	3-7339
300	1000	8° 36'	3.30	3-4229	3-8229	3-2229	3-3229	3-5229	3-6229	3-1229	3-7229
300	2000	17° 27'	3.18	3-4329	3-8329	3-2329	3-3329	3-5329	3-6329	3-1329	3-7329
300	4000	36° 52'	2.67	3-4349	3-8349	3-2349	3-3349	3-5349	3-6349	3-1349	3-7349
600	300	5° 9'	1.66	3-4639	3-8639	3-2639	3-3639	3-5639	3-6639	3-1639	3-7639
600	400	6° 53'	1.66	3-4649	3-8649	3-2649	3-3649	3-5649	3-6649	3-1649	3-7649
600	500	8° 37'	1.65	3-4659	3-8659	3-2659	3-3659	3-5659	3-6659	3-1659	3-7659
600	750	13° 0'	1.62	3-4679	3-8679	3-2679	3-3679	3-5679	3-6679	3-1679	3-7679
600	1000	17° 27'	1.59	3-4619	3-8619	3-2619	3-3619	3-5619	3-6619	3-1619	3-7619
600	1250	22° 1'	1.55	3-4609	3-8609	3-2609	3-3609	3-5609	3-6609	3-1609	3-7609
600	1600	28° 41'	1.46	3-4669	3-8669	3-2669	3-3669	3-5669	3-6669	3-1669	3-7669
830	800	19° 23'	1.14	3-4889	3-8889	3-2889	3-3889	3-5889	3-6889	3-1889	3-7889
830	1200	29° 52'	1.05	3-4819	3-8819	3-2819	3-3819	3-5819	3-6819	3-1819	3-7819
900	500	13° 0'	1.08	3-4719	3-8719	3-2719	3-3719	3-5719	3-6719	3-1719	3-7719
1200	250	8° 37'	0.82	3-4129	3-8129	3-2129	3-3129	3-5129	3-6129	3-1129	3-7129
1200	300	10° 22'	0.82	3-4139	3-8139	3-2139	3-3139	3-5139	3-6139	3-1139	3-7139
1200	400	13° 53'	0.81	3-4149	3-8149	3-2149	3-3149	3-5149	3-6149	3-1149	3-7149
1200	500	17° 27'	0.80	3-4159	3-8159	3-2159	3-3159	3-5159	3-6159	3-1159	3-7159
1200	750	26° 44'	0.74	3-4179	3-8179	3-2179	3-3179	3-5179	3-6179	3-1179	3-7179
1200	1000	36° 52'	0.67	3-4119	3-8119	3-2119	3-3119	3-5119	3-6119	3-1119	3-7119
1800	240	12° 29'	0.54	3-4169	3-8169	3-2169	3-3169	3-5169	3-6169	3-1169	3-7169
1800	500	26° 44'	0.50	3-4189	3-8189	3-2189	3-3189	3-5189	3-6189	3-1189	3-7189

### 高分辨率全息光栅

GROOVES /MM	OPTIMUM EFFICIENCY	DISPERSION (nm/mr)	12.7 x 12.7 x 6	25 x 25 x 6	25 x 25 x 9.5	30 x 30 x 9.5	50 x 50 x 9.5	12.5 x 25 x 6	12.5 x 25 x 9.5	25 x 50 x 9.5
600	UV	1.67 @ 250 NM	3-4027	3-8027	3-2027	3-3027	3-5027	3-6027	3-1027	3-7027
1000	UV	0.99 @ 250 NM	3-4067	3-8067	3-2067	3-3067	3-5067	3-6067	3-1067	3-7067
1200	UV	0.82 @ 250 NM	3-4127	3-8127	3-2127	3-3127	3-5127	3-6127	3-1127	3-7127
1200	VIS	0.79 @ 500 NM	3-4128	3-8128	3-2128	3-3128	3-5128	3-6128	3-1128	3-7128
1800	UV	0.54 @ 250 NM	3-4187	3-8187	3-2187	3-3187	3-5187	3-6187	3-1187	3-7187
1800	VIS	0.50 @ 500 NM	3-4188	3-8188	3-2188	3-3188	3-5188	3-6188	3-1188	3-7188
2400	UV	0.40 @ 250 NM	3-4247	3-8247	3-2247	3-3247	3-5247	3-6247	3-1247	3-7247
2400	VIS	0.33 @ 500 NM	3-4248	3-8248	3-2248	3-3248	3-5248	3-6248	3-1248	3-7258
3600	UV	0.25 @ 250 NM	3-4367	3-8367	3-2367	3-3367	3-5367	3-6367	3-1367	3-7367



## TF 和 UTF 系列光栅

复制光栅特有的加工工艺使其可以承受较高的入射能量。对 CW 激光的损伤阈值可以达到 250 watts/cm<sup>2</sup>。

### TF 和 UTF 系列光栅

GROOVES PER MM	BLAZE ANGLE	BLAZE $\lambda$ (nm)	DISPERSION (nm/mr) @ 500 nm	12.7 x 12.7 x 6	25 x 25 x 9.5	30 x 30 x 9.5	50 x 50 x 9.5
<b>TF SERIES</b>							
1200	10° 22'	300	0.82	3-4131	3-2131	3-3131	3-5131
1200	17° 26'	500	0.79	3-4151	3-2151	3-3151	3-5151
1200	26° 45'	750	0.74	3-4171	3-2171	3-3171	3-5171
1200	36° 52'	1000	0.67	3-4111	3-2111	3-3111	3-5111
1800	26° 45'	500	0.50	3-4851	3-2851	3-3851	3-5851
<b>UTF-P SERIES (Pulsed)</b>							
1200	10° 22'	300	0.82	3-4133	3-2133	3-3133	3-5133
1200	17° 26'	500	0.79	3-4153	3-2153	3-3153	3-5153
1200	26° 45'	750	0.74	3-4173	3-2173	3-3173	3-5173
1200	36° 52'	1000	0.67	3-4113	3-2113	3-3113	3-5113
1800	26° 45'	500	0.50	3-4853	3-2853	3-3853	3-5853
<b>UTF-CW SERIES (Continuous)</b>							
1200	10° 22'	300	0.82	3-4134	3-2134	3-3134	3-5134
1200	17° 26'	500	0.79	3-4154	3-2154	3-3154	3-5154
1200	26° 45'	750	0.74	3-4174	3-2174	3-3174	3-5174
1200	36° 52'	1000	0.67	3-4114	3-2114	3-3114	3-5114
1800	26° 45'	500	0.50	3-4854	3-2854	3-3854	3-5854

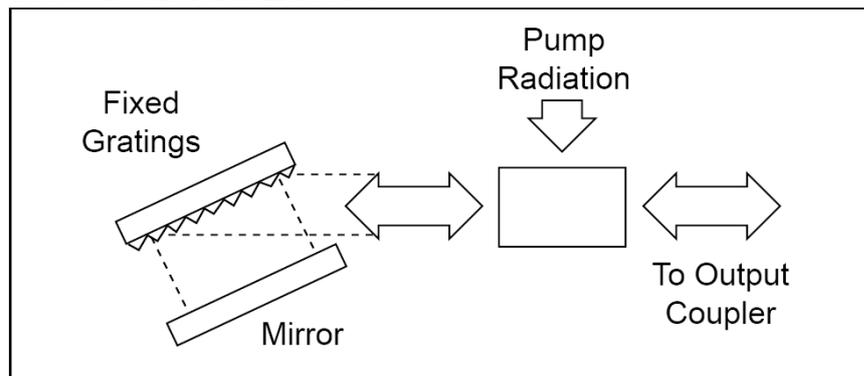
### TF 和 UTF 系列光栅-阶梯光栅

GROOVES PER MM	BLAZE ANGLE	BLAZE $\lambda$ (nm)	DISPERSION (nm/mr) @ 500 nm	12.5 x 25 x 6	12.5 x 25 x 9.5	12.5 x 50 x 9.5	25 x 50 x 9.5
<b>TF Series</b>							
31.6	63°	Echelle	14.37	3-6311	3-1311	3-9311	3-7311
316	63°	Echelle	1.44	3-6362	3-1362	3-9362	3-7362
79	75°	Echelle	3.28	3-6771	3-1771	3-9771	3-7771
79	63°	Echelle	5.75	3-6731	3-1731	3-9731	3-7731
<b>UTF-P (Pulsed)</b>							
31.6	63°	Echelle	14.37	3-6313	3-1313	3-9313	3-7313
316	63°	Echelle	1.44	3-6363	3-1363	3-9363	3-7363
79	75°	Echelle	3.28	3-6773	3-1773	3-9773	3-7773
79	63°	Echelle	5.75	3-6733	3-1733	3-9733	3-7733
<b>UTF-CW (Continuous)</b>							
31.6	63°	Echelle	14.37	3-6314	3-1314	3-9314	3-7314
316	63°	Echelle	1.44	3-6364	3-1364	3-9364	3-7364
79	75°	Echelle	3.28	3-6774	3-1774	3-9774	3-7774
79	63°	Echelle	5.75	3-6734	3-1731	3-9734	3-7734

## 掠入射光栅

如《应用光学》杂志 (1978 年 7 月, p.2224) 所述, 掠入射是一种简单廉价的光学结构, 可用于调谐和增加染料激光器的分辨率。全息光栅起到染料激光器腔内末端反射镜的作用, 使激光以几乎垂直于光栅法线方向照射。由于入射角度接近 89 度, 激光光束可以覆盖光栅大部分表面, 从而显著增加角色散和分辨率。

用于掠入射的最佳光栅和反射镜尺寸为 12.7mm x 50.8mm, 同时使花费到光学元件费用最小。光栅是固定的, 调谐由反射镜转动完成。激光束在掠入射光栅中衍射两次, 从而双倍提升分辨率。掠入射结构的低光栅效率特点由所用染料激光器的高增益进行补偿。



掠入射结构

### 一般规格：

- 光栅 (复制全息):
  - 刻线/mm : 1200,1800,2400,或 3600
  - 尺寸公差 :  $\pm 0.5$  mm
  - 厚度 :  $9.5$  mm  $\pm 0.5$  mm
  - 有效孔径 :  $10.0 \times 46.0$  mm
  - 分辨率 : 80% - 90% (理论值)
  - 掠入射效率 :
    - 单通 : 约 24%
    - 双通 : 约 4%
- 反射镜 :
  - 镀膜 : 铝
  - 厚度 :  $9.5$  mm  $\pm 0.5$  mm

### 掠入射光栅和反射镜

REPLICATED HOLOGRAPHIC GRATING (12.7 x 50.8 mm)				
GROOVES/MM	1200	1800	2400	3600
BLAZE (nm)	Vis	Vis	Vis	UV
	CATALOG NO.	CATALOG NO.	CATALOG NO.	CATALOG NO.
NORMAL (TF)	5-2401	5-2402	5-2403	5-2404
UTF-P (pulsed)	5-2406	5-2407	5-2408	5-2409
UTF-CW (Continuous)	5-2410	5-2411	5-2412	5-2413
MIRROR: Used in conjunction with grazing incidence gratings (above) for double pass high resolution tuning of dye lasers.				
12.7 x 50.8 mm	5-2405			

## 分子激光器 ( ML ) 光栅

ML 光栅为原始刻划光栅或者复制光栅，通常用作调谐分子激光器的末端反射镜。

通过围绕一个与光栅刻线平行的轴旋转 Littrow 结构的光栅，可以调谐得到分子激光器和染料激光器的输出波长。光栅计算公式：

$$n\lambda = d(\sin i + \sin i')$$

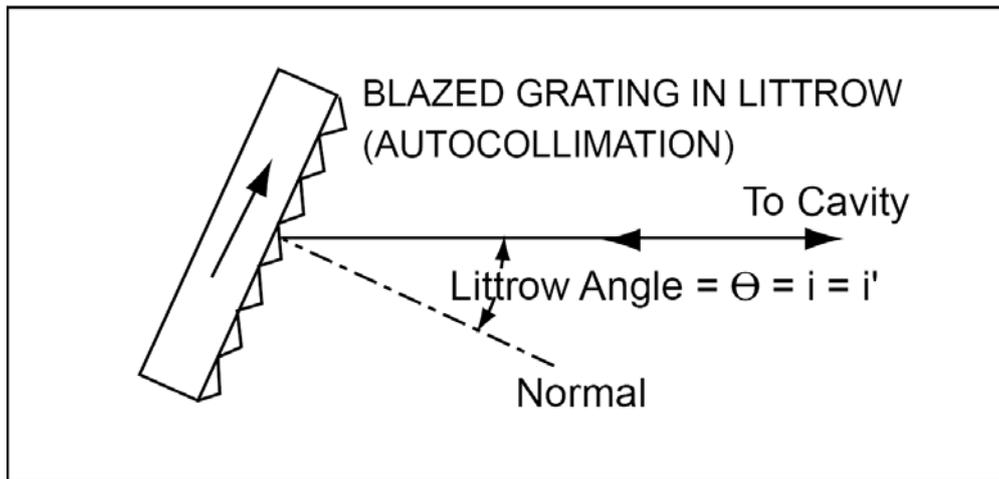
$n$  为衍射级， $\lambda$  为衍射波长， $d$  为光栅常数（连续刻线之间的间距）， $i$  为入射光与法线的夹角， $i'$  为衍射光与法线夹角，满足  $n\lambda = 2d \sin i$  即为 Littrow 结构。

通过对入射角( $i$ )的调整来选择输出波长，同时创建一个狭窄的增益曲线

### 闪耀角和准直

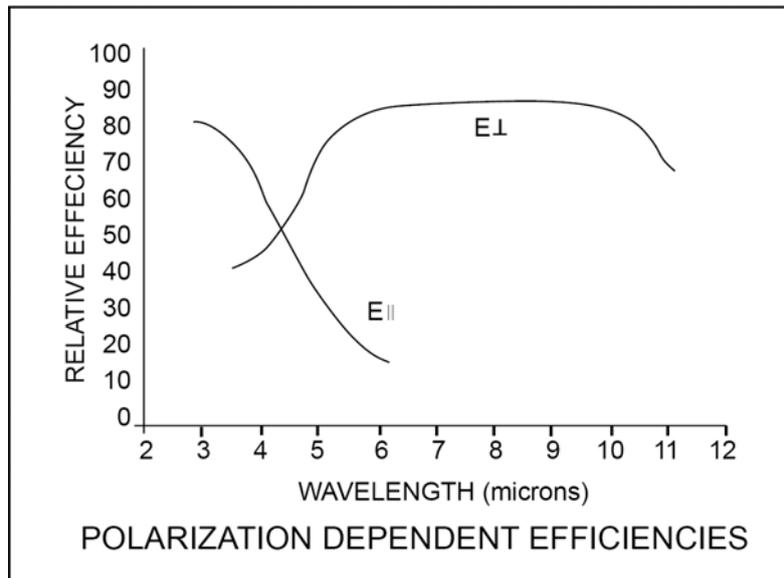
由于 ML 系列光栅被设计用于获得峰值偏振效率，因此其刻线角与光栅的 Littrow（准直）闪耀角不相等。所以，当使用 He-Ne 激光器做初始光栅准直时，最明亮的 He-Ne 衍射级与光栅的闪耀波长不对应。光栅必须与所感兴趣波长计算得出的 He-Ne 阶次相准直，而与光栅的相对强度无关。

光栅旁边和背面标注的闪耀箭头，应该按下面所示进行定向：



### 偏振

典型效率曲线表明，在任何情况下，将 E 矢量偏振（P 面）垂直于刻线（ $E \perp$ ），会在一个特定波长范围提高效率。当优化激光腔的 Q 值时，需要考虑偏振问题，特别是由辅助部件引发的偏振，如布儒斯特角窗口。





**镀膜**

ML 光栅可以镀金覆膜，在 10.6 微米波长增加约 1% 的反射率，但在高功率应用中的损伤阈值可能会降低。无最低损伤阈值要求的可以考虑镀有覆膜的光栅。

注：ML 光栅也可以是原始光栅，即直接在铝基底上刻划或者在铜制基底的金膜上刻划，从而获得高损伤阈值。推荐用于高功率激光器。

ML 光栅技术规格概要				
型号	刻线/mm	最小偏振绝对效率	最佳范围 (μ)( nm/mr )	角色散
ML-301	75	≥ 88%	9.0 - 11.0	12.3
ML-302	100	≥ 88%	9.0 - 11.0	8.5
ML-303	150	≥ 88%	9.0 - 11.0	4.2
ML-304	135	≥ 88%	9.0 - 11.0	5.2
ML-401	150	≥ 88%	5.0 - 6.0	6.1
ML-402	300	≥ 82%	5.0 - 6.0	2.0
ML-501	300	≥ 80%	2.5 - 3.0	3.0
ML-502	450	≥ 85%	2.0 - 4.0	1.6
ML-601	300	≥ 80%	2.5 - 4.0	0.35

**一般规格**

- 有效孔径：90%
- 刻线与边缘平行度：± 0.5°
- 尺寸公差：± 0.5 mm
- 厚度：
  - 原始光栅 10 mm ± 0.5 mm
  - 复制光栅 9.5 mm ± 0.5 mm
- 损伤阈值：
  - 原始光栅：
    - 连续激光：1 KW/cm<sup>2</sup>
    - 脉冲激光(100 nsec pulse)：7 J/cm<sup>2</sup>
  - 复制光栅：
    - 连续激光：250W/cm<sup>2</sup>
    - 脉冲激光(200 nsec pulse)：3.5 J/cm<sup>2</sup>



**ML 系列光栅**

ML(分子激光器)系列复制刻划光栅主要用于调谐高功率激光器的输出波长。通过定向“E”矢量偏振垂直于光栅刻线而不是非偏振平均，达到 92%-96%的高峰值效率。原始 ML 系列光栅是在铜制基底的铝镀层上直接刻划，从而获得高损伤阈值。标准的 ML 系列光栅可以获得闪耀波长(2.8 μ 至 16.0 μ ) 和刻线密度(75 g/mm 至 450 g/mm)。

**ML 复制光栅-矩形**

MODEL NO.	12.5 x 25 mm REPLICA CAT. NO.	25 x 50mm REPLICA CAT. NO.	1" x .825" REPLICA CAT. NO.
ML-301	5-3810	5-3113	5-3118
ML-302	5-3820	5-3123	5-3128
ML-303	5-3830	5-3133	5-3138
ML-304	5-3840	5-3143	5-3148
ML-401	5-4810	5-4113	5-4118
ML-402	5-4820	5-4123	5-4128
ML-501	5-5810	5-5113	5-5118
ML-502	5-5820	5-5123	5-5128
ML-601	5-6810	5-6113	5-6118

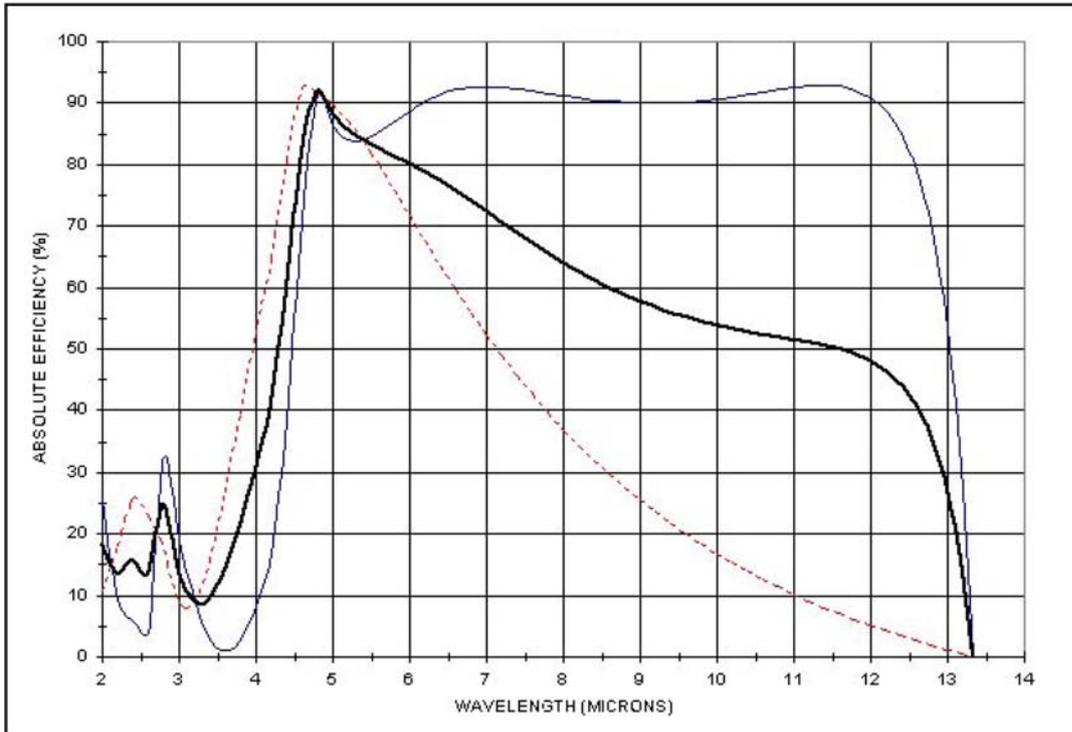
**ML 复制光栅-正方形**

MODEL NO.	25 x 25 mm REPLICA CAT. NO.	30 x 30 mm REPLICA CAT. NO.	50 x 50 mm REPLICA CAT. NO.	58 x 58 mm REPLICA CAT. NO.
ML-301	5-3112	5-3119	5-3115	5-3116
ML-302	5-3122	5-3129	5-3125	5-3126
ML-303	5-3132	5-3139	5-3135	5-3136
ML-304	5-3142	5-3149	5-3145	5-3146
ML-401	5-4112	5-4119	5-4115	5-4116
ML-402	5-4122	5-4129	5-4125	5-4126
ML-501	5-5112	5-5119	5-5115	5-5116
ML-502	5-5122	5-5129	5-5125	5-5126
ML-601	5-6112	5-6119	5-6115	5-6116

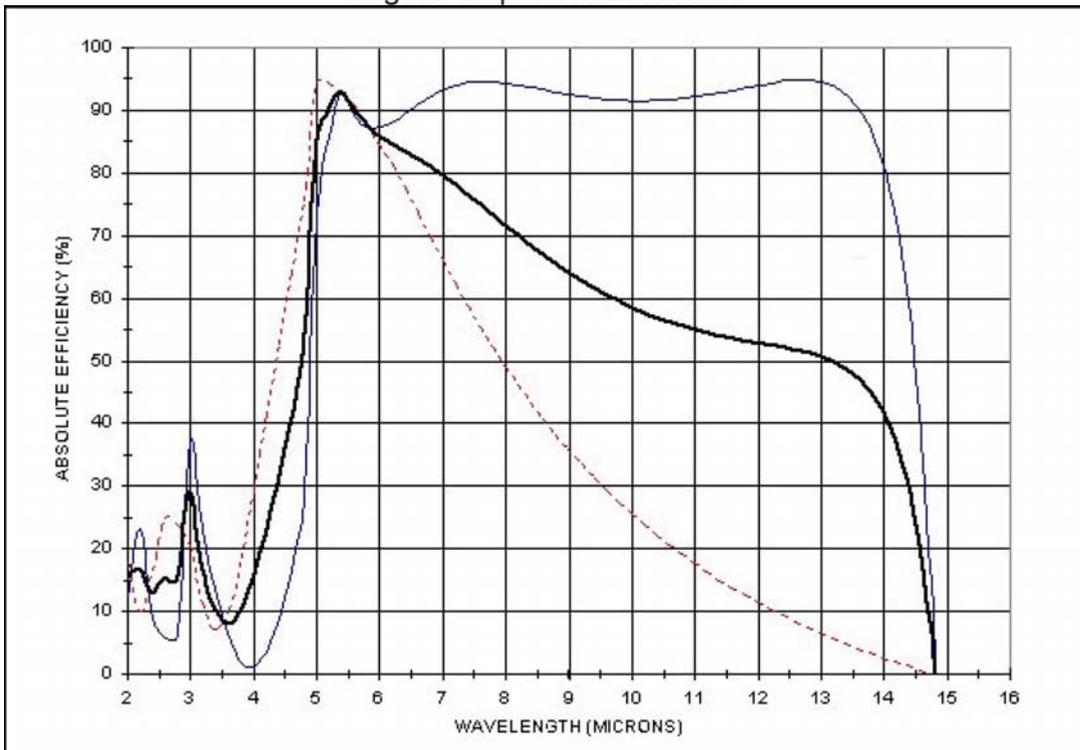
**ML 复制光栅-圆形**

MODEL NO.	25 mm DIA. REPLICA CAT. NO.	38 mm DIA. REPLICA CAT. NO.	50 mm DIA. REPLICA CAT. NO.
ML-301	5-3111	5-3117	5-3114
ML-302	5-3121	5-3127	5-3124
ML-303	5-3131	5-3137	5-3134
ML-304	5-3141	5-3147	5-3144
ML-401	5-4111	5-4117	5-4114
ML-402	5-4121	5-4127	5-4124
ML-501	5-5111	5-5117	5-5114
ML-502	5-5121	5-5127	5-5124
ML-601	5-6111	5-6117	5-6114

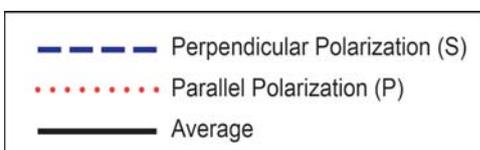
ML 光栅效率曲线



150 g/mm, blazed at 10.6  $\mu$  (E $\perp$ )  
Angular dispersion 2.0 nm/mr



135 g/mm, blazed at 10.6  $\mu$  (E $\perp$ )  
Angular dispersion 2.0 nm/mr

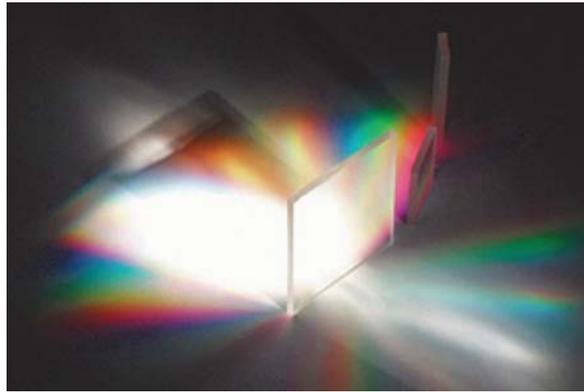


## 透射式光栅（可见光 & 近红外）

透射式光栅光路设计简单，对于使用固定式光栅的应用，透射光栅优势明显，比如光谱仪。入射光束在光栅背面以固定角度发生色散。透射光栅对一些类型的光栅准直误差不敏感。

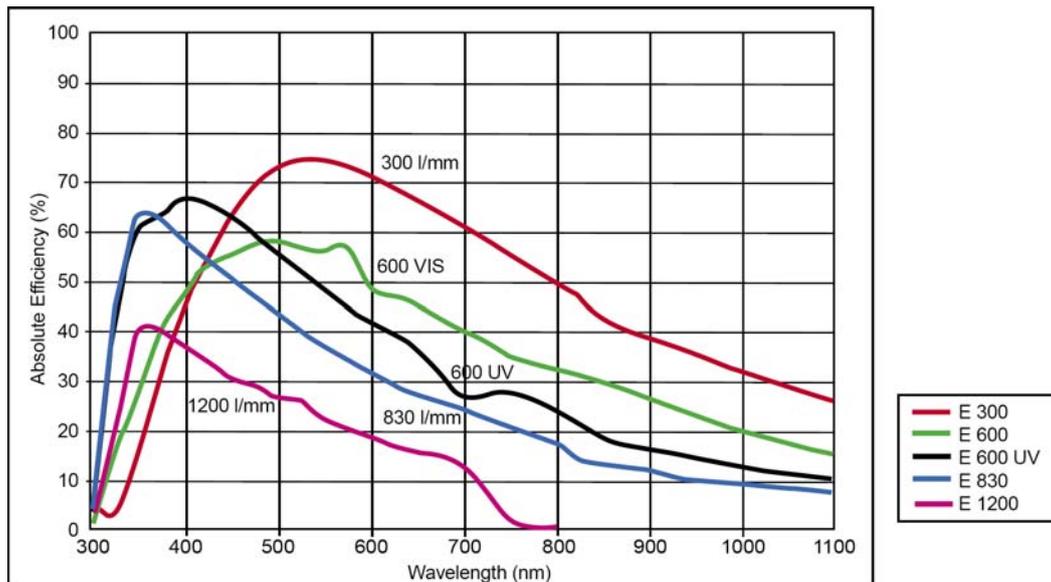
为了获得高衍射效率，透射光栅刻线密度不高。衍射角会随刻线密度的增加而增大，基底材料的折射率限制了长波的透射率，从而导致性能降低。光栅的色散特性使其适用于使用小型探测器阵列的紧凑系统。这种光栅对于偏振也不敏感。

透射光栅（可见&近红外）在可见和近红外波段具有最佳性能，提供不同程度的色散。在多数情况下，在相同的波长范围内，这些光栅的效率和反射式光栅的效率相当。

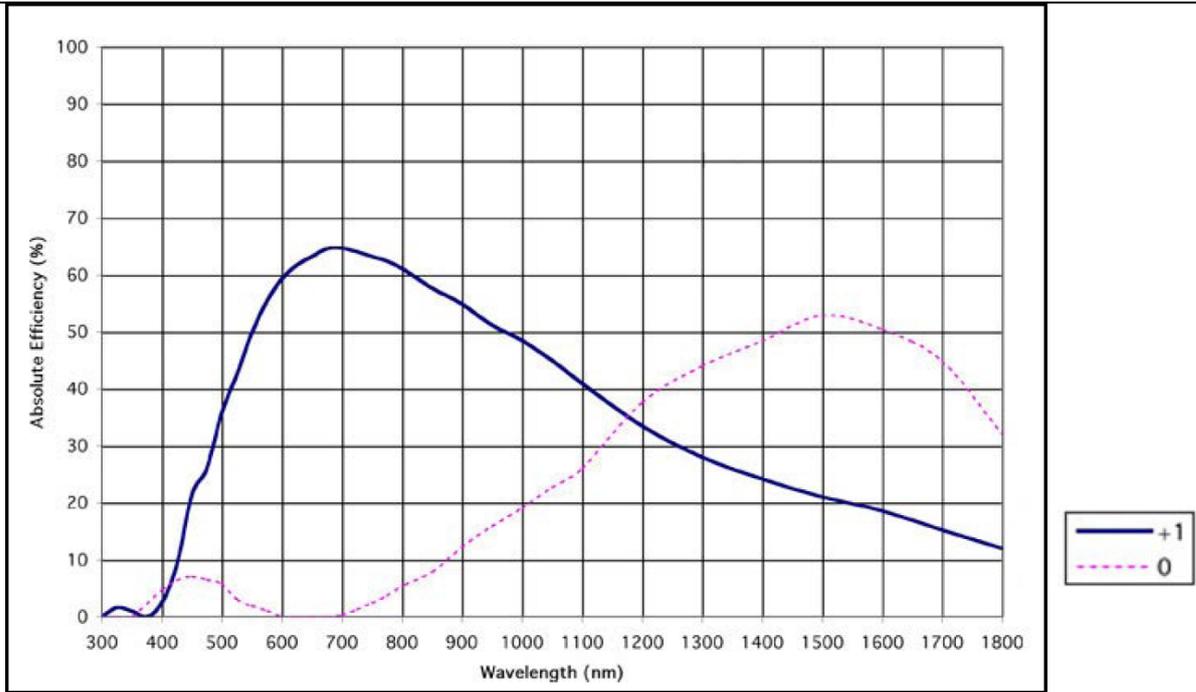


### 规格-可见&近红外

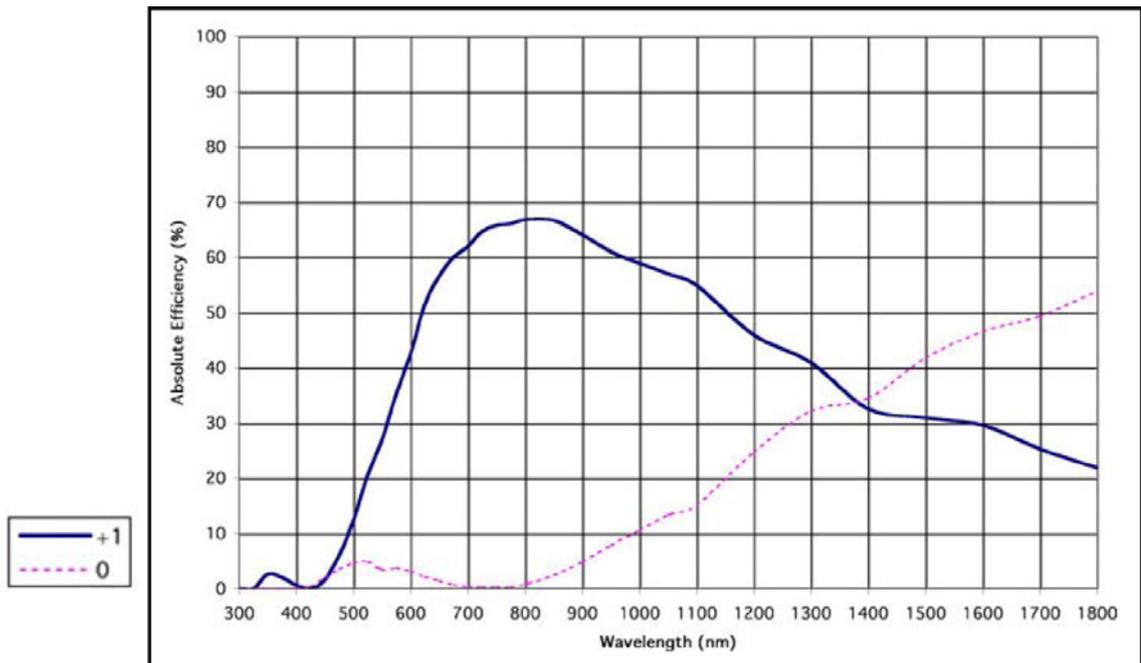
- 基底材料：Schott B270
- 厚度：3mm(标称)
- 尺寸公差：± 0.5mm
- 厚度公差：± 0.5mm



可见波长 Tx 光栅性能对比



300/24.8 Degree Tx Grating



300/31.7 Degree Tx Grating

所有测量数据均为 0 度入射角。



透射式光栅-可见光

Size (mm)	Grooves/mm				
	300 g/mm	600 g/mm	600 g/mm	830 g/mm	1200 g/mm
	Blaze Angle				
	17.5°	28.7° (VIS)	22° (UV)	29.87°	36.9°
12.7 x 12.7	3-9801	3-9807	3-9813	3-9819	3-9825
12.7 x 12.7 (AR)	3-9901	3-9907	3-9913	3-9919	3-9925
25 x 25	3-9802	3-9808	3-9814	3-9820	3-9826
25 x 25 (AR)	3-9902	3-9908	3-9914	3-9920	3-9926
30 x 30	3-9803	3-9809	3-9815	3-9821	3-9827
30 x 30 (AR)	3-9903	3-9909	3-9915	3-9921	3-9927
50 x 50	3-9804	3-9810	3-9816	3-9822	3-9828
50 x 50 (AR)	3-9904	3-9910	3-9916	3-9922	3-9928
12.5 x 25	3-9805	3-9811	3-9817	3-9823	3-9829
12.5 x 25 (AR)	3-9905	3-9911	3-9917	3-9923	3-9929
25 x 50	3-9806	3-9812	3-9818	3-9824	3-9830
25 x 50 (AR)	3-9906	3-9912	3-9918	3-9924	3-9930

透射式光栅-近红外

Size (mm)	Grooves/mm	
	300 g/mm	300 g/mm
	Blaze Angle	
	31.7°	24.8°
12.7 x 12.7	3-9201	3-9207
25 x 25	3-9202	3-9208
30 x 30	3-9203	3-9209
50 x 50	3-9204	3-9210
12.5 x 25	3-9205	3-9211
25 x 50	3-9206	3-9212

注意：透射式光栅可以镀增透膜。Optometrics 的增透膜用于可见光范围。除了能增加光栅的光通量，增透膜还可以消除由背面反射引起的任何二次光谱。请注意，增透膜只能提升特定波长的峰值性能，对于特定波长以外的光，光栅效率会降低。

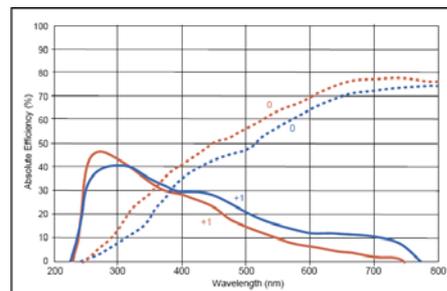
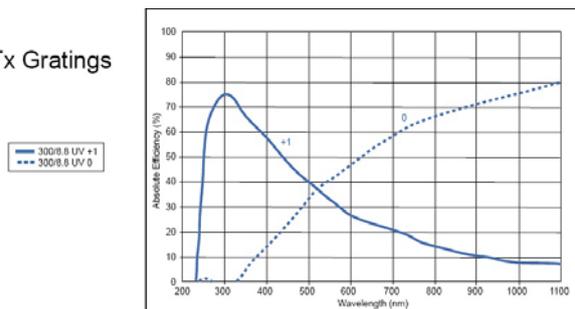
## 透射式光栅 (紫外)

可提供标准尺寸的紫外透射光栅。这些光栅由精选的紫外级材料生产，在低至 235 nm 的波长都能提供最优性能。分光应用需要的 0 阶数据包含在所有性能曲线中。

### 规格-紫外

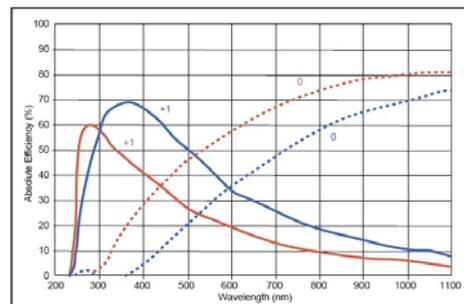
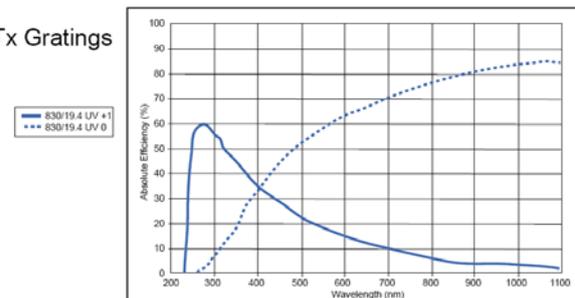
- 基底材料：紫外级石英玻璃
- 厚度：2mm(标称)
- 尺寸公差：± 0.5mm
- 厚度公差：± 0.2mm

300 UV Tx Gratings



1200 UV Tx Gratings

830 UV Tx Gratings



600 UV Tx Gratings

所有测量数据均为 0 度入射角。

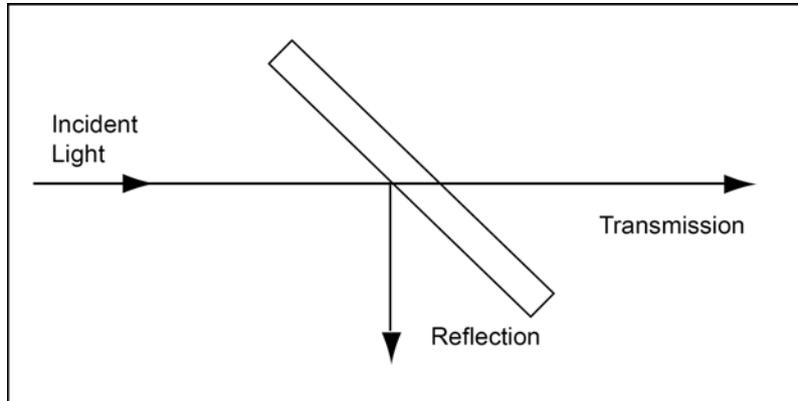
### 透射式光栅-紫外

Size (mm)	300 g/mm 8.6°	600 g/mm 22°	600 g/mm 17.5°	830 g/mm 19.4°	1200 g/mm 36.9°	1200 g/mm 26.7°
12.7 x 12.7	3-9401	3-9411	3-9421	3-9431	3-9441	3-9451
25 x 25	3-9402	3-9412	3-9422	3-9432	3-9442	3-9452
30 x 30	3-9403	3-9413	3-9423	3-9433	3-9443	3-9453
50 x 50	3-9404	3-9414	3-9424	3-9434	3-9444	3-9454
12.5 x 25	3-9405	3-9415	3-9425	3-9435	3-9445	3-9455
25 x 50	3-9406	3-9416	3-9426	3-9436	3-9446	3-9456

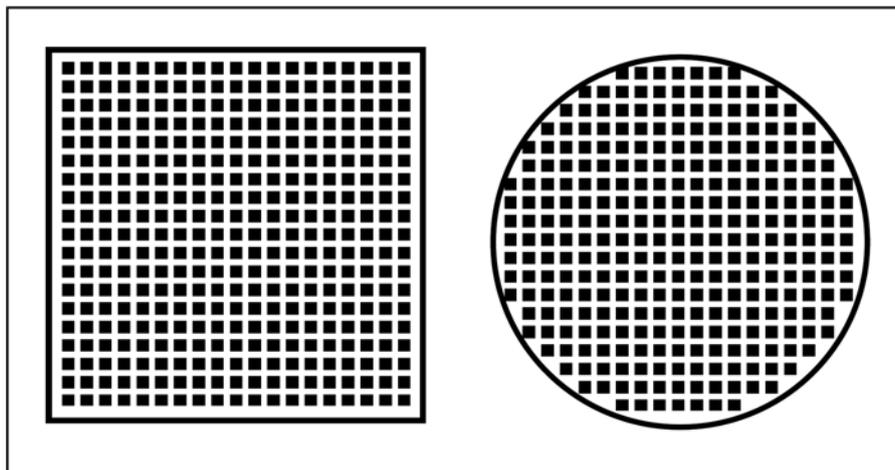
## 反射/透射“Polka Dot(波尔卡点)”分束器

Optometrics 分束器在整个波长范围 ( 250-2000nm 或 400-2000nm ) 具有几乎恒定的反射透射比。  
分束器基底为 UV 级石英玻璃或者 B270 玻璃，并镀有真空沉积铝膜。

铝膜使分束器呈现“波尔卡点”形状。分光是通过镀铝部分的反射以及非镀铝基底的透射而完成。



45°入射角的宽带分束器



宽带分束器

这些通用分束器适用于很宽的光谱范围，而且对角度不敏感，因此极其适用于辐射源能量的分解。

技术参数：

- 光束分光比公差：± 5%
- 设计分光比的最小光束直径：2mm
- 工作范围：250-2000nm(石英玻璃基底)
- 膜型：方形孔
- 基底：UV 级石英玻璃或 B270 玻璃 ( 只适用于 VIS/NIR )
- 厚度：1.5mm 标称
- 尺寸公差：+0.0mm，-0.5mm
- 设计角度：45°
- 可根据要求定制更大尺寸



UV 级石英玻璃分束器

90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	SIZE
4-9001	4-8011	4-7001	4-6001	4-0001	4-0461	4-0371	4-2001	25.4 Dia.
4-9002	4-8012	4-7002	4-6002	4-0002	4-0462	4-0372	4-2002	25.4 x 25.4
4-9003	4-8013	4-7003	4-6003	4-0003	4-0463	4-0373	4-2003	38.0 Dia.
4-9004	4-8014	4-7004	4-6004	4-0004	4-0464	4-0374	4-2004	38.0 x 38.0
4-9005	4-8015	4-7005	4-6005	4-0005	4-0465	4-0375	4-2005	50.8 Dia.
4-9006	4-8016	4-7006	4-6006	4-0006	4-0466	4-0376	4-2006	50.8 x 50.8
4-9007	4-8017	4-7007	4-6007	4-0007	4-0467	4-0377	4-2007	12.7 Dia.

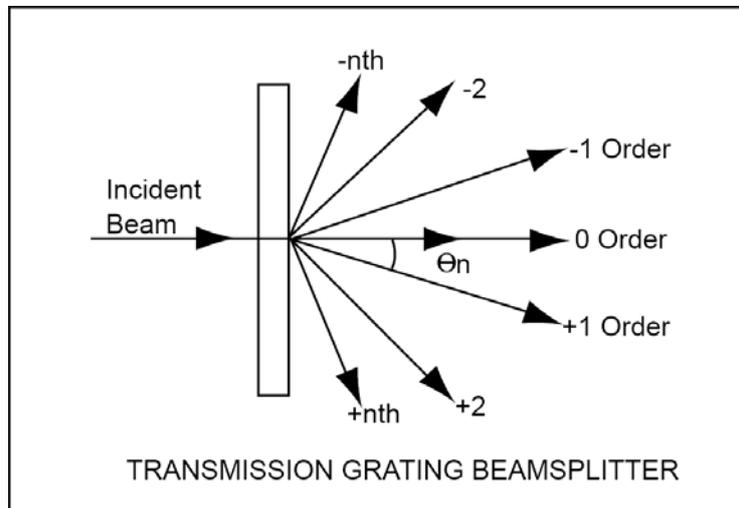
B270 玻璃分束器

90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	SIZE
4-9101	4-8101	4-7101	4-6101	4-0101	4-4161	4-3101	4-2101	25.4 Dia.
4-9102	4-8102	4-7102	4-6102	4-0102	4-4162	4-3102	4-2102	25.4 x 25.4
4-9103	4-8103	4-7103	4-6103	4-0103	4-4163	4-3103	4-2103	38.0 Dia.
4-9104	4-8104	4-7104	4-6104	4-0104	4-4164	4-3104	4-2104	38.0 x 38.0
4-9105	4-8105	4-7105	4-6105	4-0105	4-4165	4-3105	4-2105	50.8 Dia.
4-9106	4-8106	4-7106	4-6106	4-0106	4-4166	4-3106	4-2106	50.8 x 50.8
4-9107	4-8107	4-7107	4-6107	4-0107	4-4167	4-3107	4-2107	12.7 Dia.

## 透射式光栅分束器

透射式光栅分束器通常用于 He-Ne 激光束的分光和可见范围内多条激光的分离。透射的光束被衍射为多阶。

Optometrics 透射光栅分束器由在抛光玻璃基底上镀的与之折射率相匹配的环氧树脂复制层所构成，以此获得更高的总衍射效率。这些分束器专门设计用于 He-Ne 激光器分光。



有几种不同色散和功率分布的光栅可供选择。可通过以下公式来计算衍射角和波长：  
光栅方程式：

$$\theta_n = \sin^{-1} \left( \frac{n\lambda}{d} \right)$$

$\theta_n$  = n级衍射的衍射角    n=衍射阶数     $\lambda$  =光波长    d=光栅周期

### 一般规格：

材料：Schott B270

尺寸：25mm 方形最大

厚度：3mm 标称

公差：± 0.5mm

### 透射式光栅分束器

He-Ne DIFFRACTED ORDER TYPICAL DISTRIBUTION @ 632.8 nm (%)						12.7 x 12.7 mm CATALOG NO.	25 x 25 mm CATALOG NO.
L/MM	-2	-1	0	+1	+2		
70	-	-	41	32	-	4-1270	4-2570
80	5	25	25	25	5	4-1280	4-2580
92	-	20	45	20	-	4-1292	4-2592
110	-	25	28	25	-	4-1211	4-2511