

# 复制光栅质量分析

王春霞

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 分析了影响复制光栅衍射效率、分辨率及表面质量的因素, 并介绍了提高复制光栅质量的方法。

**关键词:** 复制光栅; 衍射效率; 分辨率; 表面质量

## 1 引言

随着空间科学技术的发展, 光谱分析领域对衍射光栅性能的要求也相应提高。目前应用的衍射光栅主要是复制产品, 因此, 研究和解决光栅复制生产工艺中存在的影晌质量的问题, 已成为光栅研制生产者的重要任务。而目前有关这方面的研究报道较少, 我们从复制光栅的生产实践中分析和探讨出了影响光栅的衍射效率、分辨率、表面质量的因素, 总结并介绍了保证和提高光栅质量的方法。

## 2 影响光栅衍射效率的因素

### 2.1 针 孔

针孔是由于镀膜工作间或真空室不清洁, 使光栅表面吸附了灰尘粒子, 镀铝后灰尘处的铝膜在空气中脱落就形成了针孔; 镀铝时真空度低, 蒸发速率低也能造成针孔。针孔会使光栅的衍射效率降低, 杂散光增大。

### 2.2 铝膜厚度

铝膜厚度对光栅衍射效率的影响比较明显, 如图1所示。铝膜太薄, 由于透射损失了能量, 而使反射能量减少, 铝膜太厚, 表面粗糙致使杂散光增大。两种情况都造成衍射效率降低。一般铝膜厚度在120~150 nm 范围内光栅的效率较高。

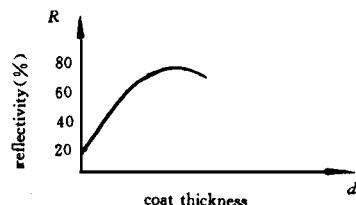


Fig 1 Reflectivity of Al coat as function of coat thickness

### 2.3 蒸发速率

铝膜的蒸发速率对光栅效率的影响尤为明显。用传统的慢蒸法已无法满足高衍射效率的要求,我们采用闪蒸技术,120~150 nm厚度的铝膜蒸发时间只需8~15 s,对可见及紫外波段使用的光栅能获得80~86%的衍射效率。而用15~20 s蒸发同样厚度的铝膜,衍射效率只有70~75%。

### 2.4 真空度

镀铝时真空度的好坏直接影响复制光栅的衍射效率。蒸发时如果真空度较低,由于残余气体和气化分子相碰撞,会形成发乌的粗糙的膜面,这时复制光栅的衍射效率必然要降低。一般蒸发时真空度应保持在 $2 \times 10^{-5}$  torr以上。

### 2.5 分离层厚度

一般认为分离层的硅油量只关系到光栅分离的难易。实际不仅仅是这样,发现硅油量明显影响着光栅的衍射效率。一般油量应以能分开光栅为准,油量过多不但会给光栅的分离增加困难,更严重的是能使光栅的衍射效率明显降低。见表1

Table 1

efficiency (%)	wavelength (Å)				
		5461	3650	3132	2537
oil weight (g)					
3		54	83	76	60
3.5		48	77	70	58
4		43	67	62	50

上表是同一块母版用不同硅油量复制的三块子版的衍射效果测量数据。

### 2.6 光栅磨损

通常一块母版(包括复制版)要经几十次以至上百次复制,结果会使母光栅的槽顶逐渐变圆,而导致效率降低。特别是膜质疏松的原刻光栅寿命更短,严重的经几次复制槽顶就会变圆,效率降低以致不能使用。

### 2.7 表面污染

复制的成品光栅,特别是膜质疏松或针孔多的光栅,在存放的过程中吸附了各种有害分子,当环境温度发生变化达到露点时,光栅表面就会凝成细小的水珠和油珠。如夏天气温是34,恒温室里的温度只有17,从恒温室里取出的光栅表面立刻形成霜雾。这种光栅若不及时的去湿处理,而在大气中搁置一段时间,光栅表面就会受到污染而发霉生雾,以致严重损害光栅的衍射效率,污染面积越大损失的效率越多,如一块光栅有三分之一的面积受到了污染,衍射效率约降低20%。

所以光栅的存放环境一定要保持清洁,湿度适宜,存放前光栅表面应进行清洁处理。要避免发生露点,一旦变换环境(从低温到高温),要经过去湿处理方可存放。

此外,各种表面疵病也是效率降低的原因之一。

### 3 影响光栅分辨率的因素

在生产中用来复制的母光栅是决定复制光栅性能指标的基本依据。但在复制工艺中由于某种影响,总可引起一些误差变化,即使是第一代光栅也很难保证和母版的波面像差完全一致。

我们通常用干涉仪观察光栅的干涉条纹的好坏来粗略地判断分辨率。影响干涉条纹的现象是光栅槽形局部改变或光栅表面变形,这些现象都引起光栅波面象差增大。这个问题是光栅复制工艺中比较复杂并较难解决的问题。多年实践中摸索出造成光栅变形的诸原因如下文所述。

#### 3.1 环氧树脂胶的配方

环氧树脂的配方通常为:

咪唑/环氧树脂= 5~ 8%

具体比值要根据两种材料的生产厂家及牌号的不同而有所区别。准确控制咪唑的量很重要,因咪唑比例高固化速度快,树脂胶聚合收缩的太厉害,光栅很容易变形,这时干涉条纹弯曲严重,胶层易脆裂;咪唑太少因固化不充分,分离时会使间距、槽形改变,干涉条纹弯曲。

#### 3.2 胶的均匀性

均匀性是指树脂和咪唑混合的均匀程度。混合不均匀,固化的一致性差,咪唑多的地方固化得快,咪唑少的地方固化得慢,甚至不能完全固化,结果导致干涉条纹杂乱无章。因此,配胶后的充分搅拌是必要的。

#### 3.3 KH—550偶联剂的配方及涂复方法

为了防止光栅脱膜,粘结前在复制毛坯表面涂KH—550偶联剂,通常取0.5%的KH—550,99.5%乙醇配制。若偶联剂的浓度大,光栅干涉条纹明显变坏,若其浓度大到使涂层呈油腻状时,就失掉了偶联作用而导致膜层更易脱落。我们还发现偶联剂涂复的方向不同产生的影响也不同,平行于刻槽比垂直于刻槽涂复影响大。为了防止脱膜又不致影响干涉条纹,最好的办法是涂在毛坯的边缘上,但要注意不能涂在倒角上,否则刮胶和分离时会造成光栅边缘的崩裂。

#### 3.4 固化温度

固化温度对于形成高质量的光栅关系很大。它的影响从粘结时开始,粘结时烤箱温度低,胶的流动性差,胶层厚度不均匀,而造成光栅表面变形;温度太高,固化速度快,环氧树脂聚合聚烈,光栅槽形局部变形严重。实践证明,保持烤箱温度在68~ 75 范围内为宜。一般固定在某一温度值上,使其恒温,这样即能保证粘结时胶的流动性,又能保证胶层厚度均匀并充分固化,复制光栅表面变形的几率明显减少,成品率提高。

#### 3.5 烘箱平台的平行度

烘箱中平台的平行度也明显地影响着复制光栅的分辨率。经验证明,在倾斜的平台上复制出的光栅干涉条纹多呈扇形或柱面,其与光栅摆放的方向有关。如光栅的刻槽平行于平台的倾斜方向,光栅干涉条纹常呈柱面;光栅刻槽垂直于平台倾斜方向,复制出的光栅干涉条纹常呈扇形。如图所示。

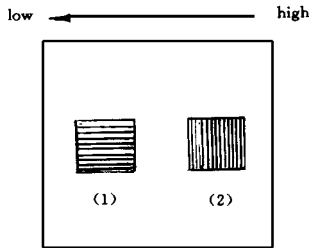


Fig 2 (1)Parallel to slope direction  
(2)perpendicular to slope direction

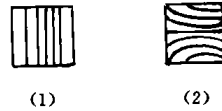


Fig 3 Interference fringe shape of the reproduction grating

### 3.6 毛坯的表面平行度

复制毛坯的表面平行度(包括光洁度)也是造成光栅表面变形的因素。因树脂胶聚合时会产生收缩,收缩率大约为5~10%,毛坯表面不光洁或平行度不好,各处树脂胶的厚度不均匀,因此收缩也不同,导致光栅的波面像差增大。对于低分辨率、尤其是小面积光栅,这种影响不大,但对于高分辨率,特别是大面积光栅,毛坯平行度最好在5个光圈之内。

### 3.7 环境震动

光栅固化过程中环境震动也会导致光栅波面像差增大,这种效应特别在粘结完1~2h之间更为严重。因树脂正处于聚合之中,此时震动破坏了环氧树脂的交联成网,使光栅的局部误差和积累误差增大,分辨率下降。受震光栅的干涉条纹一般呈波纹状。

### 3.8 分离技术

复制光栅的分离技术也可能造成光栅表面变形。如分离时用力不均匀或方向掌握的不好,都会使光栅表面变形以致分辨率降低。若垂直于刻槽分离,还会造成槽形角度变化,而使定向波长发生改变,严重的可改变100~150nm。

## 4 光栅表面质量问题

### 4.1 喷点

喷点是在镀铝工序中产生的。造成喷点的原因有四种:

铝料预熔不充分就突然加大电流蒸发,致使铝分子没有来得及分解就以分子团的形式飞到光栅上,在母版表面留下亮点,严重的会将母版打出坑来,这样就在母版和子版上留下了永久的痕迹。

有的喷点是在蒸发快结束时喷上的,这是因为蒸发电流大或蒸发时间长,使铝钨合金喷上去所致。这种喷点对光栅的危害最大,在粘结过程中,由于胶的流动或赶气泡,拉毛毛等,母版和毛坯之间难免有滑动,这种喷点是粘在铝上的,根基不牢,摩擦滑动喷点被带下来并在之间滑动,结果将母光栅表面划出很深的不规则的划痕。相对滑动幅度越大,划痕范围越大,严重

损坏了母光栅。

还有一种造成喷点的原因是由于蒸发源上的铝珠落到底板上反溅射到被镀光栅上,这也能将母版打出麻坑。

除此之外还有一种硅油喷点,它是由于镀油(分离层)时电流加的过快过大而使硅油喷到光栅上,光栅表面呈现出暗点,这种油点能逐渐扩散或顺槽形漫延。可采用石油醚冲洗的办法去除。

#### 4.2 印 迹

灰印,光栅表面的灰印主要是复制的最后一道工序造成的。复制的光栅固化后,四周和倒角里固化了的树脂胶需要清除,如果刮的不干净,特别是倒角里的树脂粉末没有吹干净,当用机械工具分离时,旋螺钉的劲用的过大而且用力不均匀,分开的母、子光栅就会出现与刻槽垂直的宽窄不均的灰印;如螺钉旋的太快,强行使光栅分离,会在两块光栅表面分别留下一个放射状的灰印。这类灰印很顽固,用洗耳球吹不掉,用石油醚冲不掉,用火棉胶也不能一次清除干净。

还有一种印迹是光栅清洁处理时用石油醚冲洗,操作不当也会留下痕迹。这种印迹及时用火棉胶粘就能除掉。

手指印和口水印,这主要是各工序操作者不慎造成的,若及时用火棉胶粘会得以减轻。

除此之外,还有原刻母版光栅的潜在印迹;一种是由于母版毛坯镀铝前为了清洁表面要粘火棉胶,若火棉胶没有干透就揭掉,真空室里残余的火棉胶无法挥发而被盖在铬和铝里面。它的影响常在刻划后或复制后出现,一般都是光栅中间有面积不等的圆形、椭圆形或括号形阴影,有时也呈云雾状;另一种是人们常说“河了圈”印迹,这是母版毛坯表面被腐蚀造成的。因玻璃毛坯在加工存放过程中,周围湿度和温度的变化,致使玻璃表面凝聚水珠并分解,而使玻璃被腐蚀或是母版毛坯在反复去铬过程中被腐蚀。这类腐蚀需在强光下哈气并观察掠入射光方能清楚地发现。被腐蚀的毛坯镀上铬、铝膜,当厚度达100~120 nm时,印迹会显现,继续增加厚度印迹又被掩盖,但经刻划后印迹会重现。有的甚至在第一次复制分离后出现。这类腐蚀有时还呈阴影或云雾状。

#### 4.3 云雾、烟雾

复制工艺中也常用火棉胶来清洁光栅表面,若揭掉火棉胶立即装机,镀膜后的光栅表面常出现严重的云雾印迹。

吸附了大量灰尘和水分的光栅,未经清洁和去湿处理即装机镀膜,也常出现云雾印迹,这种现象尤其在阴雨天气更为严重。

以上两种原因造成的印迹一旦形成就无法去除。最好在清洁处理后进行1~2小时的烘烤,然后装机镀膜,这就可避免问题的出现。

镀铝时,真空度低,产生雾粒状的集合体而在光栅表面形成面积很大的“云雾”和“烟雾”状膜,这种情况会殃及母版。

镀铝时蒸发电流大、时间长,即“过蒸发”,使蒸发源上的铝钨合金或钨分子蒸到光栅上,膜面会出现烟雾,特别是旧蒸发源更有这种可能性。因这种烟雾是最后形成的,轻者光栅分离后不显现出来,重者在复制板上呈现,不会损坏母版。

#### 4.4 毛毛及灰尘粒子

有的复制光栅明显看出有头尾的、形状弯曲不定的印痕,这就是棉花毛,其主要是在粘结工序倒胶或压毛坏过程中飞进来的。这种毛毛对有经验的操作者很容易拉出来,若因经验不足或是工作粗心使毛毛遗留下来,则分离后两块光栅上都留下印痕,且是永久性的。

因工作环境不清洁,复制光栅在镀膜前或粘结中吸附了大量灰尘,并产生积累效应,直至使光栅表面布满灰粒,这就严重影响了光栅的表面质量。

## 5 结 束 语

总之,复制工艺造成的光栅质量问题不可忽视。因此,不仅需要科学而严格的生产工艺规程,还需要光栅生产者有严谨的工作态度和熟练的生产技术或技巧,认真观察现象,分析其产生的原因,采取有效的措施,不断提高复制光栅的生产工艺技术水平,生产高质量的光栅,以满足光谱分析领域发展的需要。

### 参 考 文 献

- [1]长春光机所情报室 国外光机动态 1982, 10: 46~ 48
- [2]周鹏飞等 光学零件制造 北京:机械工业出版社1995, 68~ 75: 120~ 122

## Analysis on Quality of Reproduction Grating

Wang Chunxia

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

Factors having effects on diffraction efficiency, resolution and surface quality of reproduction grating are analyzed in this paper. The methods are described to improve quality of the reproduction grating.

**Keywords:** Reproduction grating, Diffraction efficiency, Grating resolution, Grating surface quality

**王春霞** 女, 1951年11月3日生于黑龙江勃力县。1977年毕业于清华大学无线电系电真空器件专业。工程师, 从事过超软 x 射线正比计数器和 x 光源的研制, 衍射光栅复制技术研究及光学特种工艺镀膜工作。