

运用光蚀刻技术制造金属光栅盘

金轸裕

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 光蚀刻技术广泛应用于金属部件的成型和加工, 本文介绍用光蚀刻技术制造金属光栅盘的方法及其中的几个主要问题。

关键词: 光蚀刻, 光化学加工, 光致抗蚀剂, 金属光栅盘, 腐蚀因子

1 引言

光蚀刻(Photoetching)又称光化学加工(Photochemical Machining)起源于1852年, William Henry Fox Talbot(1800—1877)在金属上涂一层重铬酸盐动物胶层, 以照相底片为母版进行曝光, 使未曝光区域被溶解, 露出的金属部分用腐蚀液进行腐蚀。然而, 光蚀刻作为一种工业制造技术, 是从1961年开始的, 而作为理论研究的课题, 是从1976开始的^[1]。

光蚀刻技术被人们称之为“不用模具的冲压技术”, 能够进行线切割、冲压所不能做到的精密加工变形, 在加工 $5\mu\sim 5\text{mm}$ 厚的金属材料时, 可做到既无加工变形, 又无偏差, 也用不着设计者为模具的加工而费脑筋, 可达到设计要求, 因而广泛应用于电子产品、集成电路、家用电器中的器件、建筑装饰板、精密部件、商标等的制造。

随着光学编码器在工业部门的大量应用, 对其耐振动、耐冲击、耐高温等性能的要求日益严格, 其核心部件玻璃光栅盘的怕振动、冲击的弊病成为突出的问题。为了保证编码器的高可靠性, 我们采取的步骤之一就是金属光栅盘代替玻璃光栅盘。

我们运用光蚀刻技术比较圆满地解决了金属光栅盘制造中的全部工艺问题。

2 金属光栅盘的制造工艺

金属光栅盘的制造工艺流程如图

1。

图2为我们制造的金属光栅盘照片, 表1列举了我们制造的金属光栅盘及网格板的技术数据。

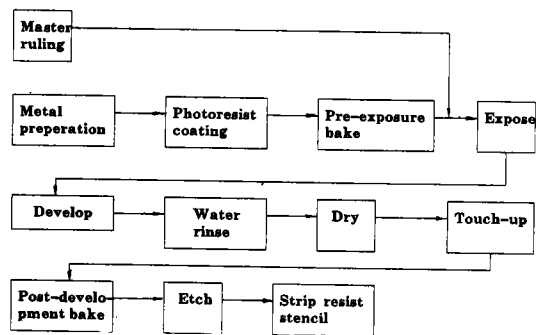


图1 金属光栅盘的制造工艺流程

Fig. 1 Stages in the production of a radial metal grating

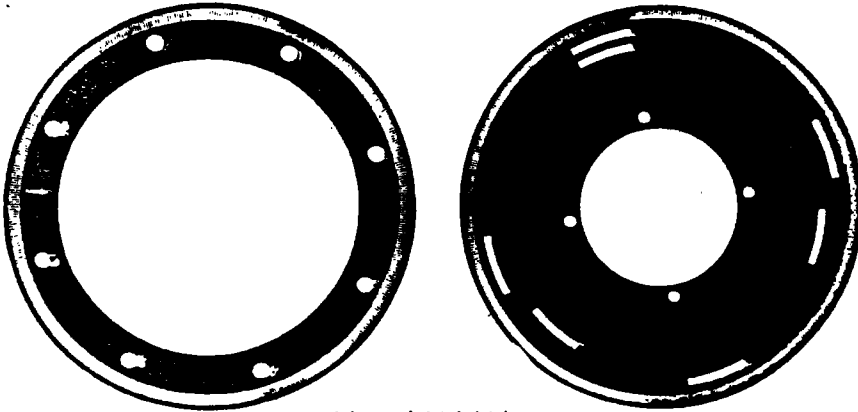


图2 金属光栅盘

Fig. 2 The radial metal gratings

Table. 1 The Qualification of Radial Metal Gratings

Matearals	Thickness (mm)	Line pairs of radial grating	Middle diameter of grating φ (mm)	Width of etched line (mm)	Width of non-etched line (mm)	Width of undercut (mm)	Etch factor
Stainless steel	0.10	500	135	0.3438	0.4689	0.0183	5.46
Iron-nickel alloy	0.05	1200	80	0.0805	0.0854	0.0240	2.08
		800	80	0.1204	0.1647	0.0117	4.27
		600	80	0.1400	0.2260	0.0239	2.09
		400	80	0.3105	0.2857	0.0131	3.82
Copper	0.05	2520	mesh plate	1.1462	0.1324	0.0260	1.92
	0.035	5715	fan mesh plate	1.1670	0.1455	0.0180	1.94

3 关于制造工艺中若干问题的讨论

3.1 金属板的准备

用于制造光栅盘的金属一般是不锈钢、磷青铜和镍⁽²⁾。光栅盘对金属的要求是平整、无卷曲状及凹痕,厚度均匀性要好,无突起颗粒、无表面划痕等。若金属板有上述弊病存在,则会使光刻胶涂布不均,或对母版的接触不紧密,从而产生局部线条不均匀,腐蚀效率降低,或产生腐蚀缺陷。

金属板的清洗是非常重要的。清洗金属板的目的在于去除金属表面上的油、蜡、油脂和其他有机污染物、氧化物之类的无机附着物及灰尘。

清洗剂可根据金属表面上的污染物情况进行选择。油、蜡、油脂及其他有机物的清洗剂有氯代烃(如 1.1.1 三氯乙烷)、碱性皂清洗剂、乳化皂清洗剂、酸性乳化皂清洗剂等;氧化物等无

机物的清洗剂为中性乳化皂清洗剂。

清洗的程序是(i)清洗有机或无机污染物;(ii)水漂洗;(iii)干燥。

表面处理后的金属表面必须适合于涂在其上面的光刻胶的种类。酸性或中性的表面适合于负性光刻胶,而碱性表面则适合于正性光刻胶。

3.2 金属光栅盘蚀刻中应用的光刻胶

金属光栅盘蚀刻中应用的光刻胶可分为两大类。一类为负性光刻胶;另一类为正性光刻胶。常用的负性胶有水溶性光致抗蚀剂、环化橡胶类的光致抗蚀剂和肉桂酸类光致抗蚀剂;常用的正性光刻胶有醌二迭氮类光致抗蚀剂^[3]。

3.2.1 水溶性光致抗蚀剂

这是亲水性胶体,如蛋白、酪素、阿拉伯树胶、聚乙烯醇等与重铬酸盐共同配制而成的感光性树脂。

其感光机理是重铬酸盐的六价铬离子 Cr^{6+} 在紫外光照射下还原为三价铬离子 Cr^{3+} ,与共存亲水性胶体物质形成铬合物或配位键,使高分子物质发生交联,成为网状结构而变成不溶于水的物质。

这种光刻胶的缺点是有重铬酸盐带来的环境污染,另外因其感光特性对于温度及湿度过于敏感,而易于产生偏差。

优点是价格便宜,能用水显影,能形成坚固的硬化膜层。

3.2.2 环化橡胶类光致抗蚀剂

这是由顺式-1.4 聚异戊二烯在无水氯化亚锡、无水氯化亚铁、三氟化硼、苯甲磺酸等酸性环化催化剂存在下进行环化反应所生成的生成物。

其感光波长为 230nm—480nm。在光的照射下,二迭氮化合物被分解,放出氮气,而成为氮烯自由基,与橡胶的双键反应,或进行氢引发反应,变成不溶于溶剂的物质。

环化橡胶类光致抗蚀剂对金属的附着力好,不受环境影响,操作方便,性能稳定,缺点是去胶困难,对氧敏感,有“热雾”效应。常用的环化橡胶类光致抗蚀剂有 OMR, KMR, BN 系列。

3.2.3 聚肉桂酸类光致抗蚀剂

这类光致抗蚀剂中有 KPR、TPR、SVR、OSR,其中的 OSR 因其酯化度为 100% 稳定,分子内部有可塑性,所以其粘接性、耐化学药品性、分辨率、感光度比前者好。它是由乙烯单体与具有感光基团的肉桂酸基反应之后进行共聚的聚合物。

聚肉桂酸类光致抗蚀剂树脂本身具有感光性,其感光波长为 230nm—340nm,当实际应用时,加增感剂(如酮类、醌类、蒽酮类等)使感光波长扩大到 480nm 附近。

当光照射时,发生交联反应而成为不溶于溶剂的巨大的三维网状聚合物。

肉桂酸类光致抗蚀剂对金属的粘接力不如环化橡胶,并存在着易受臭氧、有机自由基影响,在显影液中留下残留物等缺陷。

3.2.4 醌二迭氮类光致抗蚀剂

这是正性胶,市售的有 AZ1350, AZ1350J, AZ2400, AZ111, OFPR-2, OFPR-77, OFPR-28, BP-212 等。其分辨率比负性胶高,线条锐度好。也存在着感光性、粘接性、耐药品性、可塑性差、并且比较脆等弊病。

醌二迭氮类光致抗蚀剂是由苯醌二迭氮或萘醌二迭氮等光分解剂与碱溶性酚醛树脂组合而成的。在光照射下,醌二迭氮类光致抗蚀剂发生化学反应而成为碱溶性物质。

光致抗蚀剂的涂布有浸涂、流布、旋转涂布等方法,可根据加工需要进行选择。

3.3 金属光栅盘的腐蚀

金属腐蚀有多种方法,对不锈钢、铁镍合金、磷青铜而言,有各种各样的化学腐蚀剂和配方。其中 $FeCl_3$ 溶液是这些金属均能使用的腐蚀剂。因材料和图形的不同而使用不同的腐蚀温度和浓度。

用 $FeCl_3$ 腐蚀液腐蚀铜和铜合金有一最佳浓度⁴⁾。图 3 表示了 $FeCl_3$ 腐蚀液浓度与铜的腐

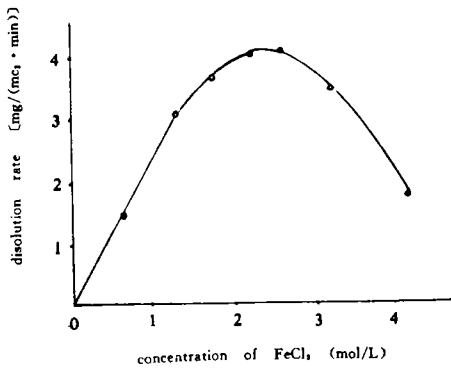


图 3 $FeCl_3$ 溶液浓度和铜的腐蚀速度的关系
Fig. 3 Effect of the concentration of $FeCl_3$ on the dissolution rate of Cu

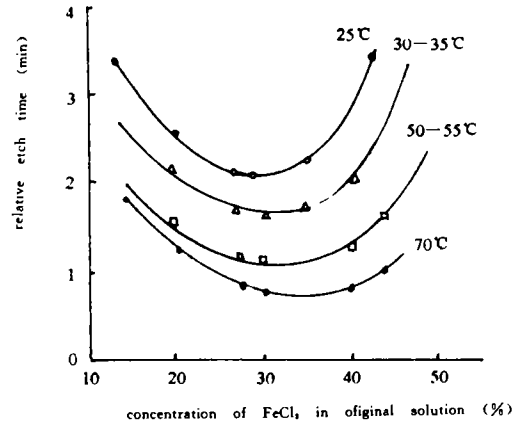


图 4 在不同温度下腐蚀时间和 $FeCl_3$ 液浓度的相互关系
Fig. 4 The relation of etch time and concentration of $FeCl_3$ with different temperature

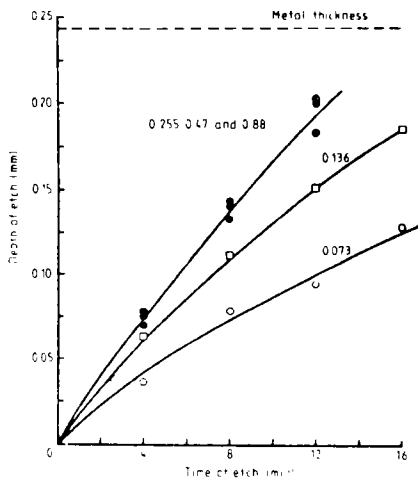


图 5 不锈钢的腐蚀深度及图形线宽与腐蚀时间的关系
Fig. 5 Depth of etch vs time with different original line width (Stainless steel)

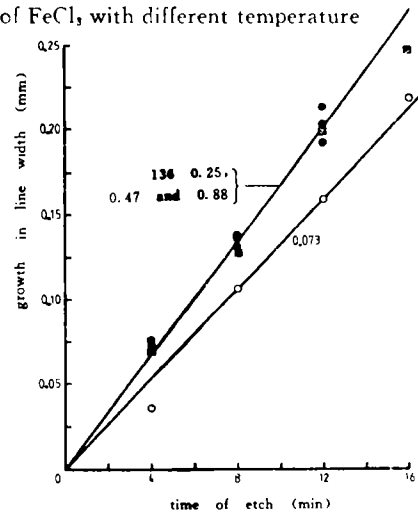


图 6 线条扩散与腐蚀时间的关系
Fig. 6 Growth of line width vs time of etch with different metal thickness

蚀速度的关系。图中可以看出随着 $FeCl_3$ 液浓度的增加铜的腐蚀速度变快;但浓度过高腐蚀速度反而变慢。这是因为高浓度阻碍三价铁离子的离解,增加液体的粘度,使三价铁离子与被腐蚀金属的接触受到阻碍。在腐蚀液能够再生时,选用腐蚀液最佳浓度是很有意义的。然而,考虑到 Fe^{3+} 的消耗, $FeCl_3$ 液的起始浓度就应大些。

图 4 表示在不同温度下的腐蚀时间和 $FeCl_3$ 溶液浓度的相互关系。腐蚀速度随温度的升

高而加快,但过高的温度使 FeCl_3 溶液发生分解,产生大量的酸雾,影响腐蚀操作,因此,应选择适当的腐蚀温度^[4]。

腐蚀时间和被腐蚀线宽对腐蚀深度(厚度)影响很大。由图 5 可以看出,在相同腐蚀时间内,被腐蚀的线宽越窄,其所能腐蚀的深度(厚度)越浅(薄);而同样厚度的金属,被腐蚀线条越宽,所需腐蚀时间越短。这是由于被腐蚀线条狭窄时,金属腐蚀后的生成物较难脱离出来,因而无法很快暴露新的金属面与腐蚀液接触而造成的。

在金属腐蚀中,一旦出现侧壁,侧蚀是避免不了的。设腐蚀深度为 D ,侧蚀宽为 U ,那么腐蚀因子可由下式表示

$$F = \frac{D}{U}$$

图 5 表示了腐蚀时间与侧蚀的关系。从图中可以看出,腐蚀时间越长,侧蚀越严重;也看得出线宽对侧蚀的影响不很突出。

实验表明,在相同的腐蚀深度(D)下,腐蚀时间越长,侧蚀(U)越大,腐蚀因子(F)就越小;而腐蚀因子随着腐蚀深度的增加而迅速减小,并逐渐趋于常数值,如图 7 所示。

为获得大的腐蚀因子采取高效腐蚀剂配方,缩短腐蚀时间是在腐蚀工艺中必须考虑的问题。

4 结 语

用光蚀刻技术制造金属光栅盘,若掌握好各工艺环节,可获得较高的腐蚀因子,并能够使所制得的光栅盘具有较高的精度和线条均匀性,而且这种工艺非常适合批量生产。

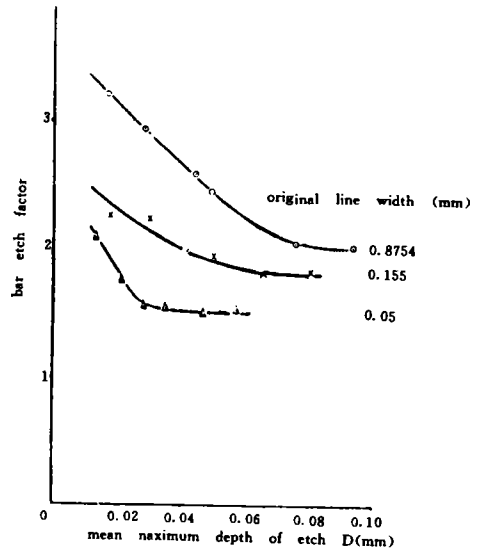


图 7 腐蚀因子与初始线宽及腐蚀深度的关系
Fig. 7 Variation of etch factor with
Original width and depth of etch

参 考 文 献

- [1] D. M. Allen et al, J. Photogra. Sci, 1977, 25: 254-259
- [2] 馬場史雄, プレス技術, 1981, 19(1): 52-55
- [3] 横田晃等, 金屬表面技術, 1979, 30(10): 49-58
- [4] 小川和夫, 實務表面技術, 1977, 2: 17-21

Development of Radial Metal Grating by Photoetching Technique

Jin Zhenyu

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

Abstract

The photoetching technique is widely used in the forming and manufacturing of metal components. In this paper a manufacturing method of radial metal gratings by photoetching technique is introduced, and some technique problems are discussed.

Key words: Photoeting, Photochemical machining, Photoresist, Radial metal grating, Etch factor

金珍裕 男, 1941年1月生, 1965年毕业于吉林大学化学系, 副研究员, 从事光蚀刻技术的研究。