

光纤通信用无源元件 译丛

(工艺专辑)

4

四机部 1423 研究所情报室

目 录

(1)	光栅制造方法	1
(2)	光衰减器的滤光器制造方法	5
(3)	集成光学元件的离子束微细加工	8
(4)	光刻法加工精密零件	14
(5)	由研磨抛光层分析研磨抛光机理	33
(6)	光学玻璃抛光的新方法	46
(7)	光学玻璃采用固着磨料的抛光	52
(8)	用硬质金刚砂精磨光学玻璃	59
(9)	采用金刚砂园片的光学玻璃的研磨特性	66
(10)	光学薄膜的现状 (I)	76
(11)	光学薄膜的现状 (II)	85
(12)	光学薄膜厚度的测量和控制	96
(13)	一种控制任意膜厚的方法	105
(14)	光学玻璃加工的合理化与自动化	113
(15)	从多样化和省力角度看光学机械工 业的发展方向	122
(16)	光学玻璃加工技术的方向	131
(17)	光纤端面研磨设备	142

光栅制造方法

一、发明之名称：光栅制造方法。

二、专刊申请之范围：具有下列特点的光栅制造方法，即在固体表面制造光栅时，予先于这一表面形成具有所希望周期的掩膜，继之通过它，对上述表面进行离子注入处理，然后用化学方法予以蚀刻。

三、本发明之详细说明：本发明阐述了重复性好的光栅简便制造方法。

众所周知，很久以来光栅一直用于分光器中。此外，目前光栅已作为集成光路内光反射元件、光偏振元件，或作为分布反馈型半导体激光器内光共振用反射镜等，而应用于许多光学仪器及光部件中。

在集成光路和分布反馈型半导体激光器中使用时，光栅的栅间隔一般为一千至几千埃，甚至更小，同时要求高精度的加工技术。

图1示出了以前采用的制作光栅的各道工序。首先要在形成光栅的衬底1表面，以旋转方式涂感光胶2。在本发明中，衬底1材料的种类有半导体、电介质和金属等。只要选择适当，随便哪种均可。然后采用激光3和3'进行干涉曝光，使感光胶2周期曝光（图1a）。接着显影感光胶2，如图1b所示，在衬底1上形成感光胶的栅掩膜2'。栅掩膜2'的周期是由激光3和3'的波长及照射角确定的。再使用腐蚀液，有选择地蚀刻衬底1的裸露表面（图1c）。最后，去除余留在衬底1上的栅掩膜2'，就完成了光栅的制造过程（图1d）。

上述工序中必须注意以下两点。

1. 感光胶的曝光。若感光胶曝光，如图2a所示，即使显影，衬底1本应蚀刻的表面也不裸露出来，因此，下道工序的蚀刻就不可能进行了。另一方面，如图2b所示，若曝光过度，显影所得

的栅掩膜变细，下道工序蚀刻时会产生剥离，在极端的情况下，完全不起掩膜的作用。正因为如此，要求制造出形状如图 2 c 的最合适的栅掩膜。

2. 蚀刻深度控制。

光栅深度，即蚀刻深度 d 的大小对光栅的衍射效率和栅光谱有影响，因此必须形成重复性好的蚀刻。以前是通过恒定蚀刻条件（温度和时间）控制蚀刻深度 d ，但总不免产生 10 % 左右的偏差。尤其是 GaAs 之类的半导体激光材料存在下列缺点：其表面状态异常不稳定；致使蚀刻深度变化幅度很大，而重复性差。

如果这两个问题得以解决，光栅就容易制造，其性能亦会提高，应用范围更加扩大。

为了解决以上两个问题，本发明的特点在于首次采用离子注入技术，以达到光栅制造容易，而且重复性好。

以下通过实例详细阐述本发明。

图 3 为本发明的实例，对感光胶 2 的干涉，曝光（图 3 a）及感光胶显影（图 3 b）的工序和以往的方法相同。然后采用离子注入装置，如图 3 c 所示，从栅掩膜 2' 的一侧注入离子 5，以使栅掺杂质导入衬底 1 中。这时，栅掩膜 2' 对于离子注入也具有掩膜效果，所以衬底 1 中掺杂部分 4，几乎具有与注入离子分布一样的周期。而且由于加速的离子感光胶之透过性良好，栅掩膜 2' 形状如图 2 c 所示，完全没有必要裸露衬底 1 表面，即使像在图 2 a 那样状态，也是良好的。因此，解决了上述第一个问题亦即感光胶的曝光问题。注入离子，由于目的是将离子冲撞形成的掺杂质导入衬底 1，可任意选用 H、He、Ne、O、Ar 等离子。

然后用机溶剂或者等离子气体氧化等方法，随之除却衬底 1 上的栅掩膜 2'（图 3 d），将衬底 1 浸渍在合适的蚀刻液中。众所周知，离子注入时，栅掺杂质被导入的部分决定于离子注入量，但是为使蚀刻速度可以几倍增加到几十倍，可以有选择地来蚀刻栅掺杂质层 4，最后如图 3 e 所示，形成光栅。其深度 d 与导入的栅掺

杂质层4之深度分布相同。栅掺杂质层4之深度可通过离子加速电压来任意确定。

此外，将栅掺杂质层4完全除却之后，用原来的缓慢速度对衬底1蚀刻，不会使光栅深度变化。这样，就介决了上述第二个问题亦即光栅深度控制问题。

例如，作为衬底1的半导体激光材料之GaAs使用实例如下。在GaAs衬底上涂A2-1350（商品名）感光胶，使其曝光，显影，形成厚度为1微米的胶膜，然后用200kv加速电压，以每单位面积 5×10^{15} 的剂量注入Ar离子，去除感光胶层，最后用普通AB蚀刻液蚀刻衬底。现将这时蚀刻速度与不注入离子的GaAs衬底的蚀刻速度同时示于图4。图中，曲线a为注入离子的栅掺杂质层的蚀刻曲线，曲线b为不注入离子的情况，即非掺杂质层的蚀刻曲线。

从图4可知，栅掺杂质层的蚀刻速度比非掺杂质层的蚀刻速度要大几倍，栅掺杂质层全部去除后，用非掺杂质层的相同速度慢慢蚀刻下去，这时两者之差大约为0.2微米。在具有图2c或者类似于图2c的栅掩膜衬底上，按照上述条件进行离子注入，能够制造出重复好、深度约为2000埃的光栅。

根据以上说明，本发明通过离子注入方式，采用了使衬底产生栅掺杂质层的加速蚀刻效果，因此具有以下特点。

1. 按照以前的方法，衬底表面形成的栅掩膜，必须明确衬底表面完全曝露的部分及被掩盖的部分。但是根据本发明，如果栅掩膜厚度以所希望的周期变化，衬底表面也可以不裸露，也就是说，栅掩膜的制作条件要求不严。

2. 由于采用加速蚀刻，光栅深度之大小与导入衬底的栅掺杂质层之幅度相同。因为采用离子注入而导入衬底的栅掺杂质层深度由离子加速电压来决定，所以能够控制重复性好的光栅之深度。

四、各图的简要说明、

图1是以前方法的光栅制作工艺说明图，图2是在衬底上形成

栅掩膜的形状说明图，图 3 是按本发明的光栅制造工艺说明图，图 4 是本发明所采用的加速蚀刻效果说明图。图中 1—衬底，2—感光胶膜，2'—栅掩膜，3—激光，4—栅掺杂层。

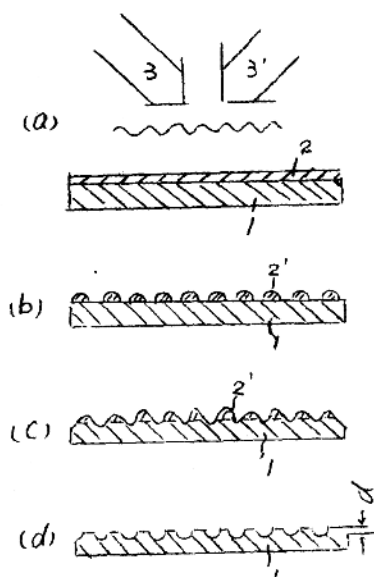


图 1

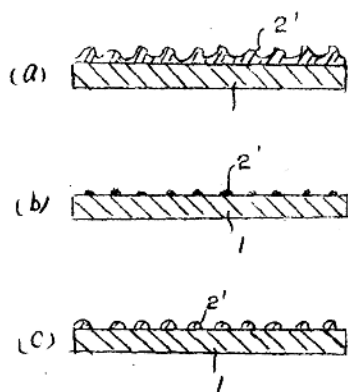


图 2

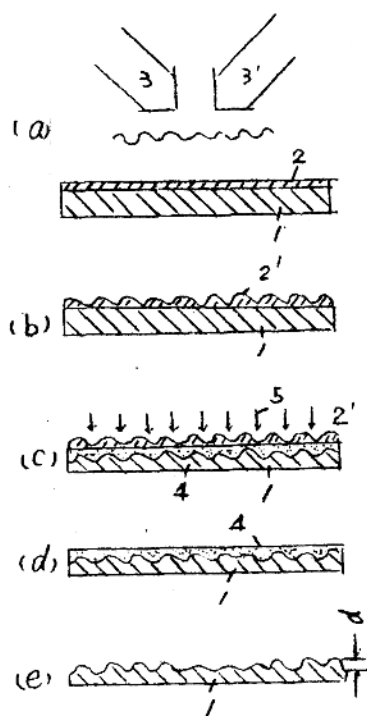


图 3

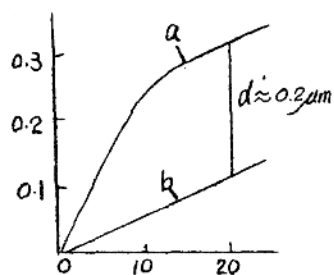


图 4

译自特开昭 54-34253

周义海译

徐建根校

光衰减器的滤光器的制造方法

一、发明名称

光衰减器用滤光器的制造方法

二、特许申请范围

(1) 本光衰减器用滤光片的制造方法的特征是：把用作光衰减物质的金属膜作为阳极，采用对此金属膜进行阳极氧化的方法。在采用阳极氧化法所得到的金属氧化膜的滤光片的制造方法中，要确定上述金属膜的通过衰减量，只要控制上述金属氧化膜的膜厚。

三、发明的详细说明

本发明是有关光衰减器用滤光片的制造方法。

以前的光衰减器用滤光片是这样制造的：在玻璃等基片上蒸发钽(Ta)、钛(Ti)、镍(Ni)、铝(Al)等的金属薄膜，作为光衰减物质。采用控制这个薄膜的厚度的方法，使之具有设定的光衰减量。因为以前的滤光片的衰减量只依赖于控制膜厚，但在蒸镀时由于膜厚分布的误差等原因，要想得到高精度的滤光片是困难的。

此外，为了排除蒸镀作业时的膜厚分布的误差，把作为光衰减物质的钽(Ta)等的金属薄膜作为阳极，进行阳极氧化，采用形成钽(Ta)的氧化膜的合成法来进行Ta膜的厚度控制。在这种方法中，由于组成钽(Ta)薄膜材料的膜厚分布的误差，合成时在二电极间所加的电压误差，以及在使用这个合成电压时所形成的 Ta_2O_5 薄膜的厚度测量误差，因此要得到所规定的光衰减量的滤光器是有困难的。特别当衰减量在 $0 \sim 2 \text{ dB}$ 的情况下，膜厚的微小变化，会使光衰减量引起很大的变化。所以，在这种光衰减量要求很小的场合中，膜厚控制就要求特别精确。

本发明提供了一种滤光片的制造方法；即，一面监测衰减量，一面进行光衰减物质的膜厚控制，使其具有精确的衰减量。

下面根据图示的实例，对本发明加以说明。

下图是本发明的实例中所采用装置的一个例子。这个装置，设有阳极氧化槽(1)和光衰减量测定仪器(2)。阳极氧化槽(1)是用能透光的而且是不受电腐蚀的石英玻璃之类的材料制成的。阳极板(11)采用在玻璃基板上带有光衰减物质Ta等的金属薄膜。阴极板(12)是采用通常的白金。光衰减量测定仪器(2)是由这些器件组成的：装在槽(1)外的He—Ne激光器(21)，接受透过槽(1)和阳极板(11)的激光束(210)的太阳电池(22)等的光电池，能使太阳电池中生成的电流放大的同步放大器(23)等，和显示从放大器(23)输出的电气信号的记录仪。

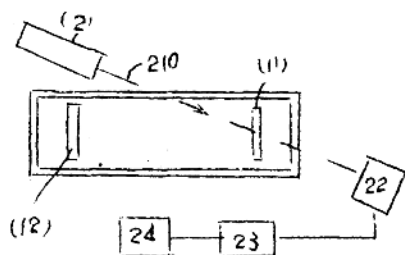
由于采用了上述这种结构的装置，本发明的滤光片制造过程如
~ 6 ~

下：首先，He—Ne 激光器 (21) 以一定的角度把激光束 (210) 射在槽 (1) 内的阳极板 (11) 的 Ta 薄膜上。激光束透过阳极板 (11) 和槽 (1) 的壁射到太阳能电池 (22) 上，太阳能电池中产生电流。这个电流用放大器放大，并用记录仪指示出来。以激光束透过阳极板 (11) 的最初透光量作基准，一边监测记录仪 (24)，一边调整为氧化阳极板 (11) 的合成电压。其结果，就容易得到预定的衰减量的 Ta_2O_5 的薄膜。

就这样，如果根据本发明的方法，采用监测由激光束光衰减金属膜引起的衰减量本身来调整合成电压，就容易获得具有精确的规定衰减量的金属膜滤光片。

4 示意图的简单说明、

该图是采用本发明的滤光片制造法实施时的示意图。图中，(1) 为阳极氧化槽，(2) 为光衰减量的测定仪器。



吴元亮 译自：

特开昭 54-70058

宋金声校。

集成光学元件的离子束微细加工

Hugh L. Garvin 等

摘 要

薄膜集成光学元件如光波导、调制器、定向耦合器和偏振器等,在其尺寸小到亚微米的大小时,需要很高的边缘光洁度和高分辨率的图形形成。采用全息照相扫描电子束制版与离子束微细加工的综合制造技术,已经制成了间距小到 $2800\text{\AA}$ 的平面光栅和以GaAs为衬底的沟道耦合器以及用于 $10.6\mu\text{m}$ 波长的线栅偏振器。

引 言

薄膜光路的预研激起了人们在光纤通信和集成光学方面的新关注。在这种薄膜光路中,数据的处理是在光束上进行,然后再由光纤传送的。这种应用需要集成光学元件如光波导、调制器、定向耦合器和类似的一些器件。这些元件在其尺寸小到亚微米的大小时就需要很高的边缘光洁度和高分辨率的图形形成。

本文将叙述光致抗蚀剂中采用全息照相以及普通的照相制版图形作为在单晶GaAs衬底上制作集成光学元件的离子束微细加工(亦称作后向溅射或离子束研磨)掩模的方法,同时还简要报导了综合采用电子束制版和离子束加工在 ZnS 光波导上制作平面周期光栅耦合器的情况。

离子束溅射

溅射工艺为薄膜的沉积和清除提供了一种方便的方法,它可以适用于各种各样的材料。“溅射”这个词,系指由于高能粒子(一般是能量在 $0.6-20\text{KeV}$ 的离子)的轰击而使靶标表面产生的原子发射。这些发射的原子既可以从靶标衬底上释放,也可沉积在相对的一块衬底上。等离子溅射广泛用于微电子工业,同时也已用于玻璃波导的制造。这种等离子一般是在惰性气体($10^{-1}\sim 10^{-3}$

时)通过直流或高频放电产生的,而溅射则是由等离子体的离子轰击产生的。离子束溅射是在真空条件下以准直的离子束轰击靶标表面进行的。业已证明:无论是薄膜沉积要求较高真空条件的场合还是微细加工的控制和方向颇为重要的情况,这种类型的溅射都是一种可供选择的实用方案。

制造过程中,惰性气体离子束是在一个双等离子管型的离子源(如图1所示)中产生的,然后经过高真空室加速,最后才瞄准轰击靶标的表面(离子束可以是最后聚焦的或未经聚焦的)。离子的高能(典型值是 $3\sim 10\text{KeV}$)碰撞引起靶标材料的溅射。通过接触掩模或遮阴掩模,就能将图制作到靶标的表面。这种定向离子束使蚀刻的图形比化学蚀刻图形更为清晰,并且由于没有其它物质渗杂到溅射物中,所以用范围广泛的薄膜材料均能制作高分辨率的图形。

轰击靶标的宽离子束用来把溅射的靶标材料高真空沉积在相对的衬底上。图1中它是用不同的衬底位置来说明的。中和灯丝所产生的电子在离子束的势位中被俘获,并用它来继续中和任何具有累

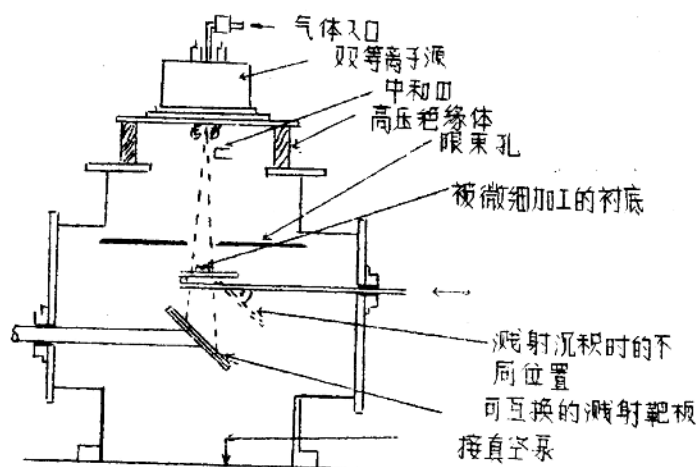


图1、双等离子束溅射系统的简图

积趋势的带正电的表面电荷。因此，直流轰击完全能实现金属或绝缘材料的溅射沉积或清除。

由于反向溅射速率在指定的同种材料上是均匀的，所以如果在掩模正好蚀刻掉之前连续溅射的话，那么接触掩模的三维形状就能较好地复制在衬底上但其横截面部分有时会因溅射速率随着入射角的变化而产生一定的细微失真。此外，如果两种材料的溅射率不同，那末衬底上蚀刻的深度就可能与去掉的抗蚀剂的深度不同。

光波导中的波纹

光波导中的周期性结构可由波导表面的波纹构成。如果选择恰当的周期，就可能将光功率从一个模传输到另一个模，或者耦合规定的受导模与不确定的发射模之间的功率，从而形成一种光栅耦合器。模由正向传输模变到反向传输模的转换便形成了一种分布的反射镜。在反射镜的损坏是主要失效模式的一些情况下，这类反射镜有助于延长半导体注入激光器的寿命。如果这种波纹沿着一种放大介质的长度方向扩展，这就会形成一种分布的反馈激光器，一般来讲，将薄膜光波导的表面加工成波纹就产生具有相速的空间谐波，而相速则取决于波纹的周期。这些谐波可用于要求相位匹配的相互作用中，例如在一些非线性光学的实验和器件中。

这些应用所需的波纹周期，可以从GaAs中分布反馈激光器的 $0.13\mu\text{m}$ 左右的下限值变化到与GaAs中产生的 $10.6\mu\text{m}$ 二次谐波相位匹配的数十微米。我们已采用两种方法来制作光栅，并发现它们都很成功。在第一种方法中，我们曾用计算机程序控制的扫描电子显微镜(SEM)来描光栅图形，该图形在有机玻璃(PMM)掩模材料中的线宽只有 $0.1\mu\text{m}$ ，而周期为 $0.37\mu\text{m}$ 。在曝光(或束写)区域显影以后，则用有机玻璃作为溅射掩模并以大面积的氩离子束将沟槽蚀刻到衬底(ZnS)上。图2表示在 $10\mu\text{m}$ 宽、 $2\mu\text{m}$ 厚的 ZnS 波导中的最后光栅。蚀刻的深度为500埃。

采用另一种方法时，其掩模图形是用激光全息照相技术制作的导波层的表面旋涂一种光致抗蚀剂材料(KPR和Shipley 1350

两种抗蚀剂均可使用；制造商为 Eastman Kodak 公司和 Shipley 公司）。从公共光源发射的氩激光束（ $4580\text{\AA}$ ）以某一角度照射在抗蚀剂的上面，如图 3(a) 所示。这两种光束的干涉引起表面周期为 $d = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$ 的正弦变化的曝光。通过调整曝光和显影的参数，图形就可作为元件的有效复层保留在衬底的表面（图 3(b)）。虽然较慢的曝光和显影在抗蚀剂层的表面留下了这种波动的图形，并且从原理上讲，这种材料能用离子束加工清除而在衬底表面剩下波纹复制图形，但是，如果抗蚀剂材料含有挥发性成

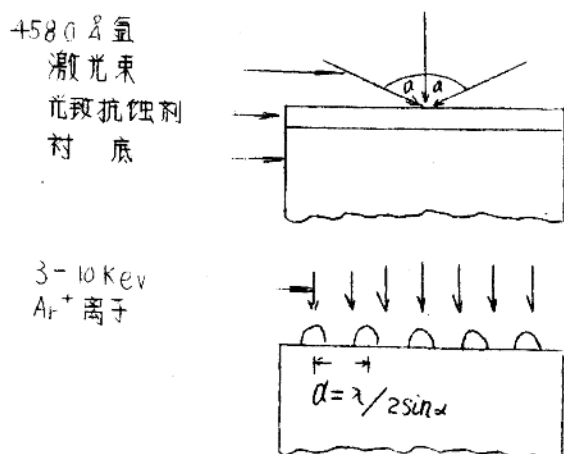


图 3、(a) 光致抗蚀剂的全息曝光 (b) 曝光后光致抗蚀剂的离子束加工。

份的话，那末这种方法是难于控制的。这是因为：离子束使抗蚀剂材料发热，而气体的蒸发引起气泡和砂眼，使图形浮升并扩展，以致最终损坏。因此最好要研制边界清楚、间隔均匀的条形图形，而且它们即使在有局部的气体蒸发时也不致有气泡形成。

我们用全息照相技术已经制作出周期为 $0.28\mu\text{m}$ 、 $0.41\mu\text{m}$ 、

1.4 μm 和3.0 μm 的光栅图形。然后用离子束加工把这些结构图形蚀刻到硅和GaAs衬底的表面。0.41 μm 的图形蚀刻到GaAs衬底表面的深度是0.12 μm ，这一点可以从扫描电子显微镜的横截面照片(图4)〈译注：略〉中看出。图5(a)〈略〉表示了放大倍数较小的1.4 μm 光栅的照片。图5(b)〈略〉表示了我们所能加工的最小周期的光栅——0.28 μm 最小周期是由激光器波长确定的，而不是用光致抗蚀剂的溶解度确定的，这表明：较小周期的光栅可以用一种较短波长的光来制作。我们相信：扫描电子显微镜的高分辨能力也能使我们制作出周期小到0.13 μm 的光栅，这种光栅是GaAs分布式反馈激光器所需要的。

光路

离子束加工结合一般的光刻或电子扫描印刷工艺，在制作光路时是非常有用的。一些元件如直线沟道和弯曲沟道的波导、定向耦合器、透镜或棱镜的薄膜模拟等等，均可用这种方法构成。这种离子束可用来把曝光的光致抗蚀剂(或电子蚀刻剂)中的结构图形复制到导波材料或专用的掩模材料中去，而这些材料无论在波导是由离子注入或扩散工艺制造时，都是使用的。

作为一个实例，我们在此报导一下在GaAs衬底上对于质子注入式波导的金掩模制造。用300KeV质子轰击GaAs，已经可以用来制作3 μm 厚度的波导。由于1.5 μm 的金层可以完全阻止这些质子，因此如能在GaAs衬底的表面制作合适的金掩模，那么光路便可被注入。

为了使沟道之间能够定向耦合，在制造许多条沟道间距很密的波导时，我们采用了一般的光刻掩模。GaAs衬底上溅镀1.8 μm 厚的金层。最后旋镀2 μm 的光致抗蚀剂层，并通过一种有透明条纹的掩模曝光。被曝光的抗蚀剂显影到金层中，形成脊状的抗蚀剂条纹。下一道工序，是对进入衬底的金层的明亮区域进行离子束加工。图6(a)和6(b)表示了顶部存有光致抗蚀剂残余物的最终的金条纹(略)。该结构的周期大约是6.4 μm 。在金脊条之间的明亮区

域，发生质子注入，并形成沟道波导。有关这些波导和它们之间的耦合的光学测量，则是行将发表论文的主题。

由图 6(b) 可见，金脊条的两个侧壁是非常粗糙的。其原因是光刻掩模的质量受到一定限制的缘故。如果采用前面叙述的两种方法中的任一种，即电子扫描制图或全息照相技术，那么就能得到较佳的侧壁光洁度。在有些情况下，光刻掩模可以用优质掩模来替代这种优质掩模是用钻石对复于玻璃片上的金属膜划痕制作的。图(7)表示了为制造直纹和弯纹的 $10\mu\text{m}$ 宽波导而制备的一种掩模。采用这种掩模图形时，离子束加工的定向性使该掩模或导波层的侧面光滑而平直（参见图 2），并没有下陷或粗糙的边缘。

如上所述，微细的金线图在电光方面，如用于红外发射的线栅偏振器等方面还有另外的应用。在这种应用中，金膜是沉积在衬底上的，衬底采用 Irtran 2 (Eastman Kodak 公司的商标名称)，碲化镉或锗，这些衬底材料均能透过所需的辐射光（例如 $10.6\mu\text{m}$ 的激光辐射）。按上述方法，应用光致抗蚀剂掩模，并用离子束加工，就能通过曝光的金层蚀刻到衬底材料上。当衬底的表面涂有防反射物的薄膜，而用化学蚀刻工艺对其有损伤时，这一种蚀刻方法尤其理想。在按该法制作偏振器的预研过程中，已证实采用 $1.1\mu\text{m}$ 的光栅间隔时其衰减比大于 99%。而对于精心设计的图形，可望进一步改进。

小结

在集成光学元件的制造方面，离子束加工已被认为是一种非常有用的工艺。当它与分辨率很高的电子扫描显微镜光刻技术综合使用时，制造亚微米尺寸的光学元件便成为可能。

对于制造各种周期的光栅形波纹而言，光致抗蚀剂的全息曝光与离子束加工的综合应用，已被证明是一种可以控制的和可复制的工艺。在采用一般的照像加之离子束加工时，图形的清晰度质量乃至最终的电光器件的性能，看来只受到光刻掩膜质量和光复制工艺

的限制。

译自 Appl. Opt. 1973, Vol 12, No. 3, p. p455-459

王志和译

谢同林校

光刻法加工精密零件

(日本)成泽纪久也

随着集成电路加工技术的迅猛发展,当集成电路发展到大规模集成电路以及超大规模集成电路时,几乎有相同工序的光刻法加工精密零件的技术也发展到了高密度、高精度。

下面,笔者打算介绍光刻技术的一般过程及其制品特征,以供应用光刻制品时参考。

光刻法制造精密零件,根据坯料及加工方法可作如下分类。

光刻制品

- | | |
|--------|---------|
| 金属精密零件 | 1) 光刻法 |
| | 2) 光冶金法 |
| 玻璃微细图形 | 3) 光刻法 |
| | 4) 光掩蔽法 |

以上四种加工方法中,除光冶金法仅用于某些特殊零件的加工之外,本文主要论述金属精密零件和玻璃微细图形加工中的光刻法及光掩蔽法;作为图样原形的光掩模的制作过程和各个工序及所用的设备、药品。

其次,虽然电子电路蚀刻、半导体工程的蚀刻、液晶显示板的奈塞玻璃蚀刻、印刷中的蚀刻等也要用到光刻技术,但它们各有自己独特的加工方法并且已实现机械化,所以本文对此不作论述。

1、利用光刻法制造金属精密零件的过程

光刻是一种化学腐蚀由照相法形成的图样,从而制成精密零件的技术。

主要过程可以分为如表 1 及图 1 所示的 10 个工序。

表 1 金属精密零件加工过程

序号	工 序	目 的
1	表面处理	净化坯料表面
2	涂敷保护膜	在坯料表面形成保护层
3	前 烘 干	去掉保护膜中的溶剂
4	曝 光	复印光掩模的图样
5	显 影	去掉未曝光的保护膜
6	后 烘 干	除掉残留在保护膜中的显影液
7	腐 蚀	腐蚀坯料裸露处
8	剥离保护膜	去掉保护层
9	单件分开	
10	检 验	

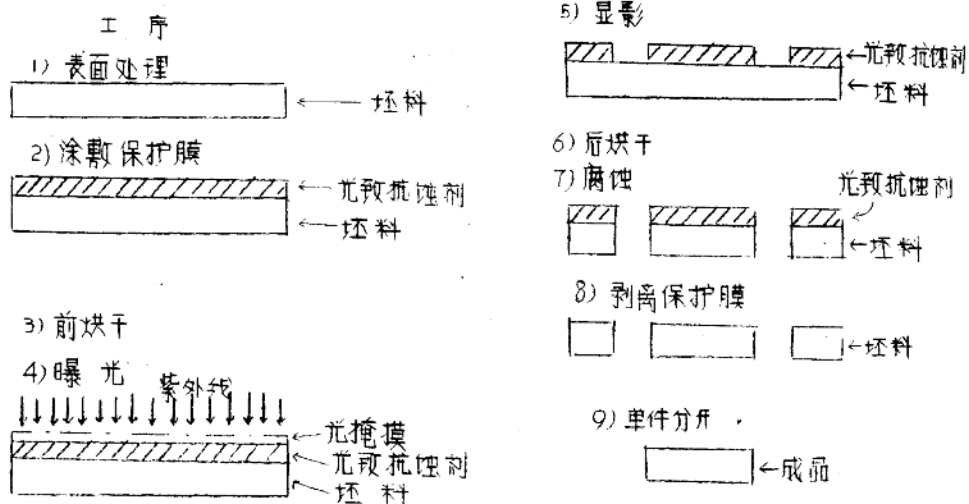


图 1 光刻金属零件的制造过程