

特氟隆抛光盘：它的制造和使用

引 言

为了满足对更平的光学表面愈来愈高的要求（特别是为法布里—珀罗干涉仪用的平板），澳大利亚 CSIRO 国家计量研究室的光学车间发展了可以用抛光机抛光法生产平达 $\lambda/200$ 的表面新技术^[1-3]。这技术是在特殊设计的慢速抛光机上采用特氟隆（聚四氟乙烯）涂层的抛光盘。

所以选择特氟隆作为抛光介质代替通常用的沥青是因为它能长时期保持形状不变。一经整平后，特氟隆抛光盘保持平度。严格地说，它是制造精密平板最后阶段使用的抛光盘。它抛去很少的材料，所以不能使表面形状改变超过波长的几分之一。但作为一个可靠和始终一致的生产精确平面的方法，特氟隆抛光法是一种重要的光学技术，有可能商业化。因此本报告写出工艺细节。在国家计量研究室以外还有 Orsay 的光学研究所用特氟隆抛光盘，还可能在英国也用。他们的使用都来自国家计量研究室的创始性工作。经过早先在 Orsay 建立这工艺遇到些困难后，法国光学研究所一位成员在国家计量研究室花了五个月时间参观学习。本报告大部分是那次访问的结果，所涉及的工艺细节超过以前的有关刊物。本报告经与 CSIRO 的化学物理和武器研究所的光学技术人员的较短期座谈后进一步改进。每次访问学习特氟隆抛光都是在精密光学加工中有丰富经验的人员。

虽然特氟隆抛光盘有可能用于球面，但很可能将限于抛磨平面。它最好用于熔石英，其次用于硬质冕玻璃。虽然它可用于 Cer-vit（硫化陶瓷）和 Zerodur（零膨

胀玻璃），但结果不一致。对软火石玻璃更不太适用。工艺推广到那些较不适用材料时还得进一步做工作。

材 料

制作抛光盘用的特氟隆（聚四氟乙烯）是从美国杜邦公司或其经营处购得。这些化学品应在用前采购，因为它们搁存寿命是有限的。图 1 所示为制造特氟隆涂层的抛光盘所需材料和设备。需要的化学品如下：

(1) FEP 856—301 和加速剂 VM—7799，两者混合好用作打底涂层。两者材料都是以 0.95 公升一桶（最小量）出卖。烘烤时间是在 450℃ 温度 10 分钟。

(2) FEP 856—200。一种透明的装饰材料，把它混入 30% 体积的微粒石墨填充剂中。这种原料也是以 0.95 公升一桶（最小量）出卖的。烘烤时间在 330℃ 温度 90 分钟。

制备基底和抛光盘的制造

抛光盘可用任何玻璃基底，但最好用低膨胀系数材料如熔石英，Zero—dur Cer—vit 等。我们总是选 Cer—vit 或 Zero—dur 不用硅土，主要因为它们比较软些（使小面容易切割），而较硬的熔石英却不是那样。基底互相平行度应磨到百分之几毫米，而在一个面上应磨出大约 2 毫米平方 1.5 毫米高的格状小面。这些可用 1 毫米厚的金钢石锯片切割出两组平行槽来形成（图 1、2 或 3）。这种操作，用一个水平磨床是合适的。切割时引起小面边上的小崩屑，所以这表面必须用

“注”图 1、图 2 省略

磨料重磨，磨料不应细于12微米，使表面有足够的粗糙度，可以挂住特氟隆，小面的尖角用1.5毫米钢棍除去（图2）。基底这样已预备好可以涂复。涂时首先要求是绝对干净，因为特氟隆这阶段的任何污染将毁掉抛光盘。使用涂层液，应按供应状态使用，不用水稀释，否则它们不用湿润剂便不能湿沾表面。

试过各种方法涂敷特氟隆，包括喷射上去的办法；但最简单最满意的方法是用扁平软毛刷（见图1），如图3。刷子是用3.8—6.3厘米宽的 Rekab 牌扁平油漆刷〔由 Percy P. Bakev 厂制的 3352 号刷〕〔厂址：伦敦 N₁ 区 Orsman 路 28/36 号〕。在涂敷特氟隆时盘温应在室温或略低。涂敷时多出来的特氟隆——石墨混合物要从刷子中挤出来，在毛刷端成一直边。这可和小面顶部均匀接触；如果涂敷适当，在涂敷时很少或没有特氟隆流到小面之间。

FEP 856—301 和加速剂的底涂层是抛光盘的玻璃表面和 FEP856—200 之间的结合层。打底层只涂一层，而 FEP 856—200 则涂好几层，使达到所要厚度。杜邦公司关于特氟隆装饰涂层数据资料单中的说明关于涂层厚度、烘烤温度和时间应遵照办理。主要问题是抛光盘基底是个厚的衬底，不易使特氟隆和玻璃之间的交界层在适当时间内达到所需温度。仅仅十分钟的短时烘烤和烘烤打底层所须高温不易得出满意的结果。我们用了两类炉型；各得不同结果。所以我们建议对所用每个炉子要做试验涂层。最好的结果是用本试验室自行设计和制造的玻璃退火炉。

要得到约 0.5 毫米的均匀一致涂层需要涂敷十至十五层 FEP856—200。先只搞五、六层的厚涂层，结果特氟隆厚度在整平减薄时几乎每个小面在中心特氟隆表面上打开了个空腔。这空腔的形成起因于外表面的特氟隆材料在内部没有达到正确温度前已经硬化。这样载体材料就无法自由蒸发，而形成

气泡。所以重要的是在涂敷特氟隆时尽可能使涂层薄而匀，厚度和形状在每个小面都一样，因最后这将决定各小面的表面形状。我们认为这是重要的，将影响总的抛光条件。图 4 表示三种情况。

(a) 特氟隆倒挂在小面上，这最不理想，因为倒挂的特氟隆不会与在玻璃小面上的特氟隆在同一平面上。当整平抛光盘时在整平板取掉后，倒挂的特氟隆将弹回，使各小面有隆起来的边。

(b) 这是理想的涂敷小面，弯月面从每小面的边缘开始。

(c) 这显示在整平之后抛光盘的正确涂敷小面剩下的弯月形作为每个抛磨表面的倒角斜面。

在每次涂刷后盘子放在图 1 所示的干净盆子内用盖子盖好（我们用不锈钢的）然后一起放入炉内，加热到适当温度。我们的经验证明当烘烤 FEP—856—200（配入石墨的）在 330℃ 时一个 Cer—vit 盘（305 毫米直径 60 毫米厚）在炉内达到温度之后需要 4

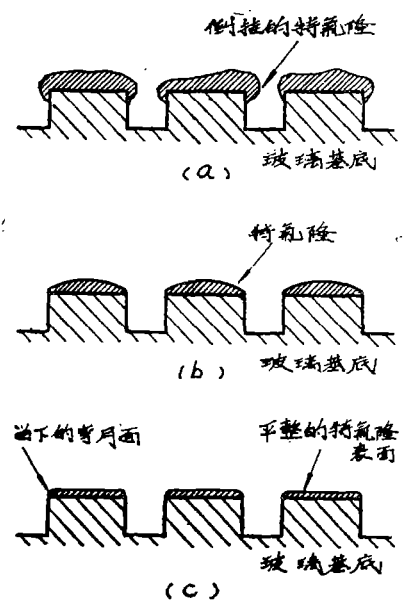


图 4 用特氟隆涂敷小面
 (a) 不正确的特氟隆涂敷小面，有倒挂的特氟隆 (b) 正确的涂敷小面
 (c) 平整后的正确涂敷小面

小时才能使全表面达到均匀熔化的程度。

烘盆盖子中心有孔(见图1)通过孔放进热电偶贴近抛光盘小面,测近小面的温度,达到正确温度所需时间随着抛光盘大小而不同。进一步如何处理特氟隆的细节和应有的注意见杜邦数据资料表。

整平过程

涂刷完成,盘子装架到直径等于抛光盘的金属板上;用0.16毫米厚的双面胶聚胺乙酯胶带粘结保证没有应变。金属板和玻璃板之间的间隙用电胶带密封。整平过程开始用直径约等于抛光盘直径的研磨玻璃盘与特氟隆表面对磨,或是整个抛光盘可以放在一个直径稍大的盘子顶上磨擦。在整平抛光盘的过程中不用磨料。这操作可以在一个合适的偏心光学磨机上进行。为开始整平所用盘子应用70—125 μm 磨料磨平。这粗糙面将很快把特氟隆磨下去,最好用水做润滑剂。虽然开始整平用的盘子是用粗磨料磨的,但应相当地平,这将去掉的特氟隆比较少。任何太大的不平度将对抛光盘是毁灭性的。

这整平盘进一步用较细的磨料磨下去,更要尽可能保持整平盘的平度,因为特氟隆抛光盘的最后平度将依赖这整平盘的平度。当整平板用20微米碳化硅磨过后,特氟隆表面也很光滑,用检验平板在单色光或白光切向入射观察时可见干涉条纹。这可把表面修到一个或两个条纹。当整平板用细于20微米磨料磨时,自然去掉的特氟隆更少;要纠正偏离平度大的表面将成为困难和费工的。因此在整平早期即整平盘表面还是适当的粗糙表面时必须达到良好的平度。在检验还粗糙的表面时整平盘的平度只能依靠用来磨它的板或直边的平面度来检验,因为切向入射观察干涉条纹的检验方法只有在磨料小于15微米时才可能用(用20微米磨料只在特氟隆表面上看到条纹)。最后特氟隆表面的成形,用纽约北溪巴顿矿公司供应的用8微米

磨料磨平的 Cer—vit 盘进行,采用专门夹具和机器(见图5)。这操作也可以手工进行。整平板多用后也受磨损,失去切割特氟隆的能力。因此必须常常重磨整平板。这特别适用于最后整平过程、使用8微米磨料时要常常重磨平整板。

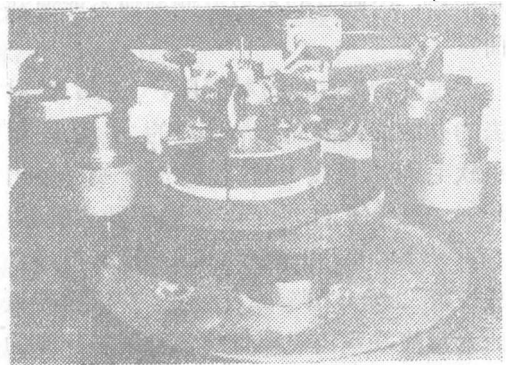


图5 用机器整平一个特氟隆抛光盘

在用 Cer—vit 整平板之前,曾用过两个 Duran50 盘,用手把它们对磨达到所需平度。现在用的整平 Cer—vit 板的方法见图6和17,是用树脂和蜂蜡混合物把六角形的或圆形的陶瓷砖粘到一个平的金属板上作为研磨工具。为最后整平板的整平操作平度是十分重要的,因为特氟隆抛光盘几乎是这整平盘的完美复制品,尽管抛光盘的平度可以由整平时机器或手的动程的小改变引起小量的变化(见图5和6)。在整平整个过程中,特氟隆表面的平度可用检验样板和一个单色光源或一个斐索干涉仪(最好用激光源)来检验(图8和9)。

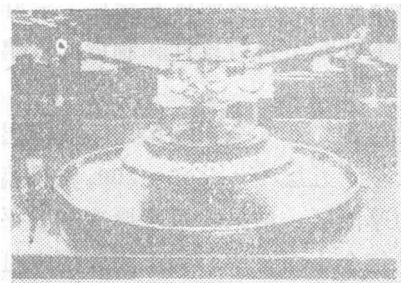


图7 用机器进行 Cer—vit 整平板的最后平整

“注”图6省略

图8所示平面抛光盘并不保证是绝对平度的表面，因为它的组成部分的形状和尺寸对它的表面的形状将是怎样的有很大影响。可是最重要的是抛光盘是球形的或是完好的旋转表面。在小面顶上的特氟隆层厚度在最后整平操作后在0.15—0.30毫米之间。

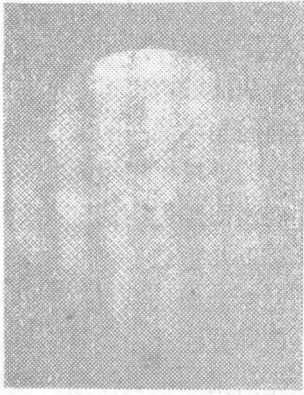


图8 在斐索干涉仪中激光源下看到的特氟隆抛光盘表面上的干涉条纹

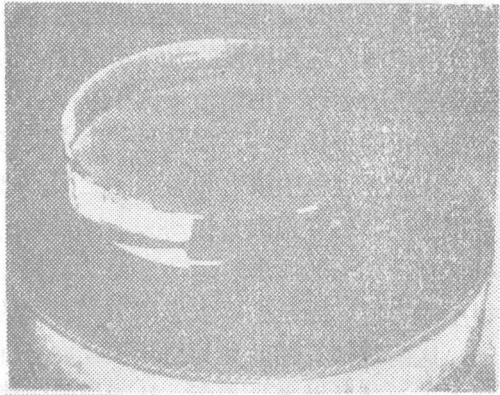


图9 白光下特氟隆抛光盘表面和检验平板间的干涉条纹

特氟隆抛光盘的处理和保管

应记住特氟隆不象沥青，不吸附从破棉布、海绵、纺织品、毛品或类似材料掉下来的尘埃或纤维。清理时只能用过滤过的水或软刷。水用无油的压缩空气吹，直到抛光盘干为止。过夜或长期储存，只要在特氟隆表面上放一块窗玻璃就可使它保持清洁。抛光盘

一经整平后将保持平度，甚至可以长期存储，记录中存储保持平度的最长时间为两年，两年后它产生的平表面在60毫米直径盘上全面优于 $\lambda/20$ 。

抛 光

每个有经验的光学工作者都知道抛光平表面有本身的范围。所以当抛光某种形状和尺寸的光学元件时，光学工作者依靠自己的技术和经验来选择适当的抛光盘或要不要用一个保护环；所有这些即使对在特氟隆上抛光也适用。但是在特氟隆上抛光两个主要考虑是抛光时元件的机械稳定性，和特氟隆表面的均匀使用，而在开始抛光之前实际上所有其它都早已决定并检查过的。当然最基本要求之一是合适的抛光机器，制造要求高精度的法布里—珀罗干涉板手工操作是远不能满意的。这里描述的抛光经验是 Leisfnev 所描述^[3]的为平面工作特殊设计的机器、具有专用夹具。我们所用抛光粉是浮悬处理的氧化铈称为 Vitrox R，由 W.R. Grace 公司，Davison 化学部 N.J.97444，Pompton Plains 信箱 188 供应。用浮悬处理的氧化铈是重要的，因为缓慢的抛光速度使普通磨粉在抛光时受到搅动，不是以防止它过分快地沉淀到小面之间。

经验证明并非所有浮悬处理的抛光化合物能长时间停留在浮悬状态的。所以我们把较重的材料分离出来。经把20克磨粉放在5公升水中摇动，让它在3—12小时内沉淀，视所要等级而定时间。较重的料能更快地沉淀。乳色液于是虹吸出去，让全部沉淀。再把清水虹吸出去，于是浓缩物可稀释到抛光要求的浓度。把这分离出来抛光化合物存储或保持相当长时期是不妥当的，因为它一经和水接触，趋向于凝聚，使分离过程无效。如法布里—珀罗干涉仪板所要求的那样平表面最后期是用低浓度的氧化铈抛光的。如果在抛光操作时从抛光盘上取出一滴抛光液，

放到对光的地方（用手指背反光就行）才能看到抛光液中的粉。

除掉清水用于抛光外，还要一瓶Teepol（液态洗涤剂）和水的混合物（约15毫升Teepol加250毫升水）。在抛光前对抛光盘喷射几次，也许一天中喷一二次。它使水和抛光化合物在特氟隆表面上分布更均匀些，防止抛光时任何去掉的材料粘附在抛光的表面上，因为这可使表面形成污点或形成局部小淀积。这些淀积对抛光BK7, Psk或Bak这类玻璃特别麻烦，这里建议用较高浓度的Teepol—水混合物和抛光化合物。同样对抛光Cev—vit和Zero—dur也适用，因为两者都易形成这种表面上的污点积累。软火石玻璃在特氟隆上抛光没有成功，因为这种淀积很容易积累起来。

在特氟隆上抛光和沥青上抛光相比，去掉的玻璃很少。因此所有元件都在沥青上预先抛光直到表面没有缺陷，平到1—2条纹或更少些为止，视表面大小而定。一个不规则的条纹是可以接受的，只要总平度相当于一或两个条纹。大平板如超过200毫米直径的，可以容许平度略差的表面，但在特氟隆上所需整平时间相应地要长些。除了特氟隆上整平很凸或很凹表面需要额外时间外，严重平度偏差使开始抛光时元件与特氟隆抛光盘接触不理想。一个凹表面全玻璃板重量压在倒棱与抛光表面之间的边上，将刮伤特氟隆表面，破坏它的平度。加工一个凸玻璃面时将与特氟隆表面只在中心一小块面积接触，由于抛光磨损不仅发生于玻璃表面，并也发生在特氟隆上，不均匀的使用将破坏抛光盘的平度。

倒棱是在特氟隆上抛光的一个麻烦的问题。它们应用细磨料（5—8微米）在大约25°角重修一下。对盘子用毡抛光倒棱发现是满意的。所有可能形成的锐边，如板边剥落碎片—不论多么小—或是表面上打开了一个气泡，必须完全用实际最细的磨料去掉。划痕、甚至细的有时也很麻烦，如果需要超平

度表面如法布里—珀罗干涉仪板的要求那样，因为在划痕周围紧接的面积会出现对平度不可容忍的偏差，抛光用的专用夹具夹头有特氟隆的，用它夹住元件。这就必须把这些特氟隆夹头所持的任何元件、夹持圈或其它需用特氟隆夹头夹持的东西边缘抛光或细精磨，因为它们在粗糙的玻璃边上会磨损，在抛光盘上掉下松落材料。对保护圈，可用电胶布复盖夹头接触的粗边。

我们用的抛光机是在国家计量研究室设计和制造，专为平板抛光用的。我们正在寻找生产超平度表面过程的稳定性和控制，这在传统抛光机上几乎是不可能做的困难工作。特氟隆抛光盘如果没有速度和运动的精细的控制只能部分成功，实质上这种精细控制对获得抛光结果起很大作用。虽然这些机器是为达到一定能力和要求而制造，但似乎可以说生产高精度平板用不是这样复杂的机器，没有我们机器这样多能，达到好的或等效的结果是可以的。例如在抛光的过程中三转轴分别控制以达到很慢的无振动速度，实现完全随机的运动（见参考4例子）。

要制备的平板尺寸当然是另一个主要考虑点。在抛光过程中玻璃和特氟隆之间的摩擦是很小的，用专用夹具推动一个比较大的平板（直径15—20厘米）运动过抛光盘只需要很小的力量。抛光主要依靠两个偏心轴的运动，这两轴带有辅助夹具使元件在完全随机状态下运动过抛光盘表面，从而使特氟隆表面均匀磨损。抛光盘的旋转速度是慢的（0.5转/分钟），一般对实际抛光起很少作用，而仅仅是改变位置。这机器可达到对速度和运动的良好控制，与特氟隆抛光盘的稳定性、专用夹具结合起来，使整平操作可以控制到这样的程度，在几天运转中达到一致的高平度结果。图10和11显示典型的抛光程序。

用专用夹具可以抛光任何形状的元件，不要保护圈，只要元件的形状和尺寸能使它们在抛光过程中保持稳定。（保护圈主要用于

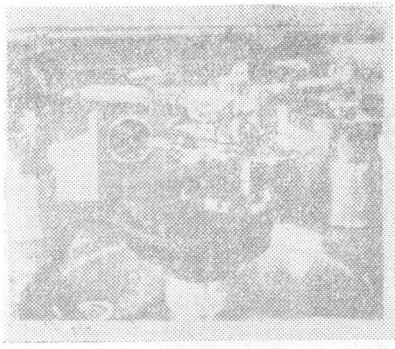


图10 在特氟隆抛光盘上用特殊夹具抛光一个方元件

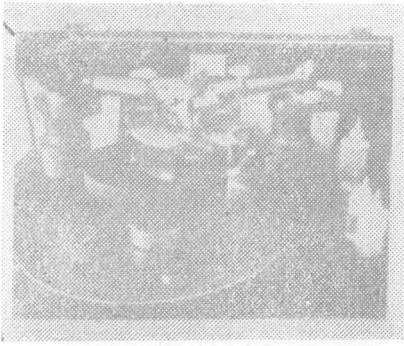


图11 用保护圈和专用夹具抛光一个75毫米直径的法布里-珀罗干涉仪的平板

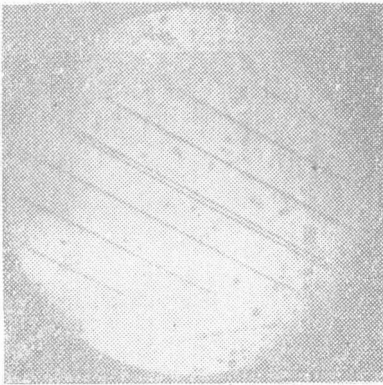


图12 在特氟隆上抛光的矩形氧化硅平板 130 毫米×85 毫米×20 毫米上的多光束条纹，多出的线是用作参考的拉直线

100 毫米直径以下的小零件。它们由熔石英制成，比元件大些，中心有孔，可把元件镶入)。图12所示结果可以无例外地达到。当若干全同的元件必须抛光剩等同平度时，特氟

隆抛光盘特别有意义。抛光盘一经达到正确条件时，在比较短的抛光时间内即可达到良好的结果。

这些稳定的条件在长时期显示了很多有趣的事实，过去用沥青抛光盘和惯用的抛光机由于变数太多是难于证明的。下面是两个例子：

(1) 如果在很多小时抛光期中，一个盘子的平度保持恒定，那么一个偏心轴转速增加 2—3 转/分钟将显著地改变盘子的平度，虽然它还保持球面和完善的旋转表面。

(2) 如果两个平板尺寸差别只有 10—15%，在同一抛光机上全同情况下抛光，将得到不同程度的平度。

元件在抛光中的不稳定性依然是主要问题之一，它对很多平度偏差起作用。元件和抛光盘之间的接触当元件运动过特氟隆表面时随着时间变化，改变了磨擦力，这样就改变了推动它所需的力，因而产生加在元件上的不均匀压力，影响它的稳定性。一般认为在抛光时盘子和任何元件应把推动处放到实际可达到的最低的地方使它保持稳定；实际发现这并不总是正确的。将 75 毫米直径的法布里-珀罗干涉仪板在保护圈内抛光，这圈推动板的地方离抛光面 1—2 毫米时，结果板边缘塌边，当推动点提高到盘子厚度的三分之一时立刻得到改进。在保护圈内推动元件用的最适合的材料是 0.16 厘米厚的双面聚氨酸乙酯胶带，切成了毫米宽的条子贴在保护圈内部，这胶带不再用同宽度的电胶带盖住。所有硬材料如纤维管或塑料管因某种理由都不适用。如果要求超过 $\lambda/100$ 的精度，那么在抛光时元件上不要粘任何东西，甚至一薄层虫胶或光学漆涂在元件背面（特别是盘子上）也可引起畸变。

在特氟隆上抛光时元件的表面面形的变化是很慢的。前面讲过如果达到了所要抛光的结果，那就要几小时内不要改变机器抛光臂的速度或动程。所得结果于是保持长时期

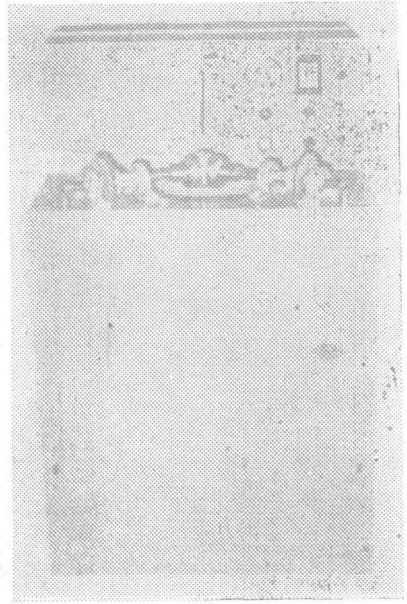
(下转第 46 页)

SP—2型透镜研磨机

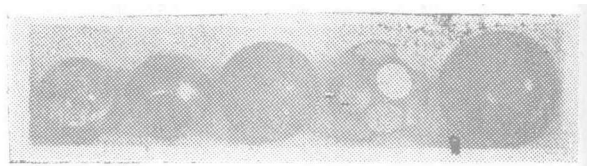
以前的透镜研磨机，要求熟练的操作者，尽管如此，也难以提高生产效率。鉴于此种情况，最近，日本三进精密仪器公司研制成了SP-2型球面研磨机，这种透镜研磨机，因为综合掉了以往研磨作业中的一些弱点，所以是按新的要求研制成的机械。

这种透镜研磨机，只要把透镜贴在球模面上，就可以把透镜面研磨成正球。这是把三根旋转轴以及轴承水平地固定在120度的角度上，从三个方向，给球模加以同样的压力，由于使安装在三个方向的轴前端的研磨盘以各自不同的旋转数旋转，所以研磨盘的不同旋转差就形成了球模的不同磨擦。因此球模也就随之而形成完全永久固定的轨迹，旋转起动时，由于磨料添加在研磨盘和固定在球模上的透镜之间的磨擦上，所以能研磨成正球。

把这种使用球模的透镜研磨机与以前的研磨机进行比较，以前只把透镜贴在半圆面积上而用球模可以把透镜贴在球模的全面积上（是以前的2~4倍）。由于球的全面都能被加工，所以研磨时加工件整个球面的磨擦是一致的，并且不会磨塌边而加工成正球。同时正球的加工件即能保持正球状态，又能缩小直径地研磨下去。在这过程，如果根据



照片1. “SP-2型”



照片2. 宝石、透镜、金属等的加工制品

（上接第45页）

内相同。如果目的是要得到平度表面的话，就必须在抛光期内给足够的时间使元件达到平衡，通过抛光操作中可以执行的控制，这些条件可以系统地达到。用这种技术达到表面平度达 $\lambda/200$ 。可是有个问题还没有完全解决，就是在车间条件下对这样精度的表面的检验。此外两平玻璃表面间的平度测量仅

仅是比较而不是绝对平度的测量。因此我们现在的問題不是生产而是检验；已经进行了绝对平度测量的计划。

译自 “Applied Optics”, Vol. 15, №2 (1976年2月)
第293—298页

〔吴学兰译 杨志中校〕