

光学表面的离子抛光

观察到用正离子射束从绝缘体表面可控制地除去材料。在能量范围 0.5—2.0 MeV 内的溅射量观察到是 1。本文讨论了这技术对高质量光学表面制造的应用。

导 言

近期发现，高能正离子可用来从电介质表面选择区内除去控制数量的材料，同时改进表面质量，对校正光学表面有很大的潜在重要性。现在衍射极限的光学元件制造，包含着反复的手修校正。这步骤难于控制，因而费用大。为此，似乎值得在比过去工作所用条件更多控制的情况下，扩大原始实验的范围。

能量在百万电子伏特区或以下的重离子，由于它们在固体内射程的极端短浅，产生独特形式的辐射损伤。由于射程短，射入粒子所有的能量，在靶标表面几微米内释放。在给定的材料中一个入射粒子的精确射程依赖于粒子的质量，能量和电荷。例如，在透明石英中 H^+ 和 X^+ 的计算射程在表 1 中列出

表 1 透明石英中的计算渗透深度

粒子能量	$^1H^+$	$^{130}X^+$
50 KeV	1.4 μ	0.03 μ
500	14	0.26
2000	56	1.1

近表面的能量释放早就知道，这是溅射的基础。有很多溅射金属的研究，但只有少数涉及电介质有关效应的。这些溅射实验之一当用 8 KeV 的 A^+ 时看到钠钙玻璃的侵蚀。侵蚀由于从玻璃靶面选择性地除钠所引

起，Koch 观察到重离子轰击透明石英降低了表面层的折射率，因而降低了表面层的反射率。一些工作者用离子束研究这指示变化的机理并把变化归因于撞击子。Primak 发现辐射导致的弹性应力在石英和透明石英中可以产生表面龟裂。他还观察到质子辐照的极大应力能级出现于剂量能级约 $10^{-3} c/\text{厘米}^2$ ，发现再加轰击，由于退火过程，使应力降低。

Hines 和 Waller 观察了透明石英用 20—60 KeV X^+ 束的侵蚀。他们发现最大溅射量以除掉的原子数对入射的离子数之比为定义，在 40 KeV 能量附近为 1.8。它们产生的穴深达 2μ 。近期工作报告溅射量可与此相比。 A^+ 离子对透明石英的溅射阈是 16 eV，而入射能量提高到 120 eV 时溅射量增加到 0.3。

我们的研究是关于光学材料从选择面积表面层排除材料控制量方面过去所做工作扩大，目的是发展光学抛光新技术。

实验研究

从范德格喇夫加速器发出的 2 MeV 正离子用磁场分析的射束，在进入试样室之前经过一个孔和一个 60 c/s 静电偏转器。离子束以 60° 入射到试样表面，虽然少数几个试样用垂直入射辐照。如图 1 所示试样室具备测量束流的和中和离子束所产生表面电荷的装备。束流在 0.4—30 μA 范围内，离子能量在 1.5—1.8 MeV 范围内。辐照面积可以不同从 0.03 cm^2 到 1.0 cm^2 间。试样室压力

为 6 到 8×10^{-4} 托。

用粒子束抛光光学材料与其它抛光方法对比的重要特征是能连续观察抛光程度。为了检查这种可能性，样品室放在特列曼-格林干涉仪的——支路里，干涉仪光源是 He

—Ne 激光（见图 1）。光束分光器镀了电介质膜使上表面反射率约 50% 左右。下表面的反射用布儒斯特角结构予以消除。真空室窗口表面平到 $\lambda/100$ 并镀有防反射膜。

为了使从加速器传来的震动影响减为最

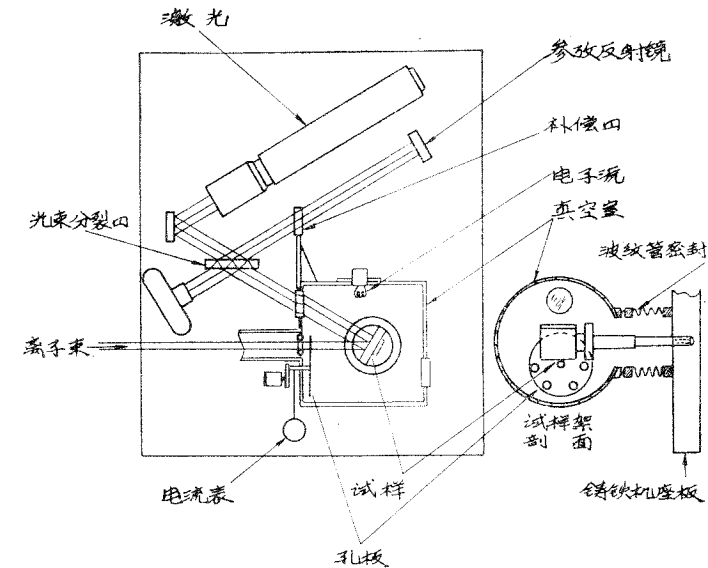


图 1 样品室示意图

小，所有光学元件，包括试样，分别夹紧到重钢板如图 1 所示。室壁的真空密封是用波纹管封在钢板上，使光学系统与真空系统的机械耦合为极小。窗口振动引起的条纹运动，用参考光束通过附着在样品室的同窗口使减到极小。

透明石英、硼冕—7 光学玻璃，CER—VIT* 和方解石的试样被轰击，试样表面原始平到优于 $\lambda/10$ ，试样背面的反射用镀防反射镀层，或制造中使前后面不平行来消除。

结 果

表面的干涉测量观察在轰击中成功地进行，在透明石英轰击过程中所得典型的干涉图见图 2。考虑图 2 中的示意表示法说明 H^+ 离子轰击使条纹移过半个条纹（1500 埃）。

图 3 显示一个典型透明石英试样轰击后取得的干涉图。这里表面用 $15 \mu A/\text{cm}^2$ 的

0.5 MeV 质子轰击了 4 小时。在这情形下在 1 cm^2 面积上除掉了约 2200 \AA 。辐照面积近边缘处干涉条纹的倾斜是射束能量的小起伏所引起的离子束的轻微造成的结果。这漂移导致辐照近边缘的不匀抛光。离子能量的更好稳定可防止这效应出现。

图 4 (a) 所示 BK-7 的热变形阻止了有意义的同时干涉测量。可是在射束关掉让样品冷却时，又很明显材料是被均匀除掉的，如图 4 (b) 所示。在这情况下 1 MeV 质子的 0.17 c/cm^2 射束的辐射剂量从硼冕—7 表面除掉了约 1125 埃。一个方解石晶体在辐射中很快出现了很多裂纹，可能是由于热效应的缘故。CER—VIT 在轰击时显示黄色荧光，而其它样品显示蓝色荧光。此外 CER—VIT 表面火花持续发生，虽然其它材料避免表面火花没有困难。

没有尝试收集溅射材料来直接测定溅射

的量。可是如果假定观察到的条纹位移只是代表由离子射束从表面除掉原子，那么可以得到对溅射量的估计。用这途径，当样品表面保持干净时，在实验范围和实验精确度内溅射量是1。这对于 H^+ 和 $^{20}N^+$ 入射束粒子能量在0.5—1.8 MeV时是正确的。从文献中所报告一般较低数量级，较低 H^+ 量，这结果有些惊人。达到的最大除料深度对硼冕-7为1125埃，对透明石英为3000埃，这对原始精确到的 $\lambda/2$ 光学表面的校正已超过了足够的程度。这种原始公差对大面积是一个合理的规定。再则现在没有理由认为这些抛光深度代表上限。

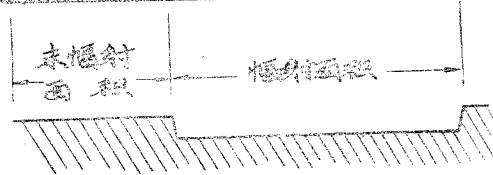
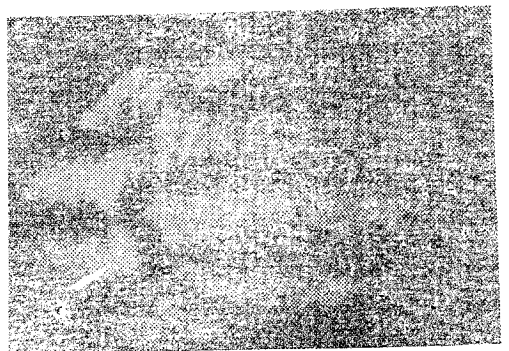


图2 TVS样品在用10 MeV H^+ 的 $12 \mu A/cm^2$ 束辐照过程中所得一格林干涉图

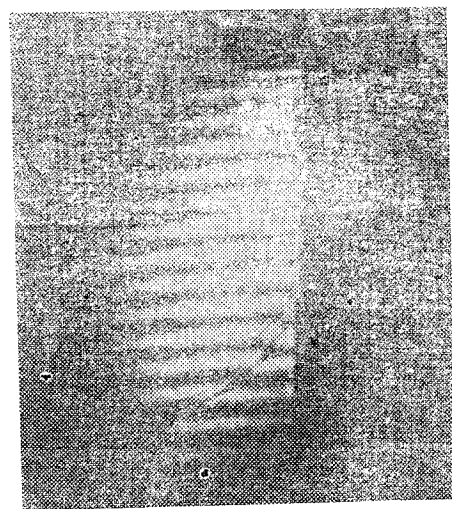


图3 TVS样品用0.5 MeV H^+ 的 $0.2 \mu A/cm^2$ 束辐照所得干涉图

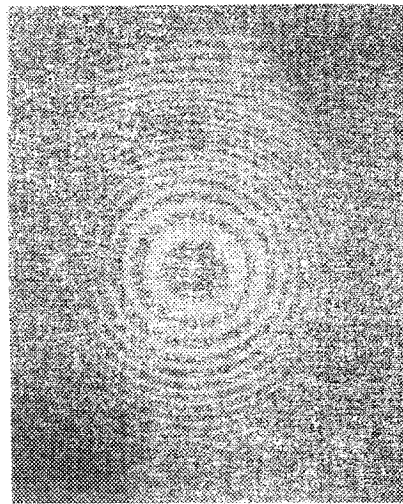
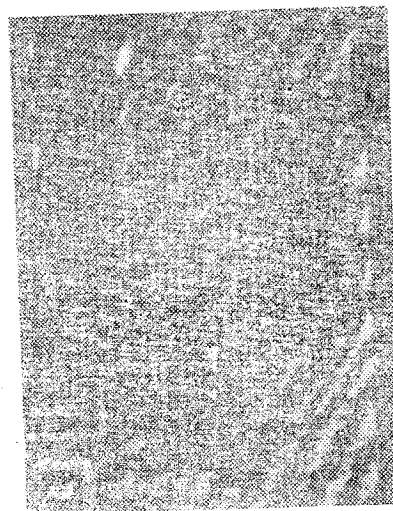


图4 (a) BK-7玻璃用0.5 MeV H^+ 的 $15 \mu A/cm^2$ 束辐照过程中所得干涉图



(b) 同一面积离子束关掉后五分钟

多通道干涉测量，光学显微术，激光散射指出辐照表面的质量已改善，在任何情况下肯定没有降低。不肯定性是由于在制造样品过程中没有足够的材料除掉，来暴露损伤层下面产生的新表面这事实引起的。

我们观察到在早期实验中玻璃表面上形成炭镀层降低抛光率到无法测出的水平。这发现和Smih等对铜的发现相似。椭圆测量指出镀层指标是2.21，这和Mcartney和Ergnn报告的 $n_{0001} = 2.15$ 和 $n_{1012} = 2.04$ 相当符合。在某些情况下，虽然找到轻的炭镀层

但出现，抛光速率出现显然减慢。假定或是所有抛光在镀层形成前出现，或是镀层不够厚，不能完全阻止玻璃面排出材料。可是，形成厚镀层时辐射达 $0.24 C/cm^2$ 检测不出抛光。在后来实验中通过所用真空技术的改进，大大消除了炭镀层的形成。

用了Zainiger Revesz⁽⁶⁾的公式，椭圆测量BK-7辐照过程中形成一个表面层。这层有表观折射率1.497和未辐照材料的1.517不同，并约100埃厚，我们在透明石英干净试样上没有检查到相似层，虽然这可能由于试样为了消除所有炭迹力热到500℃所造成。被辐照的透明石英试样在600℃退火半小时后观察到反射率器到正常。还有证明这样处理使注入的He从金属试样扩散出来。

我们没有观察到Primak描述的表面龟裂现象，关于这点应注意到我们用电子束保持试样表面没有静电荷，而Primak没有这么做。可能Primak产生龟裂由辐照表面上局部电积累间电放射引起。

讨 论

下凹是由于体积变化而不是由于材料的

移去引起的可能性不应忽视。已知道中子辐照产生透明石英密度的增加。如果下凹仅仅是由于密度 $\Delta\rho$ ，因为辐射损伤而增，按照Primak和Edwards的数据，那么如果所用总剂量相同，不同能量的轰击应产生不同下凹深度。这和我们观察到的除去率对粒子能量是无关的相矛盾。再则Primak报告说轰击产生的体积变化可用热退火消除。我们热退火实验中轰击层的折射率回到辐照前的数值，但下凹深度保持不变。因此我们实验中观察到的下凹不大可能是由于密度变化所引起的。

利用离子射束来校正光学表面是吸引人的，表面将用干涉测量法检验，结果用计算机程序分析，这程序控制粒子射束，监视它的位置和强度。在我们实验中检验和监视程序用得很成功，在离子抛光理解得更好时就可以结合到设备中去

离子抛光进一步的工作正进行。

译自 "Applied Optics" Vol.5, No.6,
P 1031—1034, 1966
(吴学兰译 杨志中校)