

X射线—极紫外光学中的超精密加工 及其应用

难波义治

(中部大学机械工程系, 日本)

摘要 短波光学技术的发展对高精度超光滑表面提出了严格要求。在X射线—极紫外光学中,光学元件表面粗糙度均方根值必须达到埃量级。制造这样表面的超精加工包括切割、研磨和抛光等工艺过程。本文介绍一种制造X射线望远镜中非球面镜的复制方法。

关键词: 超光滑表面; 粗糙度; 非球面镜

1 引言

光学玻璃的抛光工艺一直用于制造平面或球面的传统光学元件。近年来,科学的发展对较短波段(比如紫外、极紫外和X射线波段)的光学系统提出了新的要求。这类光学系统需要一些新指标,比如玻璃或非玻璃材料的元件要有更高的面形精度、超光滑表面、非球面面形等。这样就带来了许多需要解决的技术难题,为此要有新的超精加工技术。例如,在日本下一代的套迭式X射线望远镜计划中,就提出要发展具有高功能特性同时又很轻的空间望远系统。本文介绍用于制造X射线望远镜的超精加工机床,以及实现诸如切割、研磨和抛光等基本加工的现有条件。

2 X射线望远镜及其加工设备

人们已经研制了使用微晶玻璃陶瓷为基底材料的多种高精度X射线—极紫外望远镜,面型为非球面。为减轻镜子重量并提高聚光性能,其中的一种X射线望远镜由一组锥形铝箔反射镜套迭构成。图1为一种新式Wolter I型掠入射X射线望远镜,它由一组厚度为亚毫米量级的薄镜组成。由于反射镜很薄,必须用复制技术制造。

图2为制造Wolter I型反射镜的压模。压模表面粗糙度小于0.5nm,面形精度优于100nm。

图3为一种新型超精密加工机床,用来制造以上X射线望远镜所用的薄镜。这台数控机床有两个分辨率为10nm的线性滑动装置,一个转动分辨率为1.3弧秒的轴,安装在100级超净间中的防震工作台上。这台机器被设计成既可用于研磨抛光也可用于切割。

收稿日期:1993年1月18日;中日工程光学会的报告;作者的论述代表了日本这方面工作的最新水平,很有参考价值,经原作者同意,由高宏刚,曹健林整理

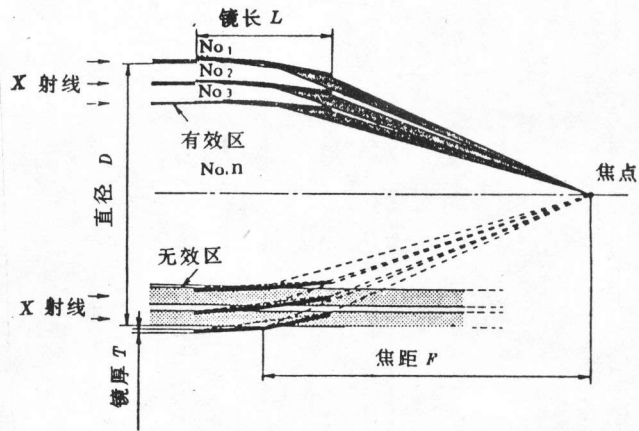


图1 下一代套迭式 X 射线望远镜结构

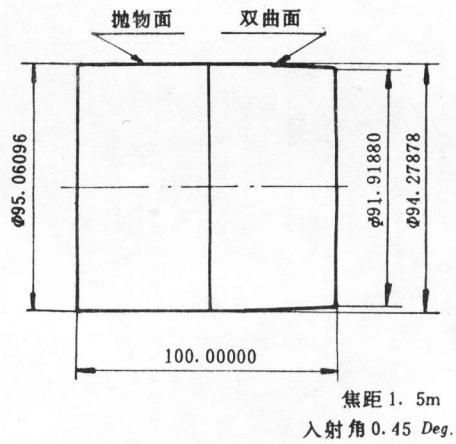


图2 制造掠入射 X 射线镜的压模形状

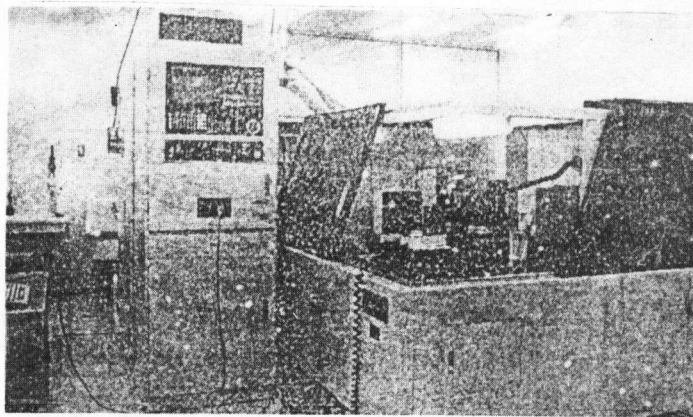


图3 置于超净间的制造非球面光学元件用新型超精密机床

3 超精密钻石车削

由于钻石刀车削较软材料时，车削力很小，并且钻石车床精度很高，所以由精密钻石车床可以很容易地加工出精密元件。图4为用钻石车床加工出的用于X射线望远镜的Al-Mg合金压模。压模的下部是抛物面，上部是双曲面。图5表示了在这个钻石车削的非球面的表面粗糙度，由WYKO's TOPO-3D给出。作为X射线光学元件，这个表面太粗糙了。其原因有两方面：一是数控的数字误差，二是多晶材料颗粒之间的台阶。在切割非晶材料平面时，表面粗糙度可达0.6nm，如图6。

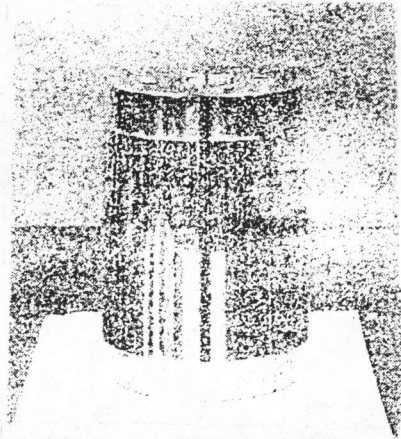


图4 钻石车削的Al-Mg合金压模

RMS: 4.88nm
RA: 3,85nm SURFACE
P-V: 26.5nm

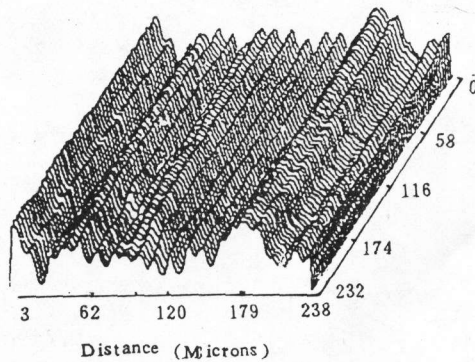


图5 钻石车削非球面的表面粗糙度，由TOPO-3D测量

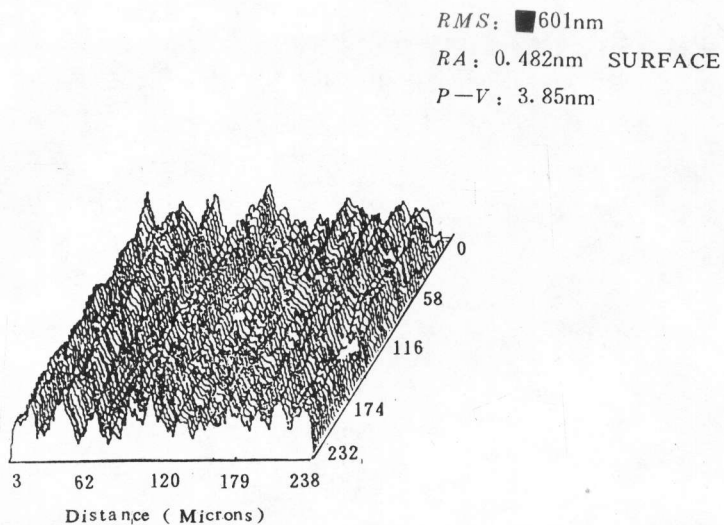


图6 钻石车削无电镍的平面粗糙度

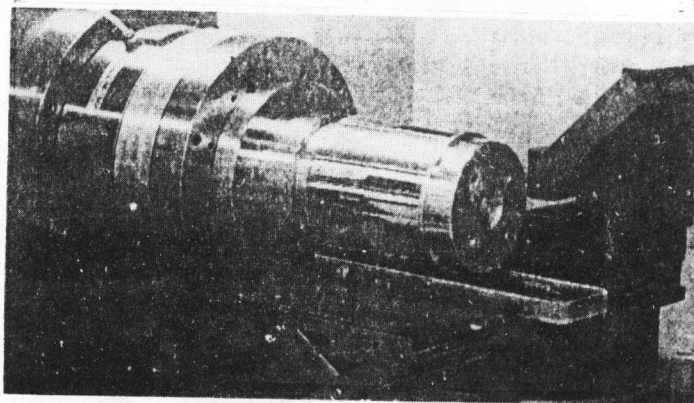


图7 复制薄镜过程

图7 为从非球面压模复制 X 射线望远镜用塑料薄膜的涂覆过程。

4 超精密研磨

能用做钻石车削的材料范围毕竟有限,而超精密研磨则可在较硬材料上获得光滑表面。在研磨象玻璃这样的非晶材料平面样品时,不经任何抛光过程就可获得粗糙度为 0.16nm rms 的表面,如图 8。这种表面比光学抛光表面还光滑。虽然当研磨非球面时,在面形和粗糙度方面仍有一些问题,但是,不经任何附加工序由超精研磨直接获得 X 射线—极紫外光学元件,在未来是很有可能的。

FINE GROUND BK-7 GLASS

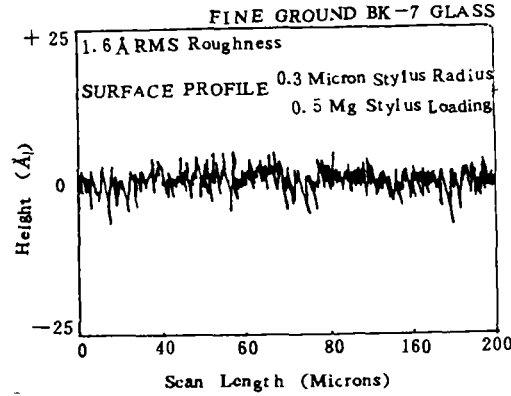


图8 超精密研磨的K₉玻璃表面粗糙度, 由TALYSTEP测量

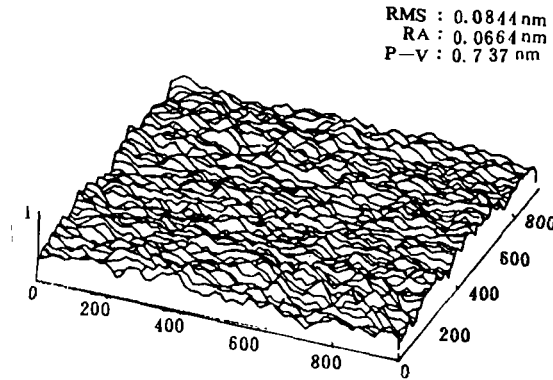


图9 浮法抛光后的玻璃表面粗糙度

5 超精密抛光

抛光通常是制造光学元件的最后工序。浮法抛光工艺可以在单晶和多晶材料表面获得最光滑表面。图9为用AFM测得的浮法抛光后的光学表面的粗糙度三维图,平面样品的表面粗糙度为0.084nm rms。浮法抛光可以获得极平表面,未来的课题应该用这种方法获得非球面。

6 结 论

通过诸如切割、研磨、抛光这样的超精密加工,在非晶材料平面可以获得优于1nm rms的光滑表面,完全可以满足制造X射线极紫外光学元件的要求。然而,在使用数控机床制造非球面光学元件时,数字误差降低了表面粗糙度。在现有条件下,为短波光元件考虑,还需有将切割、研磨和抛光合为一体的机器。多晶材料在超精密加工中表现出晶体的各向异性;从加工角度考虑,选择恰当的抛光对象是很重要的。

参 考 文 献

- [1] R. J. Thomas, G. A. Wright and C. M. Fleetwood, "Computer Controlled Polishing and Testing of a Glancing Incidence Telescope", *Applied Optics*, 1986. 25, 2835—2844
- [2] K. Bechstette, B. Aschenback and M. Schmidt, "Assembly of the ROSAT Flight X-Ray Mirror System", *Proc. of SPIE*, 1988. 982, 2—9
- [3] Y. Namba, R. Wada, K. Unno and A. Tsuboi, "Ultra-Precision Surface Grinder Having a Glass-Ceramic Spindle of Zero-Thermal Expansion", *Annals of the CIRP*, 1989. 38/1, 331—334
- [4] Y. Namba, H. Tsuwa and R. Wada, "Ultra-precision Float Polishing Machine", *Annals of the CIRP*, 1984. 36/1, 211—214

Ultra -precision Machining and It's Application for X-Ray/EUV Optics

Yoshiharu Namba

*(Department of Mechanical Engineering, Chubu University
1200 Matsumotocho, Kasugai, Aichi 487, Japan)*

Abstract

Extremely smooth surfaces in high precision have been demanded with developing the science and technology on optics in shorter wavelength. The ultra-precision machining processes such as cutting, grinding and polishing have been mentioned as the process which can make smooth surfaces of subnanometer rms level in surface roughness for X-ray/EUV optics. A method of making replicated aspherical X-ray mirrors for a telescope is also described.

Key words: Extremely Smooth Surfaces, Roughness, Aspherical Mirrors