

单晶硅片的低温抛光技术*

韩荣久 孙恒德 徐德全

(中科院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

张云 王立江

(吉林工业大学机械工程学院 长春 130022)

摘要 介绍了一种光学材料抛光新技术——低温抛光技术。首先把抛光液冷冻成低温抛光模层,并对单晶硅片做抛光实验,实验结果表明这是一种很好的光学材料抛光方法。

关键词 低温抛光 抛光模层 抛光液

1 前 言

近年来科学技术的发展,出现了许多硬脆性难加工材料,例如单晶硅及各种功能性材料、白宝石、特种光学玻璃等。这些材料的出现使近代刚刚趋于成熟的单点金刚石超精密切削技术也变得无能为力。人们在探索新的加工方法的同时不能不求助传统的光学工艺方法——散粒磨料抛光技术,尽管效率低,总还能得到所需的超光滑光学表面。近年来出现的金刚石丸片式固着磨光抛光方法在效率上有很大的提高,但加工精度却达不到超光滑表面的要求。而现代科学技术的发展对表面质量的要求愈来愈苛刻,大尺寸、超薄形、粗糙度要求达到 \AA 量级,面型要求达到 $\lambda/10 \sim \lambda/20$,令人望而生畏。科学上的不断探索,新加工方法的不断涌现,使这种高精度要求的超精密加工已经成为可能。本文提出一种新的光学抛光方法——低温抛光法,并做了一些实验,取得一定的进展和效果。

提高加工精度、提高加工效率是机械加工和光学加工,特别是应付不断涌现的难加工材料的超精密加工,是我们无法回避的挑战。为此,人们把不同的物理过程、化学过程应用到加工工艺方法的研究中,创造出许多新的工艺方法。在单点金刚石超精密切削的研究中,有人引入了低温切削技术,出现了许多新现象,并可超精密切削黑色金属。本文还是从改变加工温度的角

* 应用光学国家重点实验室基金资助项目

度考虑问题, 在低温状态下, 观察硬脆材料的研磨、抛光中的新现象, 从提高加工精度和提高加工效率的原则出发, 探讨低温状态下会有哪些新的结果。为此, 我们提出了光学材料的“低温抛光技术”研究课题, 经过一段时间的努力, 取得了一定的实验结果, 下面简述之。

2 低温抛光概念

物质在其所在的环境中表现出具有一定的温度, 温度的高低和物理热直接有关, 热的本质就是物质中原子不断振动的一种表现, 温度高表示原子很混乱。而低温状态下, 原子可以秩序井然, 高温可以达到很高, 原子的混乱程序不断加大, 物质由固体到液体再到气体。而低温是有限的, -273.15 是绝对零度表示为 0K , 一般常温在 300K , 低温加工是指在 273K 以下的温度范围内的加工。

光学冷加工在工艺过程中要求温度保持在 20 以上, 例如 25 。低温抛光则与此相反, 我们的研磨抛光工艺过程是在 0 以下进行的。制冷是人为的使某物体或某一空间达到并保持所需低温, 实验室的低温是人工制冷的结果。很显然, 对于一个抛光工艺过程, 我们需要的是低温条件下的抛光模、工件和工艺过程中的低温环境。在低温应用工程研究中有人把人工环境温度低到 123K (-150)称普冷区, 而把 $123\text{K}-0\text{K}$ (-273)称为深冷区, 我们的工作目前在普冷区。

在抛光工艺过程中, 我们可以用低温的工件和常温的抛光模搭配起来进行抛光, 可以把低温的抛光模和常温的工件组合起来进行抛光, 还可以使工件和抛光模同时达到某种低温或不同的低温, 并在相应的低温环境中进行抛光工艺过程。实际工艺过程中冷却到怎样的低温要根据实验情况而定。

3 抛光模层和抛光液

3.1 抛光模层

在金属切削加工中要使用低温技术, 则可以用干式切法, 即切削时不加冷却液, 在磨削中使用低温技术, 可能最难的是低温磨削液了, 因为找到一种在 0 以下仍具有良好流动性的磨削冷却液绝非易事。一般水溶性磨削液在 $+5$, 非水溶性磨削液在 -5 流动性就很差了, 我们一直在努力寻找一种能避开这种困扰的方法, 日本学者横川和彦在研究CBN 磨削技术的过程中, 从改善加工工艺环境的目的出发, 提出了向加工区喷射高压冷空气的想法, 很有创造性, 对我们很有启发。在光学抛光工艺过程中, 无论是散粒磨料抛光还是固着磨料抛光都离不开水, 所以我们还是从水上想办法。

传统的光学抛光一般使用铸铁盘, 表面敷有抛光模层, 抛光模层最常用的是沥青, 还有锡、绒布、聚碳酸脂等, 敷以沥青的抛光盘可以作出一个准确的外部几何形状, 例如平面或球面, 然后在其上雕刻出纵横沟槽, 形成许多个小方块, 沟槽可以容纳磨料和抛光液, 许多个小方块和工件相接触并相对运动, 在磨料的作用下, 形成对工件的切削运动, 产生抛光效果。我们可以把光学工艺中常用的沥青盘或锡盘冷却到适当的低温, 然后进行低温下的抛光过程, 我们没有采用这种方法, 因为这样还得去研究沥青或锡的低温性能。我们走的是另一条路, 把抛光液冷却

成抛光盘形状, 形成一个冰的抛光模层。这样, 可以得到一个准确形状的抛光模层, 例如一个平面的抛光模层, 即和铸铁盘沥青模层一样形状的抛光模层, 它本身含有磨料, 类似固着磨料的磨盘, 当它和工件接触并发生相对运动时就可以产生切削运动, 产生抛光作用。

3.2 抛光液

光学抛光中可使用的磨料很多, 例如 Al_2O_3 、 CeO_2 、 Cr_2O_3 、 SiO_2 等, 抛光用磨料的粒度一般要比精磨过程的还要细, 最好是纳米 (nm) 级磨料, 根据不同的抛光对象选用不同的磨料。

用磨料加上水溶液制成的抛光液, 根据不同的抛光对象可有弱酸性或弱碱性, PH 值可随时调整, 使用中要求磨料具有良好的分散性和磨料粒度的一致性, 抛光液中一般加有分散剂, 并严格的区分磨料粒度。

冷冻是一个低温冷却的时间过程, 我们不能希望冷冻后的抛光模层底层磨料很集中, 而上层磨料却很少, 所以我们希望把磨料做成胶体状态, 即磨料总是悬浮在液体中, 没有沉淀, 这样低温冷冻成型的抛光模层中磨料分布均匀。近年来, 胶体 SiO_2 作为一种新型抛光液得到了广泛的应用, 本实验采用胶体 SiO_2 作抛光液。

4 低温抛光及对比实验

实验是在常温实验室内进行的, 在普通的四轴抛光机上, 工件先不作低温处理, 即低温抛光模层+ 常温工件的低温抛光过程。实验工件材料: 单晶硅片 $\varnothing 48mm$ 。

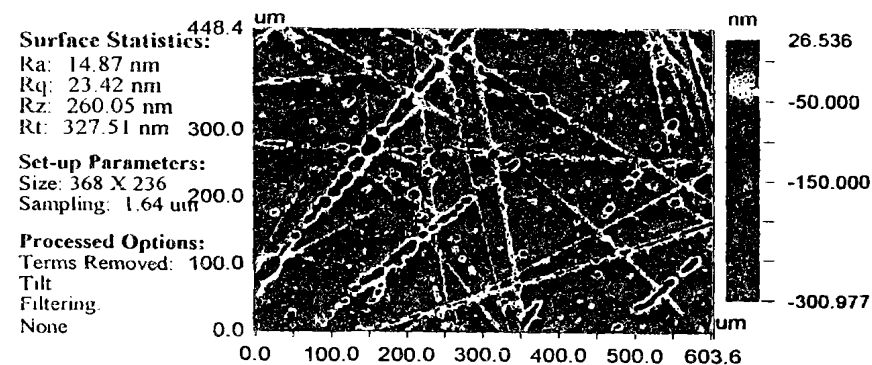


Fig 1 Surface roughness of monocrystalline silicon wafer before cryogenically polished

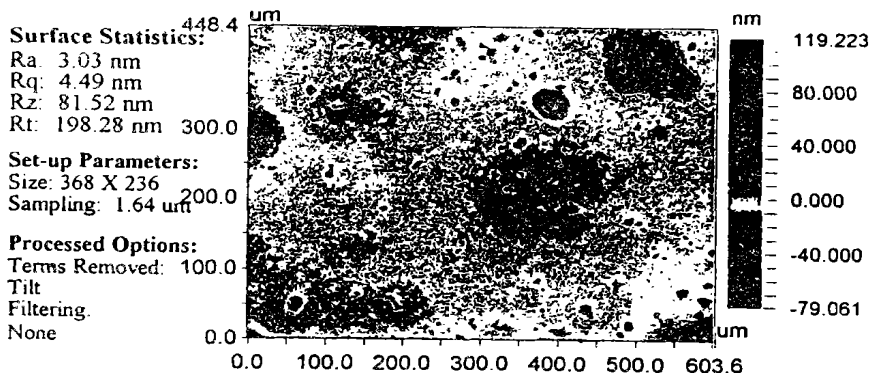


Fig 2 Surface roughness of monocrystalline silicon wafer after polished cryogenically

先进行预加工, 硅单晶切片后, 用280# 金刚砂粗磨, 然后用303# 金刚砂细磨, 再用细的 CeO_2 抛光后, 表面粗糙度 $Ra = 14.87nm$ 如图1所示, 然后进行低温抛光, 主轴转速250-300rpm, 抛光时间为70min, 抛光后结果如图2所示, $Ra = 3.03nm$, 类似实验还有如图3、图4所示的结果, Ra 分别为2.98nm 和1.29nm。

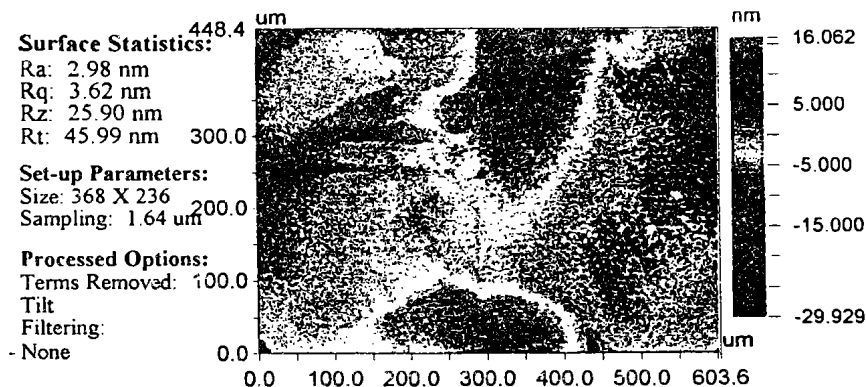


Fig 3 Monocrystalline silicon surface polished cryogenically

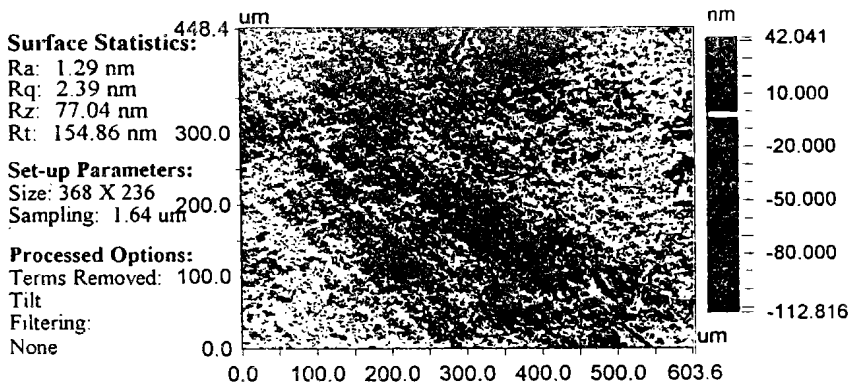


Fig 4 Monocrystalline silicon surface polished cryogenically

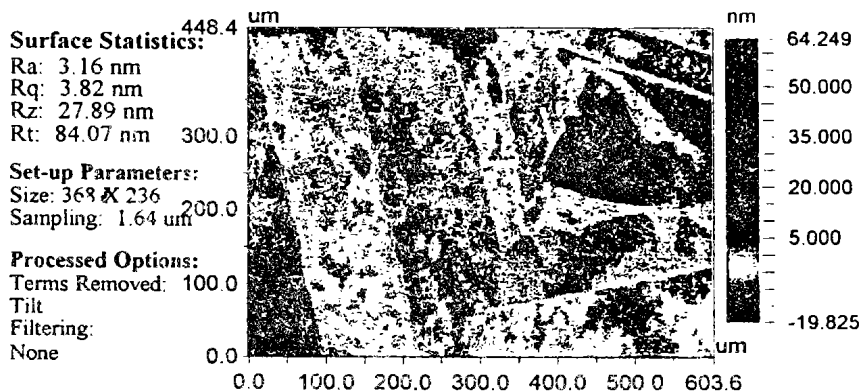


Fig 5 Monocrystalline silicon surface polished with traditional method

为了证明低温抛光效果,我们用同样的工件材料,同一粒度的磨料,改用目前常用的传统抛光工艺过程,即用沥青盘进行抛光,主轴转速为60rpm,经过16个小时的抛光后,表面粗糙度的测试结果如图5所示, $R_a = 3.95\text{nm}$ 。

5 对比实验分析

从实验结果看,用低温冰模层抛光得到了抛光效果好、效率也较高的结果,从实验过程现象分析,我们认为取得这一结果的原因是:

(1) 低温抛光盘磨料被固着在冰模层里,是“固体”,所以抛光时可以适当的打高速,例如打到几百转,而普通光学工艺,转速受到限制,转速过高磨料外溢反而没有效果。

(2) 冰模层和工件接触并相对运动而产生切削作用,不断的去除工件材料,冰模层和工件接触摩擦生热,所以冰模层不断的溶化,在冰和工件之间形成一层水膜,这和常规光学工艺相似,磨料以滚动方式对材料产生去除作用,同时未溶化的冰中所含的磨料还有一定的固着磨料的切削作用,直到磨粒脱落。所以冰模层对工件的切削作用远大于普通光学抛光的去除作用,所以冰模层的去除量比较大,去除效果也好。

(3) 低温抛光,目前抛光盘的温度约为 -20°C ,抛光过程中由于抛光时间较长,工件温度也逐渐下降,逐渐趋于和抛光模层温度一致,但在工件和冰模层的接触面上,可能产生某种高温(至少在 0°C 以上),还原了胶体磨料的液体状态,抛光液中的水必然对工件材料产生水解作用,水解有利于材料的去除作用,所以此时已不再是单纯的机械抛光作用,而是和化学作用相结合的机械化学抛光作用,提高了抛光效果。

6 结 论

(1) 低温冰冻胶体磨料形成的冰模层,可以达到固着磨料抛光和散粒磨料抛光的两种效果,提高了抛光效率,并可以得到更好的超光滑表面。

(2) 改变工艺环境,创造低温条件,在低温状态下光学材料的抛光工艺会有哪些新现象是我们研究工作的内容,我们将继续发表在这方面的研究结果。

参 考 文 献

- 1 大森 整 冻结砥石による镜面研削 第14回 EL D 研削・ミナーレキスト, 1997: 152~ 155
- 2 舒泉声等 低温技术与应用 北京: 科学出版社, 1983
- 3 曹天宁等 光学零件制造工艺学 北京: 机械工业出版社, 1987
- 4 李晋年 黑色金属及难加工材料的超精密切削性研究 [博士论文]: 哈尔滨工业大学, 1987
- 5 横川和彦 油剤の代わりに強冷風を使つてCBN ホイール研削 機械と工具, 1993, 12: 8~ 9

Cryogenic Polishing Technology of Monocrystalline Silicon Wafer

HAN Rong-Jiu, SUN Heng-De, XU De-Quan

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

ZHANG Yun, WANG Li-Jiang

(College of Mechanical Engineering, Jilin University of Technology, Changchun 130022)

Abstract

This paper presents an optical polishing technology-cryogenic polishing technology. The polishing liquid is frozen into polisher layer at low temperature at first and then polishing experiments on monocrystalline silicon are taken. It has been shown that this technology is a good new way to polish optical materials.

Key words: Cryogenic polishing, Polisher layer, Polishing liquid

韩荣久 男, 1936年生。近年来主要从事超精密加工技术的研究工作。1995年完成自然科学基金课题“超精密复合磨削机理及工艺方法的研究”, 最近在纳米(nm)加工技术方面继续研究工作。