



激光清洗技术

鲁俊生

(通化师范学院物理系 吉林 134002)

激光自从问世以来,在许多方面得到了实际应用,带动了一些相关学科的发展,但是谈到激光用于清洗,则不免使人感到有几分惊奇和新颖.一提到清洗,人们很容易联想到水和其他液体,因为用液体清洗固体表面的污染物是千百年来人们最常使用的方法,光和水毕竟相差太远.实际上,激光清洗技术的优点是现有的任何一种清洗技术所不能比拟的,这是一项随着科学技术发展而兴起的新技术,有着广阔的应用前景.

一、激光清洗技术与其他清洗方法的比较

工业生产中,器件和材料的表面不可避免地要受到各种污染物的污染.这些污染物如果不能得到彻底的清除,可能会造成器件和材料的严重损坏,特别是在尖端技术应用领域中表现得尤为突出.据统计,在半导体生产过程中,50%的损失来自于等离子体蚀刻及喷镀工艺中的尘埃粒子污染.随着现代科学技术的发展,电子器件的尺度和精密机械的配合间隙越来越小,亚微米级微粒的污染也会带来很大的危害,对于小到如此程度的污染物,常规清洗方法已经无能为力,因此对清洗技术提出了更严格的要求.为了清除各种污染,人们作出了很大的努力,创造出很多种清洗技术,如超声清洗、高压喷射清洗、化学溶液清洗、热真空清洗等.可是,这些传统的清洗技术已不能适应科学技术发展的要求,急切需要一种新的清洗技术,激光清洗技术就是在这种条件下问世的.

传统的清洗技术,大都是通过溶解、化学反应或施加机械力等手段来清除物体表面上的污染物,这样的技术对于清除亚微米级的污染物是很困难的.另外,使用传统的清洗技术,往往还会带来更大的新的污染.如,广泛使用的超声

清洗技术,是把被清洗物置于一些化学溶液之中,较常用的是CFC溶液,这些化学物质又成为新的污染源,不但对操作者有危害,而且会污染环境.90年代发展起来的激光清洗技术不仅克服了传统清洗技术的上述不足,而且还有一些新的优越之处.国外对激光清洗技术的研究已经相当深入,基本上可以达到实用阶段.国内对此的研究起步较晚,近几年一些高等院校开展了此项技术的应用研究,估计激光清洗技术在国内实用化也为期不远了.

二、激光清洗技术的基本原理

激光清洗的过程实际上是激光与污染物质之间相互作用的过程.激光清洗的效果很大程度上取决于污染物质在器件表面的吸附方式.一般来说,污染物质在器件表面的吸附方式有以下三种,即范德瓦尔斯力、毛细力和双层静电力.范德瓦尔斯力是微米级污染物的主要附着方式,它起因于一个物体中的瞬时偶极矩和另一个物体中感生的偶极矩之间的相互作用.如果污染物是一个小球体的话,则该小球与平面基体之间的范德瓦尔斯引力为:

$$F_V = hd/16\pi z^2$$

其中 h 是与材料性质有关的列弗西兹-范德瓦尔斯常数, d 是小球的直径, z 是小球与基体之间的微观最近距离.一般来说,小球与平面都会有畸变,实际上的范德瓦尔斯力要比上式给出的大一些.

毛细力来自于很薄的液体层在粒子和基体之间的微小空隙处产生的凝聚力,其大小为:

$$F_0 = 2\pi\gamma d$$

其中 γ 是液体的单位面积表面能, d 是球状污染物的直径.

粒子和基体之间由于出现电荷的输运而使两者带有异号电荷,因而有相互吸引的双层

静电力存在,其值为:

$$F_c = \pi \epsilon_0 U^2 d / 2z$$

其中 U 为接触电势差, z 是污染物与基体之间的微观间隙, d 是小球直径.

由上可见,这些吸附力都与粒子的直径有关,其数值都比其重力大几个数量级.随着粒子尺度的减小,这些力呈很慢的线性衰减.粒子的质量 $m \sim d^3$,由牛顿定律可知, $a = F/m$,所以 $a \sim d^{-2}$.可见,粒子的尺度越小,清除它所需的加速度就越大.因而,常规清洗方法对于清除尺度如此小的污染物是很困难的.

激光清洗的原理是比较复杂的,它包括一系列的物理与化学效应.到目前为止,尚无一个统一的定量理论模型,尽管如此,我们可以根据物理学理论对激光清洗过程作一个近似的动力学描述.激光的特点是能量集中和光束精细,污染物吸收激光能量之后,会产生瞬态超热,周围温度骤然升高,虽然这个温度还不足以使基体表面蒸发,但由此而带来的基体表面热膨胀产生一个很大的加速度,使得吸附在器件表面的微粒被喷射出去.考虑自由固体表面,单位面积入射激光能量为 W ,激光脉宽为 t ,则基体表面的温升 ΔT 约为:

$$\Delta T = (1-R)W / \rho C \mu$$

式中 R 是表面的激光反射率, ρ 是基体密度, C 是其比热, μ 是激光持续时间 t 内基体中的热扩散长度.由上式给出的温升导致的基体线膨胀 L 为:

$$L \approx \alpha \mu \Delta T = (1-R)W \alpha / \rho C$$

式中 α 是热膨胀系数.为了有一个定量的概念,不妨假设基体是强吸收,并且设 $W = 0.2 \text{ J/cm}^2$, $\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $\rho = 3 \text{ g/cm}^3$, $C = 0.4 \text{ J/gK}$,则 L 约为 10^{-5} cm 数量级,设 $t = 10 \text{ ns}$,则 $a \sim L/t^2 \sim 10^9 \text{ cm/s}^2$.可见,激光产生的加速度约为重力加速度的 10^5 倍.正是这个巨大的加速度使得污染微粒急剧喷射.

有液膜存在时,基体与液膜界面处的瞬间温升超过液体的汽化温度,形成液体的爆炸性蒸发,产生很强的瞬态压力.分析此过程涉及到液体的相变过程等,作定量的描述很困难,但国

外有人报道了实验结果,可以说明液膜的爆炸性蒸发过程. Park 等人报道了用脉冲约为 200ns 的 TEA CO_2 的激光束可把微小的水滴加热至 305°C ,在 $2\mu\text{s}$ 左右爆炸. Tam 等人认为在激光清洗的过程中,水膜的瞬间超热可能会达到 370°C ,产生的瞬态压力约为 200 个大气压,对直径约为 $1\mu\text{m}$ 的粒子而言,此压力约为其重力的 10 亿倍.如此巨大的压力完全可以克服粒子和基体之间的各种附着力.

三、激光清洗技术的应用前景

激光清洗技术首先应用在微电子技术领域,目前已取得了很大的进展.由于激光清洗技术有着众多的优点,它还可望在以下领域中得到广泛的应用.

1. 喷涂、电镀物体表面的清洗

工业生产中,许多物体表面需要喷涂各种保护层或需电镀某种防护层.不管喷涂还是电镀,都需要物体表面清洁.传统的清洁方法常用化学溶液冲洗,虽然可以达到清洗效果,但会带来新的污染.如果使用激光清洗,则可以在既不损害物体表面又无新污染的情况下达到清洗目的.对于那些需要定期喷涂保护层的设备,激光清洗更能体现出其优越性.如飞机和轮船的定期维护,需要首先清除掉原有的保护层后再喷涂新的保护层.采用激光清除原涂层,可以大大缩短清洗时间,降低劳动强度又不会带来环境污染.在德国已有专门的激光清洗公司,据报道,他们用 400Hz 的 2kW 的 CO_2 激光器,激光束通过机械手有序的工作,一小时内清除掉飞机上 10m^2 的油漆;美国试用 1.8kW 的 Nd: YAG 激光器和 Polymicro 光纤传输系统,可对 150 米之外的物体进行激光清洗.

2. 电力系统绝缘物的清洗

电力系统中有许多高压绝缘体,它们的污染会造成大面积的停电事故,其危险性很大.而这些绝缘物的清洗需在带电情况下完成,常规的清洗方法往往勉为其难.特别是高压供电线路中的电瓷绝缘子,其表面很容易沾染各种污秽,这些污染物在环境湿度较大时会使其绝缘度下降,形成沿绝缘子表面的污秽闪络放电.传

热电效应和热电偶

张 东 壁

(大连大学物理系 116622)

热电效应是热电温度测量的基础.该效应是德国医生塞贝克于1821年发现的,因此也称塞贝克效应.本文首先介绍塞贝克效应是如何发现的,然后在说明热电温度计的基本原理的基础上,简单介绍热电偶的基本结构、种类、用途以及今后的发展.

一、塞贝克效应

热电效应被发现的直接诱因,是1820年奥斯特的轰动世界的电流磁效应实验.1921年,塞贝克为了验证电流的磁性机理,他采用了部分用Cu导线和部分用Bi导线组成的电路来研究奥斯特的实验.当他把一个金属接点握在手中时,发现放在该回路附近的磁针发生偏转,显示出磁的效应.他认为这可能是由于他手的热使接点温度变化而引起的,于是他加热这个接点,发现磁针偏转明显增加;当他冷却该接点时,也发现类似的磁针偏转.进而他将Cu导线和Bi导线的位置交换,观察到磁针偏转方向改变;而如果只将Cu导线(或Bi导线)两端颠倒,

统方法是带电水清洗或定期清扫更换,据统计,雾天的污闪事故占电力线路事故的21%,冲洗和更换绝缘子占线路检修工作量的60~70%.采用激光清洗,可以实现带电远距离清除,会带来巨大的经济效益和社会效益.

3. 医疗器械的灭菌清洗

在医院中,医疗器械的清洗消毒是一项非常重要的工作.传统的清洗消毒过程是先用用水或其他溶液清洗之后再高温高压消毒灭菌,由于中间环节多,增加了疾病传染的可能性,清洗消毒的时间也过长.同时产生大量的污水污物,带来新的环境污染.用激光脉冲在器械表面产生的高温高压,不但可以快速清除器械表面的污物,又可以杀死各种病菌和病毒.减少了中

则观察不到上述结果.后来他用各种不同的金属配对组成回路作上述实验,发现磁针偏转随金属的不同而改变,其中以Sb和Bi两种金属组成的回路使得磁针偏转最大.图1为塞贝克效应示意图.由此,他确认磁针的偏转是由于两接点间的温度差而引起的,而且温度差越大,磁针偏转也越大.起初他把这种现象错误地称为“热磁效应”,因为他认为地球的磁现象是由于地球两极和赤道之间存在温度差而引起的.后来,还是奥斯特把这种效应改称为“热电效应”.

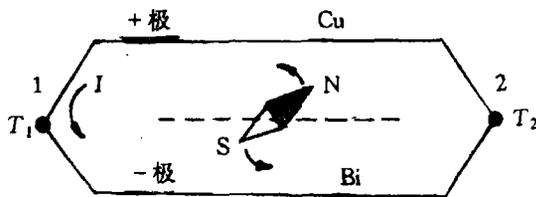


图 1

二、热电温度计

塞贝克效应表明,由两种导体A和B在两端焊接构成的闭合回路,当其两接点保持某一

间环节,也不产生新的污染物.

4. 贵重物品的表面清洗

有些贵重物品,由于其特有的“娇气”或其价值连城,使得表面清洗工作很困难.如文物、古字画、贵重饰品等,这类物品的清洗恰好是激光清洗技术大显身手的领域.英国用激光清洗了伦敦国会议事堂的雕像,法国也用激光清洗了亚眠大教学雕塑表面上的污染物等.

激光清洗技术是一个新的应用领域,其应用潜力很大.目前对其机制尚未完全明了,基本上还是处于研究阶段.随着科学技术的发展,激光清洗技术会得到迅速发展,开辟一个全新的激光应用的新领域.