

低温等离子体及其在材料表面改性中的应用

梅云霞

(上海虹口高级中学 200080)

唐晓亮

(东华大学理学院 上海 200051)

一、等离子体物理的发展历史概况

17 世纪初叶, Sir. William Gilbert 引入了一些基本概念, 这些概念至今还用在描述电和磁的现象。1745 年, E. G. von Kleist 发明了莱顿瓶, 即一种最原始的电容器, 用于储积大量电荷并获得高的静电电位。在 18 世纪 50 年代, Benjamin Franklin 利用莱顿瓶完成了证实其电的单流体理论的试验, 同时也证实了闪电是电的一种形式。也是由 Franklin 引入一正负极性的概念。在其最初的单流体理论中, 正极性意味着正向电流过剩, 而负极性则意味着该正向电流不足。

19 世纪期间, 电子放电物理获得了很快进展。几乎所有这些进展都是在英国和德国的为数不多的实验室中获得的。19 世纪初, Sir. Humphry Davy 和 Michael Faraday 在伦敦皇家研究院研究低气压电弧和直流放电管的工作状况, 他们获得了许多发现。1895 年以前, 直到 Sir. Joseph John Thomson 作了明确的定量观测为止, 人们一直怀疑电子的存在, 现在他们被公认为正式的电子发现者。“电子”这个术语最初是在 1891 年由 G.J. Stoney 引用的。它的意思是一个无质量的, 类似光子那样的电荷集合体。直到 1906 年 H. A. Lorentz 才提出了具有现今意思的“电

实验, 在实验中经常用蜡烛作为光源, 可蜡烛的发光强度较弱, 实验效果不理想。将实验中的蜡烛换成发光强度好的高辉度二极管, 即可解决。

如图 4(b) 将 9 只直径是 5mm 的发光二极管固定在不透明的板上组成“F”形, 也可以选取不同颜色的发光二极管, 容易使学生分清是倒立的还是正立的。将这 9 只发光二极管并联组成如图 4(a) 的电路, 其中 R 取 50 左右, 电源电压不可太高, 保证发光二极管的电流不超过 20mA。

发光二极管演示光纤通信

现代通信中光纤有着非常重要的作用, 而其工作原理也是高中物理教学中一个重要的知识点, 我们可以通过一个模拟实验来演示它的工作原理。需要的器材: 一根透明的塑料管, 其内径和和发光二极管的直径相同, 在其中灌满水, 来模拟光纤; 集成音乐卡一枚, 可以在旧传呼机、音乐贺卡中拆, 将音乐卡的输出端接入放大器进行放大, 为了使发光二极管的能在较小音乐电平时导通, 以减小声音的失真, 找准正负极性接好发光二极管; 另一端和光敏二极管相连, 光敏二极管与一节电池相接, 同样要接对正负极, 然后接入录音机或功率放大器的拾音插座。音乐卡通电时发光二极管就会随着闪烁, 借助塑料管中水的全反射使光敏二极管接收到光信号, 光敏二极管就将光信号转化成电信号, 再进入拾音插座放大, 由于发光二极管的门限电压声音失真较大。

请各位同行进行改进以减小失真。

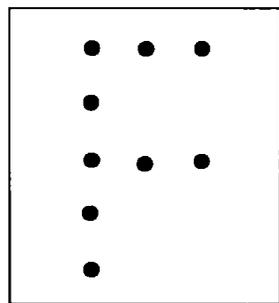
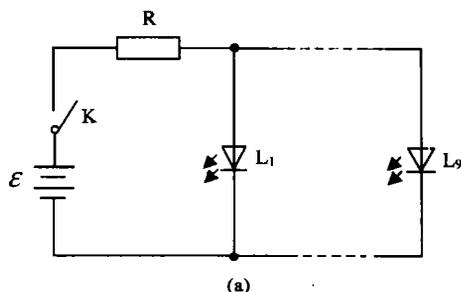


图 4

图 5 是实验的装置示意图, 制作时保证电路部分准确无误和塑料管密封无气泡即可成功。

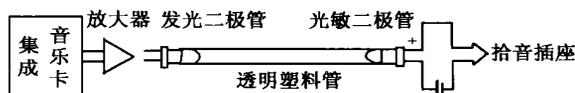


图 5

子”这个术语。该术语在 1895 年就被 J. J. Thomson 用来描述他们所发现的粒子, 1898 年, William Crookes 引入了“电离”这个术语, 用以描述中性原子被击碎而形成电子和正离子。在 20 世纪 20 年代, Irving Langmuir 引入了“鞘层”和“等离子体”这两个术语, 它们也一直沿用至今。

19 世纪, 电弧和直流放电等离子体在科学实验室里得到了广泛的研究。在此期间, 惟一获得广泛应用的等离子体技术是用电弧照明, 它曾成为“气灯”的有力竞争对手, 但到 1900 年它又被白炽灯击败, 主要是它需要传输大电流直流电。20 世纪 20 年代, 作为现代等离子体物理中的一项主要理论性发展, 磁电离理论促进了等离子体研究。20 世纪 30 年代初, 开始了磁流体动力 (MHD) 发电的商用研究, 在美国能源部的资助下, 这项研究继续到今天。第二次世界大战期间, 用于雷达的微波技术蓬勃发展之后, 在 40 年代末期, 用微波放电产生了等离子体。

等离子体物理发展的主要动力是关于受控核聚变的研究, 1950 年左右开始于一些主要的工业化国家, 一直发展到今天。当今大学和国家实验室在等离子体物理方面的多数研究活动, 原来都是试图产生和用磁约束聚变高温等离子体。自 1970 年以来, 特别是最近, 等离子体已被广泛地用于微电子工业, 进行制造微电子电路所必需的沉积、刻蚀等加工。其他工业等离子体加工的应用近来也发展甚快。

二、低温等离子体概述

人类对等离子体的系统认识开始于 19 世纪 30 年代的气体放电研究, 在 20 世纪初建立了等离子体概念, 即由大量具有相互作用的带电粒子组成的有宏观时空尺度的体系。到 70 年代末, 它已发展成为一门独立的分支学科, 其研究对象为天体等离子体、近地电离层空间等离子体和人工产生的实验室等离子体。等离子体是宇宙中物质存在的一种状态, 是一种电离的气态物质, 称为物质第四态, 宇宙中 99.9% 的物质都处于等离子体态。它由带电的电子、离子和中性粒子组成, 总体上是电中性的导电气体。粒子之间不断碰撞发生能量交换, 同类粒子之间容易通过碰撞交换能量达到热力学平衡, 因而有电子温度 T_e , 离子温度 T_i , 气体温度 T_g 。按照研究的不同目的, 等离子体可以作不同的分类。根据温度分为高温等离子体和低温等离子体。当电子温度处于 $10^5 \sim 10^8$ K 时, 称为高温等离子体, 属于热力学平衡或局部热力学平衡等离子体, 如太阳上的等离

子体和核聚变等离子体; 当电子温度处于 $3 \times 10^2 \sim 10^5$ K 时称为低温等离子体。按物理性质, 低温等离子体大致有三种: (1) 热等离子体 (或近局域热力学平衡等离子体); (2) 冷等离子体 (非平衡等离子体); (3) 燃烧等离子体。非平衡态的等离子体的特点是, 其电子和离子各自分别处于平衡态, 但电子温度可以很高, 而离子和原子之类的重粒子温度却非常低。比如在辉光放电的反应管中, 其内部电子温度 T_e 可达到 10eV (相当于 1×10^5 K), 而离子温度 T_i 只有数百 K。这意味着一方面电子具有足够高的能量使反应物分子激发、离解和电离, 另一方面反应体系又得以保持低温, 乃至接近室温。这样一来, 不仅设备投资少, 省能源, 在普通的实验室里易于实现, 而且特别适宜于对材料进行表面改性。

三、低温等离子体的产生

产生等离子体的方法很多, 天然的有雷电、日冕和极光等。实验室可采用放电、燃烧和激波等方法。用于材料表面改性的低温等离子体大都采用放电方式产生。根据放电产生的机理, 气体的压强范围、电源性质以及电极的几何形状、气体放电, 等离子体主要分为以下几种形式: 辉光放电、电晕放电、介质阻挡放电、射频放电、微波放电。

1. 辉光和电晕放电

辉光放电是在外加电压超过气体的着火电压、限流电阻较大的情况下产生的放电。电晕放电是使用曲率半径很小的电极, 如针状电极或细线状电极, 并在电极上加高电压, 由于电极的曲率半径很小, 而靠近电极区域的电场特别强, 电子逸出阳极, 发生非均匀放电, 称为电晕放电。两者比较起来, 辉光放电比较稳定, 对材料的作用比较均匀, 改性的效果比较好, 但辉光放电是在低气压下进行的, 设备价格较昂贵, 且很难实现连续化处理, 所以受到一定的限制; 电晕放电是在常压下进行的, 设备价格较低, 可实现连续化处理, 因此有人也在尝试用它来对材料表面进行改性, 但其对材料作用的均匀程度目前还无法令人满意。

2. 射频和微波放电

射频和微波放电又称无电极放电, 分为电容偶合式、电感偶合式和微波放电。前两者分别以高频电容电场和涡旋电场来获得等离子体, 原理相近, 构造相对简单, 效果优良, 得到广泛应用。微波放电是电磁控制管产生的微波经波导管和微波窗传入放电室, 当放电室内的磁场强度使得电子的回旋频率和

输入的微波频率相等时,微波使电子运动加速,促发等离子体。微波放电的电离度高,气体具有更高的活化程度,因而能在更低温度下获得和维持具有更高能量的等离子体,更适合对温度敏感材料如有机薄膜的处理,但设备造价较高。

3. 介质阻挡放电

介质阻挡放电是在有绝缘介质插入放电空间的一种气体放电。介质可以覆盖在电极上或者悬挂在放电空间里,这样,当在放电电极上施加足够高的交流电压时,电极间的气体,即使在很高气压下也会被击穿而形成所谓的介质阻挡放电。介质的插入可以防止放电空间形成局部火花或弧光放电,当电极上的交流电压足够高时,电极间的气体在标准大气压下也会击穿,形成放电,故其是一种兼有辉光放电和电晕放电优点的放电形式,又由于其电极不直接与放电气体发生接触,从而避免了电极因参与反应而发生的腐蚀问题,介质阻挡放电仍属于非平衡等离子体,电子密度高,电子温度为 $1 \sim 10\text{eV}$,它比传统的电晕放电更易控制,均匀性更好,效率更高。介质阻挡放电表现为很均匀、漫散和稳定、貌似低气压下的辉光放电,但是实际上它是由大量细微的快脉冲放电通道构成的。通常放电空间的气体压强可达 10^5Pa 或更高,所以这种放电属于高压下的非热平衡放电。在历史上这种放电又称为无声放电,因为它不像空气中的火花放电那样会发出巨大的击穿响声。

介质阻挡放电能够在很大的气压和频率范围内工作,而目前常用的工作条件是气压为 $10^4 \sim 10^6\text{Pa}$ 、频率为 $50\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$ 。虽然这种放电已经被开发和应用得比较广泛,可对它的仔细研究还只是近十几年的事。由于介质阻挡放电能在常压下产生接近室温的等离子体,所以具有大规模工业应用的可能性。

四、低温等离子体材料表面改性

低温等离子体不同于一般中性气体,它的基本特点是系统主要由带电粒子支配,受外部电场、磁场、电磁场的影响,存在多种基元过程和等离子体与固体表面的相互作用,具有独特的光、热、电等物理性质,可以对许多材料进行表面改性,这些改性具有如下特点:(1)改性仅发生在材料的表面层(几个埃到微米级),因而不影响基体固有性能;(2)作用时间短(几秒到几十秒),效率高;(3)不产生污染,无需进行废液、废气的处理,因而节省能源、降低成本;(4)工艺简单,操作方便。利用低温等离子体进行材料表面改性研究属于多学科多种技术的综合性研究。

它包括等离子体物理、等离子体化学、材料表面物理、表面化学、反应工程学、气体放电技术和真空技术等。低温等离子体改性材料表面目前已广泛用于电子、机械、纺织、航天、印刷、环保和生物医学等领域,低温等离子体材料表面改性的方法大致可分为4种情况:等离子体表面刻蚀、等离子体气相沉积、等离子体表面接枝和等离子体粘接。

1. 等离子体表面刻蚀

刻蚀是更大程度上的等离子体作用,往往将材料表面弱边界大片除去,使材料表面产生起伏,变粗糙,并有键的断裂,形成自由基。刻蚀对提高粘附性、吸湿性等均有明显作用。一般等离子体表面刻蚀是将材料放入放电区,利用非反应性气体的等离子体与之作用,使材料表面变粗糙,并引入活性基团。值得注意的是刻蚀作用时间过长,会损伤材料基体的力学性能。经等离子体表面刻蚀后材料表面性能的变化往往是不稳定的,随时间的推移而减弱,这种不稳定性原因可能是多方面的,如极性基团和周围杂质反应失去活性,活性基团之间反应形成稳定网状结构,极性基团的转移等。

2. 等离子体气相沉积

气相沉积可分为化学气相沉积(CVD)和物理气相沉积(PVD)两大类型。

等离子体化学气相沉积:等离子体化学气相沉积发展较早,其基本过程是将沉积基体放在反应室内,抽真空后通入运载气和反应气的混合物,将基体加热到合适温度,则在基体表面上发生反应,并生成镀层。处理过程中,刻蚀和沉积往往是同时存在的,谁占优势与气体和基体的化学性质有关。表面改性时有机膜常作为基底的覆盖层,赋予基底耐磨、耐腐蚀或导电等性能。等离子体化学气相沉积的优点是:(1)具有化学气相沉积的良好绕镀性;(2)具有低温特点,电热分离性好;(3)产品属干膜,具有无气孔的特点;(4)薄膜均匀;(5)由于等离子体中气体分子的离解是非选择性的,以至等离子体化学气相沉积生成的相成分与常规化学气相沉积不同,这些薄膜是高度交联、高密度、无孔洞、非晶态的,具有独特的物理化学性能;(6)设备简单,反应类型多样,适于形状复杂品种繁多的零件的大批量生产。

等离子体物理气相沉积:等离子体物理气相沉积有蒸发镀、溅射镀和离子镀三类。其基本过程都包括物料进入气相、迁移到沉积基体表面和在基体表面成膜三个阶段。蒸发镀的优点是设备简单,沉

触摸屏技术浅谈

张雪峰

(解放军理工大学理学院 南京 210016)

随着计算机技术的发展,计算机的输入方式由原来的打纸带输入到键盘输入、到鼠标输入、再到现在的触摸输入,共经历了四个阶段。这个过程是一个从专业到普及的过程,触摸屏技术(Touch-Screen-Technology)让更多的人使用上了计算机。触摸屏是一种交互输入设备,用户只需用手指或光笔触摸屏的某位置即可控制计算机的运行。因此,触摸屏技术具有操作简单,使用灵活的特点。

一、触摸屏技术的基本原理

触摸屏的本质是传感技术。一般根据传感器的类型,将触摸屏分为四类:电阻式触摸屏、电容式触摸屏、红外线式触摸屏和表面声波触摸屏。

电阻式触摸屏 电阻式触摸屏是一种多层的复合薄膜,由一层玻璃作为基层,表面涂有一层聚酯材料,其中含有两层透明导体,上面覆盖有一层光滑防刮的塑料层,作保护层用。在两层导电层之间有许多细小的透明隔离点绝缘,并在两层导体工作面的

边线上各涂有一条银胶,一端加5V电压,另一端接地,从而在工作面的一个方向上形成均匀连续的平行电压分布。当手指触摸屏幕时,压力使两层导电层在接触点位置产生了一个接触,因为在两层导体之间施加了电压,电阻给其分压,在不同的触点上有不同的电流流动,控制装置就能分辨出显示屏上施加了压力的那个点的坐标。这就是电阻式触摸屏的基本原理,详见图1。

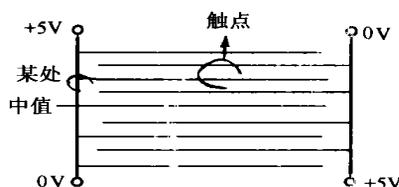


图 1

电容式触摸屏 电容式触摸屏由一个模拟感应器和一个双向智能控制器组成。模拟感应器是一块

积速率高,工艺成本低;缺点是因真空度高($10^{-6} \sim 10^{-4}$ Torr),绕镀性较差,又因蒸发粒子的动能低(0.1~0.2eV),因而镀层结合强度较低。溅射是在真空度为 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ Torr的条件下用离子束轰击靶,使其原子飞溅到基体上成膜,即靠动量传递使靶材进入气相。离子镀的特征是在沉积前和在沉积过程中持续不断地以离子轰击基材和薄膜。进一步的发展是用专门获得的离子束在沉积过程中或沉积后轰击薄膜,前者称为离子增强沉积(IAD)。

3. 等离子体表面接枝

稳定性问题是等离子体刻蚀所面临的主要问题,目前普遍认为接枝是解决这一问题的有效手段,也就是将具有特定性能的单体接枝于被等离子体活化了的材料表面,使其拥有相应的功能,许多研究取得了让人耳目一新的成果。一般工序有4种,(1)气相接枝:等离子体活化材料表面,然后使材料与气相单体接枝聚合;(2)无氧液相接枝:材料先用等离子体处理,然后进行液态单体接枝;(3)有氧接枝:材料等离子体处理后置于大气中氧化,再接枝;(4)一步

接枝:材料在单体溶液中浸泡,然后用等离子体处理,活化和单体接枝于材料表面同时进行。

4. 等离子体粘接

等离子体技术可以在不损害基底优良性能的同时引入极性基团,增加表面粗糙度,提高表面能。对于等离子体在提高粘结性方面的作用,以前在塑料、橡胶方面应用较多,与亲水性很类似,纤维表面引入极性基团后,表面的自由能增大,润湿性提高,表面被侵蚀的结果是粗糙化,因而粘结性提高。涂层底部经等离子体处理后,能提高与涂层树脂的粘接力,由此看来,在用纤维增强树脂作为增强材料的前处理中应用等离子体是有一定效果的。众多研究者还用等离子体技术来增强聚合物和金属之间的结合力,认为金属与聚合物表面的 $-C-O-$ 、 $-OH$ 、 $-COOH$ 等含氧基团形成了较强的结合。Comyn等人研究了用 O_2 、 Ar 、 NH_3 及空气等气体等离子体处理PEEK增加其与环氧树脂的粘接,发现样品在实验室放置90天后粘接性能没有明显损失,这说明粘接本身能对处理效果有固定作用。