

## 等离子体科学技术应用专题系列介绍

**编者按:** 从本期开始陆续刊登有关等离子体科学技术应用专题系列介绍文章。本专题系列共有十讲左右,可供科研单位、学校和工厂从事等离子体科学技术应用工作的同志参考。

### 第一讲 等离子体科学技术应用梗概

洪明苑 胡建芳

(中国科学院物理研究所)

等离子体是宇宙中物质存在的一种状态,称为物质第四态。它由带电粒子和中性粒子组成,总体上是电中性的导电气体。自然界的电离层、太阳日冕、星际空间都存在等离子体。雷电、极光都可以产生等离子体。等离子体也可以由放电、燃烧、火焰、爆炸、激波等人工方法产生。

等离子体按温度高低可分为高温等离子体、低温等离子体;按其热力学性质可分为热力学平衡等离子体(或称热等离子体)、非热力学平衡等离子体(或称冷等离子体);按电离度强弱可分为强电离等离子体、弱电离等离子体;按粒子分布均匀性可分为均匀等离子体、非均匀等离子体;按其随时间的变化可分为稳态等离子体、瞬态等离子体。

等离子体充满宇宙空间,又与人们的生活密切联系,早就为人们所研究,逐步形成一门专门的科学技术。尤其是受控核聚变的研究,推动了这门科学技术的发展。

等离子体中含有电子、离子、激发态粒子、亚稳态粒子、光子等,既有导电性,又可用磁场控制,而且能为化学反应提供丰富的活性粒子。因此,它在化学工业、材料工业、电子工业、能源、机械工业、国防工业、生物医学和环境保护等方面都有广泛的应用,与国民经济有着密切联系。本文将介绍等离子体科学技术的应用梗

概。

#### 一、化学工业和材料工业方面的应用

利用等离子体进行高温化学反应,可以获得比化学燃烧更高的温度和加热速率。在等离子体状态下,大量携带能量的活性粒子参与化学反应,大大加快了反应的过程。因此,这对于化学工业上无机物和有机物的合成有着重要意义。例如烯炔的合成,煤转化为乙炔,从天然气中获得乙炔和乙烯等;制备超细碳化钛、氮化钛、合成 $\beta$ -碳化硅超细粉末,以及制备微细钨粉、碳化钨粉、氧化铝粉和钛白等。几乎所有的氧化物、硫化物及氯化物在等离子条件下都会分解,例如使锆石英热分解成氧化锆。热等离子体可用于熔炼高温金属,熔化难熔化合物,进行金属的重熔精炼。

利用等离子体可以使用一般方法不发生聚合反应的化合物能进行聚合反应,并在较低的基体温度下成膜。这种等离子体聚合膜具有无针孔、高致密性、与基体紧紧粘结、化学稳定性好等特点,可以制成高强度耐磨膜、光学保护膜、电学绝缘膜、反渗透膜、选择性渗透膜等。

由新单体合成新的材料一般周期长、投资大,用等离子体进行材料表面改性可保持基体原来性能又赋予新的表面性能,例如改善吸水

性、染色性、粘结性、生物亲和性等。这种方法有利于短期内产品更新，它适用于化纤、塑料、橡胶以及皮革等。等离子体还能用于提高催化剂的表面活性。

复合材料的应用越来越广泛。用等离子体成膜方法可以产生新的复合材料，等离子体的表面处理能改善材料表面的粘接性，从而提高复合材料的强度。

## 二、电子工业方面的应用

众所周知，电子管中的导电气体是等离子体。目前电子回旋微波发射管是等离子体应用的新产品。在现代电子工业中一个重要的领域是等离子体在微电路制作中的应用。利用等离子体与材料表面的作用，可在半导体工艺中进行等离子体去胶、等离子体显影、等离子体蚀刻，还可以产生等离子体钝化膜、等离子体聚合膜等。七十年代将等离子体用于干法去胶后，由于具有生产率高、无污染、操作简便等优点而获得广泛应用。等离子体蚀刻的各向异性使图象加工精度提高到微米级，达到高分辨、高集成度。国外已有等离子体蚀刻设备产品，国内也已开展这方面工作。人们正致力于探索用等离子体清洗、等离子体显影、等离子体掩模蚀刻、等离子体去胶、等离子体淀积、等离子体表面处理一整套干法工艺代替传统的湿法工艺，可望大大简化工序，提高自动化程度，提高微电路集成度，提高成品率，并使操作安全，减少污染。

此外，等离子体聚合在制作光导纤维方面的应用，也将为激光通讯开辟新的途径。

## 三、能源方面的应用

等离子体科学技术在能源方面的应用包括节能和开辟新能源。

利用电弧加热器，可使气体加热到燃烧设备或普通电加热设备所不能达到的温度，提高了加热效率。这在陶瓷工业和铸造行业上已广泛应用。等离子体冶炼技术既节省能源又降低

成本。等离子体加热器用于燃煤电站的点火，可以节约锅炉每次起动点火时所耗费的大量燃油。煤的气化是近几年来正在研究和发展的新技术，利用等离子体技术可使煤的气化效率由原来的40—50%提高到80—90%。

利用等离子体聚合非晶硅膜作为太阳能电池是太阳能利用的一个重要环节，它使太阳能电池面积大、质量轻、耐辐照、造价低。

磁流体发电是使流动的等离子体燃气通过强磁场把热能直接转化为电能的新技术，可以将火力发电站的热效率由30—40%提高到50—60%，科技界和企业界正进行工业规模的试验。

等离子体在受控核聚变中的应用，是人工控制核聚变中产生的巨大能量的利用。这是人类探索理想新能源的长远而重大的项目，国际上近期将跨进“核聚变点火”的新阶段，预期三、五十年后获得工业上的热核动力。

## 四、机械工业方面的应用

等离子体焊接、等离子体切削和等离子体钻等在机械工业中已有较广泛的应用。等离子体喷涂，对轴承、齿轮等磨损部件的修复有重要的作用。等离子体喷制微孔材料以及喷铸成型又是一种有意义的新工艺。

用等离子体注入和成膜的方法对金属材料表面进行氮化、碳化、硼化或生成氮化钛膜均可保持原材料的基本性能和尺寸，从而大大提高其耐磨、抗腐蚀性能，可以延长工具和模具的寿命。有人估计，国际上用于航空、航天、武器等的高强度材料的切削加工中的费用，每年近十亿美元。因此，用等离子体方法提高工具表面硬度，延长工具的寿命是十分有意义的。

## 五、国防工业方面的应用

火箭发动机的燃烧效率和燃烧稳定性都是与等离子体密切相关的问题。等离子体喷涂可用于火箭喷口和飞行器再入大气时驻点加热的

耐高温隔热层。利用等离子体表面处理提高复合材料强度后,飞行器重量可以减轻,从而可以大量节省推进器的燃料。脉冲等离子体火箭可用于卫星飞行的姿态控制。导弹再入大气时,通讯中断是由于天线表面等离子体鞘对电波传播的影响。利用等离子体特殊化学反应性能,可以进行潜艇密封舱内空气的净化和发动机尾气的解毒。

原子弹、氢弹、激光武器、粒子束武器都是等离子体科学技术所涉及的重要领域。

## 六、生物医学和环境保护方面的应用

人造器脏包括人工肾、人工心脏、人工血管。大概除了大脑外,将来可以广泛用人造的器脏代替原来的器脏。但人造器脏会遇到生物体的排异反应,植入体内会引起感染发炎、溶血、血栓、坏死、致癌等。用等离子体处理和等离子体聚合膜可以使人造器脏与生物体产生亲和性,这是一项很有意义的研究课题。医疗上可以用等离子体聚合膜作为埋入体内的药物缓释膜,由于等离子体微弧的发展,人们已进行等离子体手术刀的临床试验,减少了肝脏手术过程的出血量。

等离子体灰化对肌肉组织、血液、毛发、食品、药物中微量无机物和金属元素的分析已成为重要手段。等离子体在废气净化、污水处理、农药解毒等方面有重要作用。有人对等离子

体提高种子发芽率问题进行了研究。有的科学家预言,等离子体在食物生产中将会起重要作用,如合成氨基酸、蛋白质、维他命等。

等离子体科学技术是一门交叉学科,也是一项综合性技术,它的应用十分广泛。有些领域应用等离子体科学技术已达到工业化阶段,并产生重大的经济效益,有些领域的应用尚处于实验阶段,还有的待进一步探索。因此,在已经应用的领域需要进一步提高技术外,许多尚待开发的项目仍需要进行大量的实验和理论工作。等离子体应用的机理是重要的研究内容,等离子体的均匀性、重复性及其效果的稳定性是重要的技术问题。快速、连续化等离子体系统的设计也是工业应用的重要环节。美国《等离子体消息报道》(*Plasma News Report*)编辑部根据他们与国际上几十个国家的广泛联系所得到的情报认为,科技界、工业界对等离子体科学技术的兴趣日益增长,各国在这方面的投资和经费预算也在增加,并预言等离子体科学技术的应用不久将有新的突破。

## 参 考 文 献

- [1] H. V. Boenig, *Plasma Science and Technology*, Carl Hanser Verlag, München Wien, (1982).
- [2] W. B. Kunke, *Plasma Physics in Theory and Application*, McGraw-Hill, New York, (1966).
- [3] J. R. Hollahan and A. T. Bell, *Techniques and Applications of Plasma Chemistry*, John Wiley, New York, (1974).

(上接第 172 页)

## 参 考 文 献

- [1] H. Bacchi, G. Eschard, *Philips Techn. Rdsch.*, 30(1969/70), 248—258.
- [2] 潘广炎, *物理*, 13 (1984), 26—32, 81—85.
- [3] K. Kinoshita, Y. Suzuki, *Proc. 13th Int. Congr. High-Speed photography and Photonics*, Tokyo, Japan, (1978), 504—507.
- [4] E. K. Zavoisky, S. D. Fanchenko, *Appl. Opt.*, 4 (1965), 1155—1167.

- [5] A. Lundy et al., *IEEE. Tran. Nucl. Sci.*, NS-25 (1), (1978), 591—597.
- [6] 周旋, *电子科学学刊*, 6(1984), 448—455.
- [7] 周旋、李锦林、鲍秉乾, *仪器仪表学报*, 5(1984), 360—365.
- [8] W. Knox, G. Mourou, *Opt. Communication*, 37 (1981), 203—206.
- [9] R. Kalibjian, L. W. Coleman, *Proc. 13th Int Congr. High-speed photography and photonics*, Tokyo, Japan, (1978), 447—480.
- [10] R. Hadland, K. Helbrough, A. E. Huston, *Proc. 13th Int Congr. High-speed Photography and Photonics*, Tokyo, Japan, (1978), 443—446.