

走近等离子体

贾冬义

赵玲利



大家都知道物质的三种状态——固态、液态和
气态。其实物质还有第四种状态，那就是等离子态。

以我们平时最常见到的水为例：冰升温至 0°C 会变成水，如将温度继续升至 100°C ，水就会沸腾，并逐步变成水蒸气。随着温度的上升，物质的存在状态一般会呈现出固态 \rightarrow 液态 \rightarrow 气态三种物态的转化过程，我们把这三种基本形态称为物质的三态。那么如果气态物质温度升至几千摄氏度时，又会有什么新变化呢？由于分子热运动加剧，相互间的碰撞使气体分子电离，物质就变成由自由运动并相互作用的正离子和电子组成的混合物。物理学家把这种电离化的气体叫做等离子体（见图 1）。物质的这种存在状态称为物质的第四态。因为电离过程中正离子和电子总是成对出现，所以等离子体中正离子和电子的总数大致相等，总体来看为准电中性。通俗地说，等离子体就是被电离的气体。它与气体的最大区别就是其成分为带正负电荷的粒子（电子、离子），而不是其结合体。它有很高的电导率，与电磁场的耦合作用也极强：带电粒子既可与电场耦合，又可与磁场耦合。等离子体与固体表面相互作用，具有独特的光、热、电等物理性质，可产生多种物理、化学过程。

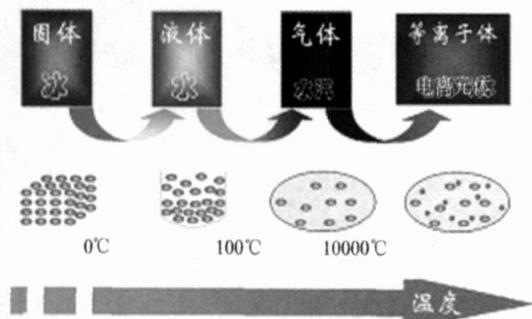


图 1 水的四种状态

现在等离子体科学是一门物理、化学和材料等学科的交叉科学，它包含电磁学、空气动力学、化学反应动力学和表面科学等分支学科。等离子体物理是研究等离子体自身运动规律及其与周围物质相互作用过程的一门分支学科，是物理学的二级学科。

等离子体的分类

按产生方式分类 分为天然等离子体、人工等

离子体。

• 天然等离子体：据印度天体物理学家沙哈（M. Saha）

计算，宇宙中 99.9% 的物质处于等离子体状态，如恒星星系、星云等。地球比较特别，物质大部分以凝聚态形式存在，能量水平极低。可是在大气中，由于宇宙射线等外来高能射线的作用，每立方厘米内每秒会产生 20 个离子。当然，对密度为每立方厘米 10^{19} 个分子的大气来讲，这种电离程度太微小了。但是雷雨时的闪电，可使大气达到很高的电离度，形成可观的等离子体。大气上部出现的极光，以及黑夜天空中的余辉，则是另一种形式的等离子体。

• 人工等离子体：我们周围随处可见人工产生的等离子体，如日光灯、霓虹灯中的放电等离子体，等离子体炬（焊接、新材料制备、消除污染）中眩目的电弧放电等离子体，爆炸、冲击波中的等离子体以及气体激光器和各种气体放电中的电离气体。

按电离度分类 通常，等离子体中存在电子、正离子和中性粒子（包括不带电荷的粒子，如原子或分子以及原子团）等三种粒子。设其密度分别为 n_e 、 n_i 、 n_n ，定义电离度 $\beta = n_e / (n_e + n_n)$ ，以此来衡量等离子体的电离程度，这时等离子体可分为以下三类。

• $\beta = 1$ ，称为完全电离等离子体，如日冕、核聚变中的高温等离子体，其电离度是 100%。

• $0.01 < \beta < 1$ ，称为部分电离等离子体，我们日常见到的大部分等离子体，如大气电离层、极光、雷电、电弧焊、电晕放电等都属于部分电离等离子体。

• $\beta < 0.01$ 时，称为弱电离等离子体，如火焰中的等离子体大部分是中性粒子，带电粒子成分较少，属于弱电离等离子体。

按热力学平衡分类 根据离子温度与电子温度是否达到热平衡，可把等离子体分为三类。

• 完全热力学平衡等离子体：当整个等离子体系统温度 $T > 5 \times 10^3 \text{K}$ 时，体系处于热平衡状态，各种粒子的平均动能都相同，这种等离子体称为热力学平衡等离子体，简称平衡等离子体。

• 局域热力学平衡等离子体：顾名思义，就是局部处于热力学平衡的等离子体。

•非热力学平衡等离子体:通过低气压放电获得等离子体时,气体分子的间距非常大。自由电子可在电场方向得到较大加速度,从而获得较高的能量。而质量较大的离子在电场中则不会得到电子那样大的动能,气体分子也一样。所以,电子的平均动能远远超过中性粒子和离子的动能,电子的温度可高达 10^4K ,而中性粒子和离子的温度却只有 $300\sim 500\text{K}$ 。这种等离子体处于非平衡状态,所以称为非热力学平衡等离子体,简称非平衡等离子体。

按系统温度分类 分为高温等离子体、低温等离子体。

•高温等离子体中的粒子温度 $T > 10^8 \sim 10^9\text{K}$,粒子有足够的能量相互碰撞,达到了核聚变反应的条件。

•低温等离子体又分为热等离子体和冷等离子体两种。热等离子体是稠密气体在常压或高压下电弧放电或高频放电而产生的,温度也在上千乃至数万开,可使分子、原子离解、电离、化合等。冷等离子体的温度在 $100\sim 1000\text{K}$ 之间,通常是稀薄气体在低压下通过激光、射频或微波电源激发辉光放电而产生的(见图2)。

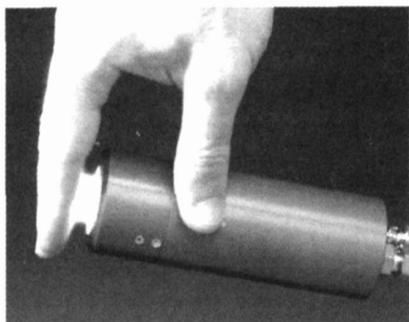


图2 冷等离子体的温度可以达到不灼烧皮肤的程度

按产生等离子体的方法和途径分类 除自然界本身产生的等离子体外,人为发生等离子体的方法主要有气体放电法、射线辐射法、光电离法、热电离法、冲击波法等。其中化工中最为常见的是气体放电法。根据所加电场的频率,气体放电可分为直流放电、低频放电、高频放电、微波放电等多种类型;根据其放电形式又可分为汤生、电晕、辉光、弧光、无声(介质阻挡)等离子体等;根据气压可分为低压(辉光、微波等)等离子体和常压(电晕、无声等)等离子体。

等离子体的主要用途

高温等离子体主要用于能源领域的可控核聚变。托卡马克(Tokamak)是一种利用磁约束实现受

控核聚变的环形容器。它的名字来源于环形(toroidal)、真空室(kamera)、磁(magnit)、线圈(kotushka)的首字母。最初是由位于苏联莫斯科的库尔恰托夫研究所的阿齐莫维奇等人在20世纪50年代发明的。我国的托卡马克以探索无限而清洁的核聚变能源为目标,由中国科学院等离子体物理研究所设计制造,总投资近3亿元。托卡马克的中央是一个环形的真空室,外面缠绕着线圈。通电时,托卡马克内部会产生巨大的螺旋型磁场,将其中的等离子体加热到很高的温度,以达到核聚变的目的。

低温等离子体广泛用于很多生产领域,如大规模集成电路制备中的等离子体化学刻蚀、等离子体平面显示器、等离子体化工合成及转化、纺织品等材料表面的等离子体改性、等离子体增强化学气相沉积制备各种新型材料等。

超大规模集成电路的电路刻蚀传统方法主要采取湿法刻蚀。等离子体刻蚀具有干燥、环保、均匀性好等优点,而且对电路板的厚度无限制。

等离子显示器是继液晶显示器之后的最新显示技术之一,能够适应未来数字化传播的要求。其显示原理为,气体在电场作用下,变成带电的原子或分子并发出光。所谓等离子彩电是指在两张薄玻璃板之间填充混合气体,施加电压使之变成等离子体,然后使等离子体放电,与基板中的荧光体发生反应,产生彩色影像。等离子彩电又称“壁挂式电视”,不受磁场影响,具有机身纤薄、重量轻、屏幕大、色彩鲜艳、画面清晰、亮度高、失真度小、节省空间等优点。

材料表面改性方法包括化学和物理方法。化学方法通常比较繁琐,且大量应用有毒化学试剂,容易造成环境污染,对人体也有极大危害。与其相比,等离子体表面处理技术可以获得持久的表面改性,并且不会改变物质的本身特性,具有工艺简单、无毒性、操作简便、易于控制、投资小、无环境污染等优点。

利用低温等离子体进行杀菌消毒能够替代常规杀菌消毒法。低温等离子体杀菌消毒技术几乎具备理想杀菌消毒法所应具备的全部条件:与高压蒸汽灭菌、干热灭菌法相比,灭菌时间短;与1,2-亚乙基氧为主体的化学灭菌法相比,操作温度低;能够广泛用于多种材料和物品的灭菌(可对各种形状基材及管内壁等进行处理);特别是在切断电源后,产生的各种活性粒子能够在数毫秒内消失,所以无需通风,不会对操作人员构成伤害,安全可靠。目前国内

超分子液晶

崔英敏 吕刚



一、超分子化学与液晶简介

近年来,超分子化学成为化学科学中分子设计领域的一个中心课题。

超分子化学可定义为“分子之上的化学”,即超越分子的化学,它与分子化学的区别在于,分子化学主要研究原子之间通过共价键(或离子键)形成的分子实体的结构与功能,而超分子化学则研究两个或多个分子通过弱键相互作用结合而成的化学实体的结构与功能。“超分子”这一术语是由德国科学家沃尔夫(K. L. Wolf)等人于20世纪30年代提出的,起初用来描述由配位离子和带相反电荷的离子组成的化合物分子相互作用形成的高度组织的实体。但超分子化学成为一门独立学科则是始于20世纪60年代,由于在研究碱金属阳离子的配位化学时发现了几类作用力强而且选择性高的配体,使其得到迅猛发展。后来法国的莱恩(J. M. Lehn)将这一研究领域发展为超分子化学。莱恩在获得1987年诺贝尔化学奖的演说中将超分子化学定义为:研究两种以上的化学物种通过分子间力相互作用缔结而成的具有特定结构和功能的超分子体系的科学。

分子的自组织(即系统内各个组成部分由于特

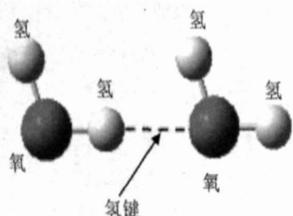


图1 水分子形成的氢键示意图

外已将这一技术广泛用于包括食品加工和医疗卫生在内的诸多领域。

等离子体在军事中也有应用,如等离子体天线(见图3)、等离子体隐形武器等。等离子体隐形技术是近年兴起的新技术,其优越性在于武器装备几乎不作任何结构和性能上的改变,通过等离子体层

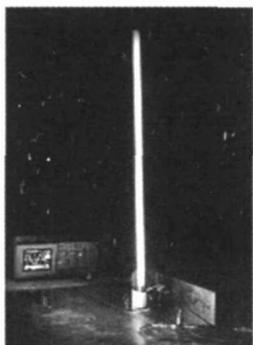


图3 等离子体天线

定的相互作用而自动形成有序的结构)、自组装、协同作用使建立超分子结构成为可能,分子和分子之间除共价键或离子键以外,还可能以非化学键形式发生一定的相互作用,这些相互作用与已知的化学键不同,要比化学键弱一些,因此将这种相互作用称为弱键或非键相互作用,而形成超分子的主要原因就是分子间存在这些非键相互作用,这些作用包括:氢键(hydrogen bonds)、范德华力(van der Waals forces)、疏水力(hydrophobic interaction)。

氢键 即氢原子通常容易与F、O、N等原子以共价键形成强极性键的共价键化合物,这个共价键化合物上的氢原子还可以与另一个分子中具有孤对电子、电负性大、半径小的原子,如F、O、N等原子,形成具有X-H...Y形式的物质。这时氢原子与Y原子之间的定向吸引力叫做氢键,以H...Y表示,常见的如一个水分子中的氧原子容易和另一个水分子中的一个氢原子形成氢键(如图1)。

范德华力 最早是由荷兰科学家范德瓦尔斯在研究气体行为时提出的,他发现气相分子之间存在吸引和排斥的作用,用范德华方程校正实际气体对理想气体的偏离,因而称其为范德华力,简称范氏力。

疏水力 为了减少有序水分子的数量,非极性分子如苯、环己烷等有聚集在一起形成最小疏水面积的趋势,人们将保持这些非极性分子聚集在一起的相互作用称为疏水相互作用,将它们之间的力称为疏水力。由于这些相互作用的强度比通常的化学键如共价键、离子键等弱,因此有人也称其为弱键或

对雷达波具有特殊的吸收和折射的特性,就使其反射回雷达接收机的能量很少,导致敌方的探测系统难以侦察和发现,从而达到隐形的目的。

总之,等离子体科学在能源、材料、信息、环保、国防、微电子、半导体、航空、航天、冶金、生物医学、造纸、化工、纺织、通讯等领域有广泛的应用。并有可能在未来的很多领域大显身手,对人类面临的能源、材料、信息、环保等许多问题的解决具有重大意义。

(北京中国科学院光电研究院等离子体应用研究实验室 100010)