

等离子体聚合及其聚合物的应用

郑 继 储 凤

(中国科技大学结构成分分析中心 合肥)

史 观 一

(中国科学院上海有机化学研究所 上海)

摘要 本文着重综述了烃,含氮、氧的有机化合物,碳氟化合物以及有机硅化合物的等离子体聚合。同时还系统地介绍了等离子体聚合物在制备反渗透膜、分离膜、材料表面的涂层等方面的国内外的最新研究成果。

关键词 等离子体聚合、反渗透膜、分离膜、涂层

等离子体聚合是利用等离子体中的电子、离子、自由基、光子及激发态分子等活性粒子使单体聚合的方法。低温等离子体聚合一般都采用辉光放电的形式来进行。辉光放电所产生的等离子体拥有的平均电子能量为 $1\sim 10\text{eV}$ (相当于 $10^4\sim 10^5\text{K}$ 的电子温度),电子密度为 $10^9\sim 10^{12}\text{个}/\text{cm}^3$ 左右,其电子温度 T_e 不等于气体温度 T_g , T_e/T_g 之比值在 $10\sim 100$ 之间。在这个温度下,加速了的电子既能使有机分子激化又不致热解,因此,有可能在环境温度附近打开气体分子的共价键,然后实现等离子体聚合。

等离子体聚合是一门崭新的技术,几乎各种有机化合物都能在辉光放电下,不同程度地聚合^[1],如甲烷等烷烃、苯等在常规条件下无法聚合的物质,在等离子体条件下变得很容易聚合,甚至氮气、水也能参与等离子体化学反应。加之聚合物有其独特的物理性质、制备容易和形成无针孔薄膜等优点,使得等离子体聚合已成为制备高分子材料、材料表面改性以及制备高分子膜的最有效的方法之一。

一、等离子体聚合

1. 烃的等离子体聚合

在常规的化学聚合反应中,都要求单体具有一定的官能团,如双键、三键等,而在等离子体中,含有高能自由电子、离子、自由基、激发态分子、光子等多种活性中心,它们与单体分子之间碰撞,从而形成活性粒子使单体聚合,所以利用低温等离子体技术,可以使一些通常无法聚合的单体在常温下进行聚合,比如烷烃、芳香烃中的苯和甲苯都能在辉光放电下发生聚合反应,得到聚合物^[2~4]。

Hiratsuka等^[2]研究了甲烷、乙烷、丙烷和正丁烷的等离子体聚合反应。他们发现,除甲烷以外,其它单体的聚合动力学都相似,如图1所示。甲烷的聚合动力学的差异可能是由于甲烷单体无另两种单体的C—C键所引起的。不同分子量的烯烃单体的等离子体聚合反应速率也有差异^[5]。异丁烯比丙烯的聚合速率要小得多,乙烯单体比丙烯、异丁烯的聚合速率都要大。如果是同一

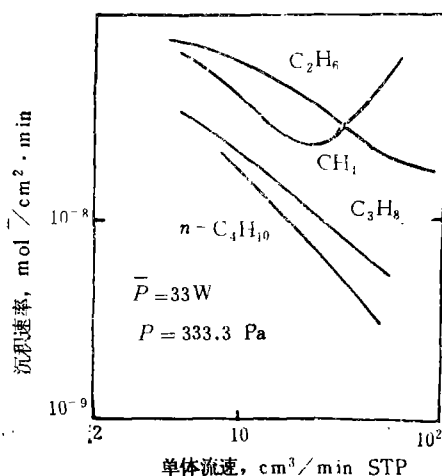


图 1 饱和烃的等离子体聚合沉积速率与单体流速的关系

碳原子数的烯烃单体进行等离子体聚合, 含双键越多的单体其聚合速率越大^[6]。乙烯、乙烷和甲烷等烃类单体蒸气中加入 CF_2Cl_2 会戏剧般地增加它们的聚合速率, 加 CH_3Cl 也能增加其聚合速率, 但效果不如前者, 而加 CF_4 几乎没什么影响^[6]。这表明卤化物对烃类的等离子体聚合反应起到气相催化剂的作用。如果将乙炔、乙烯和乙烷三种不饱和程度不同的单体进行等离子体聚合, 那么其聚合速率大小顺序是: 乙炔 > 乙烯 > 乙烷^[5]。卤代烃的情况又是如何呢? Brown^[7]报道了他对一系列烯烃卤化物的等离子体聚合的研究。他发现二卤代乙烯比相应的一卤代乙烯的聚合反应要快得多, 氯代和溴代的聚合反应又比氟代的单体要快得多。

苯也能在等离子体中发生聚合^[3,8], 膜状苯的等离子体聚合物的红外光谱很接近聚苯乙烯。而粉末状的等离子体聚合物的红外光谱与膜状的不一样。粉末状的聚合物有丙烯酸酯或环氧基团类似的吸收峰。这些表明粉末状聚合物中含有更多的活性粒子, 如自由基, 它们能与空气中的氧反应, 使聚合物氧化。

2. 含氮、氧有机化合物的等离子体聚合

Yasuda等^[4]研究了28种不含烯烃双键的有机化合物的等离子体聚合反应。他们从实验中发现: 单体化合物中含芳香基团、芳香杂环、氮(如 >NH 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{CN}$)、硅和烯烃双键等有利于等离子体聚合, 而含氧(如 $-\text{C}(=\text{O})-$ 、 $-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-$ 、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{OH}$)、氯、脂肪族烃的分子链等的有机化合物在等离子体中容易分解, 因此, 前类单体比后类单体更容易发生等离子体聚合。胺和腈类有机化合物的等离子体聚合反应中, 这些化合物中的氮几乎定量地结合到聚合物中, 且聚合反应非常类似于烃的聚合反应^[9]。比较有趣的是2-乙烯基吡啶的等离子体聚合反应^[8], 其聚合物结构随着反应条件(如单体压力、放电功率和载气)的不同而不同。在高的单体压力和低的单体压力下制得的聚合物, 在结构上有明显的差别。在较高单体压力下, 得到的聚合物与普通的2-乙烯基吡啶的线性聚合物的结构相似, 而在较大放电功率, 较低单体压力的条件下, 得到的聚合物在 2200cm^{-1} 和 2165cm^{-1} 处出现很强红外吸收, 且分子链支化度增加, 从而导致其化学组成和热行为也有所改变。由此可见, 吡啶环发生了破坏。

3. 有机物与非聚合性气体混合物的聚合

诸如Ar、He等单原子分子和 H_2O 、 CO 、 N_2 等双原子分子, 这些自身在等离子体中不发生聚合, 而只经历反复激发、电离、淬灭过程的气体, 称为非聚合性气体, 但在进行等离子体聚合时, 又常用到其中几种。非聚合性气体的加入, 不仅会改变聚合物的沉积分布, 而且有些双原子分子气体(如 CO 、 O_2 、 H_2O 、 N_2 等)会参与有机物聚合。当一些非聚合性气体通到有机物的等离子体时, 聚合物的性质会有所改变, 聚合物的结构也

不相同。现已初步证实,含有双键或三键的有机物容易与能够形成自由基的非聚合性气体(如 N_2 、 O_2 、 H_2O 、 CO 、 CO_2 等)发生聚合。乙炔和 N_2 的混合体系聚合所得的聚合物的性质和含氮化合物如胺和腈得到的聚合物的性质相近^[10,11]。用乙炔/ H_2O/N_2 混合气体进行聚合得到的等离子体聚合物的红外光谱与丙烯腈及丙烯胺的等离子体聚合物很相似,而且前者聚合物里的氮比后者聚合物里的氮更稳定^[12]。乙炔/ CO/H_2O 和乙炔/ CO_2/H_2 的混合气体也能进行等离子体聚合^[13~15]。现已证实,乙炔/ CO/H_2O 的等离子体聚合薄膜比含氮单体的等离子体聚合薄膜的性能更优良,且具有强的抗氯腐蚀的能力。

4. 碳氮化合物的等离子体聚合

研究含氟化合物的等离子体聚合有助于了解等离子体聚合的机理。Kobayashi等^[6]仔细研究了含氟烯烃(如 C_2H_3F 、 C_2F_4)的等离子体聚合反应,并与烃类单体的聚合反应作了比较,它们的聚合速率的大小顺序是:氯乙烯>乙炔>四氟乙烯>乙烯。红外光谱分析表明:含氟烯烃(C_2H_3F)的等离子体聚合物在很多方面与烃的等离子体聚合物相似。奇怪的是,四氟乙烯的等离子体聚合物的红外光谱图与普通的聚四氟乙烯不同。六氟丙烷和全氟2-丁烯都能在等离子体中进行聚合^[8]。ESCA 技术研究表明,在聚合过程中发生了大量的分子重排和脱氟。六氟丙酮, $CF(CF_2)_2CH_2OH$ 和七氟异丙基烯丙醚等含氟单体都能进行等离子体聚合反应,得到等离子体聚合物^[8]。

5. 有机硅化合物的等离子体聚合

有机硅化合物是有机金属化合物等离子体聚合研究的比较多的一种化合物,这是由于有机硅的等离子体聚合物薄膜有其独特的性质,其中包括(1)较好的热稳定性;(2)高的介电常数;(3)优良的光学性能。已研究过的六甲基环三硅胺(HMCTS)和六甲基环三硅氧烷(HMXTSO)单体的

等离子体聚合物,具有高的热稳定性,可以通过一个合适的热分解过程使之转变为几乎完全与无机材料结构相同的一种新材料^[6],如图2所示。这是一个很有趣的反应,也是一种制备热稳定性好的材料的有用方法。另外,象六甲基二硅氧烷、三乙氧基乙烯基硅烷、四甲基硅烷、八甲基环四硅氧烷和一甲基三甲氧基硅烷进行等离子体聚合,都能得到含硅的高分子^[16~18]。用IR和 ^{29}Si -NMR技术研究表明四甲基硅烷的等离子体聚合物不仅含有 $Si-CH_3$ 基团,还含有 $Si-H$ 基团。八

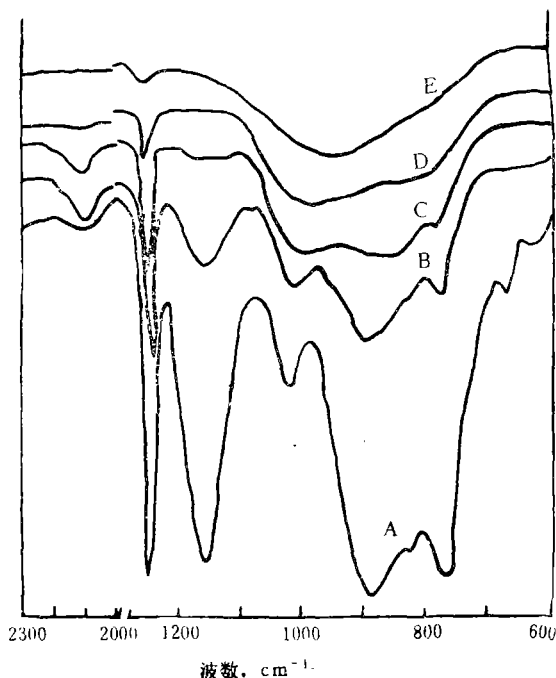


图2 等离子体聚六甲基环三硅胺(PP-HMCTS)在不同时间的真空热处理下的红外光谱

处理温度为800℃;时间(分): (A)0; (B)3; (C)5; (D)14; (E)26

甲基环四硅氧烷的等离子体聚合物也是由 $Si-CH_3$ 和 $Si-O$ 基团组成^[18]。

Inagaki等^[19]研究比较了苯基硅烷($PhSiH_3$)和甲苯($PhCH_3$)的等离子体聚合反应。他们发现,含芳香基团的硅烷和芳香烃的等离子体聚合过程中都会打开苯环,聚合物中有烷基链。但 $PhSiH_3$ 的开环反应比

PhCH_3 要弱,这可能是 PhSiH_3 中 Ph-Si 键的 $p_\pi-d_\pi$ 共轭效应导致 PhSiH_3 的更为稳定。

二、低温等离子体合成高分子材料

下面主要介绍等离子体聚合在制备高分子膜、涂层等方面的应用。

1. 等离子体聚合制备反渗透膜

等离子体聚合薄膜用作反渗透膜,目前已引起人们广泛的兴趣。Yasuda等证实了含氮有机化合物(芳香胺、芳香杂环化合物、脂肪胺和腈)的等离子体聚合薄膜沉积在多孔基质上(如Millipore微孔膜、多孔聚砜膜、多孔玻璃管),可以制得性能优良的反渗透膜^[20],这种反渗透膜的性能稳定,纯水透量达到 6.4gfd ,脱盐率达98%。用 $\text{C}_2\text{H}_2/\text{N}_2/\text{H}_2\text{O}$ 的混合蒸气进行等离子体聚合也能制得与含氮单体制得的反渗透膜的性能一样,但这种反渗透膜抗氯腐蚀性能比前者要好得多而且更稳定^[12]。不含氮的单体或混合有机化合物体系也能通过等离子体聚合制备反渗透膜(如 $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CO}/\text{H}_2\text{O}$ 等混合体系)^[14],这种膜也有强的抗氯腐蚀性能。苯的等离子体聚合物也能制备反渗透膜^[8]。值得注意的是,反渗透膜的性能还与其基质性质有关。

2. 制备其它分离膜

等离子体聚合薄膜的应用范围很广。除了用作反渗透膜以外,还可用作气体分离膜、有机溶剂分离膜、选择渗透膜等。利用等离子体聚合薄膜沉积到具有一定渗透性的基质上,可望制得选择性渗透膜^[21]。这种高交联超薄的等离子体聚合薄膜能有效地区分不同大小的分子并且提高基膜的选择渗透性。沉积等离子体聚乙烯薄膜到硅橡胶表面,使得硅橡胶对氧的渗透系数显著减少^[22]。利用等离子体聚合物的这种性质,可以使等离子体聚合物薄膜在设药中控制释放作为药

物缓放膜^[23]。

Morosoff和Yasuda等在1979年美国化学会年会上发表了多级等离子体在聚砜中空纤维膜上进行等离子体聚合制备复合膜的技术研究。这种用中空纤维膜为基膜的复合膜一般都能作为气体分离膜。他们还采用磁场来强化电容式内电极之间的等离子体,磁极为一组圆形永久磁铁。这使得磁场附近的局部辉光(电子密度)比其它地方有更高的密度。同时减少了纤维长时间暴露在等离子体中引起降解作用。日本近年来也有一些公司研究用等离子体聚合的中空纤维复合膜做成气体分离器,分离氢气和一氧化碳,其分离系数为: H_2/CO 是 160 ± 10 。

Yamamoto等用钟罩式等离子体聚合反应装置,以 $20\mu\text{m}$ 厚、孔截面积为 $2000\text{\AA} \times 200\text{\AA}$ 的多孔聚丙烯膜作为基质,分别沉积六甲基二硅氧烷、三乙氧基乙烯基硅烷、己烯-1、环己烯等有机化合物的等离子体聚合物到基质膜上,制备气体分离膜。这些复合膜的 O_2/N_2 选择渗透性比一般聚合制得的聚二甲基硅氧烷膜要高。尤其是六甲基二硅氧烷制得的复合膜对氧的渗透速率很高,比 $10\mu\text{m}$ 厚的聚二甲基硅氧烷膜高20倍^[16]。日本许多大公司也正在积极研究从空气中分离低富氧空气的等离子体复合膜。这种富氧膜分离的富氧空气可以用作燃烧气,会大大提高热机效率,同时降低排气中的有害成分。另外,较高浓度的富氧空气可用于病人呼吸、高空呼吸用气等。

最近,人们对等离子体聚合薄膜用于溶剂分离的研究也很多。日本一个纤维高分子研究所开发了高性能的水-乙醇分离膜^[24]。水-乙醇分离膜有容易通过乙醇的醇优先透过膜和容易通过水的水优先透过膜。这次开发的是醇优先透过膜。这种膜是在聚砜制的多孔膜上,将六氟化乙烷与烯丙胺以等离子体聚合法聚合而得。这种分离膜可分离 $7 \sim 8\text{kg/h} \cdot \text{m}^2$ 溶液。乙醇浓度约5%时,分离效

率最高,能将5%的乙醇溶液浓缩至30%。这与已知的硅橡胶一样是乙醇优先透过膜。

以上结果是令人十分感兴趣的。这些等离子体聚合物薄膜都具有高度的交换性,这可能是引起高渗透性和选择渗透性的原因。等离子体聚合技术对于制备无针孔薄膜是非常有效的。

3. 等离子体聚合物薄膜用作涂层

等离子体聚合物薄膜还可以用来防护或改性现有材料的表面。Goodinan首先证实了将1mm厚的等离子体聚合物沉积在钛箔上能作为核电池的绝缘材料^[25]。沉积一层薄薄的聚合物膜到水果罐头壳和钢板表面能起到防护涂层的作用。等离子体聚合物处理各种织物也会改变织物的防湿性和着色性^[26]。等离子体聚合物接枝到羊毛织品上可以起到防皱的效果^[27]。等离子体聚合物薄膜具有透明、防湿性及光散射损失少、折射率可调等多方面的光学性能,在光通信电缆、激光导波路、镜片或光度计等材料的镀层等方面可找到广泛的用途^[28,29]。六甲基二硅氧烷的等离子体聚合物薄膜可以制作激光光导薄膜^[30]。用一氯三氟乙烯的等离子体聚合物薄膜做的光学装置的防护涂层不仅能使湿度敏感基材免受大气湿度的影响,而且还能起到抗反射的作用^[31,32]。另外,等离子体处理聚合物表面,由于其表面层的化学组成、分子量以及形态发生变化,从而导致其吸湿和粘附性会发生变化,可以达到高分子材料改性的目的。

4. 等离子体引发聚合制备新材料的应用

1978年,Osada等首次报道了一种引发烯烃单体聚合的新方法——等离子体引发聚合^[33-35],用这种方法可以制得超高分子量的聚合物。将甲基丙烯酸甲酯用等离子体引发进行聚合得到了分子量为 10^7 g/mol以上的聚甲基丙烯酸甲酯^[36]。其它的烯类单体,如甲基丙烯酸、丙烯酸、甲基丙烯酰胺和丙

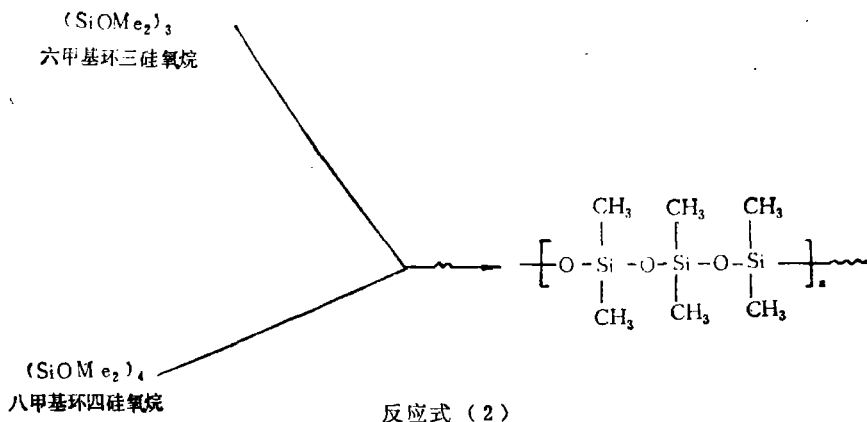
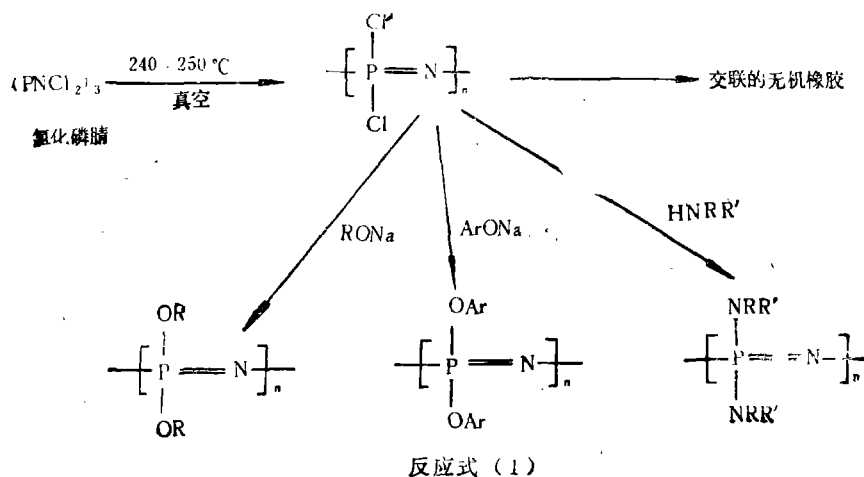
烯酰胺,经过等离子体引发数十秒钟,然后去掉电源,放置一段时间以后就能得到超高分子量的聚合物。用这种技术制得的聚合物的分子量比其它技术(如 γ 射线、 β 射线和高能电子引发)制得的高聚物的分子量高几十倍。用等离子体引发聚合还能制备超高分子量的共聚物。比如,甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯能通过等离子体引发聚合制得共聚物,但奇怪的是,苯乙烯本身不能通过这种方法得到高聚物^[8]。

等离子体引发共聚得到的交联的共聚物凝胶有很强的吸水性。吸的水量和人尿量分别是干凝胶本身重量的1750和120倍^[37]。用其它自由基引发聚合得到的聚合物没有如此高的吸水能力。这种聚合物凝胶对 Cr^{3+} 和 Co^{2+} 也有强的吸附能力。如果将水溶性烯类单体,如丙烯酸、2-羟乙基丙烯酸甲酯和丙烯酰胺,通过等离子体引发接枝聚合到疏水膜(聚乙烯、聚丙烯和聚对苯二酸亚乙酯)上,就能得到一种金属离子吸附膜^[38]。例如,聚乙烯膜接枝丙烯酸聚合物以后,可以吸附 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 和 Cr^{3+} 。吸附金属离子以后变成相应金属离子的颜色。每克PE膜能吸附几十毫克的金属离子。改变溶液的pH值,如将吸附有金属离子的膜浸泡在HCl溶液中,同量的金属离子会解吸出来。PE膜接枝150%丙烯酸就显示出几乎与常规离子交换树脂一样的离子交换能力。这种膜接枝了水溶性烯类单体聚合物以后,高分子膜对金属离子的透过能力大大增加,就好像打开了离子通道的阀门一样,因此,称这种膜为具有“化学阀门(chemical valve)”的化学机械膜(chemomechanical membrane)。

众所周知,无机高分子具有耐热、耐寒、耐酸碱等优点。等离子体引发聚合能将一些无机化合物聚合得到无机高分子。 $(\text{PNCl}_2)_2$ 通过等离子体引发聚合可以得到无机高分子,经过一步加热可以得到一种交联的无机橡胶,见反应(1)所示。同样, $[\text{PN}$

(OEt)₂和[PN(NHBu)₂]₃等化合物也能得到无机高分子^[39]。反应中单体的转化率随着放电功率的增加而增加,产物是白色的类似于橡胶一样的材料。六甲基环三硅氧烷(SiOMe₂)₃和八甲基环四硅氧烷(SiOMe₂)₄经等离子体引发聚合后得到支型的甲基硅氧

烷高分子,见反应(2)所示。三氧杂环(CH₂O)₃和四氧杂环己烷晶体的等离子体引发固态聚合已被研究过^[8]。经等离子体引发聚合可以得到结晶度很高的高分子。因此,等离子体引发聚合也是制备单晶聚合物的一种很好的手段。



参 考 文 献

- [1] 小林弘明, 高分子, 1976, 25, 834.
- [2] Hiratsuka, H., Akovali, G., Shen, M. and Bell, A. T., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1978, 22, 917.
- [3] Duval, M. and Theoret, A., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1973, 17, 527.
- [4] Yasuda, H. and Lamaze, C. E., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1973, 17, 1533.
- [5] Kobavashi, H., Bell, A. T. and Shen, M., *Macromol.*, 1974, 7, 277.
- [6] Kobavashi, H., Shen, M. and Bell, A. T.,

- J. Macromol. Sci.-Chem.*, 1974, A8(8), 1345
- [7] Brown, K. C., *Europ. Polym. J.*, 1972, 8, 117.
- [8] Bell, A. T., Shen, M., eds. "Plasma Polymerization", American Chemical Society, Washington D. C., 1979, ACS symp. Ser..
- [9] Yasuda, H., Bumgarner, M. O. and Hillman, J. J., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1975, 19, 1403.
- [10] Yasuda, H., Bumgarner, M. O., Marsh, H. C. and Morosoff, N., *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, 1976, 14, 195.
- [11] Hudis, M. and Wydvén, T., *J. Polym. Sci. Polym. Lett. Ed.*, 1975, 13, 549.

- [12] Yasuda, H., Marsh, H. C. and Tsai, J., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1975, 19, 2157.
- [13] Yasuda, H., Marsh, H. C., Bumgarner, M. O. and Morosoff, N., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1975, 19, 2845.
- [14] Yasuda, H. and Marsh, H. C., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1975, 19, 2981.
- [15] Shi Tianyi, Zheng Ji and Fang Yue-e, Proprints of China-Japan Bilateral Symposium on Utilization of CO and CO₂, Lanzhou, China, 1986, 97.
- [16] Yamamoto, M., Sakata, J. and Hirai, M., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1984, 29, 2981.
- [17] Akovali, G. and Hasirci, N., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1984, 29, 2617.
- [18] Tajima, I. and Yamamoto, M., *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, 1987, 25, 1737.
- [19] Inagaki, M. and Hirao, H., *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, 1986, 24, 595.
- [20] Yasuda, H. and Lamaze, C. E., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1973, 17, 201.
- [21] Stancell, A. F. and Spencer, A. T., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1972, 16, 1505.
- [22] Chang F. Y., Shen M. and Bell, A. T., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1973, 17, 2915.
- [23] Colter, K. D., Bell, A. T. and Shen M., *Biomat. Med. Dev. Art. Org.*, 1977, 5, 13.
- [24] 化学と工業 (日), 1986, 39(10), 162.
- [25] Goodman, J., *J. Polym. Sci.*, 1960, 44, 551.
- [26] Byrne, G. A. and Brown, K. C., *J. Soc. Dyers Colorists*, 1972, 88, 113.
- [27] Pavlath, A. E. and Lee, K. S., *J. Macromol. Sci., Chem.*, 1976, 10, 619.
- [28] (a). Kubacki, R. M. (U. S., N. A. S. A.), *U. S. Patent*, 1978, 4, 096, 315.
(b). Masuda, Y. and Nakagawa, Y. (Asahi Glass Co.), *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 1978, 78, 56, 177.
- [29] Miyamura, M. (Tokyo Shibaura Electric Co.) *Jpn. Kokai Tokkyo Koho.*, 1978, 78, 120, 527.
- [30] Tien, P. K., Smolinsky, G., and Martin, R. J., *Appl. Optics*, 1972, 11, 637.
- [31] Hollahan, J. R., Wydeven, T. and Johnson, C. C., *Appl. Optics*, 1974, 13, 1844.
- [32] Wydeven, T. and Kubacki, *Appl. Optics*, 1976, 15, 132.
- [33] 長田義仁, 土田英俊, 化学工業(日), 1980, 31(4), 68.
- [34] 長田義仁, 入山裕, 電子材料(日), 1981, 20(12), 134.
- [35] 長田義仁, 応用物理(日), 1981, 50(11), 1205.
- [36] Osada, Y., Bell, A. T. and Shen M., *J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed.*, 1978, 16, 309.
- [37] Osada, Y. and Takase, M., *Nippon Kagaku Kaishi*, 1983, 439.
- [38] Osada, Y. and Iriyama, Y., *Thin Solid Films*, 1984, 118, 197.
- [39] Osada, Y. and Hashidzume, M., *J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed.*, 1981, 19, 309.

Plasma Polymerization and Applications of the Plasma Polymers

Zheng Ji and Chu Feng

(Center of Structure & Element Analysis, University of Science
and technology of China, Hefei)

Shi Guanyi

(Shanghai Institute of Organic Chemistry, Academia Sinica, Shanghai)

Summary The purpose of this paper is to discuss some of the recent advances in plasma polymerization of hydrocarbons, nitrogen or oxygen containing organic monomers, fluorocarbons, organosilicon compounds and in applications of the plasma polymerized thin films as reverse osmosis membranes, separation membranes, coatings, etc.

Key words Plasma polymerization, Reverse osmosis membrane, Separation membrane, Coating