

导电性高分子电解合成的进展

陈 敏 元

(云南工学院, 昆明, 650051)

提 要 本文叙述了导电性高分子电解合成的方法和应用的进展。

关键词 导电性高分子、电解合成、进展

高分子材料目前几乎与所有工业有关。合成新的高分子材料去满足多种工业的要求是化学化工工作者的重要任务之一。

有机高分子材料的传统特性之一是其绝缘性,并被人们充分认识和广泛应用。现代科学技术的发展又希望加工性能好的高分子材料具有导电性。不过到目前为止大都是以添加导电性粒子(如金属、碳等粉末)来达到目的。人们对其本身具有导电性更有兴趣。虽然19世纪就知道叫做苯胺黑的聚苯胺具有导电性,聚吡咯具有导电性也较早的被发现了,但是对导电性有机高分子引起重视并进行广泛研究是从本世纪70年代末才开始的。1977年美国Pennsylvania大学发现掺杂碘的聚乙炔薄膜具有 $10^2 \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的电导率。此后关于聚乙炔的论文发表了200多篇。聚乙炔的电导率也提高到 $10^5 \text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$,可与铜的电导率相匹敌。除此以外对各种导电性高分子的研究也高涨起来。并把导电性高分子称为合成金属^[1]。

高分子的传统合成法是化学合成法。但1979年以来IBM的研究组完成了聚吡咯和聚苯胺的电解合成的工作后,尤其是进入80年代后,对导电性高分子电解合成的研究盛行起来。现在把电解合成的导电性高分子材料作为新的功能性材料引起各方面的重视。特别是近年来有关的研究在先进工业国似乎掀

起了高潮。我国也已做了不少工作^[2]。本文拟根据最新资料对其进展情况作些简要的介绍。

一、导电性高分子的电解合成

1. 特征

与传统的化学合成法相比电解合成法有如下特征。

(1) 以导电聚合膜的形式提供产品。因为在电解合成时单体一般是在平板的电极表面电解聚合而形成薄膜状高分子的。

(2) 电解装置比其它薄膜制作的装置简单便宜^[3]。

(3) 改变电极电位、电量、时间能容易地控制薄膜生成的过程和膜的厚度(通常为 $10^{-6} \sim 10^{-3} \text{cm}$ 左右)。

(4) 有可能合成具有再现性好的具有相同特性的膜。



陈敏元 云南工学院副教授。1935年生,1960年毕业于哈尔滨工业大学,并留校任教,后调入宁波师院,1984年8月调入现校。从事有机电化学和工业30多年,出版了《有机电解合成基础》、《有机电化学及其应用》等译著和著作,在国内外发表了80多篇论文,是我国“有机电化学和工业学会”的负责人。

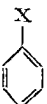
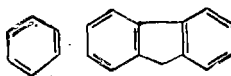
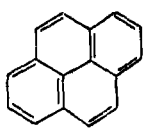
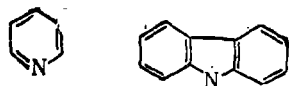
(5) 影响电解合成的因素较多, 除了一般化学法中的影响因素外, 还有电化学法中的影响因素。例如电极电位、电流密度、电极材料、支持电解质以及电解方式(恒电位电解、恒电流电解)等。

(6) 有可能在电解聚合的过程中把支持电解质中的离子掺杂到高分子薄膜中。

2. 电解合成

(1) 单体 电解合成高分子的单体是多种多样的, 具有代表性的单体如表1所示。

表 1 在电聚合反应中使用的代表性单体

单 体	反应类型
1. 含有羟基、氨基等的芳香族化合物  $X: OH, NH_2, N \begin{smallmatrix} H \\ R' \end{smallmatrix}, N \begin{smallmatrix} R_1 \\ R_2 \end{smallmatrix}$ 等	氧化聚合
2. 杂环化合物  $X: O, N, S$ 等	氧化聚合 (也有还原聚合)
3. 苯和多环芳烃   等	氧化聚合
4. 乙烯基化合物 $CH=CH_2$ $ $ R $R:$ 	氧化聚合 还原聚合
5. 乙炔及其衍生物 $HC \equiv C$ $ $ R $R: H, \text{苯基等}$	还原聚合

(2) 导电性高分子薄膜的电解合成 有机高分子电解合成可以采用二电极式或三电极式(工作电极、对极和参考电极)^[4]。

工作电极可使用石墨、各种金属、金属氧化物和半导体材料等。

电解质中的溶剂可使用水、乙腈、丙烯碳酸酯等。

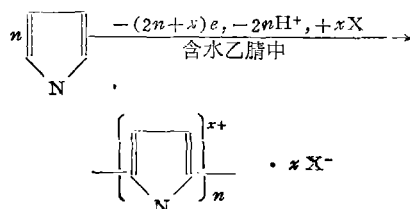
支持电解质可为 $NaClO_4$ 、 $NaBF_4$ 、 $(CH_3)_4NPF_6$ 等, 浓度为 $0.1 \sim 1 \text{ mol/L}$ 。

电解合成时在适当的溶剂中溶入单体和支持电解质, 在电解槽内电解。如果进行阳极氧化聚合, 则在阴极产生氢气, 在阳极得到高分子聚合物。如果单体是吡咯^[5]、噻吩^[6]、呋喃^[7]等杂环芳香族化合物, 苯胺及其衍生物^[8], 酞菁^[9]等多环芳香族化合物, 则容易进行电解聚合, 并且再现性好, 可以得到性能良好的导电性高分子聚合物。

电解聚合反应是按电化学当量进行的。对于芳香族化合物, 单体氧化聚合只要比较低的氧化电位 (2.1 V 以下), 并且发生亲电取代反应, 逐渐聚合生成直链状高分子物, 同时掺杂支持电解质中的离子^[10]。

例 1 聚吡咯的电解合成

在 0.25 mol/L 的吡咯含水乙腈溶液中, 外加 0.6 、 0.75 或 1.0 V (对 SCE-饱和甘汞参考电极) 的电压都可以得到导电性聚吡咯。反应在吡咯的 2、5 位进行, 聚合成长链, 同时进行掺杂^[11]:



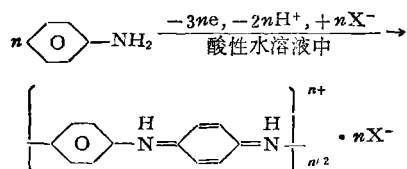
X^- 为支持电解质的阴离子, 参照半导体生产, 把聚合物本身带正电荷、掺杂进阴离子的称 P 型掺杂。把聚合物本身带负电荷、掺杂进阳离子的称 n 型掺杂。上述 X^- 称为 P 型掺杂物。上述电解合成的聚合度通常为 $10 \sim$

1000^[12]。

上述电解合成的机理被认为是ECE机理^[13],即先进行电化学反应(E),然后进行化学反应(C),再进行电化学反应(E)的机理,或类似的E(CF)_n机理。

例2 聚苯胺的电解合成

此反应在酸性水溶液中进行,并同时掺杂:



聚苯胺的电解合成比聚吡咯复杂一些,它具有三对复杂的氧化还原波^[13]。对其掺杂的机理MacDiarmid等^[14]和Baugman等^[15]进行了研究,并分别提出了模型。

例3 聚噻吩的电解合成

噻吩在PhCN-LiBF₄电解系统中聚合得到的聚噻吩,具有良好的热稳定性,到150℃也是稳定的,其电导率为160S·cm⁻¹,并且其电导率依赖于掺杂的离子种类和温度,如图

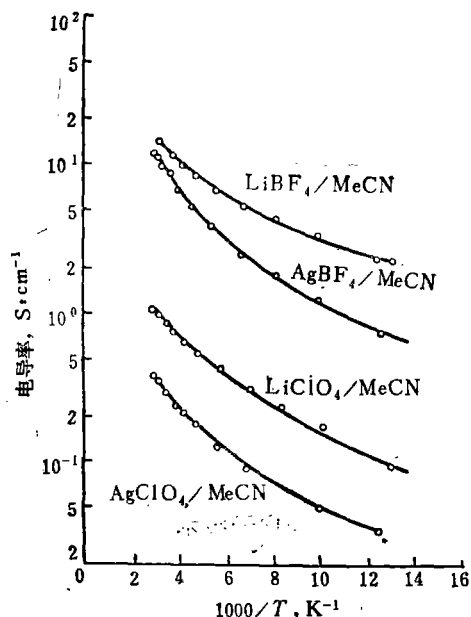


图1 聚噻吩在乙腈中掺杂BF₄⁻或ClO₄⁻离子的电导率和温度的关系

1所示^[6]。

从图1可知,掺杂不同的离子,电导率大小不同,BF₄⁻>ClO₄⁻,且随温度的升高电导率增大。

为了提高聚噻吩的热稳定性和电导率,还可以在其单体上做文章。例如使用取代的噻吩单体3-甲基噻吩,它在丙烯酸酯-Et₄NPF₆-In/SnO₂电解系统中在10mA/cm²和5℃的条件下电解聚合得到的聚3-甲基噻吩到200℃也是稳定的,其电导率提高到510S·cm⁻¹^[17]。

例4 聚苯的电解合成

苯在HF、HF/SbF₅、HCl/AlCl₃等的强酸性电解液中电解氧化聚合可以制得聚苯膜,不过此膜硬而脆。后来Sato等^[18]在PhNO₂-CuCl₂/LiAsF₆-(In/SnO₂-Ni)电解系统中,苯电解氧化聚合得到了柔软的聚苯薄膜,电导率约为100S·cm⁻¹。

3. 导电性高分子复合膜的电解合成

导电性高分子电解合成膜一般硬而脆,为改善其性能近年来人们进行复合膜的研究,并扩大其应用范围。

用电解合成法制取复合膜的方法通常有两种:

(1) 先把成膜性良好的绝缘性高分子作基膜覆盖在电极上,把单体扩散到电极与绝缘体之间的界面上进行电解聚合制得复合膜。这种复合膜的机械性能可以大大提高。

(2) 把具有阴离子性的绝缘高分子溶于电解质中,当单体进行电解聚合时,此阴离子作为掺杂剂掺杂到导电性高分子中,得到复合膜。这种复合膜的电气性能比原来的差些,但力学特性和加工性大幅度改善。例如聚吡咯/聚乙烯苯磺酸/氯化丁二烯调节聚合复合膜,虽然电导率只有10⁻³S·cm⁻¹,但其断裂伸长约为400%,并且具有热加工性能。

4. 导电性高分子LB膜的电解合成

Langmuir和Blodgett(LB)在前人的

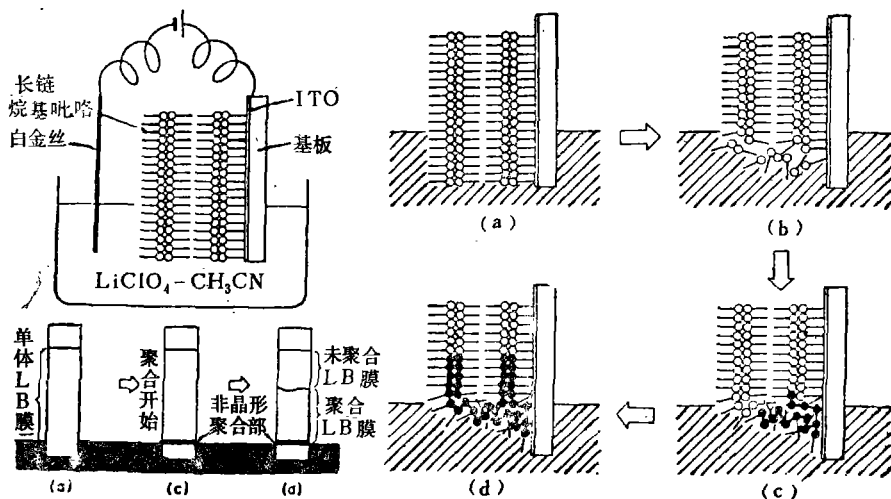


图 2 LB膜的电解聚合方法和聚合模式图

基础上把有机分子在水面上形成的单分子膜一层层地累积在固体基板上做成薄膜,这种薄膜制作法在1932年获得诺贝尔化学奖。现在把这种制作法称为LB法,制作的膜称为LB膜^[18]。

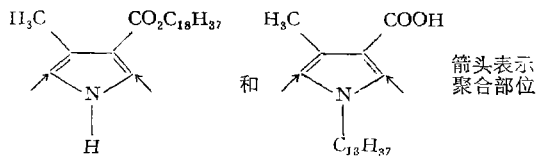
被冷落50多年的LB膜,近年来变得特别引人注目。人们想把它作为分子元件制作新的功能性分子薄膜。它作为一种高科技正在积极的开发之中。

有机电解合成工作者正在研究新的导电性高分子LB层积膜的电解合成。例如以双亲和性的长链烷基取代的吡咯做成的LB膜进行电解聚合,其聚合模式如图2所示。

如图2所示的那样,先在电极基板上涂以氧化铟和氧化锡的混合物(ITO),此为透明的导电性物质。然后用LB法累积几百层长链烷基吡咯LB膜,把此单体LB膜的最下端浸入 $\text{LiClO}_4\text{-CH}_3\text{CN}$ 系电解液中,用白金丝作对极,外加5V电流作恒电位电解氧化。在电解液面近旁开始聚合,呈现红褐色。以每小时2~3mm的恒定速度聚合,着色部分向上扩展至LB膜全部变色。这种电解聚合是非常特殊的,其聚合过程如图2右侧所示的那样,由于LB膜下端浸入电解液,

液面下的层积分子溶解(b),膜结构被破坏。但在这结构混乱的地方开始聚合,首先生成非晶型聚合物(c),并与导电物质ITO直接导通,生成的聚吡咯成为新的电极端。随着电解液的浸透,累积的LB膜中的电解聚合反应不断的进行(d),直至LB膜全部聚合为止。

上述LB膜中使用过的二种单体的结构式为

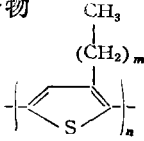


由于LB累积膜的电解聚合,其力学强度大幅度提高,可以从基板上剥下。其直流电导率在膜面平行方向为 $10^{-1}\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,垂直方向为 $10^{-11}\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,相差极大,显示出各向异性。这表明可以从结构上控制物质的性质,从分子一级来设计材料的性能,这在新材料、生物工程和电子技术等多方面将有重要的意义。

5. 可溶性导电高分子的电解合成^[19]

吡咯、苯胺、噻吩等电解聚合得到的导电性高分子薄膜,通常是不溶的,因而它们

的聚合度和分子量就很难测定,这就妨碍了对它们的进一步研究。为解决这个问题,最近Sato等^[20]用电解法合成了可溶性导电性聚噻吩。他们使用的单体是噻吩3位上取代了长链烷基的化合物。电解合成得到如下的导电性高分子聚合物



其中 $m=5$ PHT

7 POT

11 PDDT

17 PODT

19 PEIT

此高分子在溶剂中可以溶解,其溶解度如表2所示。

表2 聚烷基噻吩的溶解度

溶剂	PHT		POT		PDDT		PODT		PEIT
	O _x	Ne	O _x	Ne	O _x	Ne	O _x	Ne	
氯仿	△	○	×	○	△	○	△	△	△
苯	△	○	△	○	△	○	△	△	△
二氢萘	△	○	△	○	○	○	△	△	△

O_x—氧化状态; Ne—中性状态。○—可溶;

△—难溶; ×—不溶。

表2中的 O_x是掺杂 PF₆⁻离子的氧化态。

从表2可知脱掺杂的中性状态 (Ne) 的聚合物最容易溶解,并且聚合物的溶解度随着单体烷基的链长增加而降低。

由于上述聚合物可以溶解,人们就可以测定其聚合度,并研究聚合度与电导率的关系。上述聚合物的这种关系如图3所示^[20]。

象图3表明的那样,聚合度低,电导率低;聚合度大,π电子体系长,电导率也大,这表明聚合物的导电性与π电子体系的长短有关。

6. 电解掺杂合成导电性高分子

对于某些不含掺杂离子的绝缘性或导电性高分子可以进行电解掺杂,合成导电性高分子或导电性得到很大提高的高分子。

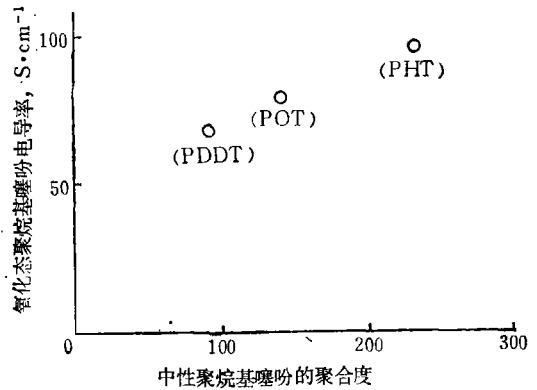
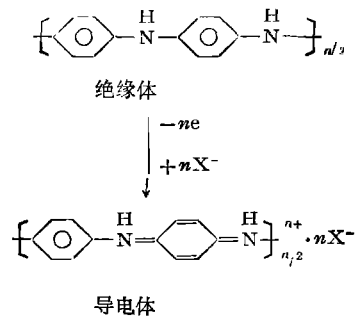


图3 聚烷基噻吩的聚合度和电导率的关系

例1 聚苯胺的电解掺杂

化学合成的绝缘性聚苯胺进行电解掺杂就能得导电性聚苯胺。即:



例2 聚乙炔的电解掺杂

聚乙炔经过电解掺杂,把AsF₆⁻和ClO₄⁻一类离子掺杂进去,则导电性和稳定性都可以提高。特别是高结晶性的聚乙炔在电解掺杂后可以得到高的电导率和稳定性。德国BASF公司^[20]合成的高结晶性聚乙炔电解掺杂后的电导率达到147000S·cm⁻¹,可与铜的电导率媲美。

二、导电性高分子的性质和应用

1. 性质

导电性高分子除具有一般高分子的性质外,还具有导电性。而电解合成的导电性高

分子还有更突出的掺杂和脱掺杂离子的性质。

导电性高分子在掺杂过程中,电化学氧化使聚合物带正电荷,溶液中的阴离子(X^-)进入聚合物中。脱掺杂,则发生相反的反应。电解合成的导电性高分子聚合物脱掺杂后可以变成绝缘体,如果再掺杂又可变为导体。导电性高分子的这种特性使其本身具有可逆的氧化还原活性。

另外,其导电性随着掺杂的加深而提高,而掺杂又可以通过控制通电量来调节。所以聚合物的导电性有可能在绝缘体 $\longleftrightarrow$ 半导体 $\longleftrightarrow$ 导体之间任意改变。

还有,掺杂不仅能改变聚合物的导电性,并且能使聚合物的光学性质也发生相应的变化。

有人对电解合成的导电性聚吡咯的电解掺杂作过详细的研究^[21]。Diaz等研究中得到的聚吡咯的循环伏安图如图4(a)所示^[21]。

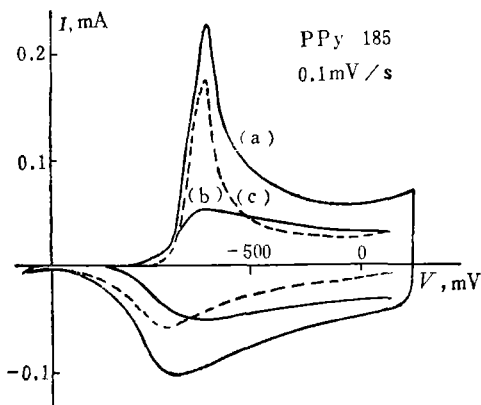


图4 聚吡咯的循环伏安、容量电流、非容量电流图
(a)循环伏安图;(b)容量电流;(c)非容量电流

图4中曲线(b)为容量电流,在氧化还原电位较高处有较大的值。这时多孔性聚吡咯接受掺杂而导电化,同时增加有效的电极表面积,形成界面双电层。

最近,Tanguy等^[22]进行了交流阻抗、

充放电循环的测定,对容量电流作了定量的探讨,测定求得的电容量值为 $300\sim 400\text{F}/\text{cm}^2$,显示了聚吡咯具有极大的表面积。图4(b)显示了“容量电流”对电极电位的依赖关系。图4(c)是“非容量电流”,它是循环伏安电流与“容量电流”之差的电流。“容量电流”在氧化还原过程中是对称的。而“非容量电流”是电荷转移速度慢的假可逆过程。进一步探讨这两种电流下的掺杂状态在1Hz以下阻抗与频率的依存关系可知,氧化状态的聚合物捕集了相当部分的离子,缓和时间短(约10s),用低频率交流信号跟踪表明,它与“容量成分”相对应。另外,掺杂离子深捕集于聚合物链中,缓和时间长,在1000s以上,此与“非容量成分”相对应。这种深捕集的离子在低的还原电位时开始放出^[23]。

由上可知,在循环伏安法中产生的“非容量电流”伴随着离子的深捕集。另外,“容量电流”的产生不仅仅是二次现象,而且伴随着离子的浅捕集,这样就在聚合物链的表面形成离子双电层,如图5所示^[23]。

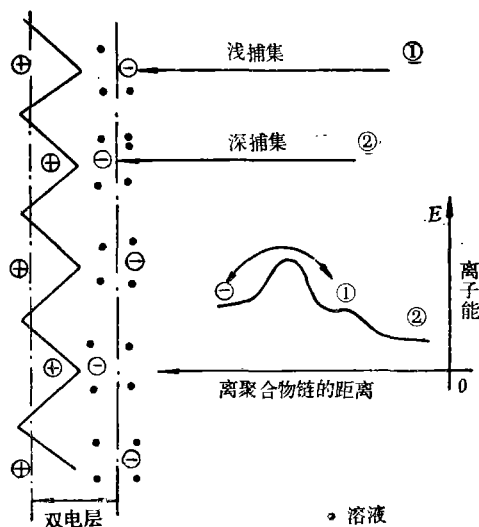
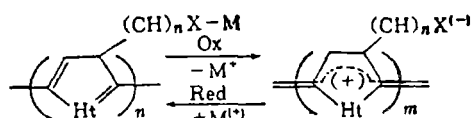


图5 两种掺杂过程的模型
①—离子的弱掺杂;②—离子的强掺杂

上述由电解合成的导电性高分子薄膜掺杂剂的浓度为33%，其中“非容量成分”掺杂的掺杂剂浓度为12~14%。

除上述掺杂的高分子外，还有一种叫做自掺杂高分子 (Self-Doped Polymer, SDP)，它具有新的掺杂机理，如下式所示^[24]。

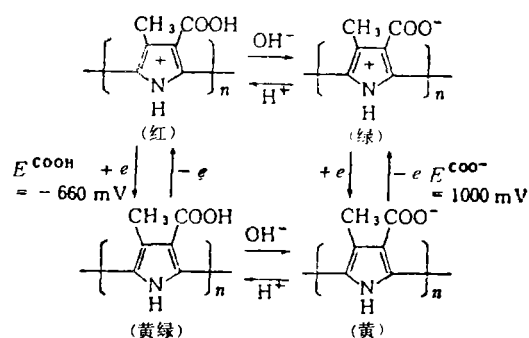


式中 Ht: NH, S, X: CO₂, SO₃

n: 1, 2等; M: H, Na, Li等

上式表明阴离子基与聚合体以共价键连接。在掺杂过程中，容易移动的H⁺、Li⁺等小离子在进行掺杂和脱掺杂时能迅速地出入，使掺杂和脱掺杂的速度变得非常快。

清水^[25]研究了一种自掺杂高分子聚4-甲基吡咯-3-甲酸，确认它能对电化学氧化还原和pH变化作出反应，并显示出4种不同的颜色，如下式所示。



自掺杂导电性高分子可以长期保持其稳定性。

聚苯胺还有与其它导电性高分子不同之处，如果用碱处理导电性聚苯胺，则可使其成为绝缘体。但再用酸处理之，又可返回成导电体。即改变溶液的pH可以调节聚苯胺的导电度，这是很有趣味的性质。另外在电

解合成聚苯胺时，必须使用酸性水溶液。如果使用碱性介质，则得到的聚苯胺是不导电的。

2. 应用

利用上述导电性高分子的性质探讨它们的应用，尤其作为功能性材料的应用，已成为当今有关领域中的热门话课^[26]。具体的应用实例如表3所示^[27]。

表 3 导电性聚合物的应用实例

应用实例	高分子的性质
(1) 蓄电池	可逆的电化学氧化还原反应
(2) 显示元件(ECD)	伴随氧化还原反应的颜色变化
(3) 导线	高导电性
(4) 防止带电, 电磁屏蔽	导电性
(5) 电子元件	半导体性
(6) 光元件(太阳能电池)	半导体性
光元件(光着色)	伴随氧化还原反应的颜色变化
(7) 敏感元件	气体和放射线的刺激引起电导率的变化
(8) 防止腐蚀(金属)	氧化还原反应(空气电池)
防止腐蚀(湿式光电池)	半导体性

利用导电性聚合物氧化还原反应的典型例子是蓄电池^[28]和显示元件^[29]。特别是P型掺杂的聚合物与金属锂组成的蓄电池，最近成为研究的热门课题^[30~34]，有的已经实用化。

例如 Li-Al (负极) / LiBF₄-(PC + DME)/聚苯胺 (正极) 组成的聚合物蓄电池，其性能为：

- (1) 有3V高的电池电压；
- (2) 有3mA(H(AL2016型))的高容量；
- (3) 有1000次以上的循环寿命；
- (4) 可以长期保存。

导电性高分子作显示元件最大的魅力是容易得到各种色调，即从无色变成三原色(红、蓝、绿)，从而可组成任意颜色。当然在同一条件下单一的聚合物显示三原色是不行的，但选择3种聚合物在同一条件下动作

就可以做到。例如使用聚苯胺、聚邻苯二胺和聚间氨基苯磺酸三个聚合物。聚苯胺在还原状态几乎无色(或淡黄色),在氧化状态下显示绿色,反应速度为20ms,循环寿命 10^6 。聚邻苯二胺为无色 $\longleftrightarrow$ 红色间变化,反应速度为5ms,循环寿命 $>10^6$ 。聚间氨基苯磺酸为无色 $\longleftrightarrow$ 蓝色间变化,反应速度为20ms,循环寿命 $>10^6$ 。这三种聚合物在氧化状态下的吸收光谱如图6所示^[27]。

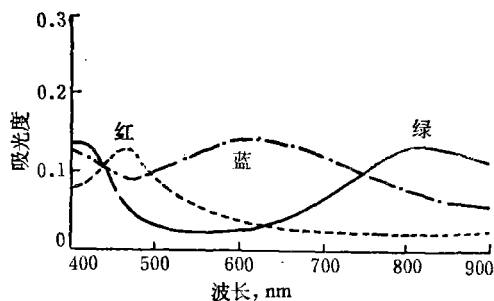


图 6 电解合成的高分子在氧化状态下的吸收光谱

实线—聚苯胺; 虚线—聚邻苯二胺;
点线—聚间氨基苯磺酸;

另外,吸收光谱的强弱还依赖于电极电位。所以如果用上述三种聚合物修饰电极的话,单独控制电极电位,就有可能得到任何颜色。

作为导电体应用,首先是做成导线使用。由于导电性聚合物已经达到或接近铜的导电性,所以如果今后出现兼顾稳定和加工性好的导电性聚合物,则马达、变压器等电机电器的小型化、轻量化将成为可能。其它利用导电性还有作为代替插座的导电性接触剂、防止带电的材料或电磁屏蔽材料应用的可能。也许将来甚至会把导电性聚合物用作超导材料等。

导电性聚合物可以通过改变掺杂的种类和数量,做成P型或n型半导体,并有可能利用它们制成二极管和三极管等电子元件。例如肥塚等^[35]使用聚吡咯和聚噻吩的复合膜制成性能良好的三极管元件,如图7所示^[21]。

示^[21]。

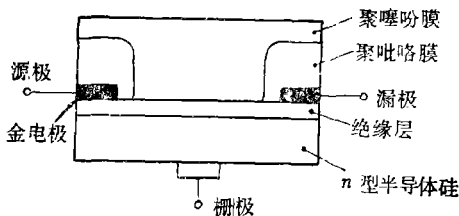


图 7 复合膜FET元件

上述电界效果型晶体三极管(FET)在起动脉冲电压的操作中,电流值变化近10万倍,它仍有转换特性,与传统的无机材料一样,有希望用作电子器件。

还有利用导电性聚合物的半导体性质制作太阳能电池的。利用半导体电导率的变化也可能用作气体和放射线的敏感元件^[29]。其它还有防止腐蚀^[36]等各种应用,并且新的应用还在不断地开发。

三、结 束 语

由于用电解合成的方法合成导电性高分子具有很多优点,引起了各方面的广泛重视,并掀起了研究热潮。人们不仅用电解法合成了聚吡咯、聚苯胺、聚噻吩,而且还合成了性能更好的复合膜、导电性高分子LB膜、可溶性导电性高分子,还进行了聚乙炔的电解掺杂。

电解合成的导电性高分子具有各种良好的特性,它的掺杂特性可使其导电性能和颜色随意改变,特别是自掺杂型导电性高分子的性能更好。人们已用它们来做蓄电池的电极材料、显示元件、导线、防止带电、电磁屏蔽、二极管、三极管等电子元件、光元件、敏感元件、防止金属腐蚀等等。其中导电性高分子电极材料蓄电池(塑料电池)已经实用化。有效地利用导电高分子特有的性质开发新的应用,如利用导电性LB膜在分

子级上设计新的功能性材料等,不仅仅是人们的期待,而且正在努力地研究之中。

参 考 文 献

- [1] 陈敏元, 高分子材料, 1988, 1, 23.
- [2] 中国第一届有机电化学学术讨论会论文集, 华东化工学院, 1988.
- [3] 陈敏元, 精细石油化工, 1988, 6, 59.
- [4] 土田英俊, 高分子, 1986, 35(2), 124.
- [5] Genies, E. M., Perneuf, J. M., *J. Electroanal. Chem.*, 1985, 191, 111.
- [6] Waltman, R. J., *J. Phys. Chem.*, 1983, 87, 1459.
- [7] Kaneto, K., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1984, 382.
- [8] Ohsaka, T., Ohnuki, Y., Oyama, N., Katagiri, G. and Kamisako, K., *J. Electroanal. Chem.*, 1984, 161, 399.
- [9] Tsuchida, E., Kato, M., *Chem. Lett.*, 1985, 1617.
- [10] 陈敏元, 高分子材料科学与工程, 1989, 3, 17.
- [11] 野中勉, 表面, 1987, 25(5), 283.
- [12] Nazza, A., Street, G. B., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1984, 83.
- [13] 陈敏元, 高分子材料, 1989, 1, 20.
- [14] MacDiarmid, A. G., Chiang, J. C., Richler, A. F. and Epstein, A. J., *Synthetic Metals.*, 1987, 18, 285.
- [15] Baughman, R. H., Wolt, J. F., Eckhardt, H. and Shacklette, L. W., *Synthetic Metals.*, 1988, 25, 121.
- [16] 乌居滋, 化学, 1988, 2, 138.
- [17] Sato, M., Tanaka, S. and Kaeriyama, K., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1985, 713.
- [18] 陈敏元, 精细化工, 1989, 1, 32.
- [19] 久保いづみ, 化学と工业, 1988, 4, 372.
- [20] Sato, M., Tanaka, S. and Kaeriyama, K., *Synth. Met.*, 1987, 18, 229.
- [21] 佐藤正昭, 化学と工业, 1988, 4, 371.
- [22] Tanguy, J., Mermilliod, N. and Hoclet., *Synthetic Metals.*, 1987, 18, 7.
- [23] Tanguy, J., Mermilliod, N. and Hoclet., *J. Electrochem. Soc.*, 1987, 134, 795.
- [24] 小林征男, 机能材料, 1988, 12, 46.
- [25] 清水刚夫, 化学と工业, 1987, 11, 944.
- [26] 陈敏元, 塑料工业, 1989, 2, 4.
- [27] 木谷 皓, 佐佐木和夫, 染料と药品, 1989, 2, 35.
- [28] 陈敏元, 工程塑料应用, 1989, 3, 54.
- [29] 陈敏元, 合成树脂及塑料, 1988, 4, 53.
- [30] 丹羽 修, 化学工学, 1988, 9, 667.
- [31] 大福英治, 机能材料, 1988, 2, 17.
- [32] 木谷 皓, 佐佐木和夫, 表面科学, 1989, 3, 55.
- [33] 菱沼祐一, 山本隆一, 化学工业, 1989, 3, 41.
- [34] 逢坂哲弥, 上山健一, 化学工业, 1989, 3, 31.
- [35] Tsumura, A., Koezuka, H. and Ando, T., *Synthetic Metals.*, 1988, 25, 11.
- [36] 陈敏元, 塑料通讯, 1988, 1, 53.

Development of Electrolytic Synthesis of Conductive High Polymer

Chen Minyuan

(Yunnan Institute of Technology, Kunming, 650051)

Summary The paper presents developments of method and application of electrolytic synthesis of conductive high polymer

Key words Development, Electrolytic synthesis, Conductive high polymer

防潮涂料 纸箱在运输过程中可能会受潮, 现有一种防潮涂料, 涂在纸箱上, 能起到防潮作用, 这种涂料的主要成分是聚乙烯, 它具有许多优点: 无毒、无异味、防腐蚀、不燃烧不爆、透明度好、光泽度高、坚硬、美观、对商标和广告无影响, 在夏季高温下不发粘, 在冬季低温下不起块。原料来源丰富且价廉。有一种以废旧塑料为原料, 经化学改性并添加其它化学助剂制成的防水、防潮和防霉涂料, 可涂装瓦楞纸箱。如利用废弃的泡沫塑料来制造防潮涂料, 废物利用, 减少环境污染, 又能制得理想的防潮涂料。

(蒋孟华)