

聚合物纳米管研究进展

宋国君^{*}, 李建江, 余希林
(青岛大学化工学院, 青岛 266071)

摘要: 全面综述了聚合物纳米管的制备方法及其研究现状。根据聚合物纳米管的制备机理和实施方法的不同, 可分为三类: (1) 多孔模板法; (2) 线模板法; (3) 自组装法。详细总结了各种方法制备聚合物纳米管的研究成果, 展望了制备聚合物纳米管新技术的开发前景和聚合物纳米管的应用前景。

关键词: 聚合物纳米管; 制备方法; 研究进展

引言

纳米管作为一种特殊结构的纳米材料有其特别的性能和用途。1991年日本的 NEC 电镜专家 Iijima 首次发现碳纳米管^[1], 此后各种材料的纳米管的研究一直是国际新材料领域的前沿和热点, 并取得了令人瞩目的成就。特别是近几年来, 聚合物纳米管作为纳米管研究的一个新的重要分支, 更是引起了世界各国科学家们的极大关注, 成为一个新的研究热点。科学界人士预言, 聚合物纳米管以其独特的结构和优异的电学、磁学、光学等性能, 在微电子学、医药学等领域有着诱人的应用前景和巨大潜在应用价值。在这一领域, 美国的 Martin^[2]、德国的 Greiner^[3]和中科院化学所的万梅香等^[4]走在了前列。近几年来, 有关聚合物纳米管的文献报道国外日渐增多, 包括“Science”在内的世界著名科学刊物多次刊载有关聚合物纳米管方面的最新研究成果, 新的制备方法和新的聚合物品种制备的聚合物纳米管不断创新发现。据粗略统计, 目前已有十几种聚合物可用不同的方法制备出聚合物纳米管。为推动国内相关领域的研究, 本文详细总结了聚合物纳米管问世以来的研究成果, 并对聚合物纳米管的制备方法和应用研究进展给予了概括。

1 聚合物纳米管的制备方法及原理

聚合物纳米管自发现几年来, 研究一直在不断深入、完善和创新中。其主要着眼点在于通过新的制备方法, 新的聚合物品种等来开发新的聚合物纳米管, 以期寻找新的性能及用途。综合起来, 目前已有的制备方法可分为多孔模板法、线模板法、自组装法等几大类。现根据目前研究情况, 从制备方法及原理的角度归纳如下表, 并分述如下:

1.1 多孔模板法

1.1.1 制备机理与模板 所谓多孔模板法, 就是利用多孔氧化铝模板(AAO膜), 利用浸润技术, 使聚合物进入模板孔内, 然后再除去模板, 从而制备聚合物纳米管的方法。按照模板组成, 可分为有机模板和无机模板两大类。按照制备前的聚合物形态分类, 又有聚合物熔体、聚合物溶液、单体聚合法等。

作者简介: 宋国君(1954—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事新型高分子材料的研究;

^{*} 通讯联系人。

表 1 纳米管制备方法与原理

Table 1 Mechanism and preparation methods of polymer nanotubes

方法	模板	原理	应用聚合物
多孔模板法	多孔氧化铝模板、大孔径氧化硅模板	毛细管力驱动聚合物进入微孔，涂层微孔内表面形成纳米管	PS ^[3] 、PTFE ^[3] 、PPY ^[16] 、PMMA ^[11] 、PPX 等
线模板法	PLA、聚酰亚胺线、尼龙 4/6 线	表层涂敷聚合物形成纳米管然后除去内层纳米线	PS、PPX ^[18] 、PANI 等
自组合法	无	依靠溶液中形成的微小胶束起到“类模板作用”而制成纳米管	PANI-(S)-PCA ^[20] 、PANI ^[19] 、PANI-PVA ^[4] 等

多孔模板法制备聚合物纳米管的机理如下:当聚合物熔体或溶液被置于具有高表面能的基体表面上时,它会像低浓度的液体一样分散开并形成前驱膜。由于多孔模板也具有高表面能,当聚合物溶液或熔体与其接触时,也会发生类似的润湿现象。在润湿的初始阶段,孔壁会被一种薄的表面膜所覆盖。这是因为在微孔内壁形成表面膜的粘合驱动力远大于完全填充微孔的粘合驱动力。另外,孔壁润湿和完全填充现象在润湿的不同时间段内发生,熔体中的热猝灭现象或溶液中溶剂的蒸发会阻止液体完全填充微孔,从而制得纳米管^[2]。

其制备原理模型图见图 1。

常见模板主要包括有机模板和无机模板两大类。有机模板主要是聚碳酸酯和聚酯的。这类模板的孔密度较低($10^9/\text{cm}^2$),而且模板微孔是随机分布在模板膜上的。这类模板商品化的孔径主要为 10~100nm 大小。无机模板主要是多孔氧化铝模板,也有少量其他材料制作的,如氧化硅模板。这类模板拥有较高的孔密度($10^{11}/\text{cm}^2$)^[5],而且这些模板微孔是按六角形阵列形式分布在模板表面的,但这类模板商品化的只有有限几种孔径的产品(20nm、100nm、200nm)。

1992 年, Martin^[2] 领导的小组制得了孔径为 5nm 的氧化铝模板,但他们认为仍然有可能制得更小孔径的氧化铝模板^[6,7]。其他学者也报道了多种纳米级微孔模板: Tonucil 等报道制备了一种具有纳米孔道阵列的玻璃,最小孔径为 33nm,孔密度为 3×10^{10} 个/ cm^2 ^[8]; Beck 等制备了一种大孔径的沸石^[7,9]; Ozin 报道的各种具有纳米孔的固体也可以作为模板材料^[10]。

1.1.2 多孔模板法制备聚合物纳米管 Steinhart 等^[3]利用多孔氧化铝模板,采用熔融润湿法制备了聚苯乙烯(PS)、聚四氟乙烯(PTFE)的纳米管,同时利用大孔径氧化硅模板制备了聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)的纳米管。他们所制得的聚合物纳米管的壁厚为 20~50nm,最长的达到 100 μm (见图

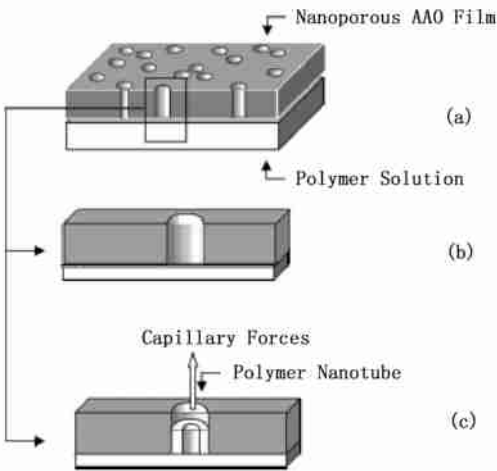


图 1 AAO 模板法制备聚合物纳米管示意图

Figure 1 Scheme for preparing polymer nanotubes with AAO template

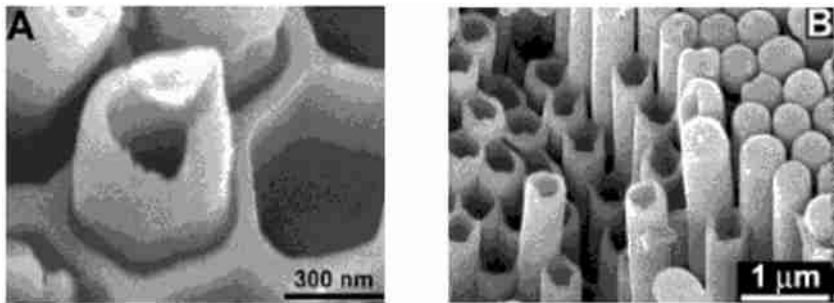


图 2 熔融润湿法制备的聚合物纳米管 SEM 照片

Figure 2 SEM of polymer nanotubes preparing by melt-wetting method

(A) PS nanotubes protruding from a porous alumina membrane ;

(B) Ordered array of tubes from the PS sample after complete removal of the template

Cepak 等^[11]使用孔径为 1 μ m 的聚酯模板制得了 PS 的纳米管,他们研究发现 5(w/w)%的 PS 溶液制备的纳米管比 2.5(w/w)%的 PS 溶液制备的纳米管缺陷少。高浓度溶液制备的 PS 纳米管的 SEM 照片表明不存在缺陷,而 2.5%的则缺陷较多。这可能是与 PS 更偏好于在自身沉积而不是在孔壁上有关,这种趋势导致在低浓度溶液中没有足够的聚合物去沉积在模板孔壁上,这样就形成了缺陷。Cepak 认为可能在更低浓度的 PS 溶液中会获得纳米管,但对此没有进行深入的探讨。在孔径为 30nm 的聚酯模板中他们只制得了 PS 的纳米线,在孔径为 400nm 的聚酯模板中他们则制得了聚亚苯基氧化物的管状结构。另外他们还分别使用孔径为 200nm 的多孔氧化铝模板制备了 PS、PVDF、PMMA 的纳米线。Kim 等^[12]利用氧化铝模板和聚碳酸酯过滤膜制得了聚对亚苯基乙烯 (PPV) 的纳米管和纳米线。他们通过采用后期处理 PPV 的前驱物的方法制得了 PPV 的纳米管。这是因为 PPV 难溶于普通溶剂,并且用普通方法难以处理。在这方面已经有很多报道关于用可溶性前驱物或可溶性具有共轭结构的聚合物来制备导电聚合物的纳米管和纳米线。例如, Martin 等率先制备出了导电聚合物的纳米管,他们用聚合物或聚合物溶液(溶剂在后处理中除去)来填充氧化铝模板或有机高分子过滤膜的纳米孔来制备纳米管^[13~15],他们同时也制备了聚苯胺和其他导电聚合物的纳米线。所以 Kim 等^[12]首先用 CVD 聚合合法在氧化铝模板的孔内聚合了前驱聚合物 α 、 α -二氯对二甲苯,然后再通过热脱氯化氢而制得 PPV。其合成路线见图 3:

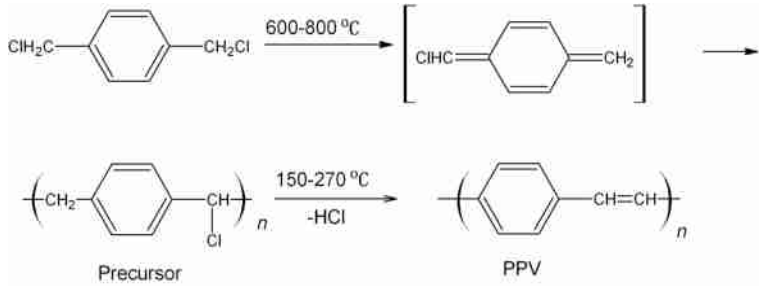


图 3 前驱物法合成 PPV 路线图

Figure 3 Scheme for preparing PPV using precursor method

他们制备的 PPY 纳米管壁厚大约为 28 $\pm$ 3nm, 外径为 285 $\pm$ 25nm。在 PC 膜(ϕ =10nm)中,他们制得的纳米线直径为 31 $\pm$ 3nm, 在 PC 膜(ϕ =100nm)中制得纳米线的外径为 134 $\pm$ 20nm, 壁厚为 38

±3nm,可以看出纳米线的直径比孔径要大,这可能是后处理时溶剂的溶胀作用造成的。他们通过进一步研究发现纳米管的壁厚与聚合时间的长短、惰性气体的流速及反应器的压力等因素有关。Joo 等^[16]用纳米多孔氧化铝模板通过电化学合成法制备了导电聚吡咯、聚噻吩和聚苯胺的纳米管和纳米线。在制备 PPY 纳米管时,他们用樟脑磺酸(CSA)做掺杂剂(吡咯单体:CSA=5:1),通 10mA 的电流 2min。制备 PPY 纳米线时,与制备 PPY 纳米管时相同的聚合条件和掺杂程度,只是聚合时间加长为 15~40min。这样所制得的导电聚合物纳米管和导电聚合物纳米线的直径为 200nm 左右,长度为 10~40μm 左右。进一步研究发现聚合时间、电流及掺杂程度可以控制形成纳米管或纳米线以及他们的长度。在制备 PEDOT(聚噻吩)-DBSA(*D*-苯磺酸)和 PAN(聚苯胺)-HClO₄ 的纳米管和纳米线时也呈现同样的趋势。

表 2 PEDOT-DBSA 的长度与掺杂度、电流、聚合时间的关系^[16]

Table 2 Length of PEDOT-DBSA nanowire depending on doping level, current and polymerization time

EDOT-DBSA	电流/mA	时间/min	纳米线长度/μm
1:3	10	10	4.5
	10	10	8
1:1	3	30	7.8
	10	30	29
2:1	10	10	9.5
	10	60	39.3

从表 2 可以看出,PEDOT-DBSA 纳米线的长度受掺杂度、电流强度、聚合时间等的控制。X 射线衍射显示,PEDOT-DBSA 在相同的聚合条件下(EDOT:DBSA=1:3, 10mA, 60min),PEDOT-DBSA 的纳米线和他们的本体聚合物相比,纳米线沿聚合物主链的结晶度比他们的本体聚合物的结晶度要高。

Mzaur 等^[28]利用化学原位聚合在聚碳酸酯膜(PC)内制备出了聚苯胺(PANI)和聚(2-甲氧基苯胺)(POMA)的聚合物纳米管。研究后发现,它们两者在形成管的机理方面存在很大的差异。在形成聚苯胺纳米管时,聚苯胺大分子首先在聚合反应溶液中形成,然后再进入 PC 模板内形成聚苯胺纳米管。而在制备 POMA 时,氧化的 2-甲氧基苯胺单体首先吸附进入 PC 模板孔内,经过一段时间的积聚后,单体再重组形式聚合物纳米管。

1.2 线模板法

1.2.1 制备机理 所谓线模板法就是利用可降解或可溶性的聚合物纳米线,在其表面涂层所需聚合物的溶液,然后再去除模板线来制备聚合物纳米管的方法。尼龙 4/6, Poly (tetramethylene adipamide)(PA)、聚乳酸^[17](PLA)常被选作制造模板线的材料,因为这些材料非常适合制备亚微米级线径的聚合物线,并且它们在涂层聚合物时稳定,在某些特定条件下易溶解或热分解而除去,不会损伤各自表面的涂层(即聚合物管)。

线模板法制备模型如下:



图 4 线模板法制备聚合物纳米管的模型示意图

Figure 4 Scheme for preparing polymer nanotubes by TUFT(tubes by fiber template) progress

1.2.2 线模板法制备聚合物纳米管 目前制备直径小于 100nm 的圆柱状聚合物纳米管和复合管还是一个挑战,主要是由于当尺寸变小时,小尺寸限制效应越来越明显所致。Hou 等^[17]利用改进的方法制备了内径为几十个纳米的聚合物纳米管和复合管。众所周知,用电纺丝方法制备聚合物纳米线时,如果高分子溶液浓度较低,则制得的聚合物纳米线较细,但这样往往会导致形成串珠状聚合物纳米线。因此 Hou 等通过加入一种特殊的添加剂,提高了聚合物溶液的导电性,但其粘度和表面张力改变不大,从而制得了直径为几十个纳米的 PA 线,而 PLA 线的直径则更小,所做 TEM 照片显示 PA 线的直径为 50nm 左右,SEM 照片显示,镀金的 PLA 线的直径为 10nm 以上,而纯 PLA 线直径则在 5nm 左右,平均直径在 50nm 左右。Hou 等还用 CVD 法,把 PPX(聚对二甲苯)蒸镀到 PLA 和 PA 纳米线上,然后除去模板线,获得了内径为 5~250nm 的纳米管。这样制得的纳米管的内径通常由模板纳米线的直径决定,而外径则由 PPX 蒸镀层的厚度决定,也就是由蒸镀时间控制。Bognitzki 等^[18]也利用电纺丝技术制备了 PLA 的纳米线,纳米线的直径大都在 0.05~0.7 μm 范围内。他们同样用 CVD 法将 PPX 蒸镀到这些纳米线上,制得了 PPX 的纳米管,所得管长大于 100 μm ,管的内径为 0.05~3.5 μm ,壁厚为 0.1~1 μm 。使用同样的方法他们制得了聚酰亚胺纳米管,所用模板线的直径为 1~2 μm ,经过研究发现,浓度为 2%(wt)~4%(wt)聚酰亚胺最适合实验要求。

1.3 自组合法

1.3.1 制备机理 所谓自组装,就是通过一些或许多组分的自发连接而朝空间限制的方向发展,形成在分子、共价键或超分子、非共价键层次上分立或连续的实体的过程。聚合物纳米管的自组合法是通过聚合物单体与掺杂剂本身所携带的亲水性或疏水性基团之间的相互作用形成管状胶束,所形成的胶束起到“类模板”的作用,然后聚合形成掺杂的聚合物纳米管。

1.3.2 自组合法制备聚合物纳米管 最近,Huang 和 Wan^[19]用过硫酸铵作为氧化剂,用 β -苯磺酸(β -NSA)作为掺杂剂,不使用模板制得聚苯胺(PANI)的纳米管,这种方法被称为无模板自组合法。Zhang 等^[4]也利用该法制得了 PANI 的纳米管。由于 PANI 的加工性能较差,因此,提高 PANI 的加工性能就很有必要。Zhang 等把 PANI 与水溶性的聚乙烯醇(PVA)进行嵌段,提高了 PANI 的加工性能,也制得了 PANI 的纳米管。TEM 照片显示大多数线是中空的,少量是实心线。进一步研究发现管的直径随着苯胺单体/ β -萘磺酸摩尔比的降低而增加。当苯胺单体/ β -萘磺酸为 1:0.5 时,纳米管和纳米线的直径在 70~80nm 范围内。PANI- β -NSA 的纳米管形态不受苯胺单体/ β -萘磺酸摩尔比的影响,这说明纳米管的直径和内径可以靠改变聚合条件来控制,特别是 β -NSA 的浓度。在形成 PANI- β -NSA 纳米结构的过程中,形成的 ANILINE/ β -NSA 胶束起到一个“类模板”的作用。因此,这些胶束的大小和形态会影响到 PANI- β -NSA 纳米结构的直径和形态。这样,对形成 ANILINE/ β -NSA 盐有重要影响的 β -NSA 浓度也会对最后的 PANI- β -NSA 形态有重要的影响。研究发现,低浓度的 β -NSA 对形成 PANI- β -NSA 的纳米管与纳米线更有利。Yang 等^[20]用(R)或(S)-PCA 作为掺杂剂,合成了 PANI-(S)-PCA 和 PANI-(R)-PCA 手性纳米管。所得大多数管的外径为 80~220nm,内径为 50~130nm,而且整条管都是中空的,这些管的长径比大都在 6~12 之间。所使用的掺杂剂并不影响 PANI-(R)或(S)-PCA 的管状形态,但是,苯胺单体的浓度对最终的 PANI-(S)-PCA 的形态有很大的影响。在聚合过程中形成的苯胺单体-(R)-PCA 或(S)-PCA 胶束同样起到一个“类模板”的作用。当苯胺单体的浓度为 0.04M,苯胺与(R)或(S)-PCA 的摩尔比为 2 时,产物中 75%是纳米管。上述两种纳米管都具有光学活性。Huang 等^[21]则用偶氮苯磺酸(ABSA)作为掺杂剂,利用自组合法合成了聚苯胺纳米结构,平均直径为 110~130nm,导电率为 $2.5 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ 。研究发现 PANI-ABSA 纳米结构的制备和尺寸同 aniline 与 ABSA 的摩尔比和 ABSA 的浓度有关。实验表明:当用浓度为 1.1

$\times 10^{-3} \text{ M}$ 的 ABSA 时, 制得直径为 $30 \sim 60 \text{ nm}$, 长度为 $3 \sim 8 \mu\text{m}$ 的纳米管。当浓度再高时 ($1.1 \times 10^{-2} \text{ M}$), 管的直径为 $130 \sim 160 \text{ nm}$, 长度为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 。当溶液中氯化钠浓度为 $3.7 \times 10^{-2} \text{ M}$ 时, 获得的 PANI-ABSA 纳米管的直径为 $70 \sim 100 \text{ nm}$, 长度为 $0.4 \sim 1.0 \mu\text{m}$; 当氯化钠的浓度为 $3.7 \times 10^{-1} \text{ M}$ 时, 主要获得颗粒状结构。

Yang 等^[22] 利用 β -NSA 和对甲基苯磺酸 (TsOH) 作为掺杂剂, 分别利用化学和电化学方法自组装形成 PPY 微米/纳米管, 管径为 $50 \sim 2000 \text{ nm}$, 室温导电率为之 $2 \sim 40 \text{ S/cm}$ 。通过改变聚合方法、条件以及掺杂剂的成分, 就可以控制 PPY 管的形态、尺寸和电性能。在合成纳米管的过程中掺杂剂胶束或吡咯/掺杂剂分子簇起到模板的作用。研究发现, 在化学或电化学方法合成 PPY-NSA 纳米管时, NSA 胶束起到模板的作用^[23, 24]。在制备 PPY-TsOH 纳米管时, Pyrrole/TsOH 分子簇起到模板的作用。

Zhang 等^[25] 利用过硫酸铵 (APS) 作为氧化剂, *D*-10-樟脑磺酸 (*D*-CSA) 作为掺杂剂, 利用化学自组装法首次合成制备了导电聚合物 PANI 掺杂 *D*-CSA 的纳米管。管的直径大约在 $80 \sim 180 \text{ nm}$ 之间。研究发现, *D*-CSA/An 的摩尔比强烈地影响最终的 PANI 的形态和形成可能性。*D*-CSA 和铵阳离子形成的胶束在制备 PANI-*D*-CSA 纳米管的过程中起到模板的作用。

目前, 制备聚合物纳米管的研究主要集中于多孔模板法和自组装法。其制备技术和应用的开发与研究具有广阔的前景。

2 应用与展望

近十年来, 纳米技术的日新月异, 使得纳米材料的应用广泛涉及国民经济的各个领域。如今, 纳米技术已广泛应用于纳米微电子学、纳米磁学、光学、化学催化、物理学、材料科学、生物医学科学等各个领域, 并正以前所未有的势头向各个领域发展。

聚合物纳米管由于其特殊的结构, 最适合作为功能性材料使用, 如制备纳米导线, 生物胶囊等。在纳米微电子学、生物医学等方面有美好的应用前景, 因此各国科学家都在致力于制备功能性的纳米管材料。其可能的应用情况分述如下:

(1) 制备复合纳米管 Steinhart 等^[3] 制备了 Pd/PS 的复合纳米管。Cepak 等^[11] 制备了 PS/PPY 的同心复合管, 他们通过把绝缘聚苯乙烯的微米管内部填充导电聚合物聚吡咯, 而制得了纳米复合管, 这种复合管可以作为纳米级导线, 在微电子方面有很大的用途, 也可以用于制造微电池。Hou 等^[17] 用钼 (II)/二乙酸酯作为导电改性剂, 制备了 PPX/Pd 复合管。Bognitzki 等^[18] 则制得了 PPX/Al 和 PPX/Au 的复合管。这些聚合物/金属复合管的内径尺寸范围为 $0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 左右。所制备的这类复合管有望在微电子学、光控器件、传感器等方面得到应用。

(2) 催化剂 聚合物纳米管多孔阵列内部如果络合了 Sc、Pd 等金属离子, 就可用作一些有机化学反应的异相催化剂材料。如络合有 Pd 金属离子的多孔催化剂材料, 可以催化加氢反应和 Heck 偶联反应, 与 Pd-C 催化剂相比具有较好的选择性^[26]; 络合 Sc 离子后用于催化苯甲醛和 (Z)-1-苯基-三甲基硅氧丙烯进行的醛醇缩合反应, 大大提高了产物顺反异构的比率^[27]。

(3) 微电子器件 当今时代, 微电子器件的发展日新月异, 各种仪器的小型化越来越重要, 而传统的制造技术越来越受到局限, 如果在聚合物纳米管内部填充各种金属, 形成纳米级导线, 则可有效地解决这个问题, 制备出更加小型化的仪器。

此外, 还可应用于生物材料、光电磁材料、药物输运及环保材料、传感器、纳米反应器等领域, 相信随着技术的进步, 相信在不久的将来, 聚合物纳米管会得到越来越多的应用, 成为纳米材料领域

的又一支奇葩。

参考文献:

- [1] Iijima S. Nature (London), 1991, 354, 56.
- [2] Martin C R. Science, 1994, 266(23); 1961.
- [3] Steinhart M, Wendorff J H, Greiner A, et al. Science, 2002, 296(14); 1997.
- [4] Zhang Z M, Wan M X. Synthetic Metals, 2002, 128; 83.
- [5] Alnawawi D, Coombs N, Moskovits M. J Appl Phys, 1991, 70; 4421.
- [6] Klein J D. Chem Mater, 1993, 5; 902.
- [7] Wu C G, Bein T. Science, 1994, 264; 1757.
- [8] Tonucci R J, Justus B L, Campillo A J, et al. Science, 1992, 258; 783.
- [9] Beck J S. J Am Chem Soc, 1992, 114; 10834.
- [10] Ozin G A. Adv Mater, 1992, 4; 612.
- [11] Cepak V M, Martin C R. Chem Mater, 1999, 11; 1363.
- [12] Kim K, Jin J. Nano Lett, 2001, 1 (11) ; 631.
- [13] Penner R M, Martin C R. J Electrochem Soc, 1986, 133; 2206.
- [14] Parthasarathy R V, Martin C R. Chem Mater, 1994, 6; 1627.
- [15] Parthasarathy R V, Martin C R. Nature, 1994, 369; 298.
- [16] Joo J, Park K T, Kim B H, et al. Synthetic Metals, 2003, 7—9; 135.
- [17] Hou H Q, Zeng J, Reuning A, et al. Macromolecules, 2002, 35; 2429.
- [18] Michael B, Hou H Q, Michael I, et al. Adv Mater, 2000, 12(9); 637.
- [19] Huang J, Wan M X. J Polym Sci, Part A, 1999, 37; 151.
- [20] Yang Y S, Wan M X. J Mater Chem, 2002, 12; 897.
- [21] Huang K, Wan M X. Chem Mater, 2002, 14; 3486.
- [22] Yang Y S, Liu J, Wan M X. Nanotechnology, 2002, 13; 771.
- [23] Liu J, Wan M. J Mater Chem, 2001, 11; 404.
- [24] Yang Y, Wan M. J Mater Chem, 2001, 11; 2022.
- [25] Zhang L J, Wan M X. Nanotechnology, 2002, 13; 750.
- [26] Ding J H, Gin D L. J Polym Prepr, 1999, 40(2); 738.
- [27] Ga W Q, Zhou W J, Gin D L. J Chem Mater, 2001, 13; 1949.
- [28] Ryan A J, et al. The 16th annual conference of the polymer process society(PPS-16)[c], Shanghai, China, 2000, 6; 6.

Research Progresses of Polymer Nanotubes

SONG Guo-jun, LI Jian-jiang, SHE Xi-lin

(College of chemical engineering, Qingdao university 266071, China)

Abstract: The preparation methods and recent researches of polymer nanotubes are generally reviewed in this paper. According to the formation mechanisms and methods, it can be divided into three kinds: (1) porous templates method, (2) tubes by fiber templates, (3) self-assembly method. Achievements of polymer nanotubes prepared by different methods are summarized in recent years. The development of new preparing technologies and application prospects of polymer nanotubes are described.

Key words: Polymer nanotubes; Preparation methods; Research progress