

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.09.027

碳纳米管增强纳米银复合材料应用进展^{*}

杨标¹, 章家立¹, 郭赞如¹, 陈爱喜², 关婷婷¹, 叶小爱¹

(1. 华东交通大学材料科学与工程学院, 南昌 330013; 2. 华东交通大学理学院, 南昌 330013)

摘要: 归纳了碳纳米管增强纳米银复合材料(Ag/CNT)的制备途径及性能变化, 阐述了Ag/CNT复合材料在水离子体检测、抗菌、催化、传感器等领域的应用。并指出: 在制备方式中, 在吸附型CNT沉积纳米银(Ag/a-CNT)复合物制备过程中, 由于CNT表面基团的保护效应, 致使纳米Ag在CNT表面均匀分散, 同时, CNT大的比表面积又增强了银纳米粒子的吸附作用。Ag/a-CNT将是以后CNT增强纳米银复合材料主要的制备方式。另外, 纳米银的加入不仅可以增强复合物光学和热学性能, 而且还能产生复合材料新的其它性能和应用。如何在保证复合材料应用效果的情况下, 降低成本和实现工业化生产都将是今后的努力方向。

关键词: 纳米银; 碳纳米管; 复合材料; 应用

中图分类号: TB333 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)09-0121-05

Application Progress of Silver Composite Enhanced by Carbon Nanotubes

Yang Biao¹, Zhang Jiali¹, Guo Zanru¹, Chen Aixi², Guan Tingting¹, Ye Xiaoi¹

(1. College of Materials Science and Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang 330013, China;

2. College of Science, East China Jiao Tong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The properties and preparation methods of nanoscale silver / carbon nanotubes (Ag / CNT) composites were summarized. The application of nanocomposite material in detection of water ion, anti-bacteria, catalysis, sensor was described. It was pointed out that in the preparation process of adsorption type CNT deposited nano silver (Ag / a-CNT) composites, due to the protective effect of CNT, the nanoscale Ag was dispersed evenly on the surface of the carbon nanotubes, and the large specific surface area of CNT also enhance the adsorption of silver nanoparticles. Ag / a-CNT will be the main preparation methods of Ag / CNT composite materials in the future. In addition, the addition of nanoscale silver can not only enhance the optical and thermal properties of the composites, but also can produce new properties and applications. In the case of how to insure the application effect of the composite material, reducing the cost and realizing the industrial production is the direction in the future.

Keywords: nanoscale silver; carbon nanotube; composite; application

20世纪末碳纳米管(CNT)研制成功后,因其一维且具有一个或多个石墨卷层的结构,使其在比表面积、热导率及力学强度上有着优异的特性并备受人们瞩目。CNT增强纳米颗粒复合材料是通过对CNT进行改性后,加强两者材料间的界面作用力从而发挥两者的协同效应。其中因负载有金属^[1-5]、金属氧化物^[6-12]、金属硫化物^[13-17]纳米颗粒而制得的复合材料,其在热学、光学、电磁学、催化等方面的特有优势被研究者们深入探究^[18-20]。其中金属纳米颗粒中纳米银(Ag)因其优异的导电性、抗静电作用、光学性能以及催化氧化性能^[21-22],被广泛地应用于催化剂、导电油墨、厚膜金属浆、粘合剂,甚至摄影行业^[23-25]。然而,纳米银的团聚现象又在一定程度上限制了纳米银的应用^[26-27]。复合就是一种方便而有效的解决上述问题的方法。通过复合,发挥两组分的协同效应,一方面可以有效地控制纳米银的生长,达到控制纳米银粒径和改善纳米银团聚的效果,另一方面纳米银的引

入又增强了另一组分在电学、光学等方面的性能。而CNT作为一种新型碳材料,具有其它碳材料不具备的优异性能,如高比表面积、独特的一维结构、高电导率等,在复合材料中被广泛利用。纳米银和CNT的复合能有效地改善纳米银的缺陷,如有效防止纳米银的团聚,提高纳米银在其上的分散性;同时CNT作为一种优异载体,能够有效地增强纳米银在催化、抗菌等各方面的应用,故其两者的复合有潜在的前景。

因此,笔者归纳了CNT增强纳米银基复合物(Ag/CNT)的制备途径,阐述了该复合物的应用领域,并比较了其在应用时所具有的优势,最后对该复合物在未来发展的改进方法及拓宽领域进行了展望。

^{*} 国家自然科学基金项目(2146006)

联系人: 章家立, 博士, 教授, 主要从事功能材料的研究

收稿日期: 2016-07-02

1 复合材料的制备方法

Ag/CNT的制备方法主要是采取化学还原的方式,将纳米银粒子修饰在CNT上,以缩短两者界面间的距离从而达到复合并发挥协同效应的优势。依据对CNT不同的改性手段,将其制备途径分为三类:第一类,未改性型CNT上沉积纳米银(Ag/r-CNT);第二类,功能型CNT上沉积纳米银(Ag/f-CNT);第三类,吸附型CNT沉积纳米银(Ag/a-CNT)。Ag/r-CNT复合材料中CNT与纳米银只是通过两组分之间的分子间作用力结合,结合力弱,容易造成银的脱落,复合材料性能不稳定;Ag/f-CNT复合材料则是通过改性处理CNT,在其上引入官能团,通过官能团对银的抓捕、固定等作用,达到CNT与纳米银之间含较强作用力的复合,但此种改性CNT方式是经过有损坏性的处理(混酸、剪切等),容易对CNT固有构造产生影响(如断裂)从而减弱CNT的加强效果。Ag/a-CNT复合物则是通过将某些离子、分子等吸附于CNT上,通过离子、分子与银的作用,紧固CNT与纳米银界面间的作用力,该方法虽然保证了CNT固有结构的完整性,但其它分子的引入,将造成复合材料的不纯净。

1.1 Ag/r-CNT 复合材料

H. Vijwani等^[28]采取化学气相沉积(CVD)方式在碳泡沫或高定向热解石墨上制得了CNT,后用高温二甲基亚砷还原硝酸银得到2~4 nm的银粒子并将其沉积在CNT上,从而制得Ag/r-CNT。Peng Yitian等^[29]用CVD法制得了直径为60 nm CNT,再在其上用化学镀银工艺沉积Ag,得到了直径约160 nm的准一维纳米线,并发现该复合材料中银的晶体取向与CNT的轴向一致。Feng Yi等^[30]通过粉末冶金技术合成得到了Ag/CNT/石墨刷,并对于该复合刷在不同因素下具有的摩擦能力进行了探索。T. Yamada等^[31]用超声波降解法制备了Ag/r-CNT复合材料,银的加入使复合材料可在300℃下进行烧结,十二烷基分散剂在该反应中既是分散剂又是还原剂,该试剂的加入可使纳米银反应完全,且在300℃烧结时可使复合材料的密度增加。刘孔华等^[32]通过原位热降解方法在环氧树脂-咪唑固化体系中制备了Ag/r-CNT复合材料掺杂的环氧导电复合材料,发现Ag/r-CNT的引入虽然降低了导电复合物质的体积电阻率且有利于低温烧结时减少纳米物质的含量,但同时也降低了复合材料的剪切强度。此方法中咪唑在对银氨溶液进行还原后,被引入固化体系中以作为固化剂,并随着反应环境黏度的加大,纳米Ag通过移动粘结更趋困难,而环氧树脂在其中则作为抑制纳米Ag粘结的庇护物。王震遐等^[33]在气相沉积法制得了多壁CNT的基础上,以原子热蒸发法制得了纳米Ag,最终得到了Ag/r-CNT。考察了纳米银晶在CNT

上的生长方式,以及两组分间的界面连接特性,发现该复合材料存在Ag/CNT异质结,且此异质结界面处有局部横截面形变,说明两组分之间有相互作用力。

1.2 Ag/f-CNT 复合材料

Chen Lifei等^[34]先在碳酸氢铵的存在下用球磨工艺在CNT上修饰了氨基基团,后用银镜反应在其上沉积纳米银,从而合成了Ag/f-CNT复合材料。该方法可以通过调节银镜反应的时间从而对纳米Ag的尺寸进行调控,制得的复合材料有很好的热导率,其热导率比修饰CNT和原CNT都高,使其可作为有效的热传导媒介,且纳米银所占组分越多,热导率越高。B. Habibi等^[35]先用混酸对单壁CNT进行氧化以制得羧基化CNT,后在其上以化学沉积纳米银制得Ag/f-CNT,并将其滴涂于玻碳电极(GCE)上制得了过氧化氢无酶传感器。M. Ramin等^[36]在混酸作用的功能化CNT上用化学沉淀法沉积了纳米银,合成了Ag/f-CNT。考察了CNT的引入对纳米银形貌和大小的影响,发现CNT的引入使纳米银粒子变小(48~35 nm),这是因为CNT上官能团成为Ag的固定点,阻止了纳米Ag团聚。Chen Lifei等^[37]在CNT上用球磨技术修饰了氨基基团,后用银镜反应在CNT上沉积了纳米银,制得了Ag/f-CNT复合材料。将该复合物滴涂在GCE上,制得了葡萄糖生物传感器。李爱坤等^[38]通过混酸作用于CNT上以加强其分散效果,再通过利用化学镀的方法在CNT表面附着银层,从而制备界面间作用力强的Ag/f-CNT,该物质的导电率虽较Ag有所降低,但其拉伸强度和硬度都有极大的提升。刘文超等^[39]用葡萄糖还原方式在羧基化CNT上沉积了纳米银,制得了Ag/f-CNT。且对该反应的合成条件进行了优化探索,并对其抗菌能力进行了检测,发现该复合物在抗菌方面的能力较纯CNT有较高的提升。P. Hemant等^[40]用改善的分子级混合方法制得了Ag/f-CNT复合材料,并对其中CNT的种类(单壁或多壁)及CNT功能化的形式(共价或非共价方式)对于所制备的Ag/f-CNT复合材料导热性的影响进行了探究,发现单壁或多壁的共价功能化CNT与Ag复合后导热性都有所降低,而多壁非共价功能化CNT与Ag复合后导热性有明显提升,而这一结论与有效介质理论相符合。

1.3 Ag/a-CNT 复合材料

唐建等^[41]利用银镜反应还原得到Ag及苯环和CNT间存在的强 π - π 共轭效应的机理,将吸附有香草醛的CNT与银氨溶液反应,制备得到了Ag/a-CNT。发现该复合物表现出明显的荧光特性,CNT的存在有效地改善纳米银的粒径和性能,使纳米银粒子更小(5.0 nm),且增强了复合材料的表面的增强荧光效应。周鑫等^[42]采取溶胶-凝胶法,在保持超声状态下于CNT平面上均匀附着一层SiO₂,使两者

形成核壳结构,提高了CNT的分散性,并由于 SiO_2 的存在能够更好地引入氨基,从而通过库仑力作用连接纳米Ag形成Ag/a-CNT复合材料。该材料有效抑制了纳米Ag的团聚,且由于拥有高表面增强拉曼散射效应(SERS)的纳米银的引入,该复合材料相较于纯CNT,其SERS效应提高近5倍,并且有望应用于无损检测。Liu Dan等^[43]用原位聚合法制备了具有抑菌作用的Ag/a-CNT复合材料,发现由于多巴胺及核聚糖的引入及聚合后两者分别所展现的强吸附性与稳定性,使复合材料较于液相还原法具有更高的载银量。刘雪刚等^[44]先在多壁CNT上键入了水溶性离聚物聚(苯乙烯磺酸钠-CO-丙烯酸)(PSA),后采取化学还原法将纳米银负载于CNT上,制得了Ag/a-CNT复合材料。离聚物PSA分子链上大量的磺酸基团和羧基基团,在银的制备中分别起到离子交换和螯合作用,使纳米银紧紧附着在CNT上。离聚物的存在不仅有效地控制了CNT上纳米银的粒径和均匀分布,还促进了纳米银和CNT之间界面的作用力。

2 纳米银/碳纳米管复合材料的应用

2.1 自来水中离子的检测

杨平华等^[45]通过采用化学镀方法制备了Ag/f-CNT复合材料,并将其修饰在GCE上,用于检测水中对硫磷、氯离子。并于检测对硫磷时观察到该电极有明显的不可逆电化学还原活性,且其在 -0.58 V 处的还原峰电流值与 $2.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 之间的甲基对硫磷浓度呈线性关系,且在水体中的检测中有很好的回收率。同时,发现在对于自来水中氯离子的检测时,该电极的微分脉冲氧化峰电流的降低值与浓度在 $8.0 \times 10^{-3} \sim 0.1 \text{ mol/L}$ 之间的氯离子呈一定的线性关系。且在无氧条件下具备比有氧下更低的氧化电位,说明氧的存在容易使银被氧化^[46]。

2.2 传感器

Chen Lifei等^[47]用银镜反应合成了Ag/f-CNT复合材料,再将其滴涂于GCE上从而制得了葡萄糖氧化酶电极。考察了该电极在电化学检测以及催化氧气与葡萄糖时的能力。发现银的加入极大提高了酶固有的生物相容性,提升了载酶量与电催化还原氧的能力。且纳米银的高电导率和对载酶量的高容量加速了电极与酶活性中心的直接电子传递,造成葡萄糖氧化酶的直接电化学催化。此酶电极对葡萄糖检测限低至 0.01 mmol/L ,线性范围为 $0.025 \sim 1.0 \text{ mmol/L}$,且表现出好的储存稳定性和优异的重现性,在实样葡萄糖的检测中也有很好的准确率。B. Habibi等^[35]将制得的Ag/f-CNT滴涂于GCE上,得到过氧化氢(H_2O_2)无酶传感器。该传感器具有比CNT修饰电极强30倍的灵敏度,良好的重现性、重复性、稳定性,且 -0.2 V 工作电位下可以防止多巴胺、尿酸、抗坏血酸、扑热息痛的干扰。同时在 -0.45 V

工作电位下其拥有对 H_2O_2 不错的还原能力,这较之于纳米银修饰电极的催化电位(-0.6 V)更低,说明该复合材料在催化 H_2O_2 方面的能力更强。其检测范围为 $0.01 \sim 0.08 \text{ mmol/L}$,检测限为 $2 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$,此传感器在检测蜂蜜样品中的 H_2O_2 浓度时也有满意的结果。

2.3 催化性能

唐建等^[41]通过还原法制备得到Ag/a-CNT复合材料,再将其滴涂于GCE上。发现该电极在还原电位为 -0.95 V 时,对 H_2O_2 有不错催化能力,且还原峰电流与浓度在 $1.0 \times 10^{-7} \sim 6 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 之间的 H_2O_2 有线性关系,这比沉积到DNA骨架上的纳米Ag/CNT复合材料修饰GCE^[48]和固定了血红蛋白的CNT修饰GCE^[49]有更好的电催化还原性能。陈娟^[50]通过功能离子预吸附法在CNT上高分散负载了纳米银,从而制备了Ag/a-CNT负载型催化剂,该催化剂对乙醇的脱水、脱氢反应有很好的催化效果,并发现在温度高时催化剂具有更好的催化活性。杜飞鹏等^[51]利用硼氢化钠还原与PSA对Ag的螯合,将纳米银负载于CNT上,并将该复合材料滴涂在GCE上以用于 H_2O_2 的检测,发现该修饰电极在 -0.74 V 工作电位下对 H_2O_2 有着优异的催化能力,且较之纳米银(0.85 V),其有更低的还原电位,检测的线性区间为 $5.0 \times 10^{-5} \sim 8.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 。刘雪刚等^[44]用还原法制备了链接水溶性离聚物聚(苯乙烯磺酸钠-CO-丙烯酸)的Ag/a-CNT复合材料,发现该物质在水中能够稳定的均匀分散,后探讨了该物质所修饰的GCE在碱性条件下对甲醇的催化能力,发现其对甲醇有明显的电催化活性,且发生在银氧化物完全形成前,遵守双效机理,且有良好的抗中毒效果。张金花等^[52]将多壁CNT与纳米二氧化钛粒子混合液修饰在Ti基体上后用电化学循环伏安法在其上沉积了一层纳米银粒子,再通过自组方法修饰了一层L-半胱氨酸,并研究了该复合膜电极在有机溶剂乙醇存在下对苯乙酮有电催化还原性能,而未修饰L-半胱氨酸的电极对其无催化还原性质,且因物理吸附该电极稳定性良好。

2.4 抗菌性

S. Sedaghat等^[53]用湿化学法制备纳米银/碳纳米管复合材料,并考察了该复合材料在体外抗菌测试中对大肠杆菌的抗菌性,且其在不同的CNT上(单壁CNT、多壁CNT、多羧基修饰CNT等)沉积了纳米银粒子。发现多羧基CNT上沉积的纳米银粒子较小(29 nm),其中多壁CNT和多羧基CNT复合材料在体外抗菌试验中对大肠杆菌都有抗菌性,且多羧基CNT复合材料抗菌性效果更好。S. J. Kazmi等^[54]以纳米Fe粒子作催化剂通过 900°C 的高温及混酸对CNT进行功能化处理,制备了Ag/f-CNT复合材料,并用琼脂平板法对该复合材料的抗菌率进行了检测,发现该复合材

料对大肠杆菌有很好的抗菌性且该材料的抗菌性与复合材料中 Ag 纳米粒子的尺寸有一定的关系。陈娟^[50]主要采用化学还原法和紫外光照还原法,通过对混酸和聚苯甲酸改性的 CNT 进行载银复合材料的制备,并对其抗菌性能进行研究,发现该复合材料对三种海洋细菌即黄色链球菌、氯酚节杆菌、芽孢杆菌有明显的抗菌杀菌效果,使其可作为潜在的海洋材料。

2.5 其它作用

A. L. Pishko 等^[55]用化学填充法制备了 Ag/r-CNT 吸附剂,该吸附剂高的吸附能力和小的碘浸出,使得复合材料在核废物分离过程和废物处理系统中可作为潜在使用的碘吸附剂,且银含量很大程度下影响了碘的吸附。而化学填充法制备的复合物中纳米银含量高达 20%,比原位掺杂的纳米银 0.0025% 含量多很多,且化学填充法制备的复合物比商用的银充满的活性炭吸附剂的吸附性能高出一个数量级。罗光前等^[56]采取 CVD 法制得 CNT,再通过化学方法结合热还原法于 CNT 上生成纳米银颗粒,从而制得 Ag/r-CNT 复合材料,并将其作为冷原子荧光测汞系统中汞阱吸附剂,对汞进行测量,发现该吸附剂的吸附量高(9 292.4 ug/g),完全释放温度低(250 K),汞释放速度快(330 K 时 145 s),汞检测线性相关系数超过 0.99。且在有二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳和氧气干扰气体中对汞的测量也在检测区间内,最大偏差不到 6%。Zeng Fanguang 等^[57]通过一种相互烧结纳米银与 CNT 层的方式,将 CNT 全面地与 Ag 表面接触或者嵌入 Ag 的底部,得到界面间粘结紧密的 Ag/r-CNT 复合材料,并将其作为场发射显示器中的阴极印刷膜,该材料中银粒子的引入确保了 CNT 印刷膜的电导率及膜硬度的加强,且由该种材料制备的阴极印刷膜在与阳极间的静电接触会更强,从而最终所制备的场发射显示器的发光稳定性有着近 6 倍的提高。叶芸等^[58]在 CrCuCr 薄膜金属底上用电泳方法沉积了纳米银,后用丝网印刷技术制备了 CNT 阴极,得到 Ag/r-CNT 场发射阴极,并测试了其场发射能力。发现纳米 Ag 和 CNT 经 420℃ 共烧结后,纳米银与 CNT 交错相连,增强了基底与阴极的接触。与 CNT 阴极相比,其场发射性能、亮度、循环性都得到明显改善。其中纳米银的加入增强了 CNT 的导电性,降低了接触电阻,有利于电子输运及热量传导,让场发射阴极产生的热量能较快释放,避免大电流因过多热量积累导致碳纳米管烧毁。

3 结语

Ag/CNT 是一种新型无机复合材料,该复合材料结合了纳米银各方面的性质以及碳纳米管作为新型碳材料的独特性,两者的复合在基于两者单独组分的性能上,还具备两组分复合带来的协同性能。在制备方式中,因 Ag/a-CNT

复合材料对碳纳米管形貌的保护作用和通过改变所附着的物质的种类,达到不同基团修饰的效果,将是以后主要的制备方式。且因两者复合协同效果带来的新性能、新应用,特别是纳米银的加入对复合材料在光学、热学方面的应用扩展,以及如何在保证复合材料应用效果的情况下,降低成本,实现工业化生产都将是今后的努力方向。

参考文献

- [1] Barberio M, et al. Applied Surface Science, 2015, 334:174-179.
- [2] Yan Yibo, et al. Catalysis Today, 2015, 259:292-302.
- [3] Balram A, et al. Advanced Functional Materials, 2016, 26(15):2 571-2 579.
- [4] 何卫,等. 材料工程, 2016(2):49-55.
He Wei, et al. Journal of Materials Engineering, 2016(2):49-55.
- [5] Pialago E J T, et al. Applied Surface Science, 2014, 308(308):63-74.
- [6] 郭欣,等. 环境科学与管理, 2016, 41(4):71-73.
Guo Xin, et al. Environmental Science and Management, 2016, 41(4):71-73.
- [7] Liu Hongdong, et al. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2012, 63(3):569-572.
- [8] Xu Shoudong, et al. Materials Research Bulletin, 2013, 48(3):1 204-1 212.
- [9] 孙秀丽,等. 化工学报, 2014, 65(9):3 718-3 723.
Sun Xiuli, et al. CIESC Journal, 2014, 65(9):3 718-3 723.
- [10] Maho A, et al. Journal of colloid and interface science, 2012, 371(1):150-158.
- [11] Ru Qiang, et al. Journal of Alloys & Compounds, 2015(654):586-592.
- [12] Lan Meng, et al. Applied Surface Science, 2013, 282(10):937-946.
- [13] 赵航,等. 稀有金属材料与工程, 2016, 45(4):928-933.
Zhao Hang, et al. Rare Metal Materials and Engineering, 2016, 45(4):928-933.
- [14] Xiao Yaoming, et al. Journal of Power Sources, 2014, 266(1):448-455.
- [15] Goswami M, et al. Applied Surface Science, 2016, 364(12):915-918.
- [16] Zhen Wuli. Acta Physica Sinica, 2012, 61(1):1-6.
- [17] Barberio M, et al. Radiation Physics and Chemistry, 2012, 81(6):642-646.
- [18] Li Yongmei, et al. Chemical Communications, 2015, 52(7):1 439-1 442.
- [19] Yang Jingjing, et al. Journal of Applied Electrochemistry, 2016, 46(3):369-377.
- [20] Gao Chongyang, et al. Frattura Ed Integrità Strutturale, 2015, 9(33):471-484.
- [21] Hintsho N, et al. Applied Catalysis B Environmental, 2014, s 156-157(9):273-283.

- [22] Yousefi N, et al. Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry, 2015, 46(3):464-470.
- [23] Zheng Jianwei, et al. Nanoscale, 2016, 8(12):10 115-10 121.
- [24] Ahmadi S, et al. Powder Technology, 2012, 228:163-170.
- [25] Wang M, et al. Science China Materials, 2015, 58(3):198-203.
- [26] 余博西,等. 现代化工, 2015, 35(1):87-91.
She Boxi, et al. Modern Chemical Industry, 2015, 35(1):87-91.
- [27] Zhai Dandan, et al. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2013, 424(17):1-9.
- [28] Vijwani H, et al. Chemical Engineering Journal, 2015, 268:197-207.
- [29] Peng Yitian, et al. Nanoscale Research Letters, 2012, 7(1):1-5.
- [30] Feng Yi, et al. Journal of Materials Science, 2007, 42(23):9 700-9 706.
- [31] Yamada T, et al. Materials Transactions, 2010, 51(10):1 769-1 772.
- [32] 刘孔华,等. 物理化学学报, 2012, 28(3):711-719.
Liu Konghua, et al. Acta Phys-Chim Sin, 2012, 28(3):711-719.
- [33] 王震遐,等. 中国科学, 2009, 39(11):1 800-1 803.
Wang Zhenxia, et al. Sci China, 2009, 39(11):1 800-1 803.
- [34] Chen Lifei, et al. Journal of Materials Science, 2012, 47(14):5 590-5 595.
- [35] Habibi B, et al. Microchimica Acta, 2012, 177(1-2):185-193.
- [36] Ramin M, et al. International Nano Letters, 2013, 3(1):1-6.
- [37] Chen Lifei, et al. Solid State Electrochem, 2012(16):3 323-3 329.
- [38] 李爱坤,等. 贵金属, 2015(A01):27-32.
Li Aikun, et al. Precious Metals, 2015(A01):27-32.
- [39] 刘文超,等. 科学与技术信息, 2013(15):49.
Liu Wenchao, et al. Science & Technology Information, 2013(15):49.
- [40] Hemant P, et al. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015(1):154-161.
- [41] 唐建,等. 化学研究与应用, 2012, 24(8):1 207-1 212.
Tang Jian, et al. Chemical Research and Application, 2012, 24(8):1 207-1 212.
- [42] 周鑫,等. 无机化学学报, 2014, 30(3):543-549.
Zhou Xin, et al. Chinese Journal of Inorganic Chemistry, 2014, 30(3):543-549.
- [43] Liu Dan, et al. Journal of Advances in Physical Chemistry, 2015, 4(2):24-30.
- [44] 刘雪刚,等. 功能材料, 2011, 42(9):1 591-1 594.
Liu Xuegang, et al. Journal of Functional Materials, 2011, 42(9):1 591-1 594.
- [45] 杨平华,等. 分析试验室, 2011, 30(4):81-85.
Yang Pinghua, et al. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2011, 30(4):81-85.
- [46] 杨平华,等. 理化检验: 化学分册, 2011, 47(3):323-326.
Yang Pinghua, et al. PTCA(Part B:Chem Anal), 2011, 47(3):323-326.
- [47] Chen Lifei, et al. Journal of Solid State Electrochemistry, 2012, 16(10):3 323-3 329.
- [48] Cui Kang, et al. Electrochemistry communications, 2008, 10(4):663-667.
- [49] Shie Janwei, et al. Talanta, 2009, 78(3):896-902.
- [50] 陈娟. 纳米银修饰多壁碳纳米管复合材料的制备和杀菌性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011:1-57.
Chen Juan. Synthesis of silver nanoparticles on modified multi-walled carbon nanotubes and their antimicrobial effects[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011:1-57.
- [51] 杜飞鹏,等. 武汉工程大学学报, 2011, 33(10):61-64.
Du Feipeng, et al. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33(10):61-64.
- [52] 张金花,等. 合成化学, 2008, 16(2):144-146.
Zhang Jinhua, et al. Chinese Journal of Synthetic Chemistry, 2008, 16(2):144-146.
- [53] Sedaghat S, et al. Tech J Engin & App Sci, 2013, 3 (2):219-223.
- [54] Kazmi S J, et al. Sensors & Actuators A Physical, 2014, 216(3):287-294.
- [55] Pishko A L, et al. Journal of the South Carolina Academy of Science, 2011, 9(1):37-42.
- [56] 罗光前,等. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2010(1):129-132.
Luo Guangqian, et al. Journal of HuaZhong University of Science and Technology: Nature Science, 2010(1):129-132.
- [57] Zeng Fanguang, et al. Science in China, 2006, 49(3):283-290.
- [58] 叶芸,等. 光学学报, 2010, 30(12):3 542-3 546.
Ye Yun, et al. Acta Optica Sinica, 2010, 30(12):3 542-3 546.

PPG 推出 TUFROV, HYBON 和 INNOFIBER 新产品

PPG 公司近日推出了三款新产品: HYBON[®] 2732, TUFROV[®] 4520 以及 INNOFIBER[®] TS 2402。

HYBON[®] 2732 主要用于由纤维增强材料制成的复合结构制品,以提高其强度。与同类产品相比,其将剖面翘曲和加工磨损控制在最小范围,由此提高了加工性能,为后续包括石油和天然气平台、建筑相关产品以及在其它基础设施建设在内的应用提供了便利。同时还具备更优秀的拉伸强度,确保了与不饱和聚氨酯树脂混合使用时的兼容性。

TUFROV[®] 4520 在具备长纤维热塑性材料特点的同时,还表现了前所未有的拉伸强度,即使是高温潮湿的生产环境也不在话下,其突出的拉伸强度以及耐磨损特性可以有效提升热塑性汽车元件的性能,并显著改善卡车周转箱以及航空货物集装箱等产品质量与结构。INNOFIBER[®] TS 2402 则在吸音方面进行了优化,可用于汽车以及大型工业系统的消音器内。与原 INNOFIBER[®] CR 相比,TS 2402 继承了其防腐蚀、耐高温等优点。同时,其将硼从原材料中去除,提高了软化点以满足当今汽车制造商日益严苛的要求。(PUWORLD)