基于石墨烯开发的高分子复合材料在电磁屏蔽领域中的应用

王明洋^{①*}, 吴凡^①, 孙梦潇^②

① 爆炸冲击防灾减灾国家重点实验室, 中国人民解放军理工大学, 南京 210007;

② 北京化工大学机电工程学院, 北京 100027

* 联系人, E-mail: wmyrf@163.com

2013-09-14 收稿, 2013-11-08 接受, 2014-04-04 网络版发表

国家自然科学基金(51021001)资助

摘要 电子与通讯设备广泛地应用于工业、商业、科学研究以及军事等领域, 电磁辐射对人体健康造成不良的影响, 使得电磁屏蔽一直是现代社会需要重视的一大问题, 因此也催生了对不同类型的电磁屏蔽材料的制备与性能的研究. 与传统的金属电磁屏蔽材料相比, 以碳材料作为填料的高分子复合材料在电磁屏蔽领域有着自己独特的优势, 包括重量轻、耐腐蚀、易加工、具有柔性以及可吸收频率范围广. 石墨烯作为一种新型的二维纳米碳材料, 具有极其优异的电学、力学和热力学性能, 这些优异的性能使得石墨烯在与高分子材料形成复合材料后具有极佳的作为电磁屏蔽材料的潜质. 此外, 在航空航天、武器装备、军事防护、汽车工业以及微电子业中, 对所使用的电磁屏蔽材料的热稳定性、力学性能也都有更高的要求. 石墨烯-高分子复合材料比其他的含碳复合材料具有更大的优势来满足这些挑战. 本文对应用于电磁屏蔽领域的石墨烯-高分子复合材料中石墨烯的制备方式进行分类, 总结了目前此类复合材料的电磁屏蔽效能.

关键词

石墨烯
高分子
复合材料
电磁屏蔽
化学还原
热还原
化学气相沉积

电磁干扰(electromagnetic interferences, EMI)是由电场回路产生的电磁辐射信号. 当前, 由于千兆赫兹的电力设备以及电磁通讯设备的大量使用, 电磁污染达到了前所未有的程度. EMI 不仅会对精密的电子设备造成影响, 同时对人体的健康也有着极大的危害. 传统的电磁屏蔽材料, 如金属材料, 虽然具有良好的电磁屏蔽效能(SE_{total}), 但是由于其自身重量大, 无法适应一些特殊场合的用途. 高分子材料具有力学性能好、重量轻、可柔性化等特点, 在很多领域开始逐步替代一些传统材料. 将具有电磁屏蔽性能的材料加入到高分子材料中形成复合材料, 是人们寻求新型电磁屏蔽材料的一种解决方法.

这些具有电磁屏蔽性能的复合材料可以分为 3

类. 第一类是在高分子材料中加入金属填料以提高与电磁辐射的相互作用, 如纤维^[1~4]或者纳米颗粒^[5~7]. 不锈钢纤维可以分散在聚碳酸酯^[3]、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料^[8]、聚苯醚^[2]或聚丙烯^[4]中形成电磁屏蔽材料, 而铜纤维可以与环氧树脂混合起到电磁屏蔽的作用^[1]. 研究表明, 金属纤维的直径越小, 复合材料的电磁屏蔽性能越好^[1]. 然而, 金属填料很难在高分子材料中得到很好地分散, 并且随着金属填料的引入, 复合材料的重量变大. 第二类是将导电高分子材料与普通高分子材料进行复合. 在满足复合材料力学性能的要求下, 提高材料本身的导电性, 从而起到电磁屏蔽的效果. 聚吡咯^[9,10]、聚苯胺^[11,12]是最常见的作为电磁屏蔽填料的导电高分子. 导电

引用格式: 王明洋, 吴凡, 孙梦潇. 基于石墨烯开发的高分子复合材料在电磁屏蔽领域中的应用. 科学通报, 2014, 59: 1681–1687

Wang M Y, Wu F, Sun M X. Graphene based composite for electromagnetic interference shielding (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2014, 59: 1681–1687, doi: 10.1360/972013-1045

高分子自身可加工性很差以及需要很高的添加量才能使得复合材料起到较好的电磁屏蔽效果,这是此类复合材料的缺点.第三类则是利用碳材料作为复合材料中的导电物质,例如碳纤维^[13]、碳纳米管^[14,15].这些碳材料以其电导率高、稳定性好、加工成型方便以及复合材料重量小,而越来越受到人们的重视.

石墨烯是一种只有单层碳原子通过 sp^2 杂化轨道形成六元环蜂窝网状结构的二维平面材料,它自身具有很多独特的性质,是一种在价带和导带之间具有微小重叠的零价带半金属材料^[16].石墨烯在常温下具有超高的电子迁移率($\sim 10000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)^[16]、巨大理论比表面积($\sim 2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$)^[17]、良好的透光性($\sim 97.7\%$)^[18]、高杨氏模量($\sim 1 \text{ TPa}$)^[19]以及优异的导热性($3000\sim 5000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)^[20].石墨烯的这些性质使得它成为复合材料加工中极具利用价值的纳米填料.

石墨烯的制备可以分为两大类,自下而上的外延生长法和自上而下的通过氧化、插层或者超声的方式剥离石墨片层的方法.其中自下而上法包括化学气相沉积法^[21]、等离子增强化学气相沉积法^[22]、热分解碳化硅单晶法^[23]和溶剂热法^[24].通过这些方法可制备出大面积的单层或者多层的石墨烯,适合应用在对材料性能要求较高的领域,例如半导体或者超级电容器等.与自下而上法不同,通过自上而下法可以获得高产率、在溶剂中稳定分散的石墨烯,其方法更加简便易行.这类方法主要是通过插层、化学修饰或者超声片状石墨来获得石墨烯,主要包括:液相剥离法^[25]、插层后热剥离法^[26]、电化学剥离法^[27]、化学还原氧化石墨烯法^[28]、热还原氧化石墨烯法^[29]以及光热还原氧化石墨烯法^[30].

利用化学还原、热还原以及化学气相沉积的方式制备的石墨烯可以与高分子材料复合制备具有电磁屏蔽性能的复合材料.本综述以此为分类方法,归纳了利用不同品质的石墨烯所制备的复合材料对 SE_{total} 的影响.

1 电磁屏蔽的原理

SE_{total} 是由材料表面的反射效能(SE_R)、电磁波吸收效能(SE_A)和电磁波在材料内部多次反射效能(SE_M)3部分组成.其中, SE_R 是由大气和屏蔽体之间的阻抗失配决定的; SE_A 可以认为是电磁波在材料中的衰减; SE_M 则是电磁波在材料内部产生了不均匀的散射.同

样,入射电磁波的能量(P_i)可以分解为反射能(P_r)、吸收能(P_a)和通过材料的残余能(P_0)^[31]. SE_{total} 的公式可表示为^[15,32]

$$SE_{\text{total}} = 10 \log(P_i/P_0) = SE_R + SE_A + SE_M, \quad (1)$$

其中,当 $SE_{\text{total}} \geq 15 \text{ dB}$ 时, SE_M 可以忽略.

有效吸收率(A_{eff})可表示为^[15]

$$A_{\text{eff}} = (1 - R - T)/(1 - R), \quad (2)$$

其中, R 是能量的反射系数, T 是能量的穿透系数, A 是能量的吸收系数.

因此, SE_R 和 SE_A 可以改写为^[32]

$$SE_R = -10 \log(1 - R), \quad (3)$$

$$SE_A = -10 \log(1 - A_{\text{eff}}) = -10 \log(T/(1 - R)). \quad (4)$$

利用以上公式,结合实验测试结果,便可对待测材料的 SE_{total} 作出评价.

经大量的实验研究发现,基于石墨烯开发的电磁屏蔽高分子复合材料,随着石墨烯添加量的增大,导电性增强, SE_{total} 也随之提高.测试结果显示,此类材料主要通过吸收电磁波的能量转化为热能从而起到电磁屏蔽的效果,电磁波的反射效能所起的作用较小^[33~35].

2 化学还原

自从2008年Li等人^[28]利用水合肼在水中还原氧化石墨烯制取石墨烯之后,化学还原的方式由于其方法简单、产率高,一直是高分子复合材料领域制备石墨烯的首选方法.同样在制备具有电磁屏蔽效力的石墨烯-高分子复合材料中,也有很多研究工作是基于化学还原的石墨烯开展的.Chen 课题组^[36]较早地开展了研究含有化学还原石墨烯复合材料的电磁屏蔽性能,利用水合肼还原形成石墨烯后,将其加入到环氧树脂当中,成型后的复合材料在氮气气氛下 250°C 加热 2 h,形成最终产品.当石墨烯的含量达到 15% (重量比,下同)时,复合材料的 SE_{total} 在 8.2~12.4 GHz 的频率范围内可达 21 dB. Hisao 等人^[33]对使用硼氢化钠进行化学还原所得石墨烯的表面利用一种阳离子表面活性剂,十八烷基三甲基氯化铵进行非共价修饰,使得修饰后的石墨烯在与聚氨基甲酸酯的复合当中可以更好地分散(图 1),最终形成了一种柔性的,具有电磁屏蔽性能的复合材料.当修饰后的石墨烯在复合材料的质量占到 7.7%时,电导率可以达到 5.1 S m^{-1} ,此时的 SE_{total} 为 32 dB. Singh 等人^[37]将化学还原得到的石墨烯与乙酰丙酮铁在甲醇中回流加热,在石墨烯表面原位形成了含 γ -氧化

图1 利用阳离子表面活性剂前后形成的复合材料对比以及活性剂的作用原理^[33]

铁的复合物, 再与一定质量的碳纤维一起加入到酚醛树脂当中, 制备了可用于电磁屏蔽领域的复合材料. 根据3种物质在酚醛树脂中含量的不同, 复合材料的电导率在 $0.48 \sim 171.21 \text{ S cm}^{-1}$. 当石墨烯、 γ -氧化铁和碳纤维的添加量分别为 37%, 12% 和 1% 时, 在 10.2 GHz 的测试频率下, SE_{total} 可达 41.84 dB. 除了上述工作, 文献[38~41]中还有一些类似的采取化学还原得到的石墨烯经修饰后的产物作为电磁屏蔽高分子复合材料中的填料, 也取得了良好的应用效果.

3 热还原

对氧化石墨在高温下 ($\sim 1000^\circ\text{C}$) 进行短时间 ($\sim 30 \text{ s}$) 的加热, 可获得热还原的石墨烯. Yu 课题组^[34]利用二氧化碳发泡技术制备了石墨烯与聚甲基丙烯酸甲酯形成的多孔复合材料, 用于轻型电磁屏蔽材料的研究. 当复合材料中的石墨烯占到 5% 时, 材料的电导率可达 3.11 S m^{-1} , 此时的 SE_{total} 在 8~12 GHz 频率范围内可达 13~19 dB. 该复合材料的电磁屏蔽机理主要在于可以吸收电磁波. Yu 课题组^[42]随后在大气和真空环境下, 对氧化石墨样品进行不同温度的加热, 获得了碳/氧元素含量百分比为 13.2, 9.6 和 5.0 的 3 种石墨烯, 与聚甲基丙烯酸甲酯通过溶液共混的方式获得复合材料. 结果表明, 碳/氧比为 13.2 的石墨烯与其他 2 种相比, 在聚合物中具有更好的分散性, 导电性也更好. 这种石墨烯在添加量达到 4.23% (体积比) 时, SE_{total} 可达 30 dB (图 2). Zheng 课题组^[43]将热还原石墨烯与聚醚酰亚胺进行溶液共混, 再利用水

图2 含有不同类型石墨烯复合材料的电磁屏蔽效力^[42]

蒸气诱导相分离的方式, 制备了轻型、多孔、柔性的复合材料用于电磁屏蔽. 此种复合材料的密度为 0.3 g m^{-3} , 在石墨烯添加量为 10% 时, SE_{total} 为 11~13 dB. 研究还指出此种材料的电磁屏蔽机理在于, 利用水蒸气诱导相分离的方式在材料中形成的空腔能够有效使得进入的电磁波在腔壁和石墨烯片层中分散和衰减 (图 3).

4 化学气相沉积

通过化学还原和热还原的方式可以获得宏量 (克级) 的石墨烯, 因此利用这两种方式获得的石墨烯在复合材料中的应用相对广泛. 但是, 化学还原易产生团聚现象, 使得石墨烯重新堆叠形成石墨; 热还原会

图3 石墨烯-聚酰亚胺复合材料的电磁屏蔽机理^[43]

造成石墨烯片层上永久性的缺陷,因此这两种方式合成出的石墨烯导电性远不及通过化学气相沉积方式形成的石墨烯,如果可以将化学气相沉积形成的石墨烯引入到高分子材料中,那么在石墨烯极少添加量的情况下也能起到良好的电磁屏蔽效果。

Hong 等人^[44]通过电感耦合等离子体化学气相沉积的方式制备了单层石墨烯,并将其转移到聚对苯二甲酸乙二醇酯的表面,经检测后发现其 SE_{total} 为 2.27 dB. 研究人员还发现,针对金属材料电磁屏蔽的平面波理论^[45]同样适用于石墨烯,模型计算的结果显示理想的单层石墨烯可以屏蔽接近 97.8% 的电磁波。

Cheng 课题组^[46]利用化学气相沉积的方法在泡

沫镍板的表面生长高品质石墨烯,首次利用这种合成方式将石墨烯从二维材料转化为三维材料(图 4),被称之为“石墨烯泡沫”。Cheng 课题组^[35]利用聚二甲基硅氧烷覆盖在整个生长有石墨烯的泡沫镍板上,再利用盐酸腐蚀掉金属镍,最终形成了多孔的含石墨烯高分子复合材料。利用这种方法制备的复合材料,其密度仅为 0.06 g cm^{-3} ,是普通材料的 1/20. 在石墨烯的含量小于 0.8% 的情况下,其 SE_{total} 高达 30 dB(图 5(a)). 即使在连续弯折 10000 次后,电磁屏蔽的效力也几乎没有变化(图 5(c)).

5 结论

在当前电磁屏蔽材料逐渐向高性能、轻型化、柔性化发展的趋势下,石墨烯自身的优异属性使得它在这类高分子复合材料的应用中具有很大的优势。通过化学还原和热还原的方式制备石墨烯,成本低且产率高,被广泛应用于复合材料当中。然而,这两种制备方式无法完全去除片层表面残留的含氧官能团,使得石墨烯的导电性受到很大的影响。此外,利用化学还原的方式获得石墨烯很容易在液相中团聚重新形成石墨,这样在高分子中的均匀分散也受到阻碍。而热还原的石墨烯由于会造成二维平面上永久的碳缺陷,也必将对导电性产生负面影响。为了提高复合材料的导电性,只有提高石墨烯的添加量。化

图4 (a) 石墨烯/聚二甲基硅氧烷复合材料的制备流程; (b), (c) 柔性复合材料展示; (d), (e) 扫描电子显微镜下复合材料的三维结构^[35,46]

图5 (a) 复合材料在 30 MHz~1.5 GHz 和(b) 8~12 GHz 的电磁屏蔽效力; (c) 10000 次弯折前后电磁屏蔽效力的对比^[35]

学气相沉积是制备高品质石墨烯最有效的方式, 利用在多孔金属基底上制备三维的石墨烯泡沫并引入到高分子材料中, 才从真正意义上获得了低添加、高性能、

以及柔性的复合材料. 但是化学气相沉积的制备工艺相对复杂, 制备成本偏高, 只有在解决了这 2 个问题后, 才能使得这种复合材料步入工业化生产阶段.

参考文献

- 1 Bagwell R M, McManaman J M, Wetherhold R C. Short shaped copper fibers in an epoxy matrix: Their role in a multifunctional composite. *Compos Sci Technol*, 2006, 66: 522–530
- 2 Biswas K K, Somya S. Effect of isothermal physical aging on creep behavior of stainless-fiber/PPE composites. *Mater Sci Res Int*, 2001, 7: 172–177
- 3 Chen C S, Chen W R, Chen S C. Optimum injection molding processing condition on EMI shielding effectiveness of stainless steel fiber filled polycarbonate composite. *Int Commun Heat Mass*, 2008, 35: 744–749
- 4 Tan S T, Zhang M Q, Rong M Z, et al. Effect of interfacial modification on metal fiber filled polypropylene composites and property balance. *Polym Compos*, 1999, 20: 406–412
- 5 Babu V J, Kumar V S P, Sundaray B, et al. Preparation and characterization of electrospun nanofibers of nylon-6 doped with copper(II) chloride. *Mater Sci Eng B*, 2007, 142: 46–50
- 6 Chou K S, Huang K C, Shih Z H. Effect of mixing process on electromagnetic interference shielding effectiveness of nickel/acrylonitrile-butadiene-styrene composites. *J Appl Polym Sci*, 2005, 97: 128–135

- 7 Huang C J, Chang T C. Studies on the electromagnetic interference shielding effectiveness of metallized PVAc-AgNO₃/PET conductive films. *J Appl Polym Sci*, 2004, 91: 270–273
- 8 Yang S Y, Chen C Y, Parng S H. Effects of conductive fibers and processing conditions on the electromagnetic shielding effectiveness of injection molded composites. *Polym Compos*, 2002, 23: 1003–1013
- 9 Kim H A, Kim M S, Chun S Y. Characteristics of electrically conducting polymer-coated textiles. *Mol Cryst Liq Cryst*, 2003, 405: 161–169
- 10 Kim M S, Kim H K, Byun S W. PET fabric/polypyrrole composite with high electrical conductivity for EMI shielding. *Synth Met*, 2002, 126: 233–239
- 11 Duan Y P, Liu S H, Guan H T. Investigation of electrical conductivity and electromagnetic shielding effectiveness of polyaniline composite. *Sci Technol Adv Mater*, 2005, 6: 513–518
- 12 Lakshmi K, Honey J, Mathew K T. Microwave absorption, reflection and EMI shielding of PU-PANI composite. *Acta Mater*, 2009, 57: 371–375
- 13 Li L, Chung D D L. Electrical and mechanical properties of electrically conductive polythiophene composites. *Composites*, 1994, 25: 215–224
- 14 Yang Y L, Gupta M C. Novel carbon nanotube-polystyrene foam composites for electromagnetic interference shielding. *Nano Lett*, 2005, 5: 2131–2134
- 15 Li N, Huang Y, Du F. Electromagnetic interference (EMI) shielding of single-walled carbon nanotube epoxy composites. *Nano Lett*, 2006, 6: 1141–1145
- 16 Novoselov K S, Geim A K, Morozov S V, et al. Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*, 2004, 306: 666–669
- 17 Stoller M D, Park S J, Zhu Y W, et al. Graphene-based ultracapacitors. *Nano Lett*, 2008, 8: 3498–3502
- 18 Nair R R, Blake P, Grigorenko A N, et al. Fine structure constant defines visual transparency of graphene. *Science*, 2008, 320: 1308
- 19 Lee C, Wei X, Kysar J W, et al. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*, 2008, 321: 385–388
- 20 Balandin A A, Ghosh S, Bao W, et al. Superior thermal conductivity of single-layer graphene. *Nano Lett*, 2008, 8: 902–907
- 21 Kim K S, Zhao Y, Jang H, et al. Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes. *Nature*, 2009, 457: 706–710
- 22 Wang Y, Xu X, Lu J, et al. Toward high throughput inter convertible graphene-to-graphene growth and patterning. *ACS Nano*, 2010, 4: 6146–6152
- 23 Emtsev K V, Bostwick A, Horn K, et al. Towards wafer-size graphene layers by atmospheric pressure graphitization of silicon carbide. *Nat Mater*, 2009, 8: 203–207
- 24 Wang X, Zhi L, Tsao N, et al. Transparent carbon films as electrodes in organic solar cells. *Angew Chem Int Ed*, 2008, 47: 2990–2992
- 25 Hernandez Y, Nicolosi V, Lotya M, et al. High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite. *Nat Nanotechnol*, 2008, 3: 563–568
- 26 Vallés C, Drummond C, Monthieux M, et al. Solution of negatively charged graphene sheets and ribbons. *J Am Chem Soc*, 2008, 130: 15802–15804
- 27 Liu N, Luo F, Wu H, et al. One-step ionic-liquid-assisted electrochemical synthesis of ionic-liquid-functionalized graphene sheets directly from graphite. *Adv Funct Mater*, 2008, 18: 1518–1525
- 28 Li D, Muller M B, Gilje S, et al. Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets. *Nat Nanotechnol*, 2008, 3: 101–105
- 29 Zangmeister C D. Preparation and evaluation of graphite oxide reduced at 220°C. *Chem Mater*, 2010, 22: 5625–5629
- 30 Matsumoto Y, Koinuma M, Kim S Y, et al. Simple photoreduction of graphene oxide nanosheet under conditions. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2010, 2: 3461–3466
- 31 Thomassin J M, Lou X, Pagnoulle C, et al. Multiwalled carbon nanotube/poly(epsilon-caprolactone) nanocomposites with exceptional electromagnetic interference shielding properties. *J Phys Chem C*, 2007, 111: 11186–11192
- 32 Wang J C, Xiang C S, Liu Q, et al. Ordered mesoporous carbon/fused silica composites. *Adv Funct Mater*, 2008, 18: 2995–3002
- 33 Hisao S T, Ma C C M, Tien H W, et al. Using a non-covalent modification to prepare a high electromagnetic interference shielding performance graphene nanosheet/water-borne polyurethane composite. *Carbon*, 2013, 60: 57–66
- 34 Zhang H B, Yan Q, Zhen W G, et al. Tough graphene-polymer microcellular foams for electromagnetic interference shielding. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2011, 3: 918–924
- 35 Chen Z P, Xu C, Ma C Q, et al. Lightweight and flexible graphene-foam composites for high-performance electromagnetic interference shielding. *Adv Mater*, 2013, 25: 1296–1300
- 36 Liang J J, Wang Y, Huang Y, et al. Electromagnetic interference shielding of graphene/epoxy composites. *Carbon*, 2009, 47: 922–925

- 37 Singh A P, Garg P, Alam F, et al. Phenolic resin-based composite sheets filled with mixtures of reduced graphene oxide, γ -Fe₂O₃ and carbon fibers for excellent electromagnetic interference shielding in the X-band. *Carbon*, 2012, 50: 3868–3875
- 38 Basavaraja C, Kim W J, Kim Y D, et al. Synthesis of polyaniline-gold/graphene oxide composite and microwave absorption characteristics of the composite films. *Mater Lett*, 2011, 65: 3120–3123
- 39 Eswaraiiah V, Sankaranarayanan V, Ramaprabhu S. Functionalized graphene-PVDF foam composites for EMI shielding. *Macromol Mater Eng*, 2011, 296: 894–898
- 40 Singh A P, Mishra M, Chandra A, et al. Graphene oxide/ferrofluid/cement composites for electromagnetic interference shielding application. *Nanotechnology*, 2011, 22: 465701–465710
- 41 Tung T T, Feller J F, Kim T Y, et al. Electromagnetic properties of Fe₃O₄-functionalized graphene and its composites with a conducting polymer. *J Polym Sci A: Polym Chem*, 2012, 50: 927–935
- 42 Zhang H B, Zheng W G, Yan Q, et al. The effect of surface chemistry of graphene on rheological and electrical properties of polymethylmethacrylate composites. *Carbon*, 2012, 50: 5117–5125
- 43 Ling J Q, Zhai W T, Feng W W, et al. Facile preparation of lightweight microcellular polyetherimide/graphene composite foams for electromagnetic interference shielding. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2013, 5: 2677–2684
- 44 Hong S K, Kim K Y, Kim T Y, et al. Electromagnetic interference shielding effectiveness of monolayer graphene. *Nanotechnology*, 2012, 23: 455704–455709
- 45 Kaynak A. Electromagnetic shielding effectiveness of galvanostatically synthesized conducting polypyrrole films in the 300–200 MHz frequency range. *Mater Res Bull*, 1996, 31: 845–860
- 46 Chen Z P, Ren W C, Gao L B, et al. Three-dimensional flexible and conductive interconnected graphene networks grown by chemical vapour deposition. *Nat Mater*, 2011, 10: 424–428

Graphene based composite for electromagnetic interference shielding

WANG MingYang¹, WU Fan¹ & SUN MengXiao²

¹State Key Laboratory for Disaster Prevention & Mitigation of Explosion & Impact, Nanjing 210007, China;

²College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100027, China

Because of the wide use of commercial, military, and scientific electronic devices and communication instruments, electromagnetic interference (EMI) shielding of radio frequency radiation continues to be a serious concern for modern society. The preparation of EMI shielding materials has obtained an increased attention in the academic and industrial field. Compared to the conventional metal-based EMI materials, polymer composites containing carbon-based nanofillers have their own advantages, such as being lightweight, resistance to corrosion, excellent processability, and broad absorption bandwidth and flexible. Graphene, a new class of 2D carbon nanomaterials, possesses extraordinary electrical, mechanical, and thermal properties. These unique features offer great promise for its use in EMI shielding. Besides, for the application in special fields such as aerospace, weapon equipment, military protection, vehicles and microelectronics where the materials with superior thermal stability, excellent mechanical properties, perfect radiation, and electrical resistant performance are required, high performance graphene composites could be a better candidate to fulfill the task. In this review, EMI shielding graphene based composite were classified by the method of graphene preparation.

graphene, macromolecule, composite, electromagnetic interference(EMI) shielding, chemical reduction, thermal reduction, chemical vapor deposition

doi: 10.1360/972013-1045