

石墨烯在交通基础设施应用的研究进展

刘 宇¹ 韩美钊² 殷玉花² 张丰雷² 王伊典² 李 晶^{2,3*}

(1.广西交投科技有限公司,南宁 530004;

2.广西大学化学化工学院广西石化资源加工及过程强化技术重点实验室,南宁 530004;

3.广西高校资源化工应用新技术重点实验室,南宁 530004)

摘 要 自石墨烯被发现以来,石墨烯在各个领域的应用研究已经取得了相当的成果。主要介绍了石墨烯及其在能源收集、涂层阻隔材料等领域的应用研究,以及在这些领域的潜在应用价值。

关键词 石墨烯,结构和性能,材料应用

Research progress on application of graphene in traffic infrastructure

Liu Yu¹ Han Meizhao² Yin Yuhua² Zhang Fenglei² Wang Yidian² Li Jing^{2,3}

(1.Guangxi Communications Investment Group Co.,Ltd.,Nanning 530004;2.Guangxi Petrochemical Resource Processing and Process Intensification Technology Laboratory, College of Chemistry and Chemical Engineering,Guangxi University,Nanning 530004;

3.Guangxi Key Laboratory of Chemical Resource Application of New Technologies, Nanning 530004)

Abstract Since graphene was discovered,the application of it in various fields has achieved considerable results so far.The graphene and its application in energy harvesting,coating barrier materials and so on were introduced,which reflected the potential application in the above aspects.

Key words graphene,structure and performance,material application

石墨烯自问世以来,一直受到科学家们的广泛关注。石墨烯由一层碳原子组成的平面薄膜,但与钢相比,石墨烯的强度更高,同时更加轻柔、韧度更大;与硅相比,电子在石墨烯材料中的传递速度是在硅材料中的 100 倍。石墨烯的独特结构及其优异性能使其受到电、光、化学等领域专家学者的广泛关注。同样在交通基础设施这个传统行业,石墨烯材料的应用研究也在快速发展中,尤其是在能源收集、涂层阻隔材料等领域已经取得了很多实质性进展,为石墨烯材料的研究带来了希望。

1 石墨烯简介

石墨烯在原子/分子层面上具有三种特殊的性质:(1)碳-碳键强度极高,使得石墨烯的强度极大;

(2)sp² 杂交在 π 轨道中留下一个自由电子,使得石墨烯的导电和导热性能极佳;(3)石墨烯结构具有特殊的六方点阵的对称性,使得石墨烯在光电子器件中产生一些超乎寻常的优异性能。正因如此,使得石墨烯被誉为“点燃技术革命的导火索”。凭借以上三点,石墨烯材料成为所有材料中表面积最大、强度最高、最为坚固、完全不渗透和最轻的电荷载体等一系列特点。

这些卓越的性能使石墨烯能够应对不同领域的挑战,如:超级电容器、电池、电极和太阳能电池的活性材料;更轻的结构提供更节能高效的运输、导电和导热复合材料;超快通信系统、太赫兹成像、人工视网膜、实时 DNA 测序和实时 MR(磁共振)扫描等领域巨大的应用前景。

基金项目:交通运输部科技项目(2014318J23150);广西教育厅青年提升项目(KY2016YB031);2017 年南宁市科学研究与技术开发计划项目(20171002-2);广西交通科技项目(GNGKJGC2014-010)

作者简介:刘宇(1976-),男,博士,高级工程师,硕士生导师,主要从事沥青路面材料与结构研究。

联系人:李晶(1980-),女,博士,副教授,硕士生导师,主要从事环境材料及改性沥青的研究。

2 在能源领域的应用

石墨烯在能源领域的应用主要包括能源生产(光伏、燃料电池)、能量存储(超级电容器、电池)和氢存储等领域,此外石墨烯技术还可以有效解决在电源管理方面的问题。在未来几年,人们和货物的运输方式将在很大程度上发生从轮到轨(高速铁路、地铁和有轨电车)的改变。交通将利用混合动力或全电动车辆,预期所用能量中约 80% 将会是电力,而石墨烯材料的出现将为解决能量生产、储存和应用等领域的问题带来突破性的进展。

2.1 石墨烯路面能量收集

在道路产能领域,道路上的杂散热能和机械能可以转换为电能。而沥青路面在太阳能的利用方面是十分优秀的材料。它裸露在地表,能够直接接受太阳照射,并且具有低热电导率和极高热容,使得沥青能够承受相当高的升温过程。将石墨烯应用于沥青路面,收集太阳能量,是一种新型的能源方式。

2.1.1 石墨烯辅助能量收集

一种非常简单、直接的方法就是在道路表面下嵌入管道,从中通入水等流体就可吸收路面经太阳照射后产生的热能,然后将流体输送到可以将热能转化为电能或者作为热源提供热量用于加热等领域。

在整个热能传递过程中,热能从路面材料传递到管道的能力起着关键作用,Dehdezi 等^[1-2]研究了如何将包含石灰石、石英岩、轻质骨料和铜纤维等聚集体和添加剂的沥青和混凝土路面设计为更具导电性,而石墨烯的热性能在这一方面体现了其优越性。石墨烯的热导率 $4000 \sim 5000 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$,比铜的热导率大一个数量级(约 $400 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)。这表明,只添加少量的石墨烯就可能极大提高路面的导电性。同时添加少量的石墨烯对热容量的变化仅产生可忽略的影响,但增加导电性使得将存储的热量有效地转移到管道系统。

2.1.2 道路的压电能源收集

压电性是指某些材料能够将机械能转换为电能的性质。当机械应力施加到某些晶体上时,它们的原子结构稍微改变,导致在其晶体结构内的电荷的再分布,这种电荷再分布可以迫使电子在电路中移动。在一些材料中,这种效果非常小并且不能被有效利用。然而石英和氧化锌则能够产生足够大的电压,进而能够被回收利用。这些材料已经用于许多不同的感测和致动应用领域中。道路经常受到应力

和振动,这使得路面经常发生非常明显的变形。通过利用压电效应,这些机械振动和应力可以被分解并转换成电能。从交通基础设施中的振动收集压电能量已经被广泛研究^[3-5],并正在开发商业应用。

石墨烯原本处于非压电的一般状态。然而,在 2012 年,斯坦福大学的研究人员发现,通过原子的选择性表面吸附可以将非压电性的石墨烯改造成具有压电效应的材料。尽管它们具有 2D 性质,但其产生的压电量与普通压电材料相当。

包括石墨烯在内的工程二维压电材料领域还处在摸索阶段,绝大部分还处于设想中,还需要更多的研究加以证明。在不久的将来,经过特殊设计的纳米材料可以具备极大的压电性,这将使利用压电材料收集能量的道路更加经济、环境友好。

2.1.3 道路的热电能采集

热电效应是指将热能直接转换为电能,反之亦然。两个点之间的温度差直接转换成电势差被称为塞贝克效应。从道路获取热电能量的主要理念是基于利用路面及其下面的层的温度差。道路表面暴露于环境,通过接收太阳的辐射或通过来自空气的对流而获得相当多的热能,这就产生了来自路面和向下的垂直温度梯度。因此,可以使用热电能发生器(TEG)来加以利用。虽然 TEG 是环境友好的,但是没有移动部件,就使得整个过程可能转化为长寿命和低维护。同时 TEG 的转换效率非常低。为了提高其效率,必须开发具有更大热电性能指数的新材料(热电性能指数表示材料的转换效率)。

研究表明,石墨烯具有极大的塞贝克系数^[6-7],这可以显着提高热电能发电机的能量回收效率,并使其从道路提取散杂热能的商业用途得以实现。

2.2 石墨烯光伏发电

石墨烯光伏应用研究虽然还处于起步阶段,但是现阶段的研究成果已经带给人们巨大的希望。硅吸收的每个光子仅产生一个电流驱动电子,而石墨烯可以产生多个电子。相比于硅,使用石墨烯可以制造相当高效率的太阳能电池。2013 年, Wang 等^[8]展示了石墨烯基太阳能电池,其卓越的性能可达 15.6% 的转换效率。更大的转化效率代表着每平方米太阳能道路产生更大的电力,使得原始投资能够在更短的时间内获得回报。因此,未来石墨烯基太阳能电池技术的发展可以使具有嵌入式太阳能电池道路的建设经济可行。

2.2.1 嵌入道路的光伏电池

硅技术的发展为光伏(PV)电池的工业化生产

提供了突破性的技术支持。光伏太阳能电池已经出现在许多不同的地方。一部分人甚至想到在道路的表面正下方放置一层PV电池,但因电池表面会受到巨大的应力和磨损而放弃,随着夹层玻璃制造技术的发展,这一想法再次被加以应用。在将太阳能电池嵌入道路路面的项目中,其巨大的植入成本成为新的瓶颈,换句话说就是由这样的建筑所产生的电力无法在可接受的时间段内获得回报,但石墨烯的出现让这成为可能。

2.2.2 光伏电池作为公路隔音屏障

通过交通基础设施收集太阳能的另一种方式是在高速公路隔音屏障中使用光伏电池。自20世纪90年代以来,国外一些国家的交通基础设施一直在使用光伏噪声屏障。除了高速公路,欧洲的铁路沿线也使用了光伏噪声屏障。

使用基于石墨烯的太阳能电池而不是由硅制成的太阳能电池作为高速公路中的噪声屏障的原因是石墨烯材料的透明性。石墨烯的电性能和光学透明性的独特组合使其成为优异的光伏隔音材料。透明的隔音屏障将为邻近高速公路的住宅区创造一个更好的气氛,同时挖掘宝贵的太阳能并将其转化为电能。

3 在涂层/阻隔材料中的应用

没有气体或液体可以渗透完美的石墨烯层,因此石墨烯的这种能力可以用于开发新型的腐蚀屏障、气体和液体屏障以及耐化学性和超疏水性的涂层和屏障材料。这种气体或液体无法渗透的能力也可用于过滤器中,通过在石墨烯薄膜上引入小孔,从而起到滤膜的效果。该项目通过多孔石墨烯膜对盐水脱盐的模拟取得成功,并已获得专利。

3.1 石墨烯防腐蚀屏障

许多交通基础设施需要采用大量的金属,这些金属暴露在恶劣的环境条件下,进而加快了金属的腐蚀速度,这对道路基础设施的安全性、可靠性及其寿命产生重大影响。因此,保护金属免受环境侵蚀的能力十分重要。金属防腐主要依靠涂层实现。但是许多涂层溶液含有大量致癌物质,会对环境造成重大的污染。轻质、极度疏水性和优异的导电性是石墨烯作为防腐蚀屏障的主要原因。

Chen等^[9]研究了石墨烯涂覆的铜(Cu)和铜/镍(Cu/Ni)合金的抗氧化性,他们采用成熟的工艺直接在Cu和Cu/Ni合金的表面制备石墨烯。研究结果证实石墨烯膜可以有效地防止金属表面在空气

中氧化,甚至在200℃条件下长时间加热后,以及过氧化氢的苛刻条件下也显示出极高的抗氧化保护能力。

在另外一项研究中,铁箔涂覆氧化石墨烯片,然后加热到200℃^[10],2h后,具有氧化石墨烯保护的箔完好无损,而未受保护的箔严重腐蚀。这证明石墨烯对氧化铁的氧化能起到极高的保护作用。

3.2 耐火聚氨酯灌浆

灌浆已用于隧道施工。在不同的地质、水文地质和结构条件下建造隧道,就要求使用不同的灌浆技术和材料。最容易获得和最常见的灌浆材料之一就是水泥,在一般条件下都可满足作业要求。然而在某些特殊情况下,必须采用其他材料作为代替。在特定条件下,常采用聚氨酯灌浆来替代水泥。这种灌浆技术通过注入膨胀聚氨酯以切断混凝土接头或岩石裂缝的水流或填充空隙。由于聚氨酯是热固性聚合物树脂,虽然其相对于水泥具有许多优点,但它容易燃烧。科研人员发现降低树脂的热释放速率的最有效的方法之一就是使用碳材料。石墨烯片材作为新的纳米填料具有潜力,并且由于其较高的表面积、纵横比、拉伸强度和热导率,优于其他常规的基于碳的纳米填料如碳纳米管(CNT)和碳纳米纤维^[11]。通过将氧化石墨烯和环氧树脂共混制得具有优异的导热性的环氧化物纳米复合材料^[12-13]。其测试结果虽然令人满意,但是大规模生产和成本成为制约轻质石墨烯基环氧复合材料的主要因素。

石墨烯在上述领域的应用研究还处于初级阶段,研究成果所展现的优异性能也仅是石墨烯所具备的潜在研究价值的一小部分,但研究所取得的成果已经证明石墨烯所具备的巨大潜在价值。许多国家纷纷建立起石墨烯相关技术研发中心,以进行更多领域的应用研究。相信在未来,随着石墨烯的不断研究与应用,它必将成为改变世界材料领域的重要一员。

参考文献

- [1] Dehdezi P K, Hall M R, Dawson A. Thermo physical optimization of specialized concrete pavement materials for collection of surface heat energy and applications for shallow heat storage[J]. Transportation Research Record, 2011, 2240(1): 96-106.
- [2] Dawson A R, Dehdezi P K, Hall M R, et al. Enhancing thermal properties of asphalt materials for heat storage and transfer applications[J]. Road Materials and Pavement Design, 2012, 13(4): 784-803.

(下转第12页)