

## 翻译稿要点

### 一种将石墨烯应用于大表面的先进方法——石墨烯的热等离子体溅射

历史：石墨烯作为单原子层的发现可以追溯到近 2015 年前。已发表多篇论文来展示该材料的高电子迁移率、优异的热性能、机械性能以及光学性能。

困境：大规模石墨烯涂层难以实现有几个原因。一些更值得注意的是：

A) 开发商业规模的石墨烯涂层，用于制造适合工业用途的大面积、无缺陷的石墨烯薄膜。

B) 清单：石墨烯的控制。材料；可扩展的沉积。基材上基于石墨烯的涂层的研究；持久的腐蚀防护策略；制造成本与可靠性优化；最值得注意的是必须将其与这一群体隔离开来，这就是当今“零足迹”世界中的环境影响。

FPDW 预定的目的：我们的行动建议集中于开发设备，通过开发用于将石墨烯应用于大尺寸基板的热喷涂焊接机来提供卓越的效益。我们的设计将包括以高沉积速率在大面积上提供厚涂层。与电镀、物理和化学气相沉积等旧式涂层工艺相比，这将是一项重大改进。

## 细节

### 1. 石墨烯

#### 1a. 材料说明

石墨烯是一种由碳原子按六方晶格排列而成的材料，就像蜂窝状的单层、二维六方碳原子晶格结构。由于只有一个原子厚，它被认为是已知的最薄的材料。它一直是一种理论物质，直到 2004 年曼彻斯特大学的安德烈·海姆 (Andre Geim) 和康斯坦丁·诺沃肖洛夫 (Konstantin Novoselov) 从石墨中分离出来。石墨烯具有许多奇怪而有用的特性。它具有有趣的光吸收能力，并且在几乎所有行业中具有无限的集成潜力。

这些最突出的特征包括：

- 高导热率；

- 重量比钢强 200 倍，比纸轻 1,000 倍；
- 高度透明；
- 高导电性（在室温下比任何其他已知材料的导电性能更好）；
- 可以将任何波长的光转换成电流；
- 高弹性和灵活性。

## 1b. 使用强化热等离子体喷涂制备剥离石墨烯

迄今为止，商业上可行的大量石墨烯还很难获得。已经检查了涉及某种化学相互作用方式的各种过程。尽管化学气相沉积 (CVD) 确实可以在各种基材上沉积出高质量的石墨烯，但连续、大批量生产被证明具有挑战性。

## 2. 生产方法

### 2a. 大学和工业研究和实验室试验石墨烯

在过去的几年中，已经进行了几项研究，试图开发一种商业上可行的方法，使大量的石墨烯能够持续生成和沉积。

这些涉及强化热等离子体喷涂的试验已经过用于制备剥离石墨烯的测试。研究人员报告了一种利用高温等离子喷涂工艺从石墨上剥离几个原子厚的石墨烯薄片的超快方法。该方法包括在等离子体射流（一种高温离子气体）中熔化粉末涂料材料，并将其喷涂在表面上。3,000 K 温度的热冲击和由此产生的羽流中的湍流涡流将石墨撕裂成石墨烯薄片。研究人员收集了喷涂的粉末，将其放入去离子水中，然后在离心机中旋转以去除未剥落的石墨块。

有关不同实验过程的更多详细信息，请访问：

2b. 采用高温等离子喷涂多种碳源，例如石墨、烟灰、炭黑和其他富碳材料。通过在惰性环境中结合使用高温等离子体源和高速溅射，这种富碳介质被转化为高纯度石墨烯覆盖层。

### 3. 融资需求

尽管如此，迄今为止，还没有用于大规模石墨烯应用的商业上可行的生产方法。

然而，研究人员正在致力于开发新方法，以更低的成本和更大的数量生产石墨烯。因此，时间对于推进我们的等离子喷涂工艺概念验证至关重要，这也是本次融资的主题。

### 4. FPDW 提出的生产方法

热喷焊是一种将材料涂层沉积到基材表面上的方法。

二维薄膜和异质结构需要高晶体质量和均匀的厚度，以用于电子和自旋电子学等应用，而具有巨大比表面积的高孔隙率粉末可用于催化剂和能源存储等领域。

#### a) 我们预期流程的优势（概述）：

开发用于将石墨烯涂覆到大尺寸基材上的热喷焊机的优点包括与电镀、物理和化学气相沉积等其他涂层工艺相比，能够以高沉积速率在大面积上提供厚涂层。已证明使用大型多层石墨烯片可以提供高导热性复合材料。然而，通过填料优化来控制石墨烯复合材料中的电和热渗透，或许还可以将石墨烯与其他电绝缘二维填料（例如六方氮化硼（h-BN\*））相结合。仍然是石墨烯热复合材料进一步发展的重要挑战。

\*= 传统上用于各种应用，例如变压器油纳米流体、环氧树脂和多层 h-BN。它们因其出色的绝缘性能和不含悬空键而受到高度赞赏。

#### b) 我们预期流程的优势（更多细节）：

作为一种方便地将碳介质输送到等离子火焰的方法，补充检查将涉及碳基介质（石墨、烟灰、炭黑）与载液（例如纯净水）的超声均化，利用压缩机产生的该混合物的雾化产生细小的气溶胶，并将其暴露于高温等离子射流。用液体夹带介质可以消除由于碳粉末引起的灰尘，并提供在等离子弧下计量化合物的更精确的方法。对于金属基材，与主等离子体电源的电连接将使从等离子弧喷出的喷涂石墨烯纳米颗粒静电粘附到目标表面，这与粉末涂装工艺非常相似。

*注意：除水以外的液体载体物质也可能符合资格；但这需要单独研究。*

## 5. 重新利用现有设备

重点发现表明，可以将典型的、易于使用的等离子切割设备转换为提供在金属表面可靠地生产石墨烯所需的基本手段。

*可以在以下位置研究可以很好地满足大批量生产的必要要求的设备示例：*

## 6. 市场

可靠地生产大量石墨烯所需的设备相对简单，这使得它很容易适应许多不同的市场领域。因此，该设备的用户将非常多样化。

为方便用户使用石墨烯生产设备，可提供炭黑和纯净水等耗材供购买。精细研磨的炭黑材料可以从废旧轮胎工业中获得，这增加了该产品和生产技术的环境期望。该系统还可以为用户提供从碳信用计划中受益的渠道。为了方便起见，与生产石墨烯的适当设备相结合，还可以提供炭黑和纯净水的消耗品成分供购买。精细研磨的炭黑材料可以从废旧轮胎工业中获得，这增加了该产品和生产技术的环境期望。该系统还可以为用户提供从碳信用计划中受益的渠道。

内燃机领域是一个明显可以从易于应用的石墨烯涂层中受益的细分市场，因为涂层表面可以减少摩擦、提高导热性并增强强度。由于石墨烯的微小摩擦特性，碳沉积物可能不会轻易粘附在带涂层的进气歧管和气缸盖上，从而改善气流并提高容积效率。进一步的研究可能表明，

在铸造之前将石墨烯直接添加到熔融金属中可以产生额外的理想性能，例如耐磨性、增加的强度以及改善的导热性和导电性。

Taurozzi Pendulum Engine 将是一个理想的涂层演示示例，因为油润滑本质上是不必要的，并且可以通过石墨烯涂层完全消除。导热性可以进一步提高，有助于发动机的空气冷却：

*消除这些液体降低了整个发动机设计的复杂性，因为不再需要润滑剂和冷却剂通道以及泵。由于可以从该发动机配置中消除这些部件，因此还可以实现显着较小的环境影响。*

a 另一种可以受益于石墨烯涂层的发动机配置是 Omega 1 发动机：

b. 随着氢作为石油用途的替代品越来越受到关注，对提高氢生产效率的重视为此目的使用石墨烯提供了更大的动力。传统的电解池利用电力将水分解成氢和氧成分。在该过程中涉及的电极上涂上一层石墨烯可能有助于显著提高氢气生产效率。

c 3D 打印行业也将受益于在各种工艺中嵌入石墨烯纳米颗粒。将石墨烯添加到用于选择性激光烧结 (SLS) 或紫外线敏感立体光刻 (SL) 树脂的粒状尼龙材料中的 3D 打印结构将具有更大的强度和更高的温度特性，从而允许更广泛的应用。

d. 石墨烯还可以增强电池和电容器的属性，并将减少或消除电池中锂和钴等难以来源的材料。通过采用超级电容器和电池基板的连续卷制造可以显著降低施工成本。

e. 随着对可再生能源的关注不断加强，稀土材料使用的升级可能会引发政治后果，影响制造成本并造成供应链问题。由于磁铁在可再生能源领域发挥着如此重要的核心作用，因此它们的需求量很大。最近在替代性可持续元素方面的发现似乎表明，通过在铁和镍基中添加少量磷，可以商业化生产一种称为辉长矿的磁性汞齐化合物。通过向辉长石混合物中添加或替代少量石墨烯，可以显著提高磁性，因为石墨烯可以为混合材料在冷却时形成提供晶种晶格结构。更多信息可以在这里找到：

## 7 附录

与通过使用高温等离子喷涂大量、商业上可行的石墨烯形成相关的基础论文：