



图1 该工艺的核心是一种等离子喷枪，它连接着一套复杂的涂层系统，可以局部选择性地沉积纳米涂层（图片来自 Plasmatreat 公司）

# 绿色在线工艺： 选择性功能等离子涂层

一种独特的常压等离子工艺创造了全新的表面特性。这种纳米微细的功能涂层使得在医疗工程方面实现多种新的应用成为可能，如自清洁或抗菌表面。

文/Inès A. Melamies

**直**到最近，等离子聚合只能在昂贵的真空室低压环境中实现。通过与 Fraunhofer institute IFAM（以下简称“Fraunhofer IFAM”）合作，德国 Plasmatreat 公司已在过去几年中开发了一种更简单、更快速且更具有成本效益的工艺，它使得功能性纳米涂层能够在常压和连续在线生产的条件下被用于材料表面。

满足医学工程要求标准的生产工艺，远比大多数其他工业应用的生产工艺要求严格。在得到进一步加工或使用前，表面必须

绝对清洁，甚至无菌。此外，用于医疗技术的预处理工艺必须绝对可靠且可实现精确的再现性。

这一被称为“PlasmaPlus”的特殊等离子工艺满足了这些要求，它能够实现微细清洁、灭菌并可施加功能性纳米涂层，还可生成阻隔层和抗摩擦涂层，或是生成抗菌层沉积。

## 常压等离子涂层

该工艺的核心是包括等离子喷枪在内的高科技涂层系统（如图1所示）。它环境友好，除了压

缩空气、电以及被添加到等离子体中的所谓预聚前体外，无需其他。包括金属、玻璃、塑料和陶瓷等在内的多种不同材料，均可通过改变输送到等离子体中的预聚前体的化学成分而获得不同的涂层。预聚前体在等离子体中被激发，通过形成交联层沉积在材料表面。

除可在线使用外，该技术与其他系统相比的主要优点是局部选择性涂层技术。一种等离子喷枪的使用使得局部选择性涂层能够以一种相对定位的方式来施加，从而实现资源的有效利用。同

时，通过精确控制整个工艺过程，可以使用同样的喷枪得到不同功能的涂层，如防腐保护、粘接或者抗粘接等。此系统消耗的涂层材料非常少，它还有一个极大的优势是，涂层的生成速率极其快速。已在医疗领域中普遍应用的低压等离子技术形成 100 nm 厚的涂层需要 1~2 min 的时间，而采用这种新的涂层技术可在毫秒级时间内获得一种沉积层。该工艺可被用于不同的医疗部件中。

### 自清洁涂层

该工艺已经能够被用于沉积 TiO<sub>2</sub> 光催化活性涂层。当曝露于阳光和湿气中时，这些涂层具有自清洁和杀菌效果。这项应用可用于防止在那些接触光的表面或者光传导表面上生成生物薄膜，因此对于涂层医学产品和卫浴产品具有非常特殊的意义，因为它的使用允许人工清洁的间隔时间延长或完全消除。

### 抗菌涂层

针对此系统，还进行了一项进一步的研究 (APASI 项目)，其核心在于含有银离子的抗菌涂层的沉积 (如图 2 所示)。在这个由德国联邦科教部资助的联合研究项目中，Fraunhofer IFAM 和 Plasmatreat 公司承担了生产抗菌等离子涂层的任务，其目的是将银纳米粒子绑定到有机硅涂层中。通过连续释放银离子，表面微生物被杀死。与其他的涂层工艺一样，银纳米粒子不是从外部添加，而是直接生成于喷嘴中并原位沉积，在此它们被绑定到涂层表面 (如图 3 所示)。这种新的喷嘴设计使得含有银离子甚至是含铜的涂层能够在简单、低成本的

单一加工步骤中得到沉积。

总体而言，涂层类型并非新生事物。该研究项目的创新之处在于这种沉积工艺。直到最近，诸如此类的涂层只能通过高成本的化学处理方法或者低压等离子工艺而生成。这项新的常压等离子聚合工艺提供了一种环境友好且有效的解决方案，它易于在线集成。

### 抗摩擦涂层

注射器活塞的橡胶密封时常会受到“黏滑”的影响。当两个表面彼此滑过时，猝动即会发生。为防止发生这一现象并使其易于弹出注射器，新的等离子聚合物抗摩擦涂层已被成功地用于该密封，这种减少摩擦的等离子涂层可确保橡胶表面的顺畅滑动 (如图 4 所示)。

### 阻隔层

由 AP 等离子生成的阻隔层或扩散层是等离子公司的一项重要研究目标。它们可用于各种塑料中，形成一种有效的抗 CO<sub>2</sub>、氧和水的阻隔层。用于医用包装的阻隔层可保护活性成分和气味，保证产品质量和内容的完整性。借助于高度交联的等离子聚合物涂层，该工艺已经能够创造出氧扩散阻隔层，该阻隔层所实现的 BIF (阻隔改善因素) 高达 5。

### 用于复合注塑的粘接促进层

该等离子工艺还在复合材料的注塑成型中改善了橡胶与金属以及塑料与金属之间的粘接性，这包括将具有活性粘接特性的纳米涂层用于金属表面，然后将塑料组分成型到金属表面上。采用这种等离子工艺实现的粘接促进涂层技术，使得今后含有溶剂的

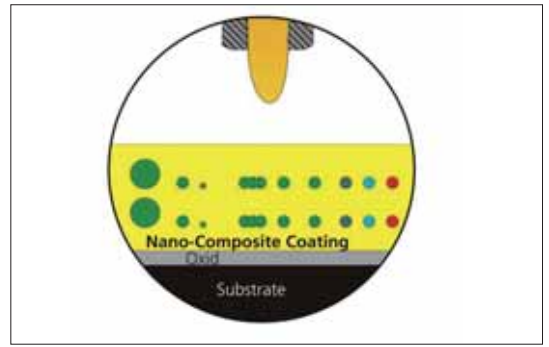


图 2 一种抗菌复合材料常压等离子涂层的原位沉积由 APASI 项目所研究的工艺实现 (图片来自 Fraunhofer IFAM)

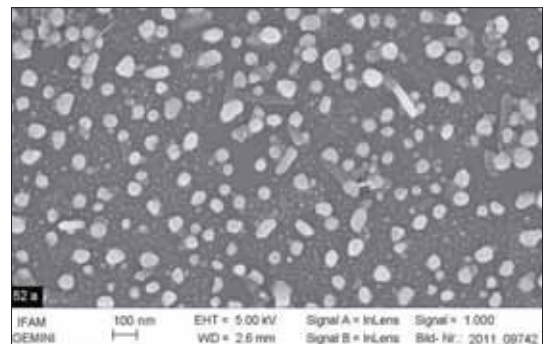


图 3 电子显微图像 (放大 200 000 倍) 显示出通过常压等离子喷射的银纳米粒子创造了一种抗菌涂层 (图片来自 Fraunhofer IFAM)



图 4 在橡胶密封上施加一种减小摩擦的等离子涂层是为了防止黏滑效应,并使其易于推出注射器(图片来自 Plasmatreat 公司)

底涂能够被完全取代。

### 结论

采用 PlasmaPlus 工艺的纳米涂层使得为应用而专门定制的材料能够深深地沉积到材料表面的纳米结构中。该技术能够创建一种高度有效的功能性涂层，从而赋予材料全新的表面特性。所生产的具有选择性功能表面的产品为医疗工程领域的公司开辟了全新的创新维度。PT