

微波表面波对管内壁沉积 DLC 薄膜的均匀性的研究

周美丽¹, 施昌勇², 陈 强³

(1. 山东工艺美术学院, 山东 济南 250001; 2. 北京服装学院, 北京 100029; 3. 北京印刷学院, 北京 102600)

摘 要: 本文主要是开展对管状件内壁(如碳钢、聚酯 PET 瓶、塑料针筒等)采用微波表面波等离子体沉积薄膜的均匀性的研究。论文从沉积薄膜的工艺参数到微波耦合天线的设计对所沉积的纳米 DLC 薄膜均匀性的影响因素方面进行了探索,通过测量沿天线方向不同位置薄膜的沉积速率得到:影响微波等离子体沉积薄膜均匀性的因素主要是表面波强度的大小, Penning 放电只能改善区域性薄膜沉积,不能在整个天线范围增强放电、不能制备均匀的纳米薄膜。

关 键 词: 微波等离子体; 管状件; 纳米薄膜; 均匀性

中图分类号: TB753+.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2021)03-0039-06

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2021.03.08

Study on DLC Coating Uniformity in the Tube Inner Wall Through Microwave Surface Wave Plasma Deposition

ZHOU Mei-li, SHI Chang-yong, CHEN Qing

(1. ShanDong University of Art & Design, Jinan 250001, China; 2. Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China; 3. Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China.)

Abstract: This paper reports the study on the uniformity of DLC coating deposited in the inner wall of tubal samples (such as carbon steel, PET bottle, plastic syringe) by microwave surface wave plasma. The main factors affecting the uniformity of as-deposited nanoscale coatings along the antenna direction were explored. By measuring the deposition rates of the coatings at different positions, it can be concluded that the generation and strength of surface wave dominate the uniformity of the DLC coating in the inner wall of tubes. Penning discharge can only affect the discharge characteristics regionally by the enhancement of the discharge, not the discharge model. Therefore, it is impossible to improve the uniformity of the coatings in the tube in whole antenna range.

Key words: microwave surface wave plasma; tubal sample; nano-thickness coating; uniformity

在管状工件结构内壁沉积薄膜,可以改善基体的硬度^[1,2]、抗腐蚀性能^[3]、气液流动性能^[4]以及阻隔性能^[5,6]等。如法国 Sidel 公司、日本三菱公司等,在塑料聚酯(PET)瓶内沉积氧化硅(SiO_x)或类金刚石(DLC),代替玻璃瓶,应用于饮料和啤酒市场,延长商品的货架期^[7-10]。但是要实现在管状工件内壁上沉积薄膜均匀,特别是在管状工件一端封闭的情况下制备均匀性较好的薄膜,一直是工程上的难题^[11]。影响管状工件沉积薄膜均匀性的原因除了进气均匀性无法控制外,等离子体在内腔体放电的不均匀也是一个主要的影响因素。为了改善管状工件内壁沉积薄膜的均匀性,研究

者采用了很多不同的手段,如增加内电极^[12]、脉冲放电^[13]、增加屏蔽层^[14]、改变等离子体放电方式和频率等^[15]。其中脉冲放电使用较多,且有一定的效果^[16]。通过改变放电模式,即采用微波表面波放电代替微波放电,可以大大改善在天线方向等离子体密度的均匀性和沉积薄膜的厚度均匀性,同时也可以实现快速沉积纳米薄膜^[17]。但是微波表面波放电等离子体对所沉积薄膜均匀性的影响因素至今还不是很清楚。

表面波是产生在介质和等离子体之间的一种能量传播方式。在表面波等离子体中等离子体的密度增加到 $10^{11} \sim 10^{13} \text{cm}^{-3}$,同时等离子体气体温

收稿日期: 2020-04-11

作者简介: 周美丽(1980-),女,山东省济南市人,硕士。通讯作者: 陈强,教授,博导。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助,项目号: (11775028, 11875090); 北京市自然科学基金项目项目号(1192008); 北京市教委项目项目号: (No. KZ202010015022, KM201910012004)