2021年招生计划

三、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1.博士论文研究方向： 涂层微纳结构飞秒激光增减材一体化制造基础研究

选题类别：☐基础性研究　☐应用性研究　☐工程技术攻关研究
■新开辟的研究方向　☐已有研究方向的继续　☐其他

2.博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

一、研究背景和意义

现阶段，新能源技术被认为是解决能源短缺与环境污染问题的有效途径之一，其中电化学储能技术因其环境友好性、安全性、高效率和长使用寿命等优点，在航空航天、国防军事、仪器仪表等国家重点发展领域的高端装备中应用规模占比最大。

电化学储能器件的能量转换效率与电极的材料性质和宏微结构密切相关。凭借高比表面积、优异的导电性能和电化学稳定性，石墨烯材料被广泛应用于电化学储能器件中的电极部分。为克服石墨烯层间的堆叠和团聚，实际科学研究与工业应用中往往将石墨烯与其他材料进行复合，形成石墨烯基复合材料。同时，电极表面微观结构包括孔、槽等，其形性对电极服役时的离子扩散路径与扩散速率有显著影响，进而直接决定了电极的比能量、比功率等电化学性能。此外，在微观结构表面添加额外的导电结构，例如金属涂层等，能够进一步改善离子扩散速率，提升电极的电化学性能。

现有的较为成熟的电极构筑技术，如化学合成组装、湿法纺丝和喷墨打印等，存在材料局限性大、工艺复杂、重复性差等问题。相比于这些技术，激光加工具有柔性大、材料适应性广、结构一致性好等优势。其中飞秒激光具有极短的脉宽和极高的峰值功率密度，不仅可以在材料表面制备精密复杂的微细结构，也能够调制材料表面局部的光、电、热等物性以及诱导产生光化学还原与沉积等行为。然而，石墨烯基复合材料的结构与物性特殊，飞秒激光与其相互作用的机理尚不明确，探究飞秒激光对石墨烯基复合材料表面结构形性的创成机制，如何充分利用电极表面的微观结构进一步提升电极性能，是目前制造领域研究的热点之一。

拟招收博士研究生一人，针对石墨烯基复合材料电极表面涂层微孔结构，研究飞秒激光增减材一体制造技术，旨在化学溶液环境中利用飞秒激光在电极表面制备内壁具有导电涂层的微孔阵列。计划研究飞秒激光辐照在光-液-材界面诱致的能量耦合与物性转换机制，分析化学溶液环境中基材蚀除和涂层构筑的增减材一体动力学过程，探索表面涂层微孔结构形性对电极电化学性能的影响机制，基于飞秒激光增减材一体制造实现石墨烯基复合材料电极性能调控。计划研究对推动我国高端装备制造与电化学储能技术的发展具有重要的战略意义。

二、研究内容

计划拟从如下三个方向进行研究：

(1) 研究化学溶液环境中飞秒激光诱致的能量耦合与物性转换机制

研究化学溶液环境中飞秒激光辐照时激光光子与基材和溶液中电子相互作用的非线性瞬态物理过程，从电子、原子层面建立描述光-液-材界面能量吸收、转换与传递行为以及基材和溶液局部光、热学等物性转换行为的高逼近物理-数学模型，揭示基材与溶液中受激电子时空分布及其局部物性的演变规律。

(2) 研究表面涂层微孔结构形性的飞秒激光增减材一体创成机制

研究飞秒激光辐照时光-液-材界面的温升、熔化、电离等局部瞬态行为，建立光热、光化学、光流体等效应协同作用下基材蚀除与涂层沉积的增减材一体动力学模型，明确石墨烯基复合材料表面涂层微孔结构形性的一体创成行为。

(3) 探索表面涂层微孔结构形性调控策略

研究微孔电极在器件中服役时的离子扩散行为，分析表面涂层微孔结构形性对电极性能的影响机理，明确电极性能的提升机制。建立激光和溶液的工艺参数与表面涂层微孔结构形性以及电极性能的映射关系，明确结构表层与内部缺陷的形成机理，探索其极限抑制方法，获得基于电极性能提升的增减材一体制造工艺调控策略。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

重点实验室创新基金

2021年招生计划

三、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1.博士论文研究方向： 带热障涂层气膜孔水导激光制造基础研究

选题类别：☐基础性研究　☐应用性研究　■工程技术攻关研究
☐新开辟的研究方向　☐已有研究方向的继续　☐其他

2.博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

一、研究背景和意义

现代航空技术的发展牵引着航空发动机的不断更新。大推重比和高功重比的发动机意味着更高的涡前温度，目前发动机普遍采用了表面覆盖陶瓷涂层的高温合金作为叶片材料。同时采用气膜冷却小孔进行强制冷却，以提高发动机的耐热性能及可靠性。叶片气膜孔孔径一般为0.25-0.8mm，倾斜角度15°-45°，深径比最大为20:1，形状有圆孔、簸箕孔、猫耳孔等，要求具有较高的表面质量、较小的表面再铸层，每片叶片有数百个这样的气膜孔。。随着航空发动机可靠性要求的提高，越来越严格要求降低加工孔壁表面的损伤和中空叶片的背面损伤。

拟招收博士研究生一人，针对大深径比异型气膜孔的高效加工，研究气体辅助的水导激光加工技术。分析激光与射流、气流的耦合机理，揭示激光与射流耦合能束与陶瓷涂层和高温合金的作用机理，明确水导激光加工气膜孔的时空进程，形成相应的质量评价体系。探索制孔过程中孔内积水的极限抑制策略，研究各参数各自和之间相互作用对气膜孔的形性特征、加工精度和加工效率的影响规律，获得大深径比异型气膜孔的高质高效低损制备工艺，形成相应的工艺装备，为我国新一代航空发动机的研制提供技术支撑。

二、研究内容

计划拟从如下四个方向进行研究：

(1) 研究激光与射流、保护气流的高效耦合机理

研究光-液界面激光能量的损耗机制，明确激光入射角、激光能量密度等因素对耦合过程的影响机理。研究液-气界面的瞬态动力学行为，明确射流、气流直径及其压力等因素对射流散射行为的影响机理。建立光-液-气三相界面激光的瞬态传输行为模型，探索激光、射流和气流的高效耦合策略。

(2) 研究耦合能束与陶瓷涂层和高温合金的作用机理

研究陶瓷涂层和高温合金及其界面在光-液-气耦合能束作用下的温升、熔化、断裂、剥离等瞬态热力学和动力学行为，建立光热、光流体等机制协同作用下的蚀除动力学模型，分析激光的时空分布、射流直径和压力、气流组分和压力等对材料蚀除过程(从瞬时、局部到持续、整体)的影响机制。

(3) 探索水导激光制孔过程在线评价与积水抑制策略

观测气体辅助水导激光制孔过程中释出的光、声、电、热等信号，建立这些信号的频率、幅值等特征参数与制孔进程的关联，形成制孔进程的在线评价体系。从流体力学的角度出发，明确保护气体的组分、压力等参数对孔表面与内部积水时空分布的调控机制，探索积水的极限抑制策略。

(4) 形成大深径比异型气膜孔的水导激光制备工艺

针对带热障涂层的高温合金涡轮叶片表面的大深径比异型气膜孔，开展保护组气体辅助的水导激光制孔的工艺研究，分析激光参数、扫描参数、射流参数、气流参数等等对加工效率、加工精度、型面公差、缺陷分布的影响规律，建立工艺参数与表面形性的映射关系，探索高质量、高效率、低损伤气膜孔的制备工艺。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

两机专项