

“增材制造与激光制造”重点专项 2023 年度项目申报指南

(征求意见稿)

1 基础理论和前沿技术

1.1 多物理场耦合调控的多级有序结构功能体化学激光协同制造(基础研究类)

研究内容: 针对骨修复材料的多级有序化设计与制造难题,研究复合材料体系多物理场调控有序化纤维微基元方法;研究光场能量与纤维微基元组装的耦合调控机制;研究多层级结构及其受力条件下动态演化的高分辨观测和建模方法;揭示化学激光协同跨尺度构建技术对力学和生物性能的影响机制;完成仿生骨多级结构功能体制造,并进行验证。

考核指标: 建立多物理场耦合调控的多级有序结构功能体调控构建理论模型,实现仿生骨多级结构有序化组装,结构尺度跨越 $0.1\mu\text{m}$ - 100mm ,纤维微基元径向有序度及纤维基元中聚合物的分子取向度均 $\geq 50\%$;建立动态演化的大尺度多层级高分辨三维结构功能分析方法和仿生结构力学设计模型,构件尺寸 $\geq 400\mu\text{m}$,分辨率 $\leq 30\text{nm}$;跨尺度结构功能效应样件力学强度、弹性模量与松质骨匹配,仿生骨与自体骨组织形成矿化骨整合界面的周期 ≤ 3 周。

有关说明: 无。

关键词: 多物理场耦合调控,多层级有序结构,微基元,激

光有序化调控，多层次观测与建模

1.2 氧调控高强韧金属激光增材制造（基础研究类）

研究内容：针对高强韧铝合金、镍基高温合金、难熔钨合金等难加工金属，探索通过调控氧元素含量及其存在形态提高材料强韧性的理论与方法，揭示激光增材制造过程中氧元素含量及其存在形态对合金成形工艺特性与组织性能的影响机制；研究氧对激光增材制造熔池热-力行为、冶金行为和包括氧化物强化相在内的多层次显微组织形成的作用规律，多尺度应力应变演变的影响机制，研究熔池内氧元素的原位超快在线检测原理及方法；形成基于氧调控的增材制造金属构件的强韧化机制及形性协同控制方法。

考核指标：建立激光增材制造中氧元素含量及其存在形态对成形材料性能影响的关系模型，形成不少于 3 类激光增材制造专用氧调控高强韧金属材料体系；建立氧及其反应产物原位高效在线检测方法和评估算法，熔池中氧元素原位检测精度 $\leq 5\text{ppm}$ ；建立调控方法，氧含量调控精度 $\leq \pm 25\text{ppm}$ ；相对常规控氧环境下激光增材制造构件的强度、延伸率、弹性模量、断裂韧性等关键性能指标提升 $\geq 20\%$ ；完成不少于 4 类氧调控高强韧金属复杂精密构件的设计与制造，并在航空、航天、核等不少于 3 个领域中得到应用。

有关说明：无。

关键词：氧调控增材制造，多层次显微组织，难加工金属材

料

1.3 复杂构件激光固态相变组织精密调控（基础研究类）

研究内容：针对大型钢构件原位表面强韧化需求，研究多热源耦合条件下的大型构件激光固态相变温度场时空演化行为；研究激光固态相变复相组织转变、深度分布等特征及其调控机理与方法；研究复相组织的强韧化机制及疲劳破坏机理，建立其疲劳寿命预测模型；开展应用验证研究。

考核指标：建立激光固态相变三维瞬态温度场、组织场及应力应变场耦合模型；获得马氏体、珠光体、贝氏体及其复相组织，晶粒度 3-10 级可调，最大可调深度 $\geq 6\text{mm}$ ；表面硬度一致性偏差 $\leq 2\text{HRC}$ ，处理层深度一致性 $\geq 95\%$ ，表面变形量 $\leq 0.1\text{mm}/1000\text{mm}$ ，表面接触疲劳寿命较处理前提升 $\geq 30\%$ ；在能源动力、轨道交通等领域实现应用验证。

有关说明：无。

关键词：激光固态相变，组织精密调控，选区，强韧化，接触疲劳

1.4 高分子粉末床吸能诱导烧结高速 3D 打印（基础研究类）

研究内容：围绕交通运输、康复医疗、可穿戴领域装备部件轻质高强和多功能化的重大需求，针对超高分子量聚乙烯等无粘流态刚性高分子和硅橡胶等柔性弹性体材料，开展粉末床吸能诱导选择性烧结高速 3D 打印新方法研究。研究适用于 3D 打印的吸

能墨水材料和高分子粉体材料；研究吸能诱导选择性烧结成形机制和高分子材料 3D 打印成形新理论；建立一体化高分子材料粉末床吸能诱导烧结 3D 打印制件综合性能评估体系；研制相关装备。

考核指标：建立外场能量吸收与高分子粉末诱导烧结的成形理论与计算模型；高分子粉末床吸能诱导选择性烧结高速 3D 打印装备：制造效率 $\geq 3000\text{cm}^3/\text{h}$ ，最小打印层厚 $\leq 50\mu\text{m}$ ，最高烧结温度 $\geq 400^\circ\text{C}$ ，成形精度优于 0.2mm ；超高分子量聚乙烯、硅橡胶等高性能高分子粉体材料种类 ≥ 5 种，相应专用墨水种类 ≥ 2 种；成形件力学性能不低于传统制件的 60%；在汽车、医疗和消费品等领域实现应用验证。

有关说明：无。

关键词：增材制造，粉末床，聚合物，外场能量，选择性烧结

1.5 厘米级结构超滑功能表面的激光制造（基础研究类）

研究内容：针对航空航天器件低摩擦表面的制造需求，研究激光制备单晶石墨过程中时空光场对石墨晶态及其表/界面原子结构的调控机理；研究厘米级无褶皱结构超滑单晶石墨制备机制，建立快速溶碳和非平衡析碳的激光能场驱动理论；发展单晶石墨结构超滑表面的原位制备、石墨图案化结构超滑表面的制造方法，开发厘米级结构超滑器件制造工艺技术。

考核指标：构筑不少于 4 种厘米级图案化结构超滑功能表面，

具备可控形状(方台、圆台等)、高度(1-200 μm)、宽度(5-500 μm)的单元结构特征,可控周期(5-500 μm)、密度(单晶石墨表面占比10-70%)的阵列分布特征;结构超滑表面面积 $\geq 20\text{mm} \times 20\text{mm}$,单晶石墨微区平整度 $\leq 30\text{nm}$ 且无褶皱,摩擦应力 $\leq 0.001\text{MPa}$,承载 $\geq 50\text{N}$;在航空发动机轴承实现应用验证,润滑系统总重量降低50%以上。

有关说明:无。

关键词:激光原位生长,激光微图案化,单晶石墨,结构超滑,轴承

1.6 太空极端环境金属增材制造(基础研究类)

研究内容:针对太空极端环境下金属构件快速制造的需求,开展适用于太空极端环境的金属增材制造新机理、工艺和装备研究。研究真空和微重力环境下低功耗的金属增材制造熔化和冶金行为,阐明增材制造过程中,真空、微重力条件对金属熔体润湿铺展、凝固行为对成形件尺寸精度与表面粗糙度的影响机制;研究太空极端环境下金属增材制造的形性调控技术,探索钛合金、铝合金、不锈钢等多种材料的成形工艺。

考核指标:开展微重力、真空下的金属增材制造过程仿真分析,建立适用于太空极端环境的金属增材制造润湿铺展和凝固行为模型及仿真分析;研制适用于太空微重力、真空环境的金属增材制造集成化装备1套,可以实现钛合金、不锈钢等典型金属构件的增材制造。增材成形总功率小于1kW,环境真空度可达到

10⁻³Pa 以上，整体装备可承受-70℃至+100℃温度变化，通过 10g 加速度测试，零件尺寸不小于 400mm×400mm×20mm，成形精度≤0.5mm，表面粗糙度 Ra≤15μm，力学性能接近锻件，建立相应的太空金属增材制造工艺规范。

有关说明：无。

关键词：太空增材制造，极端环境，微重力，低功耗增材制造

1.7 热功能表界面微纳结构与材料特性一体化超快激光制造（基础研究类）

研究内容：针对航空航天、能源等重大装备对高性能传导/辐射/转换等热功能的迫切需求，研究超快激光作用下材料表界面能量吸收与传递的时空演化规律，以及热功能表界面形性特征对热功能的耦合影响规律及调控机制；研究超快激光制造工艺对热功能表界面形性特征的影响与作用规律；研发高效、稳定热功能表界面微纳结构-材料特性一体化协同超快激光大面积制备方法 & 关键装置，进行应用验证。

考核指标：形成表界面微纳结构与材料特性对热功能耦合作用模型；超高速并行光参量动态调控装置 1 套：单脉冲加工效率≥150,000 单元/秒，光参量动态调节响应时间≤0.5μs；一体化加工面积≥300cm²。不少于 3 类新型热功能器件：键合温度≤150℃，导热率≥200W/(m•K)；热辐射图案化单元特征尺寸覆盖 300nm~100μm，热伪装兼容波段≥3 且阶数动态连续可调；光热转

换膜标准光照水蒸发速率 $\geq 4\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。在航空航天、能源等装备中实现应用验证。

有关说明：无。

关键词：超快激光，热功能表界面，微纳结构，材料特性，一体化制造

1.8 多功能跨尺度共形结构协同增材制造技术（基础研究类）

研究内容：针对航空航天等领域对高性能、高集成度功能构件的需求，研究增材制造结构整体承载与结构功能区的保形协调机制，以及基底-功能线路一体化增材制造的共形界面形性演化规律；研究表面变曲率复杂结构内腔点阵共形填充及胞元完整性保持算法，多物理场高精高效分析方法，结构-功能匹配的跨尺度结构整体拓扑优化设计方法；研究共形喷墨打印导电路径形貌的精确控制技术，以及共形打印导线与基体材料的异质界面强化技术。

考核指标：建立增材制造基底与结构功能区的跨尺度结构保形优化设计模型，以及共形喷墨打印导线的线宽控制模型；共形异质材料界面结合强度 $\geq 10\text{MPa}$ ，喷墨打印线宽 $\leq 5\mu\text{m}$ ；复杂结构内腔中实现共形点阵填充，填充的单胞数 ≥ 60 万，不完整点阵单元数量 $\leq 0.1\%$ ；激光-喷墨协同增材制造航空航天、交通运输等领域的多功能集成构件 ≥ 2 套：最大尺寸不小于 $1.0\text{m}\times 0.6\text{m}\times 0.8\text{m}$ ，相比传统制造方式零件数目减少 60% 、减重 $\geq 30\%$ 、功能集成 ≥ 5 种（承载/减振/微波探测/温度感知/应变测量等）。

有关说明：无。

关键词：协同增材制造，多功能跨尺度结构，拓扑优化保形设计，气溶胶喷墨打印

1.9 单晶高温合金的光束整形激光增材制造方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向单晶高温合金复杂结构制造需求，开展基于光束整形的单晶高温合金激光粉末床熔融新原理及新方法研究。研究激光束斑形状、能量分布特征对熔池局部凝固条件及杂晶/大角度晶界生成的影响机制；阐明动态选晶机理并发展精确工艺控制技术；建立光束整形与扫描路径相匹配的无缺陷大尺寸单晶高温合金加工策略。

考核指标：光束整形激光粉末床熔融试验装置 1 套；无籽晶条件下增材制造无裂纹单晶高温合金试件：单晶体水平幅面 $\geq 5\text{mm}$ ，高度 $\geq 50\text{mm}$ ，致密度 $\geq 99.8\%$ 。

有关说明：无。

关键词：激光增材制造，粉末床熔融，光束整形，单晶高温合金

1.10 超材料三维成形机制及可控微宏观制备新方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究具有特殊功能的机械超材料微结构设计方法；研究微结构单元的高精度制造、结构超材料表面涂层、激光诱导刻蚀等技术，以及微结构单元与复杂宏观结构的协同制造技术；

研发加工-检测一体的超材料三维制备样机,并实现超材料三维可控宏微观制备技术验证。

考核指标:建立超材料宏微观结构与特殊功能的理论模型,预测精度 $\geq 95\%$;开发结构超材料成形-改性一体化制备工艺与装备,实现超强韧、超亲水、吸波等不少于3类超材料结构的可控制备。

有关说明:无。

关键词:超材料,微/宏观结构,三维成型,共形制备

1.11 消光/自清洁复合功能结构制造技术(基础研究类,青年科学家项目)

研究内容:研究激光制造相位/偏振等多维光学参量调控机制,以及消光/自清洁复合功能结构多尺度演化规律;研究消光/自清洁功能协同增效设计方法,和大面积曲面多尺度消光/自清洁复合功能结构的批量一致性制造新方法,开展表征、评价及验证研究。

考核指标:研制三维光场整形模块,能量匀化率 $\geq 95\%$,具备偏振态整形功能;曲面加工面积 $\geq 800\text{cm}^2$;不少于2类典型构件验证:可见光至远红外波段平均消光率 $\geq 98\%$,污染物残留重量减小 $\geq 20\%$ 。

有关说明:无。

关键词:消光/自清洁复合功能,三维光场整形,卫星敏感器,高速飞行器导引头及位标器

1.12 浸入式超声激光复合增材修复技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向复杂构件高质量增材修复需求，开展丝导超声与激光协同、熔池闭环调控等机理与技术研究，揭示激光沉积成形过程浸入式超声选区等轴化机理；研究丝导超声—激光交互机制下熔池闭环调控方法；研究丝导超声复合激光增材修复工艺下冶金缺陷、显微组织形成及强韧化机理。

考核指标：在不少于 3 种基体材料沉积态修复区获得完全等轴晶；丝导超声—激光复合增材修复样机 1 套；修复件变形量 $\leq 80\mu\text{m}/100\text{mm}$ ，高温（ 650°C ）拉伸强度不低于基体材料的 90%。

有关说明：无。

关键词：浸入式超声，激光复合，增材修复，选区等轴化

2 核心功能部件

2.1 制造用蓝光半导体激光器（共性关键技术类）

研究内容：研究半导体激光器载流子注入动力学、模式调控及热应力对激光性能的影响机制，开展氮化镓基二极管蓝光激光器的新型外延结构设计、外延生长、器件工艺、失效机理及可靠性研究，突破芯片制备封装、光谱合束、增益调控、大能量关断、系统集成等关键技术，研制制造用高功率蓝光半导体激光器。

考核指标：热沉键合器件综合热导率 $\geq 360\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；蓝光激光器单管芯片：功率 $\geq 10\text{W}@50\mu\text{m}$ 条宽，中心波长处于

400nm-500nm，工作寿命 ≥ 1 万小时@5W；蓝光激光器光纤耦合模组：输出功率 $\geq 4000\text{W}$ 、中心波长处于 400nm-500nm、光纤芯径 $\leq 200\mu\text{m}$ 、光纤数值孔径 ≤ 0.22 ，8 小时工作功率稳定性 $\leq 5\%$ ，工作寿命 ≥ 1 万小时。形成不少于 20 台的销售。

有关说明：无。

关键词：有色金属加工，激光直写，蓝光激光器，氮化镓

2.2 制造用千瓦单模光纤激光器（共性关键技术类）

研究内容：针对制造用光纤激光器的重大需求，探索掺镱光纤的光致暗化机制，开发新型的增益光纤外包层结构，研制具有高泵浦光吸收系数和高非线性阈值的新型大模场增益光纤，研究千瓦单模工业光纤激光器及批量稳定性制造技术。研究大功率高脉冲能量光纤输出激光器所用的增益模块与高功率隔离器关键技术，研究大功率脉冲激光器高效散热、系统集成及激光器整机设计开发技术。研究大功率光纤输出的纳秒级高脉冲能量激光器及批量稳定性制造技术。

考核指标：单模连续工业光纤激光器：平均功率 $\geq 10\text{kW}$ ，光束质量 $M^2 \leq 1.3$ ，输出功率稳定性（8 小时）优于 $\pm 2\%$ ，工作寿命 ≥ 3000 小时，实现销售 ≥ 50 台。光纤输出的纳秒级高脉冲能量激光器：平均功率 $\geq 3000\text{W}$ ，最大单脉冲能量 $\geq 200\text{mJ}$ ，脉宽 10ns-100ns，重复频率 1kHz-1MHz，光束质量 $\text{BPP} \leq 25\text{mm}\cdot\text{mrad}$ ，输出功率稳定性（8 小时）优于 $\pm 2\%$ ，工作寿命 ≥ 10000 小时，实现销售 ≥ 100 台。

有关说明：无。

关键词：单模，千瓦，光纤输出激光器，工业激光器

2.3 五轴振镜激光加工模块与技术（共性关键技术类）

研究内容：研究高响应、高精度振镜电机，研究多轴运动同步控制技术与五轴振镜偏转补偿控制算法，开发光机电集成的五轴扫描振镜加工头；研究五轴振镜光束偏转与平台运动的协同加工技术、三维微结构的激光加工形性调控技术；研制飞秒激光五轴振镜加工装备与成套工艺。

考核指标：五轴扫描振镜加工头：振镜重复精度 $\leq 2\mu\text{rad}$ ，加工区域直径不小于 1.5mm，Z 轴方向焦点调节范围不小于 $\pm 1\text{mm}$ ，光束倾角范围不小于 $\pm 8^\circ$ ，旋进频率最大 350Hz；飞秒激光五轴振镜加工装备 1 台：重复精度 $\leq 0.5\mu\text{m}$ ，聚合物类三维微结构加工体积相对误差 $\leq 10\%$ ，加工面表面粗糙度 $R_a \leq 0.1\mu\text{m}$ ；实现五轴振镜及加工装备在智能传感、航空航天等领域的应用。

有关说明：无。

关键词：五轴振镜，激光加工，三维微结构

2.4 基于大数据的增材制造工艺开发软件平台（共性关键技术类）

研究内容：研究增材制造数据实时接入技术，开发多源异构数据分析技术；研究基于大数据机器学习的增材制造云端智能工艺选择、自主优化及质量控制方法；研究基于增材制造装备全工

艺过程的实时运行状态智能识别、自适应闭环调整、故障诊断检测、远程运维等关键技术；开发大数据和信息模型驱动的增材制造工艺优化与质量控制软件。

考核指标：大数据和信息模型驱动的增材制造工艺优化与质量控制软件：涵盖不少于 5 种增材制造工艺，具有不少于 20 种接口协议，复杂模型的几何和工艺特征识别及分类时间小于 20s，具有云端远程工艺优化功能，同类型工艺-结构首次打印失败率比现有水平降低 50%以上，工艺研发效率比现有水平提升 2 倍以上；在航空、航天、车辆等领域实现应用，建立含不少于 2 万个制件制造过程及质量信息的数据库；制定相关技术标准≥5 项。

有关说明：无。

关键词：增材制造，大数据，工艺优化

2.5 声功能结构定制化设计与增材制造（共性关键技术类）

研究内容：面向复杂多约束工业场景下声功能结构制造需求，研究增材制造金属/非金属复合特征结构对声波吸收与散射的声振行为及调控机理、声结构模板自匹配填充算法、大型承载-声控结构增材制造异质界面控制及形性调控等关键技术；研发增材制造声功能结构定制化设计优化软件、增材制造装备；开展声功能结构性能与功能评价及空气与水下环境的应用验证。

考核指标：声结构设计分析与优化一体化软件 1 套，增材制造声结构模板≥100 套；大型声结构金属/非金属增材制造装备 1

套：成形声功能结构直径 $\geq 5\text{m}$ 、最小特征尺寸 $\leq 100\mu\text{m}$ ，声控结构表面粗糙度 $\leq 10\mu\text{m}$ ，金属/非金属界面强度系数 ≥ 0.6 ；增材制造声控结构满足：针对空气介质声控功能构件、吸声系数 ≥ 0.85 、工作温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ ，针对水下介质声控功能构件、声能透射率 ≤ 0.1 、波束宽度 $\leq 15^\circ$ 、耐压 $\geq 0.5\text{MPa}$ ，实现工业装备、水下装备等领域应用。

有关说明：无。

关键词：声功能结构，定制化设计，金属/非金属增材制造，结构功能一体化

3 关键技术及装备

3.1 多激光粉末床增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向航空航天领域大尺寸复杂精密构件和组件整体化制造重大需求，开展超大幅面铺粉均匀性、成形仓气氛循环控制等技术研究，攻克超重载运动平衡机构协同控制、20束以上的多激光时序-扫描策略协同控制、多激光成形过程在线质量监控自诊断智能处理等关键技术，研制增材制造装备，建立超大幅面粉末床激光增材制造装备综合性能的评估体系。

考核指标：粉末床激光增材制造装备：成形尺寸不小于 $1500\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ，成形精度优于 $\pm 0.2\text{mm}$ ，多激光拼接精度 $\leq 0.05\text{mm}$ ，各区域激光质量一致性优于5%，成形效率 $\geq 500\text{cm}^3/\text{h}$ ，采用自主研发控制软件，具备故障分级自诊断及质量

在线监控系统，实现打印全程可追溯，设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；成形典型件不少于 5 种，最大直径不小于 1300mm，在航空航天等领域实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：多激光，增材制造，超大尺寸，激光选区熔化

3.2 多电子束粉末床增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对大型难焊高温材料复杂构件的制造需求，开展大功率多电子枪高精度扫描拼接、协同扫描预热与大幅面高温粉末床温度场控制、真空高温环境粉末铺放、在线监测等技术研究，突破粉末床熔融全过程温度和精度保持，热应力控制、裂纹抑制及组织性能一致性控制等关键技术，研制增材制造装备，开发大尺寸难焊高温材料复杂构件低应力增材制造工艺技术。

考核指标：多电子束高温粉末床熔融增材制造装备：电子枪数量 ≥ 4 台，全幅面束斑直径差异 $\leq 5\%$ ，成形尺寸 $\geq 800\text{mm} \times 800\text{mm} \times 700\text{mm}$ ，粉末床高温区（ $\geq 1000^\circ\text{C}$ ）面积 $\geq 600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 、温度不均匀性 $\leq 20^\circ\text{C}$ ，多电子枪拼接精度优于 $\pm 0.15\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 300\text{cm}^3/\text{h}$ ，设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；单电子枪功率 $\geq 6\text{kW}$ ，最小束斑直径 $\leq 200\mu\text{m}$ ；实现大尺寸难焊高温合金复杂构件制造，水平尺寸 $\geq 600\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，高度 $\geq 400\text{mm}$ ，成形精度优于 $\pm 0.15\text{mm}/100\text{mm}$ ，高温性能相对于同材料铸造件提高 10%，并在能源动力、航空航天等领域实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：多电子枪，高温粉末床，电子束粉末床熔融，难焊高温合金，热裂纹控制

3.3 半导体材料激光制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向半导体材料微细结构高精度加工需求，探索激光矢量光场整形作用下的典型半导体材料应力、缺陷演化规律，揭示微细结构制造质量对器件性能的影响机制，攻克矢量光场整形、光束旋转运动空间姿态调控等关键技术，研制半导体材料激光制造装备，开发阵列方形微槽、微流道、材料内部曲面成型切割等 3 类精密制造工艺。

考核指标：光束旋转运动空间姿态调控加工头：加工误差 $\leq 1\mu\text{m}$ ；半导体材料精密制造装备：连续加工阵列微型槽数量 $\geq 8 \times 10^6$ 个，相邻位置误差 $\leq 0.5\mu\text{m}$ ，微流道尺寸误差 $\leq 2\mu\text{m}$ ，透镜成型切割尺寸误差 $\leq \pm 5\mu\text{m}$ ，设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时，实现砷化镓、碳化硅、金刚石等半导体材料精密制造；建立工艺规范和标准，在探测器、高功率激光器、同步辐射光源等设备中实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：激光微纳制造，空间整形，半导体材料，阵列微结构

3.4 高强韧钛合金增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：开展激光增材制造高强韧钛合金材料设计、激光

熔化沉积微区调控、多重固态相变联动调控等技术研究，攻克多束高功率激光大型复杂钛合金构件制造过程内部缺陷抑制和应力控制等关键技术，发展大型钛合金构件抗疲劳与高损伤容限结构设计和制造方法，研制成套激光增材制造装备。

考核指标：大型激光增材制造装备：沉积态壁厚误差优于 $\pm 0.5\text{mm}$ 、构件变形量小于 $3\text{mm}/1000\text{mm}$ ，成形效率不低于 10kg/h ；设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；成形的大型复杂构件尺寸 $\geq 1\text{m} \times 1\text{m} \times 5\text{m}$ ，内部缺陷达到锻件超声检测 AAA 级水平，疲劳和裂纹扩展寿命预测误差小于 10% ；高强韧钛合金断裂韧性不低于 $110\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ，抗拉强度不低于 920MPa ，多批次抗拉强度变异系数小于 3% ；在航空航天领域实现应用或验证，形成相关标准不少于3项。

有关说明：无。

关键词：钛合金，激光增材制造，高强韧，大型复杂构件

3.5 纤维复合材料增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对大型高性能多功能复合材料构件制造需求，研究基于增材制造的多功能复合材料一体化设计方法；突破宏微观多级界面结合性能梯度调控、短/连续纤维多喷头分区域协同成形、实时监测与打印参数动态优化等关键技术；研制大型短/连续纤维复合增材制造装备。

考核指标：大型短/连续纤维复合增材制造装备：成形尺寸 $\geq 6\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$ ，打印速度 $\geq 1.5\text{m/min}$ ，制造精度优于 $\pm 0.25\text{mm/m}$ ；

设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；实现大型多功能复合材料短/连续纤维构件增材制造，单向尺寸 $\geq 5\text{m}$ ，短纤维含量 $\geq 35\text{wt.}\%$ ，连续纤维含量 $\geq 60\text{vol.}\%$ ，层间强度 $\geq 45\text{Mpa}$ ；功能复合材料具备自感知、抗冲击、吸波等功能，在无人机/无人艇中实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：功能复合材料，短/连续纤维，增材制造，无人装备

3.6 极薄强韧陶瓷义齿增材制造技术与制备（共性关键技术类）

研究内容：针对牙齿缺损微创/无创修复的需求，开展整体强韧、边缘极薄、粘接面具有图案化微结构的陶瓷义齿增材制造方法研究。研究面投影光在增材制造过程的全生命周期传播规律，光传播中冗余杂光的过滤机制，以及光能量传播与陶瓷光固化反应能量的耦合调控方法；研究打印窗、浆料层与固化层的微力分离技术，各向异性极薄陶瓷打印件烧结的非均匀补偿技术；研制陶瓷光固化增材制造样机；开展应用验证研究。

考核指标：建立光传播能量调控与光固化反应能量阈值的耦合分析理论模型；增材制造义齿的最小特征尺寸 $\leq 2\mu\text{m}$ ，最薄壁区域厚度 $\leq 10\mu\text{m}$ ，最大壁厚差达 200 倍，挠曲强度 $\geq 950\text{MPa}$ ；陶瓷光固化增材制造装备：成形幅面 $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，单版 45 颗义齿成形时间 $\leq 8\text{h}$ ；在微创/无创牙齿缺损修复领域实现应用验证。

有关说明：无。

关键词：陶瓷，微立体光固化，极薄义齿，光能量调控

3.7 激光微细制孔与异质连接技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：开展非光学接触异质界面相变过程与等离子体动态调控技术研究，攻克大口径增透构件微群孔的脉冲整形高效率复刻成型、构件位姿与超快激光脉冲的同步控制等关键技术，研制超快激光制孔与连接装备与成套工艺。

考核指标：超快激光制孔与连接的成套装备：加工尺寸范围 $\geq 500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，增透微结构加工精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；实现不少于3种材料/结构类型的构件制造：口径 $\geq 150\text{mm}$ ，单个构件加工时间 $\leq 5\text{h}$ ，透射率较基材提升量 $\geq 10\%$ ，异质材料连接强度 $\geq 130\text{MPa}$ ；在航空、航天和光电等领域实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：超快激光，微群孔，无膜增透，异质连接

3.8 功能图案激光还原制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向超大尺寸介质表面金属功能图案制造需求，开展超快激光诱导金属前驱体还原过程中的光-热-还原过程、时空频协同整形超快激光高效精密还原制造新方法等研究，攻克介质-金属界面光致物理嵌合/化学键合控制、多机路径规划仿真与协同控制等关键技术；发展视觉协同的动态接触力耦合新策略，用于大幅面、微尺度快速扫描成像；研发多机协同超快激光制造装备。

考核指标：超快激光多机协同制造装备：在幅面 $\geq 1\text{m} \times 50\text{m}$ 的

可展收介质表面实现图案微结构制造，微结构尺寸精度优于 $\pm 10\mu\text{m}$ 、单元图案定位精度 $\leq 15\mu\text{m}$ 、拼接精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，单机直写速率 $\geq 1 \times 10^8 \mu\text{m}^2/\text{s}$ 且还原效能 $\geq 1.5 \times 10^6 \mu\text{m}^2/(\text{Ws})$ ，设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；金属图案微结构方阻 $\leq 0.4\Omega/\text{sq}$ ，金属图案-电介质光致结合强度达1级以上（GB/T 9286）；在航天领域实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：光还原，金属图案，介质表面，超大尺寸

3.9 热控/减震功能构件增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向航天飞行器对“热控/减震/承载”功能结构一体化构件设计与制造技术需求，研究基于宏介观结构梯度分布的力-热多目标轻合金结构优化设计方法，攻克“介观-宏观”跨尺度特征结构的激光模式/束斑尺寸控制、增材制造形性协同调控等关键技术，开展跨尺度功能结构“设计-制造-评价”研究，开发增材制造装备与成套工艺。

考核指标：增材制造装备：微细特征成形精度优于 0.05mm ，宏观尺寸 $\geq 500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ；成形强度 $\geq 550\text{Mpa}$ ，二维导热强化传热区域温度均匀性优于 $1^\circ\text{C}/200\text{mm}$ ，相比传统结构减重 $\geq 30\%$ ；可承受载荷 $\geq 30\text{kN}$ ，产生的反冲力 $\leq 45\text{kN}$ ，吸能能力 $\geq 1000\text{J}$ ；宏观膨胀系数 $\leq 0.1\text{ppm/K}$ ，减隔振时域均方根衰减率 $\geq 80\%$ ；在深空探测、载人登月、卫星等航天器结构实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：跨尺度功能结构，多目标优化设计，增材制造航天器

3.10 微细复杂形貌结构激光制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向航空航天、高铁等领域仿生部件制造需求，研究激光高速空间光场耦合调控的三维微细起伏形貌结构成形机制，建立“高温脱附、高速减阻、防覆冰”分级仿生功能结构模型，揭示复杂形貌结构制造质量对仿生性能的影响机制；攻克微观结构成形过程在线监测、高速空间光场耦合调控、空间结构分层制造算法等关键技术；研制激光制造装备和成套工艺。

考核指标：微观结构成形过程在线监测模块：时间分辨率优于 500fs，高速空间光场耦合调控模块：调控精度 $\leq 300\text{ nrad}$ ，空间结构分层制造软件；激光制造装备：复杂形貌结构深度起伏范围 1-500 μm 、表面曲率变化误差 $\leq 5\%$ 、最大构件尺寸 $\geq 300\text{ mm}$ ；设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；与无表面微结构的构件相比，实现高温污染物残留重量减小 $\geq 50\%$ ，阻力系数减少 $\geq 15\%$ ，延迟结冰时间 $\geq 50\%$ ；在航空航天、高铁等领域进行应用或验证。

有关说明：无。

关键词：激光微纳制造，仿生功能结构，空间结构分割，高速光场调控

3.11 仿生异质性组织工程半月板增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对半月板损伤修复的需求，研发仿生异质性组织工程半月板支架设计及增材制造丝径挤出的精确控制方法；研发可降解组织工程支架增材制造过程在线监测及孔隙结构高精度制造技术；研究面向增材制造三维支架的干细胞精确分区接种、生长因子分区释放、模量分区调控和半月板功能重建等仿生异质性半月板构建技术；开展组织工程仿生半月板体外及大动物体内验证和评估，以及半月板支架与干细胞复合移植临床前研究。

考核指标：建立可降解支架材料挤出丝径的控制模型；仿生异质性半月板支架增材制造设备：成形尺寸 $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，成形精度 $\leq \pm 50\mu\text{m}$ ，挤出丝径误差 $\leq \pm 20\mu\text{m}$ ；制备出孔隙结构呈非均匀分布的仿生异质性组织工程半月板支架，游离缘-滑膜缘的孔隙率（30-60%）、孔径（150-500 μm ）分区可调；组织工程半月板植入动物体内 24 周后，游离缘-滑膜缘区域的压缩模量（120-160kPa）、拉伸模量（70-120MPa）呈分区差异，滑膜缘区域的 I 型胶原相对含量是游离缘的 3-3.5 倍，游离缘区域 II 型胶原相对含量是滑膜缘的 5-5.5 倍；完成研发产品的生物安全性评价、体外评价和大动物临床前评价，软骨保护 ICRS 评分等级 $\leq \text{II}$ ，Mankin 评分 ≤ 2.5 ；制定增材制造仿生半月板支架相关的国家标准 ≥ 2 项。

有关说明：无。

关键词：生物 3D 打印，半月板三维支架，异质性，增材制造

3.12 激光超声复合精密制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：研究超声振动等辅助能场作用下单晶合金、陶瓷等材料激光高效去除机理，探索激光能场复合低损伤加工方法，攻克多参量精确协同调控、轨迹规划、精确导航、在线监/检测等关键技术，开发激光复合能场自适应加工工艺与装备。

考核指标：激光复合能场制造 CAM 软件：具有定位检测与加工导航功能，可实现复杂三维曲面构件的定位-监/检测-加工一体化；激光复合能场加工装备 2 套：平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；微孔深径比 $\geq 25:1$ 、孔侧壁粗糙度 $\leq Ra0.8\mu m$ ；复杂构件表面特征结构加工尺寸精度 $\leq 5\mu m$ ；建立相关工艺规范和标准，在航空航天领域实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：激光复合能场，难加工材料，复杂构件、精确导航

3.13 移动式复杂现场环境增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对高原高寒、南海岛礁、荒漠戈壁等特殊环境下装备现场应急救援、损伤抢修的重大需求，研究高效率区域打印增材制造形性调控技术，攻克增材制造微缺陷在线识别与飞秒激光精准去除、应急保障增材制造复杂精细构件的分级评价、高

效率增材制造方舱的强机动性和强环境适应性设计与集成等关键技术，研制增材制造装备和成套工艺，并在特殊极端环境开展增材制造方舱系统的应用或验证。

考核指标：增材制造装备：成形效率相比单激光粉末床熔融提升 10 倍以上，钛合金成形效率 $\geq 1\text{kg/h}$ ，成形精度优于 0.1mm ，缺陷在线去除精度优于 $50\mu\text{m}$ ，平均无故障时间 ≥ 500 小时；敏捷方舱：尺寸不大于 $7\text{m}\times 2.5\text{m}\times 2.5\text{m}$ ，重量不大于 6 吨（含成形设备、后处理等），“机动-工作”状态转换时间 ≤ 30 分钟；形成应急保障增材制造合金体系，零件疲劳寿命不低于锻件的 60%；在航空航天、地面特种装备维护保障实现应用验证，并通过 3500 米以上高原、南海岛礁、高低温（ $-45^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ）等环境考核验证。

有关说明：无。

关键词：应急保障，极高效率，金属增材制造，复杂环境

3.14 大尺寸特种陶瓷增材制造技术与装备(共性关键技术类)

研究内容：研究氧化物、碳化物、氮化物等大尺寸特种陶瓷构件增材制造的材料组分-工艺-微结构-性能一体化设计方法；攻克高粘稠材料动态推扫光固化、实时清理及第二相填充等多工艺复合成形关键技术，研制增材制造装备与成套工艺；建立多层、复杂内腔构件的三维结构特征尺寸精度检测方法及评价标准。

考核指标：特种陶瓷制造装备：成形尺寸不小于 $1000\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 500\text{mm}$ ，多层陶瓷构件产品层数 ≥ 3 ，最小壁厚 $\leq 800\mu\text{m}$ ，最小孔径 $\leq 150\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra\leq 3\mu\text{m}$ ，尺寸精度优于

±0.15mm，陶瓷构件三维测量精度优于 10μm，平均无故障工作时间≥1000 小时；成形件高温变形量≤0.5%（1650℃），断裂韧性≥10MPa.m^{1/2}，韦伯模数≥10；航空、航天、能源化工等领域实现应用或验证，形成相关标准≥5 项。

有关说明：无。

关键词：大尺寸，特种陶瓷，增材制造，工艺复合

3.15 同质/异质铝合金复合材料构件激光智能焊接技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：研究大尺寸中厚壁铝基复合材料的焊缝增强相颗粒分布控制及匀化技术；攻克多源信号监测-分析-融合-处理的关键技术；开发激光能量与填料量一体化智能调控系统；建立基于大数据的母材-焊缝焊后一体化处理策略；研发同质/异质构件焊接装备与成套工艺。

考核指标：激光智能焊接装备：实现同质结构、异质结构的高强铝合金复合材料智能化焊接，焊件尺寸≥1m，熔深≥8mm 时，接头气孔率≤2%，无焊接裂纹，设备平均无故障工作时间≥1000 小时；铝基复材同质结构接头弹性模量≥90GPa、接头强度≥350MPa；铝基复材-铝合金异质结构接头弹性模量≥80GPa、接头强度≥300MPa；在航空航天、汽车领域实现应用或验证。

有关说明：无。

关键词：铝基复合材料，激光焊接

4 典型应用示范

4.1 激光剥片/减薄技术在电子制造领域的应用示范（应用示范类）

研究内容：面向第三代半导体晶锭、晶圆高效高精度剥片/减薄加工需求，研究晶锭、晶圆等激光诱导改质层区域裂纹扩展机制及形成规律，攻克像差校正的空间整形、内部高速切割与同步控制、分片等关键技术；开发涵盖化学机械研磨的高质量、低损伤成套制造工艺；研制激光剥片/减薄制造装备。

考核指标：内部高速切割与同步控制模块：扫描位置精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ；激光剥片/减薄制造装备：最大加工直径 $\geq 200\text{mm}$ （碳化硅），最薄剥片/减薄厚度 $\leq 100\mu\text{m}$ （碳化硅），晶圆总厚度偏差 $\leq 20\mu\text{m}$ （研磨前），单片材料总损耗 $< 80\mu\text{m}$ （研磨后），效率 ≤ 10 分钟/片（150mm），设备平均无故障工作时间 ≥ 1000 小时；在电子制造领域实现示范应用。

有关说明：除特殊说明外由企业牵头申报。亮点：实现第三代半导体晶锭剥片效率提升 3 倍、切口材料耗损降低大于 60%，晶圆产出增加 30%。考核方式：分别采用激光和线锯，在生产线上对 150mm 直径（6 寸）、20mm 厚碳化硅晶锭进行剥片测试，对比剥片效率、材料耗损和晶圆产出。

关键词：激光剥片，激光减薄，晶锭，晶圆

4.2 航天发动机大尺寸薄壁整体构件增材制造应用示范（应

用示范类)

研究内容：针对航天固体、液体、冲压发动机对高性能大型复杂构件的整体制造需求，开展大型弱刚度多筋构件轻量化设计及激光增材制造技术示范应用研究，攻克弱刚度约束条件下增材制造和后处理整体构件组织性能控制，构件抗变形结构优化、成形过程应力控制等关键技术，开发弱刚度多筋构件的质量评价与考核验证技术。

考核指标：一体化制造零件尺寸最大直径 $\geq 1000\text{mm}$ ，最小壁厚 $\leq 1.5\text{mm}$ ，最大变形量 $\leq 1.5\text{mm}$ ，非加工表面粗糙度 $\leq \text{Ra}3.2$ ；相比传统制造工艺，增材制造构件一体化设计和制造后，零件数量减少 $\geq 30\%$ ，结构刚度提升 $\geq 30\%$ ，减重 $\geq 20\%$ ，制造周期缩短 $\geq 50\%$ ，成本降低 $\geq 30\%$ ；构件力学性能达到同牌号锻/铸件标准，力学性能离散度 $\leq 5\%$ ；形成航天领域增材制造设计、加工、检测标准规范不少于 10 项；并在 5 种以上航天动力装备构件制造上实现应用示范。

有关说明：除特殊说明外由企业牵头申报。亮点：实现尺寸大于 1 米的航天发动机高性能大型弱刚度复杂构件的高精度整体制造。考核方式：选取航天发动机 1 米以上典型构件进行优化设计和制造，分别采用传统制造方式和增材制造方式进行制造工艺设计，并采用增材制造对典型零件进行制造，对比零件全流程制造完成后，采用传统制造和增材制造流程所制造的零件重量、数量、制造周期、制造成本差异，对零件性能进行测试评价，按照

装机要求进行零件力学性能考核测试。

关键词：航天动力装备，增材制造，弱刚度复杂构件

4.3 面向快速换产的复杂功能构件规模化增材制造应用示范 (应用示范类)

研究内容：针对航天等领域高端装备对功能构件多品种、变批量、短周期规模化增材制造的迫切需求，攻克成形过程多参量检测与调控、功能构件快速响应批产工艺优化、柔性成形舱设计等关键技术，研制面向规模化生产的定制化增材制造设备，构建面向规模化快速响应生产的高柔性分布式智能生产网络。

考核指标：批量制造的航天功能结构产品种类 ≥ 10 ，不少于 5 类产品通过航天装机，不少于 1 类产品经过飞行试验验证，产品装机数量 ≥ 1000 件；相比传统工艺，工艺开发时间缩短 $\geq 50\%$ ，制造效率提升 $\geq 50\%$ ；定制化增材制造设备：构件力学性能偏离度 $\leq 3\%$ ，尺寸偏差波动 $\leq 10\%$ ，不同零件换产时间 $\leq 2\text{h}$ ，平均无故障运行时间 $\geq 2000\text{h}$ ；分布式智能生产网络节点数量 ≥ 3 个，包含增材制造设备数量 ≥ 50 台。

有关说明：除特殊说明外由企业牵头申报。亮点：建立国内首个分布式功能结构一体化零件增材制造生产线。考核方式：选取航天飞行器典型关键功能结构零件进行考核测试，按照批产要求进行批量化制造，与传统小批量制造进行对比，对比工艺开发时间、零件制造效率、力学性能偏离度、尺寸偏差波动等；采用 5 类典型构件，在建立的智能生产线上进行功能结构零件换产时

间考核。

关键词：增材制造，快速响应，规模化，功能结构

4.4 激光熔锻原位修复应用示范（应用示范类）

研究内容：面向军民用重大装备不可拆卸结构的现场高性能修复需求，研究原位激光熔锻修复层组织、缺陷和应力的控制方法，开展复杂环境双激光联动、激光熔覆沉积与冲击强化工艺匹配优化、原位修复结构应力重构与疲劳寿命评估等技术研究，研制移动式激光熔锻修复装备。

考核指标：移动式激光熔锻原位修复装备：双激光现场光纤传输距离 ≥ 20 米，修复效率 $\geq 300\text{cm}^3/\text{h}$ ，设备现场展开时间 $\leq 2\text{h}$ ，平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；钛合金、合金钢等修复件的表面最大残余压应力 $\geq$ 屈服强度的 30%，与常规单一激光熔覆修复相比，疲劳寿命提升 $\geq 30\%$ ；修复件应力重构误差 $\leq 20\%$ ，疲劳寿命预测误差在 2 倍分散带以内；在航空航天、能源动力领域现场原位修复实现应用示范。

有关说明：除特殊说明外由企业牵头申报。亮点：研制移动式激光熔锻原位修复装备，实现航空航天、能源动力领域不可拆卸或难拆卸构件的现场原位修复。考核方式：在机场对飞机机体内的构件进行不拆卸修复，在外场对石油化工管道进行不拆卸修复，考核修复效率和设备现场展开时间，修复后，将零件拆卸，对修复区域的疲劳寿命进行考核。

关键词：激光熔锻，抗疲劳，寿命评估，不可拆结构现场修

复

4.5 高适配人工膝关节激光增材制造应用示范（应用示范类）

研究内容：面向人口老龄化加剧以及患者对膝关节置换的需求，研究基于 CT 和磁共振多模态融合的个性化人工膝关节 AI 辅助快速设计、产品与手术快速虚拟验证等技术，开发高适配人工膝关节激光增材制造组织强韧化调控与评价技术，开展手术中关节适配性、覆盖率、下肢力线及关节功能等医工交互验证。

考核指标：增材制造高适配人工膝关节在临床应用中的切骨面覆盖率 $\geq 95\%$ ，股骨和胫骨假体延伸率 $\geq 18\%$ ，通过 1000 万次 10 赫兹 $\geq 4000\text{N}$ 加载的疲劳测试；个性化高适配人工膝关节手术 ≥ 600 例、标准全膝置换对照 ≥ 600 例；发布个性化全膝置换临床路径、诊疗专家共识、手术操作规范、快速康复专家共识；面向增材制造的 AI 辅助快速产品设计、产品和手术虚拟验证软件；制定激光增材制造工艺、个性化人工膝关节设计、临床医工交互验证标准 ≥ 5 项；获三类医疗器械注册证。

有关说明：由医院牵头申报。亮点：增材制造个性化高适配人工膝关节获三类医疗器械注册证，并实现批量临床手术应用。
考核方式：选取典型膝关节治疗病例，进行高适配人工膝关节增材制造，对制造假体进行力学性能测试；通过病历报告，临床手术报告对临床手术应用进行考核验证。

关键词：激光增材制造，全膝人工关节，AI 辅助决策

4.6 复杂型面三维激光智能切割（应用示范类，科技型中小企业项目）

研究内容：面向复杂型面车身覆盖件精密切割需求，开展切割误差产生机理和控制方法研究，攻克新型 8 轴结构设计和运动轨迹控制等关键技术，研发三维光纤激光切割头及专用控制系统，研制适用于复杂型面汽车结构件的三维激光切割装备。

考核指标：新型 8 轴联动（3+2+1+2）三维光纤激光切割装备：单机工作范围 $\geq 6000\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 700\text{mm}$ ，移动轴定位精度 $\leq 0.06\text{mm}$ ，移动轴定位速度 $\geq 110\text{m/min}$ ，旋转轴定位精度 $\leq 0.02^\circ$ ，旋转轴定位速度 $\geq 90\text{r/min}$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；应用于复杂型面车身覆盖件精密切割。

有关说明：无。

关键词：三维激光切割，复杂型面切割，车身覆盖件，运动轨迹控制

4.7 高深径比玻璃通孔激光高效制造技术（应用示范类，科技型中小企业项目）

研究内容：面向电子制造和医疗领域器件和微系统研制对小直径、高深径比、高质量玻璃通孔的高效率制造需求，研究超快激光诱导玻璃改性、变性区域选择性化学刻蚀等方法；开发超快激光微孔加工时空整形功能模块；研制基于飞秒激光诱导变性的玻璃、微晶玻璃微孔刻蚀工艺与装备。

考核指标：超快时空整形、在线监测与同轴对焦等 2 类关键

模块；超快激光诱导玻璃刻蚀微孔装备：可制备圆、方孔和不规则形状的高密度微孔，最大深径比 $\geq 100:1$ ，最小孔径 $\leq 5\mu\text{m}$ ，锥度 $0.1^\circ\sim 30^\circ$ 可控；加工效率 ≥ 5000 孔/s；应用于电子制造或医疗领域，销售数量不少于 20 台。

有关说明：无。

关键词：激光诱导，选择性蚀刻，玻璃通孔，三维封装

4.8 光纤微细结构飞秒激光加工技术（应用示范类，科技型中小企业项目）

研究内容：面向高性能超高温压力传感器的制造需求，开展超高温蓝宝石光纤压力传感器微细结构飞秒激光加工研究；攻克飞秒激光加工在线成型和批量加工关键技术，开展飞秒激光加工超高温压力传感器综合性能评估研究。

考核指标：加工尺寸精度优于 $1\mu\text{m}$ 、表面粗糙度优于 $Ra0.1\mu\text{m}$ ；光纤压力传感器：压力量程 0-30MPa，准确度 2%FS，耐加速度冲击大于 40g；在航空、航天、航海、新能源等领域实现应用。

有关说明：无。

关键词：飞秒激光，难加工材料，压力传感器，超高温

4.9 无支撑粉末床增材制造技术（应用示范类，科技型中小企业项目）

研究内容：针对传统激光粉末床熔融增材制造在具有空腔和悬空结构的零件制造时存在辅助支撑结构多，后处理工艺复杂问

题，研究低应力、无支撑结构的金属激光粉末床熔融增材制造技术；研究铺粉过程对成形构件姿态的影响机制、小角度下表面和悬垂面成形控制技术，发展无支撑增材制造的质量控制技术。

考核指标：无支撑激光粉末床熔融增材制造装备：实现不小于 $200\text{mm}\times 200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 复杂结构零件制造，成形精度 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ ；无支撑制造下表面与水平面夹角 $\leq 10^\circ$ ，表面粗糙度 $\leq \text{Ra}6.3$ ；应用于航空或航天等领域。

有关说明：无。

关键词：粉末床熔融，支撑设计，无支撑，下垂面成形，热应力控制