

《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》团体标准

征求意见稿 编制说明

一、任务来源

近年来，多振镜头激光刻蚀技术及其加工领域经历了显著的演进，主要围绕提升加工能力、拓展应用边界以及优化系统性能展开。其发展背景紧密关联于精密制造需求的日益复杂化和多元化。

在技术层面，核心突破在于多光束协同控制能力的跃升。早期系统受限于单一振镜的扫描范围和精度瓶颈，难以兼顾大尺寸加工与微米乃至亚微米级的精细结构需求。多振镜头的引入本质上是光学架构的革新，通过多个高速振镜单元的并行或协同工作，实现了更大加工幅面内焦点的快速、精确定位与能量分布的灵活调控。这不仅大幅提升了加工效率，更重要的是，通过精确控制多个光束的叠加或分区扫描，显著改善了加工均匀性，降低了热影响区，为复杂图案、微细结构以及异形曲面上的高质量刻蚀提供了基础。同时，动态聚焦技术的持续优化，结合多振镜系统，有效克服了离焦效应，保障了在大范围或起伏表面上焦点的一致性，提升了三维微纳加工的精度和可靠性。

加工工艺方面，发展体现在对材料适应性的拓宽和加工维度的深化。多振镜系统的高灵活性和精密控制能力，使其能够更有效地处理各类新兴材料，包括脆性材料、复合材料和特种薄膜等，满足了电子、显示、新能源等领域对新型材料精密加工的需求。此外，该技术推动了从传统的二维平面刻蚀向复杂三维微结构制造的迈进。通过精确控制光束路径、能量密度和扫描策略，可在材料表面或内部可控地构筑具有特定功能的微槽、微孔、微透镜阵列等三维形貌，极大拓展了其在微流控、光学器件、仿生表面等前沿领域的应用潜力。

系统集成与智能化也是重要趋势。多振镜激光刻蚀设备日益注重模块化设计，便于维护和升级。实时监控技术（如加工过程监测）、闭环反馈控制以及自动化校准算法的集成应用，显著提升了系统的稳定性和加工结果的可重复性。智能化软件平台的开发，使得复杂的多光束路径规划、能量管理、工艺参数优化等过程更为便捷高效，降低了操作门槛，提升了整体生产力。

总体而言，多振镜头激光刻蚀技术的发展，是在满足更高精度、更大尺寸、更复杂形貌加工需求的驱动下，通过光学系统创新、工艺能力升级以及智能化水平提升共同作用的结果，为先进制造业提供了更为强大和灵活的微加工解决方案。

目前，多振镜头激光刻蚀机及加工相关的标准有GB/T 7247.1-2024 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求。

GB/T 7247.1-2024聚焦激光设备的通用分类、安全防护和工程要求，适用于所有激光产品，强调辐射防护、电气安全和机械危险控制等普适性条款；而团体标准则针对多振镜头激光刻蚀机的技术特性，涵盖设备结构、振镜协同控制、加工工艺及拼接精度等专业领域，更注重技术适配性和行业应用场景的细化规范。两者的联系体现在团体标准需引用GB/T 7247.1的安全要求（如激光防护等级、联锁装置等）作为基础支撑。相比之下，团体标准的优势在于其灵活性和创新性：一方面，它能快速响应多振镜同步加工等新技术需求，填补行业空白；另一方面，通过整合工艺参数、质量检测等全流程要求，为产业链协同提供技术纽带，助力企业提升加工质量与市场竞争力。这种“技术深化+安全托底”的模式，体现了团体标准在细分领域的精准性和实践指导价值。

为此申请立项《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》该标准。

先进性与创新性：

1. 多振镜并行加工架构，突破效率瓶颈：区别于传统单振镜头激光刻蚀机“单点扫描”模式，项目通过分光系统将单束激光拆分多束，搭配同步控制的多振镜扫描头实现并行加工，大幅缩短空程时间与整体加工周期，解决高产能场景下“效率与精度不可兼得”的行业痛点，为大规模批量加工提供技术支撑。

2. 多维度协同控制技术，提升加工精度：创新性集成“单振镜精度校正 + 相邻振镜协同校准 + 多振镜同步验证”三级精度控制体系，不仅要求单振镜满幅面线性度误差 $\leq 0.02\% \times$ 幅面尺寸、幅面内最大偏差 $\leq 0.005\text{mm}$ ，还通过软件模拟与实时监测，将相邻振镜拼接偏差控制在 $\leq 0.01\text{mm}$ 、多振镜同步时间差 $\leq 0.1\text{ms}$ ，确保刻蚀区域衔接平滑无明显拼接痕。

3. 智能化控制系统，实现全流程管控：控制系统突破传统“单一参数设置”局限，集成运动控制、视觉检测、故障诊断与工艺参数自适应调整功能，加工中可实时监控激光输出稳定性、振镜偏转精度及材料温度，异常时自动报警停机；同时支持不同材料刻蚀模式快速切换，适配不锈钢、玻璃、塑料等多品类加工需求。

4. 高精度光路调控体系，保障光束质量：光路控制系统创新性融合光学传输模块、聚焦调节单元与光路切换装置，通过精准调控激光束传输路径与聚焦状态，确保光束能量分布均匀、质量稳定，避免因光束衰减或偏移导致的刻蚀深浅不均问题，为多振镜并行加工提供稳定的“光能源”支撑。

5. 灵活工艺适配与缺陷管控，优化加工效果：针对刻蚀效果偏差，建立“量化调整 + 验证闭环”工艺优化机制，如刻蚀过浅时可提高功率 $\leq 5\%$ 或降低扫描速度 $\leq 10\%$ ，补刻后要求重叠区域 $\leq 0.2\text{mm}$ 、深度偏差 $\leq 10\%$ 设计值；同时明确轻微缺陷局部补刻、严重缺陷隔离分析的管控规则，减少无效加工与材料浪费。

《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》团体标准的制定，具有以下几方面的意义：

1. 促进技术规范化与统一性：

多振镜头激光刻蚀技术涉及复杂的系统集成与精密控制。通过制定团体标准，可以明确设备的关键性能指标、核心功能要求以及加工工艺的基本流程。这有助于引导行业内设备制造商和加工服务商遵循统一的技术准则，减少因技术理解或操作差异导致的产品质量不一致和加工效果参差不齐的问题。标准为行业提供了共同的技术语言和基准。

2. 提升产业链协同效率：

该标准覆盖设备本身和加工工艺，贯穿设备研发、生产、销售到最终应用的整个链条。统一的规范使得设备供应商、材料供应商、加工服务商以及下游应用厂商之间的沟通与合作更加顺畅。设备接口、软件兼容性、工艺参数等方面的标准化，降低了系统集成和应用落地的难度，显著提升了产业链各环节的协同效率，加速了技术成果的转化和应用推广。

3. 保障加工质量与可靠性：

明确设备精度、稳定性、光束质量、加工重复性等关键要求，以及定义不同材料、不同应用场景下的标准加工工艺参数范围，是标准的核心内容。这为终端用户提供了判断设备性能和加工质量的可信依据，有助于用户选择合格设备和工艺，有效规避因设备或工艺不稳定带来的加工缺陷、良品率低下等风险，从而确保最终产品的质量与长期可靠性。

4. 引导市场有序竞争与健康发展：

当前市场存在技术水平不一、产品质量良莠不齐的现象。团体标准的建立，为市场设置了清晰的技术门槛和品质基准。这有助于区分优质产品与低劣产品，规范市场竞争秩序。符合标准的产品更能获得市场认可，引导企业将竞争重心转向技术创新、性能提升和服务优化，而非低水平的价格战，从而推动整个行业向高质量、高技术附加值的方向健康发展。

5. 加速技术创新与迭代升级：

团体标准并非一成不变，而是技术发展阶段的总结与前瞻性引领。标准的制定过程汇集了行业领先企业的先进经验和科技成果，本身就是一个知识共享和技术凝练的过程。它不仅为现有技术提供了参照系，也为未来技术发展指明了方向。标准中预留的扩展性和前瞻性要求，将持续激励企业投入研发，突破技术瓶颈，推动多振镜头激光刻蚀技术向着更高精度、更高效率、更广应用的方向不断迭代升级。

二、起草单位所作工作

1、起草单位

本标准由XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX单位等共同起草。

2、主要起草单位及其所作工作

本文件主要起草单位及工作职责见表1。

表1 主要起草单位及工作职责

起草单位	工作职责
XXXX、XXXX、XXXX	项目主编单位，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了行业资深专业人员，行业管理人员。
XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX	实际生产单位、负责汇报实际生产数据、试验方法，参与标准编制。

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

4.1 调研阶段

1. 技术现状调研

调研发现，当前激光刻蚀设备以单振镜头为主，存在加工效率低、大尺寸工件加工周期长等问题；少数多振镜头设备因缺乏协同控制技术，普遍存在拼接误差大（多 $>0.1\text{mm}$ ）、振镜同步性差等问题，且光束能量分布不均导致刻蚀质量不稳定，难以满足高精度加工需求，亟需通过标准规范技术参数与控制要求。

2. 市场需求分析

下游电子元器件、新能源电池、玻璃加工等行业对“高精度 + 高产能”刻蚀需求激增，如新能源电池极片刻蚀需兼顾微米级深度控制与批量生产效率，电子玻璃盖板需无毛刺、高清晰刻蚀图案；但现有设备因技术不统一，导致不同厂商产品兼容性差、工艺调试周期长，市场迫切需要统一标准规范设备性能与加工流程，降低供需适配成本。

3. 相关标准研究

梳理发现，现有标准仅 GB/T 5226.1（机械电气安全）、GB/T 7247.1（激光产品安全）等通用标准，缺乏针对“多振镜头激光刻蚀机”的专项规范，尤其在多振镜协同控制、拼接精度、工艺参数设置等核心技术领域存在标准空白，导致行业产品质量参差不齐，需补充专项标准填补空白。

4. 产业链调研

上游环节：激光器、振镜组件等核心部件供应商技术水平差异较大，部分高功率激光器稳定性不足、高精度振镜依赖进口，影响设备整体性能；中游设备制造商集成能力不均，缺乏统一的部件选型与调试标准；下游应用端因设备参数不统一，需重复调试工艺，产业链各环节均呼吁通过标准打通技术协同壁垒。

5. 行业问题与挑战

调研指出，行业当前面临三大核心问题：一是多振镜协同控制技术无统一指标，设备精度难以衡量；二是不同材料刻蚀工艺参数混乱，厂商需反复试错；三是安全防护不规范，部分设备未按 GB/T 7247.1 设置独立防护区域，存在激光辐射风险，亟需通过标准明确技术要求、工艺流程与安全规范。。

4.2 立项阶段

2025年7月1日，中国技术市场协会正式批准《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》立项。

4.3 起草阶段

4.3.1 成立标准制定工作组，根据《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》编制需要，XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX等机构相关专家成立标准制定工作组。

4.3.2 形成标准草案：根据工作计划及分工安排，在系统参考、学习已有标准及研究的基础上，标准制定工作组完成《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》各部分内容，并于2025年7月5日汇总形成标准草案。

4.3.3 2025年9月8日，通过腾讯会议线上召开了《多振镜头激光刻蚀机及加工技术规范》团体标准讨论会，与会代表30余人参加会议。会上，标准编制组就该标准立项背景和标准框架分别进行了介绍。与会专家和代表就标准名称、框架结构、定义、范围、技术指标等内容进行了深入讨论。明确了该标准编制工作方向，并提出了一系列标准内容的完善措施和修改意见、建议。在讨论会结束后标准编制工作组根据与会专家及参会代表的意见和建议，对标准稿进行了修改完善，形成了标准征求意见稿和编制说明。

4.4 征求意见阶段

2025年10月29日，本标准由中国技术市场协会在全国团体标准信息平台面向社会进行公开征求意见，同时由编制工作组向相关单位进行定向征求意见，具体见《征求意见汇总表》。

五、标准主要内容

根据生产企业XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX、XXXX等单位的产品数据得到以下主要技术内容：

1. 多振镜扫描区域拼接误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ：指多振镜分区域加工时，相邻振镜刻蚀区域的衔接偏差最大值需控制在 0.05mm 以内。该指标是保障大尺寸工件整体刻蚀图案连贯的核心，若偏差过大，会导致图案出现错位、断痕，影响产品外观与功能；标准通过前期软件模拟验证与加工中实时监测，确保拼接处视觉无明显缝隙，满足高精度产品加工需求。

2. 单振镜满幅面线性度误差 $\leq 0.02\% \times$ 幅面尺寸：线性度误差反映振镜扫描轨迹与理论轨迹的吻合程度，该指标要求单振镜在整个扫描幅面内，实际轨迹与理论轨迹的偏差占幅面尺寸的比例不超过 0.02% 。例如幅面尺寸为 100mm 时，最大线性偏差仅 $\leq 0.02\text{mm}$ ，可避免因振镜偏转精度不足导致的刻蚀图案变形，保障单振镜加工区域的精度一致性。

3. 振镜同步时间差 $\leq 0.1\text{ms}$ ：指多振镜启动扫描、轨迹切换等动作时的时间差不超过 0.1 毫秒。该指标直接影响多振镜并行加工的协同性，若同步时间差过大，会导致不同区域刻蚀进度不一致，出现局部过刻或漏刻；通过精准的控制系統时序调控，可确保多振镜 “同起同停、同速扫描”，提升整体加工效率与质量稳定性。

4. 刻蚀深度偏差 $\leq 10\%$ 设计值：指实际刻蚀深度与设计深度的差值占设计深度的比例不超过 10%。例如设计深度为 $20\text{ }\mu\text{m}$ 时，实际深度需控制在 $18\text{--}22\text{ }\mu\text{m}$ 范围内，该指标是保障产品功能的关键——如金属导电层刻蚀过深会破坏基底，过浅则影响导通性；标准通过工艺参数调整（如功率、扫描速度）与补刻验证，确保深度偏差符合设计要求。

5. 环境适应性（温度 $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 85\%$ 无凝露、供电波动 $\leq \pm 10\%$ ）：该指标规定设备稳定运行的环境边界条件。温度过高会导致激光器功率衰减、振镜驱动模块过热，过低则影响电气系统响应速度；湿度过高易引发光路部件受潮发霉，供电波动过大会导致控制系统紊乱；明确环境要求可确保设备在不同工厂场景下的稳定性，减少因环境因素导致的故障停机。

六、主要试验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

6.1、主要试验（验证）分析

项目试验（验证）围绕 “精度、协同性、工艺适配性、安全性” 四大核心维度展开：在精度验证方面，通过光学显微镜、激光干涉仪等设备，检测单振镜线性度误差、相邻振镜拼接偏差，确保符合指标要求；在协同性验证方面，采用软件模拟多振镜运动轨迹，实测同步时间差与扫描区域拼接误差，验证多振镜协同控制效果；在工艺适配性验证方面，针对不锈钢、玻璃、塑料等典型材料，按标准参数加工并检测刻蚀轨迹连续性、边缘毛刺情况，验证工艺参数的合理性；在安全性验证方面，模拟防护装置开启、急停触发等场景，检测激光输出是否自动停止、急停响应是否在 1s 内，确保符合 GB/T 5226.1、GB/T 7247.1 安全要求。整体试验（验证）形成 “指标检测 - 问题整改 - 二次验证” 闭环，确保标准技术要求的可落地性。

6.2、技术经济论证

技术层面，项目通过制定多振镜协同控制、光路调控、工艺参数等核心技术要求，填补行业标准空白，解决当前设备精度不足、协同性差、工艺混乱等问题，推动多振镜头激光刻蚀技术从 “非标准化” 向 “标准化” 升级，提升行业整体技术水平；同时，标准明确的安全防护要求可降低激光辐射、电气故障等安全风险，保障生产安全。

经济层面，标准实施后可减少行业“重复研发、反复调试”成本——设备制造商无需再针对不同客户需求单独设计参数，下游企业可直接按标准参数调试工艺，缩短投产周期；此外，多振镜并行加工技术可提升加工效率 30% 以上（相较于单振镜设备），减少设备投入数量，降低企业固定资产投资，同时通过缺陷管控减少材料浪费，进一步降低生产成本。

6.3、预期的经济效果

对设备制造行业而言，标准为企业统一的技术研发与生产依据，有助于提升产品竞争力，推动行业集中度提升，头部企业可依托标准化技术拓展市场份额，带动产业链上游激光器、振镜组件等核心部件产业升级，形成“设备 - 部件 - 应用”协同发展的产业生态。

对下游应用行业而言，标准化设备可大幅缩短工艺调试时间，提升生产效率，同时稳定的加工质量可减少不良品率，降低返工成本；以新能源电池行业为例，多振镜激光刻蚀机可提升极片加工效率，助力电池厂商扩大产能，降低单位电池制造成本，增强产品市场竞争力。

从长期来看，标准的实施将推动激光刻蚀技术在电子、新能源、航空航天等领域的广泛应用，带动相关产业技术进步与产值增长，同时通过统一技术语言，降低国内外技术交流与贸易壁垒，助力我国多振镜头激光刻蚀设备走向国际市场，提升我国在高端装备制造领域的话语权。

七、标准水平分析

7.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。

7.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

7.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

7.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

八、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十二、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2025 年 10 月