

# 海目星激光科技集团股份有限公司

## 关于公司在中红外飞秒激光技术及其在医疗应用领域关键技术取得重大突破的公告

本公司董事会及全体董事保证本公告内容不存在任何虚假记载、误导性陈述或者重大遗漏，并对其内容的真实性、准确性和完整性依法承担法律责任。

### 重要内容提示：

海目星激光科技集团有限公司（以下简称“公司”）近期在中红外飞秒激光（国内把波长超过  $5\ \mu\text{m}$  的中红外称为长波红外）关键技术及其医疗领域应用中取得了重大突破。

公司委托四川省科技协同创新促进会在成都组织行业专家，对公司完成“高功率宽带可调谐长波红外飞秒激光系统”项目进行了科学技术成果评审，同时委托科学技术部西南信息中心以及 CNAS（中国合格评定国家认可委员会）等第三方权威评审机构对公司该项产品的科学技术研究成果、学术成果以及产品进行了科学技术成果鉴定、学术成果（鉴定）国内外查新和产品实测，并于近日出具了相关权威报告。现将相关情况公告如下：

### 一、技术研究背景概述

中红外飞秒激光研究是前沿的科研领域，早在 30 年前科研界已经提出基于中红外波长的分子强共振进行微创切割治疗的想法，其相关研究成果发表在 Nature 371, 416–419 (1994) 上。但是由于 30 年前还没有真正的中红外飞秒激光器，该工作是利用大型自由电子激光器“仿制”输出了中红外超快脉冲通过调谐各个中红外波长对生物组织相互作用进行的研究。

2-20  $\mu\text{m}$  的中红外属于一种非常特殊的电磁波波段，它和我们常常用到的可见光和近红外波长不同，几乎所有分子的共振峰都落在中红外波段。分子共振是指在正常情况下的分子不是静止不动，而是在做规律的简谐振动，它在做拉伸、旋转、扭曲运动，而这些简谐共振都具有特定的频率、能量和波长，因此这些特异性的共振波长被称为“分子指纹峰”，这些频率就对应了中红外波长。而生物分子也有各类特异性的指纹共振峰，并且都落在中红外波长范围内。因此通过对不同分子共振峰的中红外激光辐照，可使分子结构发生改变。

由于这一特性使得近年来中红外飞秒激光开始被应用到生物医学中，但大部分的研究尚集中在生物分子的光谱学探测领域，还未开展中红外飞秒脉冲与生物组织作用的相关研究。更特殊的是 6  $\mu\text{m}$  到 9  $\mu\text{m}$  的中红外波段分别与软组织（如脑、眼、真皮）和硬组织（如骨骼和牙齿）等富含的蛋白质酰胺和磷酸盐基团形成强共振峰。因此，理论研究已经证明 6  $\mu\text{m}$  到 9  $\mu\text{m}$  的中红外激光可与生物组织发生剧烈的热机械或热化学反应，尤其是特异性的中红外波长可瞄准生物胶原蛋白共振峰，实现生物组织的胶原蛋白再生和有效刺激筋膜层收缩，达到皮肤胶原新生和收缩提拉的效果。

因此结合理论基础和实验结果，公司基于高功率 6  $\mu\text{m}$  至 9  $\mu\text{m}$  中红外飞秒激光，通过热机械或热化学效应使组织由致密的规则结构转变为疏离的非定型结构，再通过气化分离的组织，可实现空间严格受限的精准局域化消融，提高组织切割效率，最小化组织的横向损伤，从而实现仅有细胞级损伤的微创消融效果。同时，飞秒（ $10^{-15}\text{s}$ ）量级的脉冲宽度使激光与组织作用的时间远远小于皮秒（ $10^{-12}\text{s}$ ）量级的热扩散时间，因此高度局域化的热量积累不会扩散到周围的组织，可极大的提升和优化微创效果。

同时，相比于相对成熟的可见光和近红外激光，中红外激光能在同等脉冲强度下提供更大的原子有质动力和更强的场隧穿电离，因此中红外飞秒激光源在超快电子衍射成像、强场分辨红外光谱学、超快分子结构探测、拍赫兹电子器件以及产生孤立的阿秒脉冲等领域中也具有重要的应用价值；另一方面，由于绝大多数气体分子的特征共振吸收峰都在 3-15  $\mu\text{m}$  的中红外波段，且中红外波长包含了两个重要的大气窗口，即 3-5  $\mu\text{m}$  和 8-14  $\mu\text{m}$  波长，因此，高功率宽带可调谐中

红外激光器是呼出气体疾病检测、红外高光谱成像、工业标准气体实时监测、环境气体分子精准遥感、全新信道高速信号传输和大气空间通讯等应用的理想工具。

## 二、关键技术存在的主要瓶颈

早在 1994 年科学界依赖大型自由电子激光设施仿制发出中红外超快激光（占地数公里，造价在百亿元量级、且需高昂的使用费和维护费）初步证明了 6-6.4  $\mu\text{m}$  的中红外超快激光的微创切割效果明显优于例如波长在 3  $\mu\text{m}$  的其他激光器。然而近 30 年内虽然全球有多个国家在该领域不断研究，但始终受限于 6 至 9  $\mu\text{m}$  高功率中红外飞秒激光的缺失和组织共振消融的机理不明，导致基于中红外飞秒激光的微创消融手术还未被实现，其主要瓶颈为：

1、**功率不足**：中红外飞秒激光的研究是新兴的科研领域，其现有功率水平仍受限于几十到百 mW 量级，距离被证明可进行高效切割的自由电子激光设施还有一个量级的功率差距，无法实施高效消融；

2、**无法调谐**：各类病灶组织富含酰胺蛋白和磷酸盐等组分，对应 6 至 9  $\mu\text{m}$  多个共振峰，需要通过中红外可调谐的多个波长激发多个共振峰实现最大的消融效率和最小的横向损伤，而现有的中红外飞秒激光缺乏多波长调谐的能力；

因此，针对强场物理、光谱探测，特别是生物组织微创治疗等领域的需求，亟需研究和开发具备 W 级功率、飞秒级冲宽度、宽带可调谐、稳定紧凑的中红外台式激光装置。

## 三、研发成果

截至本公告披露日，公司已经成功开发长波红外连续可调谐的台式飞秒激光器（LWIRFS），该激光器调谐范围为 5-11  $\mu\text{m}$ ，最大输出功率>1 W，最大脉冲能量>2  $\mu\text{J}$ ，脉宽<300 fs，重复频率为 500 kHz。

该研发成果为全球开创性产品，目前全球尚无对标产品。

#### 四、该研发成果取得的第三方权威评审鉴定结果

(一) 四川省科技协同创新促进会科技成果技术说明和专家委员会评审结果如下：

##### 科技成果技术说明：

高功率宽带可调谐长波红外飞秒激光系统凭借其独特的飞秒时间分辨率、可调谐性和长波红外光子能量，在诸多领域展现出广阔的应用前景。海目星团队在近十年的理论研究基础上，历经一年半时间完成相关工程化技术攻克和集成封装开发以及测试，顺利研制出高功率宽带可调谐长波红外激光系统，该系统在核心光路设计、关键非线性晶体材料生长、控制系统设计、机械结构设计、集成封装设计等诸多方面均取得了原创性的技术成果。

##### 专家委员会评审结果：

1、该项目技术资料符合科技成果评价要求。

2、项目面向医疗大健康重大产业发展需求，针对当前高功率宽带可调谐长波红外飞秒激光系统在功率水平、谱宽覆盖范围和调谐灵活性等方面存在的技术瓶颈，主要开展了长波红外参量啁啾脉冲放大器、基于平顶泵浦提升中红外参量啁啾脉冲转换效率、基于  $1\ \mu\text{m}$  泵浦的长波红外倍频程参量放大等相关工程化技术和集成封装的开发，成功研制出高功率宽带可调谐长波红外激光系统。成果技术主要创新点如下：

(1) 提出了“强近红外宽带预放大和基于薄晶体的中红外主放大”相结合的方法，实现了  $5\sim 11\ \mu\text{m}$  长波红外宽带可调谐飞秒脉冲输出；

(2) 采用了新型大能带隙的中红外非线性晶体，克服了传统晶体的强双光子吸收效应，将长波红外飞秒激光产品的平均功率由百  $\text{mW}$  量级提升至  $\text{W}$  量级；

(3) 基于自主研发的软件系统，实现了对激光系统的波长、功率等关键参数的智能控制。

3、项目获得国家级及省部级科技计划项目 10 项资助，申请发明专利 10 项，其中授权 2 项；申请实用新型专利 5 项，其中授权 1 项；外观设计专利授权 1 项；发表相关 SCI、EI 学术论文 7 篇；培养专业技术人才 10 余名。

**专家组一致认为该项目实施的技术指标达到国际先进水平。**

### **（二）科技部西南信息中心出具的查新报告结论如下：**

综合分析检索到的相关文献中，见有基于宽带高反镜色散补偿的高功率克尔透镜锁模飞秒激光器、高功率低噪声飞秒掺镱光纤激光器，基于全保偏光纤的高功率高能量飞秒激光器及放大器的研究等相关文献报道，但本项目所述通过计算自相位调制产生白光中的啁啾量，设计了双马丁内兹压缩器，在每级中红外参量放大器前加入马丁内兹光栅对和共焦系统，在两级参量放大器中各自精细调节近红外信号脉冲(1.16  $\mu\text{m}$  和 1.23  $\mu\text{m}$ )的时域重合，通过调谐晶体相位匹配角，可得到多对其他波长的双波长输出，同时采用共线放大的设计的“高功率长波红外飞秒激光器”，在所检文献以及时限范围内，国内外未见相同文献报道。本项目具有新颖性。

### **（三）CNAS（中国合格评定国家认可委员会）实测结果：**

经测试，检测结果满足欧盟 RoHS 指令 2011/65/EU 及其修订指令 (EU)2015/863 要求的限值。

## **五、该研发成果的技术适用范围和应用前景**

- 1、角膜微创切割和移植；
- 2、动脉粥样硬化微创消融；
- 3、胰腺肿瘤选择性消融；
- 4、皮肤剥脱式和非剥脱式微创治疗；
- 5、胶原再生类年轻化医美应用；
- 6、毛发再生治疗；
- 7、固体材料中激发高次谐波，产生真空紫外甚至极紫外辐射；

- 8、固体材料中产生高通量阿秒脉冲；
- 9、高效率太赫兹激发；
- 10、泵浦探测束缚态电子超快动力学和强场分子电离的研究；
- 11、二维红外光谱探测；
- 12、分子结构的时间分辨成像；
- 13、纳米器件中的超快电子隧穿和拍赫兹（Petahertz）电子开关多组分气体灵敏探测；
- 14、有机材料、聚合材料和氧化物材料的精密加工。

## 六、目前关键技术突破后的阶段性成果情况

1、利用特殊中红外飞秒激光对角膜进行消融，可以得到切口边缘光滑平整的切口，同时实验证明该技术的使用在术后三天角膜上皮层愈合，七天恢复至基线水平。精准高效的对角膜后续损伤极小的中红外飞秒消融激光技术有望成为未来眼科治疗和角膜移植手术中的新型手术工具；

2、实验证明利用特定中红外波长选择性消融正常胰腺组织和胰腺肿瘤时，对胰腺肿瘤可以做到更高效的消融效率和对肿瘤组织的缩小作用；

3、针对动脉粥样硬化，实验证明利用胆固醇油酸酯（动脉粥样硬化斑块主要成分）和动脉壁在  $5.75\ \mu\text{m}$  吸收峰的差异进行了选择性消融实验比较：胆固醇油酸酯在  $5.75\ \mu\text{m}$  飞秒激光作用下实现了迅速的消融，而动脉血管没有观察到明显损伤，这一差异性为临床动脉粥样硬化的实施提供了更有利的治疗工具；

4、实验证明中红外特异性的共振峰可以使得生物组织胶原蛋白再生效果显著，且由于飞秒脉冲时间远小于皮肤组织的热弛豫时间，将该过程的附带损伤控制到最小；

5、实验证明经过中红外飞秒激光强照射，其与毛囊腺体周围各类组织形成强共振，使毛囊腺体受到刺激从而改变毛囊的内部环境，促进毛发的再生和生长。且在中红外飞秒激光的照射下毛发的生长速度明显加快，毛发粗度显著增加，毛发密度也显著增加；

6、实验证明特殊的中红外飞秒激光通过强共振刺激皮下筋膜层，可达到高效而显著的皮肤提拉的效果；

7、波长在（5-11  $\mu\text{m}$ ）的长波红外，大大降低产生隧穿电离的能量阈值，同时长波红外几乎不产生多光子吸收，这将极大的提升材料的损伤阈值；

8、5-11  $\mu\text{m}$  的长波中红外波段相较市面中的 2-4  $\mu\text{m}$  波长，具有更多的分子指纹峰，吸收光谱也更尖锐和精细，是进行分子激发和气体探测的理想波长；

9、单个光谱宽度为 100-1000 nm，利于同时探测多组分气体和分子，是窄带调谐激光器不具备的功能；

10、脉冲宽度在 300 fs 范围，可提供高达 10 mW 的峰值功率，利于激发固体材料的隧穿电离和产生高效的非线性频率转换（如激发固体高次谐波和太赫兹产生），是其他产品所不具备的；

11、100-300 fs 输出也是进行中红外超快泵浦探测和二维/多维红外光谱分析的理想脉冲宽度；

12、严格的飞秒脉冲宽度和优良的飞秒脉冲形貌可大幅提高医疗器件和航空精密器件的加工精度，其他中红外产品不具备此特点；

13、W 量级的中红外平均功率可大幅提升强场物理的产出通量和分子探测的信噪比，这是 mW 级别的中红外激光所不能提供的，配合 mW 量级的峰值功率，是强场光学和物化实验的理想工具；

14、W 量级的中红外平均功率也为研究分子解离提供了足够的局部动力，以及保障了高分子聚合物精密加工（如生物可降解支架）的加工速度；

15、载波包络相位（CEP）被动锁定，具有长期稳定的相位特性，这是电离激发、强场探测、场分辨光谱测量、阿秒光学、超快电子开关严格要求的参数指标，是其他中红外激光所不具备的；

16、近红外泵浦和中红外输出一体机集成，无需分体式调试、安装和维护，也为长期稳定输出提供了保障。

## 七、该项技术的创新成果的意义以及对公司的影响

公司在中红外飞秒激光技术以及在医疗应用领域关键技术上实现的重大突破，充分体现了公司的自主研发及持续创新能力，为公司向医疗激光、医疗大健康以及医疗美容领域布局提供了强有力的技术保障。公司将依托该技术的不断创新，按照以下步骤重点实施逐步推进产业化进程：

1、争取尽快完成相关医疗器械产品的临床实验，并获得相关产品的二类以及三类医疗许可证；

2、相关医疗器械产品在获取二类以及三类医疗许可证后，公司争取在三到五年内实现医疗相关产业的产业化布局和规模化生产。

如果以上计划能顺利推进和实现，将可为公司带来持续的长期运营收益，预计该项目将对公司未来的业绩和利润的增长产生积极影响。

## 八、风险提示

中红外飞秒激光技术在不同医疗领域应用的相关产品尚需要完成临床实验后，获得二类和三类医疗许可证才可以实现市场销售，临床实验时间和医疗器械许可证的获得时间尚具有不确定性，因此不会对公司当期的营收和利润产生影响，敬请广大投资者注意投资风险。

特此公告。

海目星激光科技集团股份有限公司

董事会

二零二四年五月二十一日