

行业研究/深度研究

2018年09月19日

行业评级:

机械设备

增持(维持)

激光器分类详解：光纤激光器革故鼎新

激光设备产业链系列报告之六

章诚 执业证书编号：S0570515020001
研究员 021-28972071
zhangcheng@htsc.com

肖群稀 执业证书编号：S0570512070051
研究员 0755-82492802
xiaoqunxi@htsc.com

李倩倩 执业证书编号：S0570518090002
研究员 liqianqian013682@htsc.com

关东奇 021-28972081
联系人 guandongqilai@htsc.com

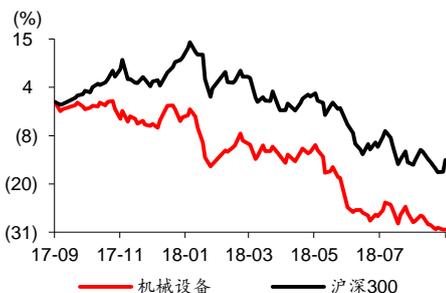
黄波 0755-82493570
联系人 huangbo@htsc.com

时彧
联系人 shiyu013577@htsc.com

相关研究

- 1 《机械设备：智能运维已至，看好龙头先发优势》2018.09
- 2 《机械设备：刻蚀设备：半导体设备国产化的前沿阵地》2018.09
- 3 《机械设备：订单饱满，半导体设备产业调研更新》2018.09

一年内行业走势图



资料来源：Wind

光纤激光器替代优势明显，光纤激光器渗透率提升空间广阔

光纤激光器具有输出激光光束质量好、电光效率高、可加工材料范围广、综合运行成本低等技术性能和经济性能等方面的优势。相比二氧化碳激光器，光纤激光器光转化效率更高，使用成本较低，根据 OFweek 激光网的测算可得，光纤激光器的使用成本为 23.4 元/小时，二氧化碳激光器的使用成本为 39.1 元/小时。相比 YAG 激光器，光纤激光器功率高、效率快且免调节、免维护，或将逐渐替代 YAG 激光器。光纤激光器渗透率提升空间广阔。

光纤激光器分类方法多样，细分复杂

光纤激光器分类方法中较为常见的是按工作方式分类、按波段范围分类及按介质掺杂稀土元素分类。按照工作方式可以分为锁模、调 Q、准连续及连续光纤激光器；按照波段范围分类，光纤激光器主要发射近红外光，但为了实现不同应用需要，光纤激光器通过倍频可以输出可见光(绿光)；通过在光纤中掺氟化物可以输出中红外光；按照介质掺杂稀土元素分类可以分为掺镱、掺铒、掺钕光纤激光器，不同的稀土元素工作的波长范围不同，但都处于近红外范围内。

光纤激光器应用领域广阔，细分种类可满足特殊需求

光纤激光器广泛运用于工业加工、光纤通信、娱乐、军事武器、航空航天等领域。根据功率大小、工作方式、波段范围及掺杂稀土元素细分后的光纤激光器种类逾 100 种，可以满足细分行业应用的特定需求。例如中红外波段对于人眼来说是安全的，且在水中能够被很强的吸收，是理想的医用激光光源；掺铒光纤由于其合适的波长可以打开光纤通信窗口，在光纤通信领域应用较广；绿光激光由于其可见性，在娱乐与投影等方面必不可少。

CO2 激光器使用成本高，YAG 激光器能量转换效率低，或被部分替代

CO2 激光器光转化效率低，使用成本高，根据 OFweek 激光网的测算数据显示，光纤激光器的使用成本为 23.4 元/小时，二氧化碳激光器的使用成本为 39.1 元/小时；CO2 在厚度小于 6mm 板材切割方面速度逊于光纤激光器。在切割方面，YAG 激光器加工功率低、能耗比大且切割速度慢；在焊接方面，与 YAG 激光器相比，准连续光纤激光器可以在微秒至毫秒的脉宽下提供数焦耳到数十焦耳的脉冲能量，相当于同时具备 YAG 激光器的钻孔和焊接优势以及 CO2 激光器的切割能力，或将逐步替代 YAG 激光器。

半导体激光器现阶段技术存在局限，替代光纤激光器尚需时日

研究表明直接半导体激光器具有较强的材料加工应用潜力，相比光纤激光器和二氧化碳激光器具有更好的切割速度和切割质量。但半导体激光器最大的缺点在于其在高激光功率时光束质量低下，因此在未来数年，半导体激光器不太可能使整个材料加工领域发生革命性变化或取代其它光源。

风险提示：宏观经济增速不及预期，原材料价格上涨风险，高功率激光器研发不及预期。

正文目录

光纤激光器应用领域广阔，细分种类可满足特殊需求.....	4
脉冲激光器峰值功率高，准连续激光器加工速度快.....	4
连续光纤激光器是高功率激光器的主要产品.....	5
准连续光纤激光器可双模式运转，显著提升加工速度.....	5
脉冲光纤激光器可压缩能量，输出高峰值功率.....	6
近红外光是主流，绿光和远红外光各具特性.....	7
中红外光纤激光器对人眼安全，是理想医用激光光源.....	7
绿光光纤激光器光谱亮度高，转换效率高达 84%.....	9
掺镱光纤是主导，掺铒掺铥光纤工作波长各显其能.....	9
掺镱光纤激光器是激光器产业中的主导力量.....	10
掺铒光纤激光器是独特的光纤通信窗口.....	11
掺铥光纤激光器可改善含水材料的吸收特性.....	11
光纤激光器性能优势突出，替代效果明显.....	13
二氧化碳激光器光转化效率低，使用成本高.....	13
YAG 激光器能量转换效率低，或被逐渐替代.....	14
半导体激光器现阶段技术仍存局限.....	15

图表目录

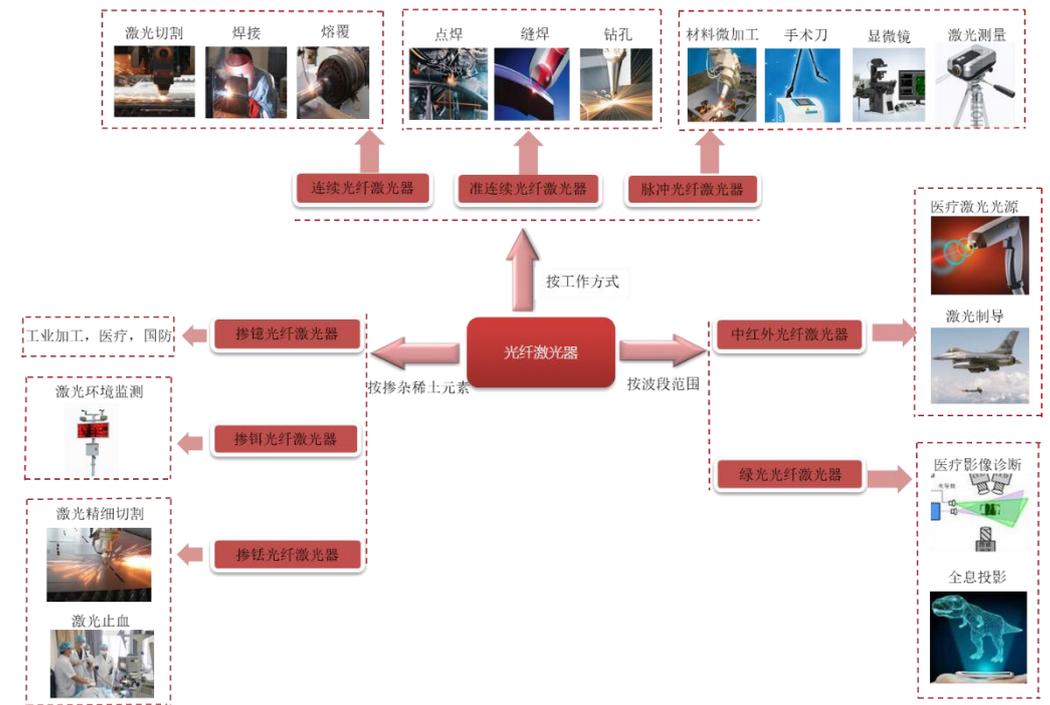
图表 1： 激光器细分分类对应相关行业应用示意图.....	4
图表 2： 光纤激光器工作方式及脉冲宽度的情况.....	4
图表 3： IPG 单模连续光纤激光器 YLS 系列.....	5
图表 4： 锐科激光单模连续光纤激光器.....	5
图表 5： IPG 掺铥准连续光纤激光器 TLM 系列.....	5
图表 6： 锐科激光准连续光纤激光器系列.....	5
图表 7： IPG 纳秒调 Q 脉冲激光器 ELPN 系列.....	6
图表 8： 锐科激光调 Q 脉冲光纤激光器系列.....	6
图表 9： IPG 掺铥飞秒脉冲激光器 YLPF 系列.....	6
图表 10： IPG 光纤泵浦锁模皮秒激光器 ELPP 系列.....	6
图表 11： 不同光纤波长情况一览.....	7
图表 12： 按波长分类的激光器情况.....	7
图表 13： 掺杂不同稀土离子光纤激光器的最大输出功率与发射波长之间的关系图.....	8
图表 14： IPG 纳秒脉冲中红外光纤激光器 CLPN 系列.....	8
图表 15： IPG 连续窄线宽可调谐中红外激光器 FLT 系列.....	8
图表 16： IPG 连续绿光单频光纤激光器 GLR 系列.....	9
图表 17： 常用掺杂纤芯中稀土离子的工作波长.....	10
图表 18： 国内外公司主要掺镱光纤产品对比.....	10

图表 19: IPG 1 万瓦掺镱光纤激光器 YLS-CL 系列	11
图表 20: IPG 掺镱高功率调 Q 激光器 YLPN 系列	11
图表 21: IPG 掺铒光纤脉冲激光器 ELPN 系列	11
图表 22: IPG 掺铒高功率连续激光器 ELS 系列	11
图表 23: IPG 掺铟单模连续光纤激光器 TLR 系列	12
图表 24: IPG 掺铟准连续光纤激光器 TLM 系列	12
图表 25: 液态水在不同波长的吸收特性	12
图表 26: 二氧化碳激光器结构	13
图表 27: 二氧化碳激光器发光过程简要示意图	13
图表 28: 光纤激光器与二氧化碳激光器对比	14
图表 29: 光纤激光器与二氧化碳激光器使用成本对比	14
图表 30: Nd: YAG 激光器简易结构示意图	15
图表 31: YAG 激光器与光纤激光器对比	15
图表 32: 用作泵浦源的半导体激光器产品	16
图表 33: 半导体激光器简易结构示意图	16
图表 34: 直接半导体激光器应用	17
图表 35: 直接半导体激光器、光纤激光器和二氧化碳激光器切割工艺对比	17

光纤激光器应用领域广阔，细分种类可满足特殊需求

光纤激光器有多种分类方法，其中较为常见的是按工作方式分类、按波段范围分类及按介质掺杂稀土元素分类。激光器通常也是根据这三个分类中的一至两个来命名的，例如 IPG 的 YLM-QCW 系列即翻译为准连续掺镱光纤激光器。光纤激光器应用领域广泛，不同细分的激光器特质不同，适合的应用领域各异。例如中红外波段对于人眼来说是安全的，且在水中能够被很强的吸收，是理想的医用激光光源；掺铒光纤由于其合适的波长可以打开光纤通信窗口，在光纤通信领域应用较广；绿光激光由于其可见性，在娱乐与投影等方面必不可少。

图表1：激光器细分分类对应相关行业应用示意图

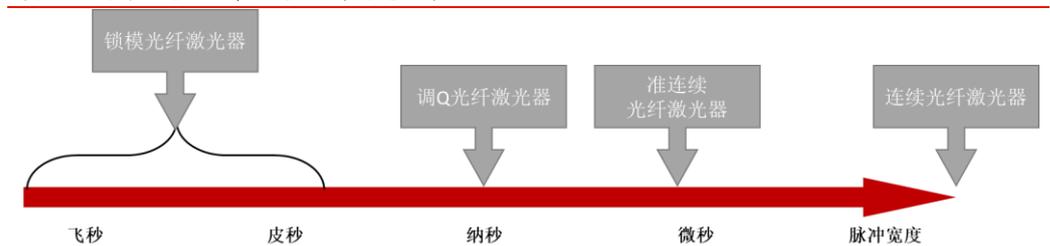


资料来源：OFweek 激光网，华泰证券研究所

脉冲激光器峰值功率高，准连续激光器加工速度快

光纤激光器按照工作方式可以分为锁模光纤激光器、调 Q 光纤激光器、准连续光纤激光器及连续光纤激光器。实现脉冲光纤激光器的技术途径主要有调 Q 技术、锁模技术和种子源主振荡功率放大(MOPA)技术。锁模技术可以实现飞秒或皮秒量级的脉冲输出，且脉冲的峰值功率较高，一般在百万瓦量级，但是其输出的脉冲平均功率较低；调 Q 光纤激光器可以获得脉宽为纳秒量级、峰值功率为千瓦量级、脉冲能量为百万焦量级的脉冲激光。准连续激光器的脉冲宽度为微秒级，而连续激光由泵浦源持续提供能量，长时间地产生激光输出。

图表2：光纤激光器工作方式及脉冲宽度的情况



资料来源：OFweek 激光网，华泰证券研究所

连续光纤激光器是高功率激光器的主要产品

连续激光器的激光输出是连续的，广泛运用于激光切割、焊接和熔覆领域。激光泵浦源持续提供能量，长时间地产生激光输出，从而得到连续激光。连续激光器中各能级的粒子数及腔内辐射场均具有稳定分布。其工作特点是工作物质的激励和相应的激光输出，可以在一段较长的时间范围内以连续方式持续进行，以连续光源激励的光纤激光器即为连续光纤激光器。相比其他类型激光器，连续光纤激光器能达到相对较高的功率，IPG 已经生产出单模 2 万瓦的连续光纤激光器，较常用于激光切割、焊接和熔覆领域。

图表3: IPG 单模连续光纤激光器 YLS 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

图表4: 锐科激光单模连续光纤激光器



资料来源: 锐科激光官网, 华泰证券研究所

准连续光纤激光器可双模式运转，显著提升加工速度

准连续激光器可以同时**在连续和高峰值功率脉冲模式下工作**。据 IPG 官网,传统的连续 (CW) 激光的峰值和平均功率在 CW 和 CW/调制模式中总是相同的, 而准连续激光器在脉冲模式下的峰值功率要比平均功率高出 10 倍。因此, 这样能够在从几十赫兹到几千赫兹的重复频率下产生具有高能量的微秒和毫秒脉冲, 并且可实现数千瓦的平均功率和峰值功率。

图表5: IPG 掺铥准连续光纤激光器 TLM 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

图表6: 锐科激光准连续光纤激光器系列



资料来源: 锐科激光官网, 华泰证券研究所

准连续光纤激光器将提供更高的电光转换效率, 并显著提高加工速度及生产效率。据 OFweek 激光网, 准连续光纤激光器与其它激光系统相比可提供十倍的光电转换效率增量, 在被动式冷却方案下能够实现大于 30% 的电光转换效率。由于其较高的平均功率和脉冲重复频率, 其加工速度是大多数激光器的 3-4 倍。显著降低的电力费用, 没有消耗品及零配件, 低维护需求, 没有预热时间要求, 影响叠加将带来成本优化。

脉冲光纤激光器可压缩能量，输出高峰值功率

脉冲光纤激光器又分为调 Q 光纤激光器和锁模光纤激光器。

调 Q 技术就是要使激光能量压缩在很短的时间间隔之内，形成高峰值功率和窄脉宽的激光输出。调 Q 的原理是在激光器内加入一个损耗可调节器件，在大部分时间区域内，激光器的损耗很大，几乎无光输出，在某一个较短的时间内，减小器件的损耗，从而使激光器输出一个强度较高的短脉冲。Q 开关是调 Q 技术的核心器件，可以通过主动或者被动方式实现调 Q 光纤激光器。

图表7： IPG 纳秒调 Q 脉冲激光器 ELPN 系列



资料来源：IPG 官网，华泰证券研究所

图表8： 锐科激光调 Q 脉冲光纤激光器系列



资料来源：锐科激光官网，华泰证券研究所

调 Q 脉冲光纤激光器具有高峰值功率、高单脉冲能量、光斑直径大小可选等特点，广泛应用于非金属、具有高反特性的金、银、铜、铝及非高反材料不锈钢等材料的打标、精密加工、图文标记、深雕刻，薄片精密切割，钻孔等领域。在打标应用方面，相比 CO2 激光器成本更低廉，性能更稳定。

锁模脉冲光纤激光器即通过主动锁模或者被动锁模方法来产生超短脉冲。受限于调制器的响应时间，主动锁模产生的脉宽较宽一般为皮秒量级；被动锁模利用的是被动锁模器件，响应时间很短，可以产生飞秒量级的脉冲。锁模的简要原理是采取合适的措施，使谐振腔中相互独立的纵模在相位上存在一定的关系，即使得相邻纵模的位相差为一常数，则激光器将会输出脉宽极窄、高峰值功率的脉冲。

图表9： IPG 掺镱飞秒脉冲激光器 YLPF 系列



资料来源：IPG 官网，华泰证券研究所

图表10： IPG 光纤泵浦锁模皮秒激光器 ELPP 系列



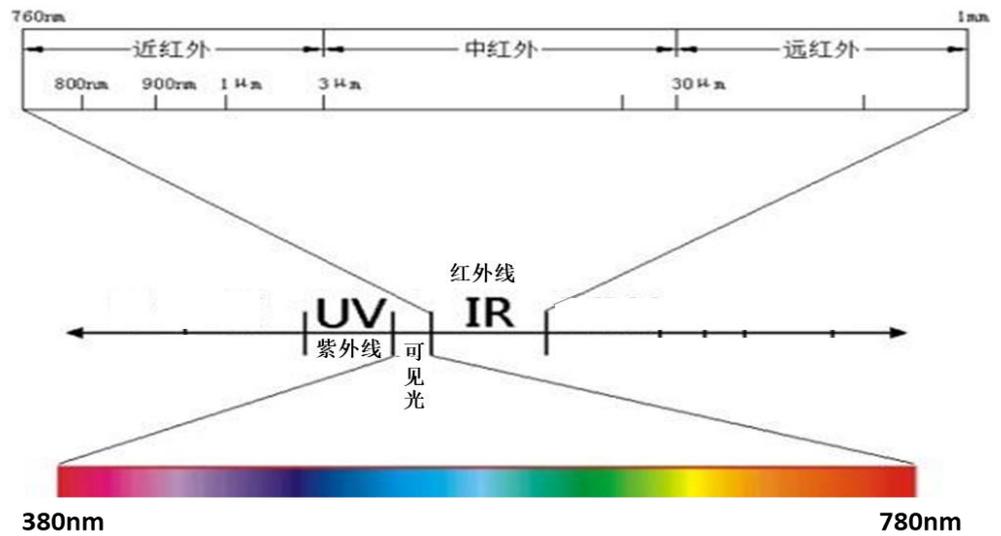
资料来源：IPG 官网，华泰证券研究所

锁模脉冲激光器具有出色的光束质量，超短脉宽和高脉冲能量等优点，适用于各种材料的微加工工艺，包括金属，玻璃，陶瓷，硅和塑料。在医疗领域，锁模激光器也被用于激光手术刀或眼科手术之中，也有使用例如光化学效应对于某些皮肤护理。由于具有短脉冲和高峰值功率的特点，锁模激光器广泛应用于各种方法的成像，显微镜和光谱学中，还应用于集成电子电路上的电光采样测量及距离测量和频率计量计时等领域。

近红外光是主流，绿光和远红外光各具特性

光纤激光器直接输出的激光多为波长在 960nm-2.05μm 之间的近红外光。激光器大类按照波长由短到长的顺序涵盖了从 X 射线到远红外的各类激光器，波长从 0.001 纳米到 1000 微米不等。其中光纤激光器直接输出的激光主要在近红外部分。但为了实现不同应用需要，光纤激光器通过倍频可以输出可见光，主要应用是绿光；通过在光纤中掺氟化物可以输出中红外光。

图表11：不同光纤波长情况一览



资料来源：OFweek 激光网，华泰证券研究所

图表12：按波长分类的激光器情况

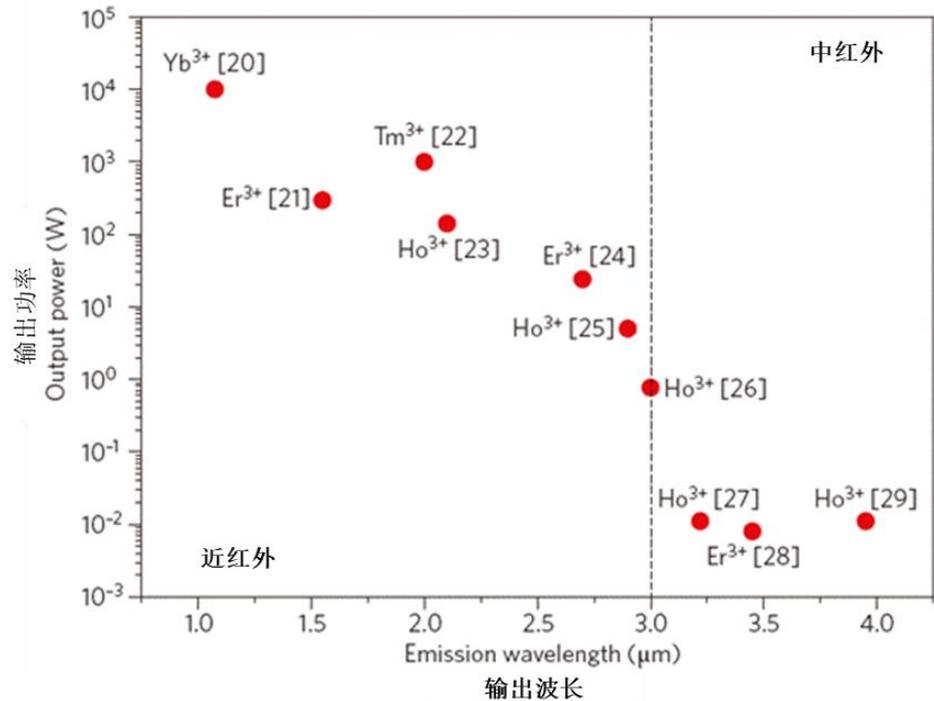
名称	波长范围	主要产品
远红外激光器	30~1000 微米	分子气体激光器、自由电子激光器
中红外激光器	3~30 微米	CO2 分子气体激光器
近红外激光器	0.76~3 微米	光纤激光器、CaAs 半导体二极管激光器、部分气体激光器
可见光激光器	380 纳米~780 纳米	红宝石激光器、氦氖激光器、氩离子激光器、氪离子激光器
近紫外激光器	200 纳米~400 纳米	氟分子激光器、氟化氙准分子激光器、氟化氪(KrF)准分子激光器
真空紫外激光器	5 纳米~200 纳米	氩(H)准分子激光器、氙(Xe)准分子激光器
X 射线激光器	0.001 纳米~5 纳米	

资料来源：OFweek 激光网，华泰证券研究所

中红外光纤激光器对人眼安全，是理想医用激光光源

中红外激光的波长主要在 2.3 微米到 3.9 微米左右，需要掺稀土离子的氟化物玻璃光纤介质来激发。从下图光纤激光器红外跃迁产生的荧光光谱中可知，掺钬离子 (Ho³⁺) 及掺铒离子 (Er³⁺) 被在合适的介质条件下被激发可以直接产生中红外激光。氟化物玻璃光纤激光器在 2.3~3.5 μm 波段具有较高的效率和输出功率，而波长超过 3.5 μm，能够满足光纤传输和稀土离子跃迁辐射所需低声子能量的材质非常少。单掺 Ho³⁺ 氟化物光纤激光器在低温下产生 3.9 μm 波段激光，是目前直接输出的最长波长。

图表13: 掺杂不同稀土离子光纤激光器的最大输出功率与发射波长之间的关系图



资料来源: 中国科学院上海光学精密机械研究所, 华泰证券研究所

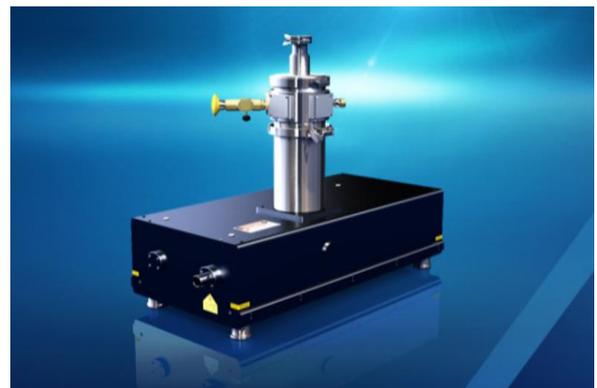
中红外激光器由于其波长特性可打开大气窗口, 在激光制导、定位和测量等方面应用较广。在军事方面, 激光的定向能量和穿过大气传输窗口的远距离传输方面的应用都需要很强的光束能量。在红外导弹对抗当中, 中红外激光器可以获得 3~5 μm 波段的大气传输窗口。数千瓦单模输出的中红外光纤激光器或将进一步大量的应用在反巡航导弹、火箭制导和无人机空域侦查等国防战争平台中。

图表14: IPG 纳秒脉冲中红外光纤激光器 CLPN 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

图表15: IPG 连续窄线宽可调谐中红外激光器 FLT 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

中红外光纤激光器由于其方向性强及人眼安全的特性, 已被广泛运用于医疗领域。中红外激光的波段对于人眼来说是安全的, 且在水中能够被很强的吸收, 由于激光方向性强的特点, 在激光手术中可以达到组织穿透深度浅, 对身体损伤的区域很小, 从而使手术达到高的精度。在现代医学中, 中红外激光在医疗应用中主要是利用光热效应达到治疗或消融病变组织, 已经被广泛地应用于骨科、消化科及泌尿科等, 成为理想的医用激光光源, 用于烧蚀和切割泌尿组织, 汽化和切除衰竭的器官等。在富含脂质、骨骼和含蛋白质的组织切割过程中, 使用中红外激光器都会附带较小的损伤。

绿光光纤激光器光谱亮度高，转换效率高达 84%

光纤激光器通过倍频可获得绿光输出。据 OFweek 激光网，倍频绿光光纤激光器虽然不是严格意义上的绿光光纤激光器，因为其激活介质并不直接释放 532 纳米的激光束，此类型的光纤激光器提供了较窄范围的脉冲持续时间和高达 600 kHz 的重复频率，高光谱亮度的激光源促成了高效的转换，实现 84% 的转换效率及大于 20% 的电光转换效率，且具备升级到 355 和 266 纳米下高功率的可行性。

图表16：IPG 连续绿光单频光纤激光器 GLR 系列



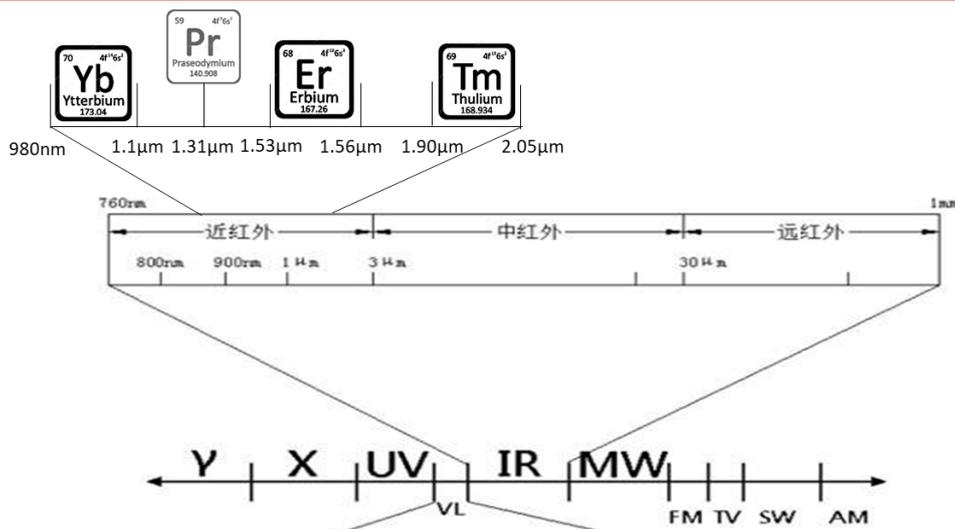
资料来源：IPG，华泰证券研究所

绿光激光器在印刷、医疗、数据存储、军事、生物等领域都有广泛的应用。如 IPG 的绿光光纤激光器可以运用在粒子成像、测速/流量可视化、影像诊断及手术、光学捕获/光学镊子、太阳能电池制造、制造检验&质量控制、全息和干涉测量、娱乐与投影等领域。

掺镱光纤是主导，掺铒掺铥光纤工作波长各显其能

光纤激光器主要采用掺杂稀土元素的光纤作为增益介质，不同稀土元素对应相异的工作波长。掺杂光纤就是向光纤纤芯中掺入杂质，如稀土元素离子，会导致光纤改性并显现出激光效应。其工作原理是泵浦光首先经过耦合系统耦合进入掺杂稀土离子的增益介质，随后掺杂纤芯中的稀土离子吸收泵浦光子能量发生能级跃迁。如元素铒(Er³⁺)、镨(Pr³⁺)、铥(Tm³⁺)、钕(Nd³⁺)和镱(Yb³⁺)等稀土离子都可作为掺杂物制成光纤，随后做成掺杂光纤放大器(XDFA)和光纤激光器(XDFL)，不同的稀土元素工作的波长范围不同，但都处于近红外范围内。

图表17: 常用掺杂纤芯中稀土离子的工作波长



资料来源: IPG 官网, OFweek 激光网, 华泰证券研究所

掺镱光纤激光器是激光器产业中的主导力量

掺镱光纤激光器以其稳定性高、光束质量好、斜率效率高等优势得到较快发展。掺镱光纤具有很多优势,利用掺镱光纤研制的光纤激光器具有较高的斜率效率和光光转换效率,可以在 1 μm 波段得到高功率的激光输出, 因此受到广泛关注并得到飞速发展, 成为激光器产业中的主导力量, 在工业加工、医疗和国防等领域具有很好的应用前景, 锐科激光的大部分激光产品采用的都是掺镱光纤。

图表18: 国内外公司主要掺镱光纤产品对比

公司	采用技术	产品状态/价格	纤芯直径(μm)	包层直径(μm)	纤芯数值孔径 NA
Nufern	超大模场掺镱光纤(三包层)	出售 1030 美元/米	290.0±20.0	400±18	0.110±0.010
Nlight	双包层大模场掺镱光纤	出售	20.0 ± 1.5	400 ± 10	0.070 ± 0.005
长飞光纤	双包层大模场掺镱光纤	出售	20.0 ± 2.0	400 ± 15.0	0.06± 0.01
烽火科技	双包层掺镱光纤	出售	20.0 ± 2.0	400 ± 5.0	0.075 ± 0.005
武汉睿芯	双包层大模场掺镱光纤	出售	20.0 ± 1.5	400.0 ± 10.0	0.065 ± 0.005

资料来源: Nufern、Nlight、长飞光纤、烽火科技、武汉睿芯公司官网, 华泰证券研究所

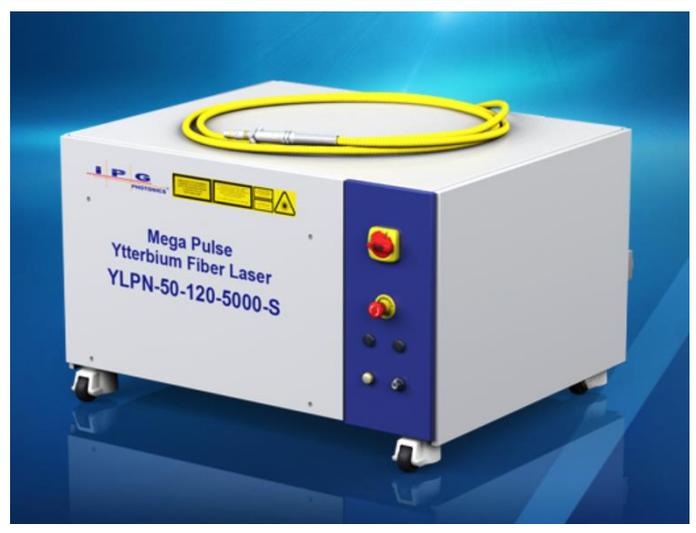
掺镱光纤激光器主要应用于连续激光器及脉冲调 Q 激光器方面。由于镱离子能级结构简单, 粒子损耗较小使激光器在高功率运转情况下有较高的转换效率和较低的热效应, 增益带宽很大(975nm~1200nm)。同时, 镱离子的上能级寿命比较长, 通常在 1 毫秒左右, 这些因素都有利于调 Q 技术, 因此在脉冲激光器方面已实现了超短脉冲输出。在连续激光器方面, 掺镱光纤激光器输出功率已达到万瓦量级。

图表19: IPG 1 千瓦掺铥光纤激光器 YLS-CL 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

图表20: IPG 掺铥高功率调 Q 激光器 YLPN 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

掺铥光纤激光器是独特的光纤通信窗口

掺铥光纤激光器具有人眼安全波长及超高脉冲能量的特点。掺铥光纤激光器可以实现单模运行, 具有极窄的线宽, 良好的单色性和稳定性。铥离子具有较宽的增益带宽, 能加剧激光器腔内多模振荡, 从而实现超短脉冲激光。因其对人眼安全等独有的特点 (“人眼安全”是指该波长为 1.5 μm 的激光器显著低于人眼损伤阈值), 在自由空间光通信、激光雷达、环境检测、工件校准以及工业加工领域有着广泛的实际应用。

图表21: IPG 掺铥光纤脉冲激光器 ELPN 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

图表22: IPG 掺铥高功率连续激光器 ELS 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

掺铥光纤由于其合适的波长, 在光纤通信领域获得越来越广泛的应用。由于掺铥光纤在 1550nm 波长具有很高的增益, 它约 40nm 宽的增益光谱轮廓正对应光纤通信低损耗的最佳窗口, 具有潜在的应用价值。

掺铥光纤激光器可改善含水材料的吸收特性

掺铥光纤激光器具有阈值低、效率高、光束质量好等特点。掺铥光纤激光器是人眼安全波长领域光纤激光器的研究热点, 而且掺铥光纤激光器可以在 S 波段 (150 - 75mm) 工作, 对于开发潜在的通信资源频率空间, 提高光纤通信系统的容量起着十分重要的作用。据 OFweek 激光网, 调 Q 开关和连续掺铥光纤激光器在过去的几年里已经发展到更高的平均功率, 现在已经有一定数量的供应商能提供平均功率为 10W 的商用脉冲激光器。

图表23: IPG 掺铈单模连续光纤激光器 TLR 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

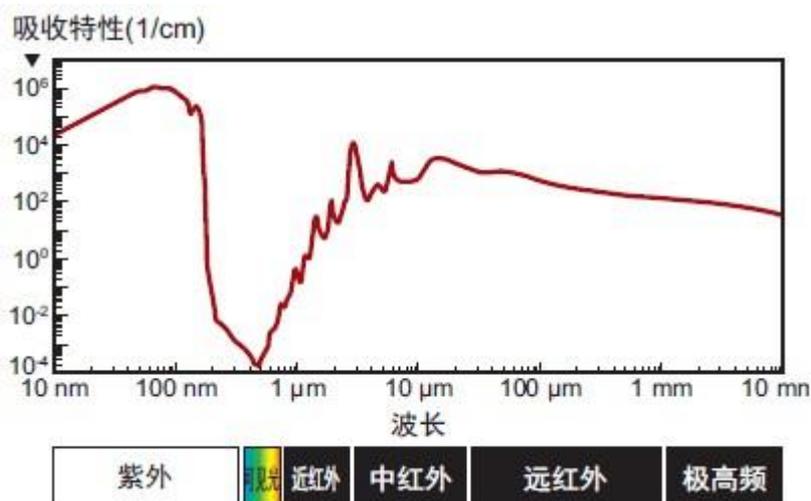
图表24: IPG 掺铈准连续光纤激光器 TLM 系列



资料来源: IPG 官网, 华泰证券研究所

掺铈光纤激光器被广泛应用于激光医疗、激光雷达、空间光遥感等领域。掺铈光纤激光器输出的激光波长位于 $2\mu\text{m}$ 左右。液态水的强吸收带在约 1950nm , 这足够接近标准铈光纤激光器的波长, 从而显著提高吸收特性。水普遍存在于许多有机和无机化合物中, 意味着大量材料改善了 $2\mu\text{m}$ 光谱范围的吸收特性, 因此掺铈光纤激光器被认为是应用于医学、眼睛安全、超快光学、近距离遥感、生物学的比较理想的光源, 具有很好的发展前景。同时在医学的领域方面, 掺铈光纤激光器也有很多方面的应用, 包括加速汽化、超精细的切割工艺、以及在医学中的凝结止血。大功率的掺铈光纤激光器除了可以用于人眼的安全波长和激光雷达光源以外, 还能够当做固态晶体激光器的泵浦源来使用, 进一步来实现波长更长红外激光器的输出。

图表25: 液态水在不同波长的吸收特性



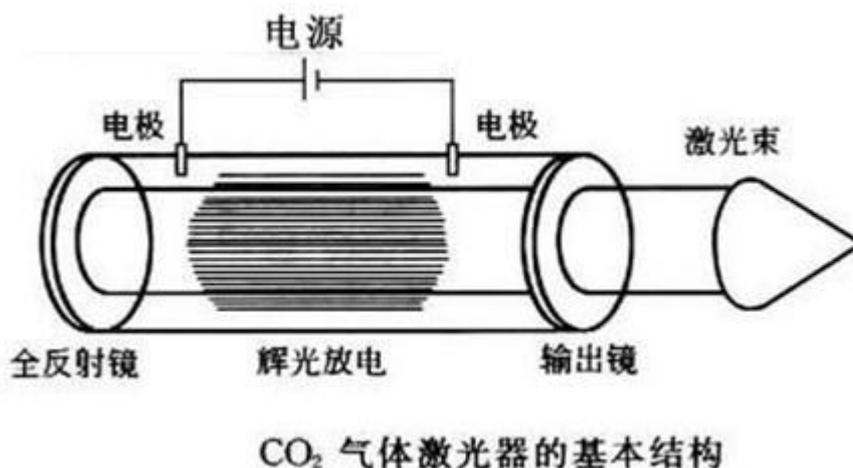
资料来源: OFweek 激光网, 华泰证券研究所

光纤激光器性能优势突出，替代效果明显

二氧化碳激光器光转化效率低，使用成本高

二氧化碳激光器是一种分子激光，常用高功率连续激光器之一，主要物质是二氧化碳分子。CO₂激光器主要结构包括激光管、光学谐振腔、电源及泵浦。主要特点是输出功率大并可实现连续工作，但是结构复杂体积大、维护较困难。

图表26：二氧化碳激光器结构



资料来源：贤集网，华泰证券研究所

实现粒子数反转是二氧化碳激光器发光的关键。二氧化碳激光器中工作物质包括二氧化碳、氮气和氦气，输入直流电源后混合气体中的氮分子会受到电子撞击从而被激发，收到激发后的氮分子与二氧化碳分子碰撞时会将能量传递给二氧化碳分子，从而使得二氧化碳分子从低能级跃迁到高能级上形成粒子数反转发出激光。

图表27：二氧化碳激光器发光过程简要示意图



资料来源：OFweek 激光网，华泰证券研究所

光纤与二氧化碳激光器各有所长，应根据不同需求选取不同工具。从目前应用最广泛的切割加工技术来说，光纤激光器与CO₂激光器在面对特定应用需求时有其各自的优势与劣势，并不能完全相互替代而需要互补共存。从加工材料类型来看，受限于吸收效果光纤激光器不适用于切割非金属材料，而常规的CO₂激光器不适用于切割铜材、铝材等高反射率材料；从切割速度看，CO₂在厚度>6mm板材有优势，而光纤激光器切割薄板速度较快；激光切割前需要进行工件穿透，CO₂穿孔速度明显快于光纤激光器；从切割断面质量来看，CO₂激光器整体优于光纤激光器。

图表28： 光纤激光器与二氧化碳激光器对比

	光纤激光器	二氧化碳激光器
切割材料	不能切割非金属	高反射材料适应性较差
切割速度	3mm 以下优势明显	>6mm 时 CO2 较有优势
穿透效率	速度相比较慢	厚度越大优势越明显
断面质量	略差	粗糙度、垂直度较优

资料来源：OFweek 激光网、华泰证券研究所

光纤激光器光转化效率更高，使用成本较低。根据 OFweek 激光网的测算可得，光纤激光器的使用成本为 23.4 元/小时，二氧化碳激光器的使用成本为 39.1 元/小时，其中，光纤激光器电力成本为 7 元/小时，水冷成本为 8.4 元/小时，其他成本为 8 元/小时；二氧化碳激光器电力成本为 21 元/小时，水冷成本为 12.6 元/小时，其他成本为 5.5 元/小时。

图表29： 光纤激光器与二氧化碳激光器使用成本对比

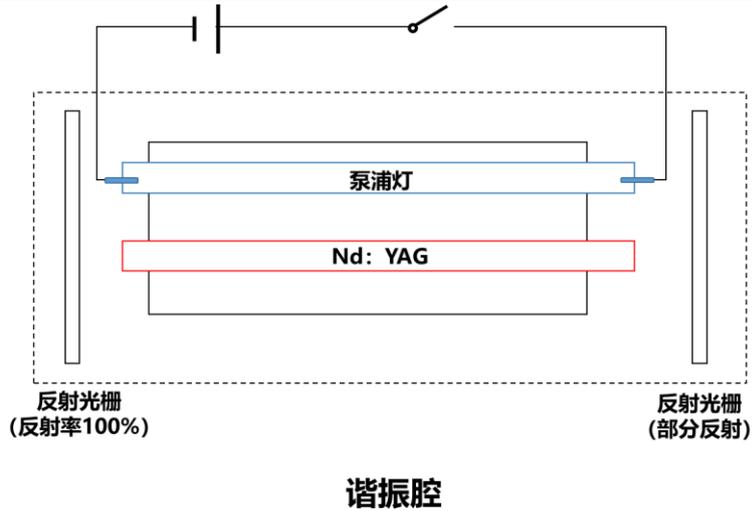
	光纤激光器	二氧化碳激光器
功率 (kW)	3	3
光转化效率	30%	10%
消耗电力 (kW)	10	30
电价 (元/千瓦时)	1	1
负载持续率	70%	70%
电力成本 (元/小时)	7	21
水冷设备功率(kW)	12	18
电价 (元/千瓦时)	1	1
负载持续率	70%	70%
水冷成本 (元/小时)	8.4	12.6
耗材成本 (元/小时)	3	2.5
模块消耗成本 (元/小时)	5	
介质成本 (元/小时)		1
常规点解 (元/小时)		2
其他成本 (元/小时)	8	5.5
使用成本 (元/小时)	23.4	39.1

资料来源：OFweek 激光网、华泰证券研究所

YAG 激光器能量转换效率低，或被逐渐替代

YAG 激光器一般指的是 Nd:YAG 激光器（掺钕钇铝石榴石晶体），属于固体激光。晶体内钕原子含量为 0.6~1.1%，可产生脉冲激光或连续激光，发射光为波长 1.064 μm 的红外线。Nd:YAG 激光器常用氦气或氙气灯管作为泵浦灯，因为仅有少数特定波长泵浦光会被 Nd 离子吸收，大部分能量会转变成热能，通常情况下 YAG 激光器能量转换效率较低。

图表30: Nd: YAG 激光器简易结构示意图



资料来源:《YAG 激光的输出特性》, 华泰证券研究所

随着光纤激光器的发展, YAG 激光器或将逐渐被替代。YAG 激光器在工业中主要用于切割和焊接工艺,但随着光纤激光器的发展, YAG 激光器或逐渐被光纤激光器所替代。在切割领域中, YAG 激光器购置成本低,能切割高反光材料,但加工功率低、能耗比大且切割速度较慢,而光纤激光器功率高效率快且免调节免维护;在焊接领域中,准连续光纤激光器出现后开始快速替代脉冲 Nd: YAG 激光器。与 YAG 激光器相比,准连续光纤激光器可以在微秒至毫秒的脉宽下提供数焦耳到数十焦耳的脉冲能量,其较高的平均功率和脉冲重复频率显著提高了加工速度以及生产效率,相当于同时具备 YAG 激光器的钻孔和焊接优势以及 CO2 激光器的切割能力,应用范围更广泛。

图表31: YAG 激光器与光纤激光器对比

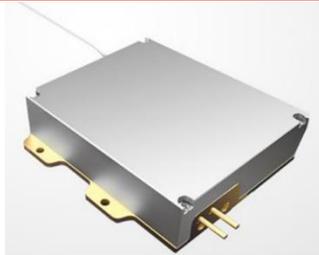
激光器	YAG 激光器	光纤激光器
主要构成	泵浦灯、Nd: YAG、谐振系统	半导体泵浦、光纤谐振系统、传输系统
电光转换效率	4%~5%	约 30%
加工角度	购置成本低,能够切割高反射材料	切割功率高、效率快,并且能够在小封装中实现高功率
成本角度	技术成熟相对便宜	技术逐渐发展,电力消耗小
维护角度		无光学镜片,免调节、免维护

资料来源:OFweek 激光网, 华泰证券研究所

半导体激光器现阶段技术仍存局限

半导体激光器又称激光二极管,采用半导体材料作为工作物质。常用工作物质有砷化镓、硫化镉等,激励方式有电注入、电子束激励和光泵浦三种方式。半导体激光器主要优点是体积小、效率高能耗低,广泛用于激光通信、激光打医学治疗等领域。此外,通常使用半导体激光器作为光纤激光器泵浦源。

图表32： 用作泵浦源的半导体激光器产品



(中国) 凯普林915nm多单管耦合半导体激光器
出纤功率 200W
光纤芯径 200μm
光纤数值孔径 0.22 N.A.

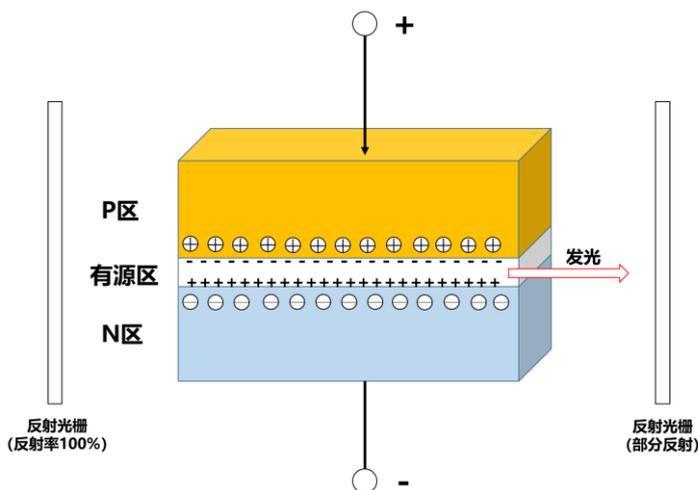


(美国) Nlight element®e18光纤耦合二极管激光器
输出功率: > 200 W
.纤芯尺寸: 105,200,400μm

资料来源：凯普林、Nlight 公司官网，华泰证券研究所

以电注入式半导体激光器为例，半导体材料中通常会添加 GaAs（砷化镓）、InAs（砷化铟）、Insb（铟化铟）等材料制作成半导体面结型二极管，当对二极管注入足够大的电流后，中间有源区中电子（带负电）与空穴（带正电）会自发复合并将多余的能量以光子的形式释放，再经过谐振腔筛选放大后形成激光。

图表33： 半导体激光器简易结构示意图



资料来源：集贤网，华泰证券研究所

直接半导体激光器特点明显，下游应用领域广泛。直接半导体激光器结构紧凑，维护费用低，电光转换效率高达 47%，在工业中主要应用为焊接及熔覆。低功率半导体激光器主要应用于塑料焊接以及锡焊，通过光纤输出焊接，实现非接触远距离操作，方便与自动化生产线集成；千瓦级直接半导体可用于熔覆及五金焊接，具有光斑大、电光转换率高的特点。在工业外领域，半导体激光器也被广泛用于军事、信息及医疗和生命科学等方面。

图表34： 直接半导体激光器应用

领域	细分应用	应用场景
工业	焊接	塑料加工、五金焊接
	熔覆	钢铁、航空航天
军事	雷达	激光雷达系统、自动识别与修正系统
	制导与引信	激光射束制导、激光瞄准和告警瞄准
信息	通信	光纤通信光源
	信息研究	光谱分析、光计算和光神经网络
医疗	临床手术	软组织切除、组织结合
	生命科学研究	光镊

资料来源：OFweek 激光网，电子工程网，华泰证券研究所

半导体激光器具有加工应用潜力，但受限于技术缺陷存在局限性。研究表明直接半导体激光器具有较强的材料加工应用潜力，相比光纤激光器和二氧化碳激光器具有更好的切割速度和切割质量。但半导体激光器最大的缺点在于其在高激光功率时光束质量低下，目前工业半导体激光器局限于少数几种加工，诸如电镀、铜焊和越来越多的高功率焊接，因此在未来数年，半导体激光器不太可能使整个材料加工领域发生革命性变化或取代其它光源。

图表35： 直接半导体激光器、光纤激光器和二氧化碳激光器切割工艺对比

	直接半导体激光器	光纤激光器	二氧化碳激光器
常用波段 (μm)	0.97	1.07	10.6
电光转换率	47%	30%	10%
金属吸收率	较高	较高	较低
薄板切割速度	最快	较快	最慢
最大切割厚度 (mm)	15	12	25
切割质量 (4mm 以上)	较好	较好	较差
输出光束质量	较差	较好	较好

资料来源：OFweek 激光网，大族激光官网，华泰证券研究所

光纤激光器替代优势明显，建议关注国产光纤激光器龙头企业锐科激光。根据上文中的分析，我们认为相比 CO2 激光器及 YAG 激光器，光纤激光器成本及应用优势明显，或将实现逐步替代。同时，半导体激光器仍受限于技术瓶颈，目前存在局限性，在未来数年不太能取代其他光源。因此，光纤激光器渗透率提升空间广阔。

风险提示

宏观经济增速不及预期的风险：

激光器及激光设备产业具有周期性波动特点，行业景气度受宏观经济波动影响。因激光产业链下游多细分市场需求和全球及国内宏观经济形势息息相关，如果全球及国内宏观经济未能有预期增速，或导致激光器及激光产业下游需求放缓，致使行业面临业务发展放缓、业绩波动的风险。

原材料价格上涨的风险：

相比国外龙头激光器厂商，成本及价格优势是国内激光器及激光设备厂商的核心竞争力，目前虽然国内龙头厂商已掌握核心元器件生产技术，但核心元器件外购比例仍然较高，如原材料价格上涨，或大幅提高国内厂商的成本，削弱国内厂商的价格优势，或导致行业利润率下降，业绩波动的风险。

高功率激光器研发不及预期的风险：

相比于传统中低端制造业，先进制造业具有技术壁垒高、研发周期长、设备投资高等特点，因此中国企业在技术突破上存在慢于预期的可能性。高功率激光器技术突破是本土企业实现进口替代的核心要素，若国内企业高功率激光器技术研发不及预期，或未能及时将研发成果实现量产，或将导致企业业绩增长不及预期，对国外龙头厂商的进口替代及市场挤占不及预期。

免责声明

本报告仅供华泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）客户使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成所述证券的买卖出价或征价。该等观点、建议并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本公司及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为之提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本公司的资产管理部、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许范围内使用，并注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权力。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

本公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91320000704041011J。

全资子公司华泰金融控股（香港）有限公司具有香港证监会核准的“就证券提供意见”业务资格，经营许可证编号为：A0K809

©版权所有 2018 年华泰证券股份有限公司

评级说明

行业评级体系

一报告发布日后的6个月内的行业涨跌幅相对同期的沪深300指数的涨跌幅为基准；

一投资建议的评级标准

增持行业股票指数超越基准

中性行业股票指数基本与基准持平

减持行业股票指数明显弱于基准

公司评级体系

一报告发布日后的6个月内的公司涨跌幅相对同期的沪深300指数的涨跌幅为基准；

一投资建议的评级标准

买入股价超越基准20%以上

增持股价超越基准5%-20%

中性股价相对基准波动在-5%~5%之间

减持股价弱于基准5%-20%

卖出股价弱于基准20%以上

华泰证券研究

南京

南京市建邺区江东中路228号华泰证券广场1号楼/邮政编码：210019

电话：86 25 83389999/传真：86 25 83387521

电子邮件：ht-rd@htsc.com

深圳

深圳市福田区深南大道4011号香港中旅大厦24层/邮政编码：518048

电话：86 755 82493932/传真：86 755 82492062

电子邮件：ht-rd@htsc.com

北京

北京市西城区太平桥大街丰盛胡同28号太平洋保险大厦A座18层
 邮政编码：100032

电话：86 10 63211166/传真：86 10 63211275

电子邮件：ht-rd@htsc.com

上海

上海市浦东新区东方路18号保利广场E栋23楼/邮政编码：200120

电话：86 21 28972098/传真：86 21 28972068

电子邮件：ht-rd@htsc.com