

投资评级 **买入** 维持

激光行业报告-降价加速渗透，需求有待复苏

投资要点：

- **激光加工为先进加工工艺，渗透率仍有 2 倍提升空间。** 激光设备市场规模全球 900 亿，中国占据其中的 600 亿元，按用途划分激光切割、激光焊接、激光打标，分别占比 35%、16%、15%。激光加工作为一种先进加工工艺，具有加工精度高、能量密度高的独特优势，对传统工艺形成持续替代，美国德国激光技术的渗透率在 50%以上，而国内只有 17%-19%，渗透率仍有 2 倍提升空间。
- **行业技术壁垒在于高功率光纤激光器及光器件。** 激光器为激光设备的核心部件，成本占比 30%-60%，激光器性能直接决定了激光装备的质量。国外历来对高功率激光器实施技术封锁和禁运，以锐科激光为代表的国产厂商在 2013 年成功突破万瓦级光纤激光器技术，在 16000W 以下产品性能已与 IPG 十分接近，但国产厂家在激光器部件光纤光栅和高功率激光器芯片尚不具备自产能力。**行业的技术升级方向是不断提升功率和光电转换效率。** 锐科激光最高功率 20000W，创鑫激光最高功率 25000W，光电转换效率达到 25%，代表国内一线水平。国际巨头 IPG 的最高功率达到 10 万 W，光电转换效率在 40%以上。
- **激光装备领域大族激光一家独大，激光器领域锐科激光主动降价抢份额。** 大族激光是激光设备的集大成者，国内唯一营收过百亿的激光公司，以 18%的国内市场份额排名国内第一、世界第三。2015 年大族发布合纵连横发展战略，将业务版图从消费电子扩展到大功率、显示面板、PCB、新能源、半导体等多元化业务，成功削平苹果产品周期所带来的业绩波动。2019 年激光器龙头锐科激光出货 17000 台，以每年 20%以上的降价幅度抢得 30%的市场份额，已将 IPG 挤出中功率市场。凭借三位千人计划专家的研发团队优势，锐科已成功突破高功率激光器及上游原材料泵浦源和特种光纤技术，原料自供比例提升到 70%以上，坚定向成本端要利润。
- **推荐买入大族激光，关注锐科激光、华工科技、铂力特。** 其中大族激光主要投资逻辑是 2020 年苹果 5G 手机创新大年到来，叠加 3 年设备更新周期共振，新能源及 PCB 等新业务贡献稳定增量；股权激励行权条件指引 15 亿业绩，现价 30 元对应仅 22 倍 PE，上看目标价 42-49 元，对应 30-35 倍 PE。锐科激光主要逻辑是国产替代+产业链整合降本，公司指引 2020 年营收增 30%，毛利率维稳，预计业绩 5.4 亿元，现价 88 元，上看目标价 112 元，对应 40 倍 PE。华工科技主要看点是激光设备+光模块双重景气周期。铂力特主要看点是激光 3D 打印需求方兴未艾，公司进入航天航空领域保证高壁垒高盈利。
- **风险提示：** 全球疫情导致电子行业复苏进程延后；制造业投资下滑

分析师:麦浩明
Tel:18998532338
Email:maihm3@foxmail.com

一、行业篇

1、激光行业价值量集中在激光设备环节

2018 年全球激光装备市场规模 138 亿美元，中国激光装备市场规模为 605 亿元，超过全球市场的一半，激光加工方式按用途划分为激光切割、激光焊接、激光打标，分别占比 35%、16%、15%。行业的价值量集中在激光装备环节，而关键部件激光器的市场规模约为 80 亿元，占成本的 30%-60%。

从激光装备公司下游客户来看，消费电子领域占 40%-50%，工业制造领域占 30%-40%，半导体、新能源等新兴领域占 10%。因此激光行业整体景气度由消费电子行业、一般工业加工业的景气情况决定。

消费电子的跟踪指标是苹果等手机大厂工艺革新需求。一般工业加工领域的景气度主要跟踪 PMI、永康五金加工指数、工业机器人销量、制造业投资；新能源汽车领域主要跟踪新能源汽车销量、电池厂扩产计划；光伏领域关注行业装机规模、PERC 电池的扩产计划以及 SE、MWT 等新型工艺的渗透率。行业性的跟踪指标为 IPG 的单季度出货量和营收，国内低功率的激光控制系统被柏楚电子垄断，因此柏楚电子上市后跟踪它的季度经营情况也可以清晰地了解行业运行情况。

2、激光应用领域不断拓宽，持续替代传统工艺

激光技术是通用技术，持续替代传统加工工艺，譬如激光打标取代油印喷印，激光切割取代机床，激光焊接取代电焊，激光打孔取代机械钻孔。参考激光加工替代机械加工的比率，美国德国是 50%以上，国内只有 17%-19%，渗透率提升空间仍很大。激光加工最早的应用是激光打标，打标只需要小功率激光即可实现，进入门槛低、应用范围广，但单价也相对较低，其后逐渐扩展到切割、焊接、熔融、医疗、显示、遥感、激光武器等多元化应用。IPG 预测高功率激光切割焊接、医疗、遥感、非金属材料微加工是激光行业未来的重要增长点。

(1) 激光切割

激光加工的第一大应用是激光切割，在整个激光加工市场中占据 40%的价值量。从技术原理来说，激光切割是利用激光束高功率密度的特点将激光汇聚到很小的光斑上，将材料快速加热，达到沸点后气化形成空洞，再通过移动激光光束在材料表面形成切缝。目前激光切割可以用于金属、塑料、玻璃、陶瓷、半导体、纺织品、木材和纸质等材料。

激光切割对机械切割方式的取代持续深化，2018 年国内激光切割设备销量达到 34250 台，其中高功率 6250 台，中低功率 28000 台，销量增速高达 25%。2017 年激光切割设备市场出货量 27300 台，市场规模 203 亿元，折合单价 74 万元/台。据 Industry Perspective 预测，未来 2 年对激光切割需求将维持双位数以上增长。

(2) 激光焊接

激光焊接是三大加工方式中成长性最强的细分行业，通过产生高功率单一光束，作用于金属表面，使金属表面快速达到沸点并熔化，熔化后的金属冷却凝固后形成焊缝，实现焊接功能。激光与传统焊接技术相比，具有变形小、强度高、易聚焦、速度快的优点，无接触加工，可调光束能量及移动速度；可加工高硬度、高脆性及高熔点材料，不存在道具磨损问题；局部加工，对非激光照射部位没有影响；可以通过透明介质对密闭容器内工件进行加工；激光束可以实现按时间与空间分光，进行多光束同时加工及多工位加工。

表 1 不同焊接方式比较

| 焊接方式 | 热影响区 | 热变形 | 焊缝质量 | 是否需要焊料 | 焊接环境 | 焊接精密 |
|------|------|-----|------|--------|------|------|
| 激光焊接 | 较小 | 较小 | 较好 | 否 | 无要求 | 精密 |

| | | | | | | |
|------|----|----|----|---|------|----|
| 电阻焊 | 较大 | 较大 | 一般 | 是 | 需电极 | 一般 |
| 钎焊 | 一般 | 一般 | 一般 | 是 | 整体加温 | 一般 |
| 氩弧焊 | 较大 | 较大 | 一般 | 是 | 需电极 | 一般 |
| 等离子焊 | 一般 | 一般 | 一般 | 是 | 需电极 | 一般 |
| 超声波焊 | 较大 | 较大 | 一般 | 否 | 无要求 | 一般 |

激光焊接目前经济性仍然不佳，因此使用范围尚未大规模铺开，只有在动力电池、高端车企、高档厨电等客单价较高的行业有所应用，目前在 1000W-1500W 功率段激光焊接开始逐步替代传统的氩弧焊、电子焊。激光焊接设备在动力电池生产线是标配设备，动力电池单位投资强度为 8 亿元/Gwh，而激光焊接设备在投资额中占比 5%-15%。联赢激光在国内激光焊接行业中占据约 10%份额，2018 年其焊接设备出货量 544 套，单价 146 万元，加上激光器、工作台等其他产品后总收入 9.5 亿元，则推算全国每年激光焊接设备出货量在 5000 套左右，市场规模约在 100 亿元。

3、国内分布四大激光产业带，区位特色优势突出

国内激光产业划分为四大产业带，珠江三角洲、长江三角洲、华中地区和环渤海地区，四大产业带各有侧重，珠三角以中低功率激光加工设备为主，长三角以高功率激光切割焊接设备为主，环渤海以高功率激光熔覆设备和全固态激光器件为主，华中地区则是高中低功率激光加工设备全覆盖。

华东地区的代表城市是上海、苏州、温州、南京，温州于 2013 年成功获批国家激光与光电创新型产业集群，南京南京新港光电及激光特色产业基地于 2015 年被科技部认定为国家火炬基地，上海依托中国科学院上海光机所成为国内激光技术重要输出城市之一，松江新兴产业园汇聚了 20 多家 3D 打印相关企业。

表 2 华东激光产业带概况

| | |
|------|---|
| 代表城市 | 上海、苏州、温州、南京、济南 |
| 产业规模 | 80-100 亿元 |
| 特色领域 | 半导体激光器、激光切割、激光打标、激光投影、复杂环境下激光应用 |
| 代表企业 | 德龙激光、嘉泰激光、天弘激光、领创激光、波长光电、中科煜辰 |
| 产业基地 | 常州激光智造魔坊、无锡惠山光电科技产业园、宿迁激光产业园、温州激光与光电产业集群、南京智能制造产业园、苏州国家智能制造示范区、台州光电产业园、昆山光电产业园、萧山闻堰 3D 小镇、松江新兴产业园 |
| 科研机构 | 中科院上海光机所、江苏大学、中科院上海技术物理研究所、中科院上海应用物理研究所、上海交大、复旦大学等 |

数据来源：2018 激光产业发展报告

广东和福建是华南地区代表省份，深圳地区依靠大族激光的中低功率激光加工设备及光纤激光器在国内市场占有较高份额。珠三角地区作为对外开放的窗口，电子、汽车制造产业发展成熟，聚集了华为、鸿海、比亚迪、广汽等大批制造业企业，客户需求广泛。同时珠三角也是全国高端人才集聚地，智力资源充足。华南地区排头兵大族激光已成长为国内标杆企业，重大在建项目大族全球激光智能制造产业基地总投资达 51.7 亿元，用地面积 10 万平方米，总建筑面积 50 万平方米，项目于 2017 年奠基动工，计划 2021 年初步建成，建成后实现年销售收入 200 亿元，带动相关产业 300 亿元，将成为全球规模最大的激光智能制造生产基地。

表 3 华南激光产业带概况

| 代表城市 | 深圳、广州、福州 |
|------|---------------------------|
| 产业规模 | 180 亿元 |
| 特色领域 | 光纤激光器、激光切割、激光打标、激光雕刻、激光打孔 |
| 代表企业 | 大族激光、光韵达、福晶科技、杰普特光电、联赢激光 |
| 产业基地 | 大族全球激光智能制造产业基地 |
| 科研机构 | 中科院深圳先进院、华南师范大学、中科院福建物构所等 |

数据来源：2018 激光产业发展报告

华北地区代表城市是北京、鞍山、长春等，长春素有中国光学摇篮之称，鞍山正规划打造激光产业高地。长春、鞍山为东北工业重镇，拥有一汽、鞍钢等大型企业，重工业基础良好。鞍山激光产业园已有 190 家企业进驻，激光元器件、光通信、智能终端、智能制造、LED、软件开发应用六大板块快速发展，创鑫激光是首批第一家入驻的公司。

表 4 华北激光产业带概况

| 代表城市 | 北京、天津、鞍山、沈阳、长春 |
|------|--|
| 产业规模 | 90 亿元 |
| 特色领域 | 半导体激光器、激光熔覆、激光淬火、激光焊接、激光元器件、激光医疗、激光显示 |
| 代表企业 | 大恒科技、国科世纪、凯普林、邦德激光、华光光电子、新松机器人、奥瑞德、中视迪威、羿珩科技、长春新产业 |
| 产业基地 | 沧州激光产业园、长春先进激光智造园、鞍山激光产业园、沈阳光电信息产业园 |
| 科研机构 | 北京大学、北京理工大学、北京航空航天大学、北京工业大学、中科院长春光机所、中科院光电研究院、中科院半导体所、天津大学、中电第 11 所、中电第 45 所、中电第 46 所等 |

数据来源：2018 激光产业发展报告

华中地区代表城市是武汉，华中科技大学武汉光电国家研究中心为全国唯一国家级研究中心，武汉光谷电子信息产业园是中国第一个国家级光电子产业基地，已建设 40 多个不同的专业子园区，园内现有企业 1.7 万家，形成了全国最大的激光设备产业基地，涌现华工科技、锐科激光等本地激光龙头企业，都进入了年收入 10 亿元以上队列，武汉每年激光产业的销售收入能够占全国 1/3 以上。

表 5 华中激光产业带概况

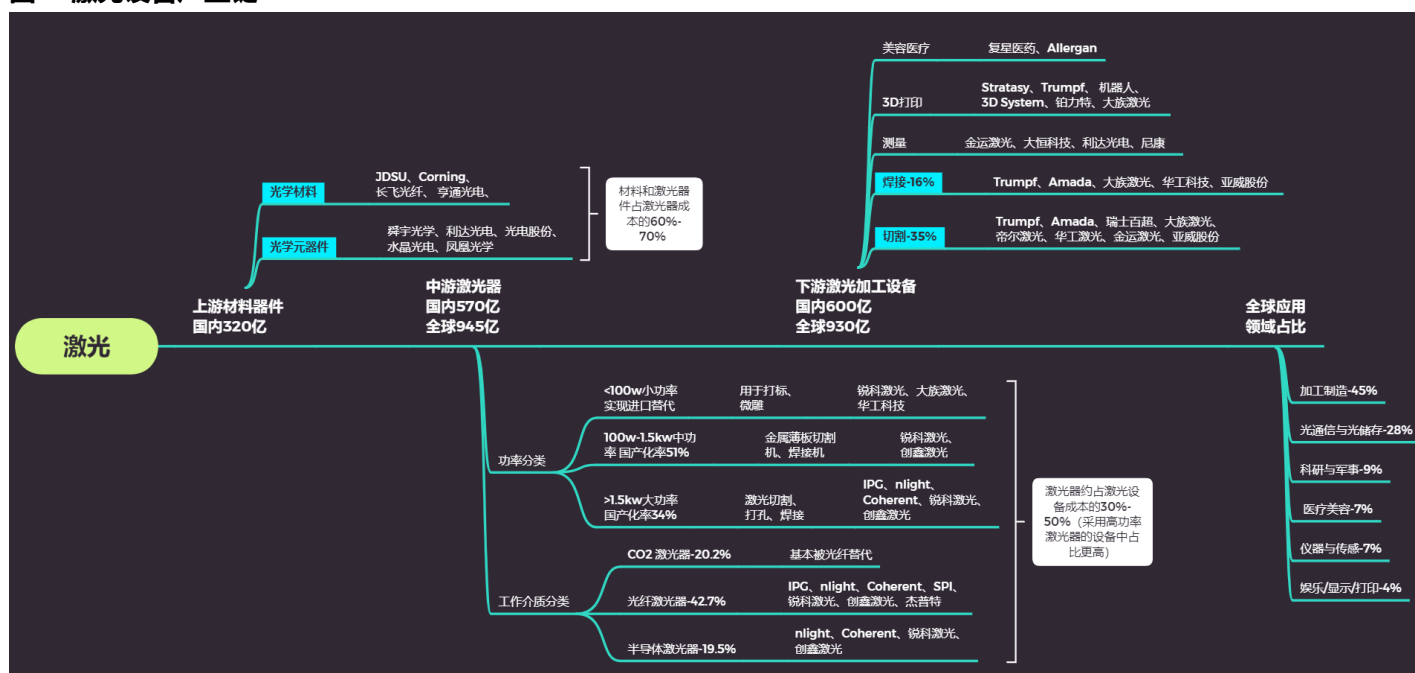
| 代表城市 | 武汉 |
|------|--|
| 产业规模 | 120 亿元 |
| 特色领域 | 光纤激光器、CO2 激光器、激光焊接、激光打标、激光切割、激光雕刻、激光医疗、激光全息防伪、激光元器件、激光环境监测 |
| 代表企业 | 华工激光、锐科光纤、楚天激光、金运激光、天琪激光、华俄激光、奇致激光、三工光电、帝尔激光、久之洋、新特光电 |
| 产业基地 | 东湖高新激光产业园、中欧激光产业园、武汉光谷激光科技园、华中（京山）激光产业园 |
| 科研机构 | 华中科技大学、中科院合肥物质研究院、武汉邮电科学院、航天三江激光产业技术研究院等 |

数据来源：2018 激光产业发展报告

4、激光设备产业链

激光设备包括光学系统、机械系统和数控系统三大部分。以三大激光设备为例，激光打标机由激光器+振镜扫描系统+聚焦系统组成，激光切割机由激光器+工作台+光束传输组件+冷却机+数控系统组成，激光焊接机由激光器+工作台+工装夹具+冷却机+观察系统组成。100W 以下的激光器为小功率激光器，100-1000W 为中功率激光器，中小功率激光器应用于电子、陶瓷、玻璃、五金、纺织、汽车零部件等，10000W 以上称为高功率激光器，应用于钣金加工、大型机械、石油化工、航空航天等重型设备。

图 1 激光设备产业链



数据来源：航长投资

激光产业链分上中下游不同环节。上游为核心器件，包括激光芯片、泵浦源、特种光纤、晶体材料、光学元器件、电子元器件、机械元器件、激光控制系统等。对应的上市/拟上市公司为长光华芯（激光芯片）、瑞芯光纤（特种光纤）、长飞光纤（特种光纤）、福晶科技（晶体材料）、光库科技（光学元器件）、柏楚电子（激光控制系统）。

中游为激光器，激光器作为核心零部件占据激光设备成本的30%-60%，功率越大占比越高。激光器上市/拟上市公司锐科激光、创鑫激光、杰普特、华日激光等。

下游为激光装备，用途包括激光切割、激光打标、激光焊接、激光熔覆、激光清洗、激光3D打印、激光显示、激光测量、激光武器、激光美容医疗等，材料加工与光刻市场占据了42%的销售去向，通信与光存储市场占据了34%的市场份额。对应的激光公司为大族激光（全系列激光装备）、华工科技（切割焊接）、亚威股份（切割焊接）、蒂尔激光（光伏激光设备）、联赢激光（激光焊接）、巨星科技（激光雷达）、铂力特（激光3D打印）、光韵达（激光3D打印）、光峰科技（激光显示）。

5、激光行业竞争格局：激光装备领域大族激光一家独大，激光器领域进口替代

国内激光行业一家独大，大族激光为绝对龙头，是全行业唯一一家营收超过100亿元的公司。根据《2018中国激光产业发展报告》，在装备环节大族激光市场份额18%，华工科技份额9%，通快中国份额6%；而在核心部件激光器环节，市场集中度较高，IPG占据49%份额，锐科激光和创鑫激光份额分别为17%、9%，2019年锐科激光份额已提升到30%。

如果从细分加工方式来看，国内激光切割的代表性公司是通快（中国区 35 亿元营收）、日本 Amada、瑞士百超、大族激光（高功率 23 亿元）、华工科技、宏山激光、奔腾激光、邦德激光（4.67 亿元收入）、亚威股份（4.57 亿元收入）、领创激光、迅镭激光、海目星。而激光焊接主要厂商是德国通快、大族激光（2018 年动力电池焊接营收 8 亿元）、联赢激光（2018 营收 9.8 亿元）、逸飞激光、亚威创科源、江苏北人（收入 4.12 亿元）。

表 6 国内激光行业代表性公司

| 主要领域 | 年营业收入 | 企业数量 | 代表性公司 |
|-------|---------------|------|---|
| 激光加工 | 50 亿元以上 | 1 | 大族激光 |
| | 10 亿-50 亿元 | 5 | 华工科技、新松机器人、大恒科技、正业科技、百超迪能 |
| | 5-10 亿元 | 6 | 华中数控、科达光电、楚天激光、金方圆、宏石激光 |
| | 2-5 亿元 | 7 | 光韵达、邦德激光、天弘激光、江苏北人、天琪激光、苏州领创、力星激光 |
| | 2000 万-2 亿元 | 21 | 金运激光、嘉泰激光、圣石激光、科贝科技、德中技术、佳顺智能、思尔特、松兴电气、菱欧科技、睿恒数控、大德重工、德龙激光、帝尔激光、华俄激光、三工光电、雷神激光、海目星、吉事达、铭镭激光、民升激光、光大激光 |
| 激光器 | 5 亿元以上 | 2 | 锐科激光、创鑫激光 |
| | 2-5 亿元 | 4 | 炬光科技、光库科技、杰普特光电、凯普林光电 |
| | 2000 万-2 亿元 | 5 | 集光通达、国科世纪、飞博激光、长春新产业、安扬激光 |
| 激光元器件 | 10 亿元以上 | 1 | 水晶光电 |
| | 5-10 亿元 | 1 | 沃格光电 |
| | 2-5 亿元 | 3 | 奥普光电、波长光电、瑞可达 |
| 激光晶体 | 5 亿元以上 | 1 | 奥瑞德 |
| | 2-5 亿元 | 1 | 福晶科技 |
| | 5000 万-2 亿元 | 2 | 嘉东光学、东骏激光 |
| 激光显示 | 5 亿元以上 | 2 | 海信激光显示 |
| | 2000 万-2 亿元 | 3 | 光峰光电、视美乐、帅映科技 |
| 激光医疗 | 2000 万-2 亿元 | 4 | 亚格光电、益健堂、科英激光、奇致激光 |
| 激光测量 | 5 亿元以上 | 1 | 巨星科技 |
| | 2-5 亿元 | 2 | 久之洋 |
| | 2000 万-2 亿元 | 6 | 精湛光电 |
| 3D 打印 | 2 亿元以上 | 1 | 先临三维 |
| | 2000 万-2 亿元 | 4 | 南京中科煜辰、铂力特、华曙高科、无锡飞尔康 |
| 激光夜视 | 2000 万=2 亿元 | 2 | 高普乐、神戎电子 |
| 激光电源 | 2000 万-5000 万 | 2 | 东文高压、镭之源 |

数据来源：2018 中国激光产业发展报告

6、激光器行业价格战：快速挤出高成本企业

近3年激光器行业价格战越演越烈，行业竞争环境变得更为严峻，不掌握成本和技术优势的中小企业产能逐渐被去化。根据创鑫激光招股说明书披露，过去三年创鑫激光大部分型号激光器均出现不同程度下降，脉冲激光器方面20W激光器价格在2017-2019H1分别下降7%、17%和22%，连续激光器方面单模块1000W激光器价格在2017-2019H1期间分别下降26%、29%和35%，近三年行业降价甚至呈现加速趋势，个别产品价格下降幅度达到40%。从2016年-2019H1这段时间内，脉冲光纤激光器均价从1.03万元下降至0.75万元，连续光纤激光器均价从11.02万元下降至9.71万元。

创鑫激光与锐科激光的产品价格始终保持20%的价格折让，锐科价格也为IPG的8折，比价关系历来十分稳定，创鑫激光的价格信息可以反映行业整体价格重心的下移。锐科、创鑫的毛利率已分别下降至35%、30%，而小厂如杰普特等毛利率已经转负（连续激光器），锐科指引2020年价格还要继续下探20%-30%。价格快速下降一方面反映了技术进步以及元器件自产对成本的节约，另一方面有利于提高激光加工的渗透率。激光器价格战可能很快会消停，因为在中功率段国产厂家已经将IPG挤出市场，竞争最激烈的功率段已经超过了市场需求最大的2000W-6000W段。

表7 创鑫激光产品价格信息

| 产品类别 | 产品系列 | 产品规格 | 2019H1 | | 2018 | | 2017 | | 2016 |
|---------|------------|-------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | | | 售价 | 变动幅度 | 售价 | 变动幅度 | 售价 | 变动幅度 | 售价 |
| 脉冲光纤激光器 | 声光调Q系列 | 20W | 0.55 | -21.68% | 0.7 | -17.12% | 0.84 | -7.47% | 0.91 |
| | | 30W | 0.77 | -20.28% | 0.96 | -18.64% | 1.17 | -8.13% | 1.28 |
| | 脉宽可调MOPA系列 | 20W | 1.53 | -13.50% | 1.77 | -8.42% | 1.93 | -1.96% | 1.97 |
| 连续光纤激光器 | 单模块系列 | 300W | 4.91 | 1.34% | 4.85 | -10.64% | 5.43 | -11.11% | 6.1 |
| | | 500W | 3.72 | -18.12% | 4.54 | -25.77% | 6.12 | -24.35% | 8.09 |
| | | 800W | 4.49 | -37.51% | 7.19 | -24.12% | 9.48 | -18.73% | 11.66 |
| | | 1000W | 5.14 | -34.76% | 7.88 | -28.98% | 11.1 | -25.98% | 14.99 |
| | | 1500W | 7.56 | -40.50% | 12.7 | -28.78% | 17.83 | -29.51% | 25.3 |
| | 多模块系列 | 2000W | 13.32 | -21.26% | 16.92 | -35.38% | 26.18 | - | - |
| | | 3000W | 18.65 | -29.42% | 26.42 | -27.22% | 36.3 | - | - |
| | | 6000W | 40.15 | -29.22% | 56.72 | - | - | - | - |

数据来源：创鑫激光招股说明书

二、技术篇

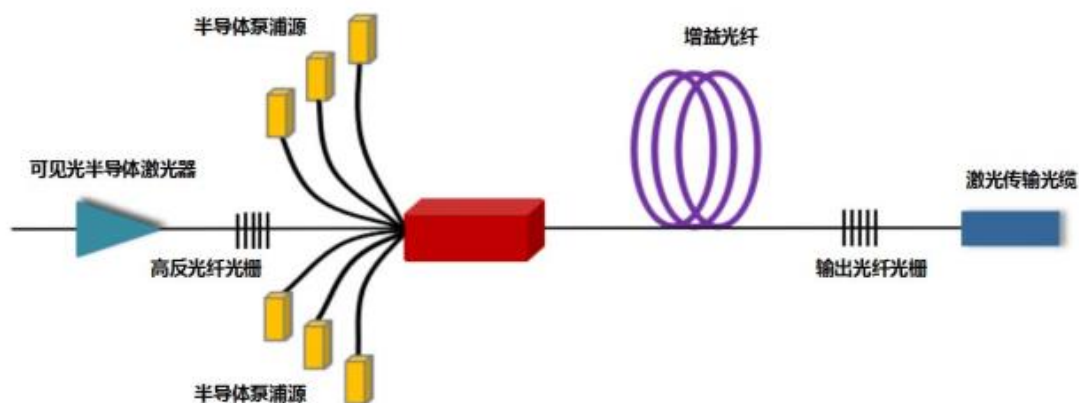
1、激光的工作原理

激光是一种纯色、准直、高亮、同向、能量密度高的光子队列。从激光的发生原理来看，物质由原子构成，而原子由原子核和电子构成，电子围绕原子核运动，电子处于一些固定的能级上，不同能级对应不同的电子能量，离原子核越远的轨道能量越高。被激发到高能级上的电子是不稳定的，当电子从不稳定的激发态E₂跃迁到低能级E₁时，会发出光子从而产生光。

正常情况下物质中大多数电子处于稳定状态，低能级上的电子数量多于高能级，得到激光的前提是粒子数反转，即把E₁的原子激发到E₂，使E₂能级上的原子数大于E₁能级。要实现粒子数反转必须消耗一定的能量把电子从低能级搬运到高能级上，这一过程被称为泵浦或激励，激励装置称为光泵或泵浦源。激励方式有光学激励、电激励、化学激励和核能激励等。

用来产生激光的工作介质可以是气体、液体、固体或者半导体，在这种物体内部实现粒子数反转。以光纤激光器为例，当泵浦光（抽运光）穿过增益光纤时，增益光纤中的稀土离子会吸收泵浦光实现离子数反转并输出激光。除了激励源和工作介质之外，要获得可供利用的激光还需要一个光学谐振腔来实现激光的放大，并保证光子具有一致的频率、相位和运行方向。由此可见，**激光器主要包括三个部分：工作介质、泵浦源和谐振腔，其中泵浦源和谐振腔是激光器的关键组成部分，直接影响激光输出参数和运转方式，激光器企业的核心竞争力体现在泵浦源和谐振腔性能上。**

图 2 光纤激光器系统



数据来源：锐科激光

2、激光器分类、性能差异与应用领域

(1) 按工作介质分类：光纤激光器已取代 CO₂ 激光器成为主流

激光器按照工作介质可以分为 CO₂ 激光器、YAG 激光器、光纤激光器和半导体激光器四种。各种类型的激光器在应用范围上有所侧重，但如果仅从性能参数和经济性来看，光纤激光器在光束质量、能量密度、电光效率、使用便捷性、可加工材料范围、运行成本上均有着显著优势。**光纤激光器可以实现 30% 的电光转换效率，最高功率可以达到 20KW 以上，而且可以应用于各种高反材料。**光纤激光器在加工厚金属材料时难以保持较高的切割质量，所以部分公司仍采用 CO₂ 激光器生产线解决厚金属加工问题。**半导体激光器拥有高达 45% 以上的电光转换效率**，通过二极管直接切割金属减少了光纤激光器的复杂性和高成本，但光束质量较低，输出功率天花板较低，因此应用受限，半导体激光器最常见的应用是在光纤激光器里充当泵浦源。最新的研究表明在相似的 BPP 值及光斑尺寸下，直接半导体激光器可以在光纤激光器的基础上将切割速度最高提升 1 倍，同时也能将切割范围延伸到更厚的材料，半导体激光器是未来激光器领域的研究重点。

表 8 激光器分类（按工作介质）

| 对比项目 | 指标说明 | CO ₂ 激光器 (气体) | YAG 激光器 (固体) | 光纤激光器 | 半导体激光器 |
|---------------------|----------------|-----------------------------|-----------------|---------|---------|
| 波长 um | 数值越小，加工能力越强 | 10.6 | 6 | 1.0-1.1 | 0.9-1.0 |
| 典型电光效率% | 数值越大，效率越高，耗电越小 | 10 | 5 | 30 | 45 |
| 光束质量 BPP (4/5KW) | 数值越小，光束质量越好 | 6 | 25 | <2.5 | 10 |
| 输出功率 KW | 数值越大，加工能力越强 | 1-20 | 0.5-5 | 0.5-20 | 0.5-10 |

| | | | | | |
|--------------|--------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
| 输出光纤 um | 数值越小使用越方便 | 不可实现 | 600-800 | 50-300 | 50-800 |
| 冷却方式 | 方式越多，使用越方便 | 水冷 | 水冷 | 风冷、水冷 | 水冷 |
| 占地面积 (4/5KW) | 数值越小，适应性越好 | 3m ² , | 6m ² | <1m ² | <1m ² |
| 体积 | 越小，适用场合越多 | 最大 | 大 | 非常小 | 非常小 |
| 可加工材料类型 | 范围越广，加工适应性越好 | Cu、Al 不可 | Cu 不可 | 高反材料亦可 | 高反材料亦可 |
| 维护周期 Khrs | 数值越大，维护越少 | 1-2 | 3-5 | 40-50 | 40-50 |
| 相对运行成本 | 数值越小，运行成本越小 | 1.14 | 1.8 | 1 | 0.8 |

数据来源：创鑫激光

目前光纤激光器、半导体激光器、CO₂ 激光器的市场份额分别达到 60%、14%、7%，光纤激光器已凭借性能优势成为绝对主流产品。预计全球光纤激光器市场规模将由 2017 年的 16 亿美元增长至 2020 年的 25 亿美元，复合增长率 16% 以上。国内光纤激光器市场 IPG 的份额达到 49%，对华销售额超过 30 亿元。在低功率光纤激光器领域国产替代已经完成，国产市场份额超过 90%，中功率领域国产企业已占据领先地位，近 2 年锐科激光的份额提升很快。

据激光加工专委会数据，2017 年国产光纤激光器台数出货量为 9 万台，2018 年出货量达到 11 万台，其中小功率产品出货 9 万台，3000W 以下中功率出货 15000 台，3000W 高功率出货 1000 台，6KW 出货 200 台。2018 年大功率合束等关键技术被成功攻克，国内共出货 12KW 产品 10 台。

(2) 按输出波形分类：脉冲激光器适用于打标、雕刻，连续激光器适用于切割、焊接、熔覆

根据激光输出时域特性的不同又将光纤激光器分为脉冲光纤激光器和连续光纤激光器。脉冲激光是指单个激光脉冲宽度小于 0.25 秒，间隔一定时间工作一次，调 Q 和锁模是得到脉冲激光的两种技术。脉冲光纤激光器光路结构中需要依靠声光调制器来控制激光的导通和关断。

每一个光脉冲周期内的最高功率即为峰值功率，多个周期时间内的平均输出功率即为平均输出功率。**脉冲激光器激光输出峰值功率较高但不连续，更适用于打标、雕刻等应用。**脉冲光纤激光器包括声光调 Q 和脉宽可调 MOPA 两种类型，声光调 Q 脉冲光纤激光器特点是脉宽固定，使用材料范围有限，成本较低，脉宽可调 MOPA 脉冲光纤激光器是性能升级版。

连续激光器需要保证连续不中断的输出，切割、熔覆、焊接等应用均需要用到连续激光器。脉冲激光器一般为 20W-300W 的小功率激光器，而连续激光器功率从 400W 至几万瓦不等。脉冲激光器的寿命较短，光束质量较差，且存在内部温度梯度，工作时容易出现过热影响激光器性能，应用范围和性能上的较大差距直接反应在价格上，国内脉冲激光器的价格平均在 1 万元左右，而连续光纤激光器的价格区间在 10 万元左右。

(3) 按模块数量分类：单模块激光器光束质量好，多模块激光器功率高

单模块光纤激光器使用单个谐振腔输出激光，特点是光束质量好、能量密度高，但技术难度高，对光学器件要求严格，**单模激光器适用于中、薄板金属的快速钻孔、快速切割和 3D 打印等应用，具有钻孔、切割速度快，加工质量好的优势。**单模块光纤激光器优异的光束质量能够在较细的纤芯中稳定传输，是超高功率多模块激光器最适合的合束激光模块。

多模块激光器主要是将多个单模块激光器通过合束器合束而成，合束后会损失光束质量，但激光功率成倍提升，适用于厚金属的切割、焊接、熔覆等。由于多模激光器是由单模激光器合束而成，单模激光的功率、能量密度以及合束器的质量决定了多模激光器的性能，如果不提高单模块的性能，而是简单将多个单模块堆砌加总，实际切割效果和成本表现将较

差。创鑫激光曾将 4000W 单模激光器与多模激光器作对比测试，在功率水平相等的情况下，单模激光器的切割速度能够达到多模激光器的 2 倍，而体积仅为 40%，可见**激光器技术研发的关键还是在于单模激光器的功率提升上。**

3、激光器技术升级方向

激光器的评价指标主要有三个：功率、电光转化效率、产品寿命和可靠性。在功率上限方面，IPG 的超高功率产品能够达到 10 万 W 以上，而国内企业最高功率只有 25000W，但需要注意的是高功率光纤激光器的密集使用区间其实在 2000W-6000W 之间，锐科和创鑫在这个功率区间已经成功实现产品量产，锐科是在 2017 年量产 6000W 激光器，在主力市场上功率不对国产激光设备构成障碍。

未来激光器的技术升级方向在于高功率、高光束质量、高可靠性、低成本、全固态、自动化、智能化以及场景多样化。

(1) 向更高功率方向发展

实现手段是采用更高功率的泵浦源、更先进的特种光纤设计和高功率光纤合束技术，将光纤激光的输出功率提升至万瓦级别。以最常见金属切割场景为例，根据锐科公布的切割数据库，功率的提升会带来速度的大幅提升和成本的节约。分别使用 6KW 激光器和 12KW 激光器切割 6mm 碳钢为例，6KW 激光器每小时加工量 360 米，12KW 激光器加工量能够达到 780 米，提速超过 100%；6KW 激光器的每米切割成本为 0.167 元，而 12KW 激光器的每米切割成本为 0.110 元，单位成本节约 35%，同样加工 10 万米的加工任务，12KW 激光器工作天数能够节约 19 天。

表 9 高功率激光器大幅提升切割速度

| 激光器 | 6KW | 12KW |
|--------------|---------|---------|
| 材料厚度 | 6mm | |
| 辅助气体 | 空气 | |
| 每小时加工量 | 360 米 | 780 米 |
| 每小时总成本 | 60 元 | 86 元 |
| 每米切割成本 | 0.167 元 | 0.110 元 |
| 10 万米加工任务总成本 | 16700 元 | 11000 元 |
| 所需加工天数 | 35 天 | 16 天 |

数据来源：锐科激光

(2) 向高平均功率、高峰值功率的脉冲光纤激光器发展

光纤激光器分连续和脉冲两种，激光深雕、激光清洗等应用需要高平均功率、高峰值功率的脉冲光纤激光器，技术手段是将高光束质量的小功率激光器作为种子光源，采用双包层光纤作为放大器，这是目前激光行业研究的热点和难点技术。

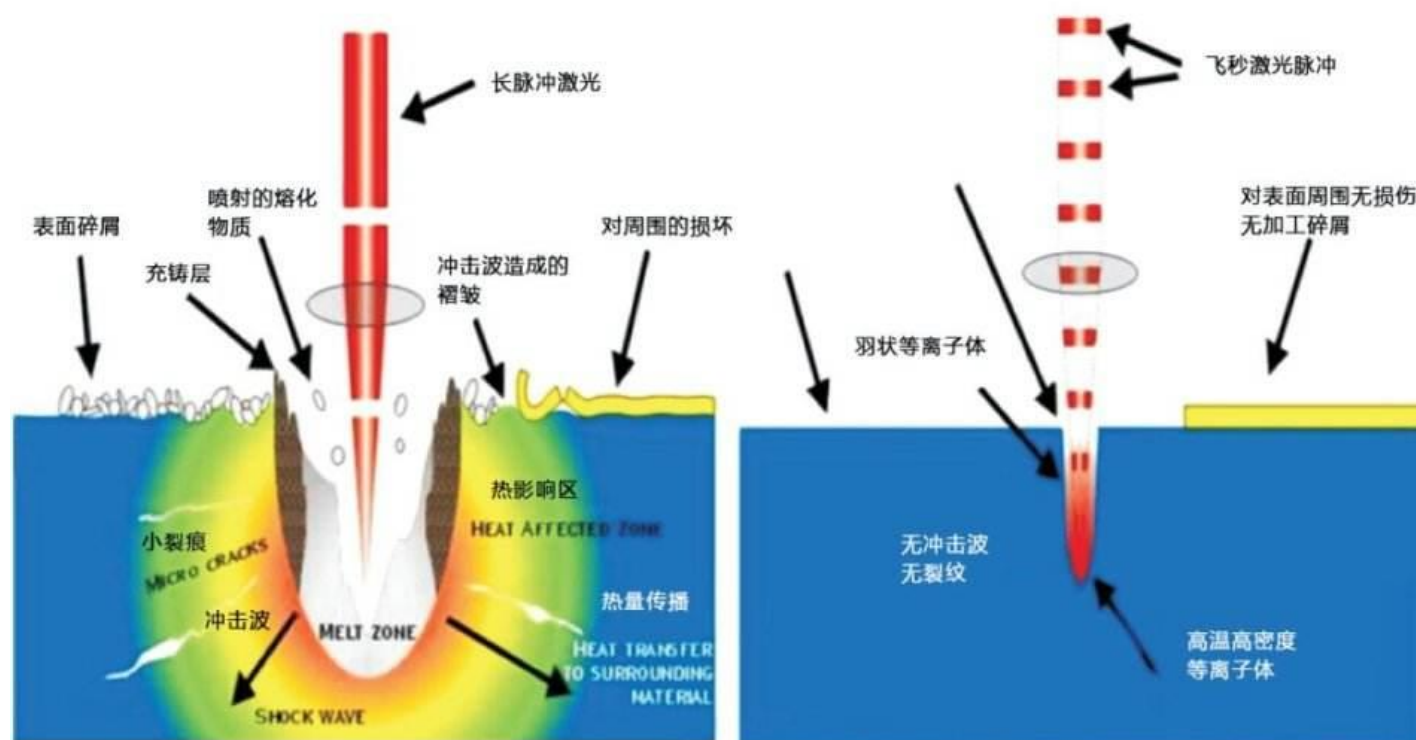
(3) 超短脉冲光纤激光器

脉冲激光器是激光器的初代产品，早期核心元器件的承受能力较差、工艺水平不足，连续激光器的输出功率有限，只能控制激光使激光的能量集中在单个脉冲上，以脉冲方式实现瞬时高功率的需求。随着高功率连续光纤激光器的出现，普通脉冲激光器的应用场景逐渐被取代，价格出现快速下降，直至新型的脉冲激光器——超快脉冲激光器出现。

超快激光的特性带来精细加工领域的突出优势：

- ①加工的组织中没有熔融区，没有重铸层，不产生微裂纹。
- ②加工精度高，不受光的衍射极限的限制，具有很高的空间分辨性。
- ③加工对材料没有选择和限制性，可以加工任何材料。
- ④所需的脉冲能量阈值极低，一般只有毫焦耳量级，加工能耗较低。
- ⑤加工过程不产生导致结构损坏的冲击波，不损坏临界结构组织。

图3 毫秒激光与飞秒激光切割玻璃效果对比



数据来源：OFweek

超快超短脉冲光纤激光器主要满足精细加工领域需求，例如脆性材料打孔、蓝宝石玻璃切割等。超快激光将激光器的加工范围从金属延伸到玻璃、半导体等更为丰富的材料商，使得激光加工半导体成为可能。芯片制造最关键的加工工具就是激光，荷兰光刻机巨头 ASML 采用的就是最先进的极紫外激光光刻技术。

超快激光第一大应用为手机 LCD 屏异形切割，年需求量在 100 台以上，全自动设备价格在 250 万元以上，激光器厂商包括卓镭激光、安扬激光、贝林激光、Light Conversion 等。第二大需求是手机摄像头蓝宝石切割，主要应用于苹果产品，大族激光采用 Light Conversion 的激光器，年出货量 60 台，单价超 200 万元。超快激光还可以用于玻璃摄像头盖板切割，年需求量为 100 台，华工激光出货量 30-40 台，采用华日激光器；盛雄出货量 10-15 台，采用 Edgewave 激光器；大族激光出货量 35-40 台，采用安扬激光的激光器；深圳圭华出货量 15-20 台，采用安扬和华快的激光器。其他应用还包括特殊标记的防伪炫彩打标、隐形二维码标记、FPC 材料切割、OLED 材料加工、光伏 PERC 电池应用等。

2019 年国内超快激光设备科研市场规模约 400-500 台/年，工业超快激光加工设备年出货量超 500 台，其中国产份额 50% 以上。整个市场规模预计至 2020 年达到 50 亿元左右，市场规模不大但成长性较好。代表性的超快激光设备集成商包括大族激光、盛雄激光、圭华自动化、海目星、迈为激光、德龙激光、帝尔激光、华工激光；代表性激光器厂商为安扬激光、华快激光、卓镭激光、华日激光、凯普林激光、贝林激光、国神光电等，其中华日激光是华工科技子公司，国神光电被锐科激光收购 50% 股权。国外厂商包括通快、IPG、Light Conversion、Amplitude、美国 PI、Edgewave、NKT 和光

谱物理等。

表 10 超快激光应用与主要厂商

| 市场应用 | 年需求量 | 设备价格 | 集成设备厂商 | 激光器厂商 |
|--------------|------|----------------------|---------------------|---------------------------------|
| 手机 LCD 屏异形切割 | 100 | 全自动 250 万元，半自动 70 万元 | | 卓镭激光、安扬激光、贝林激光、Light Conversion |
| 手机摄像头蓝宝石盖板设备 | 60 | 200 万元 | 大族激光 | Light Conversion |
| 玻璃摄像头盖板切割 | 100 | | 华工激光 30-40 台 | 华日激光 |
| | | | 大族激光 15-20 台 | 安扬激光 |
| | | | 深圳圭华 15-20 台 | 安扬激光、华快激光 |
| | | | 盛雄激光 10-15 台 | Edgewave |
| 特殊标记的防伪炫彩打标 | 10 | 100 万元 | 大族激光 | IPG |
| 隐形二维码标记 | 100 | | 华工激光、大族激光、盛雄激光、深圳圭华 | |
| FPC 材料切割 | 20 | | | Edgewave、PI 公司 |
| OLED 材料加工 | | 100 万元 | 大族激光 | 通快、Amplitude |
| 光伏 PERC 电池 | | | 帝尔激光、迈为激光 | IPG、光谱物理 |

数据来源：光电汇

(4) 更高亮度

高光束质量的功率光纤激光器在科研和军事领域需求旺盛，尤其是激光武器首选同时满足高功率和高亮度的激光器，即既要保证输出功率，也要保证输出光束的质量。

(5) 模块化、智能化

激光器的需求和应用场景是无限的，但规格和品种是有限的，必须通过组合和搭配不同模块缩短新产品开发周期，提高稳定性和可靠性。同时通过通信技术和设计理念，实现激光器的远程诊断、远程控制以及数据统计等功能。

(6) 发展半导体激光器

半导体激光器可以作为光纤激光器和固体激光器的泵浦源，也可以用于制作直接半导体激光器，应用到材料加工、激光医疗、激光雷达等领域。半导体激光器的最大应用是作为光纤激光器和固体激光器的泵浦源。**目前直接半导体激光器是行业前沿技术，光纤激光器是光光转化，而直接半导体激光器是电光转化，电光转化效率普遍可以达到 50%，远远高于光纤激光器，理论上更加节能。**但直接半导体激光器的光束质量和总功率较难得到提高，目前仍处于技术攻关阶段。

直接半导体激光器的应用领域包括 (1) 塑料焊接，激光可以实现光穿透式的激光焊接，在连接区域形成均匀的熔体，避免因摩擦产生的起毛现象。(2) 激光熔覆，在基材表面添加熔覆材料，利用高能密度的激光束使材料和基材表面一起熔凝，形成添料熔覆层。(3) 激光锡焊，可用于替换传统的烙铁焊接。(4) 金属切割和焊接，半导体激光器由于功率较低，很难直接用于金属切割，但后来半导体耦合技术和合束技术的逐渐成熟为半导体激光器处理金属材料提供了有利条件，在

汽车工业的铝材焊接上有比较明显的优势。





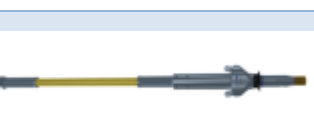




4、激光器关键部件研发进展

光纤激光器由光学系统、电源系统、控制系统和机械结构四个部分组成，光学系统是激光器的关键部分，光学系统的全部器件包括增益介质、泵浦源、谐振腔、光纤合束器和光纤输出器件。**限制激光器性能的关键是各种光学器件的技术短板。经过多年发展追赶，目前国产激光器厂商已经能够实现合束器、光纤光栅、制冷设备的国产化，短板在于光纤介质和高功率激光芯片，与 IPG、Coherent 等全产业链龙头仍有一定差距。**

表 9 激光元器件自产情况

| 公司 | 增益光纤 | 泵浦源封装 | 激光芯片 | 光纤光栅 | 合束器 | 传输光缆 |
|----------|---------------------|--------------------------|----------------------------|-------|-------------|--------------|
| 锐科激光 | 自产睿芯光纤 采购 Nufern | 部分自产 部分采购长光 华芯、凯普林 | 采购欧司朗、Dilas、II-VI、 长光华芯 | 小批量试用 | 自产 | 自产 |
| IPG | 自产 | 自产 | 自产 | 自产 | 自产 | 自产 |
| Trumpf | 自产 | 自产 | 自产 | -- | 自产 | 自产 |
| Coherent | 收购 Nufern | -- | 收购 Dilas | 自产 | 收购 Corelase | 收购 Optoskand |
| nLight | 收购 Liekki | 自产 | 自产 | 自产 | 外购 | |
| 创鑫激光 | 采购 Nufern、liekki | 自产 | 采购 Lumentum、liekki | 外购 | 低功率自产 | 自产 |

表 11 激光器光器件作用

| 器件名称 | 器件展示 | 功能 |
|-------|---|---|
| 泵浦源 |  | 可作为工业半导体激光器直接光源输出激光，也可以作为泵浦光源为光纤激光器提供高功率、高亮度的泵浦光 |
| 泵浦合束器 |  | 将多个泵源的激光耦合入光纤，实现更高功率的泵浦激光输出 |
| 能量合束器 |  | 将多个高功率光纤激光器模块能量叠加，实现多模激光合束输出的核心器件 |
| 光纤光栅 |  | 激光器谐振腔的必要构成部件，决定激光器的输出波长与贷款，可控制激光模式与光束质量 |
| 激光输出头 |  | 能够将高功率激光在应用场地实现远距离柔性输出的重要部件，与加工系统进行兼容配合，从而将激光器产生的激光传输至加工材料商完成激光加工应用 |
| 隔离器 |  | 防止回返光损伤其他光学部件，保护激光器 |
| 剥模器 |  | 有效剥除激光器中的包层光，保护器件，提高输出激光光束质量 |
| 声光调制器 |  | 主要用于谐振腔内部，并通过射频驱动调制技术调制所需的激光脉冲，是调 Q 脉冲光纤激光器的核心部件 |
| 模式匹配器 |  | 用于连接两个不同类型光纤的核心器件，可以使得不同类型的光纤的连接损耗降到最低，优化激光器模式模场的匹配性。 |

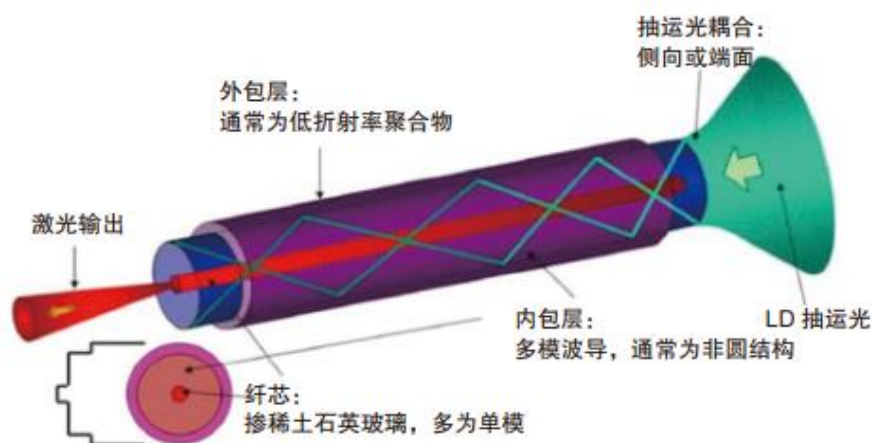
数据来源：创鑫激光招股说明书

(1) 特种光纤

光纤激光器的增益介质是掺杂了稀土元素的光纤。掺杂光纤的优势在于，通过对掺杂光纤的结构、掺杂浓度、抽运光强度和抽运方式进行适当设计，可以令激光器的抽运效率得到显著提高，更容易获得高光束质量的千瓦级至兆瓦级超大功率激光输出。

回顾稀土掺杂光纤历史发现，70年代第一代稀土掺杂光纤正式面世，但一开始泵浦源发出的LD抽运光只能从面积极小的断面进入纤芯而且只能采用单模LD抽运，导致抽运源耦合率很低，激光器输出功率不高。80年代出现稀土掺杂双包层石英光纤，双包层的特点是在单包层光纤的基础上围绕掺杂芯层增加一个内包层作为抽运光的传输波导，多模抽运光可以在内包层中传输并不断穿越纤芯而被其中的掺杂离子吸收，产生的激光仍有纤芯波导传输保证其高光束质量。双包层光纤仍然保持圆形结构，制造工艺简单，容易实现与带尾纤的抽运光源耦合。但双包层光纤也存在新的问题，对称的圆形结构造成内薄层呢个中存在大量不经过纤芯的螺旋光，不被稀土离子吸收，不能充分发挥抽运光的利用率。因此后来主流的掺杂稀土光纤内包层改变为八边形或六边形。

图 4 双包层光纤结构示意图



数据来源：光电产品与资讯

第三代光纤是大模场面积双包层有源光纤。为了获得更高功率的输出，常规的小芯径、大数值孔径的光纤设计不适合于大功率输出的应用，只有具有大芯径、小数值孔径的大模场光纤才能克服这些限制。超大模场有源光纤成为了高功率高能激光器的核心部件，高功率的激光放大对增益光纤的单模有效面积提出了极高要求。通常要求光纤具备 40 μm 以上纤芯直径。国内长飞光纤、烽火科技、武汉睿芯生产的双包层单波长掺镱光纤纤芯直径在 20 μm ，而 Coherent 旗下的 Nufern 能够生产纤芯直径达 290 μm 的大模场光纤，产品价格高达 1030 美元/米。

无源光纤主要实现光传输的作用，不参与波长的转换，有源光纤是增益介质。光纤环节的进口替代过程持续深化，据杰普特招股说明书，国产无源光纤采购比例已经提升至 91%，有源光纤国产采购比例较低。据创鑫激光招股说明书，公司认为大部分国产光纤技术水平和稳定性与进口光纤差异已不大，从 2018 年开始导入国产光纤，脉冲光纤激光器无源光纤和有源光纤国产化率分别为 90%和 75%，连续光纤激光器无源光纤和有源光纤国产化率分别达到 53%和 13%，可见国产光纤的短板仅剩连续激光器的有源光纤部分。

在使用光纤的过程中，希望得到小纤芯直径和大数值孔径，以及更高的吸收系数，这样能够得到更好的激光质量。对比国内外常用光纤技术参数可以发现，国产光纤在 14 微米、25 微米、30 微米直径的品种中存在一定差距，在吸收系数和纤芯同心度指标上落后于进口光纤。

表 12 国产特种光纤差距已不明显

| 种 | 光纤类 | 核心参数对比 |
|---|-----|--------|
|---|-----|--------|

| 类 | 型 | 吸收系数 (dB/m@915nm) | | 纤芯直径 (μm) | | 纤芯数值孔径 | | 纤芯同心度 (μm) | | 包层直径 (μm) | | 包层数值孔径 | |
|------|-------------|-------------------|---------|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|------|-----------|---------|--------|-------|
| | | 国外光纤 | 国产光纤 | 国外光纤 | 国产光纤 | 国外光纤 | 国产光纤 | 国外光纤 | 国产光纤 | 国外光纤 | 国产光纤 | 国外光纤 | 国产光纤 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 有源光纤 | 10/125 | 1.4~2.2 | 1.3~2.0 | 9~11 | 9~11 | 0.07~0.08 | 0.07~0.08 | <1.0 | <1.0 | 123~127 | 123~127 | >0.46 | >0.46 |
| | 12/250 | 0.5~0.7 | 0.5~0.7 | 11~13 | 11~13 | 0.075~0.085 | 0.07~0.08 | <1.0 | <1.2 | 245~255 | 245~255 | >0.48 | >0.46 |
| | 14/250 | 0.7~0.9 | 0.6~0.8 | 13~15 | 13~15 | 0.07~0.08 | 0.07~0.08 | <1.0 | <1.3 | 245~255 | 245~255 | >0.48 | >0.46 |
| | 20/400 | 0.4~0.6 | 0.4~0.5 | 18.5~21.5 | 18.5~21.5 | 0.06~0.07 | 0.06~0.07 | <1.5 | <1.5 | 395~405 | 390~410 | >0.46 | >0.46 |
| | 25/400 | 0.5~0.7 | 0.5~0.8 | 23.5~26.5 | 23.5~26.5 | 0.06~0.07 | 0.06~0.07 | <1.5 | <1.7 | 395~405 | 390~410 | >0.46 | >0.46 |
| | 30/250 | 2.5~4.0 | 2.2~3.8 | 28~32 | 28~32 | 0.07~0.08 | 0.07~0.08 | <2.0 | <2.2 | 245~255 | 245~255 | >0.46 | >0.46 |
| 无源光纤 | 135/155 | - | | 133.5~136.5 | 133~137 | 0.215~0.225 | 0.21~0.23 | <3.0 | <3.0 | 154~156 | 153~157 | >0.46 | >0.46 |
| | 14/250 | | | 13~15 | 13~15 | 0.07~0.08 | 0.07~0.08 | <1.0 | <1.0 | 245~255 | 245~255 | >0.46 | >0.46 |
| | 20/250 | | | 18.5~21.5 | 18.5~21.5 | 0.07~0.08 | 0.07~0.08 | <1.5 | <1.5 | 245~255 | 245~255 | >0.46 | >0.46 |
| | 50/400 | | | 47~53 | 47~53 | 0.11~0.13 | 0.11~0.13 | <3.0 | <3.0 | 395~405 | 395~405 | >0.46 | >0.46 |
| | 100/120/360 | | | 100~104 | 98~106 | 0.218~0.222 | 0.215~0.225 | <4.0 | <4.0 | 355~365 | 390~410 | | - |
| | 200/220/360 | | | 195~205 | 195~205 | 0.218~0.222 | 0.215~0.225 | <5.0 | <5.0 | 355~365 | 355~365 | | |

数据来源：创鑫激光招股说明书

国外具有相关特种光纤生产能力的公司包括 Nufern、Coractive、Liekki (Nlight 旗下)、Corning、OFS、Fibercore、Stockyale 等，IPG 也能实现光纤的自制。国内激光器厂商的特种光纤一般来自外购瀚宇光纤（代理商），国产化的代表是烽火锐光、中国电子科技集团、长飞光纤等。

光纤技术指标解释：

- (1) 吸收系数，代表光纤对于泵浦光的吸收能力，数值越大吸收能力越强，光纤使用长度越短；
- (2) 纤芯直径，代表光纤纤芯的大小，数值越小，纤芯直径越小，输出激光光束质量越好；
- (3) 纤芯数值孔径，数值孔径越大，收光能力越强，相连接的两端光纤数值孔径匹配性越好；
- (4) 纤芯同心度，代表光纤纤芯与包层中心的偏移量，数值越小中心偏离度越小，相连接的两端光纤匹配性越好；
- (5) 包层直径，数值越大包层直径越大，相连接的两段光纤匹配性越好。
- (6) 包层数值孔径，代表光纤包层的收光能力，数值越大收光能力越强，相连接的两端光纤匹配性越好。

(2) 泵浦源

泵浦源的作用是对介质进行激励使其辐射发光。半导体激光器经常被用作光纤激光器的泵浦源，掺镱光纤激光器泵浦源包括 915nm 和 976nm 两种规格，因为掺镱光纤对这两种波长的光有着非常强烈的吸收特性。两种规格之中，976nm 泵浦源具有更高的吸收率和光光转换效率，976nm 泵浦源比 915nm 泵浦源高出 10% 的电光效率，但在光纤处理和耦合上的技术难度更大，行业中只有 IPG、Coherent 等极少数厂商能够大规模使用 976nm 泵浦源。

从封装形式来看，泵浦源封装形式包括单管和 bar 条两种，单管是将激光芯片封装后形成发光单元，bar 条是多个半导体单管并排形成激光器单条，泵浦功率更高。国内激光器龙头锐科和创鑫虽然掌握泵浦源的制造技术，但产能不足，且泵浦源的核心部件中高功率半导体激光芯片仍然依赖进口。国内专业的泵浦源供应商还有凯普林和长光华芯，外资公司主要为 Coherent 旗下的 DILAS。泵浦源是光纤激光器的成本大头，锐科每年采购泵浦源的成本占比在 35% 以上。高功率泵源、细光纤输出是激光器获得高功率的必要条件，创鑫激光自产泵源的最高输出功率 400W，且能够通过 135 微米超细光纤输出。

表 13 泵浦源国产化进展

| 厂商类型 | 公司 | 泵浦源产品状况 |
|-------|------|--------------------------------------|
| 激光器厂商 | 锐科激光 | 掌握泵浦源制造技术，原材料仍需进口，自有产能不足 |
| | 创鑫激光 | 掌握泵浦源生产工艺，量产 12W-260W 泵源，最高输出功率 400W |

| | | |
|--------|-------|---|
| 泵浦源供应商 | 凯普林 | 主要生产单管耦合半导体激光器和多单管耦合半导体激光器。其中单管波长 405-976nm, 功率 2W-10W 之间; 多单管波长 635nm-1064nm, 单 bar 输出 1.6W-300W |
| | 长光华芯 | 产品包括单 Bar 和垂直 die 阵 单 Bar 输出功率 40W, 垂直 die 阵最高功率 300W/Bar |
| | DILAS | 产品覆盖单管、传导冷却单阵列、垂直叠阵及水平列阵。垂直叠阵最高功率 400W/Bar |

数据来源: 航长投资

(3) 谐振腔 (光纤光栅)

光纤介质受激后发出的光子散向不同方向, 谐振腔的作用就是筛选一定方向的光子并进行放大, 使传播方向与谐振腔横轴线不同的光子逃逸, 强化沿横轴方向运动的光子, 最终形成传播方向一致、频率和相位相同的强光束。谐振腔需要前后两面反射镜, 称作光纤光栅, 其中一面为全反射, 一面为部分反射, 反射部分能够增强激光强度, 透射部分称为输出激光。谐振腔可以很好地缩短工作物质的长度, 还能通过改变谐振腔长度来调节所产生激光的模式。

低功率光纤光栅已实现国产化, 但中高功率光栅仍然需要依赖进口, 锐科和创鑫两家激光器厂商均为外购, 自制光栅仍在研发阶段。国外主要光纤光栅生产商为 TeraXion。

(4) 合束器

光纤合束器主要作用是进行光束合成增大输出功率, 分为功率合束器和泵浦合束器两种。高功率合束器将多路激光合束到一根光纤中输出以提高激光的输出功率, 泵浦合束器通过将多路泵浦光合束到一根光纤中输出以提高泵浦功率。国内合束器供应商包括朗光科技、中科汇纤光电等, 国外供应商主要是加拿大的 ITF Technologies。**锐科和创鑫都能够量产合束器, 两家单模组最高输出功率分别为 2KW、1.5KW, 相比之下 IPG 单模最高能够达到 20KW, Coherent 单模最高能够达到 2.5KW。**

与光纤合束器功能相对应的是光纤输出器件 QBH, 主要作用是对光纤进行扩束以降低功率密度。光纤输出器件需要和外部光学器件配合使用, 如准直单元、中间光学器件、聚焦单元、过程适配器等。

三、公司篇

1、IPG (全品类激光器)

IPG 是由物理学家 Valentin Gapontsev 于 1990 年创立, 2006 年在纳斯达克上市。**IPG 最先实现了激光器的大规模商业化, 目前是全球收入最高、技术最先进、元器件自产率最高的光纤激光器制造商, 全球市占率高达 60%, 年收入规模 13.15 亿美元。**

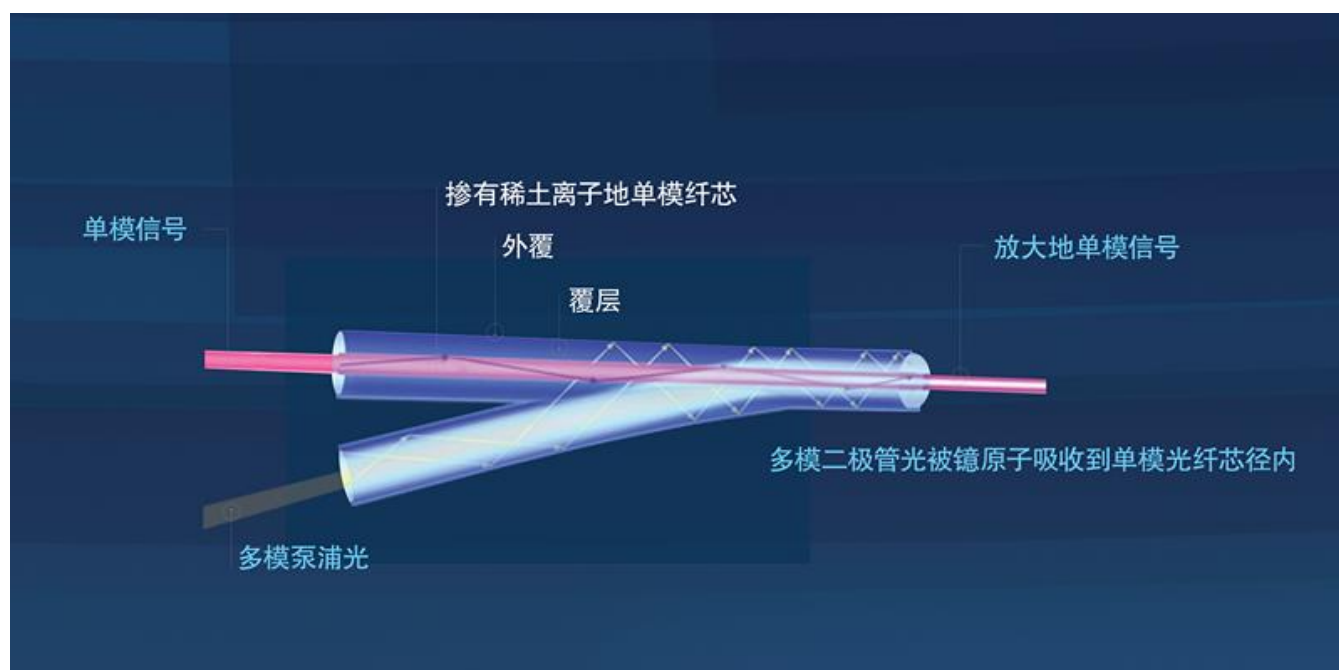
2006 年 IPG 推出 50KW 掺镜光纤激光器, 2009 年 IPG 推出全球首台 10KW 单模光纤激光器。2010 年 IPG 收购德国自动化焊接公司 COSY 及 Photonics Innovation, 进军中红外激光领域。2012 年 IPG 收购激光加工系统供应商 JPISA。2013 年 IPG 首台 100KW 光纤激光器被用于焊接 300mm 厚的金属部件, 公司收购了 Mobius Photonics 进入紫外线激光市场。2014 年 IPG 新型千瓦级掺镜光纤激光器光电转换效率达到 45%。2016 年 IPG 推出了用于数字投影和显示市场的激光 RGB 光源。2017 年 IPG 收购了三家公司, 一是美国 OptiGate 公司, 获得超快激光的核心部件; 二是 Innovative Laser 公司, 向医疗设备领域进军; 三是 Laser Depth Dynamics 公司, 完善了光束传输产品组合和激光焊接解决方案。2018 年 IPG 收购了机器人焊接和自动化解决方案开发商 Genesis。2019 年收购 Padtech SND, 进军海底网络市场。

(1) 掌控两大关键技术，拉开竞争差距

IPG 的两大关键技术是侧面泵浦技术和分布式单发射泵浦结构。

①侧面泵浦技术。早期光纤激光器很多采用端面泵浦技术，因为断面面积较窄，这种方法具有效率低、光束质量差的缺点，通常需要使用镜体将光源聚焦到光纤中。IPG 创新性地使用了侧面泵浦技术，采用双光纤设计，将多模泵浦光纤和单模掺杂光纤组合到一起，将多个泵浦二极管发出的光高效地耦合进入单模增益光纤的包层，泵浦光在包层内进行多次反射，不断穿过纤芯，被稀土离子吸收和再次发射，以极高的效率将多模二极管光转换为单模激光，这种技术手段具有高效率和高亮度的优势，而且没有对准或震动问题，无需自由空间光学器件，真正实现全光纤结构。

图 5 IPG 的侧面泵浦技术



数据来源：IPG

②分布式单发射泵浦结构

一般的光纤激光器通常采用整体激光二极管阵列巴条泵浦，将多个发射器在大面积芯片上组合，所有发射器共享一个电源和热管理系统，巴条封装方式会严重限制激光器的使用寿命。IPG 光纤激光器的能量源由多个单模或大面积单发射极二极管组成，这些半导体二极管仪器形成独立发光元件，从而提供高效率 and 可靠的光源。任一单发射器泵的故障不会影响其余泵组件的性能。

表 14 IPG 光纤激光器技术指标

| 激光器技术指标 | 条/条堆 | IPG 单发射泵 |
|----------------|---------------|------------|
| 单发射输出功率 | 1-2W | 6-10+W |
| 耦合效率 | 75%/50% | 90%-95% |
| 平均故障时间（连续激光器） | 5000-10000 小时 | >200000 小时 |
| 平均故障时间（准连续激光器） | 2000-5000 小时 | >200000 小时 |
| 转换效率（光纤内） | 25%-35% | 50%-60% |

数据来源：IPG

万瓦级别的单模光纤激光输出技术包括两种，一是直接单根光纤输出，二是激光合束输出。单根光纤输出是将千瓦级的光纤激光器作为种子源，通过单根高性能掺镜双包层光纤直接将功率放大至万瓦级甚至更高功率，但单根光纤的输出功率有限，理论极限功率为 13KW。激光合束输出是将多路光纤激光通过相干合束或者光谱合束的方式，产生高光束质量的激光。IPG 采用半导体激光器端面泵浦的方式实现了 20KW 的近单模激光输出，洛克希德马丁公司采用光谱合束技术实现了 33KW 输出。IPG 在激光器的所有环节都没有短板，IPG 电光转换效率在 2008 年已经达到 25%，至 2017 年进一步推高至 45%。

国产万瓦级别大功率光纤激光主要存在以下技术瓶颈：(1) 高增益双包层光纤的稀土离子掺杂均匀性差导致增益不均衡，在大功率激光输出时存在一定损伤和暗化效应；(2) 大功率下光纤光栅退化损伤，合束器与包层光剥离器承受激光功率较低，无法满足万瓦级激光的工作要求；(3) 激光泵源的输出功率与亮度不高，与光纤耦合效率较低，导致大功率激光器的插拔效率较低；(4) 用于大功率激光合束的单频激光种子源功率低、噪声高，导致合束后激光质量差。

IPG 最早在 2009 年研制出单纤输出功率达到 10KW 的掺镜双包层光纤，美国 Nufern、英国 SPI 也先后掌握了高增益光纤材料的核心技术。在光器件方面，德国 Laser Component 推出了单臂承受功率达 2KW 的合束器，加拿大 ITF 推出了单臂承受功率超过 400W 的合束器。加拿大 TeraXion 推出承受功率超过 3KW 的光纤光栅产品。

大功率光纤激光器需要高亮度半导体激光芯片，9XXnm 半导体激光器芯片是泵源的核心器件，IPG 在 2016 年以前已经实现单管芯片功率 15W。国内山东浪潮华光与中电集团 13 所产品功率为 8W，长光华芯作为后起之秀，976nm 单管芯片产品功率达到 15W，接近国际一流技术水平。

2、大族激光（全品类激光装备）

（1）激光设备集大成者，平台化运作实现价值最大化

大族激光成立于 1996 年，初期以销售起家，将激光打标设备覆盖到皮革、服装、电子等更多领域，占据 70% 的市场份额，其后从激光打标延伸至小功率的激光焊接、切割、制版业务，成为小功率激光业务全覆盖的设备商，这个进程到 2008 年基本实现。2007 年公司整体销售收入 15 亿元，激光打标营收占比下降至 45%，激光焊接、激光切割、PCB 设备、激光制版营收占比分别达到 10%/9%/11%/14%。

2008 年金融危机令公司遭受重挫，重新梳理业务体系，形成三横三纵业务体系，三横即保留小功率打标焊接切割等通用设备业务，三纵即打造 PCB、LED 和光伏三大行业专用设备，并开始发展大功率切割和焊接业务。2011 年国内第一轮光伏建设潮中止，大族激光卖掉光伏、养老、数码影像等业务，聚焦激光精密加工。2012 年获得苹果大单支持，当年对苹果销售达到 14 亿元。其后大族紧抓苹果产品创新趋势，一直扮演苹果产业链核心供应商的角色。2017 年大族激光收入规模首次突破 100 亿，净利润从 6-7 亿的平台快速跃升至 17 亿元，预计 2017 年从苹果手里拿到了超 40 亿元的订单。2018 年国内 7 家激光装备上市公司收入 152 亿元，大族激光占据其中的 110 亿元。**如果按照 600 亿的市场规模计算，大族占 18%，华工科技占 9%，通快中国占 6%。大族为国产第一、世界第三的激光设备头部公司。平台型公司最大的好处是中长期不缺需求，东方不亮西方亮，收入增长关键在于公司选择发力的方向。**

（2）成功向上游零部件延伸

大族能够自产中低功率激光器，高功率与 IPG 深度绑定。2016 年大族收购了加拿大特种光纤厂家 Coractive80% 股权。自产激光源预计从 2019 年的 260 台增加到 1000 台。大族在 2009 年建立了激光器研发中心，在 2018 年开始自产高功率激光器，目前技术水平能够自产最高 1 万功率的多模激光器。大族认为激光器长期趋势是 IPG 退出中低功率，对于大族来说首选自制为主。

(3) 成功打造业务平台，削平业绩波动

过去 10 年大族激光的业绩增长与苹果的产品创新及 CAPEX 水平休戚与共，大小年特征非常明显。2012 年苹果推出铝合金后盖 iPhone5, 当年固定资产投资增速达到 123%, 大族当年营收 43 亿, 同比增长 19%。2014 年苹果推出 iPhone6, 固定资产投资增速回升至 58%, 大族营收增长至 56 亿元, 营收增速 28%。2017 年 iPhone 十周年苹果推出 iPhoneX, 固定资产投资增速达 40%, 大族激光营收增长至 116 亿元, 营收增速高达 66%。以苹果业务为主的小功率业务也是盈利能力最高的业务, 导致 2017 年大族有 40% 的盈利来自于苹果业务。

图 6 苹果公司固定资产投资变化

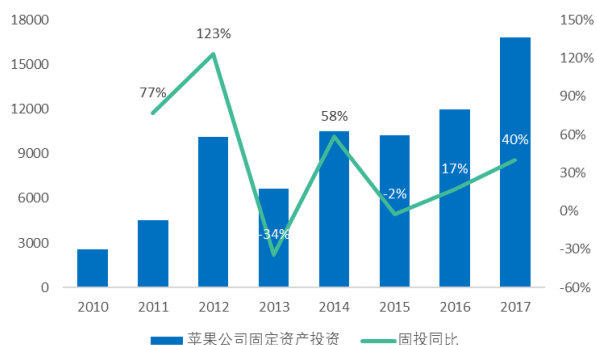
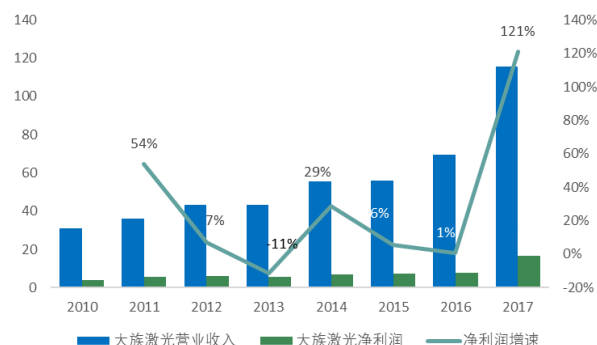


图 7 大族激光业绩变化



数据来源：公司公告

2002 年大族激光成立大族数控并推出首台国产 PCB 激光钻孔机, 2016 年收购东莞市升宇智能拓展在软板的业务, 覆盖了深南、生益等主流 PCB 大厂。2016 年推出 OLED 玻璃切割设备进入 OLED 行业。2015 年发布合纵连横发展战略, 战略中心放在智能制造和新能源板块, 2017 年专门成立新能源装备事业部, 当年销售 8 亿元, 大客户宁德时代。2018 年进入半导体封测领域, 主要客户长电、华天、晶方, 应用于激光解键合、激光开槽、激光改质切割等。

表 15 大族激光主营构成 (单位: 亿元)

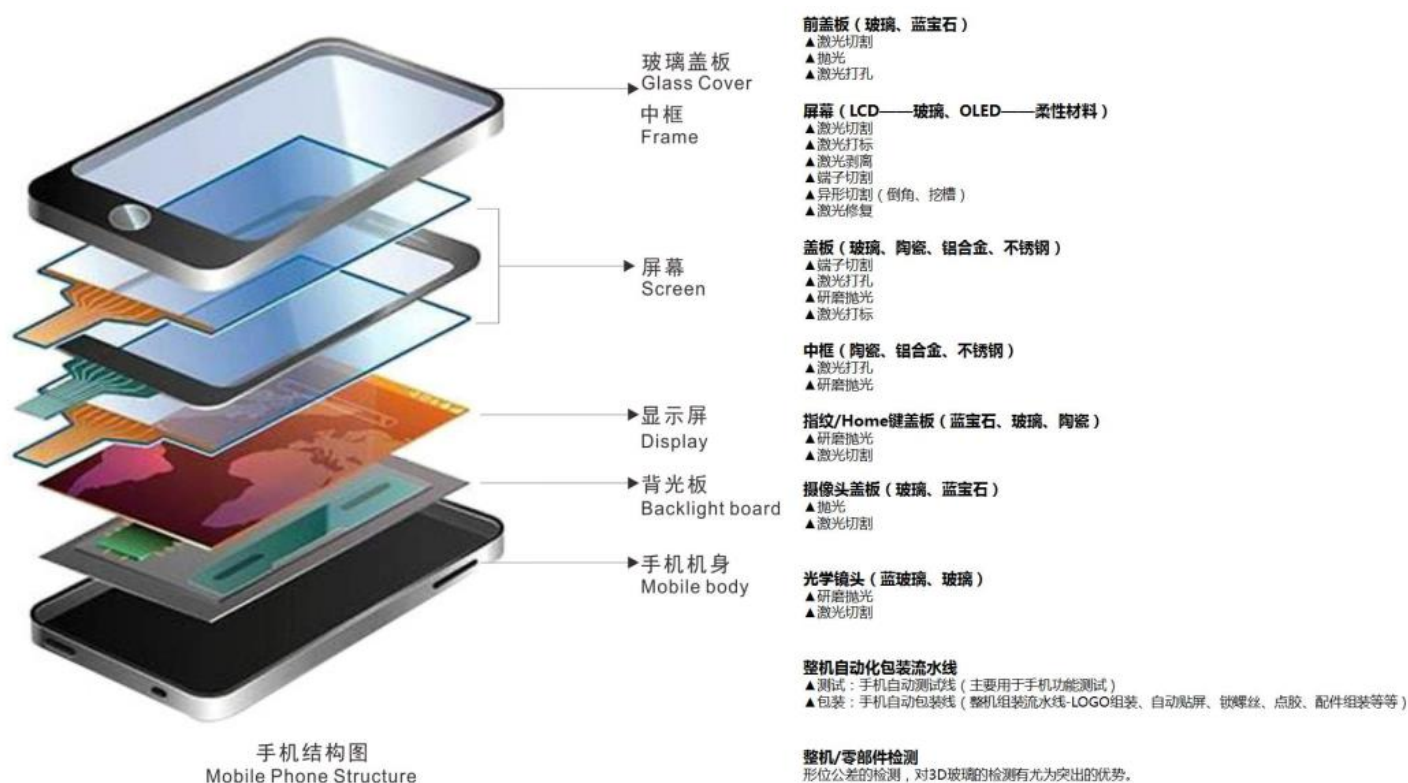
| 主营构成 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------|-------|--------|--------|
| 消费电子 | 35.22 | 61.88 | 47.51 |
| 大功率 | 14.61 | 20.74 | 23.25 |
| 显示面板 | 3.47 | 5.10 | 8.99 |
| PCB | 8.90 | 12.10 | 16.82 |
| 新能源 | 3 | 5.47 | 6.41 |
| 合计 | 65.2 | 105.29 | 102.98 |

据公司业绩快报, 2019 年业绩出现大幅度下滑, 营收 95.81 亿元, 同比下降 13%, 归母净利润 6.58 亿元, 同比先下降 62%。其中 Q4 单季度营收 26.38 亿元, 同比增长 11.14%, 归母经理 0.58 亿元, 同比下降 7%。2019 年电子产业链及一般工业景气程度下降, 对公司的负面影响已确认, 四季度营业收入已重回增长轨道。

消费电子业务反弹预期强烈。2019 年来自苹果收入 15 亿元, 预期 2020 年苹果订单 26 亿元以上, 消费电子业务整体收入达到 30 亿元以上。公司在电子产业链供应的设备包括激光打标、激光切割、LDS 激光直接成型技术等, 2017 年苹果的 40 亿订单中, 估计 15 亿是打标, 15 亿是焊接, 5 亿是脆性材料划片, 5 亿是自动化检测。2019H1 大族消费电子业务收入下滑 18%, 净利润下滑 57%, 拖累公司总收入下滑 7.3%。2020-2021 年消费电子需求复苏确定性强, 甚至有可能出现爆发, 原因一是苹果创新大年, 二是 5G 手机会有 2.5 亿-3 亿部, 三是消费电子领域的激光设备寿命通常只有 3 年, 2017 年爆发之后 2018-2019 年已沉寂 2 年, 2020 年会是设备更新大年。2019 年 10 月以后的苹果项目华工科技没有参

与，大族在苹果中的份额在 70%以上。受全球疫情影响苹果暂时预计新机延后 1 个月出货，全球范围内除中国区门店全部关闭。消费电子复苏预期强烈，但如果疫情在一个季度内无法控制，无疑业绩复苏将至少推后一年，不确定性陡增。

图 8 激光加工在手机中的应用



数据来源：大族激光

PCB 业务受益 5G。PCB 业务收入 13 亿元，2020 年预计 17 亿元，主要是受益 5G 基站建设需求，而且软板占比提升至 50%将有利于维持高盈利能力。公司份额 40%，激光在 PCB 领域应用主要是打孔，高频高速版需要更多的打孔。

新能源业务业务 2019 年实现 10 亿收入，增长 50%，但尚未盈利，2020 年能维持。

大功率业务收入持平，毛利率下滑，2020 年预计收入 20 亿元，与 2019 年持平，主要是汽车客户。大功率毛利率较低只有不到 25%，低于整体 35%的毛利率，2020 年主要看点是高功率激光器自产比例提高，毛利率恢复至 25%-30%。大功率毛利率较低的原因就是激光器需要外购，IPG 获得 40%以上的毛利率。

显示面板事业部包括 LED、LCD、OLED、光伏和半导体。半导体封测：2019 年 5000 万元收入，2020 年 2 亿元。国内封测厂一年采购需求 10-20 亿左右。光伏业务之前是通威最大客户，2019 年 10 月拿到了隆基股份的 5000 万左右订单。2019 年面板事业部收入 10 亿元，2020 年随着 OLED 设备大客户份额提升、光伏行业需求旺盛、半导体设备放量，整体收入有望达到 15 亿元。

(4) 研发中心事件负面影响消退

2019 年 8 月大族激光瑞士研发中心建设项目被媒体质疑选址、预算金额和资金投向，媒体质疑投资金额过高，且怀疑研发中心项目与控股股东大族控股的酒店建设项目存在人员和供应商的重合性，媒体认为存在关联方占用上市公司资金的可能性。

媒体的怀疑及后来董事长回应时的不当言论将大族激光推上风口浪尖，此次风波对大族激光的股价造成了严重负面影

响，投资者用脚投票，股价一个月内下跌 30%。后来大族激光聘请了会计师事务所普华永道对项目现金流进行审计，并对不当回应、信息披露不足情况进行了道歉。

实际情况是欧洲研发中心于 2011 年开始前期工作，报建工作在 2016 年才完成，预计在 2020 年竣工。研发中心所在地瑞士英格堡是多家装备制造巨头总部所在地，包括了全球四大机器人公司 ABB 集团总部、全球激光设备销售第一的德国通快打标机总部、世界第三激光切割机公司百超总部、全球最大的塑料焊接公司莱丹总部。欧洲研发中心投资初衷是希望以瑞士为桥头堡，探索国际化合作和并购项目的可能性。2010 年以来公司在多地拓展，国内在深圳、上海、苏州扩建了 46 万平米，国际上在硅谷购置了 1.5 万平米用于研发，欧洲研发中心的投资与这些项目拓展本质无异，尽管项目与大族控股存在地理位置和供应商上的相关性，但经审计后证实资金并没有被挪用。**此次事件实际上对公司的行业竞争力、财务报表真实性、资金安全都没有实质影响，经半年时间至今负面信息已被市场消化。**

(5) 23 亿可转债项目投产在即

2017 年公司成功发行 23 亿可转债，其中 15 亿投资于高功率激光切割焊接系统及机器人自动化装备产业化项目，8 亿用于脆性材料及面板显示装备产业化项目，建设期 2 年，原计划于 2019 年 9 月投产。项目地点位于大族激光全球激光智能制造产业基地，产业基地项目建筑面积 50 万平方米，高功率项目使用 10 万平方米，目标是形成高功率激光切割装备 300 套、激光焊接装备 100 套及机器人自动化系统 20 套，形成年产值 30 亿元，税后净利润 4.52 亿元，IRR26.28%，投资回收期 7.41 年。脆性材料及面板显示装备产业化同样放在大族激光智造基地，预计达产后形成年产玻璃等脆性材料加工设备 1010 台，实现年收入 15.3 亿元，净利润 2.3 亿元，IRR24.35%，投资回收期 7.33 年。

2017 年公司取得地块并开始建设，原计划于 2019 年年底投产。**2020 年 2 月 21 日，深圳市发改委公布《深圳市 2020 年重大项目计划》项目清单，大族激光智造基地作为地方性重点项目位列其中，工程建设加快进行，年内投产的机会概率较大。**新项目的落成将形成新的业绩增长点，尤其是巩固在高功率业务上的竞争优势，改变了原来过于依赖小功率的业务缺陷。

项目中的机器人自动化项目可能形成重点催化剂。国内机器人行业处于高速成长的青春期，大族激光已形成一定的技术积累，2015 年推出的三维五轴激光切割机是国内首创，成功打破国外技术垄断。公司的三维五轴激光机床除了应用了激光器、激光头制造技术外，还对机器人技术、数控系统技术、柔性产线组装技术有很高的技术要求，设备曾经得到李克强总理的参观和肯定评价，并登上央视《大国重器》频道，可以应用于航天级工业处理需求。同行业的华工科技直至 2018 年才推出类似的三维五轴激光机床，且产品主要应用于汽车生产中，可见大族在机器人领域的技术储备走在国产厂家的前列。

(6) 大手笔股权激励明确业绩指引，股价处于绝对低估区间

大手笔股权激励计划出炉，授予 4997 万股，占总股本的 4.68%。此次股权激励计划与 2019 年 9 月授予，覆盖管理层及核心骨干人数达 1333 人，行权条件为 2020-2022 年扣非净利润不低于 15.2/16.7/18.8 亿元，行权价格为 30.57 元，与现价 33 元也十分接近。行权条件是管理层对公司未来业绩预期下限的指引，此次股权激励计划股份数量大、覆盖范围广、行权条件苛刻、行权价格高，行权业绩标准的基数选择了高基数的 2018 年而非业绩下滑的 2019 年，在深度绑定核心员工之余，充分反映了管理层对公司后面 3 年发展的信心。

历史上公司股价跟随电子板块走势而波动，经过前期连续的大幅调整，目前股价已进入绝对低估的区间。当前股价仅为 30.49 元，市值仅为 325 亿元，假设业绩指引的 15 亿元能够实现，则对应的动态 PE 仅为 22 倍，即使业绩仅为 10 亿元，30 倍的 PE 对于国产激光设备龙头也是非常具有吸引力的估值。对于公司股价的低估，还有几个指标可以作为佐证：一是股权激励行权价格是 30.57 元；二是回购价上限是 50 元，股权激励计划的股份实际来自于公司在 2018 年推出的回购计划，回购计划实际回购金额为 5 亿元，回购价格上限不超过 50 元，实际成交价格为 29.49 元-35.50 元，于 2019 年 3

月完成。三是可转债转股价 52.3 元，回售触发价 36.61 元。四是 2018 年年初最高价 59.91 元，下半年熊市背景叠加增长放缓的最低价 26.56 元。五是 2019 年最高价 46.60 元，8 月份研发中心事件打出的最低价为 23.61 元。

3、华工科技（激光装备+光模块）

(1) 国内第二大激光装备制造，激光产业重点国企平台

华工科技为国内第二大的激光装备制造，两大主营业务光模块+激光设备，实际控制人为教育部。2018 年华工科技营收 50 亿元，净利润 2.84 亿元，是国内激光行业中仅有的 2 家 50 亿元以上营收的公司。2019H1 公司营收下滑 4%，主要原因是受电子行业客户需求下滑影响，其中激光加工设备 2019H1 营收 9.33 亿元，毛利率 35%。

华工科技是激光产业里面重点国企平台，承担了激光装备技术攻坚、产业链上下游培育的重任。公司拥有 6 个国家级平台，分别为国家企业技术中心、激光技术国家重点实验室、激光加工国家工程研究中心、教育部敏感陶瓷工程研究中心、国家防伪工程研究中心、国家激光产业技术创新联盟。其他公司在细分领域一般只有 1 个研发中心，华工 6 个研发中心的配置代表了在行业里面的领先地位。公司拥有国家千人计划专家 12 名，千人专家数量在所有高科技企业中极为罕见，且研发人员占比在 20%以上。

华工科技初步完成了产业链上下游一体化布局，在激光器芯片领域发起设立云岭光电，并参股激光器芯片公司长光华芯，在激光器领域参股国产激光器龙头锐科激光。

(2) 老牌激光装备大厂，下游主要覆盖电子、汽车及机械领域

公司的能量激光业务根据功率大小分为两个事业群，1000W 以上大功率称为智能装备事业群，由华工激光负责，1000W 以下中小功率是精密微纳事业群。智能装备事业群面向汽车、工程机械、新能源汽车白身焊等，针对汽车轻量化趋势，华工科技成功开发出三维五轴激光切割设备，其核心部件，如光源、切割头均国产化，价格仅为进口设备的 70%，性能比肩国外同类设备。一条热成型线需要配备 4-6 台三维五轴激光切割机，仅切割环节就可为用户节约 1000 万左右左右的设备投入成本。华工科技具备了整条产线的建设能力，从单台设备转变为改造整个系统，客单价从单台设备的 200-800 万提升至一个工厂价值量 1-2 亿。

精密微纳事业群面向 3C 业务，也有激光量测、PCB 业务，客户包括苹果、HVO 等，华工科技称在苹果公司里面与大族激光的份额对比大概是 3:7 的关系。在 3C 领域，无线充电、手机天线材料和工艺的变化，以及玻璃、陶瓷材料的应用，用激光加工的品质远远好于 CNC 加工的效果。PCB 领域，软板的工艺设备不再适用，PCB 厂都在测试新的激光工艺，使用激光加工取代其中的一些工艺，能够使污染程度下降 50%以上。

2019H1 公司收入 25.54 亿元，同比下降 6.83%，归母净利润 3.31 亿元，同比增长 83%，但主要是公允价值变动损益导致，扣非净利润为 1.59 亿元，同比增长 12%。智能装备事业群收入 4.5 亿元，同比增长 14%，激光精密事业群收入 4.2 亿元，同比下降 24%。智能装备方面受到汽车市场低迷的影响，车身激光焊接装备收入出现大幅下降，但切割产品的销量大增 27%，阻止收入下滑的颓势，奥托博系列汽车热成型件三维激光切割机装备标准化，大批量进入下游客户；新产品 GF 系列经济性激光切割平台实现批量销售，此外拓展了 MARVEL12000 系列超过苏激光切割平台、LT 系列全自动激光切管机、全自动集成料库等产品。MARVEL 系列激光切割机配备了锐科的高功率光纤激光器，设备采购和维护费用整体下降了 15%-20%。

2019 年前三季度公司收入 38.78 亿元，同比略降。其中能量激光 13.6 亿元收入，精密微纳事业群收入 6.4 亿元，同比下降 56%，智能装备事业群 6.7 亿元，同比增长 10%。华工正源收入 14.2 亿元，其中光模块收入 10.2 亿元，增长 24.3%。智能终端产品长期拖累毛利率，目前处于微利状态。华工高理主要是传感器业务，收入 7.1 亿元，同比增加 10%左右。华

工图像主要是激光防伪 2.9 亿元收入，增速在 20%。

表 16 2019H1 华工科技主营业务构成

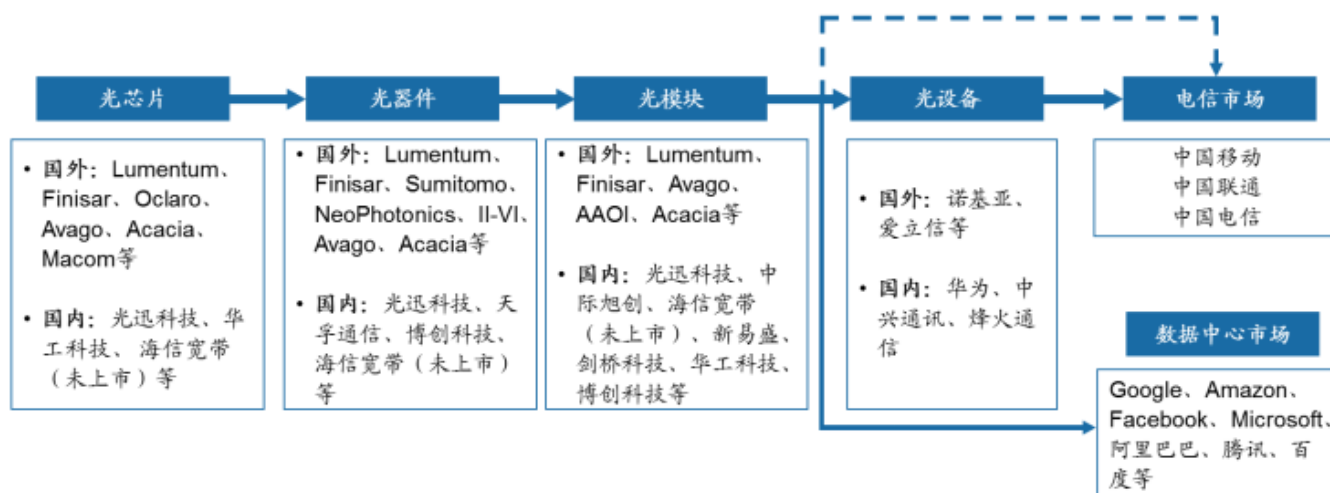
| 主营业务（单位：亿元） | 营业收入 | 毛利 | 营收占比 | 毛利率 | 营收增速 | 毛利率变化 |
|--------------|-------|------|------|-----|------|-------|
| 激光加工及系列成套设备 | 9.33 | 3.20 | 37% | 34% | -4% | -1% |
| 光电器件系列产品 | 8.98 | 1.06 | 35% | 12% | -20% | 5% |
| 敏感元器件 | 5.01 | 1.13 | 20% | 22% | 13% | -5% |
| 激光全息防伪系列产品 | 1.72 | 0.84 | 7% | 49% | 26% | -18% |
| 计算机软件及信息系统集成 | 0.09 | 0.03 | 0% | 33% | -50% | -6% |
| 合计 | 25.54 | 6.41 | 100% | 25% | -7% | 2% |

(3) 5G 光模块一马当先，未来 3 年重要增长极

光模块产业链主要包括光芯片、光器件、光模块、光设备四大环节。光模块的作用就是实现光电转换，在发送端将电信号转换成光信号，在接收端将光信号转换成电信号。光芯片是发射激光和探测激光的核心器件，属于技术密集型产品，常见的激光器芯片包括 VSCEL、DFB、EML 等，光探测器主要有 PIN、APD。光器件又称 OSA，起到光收发作用，具体包括光发射组件 TOSA，光接收组件 ROSA、光发射接收组件 BOSA。

光模块是将各类光电子元器件、PCB 等封装得到，常见的封装标准为 SFP28 用于前中传、QSFP28 用于回传与数通、CFP2 用于相干长距、QSFP-DD 与 SDFP 用于数通市场。整个光模块中 73%成本来自光器件，TOSA 和 ROSA 分别占据成本的 48%和 32%。**TOSA 的主体为激光器芯片，ROSA 的主体为探测器芯片，单论光芯片构成了 50%的成本，是光模块中最关键的部件，也是国产可能被卡脖子的环节，25G 以上速度的光芯片国产化率很低。**

图 9 光模块产业链



数据来源：广发证券

光设备公司主要包括国外的诺基亚、爱立信，国内的华为、中兴和烽火通信，而终端市场为电信和数通两大市场，数通市场占比更大，两者的市场规模大概是 6:4 的关系。从电信市场来看，5G 宏基站总数将达到 4G 基站数的 1.3-1.5 倍，最终数量超过 500 万座，建设需求从 2019 年开始启动、2020 年开始爆发。按照单个宏基站配备 3 对光模块，则在整个建设周期内将带动至少 3300 万只光模块的需求，整体市场空间达到 547 亿元。其中 5G 前传网络需求为 25G/50G 光模块，中传网络需求为 100G/200G 光模块，回传网络需求为 200G/400G 光模块。

表 17 5G 光模块市场需求 (电信市场)

| 传输环节 | 光模块需求量 (万个) | 市场空间 (亿元) | 光模块速率方案 | 市场占比 |
|------|-------------|-----------|----------|--------|
| 前传 | 3000 | 163 | 25G | 29.75% |
| 中传 | 1000 | 53 | 25G | 9.70% |
| 回传 | 246 | 249 | 100/200G | 45.63% |
| 省干 | 12 | 82 | 400G | 14.93% |
| 总计 | 4258 | 547 | | |

数据来源：中信建投

数通市场也处于扩张通道。据思科数据，2016 年全球 IDC 流量达到 6.8Z，预计在 2020 年增长 3 倍达到 20.6ZB，超大规模 IDC 数量将从 338 个增长至 2021 年的 628 个，数通市场呈现爆炸式增长趋势。IDC 中心内部光接口正从 10G/25G 升级至 40G/100G。数通市场的主要观测指标是亚马逊、谷歌等互联网巨头的资本开支水平，几家互联网巨头的资本开支已从 2019Q2 重回增长轨道。

国内光通信行业在下游进展较快，电信市场、数通市场均处于高速成长当中，以中兴、华为和烽火为代表的网络设备商占据全球一半的份额，到光模块环节竞争力就减弱很多，光迅、旭创在全球范围内属于第二梯队，国内厂家合计占 20% 份额，再往上游光芯片、光器件更为弱势。国内产业链的主要短板在于上游的高端芯片，10G 芯片已经实现 50% 的国产化率，但 25G 以上芯片严重依赖进口，需要从博通、三菱、住友、Oclaro 等公司中采购。华工科技在光芯片领域具有较强实力，其中 10G 光芯片实现量产，25G 光芯片及器件送样，100G 双速率海外批量发货，400G 开始小批量试产。

光模块市场的领导者是 Finisar 和 Lumentum，分别占据 15% 和 9% 的市场份额，国内市场的主要玩家为光迅科技、中际旭创、新易盛、华工正源等，国内几家公司合计占据 14% 的份额。光模块市场与激光器市场类似，处于国产替代进程中，不断有新厂家涌入市场，而且光模块本身存在技术渗透、产品升级迭代较快，因此每年价格都有 15%-30% 的下降。这种市场环境要求企业具备快速进化能力。

国内光模块行业的领导者是中际旭创和光迅科技，数通市场竞争格局稳定，电信市场 (5G 市场) 可能出现一定变数。中际旭创主要服务数通市场，客户是亚马逊、谷歌、Facebook、思科等海外互联网巨头，其中谷歌占比 60%-70%。中际旭创是亚马逊和谷歌的光模块第一大供应商，是 Facebook 的第三大供应商，国内阿里、腾讯、华为的 IDC 光模块第一大供应商。谷歌在 2019Q4 开始需要 100G 产品，竞争对手均无法大量交付 100G 产品，亚马逊 2020 年升级至 400G 产品，国内的升级要到 2021 年，公司占据高端市场，拥有高达 90% 的良率以及一线客户，因此毛利率领先与同业。光模块封装属于劳动密集型产业，比拼的是成本竞争力，中际旭创和新易盛作为民企业的成本竞争力更强。中际旭创 100G 光模块全球市占率第一，100G 产品没有竞争对手，中际旭创具备 400G 单模量产能力，目前市占率高达 50%，2019 年新易盛和华工正源也推出了 400G 光模块产品。

光迅科技背靠通信领域重量级单位中国信科集团，传统优势是通信市场，因此重点客户是华为、烽火、中兴和运营商等，光迅的优势具备领先的芯片资产能力。10G 芯片全部实现自产，25G 芯片中 10%-20% 能够自产。

华工科技是 5G 时代的有力竞争者，在数通市场较难撼动现有竞争格局，但在电信市场有很高的颠覆可能性。2018 年华工科技光器件业务收入 21.7 亿元，处于行业中游水平，国内龙头光迅科技和中际旭创收入规模均为 50 亿元左右，昂纳科技收入为 22.1 亿元。

近 2 年华工科技主动放弃了部分智能终端业务，将光通信业务的毛利率提升至 12%。通信前传 25G 导入全球四大设备商并实现批量交付。2019 年华为的 5G 光模块招标结果出炉，25G 前传合计招标 300 万只，其中 10KM 的 150 万只，

报价 35 美元，份额排名为海信 40%，华工 30%，光迅 15%；300m 产品报价 33 美元，份额为华工 40%，海信 30%，光迅 20%。**华工科技份额达到前二，此次在华为 5G 光模块招标中突围，正式宣告了公司在电信光模块领域的崛起。得益于 2017 年增发项目 4.5 亿元资金的投入，2018 年 6 月华工科技已经在华为完成了首单 5G 产品的认证，而同行直到 11 月才有相关产品面世。**

表 18 5G 光模块竞争格局

| 设备商 | 前传 | 中回传 |
|-----|--|--|
| 华为 | 华工正源、海信宽带、中际旭创、华为海思、光迅科技、Lumentum、Molex。2019 年需求约 200 万支，2020 预计为 700-800 万只 | 华为海思、索尔思、光迅科技、海信宽带、中际旭创、住友。50GPAM4 2019 年需求 13 万只，2020 年预计 60 万只 |
| 中兴 | 中际旭创、华工正源、海信宽带、新易盛、极致星通、德科立。2019 年需求 50 万只，2020 年预计 250 万只 | 中际旭创、光迅科技、海信宽带、住友、Finisar |
| 爱立信 | 光迅科技、海信宽带、Finisar、台达、华工正源 | |
| 诺基亚 | 光迅科技、华工正源、Finisar | |

数据来源：中信建投

4、锐科激光（光纤激光器）

锐科激光是国内第一家专门从事光纤激光器及核心器件研发并实现规模化生产的企业。先后研制出国内第一台 25W 脉冲光纤激光器产品，第一台 100W、1000W、4000W、6000W 和 10000W 连续光纤激光器产品，技术水平在国内处于领先地位，2016 年锐科牵头制定了国内光纤激光器的行业标准。

(1) 激光行业领军人才挂帅

锐科位于武汉东湖高新区，建有国内唯一的光纤激光器技术国家地方联合工程研究中心，以及光纤激光器湖北工程研究中心。公司的核心技术团队为公司副董事长兼总工程师闫大鹏、董事兼副总经理李成、副总经理兼董事会秘书卢昆忠。其中闫大鹏为华东工学院教授、博导，回国前供职于美国特种光纤及激光器巨头 Nufern 研发团队；李成曾任英国 GSI 公司激光部高级激光科学家，研究高功率激光器方向。卢昆忠曾于一家美国公司做通信方面的研究，负责半导体封装技术的研发。**3 名专家均为国家千人计划成员，且均为光纤激光器领域的领军人才。**闫大鹏、李成、卢昆忠 3 人分别持股 1357/551/551 万股，持股比例 10.6%/4.3%/4.3%，管理层高持股比例保证与公司利益的绑定。

(2) 担负激光器国产替代重任，十三年发展奠定国内龙头地位

锐科前身为锐科有限，于 2007 年由华工激光和闫大鹏共同出资设立。前华东工学院教授、Nufern 研发人员闫大鹏以“泵浦光源的光纤侧边耦合方法”“10W、20W 脉冲光纤激光器及 150W 连续光纤激光器技术”等专利及技术出资。当时国外对激光器的技术和原材料实现严密封锁，锐科艰难地从实验室走向市场，成功搭建了一条完整的国产化激光器产业链。

初期锐科激光产品质量较差，返修率高达 50%，华工科技采购了锐科 90% 的产品，无条件支持锐科的研发工作。至 2009 年锐科返修率下降到 2%，产品质量开始稳定下来，公司首次实现年度盈利。2010 年锐科 25W 激光器实现量产，直接将价格从 15 万元杀低至 1.2 万元，航天三江集团开始从原有股东手中收购股份并对其进行增资。

2013 年公司首次攻克万瓦级连续光纤激光器技术，使中国成为全球第二个掌握万瓦级技术的国家。2015 年 6 月锐科有限变更为锐科股份，航天三江集团为公司控股股东，实控人为航天科工集团，公司从高校背景转变为军工背景。2017 年锐科收购睿芯光纤，成功研发有源光纤。2018 年锐科成功在创业板上市，前沿产品已经将功率推升到 20KW 的高度。

锐科的激光器电光转换效率达到 25%，与 IPG 的 40%仍有较大差距。

表 19 锐科激光发展历程

| 年份 | 重大事件 |
|--------|--|
| 2007 年 | 武汉锐科光纤激光器技术有限责任公司创建成立 |
| 2008 年 | 公司推出 10W 脉冲全光纤激光器并承担国家科技支撑项目和重大专项 |
| 2009 年 | 公司推出 100W 连续光纤激光器 产品返修率从 10%下降到 2%，公司首次实现盈利 |
| 2010 年 | 25W 脉冲光纤激光器产品被列为国家重点新产品 航天三江集团收购公司股权 |
| 2011 年 | 500-1000W 连续光纤激光器研制成功并开始量产 成功研发合束器 |
| 2012 年 | 4000W 连续光纤激光器通过科技成果鉴定 |
| 2013 年 | 成功攻克万瓦激光器核心技术，研制成功中国首台万瓦连续光纤激光器 2000W 和 3000W 激光器实现批量生产，6000W 激光器市场试用 |
| 2014 年 | 锐科发明专利或第十六届中国专利优秀奖 公司中功率系列产品获得欧盟 CE 认证，正式销往欧洲地区 QBH 条线和泵浦源芯片研发成功 |
| 2015 年 | 锐科激光新工业园在武汉未来科技城落成，公司整体搬迁至新工业园区 锐科激光完成股份制改造 |
| 2016 年 | 公司 20KW 光纤激光器及其核心器件研发项目入选 2016 年湖北省技术创新专项重大项目 小型化高光束质量万瓦光纤激光器入选国家“十二五”科技创新成果展 锐科激光牵头起草的《JB/T12632-2016 光纤激光器》正式发布，创立国内首个光纤激光器行业标准 推出准连续光纤激光器及半导体激光器产品 |
| 2017 年 | 锐科激光举办 2017 年慕尼黑上海广电推介会 由锐科激光牵头的国家 863 计划高效能大功率光纤激光器课题通过技术验收 锐科激光牵头的 2017 年国家重点研发计划增材制造与激光制造重点专项“工业级大功率光纤激光器关键技术及产业化”项目启动 6KW 激光器实现量产，12KW 激光器进入市场试用阶段 收购睿芯光纤，有源光纤研发成功 |
| 2018 年 | 锐科激光正式挂牌上市 20KW 光纤激光器及其核心器件研发项目通过验收 12KW 光纤激光器实现量产，1.5-2KW 单腔激光器量产 正式获批第三批制造业单项冠军示范企业 荣获改革开放 40 年创新力企业 |
| 2019 年 | 收购国神光电 51%股权 |

数据来源：锐科激光

(3) 主动发起价格战抢占市场份额

激光器行业最大的特点是在于技术升级较快,旧产品价格会快速下滑。锐科激光在 2016-2018 年连续突破 3KW、6KW、12KW 激光器技术,技术快速升级以及成本优势赋予了公司发动价格战的底气。过去 3 年锐科的激光器产品均保持每年 20%以上的降价幅度,积极与 IPG 争夺中国区市场的激光器份额。

2018 年 IPG 在中国大陆营收 6.29 亿美元,折合 45 亿元左右,同期锐科在国内的营收为 13.88 亿元,两者约为 3 倍的数量关系。2019 年锐科的营收增长 50%至 20 亿元左右,而 IPG 中国区收入下滑 20%至 4.92 亿美元,折合人民币 34 亿元,仅为锐科收入的 1.5 倍。**2019 年锐科的市场份额已经提升至 30%,较 2018 年提升 10 个百分点,如果维持现有发展趋势,锐科很有可能在 3 年内在营收上实现对 IPG 的赶超。**

锐科早期面向激光打标市场,以低端的脉冲光纤激光器为主。2016 年之后才转型切割和焊接,2019 年 7 月通过收购国神光电纳入超快激光器产品。2019 年公司光纤激光器出货量预估为 17000 个,其中结构上仍以中低功率为主,3000W 以上产品出货量 2400 个占比 15%。公司脉冲光纤激光器均价 1.25 万元,连续光纤激光器均价 13.47 万元,份额优先战略下毛利率下降较快,目前已回落至 37%,2020 年计划对产品继续降价 20%-30%,全年收入指引 27 亿元,同比增速 35%在关键元器件上锐科已成功突破泵浦源瓶颈,上游原材料泵浦源自供比例已经达到 90%,光纤自供比例 30%,计划 2020 年提升至 70%,原材料自供将在一定程度上缓解毛利率下降的压力。

5、创鑫激光（光纤激光器）

(1) 国产激光器第二梯队，技术实力仅此于锐科激光

创鑫激光成立于 2004 年,是国内首批成立的光纤激光器制造商之一。公司发展路径与锐科激光类似,在突破大功率光纤激光器制造技术的同时,实施产业链垂直整合,在核心光学器件的研发上发力,实现了泵浦源、合束器、光纤光栅、隔离器、激光输出头、剥模器、声光调制器、模式匹配器等光学器件的自主生产。

公司拥有深圳、鞍山和苏州三大产业基地,其中深圳为公司总部,鞍山创鑫位于鞍山辽宁激光产业园,募投项目创鑫激光定位为中高功率及万瓦级超高功率激光器研发生产基地,规划总建筑面积 6 万平方米,规划员工 800 人,年产值超 10 亿元。三大产业基地分别占据华南、华北、华东地区激光产业重镇,区位优势突出。

锐科和创鑫均在 2008 年突破脉冲光纤激光器技术,2013 年突破连续光纤激光器技术。创鑫激光的代表性产品 4000W 单模块连续光纤激光器和 25000W 多模块连续光纤激光器已通过检测并取得科学技术成果登记证书,已具备实现市场销售的条件。**创鑫激光两款新品所达到的功率代表了国内最高技术水平,从功率指标上甚至超越了锐科的 20000W。**另外 4000W 单模块连续光纤激光器和 35000W 多模块连续光纤激光器已取得中科院光电研究院的检验报告,产品性能基本不存在问题。

表 20 创鑫激光技术水平属国内领先

| 产品种类 | 产品系列 | 核心参数 | 国外厂商 | 国内厂商 | 创鑫激光 |
|---------|-------------------|----------|------------|----------|---------|
| 脉冲光纤激光器 | 声光调 Q 脉冲光纤激光器 | 最高输出功率 W | 300-1000 | 100-1000 | 300 |
| | | 光束质量 M2 | 1.5-15 | 1.5-15 | 1.5-2.0 |
| | 脉宽可调 MOPA 脉冲光纤激光器 | 最高输出功率 W | 200-1000 | 200 | 200 |
| | | 光束质量 M2 | 1.5-15 | 1.5—2.0 | 1.5-2.0 |
| 连续光纤激光器 | 单模块连续光纤激光器 | 最高输出功率 W | 2000-10000 | 4000 | 5000 |
| | | 光束质量 M2 | - | 2.1-2.7 | 2.0-5.0 |

| | | | | |
|-------------|----------|-------------|------------|--------|
| 多模快速连续光纤激光器 | 最高输出功率 W | 8000-120000 | 8000-30000 | 35000 |
| | 光束质量 M2 | 4.5-25 | 4.5-15 | 6.5-10 |

数据来源：创鑫激光招股说明书

(2) 股东阵容豪华

公司股东背景也大有来头，按发行前口径统计，控股股东及实控人蒋峰持股比例 33.90%。第二大股东国相鑫光持股比例 10.89%，国相鑫光为风投基金，出资金额最大的有限合伙人为中国国有资本风险投资基金。上海联创和苏州凯风均为创投基金。新鑫合伙和华鑫公司为员工持股平台，持股比例分别为 6.20%、5.56%，锁定 36 个月，合计参与员工人数 42 人，其中核心技术人员李刚、杨德权、黎永坚分别持股 1.39%、0.50%、0.50%，利益关系深度绑定。公司小股东名单中还出现了湖北小米、招商招银、赛富等重量级机构身影。

表 21 创鑫激光重要股东名单

| 序号 | 股东名称 | 持股数 (万股) | 持股比例 |
|----|--------------------------|----------|--------|
| 1 | 国相鑫光 (最大出资人中国国有资本风险投资基金) | 803.32 | 10.89% |
| 2 | 上海联创 (创投基金) | 564.70 | 7.66% |
| 3 | 新鑫合伙 (员工持股平台) | 457.65 | 6.20% |
| 4 | 苏州凯风 (创投基金) | 454.80 | 6.17% |
| 5 | 华鑫公司 (员工持股平台) | 410.34 | 5.56% |

数据来源：创鑫激光招股说明书

(3) 产业链垂直整合，元器件自产比例较高

创鑫激光掌握了泵浦源、合束器、光纤光栅、激光输出头、隔离器、剥模器、声光调制器、模式匹配器等关键光学器件的自主生产技术。但泵浦源里面的芯片只能外购于 Lumentum，公司自行封装，另外有源光纤也是全部外购，光纤光栅、泵浦合束器部分外购，从公司五大供应商名单中可以看出，除了芯片采购自 Lumentum 之外，公司光学器件采购自贰陆集团，光纤采购自 nLight 和上海瀚宇，上海瀚宇实际上是 Nufern 光纤的代表。2018 年在 Lumentum 发生的采购金额达到 6648 万元，在公司营业成本中占比达到 15%。2019 年公司采购的芯片和光纤均被加征 25% 的关税，贸易纠纷影响较大。

创鑫激光在 2018 年实现营收 7.08 亿元，归母净利润 0.96 亿元。公司近期拟在科创板上市，计划募集 7.63 亿元资金用于激光器产业基地及研发中心项目。产业基地以获得 33000 平方米土地使用权，建设期 24 个月，达产期 3 年，达产后将增加公司光纤激光器产能 11143 台，其中连续光纤激光器 4743 台，直接半导体激光器 3840 台，准连续光纤激光器 2560 台。达产后将新增年收入 12.53 亿元，税后动态投资回收期 7.95 年，税后 IRR23.21%。

6、杰普特 (脉冲光纤激光器)

杰普特成立于 2006 年，从通信用光纤器件起家，2010 年开始量产 MOPA 脉冲光纤激光器，2014 年突破连续光纤激光器技术，并开发出光谱检测机等激光装备。2017 年激光装备产能提升市场完全打开，销量提升到每年 400 台以上。

(1) 专注于脉冲激光器细分市场

杰普特的强项在于脉冲激光器，公司是中国首家商用 MOPA 脉冲光纤激光器的厂商。除了脉冲光纤激光器，公司也具有连续光纤激光器和固体激光器产品，依靠激光器的技术基础开发了光谱检测机、激光调阻机、芯片激光标识追溯系统、

激光划线机、VCSEL 激光模组检测系统、硅光晶圆测试系统等多款激光装备。光纤激光器领域也有产品，但最大功率只有单模 2000W 和多模 3000W，竞争力相对较弱。

杰普特的 MOPA 脉冲光纤激光器主要装备泰德激光、联赢激光、光大激光等装备制造，激光光学智能装备产品下游客户包括苹果、AMS、意法半导体、LGIT、Kamaya、国巨股份、厚声电子、乾坤科技、华新科技等。与大族激光类似，杰普特销售对苹果的依赖程度很高，以 2018 年数据为例，杰普特对苹果公司和国巨股份的销售收入分别为 1.54 亿元和 0.77 亿元，占营收比例达到 23%和 11.5%。

杰普特脉冲光纤激光器业务在 2017 年增长了接近 40%至 1.84 亿元，其后两年增长基本停滞。2016-2019H1 杰普特脉冲光纤激光器销量分别为 7238 台、10312 台、11713 台、5814 台，最新一期增长已下滑至个位数，远逊于同业的锐科和创鑫 40%-60%的增长速度。

脉冲激光器的市场均价 1.88 万元/台，由于脉冲激光器市场竞争相对较小，锐科和创鑫主要产品为调 Q 产品，而杰普特主要产品为 MOPA 产品，公司利用产品结构升级，增加 100W-200W 产品的销量实现均价不降反升 15%，2019H1 公司激光器出货量达到 6806 台，产能开满，产销率 93%。其中 MOPA 脉冲光纤激光器收入 1.09 亿元，连续光纤激光器和固体激光器收入分别为 0.24 亿元、0.18 亿元，激光器板块的毛利率稳定在 35%左右，但连续光纤激光器占比小，盈利表现十分弱势，毛利率仅为 6%，相反固体激光器和 MOPA 脉冲光纤激光器没有受到价格战的影响，**脉冲激光器均价从 2018 年的 2.04 万元/台提升至 2.23 万元/台，毛利率从上一年 37%进一步提高至 41%，固体激光器从上一年 11%提升至 25%。**

综上所述可以得出结论，对于锐科和创鑫来说，脉冲光纤激光器不是重点产品，固体激光器没有产能，杰普特在一块小型细分市场上建立了一定的领先优势。

表 22 杰普特强项在于脉冲激光器

| 产品 | 同行业公司 | 毛利率 | | | |
|---------|-------|--------|------|------|------|
| | | 2019H1 | 2018 | 2017 | 2016 |
| 脉冲光纤激光器 | 锐科激光 | 19% | 33% | 31% | 16% |
| | 创鑫激光 | 36% | 38% | 35% | 20% |
| | 平均 | 27% | 35% | 33% | 18% |
| | 杰普特 | 41% | 37% | 37% | 36% |
| 连续光纤激光器 | 锐科激光 | 35% | 49% | 51% | 43% |
| | 创鑫激光 | 35% | 35% | 32% | 31% |
| | 平均 | 35% | 42% | 42% | 37% |
| | 杰普特 | 6% | -3% | -10% | 33% |

(2) 脉冲激光器技术国内最强

MOPA 脉冲光纤激光器应用于激光表面处理、激光清洗、薄金属的切割和焊接，在 3C 领域应用于半导体晶圆、芯片及模组表面标记、化纤，PCB 电路板和柔性电路板加工、ITO 导电膜、银浆蚀刻，异种金属、精密金属薄片焊接，以及电子数码产品外壳表壳；在新能源及汽车领域主要应用于电池极片和硅片切割，油漆和模具清洗等。

从技术指标的对比来看，在相同的单模功率情况下，杰普特的激光器拥有国内厂家中最广泛的可调频率范围和脉冲宽度，最大脉冲能量和光束质量也处于国内领先水平，但综合性能与 IPG 仍有差距。锐科量产的脉冲光纤激光器是 100W 级别，创鑫是 20W 级别，而杰普特 200W 产品已实现批量销售，350W 单模产品在 2019 年 5 月已经获得订单，500W 多

模产品已经研发出样机。2018 年杰普特脉冲激光器实现收入 1.93 亿元，显著高于锐科和创鑫的脉冲激光器收入。

表 23 MOPA 脉冲光纤激光器技术指标对比

| 关键指标 | 杰普特 | IPG | SPI | 锐科激光 | 创鑫激光 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 单模最大平均功率 | 200W | 300W | 200W | 100W | 100-300W |
| 频率范围 | 1-4000KHZ | 2-2000KHZ | 1-4000KHZ | 20-200KHZ | 20-200KHZ |
| 脉冲宽度 | 2-500ns | 30-1500ns | 3-2,000ns | 50-130ns | 50-130ms |
| 最大单脉冲能量 | 1.5mJ | 10mJ | 1mJ | 1mJ | 1mJ |
| 光束质量 M2 | < 1.8 | -- | < 1.6 | < 1.8 | < 1.8 |

数据来源：杰普特招股说明书

(3) 激光器与智能装备两条腿走路

杰普特并非单一的激光器厂家，激光器和激光装备两条腿走路，2019H1 激光器贡献营收 1.52 亿元，激光装备贡献营收 1.24 亿元，两者合计贡献 90% 的营业收入。分产品来看，**智能装备板块贡献收入和利润的关键产品是光谱检测机和激光调阻机，因此收入跟随下游消费电子、半导体的景气度变化而波动**，芯片激光标识、激光划线、VCSEL 激光模组检测和硅晶圆测试均未形成规模化销售，目前装备的均价为 61 万元/台。

分析 2019H1 和 2018 前五大客户发现，公司向苹果销售的是光谱检测机，初期用于 iPad 检测，后来拓展到 iPhone 检测；公司向国巨、厚声、乾坤和赛意法微电子销售光谱检测机，向科洛德激光销售激光器。2019 年苹果从公司前五大客户中消失，作为收入占比 23% 的第一大客户份额直接降到 5% 以下，可以预期杰普特 2019 年全年业绩将会出现大幅度波动，背后是苹果自身产品周期的变化导致的砍单行为。反过来看公司所产设备为定制化产品，接单生产，不似零部件厂容易形成存货减值。苹果创新周期有起有落，2018-2019 年沉寂之后 2020-2021 大概率回暖，而激光装备存在 3-5 年的更新周期，2019 年杰普特已介入 AirPods 红外传感器的光谱检测，2020 年光谱检测仪的收入有望形成恢复性反弹。

(4) 关键零部件受制于人

公司光谱检测机主要原材料光谱分析模块在成本中占比高达 60%，但公司无法实现自产，只能外购于 Instrument Systems，关键零部件仍受制于人。

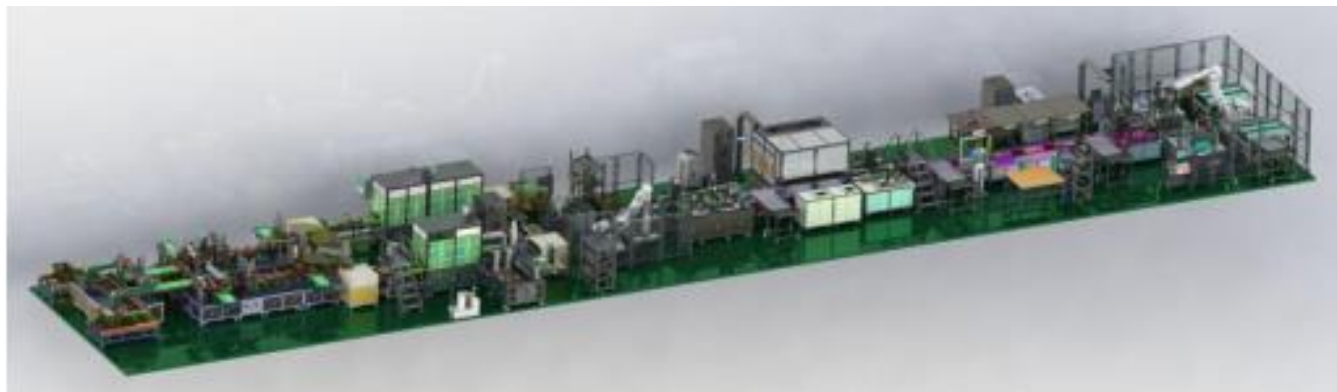
7、联赢激光（激光焊接设备）

(1) 激光焊接领域关键参与者

深圳联赢激光成立于 2005 年，一直专注于激光焊接业务，主要产品包括激光器及激光焊接机、工作台以及激光焊接自动化成套设备。激光器产品覆盖 YAG 激光器、光纤激光器、复合激光器、半导体激光器、脉冲激光器，工作台是集成振镜等部件后的集成设备。公司还具有装配自动化成套设备的系列，由多个激光焊接机及工作台组成，形成成套的生产线装置，广泛应用于动力电池、汽车、五金、消费电子、光通信等行业。

2006 年公司成功产出首台精密激光焊接机，能量波动小于 3%，达到国际同类产品水平，2007 年出海获得日本客户认可，收获订单 20 多台。2007 年 4 月，公司开始为武汉邮电科学研究院、光迅、华为等光通讯行业主流客户供货，打开光通信市场。2007 年 11 月，公司成功突破电池行业，与 ATL 研发手机电池设备。2005-2009 年间公司确立了以 YAG 激光焊接机为核心的发展方向，开发了 5W-300W 两个系列 10 种机型的激光焊接机产品。2019 年前三季度公司实现营收 6.32 亿元，80% 的收入来自于激光焊接成套设备。**国内激光焊接设备市场规模约为 100 亿元，公司获得 10% 的市场占有率。**

图 10 联赢激光激光焊接系统产线



数据来源：联赢激光招股说明书

(2) 技术指标全方位领先

激光焊接应用最为强调的指标并非最大功率，而是功率稳定性。激光焊接行业的技术难点在于激光输出的稳定性控制以及铝、铜等高反射材料的焊接，功率过低会导致焊接熔断不足，功率过高会导致飞溅、气孔等。尽管联赢激光最大激光功率仅为 6000W，低于锐科的 30000W、创鑫的 25000W 和杰普特的 8000W，但联赢的功率稳定性小于等于 $\pm 1\%$ ，对比之下锐科和创鑫的稳定性分别为 1.5%、3%，联赢的产品更适用于焊接场景。

激光焊接行业的核心技术包括激光器技术、自动化智能化控制技术、焊接工艺技术三大类，与打标、切割等技术要求有一定的差异性，具体包括：

① 激光能量控制技术

激光能量控制技术是指流过灯管的电流与激光输出功率构成一定的非线性比例关系，通过负反馈控制把想要输出的激光功率波形与实际输出的激光功率波形进行实时对比，把这两个信号的差信号放大与锯齿波信号进行比较，以确定开关电路的占空比，进而控制泵浦灯管电流的大小来达到控制激光能量大小的目的。

控制激光能量波动的范围对于减少焊接不良率、提高焊接质量有着重要意义。整个控制过程的难点在于能量负反馈技术中的激光闭环控制，涉及功率检测、反馈信号放大、运算处理、控制电路等 20 多个控制节点，控制难度很高。联赢激光的 YAG 激光器能量波动控制在 3% 以内，半导体及光纤激光器能量波动控制在 1%，超越国内同行平均水平，达到国际先进。国内只有大族激光在 YAG 激光器上实现了类似功能。

② 多波长激光同轴复合焊接技术

将不同波长的激光器组合，从一个激光头射出，对铜和铝等高反难焊材料进行焊接，有利于提高焊接速度，控制飞溅、裂纹和气孔，焊接速度达到 250mm/s。动力电池焊接对焊接精密性要求极高，而且动力电池壳身为铝合金材料，对激光反射率高，一直是焊接技术的难点。联赢激光是国内首家推出多波长激光同轴复合焊接技术的公司，良率达到 99.5%，凭借该技术获得 2018 年中国工业激光器创新贡献奖，多波长复合焊接技术目前已成为动力电池领域焊接速度最快的技术，国内其他竞争对手只有单轴技术。

③ 蓝光激光器焊接技术

公司自主研发蓝光激光器计划于 2020 年投入市场，蓝光激光器的优点是适用于铜材料的加工，铜及铜合金对蓝光的吸收率较传统激光提高 3 至 10 倍。联赢激光已成功开发 200W 蓝光激光器，1000W 蓝光激光器处于测试阶段，国内同行只有凯普林实现了 50W 蓝光输出，国际上德国 Laserline 和美国 Nuburu 公司有 500W 产品。

④实时图像处理技术

包括自动焊缝跟踪技术和焊前焊后检测技术。自动焊缝跟踪技术是通过 3D 视觉检测技术实时确定焊接位置，及时矫正引导焊接位置，智能检测焊缝，解决工作来料公差一致的问题。联赢激光图像处理时间在 75ms 内，定位像素精度达到 1/40 像素，均代表了国内领先水平。

公司的技术领先性从毛利率水平和研发投入可以得到验证，公司成套设备毛利率达到 33%，以大族激光持平，激光器毛利率达到 51%，而锐科、创鑫和杰普特等竞争对手普遍只有 30%左右。公司共有员工 1524 人，其中研发技术人员 669 人，占比超过 40%，研发投入占比达到 6%。

表 24 联赢激光技术指标对比

| 核心技术 | 联赢激光情况 | 境内行业平均技术指标 | 境外行业平均技术指标 | 所处位置 |
|---------------------|---|---|--|---------------|
| 激光能量控制技术 | 1.YAG 激光器：实现能量波动 $\leq\pm 3\%$ ； 2.连续半导体激光器/光纤激光器：实现能量波动 $\leq\pm 1\%$ ；功率线性度 $\leq\pm 1\%$ ，使用寿命范围内激光输出能量保持恒定 | 1.YAG 激光器：平均技术指标 $\leq\pm 6\%$ ； 2.连续半导体激光器/光纤激光器：1年内能量波动 $\leq\pm 2\%$ ；功率线性度 $\leq\pm 5\%$ ；3年以后能量衰减 $\geq 3\%$ ；功率线性度 $\geq\pm 8\%$ | YAG 激光器：日本米亚基技术指标 $\leq\pm 3\%$ ； 连续半导体激光器/光纤激光器：1年内能量波动 $\leq\pm 1\%$ ；功率线性度 $\leq\pm 5\%$ ；3年以后能量衰减 $\geq 2\%$ ；功率线性度 $\geq\pm 8\%$ | 国际先进 |
| 多波长激光同轴复合焊接技术 | 多波长复合激光器：以动力电池顶盖焊接为例，良率 $\geq 99.5\%$ ，焊接速度 $\geq 250\text{mm/S}$ ，产品 CPK=3.73 | 单波长激光器：以动力电池顶盖焊接为例，良率 $\geq 99.2\%$ ，最大焊接速度 80mm/S，产品 CPK=1.6 | 单波长激光器：以动力电池顶盖焊接为例，良率 $\geq 99.5\%$ ，最大焊接速度 $\leq 200\text{mm/S}$ ，产品 CPK 不详 | 国际领先 |
| 蓝光激光器焊接技术 | 蓝光激光器功率越大同时输出光纤越细，技术水平越高。公司已成功开发 200W/400um 蓝光激光器，1000W/800um 蓝光激光器研发处于测试阶段 | 北京凯普林实现 50W/200um 的蓝光输出，其他未见报道 | 德国 Laserline 实现 1000W/1000um 蓝光输出，美国 Nuburu 实现 500W/200um 蓝光输出 | 国内领先/ 国际先进 |
| 实时图像处理技术 | 1.图像处理时间 75ms； 2.定位理论亚像素精度能够达到 1/40 像素，定位精度 20-50um 内； 3.焊前检测准确率实现 98.5% ± 0.5 ；焊后检测准确率实现 98% ± 1 | 1.图像处理时间 80-85ms； 2.定位理论亚像素精度能够达到 1/20 像素，定位精度 30-60um 内； 3.焊前检测准确率 98% ± 0.5 ；焊后检测准确率 97% ± 1 | 1.图像处理时间 72ms-75ms； 2.定位理论亚像素精度能够达到 1/40 像素，定位精度 15-45um 内； 3.焊前检测准确率 99.5% ± 0.5 ；焊后检测准确率 98.2% ± 1 | 国内领先/ 国际先进 |
| 智能产线信息化管理技术和工业云平台技术 | 1.数据完整性 $\geq 90\%$ ； 2.企业库存降低 10%； 3.提高工人工作效率 25% | 1.数据完整性 $\geq 90\%$ ； 2.企业库存降低 10%； 3.提高工人工作效率 20% | 1.数据完整性 $\geq 95\%$ ； 2.企业库存降低 12%； 3.提高工人工作效率 20% | 国内领先/ 国际先进 |
| 自动化系统设计技术 | 1.有 1300 多种产品激光焊接自动化系统的设计开发经验； 2.自动化研发设计人员 400 多人； 3.拥有自主开发自动化控制软件的能力，深厚的行业经验能设计更为贴合激光焊接的控制系统 | 1.行业平均约 300 种产品的激光焊接自动化系统设计开发经验； 2.自动化研发设计人员不到 100 人； 3.拥有自主开发控制软件的厂商不多，多为采购外部信息系统供应商所开发的系统 | 1.国外大多数激光公司未进行自动化开发； 2.自动化设计人员少 | 国内领先/ 国际先进 |

| | | | | |
|------------|--|--|---|---------------|
| 激光焊接加工工艺技术 | 1.积累了 1300 多种产品的激光焊接工艺数据; 2.建立了消费电子\新能源汽车\动力电池\材料分析\非金属焊接等工艺研究实验室; 3.工艺研发人员 40 多人 | 1.300 多种产品的激光焊接工艺数据; 2.少有系统化工艺研发实验室; 3.工艺研发人员少于 20 人 | 1.1000 多种产品的激光焊接工艺数据; 2.有系统化工艺研发实验室; 3.工艺研发人员少于 30 人 | 国内领先/ 国际先进 |
| 激光光学系统开发技术 | 1.公司的同轴复合焊接激光出射头技术属于全国首创,处于国际领先水平; 2.有六大类可配置 500 多种的激光焊接头; 3.最高承受激光功率 8000W 的激光焊接头 | 1.无同轴复合焊接技术; 2.少于 100 种的激光焊接头; 3.最高承受激光功率 6000W 的激光焊接头 | 1.无同轴复合焊接技术; 2.少于 100 种的激光焊接头; 3.最高承受激光功率 30000W 的激光焊接头 | 国内先进 |

数据来源: 联赢激光招股说明书

(3) 绑定锂电龙头国轩高科、宁德时代, 大客户合作关系出现松动

凭借早期与 ATL 的良好合作关系, 联赢激光在 CATL 成立之初便与其开展业务和结束合作, 为其提供动力电池焊接行业, 成为国内最早从事动力电池焊接的激光设备公司。目前在汽车和消费电子领域已进入泰科电子、瓦尔塔、德赛电子、富士康、华为等客户。

公司深度绑定动力电池龙头宁德时代, 2017 年被宁德时代评为最佳合作伙伴。在宁德累计投产的 70 条电池产线中, 有 62 条采用了联赢激光的激光焊接设备, 充分体现了公司的技术水平和市场影响力。在动力电池领域联赢激光敢于叫板大族激光和华中科技, 尽管联赢激光整体实力较弱, 但在动力电池领域拥有更为深厚的积累, 与行业龙头宁德时代、国轩高科的悠久合作历史赋予了明显的限发优势。在公司 2018 年度 9.5 亿元的收入里, 动力电池激光设备贡献了 80%。

动力电池焊接是联赢激光业务的主战场, 过去 2 年前十大客户里面不乏国轩高科、CATL、泰坦动力、珠海银隆、ATL、欣旺达等电池龙头企业的身影。但不利的一面值得重点关注, 2016、2017 年宁德时代均为公司第一大客户, 而至 2018、2019 年已退居第二大客户, 近两年宁德时代大举扩张, 市场份额已超过 50%, 然而公司对宁德时代的销售额和销售占比已连续两年下滑, 反映的可能是大客户与公司合作关系的松动。同期大族激光在 2018 年 9 月公告了来自宁德时代的大单 5.6 亿元, 全年新能源营收 8 亿元, 但大族的新能源业务尚处于亏损阶段, 综合各种信息表明在宁德时代的份额可能被大族低价抢单。

2018 年第一大客户格力智能、银隆新能源因经营不善修改了合同, 导致公司 2018 年营收和毛利下降了接近 5000 万, 格力智能和银隆新能源在 2019 年基本没有贡献营收, 联赢激光依靠在国轩高科的发力托底收入不致大幅下滑。2016-2019 年前 9 月公司新增订单金额分别为 9.7/13/9/6.9 亿元, 在 2017 年冲高之后出现了大幅回落, 目前在手订单为 10 亿元。

2016-2019 年前三季度公司分别实现营业收入 4.16/7.28/9.81/6.61 亿元, 实现归母净利润 0.69/0.88/0.83/0.51 亿元。2016-2018 年动力电池行业装机量飞跃式发展, 从 28GWh 快速增长至 57GWh, 带动公司营收从 4 亿元翻番至 9.8 亿元。2019 年装机量前 10 名的动力电池厂商均为公司客户。同时也可以看到补贴退坡背景下全产业链盈利能力受到挤压, CATL 的毛利率水平也从 44% 下跌至 29%, 联赢激光的净利率水平也从 16% 下降至 8%。

8、帝尔激光 (光伏激光设备)

帝尔激光成立于 2008 年, 于 2018 年上市, 业务领域为应用于光伏领域的精密激光加工设备, 公司主要产品包括 PERC 激光消融设备、SE 激光掺杂设备、MWT 系列激光设备、全自动高速激光划片/裂片机、LID/R 激光修复设备、激光扩硼

设备等。

(1) 覆盖光伏激光设备全品类

①PERC 激光消融设备

利用激光消融技术在电池钝化层进行图形化刻蚀，实现 PERC 高效太阳能电池的高效率和高品质生产，是太阳能电池生产线由传统技术向 PERC 技术升级的核心设备。从 PERC 的技术原理来看，通过在电池背面增加钝化层，阻止载流子在高复合区域复合减少电损失，同时可以增强电池下表面光反射减少光损失，从而提高电池的转换效率。

PERC 电池与常规全铝背场电池结构上最大的区别在于采用全表面介质膜钝化和局域金属接触方式取代全铝背场电极，而背面电极钝化层、实现微纳级高精度是 PERC 电池制造的技术难点。在对钝化膜精密刻蚀的同时，不能损伤到硅衬底材料，否则会影响电池片的转化效率。**对钝化膜的刻蚀需要采用激光加工的方式，技术难点在于定位最优化能量密度分布，精确控制激光作用的时间，保证每个脉冲严格一致。**因此迅速定位与特定材料加工匹配的微纳级激光加工技术是整个 PERC 电池激光加工环节的关键技术。

传统工艺的光伏电池不需要激光加工设备，升级至 PERC 电池后需要增加氧化铝镀膜设备、激光加工设备，整体增加的成本较少。

图 11 PERC 电池生产流程



数据来源：索比光伏网

②SE 激光掺杂设备

SE 电池技术原理是不同区域不同的掺杂浓度，简单来说就是光收集区域轻掺杂，电极接触区域重掺杂。制造工艺包括离子注入法和激光掺杂法，激光掺杂法以扩散产生的磷硅玻璃层为掺杂源，激光作用在掺杂源和硅片表面，利用激光选择性加热的特点，预涂层的掺杂原子扩散到硅基材表面，当激光移开后，硅基材冷却并结晶，与掺杂原子形成合金。激光掺杂发目前已成为行业主流的工艺路线。

③MWT 系列激光设备

MWT 技术即金属穿孔卷绕技术，用以制备背接触 MWT 电池。在硅片和封装材料表面打通高精密孔洞，在铜箔材料表面刻划线路，通过孔洞将光伏电池正面电极部分或全部转移至背面线路，减少正面电极遮光面积，提升电池效率。

(2) 光伏技术进阶必备装备，充分受益装机量增长

2018 年我国电池片产能为 87GW，在全球产量中占比超过 70%。PERC 工艺逐渐成熟，成本下降，在 2017 年进入需求爆发期，SE 工艺在 2018 年开始普及，现有 PERC 产能中超过 60% 的电池产能引进了 SE 工艺。

提升光伏电池转化效率的关键在于控制光学损失和电学损失，目前具备产业化提升效率的方式主要是 PERC、SE、MWT 等技术。在光伏行业中，电池效率提升 0.1% 都属于重大技术进步，而 PERC 技术的出现直接将光电转换效率提升 1% 以上，SE、MWT 技术分别提升光电转换效率 0.2%、0.4%，毫无疑问属于技术升级的关键一环。行业龙头隆基股份通过 PERC 电池技术的研发改进，在 2019 年年初已将转换效率提升到 24% 以上，而 2017 年年底转换效率是 23.26%。2018 年领跑者光伏发电项目大部分采用率 PERC 技术，已将上网电价降低到 0.465 元/度，这个价格已下降到全国 0.4-0.6 元的燃煤标杆电价区间，充分显示了 PERC 的技术先进性。

公司重要客户包括隆基股份、天河光能、尚德电力、晶澳太阳能等，全球光伏组件 10 大企业均为公司客户。公司与隆基深度绑定，对隆基一家公司的收入占比在 20% 以上。公司不具备激光器自产能力，激光器主要采用皮秒、纳秒等超快激光器，激光器采购来源为 Newport、JD Union、V-Gen、Advanced Optwave 等公司。大部分激光器采购自国外，下游客户对进口激光器认可度较高，以激光器和振镜为主的光学系统在公司营业成本中占比接近 50%。

公司伴随 PERC 技术的成熟应用而快速成长，业绩增长趋势与 PERC、SE 电池产能增长趋势匹配，2014 年营收仅为数百万元，2019 年营收已攀升至 7 亿元，归母净利润 3.05 亿元，同比大增 80%。公司曾披露 2018 年年底在手订单规模达 10 亿元以上，按照 1-1.5 年的交付周期，足以支撑 2019-2020 年的高速发展。

(3) 高盈利与高成长兼备，大额订单保证未来 3 年业绩

公司毛利率高达 56%，净利率高达 43%。激光装备公司同期毛利率约为 25%-40%，光伏设备公司同期毛利率约为 40%，帝尔激光盈利水平显著高于同业。公司拥有超高盈利能力主要原因是所处细分领域市场规模较小，并且公司市占率较高。根据 Energy Trend 数据，公司在 PERC 产能中份额达到 77%，在 SE 产能中份额达到 86%。公司未来的增长重点在于 SE 激光掺杂设备，2018 年 SE 设备出货 20 台，均价约 300 万元，实现收入 5820 万元，2019 年 IPO 募投项目规划了 175 台/年的 SE 激光掺杂设备产能。

未来超高毛利率很有可能会调低，综观光伏设备行业毛利率普遍在 30%-40% 之间，公司毛利率高于同业 20 个百分点。而公司每年研发费用仅为 2000 多万元，研发费用率约 4%，技术人员 53 人占比 17%，与同业相比并没有体现研发投入优势，在生产工艺上采用外购关键零部件组装设备的方式，发明专利仅 8 项，很难与高达 56% 的毛利率相匹配。行业已出现强有力的竞争者，除了友晁、雷射激光仍然较为活跃之外，先导智能作为新进入者已于 2019 年发布新款 SE 设备，产能突破 12000 片/小时，远高于行业目前 6500 片/小时的产能。

公司的超高速增长可能会放缓，但大额在手订单保证未来 1-2 年仍会有不错的成长。2019 年前三季度预收款项较 2018 年年底仅增加 1 亿元至 5.71 亿元，按预收 30%-40% 的比例对应 15-20 亿元，较 2019 年 7 亿元的收入仍有翻倍以上的成长空间。

9、柏楚电子（激光切割成套控制系统）

(1) 垄断中低功率运动控制系统

柏楚电子是国内首批从事光纤激光切割成套控制系统开发系统的公司，主营业务系为各类激光切割设备制造商提供以激光切割系统为核心的各类自动化产品，具体产品包括随动控制系统、板卡控制系统、总线控制系统等，覆盖激光加工设备制造商客户超过 400 家。公司提供的运动控制系统主要应用于中低功率激光切割领域，高功率激光领域和超快激光领域处于探索开发阶段，高功率激光的控制系统市场仍然由进口产品垄断。

运动控制系统功能是根据控制程序控制机械自动化动作，广泛应用于各行各业的自动化生产线，运动控制系统的性能决定了加工设备的精度和效率。完整的运动控制系统由控制器、功率放大器与变化装置、电动机、负载以及传感器部件组成。运动控制器下达指令后，驱动器将其转化为电流驱动电机旋转，带动工作机械运行，电机上的传感器经过信号处理将电机的实时信息反馈给控制器，控制器再进行实时调整。

运动控制系统融合了激光技术、数控技术、软件技术三大技术路线，产品开发必须与激光器厂商联合测试，并积累丰富的技术和工艺参数，软件分析的图纸越多、执行的切割路径越多、工艺库越完整，在实际使用中表现就越顺畅，行业技术壁垒工艺壁垒较高。一个完整的激光切割流程包括：第一步，使用控制系统提供商提供的激光专用设计软件获第三方工业设计软件 AutoCAD、Solidworks、UG 等绘制零件的加工图纸；第二部，将加工图纸通过软件进行后期图形处理及排版，生成加工的机床代码；第三部，击鼓刚切割机床根据激情床代码进行切割。控制系统在切割过程中涉及图形编辑、工艺设置以及具体加工工艺选择、运动控制、切割头和激光器控制、焦距控制等。通俗来讲，CAD 技术解决“切什么”，CAM 技术解决“怎么切”，“NC 技术”负责执行切割操作。

表 25 柏楚电子主营构成

| 业务 | 2018 | | 2017 | | 2016 | |
|------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | 销量 | 收入 | 销量 | 收入 | 销量 | 收入 |
| 随动系统 | 15,047 | 11,966 | 14,324 | 11,139 | 8,555 | 6,628 |
| 板卡系统 | 15,292 | 10,328 | 13,973 | 8,814 | 8,419 | 5,209 |
| 总线系统 | 150 | 531 | 12 | 41 | - | - |
| 其他 | | 1,702 | | 1,044 | | 384 |

数据来源：柏楚电子招股说明书

(2) 市场天花板较低

运动控制系统包括硬件和软件两大部分，硬件即工业控制板卡，包括主控单元、信号处理等，软件是指控制算法。全球机械运动控制系统的市场规模高达 113 亿美元（2017 年），但具体到激光切割领域的运动控制系统市场规模较小，国内市场规模可能仅为十亿级别。中低功率领域的控制系统已经完成进口替代，柏楚电子、维宏股份（300508.SZ）、奥森迪科三家市占率达到 90%，柏楚电子为绝对龙头，年销量 15577 套，市占率 60%。高功率激光切割控制系统的厂商为德国倍福、德国 PA、西门子，柏楚电子是唯一能够进入高功率控制系统领域的国内公司。

公司下游客户为激光切割设备公司，前 5 大客户为宏石激光、迪能激光、金威刻科技、森锋科技、邦德激光。其中宏石激光和迪能激光为国内第一梯队，年收入超 10 亿元，邦德激光为国内第二梯队，年收入 5-10 亿元，金威刻处于国内第三梯队，年销售金额 3-5 亿元。

从产品价格可以反映公司竞争力，中低功率产品价格 1.57 万元/套，高于国产同行均价 50%以上，高功率产品 3-5 万元/套，依靠价格竞争力去弥补与进口产品的性能、品牌差距。

表 26 激光控制系统产品价格（万元/套）

| 产品类型 | 柏楚电子 | 维宏股份 | 奥森迪科 | |
|------------|------|------|-------|-------|
| 中低功率激光控制系统 | 1.57 | 0.80 | 1.00 | |
| | 柏楚电子 | 德国倍福 | 德国 PA | 西门子 |
| 高功率激光控制系统 | 3-5 | 5-8 | 4-6 | 10-15 |

数据来源：柏楚电子招股说明书

柏楚电子是业内翘楚，无奈行业天花板太低，公司体量很小，营收不过 3.78 亿元，员工 162 人，未来看点在于从中低功率向高功率渗透。2017-2019 年前 5 月公司高功率业务收入分别为 1110 万元、1366 万元、1011 万元，增长势头良

好。公司具有软件企业属性，享受软件企业的所得税优惠和增值税优惠，2018年1.58亿元的利润总额里面，约有20%是来自税收优惠，这在一定程度上可以解释公司高达60%的净利率。

(3) 未来看点在于高功率业务份额提升

高功率业务份额提升的路径主要有以下两个，一是与上下游厂商共同研发，完善自身的工艺参数。例如与佛山市宏石激光、无锡庆源激光、浙江嘉泰激光等客户共同搭建工艺实验室，用以测试样机；与IPG、锐科等激光器厂商联合测试，提高控制系统与激光器的兼容性；与安川电机、松下电机、博世力士乐等伺服厂商联合测试，提高控制系统与伺服电机的兼容性。**二是寄望于原有老客户逐渐突破高功率技术。**公司主要客户宏石激光、庆源激光和嘉泰激光均在2018年之后才有能力生产高功率激光切割设备。

值得注意的是在原材料端公司需要大量采购FPGA芯片及ARM芯片，两者均为国外厂商生产，FPGA来自美国Altera、美国Xilinx，工业ARM芯片来自荷兰NXP、美国TI、瑞士ST等，国产替代品性能差距较大，对进口芯片依赖程度较高，在贸易环境摩擦背景下可能存在一定的卡脖子风险。

9、光库科技（光纤激光器件+光通讯器件）

光库科技于2000年成立，2017年上市，主营业务为光纤器件，包括光纤激光器件和光通讯器件，主要产品包括：

(1) 隔离器、合束器、波分复用器、分束/耦合器、光纤光栅、镀金光纤，应用于光纤激光器、光通讯、光纤传感、激光雷达、无人驾驶等领域。

(2) SR4/PSM跳线、单模/多模MT-MT、MT-Fiber Array、保偏型光纤阵列、保偏型光纤尾纤、WDM模块、MPO/MTP光纤连接器等，主要应用于数据中心、云计算、5G产业链。

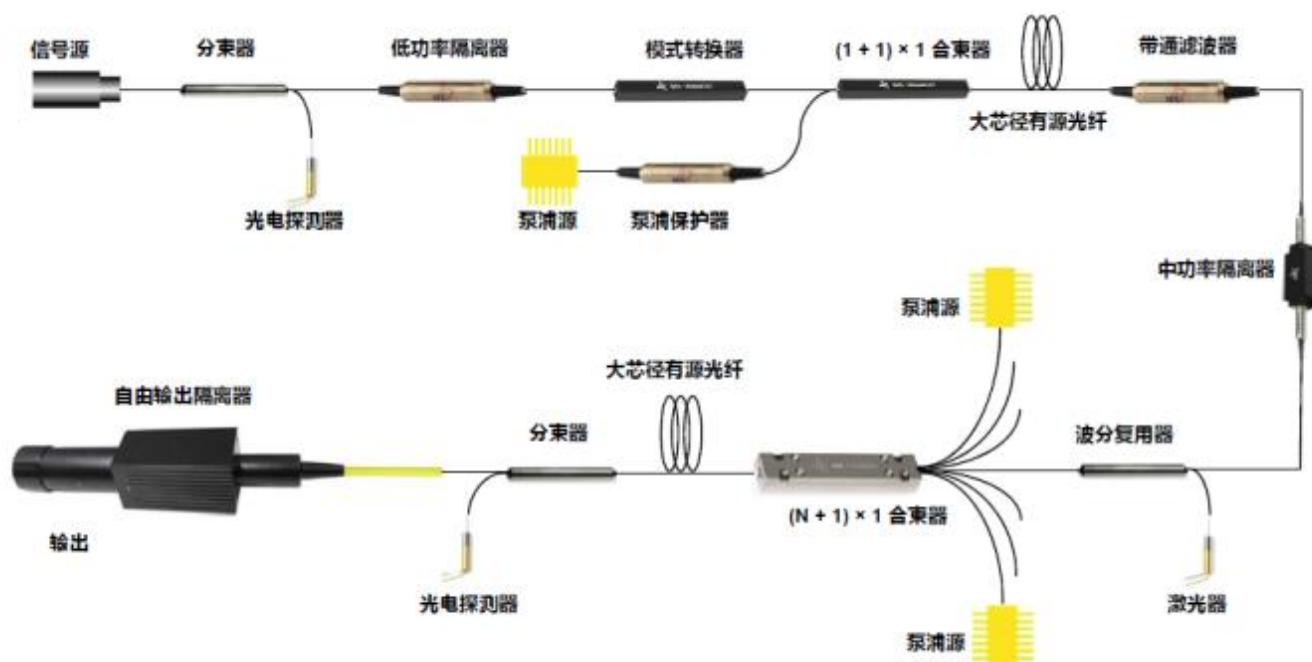
(3) 波长快速扫描激光器模块、可调滤波器、光纤光栅解调仪，应用于光通讯器件测量、石油化工、电力、桥梁隧道检测和矿山安全及铁路检测等。

公司的光纤器件成功应用在“嫦娥三号”、“嫦娥四号”登月项目、海底光网络、国家点火装置等极高可靠性领域，成为航天级品质光无源器件提供商，充分证明了公司的技术实力。公司激光器领域的客户包括通快、Rofin、IPG、相干、Spectra-Physics、大族、锐科等知名激光器厂商，光通讯客户包括Finisar、JDSU、藤仓等。

表 27 光纤器件作用

| 关键器件 | 作用 |
|-------|--|
| 隔离器 | 只允许光沿一个方向通过而在相反方向阻挡光通过。在光纤激光器中隔离器通常被使用在光路中用来避免光路中的回波相对光源、泵浦源以及其他发光器件造成的干扰和损 |
| 合束器 | 合束器用于光纤之间的可拆卸连接，通过光纤精密融捷技术，使发射光纤输出的光能量最大限度地耦合到接受光纤中去，并使由于其接入光路而对系统造成的影响减到最小。合束器的功率特性直接影响光纤激光器最终输出功率及转换效率 |
| 波分复用器 | 将一系列载有信息、但波长不同的光信号合成艺术，沿着单根光纤传输，在接收端再将不同波长的光信号分开，实现在一根光纤上传输多路信号，每一路信号都由某种特定波长的光来传送 |

图 12 激光器件应用



光库科技体量较小，2019 年营收仅为 3.91 亿元，归母净利润 0.57 亿元，营收同比上升 35%但净利润同比下降 28%，自 2017 年上市后利润额停滞不前。毛利率持续下滑，从 2016 年的 49%下滑至目前的 42%，背后原因就是下游大厂不断压价，行业竞争区域激烈，导致产品价格持续下滑。2019 年公司净利润中还有股票激励费用 2700 万元的影响，也是拖累盈利能力的重要因素。

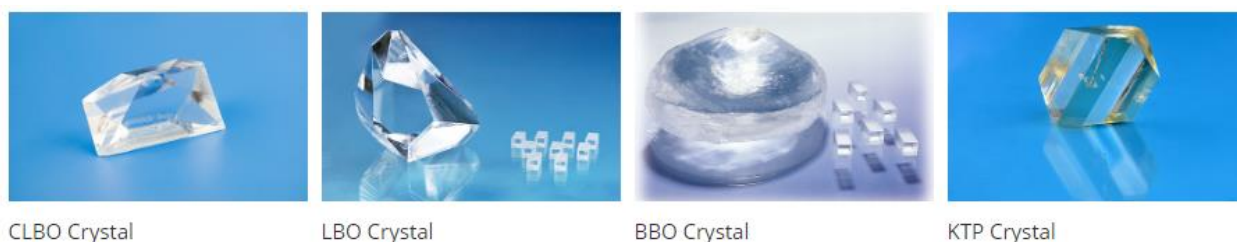
高功率光学器件的技术难点在于光学材料的抗破坏阈值和器件的散热管理。在 2019 年 3 月的上海光博会中，光库科技展出了无封装版的高功率光纤光栅，可承受大于 2.0KW 的泵浦功率和 1.5KW 的信号光功率。光库科技在光纤光栅领域属于新进入者，利用在光器件领域的技术积累产出千瓦级别光纤光栅，已属于国产化的领先水平。2019 年公司以 1700 万美元对价收购了 Lumentum 位于意大利的 LiNbO3（铌酸锂）系列高速调制器产品线。

10、福晶科技（激光晶体）

(1) 激光晶体材料核心供应商

福晶科技前身为中科院福建物质结构研究所，早在 90 年代初便取得 BBO 晶体及 LBO 晶体专利。公司是晶体材料的重要供应商，主要产品划分为晶体材料、精密光学元件和激光器件三大类，其中激光晶体主要为 Nd:YVO4 掺钕钒酸钇晶体，激光器件包括隔离器、准直器、电光开关等，光学元件包括一般的透镜、平面镜、棱镜等。公司的激光晶体和激光器件应用于固体激光器及光纤激光器，是激光系统的核心元器件。晶体材料的技术壁垒在于晶体生长工艺和晶体生长设备，福晶科技背靠中科院技术保障，生产研发历史悠久，且具备设备自产能力，在技术领先性上具有较强的可信性。

图 13 非线性晶体产品



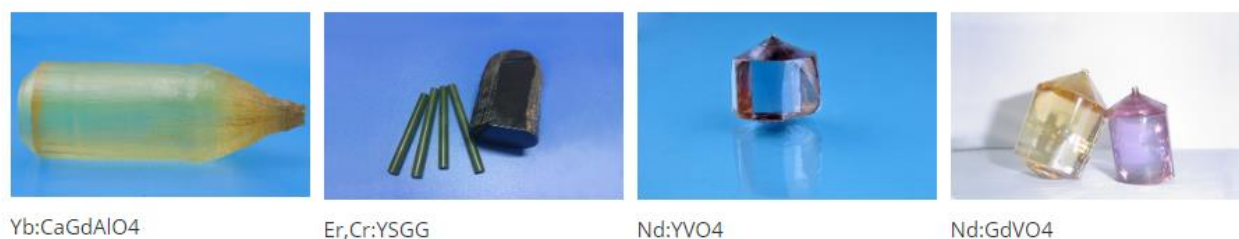
CLBO Crystal

LBO Crystal

BBO Crystal

KTP Crystal

图 14 激光晶体产品

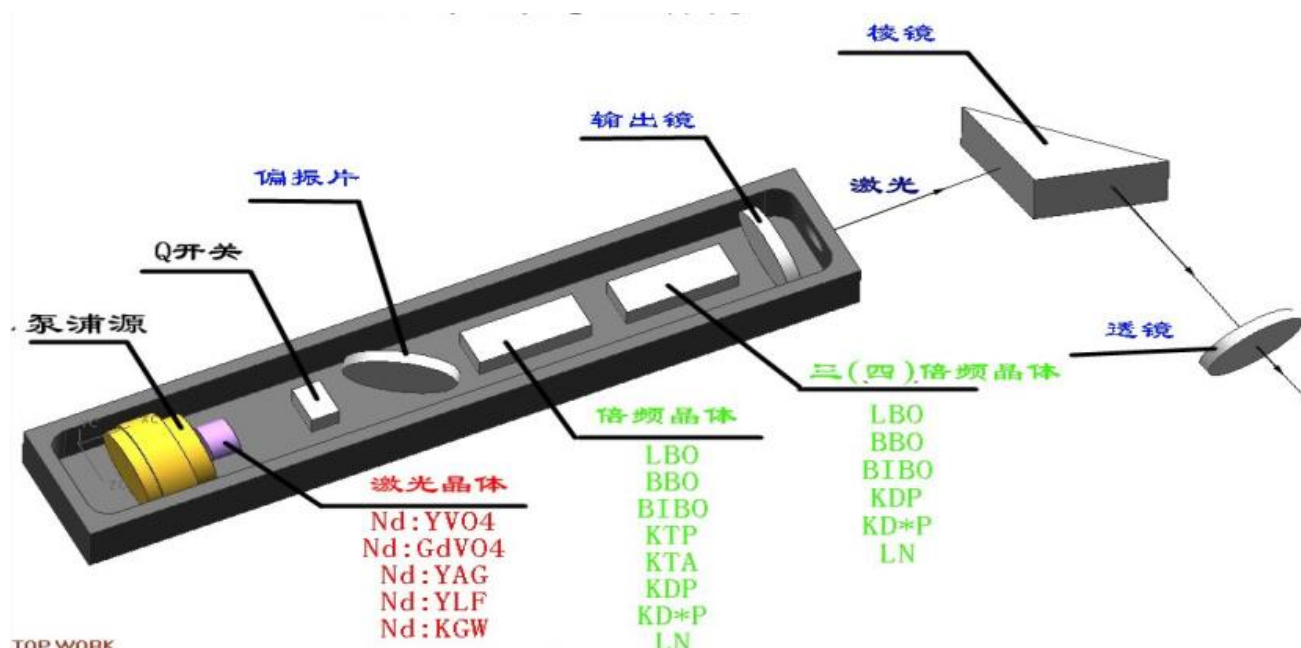


所谓光学晶体是指对光电子信息具有发射、接受、传输、处理、显示和存储等功能的晶体，包括激光晶体、非线性晶体、闪烁晶体、电光晶体、压电晶体等。**福晶科技的光学晶体产品主要涉及激光晶体与非线性晶体两种。**

激光晶体是指受激辐射后能够发射出激光的人工晶体，作为固体激光器的激光工作物质。激光晶体由基质晶体和激活离子两部分组成，基质晶体主要是为激活离子提供合适的晶格场，激活离子则决定了输出的激光波长。激光晶体主要是 Nd:YAG 和 ND:YVO4 两种，应用范围是激光测距、激光雷达、激光印刷等。

非线性晶体具有非线性光学效应。非线性效应是指在入射激光后在晶体中发生频率和转换，即输出激光的波长与入射激光的波长不同，产生了新波长的激光，通过非线性光学晶体可以产生从红外到紫外的连续可调谐的激光。固体紫外激光器一般选用 1064nm 的红外光进行变频后输出紫外激光。非线性晶体主要是 LBO、BBO、KTP 三种，应用范围为激光光谱学、同位素分离、高密度数据存储、海底通信、激光核聚变、生物化学、激光显示等。

图 15 固体激光器结构图



数据来源：招股说明书

(2) 光学晶体是小众市场，主要跟随紫外激光器需求而波动

公司的下游客户较为分散，主要的客户是光波、大族、通快、相干、CONEX 等。公司是国内同行业唯一一家上市公司，直接参与国际竞争，在 LBO、BBO、Nd:YVO4 晶体领域均是全球规模最大的公司，具体来看 LBO 晶体全球市占率 70%，BBO 晶体市占率 50%，Nd:YVO4 全球市占率 30%。但可惜光学晶体是一个小众市场，激光晶体全球市场规模不足 10 亿元，天花板太低。福晶科技 2018 年收入为 4.91 亿元，净利润 1.50 亿元，2019H1 营收为 2.63 亿元，同比增长仅为 3%，营收增速停滞但盈利能力较强，毛利率 60%，净利率 30%，属于利基型公司。

2019 年中报显示，公司四大业务非线性晶体、激光晶体、光学元件、激光器件分别实现营收 0.91/0.35/0.80/0.35 亿元，光学晶体业务有所下滑，而光学元件业务大幅增长，激光器件具体为隔离器、调 Q 开关等，是 2017 年后单列板块，相当于和光库科技直接竞争，相对门槛较低，竞争力不足，毛利率只有 10% 出头。

公司下游主要是对应紫外固体激光器需求，应用于消费电子领域，一台紫外固体激光器里一套三块晶体的价格在 4000 元左右，预计国内年出货量 2 万台。固体激光器的市场份额是在不断萎缩的，而消费电子对激光器的需求近 2 年处于更换周期的低谷期，因此福晶科技的营收总体并没有明显增长。未来公司的看点可能在于 VR、激光显示等光学创新，拉动光学元件的需求。2019 年年底福晶科技出手参与华日激光的股权竞拍，谋划在产业链上垂直整合布局。华日激光是国产紫外固体激光器的重要参与者，是公司晶体产品的下游。

11、长飞光纤（特种光纤）

长飞光纤是国内领先的光纤预制棒、光纤和光缆的供应商，2014 年在香港上市，2018 年在 A 股上市成为两地上市的公司。2015 年长飞公司成立了特种产品事业部，完成了国产特种光纤从 0 到 1 的突破，2019 年特种光纤产品线实现营收约 4 亿元，凭借其领先的特种光纤技术成为激光器件领域重要参与者，其中激光器用特种光纤产品系列包括双包层掺镜光纤、无源双包层光纤、无芯光纤等。

(1) 中高功率传能光纤

传能光纤组件包括传能光纤及相应的光纤连接器，传能光纤组件的性能标准是高功率条件下的功率传输和温度稳定性。在实验室数据中，利用 1064 激光初始入射功率 550W 对长飞的传能光纤进行测试，实测 8 小时内平均输出功率达到 500W，传输效率达到 92%，不稳定性小于 1.5%，组件连接器温度稳定在 41℃。

在实际操作中采用 IPG 激光器，分别对长飞和国外大厂的 200 微米传能纤芯进行激光焊接测试对比。两者在焊斑形状和焊斑半径两个指标上较为接近，一般情况下焊接工艺希望在较小的熔宽下得到更高的熔深，长飞的两个指标与国外厂家非常接近，在实际使用中影响很小。

表 28 特种光纤在焊接测试中的性能对比

| 焊斑形状 | (0,0) | (35,30) | (-35,30) | (-35,-30) | (35,-30) | 平均 |
|--------|-------|---------|----------|-----------|----------|-------|
| 焊斑半径对比 | | | | | | |
| 长飞光纤 | 251 | 252 | 250 | 256 | 252 | 252.2 |
| 国外厂家 | 253 | 245 | 247 | 250 | 256 | 250.2 |
| 熔深对比 | | | | | | |
| 长飞光纤 | 354 | 322 | 343 | 362 | 363 | 348.8 |
| 国外厂家 | 366 | 355 | 370 | 325 | 353 | 353.8 |

数据来源：长飞光纤

(2) 光纤光栅

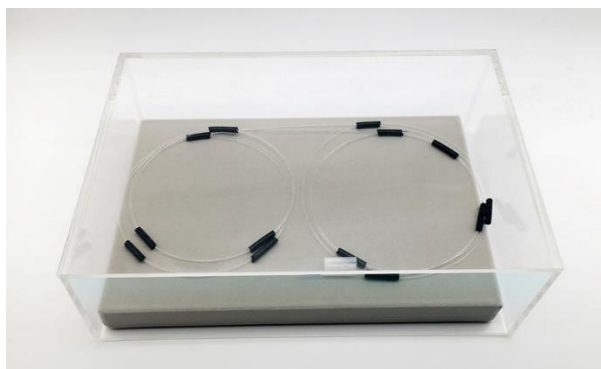
光纤光栅利用光纤材料的光敏性，通过紫外光曝光的方法将入射光相干场图样写入纤芯。光纤光栅与增益光纤组成谐振腔，在高功率光纤激光器中起到选模滤频的作用，光纤光栅一方面将信号光束束缚在谐振腔内进行正反馈，一方面通过低反光栅输出有效的信号激光，因此激光器中需要两种光栅，一是高反光栅，反射率 99.5%，另一种是低反光栅，反射率在 10% 左右。

低功率光栅已实现国产化，但高功率光纤光栅仍存在较高的技术壁垒，原料光纤尺寸较大以及高功率耐受性不足等构成瓶颈，光纤增敏、光栅写入、光纤无损化处理以及高功率封装设计等核心工艺国内公司尚未完全掌握。长飞公司实现了千瓦级别高功率光纤光栅的生产，高反光纤峰值反射率 $\geq 99.5\%$ ，低反光纤峰值反射率为 $10\pm 2\%$ ，对2000W的泵浦光耐受。在输出1100W的激光能量时，光纤光栅温度低于 36°C ，性能已经达到国际先进水平。

图 16 长飞千瓦级高功率光纤光栅



图 17 光库科技无封装高功率光纤光栅



数据来源：长飞光纤、光库科技

12、光韵达（精密激光加工：激光模板+PCB 钻孔+检测设备）

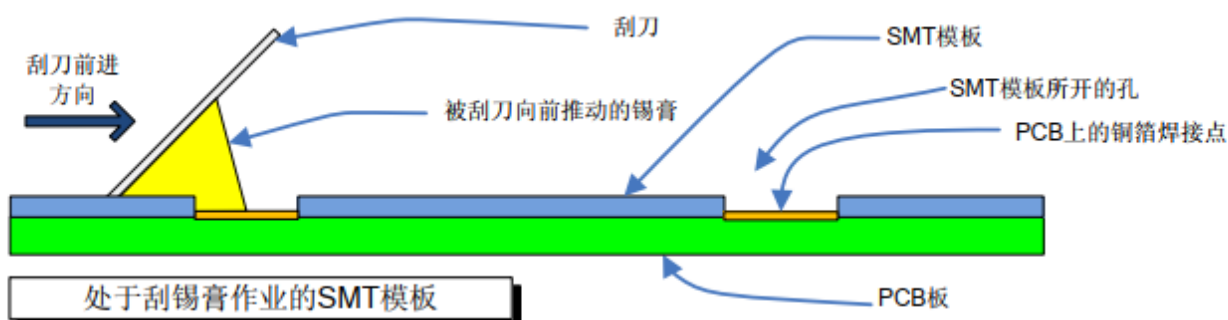
深圳光韵达成立于2005年，于2011年上市，公司传统业务是生产激光模板、精密金属零件，并提供FPC板的激光成型及激光钻孔服务，后来拓展到激光3D打印、军品业务等，目前已打通设备整机的制造能力，拥有智能检测设备、自动化设备、激光设备产能，装备成为新增长极，营收占比已达到1/3。公司定位为精密激光制造公司，强调加工方式和产成品的高集成度、轻薄化、小型化，上市之初精密激光加工精度已经达到2微米。

(1) 激光 SMT 模板

所有电子设备生产过程中都要采用SMT表面贴装技术，简单来说是将一块PCB电路板上固定点位印刷锡膏，再将电阻、电容等元器件通过机器设备贴装在电路板表面，然后将电路板过炉高温烘烤使锡膏固化，使元器件牢固焊接到电路板上，形成一块完整的电路板组件PCBA。一条完整的SMT生产线包括锡膏印刷机、锡膏检测设备SPI、贴片机、光学检测AOI、回流炉、上下板机、接驳设备、返修台等。所有的电子设备都是通过这套工艺来生产PCBA，后续再组装摄像头、屏幕等物料成为整机。

在PCB上印刷锡膏时需要用到SMT模板，刮刀向前推动锡膏，通过SMT模板上的开孔在PCB板上准确漏印到指定位置上，因此SMT模板的质量决定了锡膏漏印的质量。过去SMT模板的加工方式为化学蚀刻，升级至激光加工后具有精度高、寿命长、可修复、无污染等优势。

图 18 SMT 激光模板应用过程



数据来源：光韵达招股说明书

(2) 精密金属零件

利用激光加工的应力变形小、零件精密度光洁度高的优势对金属零件进行加工，无需开模、加工便捷，可以直接应用于各种超薄材料、复杂图形的零件加工，公司主要产品为精密光栅、精密屏蔽罩、模轮组件等。

(3) PCB/FPC 业务

公司在 PCB/FPC 领域的业务主要提供激光钻孔和激光成型服务。其中在 PCB 上的激光钻孔能够实现最小为 40 μ m 的超高精度钻孔工艺，2016 年开始量产，领先同行制程 3 年以上。2020 年年初公司变更定增募投项目，计划将 4000 万元募集资金用于 PCB 激光钻孔无人工厂，全项目投资 2.44 亿元，将新增 50 台激光钻孔设备。发力 PCB 钻孔主要是借助 5G 东风，手机主板一般使用布线密度较高的高密度互连多层板 (HDI)，5G 时代 PCB 钻孔数量可能是 4G 时代的 1.5-2 倍。公司预计该项目在 1 年内建成，达产后营收 1.3 亿元，增厚净利润 4000 万元。

2020 年 1 月 21 日，公司公告两项战略合作框架协议，分别与东山精密和悦虎电路签订战略合作协议，协议约定光韵达以 PCB 激光钻孔无人工厂和高端激光装备提升下游的产能，相当于提前是锁定了项目需求。

(4) LDS 激光直接成型技术



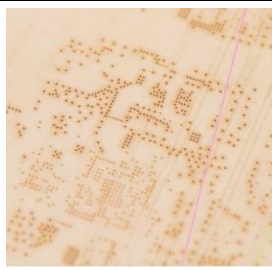

2013 年公司推出 LDS 业务，LDS 技术是利用计算机按照到点图形的轨迹控制激光的运动，将激光投射到模塑成型的三维塑料器件上，在几秒钟的时间内活化出电路图案。目前 LDS 最为成熟的应用手机里面的天线组件，公司 LDS 产品已进入中兴、华为、联想的供应链。

(5) 检测设备

2016 年公司以发行股份购买资产方式收购上海金东唐，引入检测设备业务。金东唐主要经营电子测试治具和自动检测设备的研发生产和销售，主要产品包括光板测试治具、功能测试治具、ICT/FCT 自动检测设备、视觉检测设备等。检测设备的主要功能是对元器件的电性能及电气连接进行测试，检测生产制造缺陷及元器件不良，其中光板测试治具应用于贴装前的 PCB/FPC 光板产品和电路板，ICT/IFT 主要针对贴装后的 PCB/FPC 产品和触摸屏产品。

金东唐的检测产品广泛应用于各大电子设备厂，主要客户包括鹏鼎控股、富士康、达富电脑等。2018 年金东唐实现营收 1.62 亿元，净利润 0.32 亿元，完成三年业绩承诺标准，公司预计 2019 年营收能够达到 1.92 亿元以上，占公司整体营收接近 30%。

表 29 光韵达主营业务一览

| SMT 激光模板 | 精密零件切割 | PCB 激光钻孔 | FPC 切割钻孔 |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 激光 LDS 天线 | 激光 3D 打印 | 激光设备 (打标、刻蚀) | 检测设备 |



数据来源：光韵达官网

SMT 激光模板、精密金属零件、激光钻孔业务主要由子公司苏州光韵达主营。2019H1 苏州光韵达实现营收 0.52 亿元，同比增长 26%，实现净利润 0.08 亿元，同比增长近 200%，主要是 HDI 业务收入增长了 50%。FPC 成型业务主要是利用激光将各种材质的柔性线路板外形切割成所需形状，可穿戴电子产品浪潮的到来使 FPC 的需求出现了大规模增长。FPC 业务主要由子公司光韵达激光主营，2019H1 营收约 2000 万元，同比下降了近 40%，主要是 5G 商用刚开始导致柔性板业务进展较慢。

分析公司的主营构成，粮仓业务 SMT 保持稳健增长，新业务 ITE 业务屡获大订单支持，2018 年全年收入为 1.62 亿元，在 2019Q1 新增过亿订单，3D 打印业务从无到有，PCB 业务暂时低迷，但 2020 年 5G 建设大潮 PCB/FPC 需求爆发，PCB 新产能已锁定下游客户，未来强势反弹也是大概率事件。2018 年公司营收达 5.8 亿元，毛利额 2.45 亿元，毛利率 42%，盈利能力强于行业平均水平，整个收入盘子与下游消费电子行业联系紧密，80%的收入来自于电子行业。

表 30 2018 年光韵达主营构成

| | 营业收入 (万元) | 营收占比 | 毛利 (万元) | 毛利率 | 营收增速 | 毛利率变化 |
|-------|-----------|------|---------|--------|---------|---------|
| SMT 类 | 26,072 | 45% | 11,823 | 45.35% | 25.11% | -2.80% |
| PCB 类 | 9,548 | 16% | 3,775 | 39.54% | -28.91% | -11.69% |
| LDS 类 | 1,569 | 3% | 92 | 5.86% | -2.73% | 16.03% |
| 3DP 类 | 3,473 | 6% | 610 | 17.58% | 70.82% | 3.17% |
| ITE 类 | 16,205 | 28% | 7,522 | 46.42% | 27.75% | 6.14% |
| 其他 | 1,168 | 2% | 707 | 60.56% | 57.82% | 24.24% |
| 合计 | 58,035 | 100% | 24,529 | 42% | 13.04% | |

数据来源：光韵达年报

13、铂力特（激光 3D 打印）

(1) 国内 3D 打印代表性公司

铂力特专注于激光 3D 打印领域，业务涵盖 3D 打印设备、定制化产品、原材料和打印技术。2018 年公司生产 3D 打印设备 164 台（71 台自用），实现营收 2.9 亿元，收入增长超 30%，其中定制化产品 1.22 亿占比 42%，同比增长近 40%，3D 打印设备及配件 0.72 亿元，占比 25%，同比接近翻番。

铂力特是国内 3D 打印设备装机规模最大的公司，自用 3D 打印设备共 90 台，加工材料覆盖钛合金、高温合金、铝合金、铜合金、不锈钢、模具钢、高强度钢等品种，特别是在航空航天领域具有较高的市占率。主要客户包括中航工业、航天科工、航天科技、航发集团、中国商飞、中国神华、中核集团、中船重工及下属单位。公司 3D 打印零件产品已应用于 7 个飞机型号、4 个无人机型号、7 个航空发动机型号、2 个火箭型号、3 个卫星型号、5 个导弹型号、2 个燃机型号、1 个空间站型号。公司 S310 型号设备通过空客认证成为 A330 客机 3D 打印项目的主要设备，获得国内独供地位。2018 年公司与空客签署 A350 客机大型精密零件金属 3D 打印共同研制协议，合作关系从设备供货向共同研发深化。

(2) 拥有国内顶尖的 3D 打印技术团队

公司董事长薛蕾曾为西北工业大学副教授，现任中国光学学会激光加工专业委员会委员。公司首席科学家黄卫东同为西北工业大学教授、激光加工专业委员会委员，是国内最早从事金属 3D 打印研究的学者、国家科技部 3D 打印专家组首席专家，2001 年黄卫东团队申请了国内第一批激光立体成型的源头创新专利。

根据工信部赛迪研究院《中国增材制造产业发展报告（2018 年）》，铂力特研发的激光选区熔化装备，在铺粉效率、定位精度等关键技术指标上已达到国际先进水平。2017 年铂力特成为唯一入选工信部智能制造试点示范项目的 3D 打印公司，关键技术“飞机结构精密激光选区熔化成形制造技术及应用”获得国防科学技术进步一等奖。

激光 3D 打印设备的关键指标包括成形层次、分层厚度、激光器功率及数量、激光器光束质量、最大扫描速度、Z 轴重复定位精度、预热温度、氧含量控制、铺粉结构等，铂力特产品与德国 EOS 同类产品在技术指标上并无明显差异。

表 31 激光 3D 打印设备关键技术指标对比

| 技术指标 | EOS-M400 及 M400-4 | 铂力特-S500 | 铂力特-S600 |
|----------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| 最大成形尺寸 | 400mm×400mm×400mm | 400mm×400mm×1500mm | 600mm×600mm×600mm |
| 分层厚度 | 20-100μm | 20-100μm | 20-100μm |
| 激光器功率及数量 | 1000W×1 或 400W×4 | 500W×4 | 500W×4 |
| 激光器光束质量 | M2 < 1.1 | M2 < 1.1 | M2 < 1.1 |
| 最大扫描速度 | 7m/s | 7m/s | 7m/s |
| 重复定位精度 | ±5μm | ±5μm | ±5μm |
| 最高预热温度 | 200℃ | 200℃ | 200℃ |
| 铺粉结构 | 前后双向 | 左右双向 | 前后双向 |
| 可打印材料 | 钛合金、铝合金、高温合金、钴铬合金、不锈钢、高强钢、模具钢等 | | |

数据来源：铂力特招股说明书

(3) 3D 打印设备及加工服务双轮驱动

公司通过自主研发推出了激光选区熔化成形、激光高性能修复等金属 3D 打印设备，同时利用自有设备为客户提供 3D 打印定制化产品。

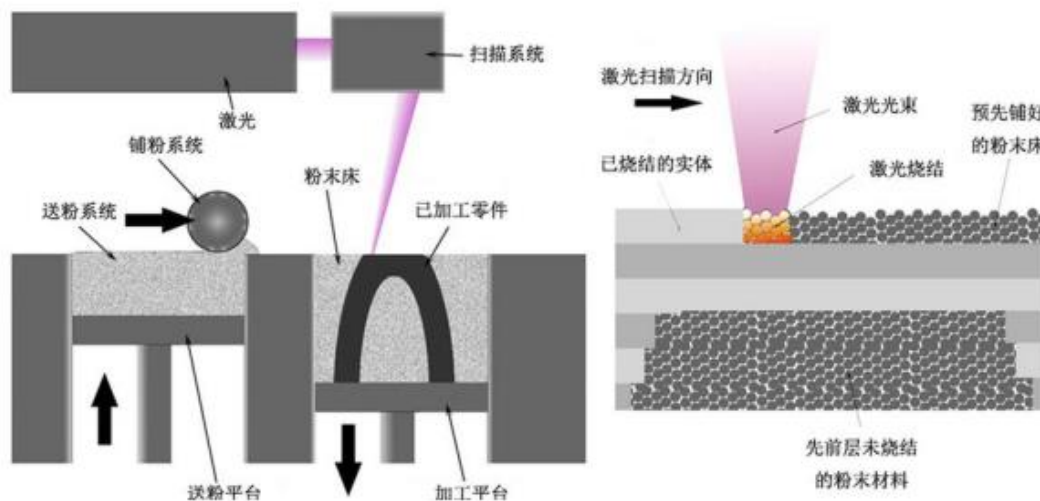
① 激光选区熔化成形设备-SLM 技术

SLM 技术即为采用激光有选择地分层熔化烧结固体粉末。被打印零部件提前在软件中添加工艺制程与位置摆放，离散成相同厚度的切片，并进行打印路径规划。打印过程中用在基板上用刮刀铺上设定层厚的金属粉末，聚焦的激光在扫描振镜的控制下照射金属粉末熔化，凝固后形成冶金结合层。一层打印任务结束后基板下降切片层厚高度继续进行下一层的打印直至零件打印结束。

激光熔化成形的优点是零件质量高，抗拉强度等机械性能优于普通铸件；打印过程精度高，可以打印的金属材料广泛；可以节约大量材料；缩短复杂零部件的生产时间，在航空航天领域和医疗植入体领域具有广阔应用前景。典型的产品案例如 C919 大飞机大型钛合金结构中央翼原条、滑轨、球面框、天线座等。

SLM 技术的代表性公司是德国 EOS、美国 GE 增材制造、德国 SLM solution 和国内的铂力特。SLM 技术最令人瞩目的是在 SpaceX 最新一代 Dragon V2 在飞船的 SuperDraco 引擎中使用制造引擎冷却道、喷油嘴和节流阀等，采用了德国 EOS 设备。美国 GE 增材制造公司采用 SLM 技术打印了超过 3 万个航空发动机燃油喷嘴，应用于全球先进的 LEAP 发动机。3D 打印的喷嘴可在近千摄氏度的环境下正常工作，重量减少 25%，使用寿命增加 5 倍。

图 19 激光选区熔化成形设备工作原理



数据来源：铂力特招股说明书

②激光立体成形设备-LSF 技术

LSF 技术是指聚焦激光束在数控系统的控制下按照预定路径移动，同时利用喷嘴将金属粉末直接输送到激光光斑在固态基板上形成的熔池，使之以点到线、线到面的顺序凝固，从而完成一个层界面的打印。该项技术不仅能够快速成形大型金属结构件，而且可以进行损伤零件的修复。

LSF 技术的优点是具有锻件级别的力学性能，而且具有更高的加工效率和更大的成型尺寸，还能够在现有零件上打印、修复零件、打印梯队材料等。应用领域主要是航空航天领域重点型号的结构件、发动机零部件、叶片等，能够进行大型钛合金零件的一次整体成形和高附加值零件的无损修复。全球 LSF 代表性厂商是美国 Optomec，铂力特的 C919 飞机中央翼缘是全球最高的 3D 打印整体成形产品（高 3070mm）。

图 20 激光选区熔化成形设备



数据来源：铂力特官网

图 21 激光立体成形设备



③3D 打印定制化产品

公司利用自有设备为客户提供 3D 打印定制化产品，3D 打印产品的优点在于轻量化、可以实现复杂内腔结构、可以实现零件整体化功能集成，还能实现修复与再制造。公司的典型产品包括航空航天领域高温合金、钛合金、铝合金零部件等，航发叶片的修复产品已在多个核心型号发动机上实现批量装机。

3D 打印领域技术难点除了设备和工艺，还有粉末材料。3D 打印对粉末材料的参数指标高于传统粉末冶金，除了粉末球形度、松装密度等要求更高外，对粉末的颗粒粒度分布、孔隙率、分层厚度等都有较高要求，还要根据不同的打印零部件需求选区不同的粉末生产工艺。**铂力特同时拥有设备和粉末的生产技术，具有较高的技术壁垒。**

(4) 专注于航空航天领域，盈利能力及成长性突出

国际上知名的 3D 打印公司包括德国 EOS、SLM solutions、GE 增材、3D systems、雷尼绍，国内公司主要是先临三维及铂力特。2018 年 3Dsystemns 出货量达到 2368 台，收入 6.88 亿美元，EOS 出货量 460 台，铂力特出货量 66 台，目前仍有较大差距。铂力特前五大客户分别为中航工业、航发集团、航天科工、航发优材、航天科技，前 5 大客户收入占比已达到 69%，最早开始合作时间可以追溯至 2012 年。航空航天领域是国内最早使用 3D 打印技术的行业，公司的下游用户均是国内航空航天领域的领导性公司，合作历史悠久。

2016-2018 年间公司收入从 1.65 亿元增长至 2.9 亿元，复合增长率达到 32%，毛利率稳定在 40%以上。公司主力机型 S300 年销量 12 台，单价 255 万。高端机型 S500 单价达 837 万，甚至高于对标机型 EOS 的 M400（单价 806 万）。

14、华日激光（超快激光器）

武汉华日激光是华工科技旗下的固体激光器厂商，成立于 2009 年，主要由三位千人计划专家领衔产品研发，在超快激光器领域占据一席之地，研发出纳秒-皮秒-飞秒等多种脉宽，红外-绿光-紫外等多波段的固体激光器产品。

截至 2019 年 8 月底数据，华日激光总资产规模为 2 亿元，净资产 1.35 亿元，营收 0.70 亿元，扣非归母净利润为-0.12 亿元。

华日激光被华工科技所控制，华工科技通过武汉华工科技投资管理有限公司、武汉华工激光工程有限责任公司、武汉华工创业投资有限责任公司 3 个主体分别持有 40%、28.57%、2.43%的股权。2019 年 12 月 20 日华工科技计划转让华日激光 52%股权，转让底价 1.83 亿元。目前已看到福晶科技、北京金橙子科技分别出资 1800 万元、2000 万元，参与竞拍 5%的股权，该项交易将在近期完成。

15、长光华芯（激光芯片）

长光华芯成立于 2012 年，与华工科技、锐科激光渊源颇深，公司董事长闵大勇为华工科技激光专家、华工激光工程公司董事长，曾任锐科激光监事。长光华芯拥有千人计划专家、海外归国博士、行业资深管理专家级院士等强大的研发团队，目前已建成从芯片设计、MOCVD、光刻、解理镀膜、封装测试、光纤耦合等完整的工艺平台和量产线，是全球少数几家、国内唯一一家研发和量产高功率半导体激光器芯片的公司。公司的高亮度单管芯片和光纤耦合模块、高功率巴条和叠阵等产品，在功率、亮度、光电转换效率、寿命等指标上同步于全球先进水平，在高功率半导体激光器芯片方面最先打破进口依赖。

长光华芯为国内激光器芯片龙头，公司与多家激光器厂商达成合作，国内市场份额已经达到 20%-30%。长光华芯共有激光芯片、器件、光纤耦合模块、阵列、直接半导体激光系统五大类产品。高功率激光器主要使用 915nm 和 976nm 半导体激光器作为泵浦源，其中 976nm 本院效果更佳，增益光纤对 976nm 泵源的吸收率更高，稳定性更好，但同时制备难度较大，公司 915nm 产品已成熟量产，高亮度 976nm 光纤耦合半导体激光器已通过下游验证，可以实现光光转换效率高 85%。

2018年7月长光华芯获得B轮1.5亿融资,预计投入三大建设项目,(1)高功率半导体激光芯片和模块产能提升5-10倍;(2)VCSEL激光雷达芯片研发及量产;(3)直接半导体激光器量产及应用。依托现有高功率半导体激光芯片的技术,公司将横向扩展高效率半导体激光雷达芯片和高速光通信半导体激光芯片。本轮融资的投资方为国投创业、中科院创投和苏州橙芯创投。国投创业是国家开发投资公司旗下创投基金,中科院创投是中科院旗下促进科技成果转化的创投基金,投资方阵容背景和实力雄厚。2018年公司入选苏州地区独角兽名单,由公司牵头开展的“面向制造业的大功率半导体激光器”项目入选2018年国家重点研发计划,充分证明公司在半导体激光器领域的业界低位。

长光华芯于2018年3月与苏州高新区政府共同建设半导体激光创新研究院,目的是建成国内一流的半导体激光芯片研发平台,进入激光3D传感芯片、高速光通信芯片、激光照明、激光显示等领域,改变中国激光有器无芯的局面。
