

光电子器件与技术

常用激光光源的发展概况

由于重视可靠性、效率和经济性,通信、医学和制造业市场正在改变激光产业的状况。

客户正慷慨地奖赏和赞同他们评价的制造商,但冷落那些只欣赏技术拼凑的制造商。同时投资者开始希望新公司能反映商业现实,而非技术希望和梦想。

在这样的情况下,半导体二极管激光是个福音,但在某种意义上对其他激光制造商则是件坏事。当具有很好可靠性的小型高效全固体激光光源启动时,也开始与其大型激光制造同行分享市场份额。二极管抽运激光器已统治了许多新应用,高亮度二极管也慢慢渗透进某些专家曾认为是二极管抽运激光器独家领地的领域。

在某些工业应用中,激光元件正转换成激光工具。蓝光二极管激光器在市场上的出现使电子学、显示器和医疗器械制造商有足够可靠份额启动产品的重新设计。

对于普通激光器,市场预测员看到大幅增长和可以预计的发展趋势。

· Frost & Sullivan 的新报告预计全球激光系统市场将从 2000 年的 47 亿美元增加到 2005 年的 80 亿美元。按激光类型分,预计 2005 年 CO₂ 激光系统市场将超过 18 亿美元,固体激光系统市场超过 11 亿美元,而二极管激光系统市场则将急增至近 46 亿美元。

报告称准分子和 HeCd 激光器是仅有的正在成长的其他激光系统,像固体器件一样

(主要是二极管激光器),它们侵入了染料、离子和 He-Ne 激光市场。

· 商务通信有限公司预计在 2003 年闪光灯抽运的激光器将以 6.6 亿美元继续占有固体激光市场的大头,二极管抽运的激光器占 3.12 亿美元。

下面介绍几种与这些市场数据有关的特殊激光技术和应用。

高功率激光二极管

增加功率和可靠性已引起商界的重视,但大幅降低价格将使之占有一定商业份额。

过去几年板条高功率激光二极管的光输出和寿命已有很大的提高。仅在 5 年中市场上单只激光二极管的典型光输出已从 20 W 增加到 50 W(连续波),寿命从 1000 h 增加到 10000 h。市场高功率激光二极管的性能提高了 25 倍。

高可靠性使用户将多组二极管激光器作成层叠组件。今天用 20 支到 25 支 40~50 W 单个连续波激光二极管组成的叠层在约 10 mm×40 mm 面积上可输出 1 kW 或更多的光功率。在每条 50 W 连续波时,电光转换效率几乎达 50%。这使二极管激光成为最有效的人造光源。

典型的 10 mm 激光二极管条在快轴(与条垂直)方向的输出光束参数乘积为 0.3 mm·mrad(1/2 发散度乘以 1/2 束腰),在慢轴(沿条)方向,该乘积为 520 mm·mrad。乘积越小,可聚焦性越好。

单支激光二极管组成的叠层经准直后将输出一叠由暗区分离的平光束——类似于半开百页窗。

微小的方形光束

快轴和慢轴的光束参数乘积的几何平均值给出最小可能的方形光束。

略去所有可能的公差,将 25 个这种光束紧密排放在一起,能输出 $60 \times 60 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 方形光束。市售二极管激光叠层输出 $170 \times 170 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 方形光束。千瓦量级固体激光的光束参数乘积为此值的 $1/5$; 二极管激光抽运固体激光的光束参数乘积为此值的 $1/10$, 大大改善了聚焦性能, 因此大大增加工作距离。

光束参数乘积值 $170 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 足以将光束导入大芯径光纤。

在此场合, 整个装置——二极管激光叠层、准直、小型化结构和光纤耦合——的效率约为 60%。采用 50% 光电转换效率的条, 整个光源的光电转换效率将达 30%。因此千瓦激光二极管系统将达到 25% 的插头效率。这使千瓦激光二极管系统成为最有效的工业应用激光系统。

应用

这些光源的大多数应用可分二组:

- 第一组应用于平面上。用于这方面的激光一般必须沿加工面扫描。具有光束整形光学系统的激光二极管能输出矩形光束, 只要一次或很少几次就能扫过整个加工平面。

用于这些场合的激光二极管系统能将 6 kW ($50 \sim 100 \text{ kW/cm}^2$) 激光能量输入至 $5 \sim 10 \text{ mm}^2$ 的靶面, 靶的边长比为 1:5 到 1:10。典型应用包括硬化、合金化、表面处理、洁净和粉末金属制造。激光焦斑可在整个靶面移动, 或者光束不动而靶在光束下移动。

- 第二组用于造型。这些造型一般有复杂的三维形状。光纤输出一圆形焦斑, 并能利用为固体激光器研制的光束定位系统。

用于这些应用场合的二极管激光系统用

光纤将高达 2.5 kW 的激光送到 1 mm 直径的焦斑上 (320 kW/cm^2)。典型应用包括熔焊和硬焊。

二极管激光开始成为仅次于 CO_2 和固体激光的第三种工具。它的主要优点是高效, 以及很易控制功率, 因为它的光输出严格正比于电流。

在不需要高功率 CO_2 激光和高光束质量固体激光的时候, 二极管激光是首选的工具。

许多公司正在探索在加工中采用激光二极管的可能性。预期在今后两三年里, 固体激光器和二极管激光器的价格差将大大增加。进一步预期激光二极管系统在从现在开始 5 年内将完成相当份额的工业加工工作。

工业用激光器

半导体激光抽运固体激光器, 它也与后者竞争。另一个潜在的竞争对手, 即超快技术, 也在寻找它在工业应用中的合适地位。

工业用激光器市场主要被高功率 CO_2 激光器和灯抽运 Nd:YAG 激光器垄断。这些器件已提供了费效比估算的方法, 提供用于包括切割、打孔、焊接、热处理和打标用的高功率红外和可见激光。

未来几年将看到工业用激光家族中三个新成员的巨大成功: 高功率半导体激光器, 二极管抽运固体激光器和超快激光器将进入红外和可见激光的工业应用。

高功率、小盒子

利用多条组件和 40 W 条二维叠加, 半导体激光器正提升至高功率器件, 能发射数百瓦至数千瓦近红外辐射。由于其紧凑的尺寸和很高的电光效率, 对工业应用很有吸引力。千瓦二极管叠层很小很轻, 使它们能直接组装到机器人手臂, 不必安装复杂而昂贵的光束传输系统。

它们的电效率(近似 50%)比气体激光器和灯抽运固体激光器高得多。低功耗对有众

多激光系统的工厂特别有利。

二极管叠层也有一些缺点。其输出空间光束是多模的,工作距离相当短。这就限制了它们对精细结构的加工能力。此外半导体激光器不储存能量,因此不能产生高能脉冲输出。

千瓦二极管叠层是工业激光技术的一场革命,它们很快在热处理和焊接中找到应用。几个激光制造厂商已有产品上市,夫琅和费表面和激光加工中心等机构成为二极管叠层工业应用的代表。

二极管抽运激光器

对于那些要求更好空间模式、更高脉冲能量或其他输出波长的应用,越来越多的用户转向二极管抽运的固体激光。十多年前已可获得这种器件,现已进入低功率(小于 20 W)器件市场。

由于它们高度的脉冲稳定性、好的空间模式以及长的检修间隔,在精密材料加工应用领域占有一定地位。这些“高技巧应用”包括存储器修理、硬盘刻制、微电路整修、太阳能电池划线和精密打标。在某些场合,这种激光器已成为起动器件,开创了其他类型激光不能完成的应用。

今后几年里,20 ~ 100 W 级的二极管抽运固体激光在一般制造和材料加工行业中将更加流行。

因为 CO₂ 激光器和灯抽运 Nd:YAG 激光器在这些应用中占主导地位,价格是其主要考虑因素,激光制造商将进行较便宜的二极管抽运激光设计。几家商用激光制造商已经公布功率超过 1 kW 的二极管抽运的产品。这些系统比它们的灯抽运对手更有效,并提供更好的空间模式输出,使它们成为更有吸引力的工业用激光光源。

二极管抽运激光器的另一趋势集中在工业封装上。

普通固体激光器设计成便于定期和经常

检修。因为用户每隔 200 ~ 1000 h 便要更换弧光灯,他们已习惯于光学元件的定期清洁和准直。寿命以千小时计、可现场更换的二极管抽运激光源仅需很少维护,它们最终更换也无需光学准直,使激光腔对周围环境完全封闭。封闭的激光腔消除了污染,而污染是故障原因之一。这些新设计思想进一步降低了维护要求和用户开支,使二极管抽运的固体激光更接近于黑盒子。

超快激光

虽然离商业前景很远,亚纳秒和亚皮秒超快激光系统将开始发现一些微加工的应用。

一般的超快系统基于锁模固体激光振荡器,通常与放大系统耦合,为材料去除提供高峰值功率。短脉冲减少了材料的受热带,有利于某些微孔和微结构应用。这些性能将很快在电子学和医疗器械制造中找到应用。

超快激光系统对工业部门是一种新事物,至今只限于制造研究中心。

它们仍需在工业应用中得到普遍接受,在这些应用中制造商将面对生产激光器的挑战,激光器也不会辜负工业界的设计和封装期望。

紫外(UV)激光器

三种互补的解决办法提高了激光器可靠性而无需降低技术性能。

在这个技术飞速发展的时代,对将来的预期是靠不住的,因为每种技术进步都会产生许多难以预料的应用。尽管如此,许多公司仍需要引导技术突变以对付 21 世纪的竞争,这意味着要了解如何发现市场趋势并作出反应。

对紫外激光制造商极重要的一个应用趋势是电子器件的小型化,通信和信息技术对此有极大的需求。当便携器件,如掌上电脑、移动电话和拷机的需求增加时,电路设计人员设想以大批量生产的方式将更多的电子元件组装在更小空间的方法。

电子学制造商的要求已推动激光领域的

变革。准分子激光、二极管抽运固体激光和氦离子激光的互补技术将继续是在紫外光谱区取胜的坚强组合,不管是印刷电路板的微孔、印刷电路板的直接成像、光纤写入光栅,还是在血管成形囊上打微孔和制做导尿管。总之这些激光器将满足 21 世纪大量生产的许多挑战。

因为波长较短的光能聚焦成较小的光斑,紫外激光最适合制做高密度线路中的微小结构。

此外,紫外光子的高能量能将许多材料的化学键切断,而不是用加热的方法。这种光蚀刻的‘冷’过程(光消融)将形成非常干净的端面。因为大部分材料易吸收紫外光,紫外激光通常能完成红外和可见激光不可能完成的材料加工。

准分子激光优势

准分子激光器长期以来在紫外材料加工中占统治地位,并将继续起重要作用。因为这些激光器具有高峰值能量和平均功率,它们是打孔、打标和微光刻的合理选择。

因为准分子激光的聚焦光斑受其低劣光束质量限制,制造商一般用光掩模来限定微加工图案。准分子的有害气体和大光斑也是制造业所关心的问题。

三倍频掺钕固体激光器($\text{Nd}:\text{YVO}_4$, $\text{Nd}:\text{YAG}$ 和 $\text{Nd}:\text{YLF}$)具有更好的紫外光束质量,但它们至今缺少平均功率、重复率的灵活性和系统的可靠性,这对费效比合算的大规模微加工很重要。最近的发展情况有所改变。

· 长寿命激光二极管激光条有效地抽运激光媒质。

· 高效三倍频晶体的寿命好于 1000 小时/晶体光斑。

· 制造商已研制出永久准直的气密封接激光头。

由于以上这些改进,二极管抽运的固体激光在 355 nm 的 Q 开关平均输出功率超过 3 W,脉冲重复率为 15 ~ 20 kHz。

此外内部光学系统的自动控制能在单发至 100 kHz 的脉冲重复率下保证最佳性能和光束质量,无需任何调节。

获得的功率和可靠性已将二极管抽运固体紫外激光器转变成紧凑、强而可靠的有力工具,能昼夜不停地运转而不牺牲许多应用所需的灵活性和可靠性,如穿微孔和作软线路板图案。

可靠性和寿命

能工作 1 万多小时而无需维护的激光系统可装于自动生产机器内部,这使它们成为大规模生产微电子学富有生命力的工具。例如相干公司的 Avia 355 ~ 3000 在印刷线路板上打 30 μm 的小孔,其速率为每秒 400 个,每天 24 小时,每星期七天。用户能改变脉冲速率以获得多层材料的最佳微加工。

可靠性、多用性和自动控制也支配紫外氦离子激光的材料加工应用。线路板制造商已依赖于紫外氦离子激光器的稳定的高功率连续波输出,以 50 μm 或更高的分辨率实现线路板的直接成像。

输出 244 nm 的倍频离子激光器是将布拉格光栅写入光纤的参考标准。这种光栅用于形形色色的通信应用,最引人注目的是稠密的波分复用路由器。等离子体管的相容性和寿命,以及智能用户界面和编程控制仍将是这些应用中的激光需考虑的重要问题。

(范品忠供稿)