

高功率激光二极管

泵浦激光二极管为尖端应用提供高功率

文/LFW

激光二极管 (LD) 除了使用寿命长和体积小外，还在所有的已知激光源中具有最高的电光转换效率。因此，它为现代激光技术提供了很多基础，并通过两种方式来实现这一点。首先，激光二极管为许多应用提供从紫外到中红外波长的光。其次，对于许多类型的光学泵浦固态激光器 (从科学到工业、从超快到连续波) 以及非固态高功率激光器，如二极管泵浦碱金属蒸气激光器 (DPAL) 而言，激光二极管都是非常有用的泵浦源。

用于激光泵浦的高功率激光二极管产品可以提供很大范围的波长、物理配置、光束特性和其他特性。激光二极管配置包括单管、巴条 (一排单管)、叠阵 (二维阵列)、模块和裸芯片等，输出类型有连续、准连续 (QCW) 和脉冲输出。由于不可能在一篇文章中全面地涵盖各种产品，所以本文将只涉及一小部分样例。

众所周知，目前业界两家最大的高功率泵浦激光二极管生产商是 IPG Photonics 公司和德国通快公司。但是，这两家公司生产的泵浦激光二极管都供自身使用，因此本文将不会涉及这两家公司的产品。

高效设计

因为光泵浦数千瓦级固体激光器

或光纤激光器所需的功率太大，所以设计高效的泵浦源必不可少。“对于任何高功率应用，功率效率都是最关键的参数之一，特别是在处理可能会在错误的地方产生热量的几千瓦能量时，”德国欧司朗光电半导体公司高级市场营销经理 Pedro Muñoz 表示，“热量不仅会降低激光器的寿命和性能，而且还需要更多的激光器芯片才能达到一定的功率水平，并且需要更加复杂的制冷设计。设计不佳、效率低下的系统通常更加昂贵，而且性能也更差。”

Muñoz 解释说，为了提升效率，不仅需要高效的激光器，而且必须以有效的方式组合来自不同 LD 光源的激光功率。“为了避免杂散激光，必须将光直接导向需要的地方，”他说，“虽然自由空间耦合设计可以达到一定的功率水平，但是激光器的冷却和

电力驱动要求通常是在紧凑的叠阵单元内完成的，而叠阵放置在激光器中的其他地方。为了使输出激光不受电子元件和热问题的干扰，通常使用光纤实现激活介质的泵浦。”

Muñoz 表示，欧司朗公司的 LD 巴条的输出激光发散角小于 8° ，能在高工作电流和热条件下保持稳定，这使其几乎能将所有的光耦合到较小的光纤芯径中，从而提高激光器的整体效率。

欧司朗生产基于铟铝镓砷 (InAlGaAs) 的高功率红外 (IR) 激光巴条，由多个宽带条单管构成 (见图 1)，用于泵浦固体激光器和光纤激光器，也可用于直接材料加工。标准波长包括 808nm、880nm、915nm、940nm、960nm、980nm 和 1020nm，1060nm 的标准产品也即将推出。典型的连续 (CW) 输出功率高达 250W，准连续 (QCW) 模式下的输出功率高达 500W。9xxnm 的典型电光转换效率为 65%，峰值效率 $>70\%$ 。

Muñoz 介绍说：“我们提供用于光纤耦合的低填充因子激光巴条，用于连续运行的 50% 填充因子的激光巴条，以及用于准连续耦合的 80% 填充因子的巴条。我们只为熟悉激光巴条安装技术的客户提供未安装的裸芯片，因为这是一项非常具有挑战性的工作，本身就是一项专门的技术。”

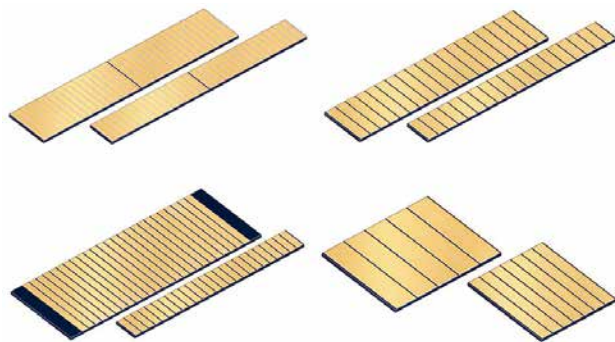


图 1: 欧司朗光电半导体公司生产的泵浦激光二极管芯片包括高功率准连续 (QCW) 巴条 (左上)、低填充因子连续巴条 (右上)、高功率连续巴条 (左下)，以及定制的迷你巴条 (右下)。

可扩展性

对于功率极高的应用，泵浦 LD 输出功率的可扩展性是关键。因此，激光二极管叠阵必不可少。Coherent-DILAS 公司高功率二极管激光器产品经理 Jörg Neukum 介绍说：“微通道冷却的热沉由于其最佳的热管理，使得每个激光二极管阵列可以提供最高的功率，并且可以形成垂直叠阵和水平叠阵（见图 2），最终形成适合泵浦几何结构的二维泵浦源。产生双轴准直光束的微光束整形，可以与使用体布拉格光栅（VBG）的波长稳定和光谱线窄化相技术结合，为 DPAL 泵浦提供温度不敏感、光谱稳定的窄线宽输出，或者用于三能级钕（ Nd^{3+} ）泵浦、镱（ Yb^{3+} ）的零声子线泵浦，以及发射波长为 1645nm 的掺铒 YAG（ Er^{3+} :YAG）激光器的 1532.25nm 泵浦。”

Neukum 说，通过适当的双轴准直和光谱稳定，许多垂直叠阵可以并排排列，以产生数千瓦级的高功率。



图2: Coherent-DILAS公司的一维（左）和二维（右）激光二极管叠阵，提供了泵浦功率的可扩展性。

Coherent-DILAS 公司生产多种泵浦波长的高功率泵浦激光二极管，适用的激活介质包括棒状、碟片、板条、光纤激光器以及 DPAL。如 Neukum 所解释的，这些激光二极管所泵浦的激光掺杂离子主要是固体激光器和光纤激光器中的 Pr^{3+} （镨，440~450nm）、 Cr^{3+} （铬，640~670nm）、 Tm^{3+} （铥，785nm）、 Ho^{3+} （钬，1908~1940nm）、 Nd^{3+} （钕，792~888nm）、 Yb^{3+} （镱，915~976nm）和 Er^{3+} （铒，960、1470 和 1532nm），以及 DPAL 应用的铯（852nm）、铷（780nm 和 795nm）和钾（766nm）。泵浦功率范围从 10W 到几千瓦。

波长稳定

许多二极管泵浦的固体激光器和光纤激光器，以及光纤耦合的激光二极管，应用于医疗和牙科领域。“这些医疗应用需要明确指定的功率、波长和安全特性，最终的产品设计要完全符合这些指标，”德国 LIMO 公司激光系统

产品经理 Andre Timmermann 表示，“在广泛的环境范围内保持所有光学特征的稳定性，是医疗产品和应用获得 FDA 批准的关键。”

因此，LIMO 公司针对这些应用生产的泵浦 LD 模块，都采用了光学波长稳定技术，能在较大的功率输出范围内保持输出波长不变。Timmermann 补充说，该设计经过优化，可以保持电光效率不变，而且没有任何明显的漂移。

LIMO 公司的 LIMO15-F200-DL981-EX1524 模块，在 981nm 的中心波长处输出功率 15W，外形尺寸为 108mm × 19mm × 25mm，可通过即插即用光纤接头实现光纤耦合输出。由于其波长稳定，该器件的波长温度漂移仅为 0.01nm/K。

美国 QPC Lasers 公司生产的光谱稳定的泵浦 LD，在二极管结构中集成了光栅，无需 VBG，旨在满足一些需要光谱窄化、稳定泵浦的新老应用，包括 976nm 的光纤激光器泵浦、785nm 和 795nm 的铷泵浦，用于医疗成像和碱金属激光器（DPAL）。

在需要波长稳定性的一个例子中，光纤激光器制造商正在将 976nm 作为主要的泵浦波长，因为 976nm 的吸收比 915nm 的吸收要强三倍。这样，光纤激光器可以更短，减少光学非线性效应。然而，976nm 波长的窄增益峰值需要精确的泵浦波长控制和窄线宽（见图 3）。

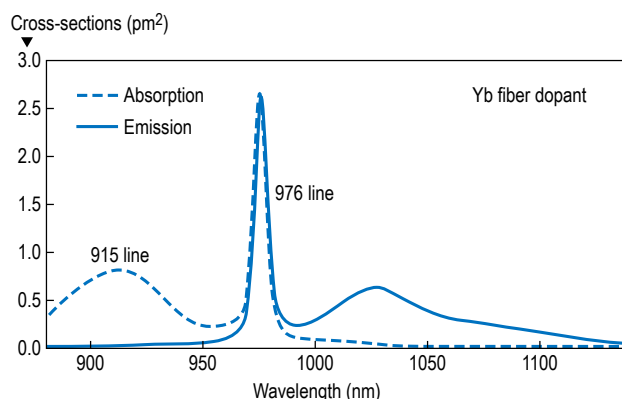


图3: 光纤激光器的光纤增益介质在976nm激光泵浦带的吸收比在915 nm处泵浦带的吸收高，吸收线宽更窄，这得益于波长稳定的窄线宽二极管泵浦。

QPC Lasers 公司表示，其波长稳定的激光二极管的成本、功率和效率与传统二极管泵浦相同。QPC Lasers 生产输出波长范围 785~2000nm 的激光二极管，可提供多种类型的配置，包括未封装的芯片、开放式热沉激光器、单模光纤密封蝶形封装、多模光纤耦合模块、微通道冷却叠阵以及带有冷却、电源和控制的 OEM 子系统。□