

大功率二极管泵浦固体激光器的发展

湖北光通光电系统有限公司 (430074) 陈义红 张发伟

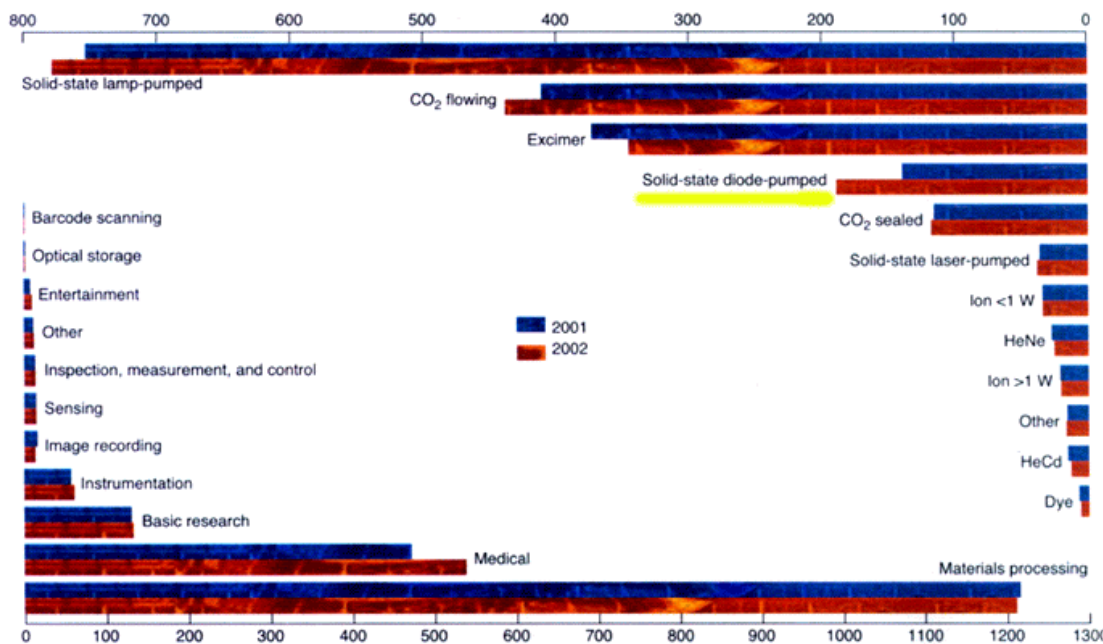
摘要：本文概述了大功率二极管泵浦固体激光器的市场情况和直接端面泵浦、侧面泵浦与光纤耦合端面泵浦大功率二极管泵浦固体激光器的基本原理，介绍了大功率二极管泵浦固体激光器的应用领域，简要分析了发展二极管泵浦固体激光器的重要意义。

关键词：二极管泵浦 激光器 端面泵浦 侧面泵浦 光纤耦合泵浦

前言

自第一台红宝石激光器问世，固体激光器就一直占据了激光器的发展的主导地位，特别是在 20 世纪 80 年代出现的半导体激光器 (Laser Diode) 以及在此基础上出现的二极管泵浦固体激光器 (Diode Pumped Solidstate Laser) 更因为体积小、重量轻、效率高、性能稳定、可靠性好和寿命长等优点，逐渐成为光电行业中最具发展前途的领域。

一：大功率二极管泵浦固体激光器发展趋势



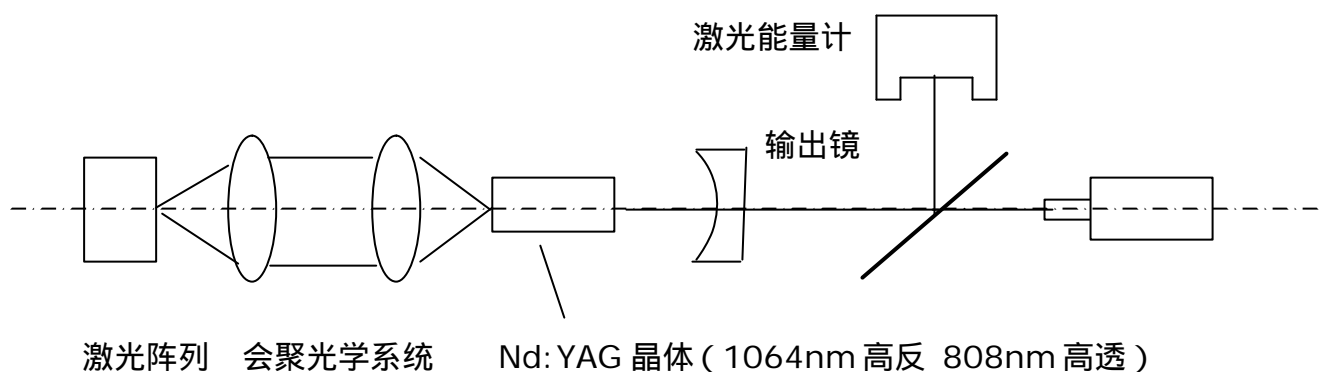
图一：2001 - 2002 年全球激光市场分析与预测
(二极管泵浦固体激光器增长迅速)

最近两年由于半导体激光器的迅速发展，使二极管泵浦固体激光工业加工设备所占的市场份额越来越大，美国《Laser Focus World》杂志报道，1999 年全世界激光器销售额为 49 亿美元，比 1998 年增长 26%，2001 年，全球激光设备销售总额大约为 190 亿美元，其中用于材料加工的激光设备销售额约为 123 亿美元，占总额的 63%左右。报道同时预测了 2002 年全球激光市场销售，因光通讯泡沫和美国 911 事件的影响，2002 年激光市场略有下滑，主要表现在通讯和电子行业的应用，但用于材料加工的激光器销售额不受其影响，而 CO₂

激光器进一步萎缩，发展固体激光器特别是二极管泵浦的固体激光器加工设备，正好可切入市场的需求和技术发展趋势。

二、大功率二极管泵浦固体激光器的原理及分类

激光二极管泵浦固体激光器的种类很多，可以是连续的、脉冲的、调Q的，以及加倍频混频等非线性转换的。工作物质的形状有圆柱和板条状的。而泵浦的耦合方式又分为直接端面泵浦、光纤耦合端面泵浦和侧面泵浦三种结构。泵浦所用的激光二极管或激光二极管阵列出射的泵浦光，经由会聚光学系统将泵浦光耦合到 Nd:YAG 晶体棒上，在晶体棒的泵浦耦合面上为减少耦合损失而镀有对 810nm 波长的增透膜。同时，该端面也是固体激光器的谐振腔的全反端，因而端面的膜也是 1.06 μm 的激光谐振腔，起振后产生的 1.06 μm 激光束由输出镜耦合输出。



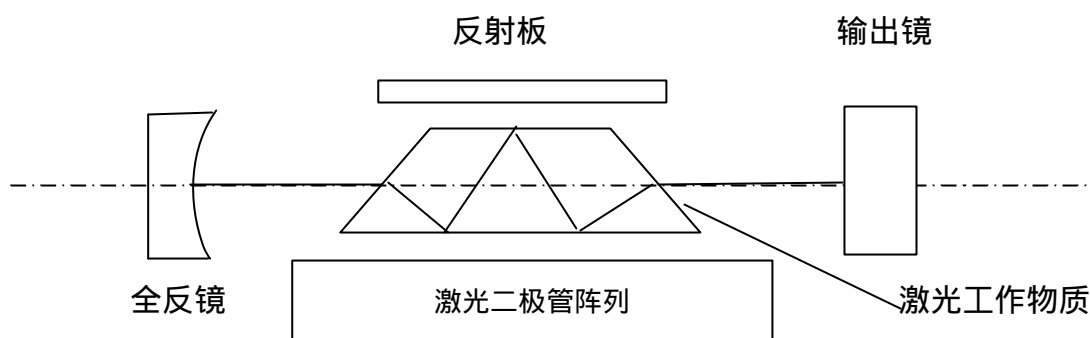
图二：激光二极管直接端面泵浦示意图

实验结果表明，与其它两种泵浦方式相对比，端面泵浦的效率最高。其原因为：在泵浦激光模式不太差的情况下，泵浦光都能由会聚光学系统耦合到工作物质中，耦合损失较少；另一方面，泵浦光也有一定的模式，而产生的振荡光的模式与泵浦光模式有密切关系，匹配的效果好，因此，工作物质用泵浦光的利用率也相对高一些。然而，端面泵浦虽然效率高，但固体激光的输出功率受端面限制，因为端面较小时只能采用单元的激光二极管，这就限制了泵浦光的最大功率。如果采用功率较大的激光二极管阵列作泵浦源，则由于阵列型二极管输出的泵浦光模式不好，因而不易将泵浦光有效地耦合到工作物质中，实际上降低了效率。而且由于泵浦光的模式较为复杂，泵浦后输出的 1.06 μm 激光的光束质量也不易保证。

三、光纤耦合的二极管端面泵浦和侧面泵浦固体激光器

针对这一弱点，人们又进一步发展了光纤耦合的端面泵浦和侧面泵浦方式。端面泵浦激光器由激光二极管、两个聚焦系统、耦合光纤、工作物质和输出反射镜组成。与直接端面泵浦不同，这种结构首先把激光二极管发射的光束质量很差的激光耦合到光纤中，经过一段光纤传输后，从光纤中出射的光束变成散角较小

的、圆对称的、中间部分光强最大的泵浦光束。用这一输出的泵浦光去泵浦工作物质，由于它和振荡激光在空间上匹配得很好，因此泵浦效率很高。由于激光二极管或二极管阵列与光纤间的耦合较与工作物质的耦合容易，从而降低了对器件调整的要求。而且最重要的是这种耦合方式能使固体激光器输出模式好、效率高的激光束。



图三：侧面泵浦二极管泵浦固体激光器

侧面泵浦板条固体激光器要得到更大功率的激光输出，就必然要采用泵浦功率较大的阵列型激光二极管，由于阵列二极管的发光面较大，不可能利用端面泵浦，因此，大多采用侧泵浦方式。这种结构的特点是，在工作板条的一侧用激光二极管阵列，另一侧是全反器，使泵浦光尽量集中到工作物质中。板条状激光器结构的特点是，激光通过工作物质介质全内反射传输，这样，激光经过工作物质的长度就大于工作物质的外形长度，即提供了更长的有效长度。在有效长度内，工作物质皆可直接吸收到由激光二极管发射的泵浦光，从而较易获得大功率输出，研究开发的重点就在于发展大功率的端面泵浦固体激光器，从激光二极管发出的光束经光学耦合从侧面泵浦激光晶体，从而获得单级输出的激光；并可以根据所要得到的输出功率要求而改变激光工作物质的长度而改变激光二极管泵浦的效率和功率。

四、国内外大功率二极管泵浦固体激光器应用发展水平

目前，国外二极管泵浦固体激光器市场化水平已经达到数百瓦，实验室水平已经达到千瓦级，湖北光通光电系统有限公司 10W 级光纤耦合端面泵浦激光器和 100W 侧面泵浦固体激光器均已形成产业化规模，现正推出 300W 二极管泵浦固体激光器，但是与国外水平还存在一定差距。在应用上，大功率二极管泵浦固体激光器以材料加工为主，包括了常规的激光加工：主要是材料加工，如激光标记、激光焊接、激光切割和打孔等，结构紧凑、性能良好、工作可靠的大功率二极管泵浦固体激光打标机产品系列已经在国内得到了规模应用，利用固体激光器能量大、峰值功率高的特点，可开发出二极管泵浦固体激光器的焊接机、切割机、打孔机等。激光微加工、激光精密加工也都有广泛推广的趋势。在国外，千

瓦级的二极管泵浦固体激光器已有产品，德国、美国汽车焊接就已经用到了千瓦级二极管泵浦固体激光焊剂机，在原理和技术方案上二极管泵浦固体激光器定标到万瓦都是可行的，目前主要受限于成本和市场需求的限制。二倍频二极管泵浦固体激光器在微电子行业、三倍频二极管泵浦固体激光器在激光快速成型领域都得到了广泛应用。

除材料加工外，大功率二极管泵浦固体激光器还可以用于同位素分离（二倍频、绿光）、激光核聚变、科学研究、医疗、检测、分析、通讯、投影显示以及军事国防等领域，具有极其重要的应用价值。

五、结论

我国在低功率二极管泵浦激光器（ $< 200\text{mw}$ ）技术比较成熟，产业化（光通讯应用较多）也蓬勃发展，但由于二极管激光器器件原因，国内的大功率二极管泵浦固体激光器发展一直具有局限性，应该积极进行二极管泵浦固体激光器和二极管激光阵列的研究，如果能实现产业化发展，必然带来巨大的经济效益和社会效益。

参考文献：

- 1、《Laser Focus World》2001 - 2002 世界激光市场
- 2、刘敬海 徐荣莆《激光器件与技术》北京：北京理工大学出版社 1995.12
- 3、刘兴新 激光与红外 LASER&INFRARED Vol.29 No.3 1999 小型二极管泵浦固体激光器
- 4、郑权 赵岭 钱龙生 大功率二极管泵浦固体激光器的应用和发展 光学精密工程 Vol.9, No.1. Feb. 2001
- 5、刘媛 方高瞻 马晓宇 肖建伟 大功率二极管泵浦固体激光器 激光与红外 Vol.32.No.3, June. 2002

作者简介：

陈义红 博士，1979年至1986年就读于华中科技大学激光技术专业；1986年至1994年为华中科技大学激光技术国家重点实验室副教授；1994年至2000年为新加坡国立精迪精密制造研究院研究员，并于1998年获新加坡南洋理工大学博士学位；1998年至2000年受聘为南洋理工大学博士生导师；2001年至今出任湖北光通光电系统有限公司首席科学家、总经理。在国内工作和学习期间，“TEA CO₂ 激光打标机”“无氦横流 CO₂ 激光器”和“大功率全固化固体激光器”等项目填补国内空白，并获省部级科技进步奖，两项技术获中国专利。曾经担任中国光学学会青年工作委员会主席。在国外学习和工作期间完成了28个激光科研和工业应用项目，其中有4个项目获新加坡政府的专项支持，5个科研成果为东南亚首创，三项技术获新加坡专利。在国内外重要刊物上发表论文五十多篇，为中国光学学会和美国工程光学学会 SPIE 会员，湖北省暨武汉激光学会理事，《激光技术》杂志编委。电邮：Director@ChinaLasers.com，网站：<http://www.ChinaLasers.com>。