

文章编号: 1001-4322(2005)S0-0011-04

薄片式 Yb:YAG 激光器及其应用*

张志伟

(北京晨辉日升光电技术有限公司, 北京 100102)

摘 要: 介绍了薄片式固体激光器的原理, Yb:YAG 晶体的特性及其与传统棒状 Nd:YAG 晶体固体激光器的对比。VersaDisk 固体激光器是一个功能强大的光学平台, 可以实现红外(基频)、绿光(倍频)或双波长(红外和绿光)同时输出, 也可以在腔内插入标准具、布儒斯特窗片、双折射滤光片来实现单频、线偏振、波长可调谐等多项传统棒状固体激光器实现不了的功能。该激光器在科研领域可以用于中红外高分辨率光谱、玻色-爱因斯坦凝聚和光镊、材料微加工、泵浦高功率 Ti:sapphire 激光器和染料激光器和全息、干涉、光存储等需要激光器单频特性的应用领域。

关键词: 薄片式; 固体激光器; 单频

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

薄片式半导体泵浦固体激光器被认为是近期来激光技术最著名的进展之一。它基于一种革命性的固体激光器设计理念, 近几年已经成为科研及工业加工的得力助手, 而且进入了批量化生产阶段。薄片式固体激光器可以输出很高的功率(连续或脉冲), 同时拥有非常好的光束质量。

Yb:YAG 激光晶体作为特殊的激光工作物质, 它不仅具有 YAG 激光基质材料本身优良的物理性质和稳定的化学性能, 而且具有很好的激光工作性能。激光波长为 1 030 nm, 峰值吸收波长在 940 nm 附近, 吸收带宽很宽(18 nm), 荧光寿命长(0.95 ms), 量子效率高(91%), 在相同的半导体泵浦功率下, Yb:YAG 泵浦生热为 Nd:YAG 的 1/3。能够很容易的被可靠的 InGaAs 半导体激光器所泵浦, 是一种新型的、适合 LD 泵浦的高平均功率和高光束质量的发射 1 μ m 左右波长的激光材料。另外, 由于其二倍频是 515 nm, 接近 Ar 离子激光器的波长 514.5 nm, 从而使其有可能替换用户现存的大量氩离子激光器, 因此在激光领域内受到越来越多的关注。

由德国斯图加特大学的 Adolf Giesen 博士及其研究小组发明的薄片式固体激光器, 其性能远远超过采用传统棒状晶体设计的 Nd:YAG 固体激光器^[2]。德国 ELS 公司是最早的也是世界上唯一生产高功率薄片式单频连续固体激光器的厂商, 所生产的 VersaDisk 激光器获得 Photonics Excellence Award 2003 大奖, 是当年世界上唯一获此殊荣的固体激光器。而且 VersaDisk515 进一步拓展了高功率固体绿光激光器的应用领域, 打破了该市场过去一直被美国的激光公司所占领的局面。

1 薄片式激光器原理

薄片式激光器的晶体形状为薄片式, 通常厚度为 200 μ m, 直径为 10 mm。由半导体激光器从晶体的前表面进行泵浦, 近似于常用的端泵技术。薄片晶体整个粘接在热沉上, 所以晶体的冷却效率非常高(见图 1)。由于晶体的厚度很薄, 所以每次半导体激光器的泵浦光穿过激光晶体时只有一部分泵浦光被其吸收, 为了提高它的泵浦效率, 在其前部放置一块抛物面镜, 使未被吸收的泵浦光多次通过晶体来提高泵浦效率, 一般的次数为 32 次, 从而产生很强的激光辐射。

2 与传统棒状 Nd:YAG 固体激光器的对比

Yb:YAG 作为准三能级结构的晶体, 比传统的 Nd:YAG 晶体更适合用半导体激光器泵浦, 与 Nd:YAG 晶体相比它的优点如下^[1,2]:

具有较低的量子损耗, 热承载小(91%量子效率), 热透镜效应非常小, 几乎可以忽略不计。具有很宽的吸收带宽(18nm), 因此对泵浦 LD 的控温精度要求低。上能级荧光寿命长(1ms), 有利于储能。发射线宽较宽, 可以实现调谐输出。激光发射截面较小(有利于高能量存储)。

Yb:YAG 晶体的热传导和温度梯度主要沿着轴向, 从而使晶体的温度分布非常均匀, 波前形变非常小(见

* 收稿日期: 2004-11-23; 修订日期: 2005-01-25

作者简介: 张志伟(1968—), 男, 辽宁人, 博士, 北京晨辉日升光电技术有限公司总经理; E-mail: sales@bjlaser.com。

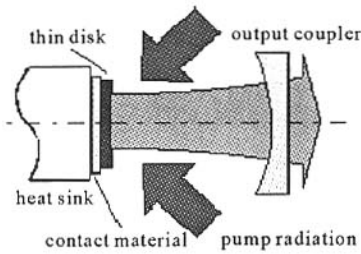


Fig. 1 Principle diagram of thin disk lasers

图 1 薄片式激光器原理图

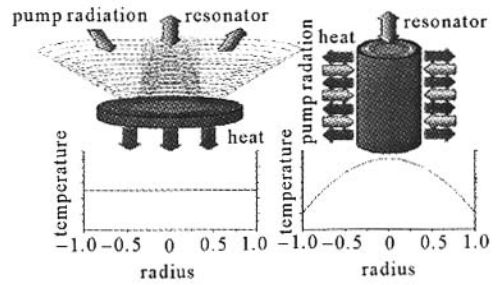


Fig. 2 Comparison between thin disk laser and traditional YAG laser

图 2 薄片式 Yb:YAG 激光器与传统 YAG 激光器的对比

图 2)。这种先进的谐振腔设计使得热量从 Yb:YAG 晶体传导到热沉的效率非常高,热传导的方向与激光光束传播的方向平行(即轴向),因此径向温度梯度非常小,从而避免了传统棒状晶体激光器的固有限制,如高功率下的热透镜效应、激光晶体的变形、双折射效应等。因此,薄片式固体激光器可以很容易获得非常高的输出功率(最大 100 W)而不影响它卓越的光学性能,一般都具有近高斯分布的高功率激光束($M^2 < 1.1$)。这是它与传统棒状 Nd:YAG 固体激光器的最大区别,因为传统棒状 Nd:YAG 固体激光器或者具有高功率,或者具有好的光束质量,但不能同时拥有。

3 功能强大的光学平台

德国 ELS 公司的 VersaDisk 不仅仅是一台激光器,它实际上是一个功能强大的光学平台。模块化的设计为您带来灵活的配置和强大的扩展性(见图 3),用户可以根据自己的研究工作选择最合适的配置,或者选择一个通用的配置以满足大多数常见的应用。VersaDisk 腔型结构的自由度非常高,用户可以只购买一台激光器而得到红外(基频)、绿光(倍频)或双波长(红外和绿光)同时输出,也可以在腔内插入标准具、布儒斯特窗片、双折射滤光片来实现单频、线偏振、波长可调谐等多项传统棒状固体激光器实现不了的功能。

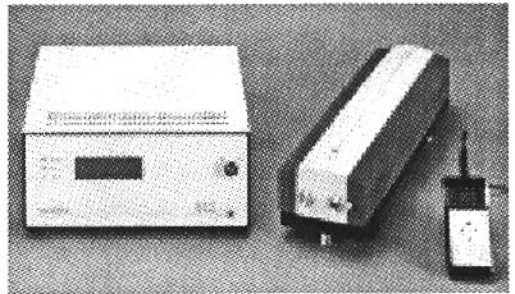


Fig. 3 Picture of VersaDisk 515/1030 laser

图 3 VersaDisk 515/1030 激光器外型图

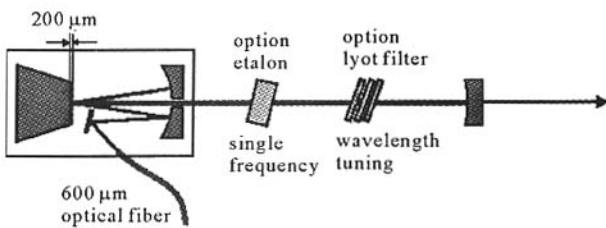


Fig. 4 Cavity Design of VersaDisk-1030

图 4 VersaDisk-1030 的腔型设计

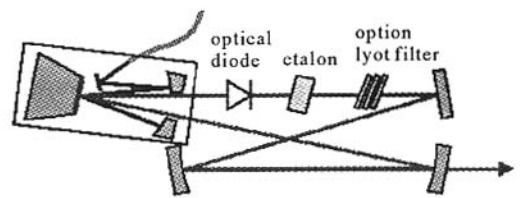


Fig. 5 Cavity design of VersaDisk 515

图 5 VersaDisk 515 的环行腔设计

VersaDisk 激光器的主要功能有:

(1)VersaDisk 1030——高功率单频红外激光器(见图 4)。VersaDisk1030 可以在 1 030 nm 处输出最大 100 W 功率(5,10,20,30,50,75,100 W),并保证输出模式为 TEM₀₀ 模。在腔内插入标准具就可以选择一个纵模,从而实现单频输出(线宽小于 5 MHz,最大输出功率可达 50 W)。窄线宽和高功率可以使 VersaDisk 1030 很方便地实现频率转换(倍频或泵浦 OPO)。

(2)VersaDisk 515——高功率单频绿光激光器(见图 5)。VersaDisk 515 采用环行腔设计,并选择非临界相位匹配的 LBO 晶体作为倍频晶体,可以在 515 nm 处实现最大 15 W 的单频输出功率(2.5,5,10,15 W,线宽小于 5 MHz)。薄片技术与环行腔设计的结合给 VersaDisk 515 带来了优越的性能,如指向稳定性好、单频输出等。

(3) 可实现双波长同时输出(见图 5)。把 VersaDisk 515 环行腔中的一块折叠腔镜换成可透过 1 030 nm 的腔镜,可同时获得 515 nm 和 1 030 nm 的输出;通过改变该镜片对 1 030 nm 的透过率,还可以调节 515 nm 和 1 030 nm 的输出功率。

(4) 波长可调(见图 6)。因为 Yb:YAG 晶体可以在 1 000~1 060 nm 范围内产生激光辐射,因此在 VersaDisk 1030 的腔内放置一块双折射滤光片它就可以在这个波长范围内调谐(对于 VersaDisk 515 来说,调谐范围从 514 nm 到 517 nm)。这个选项可以和单频输出共同选择。

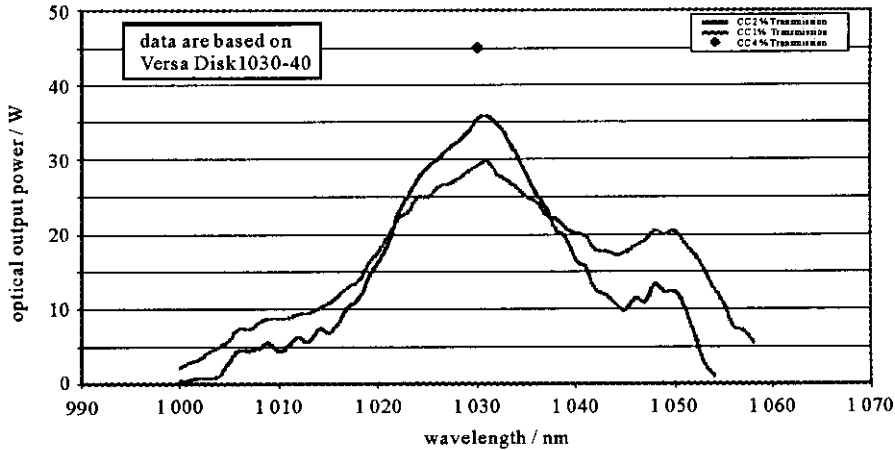


Fig. 6 Wavelength tuning feature of Yb:YAG laser

图 6 Yb:YAG 激光器波长调谐图

(7) 可替代氩离子激光器。氩离子激光器由于非常耗水耗电正在逐渐被固体激光器代替,但传统的棒状固体激光器的波长(532 nm)又不太合适,这时 VersaDisk 515(515 nm)就是最合适选择,因为它可以非常精确地把输出波长锁定在 514.5 nm,从而替代氩离子激光器,而且各项参数都要优于氩离子激光器。

(8) 调 Q 型。虽然 VersaDisk 非常适合于连续工作,但在一些应用诸如泵浦中红外(2~5 μm)调 Q 型 OPO 时,调 Q 型 VersaDisk 就显得非常合适。通过在 VersaDisk 1030 谐振腔中加入调 Q 元件就可以实现重复频率 1~15 kHz,脉冲宽度 500 ns 的调 Q 型 VersaDisk 1030Q。

(9) 锁模型。应用可饱和吸收镜(SESAM)技术,VersaDisk-1030 还可以改制成锁模型固体激光器,波长 1 030 nm,重复频率 100 MHz,脉宽 500 fs,峰值功率可达 25 MW。该锁模激光器还有二倍频(绿光)和三倍频(UV)选项。

总之,VersaDisk 除了具有高功率和优秀的光束模式外,而且还是一个功能强大的光学平台,可以满足大多数科研领域的应用。

4 VersaDisk 激光器的主要科研应用

4.1 VersaDisk 1030 的应用

中红外高分辨率光谱(与 2~5 μm OPO 一起使用):VersaDisk 1030 可以用来泵浦高功率单频中红外(2~5 μm)OPO(SpectroStar),从而填补了世界上在该谱段没有高功率单频光源的历史,为从事高分辨率中红外光谱的科研人员提供了有力的科研工具。由于 VersaDisk 1030 的波长可以在 1 000~1 060 nm 之间调谐,而且可以同时保证高输出功率和窄线宽,因此可以通过只调节 VersaDisk 1030 的波长来调节 OPO 的波长(2~5 μm),OPO 的最大输出功率达 3 W(3 W@2 954 nm,用 VersaDisk 1030-20 SF 泵浦)。

玻色-爱因斯坦凝聚和光镊:在玻色-爱因斯坦凝聚实验中,VersaDisk 1030 可以用来建立激光俘获;而在光镊应用中,VersaDisk 1030 可以用来输运原子和分子。

材料微加工:由于 VersaDisk 1030 同时拥有高功率(最大达 100 W)和优秀的光束质量(TEM_{00} ,线偏振),

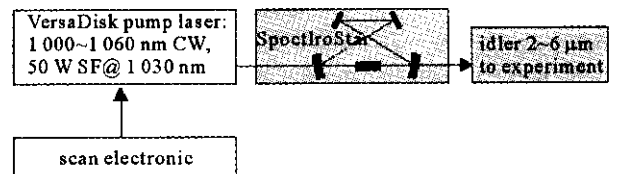


Fig. 7 Configuration of SpectroStar

图 7 SpectroStar 系统配置图

使得它在印刷工业中可以对清筛辊进行精确的雕刻,打出的孔比其它激光器要深而且干净。

4.2 VersaDisk 515 的应用

用作高功率 Ti:sapphire 激光器和染料激光器的泵浦源:

由于 Ti:sapphire 晶体在 515 nm 处的吸收系数要高于其在 532 nm 处的吸收系数^[3](见图 8,吸收效率要高 18%),所以 VersaDisk 515 是泵浦 Ti:sapphire 激光器的理想泵浦源。此外,由于 515 nm 的波长短于 532 nm,所以 VersaDisk 515 可以更高效地用来泵浦染料激光器。

全息、干涉、光存储等其它需要激光器单频特性的应用领域:由于 VersaDisk 515 的波长可以调谐并精确地固定在 514.5 nm,因此可以完全代替氙离子激光器用于全息、干涉、光存储和其他需要单频输出的应用领域,并可以解决氙离子激光器耗水耗电的弊端。

绝对频率稳定:在绝对频率稳定应用中,VersaDisk 515 可以与外部标准频率源(碘吸收池)锁定在一起,使其线宽小于 1 MHz,而绝对频率由碘分子的特征谱线决定(见图 9)。

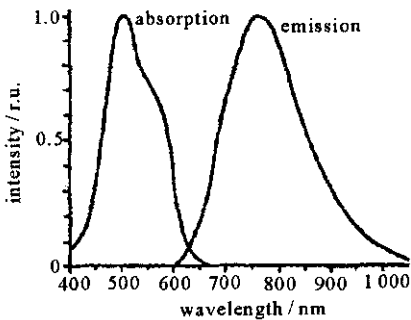


Fig. 8 Absorption and emission spectrum of Ti:Sa
图 8 钛宝石的吸收和发射谱

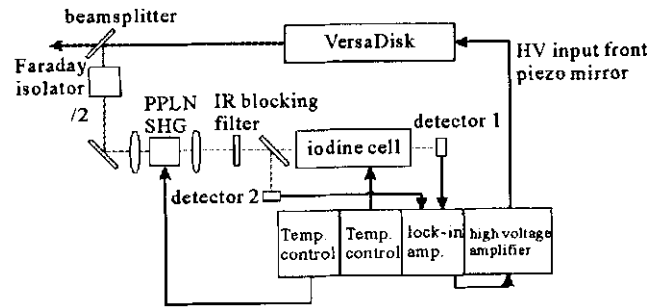


Fig. 9 Frequency stabilization setup of VersaDisk
图 9 绝对频率稳定实验布局图

参考文献:

- [1] Anscombe N. A new spin: thin disc Yb:YAG lasers[J]. *Photonics Spectra*, 2002, 54—58.
- [2] 吴海生, 闫平, 巩冯理, 等. 准连续激光二极管抽运的 Yb:YAG 微晶片激光器[J]. *中国激光*, 2003, 30(2):97—100. (Wu H S, Yan P, Gong F L, et al. QCW-LD-pumped Yb:YAG microchip laser. *Chinese J of Lasers*, 2003, 30(2):97—100)
- [3] Koechner W. *Solid-state laser engineering* (5th edition)[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2000, 78.

Thin disk Yb:YAG laser and its Applications

ZHANG Zhi-wei

(Beijing Sunrise Optoelectronics Co Ltd, Beijing 100102, China)

Abstract: The theory of solid state Yb:YAG thin disk laser is introduced and it is compared with traditional rod Nd:YAG lasers. The powerful function of VersaDisk laser as dual wavelength output, wavelength tuning ability and single frequency are illustrated. Its scientific applications as high-resolution spectroscopy in the NIR, Bose-Einstein condensates and laser tweezers, high CW power Ti:sapphire and dye laser pumping are introduced.

Key words: Thin disk; DPSS; Single frequency