



·强激光物理与技术·

连续波 HF 激光泵浦 Fe²⁺: ZnSe 激光器的可行性

李玉佳^{1,2}, 吴克难^{1,2}, 金玉奇^{1,2}, 王增强^{1,2}, 周冬建¹, 王 锋¹

(1. 中国科学院大连化学物理研究所 化学激光重点实验室, 辽宁 大连 116023; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 针对目前 Fe²⁺: ZnSe 激光器缺乏有效的高功率泵浦源这一关键瓶颈, 提出了采用连续波 HF 化学激光器泵浦 Fe²⁺: ZnSe 来实现 4 μm 波段激光输出的技术路线, 结合实验和理论手段考察了此技术路线的可行性。首次获得了由连续波 HF 化学激光泵浦的 Fe²⁺: ZnSe 激光器的 W 级激光输出, 输出功率约为 1.7 W, 谱线峰值波长为 4.18 μm, 出光时间约 2 s。

关键词: 4 μm 波段激光; Fe²⁺: ZnSe 激光器; HF 化学激光器; 功率放大; 热管理

中图分类号: TN248.1

文献标志码: A doi: 10.11884/HPLPB202133.210371

Feasibility of Fe²⁺: ZnSe laser pumped by continuous wave HF laser

Li Yujia^{1,2}, Wu Ke'nan^{1,2}, Jin Yuqi^{1,2}, Wang Zengqiang^{1,2}, Zhou Dongjian¹, Wang Feng¹

(1. Key Laboratory of Chemical Laser, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In view of the key bottleneck that Fe²⁺: ZnSe laser lacks effective high-power pumping source at present, the technical route of using a continuous wave HF chemical laser to pump Fe²⁺: ZnSe to achieve laser output in 4 μm band is proposed. The feasibility of this technical route is investigated both experimentally and theoretically. The output of a continuous wave HF chemical laser pumped Fe²⁺: ZnSe laser at watt level is obtained for the first time. The output power is about 1.7 W, the central wavelength is 4.18 μm, and the lasing lasts about 2 s.

Key words: 4 μm band laser; Fe²⁺: ZnSe laser; HF chemical laser; power amplifier; thermal management

激光技术在现代高技术对抗中具有重要应用, 近年来, 波长 4 μm 范围的激光日益受到重视。波长 4 μm 范围的激光横跨大气中二氧化碳的吸收谱带^[1-5], 其中包含了诸多大气微窗口, 在火山监测预测^[2]、碳循环和温室效应研究和红外夜视成像系统^[6]等领域有着广泛的应用。而目前 Fe²⁺: ZnSe 激光器是产生这一波段激光的重要手段之一。

1982 年, 美国华盛顿海军研究实验室的 Klein 等人^[7] 使用氮分子激光器泵浦 InP:Fe²⁺ 晶体, 首次实现了 3.53 μm 的激射, 引起人们对 Fe²⁺ 掺杂中红外激光器的关注。1999 年, 美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的 Adams 等人^[8] 在低温下, 使用 Er³⁺: YAG 激光器泵浦 Fe²⁺: ZnSe 晶体, 首次实现了 3.98~4.54 μm 波长范围的激光输出, 证实了 Fe²⁺: ZnSe 晶体实现 4 μm 波段激光输出的可行性。2004 年, 莫斯科物理技术研究所的 Akimov 研究小组^[9] 使用 Er³⁺: YAG 激光器作为泵浦源, 在低温下首次实现了可调谐的 Fe²⁺: ZnSe 激光器。2005 年, Kernal 等^[10] 使用 Nd³⁺: YAG 激光器经 D₂ 拉曼池输出的二阶斯托克斯信号作为泵浦源, 实现了室温工作的 Fe²⁺: ZnSe 激光器。2015 年, 美国 Alabama 大学 Mirov 课题组^[11] 使用 Er³⁺: YAG 激光器泵浦 Fe²⁺: ZnSe 晶体, 在低温条件下获得了目前最高的平均功率 35 W 的激光输出。研究人员已经认识到, 现有 Fe²⁺: ZnSe 激光器发展的一个关键瓶颈是缺乏 2.6~3 μm 的高功率泵浦源。因此在 2014 年, 俄罗斯的 Firsov 等^[12] 采用脉冲 HF 激光器作为泵浦源, 获得了 192 mJ 的 Fe²⁺: ZnSe 激光输出。要想进一步大幅度提高平均功率, 就需要突破 Fe²⁺: ZnSe 晶体激光破坏阈值和泵浦源平均功率的限制, 采用连续波高功率激光来泵浦 Fe²⁺: ZnSe 晶体成为一种有潜力的技术途径。本文提出了采用连续波 HF 化学激光器泵浦 Fe²⁺:

* 收稿日期: 2021-08-26; 修订日期: 2021-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61875197, 61205139); 中国科学院科技创新基金项目 (CXJJ-19S010, CXJJ-20S010); 中国科学院青年创新促进会项目 (2016168)

联系方式: 李玉佳, liyujia@dicp.ac.cn。

通信作者: 吴克难, wukn@dicp.ac.cn。

ZnSe 来实现 4 μm 波段激光输出的技术路线, 并对此技术路线的可行性进行了验证。在实验方面验证了 4 μm 波段出光的可行性, 在理论方面考察了热管理和功率放大的可行性。

1 4 μm 波段出光的可行性验证

1.1 实验装置

为验证此技术路线的出光可行性, 开展了连续波 HF 化学激光器泵浦 Fe²⁺: ZnSe 晶体的原理性实验。实验原理示意图如图 1 所示。

采用 HF 激光器作为泵浦源, 泵浦光先经由反射率 10% 的分光镜分束, 其中透射光用来检测 HF 激光的功率, 而反射光经过光闸、中性滤光片和光闸后通过焦距为 2 m 的聚焦透镜, 聚焦后的光束再通过二向色镜后照射到激光晶体上。增益介质为掺杂浓度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的 Fe²⁺: ZnSe 晶体, 迎光面尺寸为 8 mm × 9 mm, 端面镀有 2.7~3 μm 以及 4~4.5 μm 波长范围的增透膜, 由紫铜热沉夹持放置在真空实验仓中, 利用液氮对热沉制冷。谐振腔采用 L 型平凹腔设计, 通过凹面镜耦合输出, 输出耦合率为 5% (透过率), 腔长 110 mm。输出功率通过功率计 (Ophir FL250A-BB-50) 测量, 输出光谱由傅里叶光谱分析仪 (NICOLET iS50) 测量。

1.2 实验结果与讨论

采用 HF 激光器的全谱输出光束作为泵浦光, 初始输出功率约 280 W, 经过一系列元件传输到真空仓外时功率约为 20 W, 用傅里叶光谱分析仪对泵浦和输出激光光谱进行采集, 结果分别如图 2(a) 和 2(b) 所示, 输出激光谱线峰值波长为 4.12 μm, 半高宽为 134.2 nm, 并且实现了 5 s 的持续出光。进一步加大到达晶体的泵浦功率至 133 W, 结果如图 2(c) 所示, 输出功率约为 1.7 W, 谱线峰值波长为 4.18 μm, 半高宽为 91.7 nm, 出光时间约 2 s。随着 Fe²⁺: ZnSe

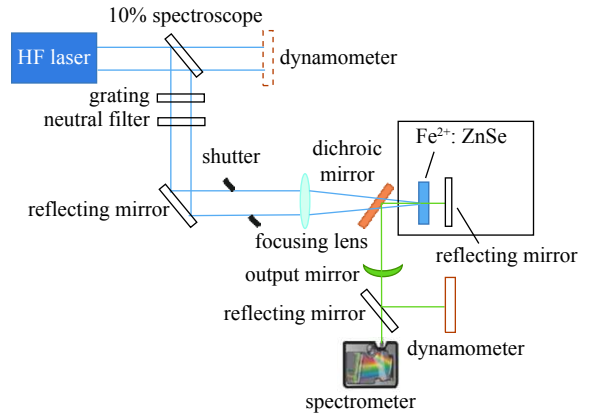


Fig. 1 Schematic diagram of continuous wave HF chemical laser pumped Fe²⁺: ZnSe laser crystal

图 1 连续波 HF 化学激光器泵浦 Fe²⁺: ZnSe 晶体的原理性示意图

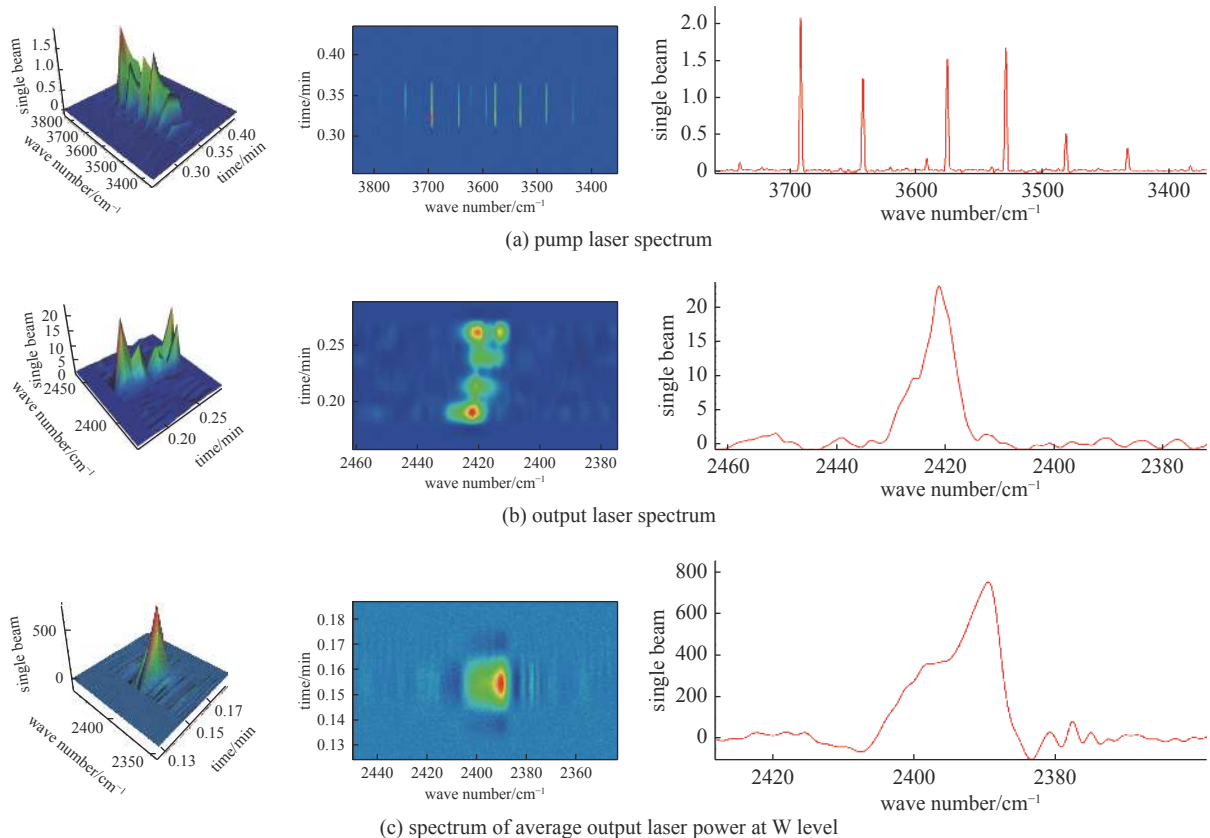


Fig. 2 Pump and output spectrum when pumped by full spectrum HF laser

图 2 HF 全谱激光泵浦时的泵浦和输出光谱图

晶体温度升高, 声子数目增加, 使得声子辅助跃迁输出光谱包络线的峰值位置红移, 这与以往的报道是一致的^[13]。据我们所知, 这是首次关于连续波 HF 激光泵浦 Fe²⁺: ZnSe 获得 W 级平均功率输出的报导。

对 HF 输出光束加上 2900 nm 的窄带滤光片, 调整 HF 泵浦光的初始输出功率至约 130 W, 此时到达真空仓外的泵浦光功率约为 12 W。实验结果如图 3 所示, 谱线半高宽为 133.3 nm, 结合图 2 结果可知, 无论泵浦光波长主要分布在 2.7~2.8 μm, 还是在 2.9 μm 时, 均可以获得 4 μm 波长输出。

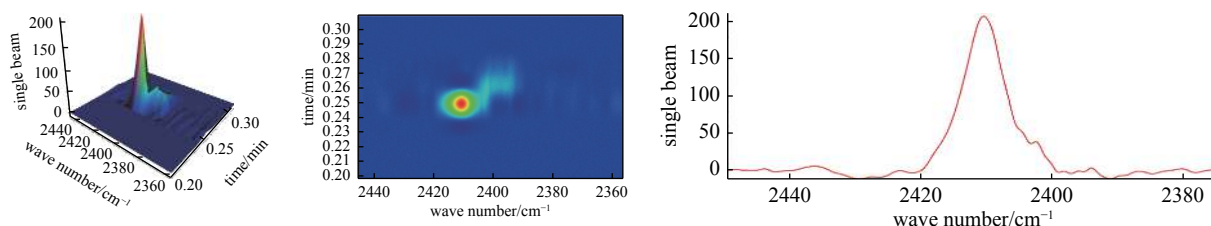


Fig. 3 Output spectrum when pumped by narrow band laser at 2900 nm

图 3 2900 nm 窄带激光泵浦时的输出激光光谱

2 热管理的可行性分析

2.1 计算方法

连续波 Fe²⁺: ZnSe 激光需工作在低温环境下^[9]。本文以碟片结构的 Fe²⁺: ZnSe 激光晶体为例, 对其热管理性能进行了研究。系统的结构示意图如图 4 所示。计算采用的控制方程为三维热传导方程

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[r \frac{dT(r,z)}{dr} \right] + \frac{d^2T(r,z)}{dz^2} = -\frac{Q}{k} \quad (1)$$

式中: $T(r,z)$ 为晶体的温度, k 为热导率, Q 为体热源项。晶体上表面与侧边为绝热边界; 晶体与铜层、铜层与热沉之间均通过接触面换热, 并且假设接触面无热阻。采用液氮喷射方式对热沉进行制冷, 热沉底面与液氮通过对流方式换热。各材料的物性参数如表 1 所示。

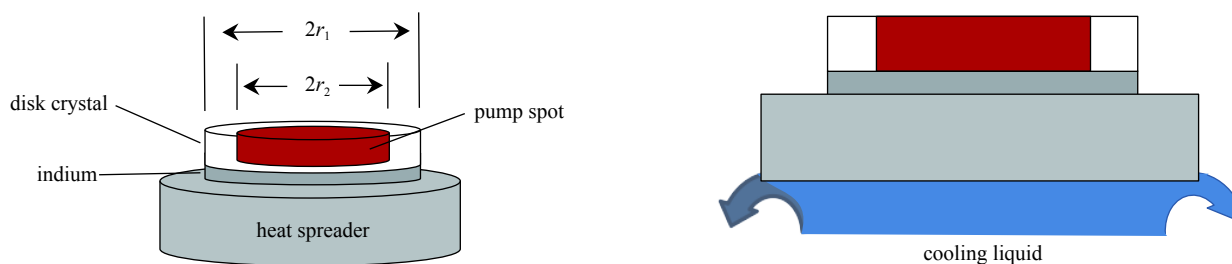


Fig. 4 Schematic diagram of crystal heat transfer structure

图 4 晶体换热结构示意图

表 1 各材料的物性参数

Table 1 Physical properties of materials

material	radius/mm	thickness/mm	thermal expansion coefficient/°C ⁻¹	Young's modulus/Pa	Poisson's ratio	thermal conductivity/(W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)
disk	25	1.00	7.10×10 ⁻⁶	7.03×10 ¹⁰	0.28	18
indium	25	0.10	3.20×10 ⁻⁵	1.10×10 ¹⁰	0.45	82
heat spreader	40	1.20	7.40×10 ⁻⁶	2.60×10 ¹¹	0.288	142

2.2 计算结果与讨论

计算中液氮温度为-190 °C, 泵浦功率为 125 W/cm², 泵浦光斑半径为 25 mm。图 5(a) 为计算得到的激光晶体和热沉的上表面温度分布图。由于泵浦光和冷却液的分布均是旋转对称的, 且 Fe²⁺: ZnSe 晶体是各向同性的介质, 得到的温度分布也是旋转对称的, 因此本文只考虑径向的温度分布。图 5(b) 为不同泵浦功率密度下晶体上表面的径向温度分布。其中晶体所承受的最高温度随着泵浦功率密度的升高而升高, 泵浦功率密度每升高 25 W/cm², 晶体最高温度升高约 11 °C。当泵浦功率密度达到 100 W/cm², 晶体最高温度达到-138 °C, 满足连续波激光泵浦 Fe²⁺:

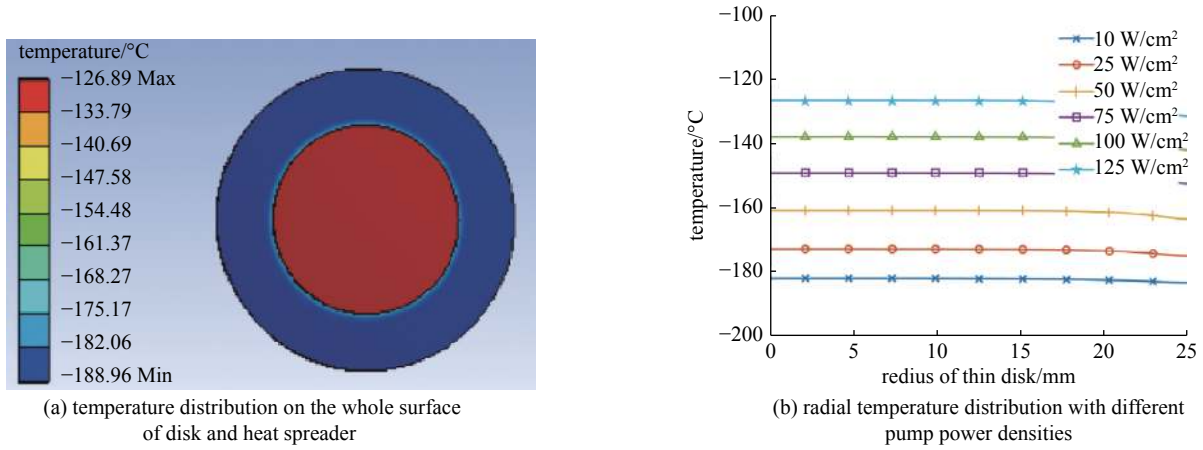


Fig. 5 Temperature distribution on the top surface of disk crystal

图 5 晶体上表面的温度分布图

ZnSe 的工况需要。

图 6 为不同厚度碟片晶体、钢和热沉下晶体上表面的径向温度分布。由图可知,随着厚度增大,各部分温度均升高。晶体厚度每增加 0.5 mm,晶体上表面中心温度增加约 17 °C;钢层厚度每增加 0.05 mm,晶体上表面中心温度增加约 0.76 °C;热沉厚度每增加 0.6 mm,晶体上表面中心温度增加约 5 °C。通过优化工艺减少钢层和热沉的厚度,可以在一定程度优化热管理能力,而降低晶体厚度能够大幅度提升系统的热管理能力,但同时晶体的直径厚度比也必须足够大,以避免增益区域产生不必要的热透镜效应。

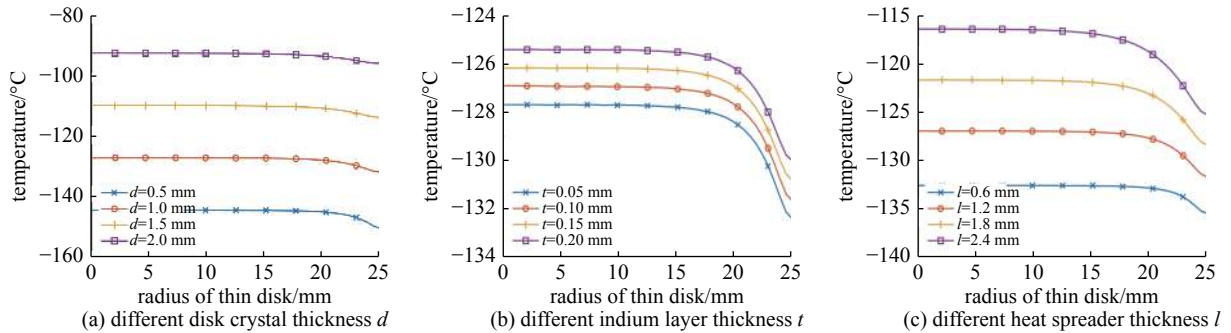


Fig. 6 Radial temperature distribution on the top surface of disk crystal with different thickness of disk crystal, indium plate and heat spreader

图 6 不同厚度碟片晶体、钢和热沉下晶体上表面的径向温度分布

图 7 为不同射流温度下晶体上表面温度的径向分布,泵浦光斑半径为 15 mm,其它计算条件与图 5 相同。从图中可以看出,晶体所承受的最高温度随着射流温度的降低而降低,射流温度每下降 10 °C,晶体上表面的温度也下降约 10 °C。表明可以通过降低射流温度来进一步提高热管理能力。

3 功率放大的可行性分析

3.1 计算方法

基于激光速率方程理论和热结构理论,对功率放大可行性进行研究。假设采用了多程泵浦等手段,使得晶体的透过光再返回进行泵浦,以确保泵浦光全部被晶体吸收。这种情况下的四能级速率方程为

$$\frac{dn_2}{dt} = -n_2\sigma_{21}vN - \frac{n_2}{\tau_2} + \frac{\lambda_p I_p}{hcL} \quad (2)$$

式中: n_2 为激光上能级粒子数密度, τ_2 为激光上能级寿命, σ_{21} 为受激发射截面, v 为介质中光速, N 为腔内激光光子

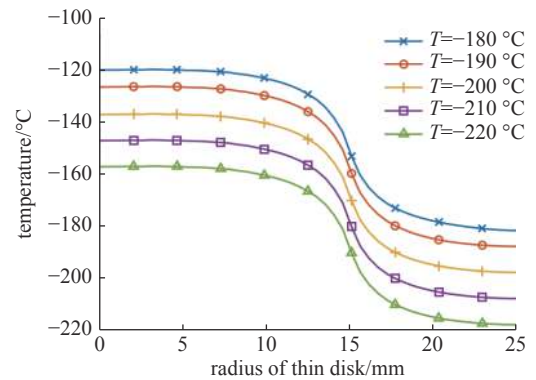


Fig. 7 Radial temperature distribution on the top surface of disk crystal with different cooling temperature

图 7 不同射流温度下晶体上表面的径向温度分布

数密度, λ_p 为泵浦光波长, I_p 为泵浦光光强, h 为普朗克常数, c 为光速, L 为增益区长度。经过推导得到饱和增益为

$$g = \sigma_{21} \tau_2 \frac{\lambda_p I_p}{hcL} \frac{1}{\left(\frac{I_v}{I_s} + 1\right)} = \frac{\sigma_{21}}{\sigma_a} \frac{I_p}{I_{sa}} \frac{1}{L \left(\frac{I_v}{I_s} + 1\right)} \quad (3)$$

式中: I_{sa} 为吸收饱和光强, I_s 为受激辐射饱和光强, σ_a 为泵浦光吸收截面, I_v 为腔内激光功率密度。

再根据稳定出光时增益与损耗的平衡关系 $g = g_{th} = \frac{\ln M}{L} + \beta$, 其中 β 为折合到单位长度上的除输出耦合外的其它损耗。腔内激光功率密度

$$I_v = \left(\frac{\sigma_{21}}{\sigma_a} \frac{I_p}{I_{sa}} \frac{1}{\ln M + \beta L} - 1 \right) I_s = \left(1 + \frac{1}{M^2} \right) I_+ \quad (4)$$

式中: I_+ 为腔内正向传输的激光功率密度, M 为非稳腔的放大率。对于稳定腔的情况, 输出耦合镜反射率 R 与 M 的关系为 $R = 1/M^2$, 进一步可得到输出激光功率密度

$$I_{out} = \left(1 - \frac{1}{M^2} \right) I_+ = \left(1 - \frac{2}{M^2 + 1} \right) \left(\frac{\sigma_{21}}{\sigma_a} \frac{I_p}{I_{sa}} \frac{1}{\ln M + \beta L} - 1 \right) I_s \quad (5)$$

和光-光转化效率

$$\eta_{optics} = I_{out}/I_p = \left(1 - \frac{2}{M^2 + 1} \right) \left(\frac{\sigma_{21}}{\sigma_a} \frac{1}{I_{sa}} \frac{1}{\ln M + \beta L} - \frac{1}{I_p} \right) I_s \quad (6)$$

根据一维热结构理论, 为了不断裂而对应的最大热流密度可以表示为

$$\frac{\eta I_p}{L_m} = 3\Re b/L_m^2 \quad (7)$$

式中: η 为激光热效率, b 为应力安全因子, L_m 为最大增益区长度, \Re 为热阻参数, 定义为

$$\Re = k(1 - \mu)\sigma_{s,fract}/\gamma E \quad (8)$$

式中: k 为热传导系数, μ 为泊松比, $\sigma_{s,fract}$ 为断裂强度, γ 为热膨胀系数, E 为杨氏模量。

进一步考虑到 ASE 效应的限制

$$g_0 D < \phi \quad (9)$$

式中: D 为碟片增益区的底面直径, g_0 为小信号增益, ϕ 为 ASE 阈值。推导得到单碟最大输出功率为

$$P_{max} = \frac{\pi 3.5^2}{4} L_m^2 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{21}} \frac{I_{sa}}{I_p} \right)^2 \left(1 - \frac{2}{M^2 + 1} \right) \left(\frac{\sigma_{21}}{\sigma_a} \frac{I_p}{I_{sa}} \frac{1}{\ln M + \beta L} - 1 \right) I_s \quad (10)$$

3.2 计算结果与讨论

计算中热传导系数为 $18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$, 泊松比为 0.28, 断裂强度为 $55.1 \times 10^6 \text{ Pa}$, 热膨胀系数为 $7.1 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$, 杨氏模量为 $67.2 \times 10^9 \text{ Pa}$, 泵浦波长为 $2.9 \text{ } \mu\text{m}$, 受激发射截面为 $1.4 \times 10^{-22} \text{ m}^2$, 泵浦光吸收截面为 $0.8 \times 10^{-22} \text{ m}^2$, 激光上能级寿命为 $57 \times 10^{-6} \text{ s}$ 。图 8 为不同泵浦功率密度下最大输出激光功率和光光转化效率随输出耦合率的变化。从图 8(a) 中可以看出, 泵浦功率密度为 40 W/cm^2 时, 增益介质未能产生粒子数反转, 此时没有激光输出。随着泵浦功率密度的增大, 对应的最大激光输出功率先增大后减小, 且最大输出功率对应的输出耦合率相应地增大。因此根据此变化趋势, 在泵浦功率密度为 80 W/cm^2 , 输出耦合率为 4.5% 时, 可以获得单碟最大输出激光功率约 958 W, 此时光光转化效率约为 14%。从图 8(b) 可以看出, 在泵浦功率密度为 160 W/cm^2 , 输出耦合率为 7% 时, 可以获得最大光光转化效率约为 35%, 此时单碟最大输出激光功率约为 310 W。

图 9 为不同 ASE 阈值下最大输出激光功率随输出耦合率的变化。其中单碟最大输出激光功率随着 ASE 阈值的增大而增大, 而对应的最佳输出耦合率不受 ASE 阈值变化的影响, 值为 5.5%。在本文考察的工况下, 当 ASE 阈值为 4.5 时, 单碟最大输出激光功率可以达到约 1250 W。

图 10 为不同腔内损耗下最大输出激光功率随输出耦合率的变化。可以看出, 单碟最大输出功率在相同输出耦合率下均随着腔内损耗的增大而下降。当腔内损耗从 $\beta = 0 \text{ m}^{-1}$ 增大到 $\beta = 5 \text{ m}^{-1}$ 时, 单碟最大输出功率下降大约一半, 因此腔内损耗是制约功率放大水平的一个重要因素。

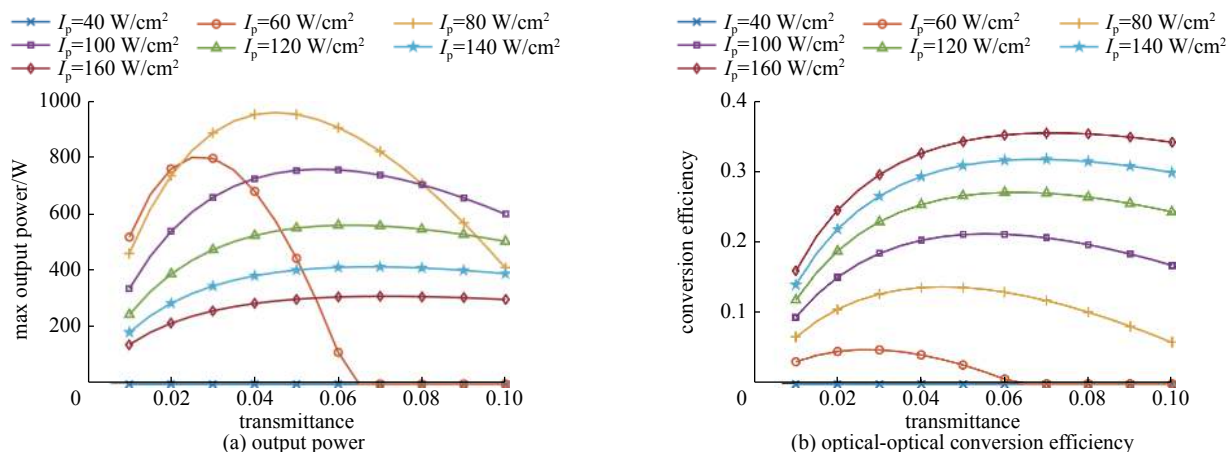


Fig. 8 Output power and optical-optical conversion efficiency vs output coupling rate with different pump power density

图 8 不同泵浦功率密度下最大输出功率和光光转化效率随输出耦合率的变化

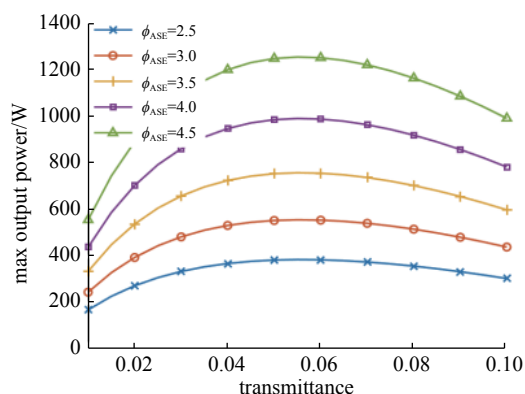


Fig. 9 Output power vs output coupling rate with different ASE threshold

图 9 不同 ASE 阈值下最大输出功率随耦合率的变化

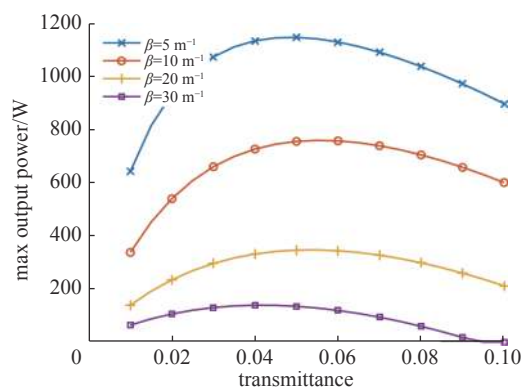


Fig. 10 Output power vs output coupling rate with different cavity loss

图 10 不同腔内损耗下最大输出功率随耦合率的变化

4 结论

本文提出了采用连续波 HF 化学激光器泵浦 $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$ 来实现 $4\ \mu\text{m}$ 波段的激光输出的技术路线。原理性实验证实了 $4\ \mu\text{m}$ 波段数秒级持续出光的可行性; 无论泵浦光波长主要分布在 $2.7\sim 2.8\ \mu\text{m}$ 时, 还是在 $2.9\ \mu\text{m}$ 时, 均可以获得 $4\ \mu\text{m}$ 波长输出; 首次获得了连续波 HF 激光波长转化为 $4\ \mu\text{m}$ 波段激光的 W 级平均功率的输出。理论分析表明, 采用碟片结构和液氮喷射制冷路线, 在 $100\ \text{W}/\text{cm}^2$ 的热负荷时晶体最高温度为 $-138\ ^\circ\text{C}$, 满足连续波激光泵浦 $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$ 的工况需要, 通过降低热沉和晶体厚度, 优选热沉材料, 降低射流温度等方式可以进一步提高热管理能力; 基于激光速率方程和热结构理论对功率放大的可行性进行了分析, 结果表明该技术路线具有放大至 kW 级的潜力。本文提出的技术路线结合了 HF 化学激光高输出功率和 $\text{Fe}^{2+}:\text{ZnSe}$ 晶体高转化效率的优势, 有望发展成为高功率、可调谐的 $4\ \mu\text{m}$ 波段新型光源。

参考文献:

- [1] 王欢, 曹振松, 汪六三, 等. 水汽分子对 CO_2 谱线加宽的影响[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(9): 1982-1986. (Wang Huan, Cao Zhensong, Wang Liusan, et al. Effect of water vapor on spectrum broadening of CO_2 [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(9): 1982-1986)
- [2] Geldern R V, Nowak M E, Zimmer M, et al. Field-based stable isotope analysis of carbon dioxide by mid-infrared laser spectroscopy for carbon capture and storage monitoring[J]. Analytical Chemistry, 2014, 86(24): 12191-12198.
- [3] 郭承就, 袁梓谦, 曹百灵, 等. $1.315\ \mu\text{m}$ 附近 CO_2 的高分辨率吸收光谱[J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(1): 9-12. (Wu Chengjiu, Yuan Yiqian, Cao Bailing, et al. High resolution absorption spectra of CO_2 near $1.315\ \mu\text{m}$ [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2003, 15(1): 9-12)
- [4] 孟范江, 郭立红, 杨贵龙, 等. 大功率 TEA CO_2 激光器系统中电磁干扰的抑制[J]. 强激光与粒子束, 2008, 20(2): 177-182. (Meng Fanjiang, Guo Lihong, Yang Guilong, et al. Suppression of electromagnetic interference in high power TEA CO_2 laser system [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2008, 20(2): 177-182)

- [5] Nelson D, McManus J, Herndon S, et al. New method for isotopic ratio measurements of atmospheric carbon dioxide using a 4.3 μm pulsed quantum cascade laser[J]. *Applied Physics B*, 2008, 90(2): 301-309.
- [6] 沈满德. 高分辨率中红外温度自适应夜视成像系统[J]. *强激光与粒子束*, 2013, 25(5): 1144-1146. (Shen Mande. High-resolution midwave infrared temperature-adaptive night-vision imaging system[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2013, 25(5): 1144-1146)
- [7] Klein P B, Furneaux J E, Henry R L. Laser oscillation at 3.53 μm from Fe²⁺ in n-InP: Fe[J]. *Applied Physics Letters*, 1983, 42(8): 638-640.
- [8] Adams J J, Bibeau C, Page R H, et al. 4.0-4.5 μm lasing of Fe: ZnSe below 180 K, a new mid-infrared laser material[J]. *Optics Letters*, 1999, 24(23): 1720-1722.
- [9] Akimov V A, Voronov A A, Kozlovskii V I, et al. Efficient IR Fe: ZnSe laser continuously tunable in the spectral range from 3.77 to 4.40 microns[J]. *Quantum Electron*, 2004, 34(10): 912-914.
- [10] Kernal J, Fedorov V V, Gallian A, et al. 3.9-4.8 μm gain-switched lasing of Fe: ZnSe at room temperature[J]. *Optics Express*, 2005, 13(26): 10608-10615.
- [11] Mirov S, Fedorov V, Martyshkin D, et al. Mid-IR lasers based on transition metal and rare-earth ion doped crystals[C]//Proc of SPIE. 2015: 94672K.
- [12] Firsov K N, Gavrishchuk E M, Kazantsev S Yu, et al. Increasing the radiation energy of ZnSe: Fe²⁺ laser at room temperature[J]. *Laser Physics Letters*, 2014, 11: 085001.
- [13] Li Yingyi, Dai Tongyu, Duan Xiaoming, et al. Fe: ZnSe laser pumped by a 2.93- μm Cr, Er: YAG laser[J]. *Chinese Physics B*, 2019, 28(6): 195-198.