

环行染料激光器内腔倍频—窄带可调谐紫外辐射的产生

林海 匡一中 雍华蓉* 李大义

(四川大学物理系)

摘要: 报告了把角调谐的 α -LiIO₃ 晶体用于若丹明 6G 连续波环行染料激光器内腔倍频, 产生 295~301.5 nm 窄带可调谐紫外辐射, 单频连续扫描 30 GHz 以上, 最大输出近 100 μ W。

Generation of narrow band, tunable UV radiation — intracavity frequency doubling of ring dye laser output

Lin Hai, Kuang Yizhong, Yong Huayong, Li Dayi

(Department of Physics, Sichuan University)

Abstract: By intracavity frequency doubling of CW rhodamine 6G ring dye laser output using an angle tuned α -LiIO₃ crystal placed in the laser cavity, CW tunable UV radiation over the range of 295.0~301.5 nm has been generated. It enables the single frequency to be scanned continuously over 30 GHz. The UV output of up to 100 μ W has been obtained.

一、引言

随着激光光谱学研究的不断深入和发展, 人们对窄带可调谐紫外光源的要求愈来愈迫切。但由于缺乏适当的染料以及所需的连续泵浦源, 染料激光器输出的波长基本上限于在 320 nm 以上, 短于此波长的紫外激光, 目前较简单且经济的办法是采用二次谐波或和频等非线性光学手段来获得。人们早已实现了脉冲染料激光器的倍频。但由于其理论带宽受到脉冲宽度傅氏变换极限的限制, 故对于高分辨光谱和有关线宽小于几十 MHz 窄带方面的研究, 采用连续波激光器更

为合适。

连续波染料激光器由于基波功率密度低, 以致倍频转换效率大大低于脉冲情况, 因而多数采用内腔倍频方式。[1]在 1972 年报道了使用折叠腔的连续波染料激光器的内腔倍频。Wagstaff 和 Dunn^[2]在 1977 年用单频连续波环行染料激光器进行内腔倍频, 此后许多人^[3~6]又相继在这方面进行了大量的研究工作。在以上的内腔倍频工作中, 大多采用温度匹配方式, 因而二次谐波的调谐范围受到限制, 未能充分利用染料激光调谐范围宽的优点。为此, 我们采用角度匹配方式,

收稿日期: 1985 年 11 月 1 日。

* 现在地址: 成都电讯工程学院五系。

用高双折射性的碘酸锂 (LiIO_3) 晶体, 成功地在国产 801-A 型环形染料激光器上实现了腔内倍频。

二、实验装置

实验光路原理图如图 1。腔内有两个有用束腰, 束腰 1 位于 M_1 和 M_2 之间, 束腰 2 位于 M_2 和 M_3 之间, 分别为喷流位置和准备用于安放倍频晶体作内腔倍频用。用逐次移动参考面的方法^[7] 计算出了束腰的位置和大小, 其中辅助束腰的腰斑半径为 $40 \mu\text{m}$, 位于距镜 M_2 11.2 cm 处。

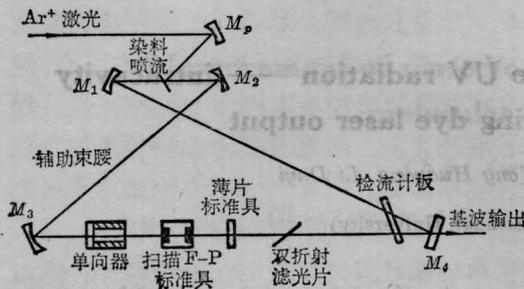


图1 801-A型环形染料激光器工作光路

LiIO_3 晶体的切割方式有两种, 一种为布氏角 ($\alpha = \beta = 62^\circ$) 切割, 一种为正切割 ($\alpha = 90^\circ, \beta = 0^\circ$), 如图 2 所示。尽管 LiIO_3 晶体的倍频效率与方位角 φ 无关 ($\chi_{eff}^{(2)} = d_{31} \sin \theta$), 切割时按习惯取 $\varphi = 45^\circ$ 。 $\alpha\text{-LiIO}_3$ 是负单轴晶, 属于六角晶系, 由于对称性的要求, 它只能满足负单轴晶 I 型位相匹配条件, 即 $o+o \rightarrow e$, 由位相匹配条件和晶体折射率的 Sellmeier 色散公式^[8,9] 计算出相位匹配角 $\theta_m^I(600\text{nm}) = 70.89^\circ$ 。晶体厚度由高散光束离散效应长度^[10]

$$l_o = \frac{\sqrt{\pi} \omega_0}{\rho}$$

和特征作用长度^[11]

$$l_s = \left(\frac{n_o^2 \lambda \omega}{8\pi^2 \chi_{eff}^{(2)}} \right) [E^\omega(0)]^{-1}$$

综合考虑加以估计。考虑到实际情况的影响

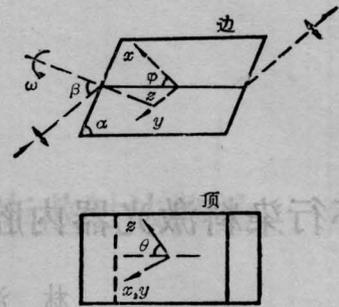


图2 $\alpha\text{-LiIO}_3$ 晶体的取向

和参考理论计算结果, 取 $\omega_{001} = 80 \mu\text{m}$, 则辅助束腰处功率密度相应为 $41.4 \text{ MW/cm}^2 \sim 1.74 \times 10^7 \text{ V/m}$, 则计算得 $l_o \approx 1.2 \text{ mm}$ 和 $l_s \approx 0.83 \text{ mm}$ 。

三、实验结果

我们用 360 型氩离子激光器作为环形染料激光器的泵浦源。所用若丹明 6G 染料的浓度为 $3 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, 染料激光器的最大转换效率 10% 左右。实验中须把原基波输出耦合镜 M_4 换为对可见光反射率大于 99.5% 和对紫外光不透的全反镜, 以提高内腔功率, 紫外光从 M_3 镜输出。我们用正切割的 $5 \times 5 \times 1 \text{ mm}^3$ LiIO_3 晶片在 599 nm 附近获得了基波振荡后, 再精密微调使二次谐波输出最佳化。谐波输出用 NJ-J1 型激光能量计探测。测定紫外功率时, 用两片 1 mm 厚的 ZWB₁ 有色玻璃将 M_3 镜同时输出的基波滤掉。ZWB₁ 玻璃的透过曲线如图 3 所示。同时, 利用 M_4 镜端的剩余基波输出进行波长和单频扫描情况监测。实验得到谐波功率随波长调谐的曲线如图 4 所示。当氩离子泵浦功率为 4 W 时, 最大紫外输出近 $100 \mu\text{W}$ 。在基波调谐范围内的任意波长附近, 单频连续扫描 30 GHz 以上的情况下, 仍可得到稳定的二次谐波输出。

实验中还用了厚 0.8 mm 的晶片作了类似的实验, 发现在调节时 1 mm 厚的晶片更

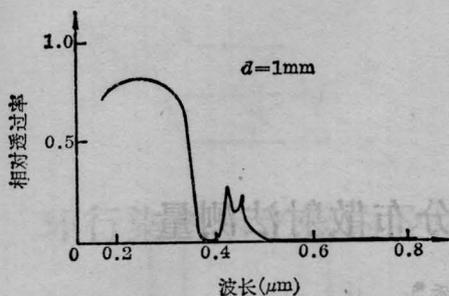


图3 ZWB₁ 滤光片透过曲线

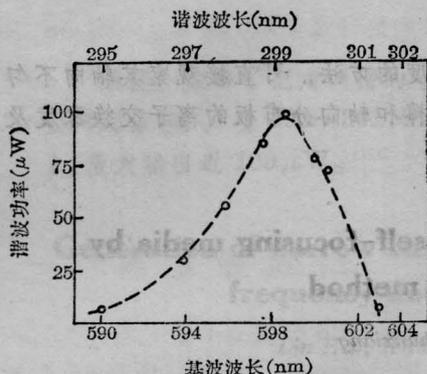


图4 二次谐波输出调谐曲线

容易使基波振荡,但谐波输出略有下降。但对布氏角切割的晶片,实验未能得到预想的紫外输出,可能的原因主要是由于调整机械对于布氏角切割的晶片安装调节极为不方便,使布氏角调整不能得到精确保证,造成基波损失大和位相失配。实验还对晶片的两个通光面作了镀膜后的倍频实验,实验结果表明,镀增透膜后,谐波功率的提高并不显著。但当 LiIO₃ 晶片的两个通光面各镀上 MgF₂ 和 SiO₂ 单层增透膜后,一方面其单面自然反射率由 9.4% 降为 1.5%,降低了光在其表面的反射损耗,使得基波振荡变得更易调整,泵浦阈值显著降低;另一方面,也使 LiIO₃ 晶片的防潮性能大大提高。

四、讨 论

由图4可看出,最大紫外功率所对应的

基波中心波长(599 nm)比预定工作波长(600 nm, 理论计算用)偏离了 1 nm, 分析其原因主要可能是由于位相匹配角 θ_m 偏离所致, 因为切割加工以及用 Sellmeier 色散公式计算折射率均可引起 θ_m 误差。

紫外光的调谐范围, 在短波长方向主要受到谐波在 LiIO₃ 晶体中自吸收的限制, 长波长方向的扩展主要是受到晶体偏离 θ_m 和 β 角所致。而这对短波长方向来说则显得次要了, 因为

$$\theta_{SHG} \propto \frac{1}{(\lambda^\omega)^2} \sin^2 \theta_m$$

若 λ^ω 减少, 则 η_{SHG} 增加。因此, 当工作波长比预定波长短时, 尽管相位失配将引起谐波功率减少, 同时有晶体自吸收现象存在, 但 λ 的减少将使谐波功率得到一定的补偿, 而在长波长方向, 相位失配和波长的增加均使谐波功率降低。故要得到尽可能宽的调谐范围, 应将预定工作波长向长波方向移动, 也可用稍薄的晶片来代替 1 mm 厚的晶片。因为最大允许失配角与晶片厚度 l 成反比^[13], 当然这是以损失谐波功率为代价来获得宽的调谐范围和容易的光学调整性。

对不同厚度的晶体所作的试验表明了我们对于晶体厚度所作理论估计的正确性。最佳晶体厚度约为 1 mm, 此时谐波输出达到最大。

实验中发现晶体插入激光腔内所引起的效应较多。当调节 LiIO₃ 晶体在某些特定取向时, 会影响到激光器自身基波的正常调谐。可能的原因是晶片具有与滤光片相类似的双折射性质。此外, 基波在晶体上较长时间的聚焦, 引起热位相失配, 使谐波功率随时间衰减, 也可能引起热散焦, 使光束性能变差。为减少这些不必要的效应, 晶体应尽可能薄, 同时在实验中应经常用平移自由度来改变基波在晶片中的聚焦点的位置。

(下转第 36 页)

表 1 测量结果

光源	测量数据 (mm)							\bar{L} 及 \sqrt{A}	
He-Ne	L_T	18.957	18.962	18.945	18.803	19.022	18.947	19.001	$\bar{L}=18.951$ $\sqrt{A}=0.332$
		18.988	18.934	18.955	19.007	18.880	18.970	18.979	
		18.928	18.958	19.035	18.864	18.895	18.986		
	L_U	19.018	19.292	19.257	19.429	19.291	19.225	19.189	$\bar{L}=19.207$ $\sqrt{A}=0.327$
		19.237	19.232	19.280	19.197	19.200	19.170	19.140	
		19.231	19.120	19.130	19.175	19.165	19.170		
He-Cd	L_T	17.904	17.971	17.844	17.848	17.869	17.914	17.878	$\bar{L}=17.880$ $\sqrt{A}=0.351$
		17.835	17.816	17.851	17.881	17.878	17.872	17.925	
		17.878	17.871	17.902	17.873	17.853	17.935		
	L_U	17.941	17.913	18.015	17.987	17.984	18.044	18.006	$\bar{L}=18.001$ $\sqrt{A}=0.349$
		18.028	18.083	18.086	18.051	18.001	18.051	17.996	
		18.038	18.069	17.964	18.022	17.989	18.005		

可判断工艺引起的轴向递变现象，即周期长度的不均匀性。

以往测 L 和 A 时，工艺上复杂性且不说，还需知道中心折射率 n_0 (实为原块料折射率) 等参数，计算复杂，属于间接测量。而分子散射法测量 L 和 A 是直接测量，故直观、简单、准确。如果将来采用光电定位干涉测量，则可大大提高精度。若以受激喇曼移频器作连续调谐激光器，则以此法可研究各波长下的单色象差及同时测量 $n_0(\lambda)$ 、 $A(\lambda)$ 。

实验得到西北大学物理系王诺教授和李长英、张镇西老师的大力协助，特此致谢。材料系瞿佑山、张莉青同志提供，照片系郑忠林同志拍摄，一并表示感谢。

参 考 文 献

(上接第 33 页)

作者对我校固体教研室银淑君老师和陈观雄副教授提供的碘酸锂晶体以及许多有益讨论和帮助致以衷心的感谢。

参 考 文 献

[1] C. Gabel, M. Hercher; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, **QE-8**, 850.
 [2] C. E. Wagstaff, M. H. Dunn; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1979, **12**, 355.
 [3] C. R. Webster *et al.*; *Opt. Commun.*, 1980, **35**, No. 3, 435.
 [4] C. M. Marshall *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**,

[1] 大越孝敬(ほか); 《光ファイバ》, オーム社, 1983, p. 250, 308.
 [2] 同上 p. 44.
 [3] K. Iga *et al.*; "Conf. Laser and Electro-Optical System", WD9, 1976.
 [4] S. Runge *et al.*; *Opt. Commun.*, 1982, **42**, No. 1, 45.
 [5] C. J. Foot *et al.*; *Opt. Commun.*, 1984, **50**, No. 3, 199.
 [6] 廖复中; 《激光》, 1982, **9**, No. 2, 112.
 [7] V. I. Kabelka *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1975, **5**, No. 2, 255.
 [8] N. M. Bityurin *et al.*; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-8**, No. 11, 1377.
 [9] G. D. Boyd, D. A. Kleiman; *J. Appl. Phys.*, 1968, **39**, 3597.
 [10] N. Bloembergen; "Nonlinear Optics", A lecture note and reprint volume, Fourth printing, 1982.
 [11] 华中工学院等; 《激光技术》, 湖南科技出版社, 1983.