

CW可调谐单频环形染料激光器 β -BaB₂O₄晶体内腔倍频

王慧田

摘要: 本文论述了利用 β -BaB₂O₄晶体进行内腔连续波环形染料激光器倍频, 获得了可调谐单频紫外相干辐射。在292nm附近, 用3W Ar⁺激光(全谱线)泵浦, 得到非线性转换系数 $\sim 8.33 \times 10^{-4} \text{W}^{-1}$ 。通过改变相位匹配角, 在288~302nm范围内输出连续可调谐紫外谐波。 β -BaB₂O₄晶体角灵敏度 $\sim 27 \text{cm}^{-1}/\text{mrad}$ 。

一、引 言

可调谐单频紫外相干辐射, 在激光化学, 高分辨激光光谱等领域有其广泛的应用, 而受到人们的关注。若在商品化了的CW可调谐环形染料激光器中进行内腔倍频, 既可使环形染料激光器的调谐范围向短波段得以拓宽, 又提高了商品环形染料激光器的经济效益。因此, 研究环形染料激光器内腔倍频有着重要意义。诸多学者, 采用不同种晶体材料作了CW可调谐环形染料激光器内腔倍频。B. Couillaud等人^[1], 于Coherent 699-21型环形染料激光器腔内, 19W Ar⁺激光(全谱线)泵浦, 用ADA晶体在296.8nm处, 获得10mW紫外相干辐射。E. R. Eliel等人^[2], 4W Ar⁺激光(514.5nm)泵浦, 用ADA晶体于Spectra-Physics 380A型环形染料激光器腔内, 在292nm处得到10mW紫外输出, 非线性转换系数 $\sim 3 \times 10^{-4} \text{W}^{-1}$ 。S. Runge等人^[3], 用ADA晶体在Spectra-Physics 380D型环形染料激光器腔内, 7W Ar⁺激光(514.5nm)泵浦, 于294.5nm处, 实现10mW紫外相干辐射输出。C. M. Marshall等人^[4], 5W Ar⁺激光(514.5nm)泵浦, 用ADA和ADP晶体, 于285~311nm范围内, 得到最大10mW紫外输出, 非线性转换系数 $\sim 3 \times 10^{-4} \text{W}^{-1}$ 。K. Kato^[5]用 β -BaB₂O₄晶体产生了短至2048Å的紫外相干辐射, K. Miyazaki等人^[6], 用 β -BaB₂O₄晶体于脉冲染料激光器倍频, 在310nm附近, 150kW基波功率, 获得36%的转换效率。本文报告了利用 β -BaB₂O₄晶体于自行设计的CW可调谐环形染料激光器腔内获得可调谐紫外相干辐射的工作。

二、原 理

根据Boyd和Kleinman理论^[7], 二次谐波功率 P_2 由

$$P_2 = K k_1 l d^2 \cdot \eta h(B, \xi) P_1^2 = C P_1^2 \quad (1)$$

注: 本文作者的导师为王乃弘

给出。其中 C 为非线性转换系数, P_1 为基波光功率, k_1 为基波光在晶体中的波数, l 为晶体长度, d_{eff} 为晶体的有效非线性系数, K 为常数。且 d_{eff} 依赖于晶体材料, 对称性种类和非线性相互作用类型。本文采用 β -BaB₂O₄ 晶体 I 类相位匹配。

$$d_{eff} = d_{31} \sin \theta_m + (d_{11} \cos 3\phi - d_{22} \sin 3\phi) \cos \theta_m \quad (2)$$

且对于 β -BaB₂O₄ 晶体而言, $d_{11} \gg d_{22}$, 那么

$$d_{eff} = d_{31} \sin \theta_m + d_{11} \cos 3\phi \cdot \cos \theta_m \quad (3)$$

其中 θ_m, ϕ 分别为相位匹配角、方位角。 β -BaB₂O₄ 晶体 I 类相位匹配角 θ_m 由下式决定

$$\sin^2 \theta_m = [(n_o^w)^{-2} - (n_o^{2w})^{-2}] / [(n_e^w)^{-2} - (n_o^{2w})^{-2}] \quad (4)$$

为使 d_{eff} 最大 $\phi = 0^\circ$ 。

晶体的设计是以染料激光器中心波长 $590 \mu\text{m}$ 为基准的。以方位角 $\phi = 9^\circ$, 相位匹配角 $\theta_m = 41.35^\circ$, 布氏角 (59.08°) 切割的 $7 \times 5 \times 8.7 \text{mm}^3 \beta$ -BaB₂O₄ 晶体, 其通光长度 10mm 。

三、实验及结果

实验装置如图 1 所示。是自行设计的 CW 可调环形染料激光器。M₁, M₂, M₃, M₄ 为环形腔四个腔镜; M₁, M₂ 曲率 $R_1 = R_2 = 60 \text{mm}$, M₃ 曲率 $R_3 = 120 \text{mm}$, M₄ 为平面镜; 各腔镜对基波光反射率均大于 99.7% , M₃ 对二次谐波透过滤率 $\sim 30\%$ ($285\text{--}305 \text{nm}$); UD 为光学单向器; BF 为石英双折射滤光片; SE 为 75GHz 空气隙标准具; BBO 为两端切成布氏角 β -BaB₂O₄

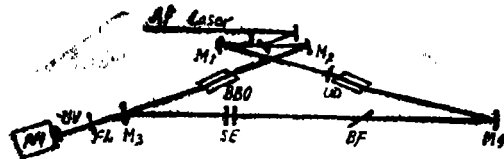


图 1. β -BaB₂O₄ 晶体倍频环形染料激光器实验装置。

M₁, M₂, M₃, M₄ 为反射镜 (腔镜), J 染料喷流, UD 单向器, BF 双折射滤光片, SE 75G 空气隙标准具, BBO 倍频晶体, FL 滤光片, PM 功率计。

晶体, 放置于染料激光器的辅助光腰上 (半径 $\sim 20 \mu\text{m}$); J 为染料喷流 (Rh6G)。为防止晶体受潮, 并考虑到晶体相位匹配角对温度不敏感这一特性 ($d\theta/dT \sim 9.9 \pm 1 \times 10^{-6} \text{rad}/^\circ\text{C}$)^[8], 将其置于温度保持 40°C 的小炉子中; FL 和 PM 组成测试系统, FL 为黑色截止玻璃, 滤可见, 透紫外 $\sim 70\%$, PM 为与美国 Coherent 201 绝对功率计比对 (误差 $< 10\%$) 的 JG-1 型绝对激光功率计。

将 M₄ 置以透过滤率 $\sim 4\%$ 的平面输出镜, 调整基波光, 空腔效率 $> 20\%$; 插入单向器 (损耗 $\sim 35\%$), 再插入标准具使其单频运转, 效率 $> 10\%$ 。而后, 将 M₄ 以高反射率 $> 99.7\%$ 平面镜代替, 以保持腔内高功率, 同时, 插入倍频晶体, 调整激光器, 使其振荡, 仔细调节腔和晶体的相位匹配角、方位角, 在滤光片后硬纸屏观察紫外荧光最亮。直接测量获得波长 292nm 附近单频可调谐的 $\sim 1.3 \text{mW}$ 紫外辐射。考虑到滤光片和腔镜 M₃ 的损失, 实际从晶体后表面输出 $\sim 6.2 \text{mW}$ 的紫外光, 再计及谐波光子晶体后表面的 Fresnel 损失 ($\sim 17\%$), 产生的

谐波功率 $\sim 7.5\text{mW}$ 。为了同时监测产生谐波光时,腔内基波功率,测得布氏角放置双折射滤光片的反射基波功率 $\sim 15\text{mW}$,实际测得该片在布氏角放置时,对基波反射率 $\sim 0.5\%$,由此估计腔内功率 $\sim 3\text{W}$,进而推算出 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体的非线性转换系数 $\sim 8.33 \times 10^{-4}\text{W}^{-1}$ 。是相当高的。为ADA晶体的2.8倍。

通过改变相位匹配角,容易得到 $288\sim 302\text{nm}$ 范围内的谐波光。此外测量了 292nm 附近其角灵敏度 $\partial(\Delta k)/\partial\theta$ 为 $27\text{cm}^{-1}/\text{mrad}$,与^[8]给出的结果符合得甚好。

结果表明,CW环形染料激光腔内插入 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体产生可调谐单频紫外辐射是完全可行的,而且非线性转换系数相当高 $\sim 8.33 \times 10^{-4}\text{W}^{-1}$,为ADA晶体的2.8倍。在调谐范围内,相位匹配容易实现,调谐范围宽。有广泛的应用前景,再提高 Ar^+ 功率,改善 M_3 腔镜的谐波透过率,可望得到更高的谐波功率。

参 考 文 献

- [1] B. Couillaud et. al.; Optics Comm., 35, 359 (1980).
- [2] E. R. Eliel et. al.; Optics Comm., 39(1,2),41(1981).
- [3] S. Runge et. al.; Optics Comm., 42, 45(1982).
- [4] C. M. Marshall et. al.; Appl. Optics, 19, 1980 (1980).
- [5] K. Kato, IEEE, J. Quantum Electronics, Vol. QE-22, No.7, 1013(1986).
- [6] K. Miyazaki et. al.; Optics Letters, 11, No.12, 797(1986).
- [7] G. D. Boyd and D. A. Kleinman; J. Appl. Phys.,39(8),3597(1968),
- [8] D. Eimerl et. al.; J. Appl. Phys.,62(5),1968(1987).

The Intracavity SHG in the CW Tunable Single Frequency Ring Dye Laser with $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ Crystal

Wang Huitian

Abstract

The intracavity frequency-doubling in the CW tunable ring dye laser with $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ crystal to produce coherent tunable single frequency UV radiation is reported in this paper. Under 3W Ar laser (all spectral lines) pumping, the nonlinear conversion efficiency is $\sim 8.33 \times 10^{-4}\text{W}^{-1}$ at 292nm . The tuning range of the continuous tunable UV output is about $288\sim 302\text{nm}$ by changing the phase matching angle. The angular sensitivity of the $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ crystal is about $27\text{cm}^{-1}/\text{mrad}$.