

可调谐钛宝石双波长激光 在 β -BaB₂O₄晶体中和频

周卫东* 邬承就 韦丽 吴路生 赵梅荣 朱卫东

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥, 230031)

摘要: 根据 BBO 晶体 Sellmeier 方程确定的折射率, 计算了在钛宝石激光可调谐波段的和频相位匹配角。结果与实验基本一致。实验发现了 407.3~384.6nm 可调谐的紫-紫外相干光。

关键词: BBO 和频 调谐 钛宝石 双波长激光

Sum frequency effect of tunable Ti : Al₂O₃ double-wavelength laser radiation in β -BaB₂O₄ crystal

*Zhou Weidong, Wu Chengjiu, Wei Li
Wu Lusheng, Zhao Meirong, Zhu Weidong*

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: According to Sellmeier's equations for BBO crystal, the relationship of phase matching angle of generating the sum frequency effect to wavelength is theoretically calculated. A tunable Ti : Al₂O₃ double-wavelength laser is used as the laser source and the violet-UV pulse sum frequency laser radiation is established. The experiments show the excellent agreement with theoretical calculation.

Key words: BBO sum frequency tunable Ti : Al₂O₃ two wavelength laser

* 1993 年毕业硕士研究生。

69 Donnelly V M, Brasen D, Appelbaum A *et al.* J A P, 1985;58(5):2022

70 Shinn G B, Gillespie, Wilson W L Jr. A P L, 1989;54(24):2440

71 Olson G L, Brewer P D, Zinck J J *et al.* SPIE, 1989;1190:2

作者简介: 王庆亚, 男, 1968 年出生。博士。现主要从事 LCVD 技术的薄膜生长及其质量的研究工作。

张玉书, 男, 1938 年出生。教授。研究方向半导体光电子学, 现主要从事准分子激光微细加工技术研究工作。

收稿日期: 1993-02-24 收到修改稿日期: 1993-10-20

一、引言

掺钛宝石是一种广为周知的新型可调谐激光晶体,具有很宽的荧光光谱和优良的激光特性,已经研制出由若干种不同泵浦源泵浦的多种方式运转的激光器。将钛宝石可调谐激光倍频扩展到蓝紫-紫外的的工作已有若干报导^[1,2]。本文研究可调谐钛宝石激光经过非线性晶体的和频,光源用可调谐的钛宝石双波长激光器,非线性晶体采用 β -BaB₂O₄ (BBO) 晶体。根据 BBO 的 Sellmeier 方程计算出满足和频条件的相位匹配角同波长的关系,选用合适的 BBO 晶体,第一次实现了钛宝石双波长激光的和频输出,获得 407.3~384.6nm 的紫-紫外可调谐相干光。

二、分析

BBO 晶体是一种性能优良的非线性光学材料,点群 3,光学上是负单轴晶体,在 I、II 类相位匹配条件下,有效非线性系数分别是^[3]:

$$d_{\text{eff}}(\text{I}) = d_{31}\sin\theta + \cos\theta(d_{11}\cos3\varphi - d_{22}\sin3\varphi)$$

$$d_{\text{eff}}(\text{II}) = (d_{11}\sin3\varphi + d_{22}\cos3\varphi)\cos^2\theta$$

理论计算表明,在钛宝石可调谐波段相应的匹配角范围内, $d_{\text{eff}}(\text{II})$ 远小于 $d_{\text{eff}}(\text{I})$ 。在第 I 类相位匹配条件下,基波 ω_1, ω_2 及和频波 ω_3 三波相互作用的和频过程满足:

$$\vec{K}_{\omega_3}^e = \vec{K}_{\omega_1}^e + \vec{K}_{\omega_2}^e$$

或

$$n_{\omega_3}^e(\theta_m) = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} n_{\omega_1}^e + \frac{\lambda_3}{\lambda_2} n_{\omega_2}^e$$

经简单计算,相位匹配角满足:

$$\sin^2(\theta_m) = \frac{(n_{\omega_3}^e)^2 \left\{ \left[\frac{\lambda_3}{\lambda_1} n_{\omega_1}^e + \frac{\lambda_3}{\lambda_2} n_{\omega_2}^e \right]^2 - 1 \right\}}{(n_{\omega_3}^e)^2 - (n_{\omega_2}^e)^2}$$

其主折射率可由 D. Emievl 等拟合的 Sellmeier 方程给出^[4]:

$$n_o^2 = 2.7405 + \frac{0.0184}{\lambda^2 - 0.0179} - 0.0155\lambda^2$$

$$n_e^2 = 2.3730 + \frac{0.0128}{\lambda^2 - 0.0156} - 0.0044\lambda^2$$

我们计算了不同波长的折射率,进而计算了相应于不同波长的 I 类和频相位匹配角,其中一个波长固定于 795.0nm 的结果,如图 3。

三、实验结果

实验装置见图 1,我们用自己研制的双波长可调谐钛宝石脉冲激光^[5]作为两个基频辐射,它们是同时共线输出。共线双波长激光未经聚焦,直接入射到晶体上。使用的 BBO 晶体为适合 800nm I 类倍频的元件^[6], $\theta=29^\circ$,通光方向长 7mm。

BBO 晶体安装在三维调整架上。钛宝石双波长激光沿图 2 所示 z 轴方向入射,使晶体光

轴在入射面内,即激光入射面与晶体主截面重合。这时入射角 $\varphi=0$,晶体绕 y 轴旋转时 φ 不变,旋转角度就是相位匹配角 θ 的变化量 $\Delta\theta$ 。

两基频辐射偏振方向均沿 y 轴,这样就在 BBO 晶体中实现了 $o+o\rightarrow e$ 的第 I 类和频作用。为了测定和频光的波长,实验将得到的和频光经透镜($f=20\text{mm}$)聚焦到 WDS-3 型平面光栅单色仪上,用光电管探测,在 COS5021 型示波器上显示,相应 BBO 的匹配角从三维调整架读数确定。

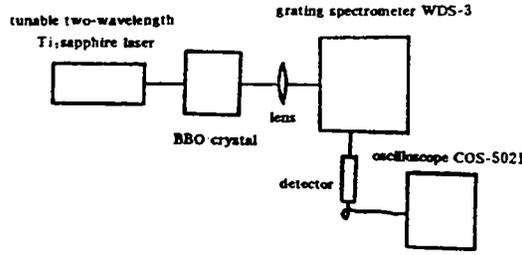


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus

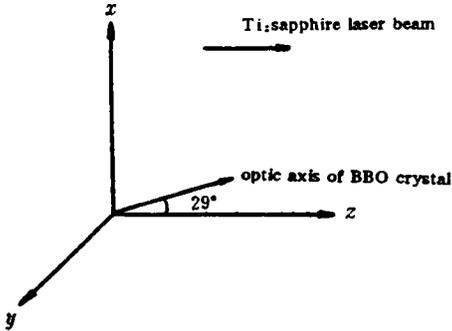


Fig. 2 The direction drawing of the optical axis of BBO crystal and Ti:sapphire laser beam

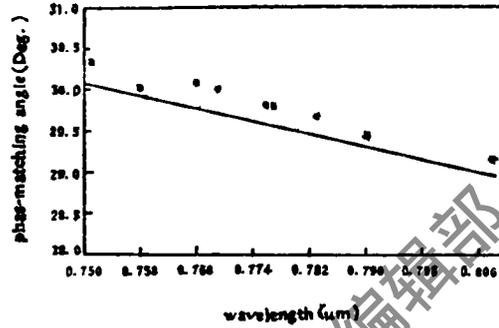


Fig. 3 Phase-matching curve for type-1 sum-frequency generation between two-wavelength Ti : sapphire laser frequencies in $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$. A wavelength is fixed at 795 nm

实验中双波长钛宝石激光输出能量均为 1mJ,固定一个腔激光波长 $\lambda_1=795.0\text{nm}$,调谐另一支腔波长 $\lambda_2=808.0\sim 745.0\text{nm}$,相应调整晶体的匹配角,获得 $407.3\sim 384.6\text{nm}$ 可调谐的和频紫-紫外相干辐射,输出能量为 $20\mu\text{J}$ 左右,测量出的相应相位匹配角标在图 3 上(* 是实验点,其下面的实线是理论曲线),与理论计算值进行比较。

此外,我们还用同一 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体对双波长掺钛宝石激光进行了倍频,对波长间隔不大的两个激光波长,BBO 的一个匹配角位置可同时获得双波长的紫外倍频光输出。在钛宝石两个波长相差较大的情况下,BBO 需调整两次角度,分别实现相应的倍频。

四、讨论

1. 上述实验表明,在一定范围内已获得连续可调的和频与倍频光输出,但是由于没有实现实验条件的最优化,特别是激光线宽偏大,因此转换效率和输出能量都较小,有待于进一步的改善。

2. 对于双波长脉冲的和频效应,影响转换效率的除上述因素外,两基波脉冲的同步问题是一个关键。当两个波长脉冲的建立时间之差大于一个波长脉冲的脉宽(约 10ns)时,两波长脉冲不发生相互作用,不可能产生 SFM 转换。而在两波长脉冲的建立时间及脉宽均相等的条件下,两波的和频效率最高。

3. 由于 SFM 是两输入的基频光波经过晶体中相同位置而产生的,因此两基波辐射的共

线性对和频效率也影响极大。若它们之间输出方向相差一个小角度,则会产生类似于倍频中离散效应的问题,而降低 SFM 转换效率。

4. 实验结果中,相位匹配角的理论值和实验误差最大约 0.4° ,比较大,且始终偏大,表明存在系统误差,这可能是测量造成的。

参 考 文 献

- 1 Moulton P F. J O S A, 1986;B3(1):125
- 2 Carls Y A. L F World, 1989;25(9):73
- 3 Midwinter J E, Brit J W, J A P, 1965;16:1135
- 4 Eimerl D, Davis L, Velsko S. J A P, 1987;62(5):1968
- 5 郭承就,周卫东,韦 丽 *et al.* 量子电子学,1993;10(3):200
- 6 郭承就,韦 丽,周卫东 *et al.* 中国激光,1992;19(9):641

* * *

作者简介:周卫东,男,1966年10月出生。硕士研究生。现从事光电子应用研究。

郭承就,男,1940年2月出生。副研究员。1981~1983年在西德从事超精细光谱研究。先后从事激光和光电子材料、固体激光器、激光光谱和高温超导材料等研究,曾获多项中科院和国家级奖励。目前主要研究新型固体激光器和光电子材料。

韦 丽,女,1966年6月出生。助理研究员。硕士研究生。曾获中科院和国家级奖励。现从事新型固体激光器研究。

吴路生,男,1949年7月出生。副研究员。曾获中科院和国家级奖励。现从事光纤激光器和新型固体激光器研究。

赵梅荣,女,1948年11月出生。助理实验师。参加过获奖项目工作。长期从事激光晶体和激光器研究的实验工作。

朱卫东,男,1969年12月出生。现正在攻读硕士学位。

收稿日期:1993-06-30 收到修改稿日期:1993-09-06

· 简 讯 ·

相干激光公司将使脉冲 Nd : YAG 激光器的相位共轭技术商品化

最近由相干激光公司(圣克拉拉,加利福尼亚)的工程师们演示的一台单频脉冲 Nd : YAG 激光器已获得高重复率。产品市场高级产品销售经理 John Ambroseo 解释说:“该激光装置是建立在含有相位共轭镜的新设计的基础上的”。他说:“相干激光公司打算使相位共轭技术商品化,作为该公司今年底打入脉冲激光器市场的战略计划的一部分。”

据 Ambroseo 说,利用布里渊散射,相位共轭镜补偿典型的脉冲 Nd : YAG 激光器中存在的热感应相前畸变,这种相前畸变是由相前反相引起的。相前补偿产生 1064nm 的基波光束,比目前可买到的 Nd : YAG 激光器更接近衍射极限。这样的光束对于高效非线性变换,包括二次谐波产生在内都是理想的。相干激光公司最近的实验显示了二次谐波转换效率超过 75%;目前也正在研究三次和四次谐波的产生。

译自 L F World, 1994;30(1):11 邹福清 译 刘建卿 校