

温度调谐准相位匹配光参量产生的研究

刁述妍^①

(临沂师范学院信息学院 山东省临沂市通达路 18 号 276005)

摘要 对温度调谐光学参量产生的特性进行了全面的理论分析和计算,得到参量产生过程中的允许温度、温度调谐速率以及允许温度与输出参量光波长的关系曲线、信号光波长与温度调谐速率的关系曲线,同时对泵浦光的波长、非线性晶体长度、调谐温度进行了分析,以获得较高的转换效率。

关键词 光学参量产生;温度调谐;允许温度;温度调谐速率

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8138(2010)06-2258-04

1 引言

利用准相位匹配光参量产生技术能够获得宽带连续可调谐激光,在军事对抗、大气环境监测、远程传感、医学、特殊环境远距离监控以及光谱学研究等诸多领域都有重要的应用价值,已逐渐成为当今激光领域研究的热点^[1-3]。有很多人曾对非线性频率变换过程进行过数值模拟和理论分析,其中大部分工作都围绕和频、差频或倍频等非线性频率变换进行的^[4-7],本文对温度调谐光参量产生的特性进行了全面的理论分析和计算,得到参量产生过程的允许温度、温度调谐速率,以及允许温度与输出参量光波长的关系曲线、信号光波长与温度调谐速率的关系曲线。为了获得较高的参量转换效率,对泵浦光的波长、频率变换的晶体长度、调谐温度进行了分析讨论。

2 温度调谐光参量产生的理论分析与计算讨论

光参量产生技术是利用非线性晶体的混频特性实现频率变换的。光参量产生的基础,是泵浦光与非线性晶体内产生的二次非线性极化波之间的相互作用。一束频率为 ω_p 的泵浦光入射到晶体内部,产生频率较低的两相干光束,频率为 ω_s 的信号光和频率为 ω_i 的闲频光。如图 1 所示。

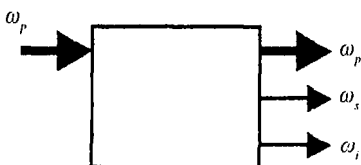


图 1 光参量产生示意图

在参量产生过程中,三波应满足能量守恒和动量守恒关系,即:

$$\frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{\lambda_s} + \frac{1}{\lambda_i} \quad (1)$$

^① 联系人,手机:(0)13853999078;E-mail:dyszxy@163.com

作者简介:刁述妍(1965—),女,山东省蓬莱市人,博士,教授,主要从事全固态激光技术及非线性光学频率变换的研究工作。

收稿日期:2010-01-26;接受日期:2010-03-15

$$\Delta k = 2\pi \left(\frac{n_p(T)}{\lambda_p(T)} - \frac{n_s(T)}{\lambda_s(T)} - \frac{n_i(T)}{\lambda_i(T)} - \frac{1}{\Lambda(T)} \right) = 0 \quad (2)$$

式中, $\lambda_p, \lambda_s, \lambda_i$ 分别为泵浦光、信号光和闲频光的波长; n_p, n_s 和 n_i 分别为泵浦光、信号光和闲频光的折射率; Δk 为波矢失配; Λ 为晶体的周期。由公式可以看出, 假设泵浦光波长 λ_p 不变, 温度发生变化时, 晶体对泵浦光、信号光和闲频光的折射率 n_p, n_s 和 n_i 都发生变化, 参量光的波长 λ_s 和 λ_i 将发生变化, 由于温度升高晶体膨胀, 晶体的周期 Λ 也将发生变化。当温度为 T_0 , 信号光、闲频光波长为 λ_{s0} 和 λ_{i0} , 晶体对泵浦光、信号光和闲频光的折射率分别为 n_{p0}, n_{s0} 和 n_{i0} , 晶体的周期为 Λ_0 时波矢失配 $\Delta k_0 = 0$ 。当晶体的温度变化 ΔT 时, 信号光波长与闲频光波长分别变化 $\Delta \lambda_1$ 和 $\Delta \lambda_2$, 晶体的周期变化 $\Delta \Lambda$ 。将折射率 n 在温度为 T_0 , 中心波长为 $\lambda_0 (j=s, i)$ 处进行泰勒级数展开, 考虑一阶近似并代入波矢失配, 可得

$$\Delta k = 2\pi \left[\frac{(n_{s0} - \lambda_{s0} \frac{\partial n_s}{\partial \lambda_s})}{\lambda_{s0}^2} \Delta \lambda_1 + \frac{(n_{i0} - \lambda_{i0} \frac{\partial n_i}{\partial \lambda_i})}{\lambda_{i0}^2} \Delta \lambda_2 + \left(\frac{\partial n_p}{\partial T} - \frac{\partial n_s}{\partial T} - \frac{\partial n_i}{\partial T} + \frac{\partial \Lambda}{\Lambda_0^2} \right) \Delta T \right] \quad (3)$$

(3) 式为分析温度调谐光参量产生的一个重要公式。从该式可以看出, 当温度变化时, 参量光波长、折射率、晶体周期都发生变化, 使参量产生过程的波矢发生变化。当波矢失配 $\Delta k = \pm \pi/L$ 时, 参量转换效率下降到最大值的 $4/\pi^2$, 约 40% 左右, 这就是通常所说的“匹配宽度”^[8]。

2.1 允许温度

当 $\Delta \lambda_i = 0$ 时, 根据匹配宽度的定义可得参量产生过程的允许温度

$$\Delta T = L^{-1} \left[\frac{\partial n_p}{\partial T} - \frac{\partial n_s}{\partial T} - \frac{\partial n_i}{\partial T} + \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right]^{-1} \quad (4)$$

当温度波动超过允许温度时, 参量产生过程的转换效率迅速下降。根据晶体的色散方程和热膨胀方程可以得到允许温度与输出参量光波长的关系曲线如图 2。

从图中看出, 参量转换过程中允许温度是非常小的, 温度的微小变化使输出参量光波长发生很大的变化; 随着信号光波长的增加, 允许温度越来越小, 允许温度随泵浦光波长的增大而增大, 利用较大的泵浦光波长有利于参量产生过程中的允许温度。由公式还可以看出, 允许温度随晶体长度的增大而减小, 晶体越长允许温度越小, 晶体太长不利于参量产生过程中的温度波动, 允许温度随中心温度的升高而减小。所以, 准相位频率变换过程中, 晶体温度的控制显得非常重要, 在不使晶体产生光折变损伤前提下, 温度应尽量降低, 可在相对较宽的温度范围内实现参量变换。

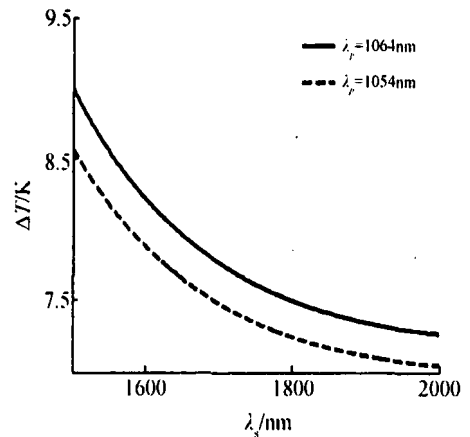


图 2 允许温度与信号光波长的关系

2.2 温度调谐速率

由公式(3)令 $\Delta k = 0$, 可得参量产生过程的温度调谐速率

$$\frac{d\lambda_s}{dT} = \lambda_s^2 \left[\frac{1}{\lambda_p} \frac{dn_p}{dT} - \frac{1}{\lambda_s} \frac{dn_s}{dT} - \frac{1}{\lambda_i} \frac{dn_i}{dT} + \frac{1}{\Lambda^2} \frac{d\Lambda}{dT} \right] \cdot \left[(n_i - \lambda_i \frac{dn_i}{d\lambda_i}) - (n_s - \lambda_s \frac{dn_s}{d\lambda_s}) \right]^{-1} \quad (5)$$

输出信号光波长对温度的变化率越大, 说明温度的小量变化, 就可能引起输出波长的较大变化, 因此, 在同样的温度变化范围内, 输出光波长对温度变化率越大越可以获得宽的输出光, 同时所

需的温度控制精度也越高。反之,输出信号光波长对温度的敏感度越小,所获得的输出光的波长范围小,对温度控制精度要求也低。对实际的温控炉来说都有一定的温度涨落,导致温度误差,这会影响到输出信号光的单色性。所以研究温度对光学参量产生器的影响是非常重要的。

根据色散方程和晶体的热膨胀方程,通过计算即可得到信号光波长与温度调谐速率的关系曲线,如图 3 所示。

从图中看出,随着信号光波长的增加,温度调谐速率逐渐增大,参量产生过程中的温度控制精度也要求越高。

温度调谐是准相位匹配光参量产生的一种最常见的调谐方式,其优点是可以在较大的波长范围内连续调谐,实现宽带可调谐参量光的输出。因为晶体的加热需要一定的时间,所以调谐速度较慢是其缺点。

3 结论

本文对温度调谐光参量产生过程的特性进行了理论分析和计算,得到参量产生过程温度变化与波矢失配的关系,并对所得的结果进行了讨论。为了在较宽的温度范围内获得较高的参量转换效率,应选用相对较大的泵浦光波长;在不使晶体产生光折变损伤前提下,调谐温度应尽量降低;非线性频率变换的晶体长度应不要太长;随着参量光波长的增大,对温控炉的温度控制要求越来越高。为了获得处于通讯用人眼安全波段的 1500nm 左右的参量光,可以选用泵浦光波长为 1064nm、晶体长度为 50mm 的铌酸锂晶体。以上结果对温度调谐光参量产生的实验设计可以提供有益的帮助。

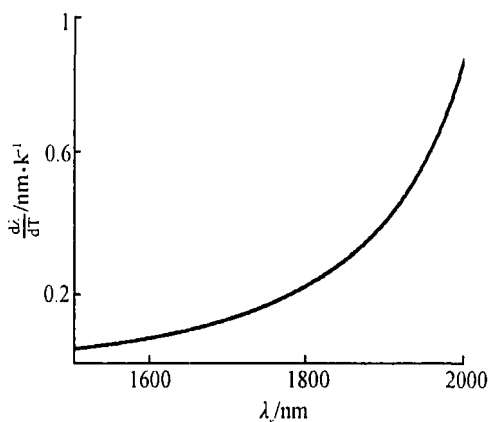


图 3 信号光波长对温度的变化率与信号光波长的关系

参考文献

- [1] Aniolek K W, Schmitt R L, Kulp T J *et al.* Microlaser-Pumped Periodically Poled Lithium Niobate Optical Parametric Generator-Optical Parametric Amplifier[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(8):556—558.
- [2] Fève J P, Pacaud O, Boulanger B *et al.* Widely and Continuously Tunable Optical Parametric Oscillator Based on a Cylindrical Periodically Poled KTiOPO₄ Crystal[J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(23):1882—1884.
- [3] Schlup P, Butterworth S D, McKinnie I T. Efficient Single-Frequency Pulsed Periodically Poled Lithium Niobate Optical Parametric Oscillator[J]. *Opt. Commun.*, 1998, **154**(4):191—195.
- [4] Schober A M, Imeshev G, Fejer M M. Tunable-Chirp Pulse Compression in Quasi-Phase-Matched Second-Harmonic Generation[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(13):1129—1131.
- [5] Parameswaran K R, Kurz J R, Roussev R V *et al.* Observation of 99% Pump Depletion in Single-Pass Second-Harmonic Generation in a Periodically Poled Lithium Niobate Waveguide[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(1):43—45.
- [6] Fradkon—Kashi K, Arie A, Urenski P *et al.* Mid-Infrared Difference-Frequency Generation in Periodically Poled KTiOAsO₄ and Application to Gas Sensing[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(10):743—745.
- [7] Lu Y F, Tan H M, Qian L S. All-Solid-State Doubly Resonant Sum-Frequency Continuous-Wave Laser at 555nm[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(1):25—26.
- [8] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术[M]. 北京:科学出版社, 1995. 44—46.

Temperature Tunable Quasi-Phase-Matched Optical Parametric Generation

DIAO Shu-Yan

(School of Informatics, Linyi Normal University, Linyi, Shandong 276005, P. R. China)

Abstract The characteristics of the temperature tunable quasi-phase-matched optical parametric generation were studied by analysis and calculations. The formula for the acceptance bandwidth of temperature, the temperature tunable rate were obtained. Furthermore, the dependence curves of these factors were calculated. The pump wavelength, the crystal length and the temperature were analyzed for higher parametric conversion efficiency.

Key words Optical Parametric Generation; Temperature Tuning; Acceptance Bandwidths of Temperature; Temperature Tunable Rate

欢迎您投稿“高效、保质”的中文核心期刊

《光谱实验室》

这是您的发明、发现获得“优先权”的可靠保障!

发表周期多数(50%—75%)为5—9个月,

少数(20%—45%)为1—5个月,极少数(0—7%)为15—30天

及时发表科技论文,是尽早实现其社会效益的前提,也是作者创造性劳动得到尊重、为在世界上取得“优先权”的可靠保障,因为发明、发现的“优先权”通常是以出版时间为准的。因此,本刊把尽快发表作者的论文,视为自己的神圣职责。

确保论文质量是论文早日发表的条件。作者发表论文总是要反映自己在工作有所发明、有所发现和有所创造的成绩,而不是去暴露自身的“缺欠”和“毛病”,换言之,作者发表论文总是要为自己“争光”,而不是让自己“蒙羞”。因此,作者投稿之前,除了自己要反复检查外,一定要多请您周围的同事、专家挑“毛病”,把“毛病”消灭在投稿之前,再投本刊才能发表得快。如果本刊挑出毛病,再请作者修改,反复“折腾”,不仅消耗双方精力,而且必然延长发表时间。保证质量的基本要求就是论文要做到“齐、清、定”。“齐”即文字、表格、图片等齐全,并符合本刊《投稿须知》的各项要求;“清”即文字、图片打印清楚,不得有模糊不清的图片(包括上面的文字和数字);若有彩色图片及彩色曲线,请转化为清晰的黑白图片和黑色曲线,并清除图片和曲线上的背景,便于排版和复制;“定”即做到稿件内容(文字、表格、图片等)完整,无需再作增删修改。

来稿请用 Word 排版,用电子邮件发到本部电子信箱(E-mail: gpsys@263.net)。

本刊收到作者来稿后,都会在3日(遇公休日顺延)内发出“收稿通知”。因此,作者发送稿件后7日以上都没有消息,一定要及时来电查询。

一篇论文出版,常常需要反复沟通“作者→编辑部→审者→编辑部→作者”之间的联系,其中与作者的联系是最重要的一环,一旦脱节,必然中断编辑过程。因此作者来稿时,务必将联系人的正确的姓名和详细地址、办公室电话、手机号码、传真号码和电子信箱等(通讯方式要尽可能全)告诉编辑部,以便能与您及时联系。否则,由此而产生的不良后果由作者自己负责。

本刊发表论文的宗旨是学术交流,而不是应付“评职称”、“拿文凭”等。

《光谱实验室》编辑部