

【文章编号】 1004-1540(2001)02-0042-02

准相位匹配 PPLN、PPKTP、PPRTA 光学 参量振荡器及其应用(详细摘要)

姚建铨

(天津大学 精密仪器与光电子工程学院 激光与光电子研究所,
光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072)

【关键词】 准相位匹配(QPM); 光学参量振荡器(OPO); 周期性极化铌酸锂(PPLN)

【中图分类号】 O437.4

【文献标识码】 A

非线性光学频率变换技术主要用来产生传统激光光源所不能产生的相干辐射, 这些激光光源或者限于离散的谱线或者仅能相对较窄的光谱范围。而实际上许多应用所需要的波长是直接激光光源所产生不了的, 或者现存的激光器的效率低、太复杂, 对许多应用来说是不切实际的。基于周期性极化的铌酸锂(PPLN)的准相位匹配光学参量振荡器(QPM-OPO)由于其具有很大的非线性系数、低的损耗, 以及可以运转在宽的范围和制作工艺多样性等特点, 已经得到广泛的重视及应用。准相位匹配的技术允许为了获得期望的相互作用而充分利用现存的已经发展成熟的非线性光学材料。由于近来周期性极化铌酸锂(PPLN)的发展, 实现准相位匹配是可能的。近来利用这些材料已经成功地实现了高功率光学参量振荡器在技术上重要的中红外光谱范围 $1\sim 5\mu\text{m}$ 的宽调谐运转。这种技术在许多方面例如军事、科学、测量和光通讯均有应用。

本文将简要介绍 PPLN (或 PPMgLN、PPKTP、PPRTA) 作为准相位匹配 OPO 的原理、主要的技术关键及可能的应用前景。

准相位匹配的概念早在 1962 年就有诺贝尔物理奖得主 N. Bloembergen 等提出, 但是由于当时缺少制造具有微结构材料以实现准相位匹配的实际材料处理方法, 这个想法并没有太大的重要性。直到 1992~1993 年, 制造周期性极化铁电材料的进步改变了这种状况, 例如实用的准相位匹配器件正在以极快的速度发展着。在通常的三波相互作用过程中, 频率 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 必须满足能量守恒准则 $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$ 。因为相位关系决定了相互作用的波的能量流的方向, 所以场的相位时很重要的。由于材料的色散, 相速度是频率的函数, 从而导致了随频率变化的相位关系。单位长度的相位变化用相位矢量失配 $\Delta k = k_3 - k_2 - k_1$ 表示, 这里 $k_j = \omega n_j / c$ ($j = 1, 2, 3$) 是对应折射率为 n_j 的光波的波矢量。当 $\Delta k \neq 0$ 时, 随着光波在晶体内部的不断传播相位也不断变化, 所以能量就在互作用波之间交换。如果在相互作用过程中实现了相位匹配 ($\Delta k = 0$), 当光波在晶体中传播时能量就有效地转换到了新产生的光场中去了。相位匹配通常是利用材料的双折射 (即折射率与光波的偏振方向有关) 补偿色散来实现的, 通过变化晶体的温度和角度, 晶体的折射率能够在一定程度上被改变, 这样就能够实现我们感兴趣的许多相互作用的相位匹配。

在准相位匹配作用过程中, 非线性极化率的符号每经过一个相干长度时就改变一次, 从而相互

【收稿日期】 2001-06-28

【作者简介】 姚建铨(1939-), 男, 中国科学院院士, 现任天津大学精仪学院名誉院长、教授、博士生导师、激光与光电子研究所所长, 中国光学学会理事、激光专业委员会副主任。主要从事激光与非线性光学频率变换研究。

作用过程中的相位又回到起始状态同时也能获得有效的能量转换. 准相位匹配器件中, 在瞬态频率域中移动相位匹配峰值与光束经过一个利用光学孔径来使相位初始化而实现辐射的空间频率转移相类似. 因此准相位匹配的主要优点是可以制造周期性反转的非线性极化率结构而获得有效的能量转换, 而这与材料的内在特性无关.

对准相位匹配的光学参量振荡器来说, 通过重新定义有效非线性系数和波矢失配, 许多传统的光学参量理论都能够被利用. 准相位匹配的非线性系数为 $d_Q = (2/\pi) d_{eff}$, 此处 d_{eff} 是与同样的传统相位匹配过程定义相同的非线性系数, 因子 $2/\pi$ 来自于非线性极化率 (作为一个平面波, 如图 1 所示) 的调制结构的第一项 Fourier 变换项. 准相位匹配的波矢失配为 $\Delta k_Q = k_3 - k_2 - k_1 - K_g$, 与波矢类似, 光栅周期 Λ 对应的光栅矢量为 $K_g = 2\pi/\Lambda$. 这些替换导致了 QPM-OPOs 的几个显著优点. 同样情况下, QPM 过程的非线性系数减少 $2/\pi$ 倍, 然而, QPM 过程能够利用传统双折射相位匹配过程所达不到的非线性系数. 特别是在铌酸锂的情况下, 仅仅就双折射相位匹配的 OPO 相互作用过程来说, 泵浦光波需要特别的偏振 (即偏振方向平行与晶体轴), 利用非线性极化率张量 d_{31} 元素的信号光和空闲光需要通常的偏振 (即偏振方向垂直于晶体轴). 然而, QPM-OPO 能够在所有光波均为利用 d_{33} 元素的通常偏振态的情况下运转, 因为 d_{33} 大约是 d_{31} 的 7 倍大而且它以 d^2 的形式进入 OPO 的增益表达式中, 即使包括 $2/\pi$ 的递减因子, QPM-OPO 的非线性转换效率仍然比传统 OPO 的 20 倍还要大. 对 QPM-OPO 来说, 波矢失配的替换导致了其他一些重要的优点. 由于相位失配包含了光栅矢量, 这就给予 OPO 的设计者一个可以调整的结构参数, 而且这与材料的固有特性无关. 因此, 调谐可以象传统 OPO 一样通过调整温度和角度来实现, 也可以通过改变光栅的周期来实现. 在任何期望的温度和材料透明波段的任意波长, 相位匹配均可以设计成非临界相位匹配, 非临界相位匹配的优点为没有走离角、有较大的允许角和较高的效率. 在传统的 OPO 中, 非临界相位匹配仅仅在少数偶然的工作点上是不可能的, 然而 QPM-OPOs 能够在任何工作点出实现为非临界相位匹配. 通过设计光栅常数来控制相位匹配, 也提供了扩展现存非线性材料工作范围以及利用那些双折射效应小的材料实现相位匹配的可能性. 另外, 处理相位匹配函数的光谱特性以及联合多种非线性过程到一个单独器件中等新颖设计也是可能的.

目前用于准相位匹配 OPO 的周期极化非线性晶体材料主要由 PPLN、PPMgLN、PPKTP、PPRTA 等, 一般非线性系数为 $5 \sim 7 \text{ pm/V}$, 透光波段可达 $4 \sim 5 \mu\text{m}$.

本文计算了 PPLN、PPKTP 及 PPRTA 作 OPO 时温度调谐时的调谐特性, 泵浦波长为 808 nm 及 980 nm , 分别可用现有的大功率 LD. 计算表明在 808 nm 及 946 nm 的泵浦下, 温度在室温变化至 $100 \sim 150^\circ\text{C}$, 可以实现宽范围的调谐. 还计算了温度变化对波长准确性的影响, 选择合适的周期及工作温度, 发现温度变化 1°C 时波长可控制在 $0.5 \sim 1.5 \text{ nm}$, 如果采用恒温控制至 0.1°C , 则波长可控制在 $0.05 \sim 0.15 \text{ nm}$, 这对一般应用是足够的.

目前 PPLN、PPKTP 的 OPO 器件可用于不同时间特性的激光来泵浦, 从连续、ns、ps、fs 范围均可运转, 最高输出功率可达 100 多瓦, 所以完全可以适用于激光雷达系统、多光谱激光雷达、大气污染检测等领域. 由于 PPLN 器件的转换效率可达 $30 \sim 40\%$, 所以相应的器件体积小、效率高, 可有广泛的应用前景. 本文对 PPLN 的技术发展及应用前景进行了综述及展望.

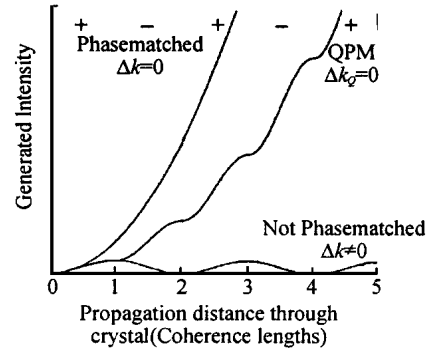


Fig. 1 Growth of generated wave for phasematched, not phasematched, and quasiphasematched (QPM) interactions

Polymer fiber and its application

M NG Hai¹, XU Xing-sheng¹, WANG Pei¹, WANG Zhuo¹, ZHAO Tian-peng¹
GUO Yang¹, ZHANG Q i-jing², XIE J ian-ping¹

(1. Department of Physics; 2 Department of Polymer Science and
Engineering U niversity of Science and Technology of China, Hefei 230026 China)

Abstract The recent developments of polymer fiber are described discribed, deuterated and perfluorinated polymer fiber for decreasing loss, and the graded index polymer fiber for increasing bandw idth are introduced. The optical characteristics of polymer is analyzed. The function polymer fiber, passive and active devices of polymer fiber are reported.

Key words Polymer optical fiber (POF); deuterated; perfluorinated; graded index; polymer fiber device

(上接第 43 页)

Optical parametric oscillators with quasi-phase-matched PPLN, PPKTP, PPRTA and their applications

YAO J ian-quan

(Institute of Laser and Opto-electronics, College of Precision Instruments
and Opto-electronics Eng , Tianjin U niversity, Tianjin 300072, China)

Key words quasi-phase matching (QPG); optical parametric oscillator (OPO); periodically poled lithium niobate (PPLN)