

文章编号: 0258-7025(2008)05-0670-05

准相位匹配 PPMgLN 光参量振荡技术

彭跃峰 鲁燕华 谢刚 王卫民 武德勇

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 理论上分析了掺 MgO 的周期极化 LiNbO₃ (PPMgLN) 晶体准相位匹配光参量振荡 (QPM-OPO) 波长的调谐特性, 计算了抽运阈值和转换效率。采用高斯光束抽运, 当抽运功率密度为阈值抽运功率密度约 6.5 倍时, 可以获得约 71% 的转换效率。而相位匹配情况下, 平面波抽运功率密度为阈值 $(\pi/2)^2$ 倍时, 转换效率可达到 100%。1064 nm 激光抽运 PPMgLN 晶体 (MgO 摩尔分数 5%), 单谐振光参量振荡技术采用 $e \rightarrow e+e$ 相位匹配, 利用 PPMgLN 晶体的最大非线性系数 d_{33} (27.4 pm/V), 采用周期调谐方式, 实验上获得了中红外波长调谐范围 2.7~4.8 μm , 当抽运功率为 23 W, 频率为 7 kHz 时, 在波长 3.7 μm 处激光输出功率超过 3.2 W, 斜率效率超过 18%, 对应闲频光波长 1.49 μm 输出功率约 8 W, 相当于转换斜率效率约为 63%。实验结果与理论分析基本一致。

关键词 激光技术; 光参量振荡; 准相位匹配; 周期极化 LiNbO₃; 中红外

中图分类号 TN 248 文献标识码 A

Investigation of Quasi-Phase-Matched Optical Parametric Oscillator Based on PPMgLN

Peng Yuefeng Lu Yanhua Xie Gang Wang Weimin Wu Deyong

(Institute of Applied Electronics, Chinese Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract Theoretical and experimental study is presented on grating period-tuned single-resonated quasi-phase-matched optical parametric oscillator (QPM-OPO) in multi-grating periodically poled lithium niobate (PPMgLN) pumped by 1064 nm laser. Theoretical analysis includes grating period tuning, pump threshold and converting efficiency. When pump power is 6.5 times of the pump threshold with Gauss beam pumping, a converting efficiency of 71% is obtained, however a converting efficiency of 100% may be obtained when pump power is $(\pi/2)^2$ times of the pump threshold with plane wave pumping and phase matching. The pump beam polarization matches the $e \rightarrow e+e$ interaction in PPMgLN, thus maximal nonlinear coefficient d_{33} (27.4 pm/V) is effective. Widely mid-infrared wavelength tunable output from 2.7 μm to 4.8 μm has been obtained by grating period tuning. When pump power is 23 W with repetition rate of 7 kHz, an average output power of more than 3.2 W at 3.7 μm is obtained with slope efficiency of more than 18%, and 8 W at the corresponding idler wavelength of 1.49 μm and a corresponding converting efficiency of 63% are obtained. The experimental data are in agreement with numerical analysis results.

Key words laser technique; optical parametric oscillator; quasi-phase-matching; periodically poled lithium niobate; mid-infrared

1 引言

高重复频率、高平均功率 3~5 μm 中红外激光显示出越来越广泛的应用前景。随着周期性极化晶体技术的发展, 准相位匹配 (QPM) 技术显示出优势。相比双折射相位匹配, 准相位匹配没有波矢方向和偏振方向的限制, 可以通过适当的选择光束偏振, 利用晶体最大非线性系数, 采用非临界相位匹配

方式, 消除光束之间的走离效应。准相位匹配技术的特性决定了能够利用晶体的整个透光范围实现相位匹配。目前, 实现准相位匹配光学参量振荡 (OPO) 最常见的铁电材料是掺 MgO 周期极化 LiNbO₃ 晶体 (PPMgLN)^[1~7]。Da-Wen Chen 等^[7] 采用连续输出功率 50 W 的 Yb 光纤激光器抽运 MgO:PPLN 晶体光参量振荡技术, 获得了输出功

收稿日期: 2007-08-16; 收到修改稿日期: 2007-11-10

作者简介: 彭跃峰 (1978—), 男, 陕西人, 助理研究员, 硕士, 主要从事激光二极管抽运固体激光器技术研究工作。

E-mail: qiaopyf@yahoo.com.cn

率 10 W, 波长 2.94 μm 的激光输出。

本文分析了 PPMgLN 晶体准相位匹配光学参量振荡器的周期调谐特性, 理论计算了光参量振荡阈值、转换效率等。采用 1064 nm 激光抽运多周期 PPMgLN 晶体, 实验上获得了 2.7~4.8 μm 可调谐中红外激光输出。

2 PPMgLN 晶体准相位匹配特性

2.1 调谐曲线分析

LiNbO₃ 是典型的负单轴晶体, 其透光波段为 330~5500 nm, 在所有的二阶非线性极化张量中, 以 d_{33} 为最大, 约为 27.4 pm/V。在准相位匹配条件下, 由于对相互作用的耦合光波的偏振方向没有要求, 因此, 可以选择 $e \rightarrow e+e$ 匹配。此时发挥作用的有效非线性系数最大, 为 d_{33} , 从而降低了阈值, 提高了转换效率。

在 PPMgLN 准相位匹配光参量振荡器中, 三波相互作用的能量守恒和共线条件下的动量守恒公式满足

$$\begin{cases} 1/\lambda_p = 1/\lambda_s + 1/\lambda_i \\ n_{ep}/\lambda_p = n_{es}/\lambda_s + n_{ei}/\lambda_i + 1/\Lambda \end{cases}, \quad (1)$$

式中 λ_p, λ_s 和 λ_i 分别为抽运光、信号光和闲频光的波长; n_{ep}, n_{es} 和 n_{ei} 分别为抽运光、信号光和闲频光波长的折射率; Λ 为光栅周期。

PPMgLN 晶体中 e 光折射率赛耳迈耶尔 (Sellmeier) 方程^[6]为

$$\begin{aligned} n_e^2(\lambda, t) = & 5.35583 + 4.629 \times 10^{-7} f(t) + \\ & \frac{0.100473 + 3.862 \times 10^{-8} f(t)}{\lambda^2 - [0.20692 - 0.89 \times 10^{-8} f(t)]^2} + \\ & \frac{100 + 2.657 \times 10^{-5} f(t)}{\lambda^2 - 11.34929^2} - \\ & 1.5334 \times 10^{-2} \lambda^2, \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $f(t) = (t - 24.5)(t + 570.82)$; t 取摄氏温度; λ 单位为 μm 。

考虑晶体的热膨胀, 若在温度为 t_0 时光栅周期为 $\Lambda(t_0)$, 则在温度为 t 时光栅周期 $\Lambda(t)$ 应为

$$\Lambda(t) = \Lambda(t_0)[1 + a(t - t_0)], \quad (3)$$

式中 $a = (1/l)(\partial l/\partial t)$, 为晶体的热膨胀系数; l 为晶体长度。

PPMgLN 晶体调谐方式有三种, 周期调谐、温度调谐和角度调谐。温度调谐可以获得更高的调谐精度, 周期调谐是获得 3~5 μm 波长调谐最有效的工作方式。可以同时采用周期调谐和温度调谐方式, 既可以获得较宽的调谐范围, 也可以获得较高的

调谐精度。利用 PPMgLN 晶体光参量振荡能量守恒和动量守恒公式, 计算了在 1064 nm 抽运方式下, 信号光和闲频光波长调谐与周期的关系如图 1 所示。

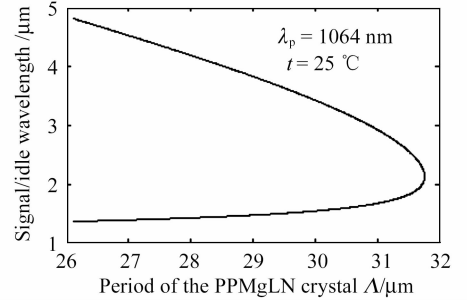


图 1 PPMgLN 晶体调谐曲线

Fig. 1 Tuning curve for PPMgLN

2.2 单谐振阈值分析

具有返回抽运光束的单谐振光学参量振荡器 (SRO) 抽运阈值^[8]

$$\begin{aligned} I_{th} = & \frac{1.12}{kg_s l_{eff}^2 (1 + \gamma)^2} \times \\ & \left(\frac{L}{t_p c} \ln \frac{P_s}{P_n} + 2\alpha l + \ln \frac{1}{\sqrt{R}} + \ln 4 \right)^2, \end{aligned} \quad (4)$$

式中 γ 为后向与前向抽运强度比; k 为耦合常量, 定义为 $k = 8\pi^2 d_{eff}^2 / (\lambda_s \lambda_i n_s n_i n_p \epsilon_0 c)$; g_s 为信号空间模耦合系数, 定义为 $g_s = 1/[1 + (\omega_s/\omega_p)^2]$; l_{eff} 为有效参量增益长度, 定义为 $l_{eff} = (\pi^{1/2} \omega_p) / (2\rho)$; ω_p, ω_s 分别为抽运光和信号光的光斑尺寸; ρ 为双折射离散角; α 为吸收系数; L 为腔长; c 为光速; t_p 为抽运脉冲全宽; R 为输出镜反射率; P_n 为噪声功率; P_s 为阈值信号功率。

非临界相位匹配, ρ 为 0, 所以 l_{eff} 就等于晶体长度 l 。(4) 式中等式右边第一项表示的是信号功率在从噪声水平 P_n 增大到阈值信号水平 P_s 所需的建立时间内造成的抽运光束损耗。

2.3 单谐振转换效率分析

单谐振光参量振荡无损耗且完全相位匹配的情况下对平面波的转换效率为^[9]

$$\eta = \sin^2(\Gamma_0 l), \quad (5)$$

式中 Γ_0 为相位匹配 $\Delta k = 0$ 时的增益系数。从(5)式可以看出, 当 $\Gamma_0 l = \pi/2$ 时, 效率为 100%。

$\Gamma_0 l$ 与抽运超阈值倍数 N 的关系为^[9]

$$\sin^2(\Gamma_0 l) = N^{-1}, \quad (6)$$

(6) 式在高斯光束抽运情况下为

$$\text{sinc}^2[\Gamma_0(r)l] = N^{-1}(r), \quad N(r) = N_0 \exp\left(-\frac{2r^2}{W_0^2}\right), \quad (7)$$

式中 W_0 为高斯光束光斑半径; N_0 代表高斯光束中心超阈值倍数。对(5)式在高斯光束横截面积分,于是得到高斯光束抽运单谐振光学参量振荡器的转换效率

$$\eta = \frac{\int_0^{r_0} \sin^2[\Gamma_0(r)l] I_{p0} \exp\left(-\frac{2r^2}{W_0^2}\right) 2\pi r dr}{\int_0^\infty I_{p0} \exp\left(-\frac{2r^2}{W_0^2}\right) 2\pi r dr}, \quad (8)$$

式中 I_{p0} 代表中心光强; r_0 为光束横截面超阈值部分的圆半径。由(7)式得

$$r_0^2 = \frac{1}{2} W_0^2 \ln N_0, \quad (9)$$

令 $x = 2r^2/W_0^2$, $\Gamma_0(r)l = H(x)$, 并且结合(9)式, (8)和(7)式变为

$$\eta = \int_0^{\ln(N_0)} e^{-x} \sin^2 H(x) dx, \quad \text{sinc}^2 H(x) = \frac{e^x}{N_0}. \quad (10)$$

采用 Matlab 程序,对平面波和高斯分布抽运求数值解。图 2 绘出了平面波与高斯抽运光束理论上的转换效率,横坐标参量为超阈值抽运强度倍数。对于相位匹配的均匀平面波,当抽运功率超过阈值 $(\pi/2)^2$ 倍时,转换效率可达到 100%;应用高斯光束抽运,当 $N_0 \approx 6.5$ 时,效率最高, $\eta_{\max} \approx 71\%$ 。高斯分布最高转换效率低于平面波的原因主要是:要获得光参量振荡技术最佳转换效率,抽运功率超阈值倍数有个最佳值。高斯光束中心达到最佳转换效率,两边缘的强度明显低于最佳值;如果增加抽运功率以改变两边缘的强度,光束中心就超过最佳值,则出现某种逆转换,使得转换效率整体降低。

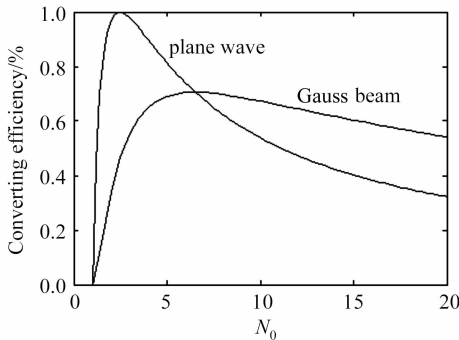


图 2 PPMgLN 单谐振光学参量振荡转换效率曲线
Fig. 2 Converting efficiency curve of PPMgLN single-resonated optical parametric oscillator (SRO)

3 实验研究

实验采用单谐振,外腔光参量振荡结构,1064 nm 激光输出采用平凹腔结构,然后经缩束系

统后,抽运 PPMgLN (MgO 摩尔分数 5%) 晶体,光参量振荡输出中红外激光,实验装置如图 3 所示。 M_1 曲率半径为 -1000 mm,对 1064 nm 激光高反, M_2, M_3, M_4 均为平面镜, M_2 对 1064 nm 激光反射率为 80%, M_3 对 1064 nm 高透,对 $3.6 \sim 4.4 \mu\text{m}$ 激光高反, M_4 对 1064 nm 高反,对 $3.6 \sim 4.4 \mu\text{m}$ 激光反射率为 60%,对 $1.3 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 高透。PPMgLN 晶体透光面对 1064 nm, $1.3 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 和 $3.6 \sim 4.4 \mu\text{m}$ 激光高透,采用不同周期(共 20 个周期)波长调谐方式。光参量振荡技术采用 $e \rightarrow e+e$ 相位匹配,从而消除了光束之间的走离效应和利用了 PPMgLN 晶体的最大非线性系数 d_{33} (27.4 pm/V)。1064 nm 谐振腔内 $\lambda/4$ 波片是为了消除抽运模块性能的不均匀性(热畸变等因素引起),有利于激光输出稳定,实验结果表明,没有 $\lambda/4$ 波片时,输出功率稳定性小于 $\pm 6\%$,谐振腔中插入 $\lambda/4$ 波片,输出功率稳定性改善为小于 $\pm 3\%$ 。因为 PPMgLN 光参量振荡抽运光需要的是偏振光,所以采用 $\lambda/4$ 波片和 $\lambda/2$ 波片组合,使 1064 nm 圆偏振光转换为线偏振光。

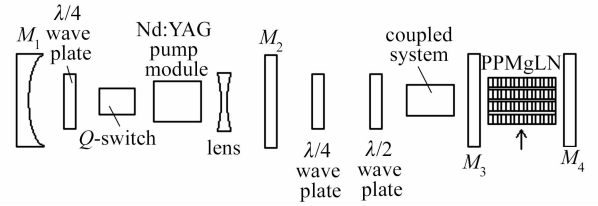


图 3 PPMgLN 单谐振光学参量振荡实验装置

Fig. 3 Experimental setup of PPMgLN SRO

实验方案中,PPMgLN 光参量振荡谐振腔 $R = 60\%$,有效增益长度 l_{eff} 为 40 mm, $t_p = 130$ ns, $\gamma \approx 1$, $g_s = 0.5$,有效非线性系数 $d_{\text{eff}} \approx 2d_{33}/\pi = 17.2$ pm/V, $L = 50$ mm, $\alpha = 0.05 \text{ cm}^{-1}$,将这些参量代入阈值计算公式(4)可得到阈值功率密度 $I_{\text{th}} = 1.04 \text{ MW/cm}^2$ 。

当最大抽运功率 23 W,频率 7 kHz 时,在 $3.6 \sim 3.8 \mu\text{m}$ 波长调谐范围内获得了超过 3.2 W 中红外激光输出,斜率效率超过 18%,对应闲频光波长 $1.51 \sim 1.48 \mu\text{m}$ 输出功率超过 8 W,相当于转换斜率效率约为 63%。图 4 为波长 $3.7 \mu\text{m}$ 处输出功率与抽运功率曲线,图中没有画出闲频光功率曲线。抽运激光频率 7 kHz,功率 5.2 W 时,脉宽约 130 ns,在 PPMgLN 晶体中心抽运光斑直径约 0.85 mm,获得中红外激光输出,阈值约为 1.01 MW/cm^2 ,与理论计算基本一致。通过改变 PPMgLN 晶体的周期,实验上获得了中红外波长调谐范围 $2.7 \sim 4.8 \mu\text{m}$ 。

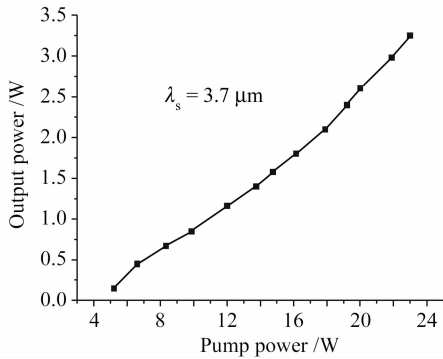


图 4 激光输出功率与抽运功率关系曲线

Fig. 4 Laser output power versus pump power

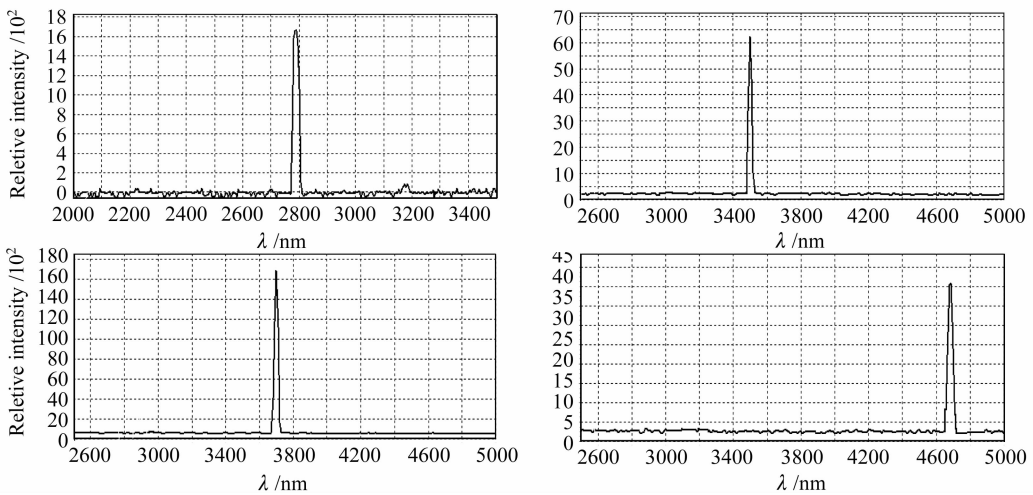


图 5 输出激光光谱

Fig. 5 Spectra of laser

4 结 论

对 PPMgLN 光参量振荡进行了理论分析。实验上,在波长 $3.6 \sim 3.8 \mu\text{m}$ 调谐范围内获得了平均功率超过 3.2 W 中红外激光输出,获得了 $2.7 \sim 4.8 \mu\text{m}$ 中红外波长调谐。实验数据一定程度上也验证了理论分析的正确性。进一步将优化实验方案,主要目的是小型化和多波长中红外激光输出。根据实际需要,可以采用适合高重复频率、偏振激光输出的激光晶体(例如 $\text{Nd}:\text{YVO}_4$) 取代 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 晶体获得抽运源激光输出;或者采用 Tm 晶体输出 $1.9 \mu\text{m}$ 激光抽运 PPMgLN 光参量振荡技术,这样闲频光和信号光均在中红外激光波段,从而大大提高中红外激光输出转换效率,改进工作目前正在进行。

参 考 文 献

1 Zhang Baigang, Yao Jianquan, Ding Xin *et al.*. Continuously

光谱仪测得其中 4 种(共 20 种不同调谐曲线)调谐周期下激光光谱如图 5 所示。在 $2.7 \sim 3.6 \mu\text{m}$ 波长调谐范围,输出功率比较低,并且没有规律。主要原因是中红外波段膜层技术不成熟,同时宽光波段膜层镀制难度很大,该波段镀膜参数不稳定造成的。根据实际需要,镀膜时主要确保了 $3.6 \sim 4.4 \mu\text{m}$ 波段范围与设计值基本一致。波长 $3.8 \mu\text{m}$ 以上输出功率低除膜层技术不成熟外,量子效率低,以及 $4.5 \mu\text{m}$ 波段以上,PPMgLN 晶体吸收损耗变大也是主要原因。从图 4 可以看出,中红外激光输出没有出现饱和和效应,相信随着抽运功率的提高,可以获得更高功率输出。

tunable optical parametric oscillator based on multi-grating periodically poled lithium niobate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(8):897~902

张百钢,姚建铨,丁欣等. 连续调谐输出的多周期极化铌酸锂晶体光学参量振荡器[J]. *中国激光*, 2004, **31**(8):897~902

2 Yao Jianhong, Xue Liangping, Yan Boxia *et al.*. Optical parametric oscillator based on periodically poled $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ crystal [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2):209~213

姚江宏,薛亮平,颜博霞等. 周期极化掺镁铌酸锂晶体的光学参量振荡[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2):209~213

3 Hideki Ishizuki, Ichiro Shoji, Takunori Taira. High-energy quasi-phase-matched optical parametric oscillation in a 3-mm-thick periodically poled $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ device [J]. *Opt. Lett.*, 2004, **29**(21):2527~2529

4 Zhang Xinbao, Wang Yuezhu, Yao Baoquan *et al.*. Development of mid-infrared CW QPM-OPO based on PPLN [J]. *Laser Journal*, 2005, **26**(6):7~9

张兴宝,王月珠,姚宝权等. 基于 PPLN 的中红外 CW QPM-OPO 技术发展综述[J]. *激光杂志*, 2005, **26**(6):7~9

5 Paul D. Mason, Nick J. Wood. A high repetition-rate PPLN mid-infrared optical parametric oscillator source [C]. *SPIE*, 2004, **5620**:308~316

6 Xuejin Li, Baigang Zhang, Jianquan Yao *et al.*. Infrared OPO temperature tuning based on periodically-poled lithium niobate

[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, 1(12):711~713

- 7 Da-Wun Chen, Todd S. Rose. Low noise 10-W CW OPO generation near 3 μm with MgO doped PPLN [C]. Conference on Lasers & Electro-optics (CLEO), 2005. 1829~1831
- 8 Walter Koechner. Sun Wen, Jiang Zewen, Cheng Guoxiang Tran.. Solid-State Laser Engineering [M]. Beijing: Science Press, 2002. 546

W. 克希耐尔 著. 孙 文, 江泽文, 程国祥 译. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 546

- 9 Qian Shixiong, Wang Gongming. Nonlinear Optics [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2002. 97
- 钱士雄, 王恭明. 非线性光学 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2002. 97

征 稿 简 则

《中国激光》是由中国光学学会和中国科学院上海光学精密机械研究所共同主办, 科学出版社出版的学术期刊, 国内外公开发行。

1. 刊登内容

主要发表我国科技人员在激光理论与技术领域的最新进展, 栏目包括: 综述、实验技术与元件、激光物理与化学、全息技术、光束传输、光通信及其元器件、光纤元件、测量技术、材料、薄膜、激光应用、激光生物学与医学, 等等。请作者在来稿中注明所投栏目, 并注明所属中图分类号。

2. 投稿与查询

本刊接受 Email 投稿或网络投稿, 投稿邮箱: submit@siom.ac.cn, 网络投稿与查询: 登录中国光学期刊网 www.opticsjournal.net。来稿请注明作者真实姓名、服务单位、详细通信地址、联系电话、邮政编码及电子信箱。本刊收到稿件后在 2~3 个工作日内 Email 发出收稿通知。作者投稿 2 个月内未收到本刊处理意见, 可另投他刊。但需事先告知本刊编辑部。编辑部有权对来稿删改。来稿请勿涉及保密内容, 并请提供相关单位证明。来稿请附所有作者签名, 作者顺序一经确定, 请勿任意删改。可同时提供 6~8 位国内外同行专家的详细通讯方式和研究领域, 供送审时参考。

3. 来稿要求

3.1 文字要求

来稿应含中英文题目、摘要、关键词和第一作者简介, 全文要求在 5000 字以内。来稿请用小 4 号, 1.5 倍或 2 倍行距, 另用不同颜色标明文内尤其公式内易混淆的大小写、上下角码、文种、算符等。计量单位一律采用国家标准 GB3100-3102-93 规定, 摘要和正文中的缩略词在第一次出现时都必须写出全称, 后附缩略词。

3.2 标题与摘要

标题应言简意赅, 字数控制在 20 字以内, 不使用不公开的外文缩写词(化学符号除外)。中英文摘要请用第三人称叙述, 不使用“本文”或“作者”等主语, 不引用参考文献、数学公式和化学式。内容应包括四个要素: 即研究目的、方法、结果、结论。中英文摘要内容应基本对应, 中文摘要 300 字左右, 英文摘要 150~180 个单词。

3.3 关键词

每篇论文应给出 4~8 个关键词, 第一个列出该文主要工作或内容所属的二级学科名称, 第二个列出该文研究得到的成果名称或文内若干个成果的总类别名称, 第三个列出该文在得到上述成果或结论时采用的科学研究方法的具体名称, 第四个列出在前三个关键词中没有出现的, 但作为主要研究对象的事或物质的名称, 如有需要, 还可以列出作者认为有利于检索和文献利用的第五、第六个等关键词。

3.4 图表

要求设计美观, 大小适中, 尺寸一般不小于 5 cm × 7 cm, 线条均匀, 辅助线分明, 粗线一般为 0.25~0.5 mm, 细线一般为粗线的 1/2, 图中主线用粗线, 如函数曲线等, 辅线用细线, 如坐标轴线、指示线等; 照片要求对比度高, 层次清晰。推荐使用三线表。图题、表题须中英文对照, 图面、表面一律采用英文。

3.5 参考文献

应引用公开出版物, 并仔细核对; 欢迎作者充分引用本刊上同行的文献。每条文献应作相应的文献类型标识(见方括号内)。参考文献的原文为英文, 请用英文表示, 如原文为其他文种, 请译成英文, 在该文献最后用括号注明, 如原为日文, 则用(in Japanese), 如原文为中文, 则给出中文和相应的英文译文。每条文献的顺序和标点如下: 专著[M]、学位论文[D]、报告[R]——著者(三名)。文献题名。版本(专著用), 出版地: 出版者, 出版年。起止页码; 期刊[J]——作者(三名)。论文题目[J]。刊名, 出版年, 卷(期); 起止页码; 专利[P]——专利申请者。专利题目[P]。专利国别, 专利文献种类, 专利号, 出版日期; 文集[C]——作者(三名)。论文题目[C]。编者, 论文集名, 出版地: 出版者, 年。起止页码。

3.6 基金资助、作者简介

论文如获省、部级以上的基金资助, 须在首页的脚注位置注明基金资助单位全称及批准号。作者简介(含导师简介)应给出姓名(出生年一), 性别, 籍贯, 民族(汉族可省略), 职称, 学历, 研究方向, Email。

4. 收费

本刊遵照中国科协和中国科学院有关文件精神, 向录用稿件作者收取适量版面费以聊补本刊的高额亏损。

5. 版权

录用稿件一经刊出, 论文版权(含各种介质)均归编辑部所有。本刊向作者酌付稿酬及赠送该期期刊 1 册, 抽印本 10 份。

本刊已入编《中国学术期刊(光盘版)》和中国光学期刊网, 著作权使用费在奉寄作者稿酬中一次性支付。如有不同意将文章编入上述数据库者, 请事先声明, 本刊将作适当处理。

特别声明: 凡已在国内外正式出版物上登载过的稿件, 本刊一律不予刊登。若发现一稿多投者, 本刊三年内不接受其稿件, 并追补对本刊造成的损失。

凡本刊投稿者, 均视作接受上述各项规定, 本刊不再另行声明。

本刊在办刊过程中, 得到了社会各界的大力协助, 谨致谢忱。