

磷酸钛氧钾晶体 (KTiOPO₄, KTP)

产品介绍

磷酸钛氧钾晶体 (KTiOPO₄, KTP) 广泛应用于商业和科学研究中, 包括实验室和医疗激光系统、测距仪、激光雷达、光通讯和工业激光系统等。

主要优点

- 非线性光学系数大
- 接收角度大, 同时走离角小
- 宽的温度和光谱带宽
- 光电系数高, 介电常数低
- 品质因数大
- 不潮解, 化学、机械性质稳定

福晶科技可提供

- 严格的质量控制
- 大尺寸, 最大可达20×20×40 mm³, 最长可达60 mm
- 快速交付 (抛光片交期15个工作日, 镀膜产品交期20个工作日)
- 有竞争力的价格和批量折扣
- 技术支持
- 增透膜镀制 (AR-coating), 支架装配和重抛镀膜服务

表1. 化学和结构特性

晶体结构	斜方晶系, 空间群 Pna2 ₁ , 点群 mm2
晶胞参数	a=6.404Å, b=10.616Å, c=12.814Å, Z=8
熔点	约1172 °C
莫氏硬度	5 Mohs
密度	3.01 g/cm ³
热导率	13 W/m/K
热膨胀系数	$\alpha_x=11\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $\alpha_y=9\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $\alpha_z=0.6\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

非线性光学晶体

表2. 光学和非线性光学特性

透光范围	350 - 4500 nm	
SHG相位匹配范围	497 - 1800 nm (Type II)	
热光系数 (λ 单位μm)	$dn_x/dT=1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ $dn_y/dT=1.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ $dn_z/dT=1.6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	
吸收系数	<0.1%/cm @ 1064 nm, <1%/cm @ 532 nm	
1064 nm Nd:YAG 激光 II 类 SHG	温度带宽	24 °C·cm
	接收谱宽	0.56 nm·cm
	接收角	14.2 mrad·cm (Φ) ; 55.3 mrad·cm (θ)
	走离角	0.55°
NLO系数	$d_{\text{eff}}(\text{II}) \approx (d_{24} - d_{15}) \sin 2\Phi \sin 2\theta - (d_{15} \sin^2 \Phi + d_{24} \cos^2 \Phi) \sin \theta$	
非零非线性光学系数	$d_{31}=6.5 \text{ pm/V}$ $d_{24}=7.6 \text{ pm/V}$ $d_{32}=5 \text{ pm/V}$ $d_{15}=6.1 \text{ pm/V}$ $d_{33}=13.7 \text{ pm/V}$	
Sellmeier 方程 (λ 单位μm)	$n_x^2 = 3.0065 + 0.03901 / (\lambda^2 - 0.04251) - 0.01327 \lambda^2$ $n_y^2 = 3.0333 + 0.04154 / (\lambda^2 - 0.04547) - 0.01408 \lambda^2$ $n_z^2 = 3.3134 + 0.05694 / (\lambda^2 - 0.05658) - 0.01682 \lambda^2$	
电光系数	Low frequency (pm/V)	High frequency (pm/V)
r ₁₃	9.5	8.8
r ₂₃	15.7	13.8
r ₃₃	36.3	35.0
r ₅₁	7.3	6.9
r ₄₂	9.3	8.8
介电常数	ε _{eff} = 13	

掺钕激光中的倍频、混频应用

KTP晶体是Nd:YAG和其他掺Nd激光倍频最常用的材料，尤其是在中低功率密度的激光器中。直至目前，利用KTP晶体进行腔内与腔外倍频的掺Nd增益激光器已成为可见光染料激光和可调谐钛蓝宝石激光器的常用泵浦源和放大器。在许多科研和工业应用中，该种激光器也被广泛用作绿光光源。

- 通过腔外倍频，900 mJ种子注入的Nd:YAG调Q激光器可获得转换效率接近80%的700 mJ绿光输出。
- 采用腔内KTP晶体倍频的15 W LD泵浦Nd:YVO₄激光器，可获得8 W绿光输出。

KTP晶体也可用于腔内810 nm二极管泵浦光和1064 nm Nd:YAG激光混频产生蓝光，以及1300 nm Nd:YAG激光器或Nd:YAP激光器进行腔内倍频产生红光。

非线性光学晶体

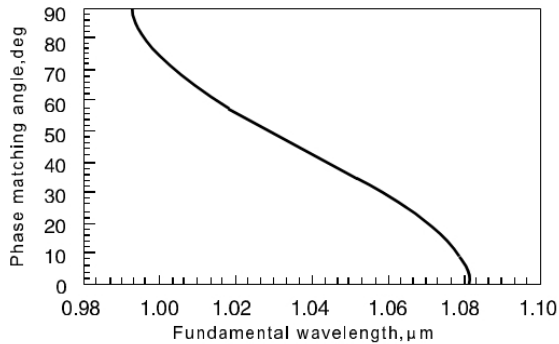


图1. II类KTP晶体在XY面倍频

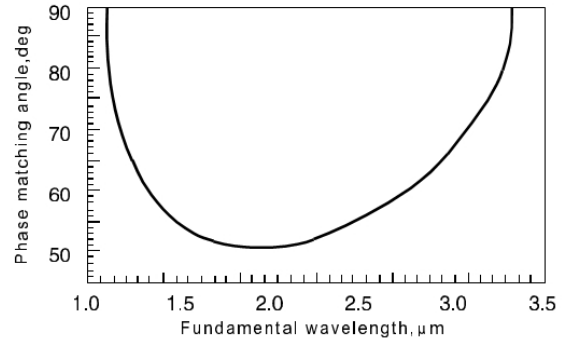


图2. II类KTP晶体在XZ面倍频

光学参量放大、振荡（OPA和OPO）应用

如图3、图4所示，由于KTP晶体的二次谐波效应和光学参量放大性能，其在可调Nd离子激光器中的输出波长调节（从600 nm可见光到4500 nm中红外）中起到核心组件的作用。

通常，KTP晶体的OPO可实现重复频率达到 10^8 Hz，小平均功率水平的fs级别的稳定、连续脉冲输出（信号光和闲置光）。使用KTP进行光学参量放大，可以将Nd:YAG激光器1064 nm泵浦光转换成2120 nm光，转换效率高达66%以上。

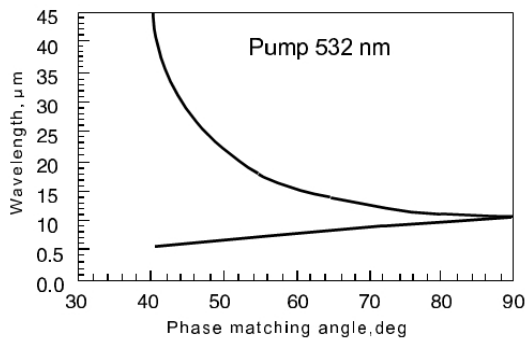


图3. X-Z平面（532 nm泵浦）OPO

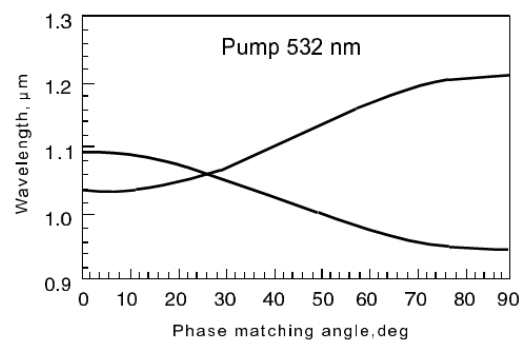


图4. X-Y平面（532 nm泵浦）OPO

KTP晶体还有一种新用途，即非临界相位匹配KTP晶体的OPO/OPA。如图5所示，泵浦波长范围从700 nm到1000 nm，输出波长从1040 nm到1450 nm（信号波）与2150 nm到3200 nm（闲置波），转换效率 $>45\%$ 的高质量窄带宽光束。

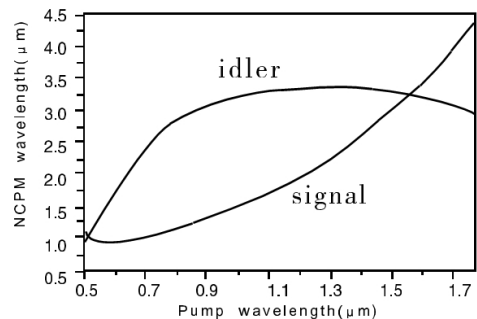


图5. II类KTP晶体非临界相位匹配OPO

非线性光学晶体

电光器件应用

除了其非线性特性外，KTP晶体还具有可与LiNbO₃晶体媲美的优良电光效应和介电特性，被广泛运用于电光器件中。表1是KTP晶体与其他常用电光调制材料的对比：

表3. 电光调制器材料

材料	ϵ	N	相位			振幅		
			R (pm/V)	K (10 ⁻⁶ /°C)	$N^2 r^2 / \epsilon$ (pm/V) ²	r (pm/V)	K (10 ⁻⁶ /°C)	$n^2 r^2 / \epsilon$ (pm/V) ²
KTP	15.42	1.80	35.0	31	6130	27.0	11.7	3650
LiNbO ₃	27.90	2.20	8.8	82	7410	20.1	42.0	3500
KD*P	48.00	1.47	24.0	9	178	24.0	8.0	178
LiIO ₃	5.90	1.74	6.4	24	335	1.2	15.0	124

从表1综合来看，KTP晶体以其损伤阈值高，光频宽 (>15 GHz)，热性能和机械性能稳定，损耗低等特点，在电光调制器批量应用领域有望取代LiNbO₃晶体。

光波导应用

在KTP基底上进行离子交换处理，可得到低损耗的光波导器件。这项技术使得KTP在集成光路方面获得了更多的应用；表4为KTP与其他光波导材料的对比。近期，通过平衡相位匹配实现了20%/W/cm 的II类SHG转换效率。此外，分段式KTP波导已应用于760-960 nm波段的可调谐Ti:Sapphire激光器的I类准相位匹配SHG，以及400-430 nm输出波长二极管激光器的直接倍频。

表4. 电光光波导材料

材料	r (pm/V)	n	$\epsilon_{eff}(\epsilon_{11}\epsilon_{33})^{1/2}$	$n^3 r / \epsilon_{eff}$ (pm/V)
KTP	35	1.86	13	17.30
LiNbO ₃	29	2.20	37	8.30
KNbO ₃	25	2.17	30	9.20
BNN	56	2.22	86	7.10
BN	56-1340	2.22	119-3400	5.1-0.14
GaAs	1.2	3.60	14	4.00
BaTiO ₃	28	2.36	373	1.00

KTP晶体规格指标

表5. 产品指标

尺寸公差	$(W \pm 0.1 \text{ mm}) \times (H \pm 0.1 \text{ mm}) \times (L + 0.5 / - 0.1 \text{ mm})$ ($L \geq 2.5 \text{ mm}$) $(W \pm 0.1 \text{ mm}) \times (H \pm 0.1 \text{ mm}) \times (L + 0.1 / - 0.1 \text{ mm})$ ($L < 2.5 \text{ mm}$)
有效通光孔径	90%中心区域
内部质量	50 mW绿光检测无可见散射路径或中心
光洁度	10/5 参考MIL-PRF-13830B标准
平面度	$\leq \lambda / 8$ @ 633 nm
透射波前畸变	$\leq \lambda / 8$ @ 633 nm
平行度	20"
垂直度	$\leq 15'$
角度公差	$\leq 0.25^\circ$
倒角	$\leq 0.2 \text{ mm} \times 45^\circ$
崩边	$\leq 0.1 \text{ mm}$
损伤阈值	$> 1 \text{ GW/cm}^2$ @ 1064 nm, 10 ns, 10 Hz (增透膜) $> 0.3 \text{ GW/cm}^2$ @ 532 nm, 10 ns, 10 Hz (增透膜)
质量保证期	一年 (正常使用)

福晶科技可提供镀制如下膜系

- 用于1064 nm倍频的低反射率双波长增透膜AR-1064/532nm, $R < 0.2\%$ @ 1064 nm, $R < 0.5\%$ @ 532 nm)
- 高反膜HR-1064 nm & HT-532 nm, $R > 99.8\%$ @ 1064 nm, $T > 90\%$ @ 532 nm
- 宽波段增透膜 (BBAR-coating) 或保护膜 (P-coating), 用于KTP晶体的OPO
- 高抗激光损伤阈值 ($> 300 \text{ MW/cm}^2$ @ 1064/532 nm)
- 使用寿命长
- 可提供膜系定制服务