三硼酸锂晶体（LiB_3O_5，LBO）

产品介绍

三硼酸锂（LiB_3O_5，LBO）是一种极佳的非线性光学晶体，由中国科学院物质结构研究所研究发现，该专利获国家知识产权局和世界知识产权组织颁发的1999年中国发明专利金奖。LBO晶体及相关非线性器件由福晶福晶科技股份有限公司生长，加工和销售。

主要优点

- 可透光波段范围宽（160-2600 nm，参见图1）
- 光学均匀性好（$\delta n \approx 10^{-6}$/cm），内部包络少
- 倍频转换效率较高（相当于KDP晶体的3倍）
- 损伤阈值高
- 接收角度宽，走离角度小
- I，II类非临界相位匹配（NCPM）的波段范围宽
- 光谱非临界相位匹配（NCPM）接近1300 nm

福晶科技可提供

- 严格的质量控制
- 大尺寸晶体，通光面可达55×55 mm^2，长度可达60 mm
- 镀制增透膜（AR-coating），支架装配和重抛镀服务
- 库货充足
- 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）

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=8.4473 Å， b=7.3788 Å， c=5.1395Å， Z= 4
熔点	约834 °C
莫氏硬度	6 Mohs
密度	2.47 g/cm^3
导热系数	3.5 W/m/K
热膨胀系数	$\alpha_x=10.8\times10^{-5}$/K，$\alpha_y=-8.8\times10^{-5}$/K，$\alpha_z=3.4\times10^{-5}$/K

表2. 光学和非线性光学特性

透光波段	160-2600 nm
SHG相位匹配范围	551-2600 nm（Type Ⅰ）　　790-2150 nm（Type Ⅱ）
热光系数 (/°C，λ in μm)	$dn_x/dT=-9.3\times10^{-6}$ $dn_y/dT=-13.6\times10^{-6}$ $dn_z/dT=(-6.3-2.1\lambda)\times10^{-6}$
吸收系数	＜0.1%/cm @ 1064 nm，＜ 0.3%/cm @ 532 nm
接收角	6.54 mrad·cm　（Φ，Type Ⅰ，1064 SHG） 15.27 mrad·cm　（θ，Type Ⅱ，1064 SHG）
温度带宽	4.7°C·cm　（Type Ⅰ，1064 SHG） 7.5°C·cm　（Type Ⅱ，1064 SHG）
接收谱宽	1.0 nm·cm　（Type Ⅰ，1064 SHG） 1.3 nm·cm　（Type Ⅱ，1064 SHG）
走离角	0.60°　（Type Ⅰ，1064 SHG） 0.12°　（Type Ⅱ，1064 SHG）
NLO系数	d_{eff}（Ⅰ）$=d_{32}\cos\Phi$　（Type Ⅰ，XY平面） d_{eff}（Ⅰ）$=d_{31}\cos^2\theta+d_{32}\sin^2\theta$　（Type Ⅰ，XZ平面） d_{eff}（Ⅱ）$=d_{31}\cos\theta$　（Type Ⅱ，YZ平面） d_{eff}（Ⅱ）$=d_{31}\cos^2\theta+d_{32}\sin^2\theta$　（Type Ⅱ，XZ平面）
非零非线性光学系数	$d_{31}=1.05\pm0.09$ pm/V $d_{32}=-0.98\pm0.09$ pm/V $d_{33}=0.05\pm0.006$ pm/V
Sellmeier 方程 (λ单位μm)	$n_x^2=2.454140+0.011249/(\lambda^2-0.011350)-0.014591\lambda^2-6.60\times10^{-5}\lambda^4$ $n_y^2=2.539070+0.012711/(\lambda^2-0.012523)-0.018540\lambda^2+2.00\times10^{-4}\lambda^4$ $n_z^2=2.586179+0.013099/(\lambda^2-0.011893)-0.017968\lambda^2-2.26\times10^{-4}\lambda^4$

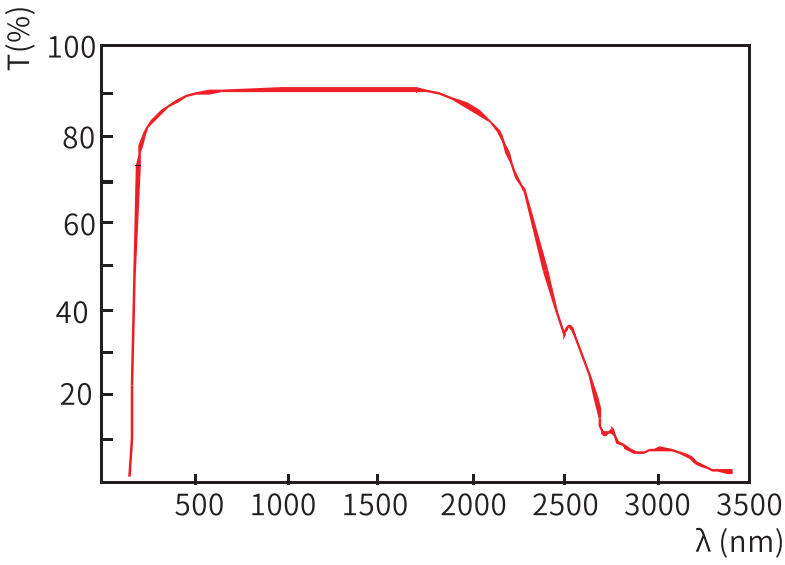

图1. LBO晶体透射曲线

室温下LBO晶体的SHG及THG特性

LBO晶体可用于Nd:YAG和Nd:YLF激光的二、三倍频相位匹配，I类、II类匹配皆可。室温下，在551 nm至2600 nm的较大波长范围，XY面和XZ面（见图2）可实现有效倍频系数最大的I类匹配（有效二阶非线性光学系数见表2）。

LBO晶体最佳II类匹配（有效二阶非线性光学系数见表2）在YZ和XZ面上（见图2）。

据报道使用福晶科技生产的LBO，Nd:YAG激光在脉冲模式和连续模式下获得的二次谐波转换率可分别大于70%和大于30%，三次谐波转换率大于60%。

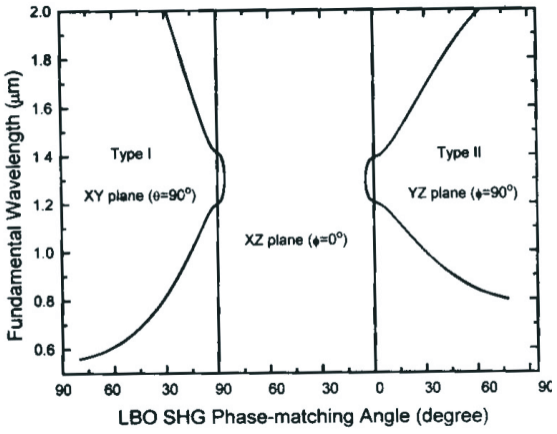

图2. LBO晶体 SHG调谐曲线

LBO晶体二、三倍频的应用

- 对于2W锁模钛宝石激光器（<2 ps，82 MHz），使用LBO晶体倍频可输出功率大于480 mW的395 nm激光。
- 使用18 mm II类LBO晶体倍频的调Q Nd:YAG激光可获得功率大于80 W的绿光输出。
- 使用9 mm LBO晶体的LD泵浦Nd:YLF激光器（>500 μJ @ 1047 nm，<7 ns，0-10 Khz）的倍频转换率可大于40%。
- 利用LBO晶体和频效应可输出187.7 nm 波长的真空紫外光。
- 对调Q Nd:YAG激光进行腔内三倍频可获得输出脉冲能量达2 mJ @ 355 nm的衍射极限光束。

LBO晶体非临界相位匹配

如表3所示，LBO晶体的非临界相位匹配（Non-Critical Phase Matching，NCPM）具有无走离、接受角度宽、有效系数大等特点，充分利用这一特性可使LBO发挥最佳功效。使用非临界相位匹配LBO晶体的Nd:YAG激光在脉冲模式下获得的二次谐波转换率大于70%，在连续模式下获得的二次谐波转换率大于30%，且光束质量好，输出稳定。

如图3所示，室温下LBO晶体可在X轴和Z轴方向分别获得I类和II类非临界相位匹配。

福晶科技为配合LBO晶体非临界相位匹配的应用开发了一款加热炉及温度控制器，详细的技术指标请翻阅第68页。

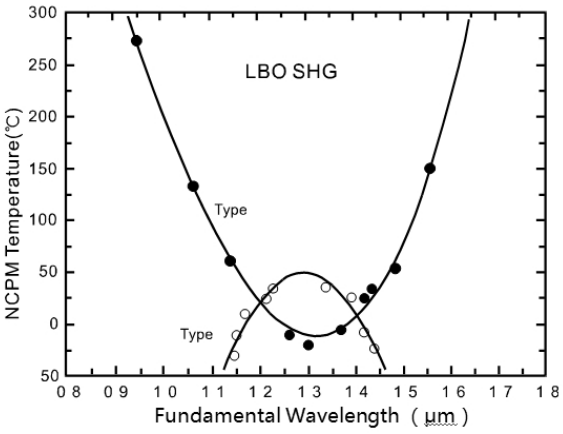

图3. LBO晶体的非临界相位匹配温度调谐曲线

表3. 1064nm光Ⅰ类NCPM的SHG特性

NCPM 温度	148 ℃
接收角	52 mrad·cm
走离角	0
温度带宽	4 ℃·cm
有效 SHG 系数	2.69 × d_{36}（KDP）=1.18 pm/V

LBO晶体的NCPM应用

- 对25 W Antares锁模Nd:YAG激光器（76 MHz，80 ps）腔外倍频可获得平均功率大于11W的532 nm激光。
- 将医用多模调Q Nd:YAG激光倍频可输出20 W的绿光，输入功率越大则输出功率越高。

LBO晶体的OPO和OPA

LBO晶体具有较宽的调谐波长范围和较高的抗损伤阈值，是一种适合于光学参量放大器（OPA）和光学参量振荡器（OPO）应用的优良非线性光学晶体。用二、三倍频的Nd:YAG激光器和308 nm XeCl准分子激光器做泵浦源的OPA和OPO多有报道。LBO晶体的I，II类相位匹配及NCPM的特性为其在OPO和OPA领域的深入研究和应用提供了广阔的空间。图4为XY面上Nd:YAG激光二、三、四倍频泵浦的LBO晶体室温I类OPO理论计算调谐曲线。图5为在XZ面上Nd:YAG激光二、三倍频泵浦的LBO II类OPO调谐曲线。

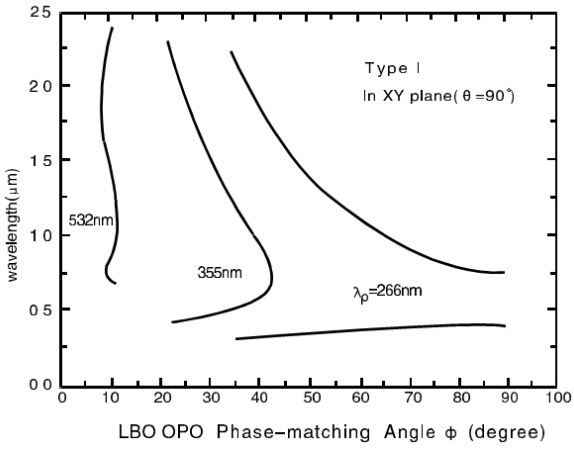

图4. LBO晶体 I类OPO调谐曲线

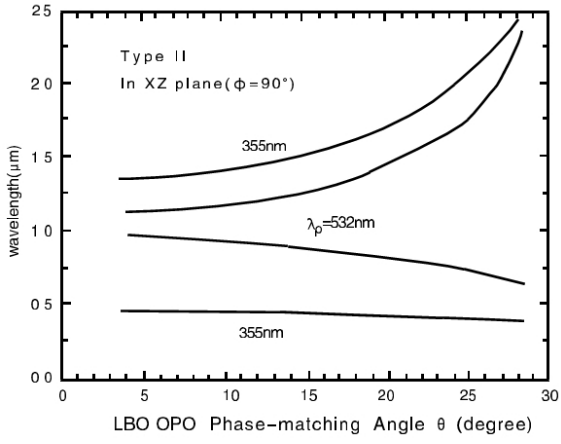

图5. LBO晶体 II类OPO调谐曲线

非线性光学晶体

LBO晶体在OPO和OPA中的应用

- 以355 nm为泵浦光源的OPO具有较高的整体转换率，输出540-1030 nm的可调谐波长。
- 有报道由355 nm光泵浦的I类LBO晶体OPA可实现30% pump-to-signal 能量转换率。
- 由308 nm XeC1 准分子激光为泵浦光源的II类匹配NCPM-OPO系统可实现16.5%的能量转换率，通过不同的泵浦源和温度调节可以获得适合的可调谐波长范围。
- 根据不同的泵源和温度调谐可获得更宽的波长调谐。利用NCPM技术，以Nd:YAG激光器输出的532 nm谐波为泵浦光源，在106.5-148.5 °C的温度调谐下，I类LBO晶体OPA可输出在750-1800 nm范围的调谐波长。
- 以II类的NCPM LBO作光学参量发生器（OPG），I类临界相位BBO晶体作光学参量放大器（OPA），用4.8 mJ，30 ps，354.7 nm的激光泵浦，可得较窄线宽（0.15 nm）和较高pump-to-signal 能量转换率（32.7%），通过提高LBO晶体的温度或旋转BBO可得到波长调谐范围为482.6-415.9 nm的光。

LBO晶体的光谱非临界相位匹配

LBO晶体不仅能够获得角度变化的非临界相位匹配（NCPM），还可以获得光谱变化的非临界相位匹配（SNCPM）。如图2所示，其相位匹配转折点位于λ_1=1.31μm，θ=86.4°，φ=0°（I 类）和 λ_2=1.30 μm，θ=4.8°，φ=0°（II类）；以上两个位置的相位匹配具有较大的光谱接收Δλ；计算所得的Δλ，在λ_1处为57 nm·cm，在λ_2处为74 nm·cm，均大于其他NLO晶体的Δλ。LBO晶体的这些光谱特性非常适用于约1.3 μm 的宽频相干辐射倍频，如某些二极管激光器及某些不带有线宽变窄组件的OPA/OPO输出。

增 透 膜

- 可镀制用于1064 nm倍频的双波长增透膜（DBAR），用于1064nm三倍频的三波长增透膜
- 增透膜具有低反射率（R＜0.2% @ 1064 nm，R＜0.5% @ 532 nm，R＜0.2% @ 355 nm），还可根据应用需要镀制超低反射率（R＜0.05% @ 1064 nm，R＜0.1% @ 532 nm）增透膜
- 宽带增透膜（BBAR）适合于可调谐激光器的倍频应用
- 根据客户应用需求选择IBS或IAD镀膜技术
- 高抗激光损伤阈值
- 使用寿命长
- 可提供膜系定制服务

LBO晶体规格指标

表4. LBO产品指标

尺寸公差	(W±0.1 mm) × (H±0.1 mm) × (L+0.5/-0.1 mm) (L≥2.5 mm) (W±0.1 mm) × (H±0.1 mm) × (L+0.1/-0.1 mm) (L<2.5 mm)
有效通光孔径	中心区域直径的90%
平面度	λ/8 @ 633 nm
透射波前畸变	λ/8 @ 633 nm
光洁度	10/5参考 MIL-PRF-13830B 标准
平行度	20″
垂直度	15′
角度偏差	Δθ≦0.25°， ΔΦ≦0.25°
倒角	≦0.2 mm ×45°
崩边	≦0.1 mm
损伤阈值	>10 GW/cm^2 @1064 nm，10 ns，10 Hz (抛光片) >1 GW/cm^2 @1064 nm，10 ns，10 Hz (增透膜) >0.5 GW/cm^2 @532 nm，10 ns，10 Hz (增透膜)
品质保证期	一年（正常使用）

备注：

- LBO晶体有易潮解性，建议用户在干燥的环境中使用和保存晶体
- 请小心操作，勿损伤LBO晶体抛光面
- 可按客户需求定制LBO晶体，根据提供的激光器主要性能参数，如脉冲激光器的脉冲能量、脉冲宽度、重复频率，连续激光器的功率，以及光束直径、模式条件、发散角、可调波长范围等条件来推荐适合的晶体规格
- 对于薄片晶体，可免费装配支架