

KTP 电光开关*

卢秀权 陈绍和

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 利用 KTP 晶体的有效电光系数 γ_{e1} , 制成电光开关, 实验研究了它的热光效应, 通过温控实现了晶体的静态双折射补偿, 并将它成功地运用于调 Q 脉冲的削波整形。

关键词 KTP 电光开关, 温控, 静态双折射补偿

1 引 言

电光开关是激光系统的重要单元, 利用它可以从锁模序列中选出单脉冲, 可以对调 Q 脉冲进行削波, 它也是电光隔离器中不可缺少的元件。电光开关性能的不断改进, 对一个激光系统提高输出的成功率、稳定性起着十分关键的作用, 合理地选择电光材料是提高开关性能的有效途径之一。KD*P 和 LiNbO₃ 是目前广泛应用于普克尔盒的电光材料, 但它们都有缺点。LiNbO₃ 晶体普克尔盒有低的半波电压, 也不潮解, 但由于它的光学破坏阈值低, 限制了它在高功率激光系统中的应用, 文献[1]指出, 压电效应引起的声光作用使 LiNbO₃ 晶体在高重复率激光系统中的运用变得复杂。KD*P 晶体普克尔盒虽然也有较高的光学破坏阈值, 但半波电压相对较高, 还潮解, 使用时需要密封在一个盒子内, 在端面镀增透膜和加折射率匹配材料, 进一步增加了器件的插入损耗。

KTP 晶体作为相对新的非线性光学材料^[2], 有其独特的优点, 已被广泛用于腔内倍频钕离子辐射的 1 μm 附近的红外激光。以前的测量表明, KTP 晶体还有大的电光系数和低的介电常数, 有比 LiNbO₃ 晶体大一个量级的光学破坏阈值^[2], 并且不潮解, 在整个透明波段, 插入损耗低^[3]。由此可见, KTP 普克尔盒保留了以上两种开关优点的同时, 克服了它们的缺点。然而, KTP 是双折射晶体, 我们在应用 KTP 普克尔盒时, 关键是要补偿它的静态双折射。本文首先分析了 KTP 晶体的电光效应, 导得了晶体的静态双折射与温度的关系, 并通过温控实现了晶体的静态双折射补偿。然后将带温控的 KTP 普克尔盒用于调 Q 激光脉冲的削波整形。

2 KTP 电光开关

KTP 属正交晶系, mm 点群, 电光张量的非零元素分别是 $\gamma_{13}, \gamma_{23}, \gamma_{33}, \gamma_{42}, \gamma_{51}$ ^[2]。图 1 是一个 KTP 电光开关的基本结构, 晶体垂直主轴切割, 光沿 y 方向传播, 通光长度是 l , z 方向加电

* 国家高技术 863 基金资助项目。

收稿日期: 1997-11-05; 收到修改稿日期: 1998-02-09

场, 电极间距为 d 。放在晶体两端的两个检偏器的起偏方向相互正交, 并且起偏方向都与 z 轴成 45° 角。

晶体在电压 $V_z = E_z d$ 的作用下, 晶体主轴没有旋转, 只是折射率大小发生了变化

$$n_x'' = n_x - \frac{1}{2} n_x^3 \gamma_{13} E_z \quad n_z'' = n_z - \frac{1}{2} n_z^3 \gamma_{33} E_z \quad (1)$$

光通过长为 l 的晶体后, 相位延迟

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} l (n_x'' - n_z'') = - \frac{2\pi}{\lambda} l (n_z - n_x) + \frac{\pi}{\lambda} n_z^3 \gamma_{e1} V_z \frac{l}{d} \quad (2)$$

其中 $\gamma_{e1} = \gamma_{33} - (n_x/n_z)^3 \gamma_{13}$

I_0 代表入射光强度, 则出射光强

$$I = I_0 \sin^2 \{ \Gamma / 2 \} \quad (3)$$

(2) 式等号右边第一项称为晶体的静态双折射, 用 Γ_s 表示, 这一项可以用波片进行补偿, 也可以通过加热晶体来补偿它, 这样做还能提高晶体的光学破坏阈值^[4]。 Γ_s 可写成

$$\Gamma_s = \Gamma_0 + \Gamma_t \quad (4)$$

其中 $\Gamma_0 = - \frac{2\pi}{\lambda} l_0 (n_{z0} - n_{x0})$ 是室温下晶体的静态双折射。晶体加热后要膨胀, 折射率也要发生变化, 所以热致双折射应由两部分组成

$$\Gamma_t = - \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\partial}{\partial T} \Delta T (n_{z0} - n_{x0}) - \frac{2\pi}{\lambda} l_0 \left[\frac{\partial n_z}{\partial T} - \frac{\partial n_x}{\partial T} \right] \Delta T \quad (5)$$

(5) 式代入(4) 式

$$\Gamma_s = - \frac{2\pi}{\lambda} l_0 (n_{z0} - n_{x0}) \left[1 + \left[\frac{1}{l_0} \frac{\partial}{\partial T} + \frac{\frac{\partial n_z}{\partial T} - \frac{\partial n_x}{\partial T}}{n_{z0} - n_{x0}} \right] \Delta T \right] \quad (6)$$

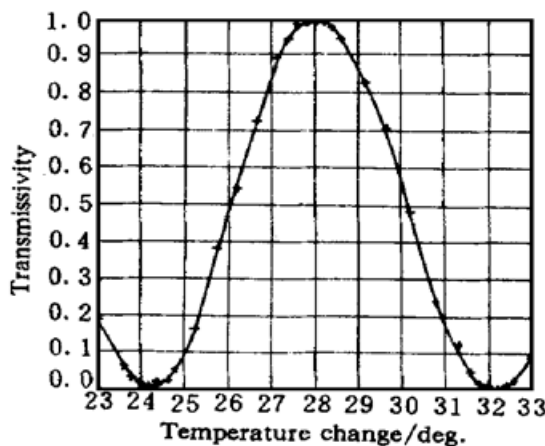


图 2 KTP 电光开关对 $\lambda = 1.053 \mu\text{m}$ 激光的透过率随温度的变化

Fig. 2 Transmission vs temperature of the KTP Pockels cell at $\lambda = 1.053 \mu\text{m}$

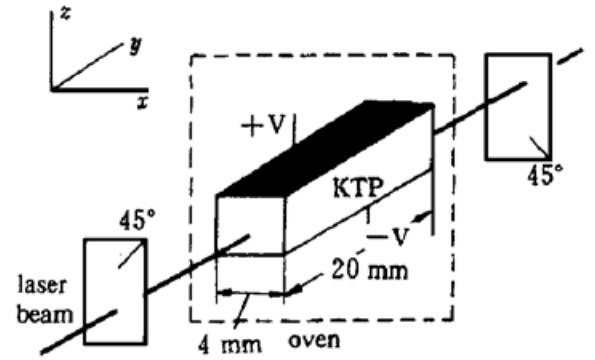


图 1 受温控的 KTP 电光开关

Fig. 1 The temperature-controlled KTP EO switch configuration

实验用开关晶体沿 x, y, z 的尺寸为 $4 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, 假设方程(6)中的常数与温度无关, 根据文献[2], 晶体沿 y 方向的热膨胀系数 $\frac{1}{l_0} \frac{\partial}{\partial T} = 0.9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 折射率随温度的变化是线性的, 对于波长 $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, 有 $\frac{\partial n_z}{\partial T} = 1.6 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\frac{\partial n_x}{\partial T} = 1.1 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $n_{z0} = 1.8639$, $n_{x0} = 1.7634$, 可算得, Γ_s 每变化 2π , ΔT 变化 8.97°C 。对于波长 $\lambda = 1.053 \mu\text{m}$, 根据 Sellmeier 色散方程^[2], 可进一步估算得, 温度周期 $\Delta T = 8.41^\circ\text{C}$, 为了证明这一点, 将晶体置于温控炉里面, 两边放置两块起偏方向相互正交的偏振片, 晶体 z 轴与偏振片的起偏方向成 45° , 用一束功率恒定的波长为 $1.053 \mu\text{m}$ 的激光照射光开关。调节温度, 测得的透过率随温度的变化示于图 2, 在 32.2°C 时, 静态位相延迟得到补偿,

变化的周期约为 8°C, 与计算结果基本相符。

3 削波整形实验

调 Q 脉冲的削波是高功率激光脉冲时间整形技术的一个重要内容, 它一方面要求电光开关具有低的半波电压, 这样可以降低对高压驱动电路的设计要求; 另一方面要求开关本身等效电容小, 响应快, 这样才有可能削得快脉冲。文献[5]报道了部分电光材料(包括 KD*P 和 LiNbO₃) 的测试结果, 表明 KTP 电光开关能够较好地兼顾这两方面的要求。由方程(2)可以计算本开关的半波电压 $V_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{n^3 \gamma_{cl}} \left| \frac{d}{l} \right|$, 对于波长 $\lambda = 1.053 \mu\text{m}$ 的 Nd:YLF 激光, $V_{\lambda/2} = 1.16 \text{ kV}$, 测得的静态电容值为 2 pF。

实验装置如图 3 所示, 其中 1 是单纵模调 Q Nd:YLF 激光器, 工作波长为 1.053 μm, 输出约为 50 ns 的长脉冲; 2 为分光镜; 6, 7 为洛匈双棱镜, 分别作为起偏和检偏; 5 为 KTP 晶体, 置于温控炉里面; 3 为 GaAs 光电导开关; 4 为高压电脉冲形成器, 输出整形电脉冲可适当延迟, 并且幅度可调。当 GaAs 光电导开关接收到从分光镜反射出来的光信号后, GaAs 光电导开关导通, 输出与光脉冲形状一致的电脉冲, 但只有当电脉冲幅度大于预定值时, 才能触发 4 产生高压电脉冲, 以驱动 KTP 普克尔盒削波整形。

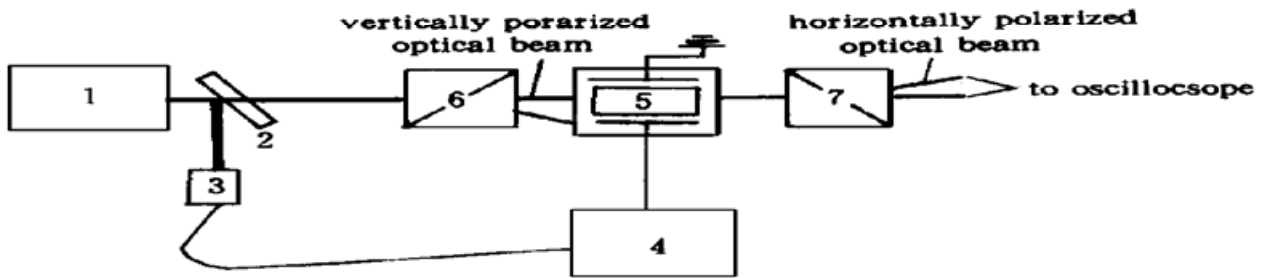


图 3 调 Q 激光脉冲的削波整形系统

Fig. 3 The system for slicing and shaping of Q-switch laser pulses

1: laser oscillator; 2: beam splitter; 3: GaAs photoconductive switch; 4: H. V. pulse generator; 5: KTP with oven; 6, 7: polarizer

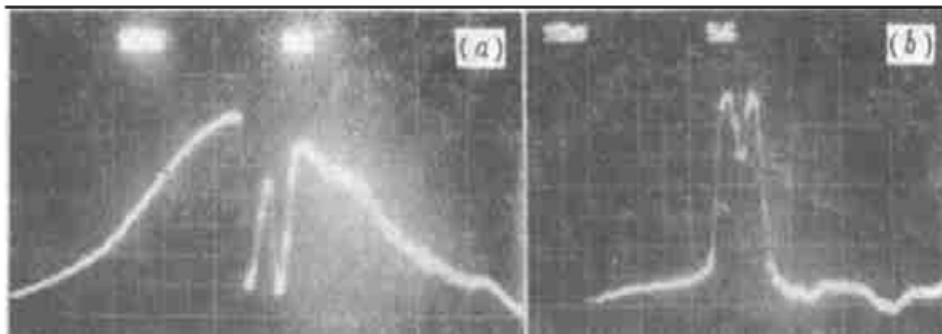


图 4 削得整形激光脉冲的时间波形

(x 轴每格代表 5 ns, y 轴每格代表 100 mV)

Fig. 4 Temporal distribution of the sliced and shaped laser pulses

实验中, KTP 的工作温度为 32.2°C; 实际得到的半波电压稍高于理论计算值, 为 1.2 kV; 削波整形后得到脉宽约为 10 ns, 具有双峰结构的激光脉冲如图 4 所示, 可以看出削波位置稍偏离了调 Q 脉冲峰值, 其实根据该系统同步触发的特点, 只要加或减探头 3 前面的激光衰减片, 并适当调节 4 的延迟时间定位器, 可准确地控制削波位置。

以上对 KTP 普克尔盒的热光、电光性质作了比较仔细的探讨。但这里还需要补充两点, 第一, 在 ps 量级的超短激光锁模脉冲的应用中, 该普克尔盒存在一个缺点, 这与前面用调节温

度来补偿晶体静态双折射这种方法的局限性有关。从方程(6)可见,静态双折射不仅仅是温度的函数,还是波长的函数,根据 Sellmeier 色散方程^[2]及方程(6)可以求得,该开关在 $1\ \mu\text{m}$ 附近的带宽不大于 $0.05\ \text{nm}$,因此,不适用于脉宽小于 $100\ \text{ps}$ 的激光锁模脉冲,解决的办法是使用双块结构的普克尔盒,两块长度一样的 KTP 晶体相对旋转 90° ,这样就能增加器件的带宽,由加工导致的两块晶体的长度误差 Δl 引起的剩余静态双折射可通过调节温度来补偿。第二,该普克尔盒如果作为选脉冲开关或用于调 Q 脉冲的削波,激光波长不会受它的影响。但如果用于腔内调 Q 宽频带激光器,由于此时它是激光器不可分割的一部分,静态位相延迟的色散必将影响激光器的振荡波长。对于象 Nd:YLF 这样的宽频带激光器,静态双折射的色散效应有可能使 Q 开关不能将光关死,严重影响器件调 Q 运转效果。解决的办法之一是对激光器采取限频措施。另外也可以使用双块结构的 KTP 普克尔盒,目前,我们正在试制这种双块 KTP 普克尔盒,用来代替 LiNbO_3 普克尔盒,实现腔内调 Q Nd:YLF 激光器,满足输出高功率巨脉冲的需要。

4 结 论

本文利用 KTP 晶体的有效电光系数 γ_{e1} ,制成电光开关,通过温控,实现了晶体的静态双折射补偿,并将它成功地运用于调 Q 脉冲的削波。该开关综合了许多优点,如半波电压低、光学破坏阈值高、插入损耗小以及不明显的由压电效应引起的声光作用,是 LiNbO_3 和 KD^*P 晶体普克尔盒等无法比得上的。通过采取一些措施,可以将 KTP 普克尔盒运用于腔内调 Q 高功率 Nd:YLF 激光器。

致谢 感谢马中林工程师在电路设计方面给予的热心指导。

参 考 文 献

- 1 X. D. Wang, P. Basseras, R. J. Dwayne Miller *et al.*. Regenerative pulse amplification in the 10-kHz range. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(15): 839~ 841
- 2 John D. Bierlein, Herman Vanherzeele. Potassium titanyl phosphate: properties and new applications. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1989, **6**(4): 622~ 632
- 3 F. C. Zumsteg, J. D. Bierlein, T. E. Gier. $\text{K}_x\text{Rb}_{1-x}\text{TiOP}_4$: A new nonlinear optical material. *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**(11): 4980~ 4985
- 4 H. Vanherzeele. Optimization of a cw mode-locked frequency-doubled Nd:LiYF₄ laser. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(17): 3608~ 3615
- 5 J. D. Bierlein, C. B. Arweiler. Electro-optic and dielectric properties of KTiOPO_4 . *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(15): 917~ 919

KTP Electro-optic Switch

Lu Xiuquan Chen Shaohu

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The fabrication of a KTP Pockels cell utilizing the effective EO coefficient of the crystal is reported. Compensation of the static birefringence of the switch was achieved by temperature turning. Then the device was successfully used to slice and shape the Q -switched laser pulses.

Key words KTP electro-optic switch, temperature tuning, compensation of static birefringence