
实验 14 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 脉冲激光器电光调 Q 与倍频实验

(I) $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器的电光调 Q 实验

引言

激光器可以分为连续激光器和普通激光器。一台普通的脉冲固体激光器，输出的光脉冲宽度是几百微秒，甚至是毫秒量级，峰值功率只有几十千瓦级，显然满足不了诸如激光精密测距、激光雷达、高速摄影、高分辨率光谱学研究等的要求，正是在这些要求的推动下，人们研究和开发了调 Q 技术。早在 1960 年激光问世不久，1961 年就有人提出了调 Q 的概念，即设想采用一种方法把全部光辐射能压缩到极窄的脉冲中发射；1962 年，制成了第一台调 Q 激光器，输出峰值功率为 600 千瓦，脉冲宽度为 10-7s 量级；随后的几年发展的非常快，出现了多种调 Q 方法（如电光调 Q、声光调 Q、可饱和吸收调 Q 等），输出功率几乎呈直线上升，脉宽压缩也取得了很大进展；到了 80 年代，调 Q 技术产生脉宽为纳秒（ns）量级，峰值功率为吉瓦（GW）量级的巨脉冲已并非困难。调 Q 技术的出现是激光发展史上的一个重大突破。它不仅大大推动了上述一些应用技术的发展，而且成为科学研究的有力工具。

一、实验目的

- 1、掌握电光 Q 开关的原理及调试方法。
- 2、学会电光 Q 开关装置的调试及主要参数的测试。

二、实验原理

1、激光器工作原理及装置结构

本实验所使用主要实验装置为 XGL-1 型脉冲 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器，主要采用了闪光灯泵浦、开关电源、电光调 Q、腔外倍频技术。利用具有连续光谱的闪光灯照射 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 晶体，Nd 离子就从基态 E_1 跃迁至激发态 E_4 的一系列能级，其中最低的两个能级为 ${}^4F_{5/2}$ 和 ${}^4F_{7/2}$ ，相应于中心波长为 $0.81\mu\text{m}$ 和 $0.75\mu\text{m}$ 的两个光谱吸收带。由于 E_4 的寿命仅约为 1ns，所以受激的 Nd^{3+} 离子绝大部分都经过无辐射跃迁转移到了 E_3 态。 E_3 是一个亚稳态，寿命长达 250—500 μs ，很容易获得粒子数积累。 E_2 态的寿命为 50ns，即使有粒子处在 E_2 ，也会很快地弛豫到 E_1 。因此，相对 E_3 而言， E_2 态上几乎没有粒子。这样，就在 E_3 和 E_2 之间造成了粒子数反转。正是 E_3 — E_2 的受激辐射在激光谐振腔中得到增益而形成了激光，其波长为 $1.064\mu\text{m}$ 。只要泵浦光存在， Nd^{3+} 离子的能态就总是处在 E_1 — E_4 — E_3 — E_2 — E_1 的循环之中，这是一个典型的四能级系统。

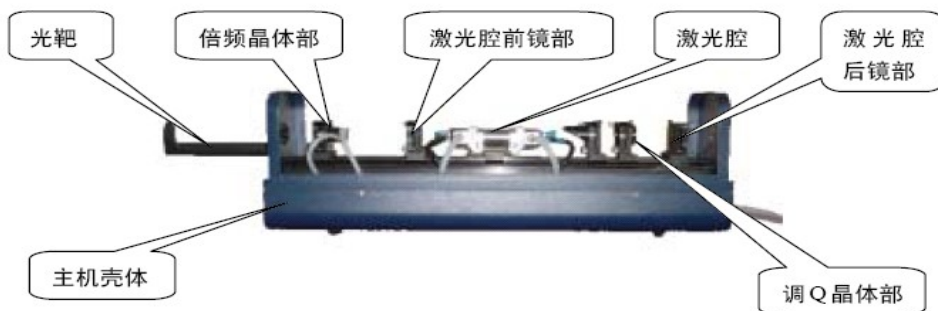


图 14.1 激光器结构

本实验装置主机主要构成：主机壳体；激光腔；倍频晶体（KTP）部；调Q晶体(KDP)部；激光腔前镜部；激光腔后镜部；光靶等，如图14.1。

实验中所使用的激光器的各主要参数如下表：

表 14.1 Nd³⁺:YAG 激光器主要技术指标

主要技术指标		
名称	内容	备注
输出波长	1064nm, 532nm	
输出能量	600mJ (1064nm, 不调Q) 250mJ (1064nm, 调Q) 100mJ (532nm, 调Q)	标称值为在较为理想的调整状态下的测量值
脉冲宽度	~10ns (调Q) ~200 μs (不调Q)	
光束发散角	≤5mrad	
指示激光	632.8nm	
重复频率	1Hz, 5Hz	
储能电容	100 μF	
输入电压	AC220V ± 10%, 50Hz	
最高充电电压	1000V	严禁超过最高电压使用
电光晶体电压	1—5KV (可调)	
退压延时	30—500 μs	

2、激光调 Q 原理

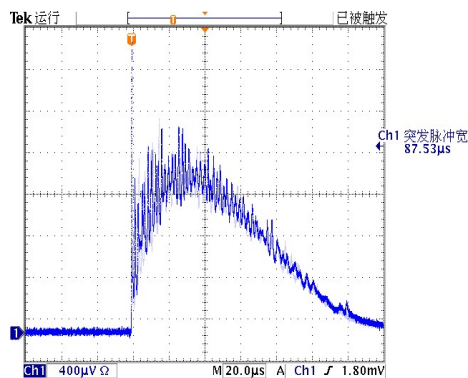


图 14.2 静态激光脉冲中的迟豫振荡

调 Q 技术的发展和运用，是激光发展史上的一个重要突破。一般的固体脉冲激光器输出的光脉冲，是由许多振幅、脉宽和间隔作随机变化的尖峰脉冲组成的，脉冲序列的长度大致与闪光灯泵浦时间相等，其脉宽持续在几 μs 甚至几 ms ，如图 14.2，这种现象称为激光器迟豫振荡。这种情况下，其峰值功率只有 kw 级水平。因此，压缩脉宽，增大峰值功率一直是激光技术所需解决的重要课题。调 Q 技术就是为了适应这种要求而发展起来的。

调 Q 基本概念：用品质因数 Q 值来衡量激光器光学谐振腔的质量优劣，是对腔内损耗的一个量度。调 Q 技术中，品质因数 Q 定义为腔内贮存的能量与每秒钟损耗的能量之比，可表达为：

$$Q = 2\pi\nu_0 \frac{\text{每秒损耗的激光能量}}{\text{腔内贮存的激光能量}} \quad (14.1)$$

式中 ν_0 为激光的中心频率。

如用 E 表示腔内贮存的激光能量， γ 为光在腔内走一个单程能量的损耗率。那么光在这一单程中对应的损耗能量为 γE 。用 L 表示腔长； n 为折射率； c 为光速。则光在腔内走一个单程所用时间为 nL / c 。由此，光在腔内每秒钟损耗的能量为 $\gamma Ec / nL$ 。这样 Q 值可表示为

$$Q = 2\pi\nu_0 \frac{E}{\gamma Ec / nL} = \frac{2\pi nL}{\gamma \lambda_0} \quad (14.2)$$

式中 λ 为真空中激光波长。可见 Q 值与损耗率总是成反比变化的，即损耗大 Q 值就低；损耗小 Q 值就高。

固体激光器由于存在弛豫振荡现象，产生了功率在阈值附近起伏的尖峰脉冲序列，从而阻碍了激光脉冲峰值功率的提高。如果我们设法在泵浦开始时使谐振腔内的损耗增大，即提高振荡阈值，振荡不能形成，使激光工作物质上能级的粒子数大量积累。当积累到最大值（饱和值时），突然使腔内损耗变小， Q 值突增。这时，腔内会象雪崩一样以飞快的速度建立起极强的振荡，在短时间内反转粒子数大量被消耗，转变为腔内的光能量，并在透反镜端面耦合输出一个极强的激光脉冲。通常把这种光脉冲称为巨脉冲。调节腔内的损耗实际上是调节 Q 值，调 Q 技术即由此而得名。也称为 Q 突变技术或 Q 开关技术。

用不同的方法去控制不同的损耗，就形成了不同的调 Q 技术。有转镜调 Q 技术，电光调 Q 技术、可饱和染料调 Q 技术、声光调 Q 技术、透射式调 Q 技术。

本实验以电光 Q 开关激光器的原理、调整、特性测试为主要内容。利用晶体的电光效应制成的 Q 开关，开关速度快；所获得激光脉冲峰值功率高，可达几 Mw 至 Gw ，脉冲宽度窄，

一般可达 ns 至几十 ns, 器件的效率, 可达动态效率 1%, 器件输出功率稳定性较好, 产生激光时间控制程度高, 便于与其它仪器联动, 器件可以在高重复频率下工作等优点. 所以这是一种已获广泛应用的 Q 开关。

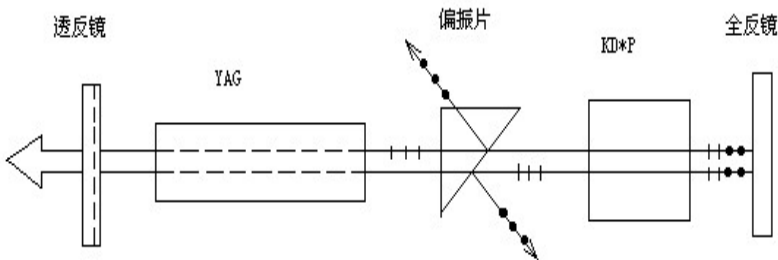


图 14.3 电光 Q 开关工作原理图

如图 14. 3, YAG 棒在闪光灯的激励下产生无规则偏振光, 通过偏振器后成为线偏振光, 若起偏方向与 KD*P 晶体的晶轴 x (或 y) 方向一致, 并在 KD*P 上施加一个 $V_{\lambda/4}$ 的外加电场。由于电光效应产生的电感应主轴 X' 和 y' 与入射偏振光的偏振方向成 $\pi/4$ 角, 这时调制器起到了一个 $1/4$ 波片的作用, 显然, 线偏振光通过晶体后产生了 $\pi/2$ 的位相差, 可见往返一次产生的总相差为 π , 线偏振光经这一次往返后偏振面旋转了 $\pi/2$, 不能通过偏振器。这样, 在调制晶体上加有 $1/4$ 波长电压的情况下, 由介质偏振器和 KD*P 调制晶体组成的电光开关处于关闭状态, 谐振腔的 Q 值很低, 不能形成激光振荡。

虽然这时整个器件处在低 Q 值状态, 但由于闪光灯一直在对 YAG 棒进行抽运, 工作物质中亚稳态粒子数便得到足够多的积累, 当粒子反转数达到最大时, 突然去掉调制晶体上的 $1/4$ 波长电压, 即电光开关迅速被打开, 沿谐振腔轴线方向传播的激光可自由通过调制晶体, 而其偏振状态不发生任何变比, 达时谐振腔处于高 Q 值状态, 形成雪崩式激光发射, 发射出一个能量高度集中的激光脉冲。

三、实验装置

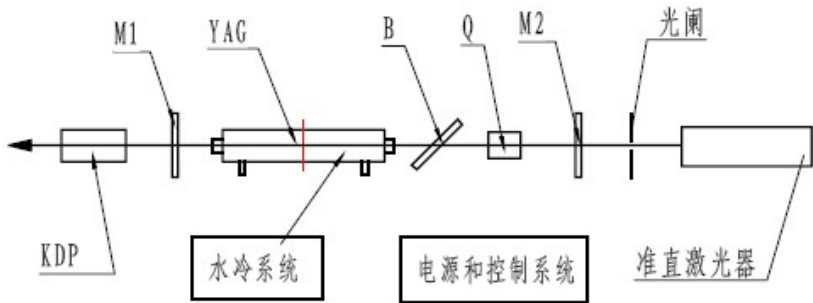


图14.4 实验装置图

- KDP: 倍频晶体 (或 KTP)
- M1: 输出镜 (输出透过率 $T=80\%$)
- YAG: 闪光灯、聚光腔和 YAG 棒组件
- B: 布氏角偏振片
- Q: 调 Q 晶体 (布氏角偏振片与调 Q 晶体组成调 Q 单元)

M2:全反射镜 (M1 和 M2 组成激光谐振腔)

四、实验内容与步骤

- 1、用 He-Ne 激光束或自准直平行光管，调整激光器各光学元件的高低水平位置，使各光学元件的对称中心基本位于同一直线上。再调整各光学元件的俯仰方位，使介质膜反射镜、偏振器、电光晶体的通光面与激光工作物质端面相互平行，不平行度小于一弧分。
- 2、打开水循环控制开关，观察水冷系统的水流流速是否正常，如正常按照以下步骤进行实验；如流速不正常，要检查水冷装置或仪器各连接开关查出并解决问题，水流流速正常后再按照以下步骤进行。
- 3、水流正常情况下，依次打开电钥匙开关、预燃开关、工作开关，启动激光器的工作电源。在不加 $\lambda/4$ 晶体电压情况下，工作电压取 550V，反复调整两块谐振腔片，使静态激光输出最强，记下输出激光能量。对 1.06 微米不可见的红外激光先用烧斑纸对光的有无和能量的大小进行粗略检查，然后用能量计准确测定其能量值。一般称不加调 Q 元件的激光输出为静态激光，而加调 Q 元件的激光输出为动态激光或巨脉冲激光。注意：能量计使用前调到正确的波长，并调零。
- 4、关门试验，加上偏振片及调 Q 晶体，给电光晶体加上恒定的 $\lambda/4$ 电压 ($V_{\lambda/4}$)，光轴绕转动 KD*P 晶体，充电并打激光，反复微调电光晶体，直至其 x、y 轴有偏振器的起偏方向平行。同时适当微调电压 $V_{\lambda/4}$ ，直到激光器几乎不能振荡为止 (出光明显比静态激光能量低)。此即说明电光 Q 开关已处于关闭状态 (低 Q 值状态)。
- 5、接通电光晶体的退压电路，打动态激光，微调闪光灯开始泵浦至退去 $V_{\lambda/4}$ 电压之间的延迟时间电位器，一面观察激光强弱，一面微调延迟电位器旋钮，直到激光输出最强。记下巨脉冲能量值。
- 6、改变脉冲泵浦能量，每增加工作电压 50V 测量一次，用能量计分别测出几组静、动态输出能量。一直测到 800V，计 6 组数据。利用以下公式，分别计算出在同一泵浦能量下的动态与静态激光输出能量之比 η ， η 称为动静比。

$$\eta = \text{动态激光输出能量} / \text{静态激光输出能量}$$

作图画出 η 随外加电压的变化关系。

- 7、按照与打开激光器相反的顺序，依次关闭各控制开关，关闭激光器。

五、实验注意事项

- 1、实验过程中，激光能量密度高，千万注意个人保护，绝对禁止直接或反射的激光射入眼内 (配戴激光防护镜)，不得向激光器腔内窥视，身体切勿接触射出的激光。
- 2、绝对禁止激光照射光亮物体表面、易燃易爆物品。
- 3、调 Q 时，电光晶体上电压有 3000V 左右，调节时注意不要触压！
- 4、电光晶体上外控电压已调好，切勿调节 $\times 10$ 电压旋钮。若退压电路也已调好，切勿调节 Delay 旋钮。
- 5、取放布儒斯特窗和电光晶体千万要小心，不要损伤晶体。不要在调 Q 状态下取放。
- 6、取放倍频晶体千万要小心，不要损伤晶体。

六、预习要求

根据实验要求，查阅激光器产生激光的物理原理、电光效应的原理及应用、光的偏振等相关光学资料，了解产生激光的基本条件，影响激光出射能量的因素，掌握电光调 Q 的原理。

七、思考题

- 1、调Q过程中，若发现调Q后能量很微弱（在烧斑纸上显示斑点减弱），有可能有哪几种原因引起？
- 2、调Q后为什么总能量反而比调Q前有所降低？

附：激光器操作使用方法及注意事项

- 1、连接电源，确定各线路正确连接。然后检查冷却系统的水管是否畅通，有无打结现象，确保水路循环能无阻运行。
- 2、打开位于水箱后控制面板上的电源总开关，此时冷却系统启动，水路开始循环，检查其循环畅通无阻后则可开动激光器。
- 3、在水箱前面是激光器的电源控制面板，启动步骤是：
 - 1) 按“电源”键，开通电源，此时“状态指示”中的“电源”指示灯亮。
 - 2) 开启“预燃”键，此时“状态指示”中的“预燃”指示灯亮。
 - 3) 一切正常后，开“启动”键，此时“状态指示”中的“启动”指示灯亮，慢调“电压调节”键由低到高输入氙灯电压，至出激光为止（大概在 500V 左右就会很清晰了，用上转换片在导轨上接受则可观察到绿色光斑，调试使输出圆整均匀的光斑即可）。
 - 4) 完成上述“静态激光的调试”后，可以开启调 Q 控制输出“动态激光”。控制氙灯电压（“电压调节”键控制）在较低输入（500V 以下为宜），先开启“晶压”键给晶体加上高压（输入的高压由晶体而定，是个定值。一般定好后不再改动，除非更换晶体。由“晶压调节”控制高压输入值。），此时“状态指示”中的“晶压”指示灯亮。调节晶体角度位置完成“关门”后，开启“退压”键，此时“状态指示”中的“退压”指示灯亮。给晶体退压，输出动态激光。
 - 5) 在“频率选择”栏里，有三种频率控制，是内信号控制分别是：每秒！次，每秒 5 次，每秒 10 次，即表示每秒输出激光的次数，也即，激光器的工作频率。外信号为外部加入，一般由自己的需要而定。外信号接口在电源的后面板。
 - 6) 关机顺序：如在动态工作，先关“退压”键，再关掉“晶压”键。然后关闭“启动”键，待到氙灯电压显示面板的指针慢慢返回零点后，再关“预燃”键，完了就可以关闭“电源”键。最后关闭水箱后控制面板上的电源总开关，水系统也停止工作。此时应将激光器用干净的布遮盖，防止入灰尘。
 - 7) 在整个调试工作过程中应避免“急开急停”，防止故障，要平稳变化调节。

实验 14 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 脉冲激光器电光调 Q 与倍频实验

(II) $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器的倍频实验

引言

强度较弱的光场，如普通光源的光场，在与物质相互作用时，物质对光场呈现线性性质。产生的各种光学现象，如折射、散射、吸收等与光场呈线性关系。本世纪 60 年代激光出现后，由于激光能量高度集中的特点，这种强光场足以体现物质对光场的非线性响应，因此开始发现与光强有关的光学效应，通常称为非线性光学效应。1961 年，弗兰肯(Franken)等将红宝石激光器发出的约为 3kw 的 694.3nm 光脉冲聚焦到石英晶体上，出射后观察到了红宝石激光的 347nm 二次谐波即倍频光，这是最早发现的非线性光学倍频现象。倍频技术扩大了激光的波段，可获得更短波长的激光，如将 1064nm 的激光通过倍频获得 532nm 的激光，则可用于眼科治疗、水下测距、水下摄影、水下通讯等。

一、实验目的

- 1、掌握倍频的基本原理和调试技能。
- 2、了解影响倍频效率的主要因素。
- 3、测量二倍频转换效率。

二、实验原理

原子是由原子核和核外电子构成。当频率为 ω 的光入射介质后，引起介质中原子的极化，即负电中心相对正电中心发生位移 r 形成电偶极矩 $m=er$ ，其中 e 是负电中心的电量。我们定义单位体积内原子偶极矩的总和为极化强度矢量 $P=Nm$ ， N 是单位体积内的原子数。极化强度矢量和入射场的关系式为

$$P(r,t) = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}:E^2 + \chi^{(3)}::E^3 + \dots \quad (14.3)$$

其中 $\chi^{(1)}$, $\chi^{(2)}$, $\chi^{(3)}$... 分别称为线性极化率、二级非线性极化率、三级非线性极化率...。并且在一般情况下， $\chi^{(1)}$, $\chi^{(2)}$, $\chi^{(3)}$... 每增加一次极化， χ 值减小七八个数量级。由于入射光是变化的，其振幅为 $E=E_0 \sin \omega t$ ，所以极化强度也是变化的。根据电磁理论，变化的极化场可作为辐射源产生电磁波一新的光波。在入射光的电场比较小时(比原子内的场强还小)， $\chi^{(1)}$, $\chi^{(2)}$, $\chi^{(3)}$ 等极小， P 与 E 成线性关系为 $P = \chi^{(1)}E$ ，新的光波与入射光具有相同的频率，这就是通常的线性光学现象。但当入射光的电场较强时，不仅有线性现象，而且非线性现象也不同程度地表现出来。新的光波中不仅含有入射的基波频率，还有二次谐波、三次谐波等频率产生，形成能量转移，频率变换。这就是只有在高强度的激光出现以后，非线性光学才得到迅速发展的原因。

设有下列两波同时作用于介质，介质产生的极化强度应为二列光波的叠加。有

$$\begin{aligned}
P &= \chi^{(2)} [A_1 \cos(\omega_1 t + k_1 z) + A_2 \cos(\omega_2 t + k_2 z)]^2 \\
&= \chi^{(2)} [A_1^2 \cos^2(\omega_1 t + k_1 z) + A_2 \cos(\omega_2 t + k_2 z) \\
&\quad + 2A_1 A_2 \cos(\omega_1 t + k_1 z) \cos(\omega_2 t + k_2 z)]
\end{aligned} \tag{14.4}$$

经推导得出，二级非线性极化波应包含下面几种不同频率成分：

$$\begin{aligned}
P_{2\omega_1} &= \frac{\chi^{(2)}}{2} A_1^2 \cos[2(\omega_1 t + k_1 z)], \\
P_{2\omega_2} &= \frac{\chi^{(2)}}{2} A_2^2 \cos[2(\omega_2 t + k_2 z)], \\
P_{\omega_1 + \omega_2} &= \chi^{(2)} A_1 A_2 \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (k_1 + k_2)z], \\
P_{\omega_1 - \omega_2} &= \chi^{(2)} A_1 A_2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (k_1 - k_2)z], \\
P_{\text{直流}} &= \frac{\chi^{(2)}}{2} (A_1^2 + A_2^2)
\end{aligned} \tag{14.5}$$

从以上看出，二级效应中含有基频波的倍频分量 ($2\omega_1$)、($2\omega_2$)、和频分量 ($\omega_1 + \omega_2$)、差频分量 ($\omega_1 - \omega_2$) 和直流分量。故二级效应可用于实现倍频、和频、差频及参量振荡等过程。当只有一种频率为 ω 的光入射介质时，那么二级非线性效应就只有除基频外的一种频率 (2ω) 的光波产生，称为二倍频或二次谐波。

获得倍频光时显然应力求具有尽可能高的转换效率。以输出倍频光与输入基频光的功率之比衡量效率高，从理论分析可得倍频效率的关系式如下

$$\eta = \frac{P_{2\omega}}{P^\omega} \propto \frac{\sin(\frac{L \cdot \Delta k}{2})}{(L \cdot \Delta k / 2)^2} \tag{14.6}$$

其中， L 是倍频晶体的通光长度， $\Delta k = 2k_1 - k_2 = 4\pi / \lambda_1 (n_\omega - n_{2\omega})$ 。只有当 $\Delta k = 2K_1 - K_2 = 4\pi / \lambda_1 (n^\omega - n^{2\omega}) = 0$ 时，即 $n^\omega = n^{2\omega}$ 时，效率最高。我们将之称为相位匹配条件，但对一般光学介质大部分属于各向同性介质，由于存在正常色散效应，即相对于频率高的光波折射率总是较高，有 $n^{2\omega} > n^\omega$ ，不满足相位匹配条件。因此需选取特殊的非线性光学介质，此处选用各向异性晶体。对于各向异性晶体，由于存在双折射，可以利用晶体内同一波长的 o 光和 e 光所对应的折射率不同，以及 e 光折射率随入射光波与光轴的夹角而变化的性质来达到相位匹配的目的。因此，为了获得最好的倍频效果，除了入射光要足够强（功率密度高）、晶体的非线性极化系数要大外，还要使特定偏振方向的线偏振光以某一特定角度入射，这个特定的角度由相位匹配条件决定。

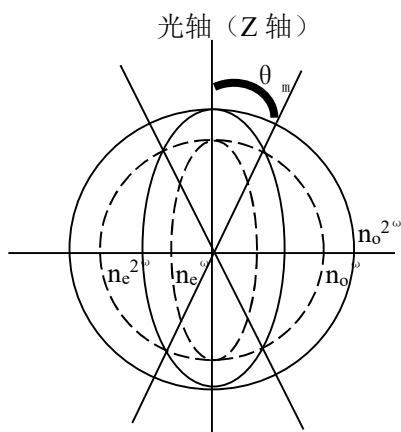


图14.5 负单轴晶体的折射率面

目前常用的负单轴晶体，如KDP，它对基频光和倍频光的折射率可以用图14.5的折射率面来表示。图中实线是倍频光的折射率面，虚线是基频光的折射率面。球面为o光折射率面，椭球为e光折射率面。折射率面的定义为，它的每一根矢径长度（从原点到曲面的距离）表示以此矢径方向为波法线方向的光波的折射率。从图中可以看出，如果基频光是o光，倍频光是e光，那么当波面沿着跟光轴成 θ_m 角的方向传播时，二者折射率相同， θ_m 称为相位匹配角。这种方法称为第一类角度相位匹配，即 $o+o \rightarrow e$ 。

需要注意：相位匹配角 θ_m 是指基频光相对光轴（Z轴）的夹角，而不是入射角，为减少反射损失和便于调整，恒使基频光正入射晶体，在实际晶体切割时，往往使其晶面法线方向与光轴的夹角为相位匹配角 θ_m 。可以想象，相位匹配角 θ_m 实际是以光轴为旋转轴，基频光波法线方向为母线的空间锥体角，因此，基频光在倍频晶体中的方位（以基频光和光轴组成的平面与晶体X轴的夹角 ϕ 表示，称为方位角）对倍频效率也有很大的影响，影响的程度因晶体种类而异。

三、实验装置

由于一般调Q脉冲激光器输出能量比较高，通常采用腔外倍频。这种方法虽不如腔内倍频效率高，但装置简单，便于调整和测量。本实验就是采用了腔外倍频的装置结构。

实验装置见图14.6，并说明如下：

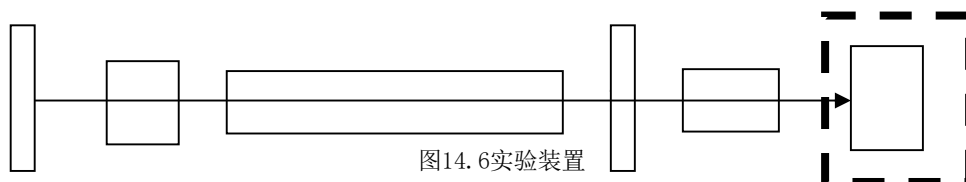


图14.6实验装置

①—④构成YAG激光器振荡级。其中：①是1.06微米全反射镜；②是DKDP电光调Q晶体及介质膜起偏器；③为YAG激光器的主体，包括YAG棒、氙灯、聚光腔和冷却系统；④是输出端平面反射镜，对1.06微米激光半透射半反射，输出能量大于20mJ，脉宽约10ns。经边束调制的YAG调Q激光器产生的1.06微米激光是全偏振光，通常为偏振方向在竖直方向上的o光，以满足倍频晶体相位匹配的要求。⑤KTP倍频晶体，将1.06微米的红外激光转变成0.53微米的绿光。晶体的入射面镀有对1.06微米的增透膜，出射面镀有对0.53微

米的增透膜，倍频效率约 5%~15%。KTP 晶体易损伤，操作时要细心。⑥能量计。

四、实验内容与步骤

由于本实验具有强光和高压电，为保证安全，必须首先仔细阅读实验室注意事项、激光器操作方法，然后才开始操作。

- 1、调整激光器出射光方向，使其和基座导轨同方向并与导轨上各光学器件处于等高的水平方向，这样便于接收调节。检测 YAG 激光器输出光能量是否正常。微调 YAG 放大器基座，与激光器保持共轴，使输出能量最佳。对 1.06 微米不可见的红外激光除可用能量计准确测定其能量值外，还可用烧斑纸对光的有无和能量的大小进行粗略检查。
- 2、由于静态激光输出峰值功率很低，很难得到较高效率的倍频光输出，我们采用动态光下的倍频光作为测量对象，因此按照调 Q 的实验步骤调整好动态激光。
- 3、将倍频晶体、平面分光镜、能量计放置在同一水平高度上。使 KTP 晶体处于 $o+o \rightarrow e$ 的第一类相位匹配方式。
- 4、由于晶体切割时，截面的法线与晶体的光轴夹角即为该晶体的相位匹配角，入射光只要垂直射到晶体上，就可获得最好的倍频效果。转动倍频晶体，使 1.06 微米的基频光以不同角度入射于晶体。从光强的变化中也可看出，当倍频光由弱的圆环或散开的光斑缩为一耀眼的光点时，即达到了最佳匹配状态。鉴于光束的发散，能量计与倍频晶体一般保持在 10cm 处。在测量的过程中，能量计放置的角度也会随着出射光方向的改变稍有变化。
- 5、将倍频晶体固定在最佳倍频位置，用能量计分别测出 1.06 微米的输入光强及 0.53 微

米的倍频光强、计算出倍频效率 $\eta = \frac{I_{2\omega}}{I_{\omega}}$ 。反复测三遍，取平均结果。注意：由输出镜

输出的 1064nm 基频光通过 KTP 倍频晶体后输出包含 532nm 和 1064nm 两种光。为了测得 532nm 激光能量，可以使用滤光片滤除 1064nm 的光。或使用一个 60° 等边色散棱镜将其分光，分别测得各自的能量： $I_{2\omega}$ (532nm 的能量)， I_{ω} (1064nm 的能量)，则倍频效率

$$\eta = \frac{I_{2\omega}}{I_{2\omega} + I_{\omega}}$$

- 6、YAG 激光器电源电压，即改变 1.06 微米基频输入光强，用能量计分别测出有 KTP 倍频和无 KTP 基频的能量，画出光强的关系曲线 $I_{2\omega} = I_{\omega}$ ，工作电压从 500V 开始，每 50V 测一组数据，测到 800V 为止。
- 7、可选实验：利用倍频晶体上的量角器，旋转倍频晶体 KTP 改变角度，选取一定的角度范围，以 KTP 架子上的箭头为基准，以 0 度为中心，每隔 2 度测量一个输出能量，可测量 10 组以上数据，并做 $I-\theta$ 曲线，找出最佳匹配角度。

五、实验注意事项

- 1、实验过程中，激光能量密度高，千万注意个人保护，绝对禁止直接或反射的激光射入眼内（配戴激光防护镜），不得向激光器腔内窥视，身体切勿接触射出的激光。
- 2、由于人眼对强绿光极其敏感容易致盲，操作者严禁佩戴高反射金属饰品，以防强光反射

造成伤害。

3、调 Q 时，电光晶体上电压有 3000V 左右，调节时注意不要触压！

4、取放倍频晶体支架要小心，不要损伤晶体。

六、预习要求

根据实验要求，查阅非线性光学的基本知识，了解主要的非线性光学现象及产生的物理原因，熟悉双折射晶体作为倍频晶体使用时需要满足的相位匹配条件，掌握倍频光产生的原理。