

1/4 波片在 Nd : YAG 激光器谐振腔中的应用

运高谦, 赵君煜

(中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

摘 要: 1/4 波片在 Nd : YAG 激光器谐振腔内有多种应用, 其作用由其在谐振腔内的位置和快轴方向决定。本文以一种电光调 Q 脉冲 Nd : YAG 激光器谐振腔为例, 详细分析了 1/4 波片在谐振腔内的各种应用。并提出通过调节 1/4 波片的快轴方向来控制激光器偏振方向的方法。

关键词: 谐振腔; 1/4 波片; 快轴; 偏振

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Application of Quarter Wave Plate in Nd : YAG Laser Resonator

YUN Gao-qian, ZHAO Jun-yu

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: A quarter wave plate (QWP) is frequently used in a pulse Nd : YAG laser resonator and its function is determined by its location and the direction of the fast axis in the resonator. This paper gives a detailed analysis of the application of QWP in a typical pulse Nd : YAG laser resonator. Particularly, a method to control the polarization of the laser beam by adjusting the fast axis direction of QWP is proposed.

Key words: resonator; quarter wave plate; fast axis; polarization

1 引言

Nd : YAG 激光器^[1,2]属于四能级激光系统, 与其它类型的固体激光器相比较, 具有量子效率高和受激辐射截面大的优点。其阈值比红宝石和钕玻璃激光器小得多, 而且钕铝石榴石晶体具有高的热导率, 易于散热, 因此, Nd : YAG 激光器不仅可以单脉冲运转, 还可以高重复率运转。目前, Nd : YAG 激光器已广泛应用于物理、化学、工程、医学等各个领域, 是用得最多的固体激光器。在 Nd : YAG 激光器的使用过程中, 有时对激光束的偏振方向有特殊的要求, 有时需要将水平偏振光变为竖直偏振光, 有时则相反。为了尽可能减少附加光学器件对激光输

出特性的影响, 直接调节激光谐振腔内 1/4 波片不失是一种可行的方法。本文将结合一种商业化的脉冲 Nd : YAG 激光器的谐振腔, 详细分析 1/4 波片在谐振腔内的各种应用, 同时介绍如何利用激光器谐振腔内原有的 1/4 波片的组合实现激光束偏振方向的改变。

2 激光器及其谐振腔工作原理

Powerlite Precision II 9010 Nd : YAG 激光器是 CONTINUUM 公司生产的一台脉冲激光器, 其主要激光参数如下:

工作物质: Nd : YAG

工作波长: 1064nm

脉冲能量: 2J

收稿日期: 2005-11-06

作者简介: 运高谦(1979—), 男, 中科院等离子体物理研究所硕士研究生, 从事 HT-7 超导托卡马克 Nd : YAG 激光汤姆逊散射研究。

脉冲宽度: 5ns ~ 9ns

重复率: 10Hz

发散角: 0.45mrad

横模结构: TEM₀₀

如图1所示, 激光器采用典型的前级振荡后级放大谐振腔结构, 利用KD*P晶体实现电光调Q。沿KD*P晶体光轴在晶体两端加上适当电压后, KD*P晶体的作用相当于一个1/4波片, 在其中传播的光束的电矢量将在快轴和慢轴方向上分解为两个本征分量, 通过KD*P晶体后, 在慢轴方向偏振的本征光将滞后于沿快轴方向偏振的本征光1/4周期; 当KD*P晶体两端不加电压时, 它对沿光轴方向传播的光束没有影响。图1中的多层介质膜水平偏振片只让水平偏振光通过。向左传播的水平偏振光经1/4波片1后转换为圆偏振光, KD*P晶体两端未加电压时, 光束通过后仍为圆偏振光, 经腔镜反射后再次通过1/4波片1后转变为竖直偏振光, 它将不能通过偏振片。此时, 谐振腔处于低Q状态, 谐振腔内不能形成激光振荡。在KD*P晶体两端加上电压时, 从偏振片过来的水平偏振光经1/4波片1后转换为圆偏正光, 经KD*P晶体之后, 又转换为线偏振光。经腔镜反射后, 再次通过KD*P晶体和1/4波片1, 重新转换为水平偏振光。该光束可以通过偏振片, 通过1/4波片2后转换为圆偏振光, 通过1/4波片3后重新转换为线偏振光。此时, 激光器处于高Q状态, 腔镜与耦合透镜之间形成激光振荡, 将会有线偏振激光束从耦合透镜输出。从振荡棒出射的光束经两块45°反射镜后进入第一级放大棒, 然后经发散透镜

和石英旋转器后, 进入二级放大棒, 最终产生脉冲激光束。发散透镜的作用是降低或消除由放大棒受热不均匀产生的热透镜效应; 旋转器的作用是将线偏振光的偏振方向旋转90°, 也就是说, 将水平偏振光转为竖直偏振光或者将竖直偏振光转为水平偏振光, 这样做的目的是消除或降低由放大棒的应力双折射效应引起的退偏振^[1,4]。

3 1/4波片在谐振腔内的应用

在以上介绍激光器谐振腔工作原理的过程中, 有两个问题没有说明。第一, 在谐振腔处于高Q状态时, 激光束在腔镜处的偏振方向如何? 第二, 振荡棒输出的激光光束的偏振状态如何? 实际上, 这两个问题与1/4波片和KD*P晶体的放置方式有关。

3.1 激光器工作期间腔镜处激光束的偏振方向

沿光束的传播方向从右向左看, 固定1/4波片1的快轴方向为左偏上45°, 参见图2(a), 从偏振片传播过来的水平偏振光的电矢量在快轴a和慢轴b方向上分解为两个分量。在这两个方向偏振的光束为两束本征偏振光, 其电矢量分别表示为

$$E_a = A \cos \omega t$$

$$E_b = A \cos \omega t$$

经过1/4波片之后, 两束本征偏振光的电矢量将分别为

$$E_a = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$E_b = A \cos(\omega t + \varphi - \pi/2)$$

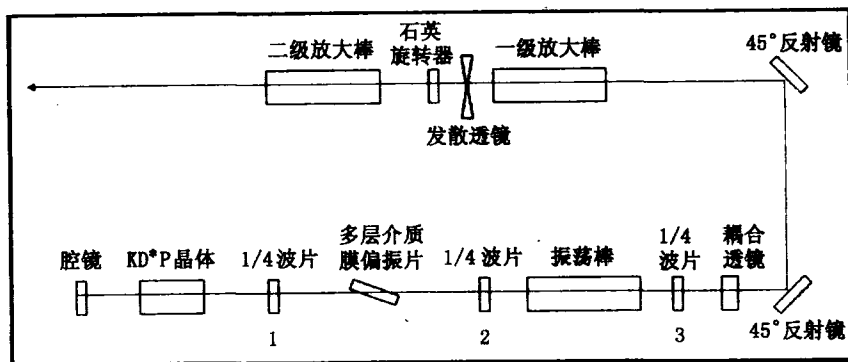


图1 Powerlite Precision II 9010 Nd:YAG 激光器谐振腔示意图

消去 t 后, 得

$$E_a^2 + E_b^2 = A^2$$

可见, 此时光束蜕变为圆偏振光, 见图 2(c)。此后, 光束进入 KD*P 晶体。前面已经提到, KD*P 晶体在工作期间相当于一块 1/4 波片, 因此我们把 KD*P 晶体当作 1/4 波片处理。若 KD*P 晶体的快轴方向与 1/4 波片快轴方向一致, 则光束通过 KD*P 晶体之后, 两束本征偏振光可表示为

$$E_a = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$E_b = A \cos(\omega t - \pi)$$

消去 t 后, 得

$$E_a = -E_b$$

可见, 当 KD*P 晶体的快轴方向与 1/4 波片 1 的快轴方向一致时, 腔镜处的激光束的偏振方向为竖直方向, 此时, KD*P 晶体与 1/4 波片 1 的组合相当于一个半波片。光束经腔镜反射后, 再次经过 KD*P 晶体和 1/4 波片 1, 激光束将重新转为水平偏振方向。

若 KD*P 晶体的快轴方向与 1/4 波片的快轴方向垂直, 参见图 2(b)。从 1/4 波片 1 出射的圆偏振光的快轴分量将在 KD*P 晶体的慢轴上偏振, 从 1/4 波片 1 出射的圆偏振光的慢轴偏振分量将在 KD*P 晶体的快轴上偏振。这样, 在 1/4 波片中产生的两束本征偏振光的相位延迟将在 KD*P 晶体中被抵消, 两束本征光的电矢量的关系可表示为

$$E_a = E_b$$

可见, 在腔镜处的光束偏振方向依然是水平方向。经腔镜反射后, 光束依次经过 KD*P 晶体和

1/4 波片 1, 二者在传播过程中产生的相位延迟将相互抵消, 光束偏振方向依然为水平方向。

从以上的分析可以看出, 不管 KD*P 晶体的快轴方向与 1/4 波片 1 的快轴一致还是垂直, 光束经腔镜反射通过 1/4 波片 1 后, 其偏振方向都是水平方向, 不影响激光器正常工作, 不同之处在于腔镜处的光束偏振方向不同。

3.2 振荡棒输出的激光束的偏振方向

振荡棒出射光的偏振方向是由 1/4 波片 2 和 1/4 波片 3 决定的。其分析方法与上面相同。沿着光束传播方向从左向右看, 固定 1/4 波片 2 的快轴方向为左偏上 45°, 见图 2(a)。水平偏振光经过 1/4 波片 2 后蜕变为圆偏振光。若 1/4 波片 3 的快轴方向与 1/4 波片 2 的快轴方向一致, 二者的组合等价于一个 1/2 波片, 线偏振光的偏振方向旋转 90°, 振荡棒输出的激光束的偏振方向为竖直方向。若 1/4 波片 3 的快轴方向与 1/4 波片 2 的快轴方向垂直, 见图 2(b), 两束本征偏振光在两个 1/4 波片中产生的相位延迟相互抵消, 振荡棒输出的光束的偏振方向为水平方向。可见, 振荡棒输出的激光的偏振方向与 1/4 波片快轴方向的放置有关。

4 结论

1/4 波片在激光器谐振腔内有多种应用, 它们在腔内的作用与其在腔内的位置及波片的快轴方向有关。在上述激光器谐振腔中, 1/4 波片与 KD*P 晶体组成 Q 开关, 保证激光器调 Q 的正常工作; 1/4 波片 2 将线偏振光转为圆偏振光在振荡棒中传输, 从而有效避免了空间烧孔效

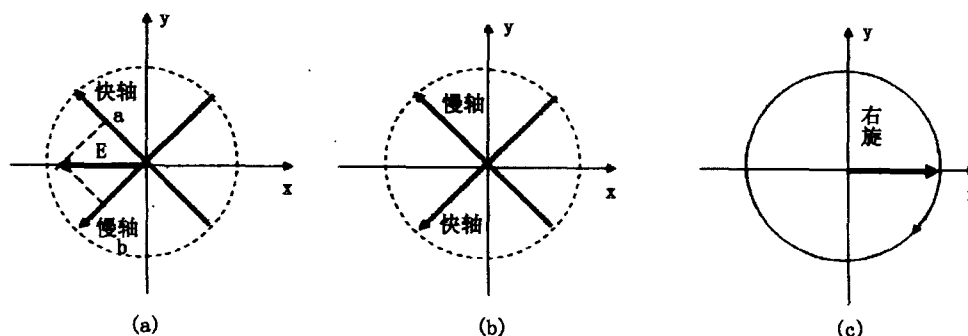


图 2

应; 1/4 波片 2 和 1/4 波片 3 的组合决定了振荡棒输出的激光束的偏振方向, 调节二者快轴的相对方向, 可以输出水平偏振光、竖直偏振光、左旋光、右旋光和椭圆偏振光。在激光器的使用过程中, 有时会对光束的偏振方向提出特殊的要求。为了避免额外的光学器件对光束质量的影响, 一般应尽量避免引入新的光学器件, 在这种情况下, 通过改变谐振腔内 1/4 波片的快轴方向来改变激光器的偏振方向不失为一种有效可行的办法。

参考文献

[1] 周炳琨, 高以智, 陈倜嵘. 激光原理 (第四版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999, 272-278, 369-390.
[2] [西德] W 克西奈尔. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 1983, 58-66.
[3] 雷仕湛. 激光技术手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1992, 149-154.
[4] W C Scott, M de Wit. Birefringence compensation and TEM mode enhancement in a Nd:YAG laser [J]. Appl. Phys. Letters, 1971, 18(1): 3-4.

国外专利介绍

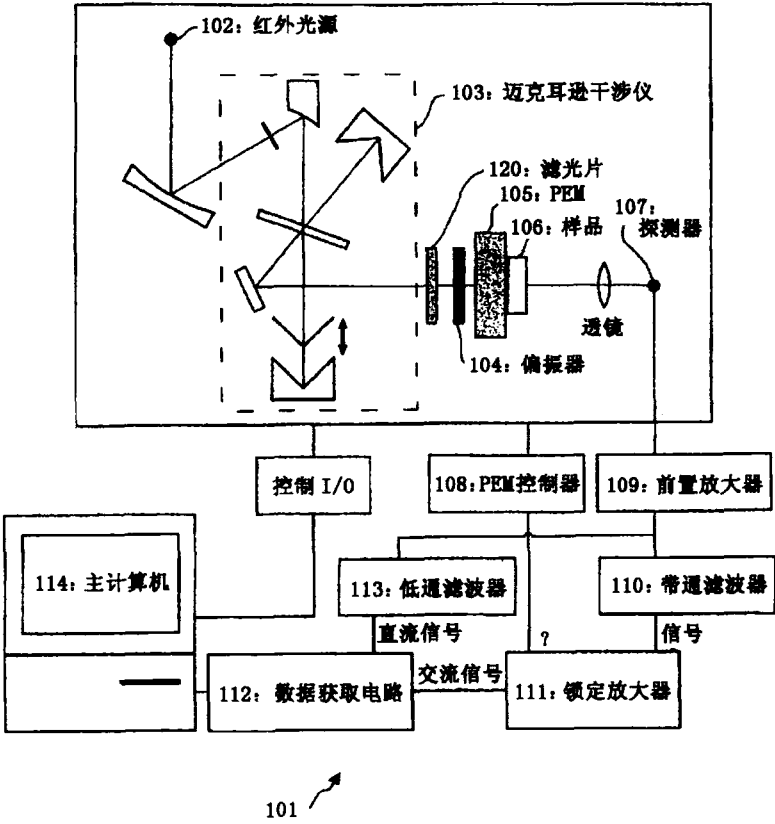
红外圆偏振二向色性测量仪器

美国专利 US7002692
(2006 年 2 月 21 日授权)

本发明提供一种红外圆偏振二向色性测量仪器, 它包括交流信号抽取器 (110 ~ 112)、红外光源 (102)、干涉仪 (103)、探测器 (107)、直流信号抽取器 (113、

112)、计算机以及选择发射器等部件。在交流信号抽取器中, 来自红外光源的干涉光束被转换成顺时针和逆时针圆偏振光束, 然后被照射在样品上, 以便从探测器的探测信号中抽取由各圆偏振光束产生的干涉图; 直流信号抽取器抽取由样品的红外吸收产生的干涉图; 计算机计算圆偏振二向色性; 选择发射器根据与待测结构的振动模式相对应的红外吸收波长区将待测波长区弄窄。

本专利说明书共 14 页, 其中有 7 张插图。



高 编译