

# 大发散角、高功率激光束二次谐波 产生峰功率转换效率的计算

中国科学院物理研究所 朱振和

Q 开关固体激光器发出的巨脉冲激光由于功率密度很高,为避免破坏非线性晶体,往往不聚焦就通过晶体产生二次谐波。如果激光束是 TEM<sub>00</sub> 单模的,发散角接近衍射极限,那么用平面波理论计算转换效率可得到与实验相符的结果。但是有相当多的固体激光器发出的激光束是多模的,而且由于工作物质不均匀,各个模发生了畸变,这时发散角常常远大于衍射极限。在这种情况下不能用现有的理论计算转换效率,因此有必要发展一种估算的办法。我们提出了一个简化的模型,虽然在理论上不十分严格,但可以大致地估算出转换效率。

我们常常只用峰功率、脉宽、光束直径和发散角这几个参数来描述一束激光的性质,因此我们就近似地认为激光功率的近场分布是:在一个圆内均匀分布,圆外为零;其远场分布是:在发散角范围内各个方向上均匀分布,在发散角以外为零。用此模型我们导出峰功率转换效率的近似公式如下:

$$\eta = \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \frac{c}{\theta l} + \frac{2}{\pi} \frac{c}{\theta l} \sqrt{1 - \left( \frac{c}{\theta l} \right)^2} \right] \tanh^2 \frac{l}{l_{SH}} \quad (1)$$

式中的  $l$  是晶体长度,  $\theta$  是光束发散角,  $c$  是与晶体及波长有关的常数,  $l_{SH}$  是相互作用长度,与入射激光的功率密度有关。

我们以 1.06 微米激光在 LiIO<sub>3</sub> 中倍频为例作了数值计算。还从(1)式得出如下推论:①  $l$  有个最佳值,在相当宽的范围内  $l_{最佳} \approx 1.1l_{SH}$ 。②  $l$  在  $l_{最佳}$  附近变动时  $\eta$  改变得较慢。③ 峰功率密度和发散角是决定  $\eta$  的主要因素。大致说来,如果峰功率密度提高到  $n$  倍,而发散角同时增大到  $\sqrt{n}$  倍,则最大可获得的转换效率差不多(注意:并非在  $l$  不变的同一块晶体上转换功率差不多),一般的固体激光器在提高输出功率时发散角会变大,所以常常反而导致转换效率下降。

## 用蒙特卡罗法计算紧耦合聚光腔的聚光效率和抽运光能在晶体中的分布

五机部二〇九所 徐立 贺大经

在电子计算机上用蒙特卡罗方法对聚光腔的聚光效率和抽运光能在晶体中的分布进行了计算分析。聚光效率的计算结果与 Kamizyo 等用成象分析方法和 Skinner 等用蒙特卡罗法计算的结果一致。进一步研究了紧耦合椭圆柱、圆柱和漫反射圆柱形聚光腔的聚光效率和抽运光能在晶体中的分布,绘制了晶体中的等能线图;分析了腔壁反射特性(包括漫反射)、偏心率、晶体侧面性质、全腔冷却方式对聚光效率的影响;分析了直射光的作用。结果表明,在紧耦合情况下,圆柱腔和椭圆柱腔有相近的效率,提高聚光效率的关键是提高腔壁的镜反射率;将晶体侧面打毛变成粗糙的漫反射面,对聚光效率的影响并不显著,但使抽运光能在晶体中呈现出复杂的分布;直射光此时约占晶体吸收光能的 15%,因而晶体中等能线图上的高能区偏向放置灯的一边。

蒙特卡罗法可以更逼真地模拟聚光腔的真实情况,允许腔中的元件有复杂的结构,对各种聚光腔(如紧

包裹形、交接圆形、旋转椭球形等)都可以进行计算分析,并可以同时给出聚光效率和抽运光能在晶体中的分布。因而,用蒙特卡罗法对聚光腔的性能进行的理论分析,对于聚光腔的最佳设计和激光器输出特性的理论研究都是十分有用的。

## 激光晶体调 $Q$ 的最佳化的理论和技术

中国科学院上海光机所 刘立人

本文讨论晶体  $Q$  开关获得最大能量和最窄脉宽的单一光脉冲输出的最佳化原理和技术。

首先对  $Q$  开关过程作理论分析。以激光速率方程为基础,以不同的开关接通时间及腔长、泵浦能量、输出镜反射率等作参数用 TQ-16 电子计算机进行数值解。结果表明,  $Q$  开关接通时间存在临界值,在此临界接通时间内,脉冲形成时间大于接通时间,光脉冲能量和宽度不随接通时间而变,且与瞬时接通时相同,即能量最大脉宽最窄,仅是脉冲形成时间随接通时间逐渐增大。当接通时间太慢而大于临界值时,脉冲形成时间小于接通时间,这时  $Q$  开关尚未完全打开就产生光脉冲,因此随着接通时间加大光脉冲能量减少和脉宽变宽很快,输出性能变坏。这些就是所谓“慢速  $Q$  开关原理”。临界值随腔长增长和泵浦增加而增加,随输出镜反射率增加而减少。为了消除后置脉冲而保证单脉冲,开关慢速打开后还需要逐渐关上,即最佳开关函数应当为马鞍形的函数。

为了得到最佳开关函数及最佳输出,不必追求快速电开关,也不需用以往的  $Q$  开关完全打开后再产生光脉冲的概念。基于上述分析,提出了晶体电压在充放电的动态过程中调  $Q$  而出光脉冲的概念,现称为动态电偏置技术。对于退电压接通的  $Q$  开关使晶体电压从正闭锁电压通过零电压接通点向负闭锁电压充电。对于加电压接通  $Q$  开关使晶体电压从零闭锁点通过开启调制电压向两倍开启电压(即又闭锁)充电。这些充放电曲线就形成了慢速  $Q$  开关的最佳开关函数。这种技术也能自动补偿晶体中存在的严重影响调  $Q$  性能的光弹效应,这是另一特点。本文列举了多种简单的动态电偏置电路;用于退电压的有  $RC$  倒偏置,  $LC$  共振倒置,组合脉冲电路等。用于加电压的有  $RC$  加压,  $LC$  共振充电,变压器双耦合升压电路等。各电路均用电路暂态分析法求得瞬时充放电波形和计算公式,可估算电路参数。由于慢速原理对晶体充放电波形要求宽容较大,各电路十分见效,制作也极简单。

最后研究了普通小可控硅的放电特性,发现了许多可控硅接近转折电压时放电速度急剧加快,超过其说明书上的正常使用情况下的微秒量级,达到  $10^{-8}$  秒;因此适当使用可以代替热阴极或冷阴极闸流管。实验上已取得完全成功。

转镜  $Q$  开关也是慢速开关,也存在最佳转速问题,但其最佳化技术远比晶体开关难得多,比较而言晶体调  $Q$  输出是最好的。

总之,采用可控硅动态电偏置技术能够容易地取得最佳光脉冲输出。再配以单块晶体  $Q$  开关,整个系统特点是简单、可靠、高效和干扰小,实现了小型化和固体化,极适用于激光测距仪等中小应用,已可以实用化。

## 单块 $\text{LiNbO}_3$ 电光 $Q$ 开关 $\text{YAP:Nd}^{3+}$ 激光器的初步研究

中国科学院吉林应用化学研究所 王西坡 张思远 赵贵远 贾留春

钆酸钇( $\text{YAP:Nd}^{3+}$ )是一种新型的激光晶体材料,和钇铝石榴石( $\text{YAG:Nd}^{3+}$ )比较起来,两种晶体在物理化学性质方面非常相似。不同之点,除  $\text{YAP}$  较  $\text{YAG}$  掺杂浓度高、生长周期短、价格便宜外, $\text{YAP}$  是属斜