

三倍频能量测量误差分析

凌鸣逸 王柳水 杨镜新 林康春 林尊琪

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 从理论上分析了影响三倍频能量测量绝对精度和相对精度的若干因素。并且通过简单的模拟实验, 验证了入射角对平板取样分光比的影响。提出了三倍频能量测量中消除杂散光影响的一些特殊的技术措施。

关键词 三倍频能量测量, 精度。

能量测量是激光参数测量最重要的参数之一。在具有多波长激光打靶功能的高功率激光装置上, 要求测量的能量参数包括: 多路基频($1.06 \mu\text{m}$)、二倍频($0.53 \mu\text{m}$)、三倍频($0.35 \mu\text{m}$)激光能量以及一些特殊的能量参数。影响激光能量测量精度的主要因素有: 能量探测器的精度和灵敏度, 取样方式的选择, 非测量光对入射光探头的干扰和能量探测过程中产生的非线性现象。能量探测器的精度和灵敏度是由探测器的制作工艺决定的。本文就非探测器因素对测量精度的影响作一些理论和实验分析, 为能量测量精密化提供一些参考。

1 取样板放置对能量取样测量的影响

取样板为 K9 玻璃, 对 $1.06 \mu\text{m}$ 波长光的折射率 $n_2 = 1.50630$, 空气的折射率近似取为 $n_1 = 1.0000$ 。激光从空气进入玻璃(反之亦可), 其入射角与出射角分别为 i_1 、 i_2 。如图 1 所示, i_1 、 i_2 满足关系式:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (1)$$

则 P 偏振与 S 偏振的能流反射比分别为:

$$\rho_P = [\tan(i_1 - i_2) / \tan(i_1 + i_2)]^2 \quad (2)$$

$$\rho_S = [\sin(i_1 - i_2) / \sin(i_1 + i_2)]^2 \quad (3)$$

根据(1)、(2)、(3)式, 计算出不同入射角时 ρ_P 、 ρ_S 的值, 如图 2 所示。从图 2 可以看出, 除正入射情况之外, ρ_P 与 ρ_S 的值是不相等的, 入射角越大, 差值也越大。因而在能量取样测量中, 第一需要精确知道入射角的大小; 第二需要精确定激光的偏振方向。

为进一步直观地估计因入射角及激光偏振方向的变化所导致的能量取样测量误差, 计算不同入射角情况下能流反射比 ρ 随激光偏振方向变化的关系曲线, 如图 3 所示, 反射比 ρ 采用相对单位, 以正入射情况时的反射比为 100%。其中 α 为激光偏振方向与入射面的夹角。

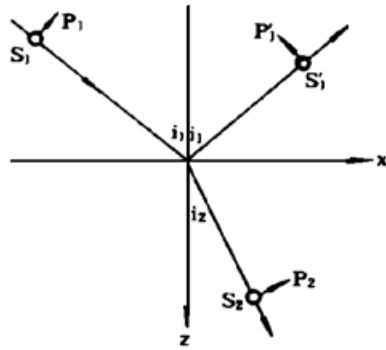


Fig. 1 Input laser, reflex and refract laser geometry diagram

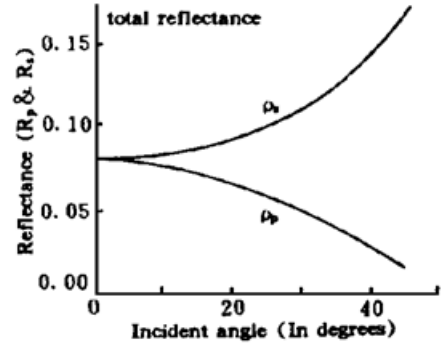


Fig. 2 Laser energy reflex ratio curves

从图 3 可以看出, 在入射角 $i_1 = 10^\circ$ 时, 由于激光偏振方向的变化, 反射比的相对变化已达 $\pm 4\%$ 。这样大的变化必然会给能量取样测量带来较大的误差。当入射角 i_1 变大时, 反射比的相对变化也变大, 当 $i_1 = 30^\circ$ 时, 反射比的相对变化可达 $36\% \sim 44\%$ 。因此, 在能量取样测量工作中, 应注意激光的偏振方向选取和激光退偏水平。

使用平板玻璃取样分光时, 入射角对取样的影响是明显的。在允许误差范围内, 可以认为取样光强为平板前后两界面的两次反射光强度之和。这时取样分光比为:

$$\rho_{total} = \rho + \rho(1 - \rho)^2 \tag{4}$$

式中 ρ 为激光从空气入射至玻璃界面时的反射比。图 4 为平板取样时的分光比曲线。

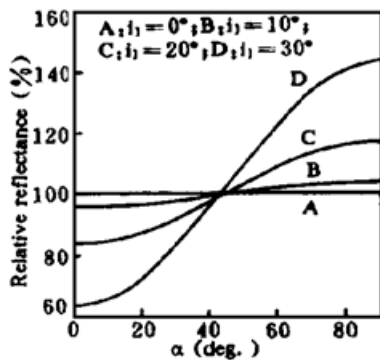


Fig. 3 Incident style: from air to glass
 α : Angle of laser polarized direction and incident surface, ρ : total laser energy reflex ratio

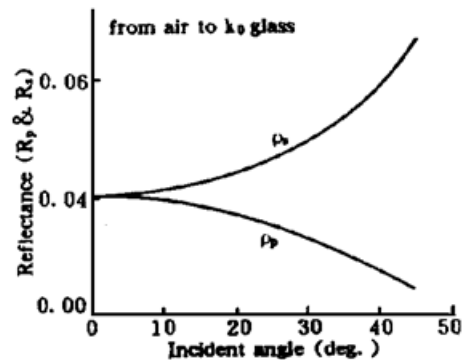


Fig. 4 Split ration curve of plate sampling

按照图 5 中的排布, 从实验上考察了入射角对平板取样分光比影响。

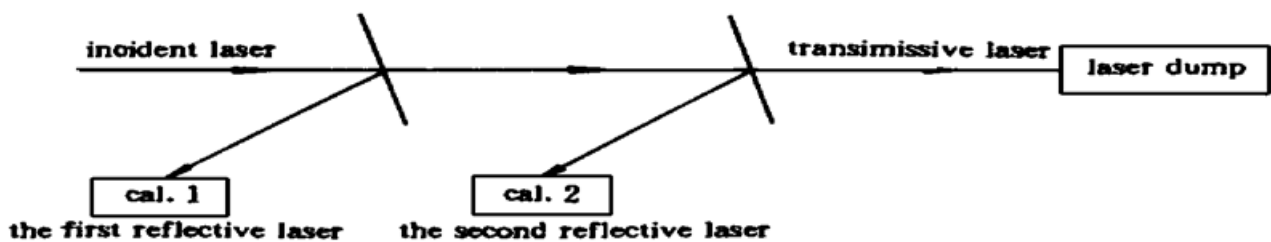


Fig. 5 Plate sample experimental diagram

图中第一块分光板的入射角为 5° , 以这块分光板的取样光能量为基准, 改变第二块分光板入射角, 测量分光比, 与理论值作比较, 在 P 偏振入射条件下得到图 6 的结果。

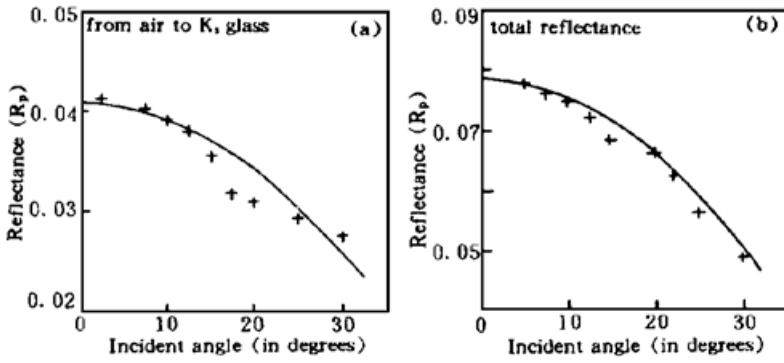


Fig. 6 Experimental data curves

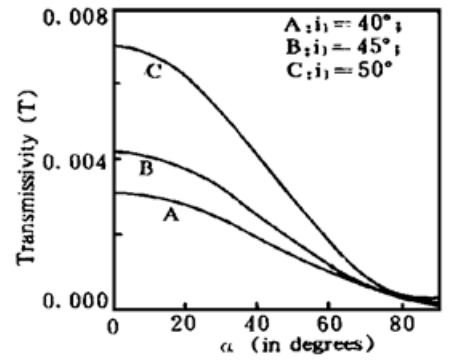


Fig. 7 1.06 μm high reflex surface transmissive curve

在 45°全反板后对激光作取样测量时需要分析计算 1.06 μm 45°高反膜的反射比曲线(如图 7)。光线透过高反镜时,经历了第一介质面的高反射和第二介质面的低反射两次反射过程。从图中可以看出,入射角和激光偏振方向对高反镜的影响是非常敏感的。这一特点必须在透射取样测量中加以注意。其中 α 为激光偏振方向与入射面的夹角。

2 倍频剩余光及杂光对入射光探头的干扰

在激光打靶实验中,经倍频、混频过程之后,基频、二倍频、三倍频激光的能量占有比例大约为 25%、15%、60%。对三倍频能量测量,一个很重要的技术问题是滤去基频、二倍频的能量。假设取样用的靶镜前表面对基频、二倍频、三倍频光的反射比均为 4%,那未到达三倍频的探头之前三种频率的激光的能量比仍为 25%、15%、60%。滤光片采用 5 mm 厚的 ZWB1 材料,对基频、二倍频、三倍频光的反射比分别为 0.2%、0.1%、65%,经过滤光片后的能量比例为 $E_{1\omega} \cdot E_{2\omega} \cdot E_{3\omega} = 0.13\% \cdot 0.04\% \cdot 99.83\%$ 。

对二倍频能量测量,滤光片采用 10 mm 厚的 QB22 材料,基频、二倍频、三倍频的透过率分别为 0.01%、41%、0.05%,经过滤光片后基频、二倍频、三倍频光的能量比例为 $E_{1\omega} \cdot E_{2\omega} \cdot E_{3\omega} = 0.08\% \cdot 99.50\% \cdot 0.42\%$ 。

对基频能量测量,滤光片采用 1 mm 厚的 HWB4 材料,基频、二倍频、三倍频的透过率分别为 77%、0.1%、0.2%,经过滤光片后 $E_{1\omega} \cdot E_{2\omega} \cdot E_{3\omega} = 99.30\% \cdot 0.08\% \cdot 0.62\%$ 。

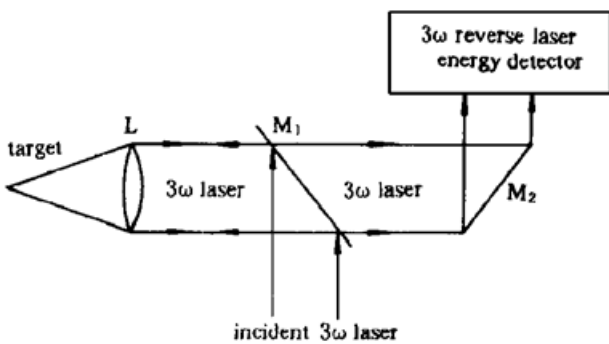


Fig. 8 The optic diagram of 3ω reverse laser detecting

当激光辐照在靶上时,近 10% 的三倍频光被反射,到达反激光探测器,如图 8 所示。

反激光能量测量是一项有较大难度的诊断项目。反激光波面呈会聚或发散型与产生反激光的靶面空间位置有关。使用间接驱动靶,反激光波面还会随时间产生大幅度的变化。由于反激光发散角大,一般来说,应该尽可能在接近靶室窗口的位置取样,探测反激光。

否则会漏掉很大比例的应测能量。在入射激光进入靶室前,最后一块反射镜的背后探测反激光应是可取的,但存在许多原因造成反激光测量误差,包括: 1) 基频、二倍频光对穿激光干扰。2) 后向受激拉曼散射信号干扰。3) 其它非线性谐波辐射干扰。4) 反激光不同退偏

程度引起被测信号反常涨落。

为解决前三种因素影响,在反激光测量位置放置了三倍频全反板 M_2 (见图 8),使其对基频、二倍频、400 nm~700 nm 波长的拉曼光和其它谐波辐射波增透。然后在三倍频能量探头前安放 5 mm 厚的 ZWB1 滤光片。由于滤光片对三倍频光透过率为 65%,而对 400 nm~700 nm 光透过率 $\leq 0.2\%$,这样两个措施相结合可使干扰光的能量水平不会超过应测三倍频反激光总量的 0.2%。对第四种因素的影响,目前还没有较好的办法解决。如果在个别实验中有精确测量反激光绝对能量的特殊需要,只能用插板取样加 ZWB1 滤光片作专门测量。

实际上增加三倍频光全反板的作用主要是抑制等离子体拉曼光干扰。对基频、二倍频光的情况是:基频对穿激光经过基频全反膜后,只有不到 1% 能量能够到达反激光探头。经 5 mm 厚的 ZWB1(透过率 0.2%) 后,由于三倍频光透过率为 70%,基频对穿激光对反激光测量的影响只有 0.2%。二倍频光的透过率为 0.1%,对反激光测量的影响为 0.6%,在允许的误差范围之内。

综上所述,各种杂光对反激光探头的干扰,在采用了图 8 取样结构后,能被控制在允许的测量精度范围之内。

另外还有一个问题是,在较高功率的三倍频激光辐照下,滤光片透紫外玻璃等材料将会产生受激拉曼散射光,从而影响测量精度。据估算,当激光通量达 100 mJ/cm^2 ,受激拉曼散射将会影响探头接收的能量。这种影响到底有多大,如何控制它,目前正在进行实验探索。

结 论 在三倍频光能量测量中,为确保精度,除了要采用先进的工艺改善探测器性能之外,更重要的是要注意入射激光的角度及其偏振特性,严格控制杂光的干扰和取样光的光通量水平,从以上的计算及实验分析看,只要严格把好能量测量取样过程中的每一各环节,实现高精度能量测量是有可能的。

Error Analysis of 3ω Energy Measuring

Ling Mingyi Wang Liushui Yang Jingxin Lin Kangchun Lin Zunqi

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

(Received 26 June 1996; revised 18 September 1996)

Abstract Some factors that influence the absolute and relative accuracy of 3ω energy measurement are analyzed from the laser theory. And through a brief simulation experiment, the effect of incident angle on sampling divided ratio is verified. Some special technical means to avoid stray lights affecting 3ω energy measurement.

Key words 3ω energy measurement, accuracy.