

## 一种高灵敏度的量热式激光能量计

何启楦 荣书琴 王树锋

(中国科学院物理研究所)

### 一、引言

激光研究和应用中,为满足波长从亚毫米波到紫外,能量从  $10^{-8}$ — $10^3$  焦耳,功率从  $10^{-6}$ — $10^{12}$  瓦这样宽范围测量的要求,研究发展了各种各样的检测系统.这些检测系统就其物理机制来说,可分为光电效应和光热效应两类.由于热探测系统容易实现吸收全部入射辐射能量,对宽广的波长范围有平坦的响应,还可用比较简单的系统完成相当高精度的测量,因而迄今量热法仍是最主要和常用的测量方法<sup>[1]</sup>.

量热法主要缺点是灵敏度低.开始,有人认为卡计所测能量最低为十分之几焦耳<sup>[2]</sup>.后来曾有人估计,当辐射功率低于一毫瓦时,进行量热测量是不大可能的<sup>[3]</sup>.但进入八十年代,国外商品卡计测量范围达到了1微焦耳—1焦耳.国内报道的做到200微焦耳—50毫焦耳(或1毫焦耳—1焦耳)<sup>[4]</sup>.本文介绍一种新研制的量热式激光能量计,它既具有面效应量热计灵敏度高的优点,又具有体效应量热计耐强辐射的性能.同一探测器可测量范围为  $3 \times 10^{-8}$ —5 焦耳/厘米<sup>2</sup>,它在新激光器件研制和受激喇曼散射等研究中使用,取得了满意的结果.

### 二、原理

量热法测量原理建立在热力学基本理论基础上.即任何热吸收体的温升  $\Delta T$  与它吸收能量  $E_c$  而产生的热量  $\Delta Q$  成正比,与其有效质量  $M$  和比热  $c$  成反比:

$$\Delta T = \Delta Q / M c = \frac{\alpha E_c}{M c}, \quad (1)$$

式中  $\alpha$  为热功当量.

此温升可以用热电偶来检测.当热电偶(由两种不同的金属 A, B 组成,它们的自由电子密度分别为  $N_A$  和  $N_B$ ,且  $N_A > N_B$ )的一个连结端(热端)与吸收体有理想的热接触,而另一个连结端稳定在测量环境的温度时,热电偶两端产生的热电势与吸收体受辐射后的温升成正比.热电势的大小

$$U = \frac{k}{e} \Delta T \ln \frac{N_A}{N_B}, \quad (2)$$

式中  $k$  为玻耳兹曼常数,  $e$  为电子电荷绝对值.根据热电势,可以得出吸收体所吸收的辐射能量值.

到达吸收体表面的激光辐射能  $E_{in}$  会有吸收体表面反射损失,检测热电偶转换中损失以及吸收体温升后再辐射的损失等等,总计为  $E_1$ ,

$$E_c = E_{in} - E_1, \\ \therefore U = \frac{\alpha(E_{in} - E_1)}{M c} \cdot \frac{k}{e} \cdot \ln \frac{N_A}{N_B}. \quad (3)$$

衡量卡计灵敏度常用的指标是对输入单位辐射能(焦耳),卡计所能给出的电动势(伏)数.由式(3)可见,提高灵敏度的措施应该是:减小吸收体的热容 ( $M c$ );使能量损失  $E_1$  最小,及提高热电转换效率等等.这些措施既互相关连又都受到一定的限制.

### 三、吸收体

Preston<sup>[5]</sup> (1971) 曾设计了一种圆盘式卡

计。吸收体是厚度为 0.1 毫米，直径为 10 毫米的铜片，表面涂黑，背面装上 50 只串联的热电偶。这种结构被广泛采用。但它致命的弱点是不能承受强辐射能。Q 开关或锁模激光器输出的高峰值功率光脉冲很快使其损坏。实际上这种结构不能直接测量 0.5 焦耳/厘米<sup>2</sup> 以上的辐射能。其它设计包括锥型吸收体、炭斗、铝质表面氧化、吸热玻璃等。但或灵敏度低，响应速度太慢，或适用范围较小。

我们研制了用特制、精选的光谱纯致密石墨做的吸收体。这种材料吸收率高、光谱响应特性平坦、导热性好、物理化学性能稳定，还具有较好的机械强度并可以精细加工。将它与涂黑的金属圆盘比较，在相同吸收面积和体积下，可由其比热为 0.16，密度为 1.87 计算出与铜制圆盘（比热 0.093，密度 8.9 并将涂层质量忽略不计）的热容量之比

$$\kappa = \frac{M c(\text{Cu})}{M c(\text{C})} \approx 2.8,$$

显然，这种吸收体的灵敏度将比涂黑铜盘高 2.8 倍。特别应指出：由于它对强辐射能量是以体效应吸收的，因而能用于较强辐射能的测量。

#### 四、减少热损耗

吸收体与金属热电偶之间应电绝缘。但此绝缘层一般导热不良。常用热电丝直径为 0.35—0.65 毫米；热电丝会将吸收体的热量导出散失。这些损失在微弱能量检测时不应忽视。采用在吸收体上真空蒸镀 SiO<sub>2</sub> 膜作绝缘层，使导热较好。根据热量导出的多少与热电丝直径的平方成正比<sup>[6]</sup>，采用直径尽可能小的热电丝（≤0.05 毫米），可使热量损失减少 150—500 倍。

吸收体在装架中应尽量减少热导损失。用尽可能短的热电丝本身做吸收体的支承，免去了其它支承件及带来的热导出损耗。

整个吸收体与外罩间不仅隔热，还再加了一个热屏蔽层。

#### 五、热电偶装接

一般认为可以用增加串联热电偶的对数来提高热电势的输出。但实验证明有一定的限度，见图 1。

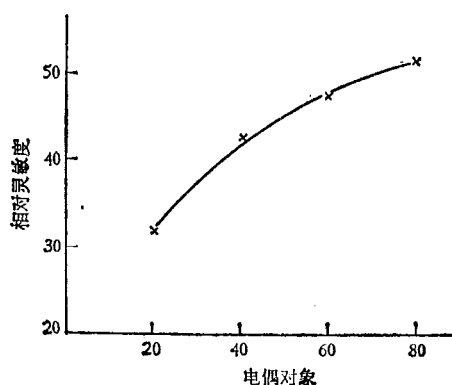


图 1

分析呈饱和趋势的原因包括：热电偶接点引入的吸收体热容增加及对吸收热量的传导作用；还有热电偶串联内阻与外电路的匹配问题。减小热电偶的直径，可减少吸收体热容和热传导，还有利于提高响应速度。而串联热电偶的个数应根据测量范围和外电路的要求而定。

#### 六、实验结果

灵敏度：经中国计量科学研究院测试标定，本能量计配接 AC15/5 型光点检流计，灵敏度为 112 毫米/毫焦耳。即 8.9 微焦耳/毫米。根据电表参数可换算成：33.6 毫伏/焦耳。当使用 AC11 型光电放大器时，灵敏度可达  $3 \times 10^{-8}$  焦耳/毫米。配接数字电压表可达到的灵敏度是：100 伏/焦耳。

耐强辐射：用调 Q YAG 激光器，输出脉宽  $10^{-8}$  秒，能流密度 1.5 焦耳/厘米<sup>2</sup> 进行上千次的轰击实验后，显微镜（100 × 15）下看不出表面破坏。用感度为 0.1 毫克的分析天平称重未见吸收体质量减少。

测量范围：探测器自备内衰减。与光点检流计 ×1 档配合，测量范围可达 10 微焦耳至 5

焦耳/厘米<sup>2</sup>。

测量周期: (实测) < 10 秒。

## 七、典型应用举例

1. 氮分子激光器输出波长在紫外区域; 可调谐染料激光器输出测量要求光谱响应平坦, 灵敏度也要高。本能量计较好地解决了它们的测量问题, 并已为有关单位在鉴定他们这类器件的研究成果时做测量计使用。

2. 激光光谱研究中测量谱线强度时, 本能量计可在一定范围内部分取代谱片记录和光电倍增管检测。如在受激喇曼散射实验中, 从激发光源到高阶正、反斯托克斯散射谱线, 波长从 0.25 微米到 2 微米以上, 能量范围从几微焦耳到几百毫焦耳以上。本能量计可以满足这些测量要求。在几个单位的这类研究实验中, 得到了较满意的结果。

3. 脉冲远红外激光的检测是目前尚未很好解决的问题。本能量计未能对波长 30 微米以上的光谱响应进行定标。但已有实验表明: 对

波长为 66 微米, 94/114 微米, 385 微米, 以及 496 微米的远红外激光输出的检测结果, 与国外文献报道的结果是相符合的。

4. 此能量计在医用激光及激光防护研究工作中亦可使用。

## 八、结 语

这种能量计已推广并批量生产。经 30 多个单位试用, 技术性能是稳定的。我们还完成了激光脉冲能量测量结果的保持并给出数字显示和输出, 以及激光功率和能量测量一机两用的工作, 为提高激光测量精度和连接数据处理系统提供了有利的条件。

## 参 考 文 献

- [1] B. J. Beecherer, F. Grum, *Laser Focus*, 16(1980), 68.
- [2] E. Schiel, *Proc. IEEE*, 51(1963), 365.
- [3] R. W. Zimmerer, *Laser Focus*, 9(1970), 39—44.
- [4] 林文青等, *激光*, 7(1980), 60; 8(1981), 56.
- [5] Preston J. S., *J. Phys. E*, 4(1971), 969—972.
- [6] Gunn. S. R., *Rev. Sci. Inst.*, 45(1974), 93—96.

# 固体激光棒热透镜焦距的测量

张春平 张光寅 冯宝华 赵 军 张川山

(南开大学物理系)

朱云路 刘秀鸾

(天津市激光研究所)

固体激光棒中的热透镜效应对激光器的性能有很大的影响。在固体激光器的热稳腔的设计中也需要知道激光棒的热透镜焦距的数值, 因此测量激光棒的热透镜焦距是必要的和有意义的。我们采用类似于文献[1]中的方法, 测量了三种常用的固体激光棒在泵浦期间和泵浦后, 各个时刻的热透镜焦距的数值。在单脉冲泵浦期间, 红宝石、Nd:YAG 和钕玻璃三种激

光棒的热透镜焦距均为负值。

测量热透镜焦距的原理如图 1 所示。设 He-Ne 探测激光束的束腰半径为  $\omega_0$ , 束腰和光阑离热透镜的距离分别为  $d_1$  和  $d_2$ 。  $\omega_n$  和  $\omega_m$  分别为存在热透镜 (例如负透镜) 和无热透镜时探测激光束到达光阑处的光斑半径, 并且有  $\omega_n > \omega_m$ 。我们把连续分布的热透镜简化为薄透镜, 再由高斯光束通过透镜的传播性质, 可得