

激光功率和能量测量

向立人

(重庆光机所)

Measurement of laser power and energy

Xiang Liren

(Chongqing Institute of Optics and Fine Mechanics)

Three methods, photothermal, photoelectric and thermoelectric methods for measurement of laser power and energy are reviewed. The performances of the available domestic and foreign devices are tabulated, and a brief comment is made on the future development of the measurement components and instruments.

激光功率和能量是描述激光特性的两个基本参数。随着激光技术的不断发展,对激光测量技术和测量仪器也提出了新的要求。近几年来国内外进行了大量的研究,不断改进测量元件和仪器的性能,同时也出现许多新型的激光功率计和能量计,测量技术有了很大发展。特别是国外广泛采用热释电探测器作激光功率、能量和波形的测量,显示了它的优越性。本文着重介绍几种测光所利用的效应和元件,综述了功率和能量测量的方法,并对发展方向作一简要评述。

一、光热法

1. 光热效应,温差热电元件

当激光作用于物质,被物质吸收之后,光能转换为热能,使系统温度升高,直接测出温升并利用已知常数即可算出所测激光的能量^[1]。也可以通过温升引起的次级效应来测量激光功率和能量。利用热电偶将温升转换为电信号在实际应用中比较方便,所以温差

热电元件应用十分普遍。常用热电元件有热敏电阻,金属线热电偶和半导体热电偶。热敏电阻具有灵敏度高(1毫安/微瓦)的优点,但电阻的温度系数受环境温度影响较大,电阻值随温度按指数规律变化而不是线性关系,所以一般只用于近红外信号的定性探测方面。半导体热电偶和金属线热电偶(或由它串连组成的热电堆)可直接将温差转换为电动势而不需外加电源,使用较为方便。热电偶线性好,动态范围宽,光谱响应平坦,性能稳定,广泛用于激光量热法测量中作为温度敏感元件和激光计量标准中的测温元件。铜-康铜丝、镍铬-考铜丝是常用的金属热电偶材料。半导体热电偶灵敏度较高(500微伏/度,50微伏/瓦;可测 10^{-11} ~ 10^{-6} 瓦),热电转换效率达6%,为金属热电偶的6倍以上,是一种较好的热电转换元件。

2. 各种量热计

光热效应用于光度计量已有几十年历史,这种量热法不仅简单可靠,而且容易校

收稿日期:1978年12月14日。

准。激光出现之后,稍加改进的量热辐射计成了第一批激光功率能量测量仪器。这类仪器对波长没有选择性,可作成全吸收式而且容易通过等效电校准达到较高的精度,是一种绝对型测量仪器。这些优点使各种量热计在早期激光测量和激光标准方面都得到了广泛应用。下面介绍几种常用的激光量热计。

(1) 绝对辐射计。这是一种典型的电校准量热型激光测量仪器,国内已研制成了各种形式的辐射计^[2]。长期研究表明,平面型和空腔型结构较合理,性能较稳定,电标精度较高,在0.1~100毫瓦范围内测量误差小于1.5%,已定为全国激光小功率计量标准。

(2) 圆盘功率计。对1瓦以上的连续激光,已不能用小功率辐射计直接测量,因为大量热能将使辐射计吸收体温升很高,甚至烧坏。因此必须把吸收体产生的热量通过传导大量散发出去,达到热平衡。圆盘功率计就是这种传导型仪器,适于几十瓦以下的连续中功率激光测量。这类仪器国内研制较多^[3],已有JG-3型和YP系列定型产品^[4]。圆盘功率计结构简单,使用方便,性能稳定,误差小于2%,已被推荐为我国中功率激光的标准功率计。

(3) 流水功率计。对50瓦以上的连续激光功率,上述中小功率计都不能直接使用。流水式激光功率计能承受更高的功率,线性范围宽,测量范围大,重复性和稳定性较好,准确度也较高,因此国内外都采用流水功率计测量连续大功率激光。国内已研制了几种形式的流水功率计。中国计量科学研究院为了制作大功率激光的标准测量仪器也对流水功率计进行了大量研究,1975年达到测量误差5%,1978年误差降到 $\pm 3\%$ 。苏北电子仪器厂已试制了30~1000瓦的流水功率计^[4]。

(4) 炭斗(炭锥能量计)。吸收体由纯度较高的石墨作成空心圆锥体。温升由紧贴在外壁的热电堆测量。指示器过去多用高灵敏

检流计,现已开始采用放大器和电表指示,也可以直接用数字电压表显示。有关炭斗的资料很多^[5,6]。

炭斗均匀性很差,有时炭斗出现成倍的测量误差。严格按研制要求制作的炭斗,正常情况下误差应小于10%。为了统一全国量值,减小标定误差,中国计量科学研究院研究了一种定标炭斗的方法,标定误差小于4%,已建议有关单位统一采用。

(5) 体吸收能量计。在大功率大能量激光的情况下,普通黑层和面吸收器是不堪一击的。例如阳极氧化发黑的氧化铝对脉宽为0.5微秒的1.06微米激光破坏阈值仅0.3~0.5焦耳/厘米²,黑漆层为0.4~0.6焦耳/厘米²,黑色氧化铜为0.7~1.0焦耳/厘米²,脉冲愈窄,破坏阈值愈低。因此,能耐高强度激光冲击的体吸收能量计近几年发展很快^[7,8]。

对入射光,吸收体的吸收过程是在整个体积中进行的,不至于产生局部高温,因而能承受更高的功率和能量密度。在吸收体背面贴上电校准加热丝,将整个系统放入绝热套中即构成一个体吸收卡计,温升由热电偶转换为电压,用数字电压表指示温差电动势。中国计量科学研究院已用AB9和AB10型中性离子着色玻璃作成了体吸收激光能量计,接收孔径28毫米,波长范围0.3~10微米,测量误差 $\pm 2\%$,最大能量密度35焦耳/厘米²,已经过全国鉴定。作为0.1~40焦耳范围的毫秒脉冲激光的标准能量计。美国国家标准局1972年已研制成BB1型体吸收大功率激光能量计^[9],1973年已开始作为国家标准使用。这种能量计用NG型玻璃作吸收体,适于可见至近红外波段,直接测量0.4~15焦耳,误差小于4.6%。经后来改进的BB2型能量计修正了回向散射和溢出能量,提高了测量精度,测量误差小于4.0%^[10]。阿波罗激光公司已有ALC型电校准数字式体吸收激光卡计产品,接收孔径25~150毫米,灵敏度1毫伏/焦耳,可测最高峰值功率 10^{11}

瓦/厘米²。为了克服固体吸收卡计恢复时间太长的缺点,桑迪亚(Sandia)实验室研制了一种大孔径循环液体吸收卡计^[11,12]。为了满足短时间(几秒)运转的、功率高达万瓦以上的气动CO₂激光能量测量的需要,力学所已研制成一种大功率鼠笼式激光能量计。这种能量计对毫秒脉冲激光能测量的最大能量密度为10焦耳/厘米²,通过转盘衰减,已测到3×10⁴瓦,最大功率密度超过6×10³瓦/厘米²,误差小于±4%。

二、光 电 法

1. 光电效应和常用光电元件

某些物质吸收光能之后将引起能态变化并产生电信号的现象统称为光电效应。利用光电效应作成的常用光电元件有光电管、强流管、光电倍增管、变象管、光敏电阻、光电池、光电二极管和三极管。

强流管实质上是一种快速大功率光电管,阴极是平面型,阳极是网状平面型,分布电容小,极间距离近,缩短了电子渡越时间,减小了散差的影响,所以响应时间很快,在可见和近红外区是一种较好的快速光电转换元件。由于强流管的脉冲线性电流可达4安培,而且可承受较强激光的冲击,所以它在激光波形、功率和能量测量中用得较多。实际应用表明,它的响应时间比光电管和光电二极管快,可测几毫微秒激光脉冲。常用的国产强流管有GD-44AT(S-1型阴极,适于近红外)和GD-44T(S-20型阴极,适于可见光)。

光电倍增管有级电子倍增器,具有较大的内部增益,灵敏度很高,适于小信号探测。其响应时间理论设计可达到亚毫微秒,但目前国内只到几毫微秒,而且很不稳定,同一类管响应时间差别较大。最近资料^[13]报导了Varian公司研制的超快速光电倍增管,可探测上升时间50微微秒的快速激光脉冲,

文中有波形照片。其中VPM-148系列超快速光电倍增管为静横场型,直流至3千兆赫,上升时间120微微秒,四级倍增10³。

光电池是一种廉价而实用的光电元件,常用2CR型硅光电池作可见至近红外波段的连续激光小功率计。光电池的开路电压与光强是指数关系,仅小信号部分可近似为线性,短路电流线性较好,可用于功率测量。光电池接收面灵敏度不很均匀,使用前应严格挑选,最好采用漫反射混光取样,以消除灵敏度不均匀的影响,避免局部强光引起的非线性和灵敏面损伤。光电二极管也是一种体积小,偏压低,使用比较方便的光电元件,可用于激光波形、功率和能量测量,响应时间可达2毫微秒。国内已有大量光电二极管产品。某些专用二极管也已推广使用,有的产品部分性能指标已接近或达到国际先进水平,见表1。

表1 2CU4401型和HP型(美国)PIN硅光二极管性能比较

| 型 号 | 光敏面积 (毫米 ²) | 灵敏度 (微安/微瓦) | 响应速度 (毫微秒) | 结电容 (微微法) | 暗电流 (毫微安) |
|-------------|----------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| 2CU 4401-1 | 0.06 | >0.6 | <2 | 0.5 | ~0.1 |
| 2CU 4401-2 | 0.20 | ≥0.6 | <2 | 1.2 | ≤0.5 |
| 2CU 4401-3 | 0.78 | >0.5 | <2 | 2.5 | ≤2 |
| 2CU 4401-4 | 3.17 | ≥0.5 | <2 | 5.2 | ≤5 |
| HP5082-4203 | 0.2 | 0.6 | <1 | 1.5 | 2 |
| HP5082-4207 | 0.8 | 0.4 | <1 | 5.5 | 2.5 |

国外对这类元件的研究和应用都更加广泛,已有许多适于不同波段应用的快速光电二极管商品,其响应时间已达到0.1毫微秒,暗电流小于50微微安。

2. 光电型功率计和能量计

量热型功率能量计具有光谱响应平坦,使用波段很宽等优点,可对连续或慢脉冲激光进行功率能量的绝对测量,但响应时间慢,大大地限制了它的应用。光电元件具有响应速度快,灵敏度高等优点,特别适于脉冲激光的测量。近几年来光电元件和仪器有了很大

的发展,在激光研究和应用的促进下已研制出了许多适于激光测量的光电元件和仪器。这类仪器结构简单,使用方便,而且可以对激光波形、功率和能量进行综合测试,使用愈来愈普遍。

(1) 连续毫瓦激光功率计 利用硅光电池可作成简单实用的激光小功率计,用于测量 He-Ne 和 He-Cd 激光功率十分方便。这种仪器一般精度不高,误差 10% 左右,而且灵敏度与波长有关,需要在使用波长下进行单色标定,这是一种相对型测量仪器。现在国内已有几种光电功率计定型产品(见表 2)。

国外用光电二极管作成的激光功率计定型产品很多^[44],价格较低,有些仪器还可同时测量能量,并有波形观测输出接头。这类仪器灵敏度高,测量范围宽,大都具有数字显示单元。如 EG&G 公司的 460 型光电探测器测量波段 0.2~1.1 微米,功率测量范围 19.99 毫微瓦至 199.9 瓦,能量范围 19.99 毫微焦耳~19.99 焦耳,动态范围 10^9 ,还可同时输出波形。

(2) JGS-1 型数字式脉冲激光峰值功率计 脉冲激光峰值功率测量对许多研究和应用是十分重要的。过去的测量方法是分别测出脉冲能量和波形,再通过计算确定峰值功率。波形测量需要拍摄清晰而且不失真的脉冲波形示波器照片,条件要求高,麻烦而且误差较大。华北光电研究所和济南无线电四厂联合研制生产的 JGS-1 型峰值功率计用 GD-44 型强流管作光电转换元件,光电信号经放大后由三位数字电压表指示。这种仪器用于直接测量单次或重复脉冲激光的峰值功率十分方便。适用波段 0.4~1.06 微米,测量范围 0.1~100 兆瓦,误差小于 $\pm 15\%$ 。

(3) 光电能量计 光电元件在线性范围工作时光电流与光强成正比,光电流对光脉冲时间积分即得到光脉冲能量,因此可以比较简便地作成各种光电激光能量计。这种光

电型能量计响应时间较快,可对快速脉冲和重复率脉冲激光能量进行即时测量,这对实际应用是非常方便和必要的,也是一般量热型能量计无法达到的。

国内 1970 年开始研究光电自积分激光能量计,现已作成 LEM-1 型能量计。这种能量计用光电二极管作光电转换元件,以充好电的精密电容作二极管的偏置电源,激光照射时电容放出光电流,并在光脉冲作用期间将光电流“自积分”,电容放出光电荷以后产生的电压降与光能量成正比,用电表指示,经单色标定后即可表示所测能量的大小。这种方法简单可靠,对毫秒脉冲(包括重复脉冲)激光能量测量十分方便。测量范围几十毫焦耳至几十焦耳,误差 5%。

用强流管制作的光电积分能量计已研制成功^[45],并用于氮分子泵浦的染料激光能量测量。

国外光电型激光功率能量计很多,部分产品的性能见表 3。

三、热释电法

1. 热释电效应和元件

某些晶体具有自发极化随温度变化的特点,这类晶体受到辐照将产生温度变化,从而引起电偶极矩变化,在晶体表面产生电荷,形成电场,这就是“热释电效应”。

研究表明,热释电晶体受到光照之后将产生与温度变化成正比的热释电流:

$$I = A \frac{dP}{dt} = A\lambda \frac{dT}{dt}$$

其中 A 是探测器的接收面积, P 是材料的极化强度, $\lambda = \frac{dP}{dT}$ 是材料的热释电系数, $\frac{dT}{dt}$ 是辐射加热所产生的温度随时间的变化率。显然热释电元件具有微分方式工作的特点,即只对温度的瞬时变化有响应,而与温度和温度分布无关,不需要达到热平衡,因此热释

电效应产生的电信号与瞬时功率成正比，空间灵敏度均匀。由于自发极化的弛豫时间极短(10^{-12} 秒)，热释电元件的响应时间极快。国外已报导了用亚毫微秒热释电探测器测量锁模 TEMCO₂ 激光波形的结果。根据前述电流方程，若取 $\lambda=5 \times 10^{-9}$ ， $A=10^{-1}$ ，则用能探测到 5×10^{-16} 库仑电量的灵敏静电计可检测出 10^{-6} 度的温度变化，所以热释电效应的灵敏度也是很高的。

常用的热释电晶体有硫酸三甘肽、铌酸锶钡、铌酸锂、钽酸锂、钛酸钡、锆钛酸铅等，它们的热释电系数见下表。

| | | | | | |
|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| TGS | SBN | LiNbO ₃ | LiTaO ₃ | BaTiO ₃ | PZT |
| 3×10^{-8} | 1.1×10^{-7} | 4×10^{-9} | 6×10^{-9} | 2×10^{-8} | 3.5×10^{-8} |

热释电探测器作为宽波段高灵敏度的红外辐射探测器已相当成熟，并得到了广泛的应用。如英国 Rofin 公司研制的 408 型红外探测器^[10]，它由钽酸锂片和集成场效应管放大器组成，用锗片作窗口，封装在 TO-5 型管壳中，探测面直径 2 毫米，适用波段 2~15 微米，10 赫时的电压响应率为 100 千伏/瓦，探测度 1.6×10^8 厘米·赫^{1/2}/瓦，等效噪声功率 1.1×10^{-9} 瓦·赫^{1/2}。激光出现之后，热释电探测器很快用于激光测量。国外已研制和生产了许多适于激光测量用的热释电探测元件和仪器。如美国激光精密仪器公司 (Laser Precision Co.) 生产的 RKP-541 型电校准热释电激光探头，能直接测量 0.25~16 微米波段内的各种激光功率，量程 3×10^{-8} ~1 瓦，

表 2 国内定型仪器性能

| 型号名称 | 主要性能 | 生产(研制)单位 | 备注 |
|--------------------|---|-------------------------|-----|
| JN-1 型 炭锥能量计 | 孔径 $\phi 0.3 \sim 16$ 毫米，可见至近红外 配 JNK-1 型放大器，1~50 焦耳， $\pm 10\%$ | 上海燎原电器厂 (上海激光技术所) | 量热型 |
| JN-2 型 炭锥能量计 | $\phi 5 \sim 40$ 毫米，可见至近红外，配检流计 100 微伏/焦耳，1~50 焦耳，25% | 上海燎原电器厂 (上海激光技术所) | 量热型 |
| JG-1 型功率计 | 6328 埃，0.02~50 毫瓦，10% | 上海燎原电器厂 | 光电型 |
| JG-3 型 圆盘功率计 | 可见至近红外，1~40 瓦，衰减扩程 可到 250 瓦，电自定标 | 上海燎原电器厂 (上海激光技术所) | 量热型 |
| LW-1 型 激光功率计 | 0.3~15 微米，320 微伏/毫瓦，0.1~100 毫瓦 最大输入功率 500 毫瓦， $\pm 4\%$ 。 | 西安无线电 11 厂 (计量院实验工厂) | 量热型 |
| GG-1, 2 型 功率计 | GG-1 型适于 He-Ne 激光，0.1~100 毫瓦 GG-2 型适于 He-Gd 激光，0.1~100 毫瓦 | 苏北电子仪器厂 | 光电型 |
| GG-3 型功率计 | 适于 Ar ⁺ 激光，0.1 毫瓦~10 瓦 | 苏北电子仪器厂 | 光电型 |
| GG-4 型功率计 | 适于 He-Ne 激光，0.1 微瓦~30 毫瓦 | 苏北电子仪器厂 | 光电型 |
| 流水功率计 | 30~1000 瓦 | 苏北电子仪器厂 | 量热型 |
| YP-1, 2 型 圆盘功率计 | YP-1 型适于可见激光，YP-2 型适于 近红外激光，1~250 瓦 | 苏北电子仪器厂 | 量热型 |
| JGS-1 型 激光峰值功率计 | 强流管(GD-44 型)光电转换，数字显示 0.4~1.06 微米，0.1~100 兆瓦， $\pm 15\%$ | 济南无线电四厂 华北光电研究所 | 光电型 |
| LEM-1 型 光电能量计 | 光电二极管(2DU _L 或 2CU2C 型)转换 0.4~1.06 微米， 10^{-2} ~10 焦耳， $\pm 5\%$ | (重庆光机所) | 光电型 |
| SL-1 型功率计 | 0.4~1.1 微米，0.05~50 毫瓦， $\pm 10\%$ | (内蒙工学院) | 光电型 |

0.4~3.0 微米内的误差小于 $\pm 0.5\%$ 。

2. 电校准热释电辐射计

热释电探测器用作激光测量仪器同时具有量热型和光电型仪器的优点, 光谱响应平坦, 适用波段宽, 灵敏度高, 响应速度快, 而且动态范围宽, 空间均匀性好, 承受辐射强度高, 室温工作, 性能稳定, 制作简单, 使用方便。电校准技术方面的进展使测量误差减小到 1% 以下。国外对热释电材料、元件和仪器的研究十分重视, 现在许多公司都制作这类元件和测试仪器, 定型产品很多。近几年出厂的激光测量仪器中, 电校准热释电辐射计比例很大, 性能也很好(见表 3)。如美国激光精密仪器公司的 RK-5000 系列辐射计就是一种电校准热释电型激光参数综合测量仪器^[17], 它包括三种 RKP 型热释电探头和 RQP 型高灵敏硅探头(可测到 10^{-11} 瓦), 可以互换使用, 加衰减器可测到 1 千瓦, 同时还可测辐照度和亮度, 基本误差 $\pm 0.5\%$ (0.4~

3 微米), 宽带 (0.25~16 微米) 最大误差 -4%, 读出方式可采用高精度电表或数字显示单元, 是一种技术先进的高精度激光测量仪器, 用途很广。

热释电元件方面国内早已开展过一些研究。1975 年山东大学制作了一台热释电激光功率计, 使用的材料是 TGS, 测量范围 10 微瓦~10 毫瓦, 表头指示, 测量误差 10%。用于探测 CO₂ 激光田间扫描仪输出功率的 TGS 热释电激光功率监测器也已研制成功。最近国内也有文章提出用热释电探测器作激光功率和能量定标、波形显示和弱信号接收, 还可用于测量激光能量的空间分布, 从而判断激光的模式结构、准直性和稳定性。

四、国内外部分定型测量仪器性能介绍

表 3 国外部分定型仪器性能

| 型号名称 | 主要性能 | 生产厂家 | 备注 |
|--------------|---|---------------------------------|--------------|
| 100 型热电堆 | 0.3~5 微米, 脉冲能量可测到 400 焦耳, 用 102C 型微伏计显示, $\pm 5\%$ | Korad Co. | 量热型 |
| KJ 型液体卡计 | KJ-2 型用于低功率, KJ-3 型用于高功率, 配 102C 型微伏计, $\pm 3\%$ | Korad Co. | 量热型 |
| AIC 型数字式能量计 | 孔径 25~150 毫米, 灵敏度 1 毫伏/焦耳, 峰值功率可测到 10^{11} 瓦/厘米 ² , 有电校准 | Apollo Laser Co. | 量热型 (体吸收) |
| LC 型激光卡计 | 1 毫焦耳~1 焦耳, 最小可测 1 微焦耳, 数字显示, 2% | Advanced Kinetic Co. | 量热型 |
| 500 型绝对功率能量计 | 测量可见至近红外连续及脉冲激光, 直读式, $\pm 2\%$ (NBS) | Oriel Co. | 量热型 |
| 504 型能量功率计 | 配 502 型量热接收头, 可测 5 毫瓦~300 瓦, 配 500 和 501 型光电探头, 可测 5 毫焦耳~300 焦耳, 同时可测波形 | Quantronix Co. | 量热及 光电型 |
| 121A 型数字式功率计 | 0.35~1.1 微米, 10^{-10} ~ 10^2 瓦, 数字显示, $\pm 3\%$, 可测波形, 检测器和积分球总价: \$1495 | United Detector Technology Inc. | 光电型 |
| 51A 型硅探测器 | 1~30 微焦耳, 3~10 毫瓦, 可自动取样保持, 实现无人监测 | United Detector Technology Inc. | 光电型 |
| 52A 型硅探测器 | 高灵敏度 0.5~50 微焦耳, 200 微瓦~20 毫瓦, 低灵敏度 20~2000 微焦耳, 5~500 毫瓦 | United Detector Technology Inc. | 光电型 |

(续表3)

| 型号名称 | 主要性能 | 生产厂家 | 备注 |
|------------------------|--|------------------------------------|----------|
| 212B 型功率计 | 可测 He-Ne、He-Cd 激光, 电表指示, 0.1 微瓦~300 毫瓦 响应时间 20 微秒 | Coherent Radiation Co. | 光电型 |
| 460 型功率计 | 0.2~1.1 微米, 19.99 毫微焦耳~19.99 焦耳, 19.99 毫微 瓦~199.9 瓦, 可测波形 | EG&G Co. | 光电型 |
| LEM-1 型能量计 | 0.5~1.1 微米, 响应时间小于 2 微秒, 误差 7.5%, 能取 样保持每个脉冲的峰值功率和能量, 单价: \$2450 | International Laser System Inc. | 光电型 |
| L820 型功率计 | 可见至近红外, 10^{-1} ~ 10^5 微瓦, 5% | Newport Research Co. | 光电型 |
| 730A 型硅探测器 | 10^{-9} ~ 10^{-3} 瓦, 10^{-9} ~ 10^{-3} 焦耳, 可自动检测 | Optron Lab. | 光电型 |
| 404 型功率计 | 0.45~0.9 微米, 10^{-6} ~5 瓦, $\pm 15\%$ | Spectraphysics Co. | 光电型 |
| 60-530 型功率计 | 0.43~0.8 微米, 0.3 微瓦~30 毫瓦, $\pm 10\%$ | Metrologic Instr. Co. | 光电型 |
| 60-230 型廉价功率计 | 0.6328 微米, 单价: \$75, 主要供教学用 | Metrologic Instr. Co. | 光电型 |
| RK-3230 型热释电辐 射计 | 可见波段 10^{-12} ~10 焦耳, 紫外至红外 10^{-9} ~10 焦耳, 脉宽 100 微微秒~50 毫秒, 同时可测波形 | Laser Precision Co. | 热释电 型 |
| RK-5000 型热释电辐 射计 | 0.25~16 微米, 基本误差 $\pm 0.5\%$ (0.4~3 微米), 宽带误差 ~4%, 加衰减可测到 1000 瓦, 同时可测辐照度和亮度, 探头可互换, 探头 RKP-541, 3×10^{-8} ~1 瓦; RKP-545, 6×10^{-7} ~10 瓦; RKP-549, 3×10^{-8} ~ 10^{-2} 瓦; RQP- 635, 10^{-11} ~ 10^{-3} 瓦 | Laser Precision Co. | 热释电 型 |
| RL3610 型热释电功 率能量计 | 紫外至 10 微米, 10 微瓦~10 瓦, 电表指示, 也适于能量 测量 | Laser Precision Co. | 热释电 型 |
| RS-3900 型电校准热 释电辐射计 | 配有 RKP 型探头和 RS-3940 数字显示单元或 RS-3960 表头指示, 误差 $\pm 2\%$, RKP-312, 100 伏/焦耳, 最大 0.1 焦耳; RKP-314, 5 伏/焦耳, 2 焦耳; RKP-316, 1 伏/焦耳, 10 焦耳 | Laser Precision Co. | 热释电 型 |
| ED 型廉价焦耳计 | 用于快速精确地测定激光能量, 不需前置放大, 下面探头和 读出单元可互换; ED-100 型探头, 50 毫焦耳~50 毫焦耳, \$300; ED-200 型探头, 1 毫焦耳~2 焦耳, \$400; ED-500 型探头, 5 毫焦耳~12 焦耳, \$600; PRJ-D 数字读出单元, \$900; PRJ-A 模拟指示单元, \$700。 | Gen. Tec. Co. | 热释电 型 |

五、评 述

探测元件是测量仪器的关键。激光出现之后量热型辐射计最先用于激光测量,温差热电元件使用最早。由于这种元件稳定可靠,线性范围宽,应用非常广泛,直到现在各国仍用它作为各种标准辐射计的测温元件。响应速度慢是它的主要缺点。随着短脉冲和超短脉冲激光的出现和应用,对探测元件响应速度的要求愈来愈高,具有快响应和高灵敏度特点的光电元件很快得到了广泛应用,光电型测量仪器很快发展起来。光电元件对波长有选择性而且红外不灵敏,给定量测量和标定以及红外波段的应用带来了许多麻烦和限制,因而作为红外常温快速探测器的热释电探测器受到了极大的重视。这种元件具有许多优点,是比较理想的激光探测元件。近几年来国外发展很快,已研制出了许多性能很好的热释电元件和测量仪器。国内已研制出了一些热释电元件,仪器研制已逐渐开展起来,不久即将广泛应用。

从测量仪器发展趋势看,近几年国外组合式多功能的高精度仪器逐渐增多。国外较先进的仪器一般都有几种可互换使用的测量头,以满足不同测量的需要。电表指示、数字

显示或自动记录都作成独立单元,便于自由选择。电校准热释电辐射计不仅扩大了使用功能,加宽了动态范围,而且大大地提高了测量精度,将来甚至有可能代替一些量热型激光标准。另外,线路集成化,显示数字化,记录自动化也是目前仪器发展的一个特点。这样不仅使用方便,性能稳定可靠,而且便于维修。

参 考 文 献

- [1] H. G. Heard; *Laserparameter Measurements Hand Book*, 100(1968).
- [2] 《激光》, 1976, 3, No. 2, 20~25.
- [3] 《激光》, 1977, 4, No. 2, 25~31.
- [4] 《电子测量技术》, 1977, No. 3, 66~67.
- [5] 《固体激光技术基础丛书之五, 激光参数测量》, 2~7 (1976).
- [6] 《计量研究》, 1976, No. 1, 1~22.
- [7] *Appl. Opt.*, 1976, 15, No. 12, 3115~3122.
- [8] *IEEE T.*, 1978, IM-27, No. 1, 81~86.
- [9] *IEEE T.*, 1972, IM-21, 434~438.
- [10] *Opt. Spectra*, 1978, 12, No. 2, 34~36.
- [11] *Rev. of Scientific Instrum.*, 1977, 48, 118.
- [12] *EOSD*, 1977, 9, No. 4, 26.
- [13] *Opt. Spectra*, 1978, 12, No. 3, 17.
- [14] *EOSD*, 1976, 8, No. 9, 33~37.
- [15] 《仪器与仪表》, 1978, No. 1, 1~13.
- [16] *Opt. and Laser Tech.*, 1978, 10, No. 1, 10.
- [17] *Laser Focus*, 1978, 14, No. 4, 2.