

元件与技术

探测弱光信号的新方法

即使射入光电阴极的光通量不变,光电管的输出仍不是固定的,而是随时间作不规则的变化。这种光电发射的不连续和不规则变化的特性通常认为是由“散粒效应噪声”引起的。输出完全平均功率谱由两部分组成:(1)在零频率的 δ 函数,相当于直流分量,通常认为是“信号”,(2)连续不变的交流部分,其频率在零到几个截止频率间,截止频率取决于光电探测电路的RC(电阻—电容)特性。我们指出,对于足够低的通量,功率谱的交流部分较直流部分强,因此,总的散粒效应噪声功率随光通量作线性变化。

因为有两个特性,在这样的情况下用看起来是间接的方法探测信号是方便的,那就是说,忽略较小的“信号”,而通过探测大的“散粒效应噪声”功率,找出与入射光有关的所需的信号。

本文叙述了这种光电探测的新方法并报导了关于它的有效性的实验证明。我们已用这种方法探测低通量的喇曼散射光。这一结果远比用光被切断、光电管输出由同步放大器处理的普通技术所得结果好。

实验装置简略地在图1示出,此装置的设计要求是减低放大器的噪声,并供给一个随入射光通量作线性变化的输出电压。光电电流经过终端电阻R,在并联电阻R上产生的瞬时电压 V 构成了待处理的信号。我们不考虑直流成分或者说平均电压 $\langle V \rangle$,而将波动部分 δV (必须强调由光碰撞光电阴极所产生的影响)输入两个相同的并联宽带放大通路。然后,将交流信号同时放大为 $(\delta V)^2$ 。低通滤波器(RC电路)选出 $(\delta V)^2$ 的直流电压部分,并将其送进记录器。这个被记录的信号和光电管输出的散粒效应噪声功率成比例;因此,它和光电子发射速率 N 成比例(光电发射速率是重要的原始信号),而且它还与此光电倍增器—放大器—倍增器系统的带宽有关。在我们的系统中,B主要取决于终端电阻R(图1)和与光电管相连接的分路电容C、连接电缆等。

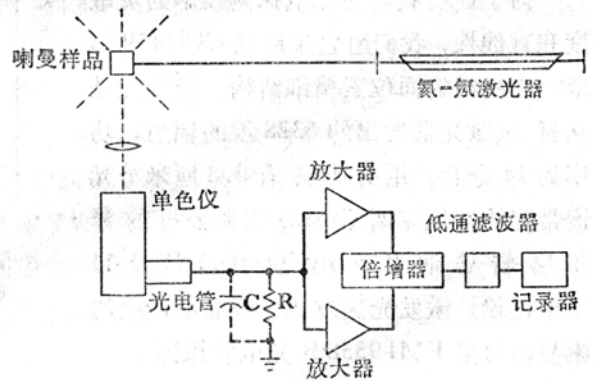


图1 实验装置。

自然，在总平均值 $(\delta V)^2$ 中有波动，此波动出现在倍增器的输出中，但其效果受末级低通滤波器的通带的限制；仅在通带内的波动以噪声出现在记录器的输出中。放大器的噪声显著地减少，因为并联通路中两个放大器间的噪声没有相互关系。但是光电管暗电流噪声和电阻 R 固有的热噪声一样，以处理散粒效应噪声相同的系统处理，它们在输出中产生了直流部分和波动部分。直流部分只引起被记录信号基线的移动，而波动部分则影响探测电路的最低灵敏度。

在我们的实验中，用环状二极管结构实现倍增。此种装置由威耳科克斯 (Wilcox) [2] 加以叙述，又由实验室的齐特 (R. N. Zitter) 和道格拉斯 (G. G. Douglas) 加以改进，使其工作频率为 5 千周/秒至 5 兆周/秒。

在每个通路中，用宽带低噪声放大器 (例如，Tekronix 1121 型或者 Hewlett-Packard 461 A 型) 提供 60 分贝的增益。倍增两个放大器通道输出的技术如图 1 所示，在这里，它不完全采用光电探测原理，也不是新的 [3]。可以用单放大器电路，跟着用平方律检波器或者简单的整流器和低通滤波器。但是，在后一种情况，直流输出和光通量的平方根成比例，这对于许多应用是不方便的。在这两种情况中，放大器噪声造成一个“完全”贡献。

为了证明我们的光电探测技术的灵敏度和直线性，我们用它来研究 CCl_4 459 厘米⁻¹ 喇曼线的同位素精细结构。激发光是从氩-氟激光器发出的 6328 埃的辐射，功率为 14 毫瓦。用的是具有 0.8 厘米⁻¹ 光谱带宽的斯佩克斯 (Spex) 工业公司的泽尔尼-特恩讷 (Czerny-Turner) 1750-11 型单色仪，激发光通过液体样品所产生的喇曼信号用 EMI 9558 B 光电管探测。

所得的谱线在图 2(a) 中绘出。为了进行比较，用普通探测技术扫描喇曼线，在这里，进入单色仪的光被切断，光信号输入一个相灵敏检波器 (普林斯顿应用研究公司 JB-4 型同步放大器)。这结果在图 2 (b) 中绘出。在这两种情况 [图 2 (a) 和 (b)] 中，由最末级的低通滤波器所决定的系统时间常数是 3 秒，这样，这种新的探测方案 [图 2 (a)] 的优点是显而易见的了。

我们用相敏检波法所获得的结果 [图 2 (b)] 比科宁斯太因 (Koningstein) 和史密斯 (Smith) [4] 所发表的稍好。他们也用相敏检波法，其时间常数是 32 秒。其他一些人用这种普通的技术所获得的谱线的分辨率可与图 2 (a) 中的相比，但是他们所用的激发光源 (高压汞弧) 较我们这里所用的强得多。我们相信，图 2 (b) 是到目前为止给定实验条件下用普通技

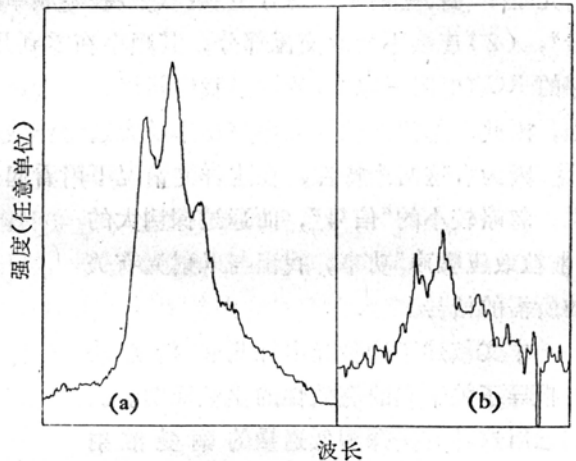


图 2 波长 CCl_4 同位素结构 459 厘米⁻¹ 喇曼带。通量和波长的关系。两主要尖峰的间距为 ≈ 3.3 厘米⁻¹ (功率 $P_0 = 14$ 毫瓦; 缝隙 = 0.8 厘米⁻¹; 扫描 = 2.4 厘米⁻¹/分; 时间常数 = 3 秒)

(a) 用现在的方法测定的。

(b) 用同步放大器测定的。

术所获得的结果中最好的。

图2的实验条件：光电倍增后的平均直流暗电流是 4×10^{-10} 安，光电流阳极的最大直流喇曼信号是 1×10^{-9} 安。在所用的工作电压下，这大致分别相当于 0.8×10^3 和 2×10^3 电子/秒的光电阴极平均光电发射率。

对于这种新的探测方法，我们估计在喇曼最大值时所观察的信号噪声比为 70，光电管负载电阻 R 是 10^4 欧姆、所测得的散粒效应噪声谱的有效带宽 B 是 8×10^5 周/秒。R 增加 B 便减少，因此，信号噪声比也减少。我们将电阻增至 10^6 欧姆，初次测量的结果实质上与理论相符。所以，此探测系统应利用光电倍增器的完全散粒效应噪声功率谱，此谱超过 10^8 周/秒，这里要指出，我们所用的仅是此谱的一部分。

对于在目前实验条件下的相敏技术，理论上估计噪声功率比大约为 70，但实验观察到的值大约是 15，正在研究两者不符的原因。

这里提出的光电探测的新方法不仅对于喇曼光谱学有用，而且对于小光通量的探测也是有用的。

参 考 文 献

- [1] S. O. Rice, *Bell System Tech. J.*, **23**, 282 (1944). **24**, 46 (1945).
- [2] R. H. Wilcox, *Rev. Sci. Instr.*, **30**, 1009 (1959).
- [3] 参见: Ralph Deutch, *Nonlinear Transformation of Random Processes* (Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1962); 并见 Stephen S. Wolff, *Proc. IEEE*, **53**, 1140 (1965).
- [4] J. A. Koningsstein and R. G. Smith, *J. Opt. Soc. Am.*, **54**, 1061 (1964).
- [5] J. Brandmüller and M. Heribert, *Introduction to Raman Spectroscopy* (D. Steinkopff Verlag, Darmstadt, Germany 1962), P. 406.
- [6] A. C. Menzies, *Proc. Roy. Soc.*, (London) **172**, 89 (1939).
- [7] A. Langseth, *Z. Phys.*, **72**, 350 (1931).
- [8] 测量方法是在喇曼峰值处停止分光计驱动，估计记录笔的均方根值。平均峰值高度与均方根值波动之比即为信噪功率比。

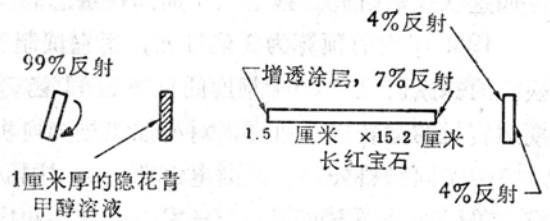
译自 Yoh-Han Pao, Zitter R. N.; *J. O. S. A.*, 1966, **56**, №8, 1133—1135

染料与转镜同用的双 Q 开关

在通常的共振腔中使用可饱和染料溶液，可使 Q 开关红宝石激光器的峰值输出功率大大增加。通过减少脉冲的数目和缩短脉冲持续时间，即可获得高达 10^9 瓦的输出功率，而输出能量并无减少。

为本实验研制的激光系统示于右图。

红宝石以输入电能为 15,000 焦耳的螺旋形氙灯抽运。以马达驱动一面 99% 的反射镜，其旋转速率为 30,000 转/分。反射腔的输出端由红宝石与一石英平面的菲涅耳反射镜组成。所用的腔长为 56 厘米。



激光系统图。