

高灵敏可见/紫外条纹相机的 最小可探测能量密度

李炳乾 王永昌

(西安交通大学理学院现代物理研究所, 西安 710049)

张小秋 龚美霞 山 冰

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学国家重点实验室, 西安 710068)

摘 要 分析了影响条纹相机最小可探测能量密度的主要因素, 通过采用两级增强器级联的方法降低了条纹最小可探测能量密度。利用超短激光脉冲经过标准具后形成一个能量等比衰减的脉冲序列, 对 ZPT-3K 紫外/可见皮秒条纹相机的最小可探测能量密度进行了测量。测量表明: 相机最小可探测能量密度在可见波段(532 nm)达 $1 \times 10^{-13} \text{ J/cm}^2$ 。

关键词 条纹相机, 标准具, 最小可探测能量密度。

1 引 言

近年来在光化学、光生物学、凝聚态物理、半导体科学等领域的研究中都遇到了大量的超快速微弱发光现象^[1-3]。目前在研究这些超快速微弱发光现象时, 大都采用单光子计数系统及脉冲采样系统^[4, 5]。随着皮秒条纹相机实用化技术的发展和相机实时读出系统的完善, 利用条纹相机与单色仪结合, 能立即得到这些超快速微弱发光现象的时间分辨光谱, 具有很大的优越性^[6]。随着条纹相机时间分辨率向飞秒推进, 对时间的分辨能力已经不再成为制约相机的主要因素, 但是实际情况是条纹相机仅在等离子体物理、激光物理等较强快速发光现象研究中得到广泛应用, 在研究超快微弱发光现象中并没有得到很好应用, 其原因除了条纹相机价格比较昂贵外, 条纹相机的最小可探测能量密度是制约相机应用的一个主要原因。

本文从提高整机最小可探测能量密度的角度出发, 分析了影响条纹相机最小可探测能量密度的主要因素, 通过采用两级增强器级联的方法提高了条纹相机记录系统的响应灵敏度, 降低了条纹相机最小可探测能量密度。

2 影响条纹相机最小可探测能量密度的主要因素

条纹相机最小可探测能量密度反映的是相机对微弱光信号的探测能力, 它的定义是: 在单位时间分辨元时间间隔内, 在变像管光电阴极 1 cm^2 上输入光能的大小, 恰使输出屏上产

生的信息具有临界的信噪比。这时信号刚刚能从噪声中识别出来,并且能被记录系统所记录。最小可探测能量密度首先由所需要的临界信噪比确定。在变像管中,光电阴极的发射具有统计涨落现象,当时间分辨率为皮秒(ps)或飞秒(fs)时,光电阴极发射的统计涨落现象是非常严重的。如果所发射的光电流密度太小,统计涨落的噪声就会淹没要研究的光信号。除光电阴极发射的统计涨落之外,荧光屏的噪声和系统的调制传递函数对最小可探测能量密度影响也很大。如果变像管的输出信噪比已达到临界值,而记录系统由于灵敏度低仍记录不下来,此时最小光探测能量密度是由记录系统来确定,根据经验,在大多数情况下,条纹相机的最小光探测能量密度由记录系统(这里把图像增强系统也看作记录系统的一部分)所决定。

在实验中,通过采用两级增强器级联的方法,每一级增强器都工作在低噪声、低放大率的状态,这样两级增强器级联既得到很高放大倍率,又同时保证了较高的信噪比,另外在增强器与变像管耦合以及两级增强器之间耦合时,均采用光纤面板,在增强器与CCD之间耦合时采用中继透镜组,这些措施都提高了变像管之后光的放大倍率和传输效率,从而提高记录系统的响应灵敏度,降低了相机的最小可探测能量密度。

3 最小可探测能量密度的实验测量

为了测量相机在可见光波段($\lambda = 532 \text{ nm}$)的最小可探测能量密度,设计了图1所示的实验装置。光源是一台直腔式染料锁模Nd:YAG激光器,激光器输出波长 $\lambda = 1064 \text{ nm}$ 、脉宽十几个皮秒到几十皮秒的超短激光脉冲。二倍频晶体选用双轴KTP晶体,标准具是一块内部均匀、表面严格平行的玻璃圆柱,圆柱的两底面分别镀有50%和100%反射的介质膜层。当一个单脉冲从半反面入射时,从标准具上反射出一串时间间隔相等、能量等比衰减的脉冲序列(标准具工作原理如图2所示)。脉冲间隔时间由标准具厚度 d 、玻璃折射率 n 和光速 c 确定($\Delta t = 2nd/c$)。标准具在这里的作用不是提供一个标准的时间刻度,而是提供能量等比衰减的脉冲序列,其中第 m 个脉冲能量是入射脉冲能量的 $1/2^m$ 。

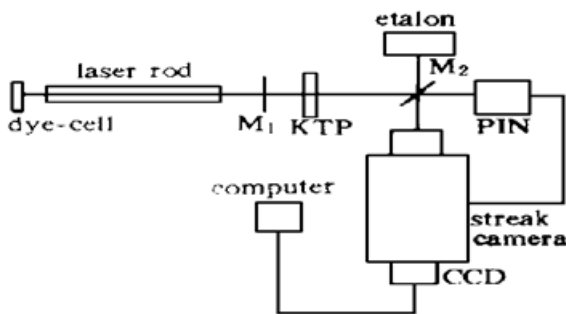


Fig. 1 The diagram for measuring the detectable minimum energy density of streak camera

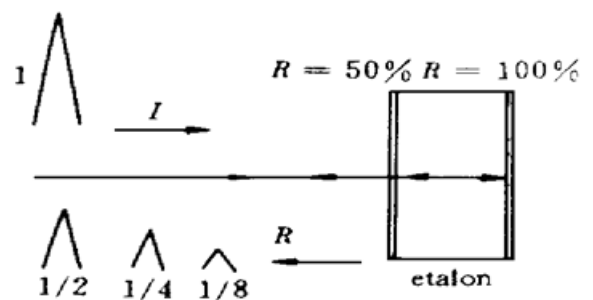


Fig. 2 The structure of etalon and its working principle

激光器输出的是多个锁模脉冲组成的脉冲包络,各脉冲能量相差很大,能量计每次测得的是包络的总能量,相机抓到的只是包络中一个脉冲经过标准具后形成的脉冲序列,因此在现有的实验条件下,对最小可探测能量密度的测量无法得到精确值,只是量级的估计。

实验时,先用条纹相机测量经过标准具后形成的脉冲序列,图3是用条纹相机能量等比衰减的脉冲序列的波形,相机能捕捉到第八个脉冲,然后在相机的位置放置一台能量计对光能量进行测量。此时能量计测得的是脉冲包络的总能量,单个脉冲的能量应除以脉冲个数

(脉冲个数一般为 15 个左右, 考虑到脉冲能量的分布, 按保守的计算, 本文取 6)。测量时相机打在慢扫描档, 扫速为 6 ps/pix, 激光光斑直径约 1 cm。考虑到探头* 的光谱响应效率 $\gamma(\lambda = 532 \text{ nm}, \gamma = 0.30)$, 所测得能量应除以这一系数, 实验测得输入序列脉冲的平均能量为 $0.850 \times 10^{-9} \text{ J}$ 。根据公式估算相机最小可探测能量密度 J_{\min} 为 $1 \times 10^{-13} \text{ J/cm}^2$ 。

$$J_{\min} = P_{\min} \times \Delta t_e = \frac{E}{2^m \times S \times \tau \times 6} \times \Delta t_e \quad (1)$$

式中 E 为输入等比衰减的脉冲序列的平均能量, S 为光斑面积, m 为等比衰减的脉冲序列的个数(8), τ 为所测脉冲宽度(42 ps), Δt_e 为条纹相机技术时间分辨率(6 ps)。

本文仅测量了相机慢扫描档(扫速 6 ps/pix) 最小可探测能量密度。相机最小可探测功率密度 P_{\min} 同扫描速度近似成反比关系, 根据最小可探测能量密度定义($J_{\min} = P_{\min} \times \Delta t_e$), 可知相机在各档的最小可探测能量密度基本一致。

4 讨 论

因为本实验室条件的限制(无紫外标准具), 无法得到等比衰减的紫外脉冲序列, 对相机在紫外波段的最小可探测能量密度的测量有困难。根据 S20 光电阴极在可见光波段和紫外光波段的量子效率(差一个多数量级), 可估计出相机在紫外波段的最小可探测能量密度应比可见波段大一个数量级。

虽然利用条纹相机研究超快速微弱发光现象具有无可比拟的优越性, 但是目前条纹相机仅在等离子体物理、激光物理等较强快速发光现象研究中得到广泛应用, 在研究超快速微弱发光现象中并没有得到很好应用, 希望本文能够为工作在光化学、光生物学、凝聚态物理、半导体科学等领域, 并有志于研究其中超快速微弱发光现象的科学工作者提供一个借鉴。

参 考 文 献

- [1] P. F. Curley, Ch. Spielmann, T. Brabec *et al.*, Operation of a femtosecond Ti:sapphire solitary laser in the vicinity of zero group-delay dispersion. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(1): 54~ 56
- [2] 汪志明, 让-克劳德·基夫, 徐至展, 超短高功率脉冲与物质相互作用及其应用. 中国激光, 1996, **A23**(6): 513~ 519
- [3] Li Chunfei, Zhang Lei, Yang Miao *et al.*, Dynamic and steady-state behaviors of reverse saturable absorption in metallophthalocyanine. *Phys. Rev. (A)*, 1994, **49**(2): 1149~ 1157
- [4] 叶彤, 崔石, 侯建敏等, 高等植物光系统, II 反应中的亚纳秒时间分辨光谱的测量. 光子学报, 1996, **25**(1): 1~ 6
- [5] M. H. R. Hutchinson, I. A. McIntyre, G. N. Gibson *et al.*, Measurement of 248 nm subpicosecond pulse durations by two-photon fluorescence of xenon excimers. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(2): 102~ 104
- [6] Wang Daheng, Developments on high speed photography and photonic in China. *Proc. SPIE*, 1988, **1032**: 2~ 5

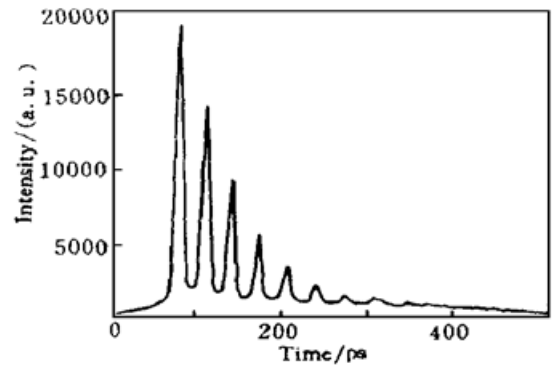


Fig. 3 The temporally-resolved intensity curve of the laser pulse series from etalon

The Detectable Minimum Energy Density of Streak Camera

Li Bingqian Wang Yongchang

(Institute of Modern Physics, School of Science, Xian Jiaotong University, Xian 710049)

Zhang Xiaoqiu Gong Meixia Shan Bing

*(State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xian Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Xian 710068)*

(Received 25 June 1997; revised 8 January 1998)

Abstract The main causes which influence the detectable minimum energy density of streak camera were discussed. The detectable minimum energy density was determined by using a mode-locked dye/Nd:YAG laser system and etalon. The minimum energy density, which obtained in the present experiment, is less than $1 \times 10^{-13} \text{ J/cm}^2$ for visible light (532 nm).

Key words streak camera, etalon, detectable minimum energy density.