

用蓝色光二极管测量掺钛蓝宝石 飞秒激光脉冲宽度*

李伟良 罗琦 李青 周建英

(中山大学超快速激光光谱学实验室, 广州 510275)

摘 要 用蓝色光二极管双光子跃迁光电流信号测量掺钛蓝宝石飞秒激光脉冲宽度, 实验高精度地记录了二阶干涉自相关曲线及其精细结构。由于用蓝色光二极管双光子跃迁代替了常用的二次谐波, 而且光信号直接转化为电信号, 从而使飞秒激光脉冲宽度的测量大为简化。

关键词 二阶干涉自相关法, 飞秒激光脉冲, 光二极管。

1 引 言

在飞秒激光技术研究过程中, 激光脉冲时间宽度的测量是必不可少的。通常用二次谐波自相关法间接测量激光的脉宽^[1], 在脉宽为几十飞秒量级时, 所用的倍频晶体和聚焦透镜必须非常薄, 否则会引起飞秒脉冲的展宽和变形。另一方面, 气体放电管中的双光子跃迁信号也可用于测量脉宽^[2], 但由于气体中跃迁谱线窄, 离子密度小, 因而这种方法主要用于能量较高、脉冲较宽的光脉冲的测量。

本文, 作者用蓝色光二极管(LED)的双光子跃迁光电流信号记录飞秒脉冲的二阶干涉自相关曲线, 测量激光脉宽。和以前的方法相比, 利用双光子跃迁、同时由光二极管将光信号直接转化为电信号, 不需要倍频晶体、光探测器、滤光片及单色仪即可记录二阶自相关曲线, 避免位相匹配和带宽的限制, 实验大大简化, 并达到很高精度。

已有的类似工作包括有 InGaAs 光电二极管测量 $3.5 \mu\text{m}$ 的飞秒脉冲^[3]等和用 Si 光电二极管测量 $1.5 \mu\text{m}$ 的飞秒脉冲^[4]。采用蓝光二极管作为近红外的掺钛蓝宝石飞秒激光脉冲二阶自相关的探测器, 尚未见报道。

2 实验和结果

所用实验装置如图 1 所示, 整套装置布置在一个防震光学平台上, 所用的激光系统是自建自锁模掺钛蓝宝石飞秒激光器^[5], 飞秒激光脉冲序列经一分束镜分成两束, 一束经两个成 90° 角布置平面全反射镜组反射, 另一束经可变相对延迟的两个成 90° 角布置平面全反射镜组

* 国家自然科学基金、广东省自然科学基金与国家教委跨世纪优秀人才基金资助项目。

收稿日期: 1997-01-31; 收到修改稿日期: 1997-09-15

反射, 由于可动臂的单向移动, 就形成了一个脉冲序列对另一个脉冲序列的扫描。共线传播的两个脉冲序列经透镜聚焦于一作为探测器的蓝色发光二极管上, 光二极管产生的光电流直接送入锁相放大器 Lock-in, 测量数据送入计算机处理。所用蓝色光二极管为 InGaN/AlGaN 双层结构^[6], 能带差约为 3.0 eV, 这样对于 800 nm (1.52 eV) 的掺钛蓝宝石飞秒激光, 载流子只能通过双光子过程被激发。

图 2 给出用蓝色光二极管记录的光电流信号随两个脉冲列之间相对延时的变化曲线, 可以清楚地看到干涉条纹的精细结构, 说明测量系统的灵敏度和信噪比都很高。如果假定激光脉冲的时间轮廓为高斯形, 可以计算出其二阶干涉自相关函数为:

$$S(\tau) = A(a_1^4 + a_2^4) + 2a_1^2 a_2^2 G(\tau) [2 + \cos(2\omega\tau)] + 4(a_1^3 a_2 + a_1 a_2^3) H(\tau) \cos(\omega\tau) \quad (1)$$

式中 a_1 和 a_2 分别为两脉冲列的电场振幅, τ 为它们的相对延时, ω 为脉冲的中心频率,

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} \epsilon^4(t) dt,$$

$$G(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \epsilon^2(t) \epsilon^2(t - \tau) dt,$$

$$H(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \epsilon^3(t) \epsilon(t - \tau) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \epsilon(t) \epsilon^3(t - \tau) dt,$$

$\epsilon(t) = \exp[-2 \ln 2(t/t_p)^2]$ 为激光脉冲的时间轮廓, t_p 为脉冲宽度。

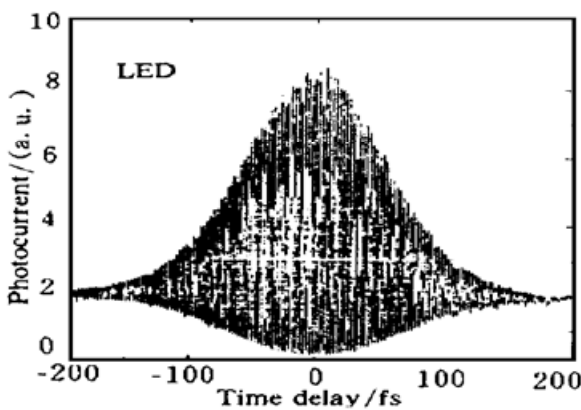


Fig. 2 The second order correlation function recorded with a blue LED

图 3 给出用式(1)计算的拟合曲线, 其中脉宽 $t_p = 87.5$ fs, $\omega = 3.672 \times 10^{14}$ Hz, $a_1/a_2 = 1.94$ (与实验测量的 $a_1/a_2 = 1.77$ 基本一致)。由于两束脉冲列的强度是不一样的, 而且可能两束光未能调到严格的共线传播, 所以自相关曲线在 $t = 0$ 和 $t = \infty$ 时的信号强度不是 8·1, 而是 5·1。图 3 的插图是测量与拟合曲线的精细结构, 实验和理论曲线符合得很好。

为验证上述结果, 采用染料双光子荧光二阶自相关函数和倍频晶体二次谐波方法测量飞秒激光脉宽。前者测量得到的结果与用蓝色光二极管测量的结果基本一致。而倍频晶体二次谐波方法, 一方面由于聚焦透镜和晶体本身引起飞秒脉冲展宽, 另一方面测量结果是二阶自相关函数和一阶自相关函数的叠加, 测量结果比真实脉冲宽

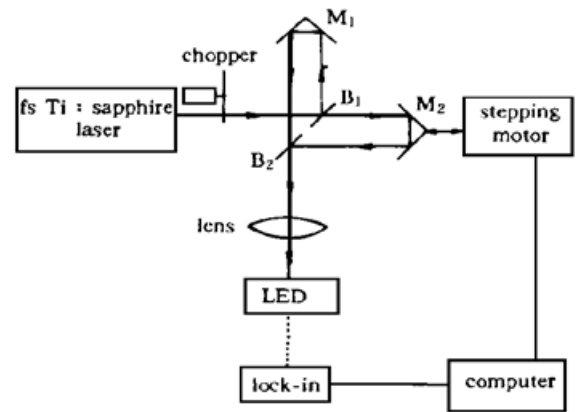


Fig. 1 The experimental set up for femtosecond pulse characterization with two-photon induced transitions in blue LEDs. M₁, M₂: routing mirror, B₁, B₂: beam splitters

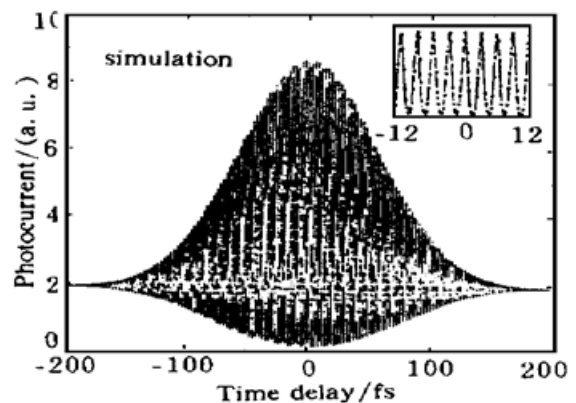


Fig. 3 Numerical simulation of the second order correlation function using equation (1) and a Gaussian temporal pulse shape of 87.5 fs pulsewidth. The insert shows the fine structures of the measured and simulated second order correlation function

度宽。

显然,用蓝色光二极管直接将光信号变为电信号,测量二阶干涉自相关函数时无须倍频晶体、滤光片、单色仪和光探测器,因而使测量系统大为简化。由于二极管的窗口很容易做得很薄、避免了用倍频晶体测量时所带来的色散问题。另外,相比以往用双光子跃迁,如用空心阴极放电管测量激光脉冲宽度的方法^[2],光二极管也因有更宽的吸收带而更适于测量飞秒激光脉宽。

结 论 本工作通过探测蓝色光二极管的双光子吸收引致的光电流信号,实现二阶干涉自相关函数的测量,从而非常方便准确地测量掺钛脉宽蓝宝石飞秒激光脉冲宽度。

衷心感谢张苑岳教授为本工作提供蓝色光二极管;感谢 W. Sibbett 寄来他们尚未发表的论文。

参 考 文 献

- [1] R. L. Fork, C. H. Brito Cruz, P. C. Becker *et al.*, Compression of optical pulses to six femtoseconds by using cubic phase compensation. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(7): 483~ 485
- [2] 周达君,程 捷,李润华,验证双光子吸收用于光脉冲宽度的测量. 中山大学学报(自然科学版), 1996, **35**(1): 27~ 31
- [3] C. McGowan, D. T. Reid, M. Ebrahimzadeh *et al.*, Femtosecond pulses tunable beyond 4 μm from a KTA-based optical parametric oscillator. *Opt. Commun.*, 1997, **134**(2): 186~ 190
- [4] L. P. Barry, P. G. Bollond, J. M. Dudley *et al.*, Autocorrelation of ultrashort pulses at 1.5 μm based on the nonlinear response of silicon photodiodes. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(20): 1922~ 1926
- [5] W. L. Li, Z. R. Qiu, W. J. Peng *et al.*, Generation of stable near-infrared and violet femtosecond pulse from a self-mode-locked Ti:sapphire laser. *Chinese Journal of Lasers (B)*, 1994, **4**(4): 347~ 354
- [6] S. Nakamura, High-brightness blue LEDs using III-V nitrides and their applications, in SIDS 95 Digest, 713~ 715

Femtosecond Optical Pulse Characterization with Blue Light Emitting Diodes

Li Weiliang Luo Qi Li Qing Zhou Jianying

(State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

(Received 31 January 1997; revised 15 September 1997)

Abstract The characterization of femtosecond optical pulses for Ti:sapphire laser output is conducted with two-photon induced transitions in blue light emitting diodes. Excellent phase relationship between the two separated pulses are recorded from the fringes of the two-photon induced, second order correlation function. It is demonstrated that the two-photon induced current can greatly simplify the femtosecond pulse characterization by direct converting the photon signal to current signal.

Key words second order interferometric autocorrelation, femtoscond optical pulses, light emitting diodes.