

# 快速光电探测器脉冲响应的电光取样测量

王 杰

(太原工业大学数理力学系, 太原 030024)

**摘要** 建立了半导体激光器电光取样系统。选择  $1.3 \mu\text{m}$ , InGaAs 增益开关半导体激光器作为取样光源, 利用微带 GaAs 衬底的纵向电光效应作为电光取样器, 测量了 InGaAs/InP 雪崩二极管的脉冲响应特性。分析表明, 本系统具有  $0.35 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}$  的电压灵敏度和  $9 \text{ ps}$  的时间分辨率。

**关键词** 电光取样, 超短电脉冲测量, 增益开关半导体激光器。

## 1 引言

电光取样是利用超短激光脉冲作为取样门, 根据电光晶体的普克耳斯(Pockels)效应, 用光脉冲及取样技术实现对高速变化电场的测量的一种新型技术<sup>[1,2]</sup>。它具有很高的时间分辨率及可对待测器件进行无扰测量。特别是在用半导体激光器作为取样光源时, 由于半导体激光器具有体积小、价格低、操作简便等优点, 提供了将这一技术实用化的可能。更为有利的一点是, 目前许多高速数字和微波集成电路衬底是 GaAs 材料, 这样, 可以利用 GaAs 的电光效应直接表征 GaAs 高速集成电路的动态特性。

## 2 电光取样原理

电光取样的基本原理是普克耳斯效应及取样技术。普克耳斯效应<sup>[3]</sup>是指当电光晶体上加一电压或放置于一电场中后, 其折射率会随之发生变化。这样, 当一束偏振光通过电光晶体后, 其偏振方向会随之发生变化, 通过检测光信号的这种变化会反推出晶体上所加电场的大小, 从而对待测器件的电特性进行检测。同时用超短光脉冲作为取样门, 依据取样定理, 当取样光脉冲的重复频率  $f_s$  与待测器件上被测信号的重复频率  $f_r$  满足

$$f_s = Nf_r \pm \Delta f$$

的关系时(其中  $N$  为正整数,  $\Delta f$  为频差), 在光电相互作用下, 光信号对被测信号逐点取样, 在接收系统得到与被测信号形状完全相同的信号, 只是在时间轴上变慢<sup>[4]</sup>。

## 3 实验系统

图 1 是本文建立的电光取样系统装置示意图。选择  $1.3 \mu\text{m}$  的增益开关半导体激光器作为激光光源, 光脉冲重复频率在  $100 \text{ MHz} \sim 1000 \text{ MHz}$  间任意可调。用二次相关法测得半导体

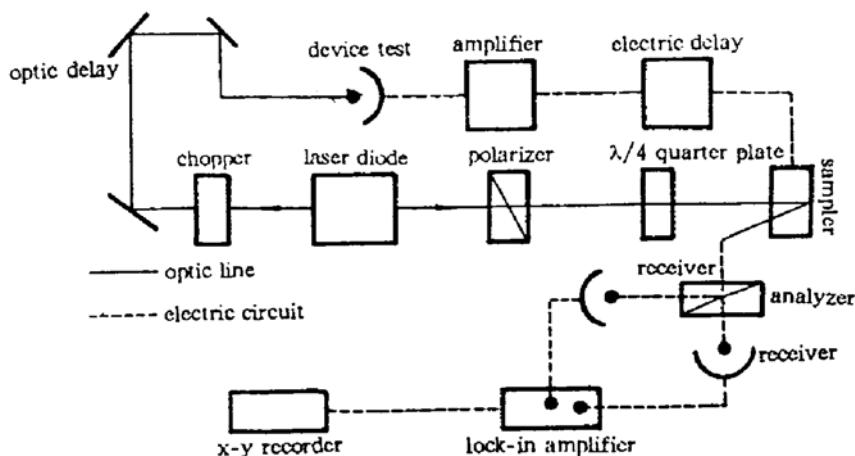


Fig. 1 The system of electro-optic sampling

激光脉冲的半最大全宽(FWHM)典型值为30 ps, 对应的测量带宽为11 GHz, 这已经覆盖了我国目前高速器件的带宽要求。由于半导体激光器输出功率较低, 会降低系统的电压灵敏度, 将激光器管芯两端面发射出的光分别用作取样光及泵浦光, 减少了光能分散, 提高了系统灵敏度。实验中所用的半导体的阈值为58 mA, 直流偏置在65 mA。20 dBm的微波功率通过微带匹配电路叠加在直流偏置上, 出射光的平均功率为1.5 mW。采用标准的微电子学衬底材料Cr:GaAs作为电光晶体, 其禁带宽度为1.42 eV, 对1.3 μm的光无本征吸收。由其制作的取样器的示意图如图2所示。

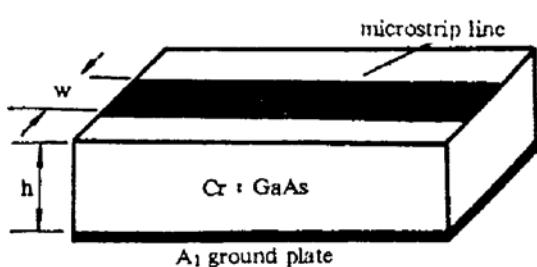


Fig. 2 The sampler schematic drawing

在GaAs的(100)面上通过镀膜光刻制作出一条阻抗为 $50\Omega$ 的Al微带传输线。晶体厚度为350 μm, 整个取样器尺寸为5 mm×7 mm。取样器与待测器件用同轴电缆相连, 并实现阻抗匹配以减少被测电信号的反射。待测器件为InGaAs/InP雪崩二极管\*, 其光谱响应范围为0.1~1.65 μm,

响应度约为 $0.70 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ 。在起偏器之后放置 $\lambda/4$ 波片以使系统工作在灵敏的线性区, 光延迟是由步进电机驱动单臂迈克尔逊干涉仪来改变光程得以实现。信号处理部分采用(EG & G) 5210锁相放大器, 其参考频率由光斩波器提供, 为1 kHz。用X-Y记录仪记录取样曲线。为进一步提高系统信噪比, 采用小角度反射取样。同时用两个相同的InGaAs APD接收器进行差分接收, 这两个APD二极管通过积分电路降低其频率响应作为“慢”接收器。

## 4 实验结果

图3中a是电光取样系统测出的待测器件脉冲响应的取样波形。此时对应的取样光脉冲的重复频率为700 MHz。而并非待测器件的本征响应, 而是包含了光脉宽影响的系统响应曲线。此时系统的响应曲线是光脉冲自相关函数和探测器本征响应函数的卷积的结果。光脉冲的强度自相关函数可通过二次谐波法测得。因此经过退卷积后系统的时间分辨率可不受光脉宽的限制。图3中b是经过退卷积后待测器件的本征响应曲线。可以看出待测器件响应脉冲的半最大全宽为215 ps, 上升时间为110 ps(这一结果与该器件的响应脉冲上升时间约为100

\* 北京半导体所生产的。

ps 相符)。在测试中, 取样光的重复频率选在 350~850 MHz 范围内, 为取得一完整周期的波形, 要求光延迟线移动的距离在 40 cm 以上, 而迈克尔逊干涉仪臂长仅 15 cm, 为此引入电延迟线。电延迟是通过电脉冲经不同长度的同轴电缆实现的。最小的延迟间隔为 0.25 ns。电延迟产生了较大色散及插入损耗, 使测量信号的幅度下降。实验用一频带为 500 MHz~1 GHz 的微波放大器将被测信号放大, 由于放大器输入信号很小(约 10 mV), 可认为放大器为理想的线性器件, 对被测信号只会引起幅度上的增加而不会改变形状, 图 4 是信号经放大后逐点延迟取样, 并用计算机平滑插值后的波形。由图 4 可见, 随着延迟的增加, 插入损耗增大, 取样波形幅度下降, 这与用示波器观察到的波形一样。

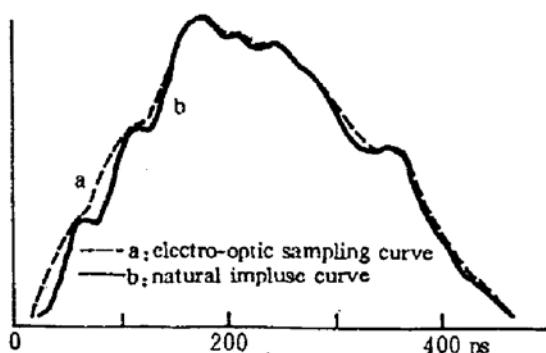


Fig. 3 The measurement curve for InGaAs APD

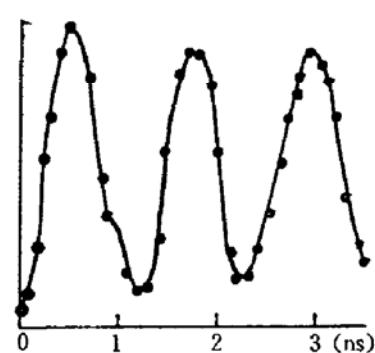


Fig. 4 The measurement curve for DUT impulse

**系统的电压灵敏度** 当 APD 的响应脉冲幅度为 10 mV 时, 实验给出信噪比约等于 1, 即此时对应于最小可测电压。测量中锁相放大器的参考频率为 1 kHz,  $Q$  值为 2, 等效噪声带宽为

$$B = \pi f / 2Q = 785 \text{ Hz} \quad (1)$$

系统实际的最小可测电压  $V_{\min}$  为

$$V_{\min} = \frac{V_{pp}}{\sqrt{B}} = \frac{10 \text{ mV}}{\sqrt{785 \text{ Hz}}} = 0.35 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}} \quad (2)$$

**系统的时间分辨率** 用二次谐波法测出光脉冲的强度自相关函数后, 经退卷积处理, 系统的时间分辨率便不受光脉冲宽度的影响而主要取决于取样光穿过电光晶体的渡越时间<sup>[5]</sup>。实验所用的 GaAs 晶体厚度为 350 μm, 折射率为 3.5, 采用反射式取样, 则光渡越时间为

$$\tau_{\text{OTT}} = \frac{2h}{c/n} = 8.2 \text{ ps} \quad (3)$$

再考虑计时抖动及电传输时间的影响, 可认为系统的时间分辨率为 9 ps。

**结 论** 用上述电光取样系统对 InGaAs/InP 雪崩二极管的脉冲响应进行了测量, 获得的电压灵敏度为  $0.35 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , 时间分辨率为 9 ps。由于目前微加工技术的限制, 探测器与取样器之间采用 20 cm 长的同轴电缆连接, 造成响应脉冲一定程度的色散。

## 参 考 文 献

- [1] J. A. Val. dmanis, G. Mourou, Subpicosecond electrooptic sampling principles and applications. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, QE-22(1): 69~77
- [2] K. J. Weingarten, M. J. W. Rodwell, D. M. Bloom, Picosecond optical sampling of GaAs integrated circuits.

- IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, QE-24(2) : 198~220  
[3] A. Yariv, P. Yeh, *Optical Wave in Crystals*. New York, Wildey, 1984 : 230~232  
[4] B. H. Kolner, David M. Bloom, Electrooptic sampling in GaAs integrated circuits. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, QE-22(1) : 79~93  
[5] C. H. Lee, *Picosecond Optoelectronic Devices*. Orlando, Academic Press, Inc., 1984 : 249~270

## Electro-Optic Sampling of the Impulse Response of Photodetector

Wang Jie

(Department of Mathematics & Physics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)

(Received 7 November 1994; revised 20 February 1994)

**Abstract** A direct electro-optic sampling system is set up. A gain-switched InGaAsP injection laser is used as the source of sampling and a sampler utilizing the longitudinal electro-optic effect in GaAs substrate of microstrip line was built. The impulse response of a InGaAs/InP photo-detector of  $0.35 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}$  sensitivity and 9 ps time resolution are demonstrated.

**Key words** electro-optic sampling, ultrafast electrical pulse measurement, sampling technology.