

按图 5 对好光路。

## 2. 测量精度分析

上面举的例子精度是在 1% 以下。在一般的实验中能达到 1—2% 就行了。为提高测量的精度，可以选择两个波长之间的差值大一些的波长(例如采用汞谱线中  $\lambda_1 = 5461 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_2 = 4358 \text{ \AA}$ ) 来做实验,也可采用两个以上的波长。

## 3. 主要误差来源

- (1) 由于膜层不均匀引起的误差;
- (2) 由于基板平整度和平行度不好引起的

误差;

(3) 读数显微镜的读数误差(注意读数显微镜的螺距误差一定要消除)。

## 参 考 文 献

- [1] M·玻恩, E·沃耳夫, 光学原理(上册), 科学出版社, (1978), 458—470.
- [2] G. R. Davies, *Amer. J. Phys.*, **44**-12 (1976), 1215.
- [3] L. J. Gaghardi, *Amer. J. Phys.*, **42**-4 (1974), 334.
- [4] 母国光, 光学, 人民教育出版社, (1978), 219—227.

# 硅光电探测器响应时间的测试

邓生贵 杨培生 (中国科学院半导体研究所)

在硅光电探测器的应用过程中, 响应时间是探测器的主要参数之一, 因而对响应时间的测量就很有必要。

## 一、测量原理和方法

当给光电探测器以一个理想的矩形光脉冲辐照时, 如图 1(a) 所示, 由于探测器响应的延

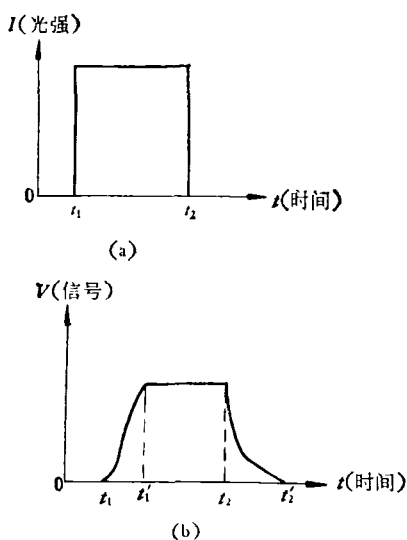


图 1 发射与接收光脉冲波形

迟, 其输出波形就不再是一个理想的矩形脉冲, 而是具有一定的上升前沿和下降后沿的波形, 如图 1(b) 所示。“响应时间”定义为“上升时间”和“下降时间”。

当瞬时地加上稳态光照时, 探测器上的输出电信号从幅值的 10% 上升到 90% 所需要的时间称为探测器的“上升时间”; 或者与此相反, 当瞬时地除去稳态光照时, 探测器的输出电信号从幅值的 90% 下降到 10% 所需要的时间称为“下降时间”。

我们研究了三种具有内部增益的硅光电雪崩二极管(常用符号 APD 表示), 需要测出毫微秒 (ns) 数量级的响应时间。显然, 首先必须要求入射到探测器上的矩形光脉冲的上升时间和下降时间都小于 1ns, 而不必追求理想的矩形光脉冲。采用下列实验装置(图 2), 可以获得

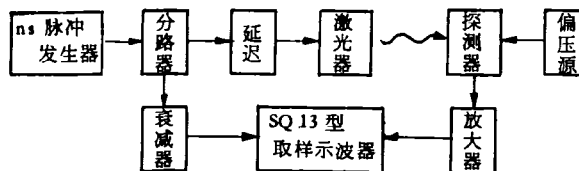


图 2 响应时间测试装置方框图

这种光脉冲。

实验装置的原理是，由毫微秒脉冲信号源产生的脉冲经分路器分成两路：一路加到 SQ13 型双通道取样示波器的触发输入，另一路经延迟后加到双异质结激光器(常用符号 DH 表示)上作为激励电流注入，使激光器产生光脉冲，接收到这个光信号的探测器产生一个电脉冲经放大后输入到 SQ13 型示波器，从示波器上可以直接读出电信号的上升或下降时间；若用 X-Y 函数记录仪记下波形，更能清楚显示其响应特征。

本实验使用的 DH 阈值电流为 200mA。当激光器正方向注入一个大于阈值的脉冲电流时，注入有源区的电子和光波的电磁场相互作用的时间由导带电子弛豫时间决定，约  $10^{-12}$ sec，而达到反转分布载流子竖直跃迁受激复合时间小于 1ns。

激励 DH 的电源必须用上升和下降时间都小于 1ns 的脉冲信号源。我们是采用 MFD-1 型毫微秒脉冲信号发生器来产生电脉冲的，脉冲宽度和重复频率可以选择，我们选取脉冲宽度 25ns，重复频率 300Hz，实测它的脉冲前沿如图 3 所示。

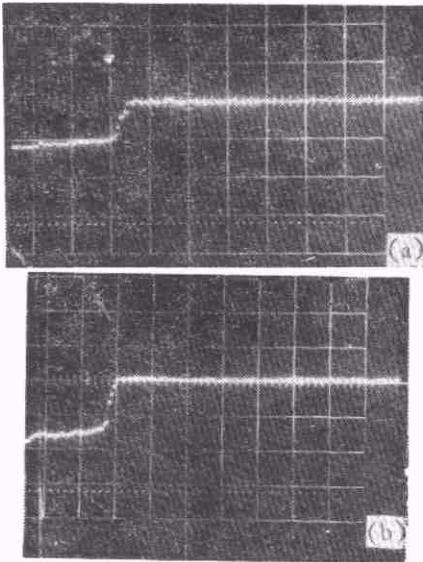


图 3 信号源输出电流波形前沿  
水平：1ns/每格；垂直：100mV/每格  
(a) 电流  $I = 200\text{mA}$ ；(b) 电流  $I = 470\text{mA}$

由图 3 看出，前沿上升时间受输出电流幅度的影响不大，总是小于 1ns。

SQ13 型取样示波器频率响应可达 8GHz，相应的仪器上升时间约为 44ps，远小于光脉冲的上升时间，在测量中的影响可以不计。但需要注意取样点的密度，密度过小显示的信号产生失真，密度过大又使扫描速度下降，因此应选取合适的取样点密度，逐渐增加取样点数，直至显示的波形已不再随密度点的增加而变化为止。

由于 DH 功率的限制，探测器接收到的信号很小，为 mV 数量级。为着在示波器上清楚显示信号，把探测器上的电信号放大就很有必要。本实验所用的放大器频带宽 10—600MHz，电压增益  $K_v > 28\text{dB}$ 。从信号发生器输入 25ns 宽的脉冲信号时，其输出波形如图 4 所示。放大器的线路图如图 5 所示。

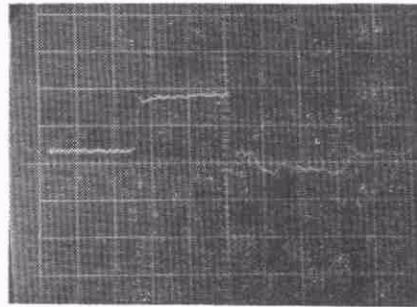


图 4 放大器输出波形  
水平：10ns/每格；垂直：200mV/每格

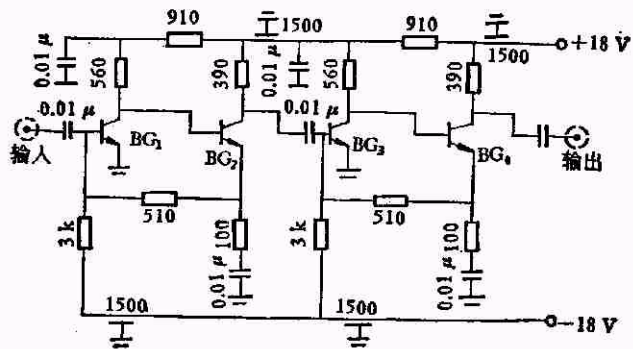


图 5 超高频放大器线路图  
 $BG_1-BG_4$  是 2G912

## 二、实验结果

光电探测器的种类很多,我们测试了下面几种探测器,其典型结果列表如下:

表 1

器件类型		响应时间 (ns)	
		上升	下降
Si-APD:	n <sup>+</sup> pp <sup>+</sup> 1*	7	14
	2*	4	11
	n <sup>+</sup> p 3*	12	67
		4*	7
	台面 5*	1	1.2
		6*	1
Si-PIN	7*	1.5	1

如图 6 所示,当激光器的激励电流从 270mA 增加到 400mA 时,探测器的响应时间无明显的变化,也不受工作电压的影响。

实验证明,传输电缆的长度仅影响探测器探测信号相对于信号源的延迟时间,而不影响探测器的响应时间。

由于脉冲宽度窄,测试中必须注意信号源、激光器、探测器和传输线之间的匹配,以免波形畸变,同时光源和探测器都必须分别屏蔽良好,以免波形出现上冲现象,不利测试进行。

## 三、问题讨论

(1) 我们测试的 Si-APD 有三种类型: n<sup>+</sup>p 型、n<sup>+</sup>pp<sup>+</sup> 型和台面型,前者是用 P 型硅单晶作基片,后两者是用 pp<sup>+</sup> 型硅外延片作基片,硅雪崩管内的电场分布如图 7 所示。

由雪崩光电二极管的结构分析<sup>[1,2]</sup>可知, Si-APD 的光电流由两部分组成: 一部分是注入光在耗尽区和雪崩区所产生的光电流,称为漂移分量;另一部分是注入光在 P 型层或 P 型

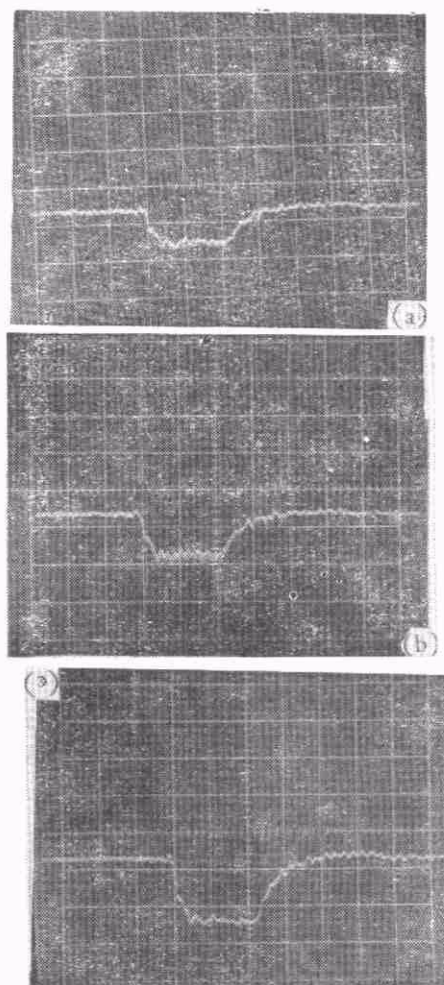


图 6 入射光强和工作电压对响应时间的影响

- (a)  $I = 270\text{mA}$ ;  $V = 74.59\text{V}$ ;
- (b)  $I = 270\text{mA}$ ;  $V = 74.99\text{V}$ ;
- (c)  $I = 400\text{mA}$ ;  $V = 74.99\text{V}$

水平: 10ns/每格; 垂直: 100mV/每格  
I 为注入电流; V 为电压

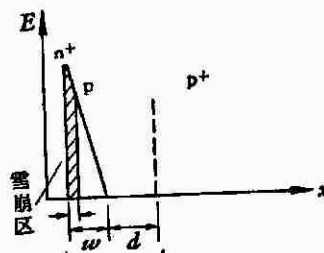


图 7 雪崩管内电场分布

外延层内未耗尽区中所产生的光电流,称为扩散分量.漂移分量的弛豫时间由雪崩建立时间、耗尽区的渡越时间和回路时间常数 RC 决定,

它们通常都小于 1ns; 而扩散分量的弛豫时间则由注入光的透入深度、P 型材料的扩散长度以及它的未耗尽部分的厚度确定, 通常为 10—100ns。在以上三种雪崩管中, 由于工艺上的不同, P 型材料的非耗尽部分有相当大的差别, 所以造成响应时间彼此有显著不同。

(2) 本实验采用的方法具有测试快速、直观和准确的优点, 而且设备简单。在我们采用的设备条件下, 响应时间可以测到 1ns。对放大器的频宽要求约 400MHz, 这在目前的技术条

件下是不难实现的。如果探测器的灵敏度高, 或激光器功率较大, 则可不使用高频放大器, 此时响应时间可测到脉冲电源电流的上升极限值, 一般小于 1ns。

在本实验进行过程中, 曾得到刘朝中、单永政同志的协助, 在此致以衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- [1] J. R. Biard and W. N. Shaughnessy Jr., *IEEE*, ED-14-5 (1967), 233.
- [2] H. Ruegg, *IEEE*, ED-14-5 (1967), 239.

## 编 码 板 照 相 干 涉 法

刘立人 殷耀祖 赵丽英 戴云

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

通常光学干涉仪是基于双(多)光束干涉原理, 而全息干涉仪是基于两次曝光的全息图再现时的衍射干涉效应, 都应用了光波干涉原理。它们的测量是以波长为尺度的, 因此对于强变化位相体本身的位相变化是无能为力的。本文提出一种不同于位相相干的方法, 即非相干光的编码板照相剪切干涉法。该法所根据的原理是莫尔效应, 采用两次曝光。它的突出优点是: (1) 测量精度低于光波干涉法, 而且可随编码板频率不同而改变; (2) 可作非相干光照明; (3) 可以作任何形式的一般性剪切干涉, 同时还能实行分区组合剪切或重迭复合剪切, 因此特别适用于强位相变化透明体。最后讨论简单的双剪切方法。

### 一、一般性剪切原理

装置见图 1。编码板经透镜成像在照相底片上, 小孔用于空间滤波, 增加景深。采用两次曝光法, 第一次曝光记录编码板, 第二次则放入被测透明物体。两次曝光所记录的原编码栅和被物体变形的编码栅迭加, 就产生了莫尔条纹,

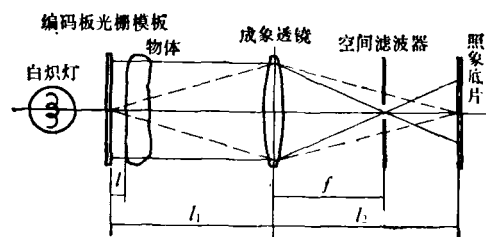


图 1 实验装置

可以证明这是剪切干涉条纹。

首先, 考虑物体对于编码栅的变形问题。如图 2 所示, 编码板上一点  $O$  经物体后成像, 如仍折射到编码板的物平面上, 假定其为  $O'$ , 考虑物体等效于一系列变化着角度和取向的小棱镜<sup>[1]</sup>, 则根据棱镜成像性质, 由物体产生的位移为

$$OO' = \alpha_r(n-1)l, \quad (1)$$

其中  $l$  为物体离编码板的尺寸,  $\alpha_r$  为局部棱镜的空间楔角,  $r$  为楔角方向矢量。由于

$$\frac{d\phi}{dr} = \alpha_r(n-1), \quad (2)$$

所以