

# 100GHz 带宽的光电导探测器芯片\*

王纪龙 王云才

徐遵图

(太原工业大学应用物理系 太原 030024)

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

**摘要** 本文报道了利用共面微带线间的指状交叉型光电导开关,在以蓝宝石为衬底的硅片(SOS)上构造了一种新型的光电探测器.非接触电光取样测量表明,它具有超过 100GHz 的-3dB 带宽.在 100fs、25pJ 的脉冲激光照射下,产生的电脉冲峰值约为 300mV,脉宽(FWHM)为 3.3ps.

EEACC: 7340S, 7240, 7820J

## 1 引言

近年来瞬态光学技术发展很快,已得到短至几个 fs 的光脉冲,它要求提供相应的高速测量技术.快速光电探测器是测量超短光脉冲的手段之一.目前已研制出具有皮秒(ps)级分辨率的 Schottky 光电探测器<sup>[1]</sup>,InGaAs Pin 管<sup>[2]</sup>及金属-半导体-金属(MSM)光电探测器<sup>[3]</sup>.MSM 光电探测器由于具有简单的共面结构使其易于制造并可与其它光电子器件集成.其响应速度决定于半导体的材料特性和电极结构.采用平行结构电极可大大减少寄生电容<sup>[4]</sup>.提高电脉冲的传输特性.最近几年来推出的几种新型材料:如 O<sup>+</sup>离子辐射 SOS,分子束外延(MBE)低温生长 GaAs:As、汽相外延低温生长 GaAs:O,均将材料的载流子寿命缩短至亚 ps,并研制出响应时间分别为 0.6ps 和 1.2ps 的光电探测器<sup>[5,6]</sup>.我们在 O<sup>+</sup>离子辐射 SOS 衬底上制作了指状交叉型光电导探测器.在 100fs、25pJ 的钛宝石激光脉冲激发下,用非接触电光取样测量其脉冲响应为 3.3ps,峰值电压为 300mV.

## 2 共面微带型光电探测器的原理

光电导探测器采用共面光电导开关结构,图 1 为典型的光电导开关结构示意图.左边的倒金字塔结构为电光取样探头测量示意图.如图所示,一超短光脉冲照射在开关缝隙内,当激发光子的能量大于材料的禁带宽度时,处于束缚态的电子就会吸收光子而跃迁至导带,产生自由电子-空穴对,使得照射区域材料的电导率发生变化,微带传输线上所加的偏置电压在照射区域产生的电场随之被改变,并产生瞬时感应电流沿着传输线传播.此脉冲的响应时间主要取决于入射光脉冲宽度及材料的载流子寿命.其幅度与传输线的特性阻抗及开

\* 瞬态光学技术国家重点实验室开放基金资助课题

王纪龙 男,1948 年生,副教授,研究领域为材料物理

王云才 男,1965 年生,博士,研究领域为超快光电子学

1997 年 4 月 1 日收到初稿,1997 年 6 月 26 日收到修改稿

关电阻有关<sup>[7]</sup>：

$$V_{out} = Z_0 V_{dc} [Z_0 + R_s(t) + R_c]^{-1/2}$$

式中  $V_{dc}$  为直流偏置电压； $Z_0$  为传输线的特性阻抗； $R_s$  为开关的缝隙电阻； $R_c$  为接触电阻。由于我们所用的激光能量较低，与  $R_s$  相比  $Z_0$  可忽略。 $R_s$  受激光能量及开关结构的影响。

$$R_s = S(qn(t)\mu Ld)^{-1}$$

式中  $S$  为缝隙宽度； $q$  为电子电量； $\mu$  为光生载流子的迁移率； $L$  为照射区域长度； $d$  为吸收深度。光生的电子-空穴对浓度  $n(t)$  可表示为<sup>[8]</sup>：

$$n(t) = e^{-(t/\tau + \alpha/d)} \eta P(t) (1 - r) / (h\nu SL)$$

式中  $\tau$  为载流子寿命； $\eta$  为量子效率； $P(t)$  为激发光功率； $r$  为材料的反射率； $\alpha$  为材料对光的吸收系数； $h\nu$  为入射光子能量。由此可知，光生电脉冲的响应速度取决于材料的载流子寿命，其幅度与激发光能量及载流子的迁移成正比，与开关缝隙宽度成反比。为获得尽可能短的电脉冲及保证 M-S 间的欧姆接触，须对硅衬底进行  $O^+$  离子辐射，但同时辐射又会引入缺陷及复合中心，影响载流子的迁移率和开关效率。即光生电脉冲的速度与幅度是一对矛盾，只有折中考虑。

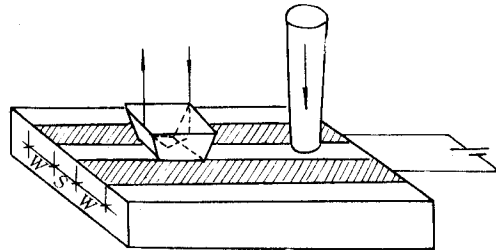


图 1 共面微带光电导典型结构

### 3 实验系统及结果

为使光电导探测器具有尽可能高的响应灵敏度，要求传输电极的间隔尽可能地小。通常高速共面微带的间隙在  $10 \sim 30 \mu m$  之间，当间隙超过激发光斑尺寸（约  $10 \mu m$ ）时，在非均匀照射下，光生电脉冲的幅度强烈地依赖于照射区域，有着更复杂的表现<sup>[9]</sup>。因此要求微带间隙尽可能地小，但作为光电探测器如此小的光敏面又会给实际应用带来困难。为增大光敏面，我们设计了指状交叉共面微带型光电探测器。图 2 为其结构示意图。在  $300 \mu m$  厚的蓝宝石衬底上淀积了  $1 \mu m$  厚的离子辐射本征硅，其禁带宽度为  $1.12 eV$ 。共面微带的宽度 ( $W$ ) 及间隙宽度 ( $S$ ) 均为  $50 \mu m$ ，特性阻抗为  $56 \Omega$ 。指状交叉共面微带的电极宽度及间隙宽度均为  $5 \mu m$ ，对应的特性阻抗为  $50 \Omega$ 。基本保证了光生电脉冲可以很好地耦合进共面微带。电极

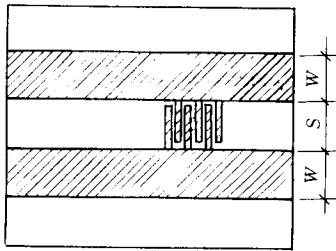


图 2 光电导探测器结构示意图

Ti/Al/Au，其厚度分别为  $20/1000/200 nm$ 。图 3 为非接触电光取样测量光电导探测器的系统示意图。

电光取样是基于电光晶体的电光效应，利用超短光脉冲作为取样门对快速电信号进行取样测量<sup>[10]</sup>，具有干扰小，带宽高等优点。实验中采用  $LiTaO_3$  电光探头，用钛宝石激光器做为激发脉冲和取样脉冲，光脉冲 (FWHM) 为  $100 fs$ ，重复频率为  $80 MHz$ ，波长为  $800 nm$ ，光脉冲能量为  $50 pJ$ ，经分束激发光脉冲能量为  $25 pJ$ ，图 4 为电光取样测量得到的光电探测器

的脉冲响应曲线,其脉宽为 3.3ps,经频谱变换,其频谱响应的-3 点已超过 100GHz,当偏置电压为 50V,激发光能量为 25pJ 时,产生的电脉冲幅度约为 300mV. 随着激发光脉冲能量的降低,光生电脉冲的幅度呈线性关系下降,这与理论计算相符.

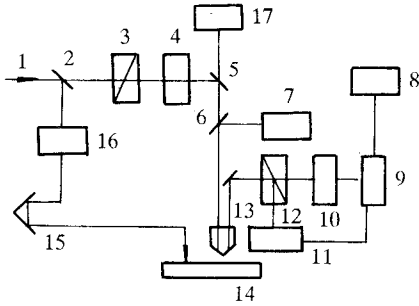


图 3 非接触电光取样测量示意图

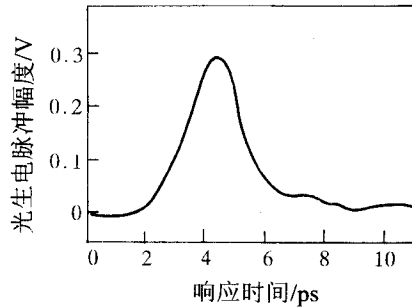


图 4 光电探测器的脉冲响应

#### 4 结论

我们在衬底上制作了指状交叉型光电感探测器,电光取样测量表明它具有大于 100GHz 的带宽.它同时也可作为皮秒光开关或皮秒电脉冲发生器.由于其特殊的结构使得它可以方便地集成为光电探测器单元或光开关单元以对快速光电脉冲进行采集或处理.作为光电探测器,目前还存在着响应度较低这一弱点,它可以通过减少微带间隙及采用新型光电材料(如 LT GaAs)加以克服.

**致谢** 感谢美国海军实验室 Frankel 博士所提供的技术支持.

#### 参 考 文 献

- [1] K. D. Li, A. S. Hou, E. Ozbay *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1992, **61**: 3104.
- [2] Y. G. Wey, K. Giboney, J. E. Bowers *et al.*, IEEE Photon. Technol. Lett., 1993, **5**: 1310.
- [3] J. Vah, Zeghbroek, W. Patrick, J-M. Halbout *et al.*, IEEE Electron. Device Lett., 1988, **9**: 527.
- [4] F. W. Smith, H. Q. Le, M. Y. Frankel *et al.*, OSA Proc. on Picosecond and Optoelectron. March, 1989, Salt Lake City, USA.
- [5] M. Y. Frankel, J. W. Huang and T. F. Kuech, Appl. Phys. Lett., 1995, **66**: 634.
- [6] Yi. Chen, S. Willianson and T. Brock, Appl. Phys. Lett., 1991, **59**: 1984.
- [7] M. Y. Frankel, J. F. Whiyaker, G. A. Mouron *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, 1990, **37**: 2493.
- [8] 王云才,王贤华,陈国夫,等,光子学报,1994, **23**: 551.
- [9] S. Alexendrou, C. C. Wang and R. Sobolewski, IEEE Quant. Electron. 1994, **30**: 1332.
- [10] T. Nagatsuma, T. Shibata, E. Sano *et al.*, J. Appl. Phys. 1989, **66**: 4001.

## 100GHz-Bandwidth Photoconductive Detector

Wang Jilong and Wang Yuncai

*(Department of Applied Physics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)*

Xu Zuntu

*(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

Received 1 April 1997, revised manuscript received 26 June 1997

**Abstract** A novel, integrable photoconductive detector chip is reported. It has an interdigital structure and integrated into a coplanar transmission line on O ion-irradiated silicon on sapphire (SOS) substrate. Its response time is 3.3ps measured by external electrooptic sampling system and the -3dB bandwidth point of its frequency response is over 100GHz.

**EEACC:** 7340S, 7240, 7820J