

# 激光触发光导开关产生超短电磁脉冲的实验研究\*

郭开周 周权 马俊

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

杨斌洲 赵卫

(中国科学院西安光机所,瞬态光学技术国家重点实验室 西安 710068)

**摘要** 本文介绍了用光导开关和微带线结构产生电脉冲的实验装置,研究了激光能量和偏置电压对光导开关输出超短电脉冲的影响和三种尺寸光导开关的特性,测得了一种低掺杂 Cr: GaAs 材料的载流子寿命约为 1.8ns,显示了这种装置用作高速光探测器的可能性。

**关键词** 光导开关,激光脉冲,超短电脉冲,载流子寿命,高速光探测器

## 1 引言

利用激光触发光导开关(PCS)产生超短电磁脉冲的应用前景十分诱人<sup>[1]</sup>。光导开关最吸引人的特性是开关速度快、恢复时间短、可达很高的重复频率、触发漂移小、控制信号与输出信号完全隔离等。这些优越的特性使其在脉冲功率开关技术领域有着广泛的应用。光导开关的应用可分为两类:低电压和高电压。对前者,高速是它最重要的特性,因此开关材料的载流子寿命应尽可能短,目前电脉冲脉宽最窄已做到 200fs。后者要求开关的传输效率尽可能高,高压应用时要求开关材料的暗电阻(无光照射时的电阻)要高。文献[2]对各种开关做了深入的比较研究,认为 GaAs 光导开关的峰值电流可达 3000A,电压可达 150kV,是各种开关中的最优者。光导开关工作在锁住(lock-on)模式,只需其工作在线性模式下的几百分之一的激光能量就能触发,极适合于开拓高功率的实际应用。对光导开关在激光触发下的响应时间和作用机理已有较深入的理论分析<sup>[3-5]</sup>。这里我们用 Cr: GaAs 材料作光导开关,研究了它在不同偏置电压下受激光触发产生超短电脉冲的特性,同时测得了这种低掺杂 Cr: GaAs 材料的载流子寿命约为 1.8ns,在实验中用这种装置做高速光探测器收到了一定的效果。

## 2 光导开关的结构和实验装置

光导开关用 Cr:GaAs 材料(由中国科学院半导体研究所提供),它的掺杂浓度很低,

1993-11-22 收到,1994-04-20 定稿

国家自然科学基金和瞬态光学技术国家重点实验室基金联合资助课题。

郭开周 男,1938年生,研究员,现从事微波固态线路,光控微波和利用激光触发半导体材料产生皮秒电磁脉冲的研究。

周权 男,1967年生,硕士,现从事微波固态线路和超短电磁脉冲方面的研究。

马俊 男,1968年生,硕士研究生。

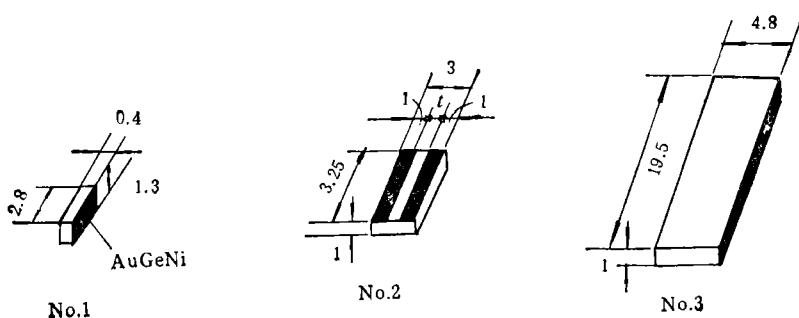


图1 三种尺寸的 Cr:GaAs 光导开关(单位: mm)

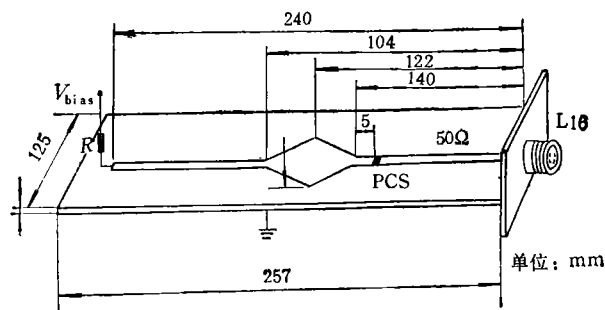


图2 光导开关微带线实验装置(单位: mm)

约为  $10^{15}\text{cm}^{-3}$ , 暗电阻率  $10^7\Omega \cdot \text{cm}$ 。我们设计了三种尺寸的光导开关, 如图 1 所示。为了保证良好的欧姆接触, 光导开关的电极用 AuGeNi 金属化层, 金属化层的厚度约为  $0.5 \sim 1\mu\text{m}$ 。实验时把光导开关安装在微带线结构中, 实验装置如图 2。光导开关与微带线连接处涂上导电银胶保证良好接触。微带线阻抗为  $50\Omega$ , 衬底材料的  $\epsilon_r$  为 2.7, 厚度为 1mm。储能区最低阻抗约为  $20\Omega$ 。储能区与电源之间的微带线铜箔条上下两面均涂有衰减材料, 其长度和衰减量大小可以很容易地控制。电阻  $R$  为  $3.3\text{k}\Omega$ 。光导开关的输出经  $50\Omega$  微带线和同轴电缆连接到存储示波器 (Tektronix 7934)。采用固体 Nd:YAG 激光器, 其波长为  $1.06\mu\text{m}$ , FWHM 为  $65 \pm 5\text{ps}$ , 经过单脉冲选择器后输出单脉冲。在光路中放置一个半反射镜监测激光能量。

### 3 实验结果和分析

图 3 是激光触发脉冲的波形 (FWHM 为  $65 \pm 5\text{ps}$ ), 主脉冲后的小脉冲是单脉冲选择器造成的, 与主脉冲相隔 10ns, 此波形是用 PIN 光电二极管探测的, 波形有些展宽。

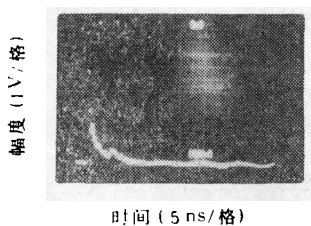


图3 激光触发脉冲波形

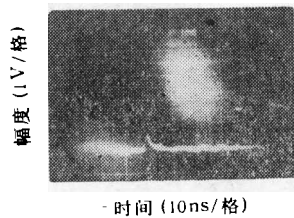


图4 光导开关输出电脉冲波形

图 4 是 No.1 光导开关的输出电脉冲波形。光导开关偏置在 15V。用示波器测得此电脉冲上升时间为 400ps, FWHM 约为 1.8ns, 主脉冲与小峰之间的延时为 10ns, 正好反映了触发激光的波形。波形的脉冲前沿上升稍慢, 这是由所用的材料决定的。2m 长的电缆也使波形展宽了一点。输出电脉冲的幅度比偏置电压的一半稍高, 这是由于光导开关两边的阻抗不对称, 输出段的阻抗高于储能段的阻抗所致。光导开关与微带线结构的这种组合, 理论上的输出电压幅度应为<sup>[6,7]</sup>

$$V_{out}(t) = V_0 Z_0 / (Z_{01} + Z_0 + R_i(t)), \quad (1)$$

其中  $V_0$  是偏置电压,  $Z_{01}$  是充电段传输线特性阻抗,  $Z_0$  是输出传输线特性阻抗

$$R_i(t) = l_{gap}^2 / (\Delta N(t) e \mu) + R_0 \quad (2)$$

$R_i(t)$  是光导开关在激光触发下的动态电阻。其中  $l_{gap}$  是光导开关电极之间的长度,  $\Delta N(t)$  是光生载流子的总数, 它与激光脉冲的能量成比例,  $e$  是电子电荷,  $\mu$  是电子迁移率,  $R_0$  是光导开关电极的总的接触电阻。

GaAs 材料对 1.06 $\mu\text{m}$  的光吸收深度为毫米量级, 我们的光导开关是体开关。由于采用的 GaAs 中 Cr 的掺杂浓度较低、载流子寿命较长, 纳秒量级, 从图中可看出电脉冲的下降沿较长, 这是由于 1.06 $\mu\text{m}$  光产生的载流子的重新结合时间较长。传输线的色散与输出转换头的匹配和示波器的频带对光导开关的输出波形都有影响。若用 0.532 $\mu\text{m}$  光触发, 产生的电脉冲的下降时间会快一些<sup>[8]</sup>, 但此时光导开关为面导电, 不适合于做大功率脉冲开关。

图 5 是 No.2 光导开关在不同偏压和不同激光能量触发下输出电脉冲电压幅度的曲线。实验中  $Z_0 = 50\Omega$ ,  $Z_{01}$  由 50 $\Omega$  向低阻抗渐变, 其等效的阻抗应低于 50 $\Omega$ 。从 (1) 式可知光导开关完全导通时, 输出电压幅度可大于  $V_0/2$ , 图 4, 图 5 波形的电压幅度正好证实了这一点。同时实验结果也表明了光导开关的导通电阻远小于 50 $\Omega$ , 约在几欧姆量级。接触电阻也非常小。从实验数据可看出, 随着光导开关长度的增长, 光导开关达到饱和时所需的激光能量也增大。由 (2) 式可知, 如果  $R_0, e\mu$  保持不变, 欲得到相同的  $R_i(t)$ , 所需激光脉冲的能量正比于开关长度的平方。以 75V 偏压为例, 光导开关饱和时照在 No.1, No.3 表面上的激光能量分别约为 6 $\mu\text{J}$ , 1200 $\mu\text{J}$ 。No.3 和 No.1 开关长度分别为的 4.8mm 和 0.4mm, 其比的平方为 144, 实测能量 1200 $\mu\text{J}$  与 6 $\mu\text{J}$  的比为 200, 两者在数量级上是差不多的。No.2 开关长度为 1mm 是 No.1 开关长度 0.4mm 的 2.5 倍, 如果是体开关, 激光能量要求应为  $6 \times 2.5 \times 2.5 = 37.5\mu\text{J}$ , 但实际上要求的激光能量为 200 $\mu\text{J}$ , 这是由于面开关作体开关用, 载流子的导电途径过长造成的。当然, 实际上激光光斑的能量分布不均匀, 光导开

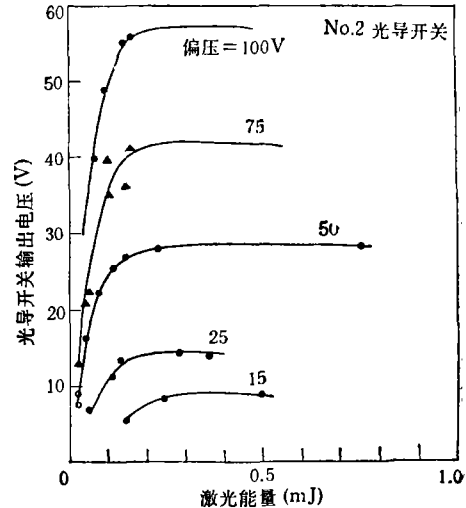


图 5 No.2 光导开关在不同偏压和激光能量下输出脉冲幅度

关表面反射也不尽相同,我们从测得的激光能量估计光导开关吸收的能量是比较近似的。

从实验曲线可以看出光导开关非常重要的一个特性,即当光导开关达到工作阈值(饱和)后,其输出几乎不受激光能量涨落的影响。但激光能量较低时,其输出随激光能量线性增加。

对 No.1 光导开关的实验发现,达到正常工作的激光阈值约为  $6\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ,一直到  $100\mu\text{J}/\text{mm}^2$  仍能正常工作,激光能量加到  $8000\mu\text{J}/\text{mm}^2$ ,光导开关没有烧毁。光导开关承受激光功率的能力是较强的。

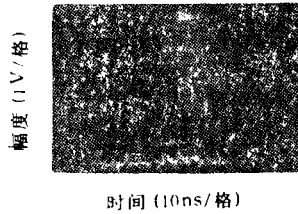


图 6 测得的激光脉冲序列的波形

对于小缝隙光导开关,很小的激光能量就能触发导通,适合于小功率应用的场合,例如可以做成非常灵敏的超短光脉冲检测头和小功率脉冲发生器。本文用 No.1 光导开关做超短光脉冲的探测头,图 6 是测得的激光脉冲序列的波形,脉冲间隔为 10ns,每个激光脉冲的 FWHM 约为 65ps,由于这里的 PCS 的载流子复合时间较长,图 6 中每个脉冲较激光脉冲宽一些。如果采用 Fe:In:GaAs 或 GaAs 在 SOS 上的

光导开关,分别可使反应速度提高到约 100ps 或 10ps。但显示波形的示波器的频带也要很宽,传输线要尽可能短。

根据实验中测得的电脉冲波形我们估计该 Cr:GaAs 材料的载流子寿命约为 1.8ns。我们把 No.3 光导开关安装在自行设计的发射天线上,在 4kV 偏压下用上述激光器触发,离发射天线 2.3m 处用同样的天线接收到了峰峰电压为 125V、正负峰之间的时间间隔为 800ps 的双极电磁脉冲,估计发射功率为 35kW。

#### 4 结论

通过实验证实了我们所用的三种光导开关的导通电阻都很小,所需激光能量与开关长度的平方成比例。对 Cr:GaAs 材料采用 AuGeNi 电极以及用导电银胶与电极连接的工艺是可行的。当光导开关达工作阈值后,其输出几乎不受激光能量涨落的影响。光导开关承受激光功率的能力较强。三种开关可分别用于低功率和高功率场合。用本实验的装置测出了 Cr:GaAs 材料的载流子寿命为 1.8ns。用作超短光脉冲探测头也给出了正常的波形。

**致谢** 作者们对中国科学院半导体研究所何宏家研究员,向贤碧付研究员在光控半导体材料方面的有益讨论以及提供 GaAs 光敏半导体材料和制作金属化层方面的帮助表示深切的感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 郭开周. 电子科学学刊, 1993, 15(1): 60—68.
- [2] Hadizad P, Hur J H, et al. J. Appl. Phys., 1992, 71(7):3586—3592.
- [3] Eiichi Sano, Tsugumichi Shibata. IEEE J. of QE, 1990, QE-26(2): 372—377.
- [4] 李学清,郭开周,陈增圭. 电子科学学刊, 1993, 15(3): 201—203.
- [5] 李学清,郭开周,周权. 电子学报, 1993, 21(9): 20—26,48.
- [6] Lee Chi H. IEEE Trans. on ED, 1990, ED-37(12): 2426—2438.

- [7] Paulus P, Brinker W, Jager D. IEEE J. of QE, 1986, QE-22(1): 108—111.  
[8] Zutavern Fred J, et al. IEEE Trans. on ED, 1991, ED-38(4): 696—700.

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON PHOTOCONDUCTIVE SEMICONDUCTOR SWITCHES

Guo Kaizhou Zhou Quan Ma Jun

*(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080)*

Yang Binzhou Zhao Wei

*(State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068)*

**Abstract** By using the apparatus given in this paper the experiment on photoconductive switches was conducted to investigate the affection of both the laser energy and bias voltage on switch output. By means of the same set-up, the carrier lifetime of Cr: GaAs used was measured to be as 1.8ns, and the possibility of the set-up to be utilized as a high speed photodetector has been demonstrated.

**Key words** Photoconductive semiconductor switch, Laser pulse, Ultrashort electrical pulse, Carrier lifetime, High speed photodetector