

皮秒光导开关的研制及其应用*

袁乃昌 阮成礼 林为干

(电子科技大学应用物理研究所 成都 610054)

摘要 本文介绍了研制 GaAs:Cr, InP:Fe 光导开关的过程。实验显示了开关对光的响应特性,利用光导开关来探测皮秒光脉冲的波形,并且利用光导开关的原理研制成新型的超宽带雷达实验室模型。实验显示了它的脉冲辐射和接收波形。

关键词 皮秒光电子学,光导开关,光导体,超宽带雷达

1 引言

随着光学和微波技术的巨大进步,产生了一系列新型超快速电子装置^[1-4]。这些装置工作在皮秒时域被称为皮秒光电装置,这项新技术涉及光学和电子学领域被称为皮秒光电子学,而连结这两个领域的纽带就是皮秒光导体。利用光导体研制的皮秒光导开关在光电,电光及电磁辐射,微波与光波相互作用等领域已得到广泛应用。美国 Bell 实验室 Auston^[4] 早在 1976 年利用 Si 光导体制成第一个皮秒光导开关,随后一系列皮秒光导开关被研制成功,如 GaAs, InP, 以及金刚石皮秒光导开关。我们也成功地研制了一系列 GaAs, InP 快速响应的光导开关,包括不同缝宽的平面型微带结构的光导开关,体状光导体制成的光导开关。利用这些开关产生高功率皮秒脉冲,且能作为皮秒光的探测器。为了辐射所产生的皮秒脉冲,研制出了用于辐射超短脉冲的超宽带天线,结合光导开关制成超宽带雷达实验室模型。

2 皮秒光导开关的研制

2.1 光导物质 GaAs 是化合物半导体,其能带间隙为 1.42eV,它是用 LEC (Liquid-Encapsulated Czahralski) 技术而制备的,在这种物质生长过程中掺以 Cr 而得到 GaAs:Cr 光导体。此光导体是半绝缘的,在室温下电阻率高达 $10^8\Omega\text{cm}$,依据掺入 Cr 的浓度,载流子寿命从 100ps—3ns。我们采用的是国产的 GaAs:Cr 光导物质,其载流子寿命大约为 100ps。

2.2 光导开关的结构形式 GaAs:Cr 光导开关采用缝隙结构,我们研制了一系列缝宽为 $10\mu\text{m}$ —1mm 的 GaAs:Cr 光导开关,采用同轴微带过渡,微带线的特性阻抗设计为 50Ω ,与 50Ω 同轴线匹配如图 1 所示。由光导开关形成的皮秒脉冲通过微带传输,再由同轴微带转换接头而输出,这样结构简单而且可以控制微带线的长度以及选择合适的基

1993-05-31 收到,1994-01-17 定稿

袁乃昌 男,1965年生,博士生,主要研究领域为皮秒光电子学,微波毫米波集成电路和集成宽带天线。

阮成礼 男,1944年生,教授,博士生导师,从事电磁场与微波技术的研究。

林为干 男,1919年生,教授,博士生导师,中国科学院院士,从事电磁场与微波技术的研究。

片而减少脉冲由于色散而变形, 并且可以节省光导材料。这里我们采用的是陶瓷基片。

2.3 电极接触形式 由于 GaAs:Cr 是高介电常数半绝缘物质, 如直接在其上镀以金属作为电极时, 即在光导体表面直接蒸上 Au 时, 导体电极与半绝缘的 GaAs:Cr 之间形成一个肖特基势垒, 光导开关的接触阻抗较大。这样开关的性能, 效率, 及其寿命也将随之下降。其改进的技术是采用过度层的办法, 用电子束蒸发法使 GaAs:Cr 光导体表面形成一个 Ni(400Å)Ge(300Å)Au(3400Å) 的 Ni/Ge/Au 接触形式称之为欧姆接触, 其接触阻抗接近于零, 开关的光导增益将显著提高。对于 InP 光导体, 其能带结构与 GaAs 相似, 但能带间隙 (1.29eV) 比 GaAs 小。这样可以用低功率的激光来触发, 且相对于 GaAs 光导体来说可用较长一点波长的激光来触发, 如波长为 $0.85\mu\text{m}$ 的 AsAlGa 半导体激光, 并且 InP 比 GaAs 具有更快响应速度。为了改善开关效率, 缝隙采用叉指结构。

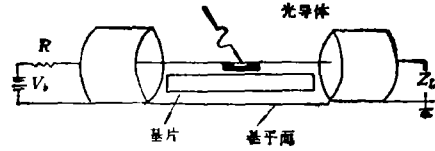


图1 光导开关的结构示意图

对于 InP 光导体, 其能带结构与 GaAs 相似, 但能带间隙 (1.29eV) 比 GaAs 小。这样可以用低功率的激光来触发, 且相对于 GaAs 光导体来说可用较长一点波长的激光来触发, 如波长为 $0.85\mu\text{m}$ 的 AsAlGa 半导体激光, 并且 InP 比 GaAs 具有更快响应速度。为了改善开关效率, 缝隙采用叉指结构。

3 应用研究

3.1 皮秒脉冲激光探测器 利用光导原理, 可用光导开关来探测光的波形, 其实验框图如图 2(a) 所示, 另任选一光导开关都可作为示波器的外触发, 图 2(b) 是利用 nP:Fc 光导开关探测的 YAG 锁模激光器的光的包络图。

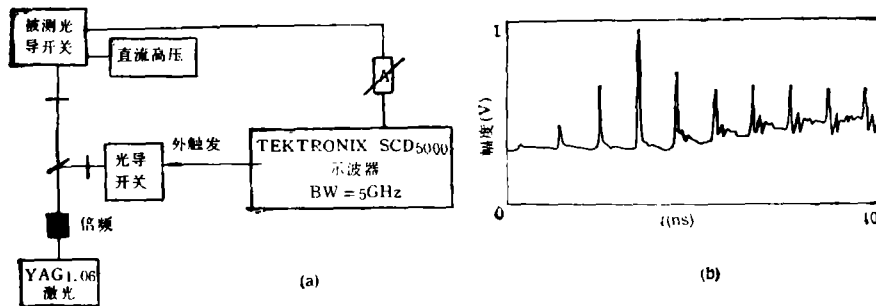


图2 皮秒脉冲激光探测原理
(a) 实验原理 (b) YAG 锁模激光器的光的包络图。

3.2 新型的超宽带雷达实验室模型 随着隐形飞机的问世, 一种能对具有非常小的雷达截面 (RCS) 的目标进行检测和成像的超宽频带 (UWB) 雷达的研究正在取得迅速的进展, 成为当前最吸引人的一种新技术^[5-7]。同时它也是隐形技术和电子对抗技术领域中的一个引起争议的问题。我们利用光导开关原理研制成了一种超宽带 (UWB) 雷达的实验室工作模型, 如图 3 所示。并且研制了用于发射超宽带脉冲的 V-锥超宽带天线^[6], 利用两片相对的 V-形金属张开成一定的圆锥角其宽带特性如图 4 所示, 在 500MHz—20GHz 范围内, 驻波比小于 2.5

4 实验结果

(1) 开关的偏置为直流电压时, 用 Ar 离子连续波激光照射缝宽为 $300\mu\text{m}$ 的开关时

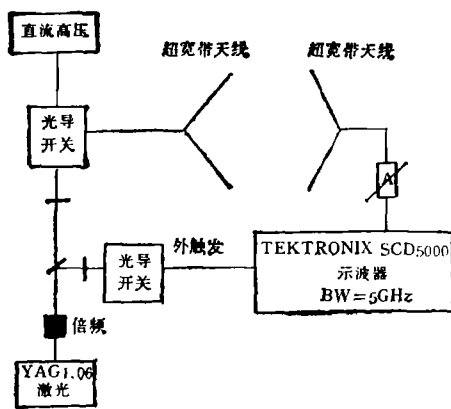


图3 超宽带雷达的实验室工作模型

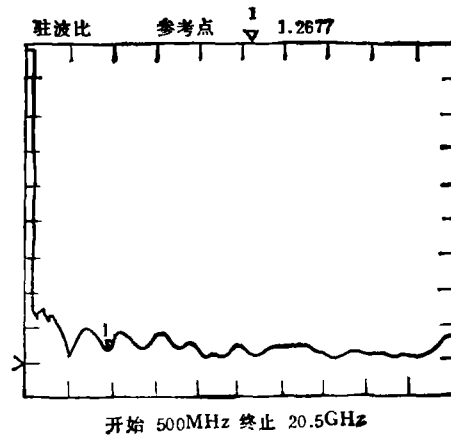


图4 超宽带天线的宽带特性

其光导通性能如表 1。

表 1

输入电压 (V)	7	9	13	15	20	26	30	35.5
输出电压 (V)	25	3	5	6	8	11	14	16

从表 1 和表 2 可以看出开关的接触电阻是很小的，开关的转换效率是很高的。开关缝较窄时，1MW 的激光就可触发，且开关的效率也高。

(2) 用单个光脉冲宽度为 40ps 的倍频锁模 YAG 激光照射缝宽为 1mm 的光导开关时，其电脉冲的宽度大约为 200ps。缝宽，偏置电压以及照射光强度不同时，其电脉冲的宽度也将不同。当缝较窄时，加很低的偏置电压，相对较小功率的激光就可触发，且输出的电脉冲的宽度较窄；而对于较宽的缝，加相同的偏置电压及激光时则输出的电脉冲宽度较宽且脉冲的幅度也较小。图 5(a)和 5(b)为偏置电压为 30V 及 1000V 而照射光的强度相同时输出的结果。增强激光的强度，其输出的幅度也随之增强。缝较宽时可以加高压偏置，可以输出高压皮秒电脉冲，但所需的激光强度也随之增加。当采用体状的光导材料

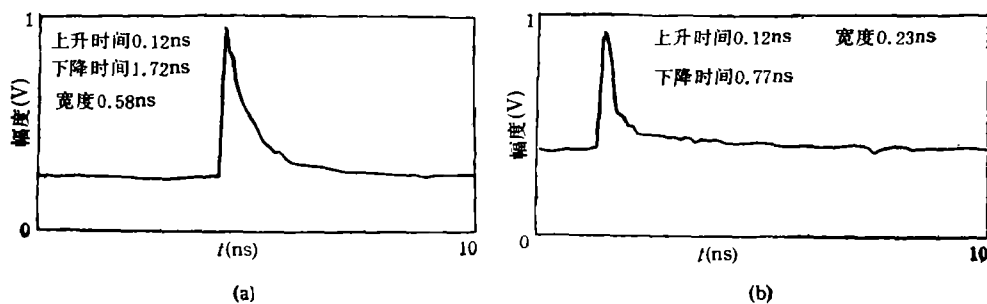


图5 光脉冲照射 C:As:Cr 光导开关时输出的电脉冲波形

(a) 偏置电压为 30V (b) 偏置电压为 1000V

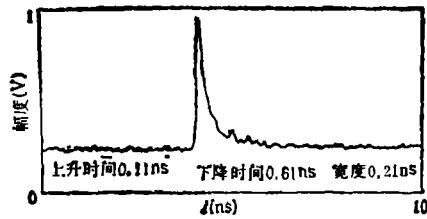
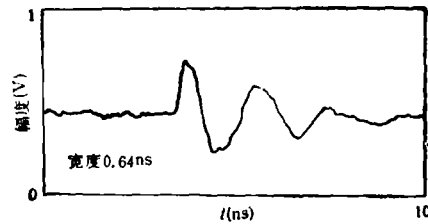


图 6 InP:Fe 光导开关对光脉冲的响应

图 7 超宽带 (UWB) 雷达的实验室模型
辐射接收结果

时,可以加很高的电压,其输出脉冲峰值功率可达兆瓦级。另外,光脉冲宽度也影响电脉冲的宽度,当光脉冲的宽度窄于载流子的复合时间时,载流子的复合决定了电脉冲宽度。当复合时间比激光脉冲短时,电脉冲将基本上和光脉冲保持一致,光脉冲的宽度决定了电脉冲的宽度。当用光脉冲照射偏置电压为 1000V 的 InP 光导开关时,其输出电脉冲波形如图 6 所示,从图 5 和图 6 可以看出 InP 光导开关比 GaAs 光导开关具有更快的响应速度。

(3) 图 7 显示了超宽带 (UWB) 雷达的实验室模型空间辐射接收结果,由于这个结果是在普通的实验室房间里完成的,有很多因素使波形失真变形,但和国外报道的结果比较^[7]仍毫不逊色。而利用光导原理制成超宽带雷达的实验结果迄今未见报道。

5 结论

研制出 GaAs:Cr 和 InP:Fe 这两种光导开关,实验结果验证了这两种开关高速响应特性,利用光导开关探测光脉冲波形和一种新型超宽带 (UWB) 雷达的实验室工作模型,为进一步研究超宽带 (UWB) 雷达提供了新的途径。

参 考 文 献

- [1] Seeds A J. IEEE Trans. on MTT, 1990, MTT-38(5):577—585.
- [2] Lee Chi H. IEEE Trans. on MTT, 1990, MTT-38(5):596—607.
- [3] Xu Deming, Song L, Wu K. IEEE Trans. on MTT, 1992, MTT-40(12):2392—2396.
- [4] Lee, Chi H. Ed. Picosecond Optoelectronic Devices. New York, Academic Press, 1984, 73-248.
- [5] Scott W B, Lancaster C. Aviation Week & Space Technology, 1989, 130 (12): 38—40.
- [6] Yuan N, Ruan C, Lin W. Int. J. Infrared and Millimeter Waves, 1993, 14(1):117—128.
- [7] Madonna R G, Scheno P J. Proc. SPIE, 1992, (1631):165—173.

DEVELOPMENT OF PHOTOCONDUCTIVE SWITCHES AND ITS APPLICATIONS

Yuan Naichang Ruan Chengli Lin Weigan

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract The picosecond photoconductive switches are developed and used to detect the pulse laser waveform. By using the photoconductive switches, a novel lab model of an ultrawide band (UWB) radar is also developed. The experimental results are given to show the performances of the switches and the UWB radar.

Key words Picosecond optical electronics, Photoconductive switch, Photoconductivity, Ultra-wide band radar