

激光腔镜兼作 GaAs 光导开关和储能电容 *

谭吉春

(国防科技大学应用物理系, 长沙 410073)

提要 报道用一块砷化镓基片兼作激光腔镜、光导开关和储能电容, 制作千伏级纳秒脉冲发生器的实验结果。对所介绍的三功能元件的光学和电子学性能以及三种功能之间的相互影响进行了讨论。

关键词 激光谐振腔镜, 光导开关, 半绝缘砷化镓, 脉冲发生技术

应用激光触发光导开关原理产生高功率微波, 是一项有实用价值的新技术。国外已用光控脉冲发生器开展超宽带雷达试验。为使高功率脉冲源适应移动平台(如机载)或人工携行的需要, 人们正努力探寻使脉冲发生器缩小体积和减轻重量的技术途径。

本文报道用激光腔镜兼作光导开关和储能电容的实验研究结果。采用“一镜三用”集成元件, 我们制成一套结构紧凑的短脉冲发生器, 获得了 1~5 ns 脉宽的高功率电脉冲。

1 设计原理与实验装置

图 1 是光控脉冲发生器示意图。直流高压电源 HV_1 , 开关 K_1 和储能电容 C 组成间歇式充电回路。储能电容 C , 砷化镓光导开关 PCSS 和负载 R 组成脉冲式放电回路。Nd:YAG 激光器输出的光脉冲起到控制光导开关 PCSS“通”、“断”的作用。在以往文献所报道的光控脉冲发生器中, 储能电容、光导开关以及激光器等光电部件均为分离元(器)件。导致各部件之间联接电缆较长, 整机体积庞大。

文献[1,2]的研究结果表明: 由于电容 C , 光导开关 PCSS 和激光腔镜 M_1 均可分别用砷化镓材料制备, 因此将上述三个元(器)件集成在同一块半导体基片上在原理上是可行的。

如图 2 所示, 砷化镓圆板的左、右端面镀有环形铝(膜)电极 C_+ 和 C_- , 按图示尺寸计算, 该圆环状平行板电容器容值 $C \approx 100$ pF(材料电导率 $1.5 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, 介电常数 $\epsilon = 13.1$)。

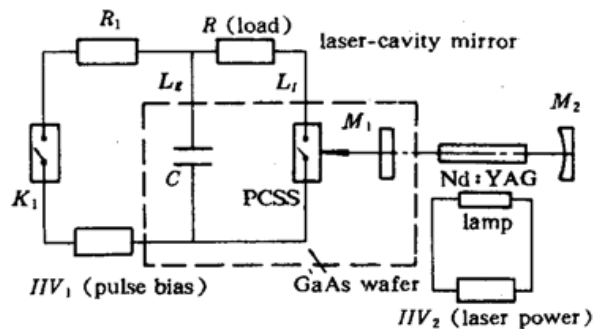


Fig. 1 Experimental setup of a pulse generator.
It is triggered with a Nd:YAG laser

* 本工作是光华基金项目子课题之一, 感谢光华基金会给予的支持。

收稿日期: 1995 年 8 月 29 日; 收到修改稿日期: 1995 年 11 月 6 日

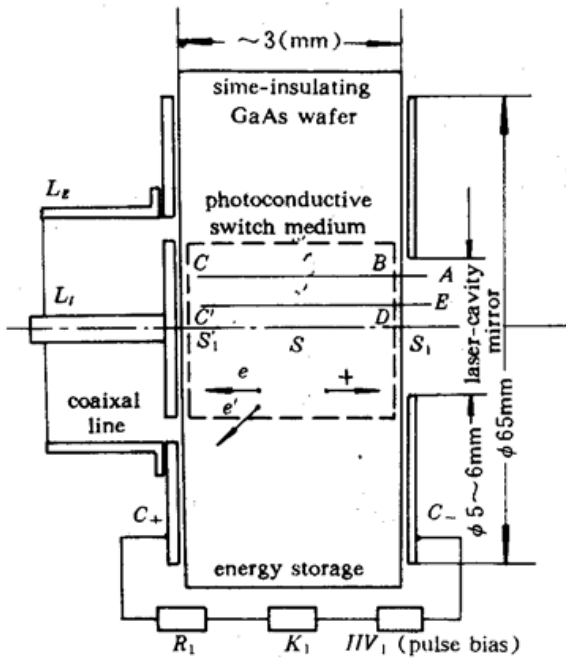


Fig. 2 A GaAs wafer with three functions

C_+ , C_- : plates of capacitor; S_1 or S_1' : laser-cavity mirrors;
 S (PCSS): photoconductive semiconductor switch;
 e' : short circuit

冲发生器整机小型化达到了现有分离元(器)件不能企及的水平。

2 实验结果与讨论

2.1 光导开关注入电流对腔镜性能的影响

据文献[3,4]报道,当介质中自由载流子浓度自 $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 增至 $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 时,砷化镓折射率负增量 ΔN 约为 10^{-2} 量级。在载流子浓度小于 10^{20} cm^{-3} 时,硅的固相反射率无明显变化。

我们用 $0.63 \mu\text{m}$, 1 mW 激光来监测图2中 S_1 端面的反射率。当光导开关介质 S 中电流由小于 $10 \mu\text{A}$ 增至 3.5 kA (峰值)时, S_1 端面的反射率约为 $30 \sim 32\%$ 。用图2集成型腔镜 S_1 和图1腔镜 M_1 (玻片介质膜反射面)在同一台Nd:YAG激光器上对比运行。未见二者激光输出参数有明显差异。实验结果表明,在激光脉冲能量小于 10^{-1} J , GaAs介质中电流小于 10^4 A 条件下,单片砷化镓兼作激光腔镜和光导开关,激光器和放电电路均能同时、正常运行。未观察到激光振荡过程受到注入载流子的干扰。

2.2 开关介质对光能的吸收

设坐标 OZ 轴与腔镜 S_1 的法线重合。Nd:YAG激光在 S_1 和 S_1' 两端面之间往返传播,光强 $I(Z)$ 的变化规律为^[5]

$$\frac{dI}{dZ} = -[\alpha + \beta(I + I_R)]I \quad (1)$$

$$\frac{dI_R}{dZ} = [\alpha + \beta(I_R + I)]I_R \quad (2)$$

式中 I 为 $S_1 \rightarrow S_1'$ 方向的入射光束, I_R 为 S_1' 端面的反射光束。线性吸收系数 $\alpha \approx 1.5 \text{ cm}^{-1}$,双光子吸收系数 $\beta \approx 0.03 \text{ cm/MW}$ 。图2中端面 S_1 和 S_1' 附近A-E各点光强估算值列于表1。

砷化镓圆板中部(虚线框内)的圆柱形区域 S 是光导开关PCSS的本身。该圆柱右端面 S_1 为光学抛光平面,本文以此镜面作为激光输出镜。腔镜 S_1 与图1中全反镜 M_2 组成平凹腔。

圆板左侧的同轴电缆是储能电容 C 和光导开关PCSS串联组件的引出线(记为 L_1 和 L_2)。Nd:YAG激光经腔镜 S_1 透射进入砷化镓介质,在 S 区域激发出电子和空穴。当脉冲激光能量 $\geq 20 \text{ mJ}$ 时,端面 S_1 至 S_1' 的导通电阻约为 $4 \sim 2 \Omega$ 。

综上所述,图2所示集成元件使得放电回路中电容 C 和开关PCSS之间无需另加联接引线,使光导开关PCSS与腔镜 M_1 之间的空间间隙消失。这种一物三用的紧凑结构,对减小放电回路分布电感和提高光能有效利用率是有益的。为进一步缩小硬件的体积,我们将电容充电电源 HV_1 和激光泵浦电源 HV_2 组合成一体。从而使光控脉冲发生器整机小型化达到了现有分离元(器)件不能企及的水平。

Table 1 Laser intensity $I(Z)$ attenuated by reflection and absorption in photoconductive semiconductor GaAs

Samples	Surface S_1 Reflectivity	Surface S_1' Reflectivity	Intensity		Ratio		$I(Z)/(IZ_0)\%$		Material Absorption
			$A \rightarrow$	$B \rightarrow$	$C \rightarrow$	$C' \rightarrow$	$D \rightarrow$	$E \rightarrow$	
1# GaAs	0.32	0.98	100	68	43.3	42.4	27.1	18.4	~40%
2# GaAs	0.02	0.98	100	98	62.4	61.2	39.0	38.2	~57%

两样品的差别主要是: 1# 样品右端面 S_1 为人工抛光面, 而 2# 样品 S_1 面镀增透膜。根据表 1, 估计 1# 样品中有 ~40% 激光能量转换成光生载流子, 2# 样品介质吸收率达 ~57%。1# 样品吸收介质处于激光谐振腔之外。而 2# 样品以 S_1 面为腔镜, 腔内光束穿越 GaAs 介质的光程为 $NL \approx 3.6 \times 6 \text{ mm}$ 。由于介质折射率随放电电流增大而减小^[3], 以 2# 样品为腔镜时, YAG 激光器输出波形不稳定。

图 2 中 GaAs 左端面 S_1 和右端面 S_1' 平行时, 与右腔镜 M_2 形成“三镜腔”。且子腔 $S_1 - S_1'$ 的材料折射率分布不均匀, 导致腔内光束质量劣化。在实验中, 左端面 S_1 已被加工成凹面, 以避免 S_1 和 S_1' 形成“子腔”, 影响 $S_1 - M_2$ 谐振腔的正常运行。

2.3 光导开关与电容“极间短路”

砷化镓中电子的迁移速率约为 $4000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 电子沿 OZ 轴运动对放电电流作出贡献。但径向运动使载流子逸出图 2 虚线框, 导致 C_+ 与 C_- , 以及 L_i 和 L_E 之间“短路”。“短路”发生在放电脉冲的尾部, 本实验利用这一现象压窄脉宽。如图 3 所示, 由于放电回路 RC 常数较小 ($R = 50 \Omega$, $C \approx 100 \text{ pF}$, $RC \approx 5 \text{ ns}$), 加之脉冲尾部因“短路”而截掉, 用图 2 装置产生的激光脉宽为 ~8 ns, 而放电脉宽压窄至 7~5 ns (峰值电压 8 kV, 放电电流约为 3.5 kA)。

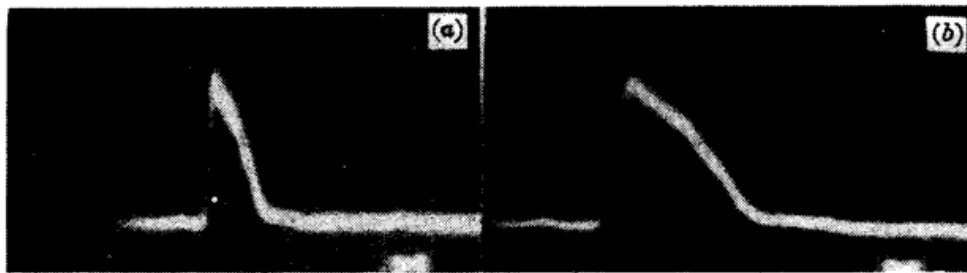


Fig. 3 Discharge voltage waveform (the left) and laser intensity waveform (the right).

5 nanoseconds per horizontal division

2.4 氙灯泵浦条件对 GaAs 电导率的影响

用渐次升高氙灯放电电压的方法, 使谐振腔内的激光功率自 $\sim 10^6$ 增至 10^8 W/cm^2 。测量了 GaAs 腔镜材料的电导率变化规律。如图 4 所示, 在低泵浦水平时, 电导率随腔内激光功率的增大而线性增加。在激光功率大于 $\sim 10^7 \text{ W/cm}^2$ 后, 电导率拟合曲线的斜率变小, 并逐渐趋于饱和。在高泵浦水平下, 当腔内激光功率接近 $1.1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$, 脉宽约 8 ns 时, 本实验装置的 GaAs 镜面经 1~3 次运行后即出现热熔斑痕。为延长镜面使用寿命, 我们将图 1 装置的泵浦工作点限制在 $\sim 1000 \text{ V}$ 以下, 使腔内光功率小于 $5 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$ 。

本文的研究结果表明, 激光腔镜、光导开关和储能电容制作在同一块半绝缘砷化镓基片上, 三元件的光、电性能参数未出现明显的相互干扰。与分离元件相比, 本文报道的三功能集成

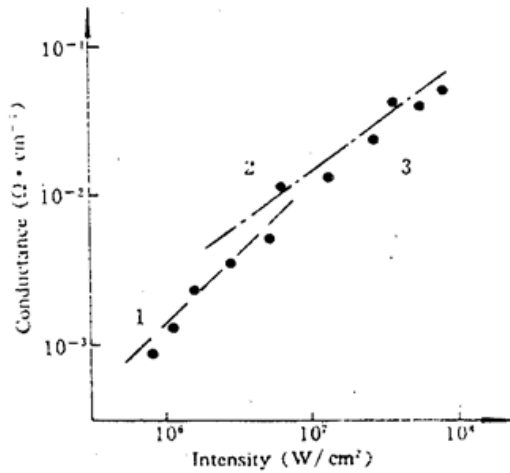


Fig. 4 GaAs conductance as a function of laser intensity

- 1: linear absorption;
 2: two-photon absorption;
 3: melt-threshold energy density $\sim 0.8 \text{ J/cm}^2$

元件使光控脉冲发生器的结构更为紧凑、合理。图 2 装置的耐压不够高(工作电压 $\leq 16 \text{ kV}$)、脉宽不够短(达不到亚纳秒级),有待改进。

参 考 文 献

- 1 A. H. Kim, M. Werner, R. Zcto *et al.*. Photo-conductive nanosecond pulse generation utilizing radial transmission lines. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1990, 37(12): 2506
- 2 谭吉春. 脉冲发生器多功能激光腔镜. 中国专利局, 实用新型专利公报, 专利号: ZL94 2 30986. 3, 1995 年 9 月 10 日
- 3 B. R. Bennett, R. A. Soref, J. A. del Alame. Carrier-induced change in refractive index of InP, GaAs, and InGaAs. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, QE-26(1): 113
- 4 G. J. Galvin, M. O. Thompson, J. W. Marer. Time-resolved conductance and reflectance measurements of silicon during pulse-laser annealing. *Phys. Rev. B.*, 1983, 27(2): 1079
- 5 A. F. Stenart, M. Bass. Intensity-dependent absorption in semiconductors. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, 37(11): 1040

Laser-cavity Mirror Incorporated with Photoconductive Switch and a Energy Storage Capacitor on a GaAs Wafer

Tan Jichun

(Department of Applied Physics, National University of Defence Technology, Changsha 410073)

Abstract A concept of generation of Kilovolt nanosecond pulses was experimentally verified using a three-in-one GaAs wafer, which serves the functions of laser-cavity mirror, photoconductive switch and energy storage capacitor. The optical and electrical performances of the mentioned three elements, together with their interference of each other, are discussed.

Key words laser-cavity mirror, photoconductive switch, GaAs, pulse generation