

用于半导体器件瞬态特性研究的大幅度 矩形纳秒脉冲发生器

周旋 鲍秉乾 李强 李锦林

(中国科学院半导体研究所)

1988年6月8日收到

本文提出了一个用于半导体激光器和其他高速器件瞬态特性研究的大幅度矩形纳秒脉冲发生器的设计。为了产生一对极性相反的高速同步脉冲,在设计中采用了我国发明的新功能器件——双向负阻晶体管(BNRT)。为了获得高速大电流主脉冲输出,采用了同时触发的双雪崩晶体管串联组合电路。所研制的发生器的主脉冲输出,其电压幅度高达200V(在50 Ω 负载)、峰值电流为4A、上升时间约2ns、宽度5—100ns、晃动小于50ps。而且输出脉冲波形呈良好的矩形,其过冲和顶部不平坦度均小于 $\pm 3\%$ 。

主题词: 纳秒脉冲发生器, 开关特性

一、对用于半导体器件瞬态开关特性研究的脉冲发生器的基本要求

近年来,随着半导体技术的进展,高速半导体器件的功率(电压和电流)处理能力已获得了大幅度的提高。半导体器件的应用已从传统的低压、小电流范围进入高压、大电流领域。为此,了解各种半导体器件在高压和大电流下运用的瞬态开关特性,是半导体领域必须解决的基本测量问题之一。为了进行这种测量,一个能提供高速大电流激励信号的脉冲发生器是必不可少的。为了研究半导体激光器及其他大功率和高压开关器件(如高压开关二极管、功率阶跃恢复二极管、高频功率晶体管、VMOS、SIT等)的瞬态开关特性,提供激励信号的脉冲发生器应满足如下一些基本要求:

1. 具有较大的输出脉冲功率(高电压和大电流)。
2. 输出脉冲具有尽可能接近矩形的形状,脉冲顶部平坦,并且脉冲宽度可调。
3. 脉冲前沿时间短,并且有尽可能小的过冲。
4. 具备单次运用和外触发功能,并具有尽可能小的触发晃动。
5. 为便于波形测量,发生器应提供高速同步脉冲,且同步脉冲与主脉冲之间的延迟时间能在宽范围内连续调节。
6. 脉冲重复频率和幅度可调。

二、大幅度矩形纳秒脉冲源设计考虑

根据上节提出的要求,我们设计了一个输出脉冲峰值功率达 800W 的大幅度矩形纳秒脉冲源,其逻辑框图示于图 1。

在该脉冲源的设计中,主要考虑了以下各点:

1. 高性能与通用性的结合。为满足高技术领域的需要,所设计的脉冲源必须具有高的性能指标(特别是输出脉冲幅度、上升时间、晃动等项),而为了满足一般测量工作的要求,仪器又必须具有较强的适用性和通用性。本仪器除提供大幅度脉冲输出外,还增设一路 TTL 方波输出,以便于用户使用。

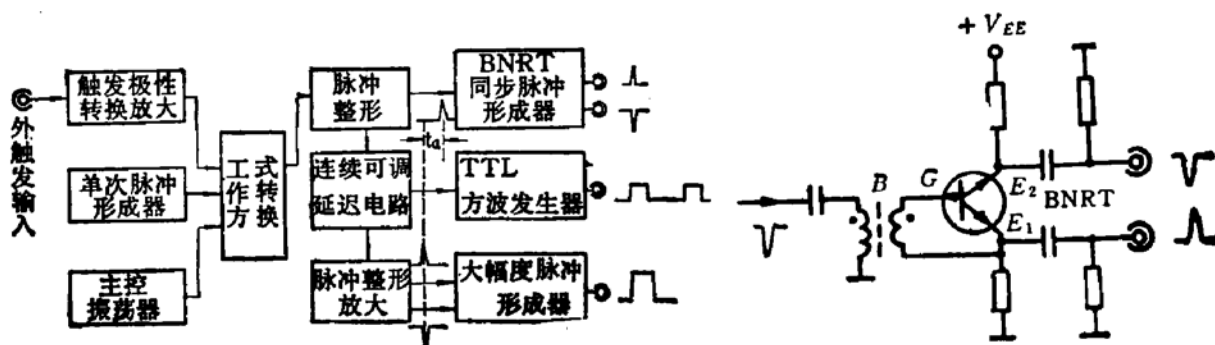


图 1 大幅度脉冲源框图

图 2 BNRT 同步脉冲形成器

2. 电路设计完全采用固体器件,并尽可能多地采用 IC 和其他新型高速半导体器件。
3. 电路设计要便于发展为系列产品。

脉冲源的基本原理,可参看图 1 说明如下:该脉冲源具有内触发、外触发和单次运用三种工作方式。借助“工作方式转换”电路,实现这三种方式的转换。当脉冲源工作于内触发方式时,输出脉冲的重复频率由“主控振荡器”决定。用于“大幅度脉冲形成器”的触发脉冲与启动“BNRT 同步脉冲形成器”的触发脉冲之间的延迟时间 t_d ,可借助“连续可调延迟电路”在很宽的范围 ($-40 \sim +400\text{ns}$) 内连续变化,从而使大幅度主脉冲输出既可以提前也可以滞后于同步输出脉冲。采用这种电路延迟法以代替传统的电缆延迟法,不仅获得了连续可调的正负延迟,而且缩小了仪器体积。其他定时控制电路的设计是十分灵活的。为了提高定时准确性和可靠性,在设计中采用了高速 TTL 电路。

下面对影响脉冲源主要性能指标(幅度、前沿、宽度、晃动)的两个关键电路——BNRT 同步脉冲形成器和大幅度脉冲形成器的电路特点进行介绍:

1. BNRT 同步脉冲形成器 为了获得准确和高稳定的定时,本仪器采用我国科技工作者发明的高速双向负阻晶体管 (BNRT)^[1],作为同步脉冲形成器,基本电路示于图 2。关于 BNRT 的基本工作原理和运用模式分析详见文献 [2]、[3]。在图 2 中, BNRT 工作于单稳状态。为使 BNRT 与前级电路隔离,负极性的触发脉冲通过变压器 B 耦合至 BNRT 的控制极 G,从其输出极 E_1 和 E_2 则得到一对形状相似、极性相反,并且前沿时间为 1—2ns 的高速同步输出脉冲,其幅度为 2—3V,已足以驱动 TTL 或其他晶体管电路。

2. 大幅度脉冲形成器 雪崩管延迟线脉冲发生器已被广泛应用于高速矩形脉冲的产生^{[4][5]}。为了选择适用的雪崩管,我们对多种国内外高速开关晶体管的雪崩特性进行了测量。从表 1 的测量数据可知,具有较快 ($<2\text{ns}$) 脉冲前沿的雪崩管,其输出脉冲的幅度一般较小 ($<100\text{V}$); 相反,具有较大输出脉冲幅度 ($>200\text{V}$) 的雪崩管,其输出脉冲前沿又较慢 ($>5\text{ns}$)。另外,根据文献[5]的分析,单雪崩晶体管延迟线脉冲发生器的输出脉冲幅度,与所用雪崩管的两个击穿电压的差值,即与 $BV_{CBO}-BV_{CEO}$ 之值成比例。为了用单雪崩管延迟线脉冲发生器得到大幅度脉冲输出,势必选择击穿电压 BV_{CBO} 很高的管子,而高击穿电压管子的价格昂贵,其成品率和作为雪崩管运用的人选率都较低,器件参数分散性大。此外,高击穿电压管子的触发延迟和雪崩上升时间也较长,因而不利于获得高质量的输出脉冲。为同时获得大幅度 and 快前沿的输出脉冲,而宁肯将两个具有中等击穿电压的管子作串联运用,这样能在保证获得较快脉冲前沿的前提下,解决大幅度高速脉冲的产生问题。由于这里涉及的是晶体管的高压大电流快速脉冲运用,雪崩管的串联要比低频晶体管的串联复杂得多。基于两个雪崩管串联运用的大幅度脉冲形成电路,如图 3 所示。该电路的设计,着重考虑了以下各点:

表 1 单雪崩管延迟线脉冲发生器性能

雪崩管型号	击穿电压		输出脉冲上升时间 (ns)	输出脉冲幅度 (V)	触发延迟* (ns)
	$BV_{CBO}(\text{V})$	$BV_{CEO}(\text{V})$			
2N2369	30—40	60—80	0.4—0.5	15—20	3.2
2N3904	50—60	110—120	0.5—0.6	35—40	3.2
3DK7F	50—60	120—130	0.5—0.8	30—40	3.5
3DB2I	80—100	160—180	0.9—1.2	50—55	6.0
BT41D	100—120	200—220	0.7—1.0	70—80	4.0
2N5551	150—200	330—350	1.5—2.0	85—100	5.5
3DB2N	200—220	360—380	1.8—2.2	80—110	6.0
BU426A	350—400	800—900	5.5—6.5	200—280	12.5

* 触发脉冲条件: 幅度 5V、上升时间 1.2ns、底宽 20ns。

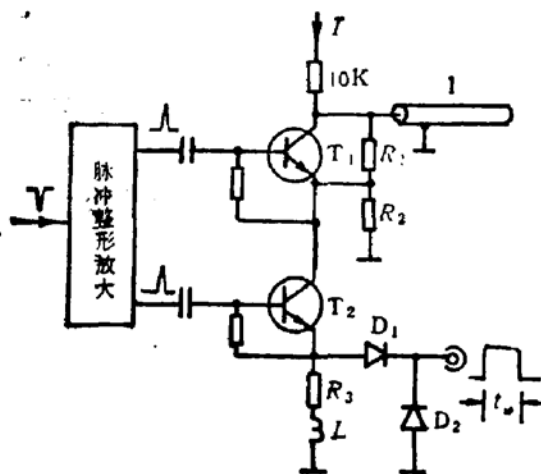


图 3 大幅度脉冲形成电路

(1) 为提高电路运用频率和减小电路功耗,由恒流源 I 通过较小阻值 ($10\text{k}\Omega$) 的电阻对雪崩管 T_1 集电极端的终端开路延迟电缆充电。该电缆长度 l 决定输出脉冲的宽度 t_w :

$$t_w = 2l/v$$

式中 v 是电磁波沿电缆的传输速度。对于采用聚四氟乙烯介质的小型 50Ω 同轴电缆 (如 SYV-50-1 型), $v \approx 2 \times 10^{10}\text{cm/s}$, 换言之, 这种电缆单位长度的延迟时间约为 5ns/m 。

(2) 为增大输出脉冲幅度,将两个雪崩管串联运用。由此获得的输出脉冲幅度约为单管输出的两倍。

(3) 串联运用的两个雪崩管,要预选尽可能具有相同特性 (特别是击穿电压和触发延

迟)管子。

(4) 为避免两个串联雪崩管分压不均, 从而导致一管自激损坏, 采用了直流分压器(图 3 中的 R_1 和 R_2) 对两个雪崩管的集电极施加直流偏压。

(5) 为保证获得无畸变和高稳定的快速脉冲前沿, 通过“脉冲整形和放大”电路, 对两个雪崩管的基极施加同时触发和过驱动激励。

(6) 为保证获得低过冲、平顶和无反射的理想矩形脉冲, 必须对输出电路小心进行补偿。图 3 中的 D_1 和 D_2 系高压高电导开关二极管。利用 D_1 的正向导通压降(0.5~0.7V), 可以削去正极性输出主脉冲基线上的正向小尖峰信号。 D_2 管则用于削去脉冲基线上的负向小尖峰信号。

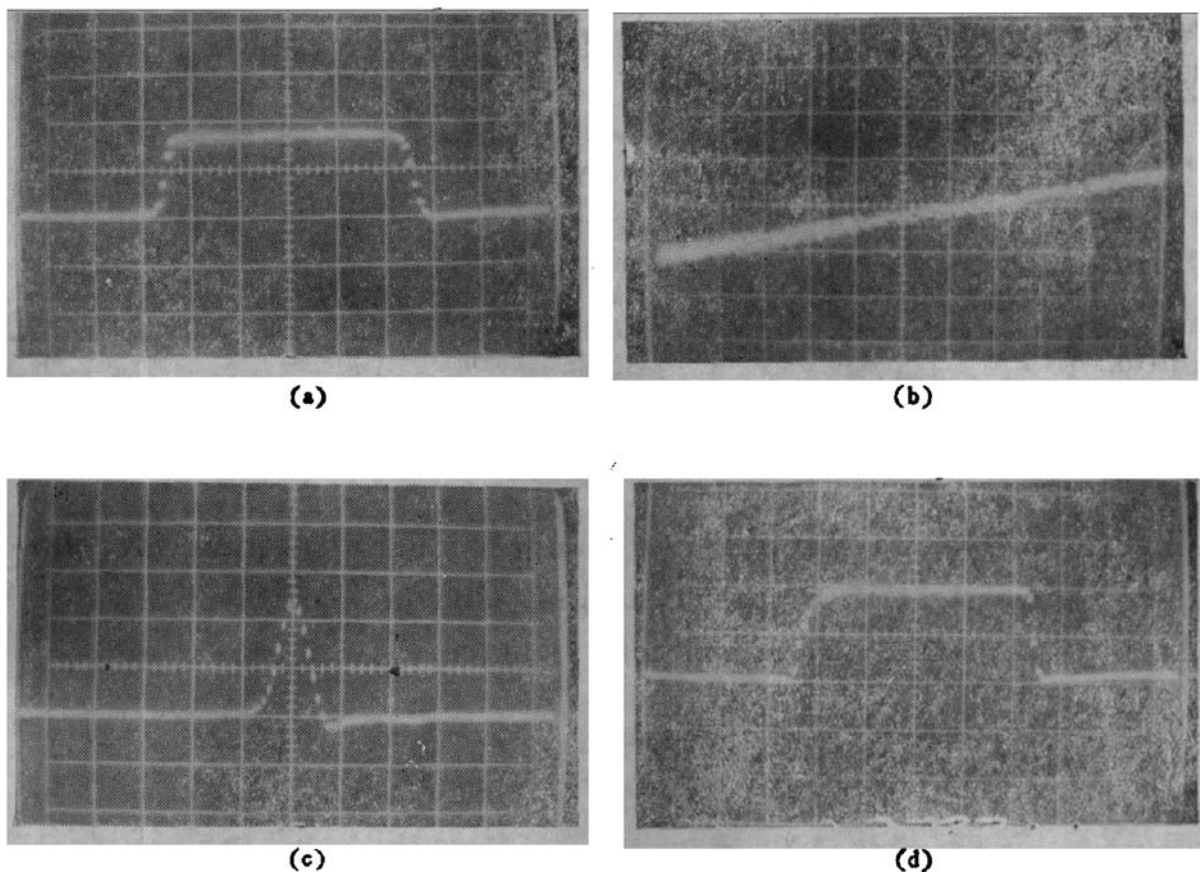


图 4 大幅度矩形纳秒脉冲发生器的输出波形

- (a) 具有平坦顶部的大幅度输出脉冲(垂直: 100V/格; 水平: 10ns/格)
- (b) 输出脉冲前沿具有极低晃动(垂直: 20V/格; 水平: 50ps/格)
- (c) 大幅度窄脉冲(垂直: 50V/格, 水平: 5ns/格)
- (d) TTL 方波输出(垂直: 1V/格; 水平: 20ns/格)

图 4 给出所研制的脉冲发生器的一组输出脉冲波形。由此可见, 输出脉冲呈良好矩形、顶部平坦、前沿几乎无过冲(图 4(a))、脉冲前沿晃动极小(图 4(b))。当输出脉冲形成电缆长度 l 为零时, 发生器输出大幅度窄脉冲, 其脉冲半宽度小于 5ns(图 4(c))。图 4(d) 是 TTL 方波输出。

三、脉冲源的性能指标及应用

所研制的大幅度矩形纳秒脉冲源的主要性能指标如下: 1. 上升时间: $\leq 2\text{ns}$; 2. 下降时间: $\leq 3\text{ns}$; 3. 脉冲宽度: 分5挡调节(5、10、20、50、100ns); 4. 幅度: 最大200V(在50 Ω 负载); 5. 极性: 正极性; 6. 脉冲延迟: 连续可调($-40 \sim +400\text{ns}$); 7. 脉冲前沿晃动: $\leq 50\text{ps}$; 8. 过冲和顶部不平坦度: $\leq \pm 3\%$; 9. 频率: 分挡调节, 最高达25KHz; 10. 工作方式: 单次、内触发、外触发。

本仪器不但可提供大幅度高速矩形脉冲输出, 同时还提供宽度连续可调(20~500ns)的TTL方波输出, 并具有完善的功能调节和各种运用方式, 从而成为科研、教学和电路测量领域的一种比较理想的通用型仪器, 可广泛应用于光闸电控、高压元器件瞬态特性测试、激光器调制、数字电路与系统开发、示波器过渡特性校准、时域反射测量等一系列尖端科技领域。

参 考 文 献

- [1] 李风银、周旋、李锦林、曹体伦, 电子学报, 12, 110(1984).
- [2] 李风银、周旋、李锦林、曹体伦, 半导体学报, 5, 698(1984).
- [3] 周旋、李锦林、鲍秉乾, 电子测量与仪器学报, 1, 1(1987).
- [4] J. Millman and H. Taub, Pulse, Digital and Switching Waveforms 508, New York: McGraw Hill, 1965.
- [5] 周旋、李锦林、鲍秉乾, 电子测量与仪器学报, 1, 42(1987).

A Large-Amplitude Rectangular Nanosecond Pulse Generator for Investigation of the Transient Characteristics of Semiconductor Devices

Zhou Xuan, Bao Bingqian, Li Qiang and Li Jinlin

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

A large-amplitude rectangular nanosecond pulse generator is designed specifically for testing the transient switching characteristics of semiconductor lasers and other high-speed devices. The main output pulses of the developed generator have amplitudes as high as 200 V (into a 50 Ω load), peak currents up to 4 A, a rise time of about 2ns, pulse widths in the range of 5 to 100 ns, and a jitter of less than 50 ps. Moreover, the output pulse waveforms are good rectangular, their overshoot and top aberration are both less than $\pm 3\%$ of amplitude.

KEY WORDS: Nanosecond pulse generator, Switching characteristics.