

半导体激光器快速激励脉冲的形成电路

· 长春光机学院 梁国忠 ·

本文讨论用雪崩晶体管作放电开关, 分别和电容器、传输线两种储能元件构成的毫秒脉冲发生器的工作特点, 及有关电路参数的选择。也介绍了雪崩晶体管与高频大功率晶体管、大功率 MOS 场效应管的组合应用。

一、基本考虑

半导体激光器在脉冲状态工作时, 要求激励脉冲的前沿愈陡愈好。这种脉冲的产生, 是基于储能元件经快速开关放电而实现的。常用的放电开关器件有可控硅、大功率晶体管及雪崩晶体管, 它们构成的电路形式上类似, 如图 1 所示。图中 E 为储能元件, 它可以是电容器, 或者是传输线 (包括同轴电缆和人工线)。为了形成矩形脉冲, 应该采用传输线作储能元件。几个有代表性的激励脉冲形成电路 (即半导体激光器电源) 的主要性能列于表 1^[1~3]。

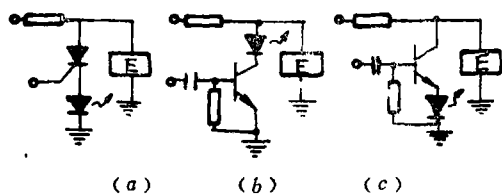


图 1 半导体激光器电源原理图

a) 可控硅开关 b) 大功率晶体管开关 c) 雪崩晶体管开关

从表 1 可以看出, 可控硅开关能转换很大的脉冲电流, 但其重复频率较低。比较起来, 雪崩晶体管的开关速度最快, 能形成前沿为 1

表 1 几种激光器电源的性能比较

开关器件	前 沿 (ns)	脉 宽 (ns)	幅 值 (A)	重复频率 (kHz)	储能元件
可控硅	40	100	200	0.5	人工线
大功率晶体管	<40	150	55	6	电容器
雪崩晶体管	1	10	0.13	500	同轴电缆

ns 左右的脉冲。大功率晶体管的开关性能介于可控硅与雪崩晶体管之间。此外, 雪崩晶体管的温度特性好, 触发灵敏度高。所以, 在要求为半导体激光器提供快速激励脉冲的地方, 常常选用雪崩晶体管作放电开关。

下面, 我们讨论电容器、传输线经雪崩晶体管放电, 产生快速激励脉冲的电路设计问题。

二、电容器放电形成快速脉冲

电路结构如图 2, 其中 C_1 是储能电容器, T_1 为雪崩晶体管。本电路的开关特性主要取决于管 T_1 的雪崩特性。为便于讨论, 图 2 给出了晶体管共发射极电路的输出特性 (对应于基极回路的不同偏置情形)。我们感兴趣的是基极回路接电阻时的击穿特性曲线 (图中的曲线 2)。

本刊 1985 年 5 月收到

- [7] A. Abdul-Fadl et al, J. Cryst. Growth 39, 341 (1977).
[8] J. J. Daniele, et al, J. Appl. Phys, 48, 914 (1977).
[9] M. Kumagawa et al, J. Electrochem. Soc 120 (1973) 583.

- [10] L. Jastrzebski et al, J. Appl Phys 49(12)5909 Dec. (1978).
[11] B. R. Pamplin, 《晶体生长》, 1981, p. 55. 中国建筑工业出版社
[12] M. G. Astles, J. Electronic Materials Vol 10, No 1,3 (1981).

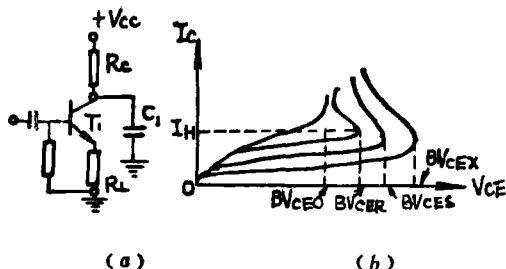


图2 电容放电式激光器电源

电源接通后,在某一范围内,集电极电流随集电极电压增加而缓慢上升(见图2)。但是,当集电极电压上升到 BV_{CE0} (基极接电阻时晶体管的集电击穿电压)时,集电极电流为 I_H (即初始雪崩电流),此时晶体管进入雪崩工作状态。此后集电极电流猛增,集射电压变得很低,晶体管呈现出负阻特性。

上述分析表明,要使用图2电路正常工作,必须满足两个条件

$$V_{CC} < BV_{CE0} \quad (1)$$

$$R_C > V_{CC}/I_H \quad (2)$$

这保证,电源 V_{CC} 接通时,经电阻 R_C 给 C_1 充电,最终充到 V_{CC} 。并且保证,在触发信号到来之前,晶体管 T_1 不会进入雪崩区。

当一正触发脉冲加到 T_1 基极时,它导通, C_1 经 T_1 、 R_E (实际上是半导体激光器) 迅速放电,于是产生大电流脉冲。脉冲特性主要受下列因素影响:脉冲前沿由晶体管从低电流进入雪崩区的速度来决定;由于雪崩电阻很小,脉冲宽度基本上由放电回路的时间常数 $R_E C_1$ 确定;脉冲重复频率取决于充电回路时间常数 $R_C C_1$ 的大小^[4]。受式(2)的限制,重复频率不可能随意提高。

图示电路的重复频率可做到几十千赫。例如,当 $R_C = 15k\Omega$, $C_1 = 1000pF$ 时,重复频率达 20 kHz。

所用晶体管可以从一些普通硅平面开关管(3DK系列)中挑选,也可以使用专用雪崩晶体管,国内已有生产。

三、传输线放电形成快速脉冲

图2电路通过电容放电来产生脉冲,近似

于尖顶脉冲。为了改善脉冲形状,用传输线代替电容器,可以形成快速矩形脉冲。我们讨论均匀传输线情形,设单位长度的电感和电容分别用 L 和 C 表示,则有以下两个基本关系

$$T = \sqrt{LC}$$

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

式中, T 为传输线单位长度的延迟时间, Z_0 为传输线的特性阻抗。

考虑传输线放电形成脉冲的原理,如图3所示^[6]。通过充电电阻将一段终端开路的传输线充电到电源电压 V 。借助开关器件使传输线经负载电阻 Z 放电。如果开关闭合后又断开,传输线就可重新充电。此过程反复进行,就形成周期性的脉冲。开关瞬间闭合的作用,相当于一个数值为 V 的阶跃函数电动势发生器(其连接方式如图3b)。把这个电动势写成时间的函数,即 $[V] = [1]$ 。开关在时间 $t = 0$ 时动作,因而电动势的拉氏变换为 $[\bar{V}] = V/p$ 。

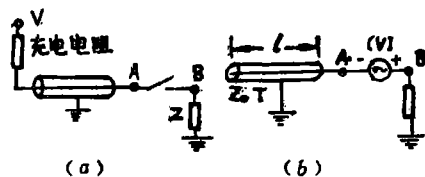


图3 放电传输线脉冲发生器基本电路

如果传输线在远离发生器的一端开路,并且工作于匹配情形(即 $Z = Z_0$),则最终在负载 Z 上得到的信号电压 $\bar{V}_B$ 为

$$\bar{V}_B = (1 - e^{-2pTL}) \cdot [\bar{V}] / 2 \quad (3)$$

式中 l 为传输线长度。

对式(3)取拉氏反变换时,能看出输出脉冲是矩形波,并且其幅度是电源电压的一半,脉冲宽度为 $2Tl$ (即 $2l\sqrt{LC}$)。因此,选择不同长度的传输线和不同大小的电源电压 V ,就能形成各种宽度和幅度的矩形脉冲。这样的矩形脉冲,正是半导体激光器正常工作所必需的。

图4a是传输线放电形成脉冲电路。电源接通后,开路线经电阻 R_C 充电到 V_{CC} 。当一正触发信号加到 T_1 基极时, T_1 产生雪崩导

通, 传输线经激光二极管 D_1 和 R_e 放电。由前面的分析可知, 放电形成的脉冲宽度等于传输线延迟时间的二倍, 并且当 $Z = Z_0$ 时, 可以得到很好的矩形脉冲。因此, 放电回路的等效电路 (图 4b) 应满足关系

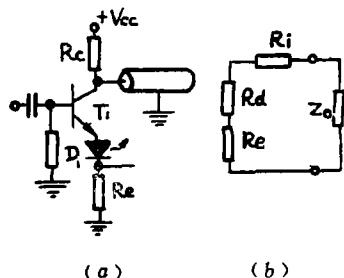


图 4 传输线放电式激光器电源

$$R_i + R_d + R_e = Z_0 \quad (4)$$

式中 R_i 、 R_d 分别为 T_1 、 D_1 导通时的内阻, R_e 为检测电阻 (通常为 1Ω), 借助它可方便地观察电流脉冲波形及其幅度的大小。

传输线一般选用同轴电缆, 也可采用集中参数构成的人工线 (脉冲形成网络)。不过后者只能得到与同轴电缆大致相同的特性, 输出脉冲近似于矩形。尽管如此, 人工线的应用也相当普遍^[3,6]。

四、电路性能的进一步改进

1. 单个雪崩晶体管虽然能产生很大的峰值电流脉冲, 但有时也不能满足激光二极管的要求, 此时可将两、三只雪崩晶体管并联应用。另外, 适当降低工作频率, 同样电路能相应地输出较大峰值的电流脉冲。

2. 也可以选用超高频大功率晶体管作输出级, 来提高输出电流的大小, 如图 5 所示。

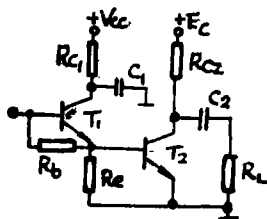


图 5 雪崩管-大功率晶体管激光器电源

图中 T_1 为雪崩晶体管, T_2 为超高频大功率晶体管, 输出脉冲前沿可达 1ns 。

3. 十年前, 场效应晶体管 (FET) 只限于小功率应用。最近 FET 技术有新突破, 能制造出大功率 MOS 场效应管。它有许多优点, 例如①输入阻抗高、驱动功率小, 可直接由 TTL、CMOS 来驱动, ②无少数载流子存储时间, 开关延迟时间极短, 适合于快速工作, ③无二次击穿现象, MOSFET 并联应用时, 会自动均衡电流, 因而不需镇流电阻或温度匹配网络。上述优点, 使大功率 MOSFET 特别适于作半导体激光器电源。与雪崩晶体管相配合, 图 6 给出这样一个例子^[7]。显然, 输出脉冲宽度由传输线的长度来决定, 其幅度由改变 MOSFET 电源电压 E_c 的大小来控制。此外, 为了使脉冲前沿更陡 (小于 1ns), 使用了阶跃恢复二极管 D_1 来整形。

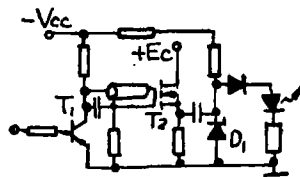


图 6 雪崩管-功率 MOSFET 激光器电源

参考文献

- [1] V. P. Dyakonov et al, Instrum Exp. Tech, 1979, p. 970.
- [2] В. М. Вакуленко и др., Источники питания лазеров, Москва, 1980.
- [3] К. Д. Шмелев и др., Источники электропитания лазеров, Москва, 1981.
- [4] 梁国忠, 兵器激光, 1983, 6.
- [5] I. A. D. 勒威斯等, 毫微秒脉冲技术, 席德明等译 (1965).
- [6] D. K. Armstrong et al, Rev. Sci. Instrum, Vol. 47, No. 6, 1976, p. 767.
- [7] С. И. Зиеанко и др, ПТЭ, 1984, 2, стр. 100.