

研究快报

一种新颖的负阻开关器件
——双向负阻晶体管

李 凤 银 周 旋 李 锦 林

(辽宁朝阳无线电元件厂) (中国科学院半导体研究所)

曹 体 伦

(辽宁朝阳无线电元件厂)

1984 年 6 月 18 日收到

在半导体器件的发展史上,曾出现过多种负阻开关器件。但是能够成为一种实用化的、并在脉冲电路中获得广泛应用而具有生命力的负阻器件却为数不多。在这里考虑的主要因素是:器件的响应速度、输出脉冲的电压摆幅、负阻的稳定性和可控性,以及器件本身的制造工艺和对所用半导体材料的性能要求等。为了适应集成电路发展的需要,我们设计并研制了一种称之为“双向负阻晶体管”(Bidirectional Negative Resistance Transistor, 简作 BNRT) 的新的负阻开关器件。由于它在输出电压摆幅和响应上升时间方面均可与 TTL 电路匹配,而工作电压又较低,并易于采用成熟的硅器件工艺制作,可望在高速脉冲电路中获得广泛应用。

BNRT 的原理结构如图 1(a) 所示。这是一种“合并晶体管”结构,然而它与常见的、也具有电流控制型负阻特性曲线的 PNP 四层结构二极管不同: BNRT 可以看成是具有公共基区和集电区的两个纵向晶体管与一个横向晶体管的复合结构,这个横向晶体管与两个纵向晶体管又具有公共基区,而且所有这些晶体管都是同极性的(同为 NPN 型)。至于 PNP 四层结构的二极管,则可以看出是两个互补晶体管的互联。图 1(b) 表示 BNRT 的电路符号。

在外形上, BNRT 是一种与普通晶体管

类似的三端器件,其电极之一称作控制极(G),另外两个电极是输出极(E_1 和 E_2)。这种 S 型负阻特性受 G 端电位控制。关于 BNRT 参数设计方法的分析,将另文发表。图 2 给出 BNRT 的典型伏安特性曲线(控制极电位为零)。由此可见,加于两个负阻端之间的直流电压可以换向,但对外呈现基本对称的伏安特性曲线。图 3 表示控制极电位对负阻特性曲线的影响。图中峰值电压最大的那条曲线,对应于控制极为零偏压的情况,随控制极负电压增加,峰值电压下降,负阻特性曲线随 V_G 减小向左方移动。

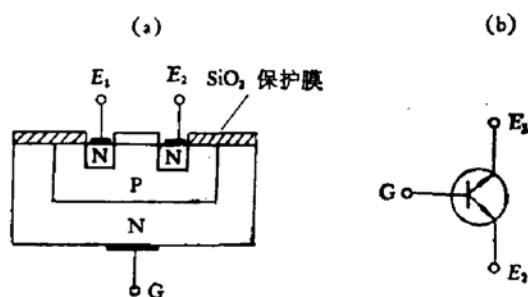


图 1(a) 双向负阻晶体管原理结构 (b) 电路符号

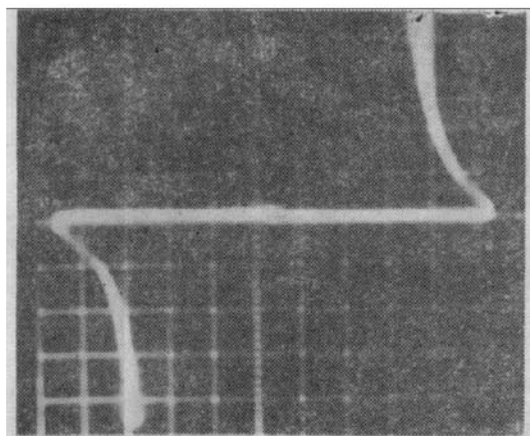


图2 BNRT的典型伏安特性曲线(控制极为零偏压)
(垂直: 5mA/格; 水平: 2V/格)

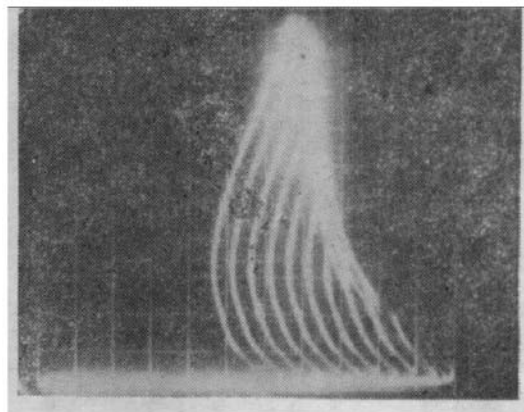


图3 控制极电位对负阻特性曲线的影响
(垂直: 1mA/格; 水平: 1V/格)

所研制的双向负阻晶体管,设计成具有与 TTL 电路兼容的输出电压摆幅、实测响应时间最快的已短于 5ns,在这两方面均有发展潜力。

图4是 BNRT 作脉冲运用时的基本电路。从原则上说,凡伏安特性曲线具有微分负

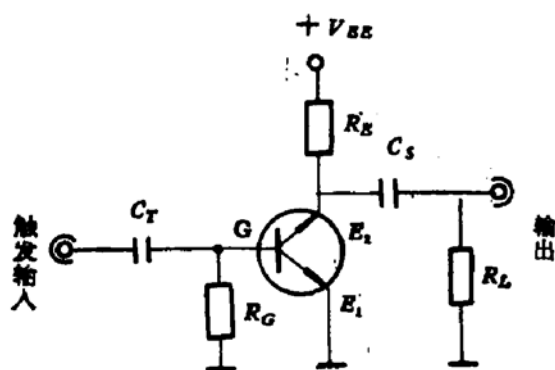


图4 BNRT的基本脉冲电路

电阻的任何器件,均可以用来构成单稳、双稳和自激振荡器等基本脉冲电路。由于 BNRT 具有稳定的 S 型负阻特性曲线,按照电路理论,只须正确选择图4中电源电压 $+V_{EE}$ 和负载电阻 R_E 的数值,便可以获得单稳、双稳和自激振荡三种基本运用方式。图5给出与之相应的输出波形。这里须强调的是,当 BNRT 用作单稳触发器时,其触发灵敏度是比较高的(或说所需触发能量较小),一个幅度不到 2V、底宽仅 5ns 的触发脉冲就能使

BNRT 稳定地触发,而且输出脉冲相对触发脉冲的延迟极小(参看图5(a)). BNRT 用作脉冲振荡器时,图4中储能电容 C_s 一般取值几十 pF 至几百 pF,改变电源电压 $+V_{EE}$,很容易改变脉冲振荡频率,图5(b)给出采用 BNRT 的、1MHz 张弛振荡器的输出波形。BNRT 用作双稳态触发器时,其直流负载线必须与负阻伏安特性曲线形成三个交点,为此在图4电路中输出极 E_2 端的负载电阻 R_E 须选取较小的数值(约几百欧姆),而 BNRT 作单稳和自激运用时, R_E 之值可大得多(几千欧姆)。图5(c)给出 BNRT 双稳触发器的输出波形,其输入触发脉冲频率约为 1MHz。

与已知的几种半导体负阻器件相比, BNRT 具有许多优点。例如,与隧道二极管比较, BNRT 的输出脉冲摆幅高一个数量级,而且因是三端器件,其输出、输入之间的隔离较好,器件制作工艺成熟,无须采用特殊的重掺杂半导体材料。与雪崩晶体管相比, BNRT 的工作电压较低(十余伏)、运用频率高(很易产生频率 1MHz 以上的张弛振荡)、器件特性均一性好,而且因具有双向负阻特性,适于电路灵活设计。与 PNP 四层二极管相比, BNRT 的响应速度快、触发灵敏度高、触发延迟小。所以, BNRT 比较好地权衡

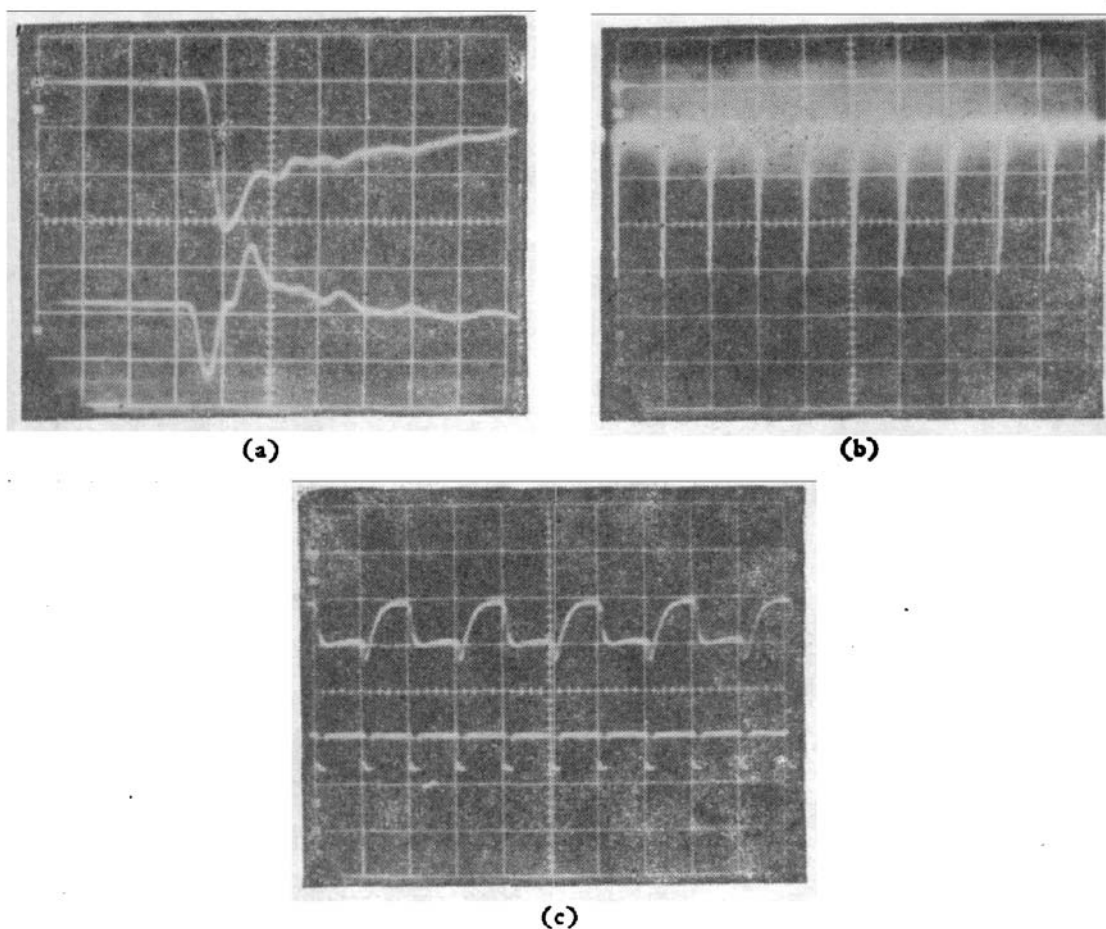


图5 (a) BNRT 单稳触发器的输入(下)和输出(上)波形(垂直: 2V/格;水平: 10ns/格)
 (b) BNRT 张弛振荡器输出波形(垂直: 1V/格;水平: 1 μ s/格)
 (c) BNRT 双稳触发器输入(下)和输出(上)波形(垂直: 5V/格;水平: 1 μ s/格)

了对一个实用半导体开关器件的各项性能要求。尤其是它的制作工艺几乎与硅外延平面开关晶体管完全相同, BNRT 将作为一种实用化的多功能高速脉冲器件应用于集成电路中,从而给高速集成电路的设计多样化,带来新的希望。

蔡田海同志对我们的工作提出了有益的建议, 鲍秉乾同志协助进行了器件的测量, 谨表衷心的感谢。

A Novel Negative Resistance Switching Device——Bidirectional Negative Resistance Transistor (BNRT)

Li Fengyin

(Liaoning Chaoyang Radio Device Factory)

Zhou Xuan, Li Jinlin

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Cao Tilun

(Liaoning Chaoyang Radio Device Factory)

Abstract

A novel structure of negative resistance switching device, Bidirectional Negative Resistance Transistor (BNRT), has been developed. The BNRT is based on a combined structure of a transverse transistor and two longitudinal transistors. These three transistors with a same polarity are implemented on a single silicon chip. Fundamentally, the BNRT is a three-terminal semiconductor device. One is control lead (G); the others, output leads (E_1, E_2). The response rise time measured for the BNRT's is 2~5 ns. Very fast pulse circuits, such as monostable, astable and bistable, have been made by using BNRT's. It is expected that the new device may be widely used in high-speed pulse circuits.