

总剂量辐射对高速电路时间特性的影响

艾尔肯 余学峰 郭 旗 严荣良 陆 妩 张国强 任迪远

(中国科学院新疆物理研究所 乌鲁木齐 830011)

摘要 对不同辐照偏置条件下,总剂量辐射对高速 CMOS 电路 54HC04 时间参数的影响进行了探讨,并与相应的直流参数的响应特性进行了对比,研究了两者之间的相关性。结果表明,在总剂量辐射环境下,高速 CMOS 电路的延迟时间变化与阈电压的漂移有着强烈的相关性,0 V 和 4.5 V 两种偏置状态将分别导致电路的时间参数的明显退化。

关键词 时间特性, 总剂量辐射, 辐照偏置

中图分类号 TN432

54HC 系列 CMOS 器件与一般的 CMOS 器件相比,一个最突出的特点是速度快。虽然对有关 54HC 系列电路的总剂量辐射效应的研究已经有不少的报道^[1-3],但这些研究大多集中在直流参数的总剂量辐射响应特性上,对其时间响应特性的研究尚不充分。虽然在常规条件下,54HC 器件的时间特性参数与其器件阈电压有一定的密切关系,但在总剂量辐射环境下,辐照将不仅造成器件阈电压的漂移,而且将导致迁移率的衰减和功耗电流的增加等一系列电参数的退化,这将使得时间参数与阈电压之间的相互关系复杂。因此专门对总剂量辐射环境中时间参数的退化与阈电压漂移之间的关系进行进一步的研究,对于了解高速电路的损伤特性和机理,从而针对性地寻找可能的加固途径是非常有必要的。

本文对高速 CMOS 54HC04 电路在不同辐照偏置条件下时间参数辐射响应特性及其与阈电压漂移的关系进行了探讨,取得了一些重要的研究成果。

1 实验样品及实验方法

实验样品为国产高速 CMOS 54HC04 器件,辐照源为 ^{60}Co γ 源,辐照剂量率 0.07 Gy (Si) / s,辐照偏置有两种,第一种为导通偏置: $V_{\text{DD}} = V_{\text{in}} = 5\text{V}$, $V_{\text{SS}} = 0\text{V}$;第二种为截止偏置: $V_{\text{DD}} = 5\text{V}$, $V_{\text{in}} = V_{\text{SS}} = 0\text{V}$;上述两种偏置条件下,样品所有输出段端浮空。辐照前和在预定的辐照剂量点,降源取出样品进行移位测量,测试的参数有阈电压、功耗电流、输出上升和下降时间及输入输出延迟时间等,阈电压按美军标 MIL-M-38510 规定的 10 μA 恒流法测试,时间参数的测试条件为:电源电压 4.5 V,输入脉冲信号频率 1MHz,幅度 4.5V。每次测试时间不超过 20min。

2 实验结果及讨论

图 1 (a) 和 (b) 分别给出了 54HC04 电路在不同总剂量辐照偏置条件下输出上升时间 T_r 和下

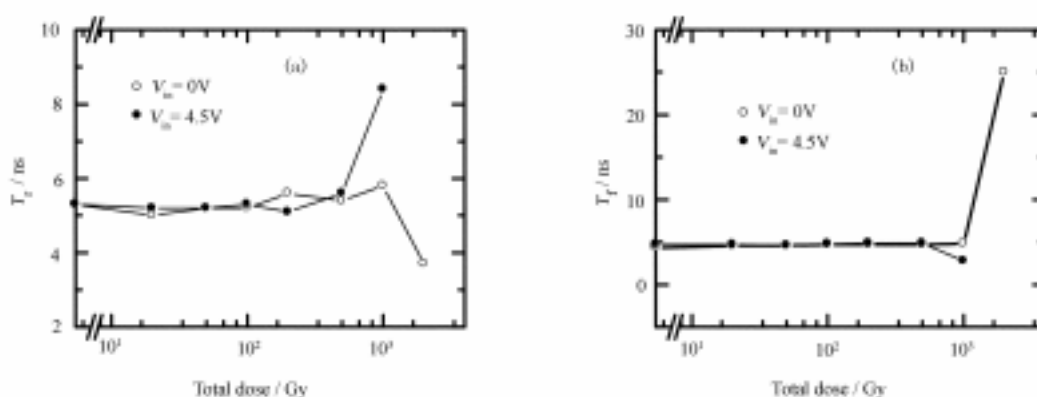


图 1 54HC04 电路输出上升时间 (T_r) 和下降时间 (T_f) 随总剂量的变化关系

Fig.1 Variations of rising (T_r) and falling time (T_f) of 54HC04 with the total dose radiation

第一作者: 艾尔肯, 男, 1972 年出生, 2002 年于中国科学院新疆物理研究所获硕士学位, 助理研究员

收稿日期: 2001-05-30, 修回日期: 2002-02-21

降时间 T_f 随总剂量的变化关系。从图 1 可以看出, 当辐照累积剂量增加到一定值时, 样品的上升时间 T_r 在 4.5 V 偏置辐照下的增加幅度远大于相应 0 V 偏置, 而下降时间 T_f 则相反, 0 V 偏置下 T_f 的增加幅度远大于相应 4.5 V 偏置下 T_f 的漂移。

为了将样品时间参数变化与阈值电压漂移联系起来, 图 2 给出了 54HC04 电路阈值电压随总剂量的变化关系。从图 2 可以看出, 随着辐照累积剂量的增加, N 沟 (N_{CH}) 阈值电压在 4.5V 偏置下负向漂移, 在 0V 偏置下则向正向漂移, 且 0V 偏置下的绝对漂移幅度大于 4.5V 下的漂移幅度。P 沟 (P_{CH}) 阈值电压在两种偏置条件下都向负向漂移, 但 4.5V 偏置下的漂移幅度大于相应 0V 偏置下的漂移幅度。

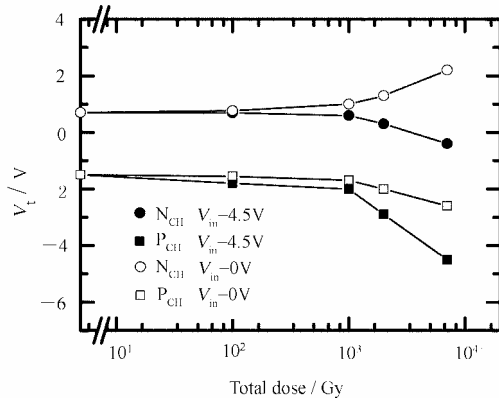


图 2 54HC04 电路阈值电压随总剂量的变化关系

Fig.2 The threshold voltage of 54HC04 versus the total dose radiation

器件输出上升时间的大小主要取决于 P 沟道的开启速度, 此外与 N 沟道关断的难易程度亦有相当大的关系; 器件输出下降时间的大小主要取决于 N 沟道的开启速度, 同时与 P 沟道的关断速度也有一定的关系。从图 2 可以看出, 由于 4.5V 偏置下的 P 沟阈值电压漂移幅度大于相应 0 V 偏置下的阈值漂

移, 使得器件在经过一定累积剂量的辐照后, 前者的开启速度比后者慢, 而关断速度比后者快; 对 N 沟道来说, 4.5V 偏置下的 N 沟阈值电压负向漂移, 而 0 V 偏置下的 N 沟阈值电压正向漂移, 造成前者比后者开启速度慢, 但更容易关断。由此造成了随辐照累积剂量的增加, 器件在 4.5V 偏置下的输出上升时间比相应 0V 下的增加幅度大, 输出下降时间则比后者增加小, 在大的累积剂量下甚至有所减小。

图 3 (a) 和 (b) 分别给出了 54HC04 电路在不同总剂量辐照偏置条件下, 其输入延迟时间 T_{PHL} (输入上升沿到输出下降沿延迟) 和输出延迟时间 T_{PLH} (输入下降沿到输出上升沿延迟) 随辐照累积剂量的变化关系。

从图 3 可以看到, 随着辐照累积剂量的增加, T_{PHL} 在 0 V 偏置下的增加幅度远大于相应的 4.5 V 偏置, 而 T_{PLH} 情况则恰恰相反。文献[2]、[4]认为, 对于 54HC04 等比较简单的电路来说, 在输入信号为一定的标准信号前提下, 输入输出延迟时间的大小主要取决于输出波形的好坏, 具体来说, T_{PHL} 取决于输出波形的 T_f , 而 T_{PLH} 则取决于 T_r 。随着辐照累积剂量的增加, 由于 T_f 在 0 V 偏置下的增加幅度比 4.5 V 大, 造成了 T_{PHL} 在 0V 偏置下的增加幅度也比相应 4.5V 偏置大。 T_{PLH} 的情况可以此类推。

需特别指出的是, 对于比较复杂的电路, 情况并不如此简单。对一个从输入到输出有 n 级的反相器电路来说, 假设其第一级的延迟时间为 T_{PHL1} 、 T_{PLH1} , 第二级为 T_{PHL2} 、 T_{PLH2} , 以此类推, 直至 n 级, 则器件整体的输入输出延迟时间 T_{PHL} 和 T_{PLH} 分别为:

$$T_{PHL} = T_{PHL1} + T_{PHL2} + T_{PHL3} + \cdots + T_{PHLn}$$

$$T_{PLH} = T_{PLH1} + T_{PLH2} + T_{PLH3} + \cdots + T_{PLHn}$$

显然, 整个电路的延迟时间是其内部各个级延

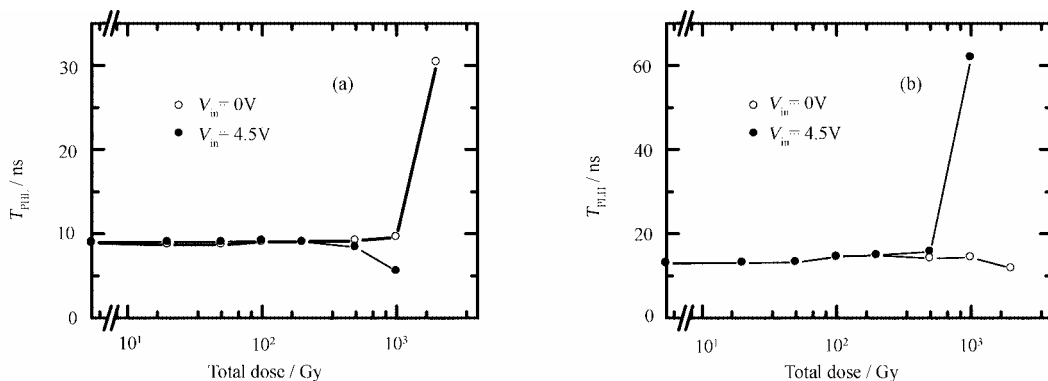


图 3 54HC04 电路输入延迟时间 T_{PHL} (a) 和输出延迟时间 T_{PLH} (b) 随总剂量的变化关系

Fig.3 Variation of input (a) and output (b) delay time of 54HC04 with the total dose radiation

迟的综合反映,在该种情况下,延迟时间与输出波形的上升或下降时间已没有单一的直接对应关系。

3 结论

在总剂量辐射环境中,54HC04 电路的延迟时间变化与阈电压的漂移具有强烈的相关性。主要表现为电路 N 沟阈电压的正漂将引起器件下降时间 T_f 的增加,从而导致输出延迟时间 T_{PHL} 的增加,反之则减小;P 沟阈电压的负漂将使器件上升时间 T_r 增加,负漂幅度越大,则增加幅度越大,从而导致输出延迟时间 T_{PLH} 的增加,反之则减小。简单电路的延迟时间与输出波形的形状(上升或下降沿)有

单一对应关系,但对复杂电路来说,某一延迟时间的大小是电路内部多级输出上升和下降时间的综合反映。

参考文献

- 1 Sexton F W, Schwank J R. IEEE Trans Nucl Sci, 1985, **32** (6):3975
- 2 Yue H. IEEE Trans Nucl Sci, 1987, **34**(6):1464—1468
- 3 McLean F B. IEEE Trans Nucl Sci. 1980, **27**(6):1651—1657
- 4 郭旗,陆妩,余学锋,等.核技术,1998,**21**(8):503—506
GUO Qi, LU Wu, YU Xuefeng, et al. Nucl Tech, 1998, **21**(8):503—506

Effects of total dose radiation on time characteristic of high-speed CMOS circuits

Erkin YU Xuefeng GUO Qi YAN Rongliang LU Wu ZHANG Guoqiang REN Diyuan

(Xinjiang Institute of Physics, the Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Abstract The effects of total dose radiation on the time characteristic of high-speed CMOS circuits in different radiation bias have been studied and compared with the related DC parameters. The results indicate that there are intense interrelations between the time characteristic and the DC parameters. It is also shown that the different radiation bias causes obviously different irradiation degeneration in the time characteristic of high-speed CMOS circuits.

Key words Time characteristic, Total dose radiation, Radiation bias

CLC TN432