

文章编号: 1001-4322(2007)02-0318-03

# X 射线不同方向辐照 80C196KC20 单片机研究\*

牟维兵, 徐 曦

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 为明确 X 射线不同方向入射对器件的影响, 利用中国测试技术研究院的直流 SJ-A X 光机产生的 X 射线, 从与垂直 80C196KC20 单片机表面不同方向角度对单片机进行辐照试验。试验结果显示, 随着辐照角度由 0° 增加到 90°, 单片机所受的影响逐渐减小, 90° 时最不明显, 表明此种单片机外壳在对其 X 射线总剂量效应的影响最大, 原因在于 X 射线在不同方向照射时, 需要穿过不同厚度的封套材料, X 射线在此过程受到的衰减不同。

关键词: X 射线辐照; 80C196KC20 单片机; 总剂量效应; 衰减

中图分类号: O571.4; TN47 文献标识码: A

X 射线辐照器件, 特别是辐照大规模集成电路时, 会产生总剂量效应而使器件的电性能发生变化。由于集成电路内部结构复杂, 既存在一定厚度的封装材料, 又在内部存在不同材料的界面, 因此 X 射线不同方向入射器件时器件电性能的变化是不同的。封装材料主要对射线起屏蔽衰减作用, 而界面存在则可能产生剂量增强效应<sup>[1]</sup>。因此, 不同方向的 X 射线入射集成电路造成的影响是几种效应共同作用的结果。对不同的器件, 其起主要作用的效应是不同的。

INTEL 80C196 用 CHMOS 工艺制造。80C196KC 属于 INTEL 8XC196 HSIO 系列产品, 是 CHMOS 196 系列的下一代升级产品。80C196KC20 单片机广泛使用在各种电子系统中, 是系统的核心。对其进行 X 射线总剂量辐照, 研究 X 射线不同方向入射时, 器件结构与总剂量的关系, 在国内外未见相关报道。

## 1 实 验

单片机在 X 射线和  $\gamma$  射线辐照下, 其电性能参数变化十分复杂, 各项参数都发生变化, 并且变化到一定程度时其逻辑运算功能也会变化。根据国内外的研究经验, 一般用单片机的工作电流变化来反映其所受到的总剂量辐照<sup>[2-3]</sup>。因为这个参数比较灵敏, 并且其变化情况也能反映单片机的工作状态是否正常。

单片机 80C196KC 的运行, 需要满足其最小需求, 才能够保证其正常工作。在单片机上加上晶振电路、复位电路以及电源, 就构成了一个单片机最小系统。其组成结构如图 1 所示。

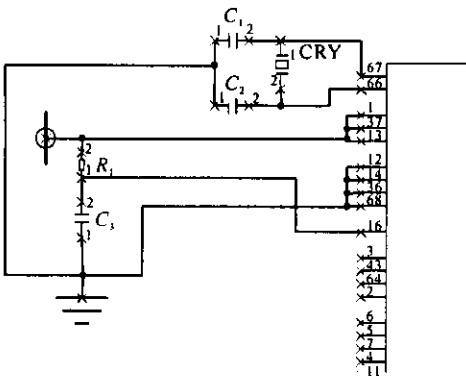


Fig. 1 Minimum system of 80C196KC20 microprocessor

图 1 80C196KC20 单片机最小系统图

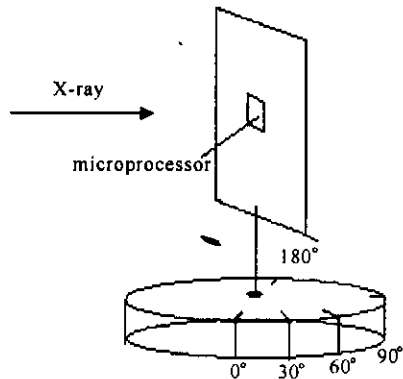


Fig. 2 Sketchmap of experimental devices

图 2 实验装置示意图

依据最小系统的需求进行制板, 在单片机内部时钟发生器输入、输出端之间外接晶体, 且外接晶体需并联两个电容, 其值一般选取在 20 pF 左右, 这对于工作于 1 MHz 以上质量较好的晶体都十分匹配。10  $\mu$ F 的电

\* 收稿日期 2006-09-14; 修订日期 2006-12-03

基金项目: 中国工程物理研究院面上基金资助课题(20050430)

作者简介: 牟维兵(1969—), 男, 副研究员, 重庆万州人, 从事抗辐射加固技术研究; muweibing@sohu.com。

和  $30\ \Omega$  的电阻提供了约  $0.3\ \text{ms}$  的复位时间。图 1 中元器件的参数如下： $C_1, C_2$  电容值为  $20\ \text{pF}$ ， $C_3$  电容值为  $10\ \mu\text{F}$ ， $R_1$  电阻值为  $30\ \Omega$ ，外接晶体 CRY 的频率为  $2\ \text{MHz}$ 。通过以上参数的选择，不但满足需远距离监测的实验条件单片机正常工作，而且可以保证测量的信号基本不受影响。

实验样品安装于电路板并固定在样品支架上，可以按照任意角度转动，以射线垂直入射器件正面为  $0^\circ$ ，通过转动分别进行了  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  和  $180^\circ$  的样品辐照，实验装置见图 2。

在进行 X 射线辐照时，用空气电离室监测样品处的剂量，在单片机电源线串入电流表测量其工作电流。

## 2 实验结果

X 射线由中国测试技术研究院的 SJ-A 直流 X 光机产生，对 N80C196KC 芯片在室温下 5 种角度进行了 X 射线总剂量辐照，剂量率在  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  和  $180^\circ$  时分别为  $3.92 \times 10^{-2}\ \text{Gy/s}$ ， $3.01 \times 10^{-2}\ \text{Gy/s}$ ， $6.55 \times 10^{-2}\ \text{Gy/s}$ ， $6.02 \times 10^{-2}\ \text{Gy/s}$  和  $1.07 \times 10^{-3}\ \text{Gy/s}$ 。进行准动态偏置辐照实验，实验内容为测量 N80C196KC20 器件总剂量辐照时的工作电流特性。

本次实验 X 光机工作电压为  $120\ \text{kV}$ ，束流  $10\ \text{mA}$ ，有效能量约为  $40\ \text{keV}$ ，无滤光材料。在 5 种角度下实验测量的单片机工作电流随 X 射线辐照剂量的变化如图 3 所示。从图 3 可以看出，在 X 射线以不同方向进行辐照时，单片机工作电流的变化趋势一致，随着 X 射线入射角度的逐步变大，单片机工作电流产生相同变化的 X 射线剂量也逐步增大。在进行  $180^\circ$  方向背照射时，所需剂量超过正照射时的 2 倍。

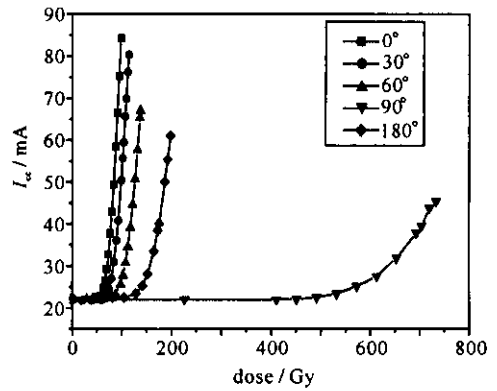


Fig. 3 Current of microprocessor with incidental direction of X-ray

图 3 单片机工作电流随 X 射线不同入射方向的变化

## 3 实验结果分析

在实验过程中，单片机固定在电路板上，单片机灵敏区是在器件中间很小的区域，外面是一定厚度的封装材料，灵敏区尺寸与封装材料尺寸相比可以忽略，具体经过的衰减材料情况如图 4 所示。封装外壳和电路板厚度相当，均为硬塑料，主要化学成分基本相同，因此对 X 射线的衰减系数基本相同。在  $90^\circ$  方向上，单片机侧面的封装外壳比正入射方向厚得多。

从上面的材料结构可以看出，X 射线从不同方向入射时经过的材料厚度是不一样的。从  $0^\circ$  到  $90^\circ$  方向变化时，X 射线穿过的厚度逐渐增加，厚度满足

$$d = d_0 / \cos\theta \quad (1)$$

式中  $d_0$  是垂直入射时的厚度； $\theta$  是入射角度（入射方向和器件表面法线之间的夹角），在  $90^\circ$  以内变化。在  $90^\circ$  方向时，厚度是侧面到灵敏区的厚度；在  $180^\circ$  时，厚度为电路板加上芯片正面封装材料的厚度。

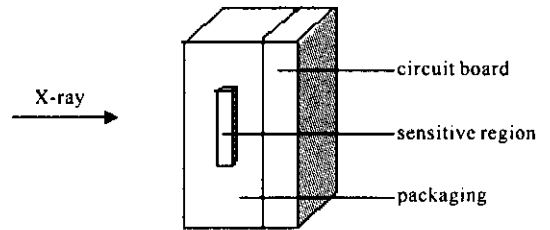


Fig. 4 X-ray goes through to the sensitive region of the materials

图 4 X 射线达到灵敏区所经过的材料情况

根据图 3 中单片机工作电流随辐照剂量的变化关系，可以看到工作电流一定时，辐照剂量随 X 射线穿过的材料厚度增加而增加。 $90^\circ$  方向最大， $180^\circ$  次之，在  $0^\circ \sim 90^\circ$  之间随角度减小而减小。

以上事实说明，X 射线不同方向辐照单片机，引起的总剂量效应差异主要是单片机封装外壳厚度决定的。X 射线穿过的材料越厚，其受到的衰减越大，因此需要更大的辐照剂量。另外，不同方向的 X 射线增加效应也存在差异，但不显著。

## 4 结论

采用 X 光机产生的平均能量约  $40\ \text{keV}$  的 X 射线辐照 80C196KC20 单片机，其总剂量效应随 X 射线的辐照方向差异明显。 $0^\circ$  方向辐照总剂量效应最显著，随着角度在  $90^\circ$  内逐渐增加，效应逐渐减弱， $90^\circ$  时最不明显。另外，在  $180^\circ$  方向辐照时，由于受电路板的影响，总剂量效应得以减弱。

此种单片机在受到不同 X 射线辐照时，总剂量效应差异主要由器件封装外壳引起。根本原因是 X 射线在不同方向辐照时，需要穿过不同厚度的封装材料才到达单片机灵敏区对器件起作用，在此过程中 X 射线所受

到的衰减也就不同。还有一个原因是单片机 X 射线剂量增强效应的影响,但其作用不明显。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 赖祖武,包宗明.抗辐射电子学[M].北京:国防工业出版社,1998.(Lai Z W, Bao Z M. Radiation hardening electronics. Beijing: National Defence Industry Press, 1988)
- [ 2 ] 徐天容,杨怀民.大规模集成电路中子和 $\gamma$ 射线综合电离辐照效应研究[J].强激光与粒子束,2005,17(5):756-760.(Xu T R, Yang H M. Synthetical ionization irradiation effects of neutron and  $\gamma$ -ray on very large scale integrated circuit. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(5):756-760)
- [ 3 ] 贺朝会,耿斌,何宝平等.大规模集成电路总剂量效应测试方法初探[J].物理学报,2004,53(1):194-199.(He C H, Geng B, He B P, et al. Test methods of total dose effects in very large scale integrated circuits. *Acta Physica Sinica*, 2004, 53(1):194-199)

## 80C196KC20 microprocessor irradiated by X-ray in different directions

MU Wei-bing, XU Xi

(*Institute of Electronic Engineering, CAEP, P. O. Box 919-522, Mianyang 621900, China*)

**Abstract:** X-ray is produced by SJ-A X-ray tube in China Academy of Measurement and Test Technology, Chengdu, and 80C196KC20 microprocessor is irradiated by X-ray in different directions. The direction is defined along the line which is perpendicular to the surface of the microprocessor. The results of the test show that the effect of X-ray to the microprocessor decreases while the angle changes from  $0^\circ$  to  $90^\circ$ . The main reason is that X-ray may go through different thickness of the crust of device when the device is irradiated in different directions.

**Key words:** X-ray irradiation; 80C196KC20 microprocessor; Total ionization effect; Decline