

模拟集成电路 抗辐射加固技术

电子工业部第二十四研究所编译

Radiation Harden-
ing of Analog Int-
egrated Circuits

科学技术文献出版社重庆分社

模拟集成电路抗辐射加固技术



模拟集成电路抗辐射加固技术

电子工业部第二十四研究所 编 译

科学技术文献出版社重庆分社

一九八七

内 容 简 介

本书共搜集了美国1970~1986年期间模拟集成电路抗辐射加固技术文章和产品介绍文章共46篇,内容涉及运算放大器、电源调整器、功率器件、数据转换器、多路开关、系统回避技术用的电子开关及下一代低成本高可靠模拟集成电路宏单元等器件的辐射效应;器件线路设计的加固技术;器件制作工艺的加固技术;器件辐射响应的分析与测试技术;器件性能退化的估算技术和试验数据;器件的加固保证技术以及少量制作抗辐射模拟和数字集成电路通用的工艺技术;另外还有部分产品的有关电原理图、电性能参数与曲线、产品测试电路与测试方法、封装方法与引线排布、老化电路、辐射电路、辐射筛选与抗辐射水平等详细资料。本书是国内首次出版的较全面、系统的模拟集成电路抗辐射加固技术书籍。

本书适合于抗辐射电子系统设计人员、抗辐射半导体器件研究和生产的工程技术人员、高等院校师生阅读和参考。

模拟集成电路抗辐射加固技术

电子工业部第二十四研究所 编译

责任编辑:黄子伦 成福康

科学技术文献出版社重庆分社 出版

重庆市市中区132号

中共重庆市委机关印刷厂 印刷

开本787×1092 1/16 印张19¹/₂ 字数500千字

1987年12月第1版 1987年12月第一次印刷

印数1~2000 定价:9.50元

ISBN7-5023-0192-5/TP16

统一书号:15176.769

序 言

随着各种武器的现代化，大量的电子学精尖设备用于武器的控制系统。这些都是核辐射破坏的致命部位，如不及早研究，摸清规律，提出切实可行的抗核加固指标，采取有效的加固和防护措施，则核辐射的干扰和破坏始终是战略武器上的潜在威胁，只要有一个环节考虑不周，就有“一着不慎，全盘皆输”之虞。模拟集成电路的抗辐射加固，是整个武器系统抗辐射加固的重要环节。特别是模拟集成电路有它显著的特征，电路设计、元件种类和制造技术十分复杂，因而，模拟集成电路的抗辐射加固更是我们不可忽视的重要问题。

整个抗辐射效应及其加固技术是一门复杂的、理论性强的多科学性学科。模拟集成电路的辐射效应及其加固的原理、措施的研究涉及到电路设计、器件设计、制造工艺和相关的各种因素。“模拟集成电路抗辐射加固技术”一书，搜集了国外这方面的资料，翻译成中文。该书从不同角度选取了国外在这方面的研究成果，结合我国的实际情况，借鉴应用，无疑有助于这方面的科技工作者加速了解和掌握模拟集成电路在核辐射环境下的效应，加速加固集成电路和设计抗辐射措施的进程。该书的出版一定会受到广泛的欢迎，对抗辐射加固工作作出贡献。

程开甲

一九八七年十一月二十六日

前 言

随着航天、太空探测、原子能应用以及导弹核武器等科学技术的发展，电子元器件在各种辐射环境中的应用日益增加。电子元器件除了要具有一般环境中工作的高可靠性以外，还必须具有良好的抗辐射性能。电子元器件的辐射效应及其加固技术已成为一门迅速发展的新的学科，国外早在五十年代就开始了电子元器件辐射效应和加固技术的研究工作。目前，电子元器件的抗辐射能力，已成为衡量辐射环境应用系统性能水平的一个重要指标。

各种辐射环境下工作的电子系统都离不开模拟集成电路，特别是这些系统的测量和控制精度常常由模拟集成电路的参数确定，而模拟集成电路极易受到辐射损伤。因此，模拟集成电路抗辐射加固技术的研究具有极其重要的意义。

国内抗辐射集成电路研制工作方兴未艾。为配合这方面的工作，我们特编译《模拟集成电路抗辐射加固技术》一书，供研究、生产、应用抗辐射模拟集成电路的广大科技人员参考。

本书内容广泛，包括运算放大器、电源、功率器件、数据转换器、多路开关、系统回避技术用电子开关及下一代低成本高可靠模拟集成电路宏单元等器件的辐射损伤效应；器件线路设计的加固技术；器件制作工艺的加固技术；器件辐射响应的分析与测试技术；器件性能退化的试验数据和估算技术、器件的筛选与考核技术；另外还有少量制作抗辐射抗核辐射电路通用的工艺技术；最后还有部分产品的抗辐射水平及电性能参数说明。国外有关抗辐射模拟集成电路加固技术的资料不多，本书尽力搜编有关内容，力求系统而全面。

编译和出版本书是在本所科学技术委员会领导下进行的。

国防科工委科学技术委员会委员程开甲教授为本书写了序言。

国防科工委、电子工业部微电子局、中国科技文献出版社重庆分社和中共重庆市委机关印刷厂，对本书出版给予了极大支持，在此一并致谢；编译者水平有限，不妥之处在所难免，诚望批评指正。

电子工业部第二十四研究所

一九八七年十二月二十日

目 录

电离辐射环境中 709 集成运算放大器的特性分析与模拟试验	(1)
709 放大器特性衰降的精确预测和质量保证	(5)
集成运算放大器的 IEMP 效应研究	(10)
运算放大器中子衰降的人工分析技术	(19)
108 型 运算放大器的总剂量辐射加固的研究	(28)
108A 运算放大器的辐射总剂量均匀性研究	(36)
在加固系统中应用的运算放大器	(44)
集成电压调整器的辐射效应及其加固分析	(57)
一种简单有效的加固功率放大开关模式方式	(65)
一种流行的加固 SG1524 脉宽调制器	(73)
D/A 转换器辐射损伤的计算机辅助分析	(79)
CMOS/SOS 铝栅 D/A 转换器及其诊断晶体管的辐射效应	(88)
A/D 转换器 (AD571) 电离辐射效应的 SEM 分析	(94)
抗辐射 CMOS 8 位 A/D 转换器	(101)
DC/DC 转换器失效模式的测量和预测技术	(109)
两种辐射加固的模拟转换开关	(114)
核辐射灵敏开关电路	(120)
抗辐射功率电路	(124)
用于线性电路的辐射加固 CMOS 器件	(127)
适度中子环境下双极晶体管和集成电路的辐射加固保证指南	(132)
钝化材料的核辐射效应引起的器件性能退化	(141)
电离辐射对扩散电阻的影响	(148)
光屏蔽对光电流补偿集成电路的影响	(157)
氯化氢吸除、掺铬和注铝对加固二氧化硅的影响	(162)
瞬态辐射加固结隔离集成电路的筛选方法	(168)
瞬态辐射加固结隔离工艺	(175)
LSI/VLSI 制备工艺的辐射加固特性	(178)
一种用于 LSI 的介质隔离辐射加固工艺	(182)
一种同时生产辐射加固互补线性双极和线性 CMOS 金属栅器件的工艺	(187)
抗辐射电路的耐熔栅工艺	(194)
用于辐射加固的氢退火氮化物/氧化物介质结构	(198)
氮化硅钝化对高精度运算放大器抗总剂量辐射性能的影响	(204)

一种抗辐射的线性宏单元阵列·····	(208)
微电路内部元件的易损性分析·····	(213)
$10^9 \sim 10^{12}$ 拉德 (硅)/秒下MSI的测试·····	(219)
用于计算机辅助系统分析的复杂线性微电路简化端点模型·····	(223)
线性集成电路电离辐射效应的扫描电镜分析·····	(230)
用于加固的可靠性筛选和工艺设计的 SEM 辐 射·····	(240)
测试条件对 MOS 辐 射加固结果的影响·····	(244)
HS-3516RH型高转换率宽带抗辐 射 运算放大器·····	(253)
HS-3530RH低功耗抗辐射程控运算放 大 器·····	(258)
HS-3546RH型抗辐射高性能 运算放大器·····	(264)
HS-4602RH型抗辐射高性能四运 算放 大器·····	(272)
HS-508ARH型过压保护抗辐射 8 通道CMOS 模拟多路开关 ·····	(281)
HS-1840RH 抗辐射高阻输入保护 16通道 CMOS 模拟多路开关·····	(288)
HS-15530RH 型抗辐射 CMOS Manchester编/译码器 ·····	(295)

* * *

中国电子学会可靠性与质量管理学会可靠性抗核辐射专业学组成立·····	(72)
------------------------------------	--------

电离辐射环境中709集成运算放大器的特性分析与模拟试验*

J. S. Nichols 等

(美国空军武器实验室)

摘 要

本文介绍一种适合在电离辐射环境中对 709 运算放大器进行简化计算机模拟的实验技术, 该模型利用RLC网络和电压传输曲线来模拟709 常态电运算, 附加的电压发生器模拟了辐射响应。本文还表明了通过模型推断的辐射响应与观察到的辐射响应的比较。

前 言

目前, 集成电路和包含集成电路子系统的计算机模拟不能令人满意地实现, 这个问题的出现主要是由于集成电路的复杂性、集成电路元件和隔离结间的相互影响。如果要牵涉到集成电路对辐射环境的影响, 该问题还会扩大。

对IC来说, 没有令人满意的模型和模拟程序可用, 人们把IC当作分立元件(电阻、三极管等)的堆积(包括单片上元件间的耦合)进行了一些初步尝试^[1-2]。

虽然这种方法在理论上和技术上是行得通的, 但就计算机的运转时间和机器工作能力而论这种方法通常是不令人满意的。

空军武器实验室(AFWZ)目前的工作证明, 对整个单片 709IC 来说, 研制一种接近的实验模型是可能的。这种简单的模型只包括 IC 的电抗元件、它的DC 转换

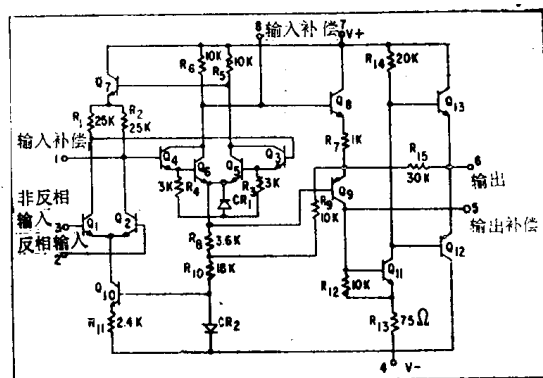
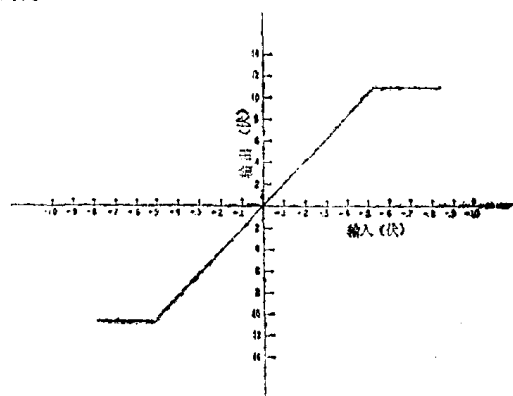


图1 709 运 算放大器电路图

功能及辐射效应信号发生器。一旦测定了模型的实验参数就可用于以后更复杂电路(包括709)的计算机模拟。709IC模型对从三个制造厂家获得的电路是有效的, 从

* J. S. Nichols, ... "Characterization and modeling of the 709 integrated circuit operational amplifier", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1969, Vol. NS-16, Vol. 6, 172~176, 喻淑伦译, 王季茂, 黄子伦校

测定 709 运算放大器在整个工作范围内对电离辐射的响应, 根据 709 的传输特性, 选择了包括一个单位阶跃、一个脉冲、一个正弦波的电气输入端和七个偏置点。然后, 在每种输入条件下, 让 IC 接受来自 AFWL2-MeV 闪光 X 射线机的辐照脉冲。在这些测试中“偏压”是为了在输出端产生直流电压而加到非反相输入端的直流电压术语。选择偏压, 使在有源区给出几点, 在正、负饱和区给出一点 (见图 2)。饱和区在 -0.510 V 和 $+0.536\text{ V}$ 偏压下开始。



来自闪光X射线机的辐射脉冲是25毫微秒，而其中每个脉冲的总剂量大约是50拉德~3.0拉德（即 2×10^3 拉德/秒~ 1.2×10^8 拉德/秒），这种辐射剂量取决于从机器到测试元件的距离。当进行辐射测试时，这是在设备上可得到的最大剂量。

使用调制电路来送加瞬态电信号，例如在 DC 偏压上送加单位阶跃和单个脉冲（近似的）。使用带有摄像机的 Tektronix 551 示波器，记录输入和输出信号及电源电流。辐射脉冲大概在示波器开始扫描 5 毫微秒后出现，保证记录所有辐射产生的效

数据分析

经入射辐射产生的电压大得足以把709IC 驱动到负饱和态后,观测到辐射响应脉冲被切断。当709IC 最初偏置到正饱和态时,观测到幅度和宽度值下降。辐射引起的负脉冲趋向于使电路停止正饱和态。

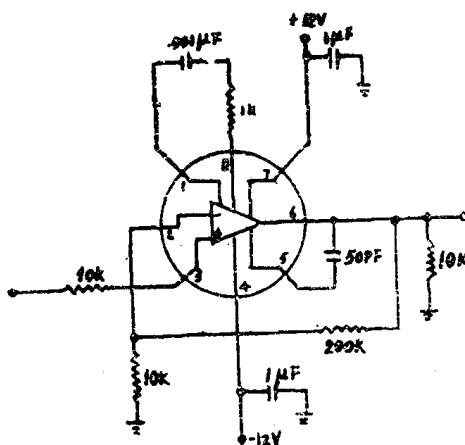


图 3 测试电路

709 电路模拟

图 4 709放大器的计算机模型

阻器、电感器和电容器的二级系统相结合。根据对单位阶跃的响应,通过下列计算就可确定 R 、 L 和 C 值。如果 M 值(最大过冲与稳定态值之比)是根据709 IC对单位阶跃的响应来测量的,那么,就可由 ξ 和 $M^{[3]}$ 标准曲线获得衰减系数的值。同时,就可测得 τ 值(达到响应的63%所需的时间)。对于二级系统由下式得出

$$\omega_n = \frac{1}{\tau \xi}$$

式中 ω_n 为未衰减的固有频率。于是,一旦选择了 C 值, L 值就可从下面关系式获得

$$\omega_n^2 = \frac{1}{LC}$$

最后, R 值可从下式算出

$$\tau = \frac{2L}{R}$$

709 IC模型的测量值和计算值为:

$$M = 1.09$$

$$\tau = 4.8 \text{ 微秒}$$

$$\xi = 0.6$$

$$\omega_n = 347 \times 10^3 \text{ 秒}^{-1}$$

$$C = 500 \text{ pF}$$

$$L = 16.6 \text{ mH}$$

$$R = 6920 \Omega$$

这种模型的辐射部分由信号发生器组成,其输出形状象幅度为 $-(V_o/A)$ 和宽度为 τ_o 的负向截头三角形。这里, A 是709在线性区内的增益,对于所给定的剂量在整个偏压范围 V_o 和 τ_o 可看作实验常数。在各偏置点上所观察到的脉冲幅度和宽度的变化可部分地用电压传输曲线在正负饱和区中的钳位作用来解释。因而,在 $+0.2\text{V}$ 偏压下的辐射响应脉冲,被认为是偏压脉冲。在这些偏压下脉冲不受任一饱和区的影响,还在每种剂量下进行了脉冲幅度和宽度的测量,以便作为该种剂量的标准。具有 $+0.2\text{V}$ 输入偏压的709 IC经受闪光X射线机的51.8拉德(Si)辐射时的实

际辐射响应示于图5,近似于709模型所用的这种脉冲也示于图5。

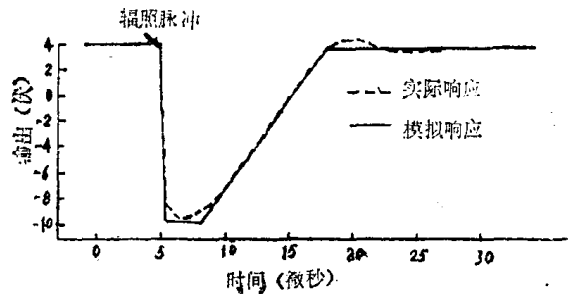


图5 709放大器+0.2伏偏置时的辐射响应

图6至图8比较了在各种输入偏压下所观察到的电路的辐射响应,使用了图4所示模型的计算响应。图9示出了相似的比较情形,这时电路受辐射,同时仍对单位阶跃电输入响应。这种计算机采用AFWL CDC6600上的SCEPTRE程序。认为计算出和观测到的响应间的相应性是好的,如果不再设法改进模型更是如此。观测响应和计算响应的一致性在电路的有源区,即近似于 -0.4V 输入偏压和 $+0.4\text{V}$ 偏压之间,是极好的。主要的误差出现在正饱和区,但是,这里的偏差是在“安全”边。即预计的响应超过观测响应的幅度和脉冲宽度。

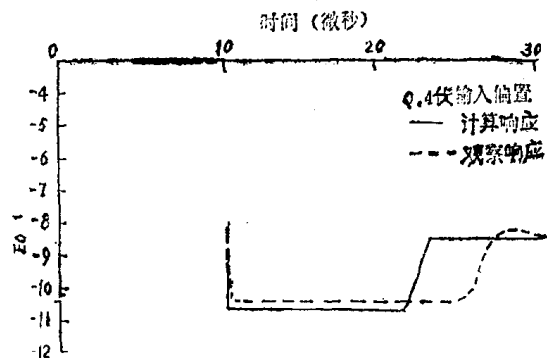


图6 709放大器-0.4伏偏置时的辐射响应

辐射引起的输出脉冲的持续时间 τ_o 随反馈电阻大小的增加而急剧增加,电路响

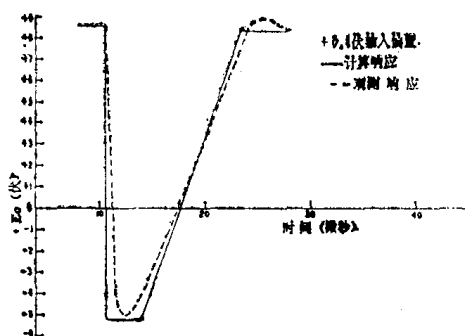


图7 709放大器+0.4伏偏置时的辐射响应

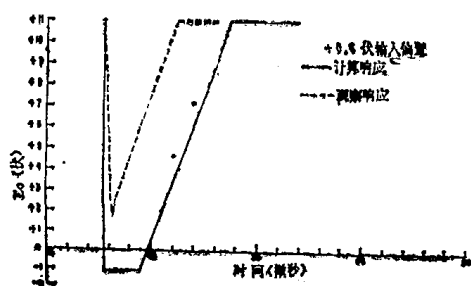


图8 709放大器+0.6伏偏置时的辐射响应

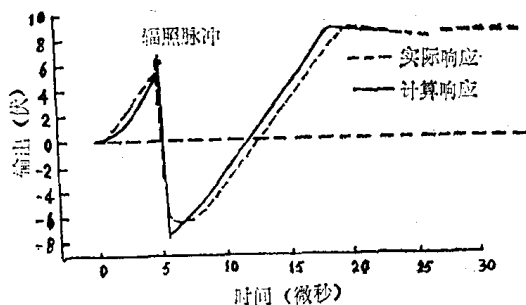


图9 709放大器的辐射阶跃响应

应与负载电阻的函数关系没有显著的变化。

结 论

结隔离的709运算放大器对电离辐射环境的响应不能用分立元件来模拟,这是因为它们在单片芯片上有相互影响的缘故。然而,它们在大范围输入信号值和辐射剂量下的响应并不象人们对这种复杂电路所预期的那样不稳定。实际上,在大范围的电输入情况下,辐射响应是大致恒定的。

设计709 IC简单模型的试验(该模型包括整个单片电路的电气响应和辐射响应)努力,已取得了很大的成功。

为确定模型所需测定的实验参数是未经辐射器件(图4)的传输功能、电感、电阻和电容以及与剂量有关的三角形辐射响应脉冲的高度和宽度。辐射响应与必须包括到模型中的反馈电阻的尺寸有某些依赖关系。

参考文献(略)

709放大器特性衰减的 精确预测和质量保证*

A. A. Witteles 等

(Singer-General Precision公司)

摘 要

本文介绍了一种新颖的方法,用它可以预测半导体器件由中子引起的特性衰减,甚至在恶劣辐射环境下也可以保证其正常工作。这种方法使用辐射-退火处理,不但在芯片阶段应用是经济而可靠的,而且对于封装好的现成加固器件来说也是可行的。讨论了半导体的辐射损伤效应,研究了各种温度环境下的缺陷退火现象,介绍了三个不同厂家制造的分立晶体管和介质隔离709集成放大器的辐射退火试验数据。大量的试验结果表明,用这种方法可非常准确地预测出器件衰减特性。因此,建议半导体销售商采用这种方法,以便向用户提供有已知质量保证而且在给定中子流条件下有“担保”性能的器件。

引 言

硅片的中子损伤,经过位移可产生出从简单的点缺陷到缺陷群的各种各样晶格缺陷。这些缺陷,可在禁带中产生一些附加的态,起着一些附加的复合中心的作用,使晶体管少数载流子寿命缩短。此外,缺陷的引入可产生一种载流子去除效应,从而减少半导体中自由载流子的总数量,使半导体材料更具本征特性。基础半导体材料中的这些变化,强烈地影响器件的 h_{FE} 和其他特性,如 f_T 、 I_{CBO} 和 B_V 等。

产生的缺陷的稳定性及电特性衰减,对温度变化很敏感。几乎在 0°K 以上任何温度下,都可预期中子损伤得到某种程度的改善。

中子缺陷损伤的改善有两种类型的影

响^[1]:其一是辐照期间温度对位移损伤的影响;其二是辐照后温度的影响,通常指热退火。除了上述稳定态缺陷的改善外,还存在通常称之为“快速退火”的瞬时影响^[2]。因此,室温下进行的中子辐照在半导体材料中产生一定数量的缺陷,某些缺陷迅速恢复到原来的状态,于是,产生低于初始峰值损伤的稳定态衰减。当以大中子流量辐照正在工作的半导体器件时,这种现象显而易见。视辐照脉冲宽度、通量

* A. A. Witteles, ..., "A method for an accurate prediction of degradation characteristics and quality assurance of a 709 amplifier", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1970, Vol. NS-17, No. 6, 173~177, 黄子伦译,蔡永才校

和脉冲波形而定, 峰值损伤“快速退火”到较低的衰减水平所花的时间在一秒范围内变化。但是, 剩下的稳定态缺陷仍然比较稳定, 不通过热退火不能减少。作者进行的大量试验获得的结果表明, 充分提高一大批集成电路(709放大器)和分立晶体管的退火温度, 可使退火前的参数值完全复原。此外, 以前辐射过或退火后的器件接着进行中子辐射, 发现其损伤和退火特性均有高度的重复性。根据这一情况提出了一种建立中子损伤保证的有效方法。本文的目的是介绍这种新颖的方法, 它适合通过一次或多次辐射退火循环而精确地预测半导体元件的衰降特性。

试 验

用50只抗辐射加固的709放大器来做试验, 其辐射通量为 $5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \sim 4 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$), 在这些受试放大器上搜集试验数据。此外, 还采用抗辐射加固709放大器掩模板制作50只接触晶体管扩大试验范围, 这些晶体管也通过了许多次辐射-退火循环。辐射在 295°K 下进行, 采用的反应器为脉冲型与稳态型TRIGA反应器和桑迪亚脉冲反应器工厂的碰撞反应器(SPRF)。试验样品包括: 18只莫托洛拉公司的MCE1709F型放大器, 18只得克萨斯仪器公司的RSN52709型放大器, 14只仙童公司的 $\mu\text{A}744$ 型放大器, 以及各种各样加固的小信号晶体管(包括另外用709放大器掩模制作的接触晶体管)。在辐射前和每次辐射之后, 对全部受试样品做了完整的电特性分析。

图1绘出了加固的709放大器增益衰减与中子通量的关系曲线。室温下每一中子通量值下发现的增益衰减是固定不变的, 而且相对稳定。但是, 在所谓“等同”放大器系列的衰减特性曲线中, 确实

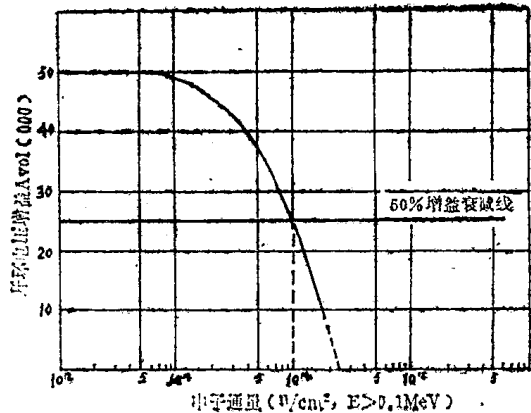


图1 MCE 1709F 型放大器的增益衰减曲线

有明显的偏差。在同一硅片上两只放大器之间, 通常可观察到20%的偏差, 此外, 在受试样品的辐射前电参数与这些参数在中子环境中的衰减之间没有发现交互关系。因此, 先前一直没有一种技术来精确地预测元件由辐射引起的性能衰减的程度。特别是系统应用于大剂量辐射环境中预计有十分临界的性能水平时, 对这种预测资料的要求就显得异常迫切。例如, 考虑到加固的709放大器应用于设计成经受 $2.5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$ 通量的系统中这一情况就是这样。从图1看出, 预计的辐射后开环增益大约为2000。在许多条件下, 如果辐射后的最终 A_{ol} 值已知而且可以补偿, 那么如此强烈的增益衰减是允许的。此外, 如果辐射后最终失调电压预先已知^[8], 放大器失调电压的类似衰减也是允许的。要能精确预测半导体器件辐射损伤, 必须努力对一半导体器件进行中子损伤退火和重新辐射, 并观察是否有滞后型特性。为了获得高水平中子保证, 这种技术可以重复使用多次辐射-退火处理。在接下来的每次辐射时, 受试放大器经受等时退火, 直到个别参数恢复得辐射前的初始值为止。研究发现, 达到参数完全复原所需要的等时退火温度与损伤有关, 因此与辐射通量有

关。

图2绘出了加固的709放大器的 h_{FE} 的等时退火曲线，系通过 h_{FE} 的未退火系数相对于温度作图的。连接试验点获得此曲线。每次等温退火的时间为12小时。作为时间的函数，退火系数在等温退火开始时迅速增大，然后随时间增长而发现达到稳定。

如图2所示，在325℃下 h_{FE} 值完全恢复到辐射前大小。该曲线有趣的一部分是受试放大器继续退火后 h_{FE} 超过了其原来的值；这是由于元件在这一升高温度下增加了一层“老化”钝化层所致。因此，一条准确的辐射-退火曲线可先绘出辐射前 h_{FE} 对温度的关系曲线然后与图2中的曲线相减而获得。

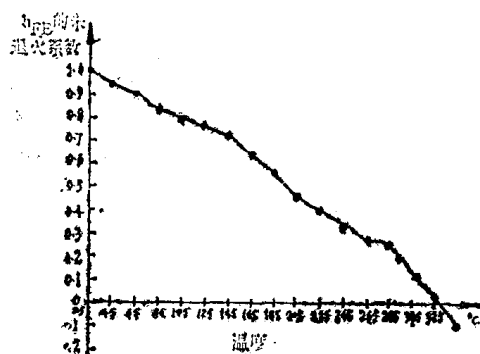
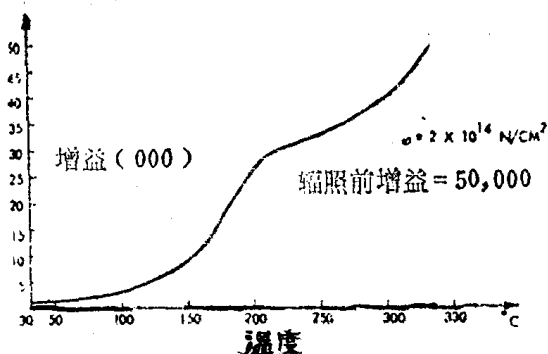


图2 放大器晶体管的 h_{FE} 的等时退火曲线

图3示出加固的709放大器的开环增益退火。在这种情况下，开环电压增益初始值 A_{vol} 为50K，经 $2 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$ 通量辐射后，在室温下开环增益下降至2K。直到325℃的曲线说明了放大器的退火特性，观察到了辐射前的 A_{vol} 完全退火。在这种特殊情况下，在温度超过325℃时，开环增益在恢复其初始值50K之后仍然有所增大。准确的辐射-退火曲线，可通过绘制一条辐射前的 $A_{vol}-T$ 曲线，然后与图3中的钝化老化型退火曲线相减获得。



中子通量 (n/cm^2 , $E > 0.1 \text{ MeV}$)

图3 μA744 和RSN52709型放大器的退火曲线

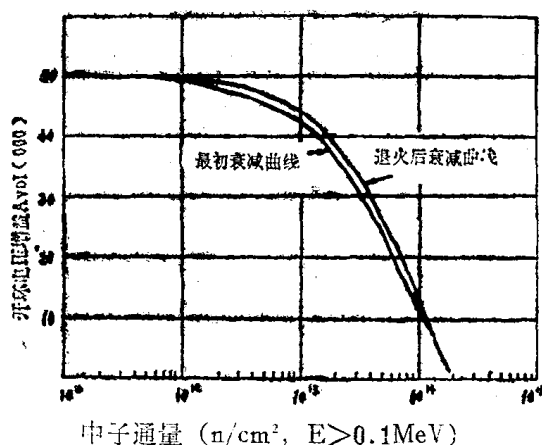


图4 709 放大器 (MCE1709、RSN 52709、 μA744) 最初辐射和退火后辐射的衰减曲线相互间轨迹大部分吻合的情形

每只受试放大器在相同中子通量下再辐射之后，发现每种709放大器的衰减曲线几乎和初期衰减曲线相同，这种情形示于图4。图4表示许多辐射-退火循环时发现的最大的滞后。虽然该图说明退火后抗辐射特性得以改善，但应当记住这是一条最大的滞后曲线，不应理解为每次辐射-退火循环都使放大器的抗辐射性能变得更好。但是，如前所述，最初退火循环确实改善了器件的特性，这从图3所示的 $T > 250^\circ\text{C}$ 时的退火曲线可以看到。产生这种现象的原因是老化现象或稳定现象；因此，为了发现辐射-退火过程产生的准确滞后效应，应当把这种情况除去。表I和表II说明了这一点。

表 I

加固的 709 放大器的中子辐射-退火恢复试验

初 始 A_{vol} 值 (K)	第一次辐射	退 火	第二次辐射	退 火	第三次辐射	中子通量 (n/cm^2)
60	55	62	57	61	56	5×10^{12}
50	42	51	44	50	43	1×10^{13}
53	26	55	28	52	27	5×10^{13}
50	12	50	14	50	13	1×10^{14}
55	3	56	4	55	3	2×10^{14}

表 II 增加的接触晶体管与加固的 709 放大器的中子辐射-退火恢复试验

初 始 h_{FE} 值 ($I_C=15mA$)	第一次辐射	退 火	第二次辐射	退 火	第三次辐射	中子通量 (n/cm^2)
80	78	84	80	83	80	8×10^{12}
75	74	79	75	77	74	8×10^{12}
70	57	74	60	72	61	4×10^{13}
60	48	62	49	61	48	4×10^{13}
90	56	92	58	90	57	8×10^{13}
70	48	72	50	71	48	8×10^{13}
72	42	72	42	72	42	2×10^{14}
80	46	81	47	80	46	2×10^{14}
76	35	77	35	76	35	4×10^{14}
84	39	85	40	84	39	4×10^{14}
86	20	86	21	86	20	8×10^{14}
78	18	80	19	79	19	8×10^{14}

因此, 辐射-退火方法可提供良好的中子辐射加固保证, 而且是一种远远优于其他任何精确预测增益中子衰减方法的技术。

在许多应用领域中, 放大器的偏移电压是另一个异常重要的参数。在多数情况下, 要成功地使用放大器, 必须对其预计的辐射后偏移电压有所了解。虽然在一对晶体管的每一晶体管的 ΔV_{BE} 中通常发现某种程度的偏移迹象, 但是发现了许多变化, 有些变化的严重程度是以危及许多应用场合。

表 III 比较了 10 只 MCE709 型放大器的辐射后偏移电压 V_{os} , 其值的选取是从相

同的初始值 (2.5mV) 至每只放大器的变化值。全部放大器都在同一通量 ($3 \times 10^{14} n/cm^2$) 下辐射。辐射之后, 偏移电压变化高达 20mV (5* 放大器与 9* 放大器相比)。但是, 对于每只单独的 MCE1109 放大器来说, 退火后和辐射前测得的偏移电压之间的差别, 最大才 1.5mV (9* 放大器)。因此, 通过从辐射前 V_{os} 均为 +2.5mV 的一组放大器中选取一只给定的放大器, 工程师便能推算出从 -8.0mV (5* 放大器) 至 +11.9mV (9* 放大器) 的辐射后 V_{os} 值, 其不稳定范围为 19.9mV。但是, 通过对放大器辐射, 退火, 采用同一放大器仅能预测出最大为 1.5mV 的不

稳定值范围 (9*放大器的1和3栏)。显然, 在多数应用场合, 1.5mV 偏移电压是

允许的, 而可能有20mV偏离的 10mV 变化通常是不容许的。

表Ⅱ MCE1709运算放大器偏移电压的中子辐射-退火恢复试验

试样编号	初始 V_{os} 值 (mV)	辐 射 ($3 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$)	退 火 (325°C)	辐 射 ($3 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$)
1.	+2.5	+ 5.0	+2.3	+ 5.2
2.	+2.5	- 2.0	+2.4	- 1.7
3.	+2.5	- 4.0	+2.2	- 3.7
4.	+2.5	+ 6.5	+2.5	+ 6.7
5.	+2.5	- 8.0	+1.1	- 7.5
6.	+2.5	- 2.0	+2.4	- 1.6
7.	+2.5	+ 5.3	+3.0	+ 5.0
8.	+2.5	+ 6.2	+3.5	+ 5.6
9.	+2.5	+11.9	+4.0	+10.2
10.	+2.5	- 3.9	+2.1	- 3.4

辐射-退火方法用于质量保证领域也是有效的。集成电路制造厂家可以把一完整的片子拿去中子辐射, 测量其关键特性衰减情况, 以及进行适当的筛选。然后, 这块完整的片子可全部退火, 再把单块电路封装起来。于是, 这些电路可以提供出来, 其预计的特性衰减都有完整而准确的数据。

结 语

在本研究的不同试验中获得的结果清楚地表明, 辐射后放大器的辐射损伤和退火特性都明显恢复。发现放大器和晶体管的参数都是完全可以恢复的, 而且在重复辐射-退火循环后几乎没有显示出真正滞后现象。

这种精确推断中子引起的元件衰减的方法特别重要, 这主要是由于某些重要参

数的初始值和中子辐射后数据之间没有发现有什么关系(参见表I~表Ⅲ)。甚至在选取辐射前参数值几乎相同的类似器件时, 证明情况也是这样, 因此这就不需要通过辐射前的选择来预测中子衰减。

由于在退火温度下金属化或管壳缺点没有引起器件失效, 因此可以断定, 对于封装好的半导体器件成品来说这种辐射-退火方法是可行的。此外, 在硅片加工阶段也可以采用这种辐射-退火方法, 几乎不存在什么困难。

因此, 对于电路设计工程师来说, 这种可以精确预测衰减特性的辐射-退火新方法将有不可估量的实用价值。

参 考 文 献 (略)

集成运算放大器的IEMP效应研究*

M.J. Bernstein 等

(美国航宇公司)

摘 要

为了研究运算放大器在有和无叠加TREE响应时的IEMP响应,把三种典型的这种电路进行了等离子聚焦束辐射。30kJ等离子聚焦设备,产生的光子,基本上都在8~100keV能量范围,脉冲宽度一般在10~15ns范围。还把电子脉冲加在运算放大器的外引线上,以便确定特性响应。这些元件在闭路增益为5~100的电路中工作。研究发现,在运放直接辐射期间,如果沉积电荷漏泄到漏-接地时的RC时间比特征运算放大器响应时间长,那么IEMP响应(由屏蔽罩内的光发射引起)支配TREE响应。通常,包含在全密封运算放大器内部的气体增强其IEMP响应。对于多数运算放大器来说,沉积在输入引线上的电荷支配这种IEMP响应,但是某些型号的运算放大器还对沉积到控制失调的其他一些外引线上的电荷敏感。

引 言

众所周知,固体电子电路对瞬时穿透辐射产生的光电流非常敏感。尽管引起永久损伤的效应最为重要,但在产生瞬时信号时还可能出现一些严重问题。特别是一些模拟电路的输出(如象运用运算放大器的那些电路),就可能因额外电流输入而饱和或失真。本研究工作的目的是,详细了解运算放大器内部和外部的电子光发射(IEMP效应)引起的这种瞬时信号,并将这种信号和晶体管结中光子能量沉积(TREE现象)产生的那些信号加以比较。为了研究运算放大器的这种辐射效应,我们将小电路在脉冲光电子和X射线环境下进行辐射,辐射源由航宇公司生产的Aeros-

pace 30-KJ型等离子聚焦设备产生。通过实验台试验扩展IEMP响应研究工作,实验台试验时将电流注入到运算放大器的不同外引线上。

引起运算放大器辐射感生瞬时输出信号的机理,可简单地分为如下三种:

- 1) 运算放大器外引线上的光发射和光电子沉积;
- 2) 运算放大器屏蔽壳内的光发射;
- 3) 有源固体结区域内的辐射相互作用(TREE)。

* M. J. Bernstein, ... "Study of IEMP effects on IC operational amplifier circuits", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1974, Vol. NS-21, No. 6, 284~290.
黄子伦译,蔡永才校