

一种用于模拟电路修调的 EEPROM 电路

季赛健, 刘文平, 徐俊华

(西安微电子技术研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要: 介绍了一种用在模拟电路中修调的 EEPROM 电路. 该电路采用一种新型的单层多晶 EEPROM 结构, 与传统的双栅 EEPROM 结构相比, 该结构与数字 CMOS 工艺兼容, 成本低、成品率高. 使用在一个基准电压电路中时, 其基准电压的调节范围达到 $\pm 4.82\%$, 调节精度达到 4mV. EEPROM 修调电路可广泛应用于各种高精度需求的电路中.

关键词: 单层多晶 EEPROM; 数字校调; 浮栅; 基准电压

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)07-0198-04

An EEPROM Circuit for Analog Trim

JI Sai-jian, LIU Wen-ping, XU Jun-hua

(Xi'an Institute of Microelectronic Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: A new EEPROM circuit for analog trim is proposed. Comparing with the traditional double-gate EEPROM structure, the new EEPROM structure is not only with standard CMOS processes but also has low cost and high yield. When used in the voltage reference circuit, this circuit can achieve a voltage range about $\pm 4.82\%$, and a precision about 4mV. This circuit also can be widely used in the high precious required circuits.

Key words: single-poly EEPROM; trim; floating gate; voltage reference

1 引言

在集成电路设计和制造中, 由于设计工艺和封装等原因, 实际制造同理论上有一定的差距. 随着集成电路集成度的提高, 集成电路高精度要求日趋明显, 修调技术^[1]是实现高精度集成电路的必要手段.

传统的修调方法有电阻薄膜的激光修调、熔丝烧断修调、二极管短路修调等技术. 但是激光修调成本高工艺复杂; 熔丝烧断修调误差大、成品率低; 二极管修调技术占用芯片面积较大且是单向修调. 为了改善不足, 文中采用一种内嵌非挥发性 EEPROM 存储单元的修调技术, 以达到可重复修调功能. 该技术灵活性大, 成本低, 修调成品率高.

2 EEPROM 结构

EEPROM 结构是一种可编程存储单元, 一般

来说, 它有两种结构: (1) 双层多晶 EEPROM 结构. 需要两个多晶硅层, 中间被氧化层隔开, 要有很薄的绝缘层作为隧穿氧化层, 不仅工艺复杂, 成本高, 并且控制栅的耦合系数较小, 难以取得理想的阈值电压; (2) 单层多晶 EEPROM 结构. 工艺简单, 而且控制栅的耦合系数较大, 用此结构作为修调技术的存储单元可以达到理想的修调效果.

传统单层多晶 EEPROM 使用 N 阱工艺代替双层多晶 EEPROM 中的第二层多晶硅对浮栅作电容耦合, 其耦合系数可达 88% ^[2]. 但是耦合电容使 EEPROM 的面积相对较大, 而且在编程时浮栅注入电流很大, 浮栅电荷难以控制, 在擦除操作时, 漏极要接高电压, 需要有选择管隔离电路. 结合双栅 EEPROM 和传统单层多晶 EEPROM 结构的优点, 采用一种改进的 EEPROM 结构^[3-5] (见图 1), 此 EEPROM 包括一个浮栅, 一个控制栅, 一个隧穿区

以及一个读取管. 为了给浮栅提供编程和擦除所需的高电压, 控制栅电容比隧穿区电容大得多. 对此新型双层多晶 EEPROM 结构进行编程, 给控制栅提供一个正向编程电压, 隧穿区接地, 由于控制栅电容比隧穿区电容大得多, 所以耦合至浮栅的电压也较大, 这样, 隧穿区的栅氧化层产生 FN 隧穿, 电荷被吸引到浮栅上并在浮栅上缓慢扩散, 最终使读取管的阈值电压增大. 为了对此新型双层多晶 EEPROM 结构进行擦除, 在隧穿区加上一个正向擦除电压, 控制栅接地即可.

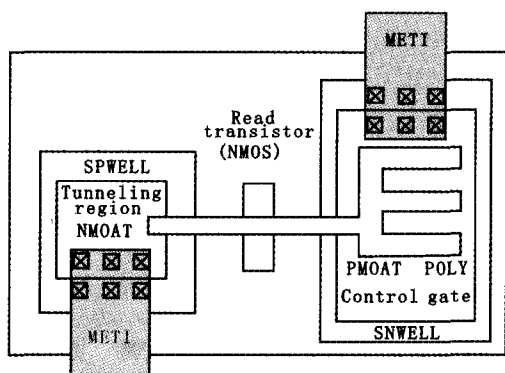


图1 新型单层多晶 EEPROM 结构

3 EEPROM 修调电路

如图2所示是一种用于模拟电路修调的 EEPROM 电路, 图中所示的 M15 即为上述新型单层多晶 EEPROM 结构的读管(Read transistor), 结合电路功能, 此读管被设计成阈值小于零的 MOS 管, 而 C1 即为隧穿区(Tunneling region), C2 为控制栅区(Control gate), 此电路能对数据进行读取、编程和擦除。

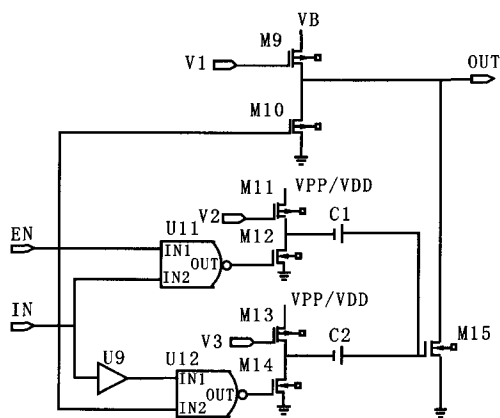


图2 用于修调技术的 EEPROM 电路

在对电路第一次进行操作时, 由于 EEPROM 单元的状态未知, 所以要对电路进行一次读操作, 以确定 EEPROM 结构的状态, 令 $EN=0$, VB 为电源

电压, V_1 的大小能够使 M9 导通, 此时 $V_{GM10}=0$, M10 关断, $V_{GM12}=1$, M12 导通, $V_{GM14}=1$, M14 导通, 所以隧穿区和控制栅区都接低电平, M15 处于读取状态. 如果 EEPROM 未被编程那么 M15 的阈值电压应小于零, M15 会导通, 输出端 OUT 为“0”, 也可认为此时 EEPROM 单元存储了一位“0”. 如果 EEPROM 单元已被编程, 那么 M15 的阈值电压大于零, M15 截止, M9 导通, 输出端 OUT 为“1”, 可认为此时 EEPROM 单元存储了一位“1”.

在确定了 EEPROM 单元状态后, 可以根据需要对 EEPROM 单元进行修改, 假设原来 EEPROM 单元存储了一位“0”, 为了使其存储“1”, 就需要对 EEPROM 单元进行编程. 令 $EN=0$, $IN=0$, 此时 $V_{GM10}=1$, M10 导通, M15 漏端处于低电平状态, M15 被隔离, $V_{GM12}=1$, M12 导通, 隧穿区接低电平, $V_{GM14}=0$, M14 关断, 同时若给 M13 的源加上一个编程电压 V_{PP} 使 M13 导通, 控制栅区相当于接了一个编程电压, EEPROM 单元进入编程状态. 同理, 若要对 EEPROM 单元进行擦除, 令 $EN=0$, $IN=1$ 即可.

4 EEPROM 修调电路对基准电压精度和范围的影响分析

4.1 基准电压电路

如上所述的 EEPROM 电路可广泛应用与各种高精度要求的电路中, 如图3所示是一个基准电压产生原理图, 从图中可以知道:

$$R_1 I = V_{BE1} - V_{BE2} \quad (1)$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \ln n \quad (2)$$

$$V_{REF} = V_{BE2} + 2R_2 I \quad (3)$$

联立(1)(2)(3)可得:

$$\begin{aligned} V_{REF} &= V_{BE2} + 2 \frac{R_2}{R_1} \Delta V_{BE} \\ &= V_{BE2} + 2 \frac{R_2}{R_1} \ln n V_T \end{aligned} \quad (4)$$

在 T_0 处 V_{BE} 与温度的关系为:

$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} = \frac{V_{BE0} - V_{G0}}{T_0} + (\alpha - \gamma) \left(\frac{k}{q} \right) \quad (5)$$

ΔV_{BE} 与温度的关系为:

$$\frac{\partial \Delta V_{BE}}{\partial T} = \frac{V_t}{T} \ln \left(\frac{J_{C1}}{J_{C2}} \right) \quad (6)$$

式(5)中 V_{BE0} 是 T_0 温度下的基极-发射极电压, V_{G0} 是带隙电压, γ 是温度系数, 式(6)中 V_t 是热电压, J_{C1} 和 J_{C2} 为集电极电流密度. 由于 V_{BE2} 具有负的温度系数, ΔV_{BE} 具有正的温度系数, 为在 T_0 时达到

零温度系数,式(5)中的 V_{BE} 和式(6)中 ΔV_{BE} 的变量加起来必须为零. 在数学上表述为:

$$0 = K' \left(\frac{V_{t0}}{T_0} \right) \ln \left(\frac{J_{C1}}{J_{C2}} \right) + \frac{V_{BE0} - V_{G0}}{T_0} + \frac{(\alpha - \gamma) - V_{t0}}{T_0} \quad (7)$$

其中, K' 是通过调节可使(7)成立的电路常数. 定义 $K = K' \ln[J_{C1}/J_{C2}]$, 代入式(7)得到:

$$K = \frac{V_{G0} - V_{BE0} + (\alpha - \gamma)V_{t0}}{V_{t0}} \quad (8)$$

在 300K 时, 对于典型值 $\gamma = 3.2$, $\alpha = 1$, $V_{REF} = 1.262V^{[6]}$.

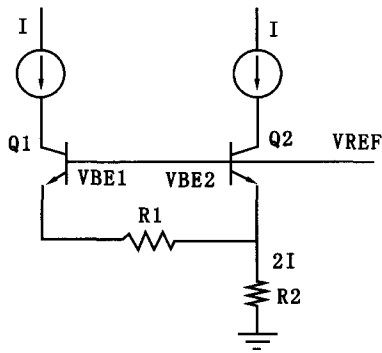


图3 基准电压产生原理图

4.2 EEPROM 电阻修调网络

由等式(4)可知, 如果可以改变 R_2 的值则 V_{REF} 的值也将发生改变, 所以采用上述 EEPROM 修调电路可改变 R_2 的值, 从而得到所期望的基准电压变化范围和精度. 如图4所示是一个 n 位的 EEPROM 修调电路. 假设 $R_2 = R' + \Delta R$, 由式(4)可得

$$\Delta V_{REF} = 2 \frac{\Delta R}{R_1} \ln n V_T \quad (9)$$

$$\Delta V_{REFmax} = 2 \frac{R_a}{R_1} \ln n V_T \quad (10)$$

$$\Delta V_{REFmin} = 2 \frac{R_a}{2^{n-1} R_1} \ln n V_T \quad (11)$$

为使基准电压可以同时增大和减小, 在 MSB 为“1”其余 EEPROM 的各位为“0”时来计算零温度系数的基准电压, 此时 $R' = R_0 + R_a$, 由式(10)可知 R_a 的值可以确定基准的变化范围, 由式(11)可知 $\frac{R_a}{2^{n-1}}$ 的值可以确定基准的精度.

4.3 仿真结果

综上所述, 为了在常温下得到零温度系数的基准电压, 结合式(4)和式(8)可算得 $R_2/R_1 = 5.2$, 为了得到 5% 的基准电压变化范围, 结合式(4)和式(10)可算得 $R_2/R_1 = 0.583$. 同时为了有小于 5mV 的精度, 结合式(11)和基准电压变化范围的考虑, 可

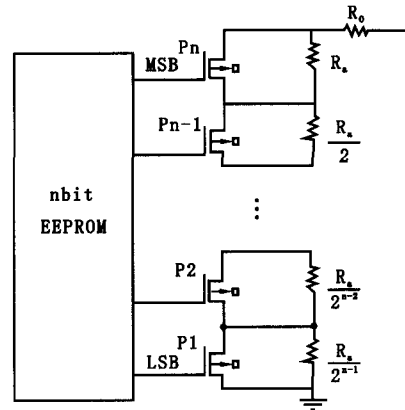


图4 一个 n 位 EEPROM 电阻修调电路

以设计了一个 5 位的 EEPROM 电路, 理论上算得基准电压精度为 3.94mV.

图5所示是在 EEPROM 电路给“10000”值情况下基准电压仿真结果示意图. 可以看出, 基准电压值为 1.266V 与在常温下算得的零温度系数基准电压非常接近.

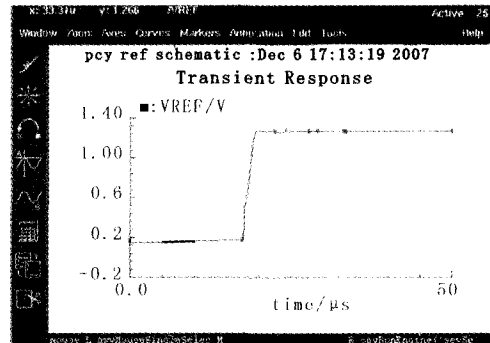


图5 EEPROM 为“10000”时的基准电压仿真结果示意图

图6所示是在 EEPROM 电路给“01111”值情况下基准电压仿真结果示意图. 可以看出, 基准电压值为 1.262V, 根据此值可以算得此基准电压的精度为 4mV, 与理论算得的精度非常接近.

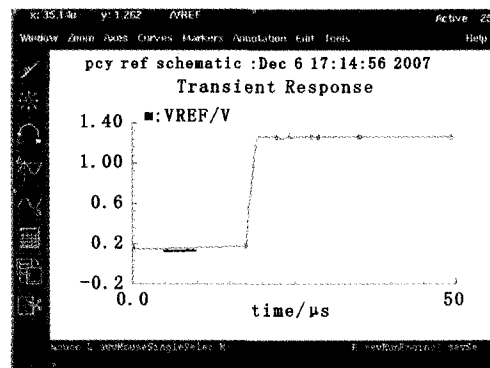


图6 EEPROM 为 01111 时的基准电压仿真结果示意图

图7、图8所示是在EEPROM电路给“00000”和“11111”值情况下的基准电压仿真结果示意图,从图中可以看出基准电压值分别为为1.205V、1.375V,证明此基准电压可以同时增大和减小,同时算得此基准电压的变化范围为 $\pm 4.82\%$,与理论算得的范围非常接近。

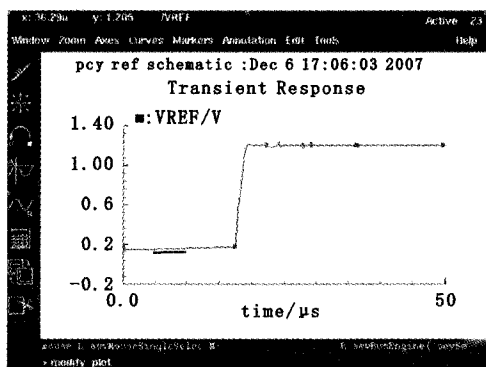


图7 EEPROM为“00000”时的基准电压仿真结果示意图

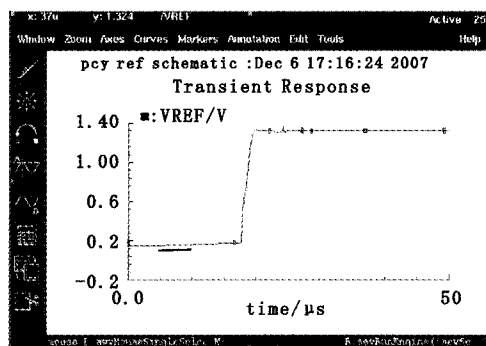


图8 EEPROM为“11111”时的基准电压仿真结果示意图

5 结束语

文中介绍了一种使用新型单层多晶EEPROM结构电路的修调技术,该EEPROM结构与标准CMOS工艺兼容,所以与传统的双栅结构相比具有成本低、成品率高等特点。当此修调电路使用在一个基准电压电路中时,仿真结果显示其基准电压的调节范围达到 $\pm 4.82\%$,调节精度达到4mV,同时此修调电路还可广泛应用于各种高精度需求的电路中。

参考文献:

- [1] 李文昌,王继安. 修调技术在高精度集成电路中的实现[J]. 微处理机,2006,(1):1-3.
- [2] Carman E, Parris P, Chaffai H. Single poly EEPROM for smart power IC's[C]//The 12th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs. Switzerland, Geneva:IEEE,2000:177-179.
- [3] Jozef C. Mitros, Lily Springer. Single Poly EEPROM with reduced area. US,6747308[P],2004-06-08.
- [4] Jozef C. Mitros. Single poly EEPROM with improved coupling ratio. US,6770933[P],2004-08-03.
- [5] Reed W Adams, William E Grose. Single-poly EEPROM on A negatively based substrate. US,6815757[P],2004-11-09.
- [6] Phillip E Allen, Douglas R Holberg. CMOS 模拟集成电路设计[M]. 北京:电子工业出版社,2008. 126-127

作者简介:

季赛健 女,(1986-),硕士研究生. 研究方向 EEPROM 修调技术.

(上接第197页)

询技术和XPath两种查询技术的优化查询方法,这种优化查询方法不仅克服了传统SQL查询的多次重复无用操作的缺点,还将SAX查询准确和XPath查询灵活的特点结合,使得此优化查询方法更加简便快速准确灵活. 实验证明,这种模型能够快速准确地查询数据库。

参考文献:

- [1] Bray T, Paoli J, Sperberg-McQueen C M. Extensible markup language (XML) 1.0 (Second Edition). W3C Recommendation. [R]. USA:Microsoft,2000:21-24.

- [2] Abiteboul S, Brueman P, Suciu D. Data on the Web [M]. CA,USA:Morgan Kaufmann Publishers, 2000:89-93
- [3] 万常选,刘喜平. XML 数据库技术[M]. 北京:清华大学出版社,2008:137-200.
- [4] 孙一中. XML 理论和应用基础[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2000:130-134.
- [5] 陶剑文. 一种分布式 Web 日志挖掘系统的设计与实现[J] 计算机仿真 2006,10(109).

作者简介:

叶汝军 男,(1972-),讲师,研究方向信息化建设、计算机网络、实训室建设与管理