



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1997905 B

(45) 授权公告日 2010.12.01

(21) 申请号 200580019614.3

(22) 申请日 2005.06.14

(30) 优先权数据

10/870,752 2004.06.16 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.12.14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2005/022584 2005.06.14

(87) PCT申请的公布数据

WO2006/002400 EN 2006.01.05

(73) 专利权人 知识风险基金有限责任公司

地址 美国内华达州

(72) 发明人 铃木信吾

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 朱海波

(51) Int. Cl.

G01R 31/28(2006.01)

G01R 31/26(2006.01)

Hakan Oner 等 . A Compact Monitoring Circuit for Real-time On-chip Diagnosis of Hot-Carrier Induced Degradation. Proc. IEEE 1997 Int. Conference on Microelectronic Test Structures 10. 1997, (10), 72-76.

Vijay Reddy 等 . Impact of Negative Bias Temperature Instability on Digital Circuit Reliability. 40th Annual International Reliability Physics Symposium. 2002, 40 全文.

审查员 丁冉

权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 3 页

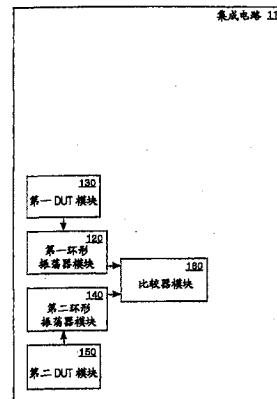
(54) 发明名称

用于测量负偏置温度不稳定性的系统和方法

(57) 摘要

根据本发明一个实施例的集成电路包括耦合到第一环形振荡器模块的第一受测器件(DUT)模块和耦合到第二环形振荡器模块的第二DUT模块。第一DUT模块在第一模式期间被偏置从而生成界面阱。所生成的界面阱造成第一DUT模块的第一驱动电流减少。第二受测器件模块在第一模式期间被偏置以维持参考驱动电流。第一环形振荡器模块的工作频率在第二模式期间是第一驱动电流的函数。第二环形振荡器模块的工作频率在第二模式期间是参考驱动电流的函数。该集成电路还可以包括用于根据第一环形振荡器模块的工作频率和第二环形振荡器模块的工作频率之间的差值来生成输出信号的比较器模块。

1997905 B



1. 一种集成电路，包括：

第一受测器件模块，操作为在第一模式期间被偏置，其中所生成的界面阱造成第一驱动电流减少；

第二受测器件模块，操作为在所述第一模式期间被偏置以维持参考驱动电流；

第一环形振荡器模块，耦合到所述第一受测器件模块，操作为在第二模式期间生成第一振荡器信号，其中所述第一振荡器信号的工作频率是所述第一驱动电流的函数；以及

第二环形振荡器模块，耦合到所述第二受测器件模块，操作为在第二模式期间生成第二振荡器信号，其中所述第二振荡器信号的工作频率是所述参考驱动电流的函数。

2. 根据权利要求 1 所述的集成电路，还包括：

比较器模块，耦合到所述第一环形振荡器模块并且还耦合到所述第二环形振荡器模块，其中所述比较器操作为根据所述第一振荡器信号的所述工作频率与所述第二振荡器信号的所述工作频率之间的差值来生成输出信号。

3. 根据权利要求 1 所述的集成电路，其中所述第一受测器件模块包括 p- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管，并且其中所述第二受测器件模块包括 p- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管。

4. 根据权利要求 1 所述的集成电路，其中所述第一受测器件模块包括 n- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管，并且其中所述第二受测器件模块包括 n- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管。

5. 根据权利要求 1 所述的集成电路，其中所述第一受测器件模块包括 p- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管和 n- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管，并且其中所述第二受测器件模块包括 p- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管和 n- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管。

6. 根据权利要求 1 所述的集成电路，其中所述第一受测器件模块串联地耦合于所述第一环形振荡器模块的反馈回路中，并且其中所述第二受测器件模块串联地耦合于所述第二环形振荡器模块的反馈回路中。

7. 一种测量负偏置温度不稳定性的方法，包括：

在正常工作模式期间对第一 MOSFET 施加应力；

在所述正常工作模式期间维持第二 MOSFET 作为参考；

启用第一环形振荡器模块，其中所述第一环形振荡器模块的第一工作频率在测试模式期间是所述第一 MOSFET 的驱动电流的函数；

启用第二环形振荡器模块，其中所述第二环形振荡器模块的第二工作频率在所述测试模式期间是所述第二 MOSFET 的驱动电流的函数；以及

在所述测试模式期间根据所述第一工作频率与所述第二工作频率之间的差值来生成输出信号。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中所述施加应力包括将所述第一 MOSFET 偏置，其中在栅极氧化物与衬底之间生成界面阱。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中所述界面阱造成所述第一 MOSFET 的阈值电压增加。

10. 根据权利要求 8 所述的方法，其中所述界面阱造成所述第一 MOSFET 的驱动电流减

少。

11. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述第二 MOSFET 的阈值电压维持为基本上恒定。
12. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述第二 MOSFET 的驱动电流维持为基本上恒定。
13. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:

在所述正常工作模式期间禁用所述第一环形振荡器模块;以及
在所述正常工作模式期间禁用所述第二环形振荡器模块。

14. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:根据所述输出信号来确定负偏置温度不稳定退化的量。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,还包括:根据所述输出信号来确定负偏置温度不稳定恢复的量。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,还包括:根据所述输出信号来确定负偏置温度不稳定恢复的速率。

17. 根据权利要求 14 所述的方法,还包括:根据所述输出信号来推测集成电路的老化。

18. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:在预定时间从所述正常工作模式切换到所述测试模式。

19. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:在收到测试模式请求时从所述正常工作模式切换到所述测试模式。

20. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:在生成所述输出信号之后从所述测试模式切换到所述正常工作模式。

21. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述测试模式的时间周期与所述正常工作模式的时间周期相比可以忽略。

22. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述正常工作模式的时间周期基本上等于集成电路的工作模式的时间周期。

23. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:

在所述测试模式期间根据所述第一环形振荡器模块的初始工作频率与所述第二环形振荡器模块的初始工作频率之间的差值来确定偏移;以及

根据所述输出信号和所述偏移来确定负偏置温度不稳定退化的量。

24. 根据权利要求 7 所述的方法,还包括:根据所述输出信号来调整集成电路的工作参数。

25. 一种用于测量负偏置温度不稳定的系统,包括:

第一组反相器,串联地耦合以形成第一信号回路;

第一 NAND 门,包括耦合到第一使能信号的第一输入并且还包括串联地耦合于所述第一信号回路中的第二输入和输出;

第一 MOSFET,包括串联地耦合于所述第一信号回路中的源极和漏极并且还包括耦合于第二使能信号的栅极;

第二组反相器,串联地耦合以形成第二信号回路;

第二 NAND 门,包括耦合到所述第一使能信号的第一输入并且还包括串联地耦合于所述第二信号回路中的第二输入和输出;以及

第二 MOSFET,包括串联地耦合于所述第二信号回路中的源极和漏极并且还包括耦合于

第三使能信号的栅极。

26. 根据权利要求 25 所述的系统, 其中所述第一 MOSFET 和所述第二 MOSFET 是 p- 沟道 MOSFET。

27. 根据权利要求 25 所述的系统, 其中所述第一 MOSFET 和所述第二 MOSFET 是 n- 沟道 MOSFET。

28. 根据权利要求 25 所述的系统, 还包括 :

第三 MOSFET, 包括串联地耦合于所述第一信号回路中的源极和漏极并且还包括耦合到第四使能信号的栅极 ; 以及

第四 MOSFET, 包括串联地耦合于所述第二信号回路中的源极和漏极并且还包括耦合到第五使能信号的栅极。

29. 根据权利要求 28 所述的系统, 其中所述第一 MOSFET 和第二 MOSFET 是 p- 沟道 MOSFET 并且其中所述第三 MOSFET 和所述第四 MOSFET 是 n- 沟道 MOSFET。

用于测量负偏置温度不稳定性的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是如下美国专利申请的部分继续申请：申请号 10/712,847，现在专利号 6,903,564，申请日 2003 年 11 月 12 日，Shingo Suzuki，标题为“*A device Age Determination circuit*”（器件老化确定电路）；申请号 10/672,793，现在专利号 6,885,210，申请日 2003 年 9 月 26 日，Shingo Suzuki，标题为“*System and Method for Measuring Transistor LeakageCurrent with a Ring Oscillator with Backbias Controls*”（用于利用具有反向偏置控制的环形振荡器测量晶体管漏电流的系统和方法）；以及申请号 10/124,152，现在专利号 6,882,172，申请日 2002 年 4 月 16 日，Shingo Suzuki，标题为“*A System and Method for Measuring Transistor LeakageCurrent with a Ring Oscillator*”（一种用于利用环形振荡器测量晶体管漏电流的系统和方法），在此通过引用的方式包含其内容。

[0003] 技术领域

[0004] 本发明涉及一种用于利用环形振荡器测量负偏置温度不稳定性的系统和方法。

[0005] 背景技术

[0006] 常规集成电路受制于大量的可靠性和退化的问题。对于深亚微米 (DSM) 来说，诸如热载流子注入 (HCI)、依赖于时间的电介质击穿 (TDDB)、负偏置温度不稳定性 (NBTI) 等设计问题越来越多地影响集成电路的性能。

[0007] 为了提升集成电路的性能，可以改变比如电源电压、工作频率、反向偏置（例如阈值电压）等各种工作参数。然而，在集成电路的性能与寿命之间通常需要权衡。改变工作参数以实现提高的性能通常造成诸如负偏置温度不稳定性 (NBTI) 之类的应力的增加。如果可以测量集成电路中的 NBTI，就可以优化在性能与寿命之间的权衡。

发明内容

[0008] 因而，本发明的实施例针对于一种用于测量集成电路、电子器件等中的负偏置温度不稳定性 (NBTI) 的方法和系统。在一个实施例中，集成电路包括耦合到第一环形振荡器模块的第一受测器件 (DUT) 模块和耦合到第二环形振荡器模块的第二 DUT 模块。第一 DUT 模块在第一模式期间被偏置从而生成界面阱。所生成的界面阱造成第一 DUT 模块的第一驱动电流的减少。第二受测器件模块在第一模式期间被偏置以维持参考驱动电流。第一环形振荡器模块的工作频率在第二模式期间是第一驱动电流的函数。第二环形振荡器模块的工作频率在第二模式期间是参考驱动电流的函数。该集成电路还可以包括用于根据第一环形振荡器模块的工作频率和第二环形振荡器模块的工作频率之间的差值来生成输出信号的比较器模块。

[0009] 在本发明的另一实施例中，一种测量负偏置温度不稳定性的方法包括在正常工作模式期间对第一 MOSFET 施加应力。在正常工作模式期间维持第二 MOSFET 作为参考。在测试模式期间启用第一和第二环形振荡器模块。第一环形振荡器模块的工作频率是第一 MOSFET 的驱动电流的函数。第二环形振荡器模块的工作频率是第二 MOSFET 的驱动电流的

函数。在测试模式期间根据第一环形振荡器模块的工作频率和第二环形振荡器模块的工作频率之间的差值来生成输出信号。

[0010] 在又一实施例中，一种用于测量 NBIT 的系统包括：第一组反相器、第一 NAND 门、第一 MOSFET、第二组反相器、第二 NAND 门和第二 MOSFET。第一组反相器、第一 NAND 门的第一输入和输出、以及第一 MOSFET 的源极和漏极串联地耦合以形成第一信号回路。第一 NAND 门的第二输入接收第一使能信号。第一 MOSFET 的栅极接收第二使能信号。第二组反相器、第二 NAND 门的第一输入和输出、以及第二 MOSFET 的源极和漏极串联地耦合以形成第二信号回路。第二 NAND 门的第二输入接收第一使能信号。第二 MOSFET 的栅极接收第三使能信号。

[0011] 本发明的实施例有利地提供一种利用环形振荡器测量 NBIT 的系统和方法。可以有利地根据 NBTI 的测量来推测相关联的集成电路、电子器件等的老化。NBTI 的测量还可以有利地用来调整器件性能与寿命之间的权衡。

附图说明

[0012] 在附图部分的各图中作为例子而非作为限制说明了本发明的实施例，在附图中相似的参考标号指代相似的单元，其中：

[0013] 图 1 示出了根据本发明的一个实施例用于测量集成电路中的负偏置温度不稳定性 (NBTI) 的系统的框图。

[0014] 图 2A 和图 2B 示出了根据本发明的一个实施例用于测量负偏置温度不稳定性 (NBTI) 的系统的示例性实现的框图。

[0015] 图 3 示出了根据本发明的一个实施例测量负偏置温度不稳定性 (NBTI) 的方法的步骤的流程图。

具体实施方式

[0016] 现在将具体地参照本发明的实施例，这些实施例的例子在附图中说明。尽管将结合这些实施例来描述本发明，但是将理解到它们的本意不在于将本发明限制于这些实施例。与之相反，本发明的本意在于涵盖可以包含于如由所附权利要求所限定的本发明范围之内的备选、修改和等效。另外，在本发明的以下具体描述中，阐述了大量特定细节以便提供对本发明的透彻理解。然而应当理解，没有这些特定细节仍然可以实践本发明。在其它实例中，没有具体地描述公知的方法、过程、组件和电路以免不必要的使得本发明的诸多方面变得模糊。

[0017] 参照图 1，示出了根据本发明的一个实施例用于测量集成电路 110 中的负偏置温度不稳定性 (NBTI) 的系统的框图。如图 1 中所示，用于测量 NBTI 的系统包括第一环形振荡器模块 120、第一受测器件 (DUT) 模块 130、第二环形振荡器模块 140、第二 DUT 模块 150 和比较器模块 160。第一 DUT 模块 130 可以耦合到第一环形振荡器模块 120。第二 DUT 模块 150 可以耦合到第二环形振荡器模块 140。比较器模块 160 可以耦合到第一环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140，从而可以比较第一环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140 的工作频率。

[0018] 在第一模式（例如正常工作模式）中，禁用第一环形振荡器模块 120 和第二环形

振荡器模块 140, 从而不生成相应的振荡器信号。在第一模式期间, 可以偏置第一 DUT 模块 130(例如受到应力的模块), 从而生成界面阱。界面阱的生成在第一 DUT 模块 130 中造成负偏置温度不稳定性。可以偏置第二 DUT 模块 150(例如参考模块), 从而不生成界面阱。可以理解, NBFI 随着时间推移在第一 DUT 模块 130 中造成了阈值电压的增加和驱动电流的减少。然而, 第二 DUT 模块 150 中的阈值电压和驱动电流将保持基本上恒定。

[0019] 在第二模式(例如测试模式)中, 禁用第一第二环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140。因此, 每个环形振荡器模块 120、140 生成具有如下频率的周期信号, 该频率是由对应的 DUT 模块 130、150 提供的驱动电流的函数。具体来说, 第一环形振荡器模块 120 生成具有第一工作频率的振荡器信号, 该第一工作频率是由第一 DUT 模块 130 提供的驱动电流的函数。如前所述, 由第一 DUT 模块 130 提供的驱动电流将在正常工作模式期间随着时间推移而减少。因此, 第一环形振荡器模块 120 的工作频率将随着时间推移而减少。第二振荡器模块 140 生成具有第二工作频率的第二振荡器信号, 该第二工作频率是由第二 DUT 模块 150 提供的驱动电流的函数。如前所述, 由第二 DUT 模块 150 提供的驱动电流将随着时间推移保持基本上恒定。因此, 第二环形振荡器模块 140 的工作频率将随着时间推移保持基本上恒定。

[0020] 在第二模式期间, 比较器模块 160 比较第一环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140 的工作频率。比较器模块 160 的各种实施例在以下公开中进行了描述:美国专利申请号 10/712,847, 申请日 2003 年 11 月 12 日, Shingo Suzuki, 标题为“*A device Age Determination circuit*”; 美国专利申请号 10/672,793, 申请日 2003 年 9 月 26 日, Shingo Suzuki, 标题为“*System and Method for Measuring Transistor Leakage Current with a Ring Oscillator with Backbias Controls*”; 以及美国专利申请号 10/124,152, 申请日 2002 年 4 月 16 日, Shingo Suzuki, 标题为“*A System and Method for Measuring Transistor Leakage Current with a Ring Oscillator*”, 在此通过引用的方式包含其内容。在一个实施例中, 比较器模块 160 生成如下输出信号, 该输出信号是第一工作频率和第二工作频率之间的差值的函数。该信号表示第一 DUT 模块 130 中 NBFI 退化的程度。可以理解, NBFI 随着时间推移因集成电路 110 工作而减少。因此, 可以根据由比较器模块 160 生成的输出信号来推测集成电路 110 的老化。

[0021] 还可以理解, 第一和第二工作频率由于在制造集成电路 110 时的工艺变化而在初始时间(例如在集成电路第一次上电时)并不相等。因而, 可以进行第一工作频率和第二工作频率之间的差值的初始测量, 而且将该初始测量存储为用于推测集成电路 110 的老化的偏移。偏移值可以存储于在集成电路 10 内部或者外部的非易失性存储模块(未示出)中, 该非易失性存储模块诸如熔断器组、静态存储器(例如静态 ROM、静态 RAM、闪存等)等。

[0022] 可以理解, 比较器模块 160 是用于测量 NBFI 的系统中的可选单元。比较器模块 160 的功能还可以实现在集成电路 110 外部。另外, 虽然本发明的实施例被描述为包含于集成电路 110 中, 但是可以理解, 用于测量 NBFI 的系统可以与各种其它电子器件相结合地使用。

[0023] 现在参照图 2A 和图 2B, 示出了根据本发明的一个实施例用于测量负偏置热不稳定(NBTI)的系统的示例性实现的框图。可以理解, 由于在 P-MOSFET 反相层中存在着已知会与氧化物状态相互作用的孔, 所以与 n- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管

(N-MOSFET) 相比, NBTI 退化效应对于 p- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管 (P-MOSFET) 来说更为明显。因而, 该示例性装置适于测量 P-MOSFET 中的 NBTI。在示例性实现中包括 N-MOSFET 主要是为了 提供对称性。用于测量 NBTI 的系统包括第一环形振荡器模块 120、第一 DUT 模块 130、第二环形振荡器模块 140 和第二 DUT 模块 150。

[0024] 如图 2A 中所示, 第一环形振荡器模块 120 包括相互串联地耦合以形成第一信号回路的第一组反相器 202-208。第一组反相器 202-208 中的每个反相器可以具有用于抽取适当扇出电流的耦合于其上的一个或多个负载门 210-224。第一环形振荡器模块 120 还可以包括第一 NAND 门 226, 该第一 NAND 门具有耦合于第一组反相器 202-208 中的第一反相器与第二反相器之间的第一输入和输出。第一 NAND 门 226 的第二输入可以耦合到使能信号 (EN)。第一组反向器 202-208 与第一 NAND 门 226 的组合造成了沿着第一信号回路传播的第一振荡器信号的奇数次逻辑状态反相。可以理解, 第一组反相器 202-208 中的给定反相器或者 NAND 门 226 还贡献了第一组反相器 202-208 中前一反相器的扇出电流。

[0025] 第一 DUT 模块 130 可以包括第一组的一个或多个 p- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管 (P-MOSFET) 228、230 和 / 或一个或多个 n- 沟道金属氧化物半导体场效应晶体管 (N-MOSFET) 232、234。第一组中的每个 P-MOSFET 228、230 可以耦合于第一信号回路中, 使得它的源极耦合到第一组反相器 204、208 中对应反相器的输出, 而它的漏极耦合到第一组反相器中的下一反相器 206 或者第一 NAND 门 226。第一组中的每个 N-MOSFET 232、234 可以耦合于第一信号回路中, 使得它的漏极耦合到第一组反相器 202、206 中对应反相器的输出, 而它的源极耦合到第一组反相器 204、208 中的下一反相器。如果第一 DUT 模块 130 包括第一组的 P-MOSFET 228、230 和 N-MOSFET 232、234 二者, 则 P-MOSFET 和 N-MOSFET 可以交替地耦合于第一信号回路中。

[0026] 第一 DUT 模块 130 还可以包括相互串联地耦合的第二组反相器 236、238。第二组反相器中第一反相器 236 的输入可以耦合到第一电势 (例如电源电压)。在第二组反相器中第一反相器 236 的输出处生成第一 DUT 使能信号 (EN_P1)。第二组反相器中第二反相器 238 的输入可以耦合到第二组反相器中第一反相器 236 的输出。在第二组反相器中第二反相器 238 的输出处生成第二 DUT 使能信号 (EN_N1)。第一组 P-MOSFET 228、230 中每个 P-MOSFET 的栅极可以接收第一 DUT 使能信号 (EN_P1)。第一组 N-MOSFET 232、234 中每个 N-MOSFET 的栅极可以接收第二 DUT 使能信号 (EN_N1)。

[0027] 如图 2B 中所示, 第二环形振荡器模块 140 包括相互串联地耦合以形成第二信号回路的第三组反相器 252-258。第三组反相器 252-258 中的每个反相器可以具有用于抽取适当扇出电流的耦合于其上的一个或多个负载门 260-274。第二环形振荡器模块 140 还可以包括第二 NAND 门 276, 该第二 NAND 门具有耦合于第三组反相器 252-258 中的第一反相器与第二反相器之间的第一输入和输出。第二 NAND 门 276 的第二输入可以耦合到使能信号 (EN)。第三组反向器 252-258 与第二 NAND 门 276 的组合造成了沿着第二信号回路传播的第二振荡器信号的奇数次逻辑状态反相。可以理解, 第三组反相器 254-258 中的给定反相器或者 NAND 门 276 还贡献了第三组反相器 252-258 中前一反相器的扇出电流。

[0028] 第二 DUT 模块 150 可以包括第二组的一个或多个 P-MOSFET 278、280 和 / 或一个或多个 N-MOSFET 282、284。第二组中的每个 P-MOSFET 278、280 可以耦合于第二信号回路中, 使得它的源极耦合到第三组反相器 254-258 中对应反相器的输出, 而它的漏极耦合到第三

组反相器中的下一反相器 256 或者第二 NAND 门 276。第二组中的每个 N-MOSFET 282、284 可以耦合于该信号回路中,使得它的漏极耦合到第三组反相器 252、256 中对应反相器的输出,而它的源极耦合到第三组反相器 254、258 中的下一反相器。如果第二 DUT 模块 150 包括第一组的 P-MOSFET 278、280 和 N-MOSFET 282、284 二者,则 P-MOSFET 278、280 和 N-MOSFET 282、284 可以交替地耦合于第二信号回路中。

[0029] 第二 DUT 模块 150 还可以包括相互串联地耦合的第四组反相器 286、288。第四组反相器中第一反相器 286 的输入可以接收使能信号 (EN)。在第四组反相器中第一反相器 286 的输出处生成第三 DUT 使能信号 (EN_P2)。第四组反相器中第二反相器 288 的输入可以耦合到第四组反相器中第一反相器 286 的输出。在第四组反相器中第二反相器 286 的输出处生成第四 DUT 使能信号 (EN_N2)。第二组 P-MOSFET 278、280 中每个 P-MOSFET 的栅极可以接收第三 DUT 使能信号 (EN_P4)。第二组 N-MOSFET 232、234 中每个 N-MOSFET 的栅极可以接收第四 DUT 使能信号 (EN_N2)。

[0030] 在第一模式 (例如正常工作模式) 中,第一环形振荡器模块 120 不生成第一振荡器信号 (V_{F1})。具体来说,在第一 NAND 门 226 的第一输入处接收低状态使能信号 (EN)。当第一 NAND 门 226 的第一输入为低时,无论第一 NAND 门 226 的第二输入的状态如何,第一 NAND 门 226 的输出都为高。因此,第一 NAND 门 226 在整个第一信号回路中都保持稳态。

[0031] 在第一模式中,第一 DUT 使能信号 (EN_P1) 为低而第二 DUT 使能信号 (EN_N1) 为高。因此,第一 DUT 模块 130 中每个 N-MOSFET 的栅极为高 (例如电源电压 (V_{DD})), 而每个 P-MOSFET 的栅极为低 (例如接地 (V_{SS}))。当第一 NAND 门 226 的输出为高时,第一组反相器 202–208 中的每个反相器将 P-MOSFET 228、230 中相应 P-MOSFET 的源极和漏极偏置于高状态 (例如电源电压 (V_{DD}))。因而,第一组中的 P-MOSFET 228、230 和 / 或 N-MOSFET 232、234 受到应力 (例如受到偏置从而在栅极氧化物与硅衬底之间生成界面阱)。由于在第一模式期间的 NBTI 应力,第一组 P-MOSFET 228、230 和 / 或 N-MOSFET 232、234 的阈值电压增加而驱动电流减少。

[0032] 在第一模式中,第三 DUT 使能信号 (EN_P2) 为高而第四 DUT 使能信号 (EN_N2) 为低。因此,第二 DUT 模块 150 中每个 N-MOSFET 282、284 的栅极为低 (例如接地 (V_{SS})), 而每个 P-MOSFET 278、280 的栅极为高 (例如电源电压 (V_{DD}))。当第二 NAND 棚极 276 的输出为高时,第二组反相器 252–258 中的每个反相器将每个 P-MOSFET 278、280 的源极和漏极偏置于低状态 (例如接地 (V_{SS}))。因而,第三组中的 P-MOSFET 278、280 和 / 或 N-MOSFET 282、284 没有受到应力,由此提供了用于确定 NBTI 的参考。

[0033] 可以理解,在第一模式中工作的时间周期可以基本上等于相关联的电路、电子器件等工作的时间周期。因而,第一组的 P-MOSFET 228、230 和 / 或 N-MOSFET 232、234 以与集成电路、电子器件等中所使用的 P-MOSFET 器件和 / 或 N-MOSFET 器件基本上相同的速率老化。作为选择,第一组的 P-MOSFET 228、230 和 / 或 N-MOSFET 232、234 可以代表集成电路的最差情况以便进行保守的寿命估计。然而,第三组的 P-MOSFET 278、280 和 / 或 N-MOSFET 282、284 没有受到应力,因此在第一模式期间老化量不明显。

[0034] 在第二模式 (例如测试模式) 中,第一 DUT 使能信号 (EN_P1) 为低而第二 DUT 使能信号 (EN_N1) 为高。因此,第一 DUT 模块 130 的每个 N-MOSFET 232、234 的栅极为高 (例如电源电压 (V_{DD})), 而每个 P-MOSFET 228、230 的栅极为低 (例如接地 (V_{SS}))。当使能信号

(EN) 切换到高状态时,第一环形振荡器模块 120 生成第一振荡器信号 (V_{F1})。如果第一 DUT 模块 130 仅包含 P-MOSFET,则第一振荡器信号 (V_{F1}) 的工作频率将是 P-MOSFET 的驱动电流的函数。如果第一 DUT 模块 130 仅包含 N-MOSFET,则第一振荡器信号 (V_{F1}) 的工作频率将是 N-MOSFET 的驱动电流的函数。如果第一 DUT 模块 130 包含 N-MOSFET 和 P-MOSFET 二者,则第一振荡器信号 (V_{F1}) 的工作频率将主要是 P-MOSFET 的驱动电流的函数,而 N-MOSFET 对工作频率造成次要影响。根据对正常工作模式的以上描述可以理解,随着时间推移,第一组 MOSFET 受到应力,造成 NBTI,该 NBTI 将随着时间推移引起驱动电流减少。因而,第一振荡器信号 (V_{F1}) 的工作频率将随着时间减少。

[0035] 在第二模式中,当使能信号切换到高状态时,第三 DUT 使能信号 (EN_P2) 切换到低状态,而第四 DUT 使能信号 (EN_N2) 切换到高状态。因此,第二 DUT 模块 150 的每个 N-MOSFET 282、284 的栅极为高(例如电源电压 (V_{DD})),而每个 P-MOSFET 278、280 的栅极为低(例如接地 (V_{SS}))。随后,第二环形振荡器模块 140 生成第二振荡器信号 (V_{F2})。根据对正常工作模式的上述描述可以理解,第三组 MOSFET 的驱动电流将随着时间保持基本上恒定。因而,第二振荡器信号 (V_{F2}) 的工作频率将保持基本上恒定。在实际情况中,它可能由于第三组反相器 252、254、256、258 和第二 NAND 门 276 中的驱动电流下降而并不恒定。然而,“原生”驱动电流下降的速率在第一环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140 二者中是相同的。因此,环形振荡器模块 120、140 的工作频率之间的差值表明了受测器件的老化。

[0036] 可以通过确定第一和第二振荡器信号 (V_{F1} 、 V_{F2}) 的工作频率之间的差值来测量负偏置温度不稳定性。可以理解,第一和第二振荡器信号 (V_{F1} 、 V_{F2}) 的工作频率可以在第一和第二信号回路的任意节点处进行测量。还可以理解,系统中的 NBTI 将随着时间推移而增加。因此,可以根据对 NBTI 的测量来推测相关联的集成电路、电子器件等的老化。为了确定集成电路、电子器件等的老化,可以定期地或者响应于测量请求来启动第二模式(例如测试模式)。

[0037] 可以理解,第一环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140 的工作频率之间的差值可以用来调整器件性能与寿命之间的权衡。可以通过根据第一环形振荡器模块 120 和第二环形振荡器模块 140 的工作频率之间的差值(例如器件的老化)来调整各种参数,比如电源电压电平、工作频率、反向偏置(例如阈值电压)、工作温度等,从而调整器件性能与寿命之间的权衡。

[0038] 还可以理解,在第一模式中,第一组 MOSFET 228-234 经受静态 NBTI(例如 DC 应力),该静态 NBTI 造成阈值电压和驱动电流参数的相对快速的退化。由 DC 应力造成的快速退化导致 MOSFET 228-234 的相对较短的寿命。在第二模式中,第一组和第二组的 MOSFET 228-234、278-284 经受动态 NBTI(例如 AC 应力)。当 DC 应力定期地中断(例如施加 AC 应力)时,至少部分地恢复该退化(例如在 MOSFET 228-234 的导通状态期间生成的界面阱在它们的截止状态期间部分地退火),而且增加 MOSFET 228-234 的寿命。因而,在从第一状态(例如静态 NBTI)切换到第二状态(例如动态 NBTI)之后不久(例如在数秒或者更短时间之内)测量 NBTI 可以使得能够确定静态 NBTI 的程度。在第二状态期间持续测量可以使得能够确定从 NBTI 退化中恢复的量和速率。

[0039] 现在参照图 3,示出了根据本发明的一个实施例测量负偏置温度不稳定性(NBTI)的方法的步骤的流程图。如图 3 中所示,测量 NBTI 的方法包括正常工作模式和测试模式。

在正常工作模式中，在 310 禁用第一和第二环形振荡器模块。在一个实施例中，对应第一和第二环形振荡器模块的第一和第二 NAND 门在对应的第一输入处接收使能信号。NAND 门的对应第二输入和对应输出串联地耦合于对应的环形振荡器模块的反馈回路中。在正常工作模式中，使能信号在第一状态（例如低电压电平），因此每个 NAND 棚极的输出在第二状态（例如高电压电平）。当 NAND 门的输出保持于第二状态时，第一和第二环形振荡器模块不生成振荡器信号。

[0040] 在 320，耦合到第一环形振荡器模块的第一 DUT 模块在正常工作模式期间可以被偏置从而在栅极氧化物与衬底之间生成界面阱。界面阱的生成造成第一 DUT 模块中的驱动电流随着时间推移而减少。

[0041] 在 330，耦合到第二环形振荡器模块的第二 DUT 模块可以在正常操作模式期间被维持作为参考。因而，第一 DUT 模块中的驱动电流随着时间推移保持基本上恒定。

[0042] 在 340，在测试模式期间可以禁用第一和第二环形振荡器模块。第一和第二环形振荡器模块的工作频率分别是耦合于其上的对应 DUT 模块的驱动电流的函数。在一个实现方式中，使能信号可以切换到第二状态（例如高电压电平），因此每个 NAND 门的输出在第一状态（例如低电压电平）。当 NAND 门的输出保持于第一状态时，第一和第二环形振荡器模块生成具有如下工作频率的振荡器信号，该工作频率是对应驱动电流的函数。

[0043] 在 350，可以在测试模式期间比较第一和第二环形振荡器模块的工作频率。作为比较的结果，可以生成表明 NBTI 效应的信号。可以理解，然后可以根据比较结果来推测集成电路的老化。

[0044] 在 360，可以在一个或多个条件之下进入测试模式。在一个实现方式中，可以定期地或者响应于测量请求来启动测试模式。可以理解，测试模式的时间周期与正常工作模式相比应当可以忽略。

[0045] 因而，本发明的实施例提供一种利用环形振荡器测量负偏置温度不稳定性的系统和方法。可以有利地根据对 NBTI 的测量来推测相关联的集成电路、电子器件等的老化。对 NBTI 的测量还可以有利地用来调整器件性能与寿命之间的权衡。

[0046] 广而言之，本文公开了以下内容。根据本发明一个实施例的集成电路包括耦合到第一环形振荡器模块的第一受测器件 (DUT) 模块和耦合到第二环形振荡器模块的第二 DUT 模块。第一 DUT 模块在第一模式期间被偏置从而生成界面阱。所生成的界面阱造成第一 DUT 模块的第一驱动电流减少。第二受测器件模块在第一模式期间被偏置以维持参考驱动电流。第一环形振荡器模块的工作频率在第二模式期间是第一驱动电流的函数。第二环形振荡器模块的工作频率在第二模式期间是参考驱动电流的函数。该集成电路还可以包括用于根据第一环形振荡器模块的工作频率和第二环形振荡器模块的工作频率之间的差值来生成输出信号的比较器模块。

[0047] 已经出于说明和描述的目的提供了对本发明的特定实施例的以上描述。它们的本意并不在于穷举或者将本发明限制为公开的精确形式，而且根据以上启示，可以进行很多修改和变更。选择和描述了实施例以便最佳地说明本发明的原理及其实际应用，由此使得本领域技术人员能够通过适合于所构思的特定用途的各种修改来最佳地运用本发明和各种实施例。其本意在于，本发明的范围将由所附权利要求及其等效形式来限定。

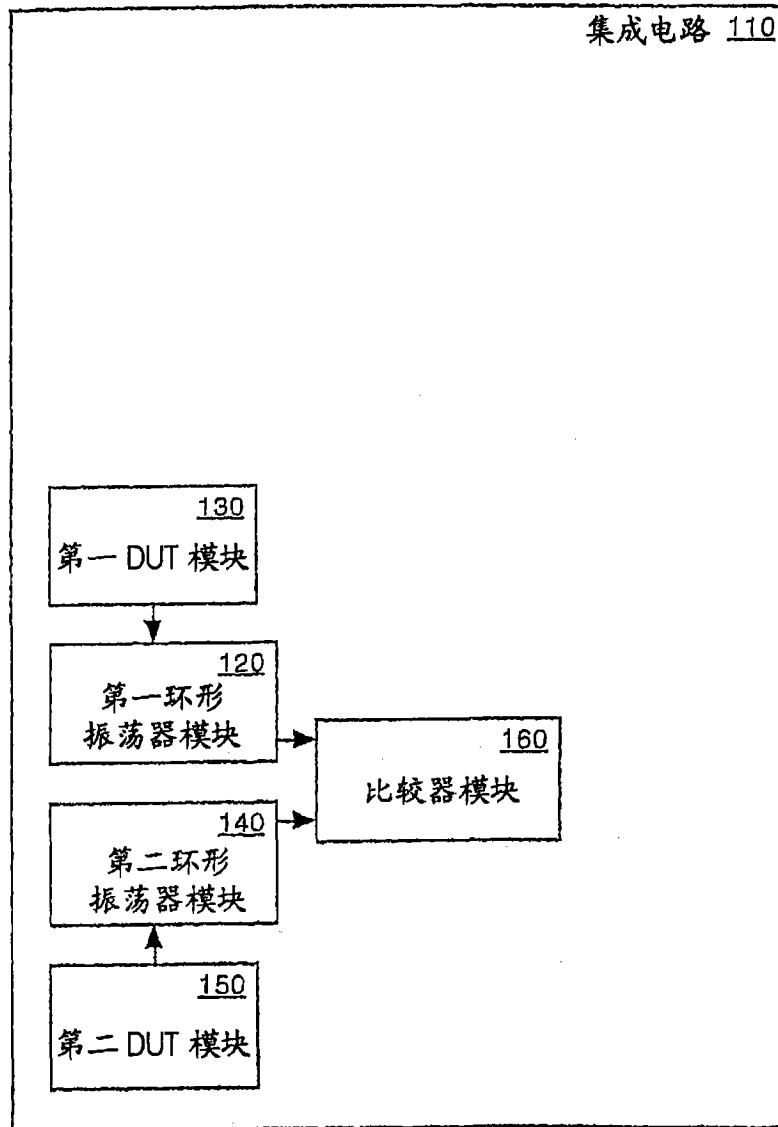
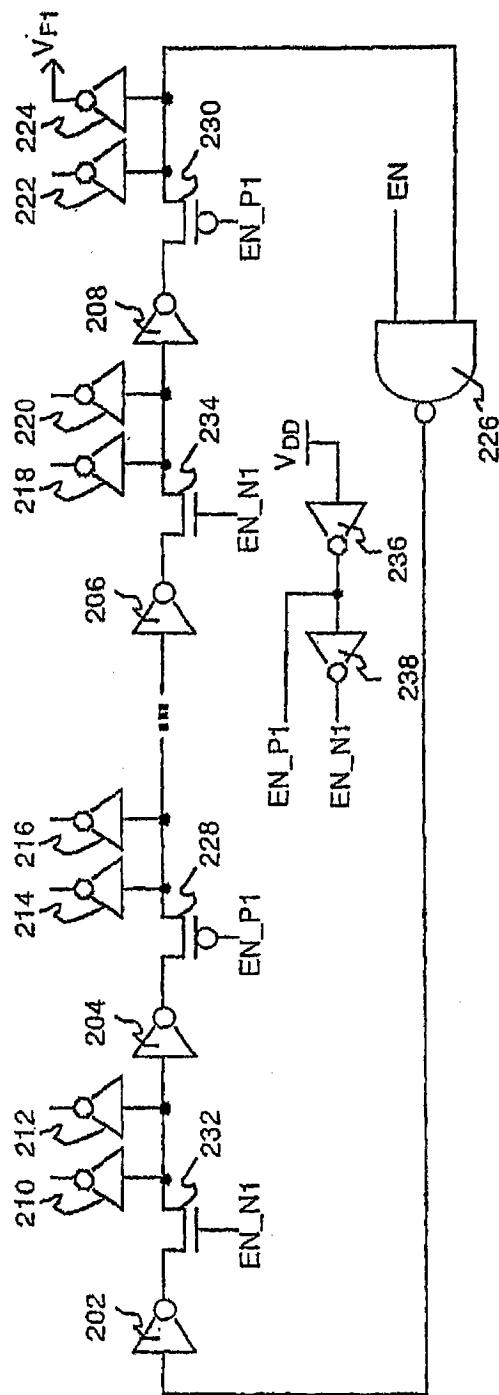
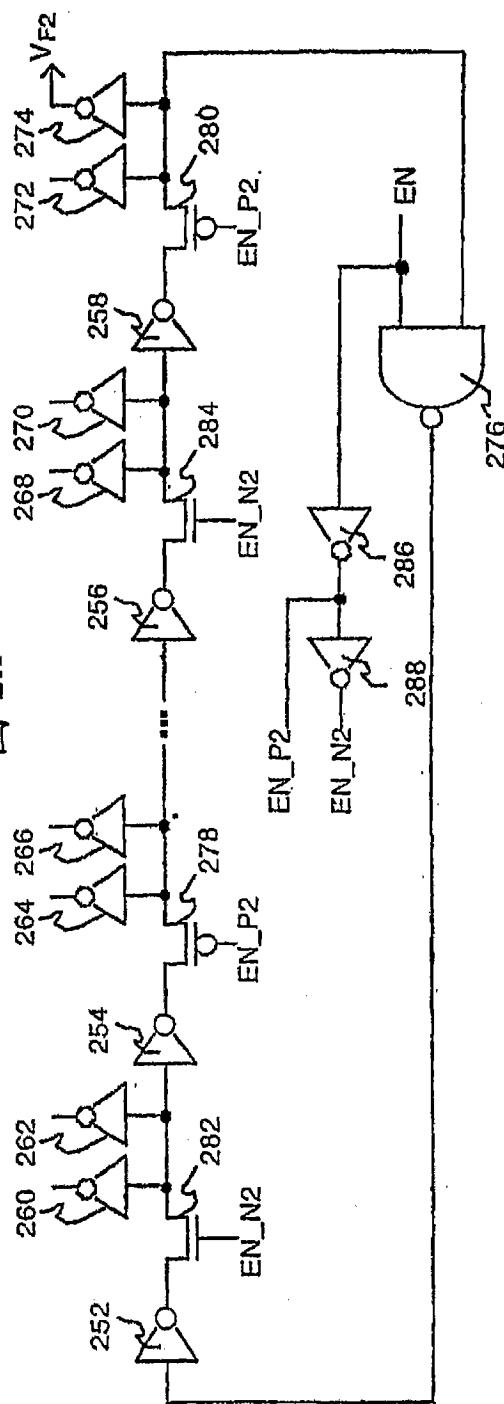


图 1



2A



2B

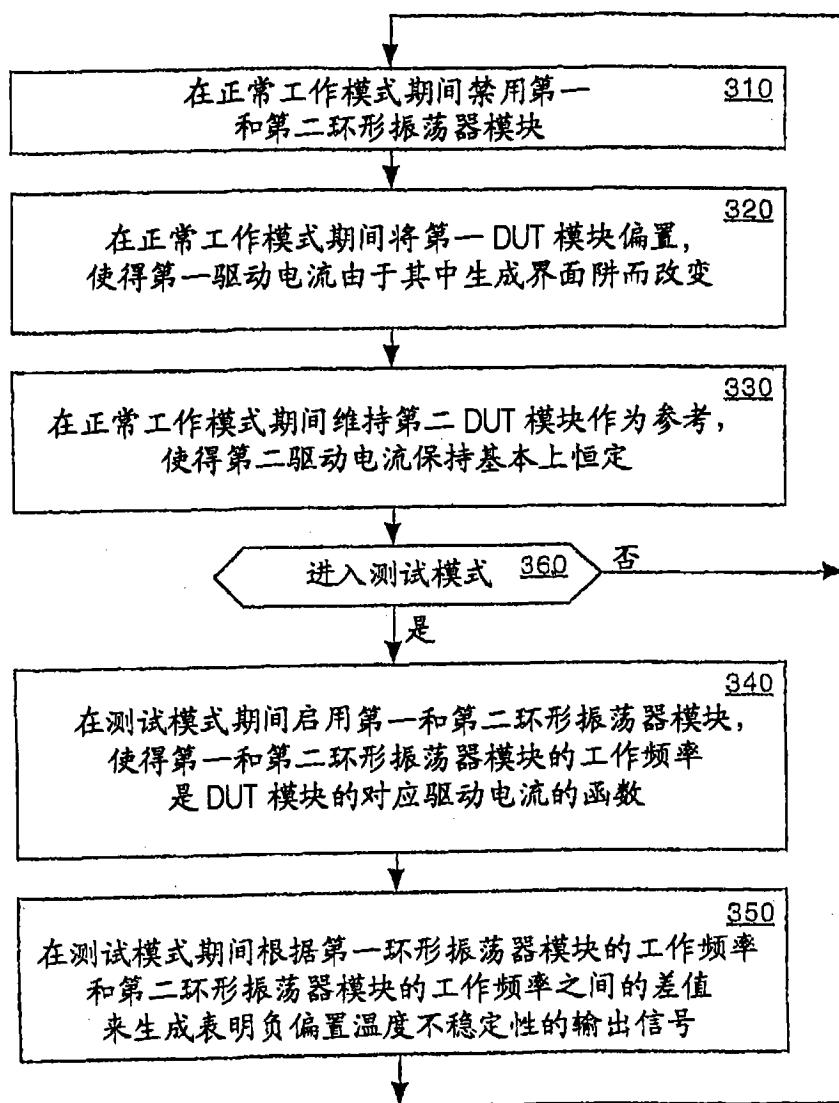


图 3