



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I813615 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 09 月 01 日

(21)申請案號：108100718

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 01 月 08 日

(51)Int. Cl. : G01R31/00 (2006.01)

G01K7/00 (2006.01)

(30)優先權：2018/01/08 美國

62/614,706

(71)申請人：以色列商普騰泰克斯有限公司 (以色列) PROTEANTECS LTD. (IL)
以色列(72)發明人：法內 愛亞 FAYNEH, EYAL (IL)；溫特羅 英霸 WEINTROB, INBAR (IL)；藍曼
艾林 LANDMAN, EVELYN (IL)；戴維 亞爾 DAVID, YAHIEL (IL)；柯恩
夏 COHEN, SHAI (IL)；雷德勒 蓋 REDLER, GUY (IL)

(74)代理人：閻啓泰；林景郁

(56)參考文獻：

TW 201719178A

US 9714966B2

US 2006/0049886A1

US 2009/0096495A1

US 2010/0253382A1

審查人員：朱啓信

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：9 共 52 頁

(54)名稱

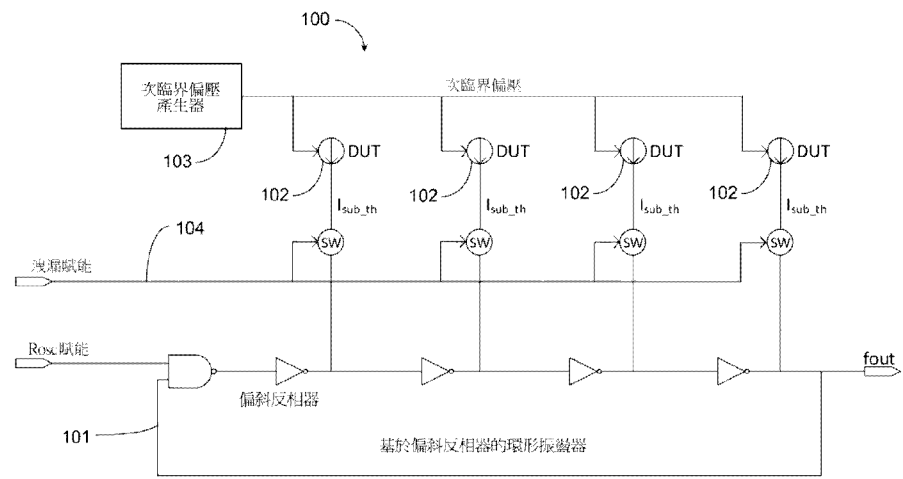
積體電路工作負荷、溫度及/或次臨界洩漏感測器

(57)摘要

在半導體積體電路(IC)中的功能電晶體的一個或更多個操作條件(洩漏電流、溫度及/或工作負荷)的確定。功能電晶體提供電流，該電流作為環形振盪器(ROSC)的輸入被提供。ROSC 位於 IC 中，靠近功能電晶體，並且在操作中具有振盪頻率。基於 ROSC 的振盪頻率來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。

Determination of one or more operating conditions (leakage current, temperature and/or workload) of a functional transistor in a semiconductor integrated circuit (IC). The functional transistor provides an electrical current, which is provided as an input to a ring oscillator (ROSC). The ROSC is located in the IC proximate to the functional transistor and has an oscillation frequency in operation. The one or more operating conditions of the functional transistor are determined based on the oscillation frequency of the ROSC.

指定代表圖：



第1圖

符號簡單說明：

- 100:感測電路
- 101:基於偏斜反相器的環形振盪器
- 102:DUT
- 103:次臨界偏壓產生器
- 104:賦能引線
- DUT:待測裝置
- SW:開關



公告本

111 年 01 月 04 日修正替換頁

I813615

【發明摘要】

【中文發明名稱】 積體電路工作負荷、溫度及/或次臨界洩漏感測器

【英文發明名稱】 Integrated Circuit Workload, Temperature and/or Sub-Threshold Leakage Sensor

【中文】

在半導體積體電路（IC）中的功能電晶體的一個或更多個操作條件（洩漏電流、溫度及/或工作負荷）的確定。功能電晶體提供電流，該電流作為環形振盪器（ROSC）的輸入被提供。ROSC位於IC中，靠近功能電晶體，並且在操作中具有振盪頻率。基於ROSC的振盪頻率來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。

【英文】

Determination of one or more operating conditions (leakage current, temperature and/or workload) of a functional transistor in a semiconductor integrated circuit (IC). The functional transistor provides an electrical current, which is provided as an input to a ring oscillator (ROSC). The ROSC is located in the IC proximate to the functional transistor and has an oscillation frequency in operation. The one or more operating conditions of the functional transistor are determined based on the oscillation frequency of the ROSC.

【指定代表圖】 第1圖

【代表圖之符號簡單說明】

第 1 頁，共 2 頁(發明摘要)

100：感測電路

101：基於偏斜反相器的環形振盪器

102：DUT

103：次臨界偏壓產生器

104：賦能引線

DUT：待測裝置

SW：開關

【發明說明書】

【中文發明名稱】 積體電路工作負荷、溫度及/或次臨界洩漏感測器

【英文發明名稱】 Integrated Circuit Workload, Temperature and/or Sub-Threshold Leakage Sensor

【技術領域】

【0001】 本發明涉及積體電路的領域。

【先前技術】

【0002】 積體電路（IC）可以包括在諸如矽晶片的平坦半導體基板上的類比和數位電子電路。使用光刻技術來將極微電晶體印刷到基板上以在非常小的區域中生產數十億電晶體的複雜電路，使利用 IC 的現代電子電路設計變成低成本和高性能的。IC 在被稱為晶圓代工廠的工廠的裝配線上被生產，這些工廠使 IC 例如互補金屬氧化物半導體（CMOS）IC 的生產商品化。數位 IC 包含佈置在晶片上的功能及/或邏輯單元中的數十億個電晶體，例如金屬氧化物半導體場效應電晶體（MOSFET），資料通路使功能單元相互連接，在功能單元之間傳送資料值。每個單元具有電源和相關的接通功率、斷開功率、待機功率和諸如此類。

【0003】 數位 IC 實現了大量基於 CMOS 的子電路，每個子電路與斷開配置相關聯。在斷開配置期間，功率可能仍然由子電路裝置消

耗，例如常常被稱為靜態功率消耗。在 IC 內的所有子電路的靜態（或洩漏（leakage））功率被合計，且可被稱為總 IC 靜態功率。

【0004】 在數位 IC 中，在理想地沒有電流的狀態中，次臨界洩漏可被視為寄生洩漏。相反，在微功率類比電路中，弱反型區是有效的操作區，且次臨界可以有用的電晶體模式，電路功能可以圍繞這種模式被設計。因此，測量或跟蹤洩漏電流和功能單元或 IC 的其他操作特性例如溫度是合乎需要的。

【0005】 “Analysis of a Ring Oscillator Based on Chip Thermal Sensor in 65nm Technology”（Datta，Kumar（在 http://archive.vn/loDq_ 上出版））討論了在環形振盪器中的延遲對溫度的依賴性。反相器延遲通常隨溫度增加，使得環形振盪器頻率隨溫度增加而降低。基於這一原理，提出了晶片熱感測器。還建議可使用這種感測器來確定整個晶片的洩漏功率。然而這種感測器還沒有被認為是準確的，部分地因為溫度靈敏度可能是在環形振盪器中使用的反相器的製程技術的結果。

【0006】 相關技術的前述例子和與之相關的限制被規定為是說明性的而非排他性的。當閱讀說明書和研究圖式時，相關技術的其它限制對於本領域中的技術人員將變得明顯。

【發明內容】

【0007】 結合在範圍上應該是示例性和說明性的而不是限制性的系統、工具和方法來描述和示出下面的實施例和其態樣。

【0008】 根據一個實施例，提供了一種半導體積體電路（IC），其包括：功能電晶體，其具有提供電流的輸出端；環形振盪器（ROSC）電路，其位於IC中靠近功能電晶體並且在操作中具有振盪頻率；以及處理器，其被配置為基於ROSC的振盪頻率來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。有利地，ROSC具有被耦合以從功能電晶體的輸出端接收電流的輸入端。

【0009】 在實施例中，半導體IC還包括：被配置為根據接收到的賦能訊號來啟用或禁用ROSC的賦能部分。可選地，賦能部分包括作為ROSC的一部分的反及（NAND）邏輯閘，反及邏輯閘的第一輸入端被佈置成接收賦能訊號，以及反及邏輯閘的第二輸入端被耦合到ROSC的輸出端。

【0010】 在實施例中，ROSC包括至少一個偏斜反相器。

【0011】 在實施例中，處理器被配置為使用ROSC的振盪頻率在不同操作條件下的所儲存的模擬結果來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。

【0012】 在實施例中，ROSC形成至少一個洩漏檢測電路的一部分，例如使得處理器被配置成基於ROSC的振盪頻率來確定功能電晶體的洩漏電流。可選地，至少一個洩漏檢測電路包括電連接到待測裝置（DUT）的輸入電壓的次臨界偏壓產生器（sub-threshold bias generator），其中DUT較佳地包括功能電晶體。然後，ROSC較佳地是電連接到DUT的輸出端的第一儲存電路。可選地，該至少一個洩漏

檢測電路包括電連接到DUT的輸出端例如功能電晶體的汲極的電子開關。該至少一個洩漏檢測電路有利地包括頻率測量電路。

【0013】 在一些實施例中，該至少一個洩漏檢測電路是多個（a plurality of）洩漏檢測電路，每個洩漏檢測電路測量來自多個DUT之一的洩漏電流。

【0014】 在實施例中，ROSC和處理器形成至少一個溫度檢測電路的一部分，使得處理器被配置為基於ROSC的振盪頻率來確定功能電晶體的溫度。可選地，處理器還被配置為使用ROSC的振盪頻率在不同溫度下的所儲存的模擬結果以基於ROSC的振盪頻率來確定功能電晶體的溫度：可選地，處理器還被配置為將IC識別為具有從由多個IC預定類型組成的群組中所選擇的類型，處理器對於每個預定類型儲存ROSC的振盪頻率在不同溫度下的相應模擬結果。可選地，該至少一個溫度檢測電路還包括電流源，電流源的輸出向ROSC提供輸入。可選地，電流源包括耦合到功能電晶體的控制端子並被配置為在次臨界狀態中給功能電晶體加偏壓的次臨界偏壓產生器，功能電晶體的輸出端提供電流源的輸出。如本文所述的，次臨界偏壓產生器可以形成至少一個洩漏檢測電路的一部分。有利地，至少一個溫度檢測電路被配置成使得ROSC的振盪頻率隨著溫度的增加而增加。

【0015】 在實施例中，處理器被配置為基於ROSC的振盪頻率來確定IC的壓力或工作負荷。可選地，基於下列項中的一項或更多項的函數來確定IC的壓力或工作負荷：IC電壓；溫度；和IC活動性。可選地，處理器還被配置成在下列項中的一項或兩項的不同值下確定壓力

或工作負荷：半導體IC的時脈頻率；和半導體IC的操作電壓，處理器被配置為提供對照時脈頻率及/或操作電壓而被引用的壓力或工作負荷。可選地，IC的壓力或工作負荷代表在一個時間間隔內的總壓力或工作負荷，該時間間隔基於測量ROSC的振盪頻率的持續時間。可選地，IC的壓力或工作負荷代表相對於溫度的總壓力或工作負荷。可選地，壓力或工作負荷由下列項中的一項或更多項表示：數字；對於所有半導體IC相對於參考值的比；和對於相同類型的半導體IC相對於參考值的比。可選地，處理器還被配置為接收半導體IC的邊際損失（margin loss），並使接收到的邊際損失與壓力或工作負荷相關聯。可選地，處理器還被配置為基於所確定的壓力或工作負荷以及在壓力或工作負荷與邊際損失之間的所儲存的相關性來確定IC的邊際損失。可選地，處理器還被配置為對半導體IC的至少一部分選擇性地啟用或禁用負偏壓溫度不穩定性（NBTI）模式，並且當NBTI模式被啟用時對NBTI模式確定壓力或工作負荷。可選地，處理器還被配置為基於所確定的壓力或工作負荷與預定標準的比較來產生通知訊號，通知訊號指示下列項中的一項或更多項：IC的狀態或年齡；IC的一個或更多個保護帶；和維護或更換條件。

【0016】 在實施例中，處理器被配置成確定散佈在一時間段內的一個或更多個操作條件的多個實例，並儲存一個或更多個操作條件的所確定的多個實例。

【0017】 在實施例中，處理器被配置為將一個或更多個操作條件的所確定的多個實例儲存在下列項中的一項或更多項中：半導體IC中

的非揮發性記憶體；在本地系統上的外部存放裝置；和在網路上的遠端系統上的外部存放裝置。可選地，處理器被配置為確定一個或更多個操作條件的所確定的多個實例在該時間段內的總值。

【0018】 在實施例中，ROSC的輸入端可切換地耦合以從功能電晶體的輸出端接收電流，使得處理器被配置為：當ROSC的輸入端沒有從功能電晶體的輸出端接收電流時，基於ROSC的振盪頻率來確定參考頻率；以及當ROSC的輸入端從功能電晶體的輸出端接收電流時，基於ROSC的振盪頻率來確定感測器測量頻率。

【0019】 根據一個實施例，提供了一種用於確定半導體積體電路（IC）中的功能電晶體的一個或更多個操作條件的方法。該方法包括：測量在位於IC中的靠近功能電晶體的環形振盪器（ROSC）的輸出端處的振盪頻率；基於ROSC的振盪頻率確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。有利地，ROSC從功能電晶體的輸出端接收電流作為輸入。

【0020】 在實施例中，該方法還包括根據賦能訊號來切換以啟用或禁用ROSC。在實施例中，確定的步驟使用ROSC的振盪頻率在不同操作條件下的所儲存的模擬結果來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。

【0021】 在實施例中，確定的步驟包括基於ROSC的振盪頻率來確定（或檢測）來自半導體IC、特別是功能電晶體的洩漏電流。功能電晶體有益地被包括在待測裝置（DUT）中。該方法可選地包括測量在環形振盪器（ROSC）的輸出端處的頻率作為參考頻率的行動。該

方法較佳地包括使用電連接到至少一個DUT的輸入電壓引線的次臨界偏壓產生器在該輸入電壓引線上設定次臨界電壓的行動。該方法包括測量在ROSC的輸出端處的頻率作為洩漏頻率的行動。該方法包括有利地使用計算裝置基於洩漏頻率來計算洩漏電流的行動。該方法可選地包括閉合電連接在至少一個DUT的輸出（汲極）引線和ROSC之間的電子開關的行動。可選地，該方法還包括：測量在環形振盪器（ROSC）的輸出端處的振盪頻率作為參考頻率，電連接在DUT的輸出端和ROSC之間的電子開關在測量期間被設定為斷開；以及在測量在ROSC的輸出端處的頻率作為洩漏頻率的步驟之前閉合電子開關。

【0022】 在實施例中，該方法還包括：基於ROSC的振盪頻率來確定功能電晶體的溫度。可選地，確定功能電晶體的溫度的步驟基於ROSC的振盪頻率和ROSC的振盪頻率在不同溫度下的所儲存的模擬結果。可選地，該方法還包括：將IC識別為具有從由多個IC預定類型組成的組中選擇的類型，確定溫度的步驟還包括基於該識別對於每個預定類型從ROSC的振盪頻率在不同溫度下的所儲存的相應模擬結果中進行選擇。可選地，該方法還包括：提供電流源的輸出作為ROSC的輸入。可選地，申請專利範圍第40項的方法還包括：使用電連接到功能電晶體的輸入電壓引線的次臨界偏壓產生器在該輸入電壓引線上設定次臨界電壓，使得功能電晶體的輸出端提供電流源的輸出。

【0023】 在實施例中，一個或更多個操作條件包括IC的壓力或工作負荷，該壓力或工作負荷基於ROSC的振盪頻率來確定。可選地，基於下列項中的一項或更多項的函數來確定IC的壓力或工作負荷：IC

電壓；溫度；和IC活動性。可選地，確定的步驟包括在下列項中的一項或兩項的不同值下確定壓力或工作負荷：半導體IC的時脈頻率；以及半導體IC的操作電壓，該方法還包括提供對照時脈頻率及/或操作電壓而被引用的壓力或工作負荷。可選地，IC的壓力或工作負荷代表在一個時間間隔內的總壓力或工作負荷，該時間間隔基於測量ROSC的振盪頻率的持續時間。可選地，壓力或工作負荷由下列項中的一項或更多項表示：數字；對於所有半導體IC相對於參考值的比；和對於相同類型的半導體IC相對於參考值的比。可選地，該方法還包括基於所確定的壓力或工作負荷以及在壓力或工作負荷與邊際損失之間的所儲存的相關性來確定IC的可靠性邊際或邊際損失。可選地，該方法還包括：對半導體IC的至少一部分選擇性地啟用或禁用負偏壓溫度不穩定性（NBTI）模式；並且較佳地，當NBTI模式被啟用時對NBTI模式確定壓力或工作負荷。可選地，該方法還包括：將所確定的壓力或工作負荷與預定標準進行比較。較佳地，預定標準基於與半導體IC相同類型的半導體IC的統計壽命工作負荷。可選地，該方法還包括：基於該比較來產生通知訊號，該通知訊號指示下列項中的一項或更多項：IC的狀態或年齡；IC的一個或更多個保護帶；和維護或更換條件。

【0024】在實施例中，該方法還包括：確定IC的多組壓力或工作負荷，每組壓力或工作負荷從在半導體IC的相應應用的操作期間出現的ROSC振盪頻率確定。可選地，每組壓力或工作負荷包括散佈在一時間段內的壓力或工作負荷的多個實例。

【0025】 在實施例中，該方法還包括：使壓力或工作負荷與半導體IC的邊際損失相關聯。可選地，該方法還包括：基於壓力或工作負荷來校準半導體IC的測試結果。

【0026】 在實施例中，該方法還包括：確定散佈在一時間段內的一個或更多個操作條件的多個實例；以及儲存一個或更多個操作條件的所確定的多個實例。可選地，儲存一個或更多個操作條件的所確定的多個實例的步驟在下列項中的一項或更多項中進行：半導體IC中的非揮發性記憶體；在本地系統上的外部存放裝置；和在網路上的遠端系統上的外部存放裝置。可選地，該方法還包括：確定一個或更多個操作條件的所確定的多個實例在該時間段內的總值。

【0027】 在實施例中，該方法還包括：可切換地耦合ROSC的輸入端以從功能電晶體的輸出端接收電流；當ROSC的輸入端沒有從功能電晶體的輸出端接收電流時，基於ROSC的振盪頻率來確定參考頻率；及/或當ROSC的輸入端從功能電晶體的輸出端接收電流時，基於ROSC的振盪頻率來確定感測器測量頻率。

【0028】 有利地，確定一個或更多個操作條件的步驟在計算裝置處被執行。在一些實施例中，計算裝置是或包括IC上的電路。此外或替代地，計算裝置是或包括半導體IC的外部裝置。在後一種情況下，該方法還可以包括由計算裝置接收多個振盪頻率，並且其中使用將多個振盪頻率當作輸入的擬合函數來執行確定。可選地，該方法還包括由計算裝置接收多個振盪頻率，每個振盪頻率來自多個IC中的相應一

個。在一些實施例中，該方法還包括向計算裝置發送參考頻率和感測器（例如洩漏）頻率。

【0029】 在一些實施例中，該方法還包括由計算裝置接收多個參考頻率和相應的多個感測器（洩漏）頻率，並且其中使用將多個參考頻率和相應的多個感測器（洩漏）頻率當作輸入的擬合函數來執行計算。

【0030】 在一些實施例中，該方法還包括由計算裝置從多個IC接收多個頻率對，其中多個頻率對中的每一個包括參考和感測器（洩漏）頻率。

【0031】 除了上述示例性態樣和實施例之外，另外的態樣和實施例也藉由參考圖式和藉由研究下面的詳細描述而變得明顯。此外，上面描述的本發明的各種特徵和實施例被特別設想為單獨地以及在各種組合中被使用。

【圖式簡單說明】

【0032】 示例性實施例在所提到的圖式中示出。圖式中示出的部件和特徵的尺寸通常是為了表示的方便和清楚而選擇的，並且不一定按比例顯示。在下面列出圖式。

第 1 圖示意性地示出了用於 IC 功率洩漏檢測的感測電路的高階方塊圖；

第 2A 圖示出了次臨界產生電路、PMOS 感測器的 P-DUT 電路；

第 2B 圖示出了次臨界產生電路、NMOS 感測器的 N-DUT 電路；

第 3A 圖示出了 IC 洩漏感測的 P-DUT 模擬結果；

第 3B 圖示出了 IC 洩漏感測的 N-DUT 模擬結果；

第 4 圖示出了用於檢測 IC 的工作負荷的系統的示意性方塊圖；

第 5 圖示出了第 4 圖的系統的樣本感測器的時脈頻率相對於溫度的示例性曲線圖；

第 6 圖示意性地示出了用於確定高溫操作壽命（HTOL）壓力的設定配置；

第 7 圖示出了運行不同應用的 IC 的溫度相對於時間的示例性曲線圖；

第 8 圖示出了用於檢測負偏壓溫度不穩定性（NBTI）工作負荷的系統的示意性方塊圖；以及

第 9 圖示出了用於檢測依據頻率及/或電壓的工作負荷（workload per frequency and/or voltage）的系統的示意性方塊圖。

【實施方式】

【0033】 揭露了用於確定 IC 的操作特性的 IC 感測器，例如一個或更多個晶片上感測器，其識別及/或表徵位於晶片上的不同位置處的一個或更多個功能電晶體（例如 PMOS 及/或 NMOS 電晶體）。感測器是晶片上的電子電路，其將晶片的一部分（例如待測裝置（DUT））的一個或更多個特性測量為可以被測量的頻率變化。特別是，這種感測器基於環形振盪器電路，其頻率根據被測量的一個或更多個操作特

性而變化。環形振盪器接收來自功能電晶體（或多於一個功能電晶體）的電流（特別是洩漏電流）作為輸入。

【0034】 在一個示例中，提供 IC 洩漏感測器，例如一個或更多個晶片上洩漏感測器，其識別及/或表徵位於晶片上的不同位置處的 PMOS 及/或 NMOS 電晶體的次臨界洩漏電流。感測器是晶片上的電子電路，其將來自晶片的一部分（例如待測裝置（DUT））的洩漏電流轉換成可以被測量的頻率變化，使得洩漏電流可以被計算，並且洩漏電流值被表示為數位讀出形式。洩漏感測器可以單獨地檢測 n 溝道 MOSFET（NMOS）洩漏和 p 溝道 MOSFET（PMOS）洩漏。

【0035】 另一個例子提供了一種檢測溫度的感測器。IC 溫度感測器例如一個或更多個晶片上溫度感測器識別及/或表徵位於晶片上的不同位置處的 PMOS 及/或 NMOS 電晶體的溫度。感測器是晶片上的電子電路，其將在晶片的一部分處的溫度轉換成可以被測量的頻率變化、可選地被計算出的溫度、以及還可選地被表示為數位讀出形式的溫度值。溫度感測器基於環形振盪器，環形振盪器具有來自鄰近功能電晶體（或多於一個功能電晶體）的被提供為輸入的電流（特別是洩漏電流）。這個電流改變了環形振盪器頻率對溫度的依賴性。藉由增加電流，溫度依賴性變得更加準確。

【0036】 類似的例子提供了一種檢測在 IC 的一部分或整個 IC 上的工作負荷或壓力的感測器。IC 工作負荷感測器例如一個或更多個晶片上工作負荷感測器可以基於溫度感測器，但是可以識別及/或表徵

在晶片上的不同位置處的工作負荷或壓力，計算可以被表示為數位讀出形式的工作負荷。

【0037】可選地，使用（即來自單個和多個 IC 的）IC 分析、IC 分類、IC 功率消耗的機器學習及/或諸如此類來執行感測器資料的分析。

【0038】概括地，可以考慮半導體積體電路（IC），其包括：功能電晶體，其具有提供電流的輸出端；環形振盪器（ROSC）電路，其位於 IC 中靠近功能電晶體並且在操作中具有振盪頻率；以及處理器，其被配置為基於 ROSC 的振盪頻率來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。有利地，ROSC 具有被耦合以從功能電晶體的輸出端接收電流（例如洩漏電流）的輸入端。可以同樣考慮一種用於確定在半導體 IC 中的功能電晶體的一個或更多個操作條件的方法。在位於 IC 中的靠近功能電晶體的 ROSC 的輸出端測量振盪頻率。基於 ROSC 的振盪頻率來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。有利地，ROSC 從功能電晶體的輸出端接收電流作為輸入。可以參考半導體 IC 及/或相應的方法來考慮本文揭露的任何特徵。

【0039】在實施例中，賦能部分被配置成根據接收到的賦能訊號來啟用或禁用 ROSC。例如，賦能部分可以包括反及邏輯閘作為 ROSC 的一部分，反及邏輯閘的第一輸入端被佈置成接收賦能訊號，以及反及邏輯閘的第二輸入端被耦合到 ROSC 的輸出端。可以提供開關來控制來自功能電晶體的（洩漏）電流的供應。ROSC 可選地包括至少一個偏斜反相器。這可以增加待測裝置的靈敏度，因為感測器（例如

ROSC 配置) 可以是功能電晶體類型 (例如 n 裝置或 p 裝置) 所特定的。

【0040】 在實施例中，處理器被配置為使用 ROSC 的振盪頻率在不同操作條件下的所儲存的模擬結果來確定功能電晶體的一個或更多個操作條件。

【0041】 可以使用計算裝置來確定一個或更多個操作條件，該計算裝置可以是半導體 IC 上的電路及/或半導體 IC 的外部裝置。在計算裝置是半導體 IC 的外部裝置的情況下，計算裝置可以接收多個振盪頻率，例如，每個振盪頻率來自同一 IC 上的多個不同位置中的相應一個位置及/或每個振盪頻率來自多個不同 IC 中的一個 IC。然後，可以使用將多個振盪頻率當作輸入的擬合函數來執行確定。

【0042】 ROSC 的輸入端可以可切換地耦合以從功能電晶體的輸出端接收電流 (使得耦合可以選擇性地被進行或不被進行)。然後，當 ROSC 的輸入端沒有從功能電晶體的輸出端接收電流時，可以基於 ROSC 的振盪頻率來確定參考頻率。當 ROSC 的輸入端從功能電晶體的輸出端接收電流時，可以基於 ROSC 的振盪頻率來確定感測器測量頻率。

【0043】 現在將討論具體的實現，但是將在下面進一步參考廣義意義。

洩漏感測器

【0044】 現在參考第 1 圖，其示意性地示出了用於 IC 功率洩漏檢測的感測電路 100 的高階方塊圖。感測電路 100 包括基於偏斜反相

器的環形振盪器（ROSC） 101。感測電路測試被實現為 PMOS 或 NMOS 電晶體的一個或更多個 DUT 102。感測電路包括次臨界偏壓產生電路 103 以及將來自 DUT 的洩漏電流電連接到振盪器內部節點的洩漏賦能開關（由賦能引線 104 啟用）。洩漏電流在兩個步驟被測量：

1. 開關斷開，振盪器頻率在無洩漏條件下被測量，且該值用作參考測量值。
2. 開關閉合，且 DUT 的洩漏電流電連接到振盪器內部節點。振盪器的頻率可以與洩漏電流幅度成正比地變化。

【0045】 兩次測量值之間的比可以被計算，並且可以與 DUT 的次臨界洩漏電流幅度成比例。步驟 1 的參考測量值可用於針對其它效應例如溝道長度變化調整頻率測量值，以檢測 DUT 的次臨界洩漏。參考頻率也可以針對其他效應例如局部電壓降、溫度及/或諸如此類被調整。

【0046】 次臨界偏壓產生電路（STBGC） 103 可以增加次臨界洩漏電流的效應（即，增加檢測）。STBGC 可以產生在高於零的次臨界電壓範圍內的源極到閘極電壓，且因此可以放大 DUT 的次臨界洩漏電流。

【0047】 替代地，偏斜反相器減少對互補裝置的影響。例如，當 DUT 是 PMOS 時，環形振盪器反相器 NMOS 裝置的數量可能相對於 PMOS 裝置的尺寸正偏斜（positively skewed），反之亦然。

【0048】 現在參考示出次臨界產生電路、PMOS 和 NMOS 感測器的 P-DUT 和 N-DUT 電路的第 2A 圖和第 2B 圖。次臨界產生偏壓電路藉由劃分 VDD 電壓來產生次臨界閘極到源極電壓。在接下來的實現中，n 偏壓和 p 偏壓等於 $VDD/4$ ，裝置的數量應該確保閘極到源極電壓在次臨界區處或者弱反型區。

【0049】 IC 洩漏電流到頻率的電子轉換以及測量頻率以計算 IC 洩漏電流解決了用少量部件高效地檢測 IC 洩漏的問題。當先進製程技術按比例降低臨界值電壓時，靜態（洩漏）功率成為 IC 的總功率（靜態加活動）消耗的很大部分。現有的解決方案常常使用與類比至數位轉換器組合的複雜類比電路來檢測洩漏電流。

【0050】 洩漏電流是在 MOS 電晶體斷開時在 MOS 電晶體中的源極和汲極之間的次臨界電流。當電晶體處於次臨界區處、即閘極到源極電壓低於臨界值電壓時，處於 MOSFET 裝置的次臨界電流。次臨界電流被裝置臨界值電壓和裝置溫度顯著影響。

【0051】 PMOS 和 NMOS 裝置的臨界值電壓取決於製造製程。在特定製程（即特定晶圓代工廠）中製造的每個 IC 設計的裝置可以與某個臨界值電壓分佈範圍相關聯。臨界值電壓可以在晶片內變化（即晶片上臨界值電壓變化效應），這可以在某個晶片上的不同位置處引起不同的臨界值電壓分佈。裝置臨界值電壓的變化可引起在晶片之間以及在同一晶片上的不同位置之間的靜態功率消耗的變化。

【0052】 來自單獨 IC 的多個洩漏感測器值可以被認為是該 IC 的洩漏概述檔（leakage profile），可以測量 IC 的實際靜態功率，

並且可以基於洩漏概述檔來預測靜態功率。這可能適用於單獨 IC、來自同一晶片的 IC（即晶片位置相關的洩漏等）、來自同一批次的 IC、來自同一製程、晶圓代工廠的 IC、及/或諸如此類。洩漏概述檔可用於對設計進行識別、保護、監控、跟蹤、計畫、故障排除、更新及/或諸如此類。

【0053】 洩漏感測器可以檢測來自在單獨 IC 例如晶片或晶片的一部分上的多個 DUT 的洩漏，並且 IC 可以使用隨時間的過去而收集的該資訊來監控、跟蹤、檢測操作異常、檢測未來 IC 故障的概率及/或諸如此類。可選地，IC 可以執行糾正或預防行動。例如，IC 使用洩漏感測器的測量結果來確定 IC 正在操作特性範圍內運轉。例如，任務關鍵型 IC 使用洩漏感測器的測量結果來確定任務關鍵型 IC 的故障在任務時間段之外。

【0054】 來自在一個或更多個 IC 上的洩漏感測器的資料可以被發送到中央電腦，以執行對 IC 設計及/或生產例如製造地點、製程、批次及/或諸如此類的分析。例如，檢測到來自一個批次的不同洩漏概述檔可以指示該批次是有缺陷的。例如，檢測到來自一個晶片的不同洩漏概述檔可以指示該晶片是有缺陷的。例如，檢測到來自一個製程的不同的洩漏概述檔可以指示該製程是有缺陷的。例如，來自大量 IC 的洩漏概述檔可以提供給中央電腦使用，並且機器學習分析被執行以確定是否存在現場表現異常的 IC 的類別。作為此的一個例子，機器學習可以確定設計可以被改進以降低 IC 的待機功率。

【0055】洩漏概述檔可以是單獨的，並且對於 IC 是特定的，並且可以用於識別 IC，例如用於保護、跟蹤、監控及/或諸如此類。例如，來自不同製程/晶圓代工廠的假冒 IC 可能不會顯示與真正 IC 相同的洩漏概述檔。

【0056】單獨 IC 和 IC 組的洩漏概述檔可以提供新的 IC 特徵、改進的 IC 設計、電子裝置的提高效率及/或諸如此類。

【0057】返回到上面考慮的一般術語，ROSC 可以形成至少一個洩漏檢測電路的一部分，例如，基於 ROSC 的振盪頻率來為功能電晶體確定這樣的洩漏電流。然後，該至少一個洩漏檢測電路還可以包括：電連接到待測裝置（DUT）的輸入端的次臨界偏壓產生器，該 DUT 包括功能電晶體，並且 ROSC 是電連接到 DUT 的輸出端（例如功能電晶體的汲極）的第一儲存電路；和頻率測量電路。

【0058】在實施例中，半導體 IC 還包括電連接到 DUT 的輸出端的電子開關，ROSC 電連接到電子開關。

【0059】在實施例中，至少一個洩漏檢測電路是多個洩漏檢測電路，每個洩漏檢測電路測量來自多個 DUT 之一的洩漏電流。

洩漏感測器實驗結果

【0060】下面是由發明人進行的模擬實驗的結果。次臨界電壓可以是技術相關的，例如由晶圓代工廠、製程及/或諸如此類確定。本文揭露的技術和實施例可以在對次臨界電壓電位準適當修改的情況下適合於不同的製程節點、晶圓代工廠、IC 製造及/或諸如此類。

【0061】 現在參考示出用於 IC 洩漏感測的 P-DUT 和 N-DUT 模擬結果的第 3A 圖和第 3B 圖。模擬是在代表 3 個不同的次臨界電壓的 PMOS 和 NMOS 裝置上進行的：低電壓臨界值（LVT）、標準電壓臨界值（SVT）和超低電壓臨界值（ULVT）。模擬結果使用被組合為單個縮寫的裝置類型（N 或 P）與次臨界電壓電位準的符號，例如 NLVT 或諸如此類。因此，在 LVT 處模擬的 P 型 CMOS DUT 將被表示為 PLVT。模擬在下面的條件下進行：

【0062】 25 攝氏度的裝置溫度（次臨界電流幅度明顯低時的溫度），以及

等於 0V 的閘極-源極電壓。

【0063】 感測器讀出（即頻率比）在由 Monte-Carlo 模擬過程產生的寬範圍臨界值電壓的情況下與所測量的次臨界電流幅度進行比較。模擬結果顯示在所有裝置類型上在感測器讀出和電晶體次臨界電流幅度之間的高於 0.9（r）的相關性。

【0064】 表 1：在不同電壓下在不同裝置的感測器頻率和洩漏電流之間的模擬結果相關性。

裝置類型和電壓	相關性（r）
NLVT	0.98
NSVT	0.99
NULVT	0.96
PLVT	0.95
PSVT	0.96

PULVT	0.97
-------	------

溫度及/或工作負荷感測器

【0065】 對於溫度及/或工作負荷感測器，ROSC 在需要溫度及/或工作負荷測量的位置上被添加到晶片的電腦化設計。以與上面參照洩漏感測器描述的方式類似的方式，電流被添加以給 ROSC 饋電。電流產生器提高了 ROSC 對溫度變化的靈敏度，使得即使溫度的微小變化也將導致振盪頻率的大變化。此外，電流產生器改變在環形振盪器頻率和溫度之間的相關性，使得溫度的增加引起環形振盪器頻率的增加。由電晶體的輸出電流和較佳地由洩漏電流（特別地，當閘極在低於電晶體臨界值電壓的電壓下被驅動時，從電晶體的閘極洩漏到其汲極的電流）對電流產生器進行饋電。ROSC 接收該洩漏電流作為輸入。這將在下面進一步被討論。

【0066】 這種感測器還允許 IC（或其至少一部分）的工作負荷及/或壓力被檢測。工作負荷或壓力通常被認為是 IC 電壓、IC 溫度及/或 IC 活動性隨時間過去的函數。晶片的電壓是習知的（或者可以被檢測到），並且溫度可以使用 ROSC 來測量，如上面所提到的。還可以知道或檢測關於晶片在這些電壓和溫度條件下運行了多長時間。以這樣的方式，當壓力或工作負荷指數(index)隨時間的過去而變化時，它可以被檢測或記錄。實際上，提供了總工作負荷指數，其指示在一個時間間隔（例如，在上次測量和當前測量之間的時間段）內工作負荷的積分（或合計）。

【0067】 現在參考第 4 圖，其示出了用於檢測 IC 的工作負荷的系統的示意性方塊圖。這包括：電壓/溫度（V/T）感測器 210；感測器控制器 220；和計數器塊 230。感測器控制器 220 向 V/T 感測器 210 提供模式訊號，這引起對在 V/T 感測器 210 內提供洩漏電流給 ROSC（例如 ROSC 101，如第 1 圖所示）的啟用（V/T 模式）或禁用（REF 模式）。ROSC 產生具有振盪頻率的輸出訊號，當 ROSC 被提供有洩漏電流（V/T 模式）時，該輸出訊號指示檢測到的溫度，當 ROSC 沒有被提供有洩漏電流（REF 模式）時，該輸出訊號指示基頻。這被認為是第 4 圖的感測器中的感測器時脈訊號 215 並作為輸入被提供給計數器塊 230。

【0068】 計數器塊 230 包括：16 位元計數器 232；和 48 位元計數器 234，兩者都被提供有感測器時脈訊號 215。16 位元計數器 232 被配置為提供 WIN 值（讀出）作為輸出，其反映在 REF 模式中 V/T 感測器 210 的頻率和系統時脈頻率。在 WIN 值產生期間，計數器 232 由感測器控制器 220 所產生的視窗_計數_en（Window_count_en）訊號選通。選通訊號的寬度等於系統時脈週期的 N 倍。N 可以是可程式值。較高的系統時脈頻率將產生較小的 WIN 值，反之亦然。WIN 讀出可用作工作負荷測量的參考基線。它表示製程角和操作頻率。

【0069】 48 位元計數器 234 被配置為提供實際工作負荷(AWL) 訊號作為輸出。AWL 輸出反映在特定時間間隔中的總工作負荷。這允許對在比單個時間間隔長的時間段（典型地，至少 2、5、10、50、100、500 或 1000 個時間間隔）內的壓力或工作負荷的記錄或記入日

誌。時間間隔值可以使用晶片韌體資料計算為在開始和停止測量之間的時間或者藉由對系統時脈頻率計數而計算為在開始和停止測量之間的系統時脈週期的數量（在第 4 圖中未示出）。

【0070】 為了按照某個時間間隔和頻率標準化總工作負荷，可以將 AWL 值除以參考基線值乘以時間間隔。

【0071】 儘管第 4 圖所示的感測器系統提供了一種類型的工作負荷輸出，工作負荷指數可以以多種方式被顯示。它可以是（如下面所討論的）同一倉或更一般地同一型號的所有晶片所共有的百分比值。它可以是任何其他數值。壓力日誌可以保存在晶片本身上的非揮發性記憶體中，並週期性地上傳到系統，用於儲存在例如它的硬碟上。系統可以藉由網際網路向製造商定期地傳輸日誌。

【0072】 現在參考第 5 圖，其示出了第 4 圖的系統的樣本感測器的時脈頻率相對於溫度的示例性曲線圖。對 IC 的三個不同系列示出時脈頻率相對於溫度的曲線圖。系列 1 中的感測器具有最高的時脈頻率和至少在某一溫度之上的每單位溫度的時脈頻率的最高增加率。系列 3 中的感測器具有最低的時脈頻率和每單位溫度的時脈頻率的最低增加率。就時脈頻率而言，系列 2 中的感測器位於系列 1 和系列 3 的感測器之間。然而在所有情況下，增加的溫度引起時脈頻率的增加。

【0073】 基於這種方法，可以使用本揭露的感測器來獲得準確的溫度（和因而獲得工作負荷的更準確的測量）。這認識到在不同 IC 上的感測器可能有在 ROSC 時脈頻率和溫度之間的不同關係。例如，這可能是因為在 ROSC 輸出頻率和溫度之間的關係是製程相關的（然

而比現有方法更可預測和準確）。此外，類似的 IC 系列通常具有在 ROSC 輸出頻率和溫度之間的相同的關係。系列（family）在這個上下文中可以指被分類為具有在值方面接近的公共參數的一組 IC。例如，這可以是具有相同的 Si 分佈/分類的一組物理晶片。此外，系列可以包括一組 Monte-Carlo（MC）樣本，對於這些樣本，類比 IC 設計類比值和裝置製程類比值具有與物理系列成員的 Si 分佈/分類相同的 Si 分佈/分類。在 2018 年 4 月 16 日提交的標題為“INTEGRATED CIRCUIT PROFILING AND ANOMALY DETECTION”的美國臨時專利申請第 62/675,986 號中描述了關於 IC 系列分類的更多細節，該臨時專利申請的內容藉由引用被全部併入本文。

【0074】基於 ROSC 頻率來確定溫度及/或工作負荷的一種方式是，在製造 IC 之前，運行 IC 設計的電腦化版本的模擬以估計預期製造誤差。這根據理論晶片的特性來產生理論晶片的分類。這類似於“產品裝倉”的眾所周知的技術，但僅在電腦模擬中被執行。模擬還檢查 IC 對不同溫度的反應，使得 ROSC 頻率相對於溫度的變化可以被確定、分類和儲存。例子顯示在下面的表 2 中（然而應該注意，實際上 ROSC 頻率對溫度的反應不需要是線性的，也可以是非線性的，例如由更複雜的多項式定義）。

【0075】 表 2：

	對溫度的反應
晶片類別 1	每攝氏度 ROSC 振盪頻率增加 10 MHz
晶片類別 2	每攝氏度 ROSC 振盪頻率增加 18 MHz

晶片類別 3	每攝氏度 ROSC 振盪頻率增加 30 MHz
--------	-------------------------

【0076】 在模擬結果完成後（儘管這個順序不是必需的），晶片被製造。在晶片上運行物理測試以將每個單獨的晶片與其來自早期模擬的類別相關聯。因此，為了根據這種方法使用特定晶片的 ROSC 來測量溫度（及/或工作負荷）而進行：測量 ROSC 振盪頻率；並且根據該特定 IC 的類別，將該頻率與來自模擬的資料進行比較。

【0077】 使用這種感測器獲得的資料可以多種方式被使用。針對一大組相似的零件，統計壽命工作負荷比較可以提供對它們的分佈的洞察。此外或替代地，在特定零件的故障的研究期間，工作負荷資訊可以表示零件老化或劣化的狀態。在另一種方法中，超過預設臨界值（或某個其他標準）的工作負荷的檢測可用於通知目的，例如作為預防性或預測性維護的一部分。然後，要求更換：特定零件（例如在汽車市場中）；或一組或一類零件（例如，更換在資料中心中的所有單元中的特定部件）。在製造後測試期間，工作負荷感測器的輸出可以在製造後測試期間被包括在測試計畫中。這可以為了結果的校準實現更好的可視性。下面將討論另外的應用，且也可以考慮其他應用。

【0078】 現在參考第 6 圖，其示意性地示出了用於確定高溫操作壽命（HTOL）壓力的設定配置。晶片 250 接收 IC 供電電壓（VDD）、參考時脈和環境溫度指示或測量值，並獲取晶片電流（Idie）。如上面參考溫度測量所討論的，預期來自同一系列的晶片當在類似的環境例如 HTOL（從 VDD、Idie、洩漏電流和溫度方面來說）下並對照 HTOL 壓力執行時，顯示相同的特性。因此，在 HTOL 測試期間且在

瞭解該系列（如上面所討論的）的情況下的工作負荷的測量可以提供對照同一系列的不同晶片的 **HTOL** 壓力的指示。任何異常讀出都可以被解釋為異常值。

【0079】 工作負荷或壓力讀出也可以與基於應用的壓力相關聯。例如，應用可以與隨著時間的推移的溫度波相關聯。當運行同一應用時，預期來自同一系列的晶片（如上面所討論的）顯示相同的特性。對應於 **Si** 老化前（**Pre-Si aging**）溫度的工作負荷可以用作參考工作負荷，且因而每個應用的相對壓力可以被確定。

【0080】 現在參考第 7 圖，其示出了運行不同應用的 **IC** 的溫度（以攝氏度為單位）相對於時間（以毫秒為單位）的示例性曲線圖。在 70°C 處的線表示參考水準。然後示出了兩種應用的溫度曲線：對於第一種應用（應用 1），溫度在大約 5 到 7 毫秒內從大約 55°C 升高到大約 90°C ；對於第二種應用（應用 2），溫度在大約 1 到 2 毫秒內從大約 25°C 升高到大約 125°C 。

【0081】 在某一（預測的）溫度下模擬的對應於 **Si** 老化前的工作負荷可以用作參考工作負荷，以與之後 **Si** 被測量的工作負荷（**Post-Si measured workload**）進行比較，以估計每個應用的相對壓力。比較資訊可用於確定每個應用的可選功率及/或性能改進。

【0082】 藉由在小時間間隔中產生重複測試並讀取工作負荷讀出，可以提取基於讀出的任務概述檔。所提取的任務概述檔可用於測量平均壓力並確定下一個晶片的可靠性邊際（在老化及/或 **RV** 方面）。例如，所提取的任務概述文件可用於檢測可與熱可靠性問題相關聯的

快速溫度梯度，例如對於第 7 圖中的第二種應用在從約 25°C 到約 125°C 的溫度升高中所示的高梯度。

【0083】 以這種方式，由製造商從最終使用者收集的壓力日誌可以用於增強隨後製造的晶片的任務概述檔。通常，製造商藉由估計晶片的任務概述檔來確定晶片的操作邊際（它們的“保護帶”）。例如，預定用於伺服器場的晶片更可能工作更長時間，但由於高效冷卻而經歷低環境溫度，而在家用電腦中使用的晶片可能工作較少，但偶爾暴露於高環境溫度。利用現有技術，製造商通常製造具有高邊際的晶片，以甚至在惡劣條件下也避免故障。藉由瞭解晶片在現場實際上經歷的實際壓力水準，製造商也許可能相應地降低邊際。

【0084】 工作負荷測量可以擴展到直接測量負偏壓溫度不穩定性（NBTI）工作負荷，即在非活動期間的壓力。現在參考第 8 圖，其示出了用於檢測和測量 NBTI 工作負荷的系統的示意性方塊圖。在相同的特徵被顯示為如在其他圖式中表示的情況下，這些特徵使用相同的元件符號被指示。該系統包括：電壓/溫度（V/T）感測器 210；感測器控制器 220；時脈多工器 310；和計數器塊 330。計數器塊 330 包括：第一 64 位元計數器（計數器-1）332；第二 64 位元計數器（計數器-2）334；第三 64 位元計數器（計數器-3）336；和輸出多工器 338。

【0085】 基本操作類似於第 4 圖所示的系統，但有一些不同。在該系統中，第一計數器（計數器-1）332 被配置為當賦能訊號為低時對來自 V/T 感測器 210 的 ROSC 時脈進行計數。當賦能為低時，根

據 NBTI 定律，與賦能相關聯的邏輯閘被置於暫停模式(`park-mode`) 中並降級。如上面所討論的，第二計數器（計數器-2）334 被配置為測量 AWL，且第三計數器（計數器-3）336 被配置為測量 WIN。輸出多工器 338 被佈置成選擇輸出。

【0086】 工作負荷測量可以被擴展到測量在電壓及/或頻率是不固定的系統中的工作負荷，電壓及/或頻率例如當它們被作業系統或晶片功率管理單元不斷地改變例如以優化系統功率及/或性能時是不固定的。現在參考第 9 圖，其示出了用於檢測依據頻率及/或電壓的工作負荷以及特別地依據（由 F/V 指數表示的）頻率/電壓對的工作負荷的系統的示意性方塊圖。在相同的特徵被顯示為如在其他圖式中表示的情況下，這些特徵使用相同的元件符號被指示。該系統包括：第一計數器塊 342；第二計數器塊 344；第三計數器塊 346；和輸出多工器 348。在這個系統中，計數器增加到 F/V 指數的數量的倍數，並且使用合適的讀控制訊號來按 F/V 指數輸出讀出。

【0087】 從上面討論的廣義意義來說，可以考慮另外的實施例。例如，ROSC 和處理器可以形成至少一個溫度檢測電路的一部分。因而基於 ROSC 的振盪頻率來確定功能電晶體的溫度。在這種情況下，可使用對於 ROSC 的振盪頻率在不同溫度下的所儲存的模擬結果，以基於 ROSC 的振盪頻率來確定功能電晶體的溫度。在實施例中，IC 可以被識別為具有從由多個 IC 預定類型組成的組中選擇的類型。ROSC 的振盪頻率在不同溫度下的相應模擬結果可以針對每個預定類型被儲存。

【0088】 有益地，ROSC 的振盪頻率隨著溫度的升高而增加。有利地，該至少一個溫度檢測電路還包括電流源，電流源的輸出為 ROSC 提供輸入。這可以提高溫度靈敏度和測量準確度。較佳地，電流源包括次臨界偏壓產生器，該次臨界偏壓產生器耦合到功能電晶體的控制端子，並被配置為在次臨界狀態中給功能電晶體加偏壓，功能電晶體的輸出端提供（例如，作為如上面討論的洩漏檢測電路的一部分的）電流源的輸出。

【0089】 在實施例中，基於 ROSC 的振盪頻率來確定 IC 的壓力或工作負荷。可選地，基於下列項中的一項或更多項的函數來確定 IC 的壓力或工作負荷：IC 電壓；溫度；和 IC 活動性。在實施例中，在下列項中的一項或兩項的不同值下確定壓力或工作負荷：半導體 IC 的時脈頻率（即，用於功能部件例如功能電晶體的時脈頻率）；和半導體 IC 的操作電壓（例如 VDD）。特別是，可以針對一對時脈頻率和操作電壓來確定壓力或工作負荷。壓力或工作負荷有利地對照時脈頻率及/或操作電壓而被引用。在實施例中，IC 的壓力或工作負荷代表在一個時間間隔內的總壓力或工作負荷。特別是，時間間隔可以基於測量 ROSC 的振盪頻率的持續時間。可選地，壓力或工作負荷由下列項中的一項或更多項表示：數字；對於所有半導體 IC 相對於參考值的比；和對於相同類型的半導體 IC 相對於參考值的比。

【0090】 半導體 IC 的邊際損失可能與壓力或工作負荷相關。此外或替代地，可以基於所確定的壓力或工作負荷以及在壓力或工作負荷與邊際損失之間的所儲存的相關性來確定 IC 的邊際損失。

【0091】 負偏壓溫度不穩定性（NBTI）模式可以選擇性地對半導體 IC 的至少一部分被啟用或禁用。然後，當 NBTI 模式被啟用時，可以確定 NBTI 模式的壓力或工作負荷。

【0092】 在實施例中，基於所確定的壓力或工作負荷與預定標準的比較來產生通知訊號，該通知訊號指示下列項中的一項或更多項：IC 的狀態或年齡；IC 的一個或更多個保護帶；和維護或更換條件。

【0093】 有利地，可以將所確定的壓力或工作負荷與預定標準進行比較。可選地，預定標準基於與半導體 IC 相同類型的半導體 IC 的統計壽命工作負荷。可以基於壓力或工作負荷來校準半導體 IC 的測試結果。

【0094】 可選地，一個或更多個操作條件的多個實例散佈在一個時間段內。然後，可以將一個或更多個操作條件的所確定的多個實例儲存在例如下列項中的一項或更多項中：半導體 IC 中的非揮發性記憶體；本地系統上的外部存放裝置；和在網路上的遠端系統上的外部存放裝置。在實施例中，一個或更多個操作條件的所確定的多個實例在該時間段內的總值被確定。

【0095】 可以為 IC 確定多組壓力或工作負荷，每組壓力或工作負荷根據在半導體 IC 的相應應用的操作期間出現的 ROSC 振盪頻率確定。然後，每組壓力或工作負荷可以包括散佈在一個時間段內的壓力或工作負荷的多個實例。

一般要點

【0096】 貫穿本申請，本發明的各種實施例可以以範圍格式呈現。應該理解，以範圍格式的描述僅僅是為了方便和簡潔，且不應該被解釋為對本發明範圍的不靈活的限制。因此，範圍的描述應該被認為已經特別揭露了所有可能的子範圍以及在該範圍內的單獨數值。例如，諸如從 1 至 6 的範圍的描述應該被認為已經特別揭露了諸如從 1 至 3、從 1 至 4、從 1 至 5、從 2 至 4、從 2 至 6、從 3 至 6 等的子範圍以及在該範圍內的單獨數位，例如 1、2、3、4、5 和 6。這適用而不考慮範圍的寬度。

【0097】 每當在此指示數值範圍時，它意欲包括在所指示的範圍內的任何引用的數位（分數或整數）。短語“範圍（**ranging/ranges**）在第一指示數和第二指示數之間”和“範圍（**ranging/ranges**）從第一指示數到第二指示數”在本文中可互換地使用，且意欲包括第一和第二指示數以及在其之間的所有分數和整數。

【0098】 在本申請的描述和申請專利範圍中，詞“**comprise**（包括）”、“**include**（包括）”和“具有”中的每一個及其形式不一定限於在該詞可能關聯的列表中的成員。此外，在本申請和藉由引用併入的任何文件之間存在不一致的場合，在此意圖是以本申請為準。

【0099】 為了澄清在本揭露中的引用，應當注意，將名詞用作普通名詞、專有名詞、命名名詞及/或諸如此類並不意欲暗示本發明的實施例限於單個實施例，並且所揭露的部件的許多配置可以用於描述本發明的一些實施例，而其他配置可以從處於不同的配置中的這些實施例匯出。

【0100】 為了清楚，並非在這裡描述的實現的所有常規特徵都被示出和描述。當然，應該認識到，在任何這種實際實現的開發中，必須做出許多實現特定的決定，以便實現開發者的特定目標，例如符合應用和商業相關的限制，並且這些特定目標將從一個實現到另一實現以及從一個開發者到另一開發者改變。此外，將認識到，這種開發努力可能是複雜和耗時的，但是對於受益於本揭露的本領域中的普通技術人員來說依然是工程設計的例行任務。

【0101】 基於本揭露的教導，預期本領域中的普通技術人員將能夠容易實踐本發明。這裡提供的各種實施例的描述被認為提供本發明的足夠的洞察力和細節，以使普通技術人員能夠實踐本發明。此外，上面描述的本發明的各種特徵和實施例被特別設想為單獨地以及在各種組合中被使用。

【0102】 傳統及/或當代電路設計和佈局工具可用於實現本發明。本文所述的具體實施例且特別是各個層的各种厚度和組成是示例性實施例的說明，且不應被視為將本發明限制於這種具體的實現選擇。因此，可以為在此被描述為單個實例的部件提供多個實例。

【0103】 雖然電路和物理結構通常是假定的，但是公認在現代半導體設計和製造中，物理結構和電路可以以電腦可讀描述形式來體現，適合於在隨後的設計、測試或製造階段中以及在產生的所製造的半導體積體電路中使用。因此，針對傳統電路或結構的申請專利範圍可以與其特定語言一致，對無論是體現在媒體中還是與合適的閱讀器設施組合的電腦可讀編碼及其表示進行讀取，以允許對相應電路及/或結構

的製造、測試或設計改進。在示例性配置中呈現為分立部件的結構和功能可以被實現為組合結構或部件。本發明被設想為包括電路、電路的系統、相關方法以及這樣的電路、系統和方法的電腦可讀媒體編碼，所有這些都如本文所述的並且如在所附申請專利範圍所定義的。如這裡所使用的，電腦可讀媒體至少包括磁片、磁帶或其他磁性、光學、半導體（例如快閃記憶體卡、ROM）或電子媒體以及網路、有線、無線或其他通訊媒體。

【0104】 前述詳細描述僅描述了本發明的許多可能實現中的幾個。由於這個原因，該詳細描述旨在作為例證而非作為限制。可以基於在此闡述的描述來做出在此揭露的實施例的變化和修改而不偏離本發明的範圍和精神。僅僅是所附的申請專利範圍——包括所有等同物——意欲限定本發明的範圍。特別是，雖然在示例性頻率下操作的PLL的上下文中描述了較佳實施例，本發明的教導也被認為對於供其他類型的電路使用是有利的，在這些電路中電路元件例如電感器可以受益於電磁遮罩。此外，本文描述的技術也可應用於其它類型的電路應用。因此，其它變化、修改、添加和改進可落在如在所附的申請專利範圍中所限定的本發明的範圍內。

【0105】 本發明的實施例可用於製造、生產及/或組裝積體電路及/或基於積體電路的產品。

【0106】 在本文參考根據本發明的實施例的方法、裝置（系統）和電腦程式產品的流程圖圖式及/或方塊圖來描述本發明的態樣。將理

解，流程圖圖式及/或方塊圖的每個塊以及流程圖圖式及/或方塊圖中的塊的組合可以藉由電腦可讀程式指令來實現。

【0107】 圖式中的流程圖和方塊圖說明了根據本發明的各種實施例的系統、方法和電腦程式產品的可能實現的體系結構、功能和操作。在這點上，在流程圖或方塊圖中的每個塊可以表示指令的模組、段或部分，其包括用於實現指定邏輯功能的一個或更多個可執行指令。在一些替代實現中，在塊中指出的功能可能以不同於在圖式中指出的順序而出現。例如，連續示出的兩個塊實際上可以實質上同時被執行，或者這些塊有時可以以相反的順序被執行，取決於所涉及的功能。還將注意到，方塊圖及/或流程圖圖式的每個塊以及在方塊圖及/或流程圖圖式中的塊的組合可以由執行指定功能或行動或執行專用硬體和電腦指令的組合的專用基於硬體的系統來實現。

【0108】 本發明的各種實施例的描述為了說明的目的而被提供，但並沒有被規定為詳盡的或被限制於所揭露的實施例。許多修改和變化對於本領域中的普通技術人員來說是明顯的而不偏離該實施例的範圍和精神。這裡使用的術語被選擇為最好地解釋實施例的原理、實際應用或優於在市場上發現的技術的技術改進，或者使本領域中的普通技術人員能夠理解這裡揭露的實施例。

【0109】 本發明可以是系統、方法及/或電腦程式產品。電腦程式產品可以包括電腦可讀儲存媒體（或多個媒體），其具有在其上的用於使處理器執行本發明的態樣的電腦可讀程式指令。

【0110】 電腦可讀儲存媒體可以是保持和儲存用於由指令執行裝置使用的指令的有形裝置。電腦可讀儲存媒體可以是例如但不限於電子存放裝置、磁性存放裝置、光學存放裝置、電磁存放裝置、半導體存放裝置或者上述裝置的任何適當組合。電腦可讀儲存媒體的更具體的例子的非詳盡列表包括下列項：可攜式電腦磁片、硬碟、隨機存取記憶體（RAM）、唯讀記憶體（ROM）、可程式可抹除可程式化唯讀記憶體（EPROM 或快閃記憶體）、靜態隨機存取記憶體（SRAM）、可攜式光碟唯讀記憶體（CD-ROM）、數位影音光碟（DVD）、記憶棒、軟碟、記錄有指令的機械編碼裝置以及上述項的任何適當組合。如這裡使用的電腦可讀儲存媒體本身不應被解釋為暫時訊號，例如無線電波或其它自由傳播的電磁波、藉由波導或其它傳輸媒介傳播的電磁波（例如，穿過光纖電纜的光脈衝）或藉由電線傳輸的電訊號。更確切地，電腦可讀儲存媒體是非暫時（即，非揮發性）媒體。

【0111】 這裡描述的電腦可讀程式指令可以從電腦可讀儲存媒體下載到相應的計算/處理裝置，或者經由網路例如網際網路、區域網路、廣域網路及/或無線網路下載到外部電腦或外部存放裝置。網路可以包括銅傳輸電纜、光傳輸光纖、無線傳輸、路由器、防火牆、交換機、閘道電腦及/或邊緣伺服器。在每個計算/處理裝置中的網路介面卡或網路介面從網路接收電腦可讀程式指令，並轉發電腦可讀程式指令用於儲存在相應計算/處理裝置內的電腦可讀儲存媒體中。

【0112】 用於執行本發明的操作的電腦可讀程式指令可以是彙編指令、指令集體系結構（ISA）指令、機器指令、機器相關指令、

微碼、韌體指令、狀態設定資料或者以一種或更多種程式設計語言——包括物件導向的程式設計語言例如 Java、Smalltalk、C++ 或諸如此類以及常規過程程式設計語言例如“C”程式設計語言或類似程式設計語言——的任何組合編寫的原始程式碼或物件代碼。電腦可讀程式指令可以完全在使用者的電腦上、部分地在使用者的電腦上、作為獨立套裝軟體、部分地在使用者的電腦上和部分地在遠端電腦上或者完全在遠端電腦或伺服器上被執行。在後一種情況下，遠端電腦可以藉由任何類型的網路——包括區域網路（LAN）或廣域網路（WAN）——連接到使用者的電腦，或者到外部電腦的連接可以被建立（例如，藉由使用網際網路服務提供者的網際網路）。在一些實施例中，包括例如可程式邏輯電路、現場可程式閘陣列（FPGA）或可程式邏輯陣列（PLA）的電子電路可以藉由利用電腦可讀程式指令的狀態資訊以個性化電子電路來執行電腦可讀程式指令，以便執行本發明的態樣。

【0113】 在本文參考根據本發明的實施例的方法、裝置（系統）和電腦程式產品的流程圖圖式及/或方塊圖來描述本發明的態樣。將理解，流程圖圖式及/或方塊圖的每個塊以及在流程圖圖式及/或方塊圖中的塊的組合可以藉由電腦可讀程式指令來實現。

【0114】 這些電腦可讀程式指令可以被提供給通用電腦、專用電腦或其他可程式資料處理裝置的處理器以產生機器，使得經由電腦或其他可程式資料處理裝置的處理器執行的指令創建用於實現在流程圖及/或方塊圖的一個或更多個塊中指定的功能/行動的構件。這些電腦可讀程式指令還可以儲存在可以指導電腦、可程式資料處理裝置及/

或其他裝置以特定方式運行的電腦可讀儲存媒體中，使得儲存有指令的電腦可讀儲存媒體包括製品，該製品包括實現在流程圖及/或方塊圖的一個或更多個塊中指定的功能/行動的態樣的指令。

【0115】 電腦可讀程式指令還可以被載入到電腦、其他可程式資料處理裝置或其他裝置上以使一系列操作步驟在電腦、其他可程式裝置或其他裝置上被執行，以產生電腦實現的過程，使得在電腦、其他可程式裝置或其他裝置上執行的指令實現在流程圖及/或方塊圖的一個或更多個塊中指定的功能/行動。

【0116】 在圖式中的流程圖和方塊圖說明了根據本發明的各種實施例的系統、方法和電腦程式產品的可能實現的體系結構、功能和操作。在這點上，在流程圖或方塊圖中的每個塊可以表示指令的模組、段或部分，其包括用於實現指定邏輯功能的一個或更多個可執行指令。在一些替代實現中，在塊中指出的功能可能以不同於圖式中指出的順序而出現。例如，連續示出的兩個塊實際上可以實質上同時被執行，或者這些塊有時可以以相反的順序被執行，取決於所涉及的功能。還將注意到，方塊圖及/或流程圖圖式的每個塊以及在方塊圖及/或流程圖圖式中的塊的組合可以由執行指定功能或行動或執行專用硬體和電腦指令的組合的專用基於硬體的系統來實現。

【0117】 本發明的各種實施例的描述為了說明的目的而被提供，但並沒有被規定為詳盡的或被限制於所揭露的實施例。許多修改和變化對於本領域中的普通技術人員來說是明顯的而不偏離該實施例的範圍和精神。這裡使用的術語被選擇為最好地解釋實施例的原理、實際

應用或優於在市場上發現的技術的技術改進，或者使本領域中的普通技術人員能夠理解這裡揭露的實施例。本領域技術人員將認識到，也可以提供本文揭露的特定特徵的組合和子組合，即使沒有被明確描述。

【符號說明】

【0118】 100：感測電路

101：基於偏斜反相器的環形振盪器

102：DUT

103：次臨界偏壓產生器

104：賦能引線

210：電壓/溫度（V/T）感測器

215：感測器時脈訊號

220：感測器控制器

230：計數器塊

232：16 位元計數器

234：48 位元計數器

250：晶片

310：時脈多工器

330：計數器塊

332：第一 64 位元計數器（計數器-1）

334：第二 64 位元計數器（計數器-2）

336：第三 64 位元計數器（計數器-3）

338：輸出多工器

342：第一計數器塊

344：第二計數器塊

346：第三計數器塊

348：輸出多工器

DUT：待測裝置

SW：開關

IC：積體電路

CMOS：互補金屬氧化物半導體

MOSFET：金屬氧化物半導體場效應電晶體

ROSC：環形振盪器

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種半導體積體電路（IC），包括：

一功能電晶體，其具有提供一電流的輸出端；

一環形振盪器（ROSC）電路，其位於該半導體IC中靠近該功能電晶體並且在操作中具有一振盪頻率；以及

一處理器，其被配置為基於該ROSC的該振盪頻率來確定該功能電晶體的一個或更多個操作條件；

其中該ROSC具有輸入端，該ROSC的輸入端可切換地耦合以從該功能電晶體的輸出端接收該電流，使得該處理器進一步被配置為：

當該ROSC的輸入端沒有從該功能電晶體的輸出端接收該電流時，基於該ROSC的該振盪頻率來確定參考頻率；以及

當該ROSC的輸入端從該功能電晶體的輸出端接收該電流時，基於該ROSC的該振盪頻率來確定感測器測量頻率。

【第2項】如申請專利範圍第1項所述的半導體IC，其中該處理器被配置為使用該ROSC的該振盪頻率在不同操作條件下的儲存的模擬結果來確定該功能電晶體的該一個或更多個操作條件。

【第3項】如申請專利範圍第1項或第2項所述的半導體IC，其中該ROSC形成至少一個洩漏檢測電路的一部分，使得該處理器被配置成基於該ROSC的該振盪頻率來確定該功能電晶體的洩漏電流。

【第4項】如申請專利範圍第3項所述的半導體IC，其中該至少一個洩漏檢測電路還包括：

次臨界偏壓產生器，其電連接到一待測裝置（DUT）的輸入端，該DUT包括該功能電晶體，且該ROSC是電連接到該DUT的輸出端的第一儲存電路；以及

一頻率測量電路。

【第5項】如申請專利範圍第4項所述的半導體IC，還包括：

電連接到該DUT的輸出端的一電子開關，該ROSC電連接到該電子開關，

其中該DUT的輸出端是該功能電晶體的汲極。

【第6項】如申請專利範圍第3項所述的半導體IC，其中該至少一個洩漏檢測電路是複數個洩漏檢測電路，每個洩漏檢測電路測量來自複數個DUT之其中一者的洩漏電流。

【第7項】如申請專利範圍第1項或第2項所述的半導體IC，其中：

該ROSC和該處理器形成至少一個溫度檢測電路的一部分，使得該處理器被配置為基於該ROSC的該振盪頻率來確定該功能電晶體的溫度；且

該處理器還被配置為使用該ROSC的該振盪頻率在不同溫度下的儲存的模擬結果以基於該ROSC的該振盪頻率來確定該功能電晶體的溫度。

【第8項】如申請專利範圍第7項所述的半導體IC，其中該處理器還被配置為將該半導體IC識別為具有從由複數個IC預定類型組成的群組中所選擇的類型，該處理器對於每一個預定類型儲存該ROSC的該振盪頻率在不同溫度下的相應模擬結果。

【第9項】如申請專利範圍第7項所述的半導體IC，其中：

該至少一個溫度檢測電路還包括一電流源，該電流源的輸出向該ROSC提供輸入；且

該電流源包括耦合到該功能電晶體的控制端子並被配置為在次臨界狀態中給該功能電晶體加偏壓的次臨界偏壓產生器，該功能電晶體的輸出端提供該電流源的輸出。

【第10項】如申請專利範圍第1項或第2項所述的半導體IC，其中該處理器被配置為基於該ROSC的該振盪頻率並且基於下列項中的一項或更多項的函數來確定該半導體IC的壓力或工作負荷：IC電壓、溫度、以及IC活動性。

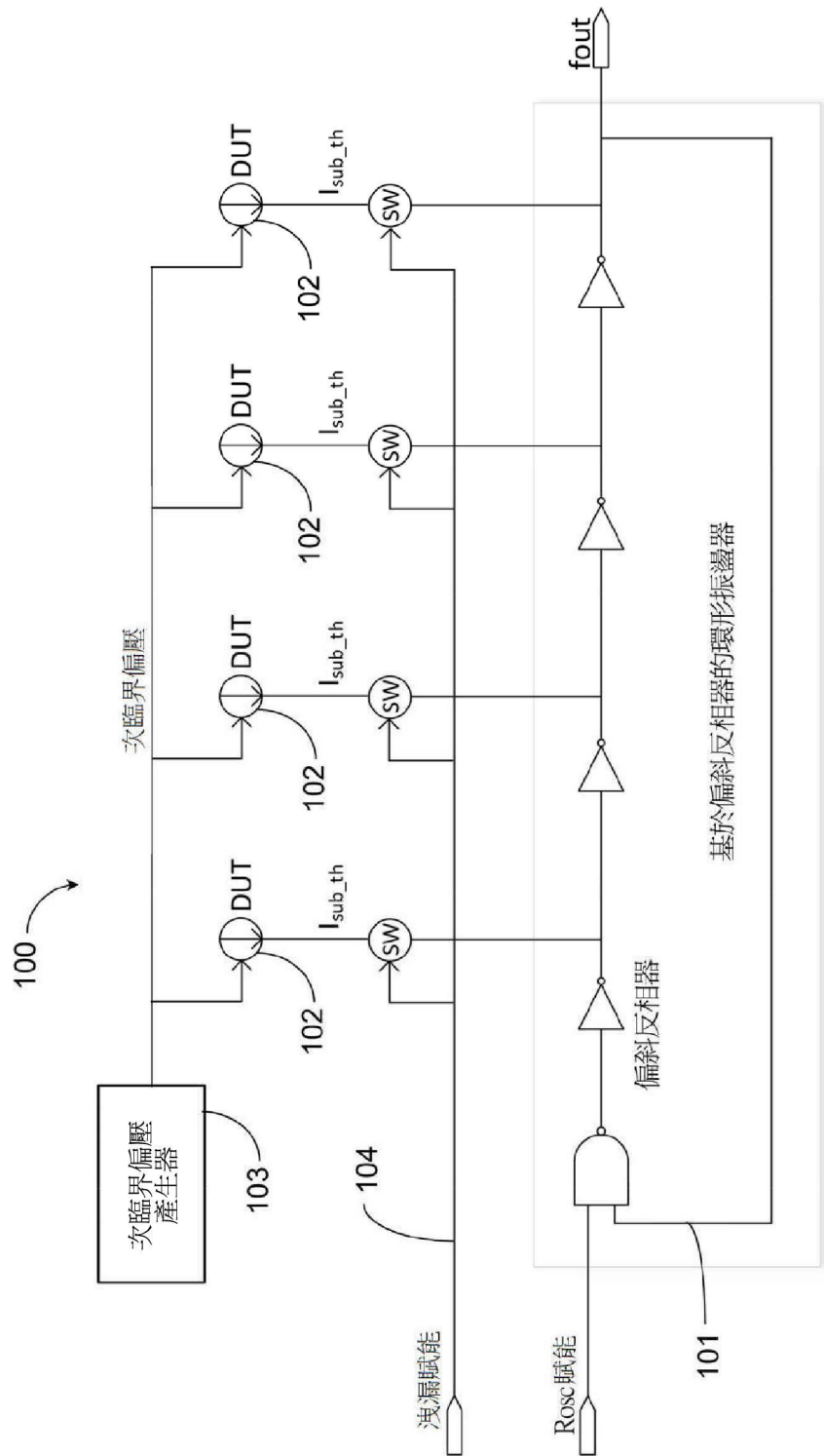
【第11項】如申請專利範圍第10項所述的半導體IC，其中該處理器還被配置成在下列項中的一項或兩項的不同值下確定該壓力或該工作負荷：該半導體IC的一時脈頻率；以及該半導體IC的一操作電壓，該處理器被配置為提供對照該時脈頻率及/或該操作電壓而被引用的該壓力或該工作負荷。

【第12項】如申請專利範圍第10項所述的半導體IC，其中該半導體IC的該壓力或該工作負荷代表在一個時間間隔內的總壓力或總工作負荷，該時間間隔基於用於測量該ROSC的該振盪頻率的持續時間。

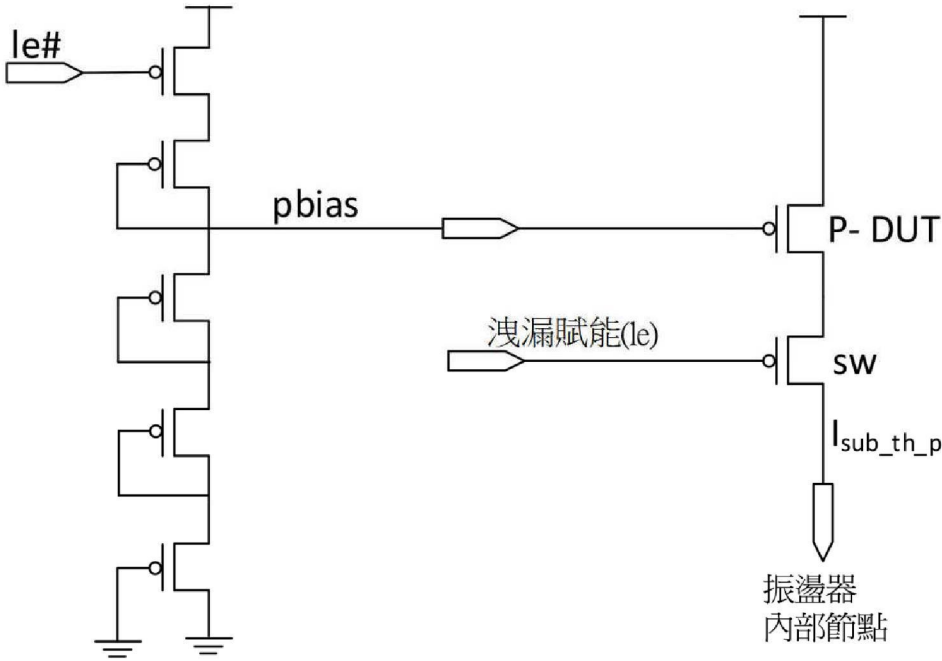
【第13項】如申請專利範圍第10項所述的半導體IC，其中該處理器還被配置為接收該半導體IC的邊際損失，並使接收到的該邊際損失與該壓力或該工作負荷相關聯。

【第14項】如申請專利範圍第10項所述的半導體IC，其中該處理器還被配置為基於所確定的該壓力或該工作負荷以及在該壓力或該工作負荷與邊際損失之間的所儲存的相關性來確定該半導體IC的邊際損失。

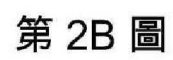
【第15項】如申請專利範圍第10項所述的半導體IC，其中該處理器還被配置為對該半導體IC的至少一部分選擇性地啟用或禁用一負偏壓溫度不穩定性（NBTI）模式，並且當該NBTI模式被啟用時對該NBTI模式確定該壓力或該工作負荷。

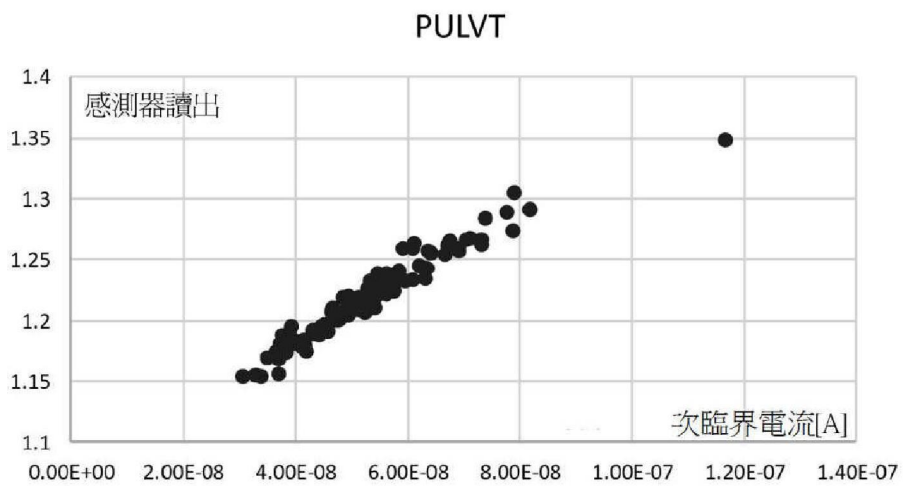
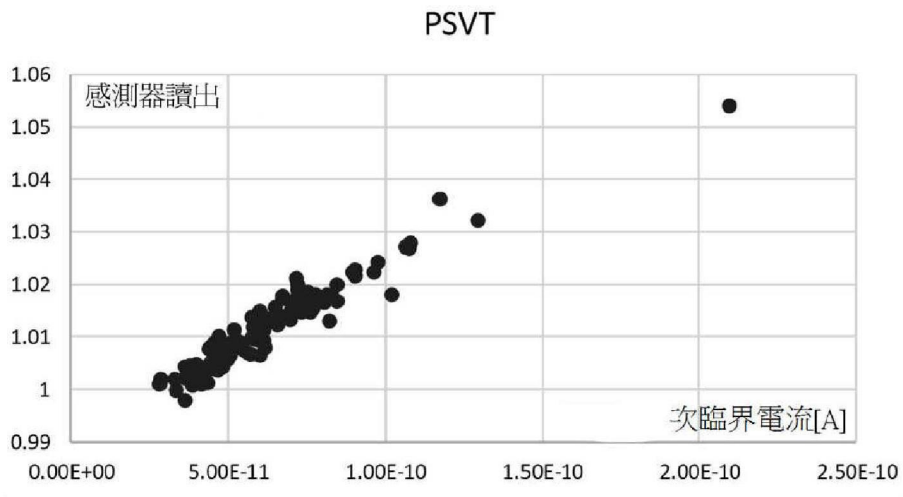
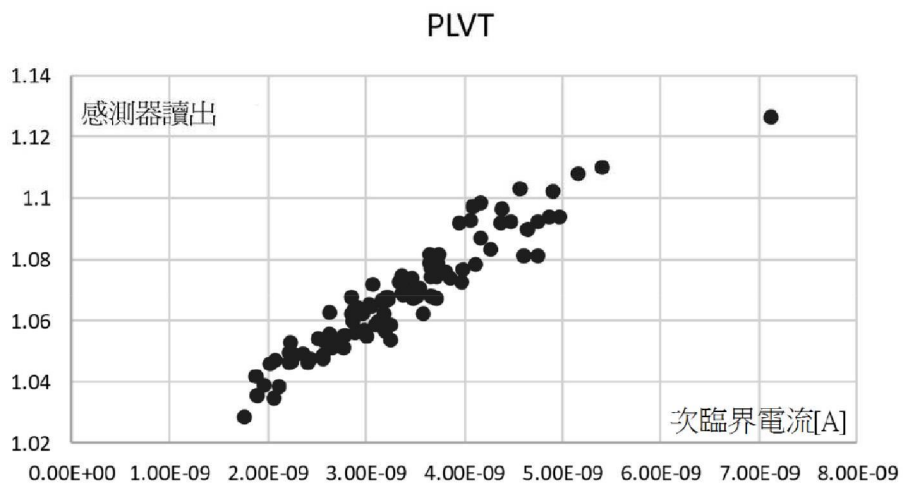


第1圖

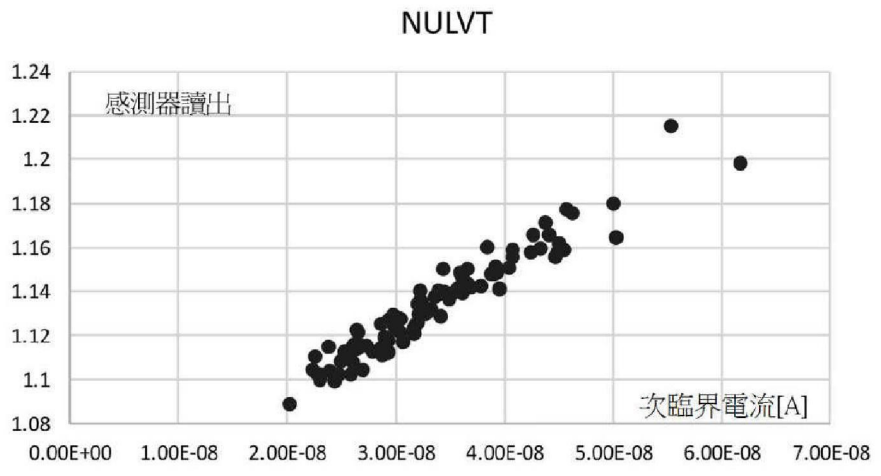
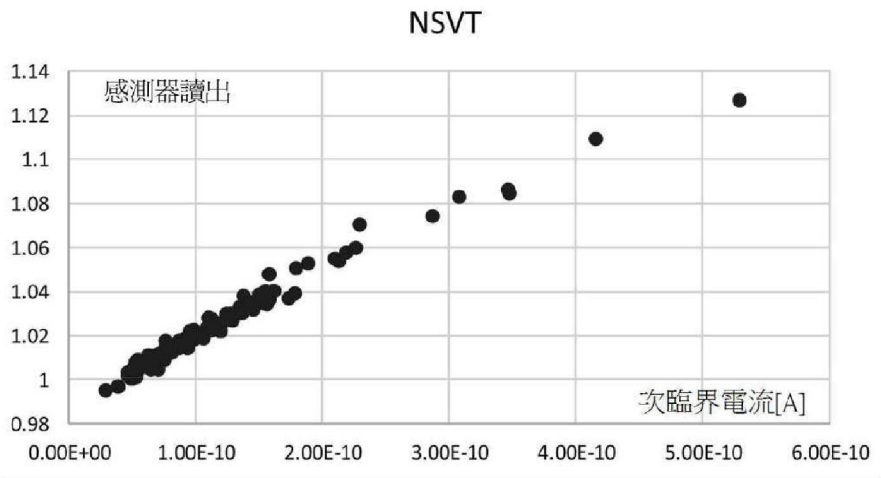
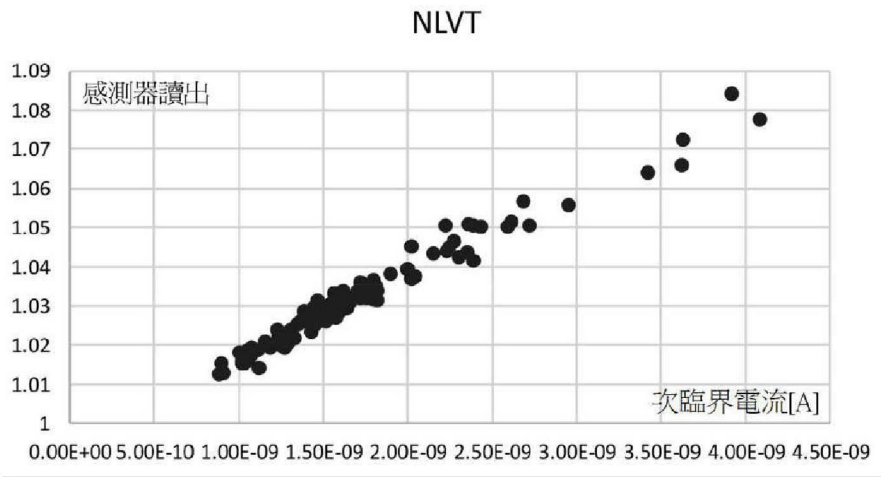


第 2A 圖

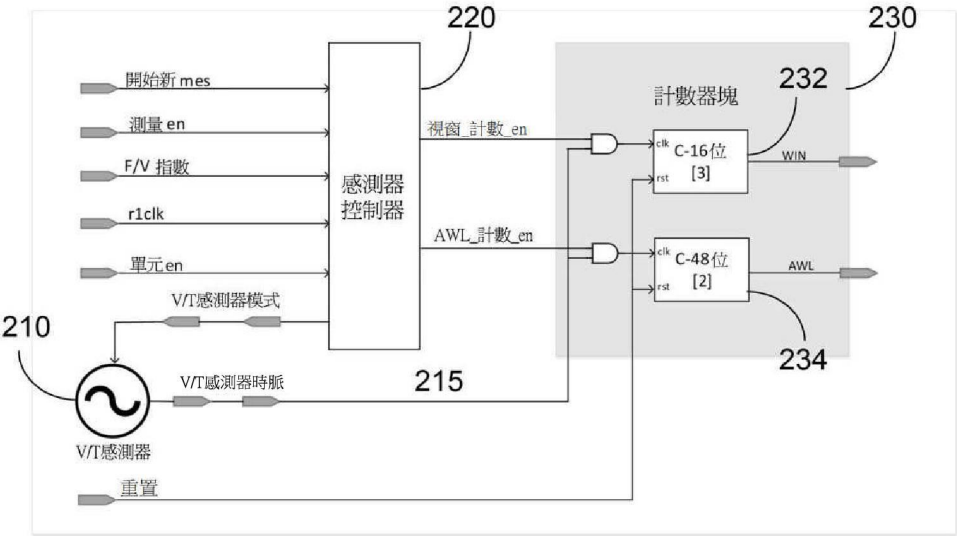




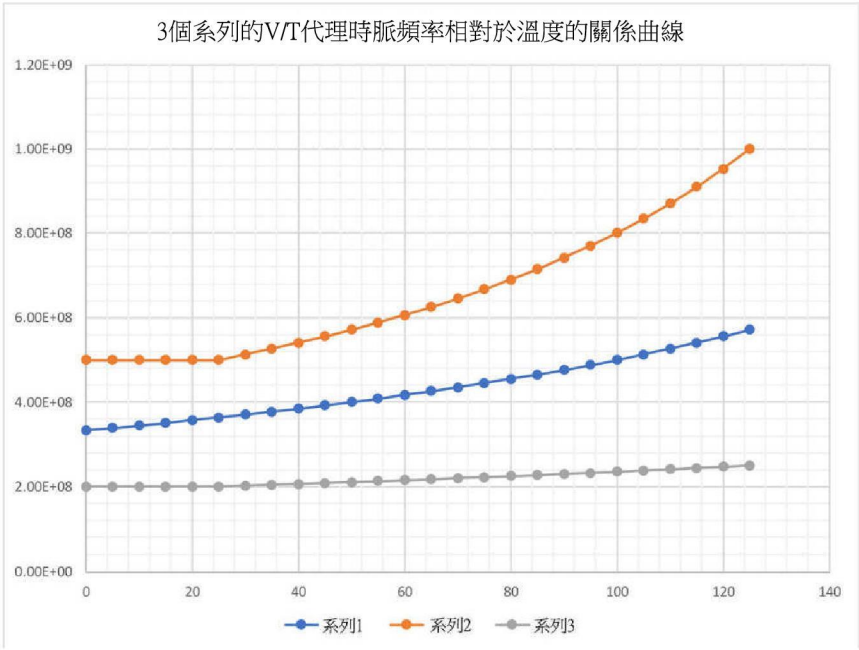
第 3A 圖



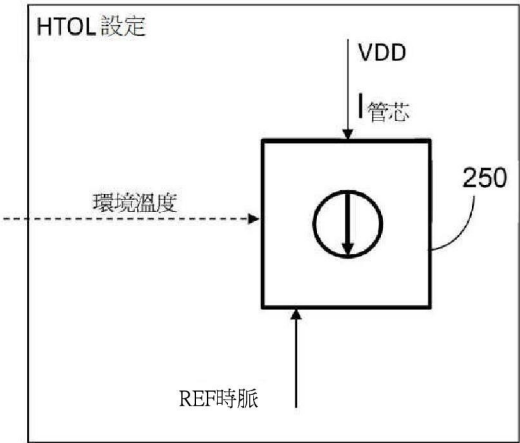
第 3B 圖



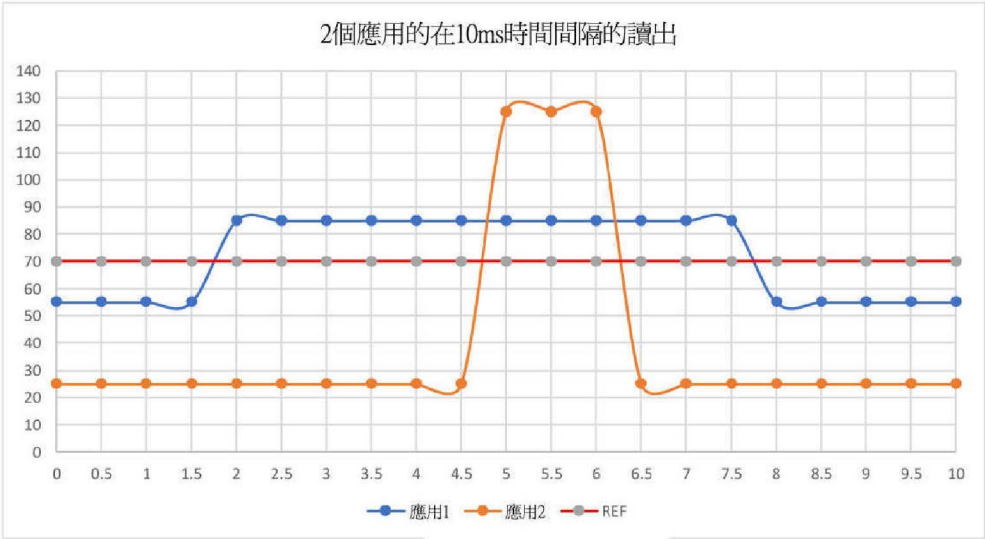
第 4 圖



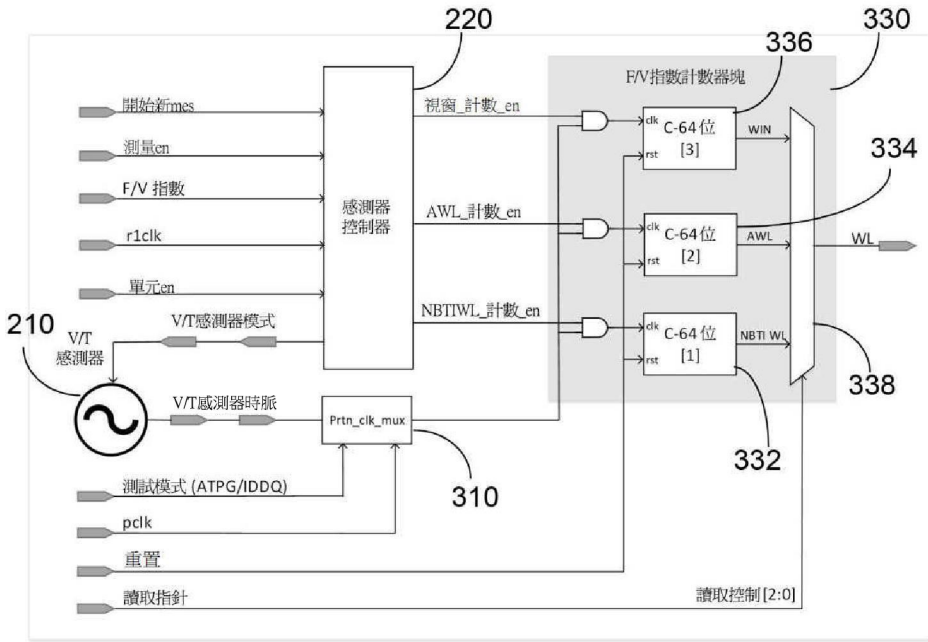
第 5 圖



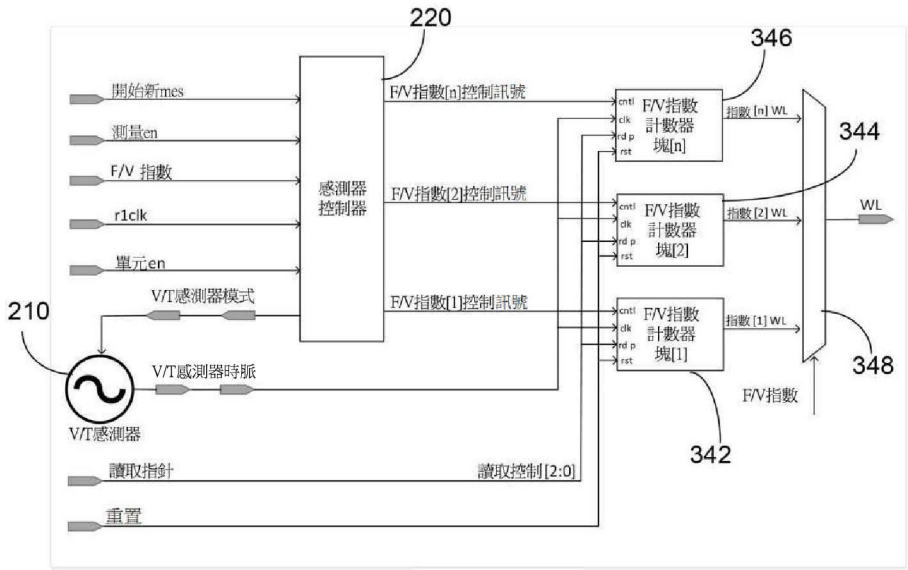
第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖



第 9 圖