



(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 I596352 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 21 日

(21)申請案號：104115909

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 05 月 19 日

(51)Int. Cl. : G01R31/28 (2006.01)

G01R31/3161(2006.01)

(30)優先權：2014/06/30 美國

14/319,528

(71)申請人：英特爾公司(美國) INTEL CORPORATION (US)

美國

(72)發明人：席魯范賈丹 巴拉尼 THIRUVENGADAM, BHARANI (IN) ; 尼爾森 克里斯多夫
J NELSON, CHRISTOPHER J. (US)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

(56)參考文獻：

TW I276147

TW I348029

TW I429919

US 7496803B2

US 2006/0031725A1

US 2007/0241799A1

審查人員：鄧人豪

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：8 共 64 頁

(54)名稱

具有用於輸入／輸出（ I ／ O ）交流電（ A C ）時序之以工作週期為基礎的時序界限之方法、電路裝置及系統

METHOD, CIRCUIT DEVICE AND SYSTEM WITH DUTY CYCLE BASED TIMING MARGINING FOR I/O AC TIMING

(57)摘要

利用一反相的經調變選通或時脈信號測試用於一介面之 I/O(輸入/輸出)眼寬度。一 I/O 介面包括多個信號線，每一信號線具有一具有時序特性之硬體 I/O 緩衝器。一系統產生一選通信號，其具有觸發一寫入之一觸發邊緣，及藉由調整該選通信號之工作週期調變的一後邊緣。該系統使該經調變選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有由使該經調變後邊緣反相產生之一經調變觸發邊緣。受測裝置基於原始選通信號之該觸發邊緣寫入測試資料且基於該反相選通信號之該觸發邊緣讀取測試資料。

Testing I/O (input/output) eye width for an interface with an inverted modulated strobe or clock signal. An I/O interface includes multiple signal lines, each with a hardware I/O buffer with timing characteristics. A system generates a strobe signal with a triggering edge that triggers a write, and a trailing edge that is modulated by adjusting the duty cycle of the strobe signal. The system inverts the modulated strobe signal to generate an inverted strobe signal, wherein the inverted strobe signal has a modulated triggering edge generated from inverting the modulated trailing edge. The device under test writes test data based on the triggering edge of the original strobe signal and reads test data based on the triggering edge of the inverted strobe signal.

指定代表圖：

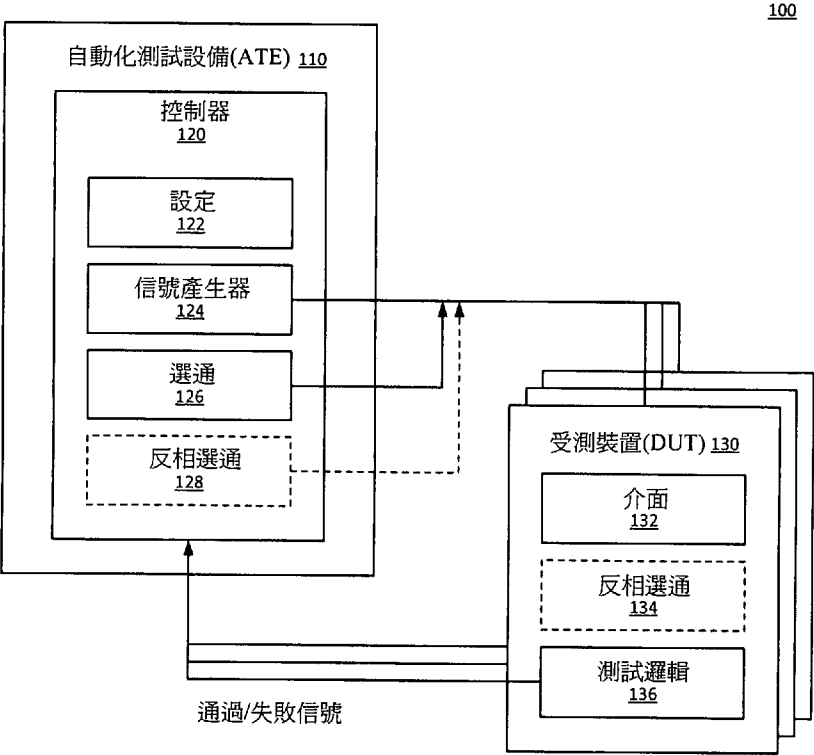


圖1

符號簡單說明：

- 100 . . . 系統
- 110 . . . 自動化測試設備(ATE)
- 120 . . . 控制器
- 122 . . . 設定
- 124 . . . 信號產生器
- 126 . . . 選通
- 128 . . . 反相選通
- 130 . . . 受測裝置(DUT)
- 132 . . . 介面
- 134 . . . 反相選通
- 136 . . . 測試邏輯

發明摘要

公告本

雙面影印

※ 申請案號：104115909

※ 申請日：104.5.19

※ IPC 分類：G01R 31/58 (2006.01)
G01R 31/3161 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

具有用於輸入/輸出(I/O)交流電(AC)時序之以工作週期為基礎的時序界限之方法、電路裝置及系統 / METHOD, CIRCUIT DEVICE AND SYSTEM WITH DUTY CYCLE BASED TIMING MARGINING FOR I/O AC TIMING

【中文】

利用一反相的經調變選通或時脈信號測試用於一介面之I/O(輸入/輸出)眼寬度。一I/O介面包括多個信號線，每一信號線具有一具有時序特性之硬體I/O緩衝器。一系統產生一選通信號，其具有觸發一寫入之一觸發邊緣，及藉由調整該選通信號之工作週期調變的一後邊緣。該系統使該經調變選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有由使該經調變後邊緣反相產生之一經調變觸發邊緣。受測裝置基於原始選通信號之該觸發邊緣寫入測試資料且基於該反相選通信號之該觸發邊緣讀取測試資料。

【英文】

Testing I/O (input/output) eye width for an interface with an inverted modulated strobe or clock signal. An I/O interface includes multiple signal lines, each with a hardware I/O buffer with timing characteristics. A system generates a strobe signal with a triggering edge that triggers a write, and a trailing edge that is modulated by adjusting the duty cycle of the strobe signal. The system inverts the modulated strobe signal to generate an inverted strobe signal, wherein the inverted strobe signal has a modulated triggering edge generated from inverting the modulated trailing edge. The device under test writes test data based on the triggering edge of the original strobe signal and reads test data based on the triggering edge of the inverted strobe signal.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（1）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100...系統	128...反相選通
110...自動化測試設備(ATE)	130...受測裝置(DUT)
120...控制器	132...介面
122...設定	134...反相選通
124...信號產生器	136...測試邏輯
126...選通	

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

具有用於輸入/輸出(I/O)交流電(AC)時序之以工作週期為基礎的時序界限之方法、電路裝置及系統 / METHOD, CIRCUIT DEVICE AND SYSTEM WITH DUTY CYCLE BASED TIMING MARGINING FOR I/O AC TIMING

【技術領域】

發明領域

[0001]本發明之實施例大體上係關於裝置I/O(輸入/輸出)，且更特定言之係關於測試I/O發信時序參數。

版權聲明/權限

[0002]此專利文獻之本發明之部分可含有受版權保護之材料。版權所有者不反對任何人複製專利與商標局(Patent and Trademark Office)專利檔案或記錄中出現之該專利文件或該專利揭示內容，但在其他任何情況下均保留所有版權。版權聲明適用於如下所述之所有資料，且在其隨附圖式中，同樣適用於下文所描述之任何軟體：

Copyright©2014，Intel Corporation，保留所有權利。

【先前技術】

發明背景

[0003]計算及電子裝置繼續變得較小，而同時效能保持不變或增加。較小計算及電子裝置藉由由於組件上之較小幾何形狀的較小電子組件而可能製得。製造程序目前可產生在

介面中具有大量I/O(輸入/輸出)信號線的組件，且具有比實際上可能接觸以用於直接AC及DC效能測試之情況小的信號線之間的間距。直流電(DC)效能設定係指與發信相關聯之偏壓及/或電壓位準，而交流電(AC)效能係指信號之邊緣經過介面之時序，其中針對AC效能之測試可被稱作界限(margining)。

[0004] 電子組件之減小大小及信號線之間的間距之減小大小使測試裝置之難度增加。對於許多裝置，信號線之數目及小間距使直接測試I/O介面不切實際。缺少直接測試已使裝置製造商不能夠用傳統測試來達成超低的每百萬缺陷(DPM)目標之風險增加。目前存在此等風險的一個特定技術領域係寬介面記憶體裝置。可用測試方法在連續地測試裝置所需之時間可過高的大量生產(例如，大量製造(HVM))中不可行。

[0005] 電子組件晶片之製造商(例如，諸如動態隨機存取記憶體(DRAM)供應商)測試I/O介面或I/O信號陣列。用於測試I/O AC時序之傳統方法為嘗試運用特定電子組件區塊之結構測試。結構測試需要用於電路區塊之每一不同組件及/或元件之不同測試。結構測試並不擷取雜訊，從而使得測試結果在並非完全不正確的情況下為樂觀的。傳統測試依賴於叢發型樣內之單一資料位元的界限。傳統測試方法篩選AC時序中之離群值(例如，接收器處之設置及保持時序界限)，但極緩慢且係高成本的。

【發明內容】

[0006] 依據本發明之一實施例，係特地提出一種用於測

試一I/O(輸入/輸出)介面之方法，其包含：產生一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣；藉由調整該選通信號之一工作週期來調變該選通信號之該後邊緣；利用經調變之該後邊緣使該選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；在該選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料傳輸；以及在該反相選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料接收。

【圖式簡單說明】

[0007] 以下描述包括對於圖的論述，該等圖具有借助於實例提供的對本發明之實施例之實施的說明。圖式應作為實例而非作為限制來理解。如本文中所使用，對一或多個「實施例」之引用應理解為描述包括於本發明之至少一個實施中之特定特徵、結構及/或特性。因此，本文中出現的諸如「在一個實施例中」或「在一替代實施例中」之片語描述本發明之各種實施例及實施，且未必全部係指同一實施例。然而，該等片語亦未必相互排斥。

[0008] 圖1為提供用於間接I/O測試之以工作週期為基礎之界限的系統之一實施例的方塊圖。

[0009] 圖2為提供用於I/O測試之以工作週期為基礎之界限的系統之一實施例的方塊圖，其中受測裝置產生反相的經調變時脈信號。

[0010] 圖3為提供用於具有不同時序設定之I/O測試之以工作週期為基礎之界限的系統之一實施例的時序圖表

示。

[0011] 圖4為利用以工作週期為基礎之界限測試保持時間之一實施例的時序圖表示。

[0012] 圖5為利用以工作週期為基礎之界限測試設置時間之一實施例的時序圖表示。

[0013] 圖6為用於間接I/O介面測試之一程序之一實施例的流程圖。

[0014] 圖7為其中可實施以工作週期為基礎之界限的計算系統之一實施例的方塊圖。

[0015] 圖8為其中可實施以工作週期為基礎之界限的行動裝置之一實施例的方塊圖。

[0016] 下文描述某些細節及實施，包括描述圖式(其可描繪下文所描述之實施例中之一些或全部)，以及論述本文中呈現的本發明概念之其他可能實施例或實施。

【實施方式】

較佳實施例之詳細說明

[0017] 如本文中所描述，一系統能夠進行用於介面之I/O(輸入/輸出)眼寬度之測試。該系統產生一反相的經調變選通或時脈信號以於在非反相選通或時脈信號上觸發傳輸操作同時觸發接收操作。I/O介面包括多個信號線，每一信號線具有一具有時序特性之硬體I/O緩衝器。I/O介面之交流電(AC)界限係指觸發信號之邊緣的時序。該測試可藉由編譯用於一特定受測裝置(DUT)之眼寬度大小之一期望值及相對於預期的眼寬度大小比較I/O通道之操作來偵測離群

值。希望同一電路處理中所形成之通道之大部分將產生近似相同的I/O眼寬度，具有最小數目之離群值。

[0018] 根據本文中所描述之內容，測試係功能上的，且測試DUT之功能能力而非評估每一單獨組件之每一單獨操作之精確結構測試。利用功能測試，測試系統發送測試資料且評估DUT是否可在各種不同時序設定下寫入及讀取測試資料。預期某些時序設定在I/O中導致失敗，而預期其他時序設定導致通過操作。將在下文更詳細地描述失敗及通過之使用。離群值電路可為在時序設定預期失敗時記錄通過的電路，及/或用以在時序設定預期通過時記錄失敗。

[0019] 測試系統產生選通信號或時脈信號以及測試資料。藉由使測試系統產生時脈信號，DUT不必包括用以產生時序信號之電路，此可節約佔據面積及成本。另外，來自測試系統之時脈信號能夠進行I/O眼寬度之功能測試，如下文所更詳細描述。測試系統選通信號具有觸發傳輸或寫入之觸發邊緣，及藉由調整選通信號之工作週期來調變的後邊緣。在一個實施例中，觸發邊緣為上升邊緣，且後邊緣為選通之下降邊緣；然而，將理解，系統可經設計以在下降邊緣上觸發。系統使經調變選通信號反相以產生反相選通信號，其中反相選通信號具有由使經調變後邊緣反相產生之經調變觸發邊緣。測試系統或受測裝置之任一者可產生反相選通信號。受測裝置基於原始選通信號之觸發邊緣寫入測試資料且基於反相選通信號之觸發邊緣讀取測試資料。在一個實施例中，受測裝置包括用以記錄I/O錯誤之

錯誤偵測電路。

[0020] 在一個實施例中，界限測試允許採用不同於傳統上所使用之方法的通過/失敗方法。替代直接嘗試量測特定電路元件之操作或直接量測眼寬度，系統可分開地測試I/O眼的前邊緣及I/O眼的後邊緣。將理解，眼的前邊緣及眼的後邊緣不應與時脈信號之觸發或前邊緣及時脈信號的後邊緣混淆，儘管該等邊緣可對準。在雙資料速率實施中，眼的前邊緣及後邊緣均與時脈信號的前邊緣或觸發邊緣對準。在業界中，前邊緣通常被稱作「左」邊緣，且後邊緣為「右」邊緣，參考觀測I/O眼型樣圖式。在描述中，為了清楚而非為了限制，「左邊緣」及「右邊緣」術語在本文中在參考I/O發信眼時使用。

[0021] 在一個實施例中，系統使用首次失敗方法來識別通過眼之右邊緣，此指示資料信號之保持時間。在一個實施例中，系統使用全部通過方法來識別通過眼之左邊緣，此指示資料信號之設置時間。在一個實施例中，系統在測試眼之左邊緣之前測試眼之右邊緣。首次失敗方法係指使用偵測到之首次失敗來指示可用於眼之右邊緣之最長時間的測試。該最長時間可被稱作所允許的最長保持時間。全部通過方法係指使用所有電路記錄通過時之時間點來指示可用於眼之左邊緣之最早時間的測試。該最早時間可被稱作所允許的最短設置時間。

[0022] 在右邊緣之首次失敗與左邊緣之全部通過之間存在設置時間窗口與保持時間窗口之間的介穩定性窗口，

通常假設該介穩定性窗口很小。該假設傳統上導致該窗口就測試目的而言被忽略。標準正反器中之介穩定性窗口可為幾皮秒寬且可依據程序、電壓及溫度變化。因此，將理解，不能滿足保持時間未必意謂用於隨後資料之設置時間在所有I/O通道不滿足保持時間後得到滿足。全部通過方法不做出關於介穩定性窗口之寬度的假設，因此移除關於界限測量之樂觀假設。

[0023]將理解，當測試系統調變測試時脈之工作週期時，不需要用以執行I/O界限之晶片上時脈。測試系統可允許測試之自動化及定序，此與大量製造(HVM)相容。其他測試方法過於緩慢、過於頻寬密集及/或另外並不十分適合於同時測試許多裝置。本文中所描述之測試係基於動態地調整傳輸時脈與接收時脈之間的偏斜以調整眼寬度，且因此從功能上測試I/O介面之操作。因此，動態地調整偏斜可執行用於I/O介面之AC界限。

[0024]如本文中所描述之測試可為自動的，且因此可在電子晶片本身上執行，即使不直接探查每一I/O通道。在一個實施例中，受測裝置包括晶圓測試中之多個裝置晶片。在一個實施例中，受測裝置包括單晶片系統(SoC)，其包括在同一基體上處理之多個不同裝置。在一個實施例中，受測裝置包括多晶片封裝，該封裝包括組合於單一封裝內之多個不同晶片，通常藉由較頻寬介面連接。

[0025]除了在對許多不同類型之晶片封裝之應用的靈活性外，測試亦可應用於不同類型之I/O。資料I/O通常係雙

向，此意謂I/O埠具有寫入及讀取能力兩者。在時脈信號之觸發邊緣上觸發傳輸及在時脈信號之經調變觸發邊緣上觸發接收的測試將利用寫入及讀取能力兩者。將理解，一些I/O線或插腳係單向的(例如，命令/位址線(CA)線)，且通常可能不能夠利用此測試。在一個實施例中，單向線包括可爲了電路之操作關閉之虛設傳輸器或接收器。因此，虛設I/O可僅用以測試I/O埠，接著被關閉。

[0026] 在一個實施例中，測試可對一起作爲信號群組或多個信號線之群組的信號線(其可指共用共同時序信號或共同時脈之多個信號線)上執行。舉例而言，在某些記憶體裝置中，可存在許多DQ (資料信號)及共用DQS (時脈選通)信號之共同對的相關聯DMI信號。關於信號線群組之間接測試可允許同時測試用於介面內之通道之所有信號群組的資料信號之有效眼寬度。另外，該測試可實現對各自具有單獨I/O介面之多個裝置的平行或同時測試。該測試可允許測試一半導體晶圓之多個或所有電路晶粒。單一測試資料序列可分佈至多個裝置、至每一裝置上之每一通道、至每一通道上之每一群組以及至每一群組之每一信號線。藉由累積群組之通過/失敗資訊，系統可顯著減少將測試結果發送回至測試源所需之頻寬。替代指示每一信號線的每一資料位元之通過或失敗，群組可發送回指示通過及失敗位元之數目之值。

[0027] 系統可藉由調整用於多個測試反覆之一或多個時序設定來測試資料眼寬度。舉例而言，測試資料可針對

一種時序設定分佈至所有信號線，接著針對一不同時序設定再次分佈至所有信號線。測試資料可為相同的位元序列，但具有控制信號線如何接收及取樣信號之不同I/O介面參數。更特定而言，如本文中所描述，選通信號的後邊緣可經調變，且信號可經反相以提供選通或時脈信號之經調變前邊緣。系統可產生每一時序設定之錯誤結果(例如，不同工作週期，此導致不同眼寬度大小)，且因此可藉由針對不同設定監視由信號群組接收的錯誤之數目來判定眼之寬度。測試系統可量測眼之寬度以作為信號群組的所有信號之組合資料眼大小。系統可對針對所有資料週期在信號群組之所有I/O緩衝器或插腳上擷取正確資料的測試反覆之數目計數，此可接著提供間接眼大小寬度。在一個實施例中，信號群組及整個裝置(I/O介面)可相對於彼此進行比較以判定信號群組及整個裝置是否落在錯誤之統計型樣內。舉例而言，當信號群組之錯誤之數目在低臨限值及高臨限值內時，系統可判定信號群組通過測試。錯誤之數目在目標範圍外的信號群組可被認為未通過測試。

[0028] 在一個實施例中，此測試對於測試新興的記憶體設計可特別有用。舉例而言，記憶體設計，諸如寬輸入/輸出版本2 (WIO2，JESD229，2011年12月，可自接合電子裝置工程委員會(JEDEC)得到)，及高頻寬記憶體(HBM，JESD235，2013年10月，可自JEDEC得到)DRAM設計，或具有寬I/O介面之其他記憶體裝置。此等裝置在裝置介面中具有大量信號線，且用以生產此等裝置之製造技術之特徵

大小可產生實際上使用傳統的直接接觸方法無法測試的裝置。舉例而言，WIO2包括高達八個64位元資料通道且HBM包括高達八個128位元資料通道。本文中所描述之測試可使記憶體裝置供應商/製造商能夠在與HVM相容之生產測試中有效地篩選I/O缺陷。將理解，除記憶體裝置設計外，本文中所描述之測試可應用於設計成具有寬I/O介面之邏輯裝置及/或單晶片系統(SOC)。在一個實例中，某些邏輯裝置及SOC經設計以與新興的寬介面記憶體裝置匹配。因此，本文中所描述之測試提供用於寬介面裝置之AC界限解決方法而不必針對直接接觸測試方法探查該等裝置。所描述之AC界限可廣泛應用於任何I/O介面而非單獨限於記憶體特定設計。

[0029] 圖1為提供用於間接I/O測試之以工作週期為基礎之界限的系統之一實施例的方塊圖。系統100包括一個或多個受測裝置(DUT) 130，該等裝置具有將利用以工作週期為基礎之時序界限技術進行測試之I/O介面。受測裝置130可為記憶體裝置，或具有待間接測試之I/O介面的其他組件。受測裝置130之I/O介面可包括組織成信號群組之多個信號線。在一個實施例中，受測裝置130為個別電路晶粒。在一個實施例中，該等裝置可在仍一起作為半導體晶圓時(例如，在被分開及被封裝之前)受到測試。

[0030] 在一個實施例中，系統100基於用於介面132之信號群組同時測量有效I/O時序眼界限。該測試可藉由製造自動測試設備(ATE)而提供以每個信號群組最少附加項同時

測量所有信號群組之I/O效能的能力。在一個實施例中，在一個晶圓探測器步進中接觸到的所有受測裝置(例如，所有DRAM晶粒或其他裝置)(例如，一次128個晶粒)可同時進行測試。

[0031] 系統100包括自動化測試設備(ATE) 110，該自動化測試設備表示測試設備或測試系統。測試系統可理解為測試資料源，且亦可為測試時脈之源。自動化測試系統110包括控制器120，控制器表示用以執行I/O測試之邏輯(硬體及/或軟體)。控制器120可產生測試資料及經調變時脈。在一個實施例中，控制器120包括設定122，其為將在測試期間使用之裝置130提供用於I/O之時序設定。控制器120控制的時序設定中之至少一者為時脈信號的後邊緣之工作週期。更改時脈信號之工作週期允許系統100使時脈信號反相以產生經調變的觸發邊緣。在一個實施例中，自動化測試設備產生反相信號且將反相及非反相時脈信號兩者發送至受測裝置130。在一個實施例中，受測裝置130自接收自控制器120之非反相時脈信號產生反相時脈信號。藉由改變I/O時序參數(設定122)，系統100可判定用於I/O之恰當眼大小。在一個實施例中，設定122包括針對傳輸(TxClk)及接收(RxCk)時脈兩者的設定，該等時脈均可具有非反相及反相信號。TxCk可被稱作啟動時脈，且RxCk可被稱作擷取時脈。在一個實施例中，設定122設定TxCk與RxCk之間的時序，或一個時脈信號相對於另一時脈信號之偏斜位置。

[0032] 控制器120包括信號產生器124，其產生測試資料

以提供至一或多個受測裝置130。信號產生器124可產生測試資料序列，該序列包括特定位元或位元型樣以測試受測試之信號線的I/O效能。測試資料序列可長許多位元或長數千位元。在一個實施例中，控制器120在多個測試反覆中每次發送相同的測試資料序列型樣，其中每一測試反覆測試不同時序設定122。在一個實施例中，控制器120在每一測試反覆結束時發送單一查詢以自每一信號群組及/或自每一裝置130接收通過/失敗指示或通過/失敗結果。

[0033] 如上文所提及，控制器120產生由選通126表示之非反相時脈信號。在一個實施例中，控制器120亦產生反相選通128。該選通信號或該等選通信號係與資料一起發送至受測裝置130。在一個實施例中，由自動化測試設備110之控制器120提供之時脈信號預期具有固有邊緣放置準確度誤差。在一個實施例中，當測試資料序列係基於掃描在大範圍資料上兩個時脈之間的偏斜及量測有效資料眼大小時，TxClk或RxClk之時序邊緣放置準確度並非回送測試電路之效能的相關因素。放置準確度誤差可因此無關於測試，因為測試仍可準確地量測用於I/O之信號群組資料有效眼之寬度，而非特定時序放置。

[0034] 在一個實施例中，用於TxClk之選通信號的工作週期係動態地調整。藉由調整時脈的後邊緣，將不會有對用於傳輸之觸發的任何影響。然而，藉由使用用於RxClk之反相選通信號，工作週期之改變將調變接收時脈的前邊緣，此將相對於TxClk動態地調整RxClk之邊緣放置。因此，

系統100可控制時脈信號相對於彼此之偏斜，且使用相對偏移來測試眼寬度。在一個實施例中，控制器120可使用不同邊緣放置解析度來改變用於不同設定122之步長的差異。粗RxClk邊緣放置步長限制眼寬度量測之解析度。更精細解析度步長引起更多測試反覆及更長測試時間，但改良眼寬度量測之準確度。對於一些裝置130，相對粗的解析度可提供足夠的眼寬度量測。對於其他裝置(諸如某些DRAM)，裝置130可具有需要更精細解析度之小效能界限。因此，系統100之不同實施例可利用(例如)8個不同偏斜設定來量測眼寬度大小界限，而其他實施例可利用16或十六個以上的不同偏斜設定進行量測。時脈抖動亦可減小量測到的資料有效眼寬度。抖動源包括自控制器120輸送至裝置130之時脈中之抖動，以及在裝置130內之內部路線選擇中添加之抖動。恰當測試電路設計及裝置佈局可減少抖動。

[0035] 裝置130包括介面132，該介面係指待測試之I/O。在一個實施例中，受測裝置自接收自控制器120之選通信號126產生反相選通134，而非使自動化測試設備110產生反相時脈信號。將理解，此實施將需要受測裝置上之額外邏輯。裝置130亦包括測試邏輯136，該測試邏輯表示每一受測裝置中之一或多個邏輯電路以執行錯誤偵測。錯誤偵測使裝置能夠判定I/O介面132是否被正確操作。在一個實施例中，裝置130報告在測試序列或測試反覆期間偵測到的錯誤之數目及/或通過之數目。自動化測試設備110可接著判定由群組或裝置提供之測試結果是指示測試之通過抑

或測試之失敗。

[0036] 利用由信號產生器124產生之測試資料、由選通126提供之時脈信號、由反相選通128及/或反相選通134中之任一者提供的反相時脈信號以及測試邏輯136，系統100可測試AC時序缺陷而無需藉由自動化測試設備110直接連接或直接探查受測裝置130。設定122使系統能夠提供時序界限技術而不需要受測裝置130上之晶粒上延遲鎖定迴路(DLL)或鎖相迴路(PLL)。另外，在一個實施例中，若時序測試係由兩個受控時脈信號(如上所述之TxClk及RxClk)之間的相對偏移提供，則系統100並不需要延遲線(經補償或未經補償的)。因此，系統100中之I/O測試可以比傳統測試低的成本以及電力來實現。

[0037] 圖2為提供用於I/O測試之以工作週期為基礎之界限的系統之一實施例的方塊圖，其中受測裝置產生反相的經調變時脈信號。系統200可為圖1之系統100之元件的一個實例，且提供時脈及資料分佈之細節以及在受測裝置內之使用的一個實例。系統200中之測試係基於導致AC時序界限丟失之大部分缺陷可用於連結的驅動器/接收器回送連接來量測的假設。將理解，此假設不可能對於所有受測裝置有效。因此，系統200說明未必存在於每個系統實施中之某些特定實例。此回送組配可對於雙向I/O埠很好地起作用。在用於測試單向I/O埠之一實施例中，接收器或傳輸器中之任一者可為用於測試之虛設電路，且接著為了操作而停用。在一個實施例中，系統之組配包括用於每一個別I/O

緩衝器(信號線或I/O埠)及用於每一信號線群組之錯誤偵測機制以使相關聯群組錯誤偵測機制報告返回累積結果。將理解，系統200中之所表示之特定錯誤偵測邏輯可由其他偵測邏輯替換。

[0038] 在一個實施例中，測試系統觸發測試模式，且包括Bit[0]至Bit[N-1]之受測試電路裝置進入測試模式以回應觸發。在一個實施例中，進入測試模式之部分包括重設計數器及/或其他測試組件。源型樣產生器210係產生測試資料之測試源。在一個實施例中，測試資料可被稱作測試資料字，其係指爲了測試而施加至I/O的測試資料位元之型樣或序列。在一個實施例中，測試資料包括來自線性回饋移位暫存器(LSFR)之輸出以產生測試型樣。系統200將測試資料分佈至多個不同信號群組202且可將測試信號分佈至多個不同的受測裝置。每一裝置及每一信號群組接收信號且將通過/失敗資訊返回報告至測試系統。

[0039] 測試系統亦利用選通產生器220來產生選通信號。在一個實施例中，測試系統產生啓動時脈信號(TxC1k，非反相時脈信號)及擷取時脈信號(RxC1k，與非反相時脈反相)兩者。在一個實施例中，測試系統僅產生TxC1k，且受測裝置利用時脈邏輯(CLK) 230自TxC1k產生RxC1k。測試系統藉由調整選通之工作週期來調變TxC1k的後邊緣。將理解，調變信號的後邊緣將不影響在時脈的前邊緣上觸發之傳輸時脈。然而，調變後邊緣且接著使時脈信號反相產生用於RxC1k之調變前邊緣。在一個實施例中，時脈信號係在

不考慮嚴格受控之偏斜或飛行時間的情況下經由時脈邏輯230自測試系統分佈及投送至各別信號群組及電路組件。

[0040] 在一個實施例中，測試系統將產生多個測試反覆以量測有效眼寬度，且因此將反覆通過各種不同I/O時序設定。更特定而言，測試系統將不同工作週期應用於選通產生器220以產生具有更快或較慢後邊緣之TxClk。在一個實施例中，測試系統產生等於將用以以所要解析度測試I/O眼寬度之工作週期步驟之數目的許多測試反覆。測試反覆係指藉由信號群組使用給定時序設定或工作週期發送至及接收之資料字或測試序列的幾個或許多循環。工作週期之變化在施加於受測裝置處時調整TxClk與RxClk之間的偏斜設定。對於每一測試反覆，測試系統可設定特定時序設定且重設錯誤追蹤組件。在一個實施例中，信號群組中之所有信號必須針對測試反覆之所有循環正確地接收資料以被視為已通過測試反覆。

[0041] 受測裝置經展示具有系統200中之所詳述之信號群組202中之N個位元或N個插腳。N可為共享時脈信號之信號線的任何數目。將理解，由信號群組共享之時脈信號並非直接為藉由測試設備產生之選通，而是指裝置上用以操作信號線之時脈或時序信號，其來自由測試系統產生之選通信號。該區別指出，不同位元或信號線可在不同絕對相位延遲上操作，但此等延遲應相等地應用於TxClk及RxClk兩者，此意謂兩個時脈之間的相對偏斜保持實質上恆定。在一個實施例中，並非介面內之每一個信號群組具有相同

數目之信號線。舉例而言，所說明信號群組係部分的受測裝置之介面可具有一具有 $N+M$ 個位元或 $N-M$ 個位元之信號群組，其中 M 為小於 N 之某一其他整數。在同一介面之兩個信號群組具有不同數目之位元的實施中，系統可分佈來自產生器210的適當數目個信號以匹配信號群組中的位元之數目。

[0042]在一個實施例中，信號群組之位元中之每一者與由I/O緩衝器邏輯240展示之I/O緩衝器相關聯。在一個實施例中，緩衝器240係標準I/O緩衝器，此意謂不必存在I/O緩衝器邏輯所需的任何變化以執行本文中所描述之測試。如系統200中所示，緩衝器240之一個實施例在接收鎖存器242處接收測試信號，且用放大器244將來自鎖存器242之輸出的信號緩衝至襯墊250。襯墊250可替代地被稱作插腳或其他硬體元件，其經由信號線介接內部邏輯與外部裝置。如測試模式中所組配，緩衝器240可處於回送組配中，其中藉由經由放大器246將位元發送至鎖存器248，襯墊250提供接收之位元作為輸出。如所說明，TxClk觸發鎖存器242之操作，且RxClk觸發鎖存器248之操作。在一個實施例中，測試資料之每一新循環或位元係用TxClk上升邊緣之上升邊緣啟動，且針對彼位元之資料擷取係用RxClk之上升邊緣觸發。

[0043]用於測試的鎖存器248之輸出可輸出至互斥或閘270。在一個實施例中，在互斥或閘270處將鎖存器248之輸出與自產生器210接收之傳入位元進行比較。將理解，管理

互斥或閘270處之比較的時序對於得到恰當錯誤偵測至關重要。鎖存器262及266可保證用於測試之時序以確保自襯墊250讀取之位元係相對於對應傳入位元進行測試。如所見，鎖存器262係由TxClk觸發以將其輸出饋送至鎖存器266之輸入中。鎖存器266依次由RxClk觸發以將其輸出饋送至互斥或閘270，此應保證右位元被鎖存至互斥或閘270中以相對於接收器/驅動器回送之位元進行比較。位元[0]至[N-1]中之每一者包括類似信號線錯誤偵測機制以判定每一特定I/O緩衝器是否正確地接收測試資料位元。所有信號線之互斥或閘饋送至群組邏輯280中。因此，信號線群組之任何信號線上的任何錯誤應在群組邏輯280處觸發錯誤，該群組邏輯可不可邏輯區塊以及用以偵測並累積通過/失敗資訊之計數器。在一個實施例中，群組邏輯280可累積通過/失敗資訊，且因此允許在測試反覆之後將通過/失敗資訊傳回至測試系統，而非必須在每一循環上識別至測試系統之通過/失敗條件。

[0044] 在一個實施例中，系統200在鎖存器262與鎖存器266之間施加延遲264。在一個實施例中，可選擇性地施加延遲264。舉例而言，在一個實施例中，測試首先偵測不使用延遲264之資料眼的後邊緣，接著測試具有延遲264之眼的前邊緣。關於測試I/O眼寬度的前邊緣及後邊緣之更多細節將在下文提供。

[0045] 圖3為提供用於具有不同時序設定之I/O測試之以工作週期為基礎之界限的系統之一實施例的時序圖表

示。圖式300可為根據系統100及/或系統200的用於信號之時序之一個實例。圖式300說明用於系統時鐘信號Clk 310、測試資料340及用於對選通信號之不同位準之工作週期調變之時脈信號的相對時序。將理解，相對時序係出於解釋之目的而說明且未必按比例展示，且因此未必表示用於真實系統之實際相對時序。測試資料340在圖式300中被說明為整個時脈週期寬。在使用雙資料速率之一實施例中(諸如在圖4中)，半個時脈週期可存在一資料位元。

[0046]時脈信號310用於比較以指出TxClk的後邊緣之工作週期的差別。在一個實施例中，測試系統發送TxClk而非系統時鐘310。在圖式300中，存在兩個版本之TxClk，TxClk最短320及TxClk最長350。此等兩個時脈信號分別對應於RxClk最早330及RxClk最遲360。將觀察到，RxClk係TxClk之反相版本。因此，TxClk可為非反相選通信號，且RxClk為反相選通信號。TxClk最短320及TxClk最長350係出於解釋之目的而參考測試資料340展示於同一圖式300上，但通常不在單獨信號線上一一起發送(與從圖式300看出的相反)。

[0047]如所說明，測試系統基於TxClk來發送資料，如藉由對準測試資料340與TxClk最短320及TxClk最長350兩者所見。將觀察到，前邊緣(圖式300中之上升邊緣)在相同相對位置中，但後邊緣視應用於TxClk信號之工作週期而來得更早(在TxClk最短320中)或更遲(在TxClk最長350中)。在一個實施例中，對於總共N個工作週期變化，信號320與信

號350之間存在N-2個其他工作週期變化。

[0048] 測試系統基於TxClk來發送資料，但將觀察到，某一傳播延遲(tProp)存在於當發送TxClk時(假設在系統時鐘310的前邊緣上)與當TxClk在受測裝置內觸發操作時(如信號320及350的前邊緣所示)之間。將理解，tProp可比圖式300中之所描繪的更長或更短。傳播延遲係信號將分佈通過之路徑的功能。因此，tProp對於不同信號群組可不同。然而，相同延遲(或實質上相同之延遲)亦應施加至RxClk，且因此系統可分別量測TxClk 320、350與RxClk 330、360之間的差。測試資料340表示I/O緩衝器之襯墊處的資料信號。自TxClk最初自測試系統發送時(如時脈310所示)起的延遲tProp指示直至測試資料信號340在I/O緩衝器處可見的時間。

[0049] 首先參考信號TxClk 350 (TxClk最長)及RxClk 360 (RxClk最遲)，測試資料340的前一位元之左邊緣與RxClk 360的前邊緣之間存在設置時間tSetup。設置時間係受測裝置需要能夠偵測下一個資料位元之觸發邊緣的資料位元之間的最小時間量。在圖式300中。由於TxClk 350之工作週期經調整至較小，因此360的前邊緣相稱地較早出現。因此，RxClk 360的前邊緣在圖式300中將朝向資料B之左邊緣向左移位。藉由調整選通信號之工作週期，測試系統可搜尋資料B之左邊緣(眼寬度之左邊緣)。

[0050] 參考信號TxClk 320(TxClk最短)及RxClk 330 (RxClk最早)，測試資料340之左邊緣與RxClk 330的前邊緣

之間存在保持時間 t_{Hold} 。保持時間係資料對於受測裝置必須存在以執行恰當資料擷取的最小時間量。由於TxClk 320之工作週期經調整至更大，因此RxClk 330的前邊緣將相稱地稍後出現。因此，RxClk 330的前邊緣在圖式300中朝向資料A之右邊緣向右移位。藉由調整選通信號之工作週期，測試系統可搜尋資料A之右邊緣(眼寬度之右邊緣)。

[0051]傳統的眼寬度測試使用左失敗及右失敗方法來偵測眼寬度邊緣。傳統測試利用首次失敗方法或搜尋來判定左邊緣且用全部失敗方法或搜尋來判定右邊緣。對應於圖式300之測試系統將全部通過方法或搜尋用於眼之左邊緣(設置時間或設置參數違規)。對應於圖式300之測試系統將首次失敗用於眼之右邊緣(保持時間或保持參數違規)。將觀察到，最遲RxClk邊緣(RxClk 360)被用以測試資料B之左邊緣，而最早RxClk邊緣(RxClk 330)被用以測試資料A之右邊緣。因此，在一個實施例中，系統將需要恰當地使用延遲以比較右資料位元與將測試之位元。

[0052]圖4為利用以工作週期為基礎之界限測試保持時間之一實施例的時序圖表示。圖式400可為根據系統100及/或系統200的用於信號之時序之一個實例。圖式400說明相對時序，其未必按比例展示，而是出於描述之目的。傳輸資料及接收資料經展示為半時脈週期的，其中重疊互補之時脈信號的前邊緣被用以觸發不同的資料位元信號。

[0053]時序信號經展示為差分信號，且因此時序信號具有互補。系統時鐘信號經說明為時脈信號412 (Clk_t)及其互

補信號414 (Clk_c)。時脈信號差分對(412、414)可為由測試系統使用以將資料發送至受測裝置之時脈。時脈信號可被稱作外部參考時脈，係指相對於受測裝置在外部。存在時脈信號(412、414)與傳輸資料(Tx DQ) 420之間的傳播延遲，以及時脈信號與接收資料(Rx DQ) 440之間的傳播延遲。Tx DQ 420係與傳輸時脈差分對信號432 (Tx DQS_t)及434 (Tx DQS_c)邊緣對準。將觀察到，信號432及434基本上為外部參考時脈412及414之重複。

[0054] 在一個實施例中，界限或時序搜尋全部在正向方向上執行；因此，如圖式400中所說明的保持時間界限驗證可在如圖5之圖式500中所說明的設置時間界限驗證之前執行。在設置時間界限驗證之前執行保持時間界限驗證可節約測試時間。一般而言，測試調變輸入參考之工作週期且使將在接收器裝置處使用之擷取選通反相，此可操縱傳入資料與選通之相位關係。在圖式400之實施例中，時脈信號之上升邊緣為前邊緣或觸發邊緣。

[0055] 在圖式400中，Tx DQS_t 432已使其上升邊緣與資料A及資料C之左邊緣對準。類似地，Tx DQS_c 434已使其上升邊緣與資料B及資料D之左邊緣對準。圖式400用多個不同線來表示時脈Tx DQS_t 432及Tx 434之下降邊緣。該等多個不同線表示不同工作週期設定，且因此表示時脈之下降邊緣的調變。出於清晰之目的，在圖式400中，時脈信號以實線展示為具有最小工作週期，且額外線為虛線以表示一次使用一個工作週期設定，且額外工作週期設定係

用於其他測試反覆。

[0056] 將觀察到，Rx DQS_t 452及Rx DQS_c 454分別為Tx DQS_t 432及Tx DQS_c 434之反相版本。因而，Rx DQS_t 452及Rx 454使其上升邊緣調變，且具有固定的下降邊緣。亦將觀察到，儘管Tx時脈之上升邊緣與其各別資料位元之左邊對準，但Rx時脈之經調變上升邊緣更接近地與資料位元之右邊緣(保持側)對準。因此，Rx DQS_t 452具有靠近資料A及資料C之右邊緣的上升邊緣，且歸因於反轉，Rx 454具有靠近資料B及資料D之右邊緣的上升邊緣。

[0057] 在一個實施例中，與圖式400相關聯之系統將在時脈信號的最低值處起始時脈信號之工作週期且在各種測試反覆中使工作週期增加。相對應地，反相時脈首先取樣用於Rx DQ 440之保持時間界限。工作週期應在確保滿足資料之設置時間的點處開始。使工作週期增加將Rx DQS時脈之上升邊緣更靠近資料位元之右邊緣推送。將理解，使工作週期增加及使時脈反相可提供眼量測中之較好解析度及精度。若系統嘗試將工作週期減小至足夠小脈衝以達成所要求的眼量測解析度，則此可由於變得太小而在高速I/O設定中不可靠而實際上負面地影響解析度。相比之下，使工作週期增加及使信號反相產生更精確之量測信號。

[0058] 在一個實施例中，測試系統針對每一工作週期設定判定任何I/O埠或信號線處是否存在失敗。若接收之資料匹配預期資料，則測試系統可使工作週期增加，再次執行測試。在一個實施例中，測試係對信號群組執行，其中信

號線之群組共享共同時脈或選通信號。舉例而言，在WIO2中，16個DQ線共享一對互補DQS選通。在此情形中，測試系統可經組配以指示測試失敗，即使該等16個DQ信號線中僅一者未通過比較。此方法可被稱作首次失敗，其中任何信號線之任何失敗(群組中之任何信號線或裝置中之任一者)對於特定眼寬度設定不合格。測試系統可記錄先前通過反覆中之工作週期設定以用於界限計算。將理解，所描述之測試並不僅量測保持時間，而是可量測【資料選通偏斜、時脈及資料抖動、符號間干擾(ISI)(若在通道上出現)、傳輸器驅動器之同時切換輸出(SSO)雜訊以及存在於晶粒上電路中及/或通道中的各種失配及非線性的組合影響。參考保持時間界限可為指示眼之右側上之界限的代理。

[0059] 圖5為利用以工作週期為基礎之界限測試設置時間之一實施例的時序圖表示。圖500可為根據系統100及/或系統200的用於信號之時序之一個實例。圖式500說明相對時序，其未必按比例展示，而是出於描述之目的。傳輸資料及接收資料經展示為半時脈週期的，其中重疊互補之時脈信號的前邊緣被用以觸發不同的資料位元信號。在一個實施例中，圖式500為圖4之圖式400之擴展，且在稍後使用較大工作循環時可為同一圖式。

[0060] 在一個實施例中，針對隨後資料位元(例如，測試資料A之右邊緣之後的資料B)，參看圖式400所描述的反相之經調變時脈信號可自測試保持時間界限轉變至測試設置時間界限。如上所述，在一個實施例中，眼之右邊緣可

用首次失敗方法來搜尋。將理解，在偵測首次失敗之後繼續使工作週期增加將導致全部失敗，或所有信號線暫存失敗以恰當地接收測試資料。繼續使工作週期增加可接著引起針對資料B之設置時間的首次失敗。測試系統可繼續使工作週期增加，直至所有信號線指示通過反覆(意謂所有信號線恰當地接收測試資料)。如同圖式400，圖式500中的時脈之上升邊緣將理解為觸發邊緣。

[0061]如所說明，圖式500展示不同時序信號及其互補。系統時鐘信號經說明為時脈信號512 (Clk_t)及其互補信號514 (Clk_c)。時脈信號差分對(512、514)可為由測試系統使用以將資料發送至受測裝置之時脈。時脈信號可被稱作外部參考時脈，係指相對於受測裝置在外部。存在時脈信號(512、514)與傳輸資料(Tx DQ) 520之間的傳播延遲，以及時脈信號與接收資料(Rx DQ) 540之間的傳播延遲。Tx DQ 520係與傳輸時脈差分對信號532 (Tx DQS_t)及534 (Tx DQS_c)邊緣對準。將觀察到，信號532及534基本上為外部參考時脈512及514之重複。

[0062]在圖式500中，Tx DQS_t 532已使其上升邊緣與資料A及資料C之左邊緣對準。類似地，Tx DQS_c 534已使其上升邊緣與資料B及資料D之左邊緣對準。Tx DQS_t 532及Tx DQS_c 534係藉由調整時脈信號之工作週期來調變。Rx DQS_t 552及Rx DQS_c 554分別為Tx DQS_t 532及Tx DQS_c 534之反相版本，且具有經調變上升邊緣。亦將觀察到，圖式500中的Rx時脈之上升邊緣與資料位元之左邊緣對

準，但偏移一個位元。因此，為恰當地擷取並比較右資料位元，測試系統可將延遲引入至測試邏輯中以考慮由工作週期變化引起之移位。如所說明，Rx DQS_t 552具有靠近資料B之左邊緣的上升邊緣，且Rx DQS_c 554具有靠近資料C之左邊緣的上升邊緣。

[0063] 在一個實施例中，與圖式500相關聯之系統將在各種測試反覆中使時脈之工作週期增加。相對應地，反相時脈將繼續向右移位。因而，首先預期Rx時脈記錄全部失敗條件，其中對於所有信號線，設置時間參數被違反。最後，在測試之多個反覆中，吾人預期設置時間參數對於所有信號線將得到滿足(全部通過條件)。

[0064] 因此，圖式500可為用於設置時間或左側眼界限驗證之時序搜尋的一個實例。在一個實施例中，使用資料A之保持時間驗證的失敗點(例如，如圖式400中所示)作為用於資料B之設置時間界限驗證的起點。系統可記錄導致全部通過條件之工作週期以識別眼之左邊緣。儘管未必藉由圖式400及500來說明，但已發現增加工作週期以測試保持時間違規且接著測試設置時間違規之情況下所描述的測試可減小需要利用的工作週期之範圍。此測試程序並不需要取樣整個資料位元以偵測關於資料位元之設置時間至同一資料位元之保持時間。實情為，系統可僅量測一個資料位元之右有效邊緣至隨後資料位元之左有效邊緣之間的介穩定窗口的恰好之前至恰好之後。

[0065] 圖6為用於間接I/O介面測試之一程序之一實施

例的流程圖。測試系統一次對一或多個裝置執行程序600以用於I/O測試，從而測試裝置I/O介面之信號線。製造商製造裝置(602)，且對裝置執行I/O介面測試(604)。I/O介面測試可僅為製造商執行之多個測試中之一者。

[0066] 在一個實施例中，測試系統進入測試模式且觸發受測裝置進入測試模式(606)。進入測試模式可包括重設用以在測試期間追蹤通過/失敗資訊之測試計數器。測試系統產生測試信號以施加至受測裝置之信號線(608)。測試信號可為意欲測試I/O介面之I/O緩衝器/信號線之功能的一或多個資料字或位元序列。

[0067] 在一個實施例中，測試系統設定用於特定測試反覆之I/O時序參數(610)。測試系統產生用於特定時序設定之選通信號以作為用於所產生之測試信號之測試資料的時脈(612)。在一個實施例中，測試系統針對差分信號產生選通信號(例如，資料選通)及其互補。測試系統藉由調整選通信號之工作週期來調變選通信號的後邊緣(614)。在一個實施例中，設定I/O時序參數與設定用於選通信號之調變相同。測試系統使經調變選通信號反相以產生反相及非反相選通信號(616)。在一個實施例中，測試系統產生差分非反相選通信號及差分反相選通信號。在一個實施例中，測試控制器產生反相選通信號且將該反相選通信號發送至受測裝置。在一個實施例中，受測裝置自非反相選通信號產生反相選通信號。在一個實施例中，選通信號經施加至受測裝置中之邏輯裝置之反相時脈輸入。

[0068] 在一個實施例中，測試系統針對每一工作週期設定執行多個測試反覆且循環通過多個測試循環。測試系統提供測試信號，每一受測裝置將該測試信號分佈至I/O介面之一或多個信號群組以施加至介面之信號線(618)。測試系統亦發送供受測裝置使用之一或多個選通信號。選通信號允許受測裝置針對經由I/O介面接收之測試資料產生通過/失敗資訊以使測試系統能夠判定有效I/O眼寬度。

[0069] 在一個實施例中，測試包括I/O回送測試。在此實施例中，每一信號線施加非反相選通信號以將測試資料寫入至介面(620)，且施加反相選通信號以自介面讀取測試資料(622)。每一信號線使用錯誤偵測來針對每一I/O緩衝器判定信號位元或信號循環是否正確地接收或是否存在I/O錯誤(624)。在一個實施例中，測試系統累積通過/失敗資訊，以便判定全部通過條件或首次失敗條件。在反覆結束時，測試系統將應用不同測試設定以將不同工作週期應用於選通信號。測試在已應用所有測試設定時完成。因此，若已達到測試之最後反覆(626的否分支)，則測試系統退出測試模式且觸發受測裝置退出測試模式。測試系統可接著根據由受測裝置提供之通過/失敗資訊判定測試結果。若有更多設定要應用(626的是分支)，則測試系統設定新的I/O時序參數且執行另一測試反覆(610)。

[0070] 圖7為其中可實施以工作週期為基礎之界限的計算系統之一實施例的方塊圖。系統700表示根據本文中所描述之任何實施例的計算裝置，且可為膝上型電腦、桌上型

電腦、伺服器、遊戲或娛樂控制系統、掃描儀、影印機、印表機、路線選擇或切換裝置，或其他電子裝置。系統700包括處理器720，處理器提供用於系統700之指令的處理、操作管理及執行。處理器720可包括任何類型之微處理器、中央處理單元(CPU)、處理核心或其他處理硬體以提供用於系統700之處理。處理器720控制系統700之整體操作，且可為或包括一或多個可規劃通用或專用微處理器、數位信號處理器(DSP)、可規劃控制器、特殊應用積體電路(ASIC)、可規劃邏輯裝置(PLD)或類似者，或此等裝置之組合。

[0071] 記憶體子系統730表示系統700主記憶體，且對於待由處理器720執行之程式碼或待在執行常式時使用之資料值提供暫時儲存。記憶體子系統730可包括一或多個記憶體裝置，諸如唯讀記憶體(ROM)、快閃記憶體、一或多個種類之隨機存取記憶體(RAM)，或其他記憶體裝置，或此等裝置之組合。記憶體子系統730儲存及代管作業系統(OS) 736，以對於系統700中之指令的執行提供軟體平台。另外，其他指令738自記憶體子系統730儲存及執行，以提供邏輯及系統700之處理。OS 736及指令738係由處理器720執行。記憶體子系統730包括記憶體裝置732，其中記憶體裝置732儲存資料、指令、程式或其他項目。在一個實施例中，記憶體子系統包括記憶體控制器734，其為用以產生及發出命令至記憶體裝置732之記憶體控制器。將理解，記憶體控制器734可為處理器720之實體部分。

[0072] 處理器720及記憶體子系統730耦接至匯流排/匯

流排系統710。匯流排710為表示任何一或多個單獨實體匯流排、通信線/介面及/或點對點連接之抽象概念，實體匯流排、通信線/介面及/或點對點連接係藉由適當橋接器、配接器及/或控制器連接。因此，匯流排710可包括(例如)系統匯流排、周邊組件互連(PCI)匯流排、超傳輸或工業標準架構(ISA)匯流排、小型電腦系統介面(SCSI)匯流排、通用串列匯流排(USB)或電氣電子工程師學會(IEEE)標準1394匯流排(通常被稱為「火線」)中之一或多者。匯流排710之匯流排亦可對應於網路介面750中之介面。

[0073] 系統700亦包括耦接至匯流排710的一或多個I/O(輸入/輸出)介面740、網路介面750、一或多個內部大容量儲存裝置760及周邊介面770。I/O介面740可包括使用者藉以與系統700互動之一或多個介面組件(例如，視訊、音訊，及/或文數字介接)。網路介面750為系統700提供經由一或多個網路與遠端裝置(例如，伺服器、其他計算裝置)通訊之能力。網路介面750可包括乙太網路配接器、無線互連組件、USB(通用串列匯流排)，或其他基於有線或無線標準或專屬介面。

[0074] 儲存器760可為或包括用於以非依電性方式儲存大量資料之任何習知媒體，諸如一或多個磁性、固態或基於光學之磁碟，或組合。儲存器760以持久性狀態保留程式碼或指令及資料762(亦即，值不管對系統700之電力的中斷而保持)。儲存器760可一般被視為「記憶體」，儘管記憶體730為執行或操作記憶體以將指令提供至處理器720。儘管

儲存器760係非依電性的，但記憶體730可包括依電性記憶體(亦即，資料之值或狀態在電力對系統700中斷之情況下係不確定的)。

[0075] 周邊介面770可包括上文未特定提及之任何硬體介面。周邊設備通常係指相依性地連接至系統700之裝置。相依性連接為系統700提供操作所執行於之軟體及/或硬體平台且使用者藉以互動的連接。

[0076] 在一個實施例中，系統700之一或多個電路組件包括I/O介面，該等介面從功能上利用以工作週期為基礎之界限測試以判定恰當I/O眼寬度。在一個實施例中，系統700之元件包括於SOC或與其他晶片平行地測試之多晶片封裝中。在一個實施例中，該等組件藉由一測試系統來測試，該測試系統於在非反相選通或時脈信號上觸發傳輸操作同時產生一反相的經調變選通或時脈信號以觸發接收操作。藉由調整選通信號之工作週期，選通信號的後邊緣相對於選通信號的前邊緣經調整(觸發邊緣)。藉由使工作週期經調整之選通信號反相，測試產生反相選通信號，其中前邊緣(觸發邊緣)藉由工作週期之變化調變至選通信號的後邊緣。經調變觸發邊緣可提供更精確之測試信號。在一個實施例中，介面測試包括在信號群組中測試I/O介面，其中每一信號群組累積通過/失敗資訊以發送至測試系統(未圖示)。

[0077] 圖8為其中可實施以工作週期為基礎之界限的行動裝置之一實施例的方塊圖。裝置800表示行動計算裝置，

諸如計算平板、行動電話或智慧型電話、具備無線功能之閱讀器、可穿戴計算裝置或其他行動裝置。應理解，通常展示組件中之某些組件，且並非此裝置之所有組件皆展示於裝置800中。

[0078] 裝置800包括處理器810，該處理器執行裝置800之主要處理操作。處理器810可包括一或多個實體裝置，諸如微處理器、應用程式處理器、微控制器、可規劃邏輯裝置或其他處理構件。藉由處理器810執行之處理操作包括執行應用程式及/或裝置功能之操作平台或作業系統的執行。處理操作包括有關於與人類使用者或與其他裝置之I/O(輸入/輸出)的操作、有關於電力管理的操作，及/或有關於將裝置800連接至另一裝置的操作。處理操作亦可包括有關於音訊I/O及/或顯示器I/O的操作。

[0079] 在一個實施例中，裝置800包括音訊子系統820，該音訊子系統表示與將音訊功能提供至計算裝置相關聯的硬體(例如，音訊硬體及音訊電路)及軟體(例如，驅動程式、編解碼器)組件。音訊功能可包括揚聲器及/或頭戴式耳機輸出，以及麥克風輸入。用於此等功能之裝置可整合至裝置800中，或連接至裝置800。在一個實施例中，使用者藉由提供由處理器810接收及處理之音訊命令而與裝置800互動。

[0080] 顯示子系統830表示提供視覺及/或觸覺顯示以供使用者與計算裝置互動之硬體(例如，顯示裝置)及軟體(例如，驅動程式)組件。顯示子系統830可包括顯示介面

832，該顯示介面可包括用以將顯示提供至使用者之特定螢幕或硬體裝置。在一個實施例中，顯示介面832包括與處理器810分離以執行關於顯示之至少某一處理的邏輯。在一個實施例中，顯示子系統830包括將輸出及輸入兩者提供至使用者之觸控式螢幕裝置。

[0081] I/O控制器840表示有關於與使用者之互動的硬體裝置及軟體組件。I/O控制器840可操作以管理作為音訊子系統820及/或顯示子系統830之部分的硬體。另外，I/O控制器840說明用於連接至裝置800之額外裝置的連接點，使用者可經由該連接點與系統互動。舉例而言，可附接至裝置800之裝置可包括麥克風裝置、揚聲器或立體聲系統、視訊系統或其他顯示裝置、鍵盤或小鍵盤裝置，或供諸如卡讀取器之特定應用程式或其他裝置使用的其他I/O裝置。

[0082] 如上文所提及，I/O控制器840可與音訊子系統820及/或顯示子系統830互動。舉例而言，經由麥克風或其他音訊裝置之輸入可提供用於裝置800之一或多個應用程式或功能的輸入或命令。另外，音訊輸出可替代顯示輸出或除顯示輸出之外而提供。在另一實例中，若顯示子系統包括觸控式螢幕，則顯示裝置亦充當輸入裝置，其可至少部分地藉由I/O控制器840管理。在裝置800上亦可存在額外按鈕或開關，以提供藉由I/O控制器840管理之I/O功能。

[0083] 在一個實施例中，I/O控制器840管理裝置，諸如加速度計、相機、光感測器或其他環境感測器、陀螺儀、全球定位系統(GPS)，或可包括於裝置800中之其他硬體。

輸入可為直接使用者互動之部分，以及將環境輸入提供至系統以影響系統之操作(諸如，對雜訊濾波、針對亮度偵測調整顯示、將閃光燈應用於相機，或其他特徵)。在一個實施例中，裝置800包括管理電池電力使用、電池充電及有關於電力節約操作之特徵的電力管理850。

[0084] 記憶體子系統860包括用於將資訊儲存於裝置800中之記憶體裝置862。記憶體子系統860可包括非依電性(狀態在對記憶體裝置之電力中斷之情況下並不改變)及/或依電性(狀態在對記憶體裝置之電力中斷的情況下係不確定的)記憶體裝置。記憶體860可儲存應用程式資料、使用者資料、音樂、照片、文件或其他資料，以及有關於系統800之應用程式及功能之執行的系統資料(不論係長期的抑或暫時的)。在一個實施例中，記憶體子系統860包括記憶體控制器864 (其亦可被視為系統800之控制的部分，且可能被視為處理器810之部分)。記憶體控制器864包括一排程器以產生命令及發出命令至記憶體裝置862。

[0085] 連接性870包括硬體裝置(例如，無線及/或有線連接器及通訊硬體)及軟體組件(例如，驅動程式、協定堆疊)以使得裝置800能夠與外部裝置通訊。外部裝置可為單獨裝置，諸如其他計算裝置、無線存取點或基地台，以及諸如耳機、印表機或其他裝置之周邊設備。

[0086] 連接性870可包括多個不同類型之連接性。概括而言，裝置800經說明為具有蜂巢式連接性872及無線連接性874。蜂巢式連接性872一般係指由無線載體提供之蜂巢

式網路連接性，諸如經由GSM(全球行動通訊系統)或變化或導出項、CDMA(分碼多重存取)或變化或導出項、TDM(分時多工)或變化或導出項、LTE(長期演進，亦被稱作「4G」)或其他蜂巢式服務標準所提供的。無線連接性874係指並非蜂巢式之無線連接性，且可包括個人區域網路(諸如，藍芽)、區域網路(諸如，WiFi)，及/或廣域網路(諸如，WiMax)，或其他無線通訊。無線通訊係指資料經由使用經調變電磁輻射經由非固態媒體的傳送。有線通訊經由固態通訊媒體發生。

[0087] 周邊連接880包括硬體介面及連接器，以及軟體組件(例如，驅動程式、協定堆疊)以進行周邊連接。應理解，裝置800可既為對其他計算裝置之周邊裝置(「至」882)，又具有連接至裝置800之周邊裝置(「自」884)。裝置800通常具有「對接」連接器，以出於諸如管理(例如，下載及/或上載、改變、同步)裝置800上之內容的目的而連接至其他計算裝置。另外，對接連接器可允許裝置800連接至允許裝置800控制(例如)至視聽或其他系統之內容輸出的某些周邊設備。

[0088] 除專屬對接連接器或其他專屬連接硬體外，裝置800亦可經由常用或以標準為基礎之連接器來進行周邊連接880。常用類型可包括通用串列匯流排(USB)連接器(其可包括數個不同硬體介面中之任一者)、包括MiniDisplayPort(MDP)之DisplayPort、高清晰度多媒體介面(HDMI)、火線，或其他類型。

[0089] 在一個實施例中，系統800之一或多個電路組件包括I/O介面，該等介面從功能上利用以工作週期為基礎之界限測試以判定恰當I/O眼寬度。在一個實施例中，系統800之元件包括於SOC或與其他晶片平行地測試之多晶片封裝中。在一個實施例中，該等組件藉由一測試系統來測試，該測試系統於在非反相選通或時脈信號上觸發傳輸操作同時產生一反相的經調變選通或時脈信號以觸發接收操作。藉由調整選通信號之工作週期，選通信號的後邊緣相對於選通信號的前邊緣經調整(觸發邊緣)。藉由使工作週期經調整之選通信號反相，測試產生反相選通信號，其中前邊緣(觸發邊緣)藉由工作週期之變化調變至選通信號的後邊緣。經調變觸發邊緣可提供更精確之測試信號。在一個實施例中，介面測試包括在信號群組中測試I/O介面，其中每一信號群組累積通過/失敗資訊以發送至測試系統(未圖示)。

[0090] 在一個態樣中，一種用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之方法包括：產生一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣；藉由調整該選通信號之一工作週期來調變該選通信號之該後邊緣；利用該經調變後邊緣使該選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；在該選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料傳輸；以及在該反相選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料接收。

[0091] 在一個實施例中，產生進一步包含產生一差分選通信號以用於一雙資料速率裝置，且其中調變該選通信號之該後邊緣進一步包含調變該選通信號及其互補之該後邊緣，且其中使該選通信號反相進一步包含產生一反相互補選通信號。在一個實施例中，調變該選通信號之該後邊緣包含調整該選通信號之一工作週期以調整測試資料傳輸與測試資料接收之間的一偏斜從而調整一I/O眼寬度。在一個實施例中，調整該工作週期包含減小該工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一保持時間參數。在一個實施例中，調整該工作週期包含增加該工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一設置時間參數。在一個實施例中，該方法進一步包含使資料擷取偏移一延遲以測試該設置時間參數。在一個實施例中，調整該工作週期包含調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣。在一個實施例中，調整該工作週期包含調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。

[0092] 在一個態樣中，一種具有待測試之一I/O(輸入/輸出)介面之電路裝置包括：各自介接至該I/O介面之一硬體I/O緩衝器的多個信號線，其中該等信號線中之每一者用以接收自一測試源分佈至該等多個信號線之一測試資料信號的位元；至作為用於該測試資料信號之一時脈信號之一選通信號之一硬體介面，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通

信號之一後邊緣之一工作週期；以及用以偵測由違反一時序參數之一I/O眼寬度引起之I/O錯誤的錯誤偵測邏輯，包括比較一預期資料位元與基於該選通信號之該觸發邊緣而寫入至該I/O緩衝器及基於具有一經調變觸發邊緣之一反相選通信號而自該I/O緩衝器讀取之一資料位元，其中該反相選通信號為該接收之選通信號之一反相版本。

[0093] 在一個實施例中，該選通信號包含用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號，且其中該選通信號之該經調變後邊緣進一步包含該選通信號及其互補之一後邊緣。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以偵測由在寫入觸發與讀取觸發之間具有一選定偏斜以設定一I/O眼寬度之一反相選通信號引起的I/O錯誤。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以基於來自具有一減小之工作週期之一選通信號的該反相選通信號對一保持時間參數違規進行測試，或基於來自具有一增加之工作週期之一選通信號的該反相選通信號對一設置時間參數違規進行測試。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以進一步使資料擷取偏移一延遲以測試該設置時間參數。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。

[0094] 在一個態樣中，一種具有待測試之一硬體I/O(輸入/輸出)介面之系統包括：用以產生一測試資料序列之一測試源；一半導體晶圓，其具有在該晶圓中處理之多個相異

電路晶粒，每一電路晶粒包括：各自介接至該I/O介面之一硬體I/O緩衝器的多個信號線，其中該等信號線中之每一者用以接收自一測試源分佈至該等多個信號線之一測試資料信號的位元；至作為用於該測試資料信號之一時脈信號之一選通信號的一硬體介面，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號之一後邊緣之一工作週期；以及用以偵測由違反一時序參數之一I/O眼寬度引起之I/O錯誤的錯誤偵測邏輯，包括比較一預期資料位元與基於該選通信號之該觸發邊緣而寫入至該I/O緩衝器及基於具有一經調變觸發邊緣之一反相選通信號而自該I/O緩衝器讀取之一資料位元，其中該反相選通信號為該接收之選通信號之一反相版本；其中該測試資料序列經分佈至該半導體晶圓上之多個電路晶粒上之信號線群組以同時地間接測試該等多個電路晶粒之I/O介面。

[0095] 在一個實施例中，該選通信號包含用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號，且其中該選通信號之該經調變後邊緣進一步包含該選通信號及其互補之一後邊緣。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以偵測由在寫入觸發與讀取觸發之間具有一選定偏斜以設定一I/O眼寬度之一反相選通信號引起的I/O錯誤。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以基於來自具有一減小之工作週期之一選通信號的該反相選通信號對一保持時間參數違規進行測試，或基於來自具有一增加之工作週期之一選通信號的該反相選通信

號對一設置時間參數違規進行測試。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以進一步使資料擷取偏移一延遲以測試該設置時間參數。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣。在一個實施例中，該錯誤偵測邏輯用以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。

[0096] 在一個態樣中，一種製品包含上面儲存有內容之一電腦可讀儲存媒體，該內容在執行時執行用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之操作，該等操作包括：產生一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣；藉由調整該選通信號之一工作週期來調變該選通信號之該後邊緣；利用該經調變後邊緣使該選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；在該選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料傳輸；以及在該反相選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料接收。

[0097] 在一個實施例中，用於產生之該內容進一步包含用於產生用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號之內容，且其中用於調變該選通信號之該後邊緣之該內容進一步包含用於調變該選通信號及其互補之該後邊緣之內容，且其中用於使該選通信號反相之該內容進一步包含用於產生一反相互補選通信號之內容。在一個實施例中，用於調變該選通信號之該後邊緣之該內容包含用於調整該選通信號之一工作週期以調整測試資料傳輸與測試資料接收之間

的一偏斜從而調整一I/O眼寬度之內容。在一個實施例中，用於調整該工作週期之該內容包含用於減小該工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一保持時間參數之內容。在一個實施例中，用於調整該工作週期之該內容包含用於增加該工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一設置時間參數之內容。在一個實施例中，進一步包含用於使資料擷取偏移一延遲以測試該設置時間參數之內容。在一個實施例中，用於調整該工作週期之該內容包含用於調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣之內容。在一個實施例中，用於調整該工作週期之該內容包含用於調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣之內容。

[0098] 在一個態樣中，一種用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之設備包括：用於產生一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號的構件，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣；用於藉由調整該選通信號之一工作週期來調變該選通信號之該後邊緣的構件；用於利用該經調變後邊緣使該選通信號反相以產生一反相選通信號的構件，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；用於在該選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料傳輸的構件；以及用於在該反相選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料接收的構件。

[0099] 在一個實施例中，用於產生的該構件進一步包含用於產生用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號的構

件，且其中用於調變該選通信號之該後邊緣的該構件進一步包含用於調變該選通信號及其互補之該後邊緣的構件，且其中用於使該選通信號反相的該構件進一步包含用於產生一反相互補選通信號的構件。在一個實施例中，用於調變該選通信號之該後邊緣的該構件包含用於調整該選通信號之一工作週期以調整測試資料傳輸與測試資料接收之間的一偏斜從而調整一I/O眼寬度的構件。在一個實施例中，用於調整該工作週期的該構件包含用於減小該工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一保持時間參數的構件。在一個實施例中，用於調整該工作週期的該構件包含用於增加該工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一設置時間參數的構件。在一個實施例中，進一步包含用於使資料擷取偏移一延遲以測試該設置時間參數的構件。在一個實施例中，用於調整該工作週期的該構件包含用於調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣的構件。在一個實施例中，用於調整該工作週期的該構件包含用於調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣的構件。

[0100] 在一個態樣中，一種用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之方法包括：在來自一測試系統之一受測裝置處，接收一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號之一後邊緣之一工作週期；使該接收之選通信號反相以產生一反

相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；回應於該選通信號之該觸發邊緣寫入該測試資料；以及回應於該反相選通信號之該觸發邊緣讀取該寫入測試資料。

[0101] 在一個實施例中，該接收進一步包含接收用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號，且其中使該選通信號反相進一步包含產生一反相互補選通信號。在一個實施例中，使該接收之選通信號反相包含產生在測試資料傳輸與測試資料接收之間具有一選定偏斜以調整一I/O眼寬度之一反相選通信號。在一個實施例中，產生該反相選通信號包含自具有一減小之工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一保持時間參數之一選通信號產生該反相選通信號。在一個實施例中，產生該反相選通信號包含自具有增加之工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一設置時間參數之一選通信號產生該反相選通信號。在一個實施例中，進一步包含藉由在讀取該寫入資料以測試該設置時間參數之前觸發一延遲使資料擷取偏移。在一個實施例中，產生該反相選通信號包含產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣。在一個實施例中，產生該反相選通信號包含產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。

[0102] 在一個態樣中，一種製品包含上面儲存有內容之一電腦可讀儲存媒體，該內容在執行時執行用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之操作，該等操作包括：在來自一測試

系統之一受測裝置處，接收一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號之一後邊緣之一工作週期；使該接收之選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；回應於該選通信號之該觸發邊緣寫入該測試資料；以及回應於該反相選通信號之該觸發邊緣讀取該寫入測試資料。

[0103] 在一個實施例中，用於接收之該內容進一步包含用於接收用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號之內容，且其中用於使該選通信號反相之該內容進一步包含用於產生一反相互補選通信號之內容。在一個實施例中，用於使該接收之選通信號反相之該內容包含用於產生在測試資料傳輸與測試資料接收之間具有一選定偏斜以調整一I/O眼寬度之一反相選通信號之內容。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號之該內容包含用於自具有一減小之工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一保持時間參數之一選通信號產生該反相選通信號之內容。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號之該內容包含用於自具有增加之工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一設置時間參數之一選通信號產生該反相選通信號之內容。在一個實施例中，進一步包含用於藉由在讀取該寫入資料以測試該設置時間參數之前觸發一延遲使資料擷取偏移之內容。在一個實施例中，用於產生該

反相選通信號之該內容包含用於產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣之內容。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號之該內容包含用於產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣之內容。

[0104] 在一個態樣中，一種用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之設備包括：在來自一測試系統之一受測裝置處，接收一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號之一後邊緣之一工作週期；使該接收之選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；回應於該選通信號之該觸發邊緣寫入該測試資料；以及回應於該反相選通信號之該觸發邊緣讀取該寫入測試資料。

[0105] 在一個實施例中，用於接收的該構件進一步包含用於接收用於一雙資料速率裝置之一差分選通信號的構件，且其中用於使該選通信號反相的該構件進一步包含用於產生一反相互補選通信號的構件。在一個實施例中，用於使該接收之選通信號反相的該構件包含用於產生在測試資料傳輸與測試資料接收之間具有一選定偏斜以調整一I/O眼寬度之一反相選通信號的構件。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號的該構件包含用於自具有一減小之工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一

保持時間參數之一選通信號產生該反相選通信號的構件。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號的該構件包含用於自具有增加之工作週期以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不滿足一設置時間參數之一選通信號產生該反相選通信號的構件。在一個實施例中，進一步包含用於藉由在讀取該寫入資料以測試該設置時間參數之前觸發一延遲使資料擷取偏移的構件。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號的該構件包含用於產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣的構件。在一個實施例中，用於產生該反相選通信號的該構件包含用於產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣的構件。

[0106]如本文中所說明的流程圖提供各種程序動作之序列的實例。該等流程圖可指示待由軟體或韌體常式執行之操作，以及實體操作。在一個實施例中，流程圖可說明有限狀態機(FSM)之狀態，有限狀態機可以硬體及/或軟體來實施。儘管用特定順序或次序來展示，但除非另有指定，否則可修改該等動作之次序。因而，所說明實施例應僅被理解為實例，且程序可以不同次序執行，且某些動作可並行執行。另外，一或多個動作可在各種實施例中省略；因此，並非每個實施例中都需要所有動作。其它處理流程係可能的。

[0107]就本文中所描述之各種操作或功能而言，該等操

作或功能可以被描述或被定義為軟體程式碼、指令、組配及/或資料。內容可以直接可執行(「物件」或「可執行文件」形式)、原始程式碼或差值程式碼(「 Δ 」或「修補」程式碼)。本文中所描述之實施例之軟體內容可經由上面儲存有內容之製品提供，或經由操作通訊介面以經由通訊介面發送資料之方法提供。機器可讀儲存媒體可使機器執行所描述之功能或操作，且包括以可機器(例如，計算裝置、電子系統等)可存取之形式儲存資訊之任何機構，諸如可記錄/非可記錄媒體(例如，唯讀記憶體(ROM)、隨機存取記憶體(RAM)、磁碟儲存媒體、光學儲存媒體、快閃記憶體裝置等)。通訊介面包括介接至固線式、無線、光學等媒體中之任一者以傳達至另一裝置的任何機構，諸如記憶體匯流排介面、處理器匯流排介面、網際網路連接、磁碟控制器等。可藉由提供組配參數及/或發送信號以使通訊介面準備好提供描述軟件內容之資料信號來組配通訊介面。可經由發送至通訊介面之一或多個命令或信號來存取通訊介面。

[0108]本文中所描述之各種組件可為用於執行所描述之操作或功能的構件。本文中所描述之每一組件包括軟體、硬體或此等之組合。該等組件可實施為軟體模組、硬體模組、專用硬體(例如，特殊應用硬體、特殊應用積體電路(ASIC)、數位信號處理器(DSP)等)、嵌式樣控制器、固線式電路等。

[0109]除了本文中所描述之內容外，可對本發明的揭示之實施例及實施進行各種修改而不脫離該等實施例及實施

之範疇。因此，本文中之說明及實例應以例示性意義而非限制性意義來解釋。本發明之範疇應藉由參考下文之申請專利範圍單獨地量測。

【符號說明】

100、200、700...系統	270...互斥或閘
110...自動化測試設備(ATE)/ 自動化測試系統	280...群組邏輯
120...控制器	300、400、500...圖式
122...設定	310...系統時鐘信號Clk
124...信號產生器	320...TxClk最短
126...選通	330...RxClk最早
128、134...反相選通	350...TxClk最長
130...受測裝置(DUT)	360...RxClk最遲
132...介面	340...測試資料
136...測試邏輯	412、512...時脈信號Clk _t
202...信號群組	414、514...互補信號Clk _c
210...源型樣產生器	420、520...傳輸資料(Tx DQ)
220...選通產生器	440、540...接收資料(Rx DQ)
230...時脈邏輯(CLK)	432、532...傳輸時脈差分對信號Tx DQS _t
240...I/O緩衝器邏輯/緩衝器	434、534...傳輸時脈差分對信號Tx DQS _c
242、248、262、266...鎖存器	452、552...Rx DQS _t
244、246...放大器	454、554...Rx DQS _c
250...襯墊	600...程序
264...延遲	

710...匯流排/匯流排系統	800...裝置
720、810...處理器	820...音訊子系統
730、860...記憶體子系統	830...顯示子系統
732、862...記憶體裝置	832...顯示介面
734、864...記憶體控制器	840...I/O控制器
736...作業系統(OS)	850...電力管理
738...指令	870...連接性
740...I/O(輸入/輸出)介面	872...蜂巢式連接性
750...網路介面	874...無線連接性
760...內部大容量儲存裝置	880...周邊連接
762...程式碼或指令及資料	882...至
770...周邊介面	884...自

申請專利範圍

1. 一種用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之方法，其包含：

產生一選通信號以作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣；

藉由調整該選通信號之一工作週期來調變該選通信號之該後邊緣；

利用經調變之該後邊緣使該選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；

在該選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料傳輸；以及

在該反相選通信號之該觸發邊緣上觸發測試資料接收。

2. 如請求項1之方法，其中產生進一步包含產生一差分選通信號以用於一雙資料速率裝置，且其中調變該選通信號之該後邊緣進一步包含調變該選通信號及其互補之該後邊緣，且其中使該選通信號反相進一步包含產生一反相互補選通信號。
3. 如請求項1之方法，其中調變該選通信號之該後邊緣包含調整該選通信號之一工作週期以調整測試資料傳輸與測試資料接收之間的一偏斜以調整一I/O眼寬度。
4. 如請求項3之方法，其中調整該工作週期包含減低該工

作週期以致使該反相選通信號使該I/O眼寬度不足一保持時間參數。

5. 如請求項3之方法，其中調整該工作週期包含增加該工作週期以致使該反相選通信號使該I/O眼寬度不足一設置時間參數。
6. 如請求項5之方法，其進一步包含將資料擷取偏移一延遲以測試該設置時間參數。
7. 如請求項3之方法，其中調整該工作週期包含調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣。
8. 如請求項3之方法，其中調整該工作週期包含調整該I/O眼寬度以測試用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。
9. 一種具有一I/O(輸入/輸出)介面之電路裝置，該電路裝置包含：

各自介接至該I/O介面之一硬體I/O緩衝器的多個信號線，其中該等信號線中之每一者係用以接收自一測試源分佈至該等多個信號線之一測試資料信號的位元；

對於作為用於該測試資料信號的一時脈信號之一選通信號的一硬體介面，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號的一後邊緣之一工作週期；以及

用以偵測由違反一時序參數之一I/O眼寬度所引起之I/O錯誤的錯誤偵測邏輯，包括比較一預期資料位元

與基於該選通信號之該觸發邊緣而寫入至該 I/O 緩衝器及基於具有一經調變觸發邊緣之一反相選通信號而自該 I/O 緩衝器讀取之一資料位元，其中該反相選通信號係為經接收之該選通信號的一反相版本。

10. 如請求項 9 之電路裝置，其中該錯誤偵測邏輯係用以偵測由在寫入觸發與讀取觸發之間具有一選定偏斜以設定一 I/O 眼寬度之一反相選通信號所引起的 I/O 錯誤。

11. 如請求項 10 之電路裝置，其中該錯誤偵測邏輯係用以基於來自一具有一減低的工作週期之選通信號的該反相選通信號而對一保持時間參數違規進行測試，或基於來自具有一增加的工作週期之一選通信號的該反相選通信號而對一設置時間參數違規進行測試。

12. 如請求項 10 之電路裝置，其中該錯誤偵測邏輯係用以測試用於一首次失敗條件的該 I/O 眼之一後邊緣及用於一全部通過條件的該 I/O 眼之一前邊緣。

13. 一種具有一 I/O (輸入/輸出) 介面之系統，其包含：

用以產生一測試資料序列之一測試源；

一半導體晶圓，其具有在該晶圓中所處理之多個相異電路晶粒，每一電路晶粒包括：

各自介接至該 I/O 介面之一硬體 I/O 緩衝器的多個信號線，其中該等信號線中之每一者係用以接收自一測試源分佈至該等多個信號線之一測試資料信號的位元；

對於作為用於該測試資料信號的一時脈信號之一

選通信號的一硬體介面，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號的一後邊緣之一工作週期；以及

用以偵測由違反一時序參數之一I/O眼寬度所引起之I/O錯誤的錯誤偵測邏輯，包括比較一預期資料位元與基於該選通信號之該觸發邊緣而寫入至該I/O緩衝器及基於具有一經調變觸發邊緣之一反相選通信號而自該I/O緩衝器讀取之一資料位元，其中該反相選通信號係為經接收之該選通信號的一反相版本；

其中該測試資料序列係經分佈至該半導體晶圓上之多個電路晶粒上的信號線群組以同時地間接測試該等多個電路晶粒之該I/O介面。

14. 如請求項13之系統，其中該錯誤偵測邏輯係用以偵測由在寫入觸發與讀取觸發之間具有一選定偏斜以設定一I/O眼寬度之一反相選通信號所引起的I/O錯誤。
15. 如請求項14之系統，其中該錯誤偵測邏輯係用以基於來自具有一減低的工作週期之一選通信號的該反相選通信號而對一保持時間參數違規進行測試，或基於來自具有一增加的工作週期之一選通信號的該反相選通信號而對一設置時間參數違規進行測試。
16. 如請求項14之系統，其中該錯誤偵測邏輯係用以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣及用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。
17. 一種用於測試一I/O(輸入/輸出)介面之方法，其包含：

在來自一測試系統之一受測裝置處，接收一選通信號作為用以傳輸及接收一測試資料信號之一時脈信號，該選通信號具有觸發一寫入之一觸發邊緣及一後邊緣，該選通信號具有經調整以調變該選通信號之一後邊緣的一工作週期；

使經接收之該選通信號反相以產生一反相選通信號，其中該反相選通信號具有一經調變觸發邊緣；

回應於該選通信號之該觸發邊緣來寫入該測試資料；以及

回應於該反相選通信號之該觸發邊緣來讀取經寫入之該測試資料。

18. 如請求項17之方法，其中使經接收之該選通信號反相包含產生在測試資料傳輸與測試資料接收之間具有一選定偏斜以調整一I/O眼寬度之一反相選通信號。
19. 如請求項18之方法，其中產生該反相選通信號包含自用以致使該反相選通信號使該I/O眼寬度不足一保持時間參數之一具有一減低的工作週期之選通信號或自用以使得該反相選通信號使該I/O眼寬度不足一設置時間參數之一具有增加的工作週期之選通信號來產生該反相選通信號。
20. 如請求項18之方法，其中產生該反相選通信號包含產生該反相選通信號以調整該I/O眼寬度以測試用於一首次失敗條件的該I/O眼之一後邊緣及用於一全部通過條件的該I/O眼之一前邊緣。

圖式

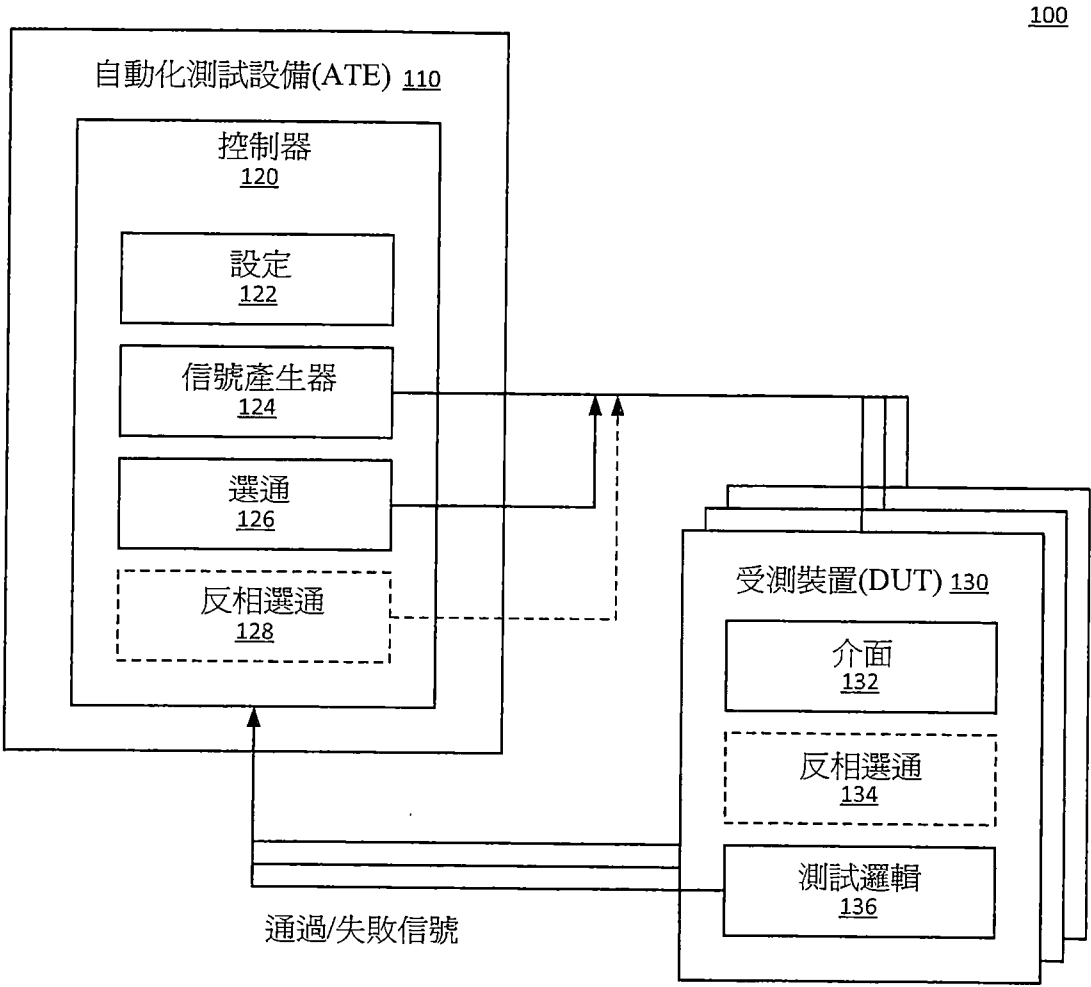


圖1

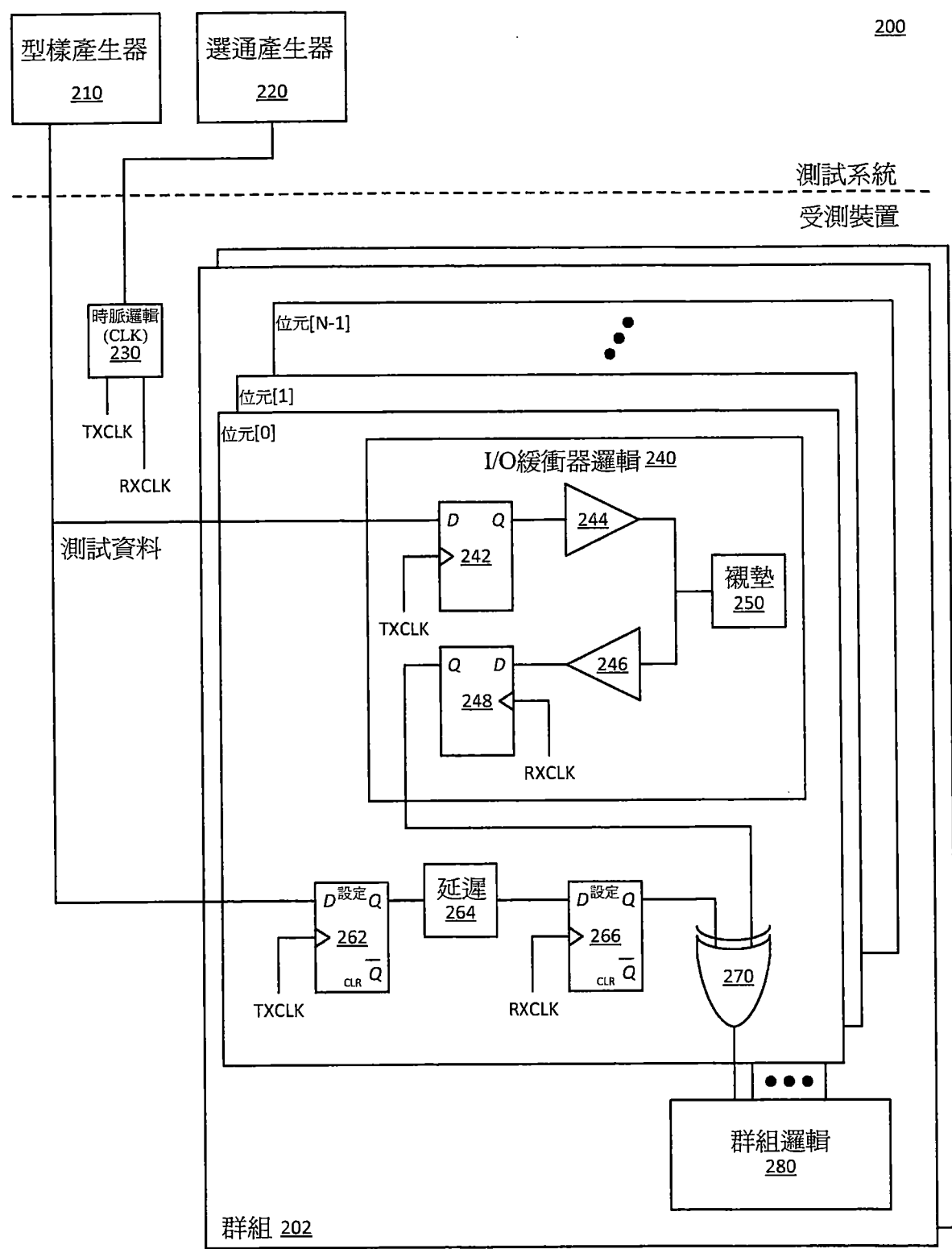


圖2

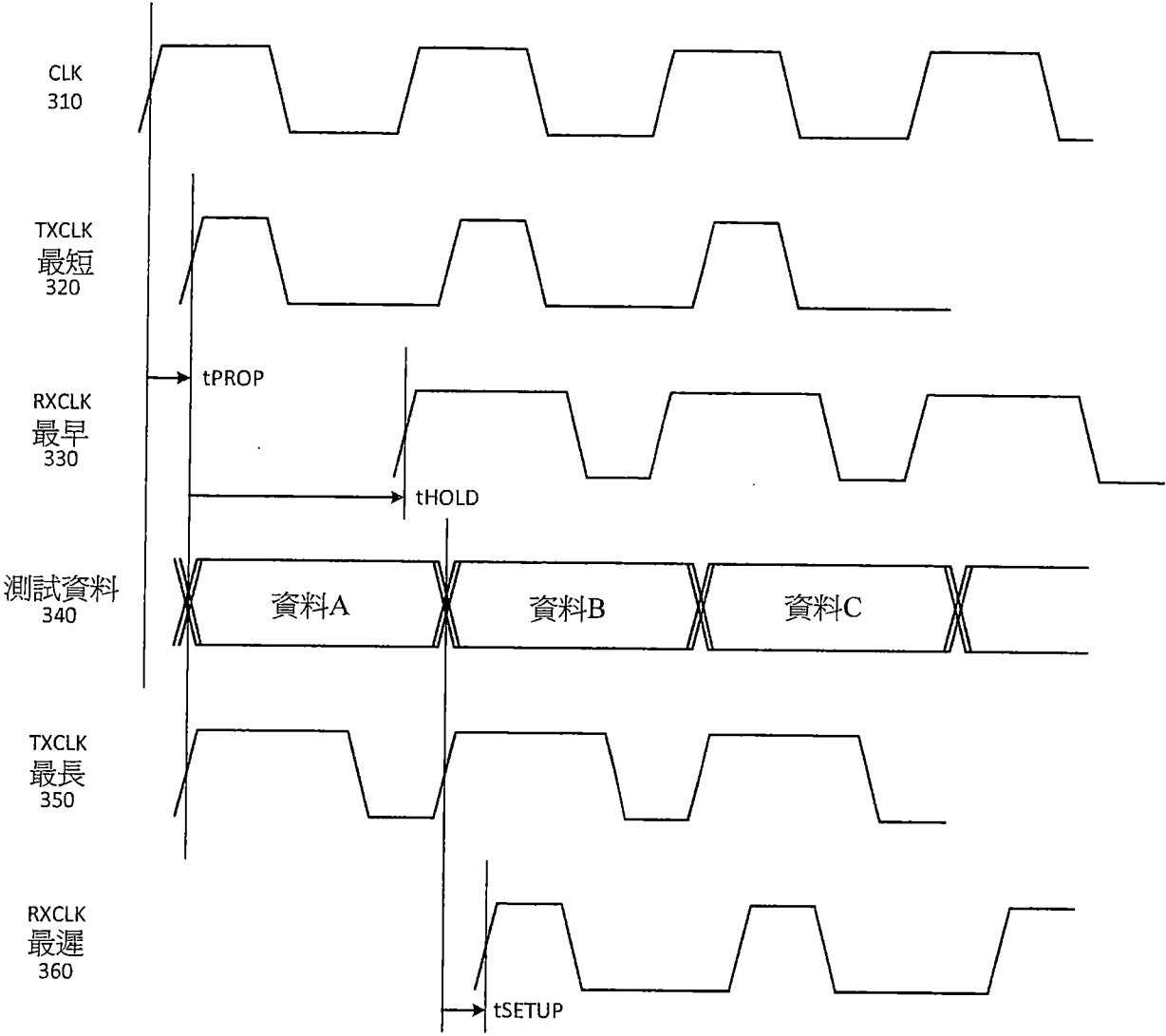


圖3

400

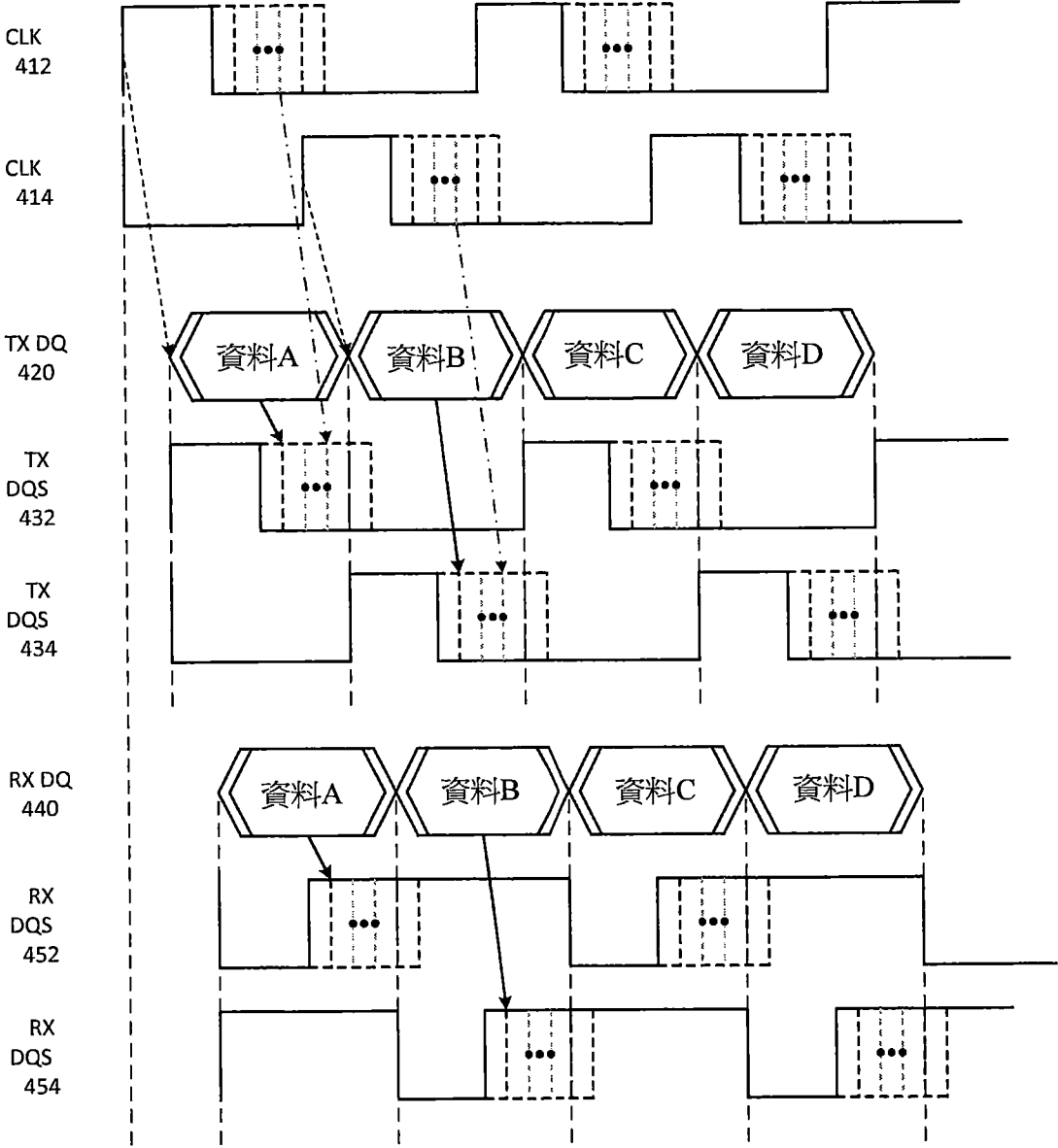


圖4



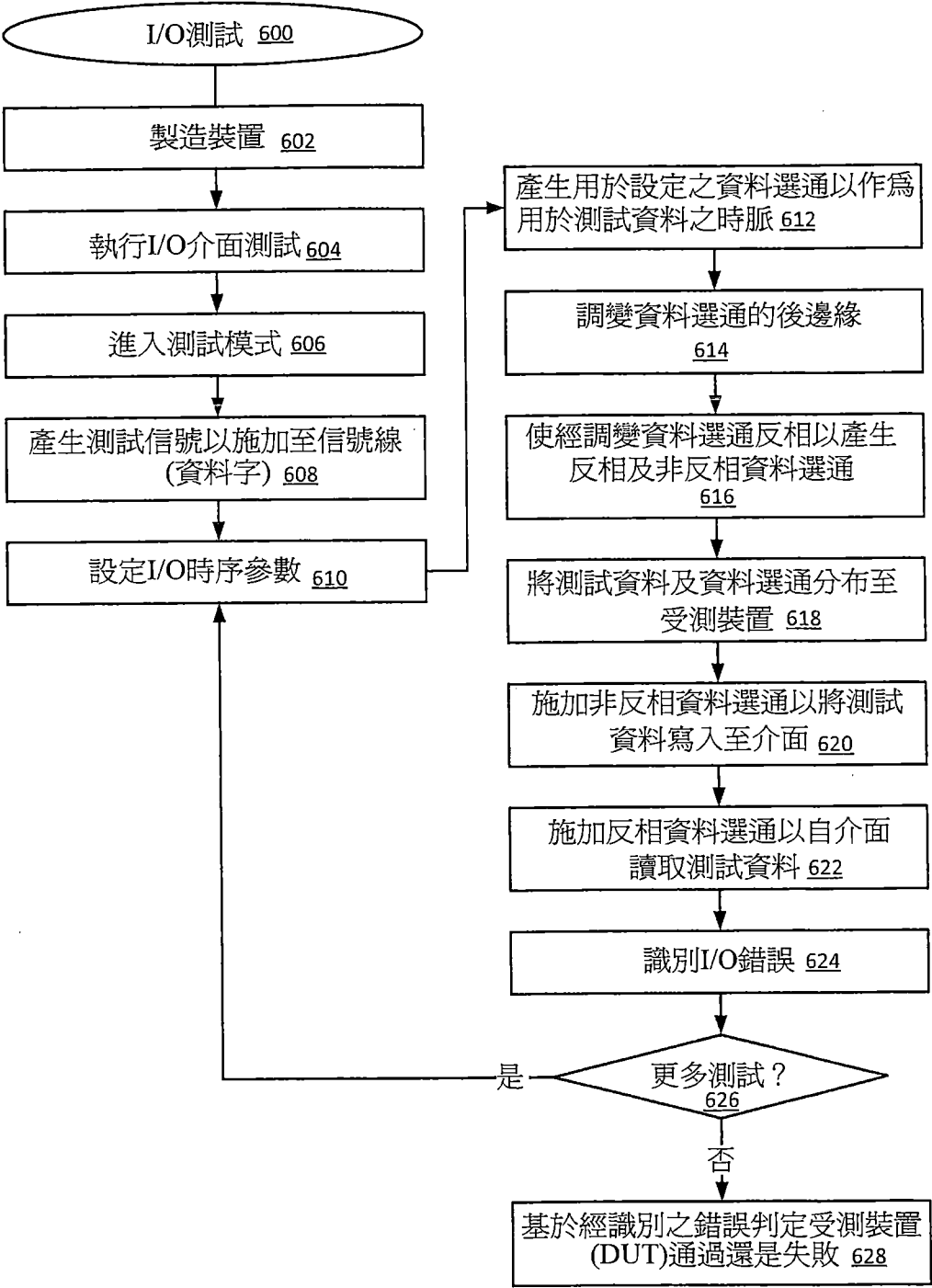


圖6

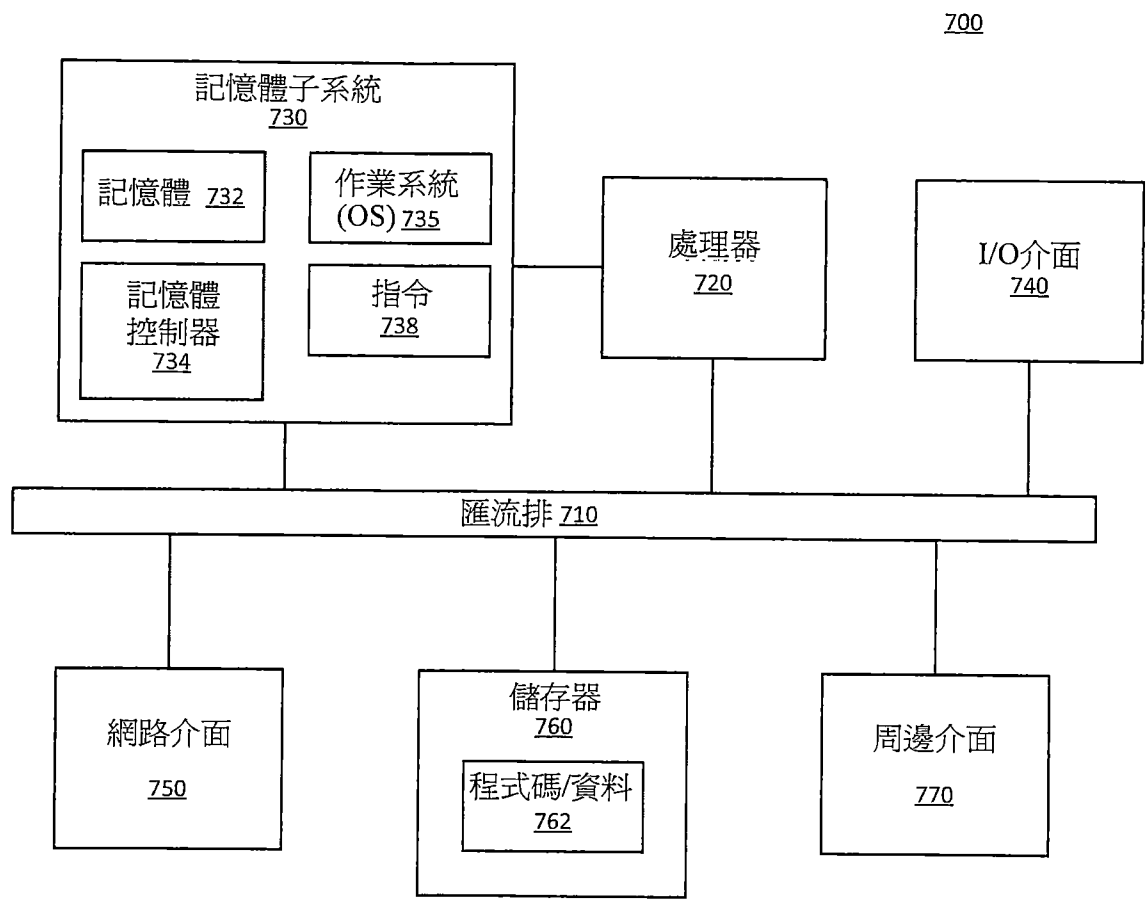


圖7

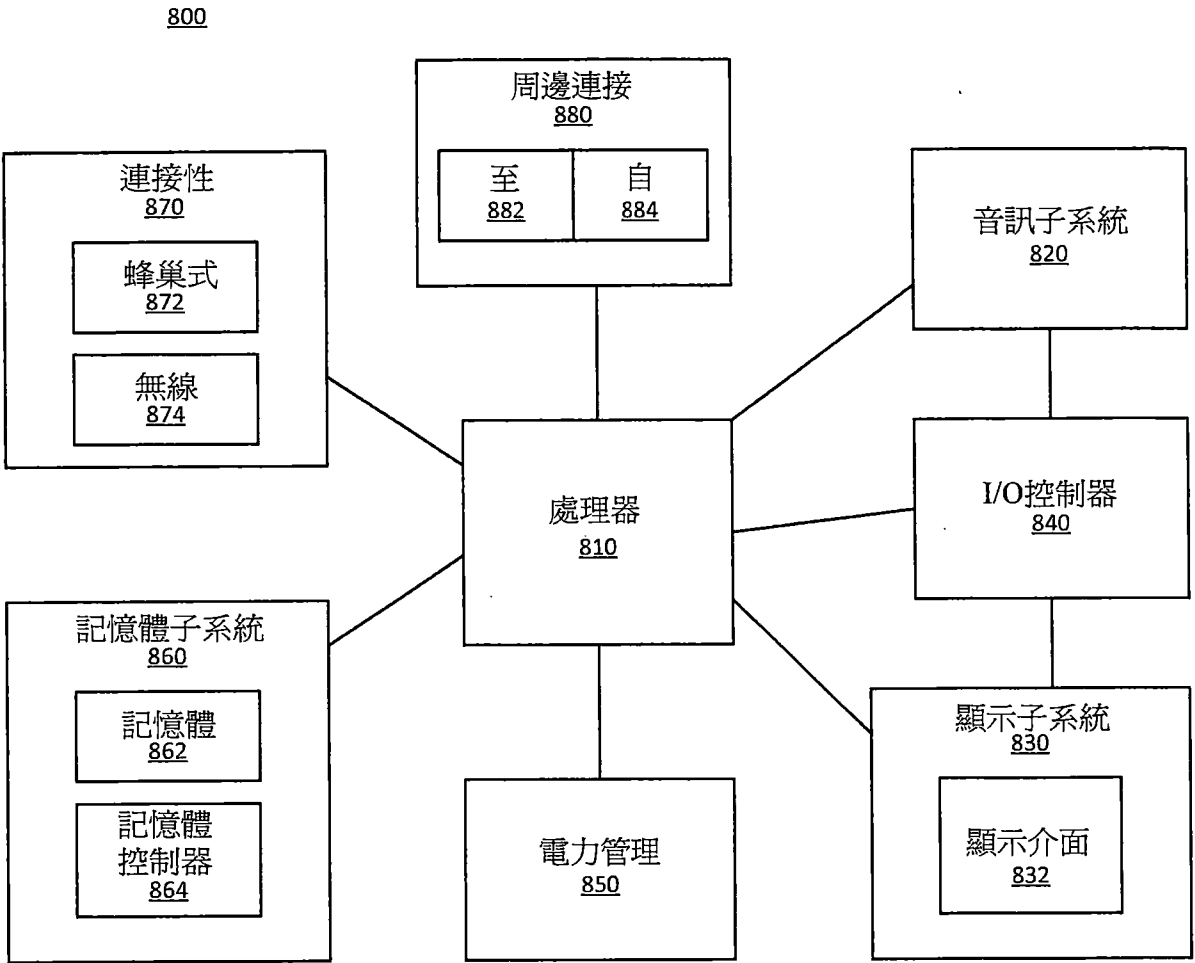


圖8