



(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 I804520 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 06 月 11 日

(21)申請案號：107137805

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 10 月 25 日

(51)Int. Cl. : **G01T1/24 (2006.01)**

(30)優先權：2017/10/26 世界智慧財產權組織 PCT/CN2017/107780

(71)申請人：中國大陸商深圳幀觀德芯科技有限公司 (中國大陸) SHENZHEN XPECTVISION TECHNOLOGY CO., LTD. (CN)

中國大陸

(72)發明人：曹培炎 CAO, PEIYAN (CN) ; 劉雨潤 LIU, YURUN (CN)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201643468A

TW 201710707A

CN 104285164A

WO 2016/197338A1

審查人員：張耕誌

申請專利範圍項數：29 項 圖式數：7 共 37 頁

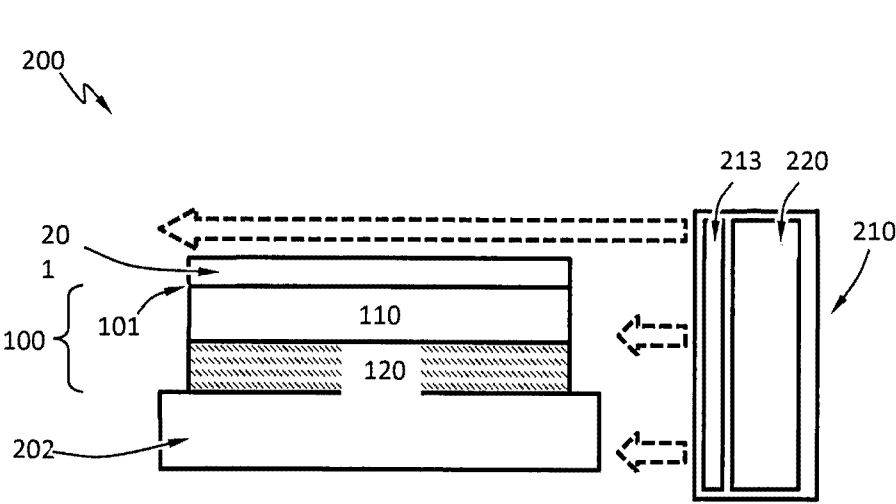
(54)名稱

具有冷卻系統的 X 射線檢測器

(57)摘要

本文所公開的是一種適合於 X 射線檢測的系統。該系統包括檢測器和冷卻系統，其配置成控制檢測器的溫度，並且防止水蒸汽在檢測器上的冷凝。檢測器包括 X 射線吸收層和電子層。X 射線吸收層包括多個像素，每個像素配置成對某個時間週期之內入射到其上、其能量落入多個格中的 X 射線光子的數量進行計數。電子層包括電子系統，其配置成相加全部像素所計數的相同能量範圍的格的 X 射線光子的數量。冷卻系統包括配置成降低空氣的溫度和水分水準的冷卻器以及配置成向檢測器吹送被冷卻和乾燥的空氣的風扇。

指定代表圖：



- 符號簡單說明：
- 100 . . . 檢測器
 - 101 . . . X 射線接收表面
 - 110 . . . X 射線吸收層
 - 120 . . . 電子層
 - 200 . . . 系統
 - 201 . . . 透射窗口
 - 202 . . . 冷板
 - 210 . . . 冷卻系統
 - 213 . . . 風扇
 - 220 . . . 冷卻器

圖 1A

I804520

發明摘要

※ 申請案號：

※ 申請日：

※IPC 分類：

【發明名稱】

具有冷卻系統的X射線檢測器

【中文】

本文所公開的是一種適合於 X 射線檢測的系統。該系統包括檢測器和冷卻系統，其配置成控制檢測器的溫度，並且防止水蒸汽在檢測器上的冷凝。檢測器包括 X 射線吸收層和電子層。X 射線吸收層包括多個像素，每個像素配置成對某個時間週期之內入射到其上、其能量落入多個格中的 X 射線光子的數量進行計數。電子層包括電子系統，其配置成相加全部像素所計數的相同能量範圍的格的 X 射線光子的數量。冷卻系統包括配置成降低空氣的溫度和水分水準的冷卻器以及配置成向檢測器吹送被冷卻和乾燥的空氣的風扇。

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1A ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100	檢測器
101	X射線接收表面
110	X射線吸收層
120	電子層
200	系統
201	透射窗口
202	冷板
210	冷卻系統
213	風扇
220	冷卻器

【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】

具有冷卻系統的X射線檢測器

【技術領域】

本文的本公開涉及X射線檢測器，具體來說涉及具有冷卻系統的X射線檢測器。

【先前技術】

X射線檢測器可以用來測量X射線的通量、空間分佈、譜或其他性質的裝置。

X射線檢測器可用於許多應用。一個重要應用是成像。X射線成像是一種射線照相技術，並且能夠用來展現不均勻組成和不透明對象(例如人體)的內部結構。

用於成像的早期X射線檢測器包括照相底板和膠片。照相底板可以是具有光敏乳劑的塗層的玻璃板。雖然照相底板通過膠片來取代，但是它們因所提供的優良品質及其極高穩定性而仍然可用於特殊狀況中。膠片可以是具有光敏乳劑的塗層的塑膠膜(例如條或片)。

在20世紀80年代，光激勵磷光板(PSP板)變得可用。PSP板可包含其晶格中具有色心的磷光體材料。當PSP板暴露於X射線時，通過X射線所激發的電子在色心中被捕集，直到它們通過對底板表面掃描的雷射光束來激勵。當底板通過鐳射來掃描時，所捕集的激發電子發出光，其由光電倍增管來收集。所收集光被轉換為數字圖像。與照相底板和膠片形成對照，PSP板能夠再使用。

另一種X射線檢測器是X射線圖像增強器。X射線圖像增強器的組件通常在真空中密封。與照相底板、膠片和PSP板形成對照，X射線圖像增強器可產

生即時圖像，即，不要求後曝光處理以產生圖像。X 射線首先照射輸入磷光體(例如碘化銫)，並且被轉換成可見光。可見光然後照射光電陰極(例如包含銫和銻化合物的薄金屬層)，並且引起電子的發射。所發射電子的數量與入射 X 射線的強度成比例。所發射電子經過電子光學器件來投射到輸出磷光體上，並且使輸出磷光體產生可見光圖像。

閃爍器與射線圖像增強器有點相似地進行操作，因為閃爍器(例如碘化鈉)吸收 x 射線，並且發射可見光，其然後能夠由可見光的適當圖像感測器來檢測。在閃爍器中，可見光沿所有方向蔓延和散射，並且因而降低空間解析度。減少閃爍器厚度幫助改進空間解析度，但是也降低 x 射線的吸收。因此，閃爍器必須達成吸收效率與解析度之間的折衷。

半導體 X 射線檢測器通過 X 射線到電信號的直接轉換在很大程度上克服這個問題。半導體 X 射線檢測器可包括半導體層，其吸收感興趣波長中的 X 射線。當 X 射線光子在半導體層中被吸收時，多個載荷子(例如電子和空穴)被生成，並且在電場下掃向半導體層上的電氣觸點。當前可用半導體 X 射線檢測器(例如 Medipix)中所要求的麻煩熱管理能夠使具有大面積和大量像素的檢測器難以或者不可能生產。

【發明內容】

本文所公開的是一種系統，其包括：檢測器，包括 X 射線吸收層和電子層；以及冷卻系統，配置成控制檢測器的溫度，並且防止檢測器上的水蒸汽的冷凝；其中 X 射線吸收層包括多個像素，每個像素配置成在某個時間週期之內對入射到其上的 X 射線光子(其能量落入多個格中)的數量進行計數；其中電子層包括電子系統，其配置成相加全部像素所計數的相同能量範圍的格的 X 射線光子的數

量；其中冷卻系統包括配置成降低溫度和空氣的水分水準的冷卻器以及配置成向檢測器吹送經冷卻和乾燥的空氣的風扇。

按照實施例，冷卻器包括珀耳帖致冷器。

按照實施例，冷卻器包括壓縮機、冷凝器、蒸發器和膨脹閥。

按照實施例，冷卻系統還包括乾燥劑除濕器，其配置成在向檢測器吹送空氣之前從空氣中抽取水分。

按照實施例，該系統還包括覆蓋 X 射線吸收層的 X 射線接收表面的透射窗口，其中透射窗口配置成允許 X 射線光子通過並且到達 X 射線吸收層。

按照實施例，透射窗口包括聚醯亞胺、石墨烯、聚碳酸酯、聚(對二甲苯)、氮化矽、鋁、鈹或者其組合。

按照實施例的系統，其中，檢測器沒有在氣密殼體中真空封裝。

按照實施例，該系統還包括冷板，其配置成通過吸收來自檢測器的熱量來冷卻檢測器，其中檢測器安裝在冷板上。

按照實施例，冷板是散熱器，其中散熱器配置成將從檢測器所吸收的熱量傳遞到來自冷卻系統、經過和圍繞散熱器流動的空氣。

按照實施例，冷板是珀耳帖致冷器的冷卻板。

按照實施例，冷板是通過珀耳帖致冷器或空氣調節器所冷卻的金屬板。

按照實施例，檢測器配置成將相加數量編制為入射到檢測器上的 X 射線光子的光譜。

按照實施例，多個像素按照陣列來佈置。

按照實施例，像素配置成對相同時間週期之內的 X 射線光子的數量進行計數。

按照實施例，像素的每個包括模數轉換器(ADC)，其配置成將表示入射 X 射線光子的能量的模擬信號數位化為數字信號。

按照實施例，像素配置成並行地操作。

按照實施例，像素的每個配置成測量其暗電流。

按照實施例，像素的每個配置成在入射到其上的每個 X 射線光子之前或者與入射到其上的每個 X 射線光子併發地測量其暗電流。

按照實施例，像素的每個配置成從入射到其上的 X 射線光子的能量來推斷暗電流的份額。

按照實施例，像素的每個配置成通過測量使電壓增加某個閾值所花費的時間來測量其暗電流。

按照實施例，ADC 是逐次近似寄存器(SAR)ADC。

按照實施例，電子系統包括：第一電壓比較器，配置成將 X 射線吸收層的電氣觸點的電壓與第一閾值進行比較；第二電壓比較器，配置成將電壓與第二閾值進行比較；控制器；多個計數器，其各自與格關聯，並且配置成記錄像素之一所吸收的 X 射線光子的數量，其中 X 射線光子的能量落入格中；其中，控制器配置成從第一電壓比較器確定電壓的絕對值等於或超過第一閾值的絕對值的時間開始時間延遲；其中控制器配置成確定 X 射線光子的能量是否落入格中；控制器配置成使與格關聯的計數器所記錄的數量增加一。

按照實施例，電子系統還包括電容器模組，其電連接到電氣觸點，其中電容器模組配置成收集來自電氣觸點的載荷子。

按照實施例，控制器配置成在時間延遲開始或到期時啟動第二電壓比較器。

按照實施例，控制器配置成將電氣觸點連接到電接地。

按照實施例，電壓的變化率在時間延遲到期時基本上為零。

按照實施例，X 射線吸收層包括二極體。

按照實施例，X 射線吸收層包括矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe 或者其組合。

按照實施例，檢測器沒有包括閃爍器。

【圖式簡單說明】

圖 1A 和圖 1B 分別示意示出按照實施例、適合於 X 射線檢測的系統的截面圖和透視圖。

圖 2A 示意示出按照實施例的冷卻器的框圖。

圖 2B 示意示出按照實施例、包括珀耳帖致冷器的冷卻器的框圖。

圖 3 示意示出按照實施例、作為鰭片散熱器的冷板。

圖 4 示意示出按照實施例、圖 1A 的檢測器。

圖 5A 示意示出按照實施例、圖 1A 的檢測器的詳細截面圖。

圖 5B 示意示出按照實施例、圖 1A 的檢測器的備選詳細截面圖。

圖 6A 和圖 6B 各示出按照實施例的電子系統的組件圖。

圖 7 示意示出入射到與電氣觸點關聯的像素上的 X 射線光子所生成的載荷子所引起的流經電氣觸點的電流的時間變化(上曲線)以及電氣觸點的電壓的對應時間變化(下曲線)。

【實施方式】

半導體 X 射線檢測器可獲益於工作在特定溫度範圍之內的工作溫度。特定溫度範圍的選擇取決於檢測器的應用細節以及用於檢測器中的 X 射線吸收的半導體材料。例如，將矽(Si)或鍺(Ge)用於吸收的半導體 X 射線檢測器的溫度範圍可從-40°C 至-90°C，這可幫助降低因價電子的熱激發引起的電雜訊(其可具有足夠能量來穿過 Si 或 Ge 的帶隙並且到達導帶)。將 CdTe 或 CdZnTe 用於吸收的檢測器的溫度範圍可比使用 Si 或 Ge 的檢測器的溫度範圍要高(例如在室溫左右)，因

為 CdTe 和 CdZnTe 具有比 Si 和 Ge 要大的帶隙，並且因而具有帶有足夠能量穿過 CdTe 或 CdZnTe 的帶隙的熱激發電子的更低可能性。當檢測器工作在低於室溫的溫度(例如 0°C、-20°C、-40°C 等)時，微觀污染物(例如烴和水蒸汽)可沉積到檢測器上並且影響其操作。

圖 1A 和圖 1B 分別示意示出按照實施例、適合於 X 射線檢測的系統 200 的截面圖和透視圖。系統 200 包括：檢測器 100，配置成檢測入射到其上的 X 射線光子；以及冷卻系統 210，配置成控制檢測器 100 的溫度，並且降低水蒸汽在檢測器 100 上的冷凝。在實施例中，檢測器 100 沒有在氣密殼體中真空封裝。系統 200 還可包括覆蓋檢測器 100 的 X 射線接收表面 101 的透射窗口 201。系統 200 還可包括冷板 202，其上安裝檢測器 100，以及冷板 202(例如圖 3 的鰭片散熱器、珀耳帖致冷器等)可配置成通過吸收來自檢測器 100 的熱量來冷卻檢測器 100。熱傳導粘合劑(例如環氧樹脂)可施加在檢測器 100 與冷板 202 之間，以改進接合的熱導率和機械強度。

檢測器 100 可包括 X 射線吸收層 110 和電子層 120(例如 ASIC)，以用於處理或分析入射 X 射線在 X 射線吸收層 110 中生成的電信號。在實施例中，檢測器 100 沒有包括閃爍器。X 射線吸收層 110 可包括半導體材料，例如 Si、Ge、GaAs、CdTe、CdZnTe 或者其組合。半導體對感興趣 X 射線能量可具有高質量衰減係數。

冷卻系統 210 可包括冷卻器 220 和風扇 213。冷卻器 220 可包括圖 2A 的空氣冷卻系統、圖 2B 的珀耳帖致冷器或者任何其他適當冷卻裝置。冷卻器 220 可配置成降低通過冷卻器 220 的空氣的溫度和水分水準，以及風扇 213 可配置成向檢測器 100 吹送冷卻器 220 所冷卻和乾燥的空氣，使得檢測器 100 保持為乾燥和冷卻(例如在 0°C、-20°C、-40°C 等)。如本文所使用的詞語“空氣”並不局限於地球大氣中的氣體的混合物，而能夠是任何氣體(例如氮和氫)。在圖 1A 和圖 1B

的示例中，來自冷卻系統 210 的空氣流(通過虛線箭頭所示)被引導到檢測器 100 的面向入射 X 射的表面或者側壁，以便從表面和側壁帶走熱量和水分。

透射窗口 201 可包括諸如聚醯亞胺、石墨烯碳、聚碳酸酯、聚(對二甲苯)、氮化矽、鋁、鈹或者其組合之類的材料。用於透射窗口 201 的材料可具有待檢測 X 射線的小衰減，使得入射到其上的 X 射線的大部分(例如 80%、90%、95%、99%等)能夠經過透射窗口 201，並且到達 X 射線吸收層 110。透射窗口 201 還可配置成阻擋不希望輻射(例如 UV 光和可見光)。透射窗口 201 可通過諸如旋塗、物理氣相沉積、化學氣相沉積或者任何其他適當方法之類的方法來形成到 X 射線接收表面 101 上。

圖 2A 示意示出按照實施例的冷卻器 220 的框圖。冷卻器 220 可包括壓縮機 221、冷凝器 222、膨脹閥 223 和蒸發器 224(或冷卻線圈)、另一個風扇 225 和恒溫器 227。在冷卻器 220 的工作迴圈期間，壓縮機 221 通過增加壓力將冷卻劑 226(通過實線箭頭所示)從氣體形式壓縮成液體形式。熱量在壓縮期間生成。為了耗散熱量，液體形式的冷卻劑 226 被泵送到冷凝器 222，其中風扇 225 所吸入的空氣 1 帶走熱量，並且冷卻液體形式的冷卻劑 226。液體形式的冷卻劑 226 然後被引導到膨脹閥 223，其向蒸發器 224 可控地釋放液體形式的冷卻劑 226。液體形式的冷卻劑 226 變換回氣體形式，並且在經過膨脹閥 223 和蒸發器 224 時吸收來自周圍的熱量。當風扇 213 所吸入的空氣 2 經過蒸發器 224 或者與其附連的散熱器(例如圖 3 的鰭片散熱器)時，空氣 2 被冷卻並且還因蒸發器 224 上的水分的冷凝而被除濕。在蒸發器 224 上冷凝的水以後採取液體形式來排出。最後，氣體形式的冷卻劑 226 返回到壓縮機 221，並且另一個工作迴圈可繼續進行。恒溫計 227 配置成通過調節蒸發器 224 的溫度(例如通過調節冷卻劑 226 的流量)來控制吹送到檢測器 100 的空氣 2 的溫度。

圖 2B 示意示出按照實施例、包括珀耳帖致冷器 231 的冷卻器 220 的框圖。珀耳帖致冷器 231 是基於半導體的電子組件，其能夠將電壓或電流輸入轉換為其兩個表面(即，加熱板 232a 和冷卻板 232b)上的差。例如，當電流施加到珀耳帖致冷器 231 時，冷卻板 232b 被冷卻，並且加熱板 232a 被加熱。通過調節流經珀耳帖致冷器 231 的電流的幅值，能夠控制加熱板 232a 和冷卻板 232b 的溫度。珀耳帖致冷器 231 還可包括附連到加熱板 232a 的散熱器 233a(例如圖 3 的鰭片散熱器)以及附連到冷卻板 232b 的另一個散熱器 233b(例如圖 3 的鰭片散熱器)。散熱器是熱交換器，其配置成在固體物質(例如加熱板 232a 或冷卻板 232b)與流體(液體或氣體)之間傳遞熱量。散熱器可具有與流體的大接觸面積。在圖 2B 的示例中，風扇 234 將空氣 1 吸入散熱器 233a 中，以及散熱器 233a 將熱量從加熱板 232a 傳遞到流經其中的空氣 1。風扇 213 將空氣 2 吸入散熱器 233b，並且散熱器 233b 通過將熱量從空氣 2 傳遞到冷卻板 232b 來冷卻空氣 2，並且還通過空氣 2 中的水分在散熱器 233b 上的冷凝對空氣 2 進行除濕。在散熱器 233b 上冷凝的水分可採取液體形式來排出。

在實施例中，冷卻系統 210 還可包括空氣流控制面板 228(圖 2A 和圖 2B 所示)，其配置成調整吹送到檢測器 100 的空氣 2 的空氣流模式，以實現有效冷卻和除濕。例如，空氣 2 的一部分可引導到檢測器 100 的表面和側壁(如圖 1A 和圖 1B 所示)，而空氣 2 的另一部分可引導到檢測器 100 下面作為鰭片散熱器(圖 3 所示)的冷板 202。

在實施例中，冷卻系統 210 還可包括附加除濕器 229(圖 2A 和圖 2B 所示)(例如乾燥劑除濕器)，其配置成在吹送到檢測器 100 之前從冷卻器 220 所冷卻和乾燥的空氣中進一步抽取水分。例如，乾燥劑除濕器使用水分吸收材料從低溫(例

如低於 0°C)的空氣中吸收水分。附加除濕器 229 可放置在冷卻器 220 與檢測器 100 之間。

圖 3 示意示出按照實施例、作為鰭片散熱器的冷板 202。鰭片散熱器可包括基底 241 和多個鰭片 242，其均可包括具有良好熱導率的材料(例如銅和鋁)。檢測器 100 可安裝在基底 241 上並且向基底 241 傳遞熱量。結合鰭片 242 以增加表面面積，以便增強檢測器 100 的熱耗散效率。當來自冷卻系統 210 的空氣經過並且圍繞散熱器流動時，由散熱器從檢測器 100 所吸收的熱量能夠傳遞到空氣，使得檢測器 100 可被冷卻。

在實施例中，冷板 202 可以是珀耳帖致冷器的冷卻板。冷卻板可具有接近檢測器的工作溫度的溫度(例如 0°C、-20°C、-40°C 等)。在另一個實施例中，冷板 202 可以是金屬板，其包括具有良好熱導率的材料(例如銅、鋁或者其組合)。金屬板可由一個或多個珀耳帖致冷器(其冷卻板附連到金屬板)來冷卻。金屬板還能夠由空氣調節器來冷卻。例如，空氣調節器可使包含冷卻劑的冷卻管道附連到金屬板，並且使冷卻劑迴圈以吸收來自金屬板的熱量。

圖 4 示意示出按照實施例、圖 1A 的檢測器 100。檢測器具有像素 150 的陣列。陣列可以是矩形陣列、蜂窩陣列、六邊形陣列或者任何其他適當陣列。每個像素 150 配置成檢測入射到其上的 X 射線光子，並且測量 X 射線光子的能量。例如，每個像素 150 配置成對某個時間週期之內入射到其上、其能量落入多個格中的 X 射線光子的數量進行計數。全部像素 150 可配置成對相同時間週期之內在能量的多個格內入射到其上的 X 射線光子的數量進行計數。每個像素 150 可具有其自己的模數轉換器(ADC)，其配置成將表示入射 X 射線光子的能量的模擬信號數位化為數字信號。對於 XRF 應用，具有 10 位解析度或更高的 ADC 是有用的。每個像素 150 可配置成例如在入射到其上的每個 X 射線光子之前或併

發地測量其暗電流。每個像素 150 可配置成從入射到其上的 X 射線光子的能量來推斷暗電流的份額。像素 150 可配置成並行地操作。例如，當一個像素 150 測量入射 X 射線光子時，另一個像素 150 可等待 X 射線光子到達。像素 150 可以不必是單獨可尋址的。

檢測器 100 可具有至少 100、2500、10000 或者更多像素 150。檢測器 100 可配置成相加全部像素 150 所計數的相同能量範圍的格的 X 射線光子的數量。例如，檢測器 100 可相加從 70 KeV 至 71 KeV 的能量的格中存儲的像素 150 的數量，相加從 71 KeV 至 72 KeV 的能量的格中存儲的像素 150 的數量，依此類推。檢測器 100 可將格的相加數量編制為入射到檢測器 100 上的 X 射線光子的光譜。

圖 5A 示意示出按照實施例、圖 1A 的檢測器 100 的詳細截面圖，X 射線吸收層 110 可包括一個或多個二極體(例如 p-i-n 或 p-n)，其通過第一摻雜區 111 以及第二摻雜區 113 的一個或多個分立區 114 所形成。第二摻雜區 113 可通過可選本征區 112 與第一摻雜區 111 分隔。分立區 114 通過第一摻雜區 111 或本征區 112 相互分隔。第一摻雜區 111 和第二摻雜區 113 具有相反類型的摻雜(例如，區域 111 為 p 型，而區域 113 為 n 型，或者區域 111 為 n 型，而區域 113 為 p 型)。在圖 5A 的示例中，第二摻雜區 113 的分立區 114 的每個形成具有第一摻雜區 111 和可選本征區 112 的二極體。即，在圖 5A 的示例中，X 射線吸收層 110 具有多個二極體，其具有作為共用電極的第一摻雜區 111。第一摻雜區 111 還可具有分立部分。

當 X 射線光子照射 X 射線吸收層 110(其包括二極體)時，X 射線光子可被吸收，並且通過多個機制來生成一個或多個載荷子。X 射線光子可生成 10 至 100000 個載荷子。載荷子可在電場下漂移到二極體之一的電極。該電場可以是外部電場。電氣觸點 119B 可包括分立部分，其每個與分立區 114 進行電接觸。在實施

例中，載荷子可沿方向漂移，使得單個 X 射線光子所生成的載荷子基本上沒有由兩個不同分立區 114 所共用(“基本上沒有共用”在這裏表示這些載荷子的不到 2%、不到 0.5%、不到 0.1% 或者不到 0.01% 流動到分立區 114 中與載荷子的其餘部分不同的分立區 114)。通過在這些分立區 114 之一的佔用面積周圍入射的 X 射線光子所生成的載荷子基本上沒有與這些分立區 114 的另一個共用。與分立區 114 關聯的像素 150 可以是分立區 114 周圍的一個區域，其中入射到其上的 X 射線光子所生成的基本上全部(超過 98%、超過 99.5%、超過 99.9% 或者超過 99.99%)載荷子流動到分立區 114。即，這些載荷子的不到 2%、不到 1%、不到 0.1% 或者不到 0.01 流動到像素之外。

如圖 5B 的檢測器的備選詳細截面圖所示，按照實施例，X 射線吸收層 110 可包括半導體材料(例如矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe 或者其組合)的電阻器，但是沒有包括二極體。半導體對感興趣 X 射線能量可具有高質量衰減係數。

當 X 射線光子照射 X 射線吸收層 110(其包括電阻器但沒有包括二極體)時，它可被吸收，並且通過多個機制來生成一個或多個載荷子。X 射線光子可生成 10 至 100000 個載荷子。載荷子可在電場下漂移到電氣觸點 119A 和 119B。該電場可以是外部電場。電氣觸點 119B 包括分立部分。在實施例中，載荷子可沿方向漂移，使得單個 X 射線光子所生成的載荷子基本上沒有由電氣觸點 119B 的兩個不同分立部分所共用(“基本上沒有共用”在這裏表示這些載荷子的不到 2%、不到 0.5%、不到 0.1% 或者不到 0.01% 流動到分立部分中與載荷子的其餘部分不同的分立部分)。通過在電氣觸點 119B 的這些分立部分之一的佔用面積周圍入射的 X 射線光子所生成的載荷子基本上沒有與電氣觸點 119B 的這些分立部分的另一個共用。與電氣觸點 119B 的分立部分關聯的像素 150 可以是分立部分周圍的一個區域，其中入射到其上的 X 射線光子所生成的基本上全部(超過 98%、

超過 99.5%、超過 99.9%或者超過 99.99%)載荷子流動到電氣觸點 119B 的分立部分。即，這些載荷子的不到 2%、不到 0.5%、不到 0.1%或者不到 0.01 流動到與電氣觸點 119B 的一個分立部分關聯的像素之外。

電子層 120 可包括電子系統 121，其適合於處理或解釋入射到 X 射線吸收層 110 上的 X 射線光子所生成的信號。電子系統 121 可包括模擬電路(例如濾波器網路、放大器、積分器和比較器)或者數字電路(例如微處理器和記憶體)。電子系統 121 可包括像素所共用的組件或者專用於單個像素的組件。例如，電子系統 121 可包括專用於每個像素的放大器以及在全部像素之間共用的微處理器。電子系統 121 可通過通孔 131 電連接到像素。通孔之間的空間可填充有填充材料 130，其可創建電子層 120 到 X 射線吸收層 110 的連接的機械穩定性。將電子系統 121 連接到像素而沒有使用通孔的其他接合技術是可能的。

圖 6A 和圖 6B 各示出按照實施例的電子系統 121 的組件圖。電子系統 121 可包括第一電壓比較器 301、第二電壓比較器 302、多個計數器 320(包括計數器 320A、320B、320C、320D...)、開關 305、ADC 306 和控制器 310。

第一電壓比較器 301 配置成將電氣觸點 119B 的分立部分的電壓與第一閾值進行比較。第一電壓比較器 301 可配置成直接監測電壓，或者通過對某個時間週期對流經二極體或電氣觸點的電流求積分來計算電壓。第一電壓比較器 301 可由控制器 310 可控地啟動或停用。第一電壓比較器 301 可以是連續比較器。即，第一電壓比較器 301 可配置成連續被啟動，並且連續監測電壓。配置為連續比較器的第一電壓比較器 301 降低系統 121 缺失入射 X 射線光子所生成的信號的機會。當入射 X 射線強度較高時，配置為連續比較器的第一電壓比較器 301 是特別適合的。第一電壓比較器 301 可以是定時比較器，其具有更低功率消耗的有益效果。配置為定時比較器的第一電壓比較器 301 可能使系統 121 缺失入射 X

射線光子所生成的信號。當入射 X 射線強度較低時，缺失入射 X 射線光子的機會較低，因為兩個連續光子之間的時間間隔較長。因此，當入射 X 射線強度較低時，配置為定時比較器的第一電壓比較器 301 是特別適合的。第一閾值可以是一個入射 X 射線光子可在電氣觸點 119B 上生成的最大電壓的 1-5%、5-10%、10%-20%、20-30%、30-40%或 40-50%。最大電壓可取決於入射 X 射線光子的能量(即，入射 X 射線的波長)、X 射線吸收層 110 的材料和其他因素。例如，第一閾值可以是 50 mV、100 mV、150 mV 或 200 mV。

第二電壓比較器 302 配置成將電壓與第二閾值進行比較。第二電壓比較器 302 可配置成直接監測電壓，或者通過對某個時間週期對流經二極體或電氣觸點的電流求積分來計算電壓。第二電壓比較器 302 可以是連續比較器。第二電壓比較器 302 可由控制器 310 可控地啟動或停用。當停用第二電壓比較器 302 時，第二電壓比較器 302 的功率消耗可小於啟動第二電壓比較器 302 時的功率消耗的 1%、5%、10%或 20%。第二閾值的絕對值大於第一閾值的絕對值。如本文所使

用的術語實數 x 的“絕對值”或“模量” $|x|$ 是 x 的非負值，而不考

慮其符號。即，
$$|x| = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ -x, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$$
。第二閾值可以是第一閾值的

200%-300%。例如，第二閾值可以是 100 mV、150 mV、200 mV、250 mV 或 300 mV。

第二電壓比較器 302 和第一電壓比較器 310 可以是同一組件。即，系統 121 可具有一個電壓比較器，其能夠在不同時間將電壓與兩個不同閾值進行比較。

第一電壓比較器 301 或者第二電壓比較器 302 可包括一個或多個 op-amp 或者任何其他適當電路。第一電壓比較器 301 或第二電壓比較器 302 可具有高速度，以允許系統 121 在入射 X 射線的高通量下操作。但是，具有高速度常常以功率消耗為代價。

計數器 320 可以是軟體組件(例如電腦記憶體中存儲的數值)或硬體組件(例如 4017 Ic 和 7490 IC)。每個計數器 320 與能量範圍的格關聯。例如，計數器 320A 可與 70-71 KeV 的格關聯，計數器 320B 可與 71-72 KeV 的格關聯，計數器 320C 可與 72-73 KeV 的格關聯，計數器 320D 可與 73-74 KeV 的格關聯。當入射 X 射線光子的能量由 ADC 306 來確定為處於計數器 320 所關聯的格中時，計數器 320 中記錄的數量增加一。

控制器 310 可以是硬體組件，例如微控制器或者微處理器。控制器 310 配置成從第一電壓比較器 301 確定電壓的絕對值等於或超過第一閾值的絕對值(例如，電壓的絕對值從低於第一閾值的絕對值增加到等於或高於第一閾值的絕對值的值)的時間開始時間延遲。在這裏使用絕對值，因為電壓可以為負或正，這取決於是二極體的陰極還是陽極的電壓或者使用哪一個電氣觸點。控制器 310 可配置成在第一電壓比較器 301 確定電壓的絕對值等於或超過第一閾值的絕對值的時間之前保持停用第一電壓比較器 301 的操作不要求的第二電壓比較器 302、計數器 320 和任何其他電路。時間延遲可在電壓變穩定、即電壓的變化率基本上為零之後到期。詞語“變化率基本上為零”表示時間變化小於 0.1%/ns。詞語“變化率基本上為非零”表示電壓的時間變化至少為 0.1%/ns。

控制器 310 可配置成在該時間延遲期間(包括開始和到期)啟動第二電壓比較器。在實施例中，控制器 310 配置成在時間延遲開始時啟動第二電壓比較器。術語“啟動”表示使組件進入操作狀態(例如通過發送諸如電壓脈衝或邏輯電平之類的信號、通過提供電力等)。術語“停用”表示使組件進入非操作狀態(例如通過發送諸如電壓脈衝或邏輯電平之類的信號、通過切斷電力等)。操作狀態可具有比非操作狀態要高的功率消耗(例如高 10 倍、高 100 倍、高 1000 倍)。控制

器 310 本身可停用，直到第一電壓比較器 301 的輸出在電壓的絕對值等於或超過第一閾值的絕對值時啟動控制器 310。

控制器 310 可配置成在時間延遲期間、第二電壓比較器 302 確定電壓的絕對值等於或超過第二閾值的絕對值並且 X 射線光子的能量落入與計數器 320 關聯的格中時，使計數器 320 之一所記錄的數量增加一。

控制器 310 可配置成在時間延遲到期時使 ADC 306 數位化電壓，並且基於電壓來確定 X 射線光子的能量落入哪一格。

控制器 310 可配置成將電氣觸點 119B 連接到電接地，以便重置電壓，並且排放電氣觸點 119B 上累積的任何載荷子。在實施例中，電氣觸點 119B 在時間延遲到期之後連接到電接地。在實施例中，電氣觸點 119B 對有限重置時間週期連接到電接地。控制器 310 可通過控制開關 305 將電氣觸點 119B 連接到電接地。開關可以是電晶體(例如場效應電晶體(FET))。

在實施例中，系統 121 沒有模擬濾波器網路(例如 RC 網路)。在實施例中，系統 121 沒有模擬電路。

ADC 306 可將所測量的電壓作為模擬或數字信號來饋送給控制器 310。ADC 可以是逐次近似寄存器(SAR)ADC(又稱作逐次近似 ADC)。SAR ADC 在最終會聚於模擬信號的數字輸出之前經由經過全部可能的量化電平的二進位搜索來數位化模擬信號。SAR ADC 可具有四個主要子電路：取樣和保持電路，獲取輸入電壓(V_{in})；內部數模轉換器(DAC)，配置成為模擬電壓比較器供應等於逐次近似寄存器(SAR)的數字代碼輸出的模擬電壓；模擬電壓比較器，其將 V_{in} 與內部 DAC 的輸出進行比較，並且向 SAR 輸出比較結果；以及 SAR，配置成向內部 DAC 供應 V_{in} 的近似數字代碼。SAR 可初始化，使得最高有效位(MSB)等於數字 1。這個代碼被饋入內部 DAC，其然後將這個數字代碼($V_{ref}/2$)的模擬等效體提供到

比較器中供與 V_{in} 的比較。如果這個模擬電壓超過 V_{in} ，則比較器使 SAR 重置這個位；否則此位保持為 1。然後，SAR 的下一位設置為 1，並且進行相同測試，從而繼續進行這個二進位搜索，直到測試 SAR 中的每一位。所產生代碼是 V_{in} 的數字近似，並且最終由 SAR 在數位化結束時輸出。

系統 121 可包括電容器模組 309，其電連接到電氣觸點 119B，其中電容器模組配置成收集來自電氣觸點 119B 的載荷子。電容器模組能夠包括放大器的回饋路徑中的電容器。這樣配置的放大器稱作電容互阻抗放大器(CTIA)。CTIA 通過阻止放大器飽和而具有高動態範圍，並且通過限制信號路徑中的帶寬來改進信噪比。來自電極的載荷子對某個時間週期(“積分週期”)(例如，如圖 7 所示，在 t_S 與 t_0 之間)在電容器上累積。在積分週期已經到期之後，電容器電壓由 ADC 306 來取樣，並且然後通過復位開關來復位。電容器模組 309 能夠包括直接連接到電氣觸點 119B 的電容器。在實施例中，當檢測器 100 的工作溫度增加(例如，工作溫度從 -40°C 增加到 0°C)時，電容器的電容可增加，以降低熱雜訊。

圖 7 示意示出入射到與電氣觸點 119B 關聯的像素 150 上的 X 射線光子所生成的載荷子所引起的流經電氣觸點 119B 的電流的時間變化(上曲線)以及電氣觸點 119B 的電壓的對應時間變化(下曲線)。電壓可以是電流相對時間的積分。在時間 t_0 ，X 射線光子照射二極體或電阻器，載荷子在像素 150 中生成，電流開始流經電氣觸點 119B，並且電氣觸點 119B 的電壓的絕對值開始增加。在時間 t_1 ，第一電壓比較器 301 確定電壓的絕對值等於或超過第一閾值 V_1 的絕對值，以及控制器 310 開始時間延遲 TD_1 ，並且控制器 310 可在 TD_1 開始時停用第一電壓比較器 301。如果在 t_1 之前停用控制器 310，則在 t_1 啟動控制器 310。在 TD_1 期間，控制器 310 啟動第二電壓比較器 302。如這裏所使用的術語在時間延遲“期間”表示開始和到期(即，結束)以及它們之間的任何時間。例如，控制器 310 可

在 TD1 到期時啟動第二電壓比較器 302。如果在 TD1 期間，第二電壓比較器 302 確定電壓的絕對值在時間 t_2 等於或超過第二閾值的絕對值，則控制器 310 等待電壓的穩定開始穩定。當 X 射線光子所生成的全部載荷子漂移出 X 射線吸收層 110 時，電壓在時間 t_e 穩定。在時間 t_s ，時間延遲 TD1 到期。在時間 t_e 或之後，控制器 310 使 ADC 306 數位化電壓，並且確定 X 射線光子的能量落入哪一格。控制器 310 然後使與格對應的計數器 320 所記錄的數量增加一。在圖 7 的示例中，時間 t_s 在時間 t_e 之後，即，TD1 在 X 射線光子所生成的全部載荷子漂移出 X 射線吸收層 110 之後到期。如果時間 t_e 不能容易地測量，則 TD1 能夠憑經驗來選擇成允許充分時間收集 X 射線光子所生成的基本上全部載荷子，但是不會過長而冒具有另一個入射 X 射線光子的風險。即，TD1 能夠憑經驗選擇成使得 t_s 憑經驗在時間 t_e 之後。時間 t_s 不一定在時間 t_e 之後，因為控制器 310 可在達到 V_2 時則忽視 TD1，並且等待時間 t_e 。電壓與暗電流對電壓的份額之間的差的變化率因而在 t_e 基本上為零。控制器 310 可配置成在 TD1 到期時或者在 t_2 或者它們之間的任何時間停用第二電壓比較器 302。

在時間 t_e 的電壓與 X 射線光子所生成的載荷子量(其涉及 X 射線光子的能量)成比例。控制器 310 可配置成基於 ADC 306 的輸出來確定 X 射線光子的能量落入哪一格。

在 TD1 到期或者 ADC 306 進行的數位化(更遲的無論哪一個)之後，控制器 310 對復位週期 RST 將電氣觸點 119B 連接到電接地，以允許電氣觸點 119B 上累積的載荷子流動到接地，並且重置電壓。在 RST 之後，系統 121 準備好檢測另一個入射 X 射線光子。隱含地，系統 121 能夠在圖 7 的示例中所操控的入射 X 射線光子的速率通過 $1/(TD1+RST)$ 來限制。如果第一電壓比較器 301 已經停用，

則控制器 310 能夠在 RST 到期之前的任何時間將它啟動。如果控制器 310 已經停用，則它可在 RST 到期之前被啟動。

因為檢測器 100 具有可並行操作的許多像素 150，所以檢測器能夠操控入射 X 射線光子的高許多的速率。這是因為特定像素 150 上的入射速率是像素的整個陣列上的入射速率的 $1/N$ ，其中 N 為像素的數量。

雖然本文公開了各個方面和實施例，但是其他方面和實施例將是本領域的技術人員清楚知道的。本文所公開的各個方面和實施例是為了便於說明而不是要進行限制，其中真實範圍和精神通過以下權利要求書來指示。

【符號說明】

1	空氣
2	空氣
100	檢測器
101	X射線接收表面
110	X射線吸收層
111	第一摻雜區
112	本征區
113	第二摻雜區
114	分立區
119A	電氣觸點
119B	電氣觸點
120	電子層
121	電子系統
130	填充材料
131	通孔

150	像素
200	系統
201	透射窗口
202	冷板
210	冷卻系統
213	風扇
220	冷卻器
222	冷凝器
223	膨脹閥
224	蒸發器
225	風扇
226	冷卻劑
227	恆溫器
228	空氣流控制面板
229	附加除濕器
231	珀耳帖致冷器
232a	加熱板
232b	冷卻板2
233a	散熱器
233b	散熱器
234	風扇
241	基底
242	鰭片
301	第一電壓比較器
302	第二電壓比較器

305	開關
306	ADC
309	電容器模組
310	控制器
320	計數器
320A	計數器
320B	計數器
320C	計數器
320D	計數器
RST	復位期
t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_e 、 t_m 、 t_s 、 t_r	時間
TD1	時間延遲
V1	第一閾值
V2	第二閾值

申請專利範圍

1. 一種 X 射線系統，包括：

檢測器，包括 X 射線吸收層和電子層；

冷卻系統，配置成控制所述檢測器的溫度，並且防止水蒸汽在所述檢測器上的冷凝；

其中所述 X 射線吸收層包括多個像素，每個像素配置成對某個時間週期之內入射到其上、其能量落入多個格中的 X 射線光子的數量進行計數；

所述電子層包括電子系統，其配置成相加全部所述像素所計數的相同能量範圍的所述格的 X 射線光子的所述數量；

所述冷卻系統包括配置成降低空氣的溫度和水分水準的冷卻器以及配置成向所述檢測器吹送被冷卻和乾燥的所述空氣的風扇。

2. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述冷卻器包括珀耳帖致冷器。

3. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述冷卻器包括壓縮機、冷凝器、蒸發器和膨脹閥。

4. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述冷卻系統還包括乾燥劑除濕器，其配置成在向所述檢測器吹送所述空氣之前從所述空氣中抽取水分。

5. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述系統還包括覆蓋所述 X 射線吸收層的 X 射線接收表面的透射窗口，其中所述透射窗口配置成允許 X 射線光子通過並且到達所述 X 射線吸收層。

6. 如申請專利範圍第 5 項之 X 射線系統，其中，所述透射窗口包括聚醯亞胺、石墨烯、聚碳酸酯、聚(對二甲苯)、氮化矽、鋁、鈹或者其組合。

7. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，檢測器沒有在氣密殼體中真空封裝。

8. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述系統還包括冷板，其配置成通過吸收來自所述檢測器的熱量來冷卻所述檢測器，其中所述檢測器安裝在所述冷板上。

9. 如申請專利範圍第 8 項之 X 射線系統，其中，所述冷板是散熱器，其中所述散熱器配置成將從所述檢測器所吸收的熱量傳遞到來自所述冷卻系統、經過和圍繞所述散熱器流動的所述空氣。

10. 如申請專利範圍第 8 項之 X 射線系統，其中，所述冷板是珀耳帖致冷器的冷卻板。

11. 如申請專利範圍第 8 項之 X 射線系統，其中，所述冷板是通過珀耳帖致冷器或空氣調節器所冷卻的金屬板。

12. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述檢測器配置成將所述相加數量編制為入射到所述檢測器上的所述 X 射線光子的光譜。

13. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述多個像素按照陣列來佈置。

14. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述像素配置成對相同時間週期之內的 X 射線光子的所述數量進行計數。

15. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述像素的每個包括模數轉換器(ADC)，其配置成將表示入射 X 射線光子的所述能量的模擬信號數位化為數字信號。

16. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述像素配置成並行地操作。

17. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述像素的每個配置成測量其暗電流。

18. 如申請專利範圍第 17 項之 X 射線系統，其中，所述像素的每個配置成在入射到其上的每個 X 射線光子之前或者與入射到其上的每個 X 射線光子併發地測量其暗電流。

19. 如申請專利範圍第 17 項之 X 射線系統，其中，所述像素的每個配置成從入射到其上的 X 射線光子的所述能量來推斷所述暗電流的份額。

20. 如申請專利範圍第 17 項之 X 射線系統，其中，所述像素的每個配置成通過測量使電壓增加某個閾值所花費的時間來測量其暗電流。

21. 如申請專利範圍第 15 項之 X 射線系統，其中，所述 ADC 是逐次近似寄存器(SAR)ADC。

22. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述電子系統包括：第一電壓比較器，配置成將所述 X 射線吸收層的電氣觸點的電壓與第一閾值進行比較；第二電壓比較器，配置成將所述電壓與第二閾值進行比較；控制器；多個計數器，其各自與格關聯，並且配置成記錄所述像素之一所吸收的 X 射線光子的數量，其中所述 X 射線光子的所述能量落入所述格中；

其中所述控制器配置成從所述電壓比較器確定所述電壓的絕對值等於或超過所述第一閾值的絕對值的時間開始時間延遲；

所述控制器配置成確定 X 射線光子的能量是否落入所述格中；其中所述控制器配置成使與所述格關聯的所述計數器所記錄的所述數量增加一。

23. 如申請專利範圍第 22 項之 X 射線系統，其中，所述電子系統還包括電容器模組，其電連接到所述電氣觸點，其中所述電容器模組配置成收集來自所述電氣觸點的載荷子。

24. 如申請專利範圍第 22 項之 X 射線系統，其中，所述控制器配置成在所述時間延遲開始或到期時啟動所述第二電壓比較器。

25. 如申請專利範圍第 22 項之 X 射線系統，其中，所述控制器配置成將所述電氣觸點連接到電接地。

26. 如申請專利範圍第 22 項之 X 射線系統，其中，所述電壓的變化率在所述時間延遲到期時基本上為零。

27. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述 X 射線吸收層包括二極體。

28. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述 X 射線吸收層包括矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe 或者其組合。

29. 如申請專利範圍第 1 項之 X 射線系統，其中，所述檢測器沒有包括閃爍器。

圖式

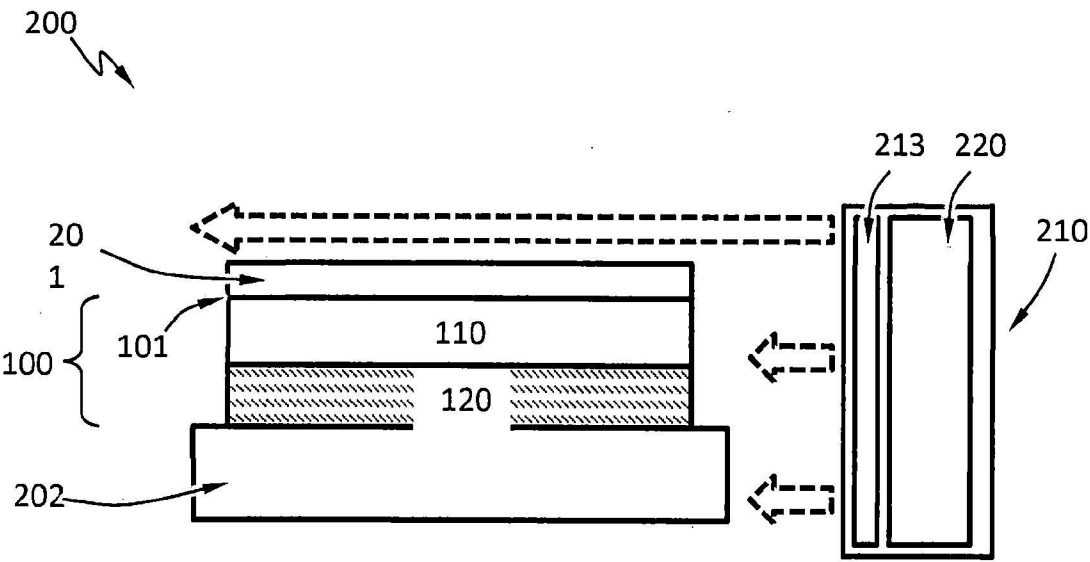


圖 1A

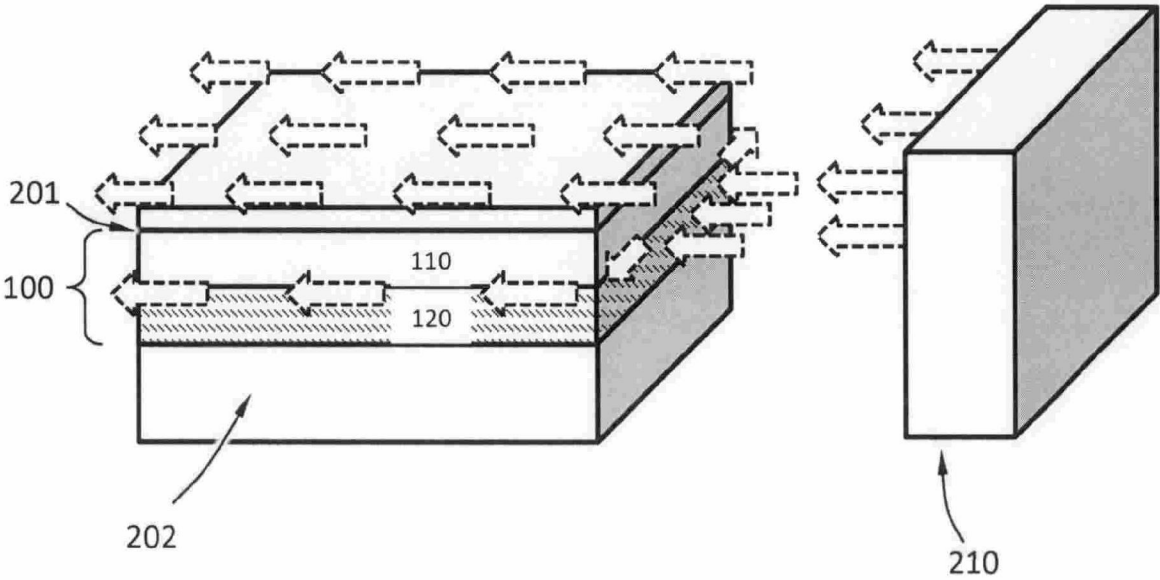


圖1B

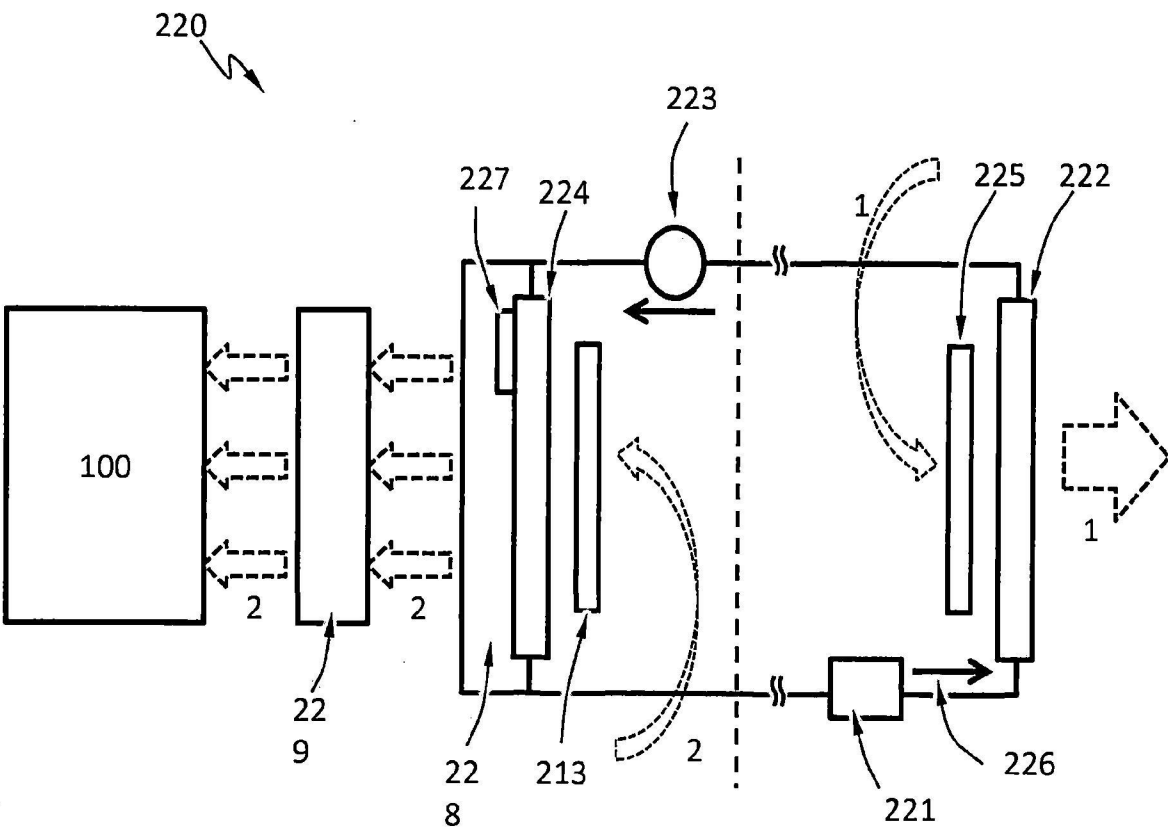


圖2A

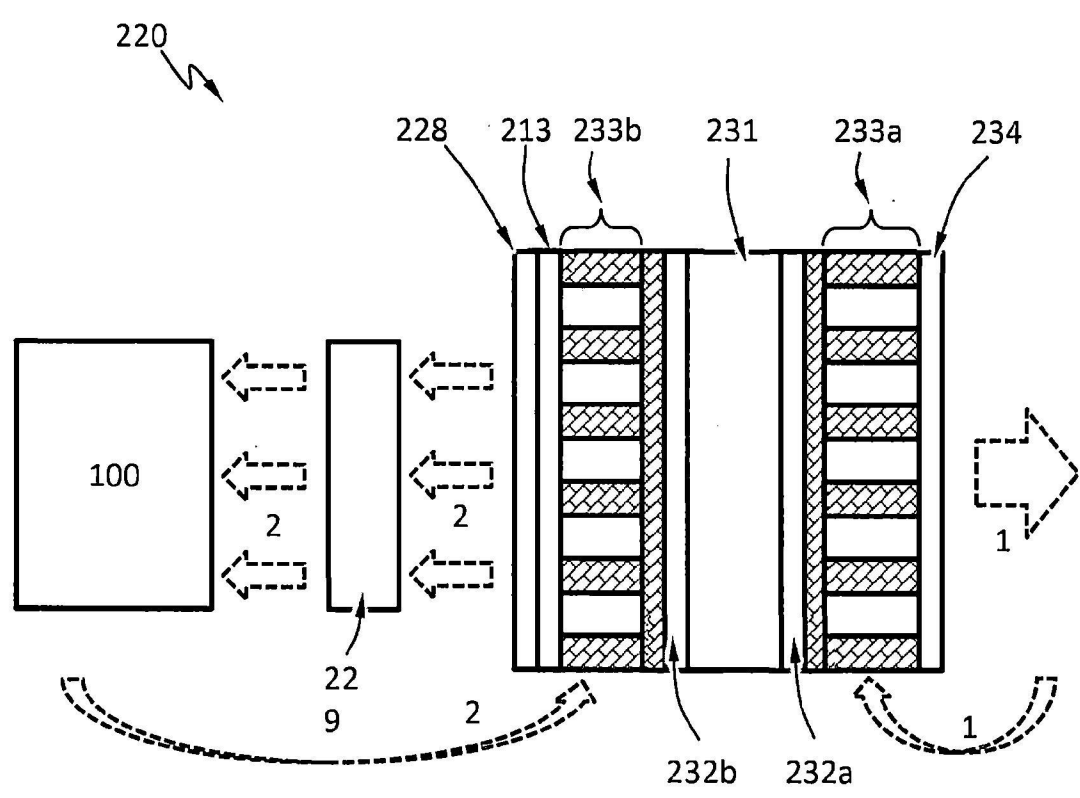


圖 2B

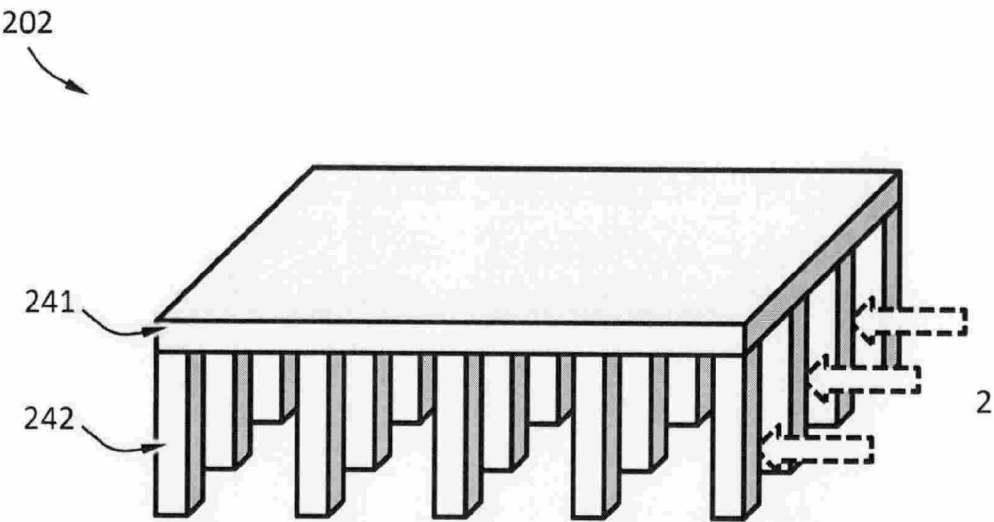


圖 3

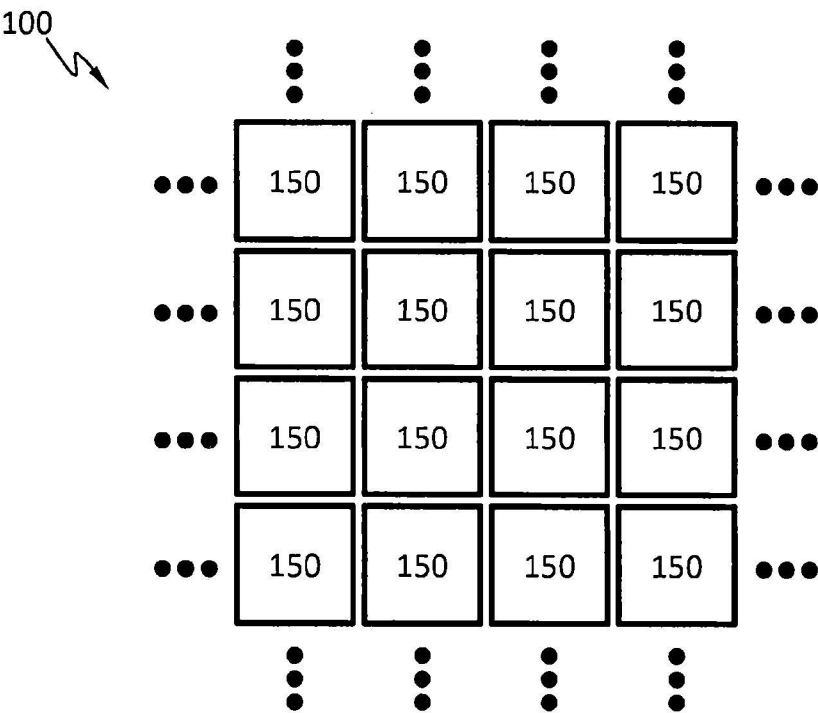


圖 4

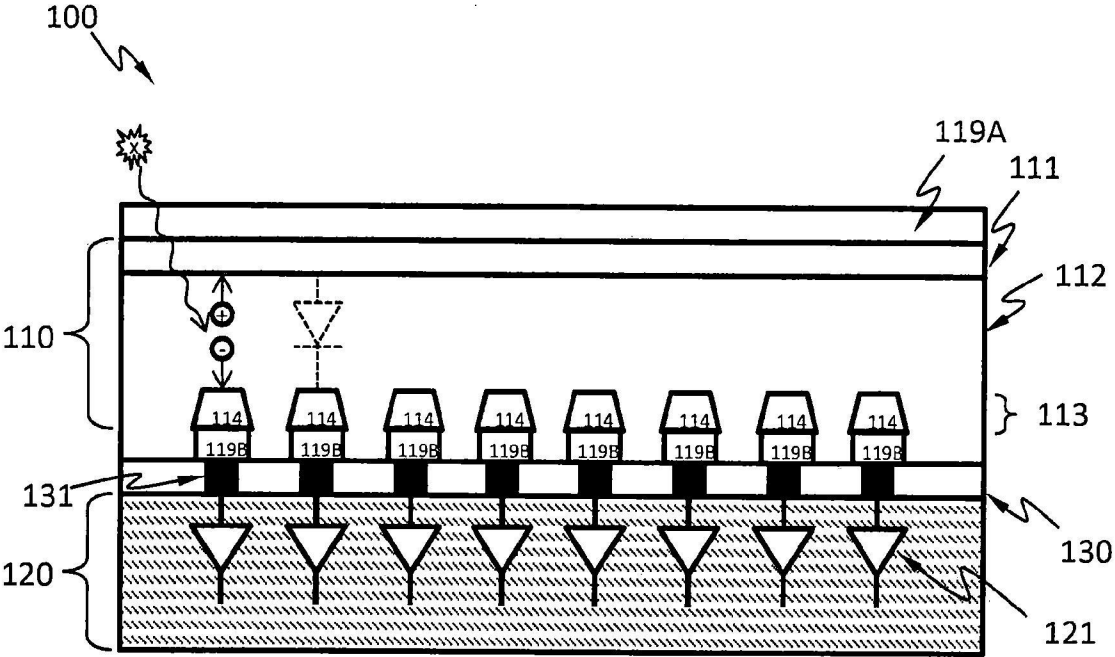


圖 5A

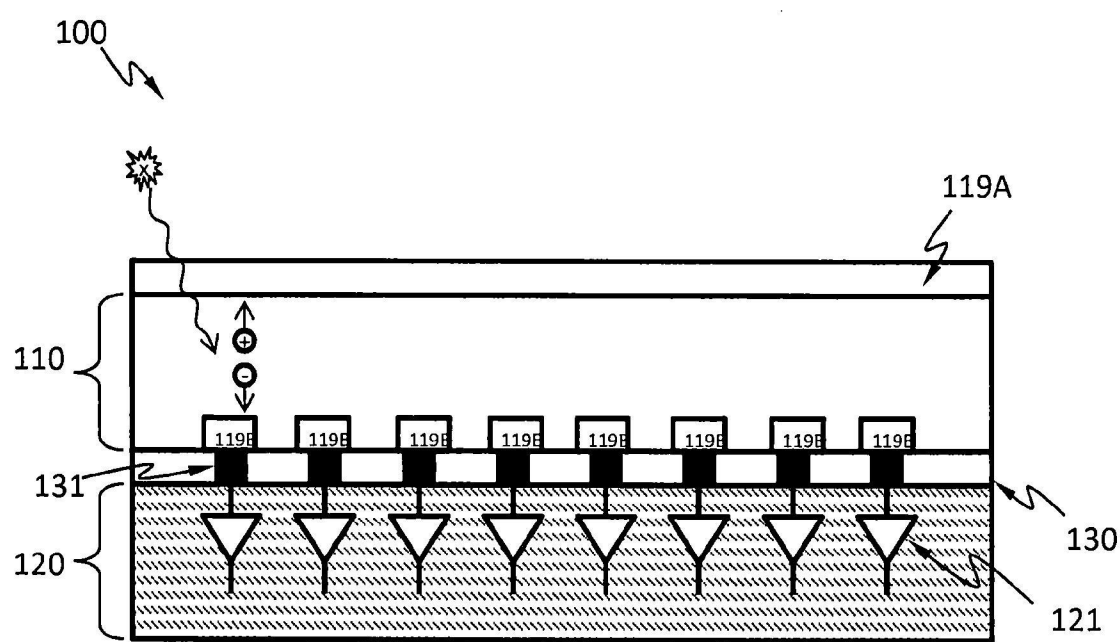


圖 5B

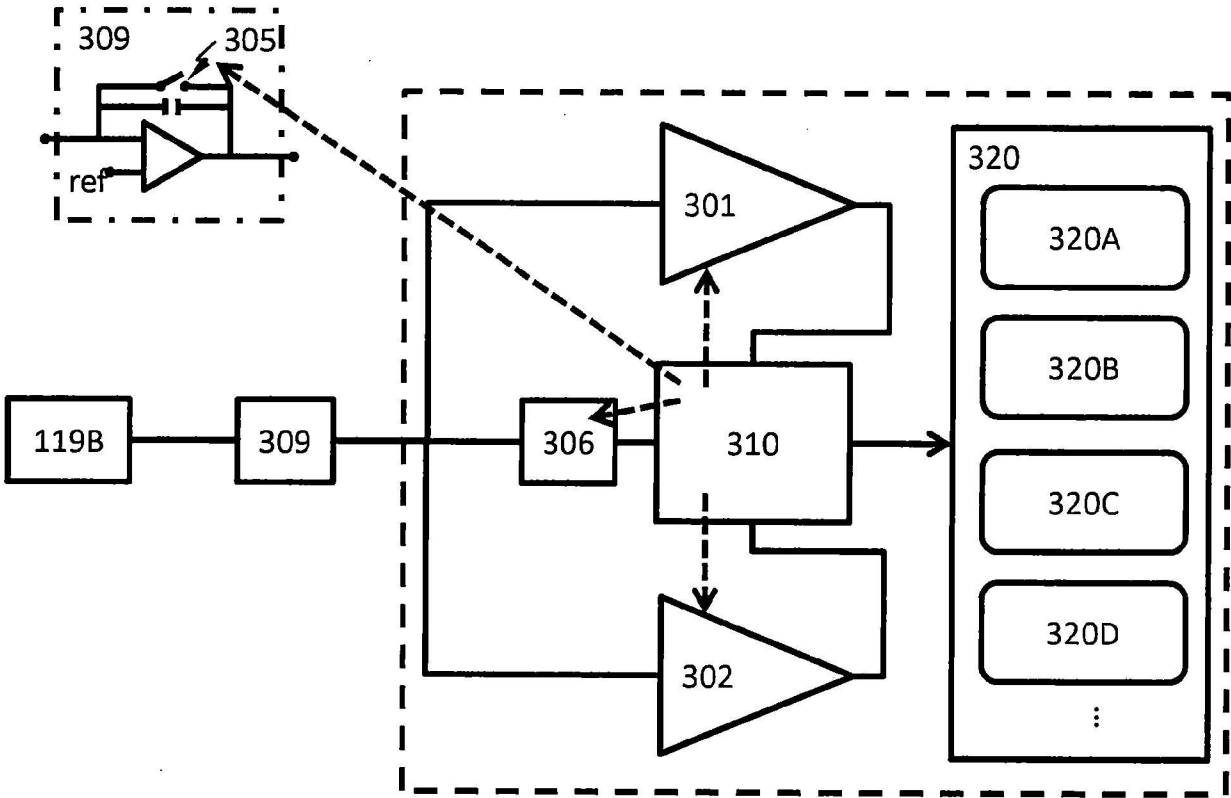


圖 6A

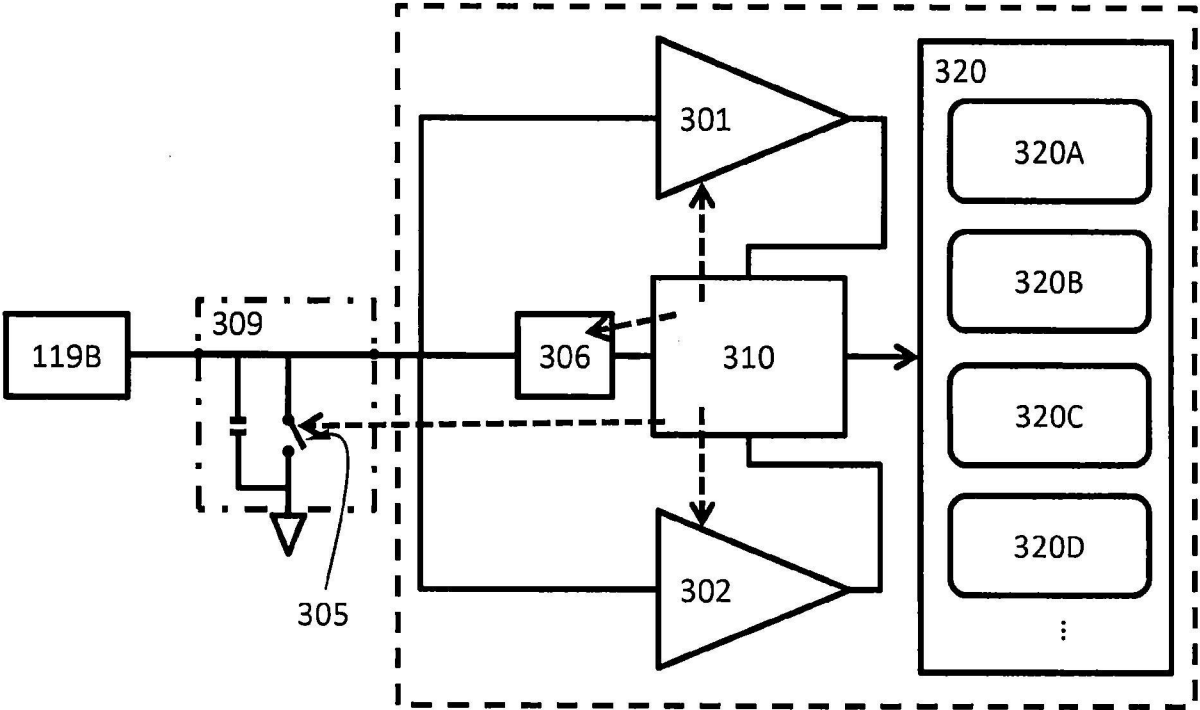


圖 6B

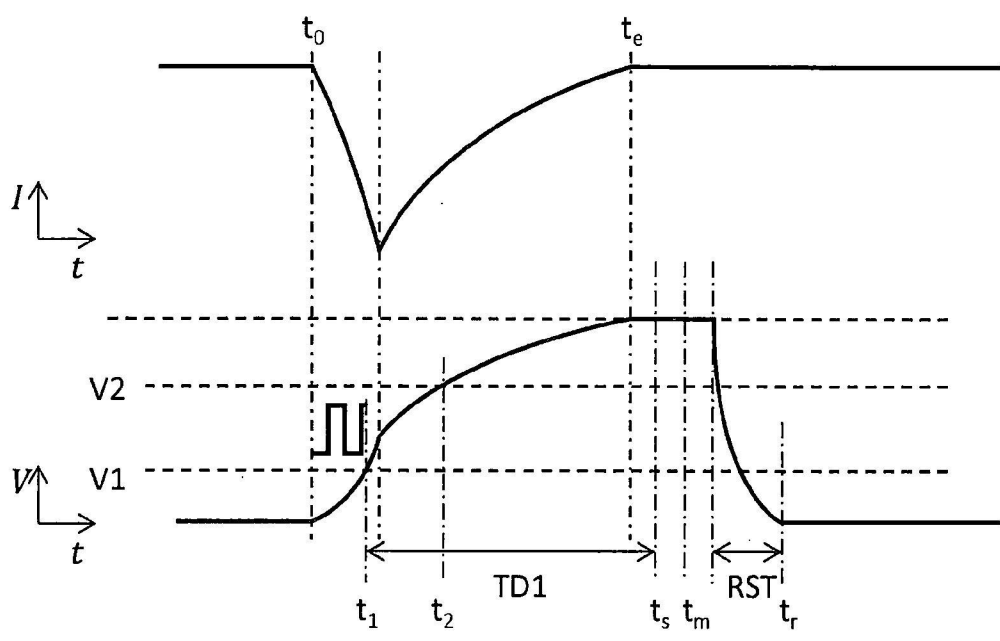


圖 7