



(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 I825249 B

(45) 公告日：中華民國 112 (2023) 年 12 月 11 日

(21) 申請案號：108146563

(22) 申請日：中華民國 108 (2019) 年 12 月 19 日

(51) Int. Cl. : **G03B42/02 (2021.01)**

(30) 優先權：2019/01/10 世界智慧財產權組織 PCT/CN2019/071118

(71) 申請人：大陸商深圳幘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：葉璟宗 ; 卓俊傑

(56) 參考文獻：

CN 1627099A

CN 107710021A

CN 108140650A

CN 108271415A

審查人員：吳彥華

申請專利範圍項數：25 項 圖式數：11 共 58 頁

(54) 名稱

X 射線檢測器的製備方法及其使用方法

(57) 摘要

本文公開一種方法，其包括：在支撐在基板上的外延層的第一表面上形成電觸點，所述第一表面與所述基板相對；將所述外延層鍵合至電子器件層，其中所述第一表面面向所述電子器件層，並且所述第一表面上的所述電觸點被鍵合至所述電子器件層的所述電觸點；通過移除所述基板而暴露與所述第一表面相對的第二表面；並且在所述第二表面上形成共用電極。

Disclosed herein is a method comprising: forming electrical contacts on a first surface of an epitaxial layer supported on a substrate, the first surface being opposite from the substrate; bonding the epitaxial layer to an electronics layer, wherein the first surface faces the electronics layer and the electrical contacts on the first surface are bonded to electrical contacts of the electronics layer; exposing a second surface opposite the first surface by removing the substrate; and forming a common electrode on the second surface.

指定代表圖：

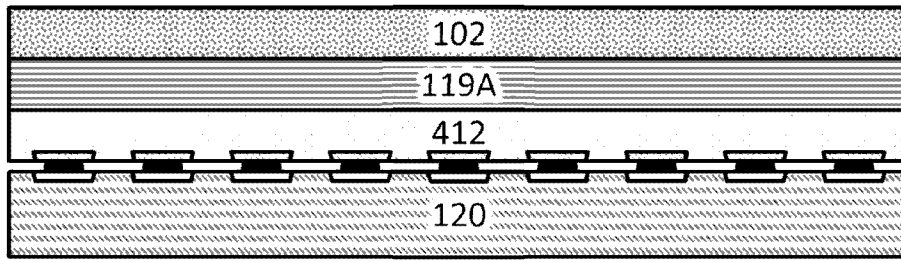
符號簡單說明：

102:閃爍體層

119A:電極

120:電子器件層

412:外延層



【圖10F】

【中文發明名稱】 X射線檢測器的製備方法及其使用方法

【英文發明名稱】 MAKING METHOD OF X-RAY DETECTOR AND
USING METHOD THEREOF

【中文】 本文公開一種方法，其包括：在支撐在基板上的外延層的第一表面上形成電觸點，所述第一表面與所述基板相對；將所述外延層鍵合至電子器件層，其中所述第一表面面向所述電子器件層，並且所述第一表面上的所述電觸點被鍵合至所述電子器件層的所述電觸點；通過移除所述基板而暴露與所述第一表面相對的第二表面；並且在所述第二表面上形成共用電極。

【英文】 Disclosed herein is a method comprising: forming electrical contacts on a first surface of an epitaxial layer supported on a substrate, the first surface being opposite from the substrate; bonding the epitaxial layer to an electronics layer, wherein the first surface faces the electronics layer and the electrical contacts on the first surface are bonded to electrical contacts of the electronics layer; exposing a second surface opposite the first surface by removing the substrate; and forming a common electrode on the second surface.

【指定代表圖】 圖10F。

【代表圖之符號簡單說明】

102：閃爍體層

119A：電極

120：電子器件層

412：外延層

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 X射線檢測器的製備方法及其使用方法

【英文發明名稱】 MAKING METHOD OF X-RAY DETECTOR AND
USING METHOD THEREOF

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種製備方法及使用方法，且特別是有關於一種 X 射線檢測器的製備方法及其使用方法。

【先前技術】

【0002】 X 射線檢測器是可用於測量 X 射線的通量、空間分佈、光譜或其他特性的裝置。

【0003】 X 射線檢測器可用於許多應用，其中一個重要的應用是成像。X 射線成像是一種放射線照相技術，並且可用於揭示非均勻組成和不透明物體（例如人體）的內部結構。

【0004】 用於成像的早期 X 射線檢測器包括照相底片和照相膠片。照相底片可以是具有光敏乳劑塗層的玻璃板。雖然照相底片被照相膠片取代，但由於它們提供的優良品質和極端穩定性，使得它們仍可用於特殊情況。照相膠片可以是具有光敏乳劑塗層的塑膠薄膜比如條或片。

【0005】 在 20 世紀 80 年代，可光激發的磷光板（PSP 板）開始可用。PSP 板在其晶格中包含具有色心的磷光體材料。當 PSP 板

暴露於 X 射線時，由 X 射線激發的電子被捕獲在色心中，直到它們被在 PSP 板表面上掃描的雷射光束激發。當雷射掃描所述 PSP 板時，被捕獲的激發電子發出光，這些光被光電倍增管收集，收集的光被轉換成數位圖像。與照相底片和照相膠片相比，PSP 版可重複使用。

【0006】 另一種 X 射線檢測器是 X 射線圖像增強器。X 射線圖像增強器的元件通常在真空中密封。與照相底片、照相膠片以及 PSP 板相比，X 射線圖像增強器可產生即時圖像，即，不需要曝光後處理來產生圖像。X 射線首先撞擊輸入磷光體（例如，碘化銫）並被轉換成可見光。然後可見光撞擊光電陰極（例如，含有銫和銻化合物的薄金屬層）並引起電子發射。發射的電子數目與入射 X 射線的強度成正比。發射的電子通過電子光學器件投射到輸出磷光體上並使輸出磷光體產生可見光圖像。

【0007】 閃爍體在某種程度上與 X 射線圖像增強器的操作類似，因為閃爍體（例如，碘化鈉）吸收 X 射線並發射可見光，然後可通過合適的圖像感測器檢測到可見光。在閃爍體中，可見光在所有方向上擴散和散射，從而降低空間解析度。減小閃爍體厚度有助於改善空間解析度，但也減少了 X 射線的吸收。因此，閃爍體必須在吸收效率和解析度之間達成折衷。

【0008】 半導體 X 射線檢測器通過將 X 射線直接轉換成電信號很大程度上克服了如上所述問題。半導體 X 射線檢測器可包括吸收感興趣波長 X 射線的半導體層。當在半導體層中吸收 X 射線光子

時，產生多個載流子（例如，電子和電洞）並在電場下朝向半導體層上的電觸點掃過。當前可用的半導體 X 射線檢測器（例如，Medipix）中所需的繁瑣的熱管理可使得具有較大面積和大量圖元的半導體 X 射線檢測器難以生產或不可能生產。

【0009】 X 射線螢光（XRF）是來自被激發（例如，暴露於高能 X 射線或伽馬射線）的材料的特徵螢光 X 射線的發射。如果原子暴露於 X 射線或伽馬射線並且其光子能量大於電子的電離勢，則所述原子內軌道上的電子可被拋出，並在內軌道上留下電洞。當原子外軌道上的電子弛豫以填充所述內軌道上的所述電洞時，X 射線（螢光 X 射線或二次 X 射線）被發射。所述被發射的 X 射線的光子能量等於所述外軌道和所述內軌道電子之間的能量差。

【0010】 對於給定的原子，可能的弛豫數目是有限的。如圖 1A 所示，當 L 軌道上的電子弛豫以填充 K 軌道（L→K）上的電洞時，螢光 X 射線稱為 $K\alpha$ 。來自 M→K 弛豫的螢光 X 射線稱為 $K\beta$ 。如圖 1B 所示，來自 M→L 弛豫的螢光 X 射線稱為 $L\alpha$ ，依此類推。

【0011】 一些 X 射線檢測器適用於檢測 XRF。

【發明內容】

【0012】 本文公開一種 X 射線檢測器的製備方法，其包括：在支撐在基板上的外延層的第一表面上形成電觸點，所述第一表面與所述基板相對；將所述外延層鍵合至電子器件層，其中所述第一表面面向所述電子器件層，並且所述第一表面上的所述電觸點被

鍵合至所述電子器件層的所述電觸點；通過移除所述基板而暴露與所述第一表面相對的第二表面；並且在所述第二表面上形成共用電極。

【0013】 根據實施例，所述製備方法進一步包括將所述外延層生長到所述基板上。

【0014】 根據實施例，所述製備方法進一步包括在所述外延層生長期間在所述外延層中形成 p-n 接面或 p-i-n 接面。

【0015】 根據實施例，所述外延層包括 p-n 接面或 p-i-n 接面。

【0016】 根據實施例，所述製備方法進一步包括在所述共用電極上形成閃爍體層，所述閃爍體層與所述外延層相對。

【0017】 根據實施例，所述閃爍體層包括多孔矽。

【0018】 根據實施例，所述外延層的厚度為 1-10 微米。

【0019】 根據實施例，所述共用電極包括柵極。

【0020】 根據實施例，所述共用電極包括銀（Ag）奈米線、碳奈米管、石墨、石墨烯或其任意組合。

【0021】 根據實施例，所述電子器件層包括：第一電壓比較器，其被配置為將所述第一表面上的至少一個所述電觸點的電壓與第一閾值進行比較；第二電壓比較器，其被配置為將所述電壓與第二閾值進行比較；計數器，其被配置為記錄被所述外延層吸收的若干 X 射線光子；控制器；其中所述控制器被配置為從所述第一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時啟動時間延遲；其中所述控制器被配置為在所述時間延遲

期間啟動所述第二電壓比較器；其中所述控制器被配置為當所述第二電壓比較器確定所述電壓的絕對值等於或超過所述第二閾值的絕對值時使所述計數器記錄的數目增加一。

【0022】 根據實施例，所述電子器件層進一步包括電連接到所述第一表面上的所述至少一個所述電觸點的積分器，其中所述積分器被配置為從所述第一表面上的所述至少一個所述電觸點收集載流子。

【0023】 根據實施例，所述控制器被配置為在所述時間延遲的開始或期滿時啟動所述第二電壓比較器。

【0024】 根據實施例，所述電子器件層進一步包括電壓表，並且所述控制器被配置為使所述電壓表在所述時間延遲期滿時測量所述電壓。

【0025】 根據實施例，所述控制器被配置為基於在所述時間延遲期滿時測得的所述電壓的值來確定 X 射線光子能量。

【0026】 根據實施例，所述控制器被配置為連接所述第一表面上的至少一個所述電觸點到電接地。

【0027】 根據實施例，所述外延層包括矽、鍺、砷化鎵、碲化鎳、鎳鋅碲或其組合。

【0028】 本文公佈一種 X 射線檢測器的使用方法，其包括：將分析物置於 X 射線檢測器上，其中所述 X 射線檢測器包括外延層；使所述分析物產生 X 射線螢光；通過所述外延層吸收至少一部分所述 X 射線螢光；基於所述 X 射線螢光在所述外延層中產生的電

信號檢測所述 X 射線螢光。

【0029】 根據實施例，所述使用方法進一步包括將所述 X 射線檢測器浸入液體中。

【0030】 根據實施例，所述分析物包括細胞、核酸、肽或其任意組合。

【0031】 根據實施例，所述分析物被直接置於所述外延層上。

【0032】 根據實施例，所述 X 射線檢測器包括在所述外延層上的閃爍體層，並且所述分析物被直接置於所述閃爍體層上。

【0033】 根據實施例，所述 X 射線檢測器包括在所述外延層上的共用電極，並且所述分析物被直接置於所述共用電極上。

【0034】 根據實施例，所述 X 射線檢測器包括電子器件層，並且其中所述外延層被鍵合至所述電子器件層。

【0035】 根據實施例，所述 X 射線檢測器包括在所述外延層的第一表面上的電觸點，所述第一表面面向所述電子器件層；其中所述電子器件層包括電觸點；其中所述第一表面上的所述電觸點被鍵合至所述電子器件層的所述電觸點。

【0036】 根據實施例，所述外延層包括 p-n 接面或 p-i-n 接面。

【圖式簡單說明】

【0037】

圖 1A 和圖 1B 示意示出 XRF 的機制。

圖 2A 示意示出根據實施例的 X 射線檢測器。

圖 2B 示意示出根據實施例的 X 射線檢測器。

圖 2C 示意示出根據實施例的圖 2A 或圖 2B 中的 X 射線檢測器的一部分的示例性頂視圖。

圖 3A 和圖 3B 各自示出根據實施例的圖 1A 或圖 1B 中的 X 射線檢測器的電子系統的元件圖。

圖 4 示意示出根據實施例的流過暴露於 X 射線的 X 射線吸收層的電觸點的電流的時間變化（上曲線），所述電流由入射在所述 X 射線吸收層上的 X 射線光子產生的載流子引起，以及所述電觸點電壓的相應時間變化（下曲線）。

圖 5 示意示出根據實施例的，在以圖 4 所示的方式操作的電子系統中，由雜訊（例如，暗電流）引起的流過所述電觸點的所述電流的時間變化（上曲線），以及所述電觸點的電壓的相應時間變化（下曲線）。

圖 6 示意示出根據實施例的，當所述電子系統以更高速率操作以檢測入射 X 射線光子時，流過暴露於所述 X 射線的所述 X 射線吸收層的電觸點的電流的時間變化（上曲線），所述電流由入射在所述 X 射線吸收層上的所述 X 射線光子產生的載流子引起，以及所述電觸點的電壓的相應時間變化（下曲線）。

圖 7 示意示出根據實施例的，在以圖 6 所示的方式操作的電子系統中，由雜訊（例如，暗電流）引起的流過所述電觸點的所述電流（上曲線）的時間變化，以及所述電觸點的電壓的相應時間變化（下曲線）。

圖 8 示意示出根據實施例的，在以圖 6 所示的方式操作的電子系統中，其復位時段 RST 在時間 t_e 之前期滿，由入射在所述 X 射線吸收層上的一系列 X 射線光子產生的載流子引起的流過所述電觸點的所述電流的時間變化（上曲線），以及所述電觸點的電壓的相應時間變化。

圖 9A 示意示出根據實施例的適用於使用諸如圖 4 所示的所述電子系統之類的系統來檢測 X 射線的方法的流程圖。

圖 9B 示意示出根據實施例的適用於使用諸如圖 6 所示的所述電子系統之類的系統來檢測 X 射線的方法的流程圖。

圖 10A-圖 10F 示意示出根據實施例的製備所述 X 射線檢測器的方法。

圖 11 示意示出根據實施例的所述 X 射線檢測器可用於分析附於其上的樣品。

【實施方式】

【0038】 圖 2A 示意示出根據實施例的 X 射線檢測器 100。所述 X 射線檢測器 100 可包括 X 射線吸收層 110 和電子器件層 120（例如，ASIC 或 CMOS 層），其用於處理或分析入射 X 射線在所述 X 射線吸收層 110 中產生的電信號。在實施例中，所述 X 射線檢測器 100 可以在所述 X 射線吸收層 110 的頂部上包括閃爍體層 102。所述閃爍體層 102 可以包括多孔矽。所述閃爍體層 102 可以是可選的，並且在至少一些實施例中未被應用。所述 X 射線吸收層 110

包括可以預先支撐在基板上的外延層。所述外延層和所述基板都是晶體，並且所述外延層相對於所述基板的晶體結構具有明確定義的取向。可以通過外延生長形成所述外延層，例如但不限於氣相外延（VPE）、化學氣相沉積（CVD）、分子束外延（MBE）或液相外延（LPE）。所述外延層可包括半導體材料，比如矽、鍺、砷化鎵（GaAs）、碲化鎘（CdTe）、鎘鋅碲（CdZnTe）或其組合。所述半導體材料對於感興趣的 X 射線能量可具有高的質量衰減係數（例如，幾個 keV）。在實施例中，所述外延層可為約 1-10 微米厚或約 5-10 微米厚。

【0039】 所述 X 射線吸收層 110 可包括由第一摻雜區 111、第二摻雜區 113 的一個或多個離散區 114 組成的一個或多個二極體（例如，p-i-n 或 p-n）。所述第二摻雜區 113 可通過可選的本徵區 112 而與所述第一摻雜區 111 分離。在實施例中，所述離散區 114 通過所述第一摻雜區 111 或所述本徵區 112 而彼此分離。所述第一摻雜區 111 和所述第二摻雜區 113 具有相反類型的摻雜（例如，第一摻雜區 111 是 p 型並且第二摻雜區 113 是 n 型，或者第一摻雜區 111 是 n 型並且第二摻雜區 113 是 p 型）。在圖 2A 中的示例中，所述第二摻雜區 113 的每個離散區 114 與所述第一摻雜區 111 和所述可選的本徵區 112 一起組成一個二極體。即，在圖 2A 中的示例中，所述 X 射線吸收層 110 包括多個二極體，其具有所述第一摻雜區 111 作為共用電極。所述第一摻雜區 111 還可具有離散部分。

【0040】 圖 2B 示意示出根據實施例的 X 射線檢測器 100。所述 X 射線檢測器 100 可包括 X 射線吸收層 110 和電子器件層 120（例如，ASIC 或 CMOS 層），所述電子器件層 120 用於處理或分析入射 X 射線在所述 X 射線吸收層 110 中產生的電信號。在實施例中，所述 X 射線檢測器 100 可以在所述 X 射線吸收層 110 的頂部上包括閃爍體層 102。所述閃爍體層 102 可以包括多孔矽。所述閃爍體層 102 可以是可選的，並且在至少一些實施例中未被應用。所述 X 射線吸收層 110 包括可以預先支撐在基板上的外延層。所述外延層和所述基板都是晶體，並且所述外延層相對於所述基板的晶體結構具有明確定義的取向。可以通過外延生長形成所述外延層，例如但不限於氣相外延（VPE）、化學氣相沉積（CVD）、分子束外延（MBE）或液相外延（LPE）。所述外延層可包括半導體材料，比如矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe 或其組合。所述半導體材料對於感興趣的 X 射線能量可具有高的品質衰減係數（例如，幾個 keV）。所述 X 射線吸收層 110 可不包括二極體但包括電阻器。在一個實施例中，所述外延層可為約 1-10 微米厚或 5-10 微米厚。

【0041】 當 X 射線光子撞擊包括二極體的所述 X 射線吸收層 110 時，所述 X 射線光子可被吸收並通過若干機制產生一個或多個載流子。一個 X 射線光子可產生 10 到 100000 個載流子。所述載流子可在電場下向一個共用電極 119A 和所述電觸點 119B 漂移。所述電極 119A 可包括柵極或包括導電材料（例如但不限於銀（Ag）奈米線、碳奈米管（CNT）、碳、石墨、石墨烯或其任意組合）。

所述電場可以是外部電場。所述電觸點 119B 中的每一個均可與所述離散區 114 電連接，並且所述載流子可通過所述離散區 114 飄移到所述電觸點 119B。在實施例中，所述載流子可向不同方向漂移，使得由單個 X 射線光子產生的所述載流子大致未被兩個不同的離散區 114 共用（「大致未被共用」在這裡意指這些載流子中的不到 5%、不到 2%或不到 1%流向與餘下載流子不同的一個所述離散區 114）。在實施例中，由單個 X 射線光子產生的所述載流子可被兩個不同的離散區 114 共用。圖 2C 示出具有離散區 114 的 4×4 陣列的所述 X 射線檢測器 100 的一部分的示例性頂視圖。入射在所述離散區 114 之一的足跡周圍的 X 射線光子所產生的載流子大致未被另一所述離散區 114 共用。所述離散區 114 的周圍區（由入射在其中的 X 射線光子所產生的載流子大致全部（超過 95%、超過 98%或超過 99%）流向該所述離散區 114）被稱為與該所述離散區 114 相關聯的一個圖元。即，所述載流子中的不到 5%、不到 2%或不到 1%流到所述圖元之外。通過測量流入每個所述離散區 114 的漂移電流，或通過測量每個所述離散區 114 的電壓的變化率，被吸收的 X 射線光子的數目（與入射 X 射線強度有關）和/或其在與所述離散區 114 相關聯的所述圖元中的能量可被確定。因此，入射 X 射線強度的空間分佈（例如，圖像）可以通過分別測量進入所述離散區 114 的陣列中的每一個所述離散區 114 的漂移電流，或通過測量所述離散區 114 的陣列中的每一個所述離散區 114 的電壓的變化率來確定。所述圖元可以以任何合適的陣列

組織，例如，正方形陣列、三角形陣列和蜂窩陣列。所述圖元可以具有任何合適的形狀，例如，圓形、三角形、正方形、矩形和六角形。所述圖元可以是單獨可定址的。

【0042】 當 X 射線光子撞擊包括電阻器但不包括二極體的所述 X 射線吸收層 110 時，所述 X 射線光子可被吸收並通過若干機制產生一個或多個載流子。一個 X 射線光子可產生 10 到 100000 個載流子。所述載流子可在電場下向一個共用電極 119A 和所述電觸點 119B 漂移。所述電極 119A 可包括柵極或包括導電材料（例如但不限於銀（Ag）奈米線、碳奈米管（CNT）、碳、石墨、石墨烯或其任意組合）。所述電場可以是外部電場。在實施例中，所述載流子可向不同方向漂移，使得由單個 X 射線光子產生的所述載流子大致未被兩個不同的電觸點 119B 共用（「大致未被共用」在這裡意指這些載流子中的不到 5%、不到 2%或不到 1%流向與餘下載流子不同的一個所述電觸點 119B）。在實施例中，由單個 X 射線光子產生的所述載流子可被兩個不同的電觸點 119B 共用。由入射在所述電觸點 119B 之一的足跡周圍的 X 射線光子所產生的載流子大致未被另一個所述電觸點 119B 共用。所述電觸點 119B 之一的周圍區（由入射在其中的 X 射線光子所產生的載流子大致全部（超過 95%、超過 98%或超過 99%）流向該所述電觸點 119B）被稱為與該所述電觸點 119B 相關聯的一個圖元。即，所述載流子中的不到 5%、不到 2%或不到 1%流到與該所述電觸點 119B 相關聯的所述圖元之外。通過測量流入每個所述電觸點 119B 的漂移電流，或

通過測量每個所述電觸點 119B 的電壓的變化率，被吸收的 X 射線光子的數目（與入射 X 射線強度有關）和/或其在與所述電觸點 119B 相關聯的所述圖元中的能量可被確定。因此，入射 X 射線強度的空間分佈（例如，圖像）可以通過分別測量進入所述電觸點 119B 的陣列中的每一個電觸點 119B 的漂移電流，或通過測量所述電觸點 119B 的陣列中的每一個電觸點 119B 的電壓的變化率來確定。所述圖元可以以任何合適的陣列組織，例如，正方形陣列、三角形陣列和蜂窩陣列。所述圖元可以具有任何合適的形狀，例如，圓形、三角形、正方形、矩形和六角形。所述圖元可以是單獨可定址的。

【0043】 所述電子器件層 120 可包括電子系統 121，其適用於處理或解釋由入射在 X 射線吸收層 110 上的 X 射線光子所產生的信號。所述電子系統 121 可包括類比電路比如濾波器網路、放大器、積分器、比較器，或數位電路比如微處理器和記憶體。所述電子系統 121 可包括由所述圖元共用的元件或專用於單個圖元的元件。例如，電子系統 121 可包括專用於每個所述圖元的放大器和在所有圖元間共用的微處理器。所述電子系統 121 可通過通孔 131 電連接到所述圖元。所述通孔之間的空間可用填充材料 130 填充，其可增加所述電子器件層 120 到所述 X 射線吸收層 110 連接的機械穩定性。其他鍵合技術有可能在不使用通孔的情況下將所述電子系統 121 連接到所述圖元。在鍵合之後，所述電觸點 119B 可被鍵合至所述電子器件層 120 的電觸點。在實施例中，所述電子系

統 121 可被配置為不從所述 X 射線吸收層 110 中的材料檢測 XRF。

【0044】 圖 3A 和圖 3B 各自示出根據實施例的電子系統 121 元件圖。所述電子系統 121 可包括第一電壓比較器 301、第二電壓比較器 302、計數器 320、開關 305、電壓表 306 和控制器 310。

【0045】 所述第一電壓比較器 301 被配置為將至少一個所述電觸點 119B 的電壓與第一閾值進行比較。所述第一電壓比較器 301 可被配置為直接監控所述電壓，或通過對一段時間內流過所述至少一個所述電觸點 119B 的電流進行積分來計算所述電壓。所述第一電壓比較器 301 可由所述控制器 310 可控地啟動或停用。所述第一電壓比較器 301 可以是連續比較器。即，所述第一電壓比較器 301 可被配置為連續地被啟動並連續地監控所述電壓。被配置為連續比較器的所述第一電壓比較器 301 減少了所述電子系統 121 錯過由入射 X 射線光子產生的信號的機會。當入射的 X 射線強度相對較高時，被配置為連續比較器的所述第一電壓比較器 301 是特別適合的。所述第一電壓比較器 301 可以是鐘控比較器，其具有功耗較低的優點。配置為鐘控比較器的所述第一電壓比較器 301 可能導致所述電子系統 121 錯過某些入射 X 射線光子生成的信號。當入射 X 射線強度較低時，錯過入射 X 射線光子的機會就較低，因為兩個連續光子之間的時間間隔相對較長。因此，當入射 X 射線強度相對較低時，被配置為鐘控比較器的所述第一電壓比較器 301 是特別適合的。所述第一閾值可以是一個人射 X 射線光子在所述至少一個所述電觸點 119B 上所產生的最大電壓的 5-10%、

10%-20%、20-30%、30-40%或 40-50%。所述最大電壓可取決於所述入射 X 射線光子的能量（即，所述入射 X 射線的波長）、所述 X 射線吸收層 110 的材料以及其他因素。例如，所述第一閾值可以是 50mV、100mV、150mV 或 200mV。

【0046】 所述第二電壓比較器 302 被配置為將所述電壓與第二閾值進行比較。所述第二電壓比較器 302 可被配置為直接監控所述電壓或通過對一段時間內流過所述至少一個所述電觸點 119B 的電流進行積分來計算所述電壓。所述第二電壓比較器 302 可以是連續比較器。所述第二電壓比較器 302 可由所述控制器 310 可控地啟動或停用。當所述第二電壓比較器 302 被停用時，所述第二電壓比較器 302 的功耗可以是當所述第二電壓比較器 302 啟動時功耗的不到 1%、不到 5%、不到 10%或不到 20%。所述第二閾值的絕對值大於所述第一閾值的絕對值。如本文所使用的術語實數 x 的「絕對值」或「模數」 $|x|$ 是 x 的非負值而不考慮它的符號。即，

$|x| = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ -x, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$ 。所述第二閾值可以是所述第一閾值的

200%-300%。所述第二閾值至少是所述至少一個所述電觸點 119B 上產生的一個入射 X 射線光子最大電壓的 50%。例如，所述第二閾值可以是 100mV、150mV、200mV、250mV 或 300mV。所述第二電壓比較器 302 和所述第一電壓比較器 301 可以是相同元件。即，所述電子系統 121 可具有同一個電壓比較器，該電壓比較器可在不同時間將電壓與兩個不同的閾值進行比較。

【0047】 所述第一電壓比較器 301 或所述第二電壓比較器 302 可包括一個或多個運算放大器或任何其他合適的電路。所述第一電壓比較器 301 或所述第二電壓比較器 302 可具有高速度以允許所述電子系統 121 在高通量入射 X 射線下操作。然而，具有高速度通常以功耗為代價。

【0048】 所述計數器 320 被配置為記錄到達所述 X 射線吸收層 110 的 X 射線光子的數目。所述計數器 320 可以是軟體元件（例如，存儲在電腦記憶體中的數位）或硬體元件（例如，4017IC 和 7490IC）。

【0049】 所述控制器 310 可以是硬體元件，例如，微控制器和微處理器。所述控制器 310 被配置為從所述第一電壓比較器 301 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（例如，所述電壓的絕對值從低於所述第一閾值的絕對值增加到等於或超過所述第一閾值的絕對值）時啟動時間延遲。在這裡使用絕對值是因為電壓可以是負的或正的。所述控制器 310 可被配置為在所述第一電壓比較器 301 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之前，保持停用所述第二電壓比較器 302、所述計數器 320、以及所述第一電壓比較器 301 的操作中不需要的任何其他電路。在所述電壓變得穩定（即所述電壓的變化率大致為零）之前或之後，所述時間延遲可以期滿。短語「變化率大致為零」意指所述電壓的時間變化率小於 $0.1\%/ns$ 。短語「變化率大致為非零」意指所述電壓的時間變化率至少為 $0.1\%/ns$ 。

【0050】 所述控制器 310 可被配置為在所述時間延遲期間（包括開始和期滿）啟動所述第二電壓比較器。在實施例中，所述控制器 310 被配置為在所述時間延遲開始時啟動所述第二電壓比較器。術語「啟動」意指使元件進入操作狀態（例如，通過發送諸如電壓脈衝或邏輯準位等信號，通過提供電力等）。術語「停用」意指使元件進入非操作狀態（例如，通過發送諸如電壓脈衝或邏輯準位等信號，通過切斷電力等）。所述操作狀態可具有比所述非操作狀態更高的功耗（例如，高 10 倍、高 100 倍、高 1000 倍）。所述控制器 310 本身可被停用直到所述第一電壓比較器 301 的輸出在所述電壓絕對值等於或超過所述第一閾值絕對值時啟動所述控制器 310。

【0051】 如果在所述時間延遲期間，所述第二電壓比較器 302 確定所述電壓的絕對值等於或超過所述第二閾值的絕對值，則所述控制器 310 可被配置為使所述計數器 320 記錄的數目增加一。

【0052】 所述控制器 310 可被配置為使所述電壓表 306 在所述時間延遲期滿時測量所述電壓。所述控制器 310 可被配置為使所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地，以重定所述電壓並使所述至少一個所述電觸點 119B 上累積的任何載流子放電。在實施例中，所述至少一個所述電觸點 119B 在所述時間延遲期滿後連接到電接地。在實施例中，所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地並持續有限的復位時段。所述控制器 310 可通過控制所述開關 305 而使所述至少一個所述電觸點 119B 連接到所述電接地。所述

開關可以是電晶體比如場效應電晶體 (FET)。

【0053】 在實施例中，所述電子系統 121 沒有類比濾波器網路 (例如，RC 網路)。在實施例中，所述電子系統 121 沒有類比電路。

【0054】 所述電壓表 306 可將其測量的電壓以類比或數位信號饋送給所述控制器 310。

【0055】 所述電子系統 121 可包括電連接到所述至少一個所述電觸點 119B 的積分器 309，其中所述積分器被配置為從所述至少一個所述電觸點 119B 收集載流子。所述積分器 309 可在放大器的回饋路徑中包括電容器。如此配置的放大器稱為電容跨阻放大器 (CTIA)。CTIA 通過防止所述放大器飽和而具有高的動態範圍，並且通過限制信號路徑中的頻寬來提高信噪比。來自所述至少一個所述電觸點 119B 的載流子在一段時間 (「積分期」) (例如，如圖 4 所示，在 t_0 到 t_1 之間，或在 t_1 到 t_2 之間) 內累積在所述電容器上。在所述積分期期滿後，所述電容器電壓被採樣，然後通過重定開關進行重定。所述積分器可包括直接連接到所述至少一個所述電觸點 119B 的電容器。

【0056】 圖 4 示意示出由入射在所述 X 射線吸收層 110 上的 X 射線光子產生的載流子所引起的，流過所述至少一個所述電觸點 119B 的所述電流的時間變化 (上曲線) 和所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓的相應時間變化 (下曲線)。所述電壓可以是所述電流相對於時間的積分。在時間 t_0 ，所述 X 射線光子撞擊所述 X 射線吸收層 110，載流子開始在所述 X 射線吸收層 110 中產生，

電流開始流過所述至少一個所述電觸點 119B，並且所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓的絕對值開始增加。在時間 t_1 ，所述第一電壓比較器 301 確定所述電壓的絕對值等於或超過所述第一閾值 V_1 的絕對值，所述控制器 310 啟動時間延遲 TD1，並且所述控制器 310 可在所述 TD1 開始時停用所述第一電壓比較器 301。如果所述控制器 310 在時間 t_1 之前被停用，則在時間 t_1 啟動所述控制器 310。在所述 TD1 期間，所述控制器 310 啟動所述第二電壓比較器 302。這裡使用的術語在時間延遲「期間」意指開始和期滿（即，結束）和中間的任何時間。例如，所述控制器 310 可在所述 TD1 期滿時啟動所述第二電壓比較器 302。如果在所述 TD1 期間，所述第二電壓比較器 302 確定在時間 t_2 所述電壓的絕對值等於或超過所述第二閾值的絕對值，則所述控制器 310 使所述計數器 320 記錄的數目增加一。在時間 t_e ，由所述 X 射線光子產生的所有載流子全部漂移出所述 X 射線吸收層 110。在時間 t_s ，所述 TD1 期滿。在圖 4 的示例中，時間 t_s 在時間 t_e 之後；即 TD1 在所述 X 射線光子產生的所有載流子全部漂移出所述 X 射線吸收層 110 之後期滿。因此所述電壓的變化率在時間 t_s 大致為零。所述控制器 310 可被配置為在 TD1 期滿時或在時間 t_2 ，或在二者之間的任何時間停用所述第二電壓比較器 302。

【0057】 所述控制器 310 可被配置為在所述時間延遲 TD1 期滿時使所述電壓表 306 測量所述電壓。在實施例中，當所述電壓的變化率在所述時間延遲 TD1 期滿後變為大致為零之後，所述控制器

310 使所述電壓表 306 測量所述電壓。此時的所述電壓與 X 射線光子產生的載流子的數目成正比，其與所述 X 射線光子的能量有關。所述控制器 310 可被配置為基於所述電壓表 306 測得的電壓來確定所述 X 射線光子的能量。確定所述能量的一種方法是對電壓進行裝倉。所述計數器 320 可具有用於每個倉的子計數器。當所述控制器 310 確定所述 X 射線光子的所述能量落在一個倉中時，該所述控制器 310 可以使在針對該倉的子計數器中記錄的數目增加一。因此，所述電子系統 121 能夠檢測 X 射線的圖像並且能夠解析每個 X 射線光子的 X 射線光子能量。

【0058】 在 TD1 期滿之後，所述控制器 310 使所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地並持續一個復位時段 RST，以允許所述至少一個所述電觸點 119B 上累積的載流子流到接地並重定電壓。在 RST 之後，所述電子系統 121 已準備好檢測另一個入射 X 射線光子。隱含地，在圖 4 的示例中所述電子系統 121 可以處理的入射 X 射線光子的速率受限於 $1 / (TD1 + RST)$ 。如果所述第一電壓比較器 301 被停用，所述控制器 310 可在 RST 期滿之前的任何時間啟動它。如果所述控制器 310 被停用，則其可在 RST 期滿之前被啟動。

【0059】 圖 5 示意示出在以圖 4 所示的方式操作的所述電子系統 121 中，由雜訊（例如，暗電流、背景輻射、散射輻射、螢光輻射、來自相鄰圖元的共用電荷）引起的流過所述至少一個所述電觸點 119B 的電流的時間變化（上曲線），以及所述至少一個所述電觸

點 119B 的電壓的相應時間變化（下曲線）。在時間 t_0 ，所述雜訊開始。如果所述雜訊沒有大到足以導致所述電壓的絕對值超過 V_1 的絕對值，則所述控制器 310 不啟動所述第二電壓比較器 302。如果所述雜訊大到足以導致所述電壓的絕對值如所述第一電壓比較器 301 所確定的在時間 t_1 超過 V_1 的絕對值，則所述控制器 310 啟動所述時間延遲 TD1，並且所述控制器 310 可在 TD1 開始時停用所述第一電壓比較器 301。在 TD1 期間（例如，在 TD1 期滿時），所述控制器 310 啟動所述第二電壓比較器 302。所述雜訊非常不可能大到足以在 TD1 期間使所述電壓的絕對值超過 V_2 的絕對值。因此，所述控制器 310 不會使所述計數器 320 記錄的數目增加。在時間 t_e ，所述雜訊結束。在時間 t_s ，所述時間延遲 TD1 期滿。所述控制器 310 可被配置為在 TD1 期滿時停用所述第二電壓比較器 302。如果在 TD1 期間所述電壓的絕對值不超過 V_2 的絕對值，則所述控制器 310 可被配置為不讓所述電壓表 306 測量所述電壓。在 TD1 期滿後，所述控制器 310 將使所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地並持續一個復位週期 RST，以允許由於雜訊而累積在所述至少一個所述電觸點 119B 上的載流子流到接地並重定所述電壓。因此，所述電子系統 121 可以非常有效地抑制雜訊。

【0060】 圖 6 示意示出，當所述電子系統 121 以高於 $1/(TD1 + RST)$ 的速率操作以檢測入射 X 射線光子時，由入射在所述 X 射線吸收層 110 上的 X 射線光子產生的載流子所引起的流過所述至

少一個所述電觸點 119B 的電流的時間變化（上曲線），以及所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓的相應時間變化（下曲線）。所述電壓可以是所述電流相對於時間的積分。在時間 t_0 ，所述 X 射線光子撞擊所述 X 射線吸收層 110，載流子開始在所述 X 射線吸收層 110 中產生，電流開始流過所述至少一個所述電觸點 119B，並且所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓的絕對值開始增加。在時間 t_1 ，所述第一電壓比較器 301 確定所述電壓的絕對值等於或超過所述第一閾值 V_1 的絕對值，所述控制器 310 啟動比 TD1 短的時間延遲 TD2，並且所述控制器 310 可在 TD2 開始時停用所述第一電壓比較器 301。如果所述控制器 310 在時間 t_1 之前已被停用，則所述控制器 310 在時間 t_1 被啟動。在 TD2 期間（例如，在 TD2 期滿時），所述控制器 310 啟動所述第二電壓比較器 302。如果在 TD2 期間，所述第二電壓比較器 302 確定所述電壓的絕對值在時間 t_2 等於或超過所述第二閾值的絕對值，則所述控制器 310 使所述計數器 320 記錄的數目增加一。在時間 t_e ，由所述 X 射線光子產生的所有載流子都漂移到所述 X 射線吸收層 110 之外。在時間 t_h ，所述時間延遲 TD2 期滿。在圖 6 的示例中，時間 t_h 在時間 t_e 之前；即，TD2 在由所述 X 射線光子產生的所有載流子都漂移出所述 X 射線吸收層 110 之前期滿。因此，所述電壓的變化率在時間 t_h 大致為非零。所述控制器 310 可被配置為在 TD2 期滿時或在時間 t_2 ，或在二者之間的任何時間停用所述第二電壓比較器 302。

【0061】 所述控制器 310 可被配置為根據在 TD2 期間作為時間函數的所述電壓來推斷在時間 t_e 處的所述電壓，並使用所述推斷的電壓來確定所述 X 射線光子的能量。

【0062】 在 TD2 期滿後，所述控制器 310 使所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地並持續一個復位時段 RST，以允許所述至少一個所述電觸點 119B 上累積的載流子流到接地並重定所述電壓。在實施例中，RST 在時間 t_e 之前期滿。所述電壓的變化率在 RST 之後可大致為非零，因為由所述 X 射線光子產生的全部載流子在時間 t_e 之前的 RST 期滿時還沒有漂移出所述 X 射線吸收層 110。所述電壓的變化率在時間 t_e 之後變得大致為零，並且所述電壓在時間 t_e 之後穩定在剩餘電壓 VR。在實施例中，RST 在時間 t_e 之時或之後期滿，並且所述電壓的變化率在 RST 之後可大致為零，因為由所述 X 射線光子產生的全部載流子在時間 t_e 漂移出所述 X 射線吸收層 110。在 RST 之後，所述電子系統 121 已準備好檢測另一個入射 X 射線光子。如果所述第一電壓比較器 301 已被停用，所述控制器 310 可在 RST 期滿之前的任何時間啟動它。如果所述控制器 310 已被停用，則其可在 RST 期滿之前被啟動。

【0063】 圖 7 示意示出在以圖 6 中所示的方式操作的所述電子系統 121 中，由雜訊（例如，暗電流、背景輻射、散射輻射、螢光輻射、來自相鄰圖元的共用電荷）引起的流過所述至少一個所述電觸點 119B 的電流的時間變化（上曲線），以及所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓的相應時間變化（下曲線）。在時間 t_0 ，所

述雜訊開始。如果所述雜訊沒有大到足以導致電壓的絕對值超過 $V1$ 的絕對值，則所述控制器 310 不啟動所述第二電壓比較器 302。如果所述雜訊大到，如第一電壓比較器 301 所確定的，足以導致所述電壓的絕對值在時間 t_1 超過 $V1$ 的絕對值，則所述控制器 310 啟動所述時間延遲 TD2，並且所述控制器 310 可以在 TD2 開始時停用第一電壓比較器 301。在 TD2 期間（例如，在 TD2 期滿時），所述控制器 310 啟動第二電壓比較器 302。所述雜訊非常不可能大到足以在 TD2 期間使所述電壓的絕對值超過 $V2$ 的絕對值。因此，所述控制器 310 不會使所述計數器 320 記錄的數目增加。在時間 t_e ，所述噪音結束。在時間 t_h ，所述時間延遲 TD2 期滿。所述控制器 310 可被配置為在 TD2 期滿時停用所述第二電壓比較器 302。在 TD2 期滿之後，所述控制器 310 將所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地並持續一個復位週期 RST，以允許由於雜訊而累積在所述至少一個所述電觸點 119B 上的載流子流到接地並重定所述電壓。因此，所述電子系統 121 可非常有效地抑制雜訊。

【0064】圖 8 示意示出，在以圖 6 中所示的方式操作的所述電子系統 121 中，RST 在時間 t_e 之前期滿，由入射在所述 X 射線吸收層 110 上的 X 射線光子產生的載流子引起的流過所述至少一個所述電觸點 119B 的電流的時間變化（上曲線），以及所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓的相應時間變化（下曲線）。由每個入射 X 射線光子產生的載流子所引起的電壓曲線被所述 X 射線光子之前的剩餘電壓抵消。所述剩餘電壓的絕對值隨每個入射 X 射線光

子連續增加。當所述剩餘電壓的絕對值超過 $V1$ 時（參見圖 8 中的虛線矩形），所述控制器啟動所述時間延遲 $TD2$ ，並且所述控制器 310 可在 $TD2$ 開始時停用所述第一電壓比較器 301。如果在 $TD2$ 期間沒有其他 X 射線光子入射在所述 X 射線吸收層 110 上，則所述控制器在 $TD2$ 結束時的復位時間段 RST 期間將所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地，從而重定所述剩餘電壓。因此，所述剩餘電壓不會導致所述計數器 320 記錄的數目增加。

【0065】 圖 9A 示出適用於使用諸如圖 4 所示的所述電子系統 121 之類的系統來檢測 X 射線的方法的流程圖。在步驟 901 中，將所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓與所述第一閾值進行比較（例如，使用所述第一電壓比較器 301）。在步驟 902 中，確定（例如，使用所述控制器 310）所述電壓的絕對值是否等於或超過所述第一閾值 $V1$ 的絕對值。如果所述電壓的絕對值沒有等於或超過所述第一閾值的絕對值，則所述方法返回到步驟 901。如果所述電壓的絕對值等於或超過所述第一閾值的絕對值，則繼續到步驟 903。在步驟 903 中，開始（例如，使用所述控制器 310）時間延遲 $TD1$ 。在步驟 904，在所述時間延遲 $TD1$ 期間（例如，在 $TD1$ 期滿時），啟動（例如，使用所述控制器 310）電路（例如，所述第二電壓比較器 302 或所述計數器 320）。在步驟 905 中，將所述電壓與所述第二閾值進行比較（例如，使用所述第二電壓比較器 302）。在步驟 906 中，確定（例如，使用所述控制器 310）所述電壓的絕對值是否等於或超過所述第二閾值 $V2$ 的絕對值。如果所述電壓的絕對值

沒有等於或超過所述第二閾值的絕對值，則所述方法進入步驟 910。如果所述電壓的絕對值等於或超過所述第二閾值的絕對值，則繼續到步驟 907。在步驟 907 中，使（例如，使用所述控制器 310）所述計數器 320 中記錄的數目增加一。在可選步驟 908 中，測量（例如，使用所述電壓表 306）在所述時間延遲 TD1 期滿時的所述電壓。在可選步驟 909 中，基於在步驟 908 中測量的所述電壓來確定（例如，使用所述控制器 310）所述 X 射線光子能量。每個能量倉可以有一個計數器。在測量了所述 X 射線光子能量後，所述 X 射線光子能量所屬的所述倉的計數器可以增加一。所述方法在步驟 909 之後進入步驟 910。在步驟 910 中，重置（例如，通過將所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地）所述電壓。步驟 908 和 909 可被省略（例如，當相鄰圖元共用從單個 X 射線光子產生的載流子的大部分（例如， $> 30\%$ ）時）。

【0066】 圖 9B 示出適用於使用諸如圖 6 所示的所述電子系統 121 之類的系統檢測 X 射線的方法的流程圖。在步驟 1001 中，將所述至少一個所述電觸點 119B 的電壓與所述第一閾值進行比較（例如，使用所述第一電壓比較器 301）。在步驟 1002 中，確定（例如，利用所述控制器 310）所述電壓的絕對值是否等於或超過所述第一閾值 V1 的絕對值。如果所述電壓的絕對值沒有等於或超過所述第一閾值的絕對值，則所述方法返回到步驟 1001。如果所述電壓的絕對值等於或超過所述第一閾值的絕對值，則繼續到步驟 1003。在步驟 1003 中，開始（例如，使用所述控制器 310）所述時間延

遲 TD2。在步驟 1004 中，在時間延遲 TD2 期間（例如，在 TD2 期滿時），啟動（例如，使用所述控制器 310）電路（例如，第二電壓比較器 302 或計數器 320）。在步驟 1005 中，將所述電壓與所述第二閾值進行比較（例如，使用所述第二電壓比較器 302）。在步驟 1006 中，確定（例如，使用所述控制器 310）所述電壓的絕對值是否等於或超過所述第二閾值 V2 的絕對值。如果所述電壓的絕對值沒有等於或超過所述第二閾值的絕對值，則所述方法進入步驟 1010。如果所述電壓的絕對值等於或超過所述第二閾值的絕對值，則繼續步驟 1007。在步驟 1007 中，使（例如，使用所述控制器 310）所述計數器 320 中記錄的數目增加一。所述方法在步驟 1007 之後進入步驟 1010。在步驟 1010 中，將電壓重置（例如，通過將所述至少一個所述電觸點 119B 連接到電接地，）為電接地。

【0067】 圖 10A-圖 10F 示意示出根據實施例的所述 X 射線檢測器 100 的製備方法。如圖 10A 所示，所述方法開始於在支撐在基板 411 上的外延層 412 的第一表面 412A 上形成電觸點 119B。所述外延層 412 是所述 X 射線吸收層 110 或其一部分。所述第一表面 412A 與所述基板 411 相對。在實施例中，所述基板 411 可以是半導體基板比如矽基板。所述基板 411 可以是本徵半導體或非常輕摻雜的半導體。所述基板 411 可以具有足夠的厚度以在製備過程中為所述外延層 412 提供機械支撐。所述外延層 412 可以包括 p-n 接面或 p-i-n 接面。所述接面可以平行於所述基板 411。所述方法可以包括在所述基板 411 上生長所述外延層 412。該方法可以包括在

外延層 412 的生長期間形成 p-n 接面或 p-i-n 接面。如圖 10B 和圖 10C 所示，所述外延層 412 被鍵合至所述電子器件層 120。鍵合之後，所述外延層 412 的所述第一表面 412A 面向所述電子器件層 120，並且所述第一表面 412A 上的所述電觸點 119B 被鍵合至所述電子器件層 120 的電觸點 120X。如圖 10D 所示，通過移除所述基板 411 使所述外延層 412 的第二表面 412B 被暴露。所述基板 411 的移動可以通過合適的已知的或未來開發的使半導體晶片變薄的方法來執行，例如但不限於機械研磨、化學機械拋光（CMP）、濕蝕刻和乾化學蝕刻（DCE）。如圖 10E 所示，在所述第二表面 412B 上形成共用電極 119A。所述共用電極 119A 可以通過沉積導電材料（例如但不限於銀（Ag）奈米線，碳奈米管（CNT），碳，石墨，石墨烯或它們的任意組合）的柵格而形成。如圖 10F 所示，可選地，在所述共用電極 119A 上形成所述閃爍體層 102。所述閃爍體層 102 與所述外延層 412 相對。

【0068】 所述 X 射線檢測器 100 可用於分析附於其上的樣品。在圖 11 中示意示出的示例中，分析物 1100 可被置於所述 X 射線檢測器 100 上；使所述分析物 1100 發射 X 射線螢光 1150；所述 X 射線螢光 1150 的至少一部分被所述外延層 412 吸收；並且基於所述 X 射線螢光 1150 在所述外延層 412 中產生（直接或通過所述閃爍體層 102，如果存在）的電信號檢測（例如，使用所述電子器件層 120）所述 X 射線螢光 1150。所述 X 射線檢測器 100 可被浸入液體（例如，水溶液）中。所述分析物 1100 可以包括細胞、核酸、

狀或其任意組合。如上所述，所述閃爍體層 102 是可選的。所述分析物 1100 可被直接置於所述外延層 412 上，或者被直接置於所述閃爍體層 102 上。如上所述，所述共用電極 119A 可以不覆蓋整個所述外延層 412（例如，所述共用電極 119A 是柵極）。所述分析物 1100 可被直接置於所述共用電極 119A 上。

【0069】 儘管本文已經公開了各個方面和實施例，但是其他方面和實施例對於本領域技術人員而言將是顯而易見的。本文公開的各個方面和實施例是為了說明的目的而不是限制性的，其真正的範圍和精神應該以本文中的申請專利範圍為準。

【符號說明】

【0070】

100：X 射線檢測器

102：閃爍體層

110：X 射線吸收層

111：第一摻雜區

112：本徵區

113：第二摻雜區

114：離散區

119A：電極

119B、120X：電觸點

120：電子器件層

- 121：電子系統
- 130：填充材料
- 131：通孔
- 301：第一電壓比較器
- 302：第二電壓比較器
- 305：開關
- 306：電壓表
- 309：積分器
- 310：控制器
- 320：計數器
- 411：基板
- 412：外延層
- 412A：第一表面
- 412B：第二表面
- 901、902、903、904、905、906、907、908、909、910、1001、
1002、1003、1004、1005、1006、1007、1010：步驟
- 1100：分析物
- 1150：X射線螢光
- RST：復位時段
- t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_e 、 t_h 、 t_s ：時間
- TD1：時間延遲
- V1：第一閾值

V2：第二閾值

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種X射線檢測器的製備方法，包括：

在支撐在基板上的外延層的第一表面上形成電觸點，所述第一表面與所述基板相對；

將所述外延層鍵合至電子器件層，其中所述第一表面面向所述電子器件層，並且所述第一表面上的所述電觸點被鍵合至所述電子器件層的所述電觸點；

通過移除所述基板而暴露與所述第一表面相對的第二表面；
並且

在所述第二表面上形成共用電極。

【第2項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其進一步包括將所述外延層生長到所述基板上。

【第3項】如申請專利範圍第2項所述的製備方法，其進一步包括在所述外延層生長期間在所述外延層中形成p-n接面或p-i-n接面。

【第4項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其中所述外延層包括p-n接面或p-i-n接面。

【第5項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其進一步包括在所述共用電極上形成閃爍體層，所述閃爍體層與所述外延層相對。

【第6項】如申請專利範圍第5項所述的製備方法，其中所述閃爍體層包括多孔矽。

【第7項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其中所述外延層的厚度為1-10微米。

【第8項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其中所述共用電極包括柵極。

【第9項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其中所述共用電極包括銀（Ag）奈米線、碳奈米管、石墨、石墨烯或其任意組合。

【第10項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其中所述電子器件層包括：

第一電壓比較器，其被配置為將所述第一表面上的至少一個所述電觸點的電壓與第一閾值進行比較；

第二電壓比較器，其被配置為將所述電壓與第二閾值進行比較；

計數器，其被配置為記錄被所述外延層吸收的若干 X 射線光子；

控制器；

其中所述控制器被配置為從所述第一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時啟動時間延遲；

其中所述控制器被配置為在所述時間延遲期間啟動所述第二電壓比較器；

其中所述控制器被配置為當所述第二電壓比較器確定所述電壓的絕對值等於或超過所述第二閾值的絕對值時使所述計數器記

錄的數目增加一。

【第11項】如申請專利範圍第10項所述的製備方法，其中所述電子器件層進一步包括電連接到所述第一表面上的所述至少一個所述電觸點的積分器，其中所述積分器被配置為從所述第一表面上的所述至少一個所述電觸點收集載流子。

【第12項】如申請專利範圍第10項所述的製備方法，其中所述控制器被配置為在所述時間延遲的開始或期滿時啟動所述第二電壓比較器。

【第13項】如申請專利範圍第10項所述的製備方法，其中所述電子器件層進一步包括電壓表，並且所述控制器被配置為使所述電壓表在所述時間延遲期滿時測量所述電壓。

【第14項】如申請專利範圍第13項所述的製備方法，其中所述控制器被配置為基於在所述時間延遲期滿時測得的所述電壓的值來確定X射線光子能量。

【第15項】如申請專利範圍第10項所述的製備方法，其中所述控制器被配置為連接所述第一表面上的所述至少一個所述電觸點到電接地。

【第16項】如申請專利範圍第1項所述的製備方法，其中所述外延層包括矽、鍺、砷化鎵、碲化鎳、鎳鋅碲或其組合。

【第17項】一種X射線檢測器的使用方法，包括：

將分析物置於X射線檢測器上，其中所述X射線檢測器包括外延層；

使所述分析物產生 X 射線螢光；

通過所述外延層吸收至少一部分所述 X 射線螢光；

基於所述 X 射線螢光在所述外延層中產生的電信號檢測所述 X 射線螢光。

【第18項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其進一步包括將所述X射線檢測器浸入液體中。

【第19項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其中所述分析物包括細胞、核酸、肽或其任意組合。

【第20項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其中所述分析物被直接置於所述外延層上。

【第21項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其中所述X射線檢測器包括在所述外延層上的閃爍體層，並且所述分析物被直接置於所述閃爍體層上。

【第22項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其中所述X射線檢測器包括在所述外延層上的共用電極，並且所述分析物被直接置於所述共用電極上。

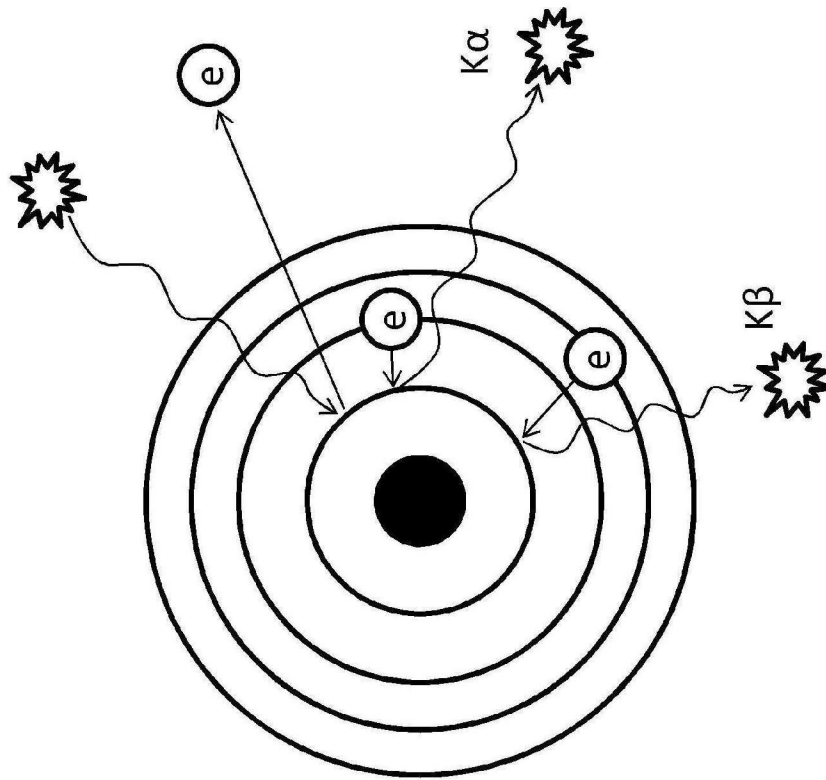
【第23項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其中所述X射線檢測器包括電子器件層，並且其中所述外延層被鍵合至所述電子器件層。

【第24項】 如申請專利範圍第23項所述的使用方法，其中所述X射線檢測器包括在所述外延層的第一表面上的電觸點，所述第一表面面向所述電子器件層；其中所述電子器件層包括電觸點；其

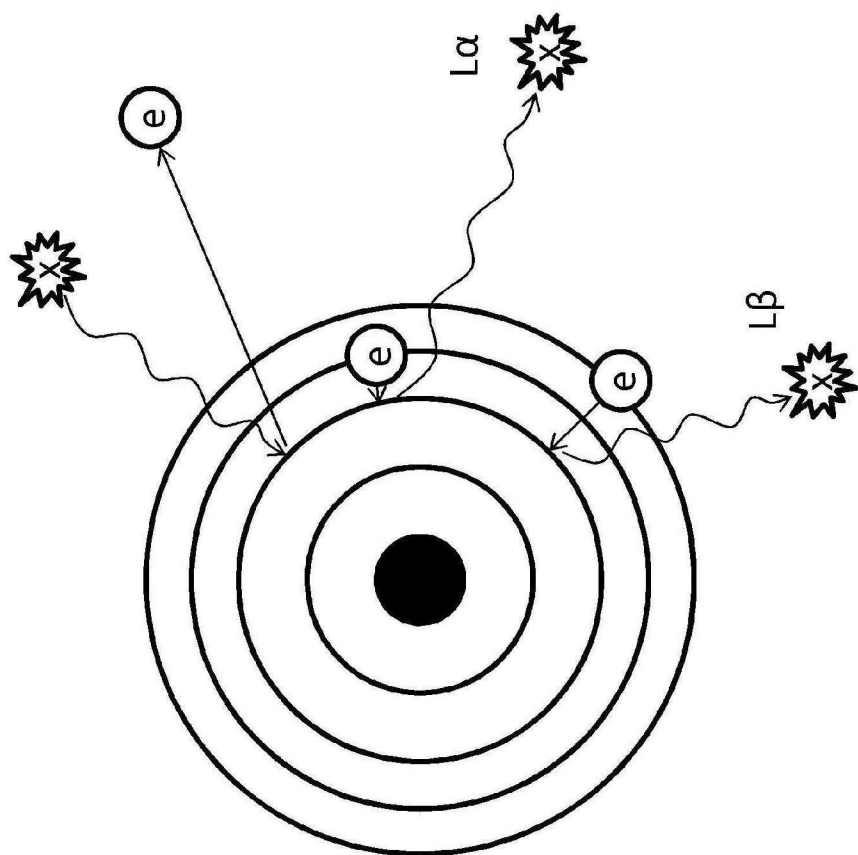
中所述第一表面上的所述電觸點被鍵合至所述電子器件層的所述電觸點。

【第25項】 如申請專利範圍第17項所述的使用方法，其中所述外延層包括p-n接面或p-i-n接面。

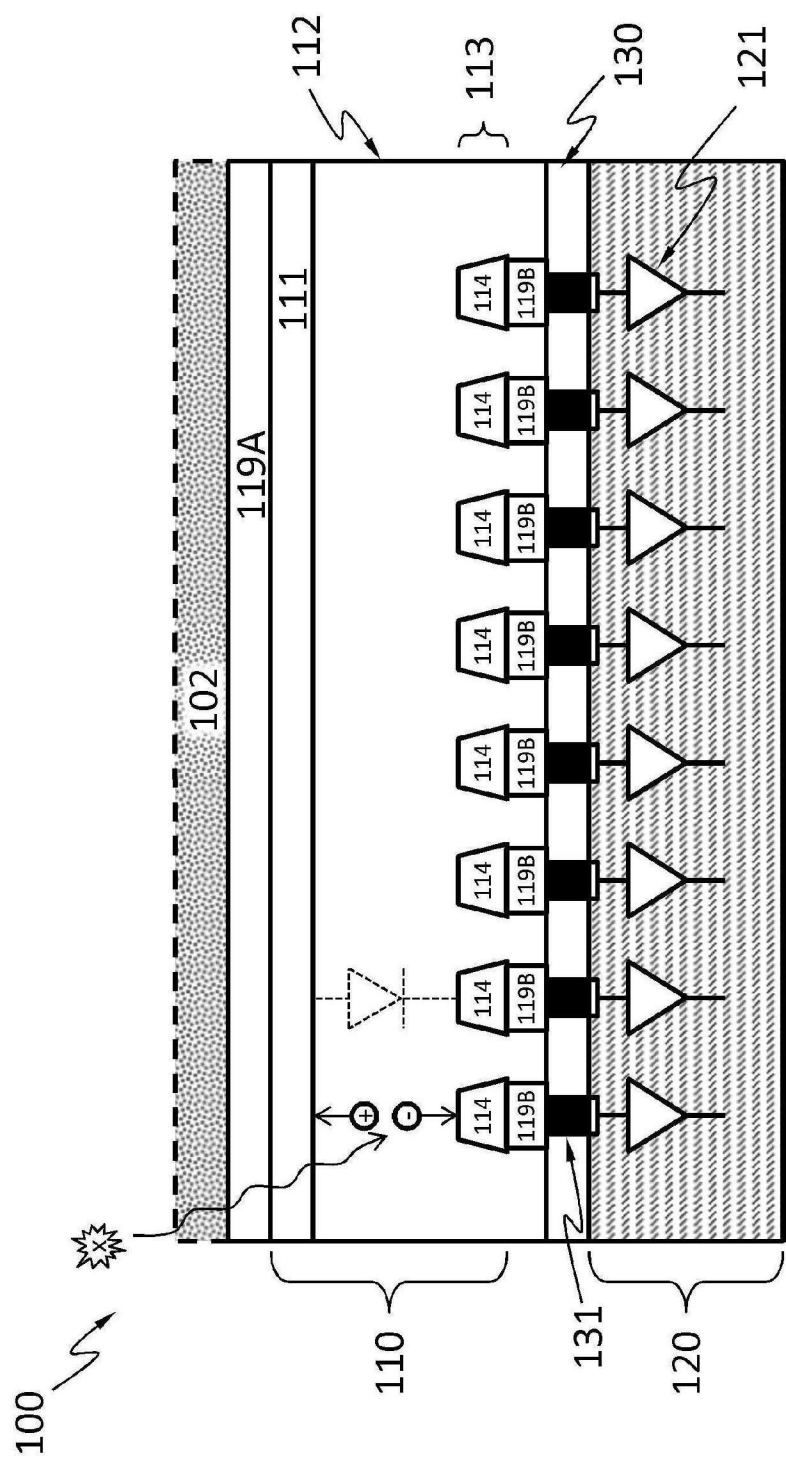
【發明圖式】



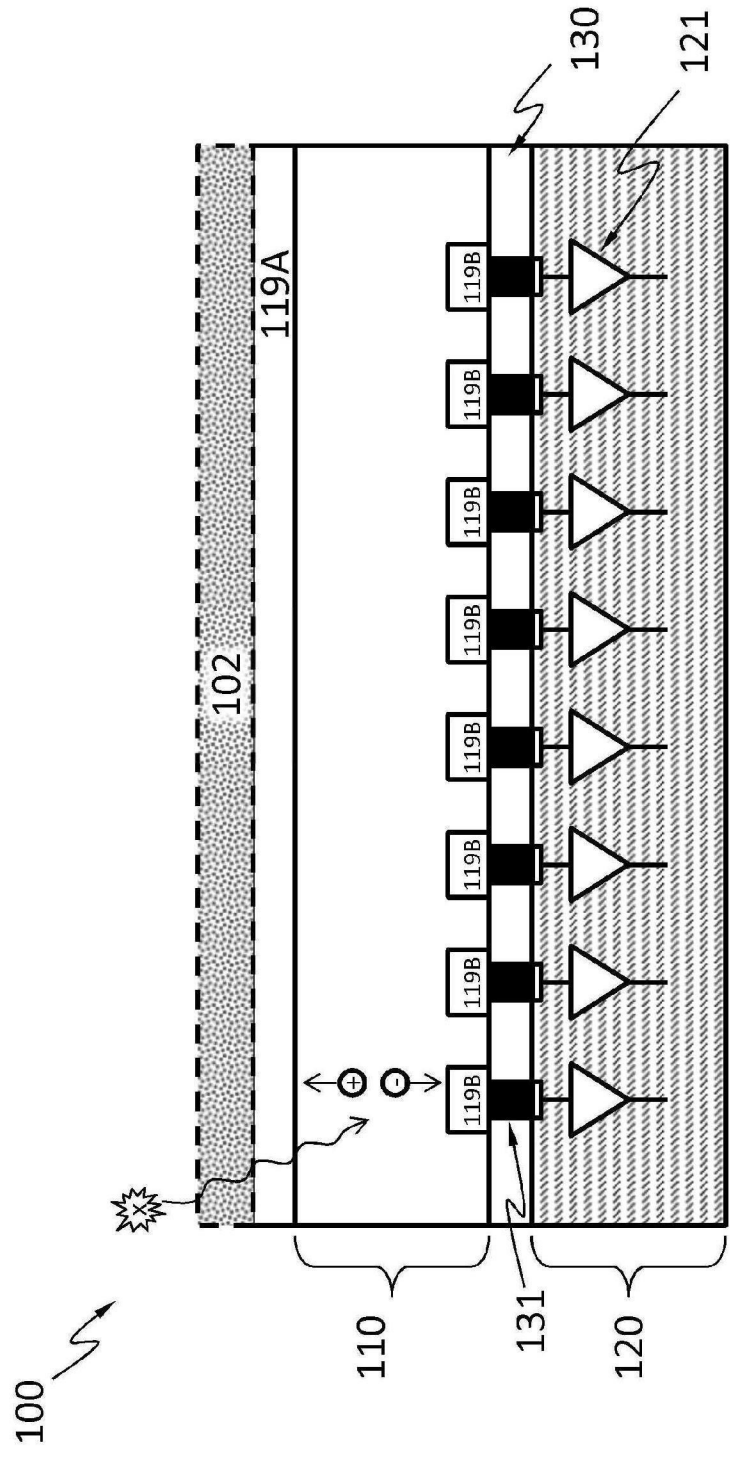
【圖1A】



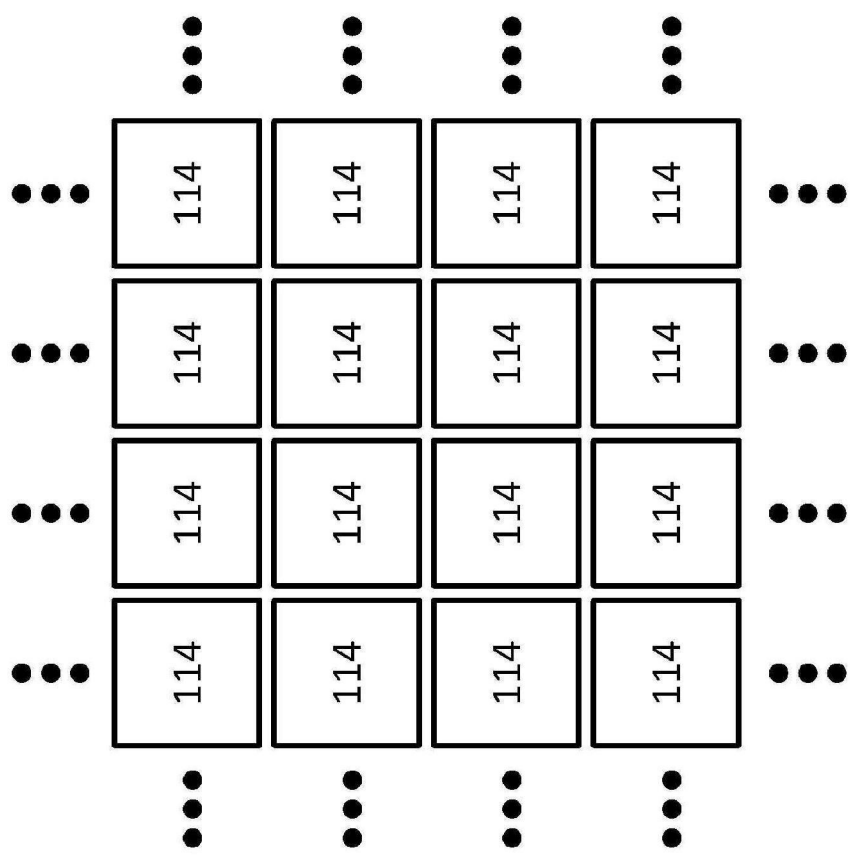
【圖1B】



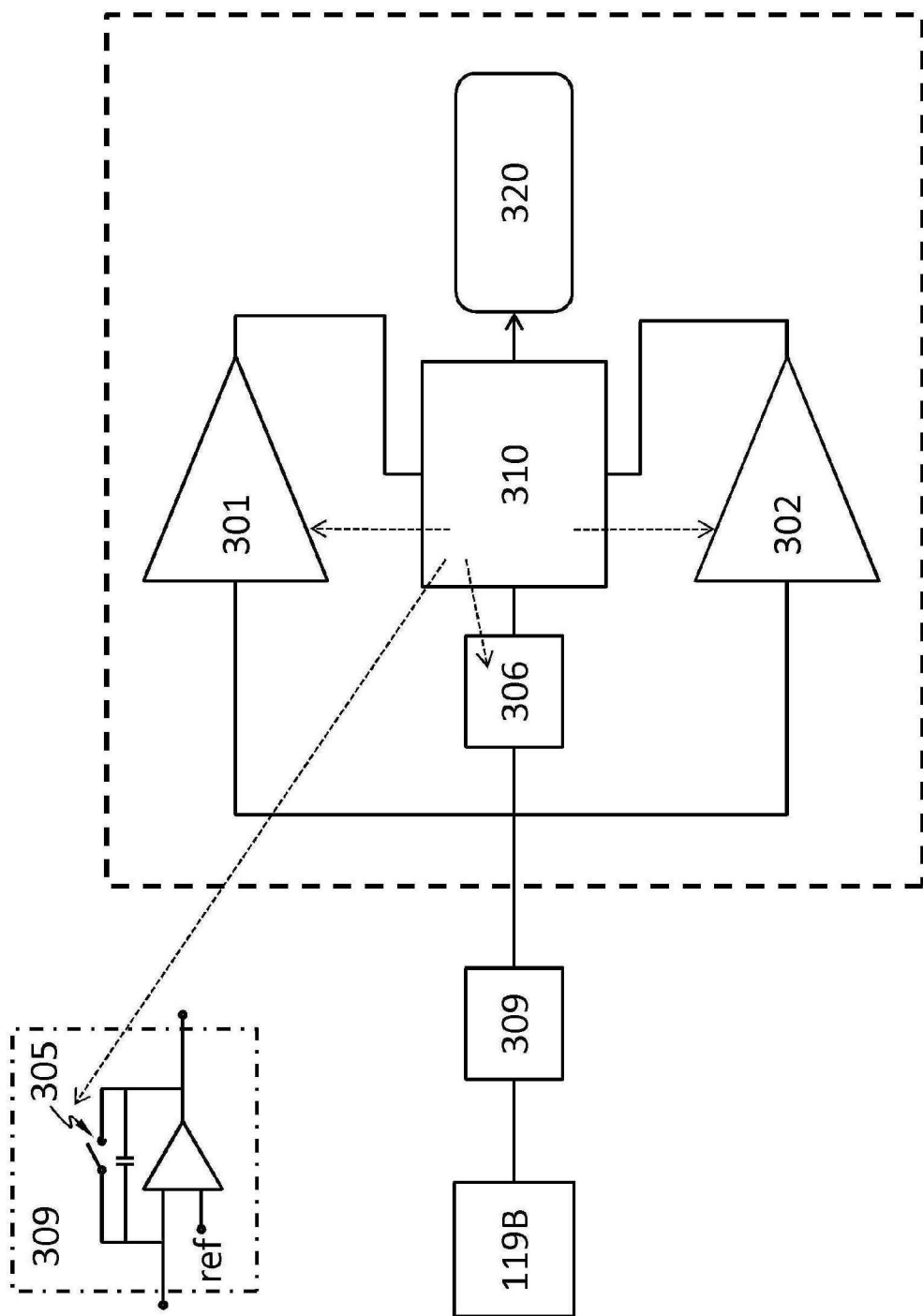
【圖2A】



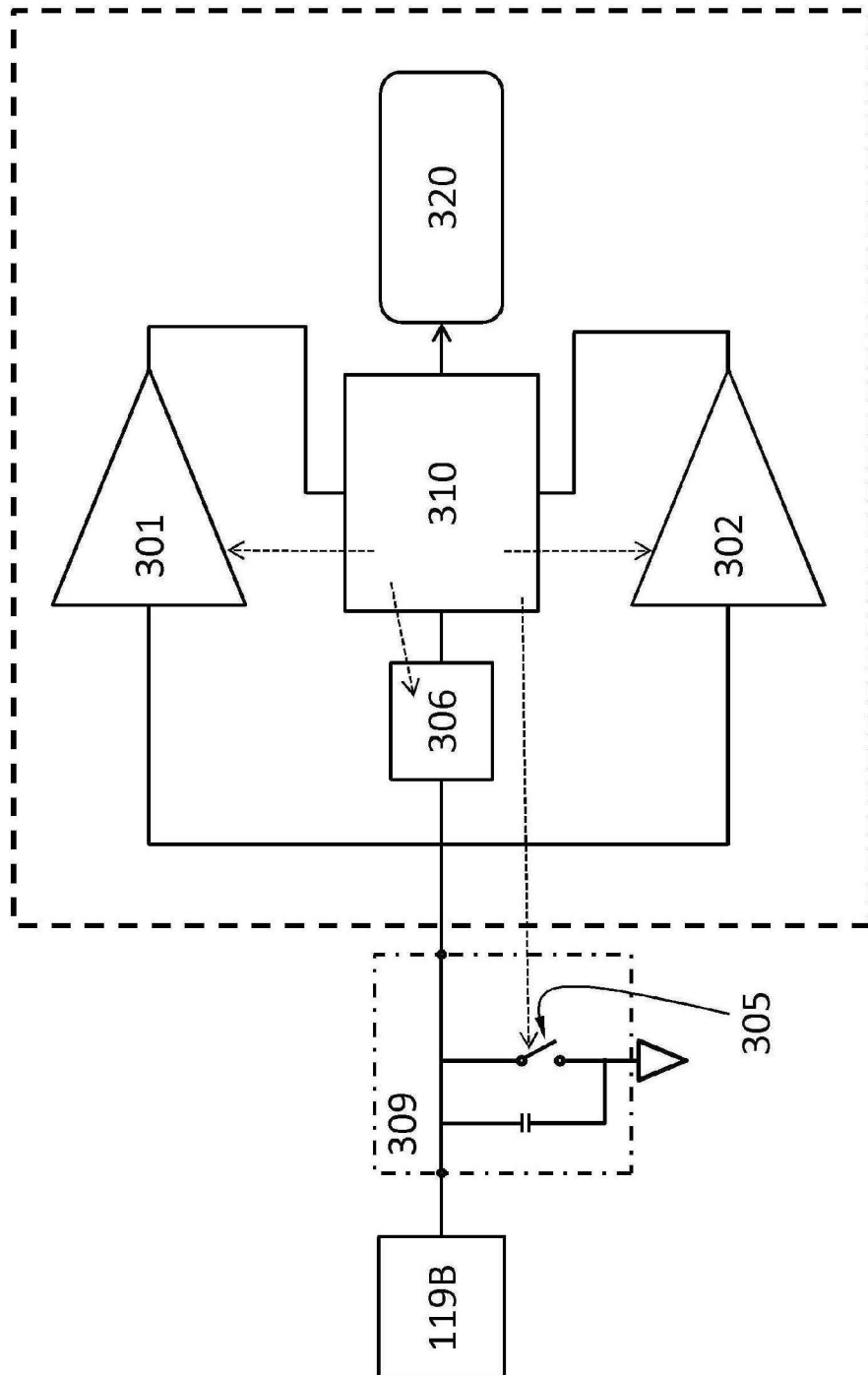
【圖2B】



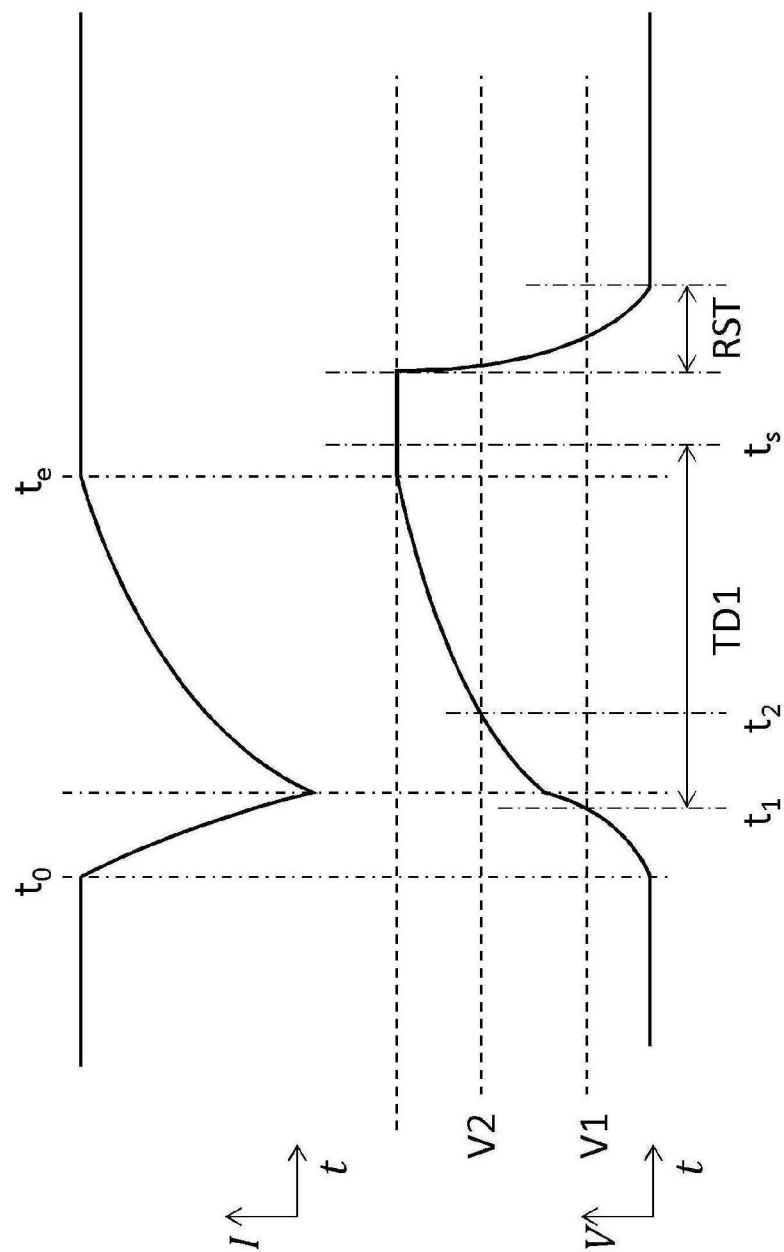
【圖2C】



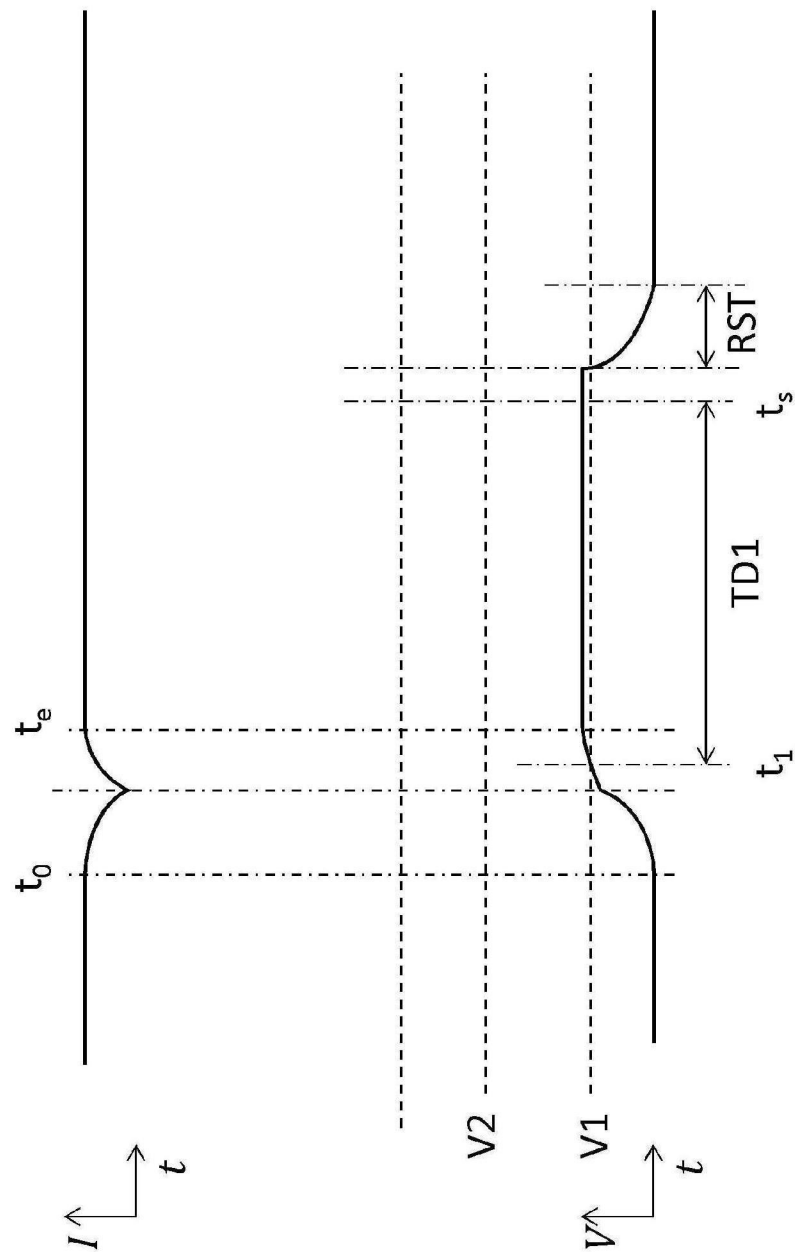
【圖3A】



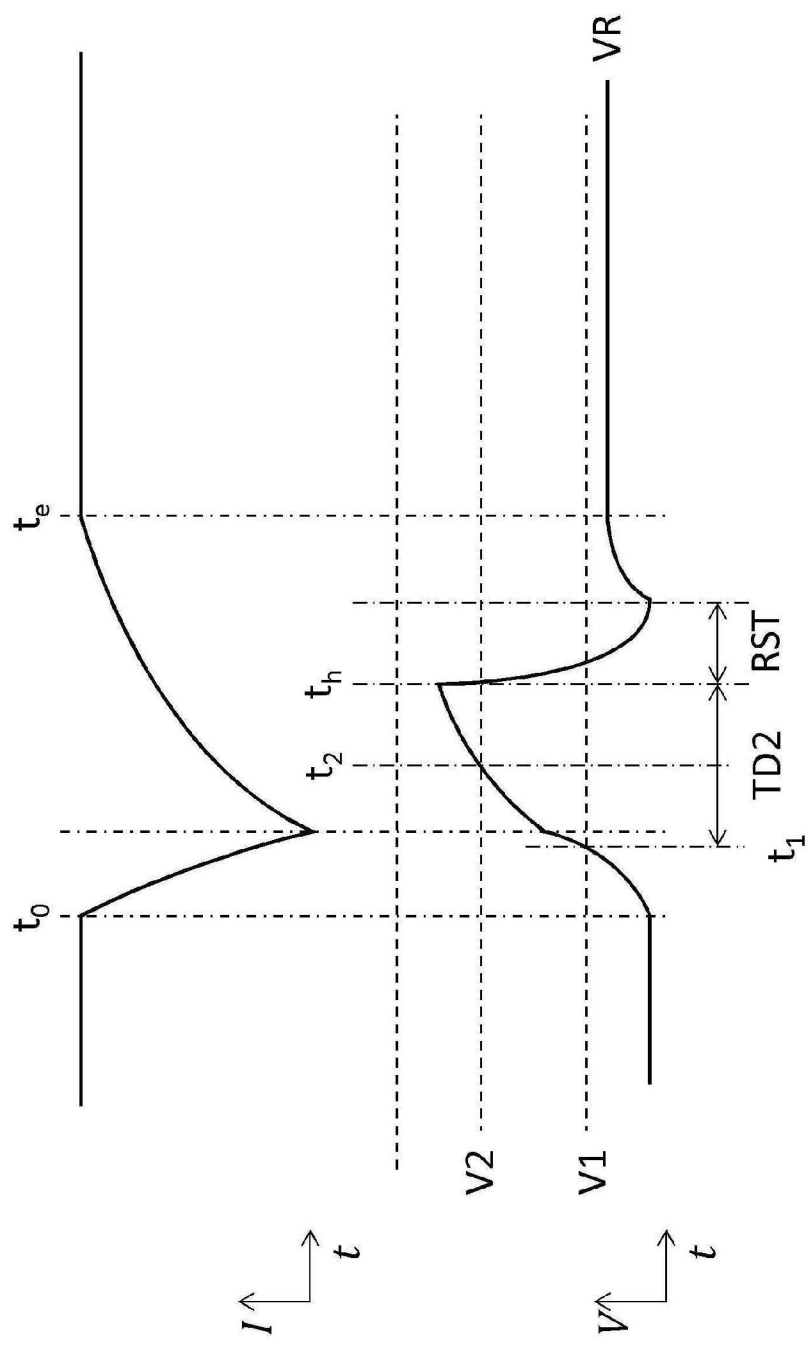
【圖3B】



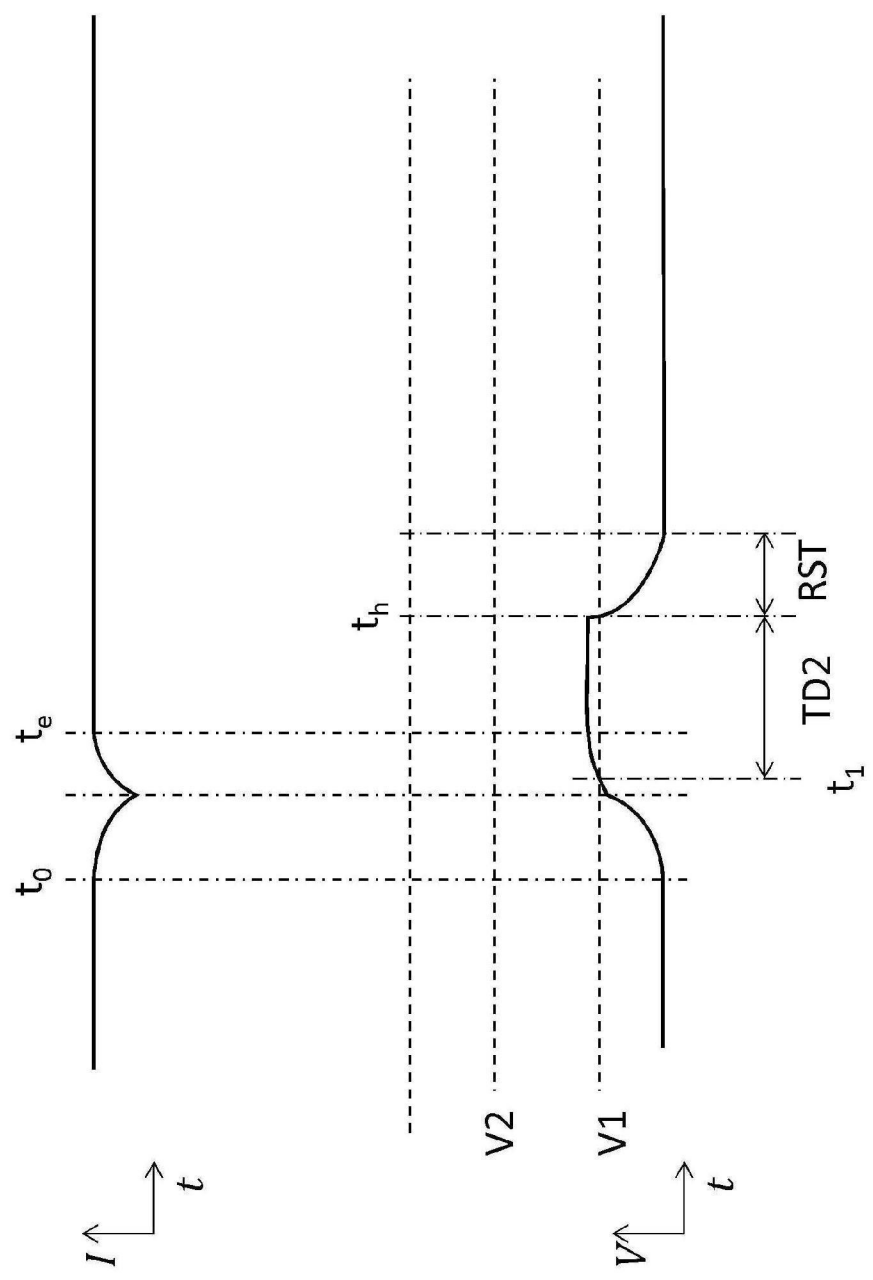
【圖4】



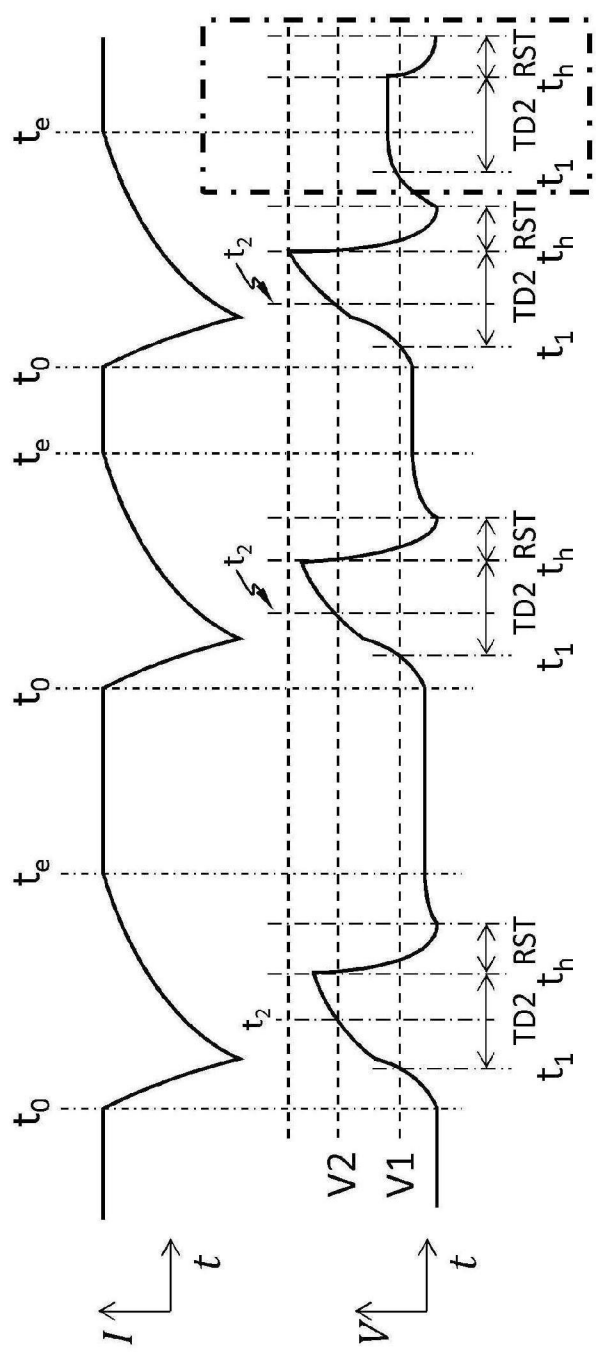
【圖5】



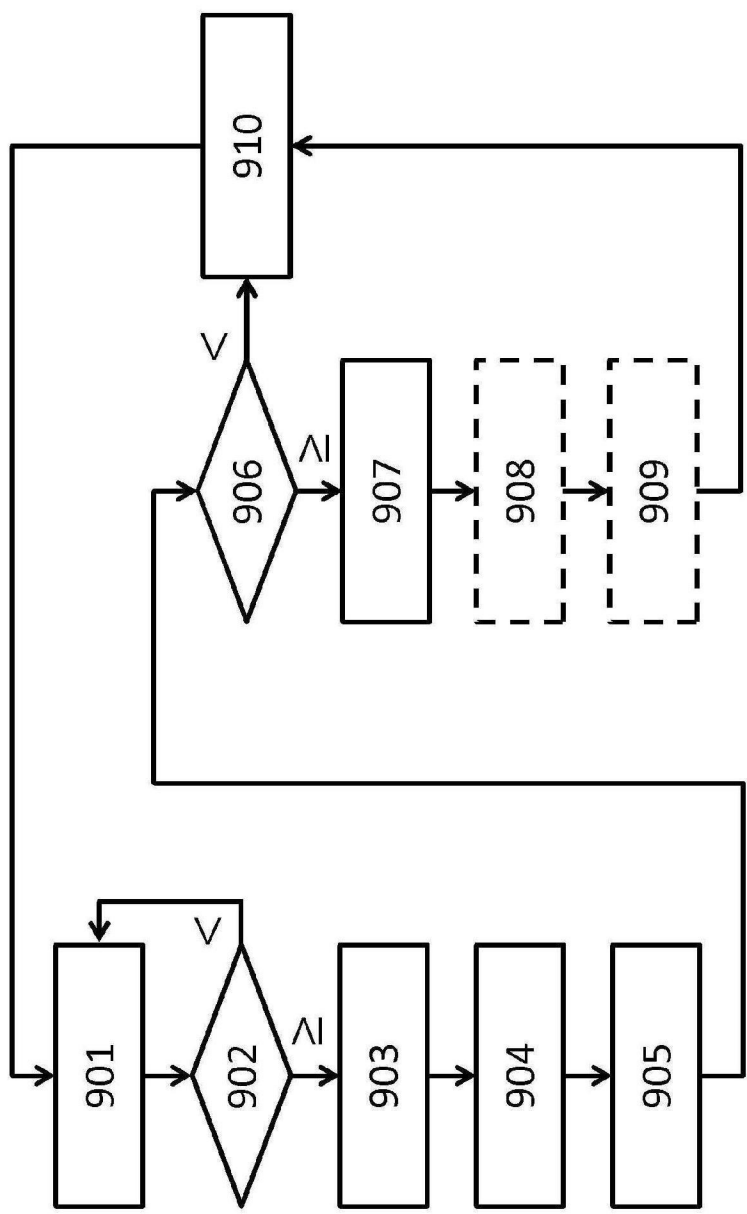
【圖6】



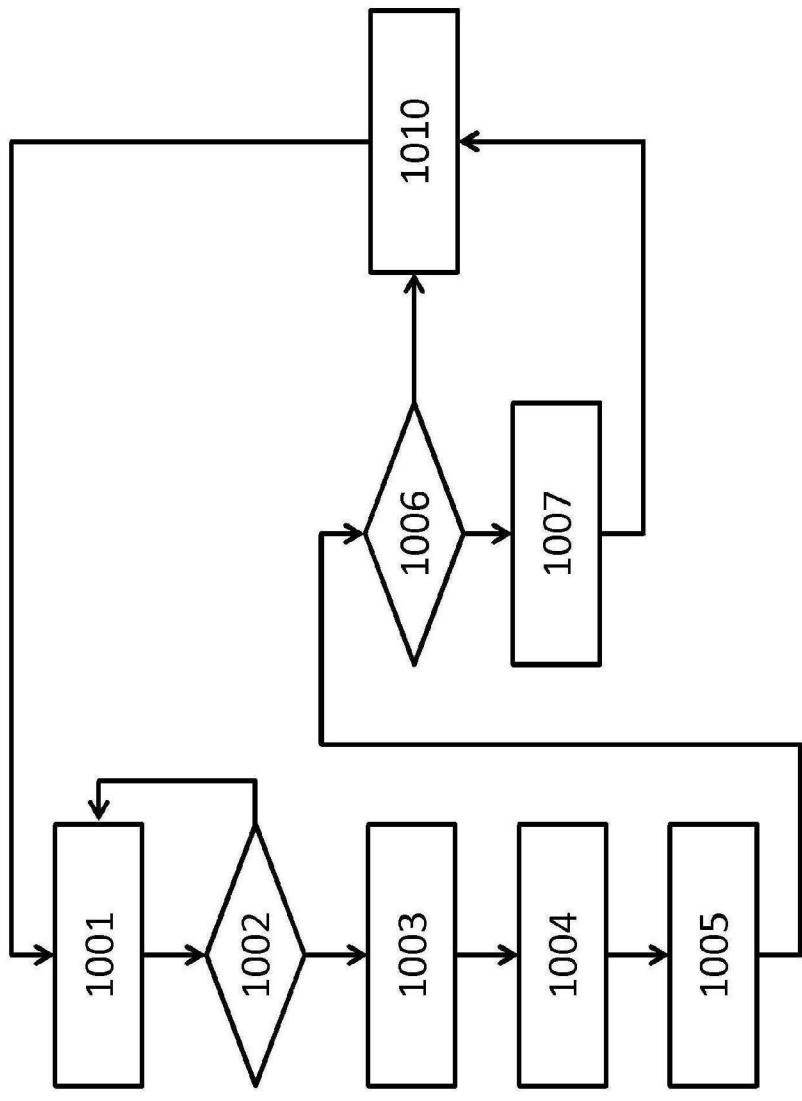
【圖7】



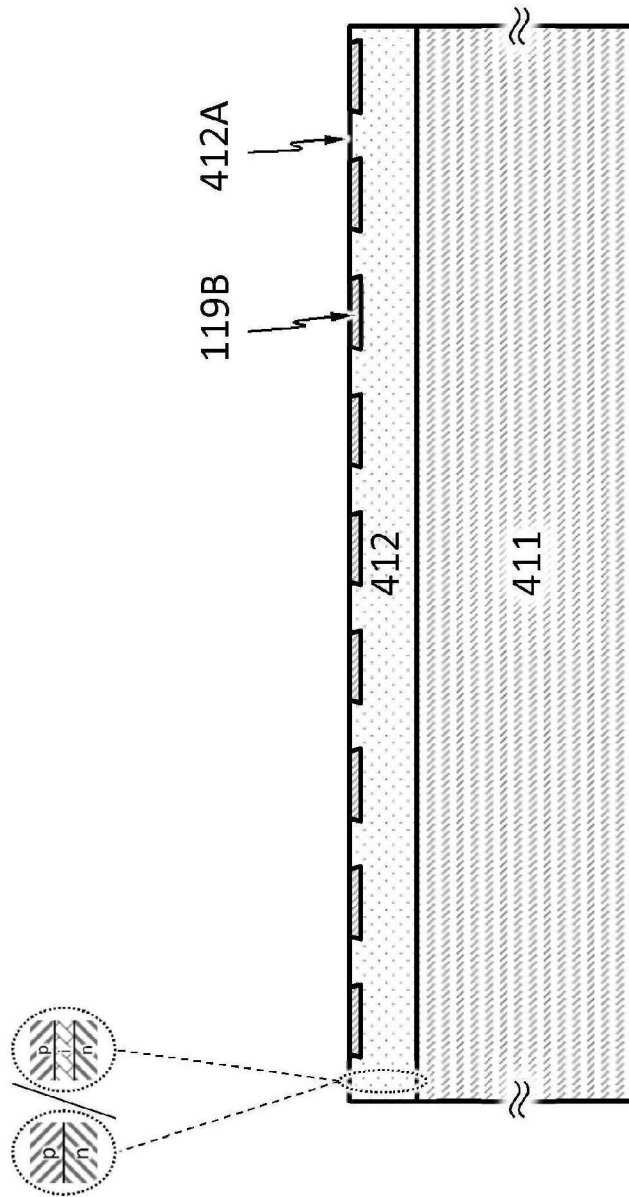
【圖8】



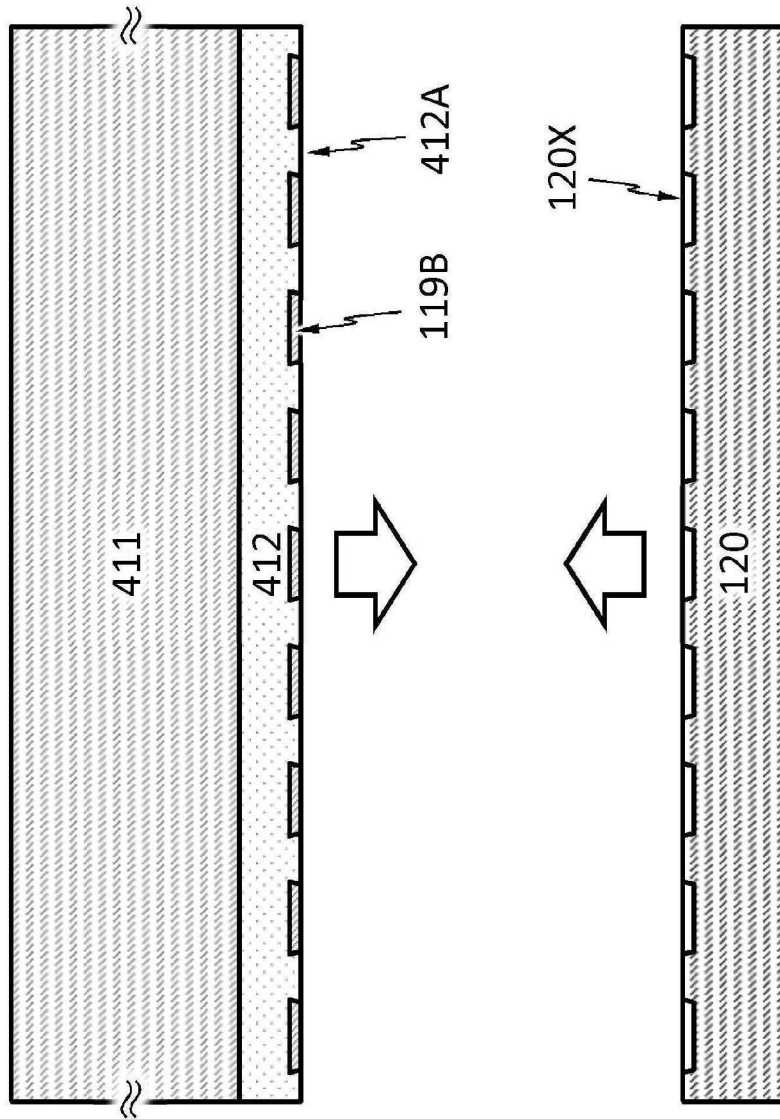
【圖9A】



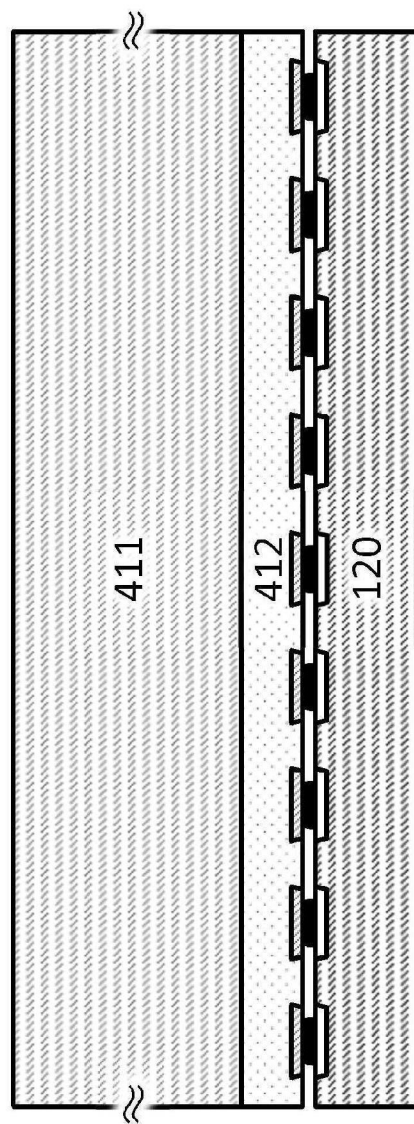
【圖9B】



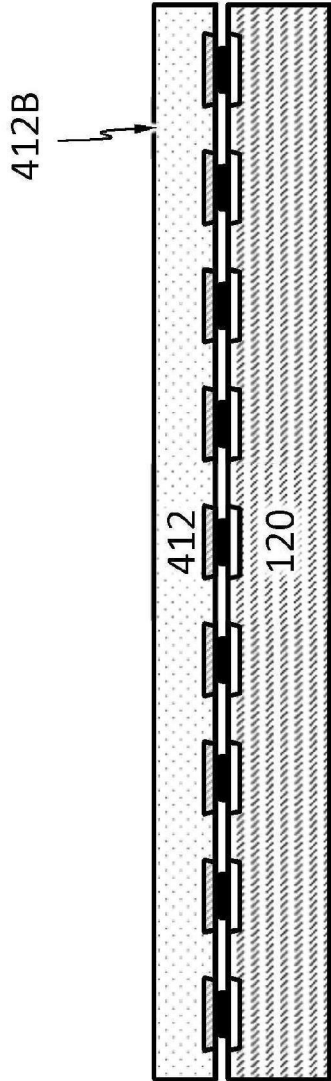
【圖10A】



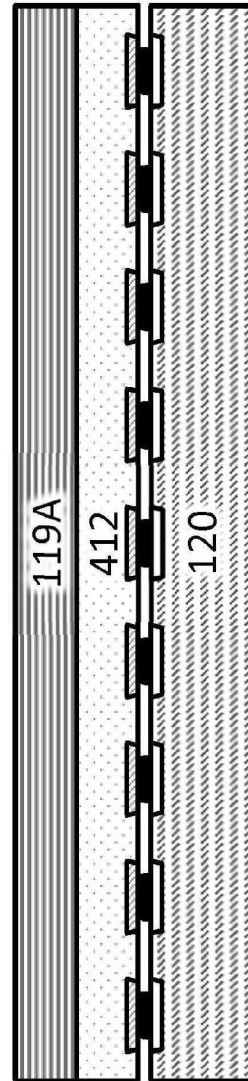
【圖10B】



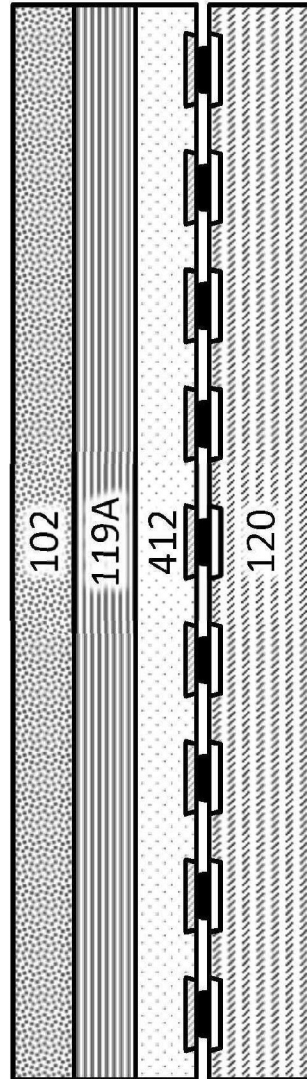
【圖10C】



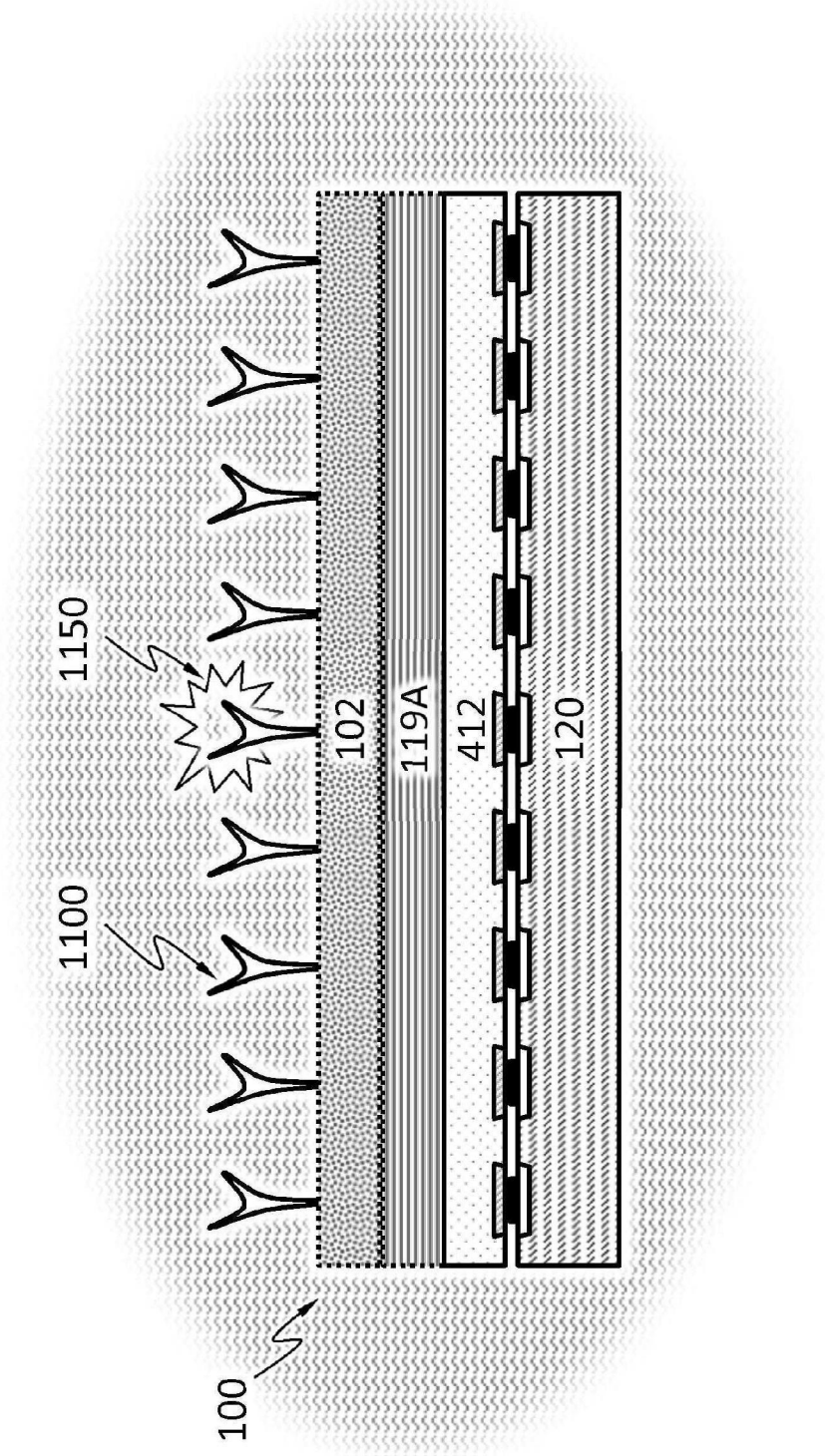
【圖10D】



【圖10E】



【圖10F】



【圖11】