





I652499

## 發明摘要

※ 申請案號： 105126637

※ 申請日： 105/08/19

※IPC 分類： G01T 1/24 (2006.01)

### 【發明名稱】

用於製作X射線檢測器的方法

### 【中文】

本文公開適合於檢測x射線的裝置，該裝置包括：第一襯底，其包括多個第一電觸點；第一晶片層，其包括多個第一晶片，其中該第一晶片中的每個包括第一電極並且接合到第一襯底使得第一電極電連接到第一電觸點中的至少一個；第二襯底，其包括多個第二電觸點；和第二晶片層，其包括多個第二晶片，其中該第二晶片中的每個包括第二電極並且接合到第二襯底使得第二電極電連接到第二電觸點中的至少一個，其中第一晶片層和第二晶片層彼此接合使得至少兩個第二晶片接合到相同的第一晶片。

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】：**第（8B）圖。

**【本代表圖之符號簡單說明】：**

120 電子層

802 導電材料

810-1 晶片層

810-2 晶片層

**【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】

用於製作X射線檢測器的方法

## 【技術領域】

本公開涉及X射線檢測器，特別涉及用於製作半導體X射線檢測器的方法。

## 【先前技術】

X射線檢測器可以用於測量X射線的通量、空間分佈、光譜或其他性質的設備。

X射線檢測器可用于許多應用。一個重要應用是成像。X射線成像是放射攝影技術並且可以用於揭示組成不均勻和不透明物體（例如人體）的內部結構。

早期用於成像的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感光乳劑塗層的玻璃底片。儘管照相底片被照相膠片取代，由於它們所提供的優越品質和它們的極端穩定性而仍可在特殊情形中使用它們。照相膠片可以是具有感光乳劑塗層的塑膠膠片（例如，帶或片）。

在20世紀80年代，出現了光激勵螢光板（PSP板）。PSP板可包含在它的晶格中具有色心的螢光材料。在將PSP板暴露于X射線時，X射線激發的電子被困在色心中直到它們受到在板表面上掃描的雷射光束的激勵。在鐳射掃描板時，捕獲的激發電子發出光，其被光電倍增管收集。收集的光轉換成數位圖像。與照相底片和照相膠片相比，PSP可以被重複使用。

另一種X射線檢測器是X射線圖像增強器。X射線圖像增強器的部件通常在真空中密封。與照相底片、照相膠片和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射線首先撞擊輸入螢光體（例如，碘化銫）並且被轉換成可見光。可見光然後撞擊光電陰極（例如，包含銫和銻複合物的薄金屬層）並且促使電子發射。發射電子數量與入射X射線的強度成比例。發射電子通過電子光學器件投射到輸出螢光體上並且促使該輸出螢光體產生可見光圖像。

閃爍體的操作與X射線圖像增強器有些類似之處在於閃爍體（例如，碘化鈉）吸收X射線並且發射可見光，其然後可以被對可見光合適的圖像感測器檢測到。在閃爍體中，可見光在各個方向上傳播和散射從而降低空間解析度。使閃爍體厚度減少有助於提高空間解析度但也減少X射線吸收。閃爍體從而必須在吸收效率與解析度之間達成妥協。

半導體X射線檢測器通過將X射線直接轉換成電信號而在很大程度上克服該問題。半導體X射線檢測器可包括半導體層，其在感興趣波長吸收X射線。當在半導體層中吸收X射線光子時，產生多個載荷子（例如，電子和空穴）並且在朝向半導體層上的電觸點的電場下掃過它們。當前可用半導體X射線檢測器（例如，Medipix）中需要的繁瑣的熱管理可能使得具有大面積和大量圖元的檢測器難以生產或不可能生產。

## 【發明內容】

本文公開適合於檢測x射線的裝置，該裝置包括：第一襯底，其包括多個第一電觸點；第一晶片層，其包括多個第一晶片，其中該第一晶片中的每個包括第一電極並且接合到第一襯底使得第一電極電連接到第一電觸點中的至少一個；第二襯底，其包括多個第二電觸點；和第二晶片層，其包括多個第二晶片，其中該第二晶片中的每個包括第二電極並且接合到第二襯底使得第二電極電連接到第二電觸點中的至少一個，其中第一晶片層和第二晶片層彼此接合使得至少兩個第二晶片接合到相同的第一晶片。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層使用導電材料來接合。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層夾在第一襯底與第二襯底之間。

根據實施例，至少兩個第二晶片和相同的第一晶片直接連接到相同的電極。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層中的至少一個配置成用於吸收X射線。

根據實施例，第一襯底和第二襯底中的至少一個包括電子系統，其配置成用於處理由吸收X射線產生的信號。

根據實施例，第二襯底比第一襯底更薄。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層包括矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe或其組合。

本文公開用於製作適合於檢測X射線的裝置的方法，該方法包括：使多個第一晶片接合到第一襯底來形成第一晶片層，其中該第一襯底包括多個第一電

觸點，其中第一晶片中的每個包括第一電極，並且其中多個第一晶片接合到第一襯底使得每個第一電極電連接到第一電觸點中的至少一個；使多個第二晶片接合到第二襯底來形成第二晶片層，其中第二襯底包括多個第二電觸點，其中第二晶片中的每個包括第二電極，並且其中多個第二晶片接合到第二襯底使得每個第二電極電連接到第二電觸點中的至少一個；以及使第一晶片層和第二晶片層彼此接合使得至少兩個第二晶片接合到相同的第一晶片。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層使用導電材料來接合。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層在裝置中夾在第一襯底與第二襯底之間。

根據實施例，至少兩個第二晶片和相同的第一晶片直接連接到相同的電極。

根據實施例，第一晶片層和第二晶片層中的至少一個配置成用於吸收X射線。

根據實施例，第一襯底和第二襯底中的至少一個包括電子系統，其配置成用於處理由吸收X射線產生的信號。

根據實施例，第二襯底比第一襯底更薄。

本文公開用於製作適合於檢測X射線的裝置的方法，該方法包括：使多個晶片接合到襯底，其中該襯底包括多個電觸點，其中晶片中的每個包括X射線吸收層，其包括電極，並且其中多個晶片接合到襯底使得每個電極電連接到電觸點中的至少一個；以及通過晶片頂部上的材料使多個晶片電連接。

根據實施例，材料未採用晶圓的形式。

根據實施例，晶片通過電線或導電帶而電連接。

根據實施例，使多個晶片電連接包括在多個晶片頂部上濺射金屬層。

根據實施例，使多個晶片電連接進一步包括用絕緣材料填充晶片之間間隙或用絕緣帶覆蓋晶片之間間隙。

本文公開用於製作適合於檢測X射線的裝置的方法，該方法包括使多個晶片接合到襯底，該襯底具有第一表面和第二表面，其中：晶片中的每個包括X射線吸收層，其包括電極；襯底包括電子器件，其包括多個電觸點；多個晶片接合到襯底使得每個電極電連接到電觸點中的至少一個，並且第二表面沒有電子器件。

根據實施例，方法進一步包括使襯底從第二表面變薄。

根據實施例，電子器件包括電線，其中的每個使電觸點中的至少一些電連接。

根據實施例，來自電觸點的信號可以經由電線讀出。

根據實施例，電線中的每個跨多個裸片延伸，這些裸片在曝光期間在第一表面上連接。

根據實施例，多個裸片沿第一方向連接。

根據實施例，在曝光期間沿第二方向在兩個裸片之間間隙中放置測試圖案。

根據實施例，電線中的每個的一端相對於另一端移位電線間距的整數倍。

根據實施例，電子器件包括電子系統，該電子系統包括：第一電壓比較器，其配置成將電極的電壓與第一閾值比較；第二電壓比較器，其配置成將該電壓與第二閾值比較；計數器，其配置成記錄到達X射線吸收層的X射線光子的數目；控制器；其中該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出第一閾值的絕對值的時間啟動時間延遲；其中控制器配置成在時間延遲期間啟動第二電壓比較器；其中控制器配置成如果第二電壓比較器確定電壓的絕對值等於或超出第二閾值的絕對值則促使計數器記錄的數目增加一。

### 【圖式簡單說明】

圖1A示意示出根據本教導的實施例的檢測器的橫截面圖。

圖1B示意示出根據本教導的實施例的檢測器的詳細橫截面圖。

圖1C示意示出根據本教導的實施例的檢測器的備選詳細橫截面圖。

圖1D示出根據本教導的實施例的檢測器的一部分的示範性頂視圖。

圖2示意示出根據本教導的實施例在檢測器中的電子層的橫截面圖。

圖3A示出根據本教導的實施例的電子層的示範性頂視圖。

圖3B示出根據本教導的實施例的電子層的示範性頂視圖。

圖3C示出承載電子層的多個晶圓可連接在一起來形成大的檢測器。

圖3D示出可堆疊的多個大的檢測器。

圖3E示出為了從裸片中的圖元讀出信號而在每個裸片中設置的線的佈局的示例。

圖3F示出具有圖3E的跨多個裸片的佈局的線的互連。

圖4A示意示出根據本教導的實施例在X射線吸收層與電子層之間直接接合。

圖4B示意示出根據本教導的實施例在X射線吸收層與電子層之間的倒裝接合。

圖4C示意示出根據本教導的實施例的電子層。

圖4D示意示出可獲得並且與電子層120對齊的多個晶片。

圖4E示出晶片可接合到電子層的襯底。

圖5A示意示出根據本教導的實施例具有接合到襯底並且通過電線而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器。

圖5B示意示出根據本教導的實施例具有接合到襯底並且通過導電帶而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器。

圖6A示意示出根據本教導的實施例具有接合到襯底並且通過金屬層而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器。

圖6B示意示出根據本教導的另一個實施例具有接合到襯底並且通過金屬層而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器。

圖7A示出根據本教導的實施例如在圖2中示出的電子層允許使多個半導體X射線檢測器堆疊。

圖7B示意示出根據本教導的實施例堆疊的多個半導體X射線檢測器100的頂視圖。

圖8A、圖8B和圖8C示意示出如在圖4E中示出的兩個晶片到晶圓結構可堆疊來形成X射線檢測器，使得兩個晶片層彼此接合。

圖9示出根據本教導的實施例在圖1A或圖1B中的檢測器的電子系統的部件圖。

圖10示意示出根據本教導的實施例適合於醫學成像（例如胸部X射線放射攝影、腹部X射線放射攝影等）的系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

圖11示意示出根據本教導的實施例適合於牙齒X射線放射攝影的系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

圖12示意示出根據本教導的實施例的貨物掃描或非侵入式檢查（NII）系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

圖13示意示出根據教導的實施例的另一個貨物掃描或非侵入式檢查（NII）系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

圖14示意示出根據本教導的實施例的全身掃描器系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

圖15示意示出根據本教導的實施例的X射線電腦斷層攝影（X射線CT）系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

圖16示意示出根據本教導的實施例的電子顯微鏡，其包括本文描述的半導體X射線檢測器。

## 【實施方式】

圖1A示意示出根據實施例的半導體X射線檢測器100。該半導體X射線檢測器100可包括X射線吸收層110和電子層120（例如，ASIC），用於處理或分析入射X射線在X射線吸收層110中產生的電信號。在實施例中，半導體X射線檢測器100不包括閃爍體。X射線吸收層110可包括半導體材料，例如矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe或其組合。半導體對於感興趣的X射線能量可具有高的品質衰減係數。

如在圖1B中的檢測器100的詳細橫截面圖中示出的，根據實施例，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形成的一個或多個二極體（例如，p-i-n或p-n）。第二摻雜區113可通過本質區112（可選）而與第一摻雜區111分離。離散區114通過第一摻雜區111或本質區112而彼此分離。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111是p型並且區113是n型，或區111是n型並且區113是p型）。在圖1B中的示例中，第二摻雜區113的離散區114中的每個與第一摻雜區111和本質區112（可選）一起形成二極體。即，在圖1B中的示例中，X射線吸收層110具有多個二極體，其具有第一摻雜區111作為共用電極。第一摻雜區111還可具有離散部分。

在X射線光子撞擊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許多機制產生一個或多個載荷子。載荷子可在電場下向二極體中的一個電極漂移。場可以是外部電場。電觸點119B可包括離散部分，其中的每個與離散區114電接觸。

如在圖1C中的檢測器100的備選詳細橫截面圖中示出的，根據實施例，X射線吸收層110可包括具有半導體材料（例如矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe或其組

合)的電阻器，但不包括二極體。

在X射線光子撞擊X射線吸收層110（其包括電阻器但不包括二極體）時，它可被吸收並且通過許多機制產生一個或多個載荷子。載荷子可在電場下向電觸點119A和119B漂移。電觸點119B包括離散部分。

電子層120可包括電子系統121，其適合於處理或解釋X射線吸收層110上入射的X射線光子產生的信號。電子系統121可包括例如濾波網路、放大器、積分器和比較器等類比電路或例如微處理器等數位電路和記憶體。電子系統121可包括圖元共用的部件或專用於單個圖元的部件。例如，電子系統121可包括專用於每個圖元的放大器和在所有圖元之間共用的微處理器。電子系統121可通過通孔131電連接到圖元。通孔之間的空間可用填充材料130填充，其可使電子層120到X射線吸收層110的連接的機械穩定性增加。在不使用通孔的情況下使電子系統121連接到圖元的其他接合技術是可能的。

圖1D示意示出具有4x4陣列的離散區114/119B的半導體X射線檢測器100的一部分的示範性頂視圖。圍繞這些離散區114/119B中的一個的足跡入射的X射線光子產生的載荷子大致未與這些離散區114/119B中的另一個共用。圍繞離散區114/119B的區域150叫作與該離散區114/119B關聯的圖元，其中由在其中入射的X射線光子產生的載荷子中的大致全部（超過95%、超過98%或超過99%）流向離散區114/119B。即，當X射線光子在圖元內部撞擊時，這些載荷子中不到5%、不到2%或不到1%流到圖元外。通過測量離散區114/119B中的每個的電壓的變化率，可確定與離散區114/119B關聯的圖元中被吸收的X射線光子的數目（其與入

射X射線強度有關)和/或其能量。從而，入射X射線強度的空間分佈(例如，圖像)可通過單獨測量離散區114/119B陣列中的每個的電壓變化率來確定。圖元可採用任何適合的陣列來組織，例如方形陣列、三角形陣列和蜂窩狀陣列。圖元可具有任何適合的形狀，例如圓形、三角形、方形、矩形和六角形。圖元可以是獨立可定址的。

圖2示意示出根據本教導的實施例在檢測器中的電子層120的橫截面圖。在該示例中，電子層120包括襯底122，其具有第一表面124和第二表面128。如本文使用的“表面”不一定被暴露，而可以全部或部分被掩埋。電子層120包括第一表面124上的一個或多個電觸點125。該一個或多個電觸點125可配置成電連接到X射線吸收層110的一個或多個電極。電子系統121可在襯底122中或襯底122上，並且電連接到電觸點125。

電子層120包括一個或多個傳輸線127，其電連接到電子系統121。傳輸線127在第一表面124上可以是金屬線，使得被電子系統121處理的資料可經由傳輸線127讀出。傳輸線127也可用於控制，從而對電子系統121提供電力或輸入。

如在圖2中示出的，在第二表面128上沒有電部件，即襯底122的底邊不具有電部件。因此，襯底122可以變薄(例如，通過研磨第二表面128)。例如，襯底可具有750微米或更少、200微米或更少、100微米或更少、50微米或更少、20微米或更少或5微米或更少的厚度。襯底122可以是矽襯底或其他適合的半導體或絕緣體襯底。襯底122可通過將較厚襯底研磨到期望厚度而產生。

一個或多個電觸點125可以是金屬或摻雜半導體的層。例如，電觸點125可

以是金、銅、鉑、鈮、摻雜矽等。

傳輸線127使襯底122中的電部件（例如，電子系統121）電連接到襯底122上的其他位點處的接合墊。在一個實施例中，每個傳輸線127可通過通孔電連接到電子系統121。傳輸線127可與襯底122電隔離，但在某些通孔和某些接合墊處除外。傳輸線127可以是對於感興趣的X射線能量具有小的品質衰減係數的材料（例如，Al）。傳輸線127可將電連接再分佈到更多便利位點。

圖3A示出根據本教導的實施例的電子層的示範性頂視圖。如在圖3A中示出的，一組不同圖元中的電觸點125和電子系統121可共用傳輸線127。例如，該組圖元的信號可相繼被讀出。

圖3B示出根據本教導的實施例的電子層的示範性頂視圖。如在圖3B中示出的，晶圓被分成不同區（裸片）。裸片310可對應於生產後的一個或多個圖元。裸片310可沿一個方向（例如，在圖3B中示出的X方向）連接而沒有任何間隙，使得對應於裸片的圖元中的線320可以跨多個裸片延伸並且因此使圖元電連接以用於信號讀出。如在圖3B中示出的，因為沿Y方向在裸片310之間沒有間隙，線320中的每個可以沿X方向跨多個裸片延伸到設置在襯底邊緣附近的金屬墊330。本領域內技術人員可以理解裸片310還可沿另一方向（在圖3B中的Y方向）連接。在一個實施例中，為了光刻，測試圖案可放置在兩行連接裸片之間間隙312中，例如來充當線向標。

採用該方式，信號可以從電子層120讀出而不需要電子層120中的再分佈層（RDL）或通過電子層120的矽直通孔（TSV）。如此，電子層120可在機械穩定

性範圍內進一步變薄到某一水準。這可通過使電子層120的X射線吸收減少（尤其在X射線檢測器100的多個層堆疊時）而有助於提高檢測器的量子檢測效率（DQE）。

圖3C示出承載電子層120的多個晶圓可連接在一起來形成大的檢測器，其中所有墊仍然在該大的檢測器的邊緣處。圖3D示出多個大的檢測器可堆疊，其中邊界彼此偏移。

圖3E示出每個裸片310中線320的佈局的示例。該佈局在所有帶中可以是相同的並且具有跨多個裸片到設置在襯底邊緣附近的金屬墊330的互連。圖元可在例如340A和340B等位點處連接到線320。圖3F示出裸片310中線320的互連。線320中的每個的一端相對於另一端移位了線的間距的整數倍。

圖4A示意示出在例如離散區114和電觸點125等電極處X射線吸收層110與電子層120之間的直接接合。直接接合是沒有任何額外中間層（例如，焊料凸點）的晶圓接合工藝。接合工藝基於兩個表面之間的化學接合。直接接合可在升高的溫度進行但並非必須如此。

圖4B示意示出在例如離散區114和電觸點125等電極處X射線吸收層110與電子層120之間的倒裝接合。倒裝接合使用沉積到接觸墊（例如X射線吸收層110的電極，或電觸點125）上的焊料凸點199。X射線吸收層110或電子層120翻轉並且X射線吸收層110的電極與電觸點125對齊。焊料凸點199可熔融以將電極和電觸點125焊接在一起。焊料凸點199之間的任何空隙空間可用絕緣材料填充。

圖4C示意示出根據本教導的實施例的電子層120。電子層120的襯底122在第

一表面124上具有多個電觸點125。多個電觸點125可組織到多個區129內。電子系統121可在襯底122中或在襯底122上。

圖4D示意示出可獲得多個晶片189並且它們與電子層120的區129對齊。晶片189中的每個包括X射線吸收層，例如在圖1A、圖1B、圖1C、圖4A或圖4B中示出的X射線吸收層110。晶片189中的每個中的X射線吸收層具有電極。

圖4E示出晶片189可使用適合的接合方法（例如在圖4A和圖4B中示出的倒裝接合或直接接合）接合到襯底122。在實施例中，晶片189中的每個接合到區129中的一個。晶片189中的每個的電極電連接到電觸點125中的至少一個。在晶片189接合到襯底122後，兩個相鄰晶片189之間間隙可以是100微米或更少。晶片189的面積比襯底122更小。晶片189可在接合到襯底122後設置為陣列。晶片189相對於襯底122的較小尺寸可有助於適應晶片189和襯底122的熱膨脹係數中的差異。晶片189的熱膨脹係數與襯底122的熱膨脹係數之間的比率可以是二或以上。晶片189中的X射線吸收層可以是750微米厚或更少、200微米厚或更少、100微米厚或更少或50微米厚或更少。X射線吸收層的較小厚度使載荷子被X射線吸收層中的缺陷捕獲的機會減少並且從而使電子系統121的電荷收集效率（CCE）以及檢測器100的量子檢測效率（DQE）增加。晶片189中的X射線吸收層可以是與鉻摻雜的材料，尤其在材料是GaAs時。GaAs中的鉻摻雜可使GaAs中的EL2缺陷的濃度減少並且從而允許有較高厚度的X射線吸收層（從而更高的吸收效率）而未向缺陷失去太多載荷子。

圖5A示意示出根據本教導的實施例具有接合到襯底並且通過導電線而電

連接的多個晶片的半導體X射線檢測器510。為了使晶片189偏置，X射線吸收層（即，晶片189的層）中的晶片189可通過導電線512而電連接。如此，晶片189可通過X射線吸收層頂部上的線512而同時偏置。

圖5B示意示出根據本教導的實施例具有接合到襯底並且通過導電帶而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器520。如在圖5B中示出的，X射線吸收層（即，晶片189的層）中的晶片189通過導電帶522而電連接。如此，晶片189可通過經由X射線吸收層頂部上的導電帶522的電連接而同時偏置。

根據本教導的實施例，半導體X射線檢測器100可使用包括以下的方法來製造：使多個晶片接合到襯底，其中第一襯底包括多個電觸點，其中晶片中的每個包括X射線吸收層，其包括電極，並且其中多個晶片接合到襯底使得每個電極電連接到電觸點中的至少一個；並且使多個晶片通過晶片頂部上的材料而電連接，其中多個晶片通過電線或導電帶而電連接。

圖6A示意示出根據本教導的實施例具有接合到襯底並且通過金屬層而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器610。與圖4E中示出的半導體X射線檢測器100相同，半導體X射線檢測器610包括電子層120和晶片189。另外，半導體X射線檢測器610還包括在晶片189之間間隙中填充的絕緣材料612。在晶片189頂部上，半導體X射線檢測器610還包括薄金屬層614，其被濺射到晶片189和絕緣材料612上。採用該方式，晶片189可以通過金屬層614電連接以在沒有導電線的情況下偏置。

圖6B示意示出根據本教導的另一個實施例具有接合到襯底並且通過金屬

層而電連接的多個晶片的半導體X射線檢測器620。與圖4E中示出的半導體X射線檢測器100相同，半導體X射線檢測器620包括電子層120和晶片189。半導體X射線檢測器620包括覆蓋晶片189之間間隙的絕緣帶622，而不是具有如在半導體X射線檢測器610中的絕緣材料612。在晶片189頂部上，半導體X射線檢測器620還包括薄金屬層624，其被濺射到晶片189和絕緣帶622上。採用該方式，晶片189可以通過金屬層624電連接以在沒有導電線的情況下偏置。

根據本教導的實施例，半導體X射線檢測器600可使用包括以下的方法來製造：使多個晶片接合到襯底，其中第一襯底包括多個電觸點，其中晶片中的每個包括X射線吸收層，其包括電極，並且其中多個晶片接合到襯底使得每個電極電連接到電觸點中的至少一個；並且使多個晶片通過晶片頂部上的材料而電連接，其中使多個晶片電連接包括在多個晶片頂部上濺射金屬層。

圖7A示出電子層120（如在圖2中示出的）允許使多個半導體X射線檢測器100堆疊來形成新的X射線檢測器700。在每個電子層120中，圖3A中的傳輸線127可以促進所有圖元的信號到晶圓側的路由以用於讀出。信號可以被聚集以用於X射線檢測。如下文描述的電子系統121可具有足夠低的功耗來消除龐大的冷卻機構，這也有助於實現圖7A中的堆疊結構。堆疊中的多個半導體X射線檢測器100不必相同。例如，多個半導體X射線檢測器100在厚度、結構或材料方面可不同。

圖7B示意示出根據本教導的實施例堆疊的多個半導體X射線檢測器100的頂視圖。每個層可具有平鋪來覆蓋較大區域的多個檢測器100。一個層中的平鋪檢測器100可以相對於另一個層中的平鋪檢測器100交錯，這可消除其中無法檢測

入射X射線光子的間隙。

根據本教導的實施例，多個半導體X射線檢測器100可並排平鋪來形成較大檢測器。多個檢測器中的每個可具有單個或多個晶片。例如，對於在乳房攝影中的應用，吸收層可在單個矽晶圓上製成，該單個矽晶圓可接合到在另一單個矽晶圓上製成的電子層。三至六個這樣的檢測器可以像片一樣並排平鋪來形成大到足以獲取人的乳房的X射線圖像的平鋪檢測器。多個平鋪檢測器可與交錯的每個層內間隙堆疊。

如上文論述的，因為電子層120不需要RDL或TSV，電子層120的厚度可進一步減少來使電子層120的X射線吸收減小，尤其在圖7A和圖7B中示出的堆疊結構中。從而，在圖7A和圖7B中示出的堆疊結構中，X射線吸收層110可以厚到足以提供機械支承，而電子層120可以薄到足以減少X射線阻擋並且提高DQE。

圖8A、圖8B和圖8C示意示出兩個晶片到晶圓結構（如在圖4E中示出的）可堆疊來形成X射線檢測器800，使得兩個晶片層彼此接合。如在圖8A中示出的，可獲得如在圖4E中示出的兩個X射線檢測器100來形成新的檢測器。兩個X射線檢測器100中的每個具有電子層120和晶片189（即，X射線吸收層）。在一個實施例中，一些導電材料802可在晶片189中的每個上接合。兩個X射線檢測器100中的一個可翻轉使得兩個晶片層（即，X射線吸收層，其包括晶片189）可以接合在一起，例如經由導電材料802。

如在圖8B中示出的，兩個晶片層810-1、810-2可與交錯的每個層內間隙接合。在一個實施例中，兩個晶片層通過導電材料802而接合以彼此電連接。間

隙如在圖8B中示出的那樣交錯來消除其中無法檢測入射X射線光子的間隙並且使兩個晶片層中的所有電極能夠同時被偏置。兩個晶片層810-1和810-2可具有不同的厚度。

如在圖8C中示出的，假設X射線光子來自X射線檢測器800上方，頂部電子層120變薄來形成層820，其是X射線檢測器800中接收X射線光子的第一層。層820是薄的，使得它對X射線的阻擋可是小的且可忽略的。在一個實施例中，層820比電子層120更薄。在另一個實施例中，層820可具有300微米或更少、200微米或更少、100微米或更少、50微米或更少、20微米或更少或5微米或更少的厚度。

圖9示出根據本教導的實施例的電子系統121的示例部件圖。電子系統121可包括第一電壓比較器901、第二電壓比較器902、計數器920、開關905、電壓表906和控制器910。

第一電壓比較器901配置成將二極體900的電極的電壓與第一閾值比較。二極體可以是由第一摻雜區111、第二摻雜區113的離散區114中的一個和本質區112（可選）形成的二極體。備選地，第一電壓比較器901配置成將電觸點（例如，電觸點119B的離散部分）的電壓與第一閾值比較。第一電壓比較器901可配置成直接監測電壓，或通過使一段時間內流過二極體或電觸點的電流整合來計算電壓。第一電壓比較器901可由控制器910可控地啟動或停用。第一電壓比較器901可以是連續比較器。即，第一電壓比較器901可配置成被連續啟動，並且連續監測電壓。配置為連續比較器的第一電壓比較器901使系統121錯過由入射X射線光子產生的信號的機會減少。配置為連續比較器的第一電壓比較器901在入射X射

線強度相對高時尤其適合。第一電壓比較器901可以是鐘控比較器，其具有較低功耗的益處。配置為鐘控比較器的第一電壓比較器901可導致系統121錯過由一些人射X射線光子產生的信號。在入射X射線強度低時，錯過入射X射線光子的機會因為兩個連續光子之間的時間間隔相對長而較低。因此，配置為鐘控比較器的第一電壓比較器901在入射X射線強度相對低時尤其適合。第一閾值可以是一個入射X射線光子可在二極體或電阻器中產生的最大電壓的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50mV、100mV、150mV或200mV。

第二電壓比較器902配置成將電壓與第二閾值比較。第二電壓比較器902可配置成直接監測電壓，或通過使一段時間內流過二極體或電觸點的電流整合來計算電壓。第二電壓比較器902可以是連續比較器。第二電壓比較器902可由控制器910可控地啟動或停用。在停用第二電壓比較器902時，第二電壓比較器902的功耗可以是啟動第二電壓比較器902時的功耗的不到1%、不到5%、不到10%或不到20%。第二閾值的絕對值大於第一閾值的絕對值。如本文使用的，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，

$|x| = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ -x, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$ 。第二閾值可以是第一閾值的200%-300%。第二閾值可以是一個入射X射線光子可在二極體或電阻器中產生的最大電壓的至少50%。例如，第二閾值可以是100mV、150mV、200mV、250mV或300mV。第二電壓比較器902

和第一電壓比較器901可以是相同部件。即，系統121可具有一個電壓比較器，其在不同時間將電壓與兩個不同閾值比較。

第一電壓比較器901或第二電壓比較器902可包括一個或多個運算放大器或任何其他適合的電路。第一電壓比較器901或第二電壓比較器902可具有高的速度以允許系統121在高的入射X射線通量下操作。然而，具有高的速度通常以功耗為代價。

計數器920配置成記錄到達二極體或電阻器的X射線光子的數目。計數器920可以是軟體部件（例如，電腦記憶體中存儲的數目）或硬體部件（例如，4017 IC和7490 IC）。

控制器910可以是例如微控制器和微處理器等硬體部件。控制器910配置成從第一電壓比較器901確定電壓的絕對值等於或超出第一閾值的絕對值（例如，電壓的絕對值從第一閾值的絕對閾值以下增加到等於或超過第一閾值的絕對值的值）的時間啟動時間延遲。在這裡因為電壓可以是負的或正的而使用絕對值，這取決於是使用二極體的陰極還是陽極的電壓或使用哪個電觸點。控制器910可配置成在第一電壓比較器901確定電壓的絕對值等於或超出第一閾值的絕對值的時間之前，保持停用第二電壓比較器902、計數器920和第一電壓比較器901的操作不需要的任何其他電路。時間延遲可在電壓變穩定（即，電壓的變化率大致為零）之前或之後終止。短語“電壓的變化率大致為零”意指電壓的時間變化小於 $0.1\%/ns$ 。短語“電壓的變化率大致為非零”意指電壓的時間變化是至少 $0.1\%/ns$ 。

控制器910可配置成在時間延遲期間（其包括開始和終止）啟動第二電壓比較器。在實施例中，控制器910配置成在時間延遲開始時啟動第二電壓比較器。術語“啟動”意指促使部件進入操作狀態（例如，通過發送例如電壓脈衝或邏輯電平等信號、通過提供電力等）。術語“停用”意指促使部件進入非操作狀態（例如，通過發送例如電壓脈衝或邏輯電平等信號、通過切斷電力等）。操作狀態可具有比非操作狀態更高的功耗（例如，高10倍、高100倍、高1000倍）。控制器910本身可被停用直到第一電壓比較器901的輸出在電壓的絕對值等於或超出第一閾值的絕對值時才啟動控制器910。

如果在時間延遲期間第二電壓比較器902確定電壓的絕對值等於或超出第二閾值的絕對值，控制器910可配置成促使計數器920記錄的數目增加一。

控制器910可配置成促使電壓表906在時間延遲終止時測量電壓。控制器910可配置成使電極連接到電接地，以便使電壓重定並且使電極上累積的任何載荷子放電。在實施例中，電極在時間延遲終止後連接到電接地。在實施例中，電極持續有限復位時期地連接到電接地。控制器910可通過控制開關905而使電極連接到電接地。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沒有類比濾波器網路（例如，RC網路）。在實施例中，系統121沒有類比電路。

電壓表906可將它測量的電壓作為類比或數位信號饋送給控制器910。

系統121可包括電容器模組909，其電連接到二極體900的電極或電觸點，其中電容器模組配置成從電極收集載荷子。電容器模組可以包括放大器的回饋路

徑中的電容器。如此配置的放大器叫作電容跨阻放大器（CTIA）。CTIA通過防止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。來自電極的載荷子在一段時間（“整合期”）內在電容器上累積。在整合期終止後，對電容器電壓採樣然後由重定開關將其重定。電容器模組可以包括直接連接到電極的電容器。

圖10示意示出這樣的系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器100。該系統可用于醫學成像，例如胸部X射線放射攝影、腹部X射線放射攝影等。系統包括X射線源1001。從X射線源1001發射的X射線穿過物體1002（例如，例如胸部、肢體、腹部等人體部位）、由於物體1002的內部結構（例如，骨頭、肌肉、脂肪和器官等）而衰減不同程度並且被投射到半導體X射線檢測器100。半導體X射線檢測器100通過檢測X射線的強度分佈來形成圖像。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

圖11示意示出這樣的系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器100。該系統可用于醫學成像，例如牙齒X射線放射攝影。系統包括X射線源1101。從X射線源1101發射的X射線穿過物體1102，其是哺乳動物（例如，人類）口腔的部分。物體1102可包括上顎骨、顎骨、牙齒、下顎或舌頭。X射線由於物體1102的不同結構而衰減不同程度並且被投射到半導體X射線檢測器100。半導體X射線檢測器100通過檢測X射線的強度分佈來形成圖像。牙齒比齶齒、感染和牙周膜吸收更多的X射線。牙科患者接收的X射線輻射的劑量典型地是小的（對於全口系

列是近似0.150 mSv)。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

圖12示意示出貨物掃描或非侵入式檢查(NII)系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器100。系統可用於在例如海運集裝箱、車輛、輪船、行李等傳輸系統中檢查和識別物品。系統包括X射線源1201。從X射線源1201發射的X射線可從物體1202(例如，海運集裝箱、車輛、輪船等)背散射並且被投射到半導體X射線檢測器100。物體1202的不同內部結構可有差異地背散射X射線。半導體X射線檢測器100通過檢測背散射X射線的強度分佈和/或背散射X射線光子的能量來形成圖像。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

圖13示意示出另一個貨物掃描或非侵入式檢查(NII)系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器100。系統可用於公交站和機場處的行李篩查。系統包括X射線源1301。從X射線源1301發射的X射線可穿過行李件1302、由於行李的內含物不同而有差異地衰減並且被投射到半導體X射線檢測器100。半導體X射線檢測器100通過檢測透射的X射線的強度分佈來形成圖像。系統可揭示行李的內含物並且識別公共交通上禁用的專案，例如槍支、毒品、鋒利武器、易燃物。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

圖14示意示出全身掃描器系統，其包括本文描述的半導體X射線檢測器100。該全身掃描器系統可為了安全篩查目的來檢測人體上的物體而不物理脫衣

或進行物理接觸。全身掃描器系統可能夠檢測非金屬物體。全身掃描器系統包括X射線源1401。從X射線源1401發射的X射線可從被篩查的人1402和其上的物體背散射，並且被投射到半導體X射線檢測器100。物體和人體可有差異地背散射X射線。半導體X射線檢測器100通過檢測背散射X射線的強度分佈來形成圖像。半導體X射線檢測器100和X射線源1401可配置成在線性或旋轉方向上掃描人。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

圖15示意示出X射線電腦斷層攝影（X射線CT）系統。X射線CT系統使用電腦處理的X射線來產生被掃描物體的特定區域的斷層攝影圖像（虛擬“切片”）。斷層攝影圖像在各種醫學學科中可用於診斷和治療目的，或用於缺陷檢測、失效分析、計量、元件分析和逆向工程。X射線CT系統包括本文描述的半導體X射線檢測器100和X射線源1501。半導體X射線檢測器100和X射線源1501可配置成沿一個或多個圓形或螺旋形路徑同步旋轉。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

圖16示意示出電子顯微鏡。該電子顯微鏡包括電子源1601（也叫作電子槍），其配置成發射電子。電子源1601可具有各種發射機制，例如熱離子、光電陰極、冷發射或等離子體源。發射的電子經過電子光學系統1603，其可配置成使電子成形、加速或聚焦。電子然後到達樣本1602並且圖像檢測器可從其處形成圖像。電子顯微鏡可包括本文描述的半導體X射線檢測器100，用於進行能量色散X

射線光譜分析（EDS）。EDS是用於樣本的元素分析或化學表徵的分析技術。當電子入射在樣本上時，它們促使從樣本發射特徵X射線。入射電子可激發樣本中原子的內殼層中的電子、從殼層逐出電子，同時在電子所在的地方形成電子空穴。來自外部較高能量殼層的電子然後填充該空穴，並且較高能量殼層與較低能量殼層之間的能量差可採用X射線的形式釋放。從樣本發射的X射線的數量和能量可以被半導體X射線檢測器100測量。可以理解該系統中的半導體X射線檢測器100可被如本文公開的半導體X射線檢測器510、520、610、620、700、800中的任一個所代替。

這裡描述的半導體X射線檢測器100、510、520、610、620、700、800可具有其他應用，例如在X射線望遠鏡、X射線乳房攝影、工業X射線缺陷檢測、X射線顯微鏡或顯微放射攝影、X射線鑄件檢查、X射線無損檢驗、X射線焊縫檢查、X射線數位減影血管攝影等中。可使用該半導體X射線檢測器100、510、520、610、620、700、800來代替照相底片、照相膠片、PSP板、X射線圖像增強器、閃爍體或另一個半導體X射線檢測器。

儘管本文公開各種方面和實施例，其他方面和實施例對於本領域內技術人員將變得明顯。本文公開的各種方面和實施例是為了說明目的而不意在為限制性的，其真正範圍和精神由下列權利要求指示。

## 【符號說明】

100 半導體X射線檢測器

- 110 X射線吸收層
- 111 第一摻雜區
- 112 本質區
- 113 第二摻雜區
- 114 離散區
- 119A 電觸點
- 119B 電觸點
- 120 電子層
- 121 電子系統
- 122 襯底
- 124 第一表面
- 125 電觸點
- 127 傳輸線
- 128 第二表面
- 129 區
- 130 填充材料
- 131 通孔
- 150 區域
- 189 晶片
- 199 焊料凸點

- 310 裸片
- 312 間隙
- 320 線
- 330 金屬墊
- 340A 位點
- 340B 位點
- 510 半導體X射線檢測器
- 512 導電線
- 520 半導體X射線檢測器
- 522 導電帶
- 610 半導體X射線檢測器
- 612 絕緣材料
- 614 金屬層
- 620 半導體X射線檢測器
- 622 絕緣帶
- 624 金屬層
- 700 X射線檢測器
- 800 X射線檢測器
- 802 導電材料
- 810-1 晶片層

- 810-2 晶片層
- 820 層
- 900 二極體
- 901 第一電壓比較器
- 902 第二電壓比較器
- 905 開關
- 906 電壓表
- 909 電容器模組
- 910 控制器
- 920 計數器
- 1001 X射線源
- 1002 物體
- 1201 X射線源
- 1202 物體
- 1301 X射線源
- 1302 行李件
- 1401 X射線源
- 1402 人
- 1501 X射線源
- 1601 電子源

1602 樣本

1603 電子光學系統

## 申請專利範圍

1. 一種適合於檢測 x 射線的裝置，所述裝置包括：

第一襯底，其包括多個第一電觸點；

第一晶片層，其包括多個第一晶片，其中所述第一晶片中的每個包括第一電極並且接合到所述第一襯底使得所述第一電極電連接到所述第一電觸點中的至少一個；

第二襯底，其包括多個第二電觸點；和

第二晶片層，其包括多個第二晶片，其中所述第二晶片中的每個包括第二電極並且接合到所述第二襯底使得所述第二電極電連接到所述第二電觸點中的至少一個，

其中所述第一晶片層和所述第二晶片層彼此接合使得至少兩個第二晶片接合到相同的第一晶片。

2. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述第一晶片層和所述第二晶片層使用導電材料來接合。

3. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述第一晶片層和所述第二晶片層夾在所述第一襯底與所述第二襯底之間。

4. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述至少兩個第二晶片和相同的第一晶片直接連接到相同的電極。

5. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述第一晶片層和第二晶片層中的至少一個配置成用於吸收 X 射線。

6. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述第一襯底和所述第二襯底中的至少一個包括電子系統，其配置成用於處理由吸收 X 射線產生的信號。

7. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述第二襯底比所述第一襯底更薄。

8. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中所述第一晶片層和所述第二晶片層包括矽、鍺、GaAs、CdTe、CdZnTe 或其組合。

9. 一種用於製作適合於檢測 X 射線的裝置的方法，所述方法包括：

使多個第一晶片接合到第一襯底來形成第一晶片層，其中所述第一襯底包括多個第一電觸點，其中所述第一晶片中的每個包括第一電極，並且其中所述多個第一晶片接合到所述第一襯底使得每個第一電極電連接到所述第一電觸點中的至少一個；

使多個第二晶片接合到第二襯底來形成第二晶片層，其中所述第二襯底包括多個第二電觸點，其中所述第二晶片中的每個包括第二電極，並且其中所述多個第二晶片接合到所述第二襯底使得每個第二電極電連接到所述第二電觸點中的至少一個；以及

使所述第一晶片層和所述第二晶片層彼此接合使得至少兩個第二晶片接合到相同的第一晶片。

10. 如申請專利範圍第 9 項之方法，其中所述第一晶片層和所述第二晶片層使用導電材料來接合。

11. 如申請專利範圍第 9 項之方法，其中所述第一晶片層和第二晶片層在所述裝置中夾在所述第一襯底與所述第二襯底之間。

12. 如申請專利範圍第 9 項之方法，其中所述至少兩個第二晶片和相同的第

一晶片直接連接到相同的電極。

13. 如申請專利範圍第 9 項之方法，其中所述第一晶片層和所述第二晶片層中的至少一個配置成用於吸收 X 射線。

14. 如申請專利範圍第 13 項之方法，其中所述第一襯底和所述第二襯底中的至少一個包括電子系統，其配置成用於處理由吸收 X 射線產生的信號。

15. 如申請專利範圍第 9 項之方法，其中所述第二襯底比所述第一襯底更薄。

16. 一種用於製作適合於檢測 X 射線的裝置的方法，所述方法包括：

使多個晶片接合到襯底，其中所述襯底包括多個電觸點，其中所述晶片中的每個包括 X 射線吸收層，其包括電極，並且其中所述多個晶片接合到所述襯底使得每個電極電連接到所述電觸點中的至少一個；以及

通過所述晶片頂部上的材料使所述多個晶片電連接。

17. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中所述材料未採用晶圓的形式。

18. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中所述多個晶片通過電線或導電帶而電連接。

19. 如申請專利範圍第 16 項之方法，其中使所述多個晶片電連接包括在所述多個晶片頂部上濺射金屬層。

20. 如申請專利範圍第 19 項之方法，其中使所述多個晶片電連接進一步包括用絕緣材料填充所述晶片之間間隙或用絕緣帶覆蓋所述晶片之間間隙。

21. 一種用於製作適合於檢測 X 射線的裝置的方法，所述方法包括使多個晶片接合到襯底，所述襯底具有第一表面和第二表面，其中：

所述晶片中的每個包括 X 射線吸收層，其包括電極；

所述襯底包括電子器件，其包括多個電觸點；

所述多個晶片接合到所述襯底使得每個電極電連接到所述電觸點中的至少一個，並且

所述第二表面沒有所述電子器件。

22. 如申請專利範圍第 21 項之方法，其進一步包括使所述襯底從所述第二表面變薄。

23. 如申請專利範圍第 21 項之方法，其中所述電子器件包括電線，其中的每個使所述電觸點中的至少一些電連接。

24. 如申請專利範圍第 23 項之方法，其中來自所述電觸點的信號可以經由所述電線讀出。

25. 如申請專利範圍第 23 項之方法，其中所述電線中的每個跨多個裸片延伸，所述裸片在曝光期間在所述第一表面上連接。

26. 如申請專利範圍第 25 項之方法，其中所述多個裸片沿第一方向連接。

27. 如申請專利範圍第 26 項之方法，其中在曝光期間沿第二方向在兩個裸片之間間隙中放置測試圖案。

28. 如申請專利範圍第 23 項之方法，其中所述電線中的每個的一端相對於另一端移位了所述電線的間距的整數倍。

29. 如申請專利範圍第 21 項之方法，其中所述電子器件包括電子系統，所述電子系統包括：

第一電壓比較器，其配置成將所述電極的電壓與第一閾值比較；

第二電壓比較器，其配置成將所述電壓與第二閾值比較；

計數器，其配置成記錄到達所述 X 射線吸收層的 X 射線光子的數目；

控制器；

其中所述控制器配置成從所述第一電壓比較器確定所述電壓的絕對值等於或超出所述第一閾值的絕對值的時間啟動時間延遲；

其中所述控制器配置成在所述時間延遲期間啟動所述第二電壓比較器；

其中所述控制器配置成如果所述第二電壓比較器確定所述電壓的絕對值等於或超出所述第二閾值的絕對值則促使所述計數器記錄的數目增加一。