



(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 I861281 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 11 月 11 日

(21)申請案號：109139472

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 11 月 12 日

(51)Int. Cl. : G01B11/02 (2006.01)

G01N21/95 (2006.01)

(30)優先權：2020/08/28 美國

17/006,366

(71)申請人：美商無蓋燈光電公司 (美國) OPENLIGHT PHOTONICS, INC. (US)
美國(72)發明人：諾柏格 艾利克 裘漢 NORBERG, ERIK JOHAN (SE) ; 梁睿 LIANG, RUI (CN) ;
柯汀 班哲明 M CURTIN, BENJAMIN M. (US) ; 包特斯 賈德 BAUTERS,
JARED (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW I245880B

TW 201804740A

TW 202004240A

US 2006/0151784A1

US 2019/0162628A1

審查人員：邱元玠

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：7 共 39 頁

(54)名稱

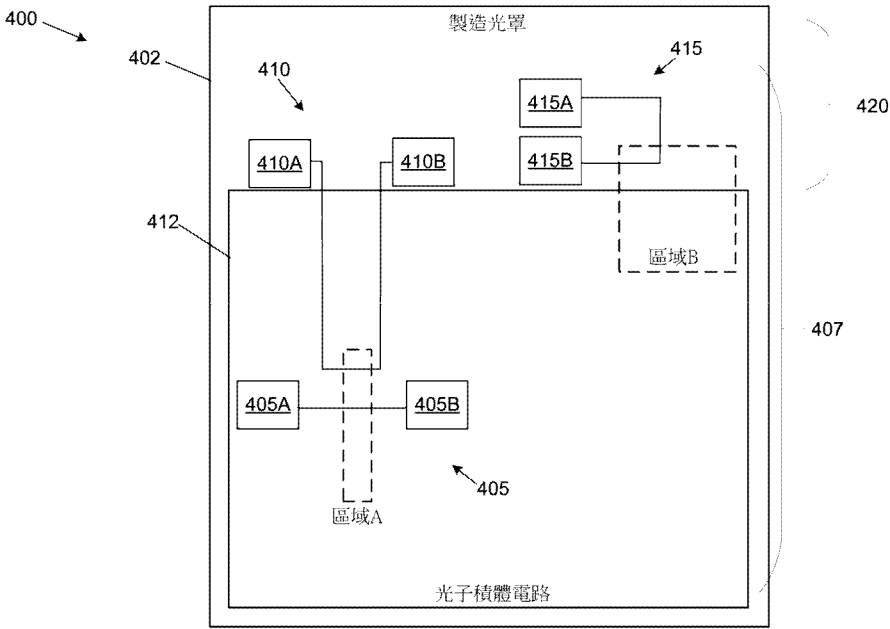
光子積體電路及在製造其之期間偵測光學組件誤差之方法

(57)摘要

光學製造監控結構可包含於由一遮罩或製造光罩製造於一晶圓上之一設計中。一第一組組件可形成於一初始製造循環中，其中該第一組包含功能組件及監控結構。一第二組組件可由可能引起該第一組組件誤差或損壞之後續製程形成。該等監控結構可在製造期間(例如在一潔淨室中)實施以在不拉出或廢棄該晶圓之情況下偵測製造誤差。

Optical fabrication monitor structures can be included in a design fabricated on a wafer from a mask or fabrication reticle. A first set of components can be formed in an initial fabrication cycle, where the first set includes functional components and monitor structures. A second set of components can be formed by subsequent fabrication processes that can potentially cause errors or damage to the first set of components. The monitor structures can be implemented during fabrication (e.g., in a cleanroom) to detect fabrication errors without pulling or scrapping the wafer.

指定代表圖：



【圖4】

符號簡單說明：

- 400:光學製造監控架構
- 402:製造光罩
- 405:光學製造監控結構
- 405A:耦合器
- 405B:耦合器
- 407:光子佈局設計
- 410:光學製造監控結構
- 410A:耦合器
- 410B:耦合器
- 412:光子積體電路
- 415:光學製造監控結構
- 415A:耦合器
- 415B:耦合器
- 420:過剩部分



I861281

【發明摘要】

【中文發明名稱】

光子積體電路及在製造其之期間偵測光學組件誤差之方法

【英文發明名稱】

PHOTONIC INTEGRATED CIRCUIT AND METHOD FOR
DETECTING OPTICAL COMPONENT ERRORS DURING
FABRICATION THE SAME

【中文】

光學製造監控結構可包含於由一遮罩或製造光罩製造於一晶圓上之一設計中。一第一組組件可形成於一初始製造循環中，其中該第一組包含功能組件及監控結構。一第二組組件可由可能引起該第一組組件誤差或損壞之後續製程形成。該等監控結構可在製造期間(例如在一潔淨室中)實施以在不拉出或廢棄該晶圓之情況下偵測製造誤差。

【英文】

Optical fabrication monitor structures can be included in a design fabricated on a wafer from a mask or fabrication reticle. A first set of components can be formed in an initial fabrication cycle, where the first set includes functional components and monitor structures. A second set of components can be formed by subsequent fabrication processes that can potentially cause errors or damage to the first set of components. The monitor structures can be implemented during fabrication (e.g., in a cleanroom) to detect fabrication errors without pulling or scrapping the wafer.

【指定代表圖】

圖4

【代表圖之符號簡單說明】

400:光學製造監控架構

402:製造光罩

405:光學製造監控結構

405A:耦合器

405B:耦合器

407:光子佈局設計

410:光學製造監控結構

410A:耦合器

410B:耦合器

412:光子積體電路

415:光學製造監控結構

415A:耦合器

415B:耦合器

420:過剩部分

【發明說明書】

【中文發明名稱】

光子積體電路及在製造其之期間偵測光學組件誤差之方法

【英文發明名稱】

PHOTONIC INTEGRATED CIRCUIT AND METHOD FOR
DETECTING OPTICAL COMPONENT ERRORS DURING
FABRICATION THE SAME

【技術領域】

【0001】 本發明大體上係關於光學電路，且更特定言之，本發明係關於電路之光學測試。

【先前技術】

【0002】 在矽光子開發及製造期間，晶圓代工廠可使用在線電量測及電監控結構來特性化製程以確保所交付之材料具有良好品質。可製造包含多個光子積體電路之一單一品圓，光子積體電路接著單粒化成經歷最終測試之個別晶粒。一般而言，晶粒之一部分具有源自製程之誤差且在最終測試之後廢棄。針對光學組件之處理，當前使用既有程序控制機構來判定晶圓之品質係有挑戰性或不切實際的。

【發明內容】

【圖式簡單說明】

【0003】 以下描述包含具有藉由實例給出本發明之實施例之實施方案之圖解之附圖之討論。圖式應被理解為意指例示而非限制。如本文中所使用，參考一或多個「實施例」應被理解為描述包含於本發明之至少一實施方案中之一特定特徵、結構或特性。因此，出現於本文中之諸如「在一實施例中」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方案，且未必全部係指相同實施例。然而，其等亦必然不相互排斥。為

易於識別任何特定元件或動作之討論，一元件符號中之一或多個最高有效數位係指其中首先引入該元件或動作之圖(「FIG.」)號。

【0004】 圖1係繪示根據一些實例實施例之用於發射及接收光學信號之一實例光學收發器的一方塊圖。

【0005】 圖2係根據一些實例實施例之一光電裝置之一圖解。

【0006】 圖3展示根據一些實例實施例之一光電裝置之一內部架構。

【0007】 圖4展示根據一些實例實施例之一實例光學製造監控架構。

【0008】 圖5展示根據一些實例實施例之一實例光學製造監控架構。

【0009】 圖6展示根據一些實例實施例之一實例光學製造監控架構。

【0010】 圖7展示根據一些實例實施例之用於實施光學製造測試結構之一方法之一流程圖。

【0011】 以下描述某些細節及實施方案，其包含描述可描繪下文將描述之一些或所有實施例之附圖及討論本文中所呈現之本發明之其他潛在實施例或實施方案。下文將提供本發明之實施例之一概述，接著參考圖式更詳細描述。

【實施方式】

【0012】 在以下描述中，為了解釋，闡述諸多具體細節以提供本發明之各種實施例之一理解。然而，熟習技術者應明白，可在無此等具體細節之情況下實踐本發明之實施例。一般而言，未必詳細展示熟知指令例

項、結構及技術。

【0013】 在矽光子製造開發及光子電路製造期間，一或多個光學組件會由一製造循環(例如蝕刻)損壞，且無法偵測所得誤差直至最終製造階段。光子製造之一挑戰在於產生光子設計之一製造光罩中存在諸多不同區域，且僅在某些區域中，某些程序會對光學波導健康造成問題。此會對監控光學健康帶來挑戰，因為光學裝置測試結構一般遠離會對光學波導健康造成問題之區域放置。

【0014】 另外，會在監控由Si-III-V異質晶圓形成之一電路之光學健康中出現挑戰。此困難至少部分歸因於下伏矽(Si)或絕緣體上矽(SOI)載體晶圓易於在整合及處理III-V族材料及由其形成之主動組件(例如雷射、放大器)期間損壞。監控下伏Si材料(其一般位於具有不同厚度之III-V族層下面)之損壞非常困難。監控III-V族材料之邊界中之下伏Si材料誤差亦很困難，因為此等通常為難以使用在線檢測技術到達之非常窄及/或小區域。此外，僅將光學測試結構放置於電路外部或一「被動」區域中可能不足以指示光子電路之III-V族或「主動」區域之健康且因此無法偵測一問題。如本文中所使用，被動區域及組件係其中不使用光子材料之電控制來實施該等被動組件之光學功能之被動區域及組件(例如波導、耦合器)。此外，如本文中所使用，主動區域及組件一般為其中應用電控制來引起組件或區域之一光學效應之主動區域及組件(例如雷射二極體、電致吸收調變器等等)。

【0015】 一行尾測試方法之另一挑戰包含難以使用一光子電路之埠用於在線測試，因為該等裝置埠一般經組態用於特定非測試相關目的(例如用於光學裝置之操作功能)，且可能無法用於製造循環中之在線晶圓級

測試。例如，在具有一晶片上雷射之一發射器光子電路中，在晶圓波形因數中測試自雷射至來自晶片之輸出之波導係不切實際的，且其無法在製造期間在線測試，因為其需要偏壓(例如電偏壓)雷射(其在在線製造期間(例如在一潔淨室)係不切實際的)。同樣地，針對一接收器光子電路，由於類似原因，不易於測試自晶片輸入至光偵測器之波導之完整性。另外，在晶圓級，可在晶圓處接取裝置埠之實體組態(例如無法在晶粒單粒化形成晶圓之前接取之一光子積體電路(PIC)之一側上之輸入-輸出埠)。

【0016】 一方法係將晶圓拉出晶圓廠(例如藉此廢棄或捨棄晶圓)且進行光學被動量測(使用晶圓級可接取耦合器光輸入及光輸出)以監控效能/健康，但在此等方法中，一旦拉出晶圓，則其無法進入製造設施(例如在線、一潔淨室)。此外，極難或無法使用習知傳統互補金屬氧化物半導體(CMOS)在線或電測試結構來偵測光學組件誤差。另外，在一給定積體光子製造流程中生產光學晶圓之前置時間可能非常長，且若僅在製造結束時偵測一問題，則改良及開發程序之回饋時間增加，其轉化為長開發前置時間及更高成本開發。

【0017】 為此，可實施光學製造監控結構來評鑑光子晶圓之健康且進一步在線而非在生產線之末端限定一程序步驟以藉此節省設計、開發及製造現代光學裝置(例如高速光學收發器)之時間及金錢。

【0018】 具有一增加誤差風險之一區域之一實例包含具有大構形之介面，因為此等介面區域傾向於比其他區域快地蝕刻，其可導致損壞下伏層中之組件(例如波導層、矽波導或形成於初始層中之其他組件)之「挖溝」。可被監控之另一區域包含在一載體晶圓頂部上之異質結合材料下方及其周圍(例如，結合材料包含III-V族、 LiNbO_3 、結合介電質等等)。因

為結合材料可能需要特殊處理以與載體晶圓整合且特殊處理有時可能損壞下伏材料，所以會引起誤差。可被監控之另一區域包含其中添加植入物之區域，其中植入物會損壞光學波導或增加其損耗。

【0019】 在一些實例實施例中，一光學製造監控結構可包含於一光子設計中以使晶圓級在線測試能夠評估晶圓廠潔淨室環境內部之光學健康。藉由使用光學製造監控結構，可經由在線量測來測試光學設計，且可在不離開潔淨室及不受污染之情況下繼續處理晶圓。

【0020】 在一些實例實施例中，光學波導結構包含由選路通過特定製造關注之單個或多個區域(例如易受損壞或擾動之區域)之波導連接之輸入及輸出耦合器。在一些實例實施例中，使用由一被動波導耦合之光柵耦合器形成測試結構。在一些實例實施例中，使一額外光學製造測試結構選路通過相同區域以提供完全包含於一給定光子積體電路內之該等光學監控製造測試結構之相同校準結構插入損耗量測。

【0021】 在一些實例實施例中，光學製造光柵耦合器與選路波導位於光子電路內部以監控關注區域中之電路內部之一或多個部分。在一些實例實施例中，一光學製造測試結構完全位於光子電路外部但在相同於電路內部製造或模擬電路內部所見程序之一區域中，且經歷相同或類似潛在損壞及誤差。

【0022】 在一些實例實施例中，一光學製造監控結構可實施為具有不同長度之多個臂之一不對稱波導結構，諸如一不對稱馬赫-岑得干涉儀(AMZI)。在一些實例實施例中，使AMZI之臂之一者在關注區域外部選路(例如，作為一校準臂)，且另一臂用作選路通過需要被監控之製造區域或路徑之健康監控波導臂。在此方法中，影響健康監控波導臂之非所欲損耗

將轉化為量測AMZI頻譜回應之消光比變化(例如相變、消光比變化)以偵測亞分貝光學損耗。另外，波導之長度變化可指示區域或路徑中之一誤差。例如，光學路徑長度之一意外變化(例如在製造循環期間招致)將改變供應至監控結構之一固定波長之FSR及/或中值功率。在此等實例實施例中，經改變FSR及中值功率可指示延遲相關光學誤差，其中根據一些實例實施例，光子電路依靠特定延遲及/或光學路徑之長度。

【0023】 藉此可使用在線量測來實施光學製造監控結構以產生回饋資訊(例如以偵測一壞部分，且在一生產循環中儘早扔掉或捨棄其)及/或前饋資訊以儘早調適程序(例如，改變一給定層之厚度、在一設計中實施之設計或組件)。光學製造監控結構之益處包含顯著提高製造良率、顯著降低製造成本及減少複雜光子設計之開發循環時間。

【0024】 圖1係繪示根據一些實例實施例之用於發射及接收光學信號之一實例光學收發器100的一方塊圖。光學收發器100係其中難以或無法在在線製造期間偵測光學誤差之一實例光子裝置。在圖1所繪示之實例中，光學收發器100處理來自電裝置(諸如電硬體裝置150)之資料，將電資料轉換為光學資料，且使用一或多個光學裝置(諸如光學裝置175)發送及接收光學資料。例如，電硬體裝置150可為將光學收發器100「收容」為發送及接收資料至一光學交換網路之一可插拔裝置之一主板；其中(例如)光學裝置175可為一光學交換網路之其他組件(例如外部發射器177)。然而，應瞭解，光學收發器100可經實施以與其他類型之電裝置及光學裝置介接。例如，根據一些實例實施例，光學收發器100可經實施為一混合「主機板」上之一單一晶片，其使用一光學網路(例如波導、光纖)作為一光學匯流排以使在將資料自光轉換為二進位電資料之後處理資料之板上電

晶片互連。

【0025】 在一些實例實施例中，硬體裝置150包含用於接收光學收發器100之一電介面且與該電介面配合之一電介面。光學收發器100可為一可移除前端模組，其可由操作為一通信系統或裝置內之一後端模組之硬體裝置150實際接收及自硬體裝置150移除。例如，根據一些實例實施例，光學收發器100及硬體裝置150可為諸如一分波多工(WDM)系統或一平行光纖系統(例如平行單光纖(PSM))之一光學通信裝置或系統(例如一網路裝置)之組件。

【0026】 在所繪示之實例中，光學收發器100包含控制電路(例如資料發射器105、資料接收器115)及PIC 110之光學組件之一微處理器102。光學收發器100之資料發射器105可接收電信號，電信號接著經由一PIC 110之光學發射器組件(例如調變器、加熱器)轉換為光學信號。接著，PIC 110可經由光學鏈路(諸如與PIC 110介接之光纖或波導)輸出光學信號。接著，輸出光資料可由其他組件(例如交換器、端點伺服器、一單一嵌入式系統之其他嵌入式晶片)經由一網路(諸如一廣域網路(WAN)、光學交換網路、一嵌入式系統中之光學波導網路及其他)處理。

【0027】 PIC 110 (例如光偵測器)可經由至光學裝置175之一或多個光學鏈路接收高資料速率光學信號。光學信號由光學接收器組件自光轉換為電信號以供資料接收器115進一步處理，諸如將資料解調變為一較低資料速率用於輸出至諸如電硬體裝置150之其他裝置。由光學收發器100使用之調變可包含脈幅調變(例如4級PAM (諸如「PAM4」)、PAM8等等)、正交相移鍵控(QPSK)、二元相移鍵控(BPSK)、偏振多工BPSK、M元正交振幅調變(M-QAM)及其他。

【0028】圖2係根據一些實例實施例之包含一或多個光學裝置之一光電裝置200之一圖解。在此實施例中，光電裝置200係包含一印刷電路板(PCB) 205、有機基板260、專用積體電路215 (ASIC)及PIC 220之一多結構晶片封裝。在此實施例中，PIC 220可包含下文(例如圖3中)將描述之一或多個光學結構。

【0029】在一些實例實施例中，PIC 220包含SOI或矽基(例如氮化矽(SiN))裝置，或可包括由矽及非矽材料兩者形成之裝置。該非矽材料(替代地指稱「異質材料」)可包括III-V族材料、磁光(MO)材料或晶體基板材料之一者。III-V族半導體具有發現於週期表之III族及V族中之元素(例如磷化砷鎵銻(InGaAsP)、氮化砷鎵銻(GaInAsN))。基於III-V族之材料之載子消散效應可顯著高於矽基材料，因為III-V族半導體中之電子速度明顯快於矽中之電子速度。另外，III-V族材料具有能夠自電泵浦高效產生光之一直接能隙。因此，III-V族半導體材料實現具有超過矽之一提高效率之光子操作用於產生光及調變光之折射率。因此，III-V族半導體材料實現具有一提高效率之光子操作用於自電產生光及將光轉換回電。

【0030】因此，矽之低光學損耗及高品質氧化物與下文將描述之異質光學裝置中之III-V族半導體之電光效率組合；在本發明之實施例中，該等異質裝置利用裝置之異質及純矽波導之間的低損耗異質光學波導轉變。MO材料允許異質PIC基於MO效應操作。此等裝置可利用法拉第效應(Faraday Effect)，其中與一電信號相關聯之磁場調變一光束以提供高頻寬調變，且旋轉光學模式之電場及啟用光學隔離器。該等MO材料可包括(例如)諸如鐵、鈷或鈹鐵石榴石(YIG)之材料。此外，在一些實例實施例中，晶體基板材料提供具有一高機電耦合、線性電光係數、低傳輸損耗及

穩定物理及化學性質之異質PIC。該等晶體基板材料可包括(例如)鉬酸鋰(LiNbO_3)或鉭酸鋰(LiTaO_3)。

【0031】 在所繪示之實例中，PIC 220經由稜鏡225與光纖230交換光；根據一些實例實施例，該稜鏡225係用於將一光學模式耦合至一或多個單模光纖(例如將光發射至一光學網路及自一光學網路發射光)之一容許未對準裝置。在一些實例實施例中，PIC 220之光學裝置至少部分由包含於ASIC 215中之控制電路系統控制。ASIC 215及PIC 220兩者經展示為安置於銅柱214上，銅柱214用於經由有機基板260來通信耦合積體電路(IC)。PCB 205經由球柵陣列(BGA)互連件216耦合至有機基板260，且可用於使有機基板260 (及因此ASIC 215及PIC 220)互連至光電裝置200之其他組件(未展示)，諸如互連模組、電源供應器等等。

【0032】 圖3展示根據一些實例實施例之一光電裝置302之內部架構300。如所繪示，架構300顯示可發送及接收光學資料之一光電裝置302，諸如光學收發器100。光電裝置302包括一電子模組304及一光子模組307。電子模組304包含可整合為一封裝晶片中之一或多個電結構或ASIC (諸如圖2之ASIC 215)之電組件(例如導電路徑/迹線、電路控制邏輯、ASIC、處理器、功率控制電路等等)。在所繪示之實例中，電子模組304包含接收用於光學調變之資料(例如PAM4資料、QPSK資料)之一發射器控制器306 (例如圖1之資料發射器105)。在一些實例實施例中，一硬體處理器305 (例如一CPU、ASIC、微處理器)控制光電裝置302之不同程序。電子模組304進一步包含可接收由光子模組307中之光學接收器組件產生之光學資料之一接收器控制器310 (例如資料接收器115)。電子模組304可進一步包含一功率控制電路312以供應及控制用於光電裝置302 (包含電子

模組304中之電子組件)之電功率且進一步將電功率供應至光子模組307以供電給各種電控光子組件(例如雷射、矽光學放大器、濾波器、調變器等)。

【0033】 在一些實例實施例中，光子模組307係包括一積體光子發射器結構314及一積體光子接收器結構332之一分波多工收發器架構。在一些實例實施例中，積體光子發射器結構314及積體光子接收器結構332係上文所討論之製造於一PIC裝置(諸如圖2之PIC 220)中之實例光學組件。積體光子發射器結構314係具有四個通道之一分波多工發射器之一實例，其中各通道使用第一發射器通道316中包含(例如)雷射350、一電致吸收調變器(EAM) 352及一MZI 355之不同光學組件處置一不同波長光，且其他通道可包含相同或類似組件以管理該等通道上(例如不同分波多工波長處)之光學資料。為簡潔起見，在所繪示之實例中，僅繪示發射器之兩個通道，其包含第一發射器通道316及第四發射器通道318；省略第二發射器通道及第三發射器通道。

【0034】 積體光子接收器結構332係接收調變WDM光(例如來自一光學網路)且藉由使用諸如多工器334、半導體光學放大器(SOA) 335及一或多個偵測器(諸如光偵測器336 (例如光二極體))之組件過濾、放大及轉換光為電信號來處理光之一WDM接收器之一實例。

【0035】 光子模組307可製造於多個程序中，其包含首先(例如使用一遮罩或光罩)製造一或多個矽組件及接著自III-V族層製造主動組件(例如使用另一遮罩或光罩)。例如，可自矽蝕刻連接光子模組307中之各種組件之波導(例如，繪示為箭頭)，且亦可自矽蝕刻諸如MZI 355及MZI 333之其他組件；而隨後，可在矽組件(例如蝕刻波導)之後於一後續製造循環中

自一III-V族材料製造諸如雷射(例如雷射328、350)、監控光二極體(例如監控光二極體364)及光偵測器336之其他組件。在一些情況中，在製造後續組件(例如主動組件)中，會損壞一或多個早先形成之組件(例如Si組件)，此會引起組件或整個光子模組307失效。為此，可在製程期間在線使用一或多個光學製造監控結構來測試光子模組307是否具有損壞區域，如下文將進一步討論。

【0036】 圖4展示根據一些實例實施例之一實例光學製造監控架構400。一製造光罩402經實施以在一晶圓上一或多次形成一光子佈局設計407以在晶圓上產生光子設計。接著，將所產生之光子設計之部分單粒化為單獨光子積體電路及晶圓之一過剩部分420，諸如光子積體電路412。例如，光子積體電路412係光子模組307或PIC 220之一實例實施方案，其中使用一第一製程(例如矽蝕刻以在光子模組307中形成波導)來製造組件之一部分，且其中一第二製程形成額外組件(例如由III-V族材料製造之光子模組307中之主動層組件)，其中額外組件之製造會引起第一組件中之誤差(例如挖溝、損壞波導、結合介面損壞)。

【0037】 為在製造期間在線監控及偵測誤差，一或多個光學製造監控結構包含於佈局設計中且由製造光罩402及形成於用於蝕刻之一初始層(例如矽層)中之波導及其他組件製造。特定言之，例如，區域A及區域B可為易受損壞或製造誤差之區域。例如，區域A可包含製造於一III-V族層之組件(例如雷射328、雷射350)且區域B可包含自III-V族層製造之其他組件(例如EAM 330、EAM 352)，其中在區域A及區域B中製造組件會引起區域A及區域B內或接近區域A及區域B之既有組件損壞(例如，矽蝕刻波導耦合至雷射或EAM；或損壞矽層中之其他先前產生組件，諸如MZI

333、355)。

【0038】 根據一些實例實施例，光學製造監控結構405、410、415可包含於佈局設計中以在在線製造期間偵測誤差而無廢棄晶圓或光子電路。例如，根據一些實例實施例，為在製造期間監控區域A，光學製造監控結構405及另外光學製造監控結構410可使光選路通過區域A以偵測由製造損壞程序引起之光學損耗。在一些實例實施例中，光耦合至一給定光學製造波導監控結構中且經由一光纖、一稜鏡、一光纖聚焦器、一透鏡或具有一輸入機構及輸出機構(例如具有將光耦合至波導之一光纖之一探針卡及接收自波導輸出之光之輸出光柵及偵測器)之模組之一或多者自結構在線(例如，無需自製造系統移除晶圓)接收。

【0039】 在所繪示之實例中，光學製造監控結構405包含經由一被動矽波導(例如與裝置之功能組件分離之一健康波導，如由連接耦合器405A及405B之實線所指示)耦合之兩個耦合器405A及405B (例如光柵耦合器)。在單粒化之後，經分離個別PIC 412 (例如PIC 220)將包含光學製造監控結構405。在一些實例實施例中，光學製造監控結構之一部分可在單粒化之後分離，使得結構之部分不包含於單粒化光子積體電路412中。例如，光學製造監控結構410包含由一波導連接之兩個耦合器410A及410B，波導開始於光子積體電路412外部且延伸至區域A中以偵測自區域A內或接近區域A之製程發生之可能損壞或誤差。在單粒化光子積體電路412之後，光柵耦合器410A及410B與光子積體電路412分離且僅波導(實線)保留於光子積體電路412中以藉此節省光子積體電路412內之佈局空間。另外且根據一些實例實施例，將結構之一部分放置於光子積體電路412外部使結構能夠用作一測試參考以確保測試結構本身不引起損耗及不

正確地引起錯誤測試讀數。例如，光學製造監控結構405可接收及輸出光，且可根據由用作一校準製造波導監控結構之光學製造監控結構410展現之損耗來量測及評估損耗。在其中光學製造監控結構405展現大量損耗且光學製造監控結構410未展現大量損耗之情況中，損耗可歸因於測試結構本身之一或多個組件(例如光學耦合器405A之一不正確形成之光柵耦合器)。

【0040】 在一些實例實施例中，光學製造監控結構之部分或全部經製造使得其位於光子積體電路412外部，但仍在經歷可在光子積體電路412內引起損壞之程序之一區域中。例如，區域B可為在製程期間遭受損壞之可能性增大之一區域，其中經歷潛在損壞製程之區域B之一部分位於光子積體電路412外部。如所繪示，光學製造監控結構415經設計為佈局之部分，使得其完全位於光子積體電路412外部但具有連接耦合器415A及415B之一波導，使得若區域B中之一或多個組件遭受損壞，則光學製造監控結構415內之波導亦遭受損壞。例如，損壞可由光學損耗藉由將光輸入至光學耦合器415A中以傳播通過波導至光學耦合器415B且量測損耗來指示(例如損耗大於基於光輸入之預期)。顯然，在單粒化光子積體電路412之後，光學製造監控結構415位於光子積體電路412外部且不包含於最終單粒化晶粒中。

【0041】 在一些實例實施例中，使用一積體光源及偵測器製造光學製造監控結構之一或多者以產生光且依一自含式方法偵測光(例如不必將光輸入至一耦合器且自另一耦合器接收光)。例如，耦合器410A可由一積體雷射(例如部分由III-V族材料形成之混合雷射)替換且耦合器410B可由一積體光二極體替換以偵測由積體雷射產生之光，其經由光學製造監控結

構410之健康波導傳播通過監控區域(例如區域A)。

【0042】 為開始一自含式光學製造監控結構之測試，根據一些實例實施例，可經由電探測來探測雷射及偵測器，其可為使用在線標準電子PCM電探針測試來測試之較容易製造晶圓代工廠。此外，如同基於耦合器之光學製造監控結構(例如其中光經由光柵耦合器注入及輸出)，自含式光學製造監控結構無需額外製造工作，因為其形成為相同於光子設計之功能光學組件之設計之部分，諸如光子發射器結構314之收發器組件(例如雷射、MZI、EAM)及光子接收器結構332之接收器組件(例如SOA、偵測器等等)，如上文參考圖3所討論。

【0043】 圖5展示根據一些實例實施例之一實例光學製造監控架構500。製造光罩505經實施以在一晶圓上一或多次形成一光子佈局設計515以在晶圓上產生光子設計。接著，將所產生之光子設計之部分單粒化為單獨光子積體電路，諸如光子積體電路510。例如，光子積體電路510係光子模組307或PIC 220之一實例實施方案，其中使用一第一製程(例如矽蝕刻以在光子模組307中形成波導)來製造組件之一部分，且其中一第二製程形成額外組件(例如由III-V族材料製造之光子模組307中之主動層組件)，其中額外組件之製造會引起第一組件中之誤差(例如挖溝、損壞波導、結合介面損壞)。

【0044】 在圖5之實例中，光學製造監控結構520係主要蝕刻於光子積體電路510外部之製造光罩區域中之一MZI。如所繪示，光學製造監控結構520包含一輸入耦合器525 (例如光柵耦合器，其將光耦合至耦合器530 (例如一T型接頭、1x2耦合器)中，耦合器530將光耦合至耦合器535 (例如一T型接頭、2x1耦合器)中)。接著，耦合器535將光耦合至輸出耦合

器540 (例如光柵耦合器)用於基於相位或基於消光比之誤差量測。在此等實例實施例中，光學製造監控結構520可藉由偵測自一初始相變(在產生AMZI之後且在進一步製造循環之前量測)之相變或歸因於延伸至光子積體電路510之區域A之易損壞區域中之一下臂545之損壞之消光比變化來提供製造誤差之亞分貝級偵測。在單粒化光子積體電路510之後，分離光學製造監控結構520之大部分，且僅下臂545包含於經分離光子積體電路510中。此外，在一些實例實施例中，圖5之光學製造監控結構之一或多者經實施為其中一積體光源及/或偵測器包含於監控結構佈局中之一自含式光學製造監控結構，如上文參考圖4所討論。

【0045】 圖6展示根據一些實例實施例之一實例光學製造監控架構600。製造光罩602經實施以在一晶圓上一或多次形成一光子佈局設計607以在晶圓上產生光子設計。接著，將所產生之光子設計之部分單粒化為單獨光子積體電路，諸如光子積體電路612。例如，光子積體電路612係光子模組307或PIC 220之一實例實施方案，其中使用一第一製程(例如矽蝕刻以在光子模組307中形成波導)來製造組件之一部分，且其中一第二製程形成額外組件(例如由III-V族材料製造之光子模組307中之主動層組件)，其中額外光學組件之製造會引起第一組件中之誤差(例如挖溝、損壞波導、結合介面損壞)。

【0046】 在圖6之實例中，根據一些實例實施例，一或多個光學製造測試結構可經實施以在製造期間對光子積體電路612之一發射器部分、在製造期間對光子積體電路612之接收器部分或在製造期間對光子積體電路612之整個收發器電路執行在線測試。

【0047】 在所繪示之實例中，發射器組件包含耦合至一光學調變器

610之一雷射605，光學調變器610耦合至發射器之一光學輸出耦合器615。發射器光學製造測試結構可偵測發射器之損耗或損壞以實施接近光子積體電路612之發射器部分之一波導。例如，發射器光學製造測試結構可包含由一矽波導連接之測試耦合器620及625，矽波導經設計為佈局之部分以保持接近發射器組件之發射器路徑。在製造期間，可藉由將光輸入至耦合器620中且由耦合器625偵測光及偵測指示發射器之一或多個組件之潛在損壞之損耗來測試及監控發射器部分。

【0048】在圖6中，接收器組件包含將光耦合至一放大器635之一輸入耦合器640，放大器635進一步類似地耦合至一光偵測器630。接收器光學製造測試結構可偵測發射器之損耗或損壞以實施接近光子積體電路612之接收器部分之一波導。例如，接收器光學製造測試結構可包含由一矽波導連接之測試耦合器642及644，矽波導經設計為佈局之部分以保持接近接收器組件之接收器路徑。在製造期間，可藉由將光輸入至耦合器642中且由耦合器644偵測光以偵測指示接收器之一或多個組件之潛在損壞之損耗來在線測試及監控接收器部分，不廢棄或自生產線拉出。

【0049】此外，根據一些實例實施例，可在製造期間使用包含一輸入耦合器645及一輸出耦合器650之一收發器光學製造測試結構來在線監控整個光子積體電路612，輸入耦合器645及輸出耦合器650由包圍光子積體電路612之接收器及發射器部分之一被動矽波導連接。在製造期間，可使用光學測試結構藉由將光輸入至耦合器645中且由耦合器650偵測光輸出以偵測指示收發器之一或多個組件之潛在損壞之損耗來監控光子積體電路。依此方式，在製造一複雜高速光學收發器期間，可無廢棄或污染地在線測試接收器、在線測試發射器及在線測試整個收發器以藉此實現部分之

儘早扔掉及製程或光子佈局之改變。

【0050】 此外，在一些實例實施例中，圖6之光學製造監控結構之一或多者經實施為其中一積體光源及/或偵測器包含於監控結構佈局中之一自含式光學製造監控結構，如上文參考圖4所討論。

【0051】 圖7展示根據一些實例實施例之用於實施光學製造測試結構之一方法700之一流程圖。在操作705，在光子積體電路之製造期間產生光子積體電路之第一組件及一或多個光學製造監控結構。例如，在操作705，蝕刻一初始矽層以產生一或多個光學組件(例如被動組件(諸如一MZI)及/或用於連接光子積體電路之組件之波導)。此外，在初始矽蝕刻期間，包含一或多個光學製造測試結構以在製造期間於上文所討論之潔淨室中監控光學組件。

【0052】 在操作715，在晶圓上產生一第二組組件(例如經由一製造光罩)。在產生第二組件中，會損壞在操作705期間產生之一或多個組件，如上文所討論。

【0053】 在操作720，為偵測來自一或多個製造循環之損壞，將光提供至製造監控光學結構，其接著在操作725被接收。在操作730，偵測由自光學製造測試結構接收之光指示之一或多個誤差。例如，所接收之光可指示易受製造損壞之一或多個區域內存在大量光學損耗。此外，可基於一MZI測試結構改變或增大之消光比(例如增加通過一設計或先前MZI消光比)來偵測損壞。

【0054】 在操作735，根據誤差執行額外處理。例如，在一些實例實施例中，取決於所偵測之誤差或損壞類型，可廢棄或否則捨棄晶圓或光子電路。另外，在一些實例實施例中，在操作735，可修改經實施以產生

光子電路之製造技術以避免在操作730偵測到之進一步誤差。例如，修改遮罩類型、蝕刻劑類型、黏著劑類型、光子電路之佈局或設計或層之厚度以避免(一給定製造光罩或遮罩之)一給定佈局設計之進一步製造誤差。

【0055】 以下係實例實施例：

【0056】 實例1. 一種用於在製造一光子積體電路期間量測光學組件誤差之方法，該方法包括：在該光子積體電路之一矽層上，在一製造環境中使用一初始製造循環製造複數個光學組件，該複數個光學組件包含用於處理該光子積體電路中之光之功能光學組件及用於量測該光子積體電路之一或多個區域之損壞之製造波導監控結構，該一或多個區域易受由形成該光子積體電路之一後續製造循環程序引起之損壞；在該光子積體電路之另一層中，在該製造環境中使用該後續製造循環製造複數個額外光學組件，該複數個額外光學組件包含於易受來自該後續製造循環之損壞之該一或多個區域中；及在該製造環境中，識別由該後續製造循環引起之該矽層之該一或多個區域之損壞，該損壞自傳播通過由該初始製造循環形成之該等製造波導監控結構之一者之光量測。

【0057】 實例2. 如實例1之方法，其中該等製造波導監控結構與根據該光子積體電路之一設計處理光之該等功能光學組件分離。

【0058】 實例3. 如實例1或2中任一例之方法，其中該等製造波導監控結構之各者包含由一或多個波導連接之一積體光源及光偵測器。

【0059】 實例4. 如實例1至3中任一例之方法，其中該等製造波導監控結構之各者包含一輸入耦合器及一輸出耦合器以在單粒化之前於一晶圓級接收及輸出光。

【0060】 實例5. 如實例1至4中任一例之方法，其中該輸入耦合器係

一輸入光柵耦合器且該輸出耦合器係一輸出光柵耦合器。

【0061】 實例6. 如實例1至5中任一例之方法，其中該光子積體電路由一晶圓形成；且其中該等製造波導監控結構之一或多者經由該初始製造循環形成於待與該晶圓分離之一光子積體電路區域外部之一區域中。

【0062】 實例7. 如實例1至6中任一例之方法，其中一第一製造波導監控結構具有位於該外部區域中之耦合器且具有通過易受損壞之該一或多個區域之一區域之一波導路徑。

【0063】 實例8. 如實例1至7中任一例之方法，其中一第二製造波導監控結構具有位於該光子積體電路內之耦合器且具有通過來自易受損壞之該一或多個區域之該區域之一第二波導。

【0064】 實例9. 如實例1至8中任一例之方法，其中該第一製造波導監控結構係一校準製造波導監控結構，可根據該校準製造波導監控結構量測該第二製造波導監控結構之光學損耗以偵測該一或多個區域之該區域之該損壞。

【0065】 實例10. 如實例1至9中任一例之方法，其中該等製造波導監控結構之一者係包含輸入耦合器及輸出耦合器及一健康波導之一外部製造波導監控結構，該輸入耦合器及該輸出耦合器及該健康波導包含於該外部區域內且排除於該光子積體電路之外。

【0066】 實例11. 如實例1至10中任一例之方法，其中將該後續製造循環應用於該光子積體電路之一部分及亦應用於位於該光子積體電路外部之該外部區域中之另一部分。

【0067】 實例12. 如實例1至11中任一例之方法，其中該外部製造波導監控結構因應用該後續製造循環而損壞且該光子積體電路之該損壞經由

輸入及量測傳播通過該外部製造波導監控結構之一損壞部分之光來量測。

【0068】 實例13. 如實例1至12中任一例之方法，其中製造波導監控結構之一者係由該初始製造循環形成之一馬赫-岑得干涉儀(Mach-Zehnder Interferometer)，該馬赫-岑得干涉儀具有該光子積體電路外部之一區域中之一上臂及延伸通過易受來自該後續製造循環之損壞之該等區域之至少一者之一下臂。

【0069】 實例14. 如實例1至13中任一例之方法，其中基於輸入至該馬赫-岑得干涉儀之光之一錯誤消光比來偵測損壞，該錯誤消光比係由延伸通過易受損壞之該等區域之該至少一者之該下臂之損壞引起之一消光比。

【0070】 實例15. 如實例1至14中任一例之方法，其中使用一光纖聚焦器將光輸入至該等製造波導監控結構之一或多者中。

【0071】 實例16. 如實例1至15中任一例之方法，其中該製造環境係用於製造包含由一製造光罩形成之多個光子積體電路之晶圓之一製造潔淨室。

【0072】 實例17. 如實例1至16中任一例之方法，其中在該製造潔淨室中且在不自該製造潔淨室移除該光子積體電路之情況下在線執行該一或多個區域之該損壞。

【0073】 實例18. 如實例1至17中任一例之方法，其進一步包括：基於該製造環境中由該後續製造循環對該一或多個區域引起之損壞來捨棄該光子積體電路。

【0074】 實例19. 如實例1至18中任一例之方法，其中該複數個光學組件包含波導及光學耦合器；且其中該複數個額外光學組件包含雷射及調

變器。

【0075】 實例20. 一種一晶圓上之光子積體電路，其包含一或多個製造波導監控結構，該晶圓包括：一光子積體電路，其包括在一製造環境中使用一初始製造循環形成於該晶圓之一矽層中之複數個光學組件，該複數個光學組件包含用於處理該光子積體電路中之光之功能矽光學組件及用於量測該晶圓中之一或多個區域之損壞之製造波導監控結構，該一或多個區域易受由在該光子積體電路中形成複數個額外光學組件之一後續製程引起之損壞，其中在該光子積體電路之一額外層中，在該製造環境中使用該後續製造循環形成該複數個額外光學組件，該複數個額外光學組件包含於易受來自該後續製造循環之損壞之該一或多個區域中；及一過剩區域，其位於該光子積體電路外部，該過剩區域藉由單粒化該晶圓來與該光子積體電路分離，使用該初始製造循環，在該光子積體電路及該過剩區域中形成該等製造波導監控結構之至少一者，使得該光子積體電路包括該等製造波導監控結構之該至少一者之一局部部分，該等製造波導監控結構包含一波導以使光傳播通過該一或多個區域以識別由該後續製造循環引起之損壞。

【0076】 在以上詳細描述中，已參考本發明之具體例示性實施例描述本發明之方法及設備。然而，應明白，可在不背離本發明之較廣精神及範疇之情況下對本發明進行各種修改及改變。因此，本說明書及附圖應被視為意在說明而非限制。

【符號說明】

【0077】

100:光學收發器

102:微處理器

105:資料發射器
110:光子積體電路(PIC)
115:資料接收器
150:電硬體裝置
175:光學裝置
177:外部發射器
200:光電裝置
205:印刷電路板(PCB)
214:銅柱
215:專用積體電路(ASIC)
216:球柵陣列(BGA)互連件
220:PIC
225:稜鏡
230:光纖
260:有機基板
300:內部架構
302:光電裝置
304:電子模組
305:硬體處理器
306:發射器控制器
307:光子模組
310:接收器控制器
312:功率控制電路

314:積體光子發射器結構
316:第一發射器通道
318:第四發射器通道
328:雷射
330:電致吸收調變器(EAM)
332:積體光子接收器結構
333:馬赫-岑得干涉儀(MZI)
334:多工器
335:半導體光學放大器(SOA)
336:光偵測器
350:雷射
352:EAM
355:MZI
364:監控光二極體
400:光學製造監控架構
402:製造光罩
405:光學製造監控結構
405A:耦合器
405B:耦合器
407:光子佈局設計
410:光學製造監控結構
410A:耦合器
410B:耦合器

412:光子積體電路
415:光學製造監控結構
415A:耦合器
415B:耦合器
420:過剩部分
500:光學製造監控架構
505:製造光罩
510:光子積體電路
515:光子佈局設計
520:光學製造監控結構
525:輸入耦合器
530:耦合器
535:耦合器
540:輸出耦合器
545:下臂
600:光學製造監控架構
602:製造光罩
605:雷射
607:光子佈局設計
610:光學調變器
612:光子積體電路
615:光學輸出耦合器
620:測試耦合器

625:測試耦合器

630:光偵測器

635:放大器

640:輸入耦合器

642:測試耦合器

644:測試耦合器

645:輸入耦合器

650:輸出耦合器

700:方法

705:操作

715:操作

720:操作

725:操作

730:操作

735:操作

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種用於在製造一光子積體電路期間偵測光學組件誤差之方法，該方法包括：

在該光子積體電路之一矽層上，在一製造環境中使用一初始製造循環製造複數個光學組件，該複數個光學組件包含用於處理該光子積體電路中之光之功能光學組件及用於偵測該光子積體電路之一或多個區域之損壞之一或多個製造波導監控結構，該一或多個區域易受由形成該光子積體電路之一後續製造循環程序引起之損壞，該一或多個製造波導監控結構包括一馬赫-岑得干涉儀(Mach-Zehnder Interferometer)，該馬赫-岑得干涉儀具有該光子積體電路外部之一區域中之一上臂及延伸通過易受來自該後續製造循環之損壞之該等區域之至少一者之一下臂；

在該光子積體電路之另一層中，在該製造環境中使用該後續製造循環製造複數個額外光學組件，該複數個額外光學組件包含於易受來自該後續製造循環之損壞之該一或多個區域中；及

在該製造環境中，識別由該後續製造循環引起之該矽層之該一或多個區域之損壞，該損壞自傳播通過該馬赫-岑得干涉儀之光偵測。

【請求項2】

如請求項1之方法，其中該一或多個製造波導監控結構與根據該光子積體電路之一設計處理光之該等功能光學組件分離。

【請求項3】

如請求項1之方法，其中該一或多個製造波導監控結構之各者包含由一或多個波導連接之一積體光源及光偵測器。

【請求項4】

如請求項1之方法，其中該一或多個製造波導監控結構之各者包含一輸入耦合器及一輸出耦合器以在單粒化之前於一晶圓級接收及輸出光。

【請求項5】

如請求項4之方法，其中該輸入耦合器係一輸入光柵耦合器且該輸出耦合器係一輸出光柵耦合器。

【請求項6】

如請求項1之方法，其中該光子積體電路由一晶圓形成；且

其中該一或多個製造波導監控結構之一或多者經由該初始製造循環形成於待與該晶圓分離之一光子積體電路區域外部之一區域中。

【請求項7】

如請求項6之方法，其中一第一製造波導監控結構具有位於該外部區域中之耦合器且具有通過易受損壞之該一或多個區域之一區域之一波導路徑。

【請求項8】

如請求項7之方法，其中一第二製造波導監控結構具有位於該光子積體電路內之耦合器且具有通過來自易受損壞之該一或多個區域之該區域之一第二波導。

【請求項9】

如請求項8之方法，其中該第一製造波導監控結構係一校準製造波導監控結構，可根據該校準製造波導監控結構量測該第二製造波導監控結構之光學損耗以偵測該一或多個區域之該區域之該損壞。

【請求項10】

如請求項6之方法，其中該一或多個製造波導監控結構之一者係包含輸入耦合器及輸出耦合器及一健康波導之一外部製造波導監控結構，該輸入耦合器及該輸出耦合器及該健康波導包含於該外部區域內且排除於該光子積體電路之外。

【請求項11】

如請求項10之方法，其中將該後續製造循環應用於該光子積體電路之一部分及亦應用於該光子積體電路外部之該外部區域中之另一部分。

【請求項12】

如請求項11之方法，其中該外部製造波導監控結構因應用該後續製造循環而損壞且該光子積體電路之該損壞經由輸入及量測傳播通過該外部製造波導監控結構之一損壞部分之光來偵測。

【請求項13】

如請求項1之方法，其中基於輸入至該馬赫-岑得干涉儀之光之一錯誤消光比來偵測損壞，該錯誤消光比係由延伸通過易受損壞之該等區域之該至少一者之該下臂之損壞引起之一消光比。

【請求項14】

如請求項1之方法，其中使用一光纖聚焦器將光輸入至該一或多個製造波導監控結構。

【請求項15】

如請求項1之方法，其中該製造環境係用於製造包含由一製造光罩形成之多個光子積體電路之晶圓之一製造潔淨室。

【請求項16】

如請求項15之方法，其中在該製造潔淨室中且在不自該製造潔淨室

移除該光子積體電路之情況下在線執行該一或多個區域之該損壞。

【請求項17】

如請求項1之方法，其進一步包括：

基於該製造環境中由該後續製造循環對該一或多個區域引起之該損壞來捨棄該光子積體電路。

【請求項18】

如請求項1之方法，其中該複數個光學組件包含波導及光學耦合器；
且

其中該複數個額外光學組件包含雷射及調變器。

【請求項19】

一種一晶圓上之光子積體電路，其包含一或多個製造波導監控結構，該晶圓包括：

一光子積體電路，其包括在一製造環境中使用一初始製造循環形成於該晶圓之一矽層中之複數個光學組件，該複數個光學組件包含用於處理該光子積體電路中之光之功能矽光學組件及用於偵測該晶圓中之一或多個區域之損壞之一或多個製造波導監控結構，該一或多個區域易受由在該光子積體電路中形成複數個額外光學組件之一後續製程引起之損壞，其中在該光子積體電路之一額外層中，在該製造環境中使用該後續製造循環形成該複數個額外光學組件，該複數個額外光學組件包含於易受來自該後續製造循環之損壞之該一或多個區域中；

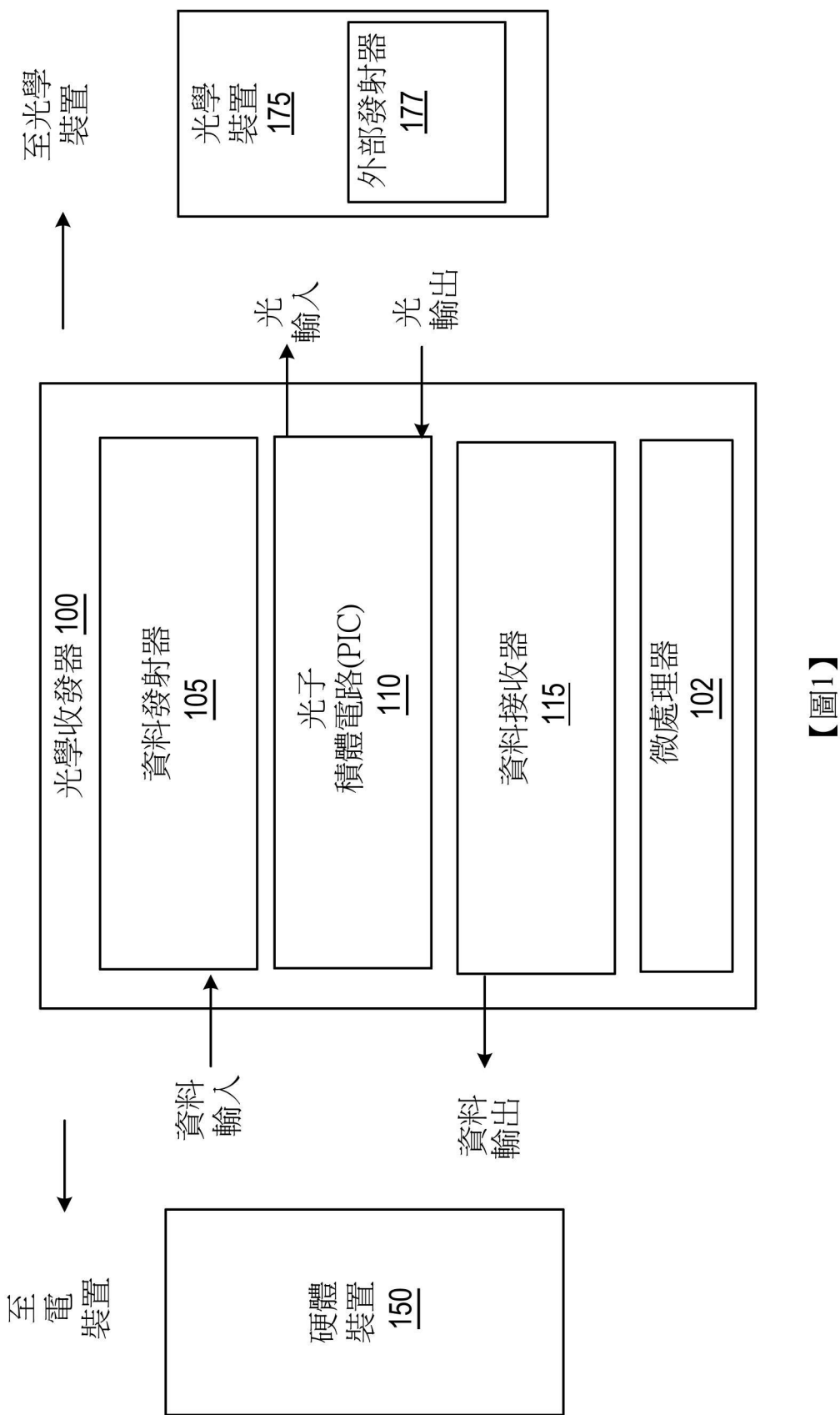
該一或多個製造波導監控結構包括具有該光子積體電路外部之一區域中之一上臂及延伸通過易受來自該後續製造循環之損壞之該等區域之至少一者之一下臂之一馬赫-岑得干涉儀；及

一過剩區域，其位於該光子積體電路外部，該過剩區域藉由單粒化該晶圓來與該光子積體電路分離，使用該初始製造循環，在該光子積體電路及該過剩區域中形成該等製造波導監控結構之至少一者，使得該光子積體電路包括該等製造波導監控結構之該至少一者之一部分，該等製造波導監控結構包含一波導以使光傳播通過該一或多個區域以識別由該後續製造循環引起之損壞。

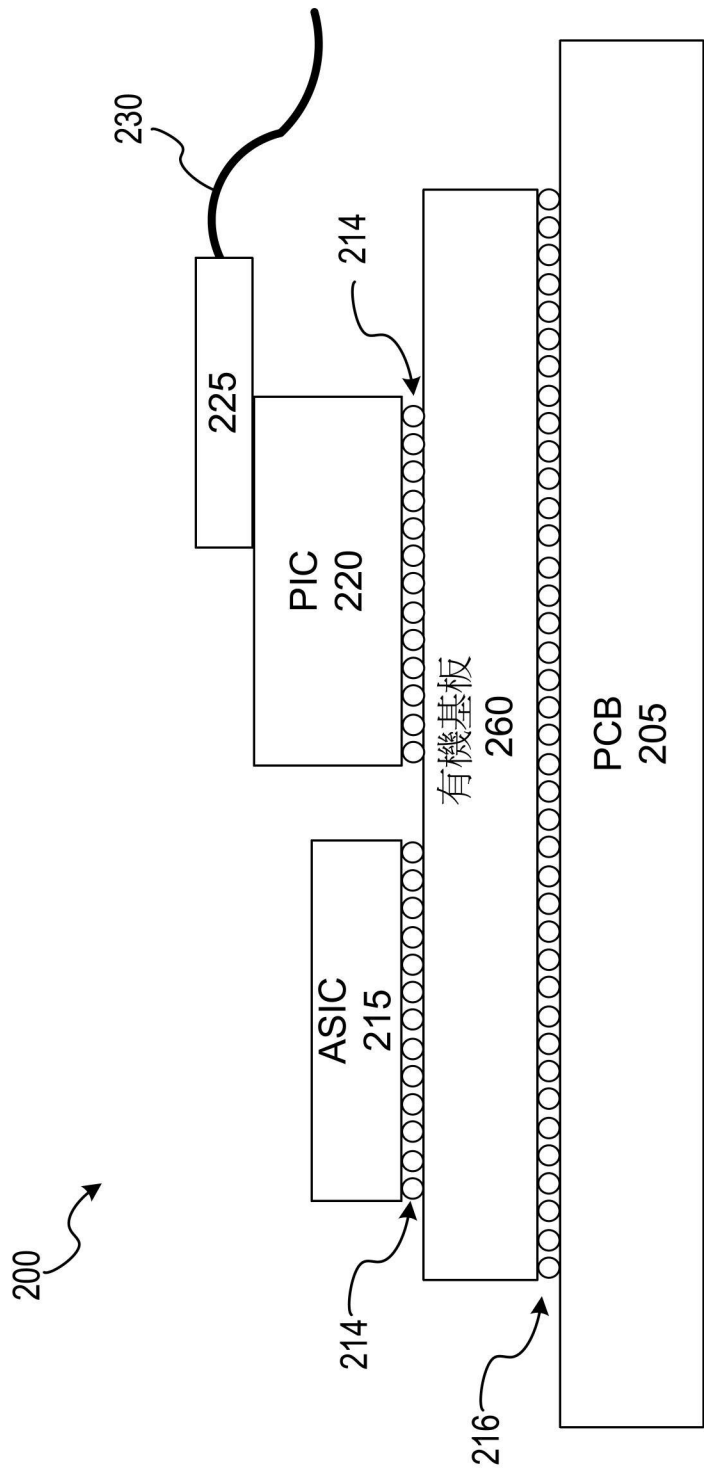
【請求項20】

如請求項19之該晶圓上之光子積體電路，其中基於輸入至該馬赫-岑得干涉儀之光之一錯誤消光比來偵測損壞，該錯誤消光比係由延伸通過易受損壞之該等區域之該至少一者之該下臂之損壞引起之一消光比。

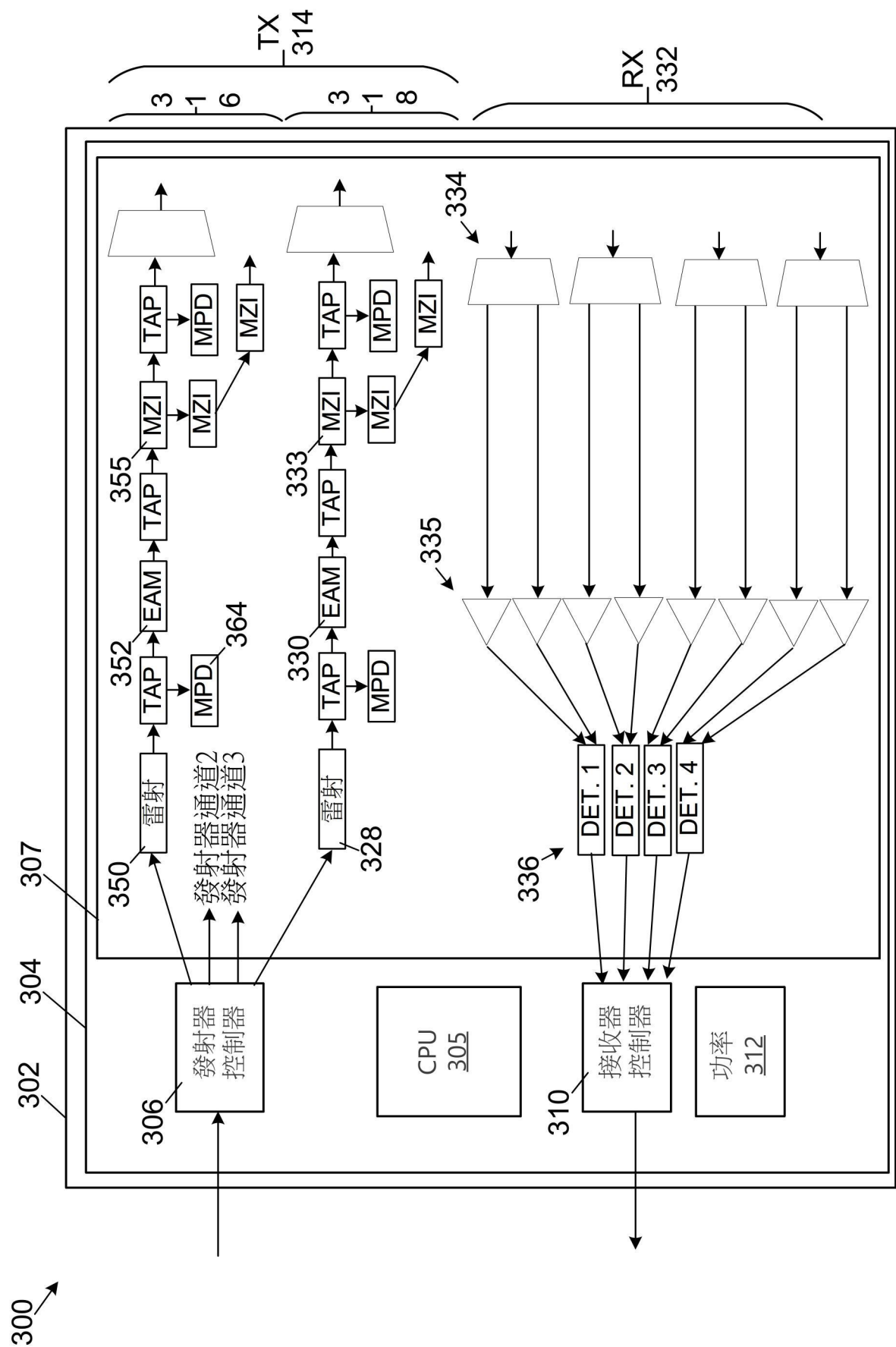
【發明圖式】



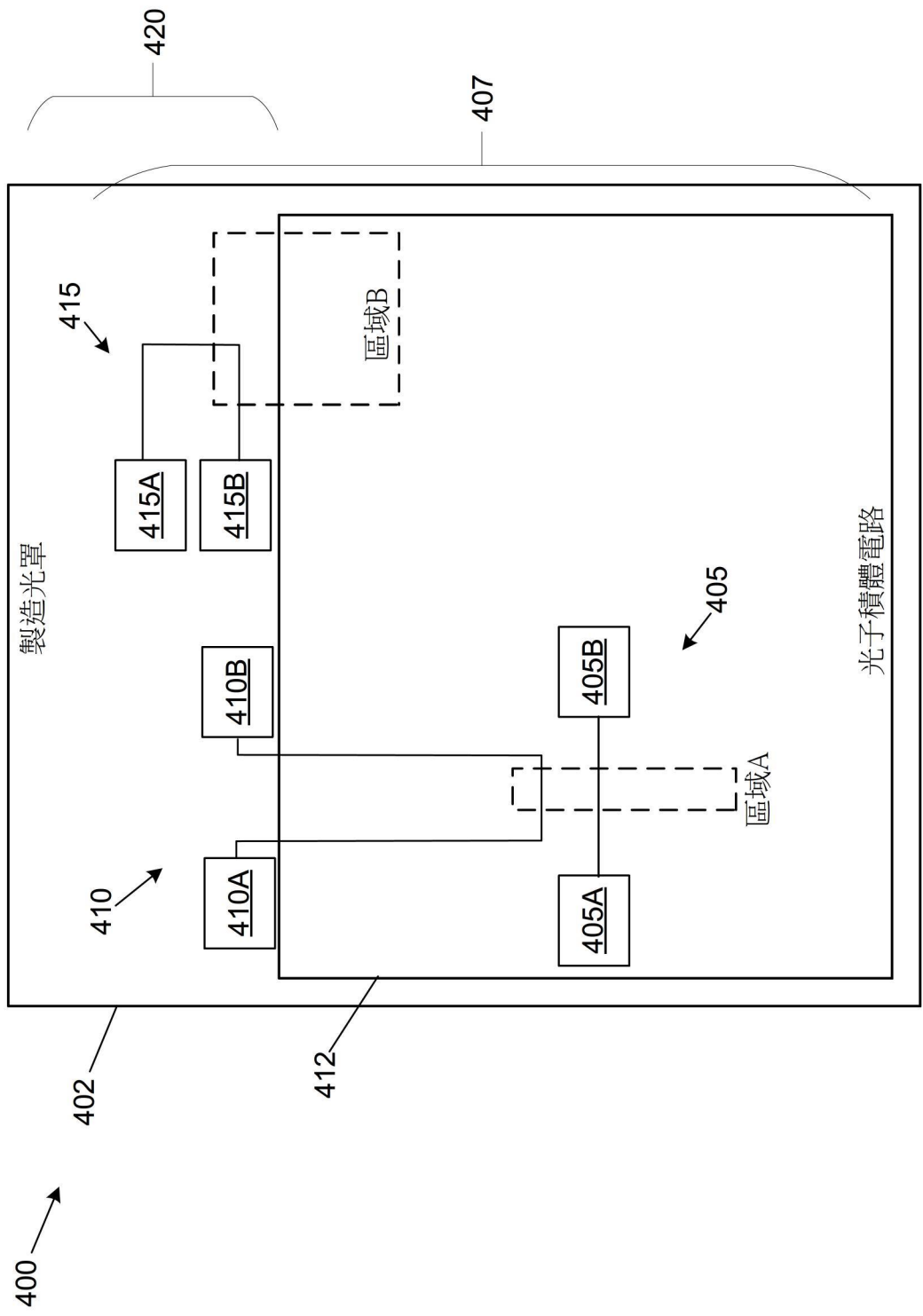
【圖1】



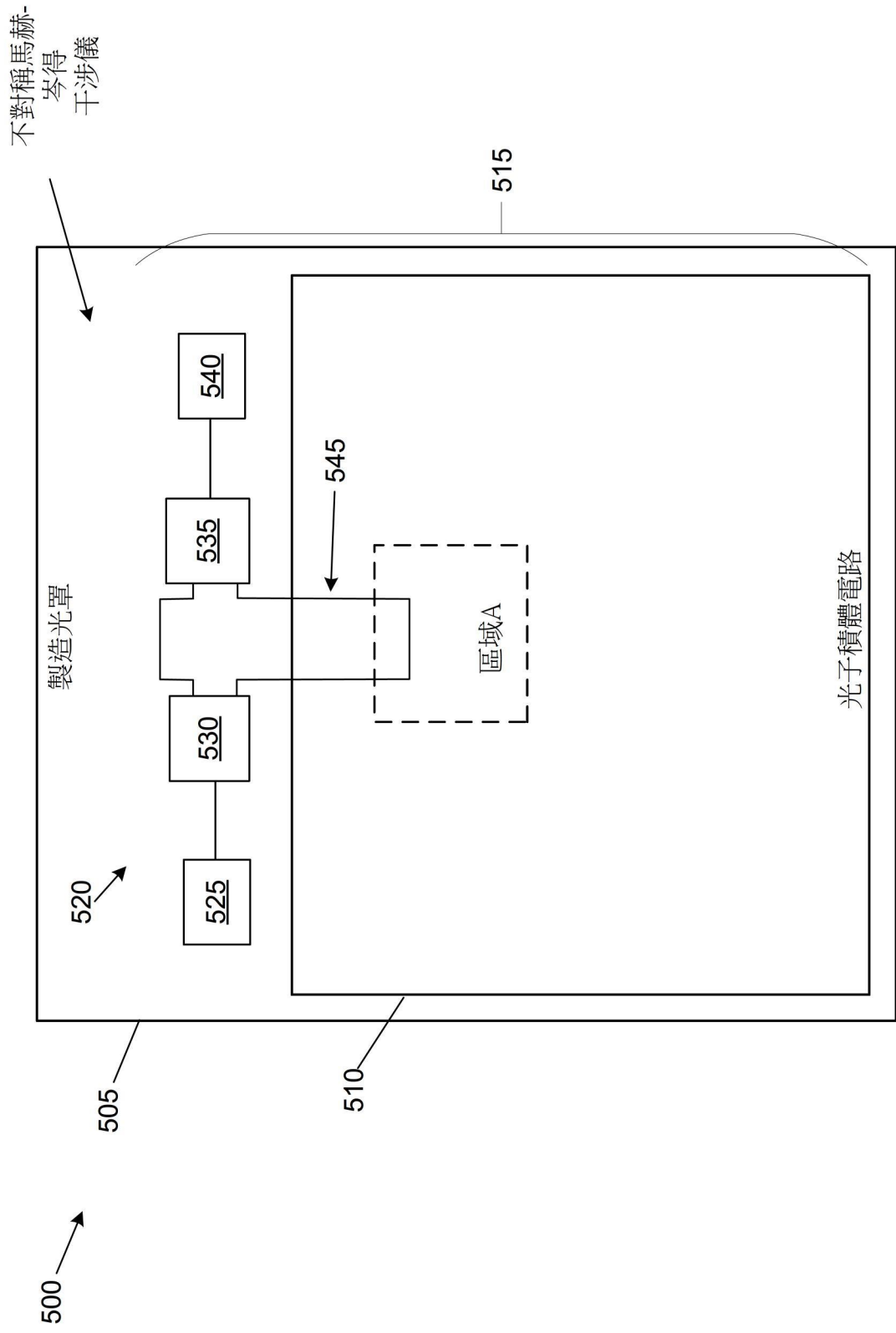
【圖2】



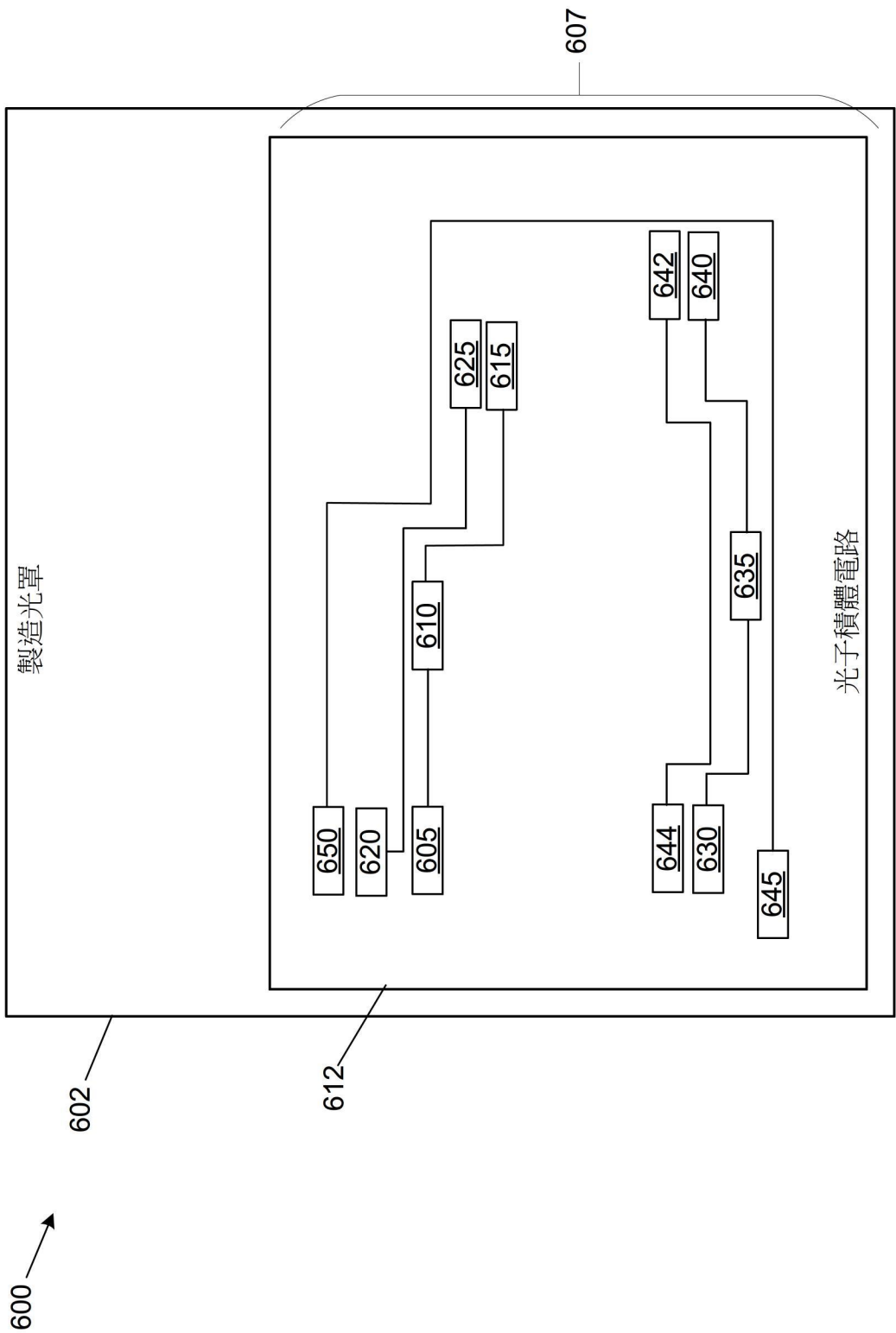
【圖3】



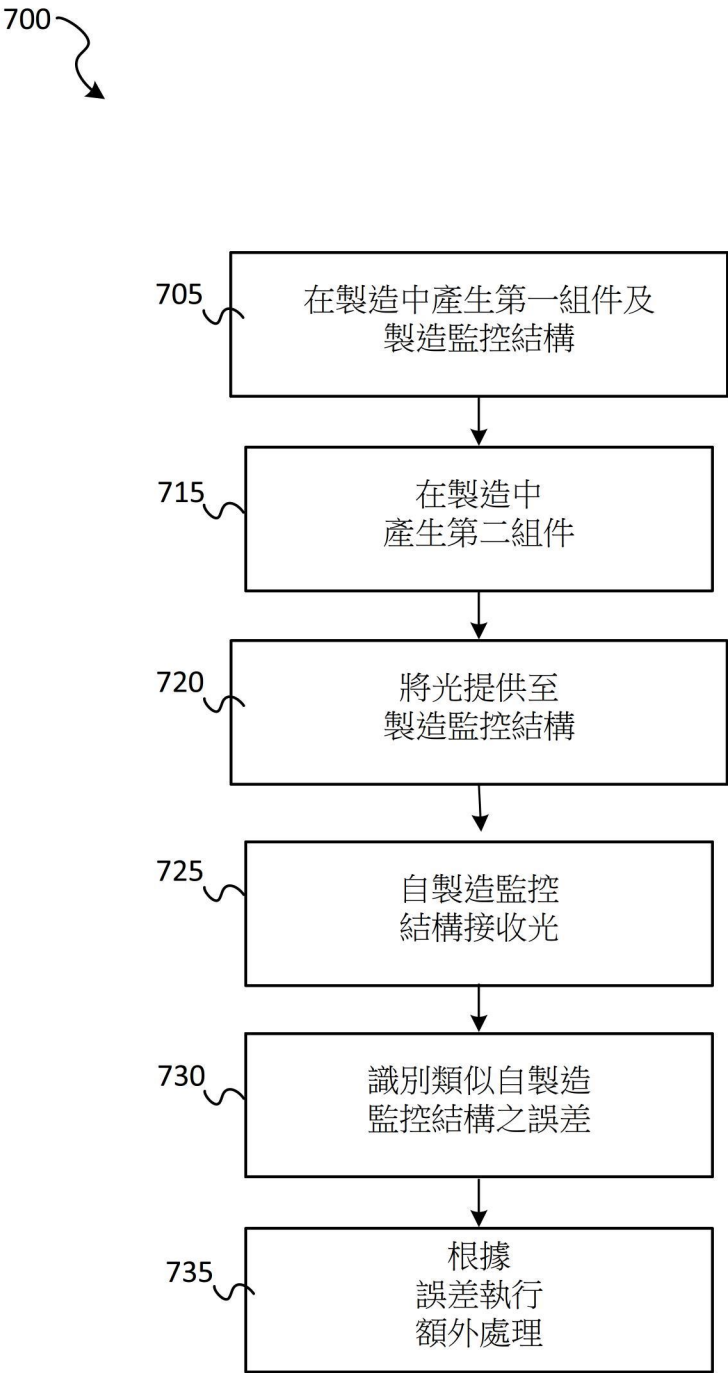
【圖4】



【圖5】



【圖6】



【圖7】