



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202502009 A

(43)公開日：中華民國 114 (2025) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：113122762

(22)申請日：中華民國 113 (2024) 年 06 月 19 日

(51)Int. Cl. : H04B10/69 (2013.01)

(30)優先權：2023/06/19 美國 63/521,769

2024/03/05 美國 63/561,461

(71)申請人：加拿大商電光 I C 股份有限公司 (加拿大) ELECTROPHOTONIC-IC INC. (CA)
加拿大(72)發明人：塔洛夫 勞倫斯 E TAROF, LAWRENCE E. (CA)；帕克拉杜尼 維根
PACRADOUNI, VIGHEN (CA)；哈賈爾松 古德蒙杜爾 A HJARTARSON,
GUDMUNDUR A. (CA)；阿馬亞 羅尼 E AMAYA, RONY E. (CA)；克萊頓
理查德 D CLAYTON, RICHARD D. (CA)

(74)代理人：李保祿

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：26 項 圖式數：21 共 39 頁

(54)名稱

包含叢發模式光接收器之電光電路

(57)摘要

一種用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)的叢發模式光接收器包含：一可變光衰減器(VOA)；一光電二極體(PD)，該光電二極體可係一 pin-PD 或一 APD；一跨阻抗放大器(TIA)；以及一回饋/控制電路，其用於回應於一叢發模式光輸入信號位準來調整該 VOA 之一偏壓電壓，以向具有一較窄動態範圍之該 PD 提供一經衰減之光輸出信號。在光域中提供信號位準調整減輕對具有一大動態範圍之一叢發模式 TIA 之要求，並提供快速切換。該叢發模式光接收器可包含一波導組態，其中一第一電吸收調變器(EAM)可操作為該 VOA，並且一第二 EAM 可操作為該光電二極體。可提供一種使用基於 InP 之半導體材料的單片積體電光電路，該單片積體電光電路包含該 VOA、該 PD、該 TIA 及該回饋/控制電路。

A burst-mode optical receiver for an optical line terminal (OLT) of a passive optical network (PON) comprises a variable optical attenuator (VOA), a photodiode (PD) which may be a pin-PD or an APD, a transimpedance amplifier (TIA), and a feedback/control circuit for adjusting a bias voltage of the VOA in response to a burst-mode optical input signal level, to provide an attenuated optical output signal to the PD having a narrower dynamic range. Providing signal level adjustment in the optical domain mitigates the requirement for a burst-mode TIA with a large dynamic range and provides for fast switching. The burst-mode optical receiver may comprise a waveguide configuration, wherein a first electro-absorption modulator (EAM) is operable as the VOA and a second EAM is operable as the photodiode. A monolithically integrated electro-photon circuit comprising the VOA, PD, TIA and feedback/control circuit may be provided using InP-based semiconductor materials.



【發明摘要】

【中文發明名稱】 包含叢發模式光接收器之電光電路

【英文發明名稱】 ELECTRO-PHOTONIC CIRCUIT COMPRISING BURST-MODE OPTICAL RECEIVER

【中文】

一種用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)的叢發模式光接收器包含：一可變光衰減器(VOA)；一光電二極體(PD)，該光電二極體可係一pin-PD或一APD；一跨阻抗放大器(TIA)；以及一回饋/控制電路，其用於回應於一叢發模式光輸入信號位準來調整該VOA之一偏壓電壓，以向具有一較窄動態範圍之該PD提供一經衰減之光輸出信號。在光域中提供信號位準調整減輕對具有一大動態範圍之一叢發模式TIA之要求，並提供快速切換。該叢發模式光接收器可包含一波導組態，其中一第一電吸收調變器(EAM)可操作為該VOA，並且一第二EAM可操作為該光電二極體。可提供一種使用基於InP之半導體材料的單片積體電光電路，該單片積體電光電路包含該VOA、該PD、該TIA及該回饋/控制電路。

【英文】

A burst-mode optical receiver for an optical line terminal (OLT) of a passive optical network (PON) comprises a variable optical attenuator (VOA), a photodiode (PD) which may be a pin-PD or an APD, a transimpedance amplifier (TIA), and a feedback/control circuit for adjusting a bias voltage of the VOA in response to a burst-

mode optical input signal level, to provide an attenuated optical output signal to the PD having a narrower dynamic range. Providing signal level adjustment in the optical domain mitigates the requirement for a burst-mode TIA with a large dynamic range and provides for fast switching. The burst-mode optical receiver may comprise a waveguide configuration, wherein a first electro-absorption modulator (EAM) is operable as the VOA and a second EAM is operable as the photodiode. A monolithically integrated electro-phonic circuit comprising the VOA, PD, TIA and feedback/control circuit may be provided using InP-based semiconductor materials.

【指定代表圖】 無

【代表圖之符號簡單說明】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 包含叢發模式光接收器之電光電路

【英文發明名稱】 ELECTRO-PHOTONIC CIRCUIT COMPRISING BURST-MODE OPTICAL RECEIVER

【技術領域】

【0001】 本發明包含叢發模式光接收器之電光積體電路，更具體包含用基於InP之半導體材料製造之叢發模式光接收器的電光積體電路。

【先前技術】

【0002】 在被動光網路(PON)中，光信號作為叢發信號從稱為光網路單元(ONU)之客戶終端發送至中心局中的光線路終端(OLT)。來自不同 ONU 之光信號位準可顯著變化。例如，具有不同信號強度及時序之光叢發信號由 OLT 叢發模式接收器接收，該 OLT 叢發模式接收器包含突崩光電二極體(APD)、跨阻抗放大器(TIA)及包含限幅放大器(LA)及時脈及資料恢復(CDR)的電子設備（M. Nogawa 等人，「10-Gbits/s Burst-mode Receiver Integrated Circuits for Broadband Optical Access Networks」，NTT Technical Review, 2011 年 3 月，第 9 卷，第 3 期）。歸因於光分配網路之差動路徑損耗、ONU 發射功率之變化，以及 ONU 及 OLT 之間之距離，到達 OLT 接收器之上游封包可能表現出大之光功率動態範圍，其範圍可從幾百米多至幾十千米。此等效應在下一代 PON 所需之較高速度下複合。（N. Tyler, 「Key building block for 100G PON networks unveiled」，New Electronics, 2022 年 9 月 23 日）。由於光信號位準可變化達例如 21 dB，因此需

要叢發模式 TIA，並且難以設定 TIA 輸入位準，需要昂貴之矽電子設備。最近，根特大學及諾基亞貝爾實驗室已揭露用 0.13 μm SiGe 製程製造之 100 Gbit/s PAM-4 線性叢發模式跨阻放大器(TIA)晶片（J. Liu, 「Imec researchers at Ghent University and Nokia Bell Labs work to debut key building block for the deployment of 100G PON networks」，imec-int.com，2022 年 9 月 22 日）。

【0003】 對於當前及下一代 PON，需要替代之解決方案。

【0004】 相關申請案之交叉參考：本發明要求 2024 年 3 月 5 日提交之標題為「Burst Mode Optical Receiver」之美國臨時專利申請案第 63/561,461 號及 2023 年 6 月 19 日提交之標題為「Burst Mode Optical Receiver」之美國臨時專利申請案第 63/521,769 號的優先權，該二案以其全文引用的方式併入本文中。

【發明內容】

【0005】 本發明尋求提供用於 OLT PON 應用的改進之或替代之叢發模式接收器。

【0006】 本發明之態樣提供包含叢發模式接收器之電光積體電路，以及用於 OLT PON 應用之叢發模式接收器，其包含一可變光衰减器(VOA)、可係一 pin PD 或一 APD 之一光電二極體(PD)、一 TIA，以及一回饋/控制電路，該回饋/控制電路用於回應於一叢發模式光輸入信號位準來調整該 VOA 之偏壓以提供光域中之信號位準調整。

【0007】 一個態樣提供一種包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之一叢發模式光接收器的電光積體電路，該電光積體電路包含：

一光電二極體(PD)、一可變光衰减器(VOA)、一跨阻抗放大器(TIA)及一回饋/控制電路；

該VOA具有用於接收一叢發模式光輸入信號之一光輸入及與該PD之一光孔徑對準之一光輸出，以將一經衰減之光輸出信號從該VOA提供至該PD；

其中該回饋/控制電路可操作用於回應於該叢發模式光輸入信號之一峰值及一平均值中之至少一者來調整該VOA之一偏壓電壓，以將該經衰減之光輸出信號從該VOA提供至該PD，該經衰減之光輸出信號具有一預定峰值光輸出信號位準，以控制從該PD至該TIA之一光電流輸出。

【0008】 另一態樣提供一種包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之一叢發模式光接收器的電光積體電路，該電光積體電路包含：

一可變光衰減器(VOA)、一光電二極體(PD)、一跨阻抗放大器(TIA)及一回饋/控制電路，

該VOA具有用於從複數個光網路單元(ONU)接收一時域多工(TDM)叢發模式光輸入信號之一光輸入，其中從該複數個ONU接收之該叢發模式光輸入信號位準之一峰值具有一第一動態範圍；

該回饋/控制電路包含：一偵測電路，其可操作以偵測各叢發之叢發模式光輸入信號位準之峰值；及一VOA驅動器，其可操作以回應於各叢發之峰值來調整該VOA之一偏壓電壓，以將該經衰減之輸出光信號從該VOA提供至該PD，該經衰減之輸出光信號具有在一第二動態範圍內之一峰值，其中該第二動態範圍小於該第一動態範圍，以控制從PD至TIA之一光電流。

【0009】 又一態樣提供一種用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)的叢發模式光接收器，該叢發模式光接收器包含：

一光電二極體(PD)、一可變光衰減器(VOA)、一跨阻抗放大器(TIA)及一回饋/控制電路；

該VOA具有用於接收一叢發模式光輸入信號之一光輸入及與該PD之一光孔徑對準之一光輸出，以將經衰減之光輸出信號從該VOA提供至該PD；

其中該回饋/控制電路可操作用於回應於該叢發模式光輸入信號之一峰值及一平均值中之至少一者來調整該VOA之一偏壓電壓，以將該經衰減之光輸出信號從該VOA提供至該PD，該經衰減之光輸出信號具有一預定峰值光輸出信號位準，以控制從該PD至該TIA之一光電流輸出。

【0010】 例如，該叢發模式光輸入信號具有一第一動態範圍，而從該VOA至該PD之該經衰減光輸出信號具有小於該第一動態範圍之一第二動態範圍。例如，該第二動態範圍可至少比第一動態範圍小一個量值級，或比該第一動態範圍小約100倍。在一些實施例中，該經衰減之光輸出信號位準可具有一實質上恆定之峰值。

【0011】 在光域中提供信號位準調整來控制例如限制或約束從該PD至該TIA之該光電流輸出，並且減輕對具有大動態範圍之一叢發模式TIA之需求。

【0012】 在包含一些實例實施例之叢發模式光接收器的電光積體電路中，藉由使用包含一峰值信號及/或一平均信號偵測電路之一電子電路系統（例如，在一調整時間期間）對各叢發取樣該TIA之一電輸出信號來獲得指示一輸入光信號位準之信號，該電路系統向該VOA之一驅動器提供一控制信號，以針對各叢發調整該VOA之衰減。替代地，藉由對各叢發取樣來自光電二極體之光電流、來自VOA之光電流、對VOA之輸入光信號位準或來自VOA之輸出光信號位準進行光學感測，獲得表示一輸入光信號位準之一信號。

【0013】 例如，該回饋/控制電路包含回饋/控制電路，該回饋/控制電路包含：一偵測電路，其用於偵測叢發模式光輸入信號之峰值及平均值中之至少一者；及一VOA驅動器電路，其用於向該VOA提供一控制電壓，該VOA驅動器電路向該VOA提供一控制電壓以根據該叢發模式光信號之該至少一個峰值及平均值來調整衰減。

【0014】 該VOA用於將光電流從該PD限制至一窄電流範圍，因此該TIA僅需要小之動態範圍。該解決方案繞過對具有一大動態範圍之叢發模式TIA之需要。例如，一小控制電路往回饋送該PD之輸出電流以控制該VOA上之偏壓，從而當不同光通道從不同ONU到達頭端OLT時調整光輸入信號位準。

【0015】 該PD可係一表面接收pin PD或APD。在一些實施例中，該VOA、該PD以及該回饋及控制電路系統及該TIA被單片積體。在一些實施例中，該VOA及PD係積體的，並且該PD之輸出連接至包含該TIA及該回饋/控制電路的一外部電路。

【0016】 該VOA係一電壓控制VOA。例如，該VOA可係一量子限制斯塔克效應(QCSE) VOA或夫蘭茲-凱迪希VOA。在一些實施例中，該電光電路具有一波導組態，其中相同半導體層用於該VOA及該pin-PD。

【0017】 在其他實施例中，獨立VOA及PD可用作包含TIA及回饋/控制電路系統之外部電路之輸入，以回應於叢發模式輸入光信號位準來調整VOA偏壓。

【0018】 在一些實施例中，叢發模式接收器具有一波導組態，其中VOA包含一電吸收調變器(EAM)，並且該PD包含一pin-PD及一突崩PD (APD)中之一者。在一些實施例中，該叢發模式接收器具有一波導組態，其中該VOA包含可操作為VOA操作之一第一EAM，並且該PD包含可操作為PD之一第二EAM。該第二EAM可設有包含背面金屬塗層之一鏡，以使透過該裝置之傳輸長度加倍，改進光洩漏損失，同時不引起返回至提供初始信號之雷射的不良反射。

【0019】 該第一EAM及該第二EAM之波導可包含一量子限制斯塔克效應(QCSE)波導。該第一EAM及該第二EAM之波導可橫向耦合。

【0020】 在該第一EAM之波導由第一複數個半導體層製造並且i第二EAM由第二複數個半導體層製造之實施例中，波導由橫向錐形垂直光耦合器垂直耦合。

【0021】 該叢發模式接收器可被製造為包含基於III-V之半導體材料之電光積體電路，例如使用基於InP之半導體材料系統，其包含In、Ga、As、P、Al及Sb之選擇之二元、三元及四元以及其他組成物。

【0022】 例如，可使用基於InP之半導體材料來提供包含VOA、pin PD、TIA及回饋/控制電路的單片積體電光電路。

【0023】 例如，若使用基於InP之半導體材料系統，則積體電光電路可形成在半絕緣(SI) InP基板上，並且磊晶層堆疊形成在該SI InP基板上，包含用於TIA及回饋/控制電路之InP異質接面雙極型電晶體(HBT)之第一複數個半導體層、間隔件層，以及用於VOA波導及pin-PD波導之第二複數個半導體層。在一些實施例中，VOA及PD之波導橫向光耦合。在一些實施例中，VOA及PD之波導藉由橫向錐形垂直光學耦合器垂直光學耦合。

【0024】 描述包含實例實施例之叢發模式光接收器的電光積體電路，其在光域中提供光輸入信號位準調整；該叢發模式接收器可包含具有一表面接收組態之一VOA及一光電二極體，或者具有一波導組態（即邊緣接收）之一VOA及光電二極體。藉由組合光子設備及電子設備，光子設備用於光域中之快速位準設定，而快速電子設備用於資料處理。例如，此組態提供減少穩定時間並保持且擴展動態範圍之潛力，例如對於諸如50G PON之應用。

【圖式簡單說明】

【0025】

圖1係繪示實例PON系統的簡化示意圖；

圖2（先前技術）係實例叢發模式接收器的示意圖；

圖3A係繪示在叢發模式接收器之光輸入處接收之來自各ONU之不同功率位準之叢發模式信號之時分多工(TDM)的示意圖；

圖3B係展示ONU光功率位準與叢發時間之間之關係的示意圖；

圖4係繪示在叢發模式接收器之光輸入處來自複數個ONU之不同功率位準及DC位準的示意圖；

圖5（先前技術）係包含光電二極體及TIA之叢發模式光接收器的示意性電路圖，並且TIA包含DC消除迴路；

圖6（先前技術）係包含兩步可變增益TIA之叢發模式光接收器的示意性電路圖；

圖7係概念性地繪示叢發模式接收器之實施例的示意圖，該叢發模式接收器包含用於使用可變光衰减器(VOA)在光域中調整光輸入信號位準之電光電路；

圖8係包含QCSE VOA、pin-PD、TIA及回饋/控制電路系統之第一實施例之單片積體叢發模式光接收器的示意圖；

圖9係第二實施例之積體QCSE VOA及pin-PD的示意圖；

圖10係第三實施例之積體QCSE VOA及APD的示意圖；

圖11係第四實施例之單片積體叢發模式光接收器的示意性截面圖，其包含波導組態QCSE VOA及pin-PD，以及TIA及用於控制QCSE VOA之驅動電壓的回饋/控制電路系統；

圖12繪示對於不同電場偏壓(V_b)之實例QCSE VOA之吸收(dB/cm)相對於波長(λ)之數值模擬的曲線圖；

圖13係包含VOA、光電二極體及回饋/控制電路之實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意性方塊圖，並且回饋/控制電路系統包含TIA、峰值偵測器及電壓控制電子設備；

圖14係繪示來自具有第一動態範圍之複數個ONU之叢發模式光輸入信號之衰減的示意圖，以提供具有第二動態範圍之衰減之光信號，例如實質上恆定之峰值信號位準；

圖15係一實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意性方塊圖，實施例包含用作VOA之第一EAM，用作光電二極體之第二EAM以及包含TIA、平均值/峰值偵測器及電壓控制電子設備之電子回饋/控制電路系統；

圖16係包含電光電路及電子回饋/控制電路之另一實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意圖，該電光電路包含可操作為VOA之第一EAM、可操作為光電二極體之第二EAM，該電子回饋/控制電路系統包含TIA、平均值/峰值偵測器及包含電壓控制電子設備之EAM驅動器；

圖17係又一實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意圖，其包含用作VOA之EAM、波導APD，以及包含TIA之電子回饋/控制電路系統、平均值/峰值偵測器，以及包含用於EAM之電壓控制電子設備之EAM驅動器；

圖18係圖17所示之波導組態叢發模式光接收器之示意性截面圖，用於繪示使用錐形垂直光耦合器之EAM及APD的垂直光耦合；

圖19係繪示實例實施例之叢發模式光接收器之光及電信號位準的示意圖，該叢發模式光接收器向光電二極體提供恆定峰值光信號；

圖20係繪示實例實施例之叢發模式光接收器之光及電信號位準的示意圖，該叢發模式光接收器將峰值光信號提供至具有窄動態範圍之光電二極體中；以及

圖21係實施例之叢發模式光接收器的示意性方塊圖，該叢發模式光接收器包含控制VOA、光電二極體及電子回饋/控制電路系統，該電子回饋/控制電路包含TIA、平均值/峰值偵測器及驅動電壓控制電子設備，以繪示用於感測指示輸入光信號位準之信號以提供用於控制VOA之驅動電壓之選項。

【實施方式】

【0026】 為利 貴審查委員了解本發明之技術特徵、內容與優點及其所能達到之功效，茲將本發明配合附圖及附件，並以實施例之表達形式詳細說明如下，而其中所使用之圖式，其主旨僅為示意及輔助說明書之用，未必為本發明實施後之真實比例與精準配置，故不應就所附之圖式的比例與配置關係解讀、侷限本發明於實際實施上的申請範圍，合先敘明。

【0027】 在本發明的描述中，需要理解的是，術語「中心」、「橫向」、「上」、「下」、「左」、「右」、「頂」、「底」、「內」、「外」等指示的方位或位置關係為基於圖式所示的方位或位置關係，僅是為了便於描述本發明和簡化描述，而不是指示或暗示所指的裝置或元件必須具有特定的方位、以特定的方位構造和操作，因此不能理解為對本發明的限制。

【0028】 圖1展示繪示PON系統之組件的簡化示意圖。如示意性繪示，來自各ONU (ONU1, ONU2, ..., ONU_n)之上游資料作為叢發信號到達中心局中的OLT，該叢發信號可在光信號位準上顯著變化，並且需要具有大動態範圍之叢發模式接收器。圖2（先前技術）繪示包含具有可變增益及叢發模式位準調整（B-LA）電子設備之APD及叢發模式TIA（B-TIA）之叢發模式接收器的示意圖之實例，以調整電域中之信號位準，並向叢發模式時脈及資料恢復(CDR)電路提供輸出信號。

【0029】 圖3A係繪示在叢發模式光接收器之輸入處來自各ONU (ONU1, ONU2, ..., ONU₃₂)之不同光功率位準之叢發模式信號之時分多工(TDM)的示意圖。ONU光信號可具有例如20 dB之動態範圍，此係來自各ONU之信號位準之間之100倍差異。以足夠快之速度電子調整TIA之增益以滿足25G PON之要求係具挑戰性的。隨著速度變得更高，此變得更具挑戰性。圖3B係根據ITU-T G.9807.1

(06/2016)之圖B.9.1修改的圖：10十億位元能力之對稱被動光網路(XGS-PON)，其展示ONU功率位準與叢發時間之間的關係。例如，對於25G PON，可被稱為Tx啟用持續時間或穩定時間之調整時間可係約50 ns。使用電子設備在該調整時間內提供信號位準調整係具挑戰性的。對於50G PON及最終100G PON之時間約束對於解決動態範圍之挑戰甚至更具挑戰性。

【0030】 圖4係繪示在TIA之輸入處來自各ONU之不同峰值功率位準及不同DC或平均位準的示意圖。圖5（先前技術）展示包含光電二極體及TIA之叢發模式光接收器的示意性電路圖，該光電二極體可係PIN PD或APC。上游光信號係TDMA。各ONU在分配之通道上傳輸。因為各ONU處於不同距離及分流比，所以來自個別ONU之各資料訊框將具有不同的峰值光功率位準，從而在TIA之輸入處產生不同的功率位準。叢發模式TIA經設計以具有大之動態範圍以在輸入位準之整個範圍上實時操作。然而，光信號具有不攜帶資訊之大的DC分量，通常係峰值-峰值AC分量之50%。在已施加所有增益之後，DC分量可容易地壓倒TIA之增益級。如圖5所示，叢發模式TIA具有低速DC消除電路。負回饋迴路應用於電路以「消除(cancel)」或穩定電路在DC處具有之增益量。為了將該增益降低限制為僅DC，並且不引起與期望之AC信號之互調，將回饋迴路之頻寬設定為極低，例如典型地為100 kHz。在上游叢發模式應用中，此低速DC負回饋迴路將開始從一個叢發至另一個叢發轉換，潛在地失去對DC增益之控制並導致位元錯誤。

【0031】 圖6（先前技術）展示包含可變增益TIA之實例叢發模式光接收器的示意性電路圖。輸出處之位準偵測電路向可變增益TIA提供回饋控制信號，其由可變回饋電阻器實現。粗調AGC藉由從TIA之輸入吸收光電流來實現，微調AGC藉由調整TIA之回饋電阻來實現。

【0032】 圖7係在概念上繪示叢發模式接收器之實施例的示意圖，該叢發模式接收器包含使用光電二極體(PD)之光孔徑前面的可變光衰減器(VOA)來調

整光域中之光輸入信號的電光電路。PD可係pin PD、APD或波導PD。VOA可係量子限制斯塔克效應(Quantum Confined Stark Effect, QCSE) VOA、夫蘭茲-凱迪希(Franz-Keldysh) OA或由其他電壓控制之光子機制控制的VOA。PD之光孔徑前面之VOA用於衰減光輸入信號並將來自PD之光電流限制至窄的電流範圍，因此TIA僅需要小之動態範圍。該解決方案繞過對具有大動態範圍之叢發模式TIA的需要。小控制電路將PD之輸出電流回饋至VOA驅動器，以控制VOA上之偏壓(控制電壓)，對於不同電場，調整至PD之衰減的光輸入信號位準。例如，在各叢發串開始時之調整時間期間，回饋/控制電路對來自PD之光電流進行取樣，並且調整VOA偏壓以將至PD之光輸入信號的衰減提供至預定位準，例如在窄動態範圍內，或者實質上恆定之值。例如，若來自複數個ONU的叢發模式光輸入位準具有第一動態範圍，則針對各叢發調整VOA之衰減，以向PD提供具有第二較窄動態範圍的衰減光輸入位準，或者向PD提供具有恆定值之衰減光輸入位準。

【0033】 圖8係第一實施例之單片積體叢發模式光接收器的示意圖，該單片積體叢發模式光接收器包含在半導體基板上製造之量子限制斯塔克效應(QCSE) VOA、pin PD及TIA以及回饋/控制電路系統。例如，可使用III-V半導體技術將叢發模式接收器製造為電光積體電路。例如，在2022年6月16日提交之標題為「Optical Receiver comprising monolithically integrated photodiode and transimpedance amplifier」之美國專利申請案第US17/785,989號中描述使用基於InP之材料系統的積體pin-TIA。該實施例之單片積體叢發模式光接收器可藉由添加半導體層以在pin PD之頂部上提供QCSE VOA，並且在包含形成TIA之NP異質接面雙極型電晶體(HBT)的半導體層中添加回饋/控制電路系統來製造。替代地，在第二實施例中，叢發模式接收器包含獨立的QCSE VOA及pin PD模組，其向外部TIA及控制電路提供輸入，如圖9中示意性繪示。在第三實施例中，叢發模式接

收器包含獨立之QCSE VOA及向外部TIA及控制電路提供輸入之APD模組，如圖10中示意性繪示。

【0034】 圖11繪示第四實施例之單片積體叢發模式光接收器的示意性截面圖，其包含波導組態QCSE VOA、PD及TIA以及回饋/控制電路系統。在此實施例中，叢發模式光接收器具有波導組態，其中相同之QCSE半導體層用於VOA及pin-PD。若由基於InP之半導體材料製造，則該結構包含形成在基板（例如，半絕緣(SI) InP）上之光電積體電路，以及磊晶層堆疊，該磊晶層堆疊包含用於製造TIA及回饋/控制電路系統之InP異質接面雙極型電晶體(HBT)之第一複數個半導體層、間隔件層，以及用於VOA及pin-PD波導之第二複數個半導體層。在VOA及PD之波導用相同之半導體層製造之實施例中，VOA及PD透過波導層直接光耦合。在VOA之波導包含垂直堆疊之一個複數個半導體層並且PD包含另一個複數個半導體層之實施例中，VOA及PD使用橫向錐形垂直光學錐形垂直耦合。在其他實施例中，當VOA及PD與不同半導體層並排製造時，VOA及PD可對接耦合。

【0035】 圖12展示對於不同電場偏壓(V_b)，用基於InP之材料製造之實例QCSE VOA的吸收(dB/cm)相對於波長(λ)之數值模擬的曲線圖。此等模擬表明，QCSE VOA之偏壓在有用波長範圍內提供足夠的吸收範圍，例如對於XG(S) PON之20 nm波長範圍。若單獨提供1286 nm之第三（可選）波長，則可涵蓋25G PON之較不嚴格要求。初步分析表明VOA之穩定時間足夠快以滿足所需之規格。

【0036】 對於垂直入射，可調整吸收長度相對於QCSE吸收/動態範圍，從而對非零摻雜進行折衷，此產生E場斜率及額外電壓範圍。不應必須超過現今APD+叢發模式TIA解決方案已提供的電壓範圍。

【0037】 作為參考，圖3B展示展示ONU功率位準及叢發時間之間之關係的示意圖。存在用於從一個TIA輸入位準改變為另一個TIA輸入位準之「Tx啟用

(Tx enable)」穩定時間。對於10G PON，此係0.128 μs （1280位元）。此比實際位元慢得多，允許比信號本身慢>1000倍之控制電路系統。

【0038】 總之，模擬表明以下微分器及VOA特性：

- 1)大於20 nm波長範圍，具有大於3 dB/ μm 之吸收及良好範圍之偏壓電壓Vb；
- 2)在低背景摻雜之情況下，預期可實現在2 μm 至3 μm 之厚度上的適當位準之電場恆定性，允許在一次通過中之-7.5 dB動態範圍；
- 3)若需要具有較高動態範圍之VOA，或者為了產生優良之產品，可使用諧振腔技術來在僅具有適度Q之情況下提高VOA範圍。
- 4)亦可使用諧振腔技術來提高pin-PD回應度。

【0039】 圖13係包含VOA、光電二極體及回饋/控制電路系統之實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意方塊圖，該回饋/控制電路系統包含TIA、峰值電壓偵測器及電壓控制電子設備，以提供控制信號給VOA來衰減經接收之光信號，從而提供恆定的峰值光輸入給光電二極體。在穩定時段期間，例如在ONU叢發開始時之Tx啟用持續時間期間，來自TIA之電信號輸出由峰值電壓偵測器取樣，並且用於VOA之控制電壓經調整以將至光電二極體的輸入光信號衰減至預定位準，使得對於各ONU叢發，實質上恆定之峰值光輸入由光電二極體接收，如圖14中示意性繪示。圖14展示包含來自具有大動態範圍之 ONU1, ONU2, ..., ONU32之ONU叢發模式光信號輸入及對應衰減叢發模式光信號的實例訊框，其中來自各ONU之叢發被衰減至恆定峰值光位準以輸入至PD中。因此，從PD至TIA的光電流輸出被限制為恆定峰值，或者至少被限制為小的動態範圍。例如，VOA之穩定頻率>10 GHz，而控制電子設備之穩定頻率>1 GHz。藉由將光子設備與電子設備結合，使用光子設備用於光域中之位準設定並且使用電子設備用於資料，使得能夠極快速地切換，例如在約50 ns內，以完全調整至具有約20 dB之動態範

圍之ONU信號。此配置允許ONU信號之DC位準比單獨使用電子設備更快地切換。

【0040】 TIA之輸出允許至時脈提取及資料恢復(clock extraction and data recovery, CDR)電路的恆定峰值輸入信號。在光域中使用用於位準設定之快速電光解決方案可保持及擴展從ONU輸入之叢發模式信號的動態範圍，例如，對於10G為21.5 dB，對於25G為19.5 dB。另一益處係減少穩定時間。例如，最壞情況之情形將係128 ns，此在一代與一代之間係常見的，但是位元數目增加。該方法允許滿足XGS PON (10G)中之256位元目標，並且將允許該目標被擴展並保持25 GB、50 GB及100 GB。

【0041】 圖15係一個實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意圖，該接收器包含可操作為VOA之第一EAM波導(EAM1)、可操作為快速pin光電二極體之第二EAM波導(EAM2)、包含TIA之電子電路系統及包含峰值/平均信號偵測電路系統之回饋/控制電路系統，以及提供驅動VOA之控制電壓的電壓控制電子設備。第一EAM藉由時分多工從各ONU接收光，並且來自不同ONU之輸入光位準可具有約20 dB之動態範圍或從最高輸入光位準至最低輸入光位準之大約100:1的比率。在ONU叢發開始時之穩定時間期間，TIA之輸出由峰值/平均電壓偵測電路取樣，峰值/平均電壓偵測電路向EAM1驅動器電路系統提供對應之控制信號，以將接收至之光輸入位準衰減至預定之恆定峰值位準，或者至少衰減至窄範圍之峰值光輸入信號位準。由於位準控制係在光域而非電子域中進行，所以來自PD之光電流被限制至較窄之動態範圍，並且TIA在較窄之動態範圍中處理電信號。例如，直接設計動態範圍在37 GHz (50 GB)及74 GHz (112 GB)之間之TIA。此方法減輕TIA內電子位準調整的問題。對於224 GB及未來數代，藉由比現今商業上可獲得之電晶體更快之電晶體來實現，在電子設備中，對叢發模式接收器之位準調整變得越來越困難，並且在光域中提供位準調整將是一個優點。

【0042】 圖16係另一實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意圖，其包含用作控制VOA之第一EAM(EAM1)、用作光電二極體之第二EAM(EAM2)，以及包含TIA、平均值/峰值偵測器之回饋/控制電路系統，以及包含電壓控制電子設備之EAM驅動器。第一EAM及第二EAM以及電子控制電路可單片積體在半絕緣基板上，如圖11示意性所示。第一複數個半導體層經組態以為TIA以及回饋及控制電路提供電子設備，並且第二複數個半導體層被組態為為第一EAM及第二EAM提供光波導。例如，波導組態叢發模式光接收器可用基於InP之半導體材料製造，例如在2022年6月16日提交之標題為「Optical Receiver comprising monolithically integrated photodiode and transimpedance amplifier」之美國專利申請案第US17/785,989號中所描述。例如，若由基於InP之半導體材料製造，則該結構包含在基板（例如SI InP）上形成之電光積體電路，以及磊晶層堆疊，該磊晶層堆疊包含用於TIA及回饋/控制電路系統之InP HBT之第一複數個半導體層、間隔件層，以及用於可操作為VOA及PD之第一EAM及第二EAM之波導的第二複數個半導體層。

【0043】 圖17展示第三實施例之波導組態叢發模式光接收器的示意圖，其包含用作VOA之EAM、波導突崩光電二極體(APD)，以及包含TIA及回饋/控制電路系統之電子設備。回饋/控制電路系統包含平均值/峰值偵測器及EAM驅動器，該EAM驅動器包含用於第一EAM之電壓控制電子設備，該第一EAM可操作為VOA。在該實施例中，VOA之波導由第一複數個半導體層製成，並且APD之波導由第二複數個半導體層製成。VOA波導及APD波導藉由橫向錐形垂直光耦合器（1、2及3）垂直耦合。例如，圖18展示包含在基板上形成之複數個半導體層之實施例之單片積體波導組態叢發模式接收器的示意性截面圖。為包含TIA、平均值/峰值偵測器及EAM驅動器之電子設備的HBT提供第一多個層、HBT層。第二複數個半導體層提供經組態以可操作為VOA之EAM的EAM波導層，並且上面

之複數個半導體層提供波導APD。EAM及APD藉由橫向錐形垂直光耦合器1、2及3之配置而垂直光耦合。在其他實施例中，其中APD波導層設定在EAM波導層之下，垂直光耦合器之錐形之定向係相反的。

【0044】 在其他實施例之波導叢發模式接收器中，VOA波導及PD波導可如圖11中示意性繪示般橫向耦合。

【0045】 圖19展示說明包含PD之實例實施例之波導組態叢發模式光接收器之光及電信號位準的示意圖。調變器上之偏壓遵循輸入光信號之上包絡。控制迴路將光信號鉗位在預定位準，例如盡可能最小，或者與最弱之上游位準相同。因此，從各ONU進入PD之峰值光信號係恆定的，並且在PD之後進入TIA的峰值光電流保持恆定，或者至少被限制在窄的動態範圍內。例如，如圖20中示意性繪示，藉由控制至VOA之驅動電壓來衰減具有第一大動態範圍之叢發模式光輸入信號，以將具有第二小得多之動態範圍的光信號提供至PD中，例如輸入第一動態範圍之3dB或約10%。從PD進入TIA之光電流因此具有較窄之動態範圍，並且TIA在較小的動態範圍上操作。

【0046】 在本文描述之實例實施例之叢發模式接收器的操作中，藉由在調整時間期間對TIA電子設備之輸出電壓進行取樣，並且使用用於峰值及平均信號偵測之電路系統來向VOA驅動器提供控制電壓以將至光電二極體之光信號位準衰減至預定值來控制VOA驅動電壓。在一些實施例中，指示光輸入信號位準之信號由其他選項獲得。例如，如圖21中示意性地繪示，指示叢發模式光輸入信號之峰值之信號可藉由下列中之一者獲得：A. 取樣TIA之輸出電壓；B. 例如使用電流鏡或其他電流感測電子設備感測光電二極體之輸出電流；C. 監測控制VOA之光電流；D. 控制VOC之輸入處之輸入光信號的光學監測；以及E. 在控制VOA之光輸出處之光監測。在叢發模式光輸入信號之峰值之信號在調整時間期間被監測，或者在各叢發期間週期性地被饋送至峰值偵測電路，並且經處理以生成至

VOA驅動器電路之控制信號，以向VOA輸出控制電壓，從而控制叢發模式輸入光信號之衰減。

【0047】 使用第一EAM作為VOA及第二EAM作為PD之實施例的叢發模式光接收器會在第一EAM及第二EAM中引起一些損耗。另一方面，實際上，靈敏度可能並非問題；例如，可能存在3dB靈敏度之折衷，以實現對來自具有顯著較高動態範圍之ONU之輸入光信號的快速處理。在需要較高靈敏度之情況下，可使用包含組態為VOA及APD之VOA的實施例，例如如圖17及圖18中示意性繪示。

【0048】 在PD係EAM之實施例中，例如如圖15及圖16中示意性繪示，可提供包含背面金屬塗層之鏡，以使透過裝置之傳輸加倍，改進光洩漏損失，同時不引起返回至提供初始信號之雷射的不良反射。

【0049】 對於VOA係第一EAM而PD係第二EAM之實施例的叢發模式光接收器，各EAM均係QCSEAM，具有用與VOA及PD相同之QSCE半導體層製造之波導，此等可藉由波導直接光耦合。對於其中pin PD或APD以波導形式提供、利用包含第一複數個半導體層之層堆疊製造並且EAM經組態以利用第二複數個半導體層製造之VOA之實施例的叢發模式光接收器，橫向錐形垂直光耦合器用於將VOA之光輸出垂直耦合至PD或APD。

【0050】 在其他實施例中，VOA可選地係馬赫-詹德調變器(Mach-Zehnder Modulator, MZM)。

【0051】 包含實例實施例之叢發模式光接收器的電光積體電路可包含快速電光組件，其用於使用包含峰值電壓偵測器或平均電壓偵測器之取樣電路在光域中進行位準設定，用於在穩定時間期間（例如，在Tx啟用時段期間）對TIA之輸出信號進行取樣，或者週期性地取樣以跟隨輸入光信號位準之上包絡。

【0052】 儘管已詳細地描述且繪示實例實施例，但是應清楚地理解，此僅係藉由說明及實例之方式，而非藉由限制之方式，本發明之範疇僅由隨附申請專利範圍界定。

【符號說明】

無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，該積體電光電路包含：

一光電二極體(PD)、一可變光衰減器(VOA)、一跨阻抗放大器(TIA)及一回饋/控制電路；

該VOA具有用於接收一叢發模式光輸入信號之一光輸入及與該PD之一光孔徑對準之一光輸出，以將一經衰減之光輸出信號從該VOA提供至該PD；

其中該回饋/控制電路可操作用於回應於該叢發模式光輸入信號之一峰值及一平均值中之至少一者來調整該VOA的一偏壓電壓，以將一經衰減之光輸出信號從該VOA提供至該PD，該經衰減之光輸出信號具有一預定峰值光輸出信號位準，以控制從該PD至該TIA的光輸出電流。

【請求項2】 如請求項1所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該叢發模式光輸入信號位準具有一第一動態範圍，並且從該VOA至該PD之該衰減光輸出信號位準具有小於該第一動態範圍之一第二動態範圍。

【請求項3】 如請求項1所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該第二動態範圍至少比該第一動態範圍小一個量值級。

【請求項4】 如請求項1所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該第二動態範圍比該第一動態範圍小約100倍。

【請求項5】 如請求項1至4中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該經衰減之輸出信號位準具有一恆定峰值。

【請求項6】 如請求項1至4中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該PD係下列中之一者：一pin PD及一突崩光電二極體(APD)。

【請求項7】 如請求項1至4中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該PD係一接收PD之表面，並且該VOA係與該PD積體。

【請求項8】 如請求項7項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該VOA係與該PD積體之一量子限制斯塔克效應(QCSE) VOA。

【請求項9】 如請求項1至4中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該VOA係下列中之一者：一量子限制斯塔克效應(QCSE)VOA、一夫蘭茲-凱迪希VOA及可以另一電壓控制之光子機制操作之VOA。

【請求項10】 如請求項1至4及8中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該PD、該VOA、該TIA及該回饋/控制電路被單片積體。

【請求項11】 如請求項1至4中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其具有波導組態，其中該VOA包含可操作為該VOA之一第一電吸收調變器(EAM)，並且該PD包含下列中之一者：一pin-PD及一突崩PD (APD)。

【請求項12】 如請求項1至4中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其具有波導組態，其中該VOA包含可操作為該VOA之一第一電吸收調變器(EAM)，並且該PD包含可操作為該PD之一第二EAM。

【請求項13】 如請求項12所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該第二EAM設有包含背面金屬塗層之一鏡。

【請求項14】 如請求項12所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該第一EAM及該第二EAM中之各者之波導橫向耦合。

【請求項15】 如請求項12所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該第一EAM及該第二EAM中之各者之波導包含一量子限制斯塔克效應波導。

【請求項16】 如請求項12所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該第一EAM之波導包含一第一複數個半導體層，並且該第二EAM之波導包含第二複數個半導體層，並且該第一EAM及該第二EAM之波導藉由橫向錐形垂直光耦合器垂直耦合。

【請求項17】 如請求項1至4、8及13至16中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中該回饋/控制電路包含：一偵測電路，其用於偵測該叢發模式光輸入信號之該峰值及該平均值中之至少一者；以及一VOA驅動器電路，其用於向該VOA提供一控制電壓，該VOA驅動器電路向該VOA提供一控制電壓，以根據該叢發模式光信號之該峰值及該平均值中之該至少一者來調整衰減。

【請求項18】 如請求項17所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中在一調整時間期間，該偵測電路可操作以針對包含該TIA之一電輸出信號之各叢發對指示一叢發模式輸入光信號位準之一信號進行取樣。

【請求項19】 如請求項17所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其中在一調整時間期間，該偵測電路可操作以針對各叢發對指示一叢發模式輸入光信號位準之一信號進行取樣，該信號包含下列中之一者：該PD之一光電流；該VOA之一光電流；該TIA之一電壓輸出；該VOA輸入處之一光信號位準；以及該VOA輸出處之一光信號位準。

【請求項20】 如請求項1至4、8、13至16、18及19中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其被製造為包含基於III-V之半導體材料的一單片積體電光電路。

【請求項21】 如請求項1至4、8、13至16、18及19中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，被製造為包含基於InP之半導體材料系統的一單片積體電光電路，該半導體材料系統包含In、Ga、As、P、Al及Sb之選定二元、三元及四元以及其他組成物。

【請求項22】 如請求項1至4、8、13至16、18及19中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之叢發模式光接收器的積體電光電路，其被製造為包含基於InP之半導體材料系統之一單片積體電光電路，該半導體材料系統包含In、Ga、As、P、Al及Sb之選定二元、三元及四元以及其他組成物，並且包含一半絕緣(SI) InP基板，形成在該SI InP基板上之一磊晶層堆疊，該磊晶層堆疊包含提供TIA之InP異質接面雙極型電晶體(HBT)及該回饋/控制電路

的一第一複數個半導體層、一間隔件層，以及形成該VOA之一波導及該PD之一波導的一第二複數個半導體層。

【請求項23】 一種包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之一叢發模式光接收器的電光積體電路，該電光積體電路包含：

一可變光衰減器(VOA)、一光電二極體(PD)、一跨阻抗放大器(TIA)及一回饋/控制電路，

該VOA具有用於從複數個光網路單元(ONU)接收一時域多工(TDM)叢發模式光輸入信號之一光輸入，其中從該複數個ONU接收之該叢發模式光輸入信號位準之一峰值具有一第一動態範圍；

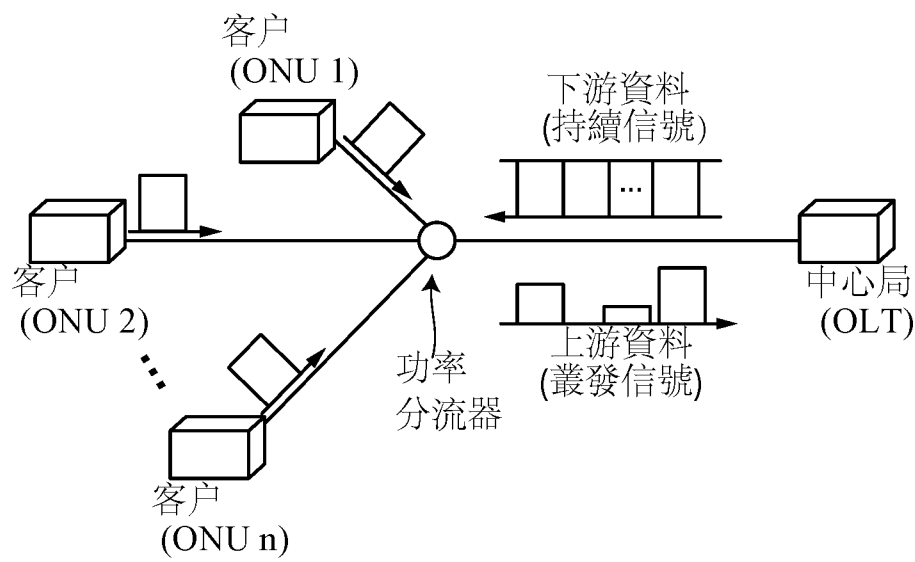
該回饋/控制電路包含：一偵測電路其可操作以偵測各叢發之叢發模式光輸入信號位準之峰值；及一VOA驅動器，其可操作以回應於各叢發之該峰值來調整該VOA之一偏壓電壓，以將經衰減之輸出光信號從該VOA提供至該PD，該經衰減之輸出光信號具有在一第二動態範圍內之一峰值，其中該第二動態範圍小於該第一動態範圍，以限制從該PD至該TIA之光電流之一峰值。

【請求項24】 如請求項23所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之一叢發模式光接收器的電光積體電路，其中該第二動態範圍至少比該第一動態範圍小一個量值級。

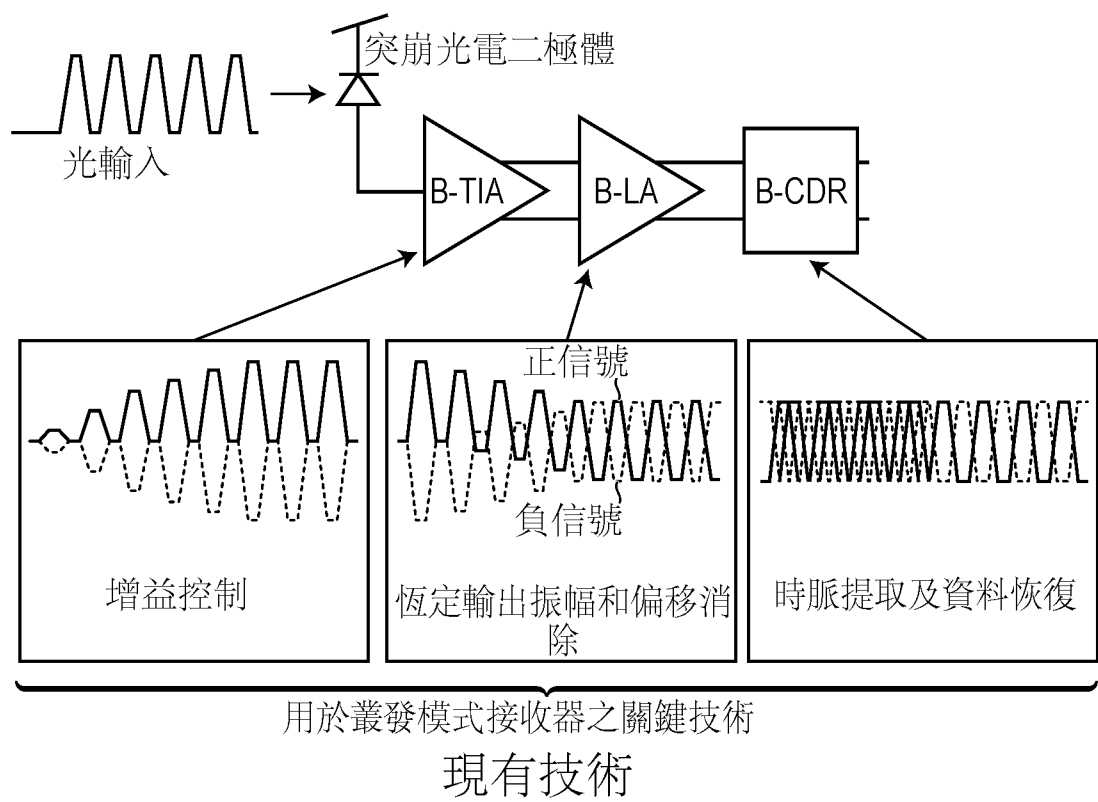
【請求項25】 如請求項23所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之一叢發模式光接收器的電光積體電路，其中在一調整時間期間，該偵測電路可操作以針對各叢發對指示一叢發模式輸入光信號位準之一信號進行取樣，該信號包含下列中之一者：該PD之一光電流；該VOA之一光電流；該TIA之一電壓輸出；該VOA輸入處之一光信號位準；以及該VOA輸出處之一光信號位準。

【請求項26】 如請求項23至25中任一項所述之包含用於一被動光網路(PON)之一光線路終端(OLT)之一叢發模式光接收器的電光積體電路，其被製造為包含基於InP之半導體材料系統之單片積體電光電路，該半導體材料系統包含In、Ga、As、P、Al及Sb之選定二元、三元及四元以及其他組成物。

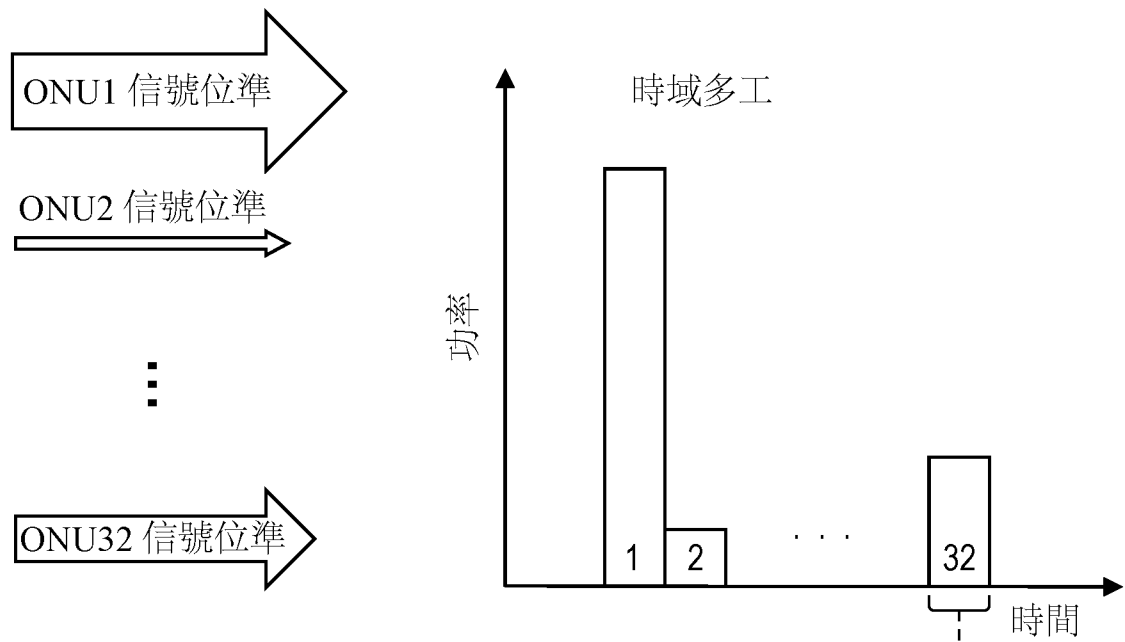
【發明圖式】



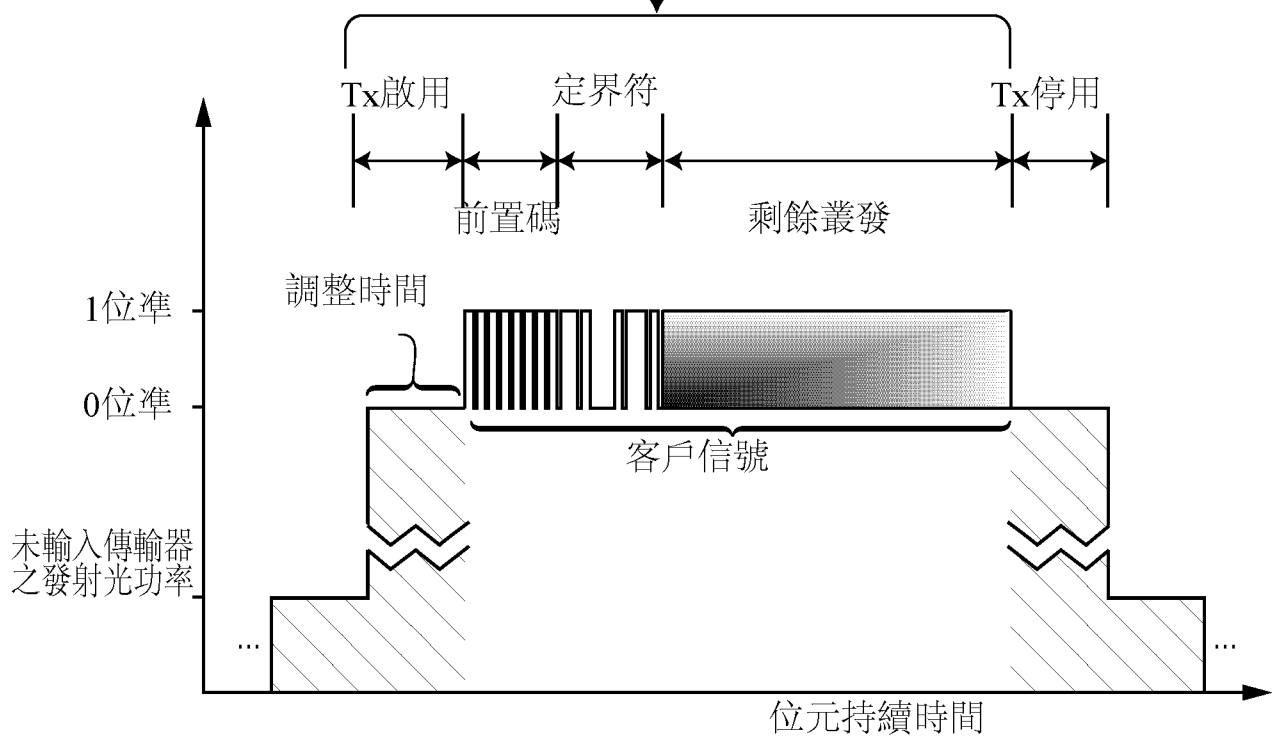
【圖1】



【圖2】

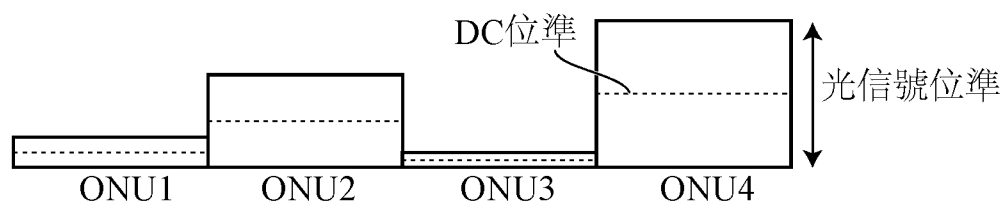


【圖3A】

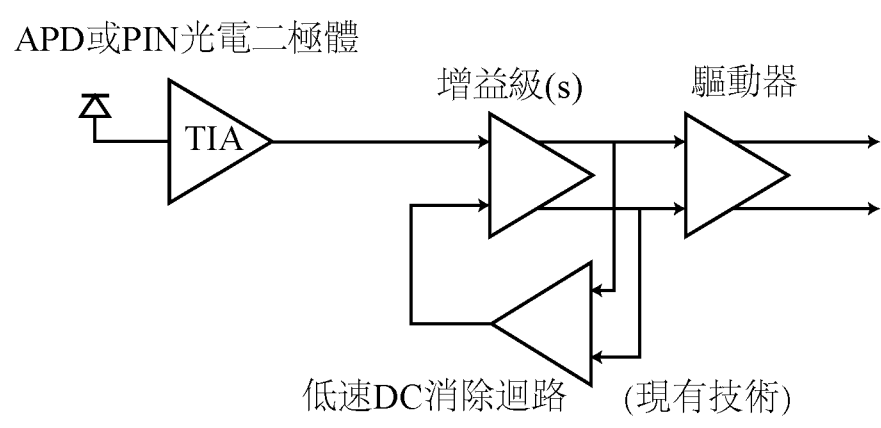


ONU功率位準與叢發時間之間之關係

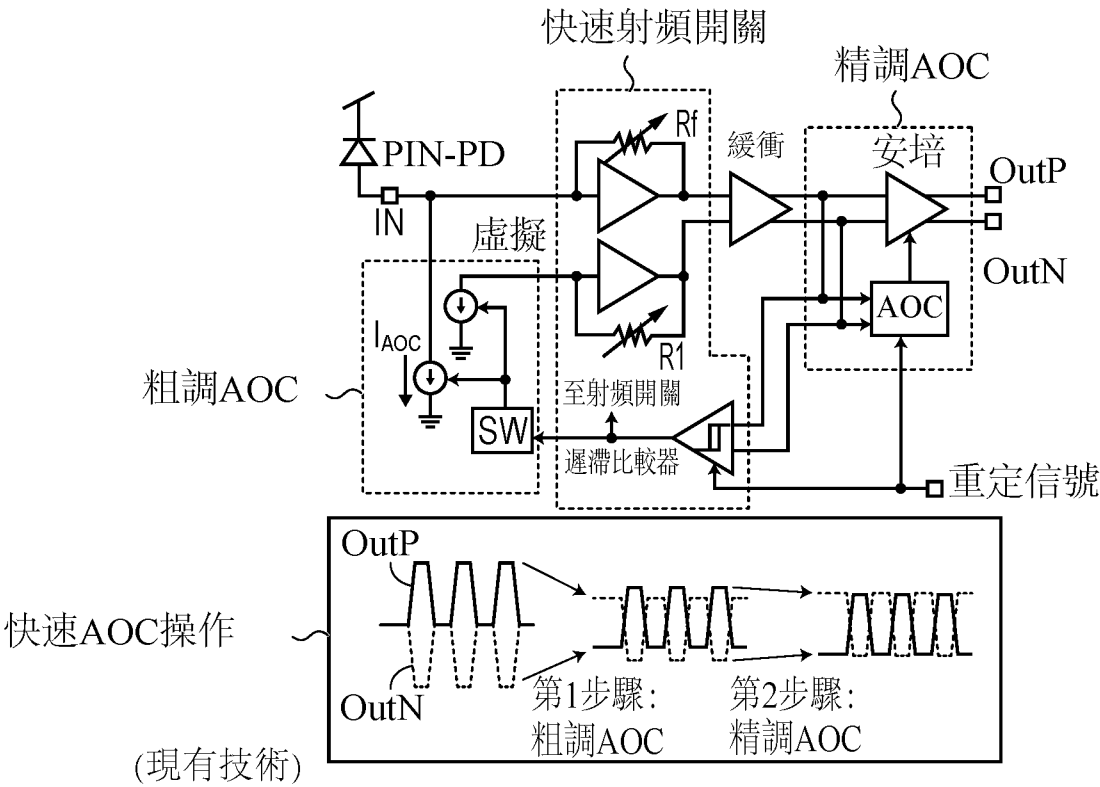
【圖3B】



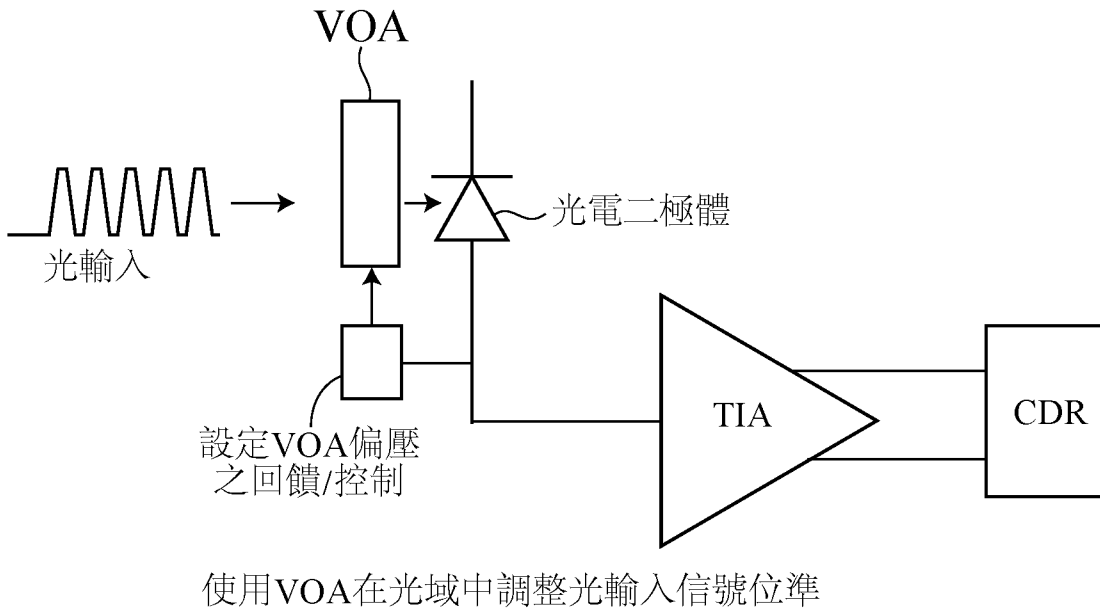
【圖4】



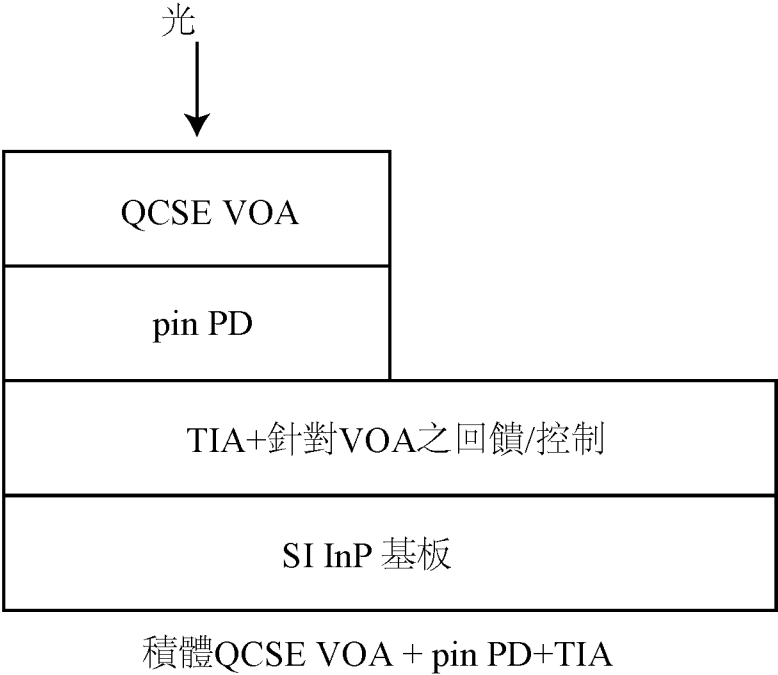
【圖5】



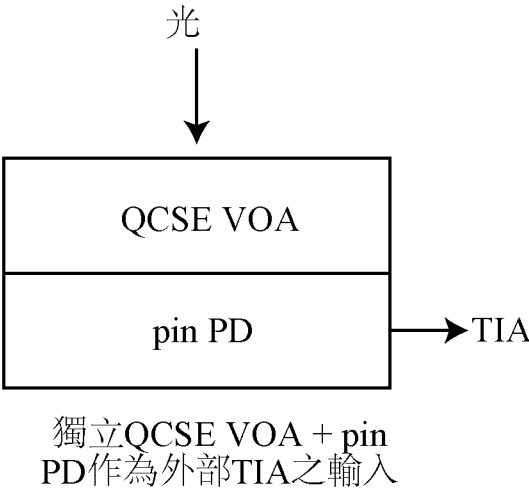
【圖6】



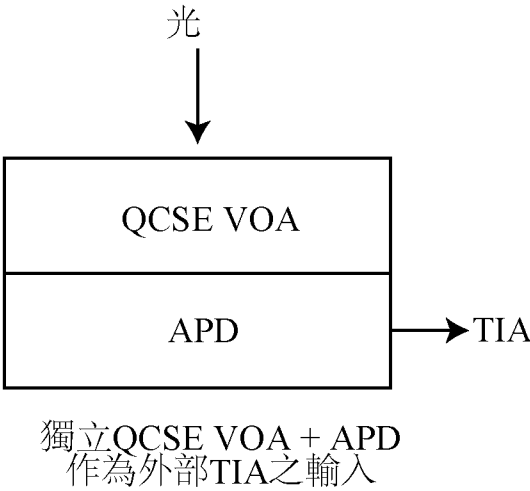
【圖7】



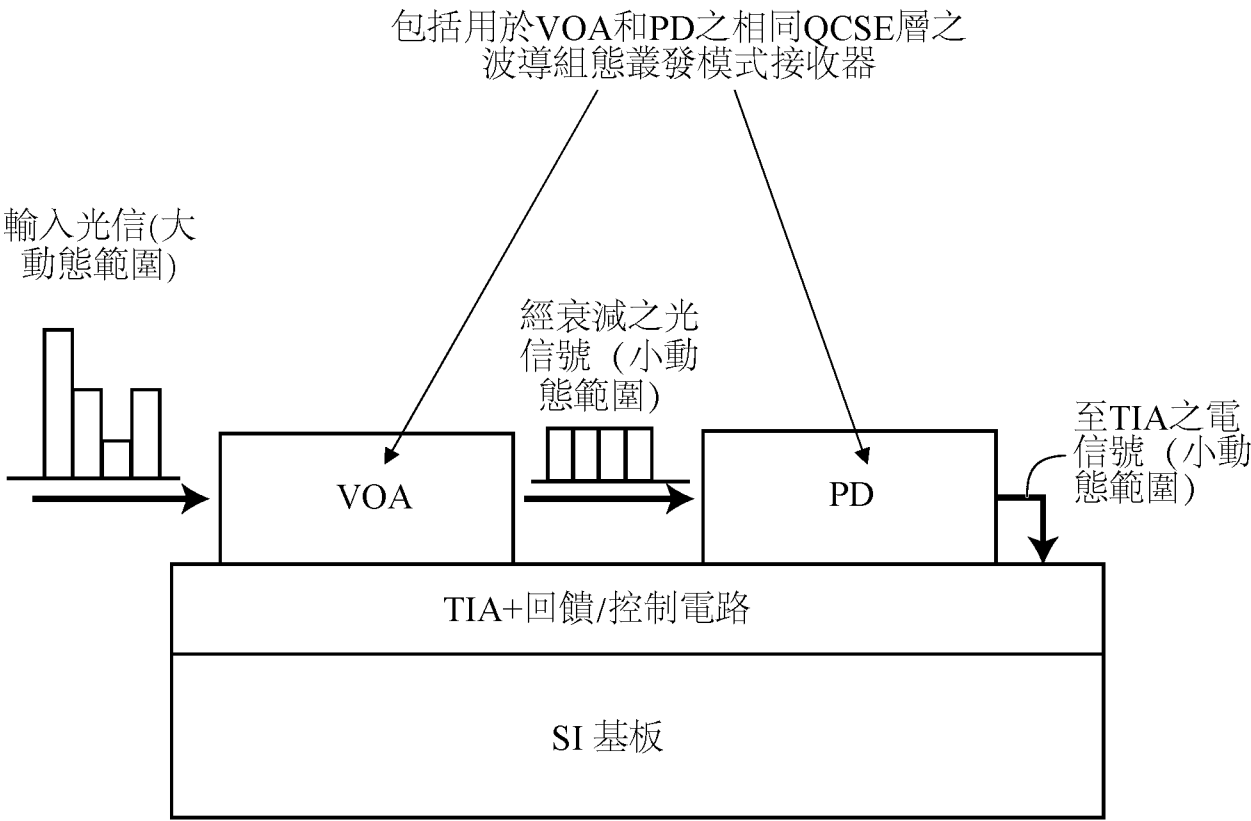
【圖8】



【圖9】

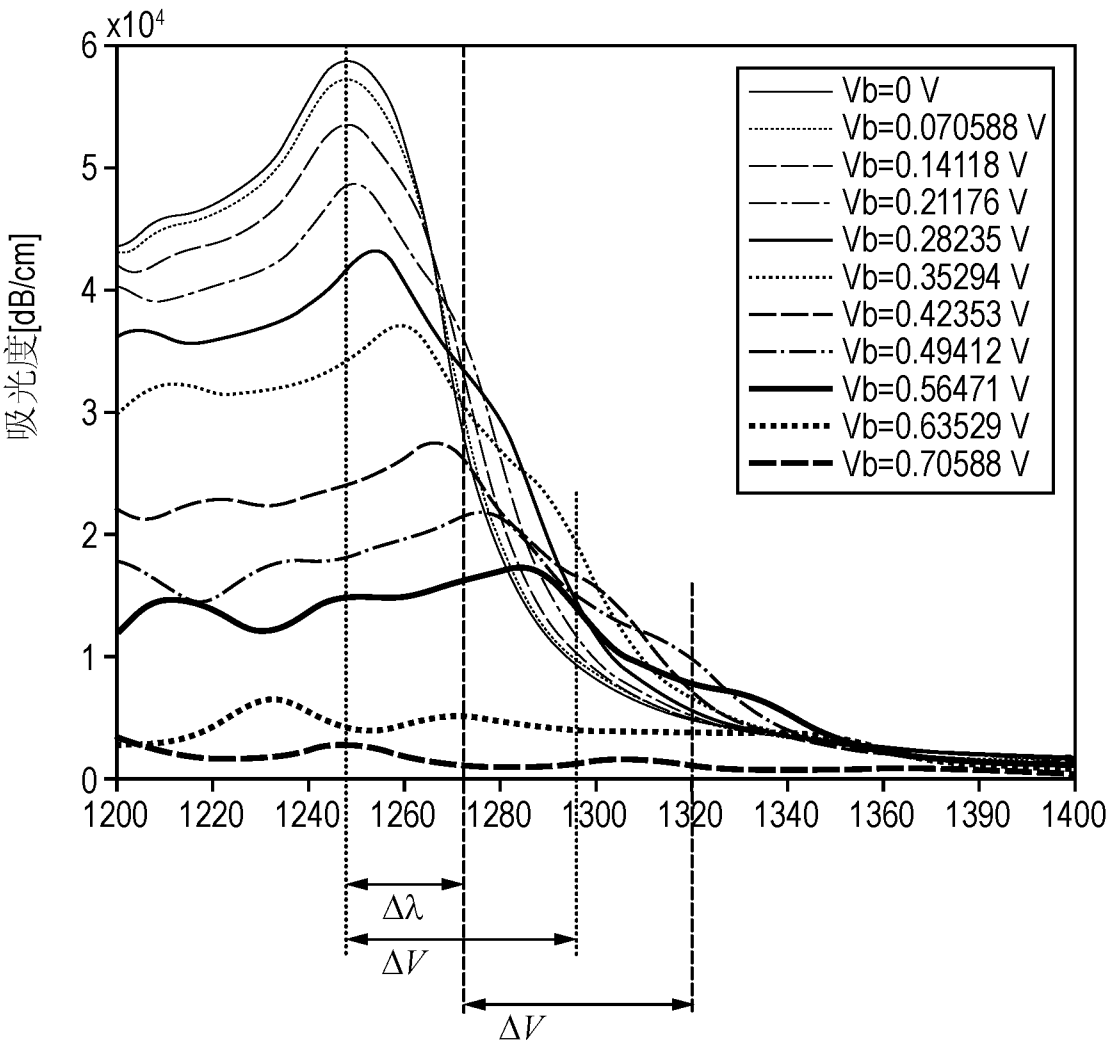


【圖10】

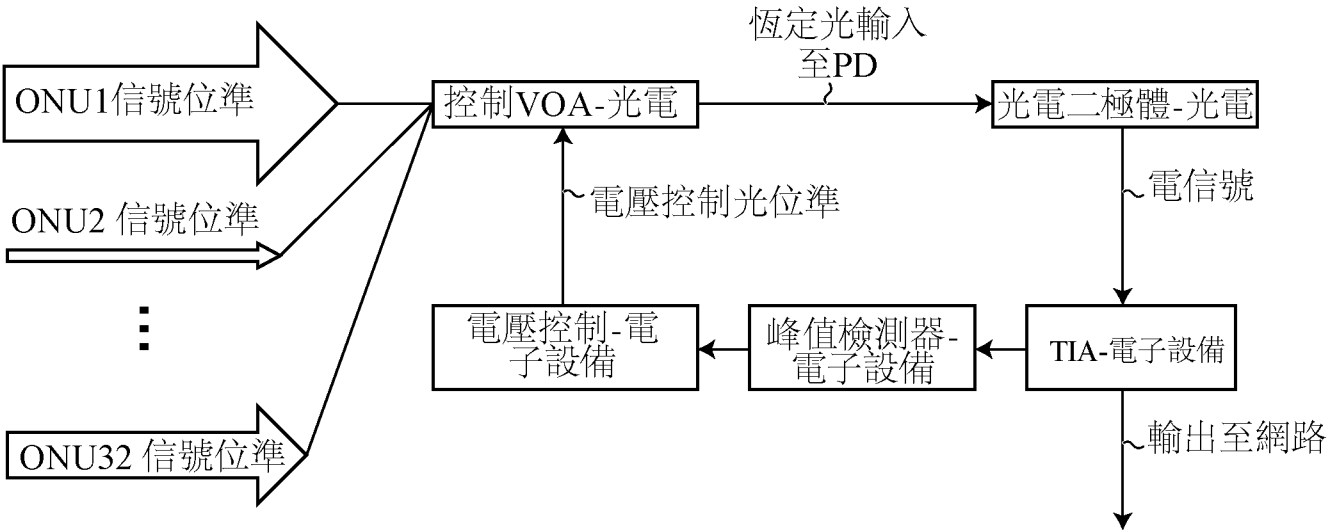


【圖11】

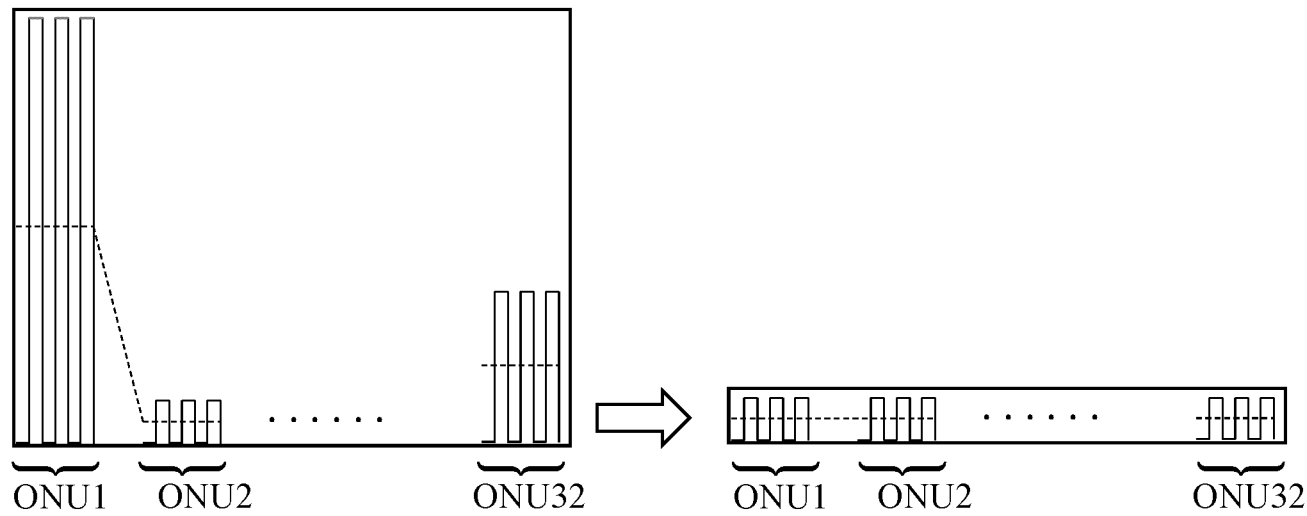
針對不同電場/ 偏壓之QCSE與 λ 之數值模擬



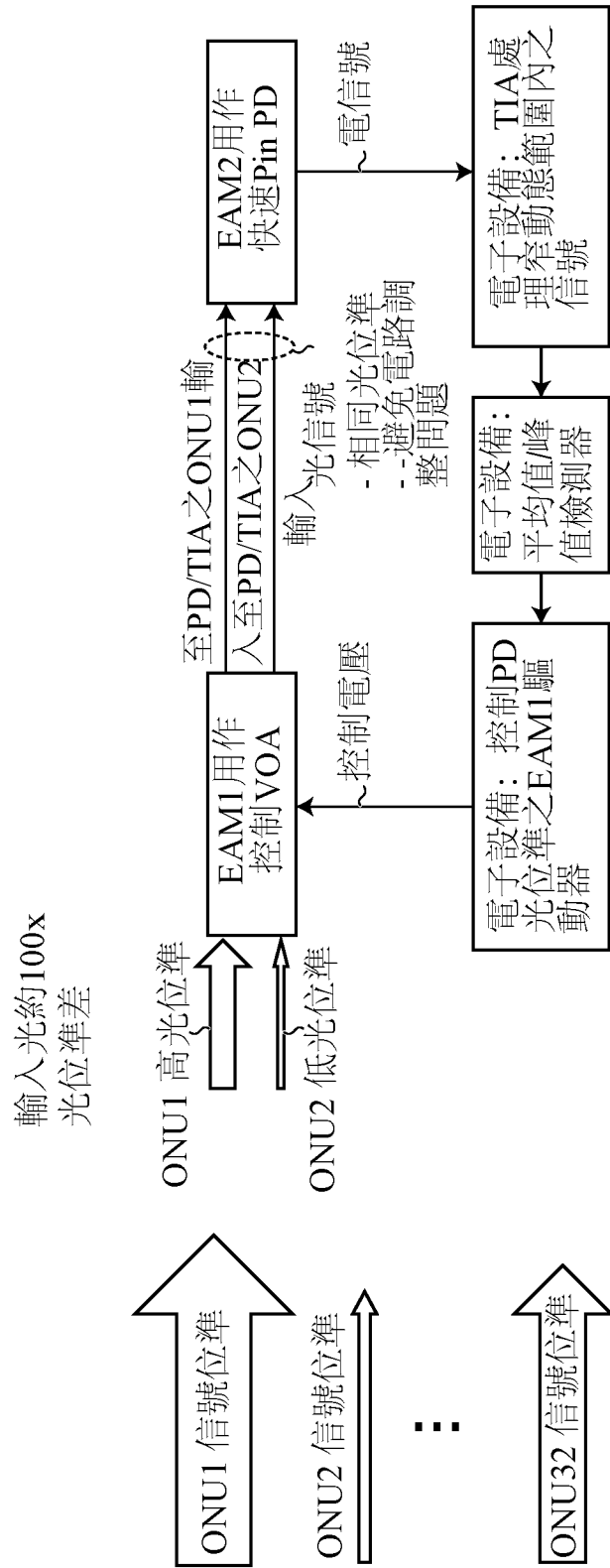
【圖12】



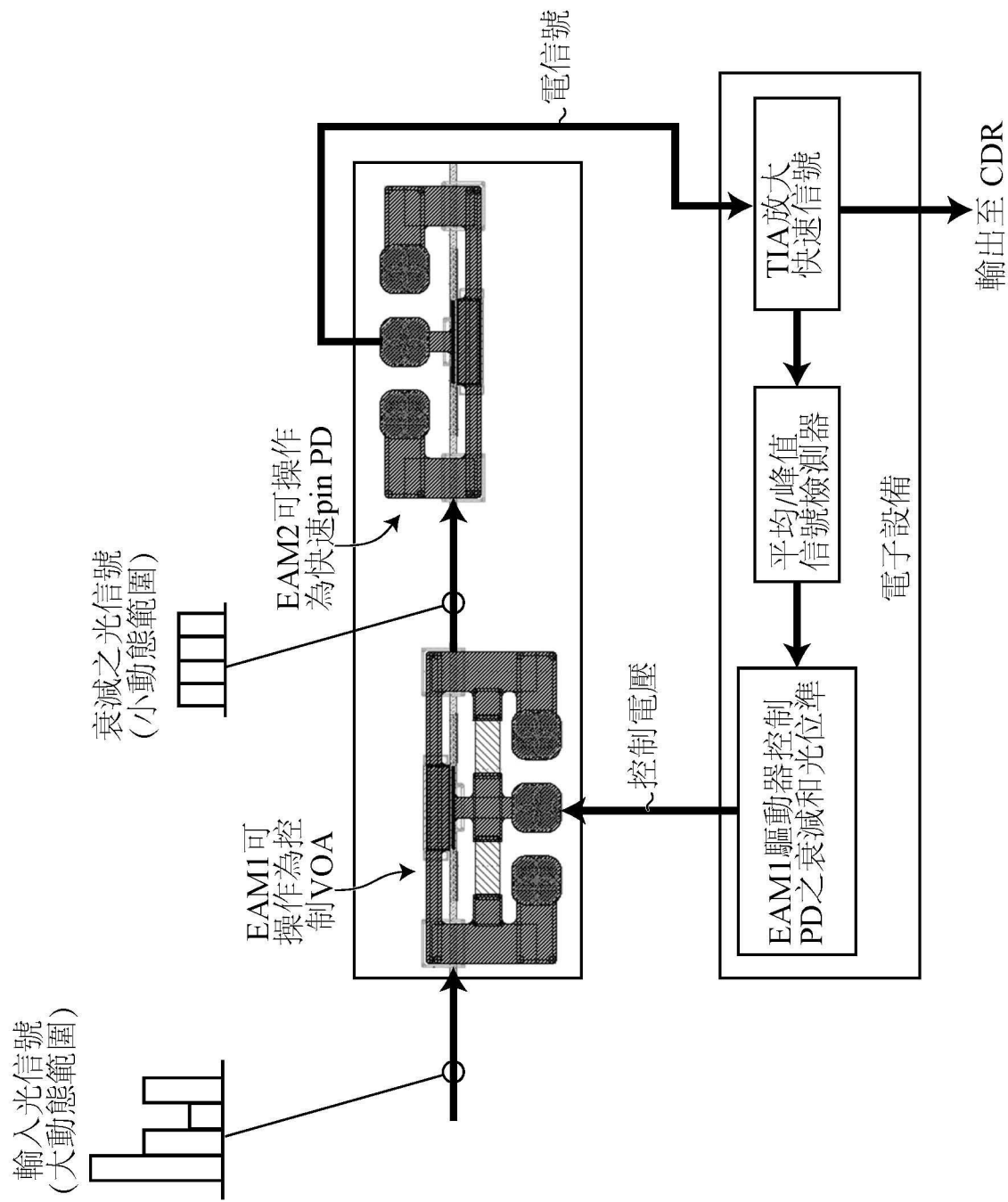
【圖13】



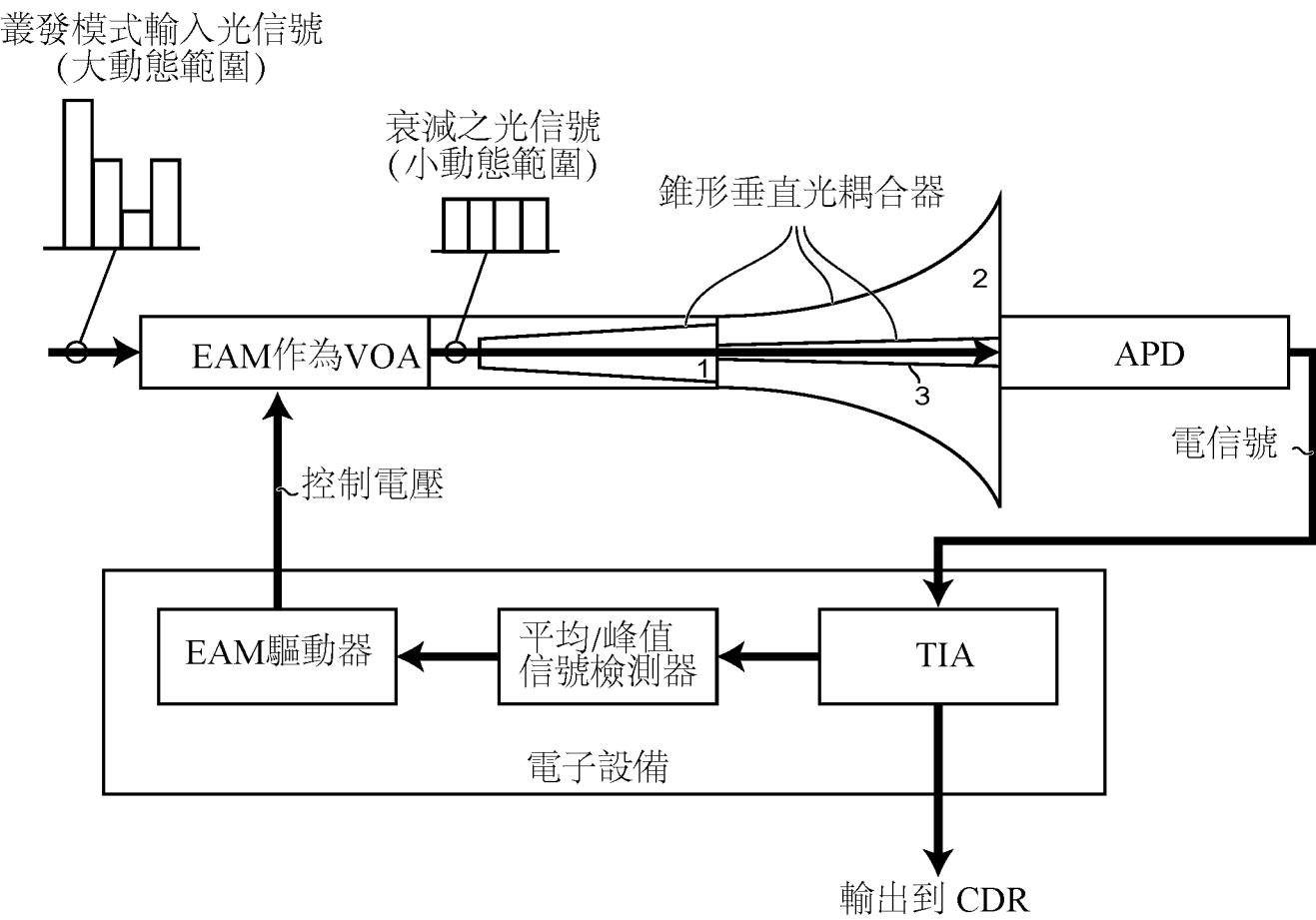
【圖14】



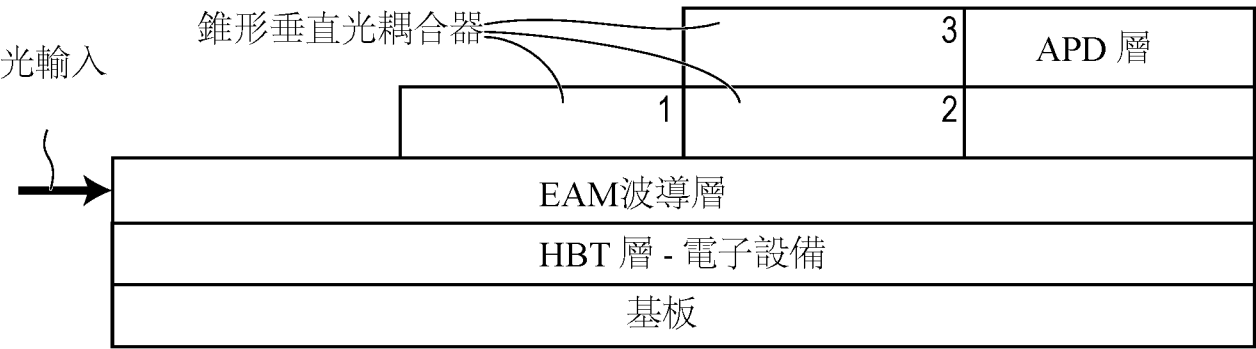
【圖15】



【圖16】



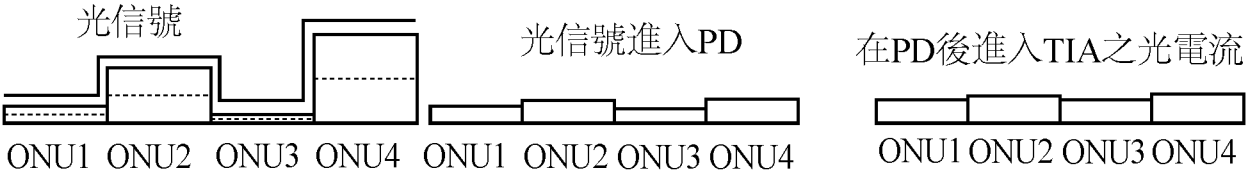
【圖17】



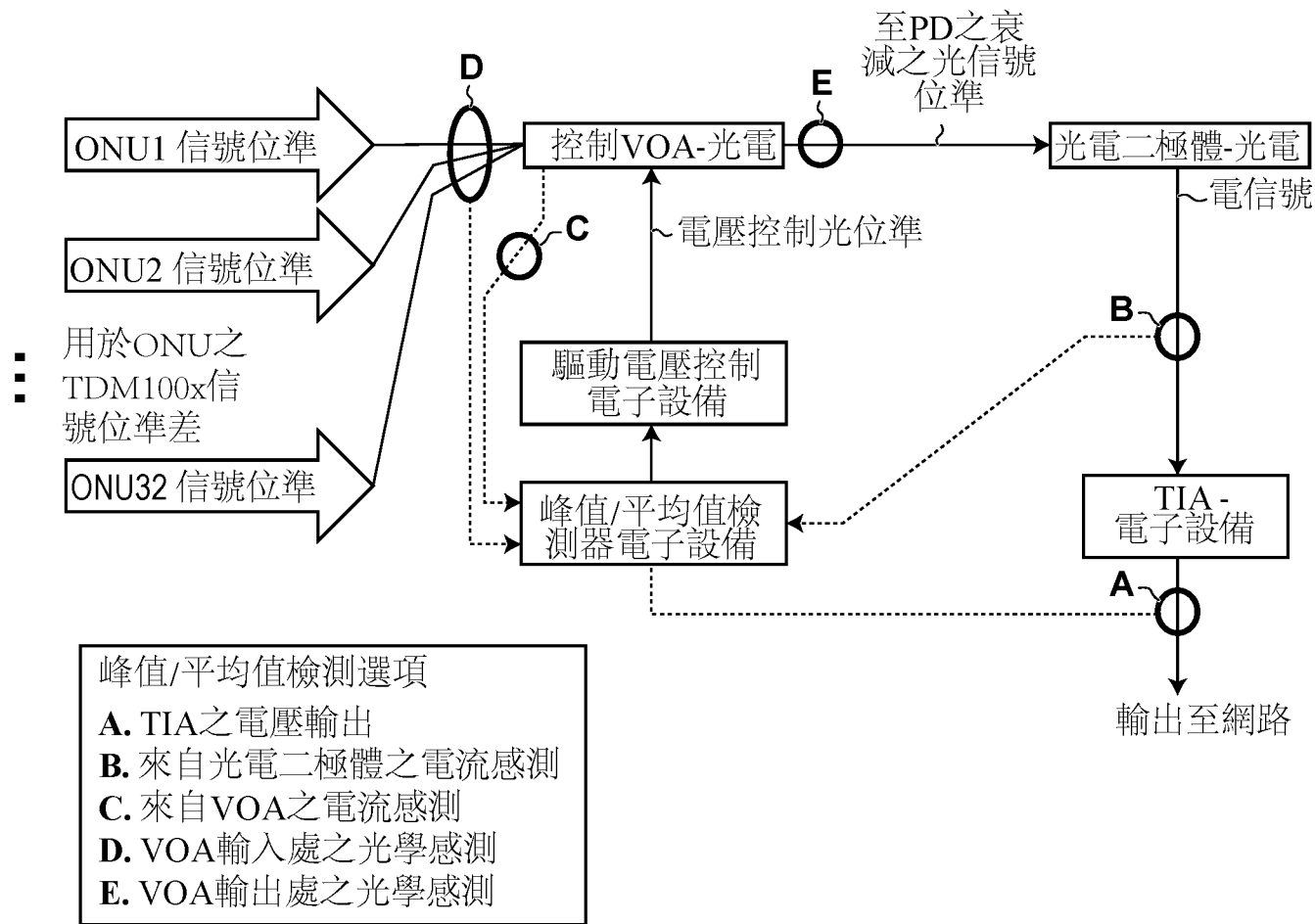
【圖18】



【圖19】



【圖20】



【圖21】