





## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

模組式三維光學感測系統(二)

### 【英文發明名稱】

MODULAR THREE-DIMENSIONAL OPTICAL SENSING SYSTEM

### 【技術領域】

#### 【0001】 相關申請案交互參照

本申請案主張2017年3月1日提出申請之美國臨時性專利申請案第62/465,197號、2017年4月28日提出申請之美國臨時專利申請第62/491,443號、2017年10月17日提出申請之美國臨時性專利申請案第62/573,360號、以及2017年12月20日提出申請之美國臨時性專利申請案第62/608,183號之優先權的利益，其完整內容係以參考方式併入本文。

【0002】 本揭露大致係有關於光子積體電路，諸如用於汽車光雷達者。

#### 【先前技術】

【0003】 實例係有關於光偵檢與測距(LIDAR) 3D成像之一般領域，並且更具體而言，係有關於用於自動車之環境之詳細3D映射。

【0004】 兩種替代方法一般係用於測量一遠端目標之坐標，並且建立一物件或環境之一3D影像：一者係基於由轉換成一3D地圖之一雷射所發射之一短脈衝或脈衝序列之飛行時間測量結果，而第二者係基於可進行相位或頻率調變之一連續波雷射傳送器，此外，可測量目標散射信

號中相對於原始信號之距離相關性相移或頻移。

【0005】大部分商用實作態樣已透過使用調幅之飛行時間方法來完成，這是因為需要大量奈秒脈衝長度高峰值功率雷射源才能提供所欲範圍和準確度。實作態樣之實例包括諸如威力登(Velodyne)之方法，其使用具有機械固定式雷射/偵檢器對之一旋轉頭，該等雷射/偵檢器全都與頭端總成旋轉(例如，高畫質LIDAR系統，請見US 8767190 B2；也請參照US 7969558)，方法中波束之掃描可使用一微機電系統(MEMS)反射鏡、一振鏡、旋轉稜鏡或其他光機械性掃描解決方案搭配使用一或多個高速高增益崩潰光偵檢器(例如Spectrolab之Spectroscan 3D、Riegl VUX1以及大量空浮LIDAR裝置)來達成。以上方法之缺點在於大量分立部件導致製造成本高。涉及較少量部件之一替代方法包括使用可提供像素級時間閘控之偵檢器陣列，諸如Princeton Lightwave LIDAR相機(例如，包括單一光子偵檢器之LIDAR系統，請見US 20150192676A1)。此一系統之主要缺點在於專業的InGaAs高速、高靈敏度偵檢器陣列不僅成本高，而且難以製造。

【0006】Aflatouni等人已提出一種搭配啾頻調幅技巧之同調奈米光子成像器(Firooz Aflatouni、Behrooz Abiri、Angad Rekhi及Ali Hajimiri，奈米光子同調成像器(Nanophotonic Coherent Imager)，Optics Express 5117，Vol 23，no.4(2015)；也請參照US 20140071249A1)，並且係針對用於短程、高解析度三維成像之少量像素作示範，但尚未解決大量像素之規模可調性。

**【0007】**對於更長距高解析度系統尤其重要之一3D成像系統之另一態樣可包括控制出射光學波束形狀之能力。對於在接收器側使用焦面陣列之短距系統，可使用要拍攝之整個場景之廣角照明。隨著所欲範圍增大，為了在焦面陣列之各像素上接收足夠之散射光子，必須減小出射波束之發散度，並且從而增大目標之表面上之功率密度。為了調解具有系統之一寬視場、以及達成一所欲範圍所需之低發散度的需求，可能需要用以在目標景觀之表面上方動態成形及掃描光學波束的能力。已將數種方法用於商業，或在研究論文中提出。這些方法一般分為兩種類別：**a)**其中一種係基於二維掃描鏡，該掃描鏡掃描景觀上方之低發散度(或準直)波束，該等反射鏡為肉眼可見，係藉由壓電驅動機或微機電系統來驅動；**b)**第二種係基於微型天線之一光學相位陣列，其中光學信號之成形及方向可藉由調整陣列中各天線之離埠信號之相位或波長來控制。基於反射鏡之方法一般有速率及可靠度方面的問題，而光學相位陣列已證實技術上很難實現光域電磁波。

### **【發明內容】**

**【0008】**實例包括一種架構，其藉由在一成熟製造平台上使用晶片上整合來克服傳統LIDAR架構的缺陷，並且解決規模可調性及實際整合問題。另外，還提出了一種新穎的全固態波束操控方法，其具有光學相位陣列之所有速率和可靠度優點，同時在一整合式平台中實施之難度也相當小。最後，提出了一種用於一光學相位陣列之新穎架構。一例示性3D光學感測系統包括一模組式架構，其具有透過一光纖網路連接之模組。如圖1所示，一光纖連結模組式

架構簡化系統在汽車平台內之整合，以及移除設計限制條件，因為系統之功率與空間消耗部件位於元件11中央，並且不會對車輛之設計元件造成不良影響。透過光纖及電氣連接13將分散式元件12連結至中央元件11。

**【0009】**一光學信號產生模組產生具有已定義光譜與功率特性之雷射光。可經由光纖將該光傳送至一光學信號處理模組，在一實例中，該光學信號處理模組包括一光子積體電路(PIC)，其進行複數種被動及主動光學功能，以建立具有已調適振幅、相位及光譜特性之一個或多個信號。該光學信號處理模組所處理之複數個光學信號係經由光纖予以發送至分布於該車輛周圍之波束操控單元。該等操控單元引導複數條光學波束朝向目標。各波束操控單元控制出射光學信號之水平與垂直角度。回傳光學信號可藉由包括一感測器陣列、及使用一同調偵檢技巧之一接收器PIC來偵檢。藉由該感測器陣列轉換成一電氣信號之光學信號可藉由該電子信號處理單元來處理，並且可量化與該等目標之位置及速率有關之資訊。在一實例中，所使用之光學信號可在1530 nm至1565 nm範圍內，以利用更高的最大允許曝光限制、及低背景光學雜訊。在一實例中，該等傳送器與接收器PIC係使用一矽光子(Silicon Photonics)平台來實施。圖2所示為模組式結構之一方塊圖描述。

**【0010】**在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於提供一啾頻光束之半導體光子電路。該半導體光子電路可包括一連續波光源耦合器，例如用於從一光源提供一光束。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來

從該連續波光源耦合器接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括一第一調變器，其可組配來接收該已區分光束之該第一部分、及提供該第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括與該第一調變器並聯之一第二調變器，該第二調變器可組配來接收該已區分光束之該第二部分、及提供該第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括一出耦合器，其可組配來接收、及組合該等第一調變器與第二調變器之輸出以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括一多工器，其可組配來接收一啾頻光束之N個部分，其中該N個部分其中一個別者可藉由該出耦合器來提供。該半導體光子電路亦可包括一解多工器，其可組配來接收一光束，並且將該光束提供至N個不同耦合元件。該多工器可包括與一星形耦合器組合之一多模干涉波導或一繞射光柵。該半導體光子電路亦可包括位在該出耦合器之一輸出處之一偏移相器，該偏移相器可組配來調整該啾頻光束之一相位。該偏移相器可組配來提供介於離開該第一調變器之光與離開該第二調變器之光之間的一相位偏移。就對應於一波導截面之非線性效應，該光束可具有比一初發功率更小之一功率。該光束可具有比大約50 mW更小之一功率。該光子電路可包括矽。該第一調變器與該第二調變器可包括一PN或PIN接面。該半導體光子電路亦可包括一分接頭耦合器與光二極體，其可組配來提供可用於調整該偏移相器之一回授信號。該第一調變器與該第二調變器可包括一熱光調變器，一注入調變器、或一空乏調變器。該光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。28. 該

半導體光子電路可包括一化合物半導體。

**【0011】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於提供一啾頻光束之方法。該方法可包括使用一連續波光源，例如用來提供一光束。該方法亦可包括將該光束耦合至一平面型波導，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該方法亦可包括同相調變該已區分光束之該第一部分。該方法亦可包括正交調變該已區分光束之該第二部分。該方法亦可包括將該已區分光束之該已調變第一部分與該已區分光束之該已調變第二部分組合，以形成一啾頻光束。該方法亦可包括提供該組合光束之一相移，例如用來調整該啾頻光束之一相位。該方法亦可包括減小介於該已區分光束之N個已調變光束之間的相對相位偏移。該方法亦可包括將該光束之一功率減小到小於對應於波導截面之一功率位準，該波導截面處發生一非線性效應初發。該方法亦可包括將該光束之一功率減小到小於大約50 mw，例如用來減少非線性損耗。該方法亦可包括同時或循序在該啾頻光束中產生多個頻率啾啾。

**【0012】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於提供一啾頻光束之半導體光子電路。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括複數個耦合元件，其中各個別耦合元件可組配來從該連續波光源接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括複數個第一調變器，其中該複數個第一調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第一部分、及提供該對應第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦



可包括複數個第二調變器，其中該複數個第二調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第二部分、及提供該對應第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括複數個移相器，其中該複數個移相器其中一個別者可組配來在復合前先調整一對應啾頻光束之一相位。該半導體光子電路亦可包括複數個出耦合器，其中該複數個出耦合器其中一個別者可組配來接收並組合一對應第一調變器與一對應第二調變器之對應輸出，例如用來形成一啾頻光束。該複數個出耦合器其中該個別者可包括具有一中央部分與一週邊部分之一星形耦合器，其中該中央部分可出耦合該啾頻光束之一中央空間部分，並且一週邊部分可將該啾頻光束之一週邊空間部分提供至一接收器。該半導體光子電路亦可包括一多工器，其可組配來從該複數個出耦合器接收一啾頻光束之M個部分。該半導體光子電路亦可包括一解多工器，其可組配來接收一光束，並且將該光束提供至N個不同耦合元件，其中N可大於M。可將該已區分光束之該第一部分與該已區分光束之該第二部分線性極化。可將該已區分光束之該等對應第一部分與該已區分光束之該等對應第二部分線性極化。該出耦合器可組配來提供朝向一接收器行進之一第一啾頻光束、及朝向一目標行進之一第二啾頻光束。該複數個出耦合器其中一個別者可組配來提供朝向一接收器行進之一第一啾頻光束、及朝向一目標行進之一第二啾頻光束。

**【0013】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於提供多條平行啾頻光束之半導體光子電路。該半導體光子電路可包括一連續波光源耦合器，例如用於從一光源提供

一光束。該半導體光子電路亦可包括一解多工器，例如用來將該光束分離成若干光束。該半導體光子電路亦可包括複數個耦合元件，其中各個別耦合元件可組配來接收該若干光束其中一者，並且將該已接收光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括複數個第一調變器，其中該複數個第一調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第一部分、及提供該對應第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括複數個第二調變器，其中該複數個第二調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第二部分、及提供該對應第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括複數個移相器，其中該複數個移相器其中一個別者可組配來在復合前先調整一對應啾頻光束之一相位。該半導體光子電路亦可包括複數個出耦合器，其中該複數個出耦合器其中一個別者可組配來接收並組合一對應第一調變器與一對應第二調變器之對應輸出，以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括複數個連續波光耦合器，例如用於耦合從光子積體電路出來並進入光纖鏈路之光。

**【0014】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種光子電路，用來偵檢一光束之一頻率與一相位。該光子電路可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來接收一自由空間光束之一部分。該光子電路亦可包括複數個信號混波器，其中一個別信號混波器可組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，其中可組配該個別信號混波器，例如用來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、

以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。該光子電路亦可包括複數個偵檢器對，各偵檢器對與一信號混波器對應，並且從該信號混波器之該兩個輸出接收光束。可將該複數個光柵式耦合器及該複數個信號混波器區分成 $N$ 個群組，該 $N$ 個群組各具有 $M$ 個光柵式耦合器及 $M$ 個信號混波器。可實質同時將一本地振盪器信號供應至該複數個信號混波器之各者。可將一本地振盪器信號循序供應至該複數個信號混波器之各者。該光子電路亦可包括用於將該第一輸出轉換成一第一電氣信號之第一偵檢臂、以及用於將該第二輸出轉換成一第二電氣信號之一第二偵檢臂。可將該第一電氣信號與該第二電氣信號之間的一差異用於提供具有已降低雜訊之一偵檢信號。該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期、或二維拓撲結構可隨該光子電路上之位置而變，例如用來適應已接收自由空間光之不同入射角。該複數個光柵式耦合器之一第一子集可組配來耦合對應於一第 $m$ 繞射級之自由空間光，並且該複數個光柵式耦合器之一第二子集可組配來耦合對應於一第 $n$ 繞射級之自由空間光。該複數個光柵式耦合器其中一對可彼此相鄰而置，並且具有不同方位。該光子電路可包括矽。該光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該複數個光柵式耦合器可包括經選擇用以就對應於該自由空間光束之一波長範圍、及角度範圍使耦合增大、以及就對應於該自由空間光束之該波長範圍、及角度範圍外之光使耦合減小之一光柵週期、工作週期或二維拓撲結構。

**【0015】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種使用

一光子積體電路對一光束之一頻率與一相位進行偵檢之方法。該方法可包括使用一光柵式耦合器接收一自由空間光束之一部分。該方法亦可包括將一本地振盪器、及該自由空間光束之該已接收部分從該光柵式耦合器提供至一信號混波器。該方法亦可包括提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。該方法亦可包括實質同時將該本地振盪器提供至複數個信號混波器。該方法亦可包括將該本地振盪器循序提供至複數個信號混波器。該方法亦可包括將該第一輸出轉換成一第一電氣信號、及將該第二輸出轉換成一第二電氣信號，以及其中可將該第一電氣信號與該第二電氣信號之間的一差異用於提供具有已降低雜訊之一偵檢信號。該方法亦可包括提供複數個光柵式耦合器，其中該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期或二維拓樸結構隨一光子電路上之位置而變，以適應已接收自由空間光之不同入射角。該方法亦可包括使用該光柵式耦合器來耦合對應於一第 $m$ 繞射級之自由空間光，以及使用相鄰於該光柵式耦合器之另一光柵式耦合器來耦合對應於一第 $n$ 繞射級之自由空間光。該方法亦可包括就該複數個信號混波器之一子集接收一自由空間光束之一對應部分，以及同時處理由該複數個信號混波器之該子集所提供之電氣信號。該方法亦可包括同時或循序偵檢多個拍頻或相位。該方法亦可包括同時接收不同波長之自由空間光束。

**【0016】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種光子電子電路，用來偵檢一光束之一頻率與一相位。該光子電

子電路可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來接收一自由空間光束之一部分。該光子電子電路亦可包括複數個信號混波器，其中一個別信號混波器可組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，該個別信號混波器可組配來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。該光子電子電路亦可包括複數個偵檢器對，其中一個別偵檢器對與一信號混波器對應，並且可組配來接收該信號混波器之該兩個輸出。該光子電子電路亦可包括複數個轉換阻抗放大器，其中該複數個轉換阻抗放大器其中一個別者可與一個光偵檢器相關聯。該光子電子電路亦可包括複數個類比數位轉換器，其中一個別類比數位轉換器可與一偵檢器子集相關聯。該光子電子電路亦可包括一讀出電路，其可組配來從該複數個偵檢器對之複數個列與行收集信號。

**【0017】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於使一光束動態操控之半導體光子電路。該光子電路可包括一光柵式耦合器空間布置結構，其中一個別光柵式耦合器可組配來從一波導接收光、以及將該接收之光朝向一折射光學元件發射，該折射光學元件可組配來引導該發射之光朝向一目標區。該光子電路亦可包括一或多個光開關，其可組配來藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器從該波導接收光來調整一光束在該目標區中之一位置。該光柵式耦合器空間布置結構可包括若干光柵式耦合器群組，並且包括光柵式耦合器之各該群組可具有不

同方位。該光柵式耦合器空間布置結構之一廣度可判定該光束在該目標區中之該位置之一調整範圍。該光柵式耦合器空間布置結構可用來在二維中調整該光束在該目標區中之該位置。該折射光學元件可包括一光學透鏡，其所具之一焦距與位置係經選擇用以使該光束之一發散度小於約0.1度。該一或多個光開關可包括一或多個馬赫任德(Mach Zehnder)開關或環體為基之開關。該折射光學元件可調整該光束之一發散角。該一或多個光開關可包括使用一熱光效應之移相器、或在一空乏模式或一注入模式中操作之一PN或PIN接面。該光子電路可包括矽。該光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該光柵式耦合器空間布置結構可組配來從該等光柵式耦合器之多於一者將光同時發射。該光柵式耦合器空間布置結構可組配來從該等光柵式耦合器之多於一者將光循序發射。該光柵式耦合器空間布置結構中從不同光柵發射之光束之強度可改變幅度，以改變一偵檢器中之信號雜訊比。光柵式耦合器空間布置結構之諸如週期、工作週期或二維拓樸結構等光柵設計參數可隨著該半導體光子電路上之位置而變，以改變所發射光之一模態剖面與傳播方向。可多工處理來自複數個開關之光束，以透過該光柵式耦合器空間布置結構中之一個光柵式耦合器使輸出功率增大。

**【0018】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於使一光束動態操控之方法。該方法可包括使用一光柵式耦合器空間布置結構將光朝向一折射光學元件發射。該方法亦可包括使用該折射光學元件引導該光朝向一目標區。該方法亦可包括藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪

些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射，來調整一光束在該目標區中之一位置。該方法亦可包括將該光柵式耦合器空間布置結構劃分成具有不同方位之群組。該方法亦可包括藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射，來調整一光束在二維中之一位置。該方法亦可包括選擇該折射光學元件之一焦距與位置，例如用來使該光束之一發散度小於約0.1度。該方法亦可包括使用一馬赫任德開關或一環體為基之開關來選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射。該方法亦可包括使用該折射光學元件來調整該光束之一發散角。

**【0019】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於使一啾頻光束動態操控之半導體光子電路。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來從該連續波光源耦合器接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括一第一調變器，其可組配來接收該已區分光束之該第一部分、及提供該第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括與該第一調變器並聯之一第二調變器，該第二調變器可組配來接收該已區分光束之該第二部分、及提供該第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括一出耦合器，其可組配來接收、及組合該等第一調變器與第二調變器之輸出以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括一光柵式耦合器空間布置結構，其中一個別光柵式耦合器可組配來從一波導接收光、以及將該接收之光朝向一折射

光學元件發射，該折射光學元件可組配來引導該發射之光朝向一目標區。該半導體光子電路亦可包括一或多個光開關，其可組配來藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中從該波導接收光之光柵式耦合器來調整一光束在該目標區中之一位置。該光子積體電路可包括矽。該光子積體電路可包括一化合物半導體。該光束之波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。可單塊地整合該連續波光源耦合器、該耦合元件、該第一調變器、該第二調變器、該出耦合器、該光柵式耦合器空間布置結構、以及該一或多個光開關。該出耦合器可提供用於一個光開關之光。

**【0020】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於使一啾頻光束動態操控之半導體光子電路。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括複數個耦合元件，各個別耦合元件可組配來從該連續波光源接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括複數個第一調變器，其中該複數個第一調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第一部分、及提供該對應第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括複數個第二調變器，其中該複數個第二調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第二部分、及提供該對應第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括複數個移相器，其中該複數個移相器其中一個別者可組配來在復合前先調整一對應啾頻光束之一相位。該半導體光子電路亦可包括複數個出耦合器，其中該複數個出耦合器其中一個別者可組配來接收並組合一對應第一



調變器與一對應第二調變器之對應輸出，以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括一光柵式耦合器空間布置結構，其中一個別光柵式耦合器可組配來從一波導接收光、以及將該接收之光朝向一折射光學元件發射，該折射光學元件可組配來引導該發射之光朝向一目標區。該半導體光子電路亦可包括一或多個光開關，其可組配來藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器從該波導接收光來調整一光束在該目標區中之一位置。該複數個出耦合器各可提供用於一個光開關之光。多個出耦合器可提供用於輸入至一個光開關之光。該光柵式耦合器空間布置結構可組配來從該等光柵式耦合器之多於一者將光同時發射。

**【0021】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於提供一啾頻光束、以及接收該啾頻光束之半導體光子電路。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來從該連續波光源耦合器接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括一第一調變器，其可組配來接收該已區分光束之該第一部分、及提供該第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括與該第一調變器並聯之一第二調變器，該第二調變器可組配來接收該已區分光束之該第二部分、及提供該第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括一出耦合器，其可組配來接收、及組合該等第一調變器與第二調變器之輸出以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括耦合元件，其可組配來經由一折射元件引

導該光學波束朝向一目標區。該半導體光子電路亦可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來從該目標區接收一自由空間光束之一部分。該半導體光子電路亦可包括複數個信號混波器，其中一個別信號混波器可組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，該個別信號混波器可組配來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。該半導體光子電路亦可包括複數個偵檢器對，各偵檢器對與一信號混波器對應，並且從該信號混波器之兩個輸出接收光束。該折射元件可具有用以同時照明整個場景之一寬發散度。該折射元件可具有一約30度至50度範圍內之一發散度。該半導體光子電路亦可包括一微機電(MEMS)反射鏡或一振鏡，其可組配來掃描藉由該折射元件而準直之光束。M個像素之一接收器塊可組配來接收與該MEMS或振鏡操控機制相關之本地振盪器光，例如用來將該本地振盪器提供至從該目標區接收該自由空間光束之一光柵式耦合器。

**【0022】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於使一啾頻光束動態操控之方法。該方法可包括使用一連續波光源來提供一光束。該方法亦可包括將該光束耦合至一平面型波導，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該方法亦可包括同相調變該已區分光束之該第一部分。該方法亦可包括正交調變該已區分光束之該第二部分。該方法亦可包括將該已區分光束之該已調變第一部分與該已區分光束之該已調變第二部分組合，以形成一啾頻

光束。該方法亦可包括使用該光柵式耦合器空間布置結構將該啾頻光束朝向一折射光學元件發射。該方法亦可包括使用該折射光學元件引導該啾頻光束朝向一目標區。該方法亦可包括藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射，來調整一啾頻光束在該目標區中之一位置。

**【0023】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種使用一光子積體電路提供一啾頻光束、以及對一光束之一頻率與一相位進行偵檢之方法。該方法可包括使用一連續波光源來提供一光束。該方法亦可包括將該光束耦合至一平面型波導，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該方法亦可包括同相調變該已區分光束之該第一部分。該方法亦可包括正交調變該已區分光束之該第二部分。該方法亦可包括將該已區分光束之該已調變第一部分與該已區分光束之該已調變第二部分組合，以形成一啾頻光束。該方法亦可包括使用該光柵式耦合器空間布置結構，經由一折射光學元件將該啾頻光束朝向一目標區發射。該方法亦可包括使用一光柵式耦合器從該目標區接收一自由空間光束之一部分。該方法亦可包括將一本地振盪器、及該自由空間光束之該已接收部分從該光柵式耦合器提供至一信號混波器。該方法亦可包括提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。

**【0024】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種用於提供及接收一啾頻光束之半導體光子電路。該半導體光子

電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來從該連續波光源耦合器接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路可包括一第一調變器，其可組配來接收該已區分光束之該第一部分、及提供該第一部分之同相調變。該半導體光子電路可包括與該第一調變器並聯之一第二調變器，該第二調變器可組配來接收該已區分光束之該第二部分、及提供該第二部分之正交調變。該半導體光子電路可包括一出耦合器，其可組配來接收、及組合該等第一調變器與第二調變器之輸出以形成一啁頻光束。該半導體光子電路可包括一光柵式耦合器空間布置結構，其中一個別光柵式耦合器可組配來從該出耦合器接收一啁頻光束、以及將該接收之光朝向一折射光學元件發射，該折射光學元件可組配來引導該發射之光朝向一目標區。該半導體光子電路可包括一或多個光開關，其可組配來藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器從該出耦合器接收光來調整一光束在該目標區中之一位置。該半導體光子電路可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來從該目標區接收一自由空間光束之一部分。該半導體光子電路可包括複數個信號混波器，其中一個別信號混波器可組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，該個別信號混波器可組配來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。該半導體光子電路可包括複數個偵檢器對，各

偵檢器對與一信號混波器對應，並且從該信號混波器之兩個輸出接收光束。該光源所提供之光束可具有範圍自約 1300 nm 至 1600 nm 之一波長。可單塊地整合該半導體光子積體電路之所有組件。M 個像素之接收器塊可組配來接收與一操控機制相關之本地振盪器光，以提供從該目標區域接收之本地振盪器光與自由空間光。可組配該開關或該複數個開關，例如用來使在一個優先方向受引導之光束之功率達到最大。該一或多個光開關可組配來同時將光提供至複數個光柵式耦合器，以同時照明該目標區之多個區域。與該目標區之一受照區對應之一光束之一強度可基於來自該複數個偵檢器對之回授來調整。該半導體光子積體電路可包括矽。該半導體光子積體電路可包括一化合物半導體。

**【0025】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供一調幅光束、以及複數條光束之偵檢。該半導體光子電路可包括一耦合元件，其可組配來從一連續波光源接收該光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調幅器，其可組配來調幅該已接收光束。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來耦合該調幅光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。該半導體光子電路亦可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來從該目標區接收一自由空間光束之一部分。該半導體光子電路亦可包括複數個信號調幅器，其中該複數個信號調幅器其中一個別者可組配來從一對應光柵式耦合器接收該自由空間光束之一部分、以及衰減該光束以降低一對應偵檢器之飽和。該半導體光子電路可包括氮化矽。該半導體光子電路

可包括矽。該半導體光子電路可包括一化合物半導體。該複數個信號調幅器其中一個別者可組配來衰減該光束，例如用來降低一對應偵檢器之飽和，並且定義用於閘控偵檢之一時窗。可在一偵檢器與一對應信號調幅器之間建立一回授迴路，例如用來將該偵檢器所測得之一光束強度調整到低於一飽和等級。該半導體光子電路亦可包括複數個光柵式耦合器，其中該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期或二維拓撲結構隨該半導體光子電路上之位置而變，以適應一已接收自由空間光束之不同入射角。該半導體光子電路亦可包括複數個光柵式耦合器，其中該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期或二維拓撲結構可經選擇以就對應於該自由空間光束之一波長範圍、及角度範圍使耦合增大，並且就對應於該自由空間光束之該波長範圍、及角度範圍外之光使耦合減小。該自由空間光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該複數個偵檢器可包括在線性或蓋革(Geiger)模式中操作之至少一個崩潰光二極體偵檢器。該複數個信號調幅器其中一個別者與該複數個調幅器其中一個別者可包括一PN或PIN接面或一加熱元件。

**【0026】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供一調幅光束、以及複數條光學波束之偵檢。該半導體光子電路可包括一耦合元件，其可組配來從一連續波光源接收該光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調幅器，其可組配來調變該已接收光束、以及提供一調幅光束。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來耦合該調幅光束使之離開該半導體光子電路並

朝向一目標區。該半導體光子電路亦可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來從該目標區接收一自由空間光束之一部分。該半導體光子電路亦可包括複數個信號調幅器，其中一個別信號調幅器可組配來從一對應光柵式耦合器接收該自由空間光束之一部分、以及衰減該自由空間光束之該已接收部分，例如用來降低一對應偵檢器之飽和。該半導體光子電路亦可包括複數個偵檢器，其中一個別偵檢器對應於一光柵式耦合器，並且可組配來經由一可變光學衰減器從該光柵式耦合器接收該自由空間光束之一部分。該半導體光子電路亦可包括複數個轉換阻抗放大器，其中該複數個轉換阻抗放大器其中一個別者可與一個光偵檢器相關聯。該半導體光子電路亦可包括一讀出電路，其可組配來從該複數個偵檢器對之複數個列與行收集信號。

【0027】在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於透過受激拉曼散射從具有一第一波長之複數條光學波束產生具有一第二波長之複數條光學波束。該半導體光子電路可包括一耦合元件，其可組配來以第一波長從該連續波光源接收該光束。該半導體光子電路亦可包括複數個波長選擇性耦合器，其中該等波長選擇性耦合器之一個別者可組配來使兩個不同波長組合或分離。該半導體光子電路亦可包括複數個環共振器，其中可調諧該複數個環共振器之一個別者，而在對應於拉曼偏移諧波之一波長下提供大於100,000之一Q因子，以將第一波長之一部分光轉換成對應於該拉曼偏移諧波之一第二波長。該半導體光子電路亦可包括複數個解多工器，其中該複數個解多工器之一個別者可組配來將具有與該拉曼偏移諧波對應

之一波長的一光束區分成相同波長之複數條光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調幅器，其中該複數個調幅器之一個別者可組配來接收並調變來自一對應解多工器之一光束之一部分。該半導體光子電路亦可包括複數個耦合元件，其中該複數個耦合元件之一個別者可組配來耦合從一對應調幅器接收之該光束之該部分使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。該光束之該第一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該複數個調幅器其中一個別者可包括一PN或PIN接面或一加熱元件。該半導體光子電路可包括氮化矽。該半導體光子電路可包括矽。該半導體光子電路可包括一化合物半導體。

**【0028】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種方法，用於提供一調幅光束、以及偵檢來自一目標區之一已接收自由空間光束。該方法可包括提供一光束，並且將該光束耦合至一半導體光子電路中之複數個調幅器。該方法亦可包括使用一或多個調幅器來調幅該光束。該方法亦可包括耦合該調幅光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。該方法亦可包括使用一或多個光柵式耦合器從該目標區接收一自由空間光束之一部分。該方法亦可包括使用一或多個信號調幅器來衰減該自由空間光束之該已接收部分以降低一對應偵檢器之飽和。

**【0029】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種方法，用於透過受激拉曼散射從具有一第一波長之複數條光學波束產生具有一第二波長之複數條光學波束。該方法可包括提供一第一波長之一光束、以及將該光束耦合至組配來使兩個不同波長組合或分離之一波長選擇性耦合器。該



方法亦可包括調諧環共振器以在對應於一拉曼偏移諧波之一波長下提供大於100,000之一Q因子，以及使用該環共振器將該第一波長之一部分光轉換成對應於該拉曼偏移諧波之一第二波長。該方法亦可包括將具有與該拉曼偏移諧波對應之一波長的一光束區分成相同波長之複數條光束。該方法亦可包括使用一或多個調幅器來調幅該已區分光束。該方法亦可包括耦合接收自該一或多個調幅器之一光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。

**【0030】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供具有一連續可變遠場圖型之一光學波束。該半導體光子電路可包括一耦合元件，其可組配來從一連續波光源接收該光束。該半導體光子電路亦可包括一或多個分束器，其可組配來將該光束分成N條光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調相器，其可組配來控制該N條光束各者之相位。該半導體光子電路亦可包括複數個漸逝垂直耦合器，其中各耦合器可組配來將該光束耦合至一垂直相鄰波導層。該半導體光子電路亦可包括複數個光學耦合器，其可組配來耦合該調相光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。可將該複數個光學耦合器區分成M個子集，其中該M個子集各可位在一不同垂直波導層中。該半導體光子電路可包括氮化矽。該半導體光子電路可包括矽。該半導體光子電路可包括一化合物半導體。該自由空間光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該複數個調相器其中一個別者可包括一PN或PIN界面或一加熱元件。該複數個光學耦合器可包括複數對光學耦合器，其中各對光學耦合器可按照小於4微米來分

離。可使該複數個光學分束器其中P個固定，而該複數個光學分束器中之其他光學分束器可為可變。要進行耦合而朝向該目標離開該複數個光學耦合器之複數條光束之一相位與一振幅都可為可變。該複數個光學耦合器可在該複數個光學耦合器中之每兩個光學耦合器之間具有相等或可變之離距。一或多個光偵檢器與一回授控制迴路可向該複數個調相器驅動器提供回授，用來調整相對相位以實現所欲遠場圖型。

**【0031】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供具有一連續可變遠場圖型之一啾頻光學波束。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來從該連續波光源耦合器接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括一第一調變器，其可組配來接收該已區分光束之該第一部分、及提供該第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括與該第一調變器並聯之一第二調變器，該第二調變器可組配來接收該已區分光束之該第二部分、及提供該第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括一出耦合器，其可組配來接收、及組合該等第一調變器與第二調變器之輸出以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括一或多個分束器，其可組配來將該光束分成N條光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調相器，其可組配來控制該N條光束各者之相位。該半導體光子電路亦可包括複數個漸逝垂直耦合器，其中該等漸逝垂直耦合器其中一個別者可組配來將該光束耦合至一相

鄰波導層。該半導體光子電路亦可包括複數個光學耦合器，其可組配來耦合該調相光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。可將該複數個光學耦合器區分成M個子集，其中該M個子集各可位在一不同垂直波導層中。該半導體光子電路可包括氮化矽。該半導體光子電路可包括矽。該半導體光子電路可包括一化合物半導體。該自由空間光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該複數個調相器其中一個別者可包括一PN或PIN介面或一加熱元件。

【0032】在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供具有一連續可變遠場圖型之一啾頻光學波束、以及偵檢一光束之一頻率與一相位。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括一耦合元件，其可組配來從該連續波光源耦合器接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二部分。該半導體光子電路亦可包括一第一調變器，其可組配來接收該已區分光束之該第一部分、及提供該第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括與該第一調變器並聯之一第二調變器，該第二調變器可組配來接收該已區分光束之該第二部分、及提供該第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括一出耦合器，其可組配來接收、及組合該等第一調變器與第二調變器之輸出以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括一或多個分束器，其可組配來將該光束分成N條光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調相器，其可組配來控制該N條光束各者之相位。該半導體光子電路亦可包括複

數個漸逝垂直耦合器，其中該等漸逝垂直耦合器其中一個別者可組配來將該光束耦合至一相鄰波導層。該半導體光子電路亦可包括複數個光學耦合器，其可組配來耦合該調相光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。該半導體光子電路亦可包括複數個光柵式耦合器，其可組配來接收一自由空間光束之一部分。該半導體光子電路亦可包括複數個信號混波器，其中一個別信號混波器可組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，該個別信號混波器可組配來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。該半導體光子電路亦可包括複數個偵檢器對，各偵檢器對與一信號混波器對應，並且從該信號混波器之兩個輸出接收光束。可將該複數個光學耦合器區分成M個子集，其中該M個子集各可位在一不同垂直波導層中。該半導體光子電路可包括氮化矽。該半導體光子電路可包括矽。該半導體光子電路可包括一化合物半導體。該自由空間光束之一波長可在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。該調相器可包括一PN或PIN界面或一加熱元件。

**【0033】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供具有一連續可變遠場圖型之一啾頻光學波束。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括複數個耦合元件，各個別耦合元件可組配來從該連續波光源接收該光束，並且將該光束區分成一第一部分與一第二

部分。該半導體光子電路亦可包括複數個第一調變器，其中該複數個第一調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第一部分、及提供該對應第一部分之同相調變。該半導體光子電路亦可包括複數個第二調變器，其中該複數個第二調變器其中一個別者可組配來接收該已區分光束之一對應第二部分、及提供該對應第二部分之正交調變。該半導體光子電路亦可包括複數個移相器，其中該複數個移相器其中一個別者可組配來在復合前先調整一對應啾頻光束之一相位。該半導體光子電路亦可包括複數個出耦合器，其中該複數個出耦合器其中一個別者可組配來接收並組合一對應第一調變器與一對應第二調變器之對應輸出，以形成一啾頻光束。該半導體光子電路亦可包括一或多個分束器，其可組配來將接收自該複數個出耦合器之該光束分成複數條光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調相器，其可組配來控制該複數條光束各者之相位。該半導體光子電路亦可包括複數個漸逝垂直耦合器，其中該等漸逝垂直耦合器其中一個別者可組配來將該光束耦合至一相鄰波導層。該半導體光子電路亦可包括複數個光學耦合器，其可組配來耦合該調相光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。可將該複數個光學耦合器區分成M個子集，其中該M個子集各可位在一不同垂直波導層中。

**【0034】** 在一態樣中，本揭露之特徵可在於一種半導體光子電路，用於提供具有一連續可變遠場圖型之一調幅光學波束。該半導體光子電路可包括用於從一光源提供一光束之一連續波光源耦合器。該半導體光子電路亦可包括複數個調幅器，其可組配來調變該已接收光束、以及提供

一調幅光束。該半導體光子電路亦可包括一或多個分束器，其可組配來將接收自該複數個出耦合器之該光學波束分成複數條光束。該半導體光子電路亦可包括複數個調相器，其可組配來控制該複數條光束各者之相位。該半導體光子電路亦可包括複數個漸逝垂直耦合器，其中該等漸逝垂直耦合器其中一個別者可組配來將該光束耦合至一相鄰波導層。該半導體光子電路亦可包括複數個光學耦合器，其可組配來耦合該調相光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區。可將該複數個光學耦合器區分成M個子集，其中該M個子集各可位在一不同垂直波導層中。該連續可變遠場圖型可包括該啾頻光學波束之一可變形狀、可變方向、或可變發散度。

#### 【圖式簡單說明】

【0035】本揭露將以舉例方式參照附圖作說明，其中：

【0036】圖1繪示一汽車光雷達系統之一實例。

【0037】圖2繪示一光雷達系統之一實例。

【0038】圖3繪示一雷射光產生模組之一實例。

【0039】圖4A至4C繪示光子積體電路之實例。

【0040】圖5繪示一波束操控模組之一實例。

【0041】圖6繪示一接收器光子積體電路之一實例。

【0042】圖7A至7D繪示一像素設計之實例。

【0043】圖8繪示一MEMS為基之光雷達系統之一實例。

【0044】圖9繪示一偵檢陣列之一實例。

【0045】圖10繪示一MEMS為基之光雷達系統之一

實例。

【0046】圖11A至11B繪示一光柵式耦合器之實例。

【0047】圖12繪示一收發器光子積體電路之一實例。

【0048】圖13繪示一波束操控與收發器模組之一實例。

【0049】圖14繪示一整合式光雷達系統之一實例。

【0050】圖15繪示一整合式光雷達系統之一操作實例。

【0051】圖16繪示一3D相機模組之一實例。

【0052】圖17繪示一光子積體電路之一實例。

【0053】圖18繪示一光子積體電路之一操作實例。

【0054】圖19繪示一兩級式放大器之一實例。

【0055】圖20繪示一整合式FMCW（調頻連續波）傳送器之一實例。

【0056】圖21至26繪示一高功率FMCW光學傳送器之實例。

【0057】圖27繪示一星形耦合器中之一空間光束剖面之一實例。

【0058】圖28繪示一高功率光學傳送器之一操作實例。

【0059】圖29繪示一I/O調變器之一獨立組態之一實例。

【0060】圖30A至30C繪示同調接收器之實例。

【0061】圖31至32連同本地振盪器分布波導繪示像素之實例。

【0062】圖33繪示一光子積體電路之一實例。

【0063】圖34繪示一光子積體電路之一操作實例。

【0064】圖35A至35B繪示一收發器之一實例。

【0065】圖36繪示含有一收發器與一光學相位陣列之一整合式系統之一實例。

【0066】圖37A至37B繪示一光子積體電路之一實例。

【0067】圖38A繪示一波束操控光子積體電路之一實例。

【0068】圖38B繪示一波束操控光子積體電路之一操作實例。

【0069】圖38C繪示一光柵式耦合器陣列之一實例。

【0070】圖39繪示用於對一光束之一角度進行控制之一回授迴路之一實例。

【0071】圖40A至40C繪示開關與光柵式耦合器之系集之實例。

【0072】圖41A至41C繪示光子積體電路之一實例。

【0073】圖42至44繪示包括一整合式晶片上操控機制之一光子積體電路之一實例。

【0074】圖45A至45C繪示包括一整合式接收器陣列、傳送器、及數位操控陣列之一光子積體電路之一實例。

【0075】圖46繪示一光子積體電路之一操作實例。

【0076】圖47繪示一光學處理模組之一實例。

【0077】圖48繪示一光子積體電路之一實例。

【0078】圖49繪示一波束操控模組之一操作實例。

【0079】圖50繪示一像素陣列之一實例。

【0080】圖51至53繪示用於一光子積體電路之一樣



本胞元之一實例。

【0081】圖54繪示一時域閘偵檢之一實例。

【0082】圖55繪示包括一光產生模組、傳送器模組、及接收器模組之一光子積體電路之一實例。

【0083】圖56A繪示一光子積體電路之一實例。

【0084】圖56B繪示一電荷控制型開關之一實例。

【0085】圖57A至57B繪示光子積體電路之實例。

【0086】圖58A至58G繪示一相位陣列架構之實例。

【0087】圖59繪示一光子積體電路之一實例。

【0088】圖60繪示一傳送器模組之一操作方法。

【0089】圖61繪示一平衡接收器之一操作方法。

【0090】圖62繪示一操控模組之一操作方法。

【0091】圖63繪示一整合式FMCW掃描傳送器之一操作方法。

【0092】圖64繪示一整合式調幅收發器之一操作方法。

【0093】圖65繪示一多波長調幅傳送器之一操作方法。

### 【實施方式】

【0094】圖2根據一實例，為繪示一LIDAR系統100的一方塊圖。LIDAR系統100包括下列：一雷射產生模組101、一光學信號處理模組102、複數個波束操控模組103、複數個偵檢模組104、以及一電子信號處理模組105。雷射產生模組101產生具有已定義光譜與功率特性之雷射光。可經由光纖將該光傳送至一光學信號處理模組102，在一實例中，該光學信號處理模組包括一光子積體電路

(PIC)，其進行複數種被動及主動光學功能，以建立具有已調適振幅、相位及光譜特性之一個或多個光學信號。與一多組件方法相比，使用一傳送器PIC之優點包括能夠對該光學信號進行複雜處理、以及具有越來越複雜的功能，用於降低成本及提升效能。該光學信號處理模組所處理之複數個光學信號係經由光纖予以發送至分布於車輛周圍之複數個波束操控模組103。波束操控模組103引導複數條光學波束朝向目標。各波束操控模組103控制出射光學信號之水平與垂直角度。回傳光學信號可藉由偵檢模組104來偵檢，在一實例中，該偵檢模組包括含有一感測器陣列503、一本地振盪器控制與分布區段504、以及使用一同調偵檢技巧之一PIC 408。在一實例中，一回傳光學信號可藉由包括一直接強度偵檢器陣列之一偵檢模組來偵檢。藉由偵檢模組104轉換成一電氣信號之光學信號可藉電子信號處理單元105來處理，並且可量化與該等目標之位置及速率有關之資訊。在一實例中，所使用之光學信號可在1530 nm至1565 nm範圍內，以利用更高的最大允許曝光限制、及低背景光學雜訊。在一實例中，該等傳送器與接收器PIC係使用一矽光子(Silicon Photonics)平台來實施。圖1所示為汽車平台中模組式結構整合之一方塊圖描述。在一實例中，雷射光產生模組101、光學信號處理模組102、以及電子信號處理模組105位於元件11中央。在一實例中，各對波束操控模組103與偵檢模組104共置於元件12中，並且係透過光纖及電氣鏈路13連結自元件11。

**模組：**

**雷射光產生模組**

【0095】如圖3所示，雷射光產生模組101可包括一低光功率主振盪器，後接一單級式或兩級式放大器。在一實例中，該主振盪器可以是一低功率單縱向與橫向模式連續波二極體雷射，諸如一分散式回授(DFB)雷射或分散式布拉格反射器(DBR)雷射。來自單模雷射111之信號可透過光纖112耦合到光纖放大器113內。可經過纖維114透過隔離器115及放大自發射(ASE)濾波器116將來自第一級之輸出導引至一光纖放大器117之一第二級。可經過隔離器118與ASE濾波器119透過纖維120導引該放大器之第二級之輸出。該放大器之第一級可以是在一小信號/高增益典則中操作之一單包層或雙包層摻雜光纖放大器，並且該放大器之第二級可以是在飽和中操作之一雙包層摻雜光纖放大器。在一實例中，該系統之操作波長可以是1550 nm、或電信窗之C與L波段內之任何其他波長。也可使用介於1微米至2微米之間的其他波長。在以1550 nm操作之系統之一實例中，該光纖放大器之第一級可以是Er或Er/Yb摻雜光纖放大器，而第二級則可以是一Er/Yb摻雜光纖放大器。設計旨在於1550 nm附近提供信號放大之鉕摻雜光纖放大器中，寄置於玻璃中之鉕離子具有原子級結構，用以實現反轉，從而還有以1550 nm為中心之波長帶中之雷射作用。雷射發射帶(以及泵浦帶)是由摻質(在這種情況下為鉕離子)及母質材料判定。如果期望不同操作波長，除了變更雷射源之操作波長以外，還可在光纖放大器中使用一不同摻質離子/玻璃母質組合，以便使雷射發射帶從而還有光纖放大器之放大窗偏移至所欲波長。此一不同狀況之一實例包括將一鈣離子當作一摻質用於在1.9微米至2微米波長附

近操作之一光纖放大器。在一實例中，主雷射可以是一單縱模DFB或DBR雷射，但也可使用其他類型之雷射源。在各種實例中，雷射光產生模組中可使用其他雷射光源或來源組態。

### **光學信號處理模組**

【0096】可透過光纖120將雷射產生模組101所產生之信號發送至光學信號處理模組102，其進行複數種被動及主動光學功能，諸如多工處理、解多工處理、波長選擇性耦合、波束分歧、定向切換、偏振分歧、偏振旋轉、隔離、偵檢以及雷射波長轉換，用以建立具有已調適振幅、相位、及光譜特性之多個光學信號。該光學信號處理模組所具有之任務為，實施光學電磁場之振幅與相位之所欲調變方案，以達到測距之所欲範圍、解析度及準確度。該模組可由分立元件所構成，或可整合到一光子整合式平台、或PIC中。用於整合之材料系統實例包括矽絕緣體、三族與五族半導體、以及矽上玻璃。

【0097】在一實例中，光學處理模組102包括使用矽絕緣體技術建置之一PIC 200。圖4A至4C所示為PICS之實例。在一實例中，可透過一光柵式耦合器201將信號耦合到PIC 200內，並且可將信號導引至一1×2多模干涉(MMI)波導陣列202，該等波導將輸入信號分成在多個波導中行進之複數個信號。可將收集MMI之輸出之各波導208中之信號分成分別在波導206與207中行進之一第一與一第二光學信號。在對應於一條通道之各對中，可在波導206其中一者上實施一調相與調幅元件203以調變第一光學信號，而另一個波導207則沒有實施其他組件。可將相

位與振幅控制實施為用於PIC實例300之兩個循序分離元件，諸如303與304，或者實施為進行兩功能之一個元件，諸如用於PIC實例200之IQ調變器203。可實施各種技術使光場之相位與振幅獨立，諸如一Si波導中之電流注入、電或熱控型馬赫任德干涉儀、IQ調變器組態、或任何其他組合。在一實例中，可使用電荷控制型馬赫任德組態，以便提供從數MHz到25 GHz至30 GHz之一調幅速率範圍。可同時疊加不同頻率之多個調變信號，以便實現定義之範圍與解析度。在另一實例中，可使用一電荷控制型調相器來調變從數MHz到25 GHz至30 GHz之一頻率範圍內之光場之相位。在相位與振幅控制元件之後，將波導206與207中行進之第一與第二光學信號耦合，使之分別透過光柵式耦合器204與205離開PIC。圖4A及4B所示為用於4條通道之PIC之一實作態樣的一示意圖。其他實例可具有更多或更少通道。在其他實例中，輸入與輸出光柵式耦合器可藉由絕熱錐形波導端耦合器來取代。

**【0098】** 在一實例中，傳送器PIC可實施於矽絕緣體中，其頂端矽層為220 nm或480 nm厚，埋入式氧化物層為2微米厚，但可使用其他基材，諸如自500 nm至10微米範圍內之頂端Si層。在另一個實例中，可使用不同埋入式氧化物厚度、以及在埋入式氧化物與Si磊晶層之間含有用於光柵區段之矽與氧化物交替層的多層設計，以便改善光柵對纖維耦合效率。除了所述實例以外，還可在傳送器PIC中，單塊地或透過混合式整合實現任何其他被動或主動光學功能，諸如多工器、解多工器、波長選擇性耦合器、分束器、開關、偏振分歧器、偏振旋轉器、隔離器、偵檢器、

以及雷射源。

【0099】在另一實例中，可搭配一頻率啁啾調變方案使用具有一不同組態之一PIC，諸如圖4C中所述者。

### **波束操控模組**

【0100】可透過光纖403將大量第一輸出光學信號各從光學處理模組200之光柵204發送至一波束操控模組401，如圖5所示。在一實例中，用於傳輸之纖維可以是攜載一1550 nm雷射信號之單模纖維。圖5所示為波束操控單元之一實例。

【0101】準直器404使來自纖維403之光準直，將該光發送至可將其反射到MEMS反射鏡406之一固定式反射鏡405。MEMS反射鏡406在水平與垂直方向執行一柵格或李沙育圖型。在一實例中，水平軸上之頻率可以是10 KHz，而垂直軸上之頻率可以是10.2 KHz，並且兩者都是反射鏡之共振頻率。可將其他範圍用於水平與垂直。在一實例中，可使用柵格圖型，其中水平軸可在高頻率(諸如10 KHz至30 KHz範圍內)之共振下受到驅動，而垂直軸則可根據所欲框率在顯著低於該共振頻率(諸如介於50 Hz與100 Hz之間)之準靜態典則內受到驅動。在另一實例中，兩軸都是使用產生一李沙育圖型之正弦函數在共振下受到驅動。在這種狀況中，取決於反射鏡之物理設計，水平與垂直軸之驅動頻率都可在10 KHz至30 KHz之範圍內。該等驅動頻率之間的離距判定該框率。如此，水平與垂直軸動作之間的較佳頻率離距可在50 Hz至200 Hz之範圍內，以便以一更大離距實現所欲框率，從而使反射鏡更容易製造。此頻率範圍內之操作可較不易受汽車機械振動影響。在一實例

中，垂直角度範圍可以是25度而水平角度範圍可以是40度。可將離埠之第一光學信號波束從目標反射出去，並且反射之信號波束有一部分可藉由透鏡407來收集，並且聚焦在偵檢器陣列408上。

【0102】一系統中可使用一個或多個各對應於一條通道之波束操控單元。

### 偵檢模組

【0103】要偵檢之信號若非常弱，並且可能受到各種光學雜訊源影響時，光學外差偵檢為一種有效測量技術。另外，除了振幅，其還能夠進行相位測量。在一光學外差設置中，可將與待偵檢信號之頻率接近之一光學頻率下之一本地振盪器信號、及待測量信號混波。混波之結果可包括一振盪分量，其具有與該兩個光學信號之間的差異相等之一頻率，並且其振幅可與該本地振盪器之功率成比例，如下式所述：

$$I_1(t) = \frac{R}{2} * [P_s(t) + P_{LO}(t) + 2 * \sqrt{P_s(t) * P_{LO}} * \cos(\omega_{IF} * t + \theta_{sig}(t) - \theta_{LO}(t))]$$

其中R可以是該偵檢器之響應度， $P_s(t)$ 可以是該信號之功率， $P_{LO}(t)$ 可以是該本地振盪器之功率， $\omega_{IF}$ 可以是該本地振盪器與該信號之間的頻差，以及 $\theta_{sig}(t)$ 和 $\theta_{LO}(t)$ 是該兩個光學信號之時間相依相位。

【0104】 $P_s(t)$ 與 $P_{LO}(t)$ 分量在光學頻率下振盪，因此偵檢器將兩者看作是直流分量。最後一項在更低中頻 $\omega_{IF}$ 下振盪，其可藉由偵檢器來偵檢，並且可與 $P_{LO}$ 成比例，使要測量之弱 $P_s(t)$ 信號有效放大。

【0105】在一實例402中，偵檢模組104包括一準直透鏡或多透鏡成像總成407及一接收器PIC 408，如圖6所示。接收器PIC 408包括一N乘M像素陣列503、一本地振盪器分布與控制區段504，在一實例中，其可包括一開關陣列及一光柵式耦合器501，如圖6所示。有數種方法可用於提供所欲視場及解析度。Aflatouni等人所用之一種方法包括使用少量像素，並且使成像器機械性偏移以循序建立一影像，隨後處理所獲取之影像。對於自動車LIDAR之高解析度即時影像獲取要求(例如，每秒幾百萬點)，此一方法在商業上不可行。為了達到所欲解析度與速率，所欲為能夠以50 Hz至200 Hz之框率同時擷取大量像素之陣列。在一實例中，接收器PIC 408包括一512乘300像素陣列。1.5至2之一比率對於水平與垂直像素數可有利於與汽車應用之更寬水平與垂直所欲視場有相關。在其他實例中，可使用其他解析度，諸如854乘480或1024乘600與非標準格式、及不同像素設計，諸如像素設計實例600、700、800、900，以及偵檢模組實例402之所需視場，如圖7A至7D所示。

【0106】該等第一光學信號中之各者一旦命中一目標位置，如受到對應之波束操控單元401控制，從一目標散射之信號有一部分便可藉由透鏡407來收集，並聚焦在接收器PIC 408之像素陣列503上。一光柵式耦合器601將回傳光耦合到平面型電路內。

【0107】來自傳送器PIC 200之該等第二光學信號各



可透過一光柵式耦合器501予以耦合到該等接收器PIC 408其中一者中，並且可透過一絕熱耦合器予以從該光柵式耦合器導引到一單模波導內。接著，可將第二光學信號導引到本地振盪器分布與控制區段504，在一實例中，其可包括一1x2光開關串級502，該等光開關將第二信號路由安排至NxM像素陣列503之所欲區段。在一實例中，對應於水平方向之各列像素從光開關陣列504之一個或多個輸出接收第二光學信號。連接至本地振盪器分布與控制區域504之一個輸出的像素系集形成一區塊，並且該開關陣列之組態控制哪個區塊接收第二光學信號。可透過一3dB 1x2 MMI分歧器樹505，使來自本地振盪器分布與控制區域504之一輸出的各信號分成若干各進入一個胞元之相等強度信號，如圖6所示。圖7A至7D所示為樣本胞元示意圖。

【0108】各胞元600包括兩個光柵式耦合器601、一個1x2 3dB MMI耦合器602、兩個2x2 MMI耦合器603、以及4個波導偵檢器604。第二信號可透過波導605予以導引至1x2 MMI耦合器602之輸入，並且藉由該耦合器來均分。1x2耦合器602之輸出可藉由波導607來收集，並且可予以輸入到2x2 MMI耦合器603之諸輸入埠其中一者。偵檢器所接收之已散射第一信號可透過光柵式耦合器601予以耦合到PIC內，並且透過波導606予以導引至2x2 MMI耦合器603之另一輸入。2x2 MMI耦合器603用於將散射自該目標之第一信號與第二信號混波到2x2 MMI耦合器之兩個輸出波導內。可將2x2耦合器之輸出導引到波導偵

檢器604內，2×2 MMI 603之各輸出上有一個波導偵檢器，如圖7所示。在一同調偵檢技巧中，一平衡偵檢組態中使用兩個偵檢器將直流分量消除，從而使信號光電流達到最大。更具體而言，使光場入射到兩個偵檢器上之電場說明如下：

$$E1 = \frac{Es + ELO}{\sqrt{2}}$$

$$E2 = \frac{Es - ELO}{\sqrt{2}}$$

其中Es與ELO為信號與本地振盪器電場，而E1與E2為兩個偵檢器上之電場。

**【0109】** 兩個光偵檢器上之光電流由下式給定：

$$I1(t) = \frac{R}{2} * [Ps(t) + PLO(t) + 2 * \sqrt{Ps(t) * PLO} * \cos(\omega IF * t + \theta sig(t) - \theta LO(t))]$$

$$I2(t) = \frac{R}{2} * [Ps(t) + PLO(t) - 2 * \sqrt{Ps(t) * PLO} * \cos(\omega IF * t + \theta sig(t) - \theta LO(t))]$$

**【0110】** 減去兩個偵檢器之光電流後得到之光電流可由下式給定：

$$I(t) = I1(t) - I2(t) = 2R\sqrt{Ps(t) * PLO} * \cos(\omega IF * t + \theta sig(t) - \theta LO(t))$$

其中R可以是偵檢器響應度，Ps(t)與PLO(t)分別是信號與本地振盪器光功率， $\omega IF$ 可以是光學信號之調頻，以及 $\theta sig(t)$ 與 $\theta LO(t)$ 為光場之時間相依相位。可以看出，一個光偵檢器光電流減去另一者之後，由偵檢器看作是光學信號恆定(直流)分量之快速振盪項Ps(t)與PLO(t)相互抵消，並且結果可以是在 $\omega IF$ 中頻下並以振幅振盪之一信號

光電流  $2R\sqrt{P_s(t) * PLO}$ 。除了更高功率之PLO分量之放大效應以外，還可使振幅加倍，從而使偵檢靈敏度增大。

【0111】在一實例中，波導偵檢器為矽偵檢器上生長的銻。圖7B至7D所示為胞元700、800及900之替代設計。

### **MEMS 掃描器與偵檢器PIC之相關性**

【0112】對於一高密度偵檢器陣列與固定式本地振盪器雷射功率，如果隨時供應該陣列之所有像素，則每個像素之可用雷射光會太低，導致效能隨著該陣列中像素數量增加而衰減。舉例而言，對於100個像素之一小陣列，使用被動MMI樹將100 mW雷射分成100個波導以將本地振盪器光提供至100個像素會導致各像素之本地振盪器信號為1 mW，這可能充裕。以將該陣列縮放到100,000個像素來說明，每個像素隨時使用一100 mW來源、及供應所有像素之一靜態MMI樹的光量會使一像素將接收之本地振盪器信號降低至僅1微瓦，由於外差測量中本地振盪器之信號放大角色會消弱，從而導致偵檢器之效能衰減。由於這種效能衰減的關係，並且考慮到回傳信號在任何時間點只會入射在些許像素上，偵檢器陣列之選擇區段可能會一度敏化，使得本地振盪器光僅同時供應給陣列中有限數量之像素。這種方法使用前面說明之一動態本地振盪器控制技巧。敏化塊即被供應有本地振盪器信號之區塊，必須與MEMS反射鏡掃描器之位置有相關，如圖8所示。圖9及10所述為兩種同步化技巧。

【0113】在一實例中，本地振盪器分布與控制區段504將第二光信號之部分引導至陣列1001之一個區段，其上目前可入射回傳第一信號。第一信號之第二部分可用於使用一機率性演算法對陣列503之非敏化區段(諸如區塊1002)進行取樣，以便偵檢該陣列上來自目標第一信號之散射光可入射之位置中之不連續性。為了敏化某一區塊，組配切換區塊504中之開關，使得該等開關將本地振盪器光引導至所欲區塊。該陣列上已散射第一信號之入射位置中之不連續性一經偵檢，便可重新組配開關陣列504以從已識別區塊1002開始繼續測量回傳第一信號。

【0114】在另一個實例中，可使用監督脈衝通道來週期性地對該陣列之所有區塊進行取樣，以偵檢該偵檢器陣列上回傳信號入射位置中之一不連續性。在一實例中，脈衝光學信號具有1 KHz之重複率及1 KW之峰值功率。由於取樣光學信號中功率實質更高，所以該陣列之偵檢器可偵檢脈衝信號，而與該陣列之對應區段中第二光學信號本地振盪器之存在性無關。基於監督通道所提供之陣列資訊上之入射位置，開關陣列504可組配來敏化該陣列之該區段，一經敏化，回傳第一光信號便可入射。

### **光柵週期與入射角之相關性**

【0115】對於一基本矩形波導光柵式耦合器，光柵之週期可由下式給定：

$$w = \frac{\lambda}{n - \sin(\varphi)}$$

其中 $w$ 可以是光柵週期， $n$ 可以是波導中光之有效折射率， $\lambda$ 可以是光學信號之波長，以及 $\phi$ 可以是光柵之-1繞射級的角度。針對第一近似，為了使進到光柵之耦合達到最大，可選擇光柵之週期，諸如光柵之-1繞射級之耦合角，用以與光柵上之入射角一致，使回傳第一信號對應於光柵上之特定位置。

**【0116】** 針對各像素將回傳第一信號耦合到平面型電路內之耦合光柵對光柵上之入射角高度靈敏，從而對該陣列之表面上之入射角高度靈敏。損耗在該入射角偏離所設計光柵之入射角大於1度至2度時增大，因此，對於所有像素使用相同光柵設計將導致陣列區域中之高耦合損耗遠離最佳位置。舉一例來說，對於偏離最佳角度10度之角度，光柵耦合效率可能下降10 dB。由於偵檢器之視場可有數十度，在一實例中可為50度，未最佳化光柵中之耦合可能導致效能衰減。

**【0117】** 由於信號之回傳路徑可為已知，並且可藉由準直透鏡之中心及該陣列上之入射位置來定義，所以該陣列之各像素上之回傳信號之入射角可為已知。為了針對該陣列上每個位置處之光柵式耦合器維持最大耦合效率，可將該等光柵設計為具有不同參數，諸如從該陣列之一個區段到另一個區段之期間。如果使光柵變跡，光柵之週期、或週期函數可以是波束在該陣列之對應區段上之入射角之一函數，並且經最佳化以達成各像素之最大耦合。圖11所示為針對一恆定週期光柵用以說明基本原理之一簡圖。在

一實例中，靠近該陣列中心之胞元1003含有光柵設計1201，而位於從而對應於一更大入射角之該陣列之邊緣處之胞元1004包含光柵設計1202。在一實例中，光柵1202之光柵週期1208大約可由下式給定：

$$w2 = \frac{\lambda}{n2 - \sin(\varphi2)}$$

並且可與光柵1201之光柵週期1207有所不同，大約由下式給定：

$$w1 = \frac{\lambda}{n1 - \sin(\varphi1)}$$

以便使受導引波導模式波向量1204與用於光柵1201之-1繞射級波向量1203之間達到匹配條件，對於波導波向量1206與用於光柵1202之-1繞射級波向量1205之間也一樣。對於上面之公式，w1與w2分別是該兩個光柵之週期，n1、n2是該等波導光柵之有效折射率，而φ1與φ2是該兩個光柵之-1繞射級之角度(其對第一近似應該匹配第一個信號耦合角)。對於已變跡光柵，可調整變跡函數以與入射角有相關。

### **用於其他應用之模組式結構之變例 - 傳送器、接收器與雷射源之單晶片整合**

**【0118】** 儘管以上實例係有關於汽車及其他大型平台，但由於多種光學功能之晶片尺度整合方法，模組式系統100具有適用於其他小型應用之通用性。在一實例中，雷射光產生模組可僅含有一個雷射二極體晶片，其可與含

有一條或多條通道之傳送器PIC 200、以及與一個或多個波束操控模組實例401及偵檢模組實例402整合成一低成本、小型封裝體，適用於先進駕駛輔助系統(ADAS)、無人靶機、及小型機器人應用，還有其他應用。

【0119】在如圖12所示之一實例中，可直接在整合式矽晶片1300上接合一雷射光源1301。在一實例中，整合式矽晶片1300可含有單塊整合式傳送器功能與接收器功能、以及矽平台上接合之光學雷射光源。替代地，該雷射源可在透過一光柵或端耦合器耦合到矽晶片內之晶片及纖維外。

【0120】在圖12之所示實例中，可將來自雷射1301之光學信號耦合到一矽波導內，並且導引至分接頭耦合器1302之輸入，其將光學信號分成透過調幅器1304與調相器1303引導之一第一信號、以及朝向該輸入引導至開關陣列504之一第二信號，以提供用於感測器陣列503之本地振盪器光。第一信號可透過光柵式耦合器1305耦合而離開該晶片。可使用一絕熱波導耦合器，而不是光柵式耦合器1305。在這項實例中，該等傳送器與接收器功能全都可整合在相同晶片上，並且該雷射源晶片可直接附接至該矽晶片。可運用晶片1300作為圖13所示波束操控與偵檢模組1400之部分。在所示實例中，來自光柵式耦合器1305之第一光學信號可藉由透鏡1401來準直，並且予以引導至反射鏡1402。可將從反射鏡1402反射之信號引導至MEMS反射鏡1403。可引導MEMS反射鏡1403所反射之第一光學信號

朝向目標。該反射鏡執行一柵格或李沙育圖型以覆蓋所欲視場。在一實例中，視場可垂直25度及水平50度。從目標反射之第一光學信號可藉由感測器陣列504之光柵601來耦合，與陣列504中之本地振盪器組合，並且轉換成一電氣信號。上述實例將一矽絕緣體平台用於整合，但在其他實例中，可使用諸如InP之其他材料。

### ***使用相位陣列操控之單晶片解決方案架構***

**【0121】** 在圖12所示之前述實例中，操控機制可藉由位於整合式傳送器接收器(收發器)晶片外側之一MEMS反射鏡來提供。用於操控機制之一替代方法可使用光學微型天線或發射器之一光學相位陣列。在某些實例中，該等光學微型天線可稱為光學耦合器。在光學微型天線之一相位陣列中，各天線可藉由將一光柵蝕刻到一波導內來施作，其將光從波導輻射出去。藉由使用此類發射器之一二維陣列，例如一32×32或64×64發射器陣列，可藉由源自不同發射器之波前之疊加在遠場中產生一干涉圖型。含有一個強中央最大值、及受10 dB或以上抑制之旁瓣之一遠場圖型可在該遠場中取得，其具有發射器陣列之適當設計參數。藉由控制各微型天線所發射之光之相位，可變更中央最大位置，藉此實質建立一二維操控機制。可使用更大之發射器陣列，例如128x128或更小者，諸如16x16。一更大陣列可建立一更低發散度波束、及潛在更好之旁瓣抑制，但隨著與控制天線相關聯之移相器數量增加，操控所需之功率可更高。諸如16x16之一更小陣列可具有更低之



功率消耗，但對於相同的天線間隔，也有更大之波束發散度及更少之旁瓣抑制。

【0122】一相位陣列之一優點可在於可將其與一收發器設計整合，舉例如圖12所示，從而建立一單晶片LIDAR解決方案，在相同半導體平台上將傳送器、接收器及波束操控這三種功能全都併入。圖14所示為此一單晶片解決方案(例如，整合式光雷達系統)之一實例。在該實例中，可將來自雷射1501之信號耦合到波導內，並且朝向1x2 MMI波導1502引導。1x2 MMI波導1502將光學信號分成一第一光學信號與第二光學信號。可將第一光學信號引導至調相器1503及調幅器1504，然後引導至1x2 MMI波導1508之輸入。可引導第二光信號朝向開關陣列504，以將一本地振盪器提供至感測器陣列503。1x2 MMI波導1508將第一光學信號分成受引導朝向兩個1x2 MMI樹1505之兩個相等分量。該等MMI樹將該信號分成複數個相等之分量。在一實例中，上MMI樹1505產生512個相等信號輸出，而下MMI樹產生512個相等信號輸出。可透過一波導將各相等信號輸出引導至複數個調相器1509其中一者。調相器1509為兩個調相塊1506其中一者之部分。可有與上MMI樹1505之一輸出耦合之一上調相塊1506、以及與下MMI樹1505之一輸出耦合之一下相位調相塊1506。各調相器1509之輸出與設置於一微型天線陣列1507中之複數個微型天線其中一者耦合。可獨立地控制各調相器1509，以獨立地控制由形成微型天線陣列1507之各該微型天線

所發射之對應光學信號之相位。

【0123】藉由使透過微型天線陣列1507離開晶片之出射光學信號變更相位之分布，可在所欲方向引導該光束。基於由微型天線陣列1507所發射之光學信號之相對相位分布，可控制光束之中央干涉最大值以使位置偏移。圖15所示為一實例。跨離開微型天線陣列1507之光學信號陣列之一第一相位分布針對第一光學信號在遠場中建立干涉圖型1601。跨離開微型天線陣列1507之光學信號陣列之一第二相位分布針對第一光學信號在遠場中建立干涉圖型1602，其在該兩個位置之間具有波束之操控作為一淨效應，一個位置與干涉圖型1601相關聯，而另一位置與干涉圖型1602相關聯。由目標散射之第一光學信號可藉由透鏡1603來收集，並且受引導朝向系統單晶片1500上之感測器陣列503。在一實例中，用於建立系統單晶片1500之材料系統可以是矽絕緣體，並且操作波長可以是1550 nm。

### **系統方塊圖**

【0124】圖16繪示一光學3D成像相機系統1650之一實例。一光學信號產生源可產生具有已定義光譜與功率特性之雷射光。可經由光纖或透過自由空間傳播將該光傳送至一光子積體電路1651。圖16所示之3D成像相機系統可包括一光子積體電路(PIC) 1651，其可以進行複數種被動及主動光學功能，以建立具有已調適振幅、相位與光譜特性之一個或多個信號，引導光束朝向一目標，以及偵檢一感測器陣列上之回傳信號。在一實例中，PIC 1651可包括

一傳送器模組1701、一操控模組1702以及一接收器模組1703，如圖17所示。可使含有用於傳送器、操控與接收器塊、以及同步化電路系統1704之電氣驅動器的一功能塊整合於晶片上或與該晶片分離。具有已調適振幅、相位與光譜特性之離埠光學信號可藉由光學信號產生源及傳送器模組1701來產生，並且藉由可為PIC 1700之部分的操控模組1702予以朝向一目標引導。該光學信號可藉由感測器陣列予以轉換成一電氣信號，該感測器陣列為PIC 1700之接收器模組1703之部分。由接收器模組1703所產生之複數個電氣信號可藉由電子信號處理模組來處理，其在一實例中可包括一影像信號處理器1652。藉由分析PIC 1651所產生之複數個電氣信號，可量化與目標之位置、速度及反射率有關之資訊。可藉助於軟體對影像信號處理器1652所產生之信號進執行複數個分析，以建立一點雲，其包含與週圍環境有關之速度、距離及反射率資訊。在一實例中，所使用之光學信號可在1530 nm至1565 nm範圍內，以利用更高的最大允許曝光限制、及低背景光學雜訊。在一實例中，該等傳送器、操控與接收器模組可以是一PIC之部分，並且可使用矽光子(Silicon Photonics)平台來實施。圖16所示為模組式結構之一方塊圖描述。

### **光學信號產生源**

【0125】在一實例中，光學信號產生源可包括具有單一橫向模式與單一縱向模式之一DFB或DBR雷射。在一項實例中，光學信號產生源可具有對應於一長同調長度之

一窄線寬。在一實例中，雷射之線寬可小於250 KHz，對應於超過400 m之一同調長度。在另一實例中，可使用線寬在自10 KHz至10 MHz範圍內之雷射，並且輸出功率可在5 mW至200 mW之範圍內。在另一實例中，可使用一主振盪器、功率放大器組態來達到諸如在200 mW至20 W範圍內之高光學信號功率。

【0126】在一實例中，光學信號產生源可包括一低功率主振盪器，後接一單級式或兩級式放大器。在一實例中，該主振盪器可包括一低功率單縱向與橫向模式連續波二極體雷射，諸如一分散式回授(DFB)雷射或分散式布拉格反射器(DBR)雷射。圖19繪示一兩級式放大器1900之一實例。在兩級式放大器1900中，來自一單模雷射1901之一信號可透過一光纖1902耦合到一光纖放大器1903內。可經過一纖維1904透過隔離器1905及放大自發射(ASE)濾波器1906將來自一第一級之輸出導引至一光纖放大器之一第二級。可經過隔離器1908與ASE濾波器1909透過纖維導引該放大器之第二級之輸出。該放大器之第一級可包括在一小信號/高增益典則中操作之一單包層或雙包層摻雜光纖放大器，並且該放大器之第二級可包括在飽和中操作之一雙包層摻雜光纖放大器。在一實例中，該系統之操作波長可以是1550 nm、或電信窗之C與L波段內之任何其他波長。也可使用介於1微米至2微米之間的其他波長。在以1550 nm操作之系統之一實例中，該光纖放大器之第一級可包括Er或Er/Yb摻雜光纖放大器，而第二級則可包括一

Er/Yb摻雜光纖放大器。在設計旨在於1550 nm附近提供信號放大之鉕摻雜光纖放大器中，寄置於玻璃中之鉕離子可包括原子級結構，用以實現反轉，從而還有以1550 nm為中心之波長帶中之雷射作用。雷射發射帶(以及泵浦帶)可由摻質(在這種情況下為鉕離子)及母質材料判定。如果期望不同操作波長，除了變更雷射源之操作波長以外，還可在光纖放大器中使用一不同摻質離子/玻璃母質組合，以便使雷射發射帶從而還有光纖放大器之放大窗偏移至所欲波長。此一不同狀況之一實例包括將一鈳離子當作一摻質用於在1.9微米至2微米波長附近操作之一光纖放大器。在一實例中，主雷射可包括一單縱模DFB或DBR雷射，但也可使用其他類型之雷射源。在各種實例中，雷射光產生模組中可使用其他雷射光源或來源組態。在一實例中，兩級式放大器1900之輸出功率可在200 mW至5 W之範圍內。

### **光學信號處理模組**

【0127】可透過光纖、或透過自由空間將雷射產生模組所產生之信號發送、及耦合到光學信號處理模組內，其可進行複數種被動及主動光學功能，諸如多工處理、解多工處理、波長選擇性耦合、波束分歧、定向切換、偏振分歧、偏振旋轉、隔離、偵檢以及雷射波長轉換，例如用來建立具有已調適振幅、相位、及/或光譜特性之一或多個光學信號。另外，該光學信號處理模組可進行之任務為，實施光學電磁場之振幅及/或相位之所欲調變方案，以達到測距之所欲範圍、解析度及準確度。該模組可由分立元件所

構成，或可整合到一光子整合式平台、或PIC中。用於整合之材料系統實例包括矽絕緣體、三族與五族半導體、以及矽上玻璃。在一實例中，光學信號處理模組1700在一實例中可以是一PIC，可包括一傳送器塊1701、一操控塊1702以及一接收器塊1703。

【0128】在一實例中，該光學處理模組可包括使用矽絕緣體技術建置之一PIC。在一實例中，可將該信號透過一光柵式耦合器、自由空間耦合器耦合到該PIC內，或直接對接耦合到該傳送器模組內，其可以是該PIC之部分。圖20繪示一光學傳送器2000之一實例。可透過一波導將來自光學信號源2001之信號導引至同相/正交(I/Q)調變器2002之輸入。來自I/Q調變器2002之輸出的信號可藉由1×2 MMI分歧器2003予以分成2個分量：一者係透過波導2004予以引導至接收器模組，而另一者係透過波導2005予以引導至操控模組。I/Q調變器具有將頻率為 $f_0$ 之光學信號轉換成一啾頻信號之角色，該啾頻信號之頻率於長度 $t_0$ 之一斜坡週期內在 $f_0+f_{IF1}$ 至 $f_0+f_{IF2}$ 之間線性變化。在一實例中，I/Q調變器中之輸入光學信號之頻率可大約為對應於1550 nm波長之193.54 THz，並且可於一10微秒斜坡長度期間在193.54 THz + 1 GHz與193.54 THz + 11 GHz之間線性偏移。可使用諸如100 ns至1000 ms之其它斜坡長度，也可使用諸如自1 MHz至200 GHz之其他光學信號波長與頻率啾。調頻之寬度可取決於所欲系統解析度及準確度來選擇，因為解析度及準確度可與調變頻寬成反

比，如下式所示：

$$\Delta R = c/2B$$

$$\sigma R = Kc/B\sqrt{SNR}$$

其中 $\Delta R$ 可表示解析度， $c$ 可表示光速， $B$ 可表示啁啾頻寬， $\sigma R$ 可表示準確度， $SNR$ 可表示信號雜訊比，以及 $K$ 可表示取決於啁啾波形之一比例因子。可將諸如一Si波導中之電流注入或空乏、可在馬赫任德干涉儀或環形調變器組態中使用之電或熱控型相移技術等各種技術實施成I/Q調變器2002之部分。在一實例中，電荷控制型移相器2006可用在可以是I/Q調變器2002之部分的兩個馬赫任德調變器之臂件中。I/Q調變器之輸出可分成兩個分量，一者係在晶片上朝向接收器模組受引導以提供本地振盪器光，而另一者係予以朝向操控模組發送而受進一步引導朝向目標。在一實例中，可在具有220 nm頂層矽厚度及500 nm波導寬度之一矽絕緣體平台中實施含有一I/Q調變器之傳送器模組。對於波導中之高光學信號功率密度，稱為雙光子吸收之一非線性程序初發。雖然矽由於光子能量低於能隙而在1550 nm波長下可為透明，但隨著波導中功率密度增大，諸如因波導截面小而增大，可相配合地吸收兩個光子，以將一電子從價帶移動至傳導帶，該兩個光子之吸收從而建立光學信號之損耗。另外，隨著傳導帶中電子數量增加，會出現一二階效應，亦即，將會從光場吸收能量之傳導帶中因載子累積所造成之自由載子吸收。結果是，波導中之

吸收會增大，傳播損耗從而也會增大。舉例而言，就高度為220 nm且寬度為450 nm之一條形波導，對於低至10 mW之功率，可觀測雙光子吸收之初發，而對於50 mW，可預期一3 dB/cm附加損耗。各波導中之最大功率可保持低於供雙光子吸收初發之臨界值，例如用來使雙光子吸收造成之損耗降到最低。在一實例中，可藉由平行操作多個同步化I/Q調變器來建立例如具有400 mW輸出功率之一高光學輸出功率傳送器，如圖21、22、23、24、25及26所示。輸出功率範圍在50 mW至5 W之裝置亦可藉由使用更少或更大量平行通道來建立。

【0129】如圖21所示，可將光學信號產生源2101所產生之光學信號耦合到波導2102內，並且引導朝向一多模干涉波導(MMI) 2103之輸入。MMI 2103可將頻率為 $f_0$ 之信號分成頻率為 $f_0$ 之N個光學信號。來自MMI 2103之輸出的諸信號各可透過一I/Q調變器2104予以路由安排，其可使光學信號頻率從 $f_0$ 偏移到介於 $f_0+f_{IF1}$ 至 $f_0+f_{IF2}$ 之間的一頻率。各I/Q調變器之輸出可透過一移相器2105來引導，若必要，其可在耦合到MMI 2106之N個輸入前先進行任何相位校正。MMI 2106之組合輸出可透過波導2107來路由安排至一1x2 MMI分歧器2108，並且分成可在晶片上朝向操控模組或一外部操控組件予以路由安排之一探測光學信號2110、以及可在晶片上朝向接收器予以路由安排1x2 MMI 2108之第二輸出2109，以提供用於接收器塊之本地振盪器。



【0130】在圖22所示之另一實例中，離開I/Q調變器2203之該等信號未復合，以便使波導區段之長度縮到最短，其中一波導中之功率密度可高於雙光子吸收變顯著之臨界值。而且，隨著信號進一步分歧，如果探測信號受引導朝向晶片上相位陣列，並且本地振盪器信號受引導朝向同調感測器陣列之多個像素部分，則信號未復合之一架構可為較佳。這種架構使晶片上光徑減少組件數量，從而降低損耗。圖23所示為適用於晶片外操控之另一實例，舉例來說，其將2軸反射鏡用於探測信號或閃光照明整個場景，而圖24所示為一獨立之更高功率傳送器。

【0131】在另一實例中，可使用後面緊接一星形耦合器之一光柵來實現傳送器，使得光學信號產生源所產生之高功率波束可立即在矽層內之一更大截面上方擴展，從而避免可實現高於雙光子吸收臨界值之高功率密度的任何區段。圖25所示為此一架構。圖25展示一實作態樣，其中頻率介於 $f_0+f_{IF1}$ 與 $f_0+f_{IF2}$ 之間的複數個光學信號未復合，也未予以直接朝向晶片上操控模組發送，以分別提供要朝向目標與晶片上接收器發送之探測信號，為本地振盪器光作準備。

【0132】圖26所示為另一實例，其包括用於場景之晶片外操控或閃光照明之一結構。在一外部操控組態中，來自光源之信號可予以透過光柵式耦合器2601耦合至PIC 2600之傳送器側，透過星形耦合器2602、然後透過進行頻率啣啾之I/Q調變器2604、再透過進行任何所需相位調整

之相位元件2605分布到波導2603內。探測信號可透過星形耦合器2607來收集，並且透過光柵2608耦合而離開晶片，以及受引導朝向用於準直之一透鏡，然後受引導至用於操控之一2軸操控反射鏡、或用於針對閃光/整個場景而調適視場之附加透鏡。可將一或多個信號2609路由安排至接收器塊供進一步區分，以將本地振盪器光供應至複數個像素。在一閃光組態中，探測信號可透過光柵2608耦合而離開晶片，並且具有以一透鏡或透鏡系集調適之發散度，如圖28所示。在一實例中，可將不等截面用於星形耦合器之輸入波導來設計星形耦合器2602，例如其中可在諸平行I/Q通道2604之間平均分布來自光柵之高斯剖面功率分布。同樣地，藉由使用如圖27所示具有非常寬筐2701之兩條外部通道來收集要供接收器塊用於本地振盪器之光，可使光功率之使用達到非常有效率，離埠探測波束之耦合從而還有光功率效率也良好。

**【0133】** 在一實例中，高功率、高速I/Q調變器可用在如圖29所示之一獨立組態中，以將固定頻率 $f_0$ 之光學信號轉換成頻率介於 $f_0+f_{IF1}$ 與 $f_0+f_{IF2}$ 之間的一啣啾光學信號。

**【0134】** 在一實例中，PIC之傳送器塊可實施於矽絕緣體中，其頂端矽層為220 nm或450 nm厚，埋入式氧化物層為2微米厚，但可使用其他基材，諸如範圍自500 nm至10微米之頂部Si層，以及0.5微米至3微米範圍內之埋入式氧化物層。為了避免諸如雙光子吸收及自調相等非線性

效應之初發，在波導中期望更高功率之某些實例中，使用一更厚頂端矽層會有助益。藉由增大波導截面，固定輸入功率下波導中之功率密度會降低，並從而避免前述非線性效應之初發。另一方面，使用一更厚矽層，且從而還有更大波導，對波導彎頭增大最小曲率半徑會有不利效應，這可在沒有顯著損耗之情況下實施。對於最佳系統設計，可選擇頂端矽層之厚度，從而還有波導之截面積，以使非線性效應之初發、及設計之緊湊性兩者最佳化。在另一個實例中，可使用不同埋入式氧化物厚度、以及在埋入式氧化物與Si磊晶層之間含有用於光柵區段之矽與氧化物交替層的多層設計，以便改善光柵對纖維耦合效率。除了所述實例以外，還可在傳送器PIC中，單塊地或透過混合式整合實現任何其他被動或主動光學功能，諸如多工器、解多工器、波長選擇性耦合器、分束器、開關、偏振分歧器、偏振旋轉器、隔離器、偵檢器、以及雷射源。

**【0135】** 在一實例中，圖30A所示為同調接收器之基本胞元。來自目標之弱回傳探測信號可透過晶片平面中之光柵式耦合器3001耦合，並且可與2x2多工器3003中之波導3002中之一強本地振盪器組合。各2x2多工器3003之輸出處有兩個波導偵檢器3004，其可在一頻率下偵檢一光學信號，該頻率等於本地振盪器與該回傳之間的差異。在一同調偵檢技巧中，一平衡偵檢組態中使用兩個偵檢器可將直流分量消除，從而使信號光電流達到最大。更具體而言，使光場入射到兩個偵檢器上之電場可說明如下：

$$E1 = \frac{Es + ELO}{\sqrt{2}}$$

$$E2 = \frac{Es - ELO}{\sqrt{2}}$$

其中Es與ELO可表示信號與本地振盪器電場，而E1與E2為兩個偵檢器上之電場。

【0136】兩個光偵檢器上之光電流可藉由下式表示：

$$I1(t) = \frac{R}{2} * [Ps(t) + PLO(t) + 2 * \sqrt{Ps(t) * PLO} * \cos(\omega IF * t + \theta sig(t) - \theta LO(t))]$$

$$I2(t) = \frac{R}{2} * [Ps(t) + PLO(t) - 2 * \sqrt{Ps(t) * PLO} * \cos(\omega IF * t + \theta sig(t) - \theta LO(t))]$$

【0137】減去兩個偵檢器之光電流後得到之光電流可藉由下式表示：

$$I(t) = I1(t) - I2(t) = 2R\sqrt{Ps(t) * PLO} * \cos(\omega IF * t + \theta sig(t) - \theta LO(t))$$

其中R可表示偵檢器響應度，Ps(t)與PLO(t)可分別表示信號與本地振盪器光功率， $\omega_{IF}$ 可表示光學信號之調頻，以及 $\theta_{sig}(t)$ 與 $\theta_{LO}(t)$ 為光場之時間相依相位。可以看出，一個光偵檢器光電流減去另一者之後，由偵檢器看作是光學信號恆定(直流)分量之快速振盪項Ps(t)與PLO(t)可相互抵消，並且結果可以是在 $\omega_{IF}$ 中頻下並以振幅  $2R\sqrt{Ps(t) * PLO}$  振盪之一信號光電流。除了更高功率之PLO分量之放大效應以外，還可使振幅加倍，從而使偵檢靈敏度增大。圖30A與30B所示為用於兩個並列像素之兩種組態。

【0138】圖31所示為一系列像素連同本地振盪器分布波導所組成之系集之一項實例。可使用圖30C與圖31中之

架構，以便增大接收器陣列之填充因子，因為只有由光柵式耦合器所覆蓋之PIC區域才能夠擷取入射到陣列上之光。在一實例中，各列胞元可透過兩個波導漸逝地耦合本地振盪器光。可在波導3101中從如像素結構3000之其他元件位於同一層中、及連接至本地振盪器分布網路(諸如3309)之波導3103耦合本地振盪器光。對於該列中之各像素，可透過一垂直耦合器，在下面之波導3102中，從波導3101漸逝地耦合一小部分光，如圖32所示。波導3101可位於波導3102上面，並且一垂直平面中可在兩個波導之間出現漸逝耦合。該垂直耦合器架構可允許非常精確地控制使兩個波導分離之氧化物層之厚度，並且連同該兩個波導之空間重疊之變化、或耦合器之長度，可允許精確地將光分布至各像素。

### 系統架構

【0139】取決於應用，可實施不同系統架構。舉例而言，對於短距應用，可要求非常低的功率消耗(諸如低於500 mW或更低)、非常高的準確度(諸如1 mm或更低)、以及小形狀因子。結果是，可同時照明整個場景之一閃光方法會更適合，因為這種方法可消除與一操控機制相關聯之功率消耗。一閃光方法之缺點會是光在多個像素上方擴展，因此會使信號雜訊比降低，其例如會導致一範圍縮小。對於需要長距之應用，會需要與一低發散度波束搭配之一操控機制，才能使得由回傳信號所覆蓋之像素數量可保持非常低，例如低至一個像素、或1至50個像素之範圍內，

並且結果是，各偵檢器之SNR可高至例如高於10 dB。

【0140】來自光學信號產生源之信號可透過晶片之平面中、及星形耦合器3302中之耦合器3301來耦合。可將星形耦合器之錐形波導3303中耦合之光學頻率為 $f_0$ 之光引導至複數個I/Q調變器3304之輸入。I/Q調變器可建立在 $f_0+f_{IF1}$ 與 $f_0+f_{IF2}$ 之間具有一線性啁啾頻率之複數個同步化光學信號。可引導複數個第一啁啾光學信號朝向接收器塊3305，以為接收器陣列提供一本地振盪器。複數個第二啁啾光學信號可藉助一光柵式耦合器3307上之一星形耦合器3306予以組合以經耦合而離開晶片，並且提供要朝向目標發送之一第二光學信號。第二光學信號可藉助如圖34所示之一透鏡3401來成形，如果用於照明整個場景，則可以根據應用要求，從低至10度到高至90度，取得離埠波束之最佳發散度與形狀。入射到接收器陣列上之已散射第二光學信號可在各像素上，與可透過動態分布網路作為本地振盪器提供之第一光學信號之一部分組合，圖30A至30C中有詳細展示。動態分布網路可包括由一 $1\times 2$ 開關樹3308所形成之一區塊，後接由一靜態MMI  $1\times 2$ 分歧器樹3309所組成之一區塊。含有開關之第一區塊可允許將本地振盪器光有效率地分布至恰好正在被讀取之像素，藉此避免功率消耗過度以及陣列加熱。對於閃光整個場景照明狀況，依序並以允許應用所需框率之速率序列式讀取像素區塊。

【0141】替代地，可與一外部操控機制、或電流級上肉眼可見之反射鏡搭配使用這種架構。在此一情境中，透

過光柵3307耦合而離開晶片之第二光學信號可用一透鏡來準直，並且予以發送至操控機制。透鏡可將波束準直至小於1度發散，以及低至0.1度。操控機制可掃描要成像之場景。入射到接收器陣列上之已散射第二光學信號可在各像素上，與已透過動態分布網路作為本地振盪器提供之第一光學信號之一部分組合，圖30A至30C中有詳細展示。在這種狀況中，透過1x2開關區塊樹實施之動態切換機制可與操控機制相關聯，使得已散射光學信號可入射之接收器之像素區塊可同時設置有用於透過外差偵檢機制進行最大放大之一本地振盪器。藉由如透過該系統以射線追蹤所判定之回傳散射波束在偵檢器陣列上之期望位置，針對外部操控機制判定正在被讀取之像素。

**【0142】** 圖35A和圖35B所示分別為替代架構，其使用一MMI代替一星形耦合器、以及端耦合器、或雷射3501與收發器3500之混合整合。

**【0143】** 在一實例中，該架構可包括如圖36所示之一晶片上、整合式光學相位陣列。一相位陣列之一優點在於可將其與一收發器設計整合，舉例如圖36所示，從而建立一單晶片LIDAR解決方案，在相同半導體平台上將傳送器、接收器及波束操控這三種功能全都併入。在光學微型天線之一相位陣列中，各天線可藉由將一光柵蝕刻到一波導內來施作，其將光從波導輻射出去。藉由使用此類發射器之一二維陣列，例如一32x32或64x64發射器陣列，可藉由源自不同發射器之波前之疊加在遠場中產生一干涉圖

型。含有一個強中央最大值、及受10 dB或以上抑制之旁瓣之一遠場圖型可在該遠場中取得，其具有發射器陣列之適當設計參數。藉由控制各微型天線所發射之光之相位，可變更中央最大位置，藉此實質建立一二維操控機制。

【0144】來自光學信號產生源之信號可透過晶片之平面中、及星形耦合器3602與波導3603中之耦合器3601來耦合。可將星形耦合器3602之錐形波導3603中耦合之光學頻率為 $f_0$ 之光引導至複數個I/Q調變器3604之輸入。I/Q調變器可建立在 $f_0+f_{IF1}$ 與 $f_0+f_{IF2}$ 之間具有一線性啁啾頻率之複數個同步化光學信號。可引導複數個第一啁啾光學信號朝向接收器塊3609，以為接收器陣列提供一本地振盪器。複數個第二啁啾光學信號受引導朝向操控塊，在一實例中，其可包括一光學相位陣列3610。光學相位陣列可對要朝向目標發送之第二光學信號進行波束成形與操控。光學相位陣列可由一信號分布樹所組成，該信號分布樹係由主動1x2開關3611及1x2固定比率50/50 MMI分歧器3612所組成。第二光學信號可從分布樹3611與3612受引導至各波導3613上之移相器，然後進一步受引導至光學天線陣列3610，其可在目標之方向輻射與陣列表面正交之光。入射到接收器陣列上之回傳已散射第二光學信號可在各像素上，與已透過動態分布網路作為本地振盪器提供之第一光學信號之一部分組合，圖30A至30C中有詳細展示。動態分布網路可由一1x2開關樹3607所形成之一區塊所組成，後接由一靜態MMI 1x2分歧器樹3608所組成之一區塊。含



有開關之第一區塊允許將本地振盪器光有效率地分布至恰好正在被讀取之像素，從而避免功率消耗過度以及陣列加熱。

【0145】使用開關區塊3611作為分布區塊之部分用於相位陣列3610，而不是完全被動之1x2 MMI，因為可即時調整輻射光學信號之天線子集，僅分布樹允許在波束成形中具有附加靈活性。在一實例中，藉由減少發射光之天線數量，可增大離埠波束之發散度。

【0146】圖37A及圖37B所示分別為替代架構，其使用一MMI代替一星形耦合器、以及端耦合器、或雷射3701與3D成像系統單晶片3700之混合整合。

#### **範圍、深度、水平與垂直解析度之動態控制**

【0147】在一調頻連續波/同調成像陣列系統中，總體素數可由像素數量與範圍元件數量間之乘積給定，並且可藉由下式與讀出率及啁啾斜坡有關：

$$N_{pix} * \frac{RSI}{\Delta R} = \gamma tr / 2$$

【0148】其中 $N_{pix}$ 可表示一像素數量，RSI可表示最大與最小範圍間之差異， $\Delta R$ 可表示範圍解析度， $\gamma$ 可表示感測器讀出率，以及 $tr$ 可表示啁啾斜坡之長度。最大範圍可藉由傳送器之輸出功率、及偵檢器放大因子來判定，範圍解析度與準確度可藉由啁啾之頻寬來判定，以及像素數量可透過接收器、或操控光學相位陣列參數採用電子方式來組配。在一實例中，可動態調整輸出功率、啁啾頻寬、

波束發散度及啁啾斜坡時間長度這四個參數，以取得用於3D成像系統之所欲成像解析度、視場及深度解析度。在一實例中，像素密度可以是 $640 \times 480$ ，範圍可以是200 m，範圍解析度可以是1 cm，與15 GHz之調變頻寬對應，斜坡時間可以是61.4 ms，以及讀出率可以是100 GS/s。可藉由將啁啾頻寬增大到45 GHz而將範圍解析度增大到3 mm，並且將像素之範圍或數量減少一對應因子，同時使啁啾斜坡長度與讀出率保持恆定。滿足以上公式之任何其他參數組合都可用於動態調整3D系統效能。這種動態參數調整可在低至數百奈秒內執行，因此，對於諸如受關注範圍、解析度、準確度、視場等變化更慢的參數，允許點對點參數調整長至數秒。

### **操控模組**

【0149】離埠光學波束中之功率密度可在遠場中維持一高值(例如，每平方毫米數mW)，例如用來實現一更長距之光雷達系統。為了達到高功率密度，離埠光學波束發散度可維持在非常低之位準(例如，小於0.5度)。使用光學相位陣列(OPA)方法令一波束動態波束操控、同時維持一非常低發散度在理論上有可能，但實際實作態樣會有技術難度。從一概念性觀點來看，一動態控制相位陣列可達到與一可變參數透鏡相同之目標，允許有能力使遠場圖型成形。以一OPA來說明，藉由獨立地控制複數個發射器之相位，遠場圖型可根據波束之所欲發散度及定位來調適。如果期望使一恆定發散度光學波束操控，則可使用一替代

方法。透過相位控制，而不是透過使波束之各參數成形，有效地複製一透鏡之功能，可使用一固定式透鏡，並且可動態地變更從一焦面出射之該或該等波束之原點。藉由動態地控制焦面中之發射位置，可以在遠場中取得不同角度，並從而取得入射位置。在一實例中，如圖38B所示，離埠光學波束可透過光柵式耦合器3806耦合而離開焦面陣列，從而相對透鏡以一個角度受該系統引導，或藉由重新組配該陣列，經耦合而透過光柵式耦合器3807出自焦面陣列，並且有別於第一角度，相對透鏡以一角度受引導離開該系統。

【0150】在如圖38A所示之一實例中，可透過波導3802將雷射束耦合到光開關3803之系集之輸入內。光開關3803之系集可引導波束朝向一個或多個光柵式耦合器3805。該等光柵式耦合器可耦合光使之離開焦面陣列，如圖38B所示。藉由重新組配光開關之系集，離埠光學波束可從焦面中之不同位置射出，並且從而以不同角度受引導。在一實例中，光柵式耦合器所覆蓋之面積可以是一6 mm乘6 mm面積，但可使用諸如1 mm乘1 mm之更小面積、或諸如15 mm乘15 mm或以上之更小或更大面積。在一實例中，光開關係集之組態可一次性將波束引導至一個光柵式耦合器，並且可經循序重新組態以將離埠波束引導至各光柵式離埠耦合器3805，從而在遠場中建立一雙軸角度掃描。在一實例中，光柵式耦合器陣列可以是一8×8耦合器陣列，從而允許64個分立方向用於離埠光學波束。可

建立諸如從4乘4至128乘128或更大之其它陣列尺寸，以取得16至16,384或更多分立方向用於離埠光學波束。另外，藉由適當選擇透鏡3808之參數，離埠光學波束可達到不同發散度。在一實例中，可以選擇透鏡參數與定位，以提供一0.01度低之角發散。可選擇相對光柵陣列參數之其他透鏡參數與定位，以提供範圍例如從0.01度至30度內之離埠波束發散度。在一實例中，為了使用一6 mm寬之光柵陣列來提供50度之視場，可使用具有一6.43 mm焦距之一透鏡。可使用其他焦距、陣列寬度與光柵陣列密度組合來建立具有一不同視場、及波束操控角解析度之一系統。

**【0151】** 在一實例中，可將開關系統集組配成1xN組態，其中以一串列方式將光學信號遞送至各該光柵式耦合器，一個光柵式耦合器實質耦合雷射之所有光使之同時離開光柵。替代地，在一實例中，可將1xN開關陣列中之選擇開關組配成一50/50/0 ... /0或其他比率組態，諸如10/90/0/ ... /0或任何其他組態，從而允許在焦面陣列中之不同位置並以不同強度同時耦合離開的光。基於離目標之期望距離，離埠波束之不同強度在不同角度可為最佳。在一實例中，以一個角度，一障礙物可位於離發射器2公尺處，並且將比第二離埠角度處之偵檢需要實質更小的功率，其中可在離發射器50公尺處偵檢第一障礙物。藉由改變在不同方向受引導之離埠雷射束之強度，可最佳化系統之功率消耗。圖39所示為一回授迴路之一實例。接收器陣列3903之光偵檢器所偵檢之信號可藉由像素信號處理模

組3904來處理，其如接收器區段中所述，測量回傳光場之頻率與振幅。可將振幅或信號強度資訊作為輸入提供至光學操控塊控制器3901，其使用該資訊來組配光學操控塊3902中之開關3803，例如一接收信號會弱之方向接收更多離埠光學信號功率，而接收信號會強之方向接收更少離埠光學信號功率，以便所有方向都達到最佳信號雜訊比。在一實例中，接收之光功率會因不同之離障礙物距離、障礙物之反射率、或朦朧物(*obscurant*)而造成在不同角度出現差異。

**【0152】** 在一實例中，用於建立 $1 \times N$ 開關系統之開關可處於一種 $1 \times N$ 開關組態、或 $N$ 個 $1 \times 2$ 開關之一樹、或任何其他組合。在一實例中，切換機制可以是處於一PN或PIN調相器組態中、以及使用一馬赫任德或環形開關架構組態之熱光、載子空乏或載子注入。

**【0153】** 在一實例中，可將開關系統布置成並聯與串聯組態之一組合，如圖40A至40C所示。可將來自雷射4001之光學波束耦合到波導4002內、及 $1 \times 2$ 開關樹4003內，其取決於組態，可將光學信號引導至一或多行光柵式耦合器4005。可透過波導4007將來自開關元件4003之信號耦合到一後續 $1 \times 2$ 開關4008之輸入內。在一種組態中，離開開關4008之輸出的光學信號可予以發送至耦合器4012，並且經耦合而離開晶片。在開關4008之一替代組態中，可將該開關之輸出引導至波導4009，並進一步引導至另一個開關4010之輸入。在一種組態中，開關4010可將光學信號引導

至與輸出耦合器4013連接之輸出波導。在該開關之另一種組態中，可將光學信號引導至輸出波導4011，並且進一步朝向串列而置之另一個開關。

**【0154】** 在一實例中，可將來自兩條對向傳播匯流排之光學信號組合，以增大從各光柵式耦合器輻射出之功率，如圖41A至41B所示。在這項實例中，可藉由開關4102將來自波導4101之光學信號引導到一2x1 MMI組合器之輸入波導4104內。類似的是，可藉由開關4107將來自波導4108之光學信號引導到2x1 MMI組合器4109之輸入波導4105內。該兩個信號係藉由2x1 MMI組合器4109來組合，並且透過光柵4106耦合而離開晶片。藉由2x1耦合器4109組合之信號的相位係使用位於傳送器模組之輸出處之相位控制元件4110來調整。

**【0155】** 在一實例中，用於建立1xN開關系集之開關可處於一種1xN開關組態、或N個1x2開關之一樹、或任何其他組合。在一實例中，切換機制可以是處於一PN或PIN調相器組態中之熱光、載子空乏或載子注入。

**【0156】** 對於需要長距之應用，可能需要與一低發散度離埠波束搭配之一操控機制，才能使得由回傳信號所覆蓋之像素數量可保持非常低，例如低至一個像素、或1至50個像素之範圍內，並且結果是，各偵檢器之SNR可高至例如高於10 dB。在一實例中，該架構可包括晶片上、整合式光學操控機制，如圖42所示。一整合式晶片上操控機制之一優點在於可將其與一收發器設計整合，舉例如圖

45A至45C所示，從而建立一單晶片LIDAR解決方案，在相同半導體平台上將傳送器、接收器及波束操控這三種功能全都併入。

【0157】來自光學信號產生源4201之信號可透過矽晶片中之波導4202耦合，然後耦合到 $1 \times N$  MMI耦合器4203之輸入內。可將經耦合從 $1 \times N$  MMI耦合器之 $N$ 個輸出離開之光學頻率為 $f_0$ 之光引導至複數個I/Q調變器4204之輸入。I/Q調變器可建立在 $f_0 + f_{IF1}$ 與 $f_0 + f_{IF2}$ 之間具有一線性啁啾頻率之複數個同步化光學信號。複數個同步化光學信號可藉由 $N \times 1$  MMI耦合器4206來組合，然後引導至 $1 \times 2$  MMI分歧器4208之輸入。可透過波導4210引導來自 $1 \times 2$  MMI分歧器之一第一啁啾光學信號朝向接收器塊，以為接收器陣列提供一本地振盪器。可引導一第二啁啾光學信號朝向操控塊，在一實例中，該操控塊可包括一開關係集4211，其可以將離埠波束從光柵陣列4212切換至不同輸出光柵4213。開關係集連同輸出光柵式耦合器陣列可動態地控制離埠光學信號起源在準直透鏡之焦面中的位置，如圖46所示。變更波束在焦面中之位置的結果是，離埠準直波束角度從而改變。數位切換陣列可由開關係集與光柵式耦合器陣列所組成。可將第二光學信號從開關係集引導至陣列4212之任一光柵式耦合器，其可相對陣列表面之法線正交地或以一角度將光輻射。由光柵式耦合器所輻射之光可藉由透鏡來準直，並且在目標之方向受引導。入射到接收器陣列上之回傳已散射第二光學信號可在各像素上，與已

透過動態分布網路作為本地振盪器提供之第一光學信號之一部分組合，圖30至33中有詳細展示。動態分布網路可由一 $1\times 2$ 開關樹所形成之一區塊所組成，後接由一靜態MMI  $1\times 2$ 分歧器樹所組成之一區塊。含有開關之第一區塊可允許將本地振盪器光有效率地分布至恰好正在被讀取之像素，從而避免功率消耗過度以及陣列加熱。

**【0158】** 在一實例中，可組配開關係集4211中之每個開關，使得可將輸入波導中之信號全然僅引導至該開關之一個輸出波導，並且僅從該處引導至一個耦合器以經耦合而離開光柵式耦合器陣列。在這項實例中，可組配開關係集，以使得可將光採用一循序方式發送至陣列中之各光柵式耦合器，並且結果是，亦可採用一串列方式照明及讀取接收器塊。當離埠波束中所欲為高功率密度時，對於偵檢位於長距處(例如50公尺或更長距，諸如介於50公尺與400公尺之間)之物件，此一組態可能較佳。在另一實例中，可組配開關係集，以使得輸出與輸入信號之間可建立任何其他比率。在這項實例中，多個光柵可將光同時耦合使之離開陣列，並且各光柵輸出功率可不同。在這項實例中，各光柵且從而還有各方向可接收足以對位於諸如10公尺或20公尺之一更短距處之一障礙物進行偵檢之光量，同時可組配其他開關，以使得可將最大可用輸入功率遞送至光柵，使回傳信號雜訊比可足以允許對位於諸如20公尺與400公尺之間的長距處之障礙物進行偵檢。

**【0159】** 在圖43所示之另一實例中，將複數個第二光



學啁啾信號從I/Q調變器4304之輸出發送至複數個 $1 \times N$ 光開關4307，各I/Q調變器輸出用於一個 $1 \times N$ 開關之輸入。各開關可在 $N$ 個光柵式耦合器之間進行光學信號之切換，該等光柵式耦合器可以是光柵式耦合器陣列4308之部分。在一實例中，4個I/Q調變器可用於為各有16個光柵之4個陣列提供啁啾光學信號。在一實例中，可透過波導4306將複數個第一光學信號從I/Q調變器4304之輸出引導至接收器塊以提供本地振盪器信號。可使用其他數量之調變器(諸如圖44所示之8個，或從1到256任意數量的調變器)將啁啾光學信號提供至1到256個光柵陣列4408。同樣地，藉由一個開關在陣列中伺服之光柵數量可以是16或任何數字，例如從每個陣列4個光柵到每個陣列4096個光柵或更多。

**【0160】** 在圖45A所示之一實例中，接收器陣列4509亦可與傳送器及數位操控陣列位在相同晶片上。

**【0161】** 在圖45A所示之實例中，可使用光柵4501將光耦合到星形耦合器4502內，然後進一步耦合到多通道I/Q調變器4503及操控模組內。另外，相同晶片上亦可整合接收器陣列4509。由於使用多條調變通道，並且設計中不存在高功率瓶頸，此設計可實現高聚合輸出功率。來自光學信號產生源之信號可透過晶片之平面中、及星形耦合器4502與波導4510中之耦合器4501來耦合。可將星形耦合器4502之錐形波導4510中耦合之光學頻率為 $f_0$ 之光引導至複數個I/Q調變器4503之輸入。I/Q調變器可建立在

$f_0+f_{IF1}$  與  $f_0+f_{IF2}$  之間具有一線性啁啾頻率之複數個同步化光學信號。可引導複數個第一啁啾光學信號朝向接收器塊 4509，以為接收器陣列提供一本地振盪器。複數個第二啁啾光學信號受引導朝向操控塊，在一實例中，其可包括一數位可重新組配光柵陣列。數位可重新組配光柵陣列可對要朝向目標發送之第二光學信號進行操控。數位可重新組配光柵陣列可由一可重新組配開關係集 4505 與一光柵陣列 4506 所組成。可將第二光學信號從 I/Q 調變器 4503 引導至  $1 \times N$  開關 4505，然後引導至光柵式耦合器陣列 4506，其可在目標之方向輻射與陣列之表面正交之光。入射到接收器陣列上之回傳已散射第二光學信號可在各像素上，與已透過動態分布網路作為本地振盪器提供之第一光學信號之一部分組合，圖 30 至 33 中有詳細展示。動態分布網路可由一  $1 \times 2$  開關樹 4508 所形成之一區塊所組成，後接由一靜態 MMI  $1 \times 2$  分歧器樹 4513 所組成之一區塊。含有開關之第一區塊允許將本地振盪器光有效率地分布至恰好正在被讀取之像素，從而避免功率消耗過度以及陣列加熱。圖 46 所示為一系統示意圖。

【0162】圖 45B 與 45C 所示為使用一 MMI 代替一星形耦合器之替代架構。

### **雷射光產生模組**

【0163】在一實例中，可直接調變雷射以建立短光學雷射脈衝。在一實例中，雷射脈衝為 1 ns 長。在各種實例中，雷射脈衝之一持續時間可在 0.25 ns 至 1 ns 之一範圍

內，以便降低平均功率，並且增大深度測量準確度，因為更短的脈衝易於提高準確度。在其他實例中，可使用從 1 ns 至 10 ns 之脈衝寬度，以便增大總脈衝能量，並且從而在要偵檢具有低反射率之遠端障礙物的狀況中提供足供偵檢之光子。在一實例中，雷射源可調整脈衝間之脈衝長度，以便在一受關注範圍內使障礙物之偵檢最佳化。

### **光學信號處理模組**

**【0164】** 在一實例中，光學信號處理模組將傳入之光學信號分成多條通道。從一個光源建立可予以發送至車輛周圍不同波束操控單元之多條通道會有助益，因為整體系統成本降低。光學處理模組之另一功能可以是即時調整離開光學處理模組之脈衝之峰值功率。這可補償隨著離目標之距離而變(例如， $R$  平方相關，其中  $R$  可表示離一目標之一距離)、從目標散射回來之光量。即時控制離埠脈衝強度可促進避免使偵檢器之動態範圍超出(並從而飽和)。這可使用電控可變光學衰減器來達成。在一實例中，除了控制離埠脈衝強度以外，調變器還可用於編碼各脈衝上不同之若干位元調變(一代碼)，以使得偵檢系統可判定各脈衝之時序與來源，並且避免串擾。

**【0165】** 在一實例中，光學處理模組 102 包括使用矽絕緣體技術建置之一 PIC 4700，如圖 47 所示。在一實例中，可透過一光柵式耦合器 4701 將信號耦合到 PIC 4700 內，並且可將信號導引至一  $1 \times 2$  多模干涉(MMI)波導陣列 4702，該等波導將輸入信號分成在多個波導中行進之複數

個信號。可透過各波導4705將信號導引至調幅器/可變光學衰減器4703，其具有控制信號強度之角色。可實施各種技術使雷射光達到快速振幅衰減，諸如一Si波導中之電流注入、電或熱控型馬赫任德干涉儀、或任何其他組合。在一實例中，可使用電荷控制型馬赫任德組態，以便以從數MHz到25 GHz至30 GHz之速率提供強度衰減。在強度控制元件之後，將波導4706中行進之光學信號耦合，使之透過光柵式耦合器4704離開PIC。圖47所示為用於4條通道之PIC之一實作態樣的一示意圖。其他實例可具有更多或更少通道。最佳通道數量取決於總體系統參數，並且更具體而言，取決於由於各通道伺服一個模組而在汽車周圍提供完全360度覆蓋所需之模組數量。基於各模組之視場、系統中所需之備援度、以及其他參數，可使用不同數量之模組，從而還有通道。在其他實例中，輸入與輸出光柵式耦合器可藉由絕熱錐形波導端耦合器來取代。

【0166】在一實例中，傳送器PIC可實施於矽絕緣體中，其頂端矽層為220 nm或480 nm厚，埋入式氧化物層為2微米厚，但可使用其他基材，諸如範圍自500 nm至10微米之頂部Si層，以及0.5微米至3微米範圍內之埋入式氧化物層。為了避免諸如雙光子吸收及自調相等非線性效應之初發，在波導中期望更高功率之某些實例中，使用更厚頂端矽層會有助益。藉由增大波導截面，固定輸入功率下波導中之功率密度降低，從而避免前述非線性效應之初發。另一方面，使用一更厚矽層，且從而還有更大波導，

對波導彎頭增大最小曲率半徑有不利效應，這可在沒有顯著損耗之情況下實施。對於最佳系統設計，可選擇頂端矽層之厚度，從而還有波導之截面積，以對非線性效應之初發、及設計之緊湊性兩者進行最佳化。在另一個實例中，可使用不同埋入式氧化物厚度、以及在埋入式氧化物與Si 磊晶層之間含有用於光柵區段之矽與氧化物交替層的多層設計，以便改善光柵對纖維耦合效率。除了所述實例以外，還可在傳送器PIC中，單塊地或透過混合式整合實現任何其他被動或主動光學功能，諸如多工器、解多工器、波長選擇性耦合器、分束器、開關、偏振分歧器、偏振旋轉器、隔離器、偵檢器、以及雷射源。

**【0167】** 在各種實例中，可使用具有不同組態之PIC (例如圖48中所述者)，以便在多於一個波長下產生一離埠光學信號，並且建立一多譜LiDAR系統。一多譜LIDAR系統可將多於一個波長用於離埠光學信號。在光學信號穿過介質之傳播損耗隨著介質之化學組成而變的情況中、或在諸如軟性對硬性障礙物等不同障礙物類型之間需要區別的情況中，使用多於一個波長會有助益。

**【0168】** 在另一實例中，傳送器PIC合併一拉曼波長轉換器作為一附加主動功能元件，以便為傳送器之各通道產生一第二光波長。拉曼效應是一種非線性效應，其中光之一光子非彈性地散射在晶體之一振動模式上，並且因此產生一能量更低(波長更長)之光子。對於矽，頻率/波長偏移取決於晶體結構，並且為 $521\text{ cm}^{-1}$ 。如果泵浦之強度變

為夠大，則程序變為受刺激，並且可建置一光泵雷射。在一光泵拉曼雷射中，可將一高強度泵雷射耦合到可為一環形或線性空腔之一雷射腔內，可將其設計成在拉曼偏移波長下滿足共振條件。

【0169】在如圖2及48所示之一實例中，可透過絕熱錐形波導端耦合器或光柵式耦合器4801，將來自雷射信號產生單元101之光學信號耦合到傳送器PIC 4800內。波長為 $\lambda_0$ 之信號行進至波長選擇性耦合器(WSC) 4803，並且透過WSC耦合到環共振器4802內。可將環共振器4802設計成例如對於波長為 $\lambda_1$ 之拉曼偏移光學信號滿足共振條件，即空腔在拉曼波長下具有一高Q因子。在穿過環體之一次行程之後，波長 $\lambda_0$ 下之泵光學信號透過耦合器4803離開環體。可將含有泵信號 $\lambda_0$ 、及波長為 $\lambda_1$ 之拉曼偏移信號兩者之環共振器4802之輸出導引至波長選擇性耦合器4804之輸入，其使不同波長之兩個信號分離。波長為 $\lambda_1$ 之信號可受引導朝向WSC 4806之輸入，並且可當作泵浦用於環共振器4805，其係設計成用於二階拉曼偏移信號 $\lambda_2$ 之一共振腔。波長為 $\lambda_2$ 之拉曼偏移光學信號可藉由波長選擇性耦合器4807與波長為 $\lambda_1$ 之泵信號分離。可將WSC 4807在波長 $\lambda_2$ 下之輸出引導到 $1 \times 2$  MMI 4808樹內，使得可將波長為 $\lambda_2$ 之信號分成4條通道。可透過波導將四個光學信號引導至可變光學衰減器4809之輸入。可透過一波導將可變光學衰減器4809之輸出引導至波長選擇性耦合器4811之輸入。在下臂上，可將波長選擇性耦合器4804之波

長 $\lambda_0$ 下之輸出引導至 $1\times 2$  MMI樹4813之輸入，以使得可將基諧波長 $\lambda_0$ 下之光學信號區分成4條通道。分歧後產生之光學信號係透過可變光學衰減器4810受引導穿過波導，然後受引導至波長選擇性耦合器4811。波長為 $\lambda_0$ 與 $\lambda_2$ 之兩個輸入係藉由波長選擇性耦合器4811來組合，並且透過一波導受引導至光柵或絕熱錐形波導耦合器4812。在一實例中，光柵式耦合器4812具有設計成例如在 $\lambda_2$ 、 $\lambda_0$ 兩波長下都達到高效率之週期、蝕刻深度、材料組成等光柵參數。儘管已舉例說明一四通道裝置，仍可使用根據系統設計之任意數量的通道，例如6至8條或更多條通道。在一實例中，基波之操作波長可以是1550 nm，並且第一拉曼偏移 $\lambda_1$ 可在1686 nm下出現，而第二拉曼偏移波長 $\lambda_2$ 可以是1848 nm。儘管以上實例中已說明一兩級式拉曼偏移系統在 $\lambda_0$ 與 $\lambda_2$ 下具有輸出，仍可建立其他波長組合，諸如在 $\lambda_0$ 與 $\lambda_1$ 下具有輸出之一單級、或在 $\lambda_0$ 、 $\lambda_1$ 與 $\lambda_2$ 下具有輸出之一雙級、或任何其他拉曼諧波組合。

### **波束操控模組**

【0170】可透過光纖4903將大量光學信號各從光學處理模組200之光柵204發送至一波束操控模組4901，如圖49所示。在一實例中，用於傳輸之纖維可以是攜載一1550 nm雷射信號之單模纖維。圖49所示為波束操控單元之一實例。

【0171】準直器4904使來自纖維4903之光準直，將該光發送至可將其反射到MEMS反射鏡4906之一固定式反

射鏡4905。MEMS反射鏡4906在水平與垂直方向執行一柵格或李沙育圖型。在一實例中，水平軸上之頻率可以是10 KHz，而垂直軸上之頻率可以是10.2 KHz，並且兩者都是反射鏡之共振頻率。可將其他範圍用於水平與垂直，例如10 KHz至30 KHz之範圍。在一實例中，可使用柵格圖型，其中水平軸可在高頻率(諸如10 KHz至30 KHz範圍內)之共振下受到驅動，而垂直軸則可根據所欲框率在低於該共振頻率(諸如介於50 Hz與100 Hz之間)之準靜態典則內受到驅動。可將諸如100 Hz至500 Hz等其他範圍用於垂直軸上之柵格動作。在另一實例中，兩軸都是使用產生一李沙育圖型之正弦函數在共振下受到驅動。在這種狀況中，取決於反射鏡之物理設計，水平與垂直軸之驅動頻率都可在10 KHz至30 KHz之範圍內，因為反射鏡設計之尺寸與幾何形狀判定其共振頻率。該等驅動頻率之間的離距判定該框率。如此，水平與垂直軸動作之間的一較佳頻率離距可在50 Hz至200 Hz之範圍內，以便以一更大離距實現所欲框率，從而使反射鏡更容易製造。可根據對於更快或更慢影像更新率之總體LIDAR系統要求來判定所欲框率。此頻率範圍內之操作可較不易受汽車機械振動影響。在一實例中，垂直角度範圍可以是25度，而水平角度範圍可以是40度。可使用其他範圍，諸如介於40度與80度之間的水平角度範圍、以及介於25度與90度之間的垂直角度範圍。可將離埠之第一光學信號波束從目標反射出去，並且反射之信號波束有一部分可藉由透鏡407來收集，並且聚焦在偵檢



器陣列4908上。

【0172】一系統中可使用一個或多個各對應於一條通道之波束操控單元。具有若干單元且從而還有為數自1至10之若干通道的不同實例可用於對車輛周圍之所有區域實現一所欲覆蓋程度。

### **偵檢模組**

【0173】為了改善偵檢器效能，並且增大一脈衝典則中之信號雜訊比，可縮減我們正針對信號在波長範圍、視場、時窗、以及頻寬這四種尺寸其中任何一者中尋找之窗口。由於回傳信號透過一光柵式耦合器耦合，接收器PIC 4908之影像感測器可設計成具有一非常窄之波長範圍與視場。對光柵上之入射角、以及操作波長兩者之光柵靈敏度使得光柵式耦合器為回傳光之極具選擇性濾波器。另外，當為了提升信號雜訊比而在多閘上方對信號取平均時，新增一高速電光閘將允許時間閘控偵檢與箱車技巧應用。在一實例中，將光耦合到接收器內之光柵係設計成具有一非常窄之波長頻寬，例如1 nm至10 nm範圍內之一3 dB頻寬，以便濾除不在接收器之操作波長下之任何光。在另一實例中，將光耦合到接收器內之光柵係設計成具有一非常窄之接受角，例如在0.25度至2度範圍內之一3 dB頻寬，以便針對接收器之對應像素將不在該角度範圍內之任何光濾除。

【0174】偵檢模組4902可包含一準直透鏡或多透鏡成像總成4907及一接收器PIC 4908。接收器PIC 4908可

包含一 $n$ 乘 $m$ 像素陣列5000。在一實例中，雖然可使用其他像素密度，但像素數量仍可以是 $1024 \times 256$ 。在附加實例中，陣列大小可以更小，例如 $128$ 乘 $128$ 或更大，諸如 $256 \times 256$ 、 $512 \times 512$ 或 $4096 \times 4096$ 。使用對稱或不對稱設計之其他範圍可加以使用。具有更大量像素之一更大陣列將提供一更寬視場或一更高解析度，端視像素大小與像素設計而定。另外，一大陣列可同時擷取對應於一大視場之一影像，但偵檢器不需要機械移動。

**【0175】** 該等光學信號中之各者一旦命中一目標位置，如受到對應之波束操控單元4901控制，從該目標散射之信號有一部分便可藉由透鏡4907來收集，並聚焦在接收器PIC 4908之像素陣列5000上，如圖50所示。

**【0176】** 可跨PIC 4908之平面重複一樣本單元5100。一光柵式耦合器5101可將回傳光耦合到平面型電路內。可透過波導5104將光引導至電光時域閘5102，然後透過波導5105引導至高速波導光偵檢器5103。在一實例中，光偵檢器5103可包括崩潰光偵檢器(APD)。在一實例中，APD 5103可包括生長在矽上之一鍺偵檢器。電光閘可以是一基於電吸收之裝置，或可具有諸如裝置5202之一馬赫任德組態，其中相位控制係透過電荷或熱效應、或者諸如裝置5300之一環形調變器結構來完成。在一實例中，電光閘可包括一基於電荷之矽裝置。在另一實例中，電光閘可包括一矽上鍺電吸收閘、或矽平台上生長或整合之任何其他材料。

## 閘控偵檢

【0177】時域閘控偵檢是一種技巧，其中偵檢器可暴露至回傳信號而使一短暫間隔與一特定受關注區域有相關，如圖54所示。當LiDAR系統之視場內有多個障礙物、或像霧霾或蒸汽這樣之朦朧物、或大致為一雜亂背景時，本方法會非常有效。藉由僅在對應於受關注範圍之時間間隔期間才開啟用於偵檢器之閘，可消除來自所有其他障礙物之回傳信號，並且可提升信號雜訊比。在一實例中，高速閘5102、5202及5302可用於實施閘控偵檢，以及視所欲從脈衝到脈衝調整受關注範圍。在一實例中，閘5202可在介於兩個出射雷射脈衝之間的整個時間間隔期間開啟，導致一回傳信號顯示來自視場內諸如朦朧物5401、障礙物5402、5403及5404等多個障礙物之信號。假設機器人系統使用LiDAR系統之輸入期望會對障礙物之偵檢有一更高品質偵檢，以受關注區域5405中障礙物之一更高信號雜訊比為例，在一實例中，於後續脈衝內，閘5102可僅在來自障礙物5402周圍受關注區域之回傳信號預期會抵達偵檢器的時間內才開啟，導致視場內之所有其他雜訊源全都消除，受關注範圍之信號雜訊比也提升。在一實例中，閘控可使用直接在各偵檢器前方之矽組織架構上建置之電光閘來實施，如像素陣列5000中實施者。在一實例中，此方案可使用矽絕緣體平台、及不同調變器設計來實施，如圖50及51至53所述。可在不同時間設置多閘以訊問不同受關注區域。在一實例中，該閘在介於諸雷射脈衝之間的整個

間隔期間開啟，接著一閘可在對應於障礙物5402周圍受關注範圍之期間內開啟，之後一閘針對與障礙物5403對應之一受關注範圍開啟，然後是與對應於障礙物5404之一受關注範圍相對應之一閘，以此類推。在一實例中，像素陣列5000之各像素可包括一閘控像素，如圖51至53所述。在一實例中，像素陣列5000之各像素用之閘可獨立受控制，以允許在同框內以各種深度進行取樣。在一實例中，可將該陣列動態地區分成像素子集，各子集具有一不同時間閘，從而導致建立多個受關注區域，各受關注區域對應於具有相同時間閘之一像素子集。

### **蓋革模式(GM) APD 偵檢**

【0178】在蓋革模式偵檢中，APD可高於擊穿電壓受偏壓一短時間週期，並且由於偏壓大，入射到接面上之一光子引起一載子崩潰。與線性模式APD典則不同，在蓋革模式中，所產生之載子數量與光子入射之通量不成比例。由於缺乏比例性且增益非常高，GM偵檢器在光子通量非常低的情況下操作得最好，更具體而言，在每個閘偵檢一光子的機率小於1時(每個閘之光子偵檢機率一般為0.2)操作得最好。在這種典則中，GM APD趨近「完美」偵檢器特性，即偵檢其上入射之每個光子的一偵檢器。同樣地，由於這一點，偵檢器固有地具有數位性，因為其僅記錄一入射光子是否存在。對於在蓋革模式中以一APD偵檢器操作之一系統，輸出可以是一獨立測量結果系集，將該等獨立測量結果分析或繪製為一直方圖以產生一單範圍測量結

果。除了以上考量以外，由於靈敏度高且需要多個脈衝才有助於一次距離測量，基於GM APD之系統還有利於以非常短之脈衝(例如，ns或更小)、以及較低之峰值功率在高重複率(例如，MHz或更高)下操作。操作此一系統之峰值功率可能變動範圍大，端視傳送器與目標之間的距離而定。長度為1 ns且峰值功率低至20 mW之脈衝可用於達到超過100公尺之距離。諸如10 mW至1000 mW範圍內之更大峰值功率可用於達到超過100公尺之更大範圍。除了控制傳送器之峰值功率與脈衝長度以外，各像素之高速閘還可用於進一步控制在蓋革模式中操作之偵檢器上入射之光量，以及調適從脈衝到脈衝之光子入射機率。

【0179】在一實例中，像素陣列5000中之偵檢器5103、5203、5303是在蓋革模式中操作。調變器5102、5202及5302係用於閘控偵檢器上之回傳入射信號。在一實例中，可處理顯示偵檢器上是否存在已偵檢光子之數位信號以建立一直方圖，用來判定一障礙物在時間所界定之受關注範圍內的存在性。在一實例中，可在一矽平台上建立GM偵檢器陣列，但可使用其他材料系統，諸如III-V半導體。

### ***用於其他應用之模組式結構之變例 - 傳送器、接收器與雷射源之單晶片整合 - CW、同調偵檢***

【0180】儘管以上實例係有關於汽車及其他大型平台，但由於多種光學功能之晶片尺度整合方法，模組式系統100之一整合式實例具有通用性，不僅適用於其他小型

應用、也更長期潛在適用於低功率汽車應用。在一實例中，雷射光產生模組可僅含有一個二極體雷射晶片，其可與含有一條或多條通道之傳送器PIC 200、以及與一個或多個波束操控模組401及偵檢模組402整合成一低成本、小型封裝體，適用於先進駕駛輔助系統(ADAS)、全自主汽車系統、無人靶機、及小型機器人應用，還有其他應用，諸如圖55與56所示之實例。

【0181】在一實例中，可直接在整合式矽晶片5500上接合雷射光源5501。在一實例中，整合式矽晶片5500可含有單塊整合式傳送器功能與接收器功能、以及矽平台上接合之光學雷射光源。替代地，該雷射源可在透過一光柵或端耦合器耦合到矽晶片內之晶片及纖維外。

【0182】在圖55之所示實例中，可將來自雷射5501之光學信號耦合到一矽波導內，並且導引至分接頭耦合器5502之輸入，其將光學信號分成透過調幅器5504與調相器5503引導之一第一信號、以及朝向該輸入引導至開關陣列5506之一第二信號，以提供用於感測器陣列5507之本地振盪器光。第一信號可透過光柵式耦合器5505耦合而離開該晶片。可使用一絕熱波導耦合器，而不是光柵式耦合器5505。在這項實例中，該等傳送器與接收器功能全都可整合在相同晶片上，並且該雷射源晶片可直接附接至該矽晶片。可運用晶片5500作為圖13所示波束操控與偵檢模組1400之部分。在所示實例中，來自光柵式耦合器5505之第一光學信號可藉由透鏡1401來準直，並且予以引導至反射

鏡1402。可將從反射鏡1402反射之信號引導至MEMS反射鏡1403。可引導MEMS反射鏡1403所反射之第一光學信號朝向目標。該反射鏡執行一柵格或李沙育圖型以覆蓋所欲視場。在一實例中，視場可垂直25度及水平50度。可使用其他範圍，諸如介於40度與80度之間的水平角度範圍、以及介於25度與90度之間的垂直角度範圍。從目標反射之第一光學信號可藉由感測器陣列5507之光柵5508來耦合，與陣列5507中之本地振盪器組合，並且轉換成一電氣信號。上述實例將一矽絕緣體平台用於整合，但在其他實例中，可使用諸如InP之其他材料。

**【0183】**用於一單晶片整合式組態之一替代方法可包括在傳送器區段中使用同相/正交調變器來獨立地調變出射信號之相位與振幅。在一實例中，可將N個增刪環結構所組成之一 $1 \times N$ 光開關用在接收器區段，而不是用在 $1 \times 2$ 熱光開關樹上，如圖56A所示。在一實例中，用於增刪環之控制結構可包括一PIN二極體，使得光學模式大部分穿過一本質波導區行進，如圖56B所示。使用基於一PIN電荷注入之開關的優點在於，相較於一熱光開關樹，將提供更優越的速率。另外，藉由使用一PIN結構，開關之斷開模式中亦可具有低損耗。在一實例中，開關可以是一 $1 \times 128$ 開關。諸如 $1 \times 256$ 、 $1 \times 512$ 、 $1 \times 1024$ 或 $1 \times 64$ 之其它開關組態可用於像素陣列5607中本地振盪器信號之動態、串列之於靜態、同時分布。對於陣列中之一固定像素數量，一更大開關可建立一陣列具有同時設置有本地振盪

器光之更小區塊的可能性，而一更小開關則可建立更大區塊，其同時被供應有本地振盪器光學信號。在圖56A之所示實例中，可將來自雷射5611之光學信號耦合到一矽波導內，並且導引至分接頭耦合器5612之輸入，其將光學信號分成透過同相/正交調變器5613引導之一第一信號、以及朝向該輸入引導至1xN開關5614之一第二信號，以提供用於感測器陣列5617之本地振盪器光。第一信號可透過光柵式耦合器5615耦合而離開該晶片。可使用一絕熱錐形波導耦合器，而不是光柵式耦合器5615。在這項實例中，該等傳送器與接收器功能全都可整合在相同晶片上，並且該雷射源晶片可直接附接至該矽晶片。可運用晶片5610作為圖13所示波束操控與偵檢模組1400之部分。就調變方案而言，硬體平台5610啟用一調頻連續波LiDAR平台。調頻連續波LiDAR是一種光雷達技巧，其中光學信號 $f_0$ 之頻率可使用調相來偏移至一新頻率 $f_0+f_{IF}$ ，同時又可透過CW雷射之一啁啾調幅來達到介於 $f_0+f_1$ 與 $f_0+f_2$ 之間的一頻率啁啾。中頻 $f_{IF}$ 可置中於 $(f_1 + f_2)/2$ 下之啁啾窗口內。在一實例中， $f_{IF}$ 可以是3 GHz，並且啁啾窗口可為自1.5 GHz至4.5 GHz。可選擇中頻之其他頻率範圍，諸如1 GHz至10 GHz，並且啁啾之範圍可自100 MHz至50 GHz。一個I/Q調變器能夠進行頻移及頻率啁啾這兩種任務。在一實例中，調頻技巧可用矽絕緣體中之一整合式收發器來實施。可將其他材料用於實作態樣，諸如III-V或LiNb<sub>3</sub>、或材料組合。



【0184】在一實例中，圖56B所示為電荷控制型 $1\times N$ 開關5614之結構。在一實例中，可透過波導5621將第二信號從 $1\times 2$  MMI分歧器5612引導至開關5614之第一元件5620。在一「斷開」狀態中，光學信號通過至波導5626。在一「接通」狀態中，可在諸摻雜區段之間施加一電壓，並且可將電荷注入介於波導5621與環共振器5627之間的耦合區段中，使折射率產生一變化。由於電荷引發折射率變化，因此可引導第二光學信號朝向波導5625。

【0185】在圖57B所示之另一實例中，可改用一同相/正交調變器5723，而不用調相器5703與調幅器5704之組合，並且可改用一 $1\times N$ 開關5724，而不用開關陣列5711。同相/正交調變器5723及 $1\times N$ 開關5724可如IQ調變器5613及 $1\times n$ 開關5614以相同原理操作並且伺服相同目的，更具體而言，IQ調變器可用於實施一調頻連續波方案，並且電荷控制型 $1\times N$ 開關在一最佳損耗預算內為本地振盪器光學信號提供快速切換。

### **相位陣列架構**

【0186】光學相位陣列具有些許競爭性設計參數規格，以便達到用以實現低損耗與有效率波束操控所欲之效能特性。由一相位陣列所產生之光場之遠場圖型顯示一中央峰值，後接位在該中央峰值兩旁之諸旁瓣。介於該中央峰值與該等旁瓣之間的離距界定最大操控角。介於該中央峰值與該等旁瓣之間的分離角可由下式給定：

$$\sin(\Delta\theta) = \frac{\lambda}{d}$$

其中  $\Delta\theta$  可以是介於中央最大值與第一旁瓣之間的角度， $\lambda$  可以是光之波長，以及  $d$  可以是介於諸天線之間的離距。正如可看到者，為了使該中央峰值與該等旁瓣之間達到一大離距，並從而達到一大操控角，介於諸天線之間的離距應該僅保持些許波長。另一方面，為了增大集中在中央峰值之能量，可期望大量天線。最後，為了控制操控，一波導將光從移相器導引至各該天線。陣列中大量天線之競爭性參數規格、介於諸天線之間的小離距、以及透過波導對天線之存取使得本質上縮放二維結構有困難。克服此問題之一個選項包括建立一多層天線陣列。在一實例中，天線之同心方形環係置放在不同垂直層中，其中內正方形位在最低層上，而外方形環位在結構之頂層中。如圖58A所示，上與下調相器塊5802、上與下MMI樹5801全都位於最低結晶矽層中。在調變器5802之區塊中發生相位控制之後，透過區段5804上方之接續垂直耦合器將信號從選擇波導垂直耦合到更高層內。藉由調整區段5804中之耦合長度，可促進區段5804中同時實現垂直耦合，而區段5803中波導可實現重疊處沒有耦合。為了使該中央峰值與該等旁瓣之間實現超過15度之離距，並從而實現超過15度之操控角，該等天線之間的離距可非常小，例如介於4微米與5微米之間。結果是，區段5803中一個方形環之寬度且從而還有垂直重疊區段可為數十微米之等級。在一實例中，區段5804

中之垂直耦合器係設計成具有大於1000微米等級之耦合長度，從而可忽略區段5803中之寄生耦合。只要區段5804中之耦合長度與區段5803中波導之重疊之間的比率可大於10，便可使用諸如400微米至4000微米等不同範圍之耦合長度，使得區段5803上方兩個不同相鄰垂直層中兩個波導之間的寄生耦合可忽略不計，諸如10%或更小。在一實例中，該等接續層之間的氧化物層5811厚度可使得從波導5812至波導5813之模式之耦合長度為2000微米。在一實例中，區段5803中諸天線之間的水平離距在兩方向都可為5微米。在各層中，天線之矩形環可具有相互分離5微米之四個天線環。該等天線之間可使用不同離距，例如3微米至50微米、以及諸天線之間的不等離距。同樣地，一個層內可使用不同數量之環體，例如每層使用4至20個環體。結果是，對層5812中之天線進行存取之波導與對層5813中之天線進行存取之波導之間的最大重疊可以是60微米，但可用最佳路由安排使這種重疊進一步減小。當使位於相鄰垂直層中之兩個波導之間的光學信號寄生耦合達到最小時，區段5803之兩個垂直層中之波導可取得最佳路由安排。當使該等波導分離之氧化層厚度可達到最小之波導長度重疊時，可實現該條件。在波導5812與5813之間光學模式之垂直耦合長度可以是2000微米之一實例中，區段5803中之寄生耦合預期可忽略不計。區段5804中之耦合長度與區段5803中之重疊高於10之比率可能導致小之或可忽略之寄生耦合。圖58C至58F所示之實例展示天線之一

32x32相位陣列。在此實例中，天線係置於4個同心環組中，各組係位於一層中。各組含有4個各以5微米分離之環體。預期此一天線陣列給予旁瓣，並從而給予大約18度之一操控角。可使用更大的傳送器陣列，例如128x128、64x64或更小者，諸如16x16。一更大陣列可建立一更低發散度波束、及潛在更好之旁瓣抑制，但隨著與控制天線相關聯之移相器數量增加，操控所需之功率可更高。諸如16x16之一更小陣列可具有更低之功率消耗，但對於相同的天線間間隔，也有更大之波束發散度及更少之旁瓣抑制。

**【0187】**如圖58C至58F中，分別針對兩個頂層5814與5815，展示天線、及連至天線之存取波導的布局實例。在一實例中，於最外天線之各兩者之間路由安排3個存取波導。在一實例中，介於兩個連序天線之間間距可以是5微米，並且介於該等存取波導之間的中心對中心間距可以是1.25微米。由於諸波導之間諸如次微米之緊密離距僅可維持一短距離，例如數微米至高達數十微米，所以介於諸存取波導之間的寄生耦合預期可忽略不計，例如10%或更小。

**【0188】**在另一實例中，諸天線之間可選擇其他離距，以針對判定LiDAR系統之視場的相位陣列操控角，滿足操控角之要求。在一實例中，該等天線之間的離距在天線陣列上方可為可變，以便實現高旁瓣抑制、以及介於中央最大值與旁瓣之間的更大離距，例如波束之遠場圖型及一可變角發散中超過15度。在另一實例中，除了介於諸天

線之間的離距以外，各天線所發射之光學信號之相位、及各天線所發射之光學信號之振幅可變化，以便在遠場中實現所欲圖型。在一實例中，藉由調整陣列中各天線所發射之光學信號之振幅與相位，即時調整遠場中之光學信號特性，包括與陣列法線之夾角、波束之發散度、以及波束截面在目標上入射點處之形狀。

### **不對稱相位陣列**

【0189】在另一實例中，諸天線之間的離距可以不同，以供x與y軸針對LiDAR系統在兩個方向對應於操控角規格，一般而言，水平操控角規格顯著大於垂直操控角規格。在一實例中，諸天線之間的離距可選擇10微米間距，以對應於9度旁瓣離距、以及從而還有垂直方向上之一18度視場角，並且該等天線之間的離距可選擇5微米間距，以對應於介於中央峰值與旁瓣之間的一18度離距、以及從而還有在水平方向之一18度視場角。介於該等天線之間的離距可選擇其他範圍，例如自3微米至50微米，這將導致操控角範圍不同，如下式所示：

$$\sin(\Delta\theta) = \frac{\lambda}{d}$$

【0190】在另一實例中，諸天線之間可選擇其他離距，以針對LiDAR系統之視場滿足總體規格。在一實例中，該等天線之間的離距在天線陣列上方可為可變，以便實現所欲遠場圖型。在另一實例中，除了介於諸天線之間的離距以外，各天線所發射之光學信號之相位、及各天線

所發射之光學信號之振幅可變化，以便在遠場中實現所欲圖型。在一實例中，藉由調整陣列中各天線所發射之光學信號之振幅與相位，即時調整遠場中之光學信號特性，包括與陣列法線之夾角、波束之發散度、以及波束截面在目標上入射點處之形狀。

**【0191】** 儘管係針對基於連續波同調偵檢之系統的一實例展示以上設計之相位陣列、以及接收器與傳送器模組之整合，但在另一實例中，對於使用直接強度偵檢之一脈衝系統，如圖59所示，相位陣列5801可在相同晶片上與像素陣列5000整合並與傳送器200整合。

**【0192】** 圖60繪示用於提供一啉頻光束之一方法6000。可將一連續波光源用於提供一光束(步驟6010)。可將該光束耦合至一平面型波導，並且區分成一第一部分與一第二部分(步驟6020)。可同相調變該已區分光束之一第一部分(步驟6030)。可正交調變該已區分光束之一第二部分(步驟6040)。可將該第一調變部分與該第二調變部分組合以形成一啉頻光束(步驟6050)。可對該組合光束提供一相移，以調整該啉頻光束之一相位。可減小介於該已區分光束之N個已調變光束之間的一相對相位偏移。可將該光束之一功率減小到小於對應於波導截面之一功率位準，該波導截面處發生一非線性效應初發。可將該光束之一功率減小到小於大約50 mw，以減少非線性損耗。

**【0193】** 圖61繪示一種使用一光子積體電路對一光束之一頻率與一相位進行偵檢之方法6100。可使用一光柵

式耦合器來接收一自由空間光束之一部分(步驟6110)。可將一本地振盪器、及該自由空間光束之已接收部分提供至一信號混波器(步驟6120)。可提供與該自由空間光束及該本地振盪器之一總和對應之一第一輸出(步驟6130)。可提供與該本地振盪器及該自由空間光束之間的一差異對應之一第二輸出(步驟6140)。可將該本地振盪器實質同時提供至複數個混波器。可將該本地振盪器循序提供至複數個信號混波器。可將該第一輸出轉換成一電氣信號，可將該第二輸出轉換成一第二電氣信號，以及可將該第一電氣信號與該第二電氣信號之間的一差異用於提供具有已降低雜訊之一偵檢信號。可提供複數個光柵式耦合器，其中該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期或二維拓樸結構隨一光子電路上之位置而變，以適應已接收自由空間光之不同入射角。可使用一第一光柵式耦合器來耦合對應於一第 $m$ 繞射級之自由空間光，以及可使用相鄰於該第一光柵式耦合器之一第二光柵式耦合器來耦合對應於一第 $n$ 繞射級之自由空間光。可就該複數個信號混波器之一子集接收一自由空間光束之一對應部分，以及可同時處理由該複數個信號混波器所提供之電氣信號。可同時或循序偵檢多個拍頻或相位。可同時接收不同波長之自由空間光束。

**【0194】**圖62繪示用於使一光束動態操控之一方法6200。一光柵式耦合器空間布置結構可用於將一光束朝向一折射光學元件發射(步驟6210)。可使用該折射光學元件來引導該光束朝向一目標區(步驟6220)。可藉由選擇該光

柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射，來調整該光束在該目標區中之一位置(步驟6230)。可將該光柵式耦合器空間布置結構劃分成具有不同方位之群組。可藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射，來調整一光束在二維中之一位置。可選擇該折射光學元件之一焦距與位置，以使該光束之一發散度小於約0.1度。可使用一馬赫任德開關或一環體為基之開關來選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射。可使用該折射光學元件來調整光束之一發散角。

**【0195】**圖63繪示用於使一啉頻光束動態操控之一方法6300。可將一連續波光源用於提供一光束(步驟6310)。可將該光束耦合到一平面型波導內，並且區分成一第一部分與一第二部分(步驟6320)。可同相調變該已區分光束之該第一部分(步驟6330)。可正交調變該已區分光束之該第二部分(步驟6340)。可將該已區分光束之該已調變第一部分與該已區分光束之該已調變第二部分組合，以形成一啉頻光束(步驟6350)。一光柵式耦合器空間布置結構可用於將該啉頻光束朝向一折射光學元件發射(步驟6360)。可使用該折射光學元件來引導該啉頻光束朝向一目標區(步驟6370)。可藉由選擇該光柵式耦合器空間布置結構中哪些光柵式耦合器將光朝向該折射光學元件發射，來調整一啉頻光束在該目標區中之一位置(步驟6380)。



**【0196】** 圖64繪示一種方法6400，用於提供一調幅光束、以及偵檢來自一目標區之一已接收自由空間光束。可提供一光束，並且將該光束耦合至一半導體光子電路中之複數個調幅器(步驟6410)。可使用一或多個調幅器來調幅該光束(步驟6420)。可耦合該調幅光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區(步驟6430)。可使用一或多個光柵式耦合器從該目標區接收一自由空間光束之一部分(步驟6430)。可使用一或多個信號調幅器來衰減該自由空間光束之該已接收部分以降低一對應偵檢器之飽和(步驟6440)。

**【0197】** 圖65繪示一種方法6500，用於透過受激拉曼散射從具有一第一波長之複數條光學波束產生具有一第二波長之複數條光學波束。可提供一第一波長之一光束、以及將該光束耦合至組配來使兩個不同波長組合或分離之一波長選擇性耦合器(步驟6510)。一調諧環共振器可用於在對應於一拉曼偏移諧波之一波長下提供大於100,000之一Q因子，以及使用該環共振器將該第一波長之一部分光轉換成對應於該拉曼偏移諧波之一第二波長(步驟6520)。可將具有與該拉曼偏移諧波對應之一波長的一光束區分成相同波長之複數條光束(步驟6530)。可使用一或多個調幅器來調幅該已區分光束(步驟6540)。可耦合接收自該一或多個調幅器之一光束使之離開該半導體光子電路並朝向一目標區(步驟6550)。

**【0198】** 以上詳細說明包括對附圖之參照，其形成此

詳細說明的一部分。此等圖式以例示方式展示可實踐本發明的特定實例。這些實例在本文中亦稱為「實例」。此類實例可包括所示或所述者以外的元件。然而，本案發明人亦思付裡面僅提供那些所示或所述元件之實例。此外，本案發明人亦思付對照一特定實例(或其一或多種態樣)或對照本文中所示或所述之其他實例(或其一或多種態樣)，使用所示或所述那些元件(或其一或多種態樣)之任何組合或排列的實例。

**【0199】** 本文件與任何以參考方式併入的文件之間若有不一致的使用狀況，以本文件中的使用狀況為主。

**【0200】** 在本文件中，「一」一語如專利文件中常見，係獨立於「至少一個」或「一或多個」之任何其他例子或用法，用於包括一個或超過一個。在本文件中，「或」一語係用於意指為非排他的或，因此「A或B」包括「A但非B」、「B但非A」及「A與B」，除非另有所指。在本文件中，「包括」及「其中」等詞是當作「包含」及「其中」等各別用語之通俗中文對等詞使用。同樣地，在以下的申請專利範圍中，「包括」及「包含」等詞為開放式用語，也就是說，除了一請求項中之一用語後所列以外，還包括元件之一系統、裝置、物品、組成物、配方或程序，仍視為落在該請求項的範疇內。此外，在以下申請專利範圍中，「第一」、「第二」及「第三」等詞只是用來當作標籤，非意欲對其物件外加數值要求。

**【0201】** 本文中所述的方法實例至少部分可以是採機器或電腦方式來實施。一些實例可包括一電腦可讀媒體或機器可讀媒體，其編碼有可操作以組配一電子裝置進行

如以上實例中所述方法之指令。此類方法之一實作態樣可包括符碼，例如微碼、組合語言碼、一高階語言碼、或類似者。此符碼可包括用於進行各種方法之電腦可讀指令。此符碼可形成電腦程式產品之部分。再者，在一實例中，此符碼可諸如在執行期間或於其他時間，以有形方式儲存於一或多個依電性、非暫時性、或非依電性電腦可讀媒體上。這些有形電腦可讀媒體之實例可包括，但不限於硬碟、卸除式磁碟、卸除式光學碟(例如：光碟與數位視訊光碟)、磁帶盒、記憶卡或棒、隨機存取記憶體(RAM)、唯讀記憶體(ROM)、以及類似者。

**【0202】** 以上說明係意欲為說明性而非限制性。舉例而言，上述實例(或其一或多種態樣)可彼此組合使用。可使用其他實例，例如可由所屬技術領域中具有通常知識者在檢閱以上說明後來使用。所提供的發明摘要是要允許讀者快速地確定本技術揭露的性質。其乃是基於瞭解將不會用於解讀或限制申請專利範圍之範疇或意義來提交。同樣地，在以上的實施方式中，可將各種特徵集結在一起而讓本揭露更順暢。這不應解讀為意欲表示一未請求專利權之揭示特徵對任一請求項具有重要性。反而，發明性標的內容之範圍可小於一特定揭示之實例的所有特徵。因此，以下申請專利範圍藉此係併入本實施方式作為實例或實例，各請求項本身代表一各別的實例，而且列入考量的是，此類實例可彼此組合成各種組合或排列。本發明之範疇連同此類請求項給與權利之均等例的全部範疇，應該參照隨附申請專利範圍來判定。

**【符號說明】****【0203】**

- 11、303、304、5620…元件
- 12…分散式元件
- 13…光纖及電氣連接
- 100…LIDAR系統
- 101…雷射光產生模組
- 102、1700…光學信號處理模組
- 103、401、4901…波束操控模組
- 104、402、4902…偵檢模組
- 105…電子信號處理模組
- 111、1901…單模雷射
- 112、1902、4903…光纖
- 113、117、1903…光纖放大器
- 114、120、403、1904…纖維
- 115、118、1905、1908…隔離器
- 116、119、1909…ASE濾波器
- 200、300、2600、4700…PIC
- 201、204、205、501、601、1305、2601、3001、3307、  
3805、3806、3807、4005、4308、4701、4704、  
4801、4812、5101、5505、5615…光柵式耦合器
- 202、4702…多模干涉(MMI)波導
- 203…調幅元件
- 206、207、208、605、606、607、2004、2005、2102、  
2107、2603、3002、3101~3103、3613、3802、4002、  
4007、4009、4101、4108、4202、4210、4306、  
4510、4705、4706、5104、5105、5621、5625、  
5626、5812、5813…波導
- 404、4904…準直器
- 405、4905…固定式反射鏡

406、1403、4906…MEMS反射鏡  
407、1401、1603、3401、3808、4907…透鏡  
408、4908…接收器PIC  
502、3308、3607、3611、4003、4008、4010、4107、  
4211、4508、5614、5724…開關  
503…像素  
504…光開關陣列  
505、2003、3612、4208…MMI分歧器  
600、700、800、900、1003、1004、5100…胞元  
602、603、4203、4206…MMI耦合器  
604、3004…波導偵檢器  
1001…陣列  
1002…已識別區塊  
1201、1202…光柵設計  
1203、1205…-1繞射級波向量  
1204…受導引波導模式波向量  
1206…波導波向量  
1207、1208…光柵週期  
1300、3501、3701、4001、5501、5611…雷射  
1302、5502、5612…分接頭耦合器  
1303、1503、1509、5503、5703…調相器  
1304、1504、5504、5704…調幅器  
1400…波束操控與偵檢模組  
1402…反射鏡  
1500、3700、5610…晶片  
1502、1508…MMI波導  
1505、4813、5801…MMI樹  
1506…調相塊  
1507…微型天線  
1601、1602…干涉圖型  
1650…光學3D成像相機系統

- 1651... 光子積體電路
- 1652... 影像信號處理器
- 1701... 傳送器模組
- 1702... 操控塊
- 1703、3305、3609... 接收器塊
- 1704... 同步化電路系統
- 1900... 兩級式放大器
- 1906... 放大自發射(ASE)濾波器
- 2000... 光學傳送器
- 2001... 光學信號源
- 2002、2104、2203、2604、3304、3604、4204、4304...
  - I/Q調變器
- 2006... 電荷控制型移相器
- 2101、4201... 光學信號產生源
- 2103、2106、2108、4102、4808... MMI
- 2105... 移相器
- 2109... 輸出
- 2110... 探測光學信號
- 2602、2607、3302、3306、3602、4502... 星形耦合器
- 2605... 相位元件
- 2608、4106、4212、4408、4501、5508... 光柵
- 2609... 信號
- 2701... 筐
- 3000... 像素結構
- 3003... 多工器
- 3301、3601、4012... 耦合器
- 3303、3603... 錐形波導
- 3309、3608、4513... 分歧器
- 3500... 收發器
- 3610... 相位陣列
- 3803、4307... 光開關

- 3901... 光學操控塊控制器
- 3902... 光學操控塊
- 3903、4509... 接收器陣列
- 3904... 像素信號處理模組
- 4011... 輸出波導
- 4013... 輸出耦合器
- 4104、4105... 輸入波導
- 4109... MMI組合器
- 4110... 相位控制元件
- 4213... 輸出光柵
- 4503... 多通道I/Q調變器
- 4505... 可重新組配開關
- 4506... 光柵陣列
- 4703、4809、4810... 可變光學衰減器
- 4800... 傳送器PIC
- 4802、4805、5627... 環共振器
- 4803、4806... WSC
- 4804、4807、4811... 波長選擇性耦合器
- 5000... 像素陣列
- 5102... 電光時域閘
- 5103、5203、5303... 偵檢器
- 5300... 裝置
- 5302... 高速閘
- 5401~5404... 朦朧物
- 5405... 受關注區域
- 5500... 整合式矽晶片
- 5506、5711... 開關陣列
- 5507、5617... 感測器
- 5613、5723... 同相/正交調變器
- 5802... 調變器
- 5803、5804... 區段

5811... 氧化物層

5814、5815... 頂層

6000、6100、6200、6300、6400、6500... 方法

6010、6020、6030、6040、6050、6110、6120、6130、

6140、6210、6220、6230、6310、6302、6330、

6340、6350、6360、6370、6380、6410、6420、

6430、6440、6450、6510、6520、6530、6540、

6550... 步驟





201901184

**【發明摘要】****【中文發明名稱】**

模組式三維光學感測系統(二)

**【英文發明名稱】**

MODULAR THREE-DIMENSIONAL OPTICAL SENSING SYSTEM

**【中文】**

用於一車輛之一三維(3D)光學感測系統之實例包括一模組式架構。可將光傳送至一光學信號處理模組，其可包括一光子積體電路(PIC)，其可建立具有已調適振幅、相位及光譜特性之一或多個信號。可將該光學信號處理模組所處理之複數個光學信號發送至分布於該車輛周圍之波束操控單元。該等操控單元可引導複數條光學波束朝向目標。回傳光學信號可藉由包括一感測器陣列、及使用一方向強度偵檢技巧、或一同調偵檢技巧之一接收器PIC來偵檢。該回傳光學信號可藉由該感測器陣列來轉換成一電氣信號，然後可藉由該電子信號處理單元來處理，並且可量化與該等目標之位置及速率有關之資訊。

**【英文】**

Examples of a three-dimensional (3D) optical sensing system for a vehicle include a modular architecture. Light can be transmitted to an optical signal processing module, which can include a photonic integrated circuit (PIC) that can create one or more signals with tailored amplitude, phase, and spectral characteristics. The plurality of optical signals processed by the optical signal processing module can be sent to beam steering units distributed around the vehicle. The steering units can direct a plurality of optical beams towards targets. The return optical signal can be detected by a receiver PIC including an array of sensors and using a direct intensity detection technique or a coherent detection technique. The return optical signal can be converted into an electrical signal by the array of sensors, which can then be processed by the electronic signal processing unit, and information about the location and speed of the targets can be quantified.

**【指定代表圖】** 圖2

**【代表圖之符號簡單說明】**

100...LIDAR系統

101...雷射光產生模組

102...光學信號處理模組

103...波束操控模組

104...偵檢模組

105...電子信號處理模組

**【特徵化學式】**

(無)

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於提供一光束之一頻率與一相位之偵檢之光子電路，該光子電路包含：

    複數個光柵式耦合器，其係組配來接收一自由空間光束之一部分；

    複數個信號混波器，其中一個別信號混波器係組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，該個別信號混波器係組配來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出；以及

    複數個偵檢器對，各偵檢器對與一信號混波器對應，並且從該信號混波器之該兩個輸出接收該光束。

【第2項】 如請求項1之光子電路，其中將該複數個光柵式耦合器及該複數個信號混波器區分成N個群組，該N個群組各具有M個光柵式耦合器及M個信號混波器。

【第3項】 如請求項1之光子電路，其中實質同時將一本地振盪器信號供應至該複數個信號混波器之各者。

【第4項】 如請求項1之光子電路，其中將一本地振盪器信號循序供應至該複數個信號混波器之各者。

【第5項】 如請求項1之光子電路，其包含用於將該第一輸出轉換成一第一電氣信號之第一偵檢臂、以及用於將該第二輸出轉換成一第二電氣信號之一第二偵檢臂，並且其中可將該第一電氣信號與該第二電氣信號之間的一差

異用於提供具有已降低雜訊之一偵檢信號。

【第6項】 如請求項1之光子電路，其中該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期、或二維拓樸結構隨該光子電路上之位置而變，以適應已接收自由空間光之不同入射角。

【第7項】 如請求項1之光子電路，其中該複數個光柵式耦合器之一第一子集係組配來耦合對應於一第m繞射級之自由空間光，並且該複數個光柵式耦合器之一第二子集係組配來耦合對應於一第n繞射級之自由空間光。

【第8項】 如請求項1之光子電路，其中該複數個光柵式耦合器其中一對係彼此相鄰而置，並且具有不同方位。

【第9項】 如請求項1之光子電路，其中該光子電路包括矽。

【第10項】 如請求項1之光子電路，其中該光束之一波長在約1300 nm至1600 nm之一範圍內。

【第11項】 一種使用一光子積體電路對一光束之一頻率與一相位進行偵檢之方法，該方法包含：

使用一光柵式耦合器接收一自由空間光束之一部分；

將一本地振盪器、及該自由空間光束之該已接收部分從該光柵式耦合器提供至一信號混波器；以及

提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出。

【第12項】 如請求項11之方法，其包含實質同時將該

本地振盪器提供至複數個信號混波器。

【第13項】如請求項11之方法，其包含將該本地振盪器循序提供至複數個信號混波器。

【第14項】如請求項11之方法，其包含將該第一輸出轉換成一第一電氣信號、及將該第二輸出轉換成一第二電氣信號，以及其中可將該第一電氣信號與該第二電氣信號之間的一差異用於提供具有已降低雜訊之一偵檢信號。

【第15項】如請求項11之方法，其包含提供複數個光柵式耦合器，其中該複數個光柵式耦合器之一光柵週期、工作週期或二維拓樸結構隨一光子電路上之位置而變，以適應已接收自由空間光之不同入射角。

【第16項】如請求項11之方法，其包含使用該光柵式耦合器來耦合對應於一第 $m$ 繞射級之自由空間光，以及使用相鄰於該光柵式耦合器之另一光柵式耦合器來耦合對應於一第 $n$ 繞射級之自由空間光。

【第17項】如請求項12之方法，其包含就該複數個信號混波器之一子集接收一自由空間光束之一對應部分，以及同時處理由該複數個信號混波器之該子集所提供之電氣信號。

【第18項】如請求項11之方法，其包含同時或循序偵檢多個拍頻或相位。

【第19項】如請求項11之方法，其包含同時接收不同波長之自由空間光束。

【第20項】如請求項1之半導體光子電路，其中該複

數個光柵式耦合器包括經選擇用以就對應於該自由空間光束之一波長範圍、及角度範圍使耦合增大、以及就對應於該自由空間光束之該波長範圍、及角度範圍外之光使耦合減小之一光柵週期、工作週期或二維拓撲結構。

【第21項】一種用於提供一光束之一頻率與一相位之偵檢之光子電子電路，該光子電子電路包含：

複數個光柵式耦合器，其係組配來接收一自由空間光束之一部分；

複數個信號混波器，其中一個別信號混波器係組配來接收出自一對應光柵式耦合器之自由空間光束、及一本地振盪器光束之一部分，該個別信號混波器係組配來提供與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之一總和對應之一第一輸出、以及與該自由空間光束場和該本地振盪器光束場之間的一差異對應之一第二輸出；

複數個偵檢器對，其中一個別偵檢器對與一信號混波器對應，並且係組配來接收該信號混波器之該兩個輸出；

複數個轉換阻抗放大器，其中該複數個轉換阻抗放大器其中一個別者與一個光偵檢器相關聯；

複數個類比數位轉換器，其中一個別類比數位轉換器與一偵檢器子集相關聯；以及

一讀出電路，其係組配來從該複數個偵檢器對之複數個列與行收集信號。













































































































































































































