I873134

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 **(11)證書號數：TW I873134 B**

(45)公告日： 中華民國 114 (2025) 年 02 月 21 日

(21)申請案號：109114396 (22)申請日： 中華民國 109 (2020) 年 04 月 29 日

(51)Int. Cl.： ***G02B6/34*** ***(2006.01)*** ***G02B6/12*** ***(2006.01)***

G02B6/25 ***(2006.01)*** ***G01N21/93*** ***(2006.01)***

(30)優先權：2019/06/14 美國 62/861,832

(71)申請人：美商寬騰矽公司 (美國) QUANTUM-SI INCORPORATED (US)
美國

(72)發明人：史區米德 格瑞德 SCHMID, GERARD (US)；普雷斯頓 凱爾 PRESTON, KYLE (US)；斯圖曼 雪儂 STEWMAN, SHANNON (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW	201804740A	TW	201831938A
US	6175670B1	US	6545759B1
US	2013/0101252A1		

審查人員：劉守禮

申請專利範圍項數：29 項 圖式數：5 共 74 頁

(54)名稱

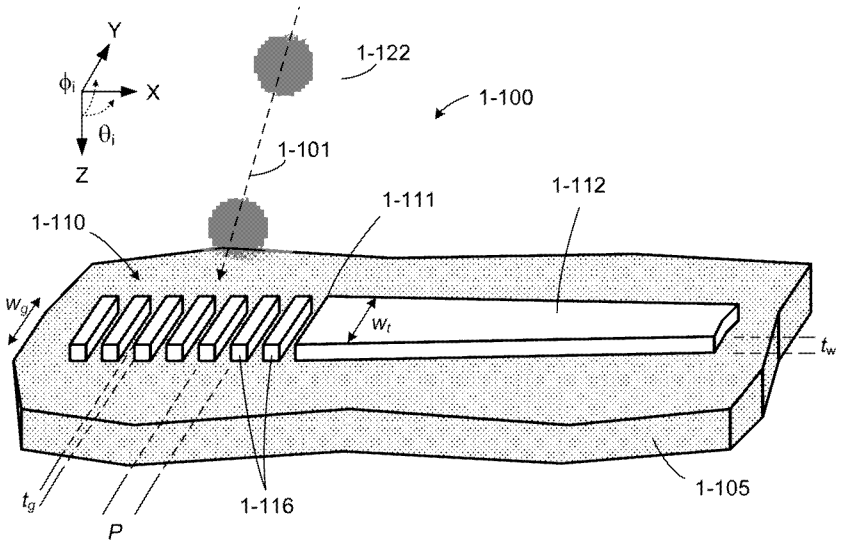
具有提升之波束校準靈敏度之分割光柵耦合器

(57)摘要

本發明闡述關於藉助光柵耦合器將來自入射波束之輻射耦合至複數個波導中之設備及方法。光柵耦合器可具有偏移接收區域及具有偏移週期性之光柵部分以改良該光柵耦合器對該入射波束之失準之靈敏度。

Apparatus and methods relating to coupling radiation from an incident beam into a plurality of waveguides with a grating coupler are described. A grating coupler can have offset receiving regions and grating portions with offset periodicity to improve sensitivity of the grating coupler to misalignment of the incident beam.

指定代表圖：



【圖1-1】

符號簡單說明：

1-100:光柵耦合器/實例光柵耦合器

1-101:光軸

1-105:基板

1-110:光學光柵/光柵

1-111:入口

1-112:接收區域/漸縮區域/漸縮接收區域

1-116:線/齒/光柵線/光柵齒/最後線

1-122:光學脈衝/脈衝

P:週期性/合適間距

t_g:厚度

t_W:厚度

w_g:寬度

w_t:寬度/橫向寬度

X:方向/軸/位置

Y:方向/軸

Z:軸

ϕ_i:第二入射角/傾斜角

θ_i:第一入射角/俯仰角/波束俯仰角/方向

公告本

I873134

【發明摘要】

【中文發明名稱】

具有提升之波束校準靈敏度之分割光柵耦合器

【英文發明名稱】

SLICED GRATING COUPLER WITH INCREASED BEAM ALIGNMENT SENSITIVITY

【中文】

本發明闡述關於藉助光柵耦合器將來自入射波束之輻射耦合至複數個波導中之設備及方法。光柵耦合器可具有偏移接收區域及具有偏移週期性之光柵部分以改良該光柵耦合器對該入射波束之失準之靈敏度。

【英文】

Apparatus and methods relating to coupling radiation from an incident beam into a plurality of waveguides with a grating coupler are described. A grating coupler can have offset receiving regions and grating portions with offset periodicity to improve sensitivity of the grating coupler to misalignment of the incident beam.

【指定代表圖】

圖1-1

【代表圖之符號簡單說明】

1-100: 光柵耦合器/實例光柵耦合器

1-101: 光軸

1-105: 基板

1-110: 光學光柵/光柵

1-111: 入口

1-112: 接收區域/漸縮區域/漸縮接收區域

1-116: 線/齒/光柵線/光柵齒/最後線

1-122: 光學脈衝/脈衝

P: 週期性/合適間距

t_g: 厚度

t_w: 厚度

w_g: 寬度

w_t: 寬度/橫向寬度

X: 方向/軸/位置

Y: 方向/軸

Z: 軸

ϕ_i: 第二入射角/傾斜角

θ_i: 第一入射角/俯仰角/波束俯仰角/方向

【發明說明書】

【中文發明名稱】

具有提升之波束校準靈敏度之分割光柵耦合器

【英文發明名稱】

SLICED GRATING COUPLER WITH INCREASED BEAM ALIGNMENT SENSITIVITY

【技術領域】

【0001】 本申請案係關於藉助一或多個光柵將輻射耦合至多個光學波導中。

【先前技術】

【0002】 在光學儀器及積體光學裝置之領域中，可將光學輻射遞送至晶片上之複數個離散位點。對於通信裝置或分析裝置，可將光學輻射遞送至形成於晶片上之複數個波導，該等波導可將光學輻射輸送至晶片上之一或多個位點(例如，用於信號處理或用於樣本探測)。一種將輻射遞送至多個位點之方法係使用一或多個光柵耦合器將來自入射波束之輻射耦合至複數個波導中。

【發明內容】

【0003】 本發明闡述關於將光學輻射耦合至形成於基板上之一或多個波導中之設備及方法。在某些實施例中，一種光柵耦合器經圖案化以具有至兩個或更多個波導之偏移或交錯入口，使得入口之偏移提供來自該等波導之信號，該等信號消除光學波束在朝向或遠離該等入口之方向上在該光柵耦合器上之運動。在某些實施例中，一種光柵耦合器經圖案化以具有毗鄰於至兩個或更多個波導之入口之不同光柵週期性之區域，使得經變化

週期性提供來自該等波導之信號，該等信號消除光學波束在該光柵耦合器上之入射角之改變。在其他實施例中，入口之該偏移及經變化仰俯可在光柵耦合器中組合以消除光學波束在該光柵耦合器上之運動及入射角之改變兩者。對波束運動及入射角之消除可改良該光柵耦合器對該入射波束之校準及失準之靈敏度。

【0004】 某些實施例係關於一種積體裝置，其包括：光柵，其安置在基板上且經配置以將入射在該光柵上之輻射耦合至安置在該基板上之複數個光學波導中；至該複數個光學波導之第一接收區域之第一入口；及至該複數個光學波導之第二接收區域之第二入口，其中該第二入口在垂直於該光柵之線之第一方向上相對於該第一入口偏移第一量。

【0005】 某些實施例係關於一種將輻射耦合至形成於基板上之複數個光學波導中之方法，該方法包括以下動作：在形成於該基板上之光柵上接收一或多個輻射波束；將來自該一或多個波束之該輻射耦合至連接至該複數個光學波導之複數個接收區域中；監測自該複數個光學波導之第一波導接收之第一輻射量；及至少部分地基於該所監測輻射量而判定該一或多個波束在垂直於該光柵之線之方向上是朝向還是遠離該第一波導之入口移動。

【0006】 某些實施例係關於一種製造積體裝置之方法。該方法可包括以下動作：在基板上形成複數個波導；在該基板上形成跨越至該複數個波導之入口光柵；沿著該光柵之參考線定位至該複數個波導中之第一波導之第一入口；及使至該複數個波導中之第二波導之第二入口自該參考線偏移第一距離，其中該第一距離係在垂直於該光柵之線之第一方向上。

【0007】 某些實施例係關於一種積體裝置，其包括：光柵，其安置

在基板上且經配置以將入射在該光柵上之輻射耦合至安置在該基板上之複數個光學波導中；至該複數個光學波導之第一波導之第一入口；及至該複數個光學波導之第二波導之第二入口，其中毗鄰於該第一入口定位之該光柵之第一部分具有與毗鄰於該第二入口定位之該光柵之第二部分不同的週期性。

【0008】 某些實施例係關於一種將輻射耦合至形成於基板上之複數個光學波導中之方法，該方法包括以下動作：在光柵上接收一或多個輻射波束；將來自該一或多個波束之輻射耦合至複數個光學波導中；監測自該複數個光學波導之第一波導接收之信號；及至少部分地基於自該第一波導監測之該信號而判定該光柵上之該一或多個波束之入射俯仰角是否在垂直於該光柵之線之方向上改變。

【0009】 某些實施例係關於一種製造積體裝置之方法。該方法可包括以下動作：在基板上形成複數個波導，每一波導具有毗鄰於光柵之入口；及在該基板上形成該光柵以跨越至該複數個波導之該等入口，其中毗鄰於至該複數個波導中之第一波導之第一入口定位之該光柵之第一部分具有與毗鄰於至該複數個波導中之第二波導之第二入口定位之該光柵之第二部分不同的週期性。

【0010】 可結合隨附圖式依據以下說明更全面理解本發明教示之前述及其他態樣、實施方案、動作、功能性、特徵及實施例。

【圖式簡單說明】

【0011】 熟習此項技術者將理解，本文中所闡述之各圖僅用於圖解說明目的。應理解，在某些例項中，本發明之各項態樣可展示為經擴大或放大，以促進對本發明之理解。在各圖式中，遍及各種圖，相似參考字符

一般而言係指相似特徵、功能上類似及/或結構上類似之元件。圖式未必按比例繪製，而是，重點放在圖解說明本教示之原理上。該等圖式並非意欲以任何方式限制本發明教示之範疇。

【0012】 圖1-1係根據某些實施例之繪示入射於光柵耦合器上之光學脈衝之透視圖。

【0013】 圖1-2係根據某些實施例之繪示光柵耦合器之實例之平面圖，該光柵耦合器經配置以將光學輻射耦合至複數個波導中。

【0014】 圖1-3係根據某些實施例之光柵耦合器之立面圖。

【0015】 圖2-1係根據某些實施例之對波束校準具有經改良靈敏度之實例光柵耦合器之平面圖。

【0016】 圖2-2係根據某些實施例之對波束校準具有經改良靈敏度之實例光柵耦合器之平面圖。

【0017】 圖2-3係根據某些實施例之對針對複數個入射波束之波束校準具有經改良靈敏度之實例光柵耦合器之平面圖。

【0018】 圖2-4繪示根據某些實施例之自光柵耦合器之接收區域接收之信號之信號特性，該光柵耦合器對波束校準具有經改良靈敏度。

【0019】 圖3-1係根據某些實施例之對波束校準具有經改良靈敏度之實例光柵耦合器之平面圖。

【0020】 圖3-2係根據某些實施例之對波束校準具有經改良靈敏度之實例光柵耦合器之平面圖。

【0021】 圖3-3繪示根據某些實施例之自光柵耦合器之接收區域接收之信號之信號特性，該光柵耦合器對波束校準具有經改良靈敏度。

【0022】 圖3-4繪示根據某些實施例之接收區域及對應光柵部分之

實例。

【0023】 圖3-5係根據某些實施例之用於在光柵耦合器上對入射波束進行校準並維持校準之方法之流程圖繪示。

【0024】 圖4繪示根據某些實施例之積體裝置之部分之剖面透視圖。

【0025】 圖5-1A係根據某些實施例之包含緊湊模式鎖定雷射模組之分析儀器之方塊圖繪示。

【0026】 圖5-1B繪示根據某些實施例之併入至分析儀器中之緊湊模式鎖定雷射模組。

【0027】 圖5-2繪示根據某些實施例之光學脈衝列。

【0028】 圖5-3繪示根據某些實施例之可由脈衝式雷射經由一或多個波導光學激發之並行反應室之實例且進步一步展示每一室之對應偵測器。

【0029】 圖5-4圖解說明根據某些實施例之來自波導之反應室之光學激發。

【0030】 圖5-5繪示根據某些實施例之積體反應室、光學波導及時間分級光偵測器之進一步細節。

【0031】 圖5-6繪示根據某些實施例之可在反應室內發生之生物反應之實例。

【0032】 圖5-7繪示具有不同衰減特性之兩個不同螢光團之發射概率曲線。

【0033】 圖5-8繪示根據某些實施例之對螢光發射之時間分級偵測。

【0034】 圖5-9繪示根據某些實施例之時間分級光偵測器。

【0035】 圖5-10A繪示根據某些實施例之來自反應室之螢光發射之脈衝激發及時間分級偵測。

【0036】 圖5-10B繪示根據某些實施例之在對分析物進行重複脈衝激發之後在各種時間分級格中之經累積螢光光子計數之直方圖。

【0037】 圖5-11A至圖5-11D繪示根據某些實施例之可對應於四個核苷酸(T、A、C、G)或核苷酸類似物之不同直方圖。

【0038】 依據下文在結合圖式時所陳述之詳細說明，本發明之特徵及優點將變得更加顯而易見。當參考各圖式闡述實施例時，可使用方向性參考(「上方」、「下方」、「頂部」、「底部」、「左側」、「右側」、「水平」、「垂直」等)。此等參考僅意欲幫助讀者以正常定向觀看圖式。此等方向性參考並非意欲闡述所體現裝置之特徵之較佳或唯一定向。可使用其他定向來體現裝置。

【實施方式】

【0039】 本申請案根據35 U.S.C. § 119(e)主張於2019年6月14日提出申請之標題為「SLICED GRATING COUPLER WITH INCREASED BEAM ALIGNMENT SENSITIVITY」之美國臨時申請案第62/861,832號之優先權，該申請案之全文以引用方式併入本文中。

【0040】 I. 光柵耦合器

【0041】 光柵耦合器係用於將來自外部光學波束之光學輻射耦合至位於基板上之積體光學波導中之有用積體光學裝置。出於解釋目的，圖1-1圖解說明整合於基板1-105上之光柵耦合器1-100之實例。光柵耦合器1-100可包括光學光柵1-110及具有入口1-111之光學波導之接收區域1-112。

在所圖解說明實例中，光柵1-110經定位毗鄰於入口1-111，且光柵耦合器1-100經組態以經由入口1-111將入射光學輻射(繪示為沿著波束之光軸1-101行進之光學脈衝1-122之波束)重新引導並耦合至波導之接收區域1-112中。接收區域1-112可連接至入口1-111下游之一或多個波導，如圖1-2中所繪示。對於圖1-1之圖解說明中之方向性參考，選擇座標軸使得*x*及*y*方向平行於光柵耦合器形成於其上之基板1-105之頂部表面。然而，本發明並不限於笛卡耳座標參考系之所圖解說明定向。其他參考系(極性、球形)及其他定向可用於闡述本發明。

【0042】 當將組件闡述為係在基板或層「上」或「上方」時，組件可直接在基板或層上，或者在組件與基板或層之間可存在一或多個介入材料層及/或一或多個介入組件。片語「直接在……上」用於指示組件與緊鄰基板或層之直接實體接觸。

【0043】 圖1-2係形成於基板1-105上之實例光柵耦合器1-100及波導1-213a、1-213b之部分之平面圖。光柵耦合器1-100可連接至第一波導1-213且將輻射耦合至第一波導1-213中，該第一波導可連接至兩個或更多個波導1-213a、1-213b。波導區段中之任一者可係單橫向模式或多模式波導。波導區段中之任一者可包括由具有第一折射率之第一介電材料形成之波導芯及環繞或部分環繞該芯之一或多個包覆層。一或多個包覆層之折射率之值可小於波導芯之折射率。

【0044】 根據某些實施例，功率分配器1-225可將自第一波導1-213接收之功率分配至兩個所圖解說明波導1-213a、1-213b中。在某些實施方案中，可將來自第一波導1-213之功率分配至不止兩個波導中。在某些情形中，可不使用功率分配器且僅單個波導1-213可自光柵耦合器1-100延

伸。在某些情形中，波導1-213a、1-213b可連接至額外功率分配器使得波導中之光學功率可進一步分佈至複數個波導中。

【0045】 功率分配器1-225之某些實例包含波導耦合器或波導分裂器，其中第一波導中之傳播模式短暫地耦合至一或多個毗鄰波導中之一或多個傳播模式。功率分配器1-225之其他實例包含干涉分裂器，諸如馬赫-任德干涉儀及多模式干涉耦合器。無論功率分配器1-225之類型及下游波導之數目如何，可藉由選擇功率分配器1-225之適合設計及分裂比在下游波導當中同等或不同等地分配來自第一波導1-213之功率。

【0046】 圖1-3繪示根據一項實施例之粗略地對應於圖1-1中所展示之結構之立面圖。光學光柵1-110可圖案化為第一材料中之線1-116，第一材料具有比毗鄰於光柵線之毗鄰材料1-310高(或在某些情形中低)之折射率。(圖1-1中未展示毗鄰材料1-310。) 在某些實施例中，光學光柵1-110係嵌入於一或多個環繞材料中。舉例而言，替代環繞光柵1-110之單個毗鄰材料1-310，可在兩個或更多個不同材料層之間形成光柵。光柵1-110之線(或齒) 1-116可由單個材料層形成(如圖1-1中所繪示)，或可包括兩個或更多個材料層(如圖1-3中所繪示)。舉例而言，第二材料1-312可沈積在第一材料1-311上方且在形成線1-116時經圖案化。一或多個第二材料層之添加可改良光柵1-110之繞射效率。當使用兩個或更多個層時，可用於形成光柵線1-116之材料包含但不限於介電質(氧化物、氮化物)、半導體、金屬及此等材料之組合。此等實例材料包含氧化矽、氧化鉭、氧化鋁、氮化矽、富氮氮化矽(例如，具有比Si_3N_4之化學計量比多之氮化物)、矽、矽-鍺、鍺、鋁、鎢及聚合物材料。在一項實例實施例中，光柵1-110可主要由富氮氮化矽形成且環繞光柵之毗鄰材料1-310可包括氧化矽。

【0047】 環繞光學光柵1-110之一或多個毗鄰材料1-310對將藉由光學光柵1-110耦合至接收區域1-112中之光學輻射可係光學透明的。較佳地，一或多個毗鄰材料1-310對將耦合至波導中之光學輻射呈現低光學損耗。可用於一或多個毗鄰材料1-310之材料包含但不限於如上文所闡述之氧化物、氮化物及聚合物。

【0048】 根據某些實施例，光學光柵1-110可具有介於200 nm與800 nm之間的週期性P。在其他實施例中，光柵1-110可具有小於200 nm或大於800 nm之週期性P。光柵之負載循環(光柵線1-116在x方向上之寬度對週期性P之比率)可介於20%與80%之間。根據某些實施例，光柵線1-116之厚度t_g可介於20 nm與500 nm之間。與耦合至單個入口1-111中相關聯之光柵齒1-116之寬度w_g可介於50 nm與500 nm之間。根據某些實施例，毗鄰於入口1-111之光柵1-110之最後線1-116可與入口1-111間隔相當於光柵線1-116之間的間隔之距離(如圖1-1中所繪示)。在某些情形中，光柵1-110之最後線1-116可與入口1-111間隔係光柵線1-116之間的整數數目個間隔或光柵線1-116之間的非整數數目個間隔的距離。

【0049】 接收區域1-112及光學波導1-213可在第一材料中圖案化，該第一材料具有高於接收區域1-112及/或波導1-213之毗鄰材料1-310之折射率。在某些實施例中，接收區域1-112及光學波導1-213可嵌入於一或多個環繞材料中。接收區域、波導及一或多個環繞材料對由波導輸送之輻射可係光學透明的。較佳地，接收區域1-112、波導1-213及一或多個毗鄰材料1-310對由波導輸送之光學輻射呈現低光學損耗(例如，小於1 dB/cm)。可用於接收區域1-112、波導1-213、下游波導1-213a、1-213b之材料及一或多個第二材料1-310包含但不限於如上文所闡述之氧化物及氮化物。作

為一實例，波導1-213、接收區域1-112及下游波導1-213a、1-213b可由氮化矽(或富氮氮化矽)形成且一或多個毗鄰材料1-310可由氧化矽形成。

【0050】 根據某些實施例，接收區域1-112可係漸縮的，如圖1-1之實例中所圖解說明。沿著漸縮區域，接收區域中之波導芯之寬度w_t可在x方向上在大小上減小，從而遠離入口1-111移動，直至其在下游位置處匹配波導1-213之均勻部分中之芯之寬度w為止，如圖1-2中所繪示。在其他實施例中，漸縮區域1-112中之波導芯之寬度w_t可在x方向上在大小上增加，從而遠離入口1-111而移動，直至其匹配波導1-213之芯之均勻部分之寬度w為止。另外或另一選擇係，接收區域1-112中之芯之厚度t_w可係漸縮的，從而在大小上改變，直至其匹配經連接波導1-213之芯之厚度為止。例如，當入射波束之橫向大小(模式輪廓)顯著不同於由波導1-213支援之光學模式(例如，基本模式大小)之大小時，使接收區域1-112中之芯之寬度及/或厚度漸縮可改良光學輻射至接收區域及下游波導中之耦合效率。

【0051】 根據某些實施例，波導1-213之均勻部分中之芯之寬度w可介於200 nm與800 nm之間。波導1-213之均勻部分中之芯之厚度t_w可介於20 nm與500 nm之間。在某些實施方案中，選擇波導芯之寬度及厚度使得波導1-213僅支援波導內之單橫向光學模式(基本光學模式)。在某些情形中，波導1-113可支援一個以上橫向光學模式。漸縮接收區域1-112中之芯之寬度w_t在某些情形中在入口1-111處可小於200 nm，或者在其他情形中在入口處可大於800 nm。在某些實施方案中，接收區域可並非漸縮的。接收區域1-112之入口處之芯之厚度t_w可介於20 nm與500 nm之間。

【0052】 可使用平坦化微製作技術來製作光柵1-110、接收區域1-112及波導1-213，諸如闡述於於2017年12月15日提出申請且標題為

「Optical Coupler and Waveguide System」之美國專利申請案第15/844,403號中之彼等技術，該申請案之全文以引用方式併入本文中。此等微製作技術可包含以下步驟：使用光罩及光微影技術在抗蝕劑中圖案化光柵及波導；及使用諸如各向異性反應性離子蝕刻之蝕刻程序在氧化物及/或氮化物層中蝕刻光柵及波導之圖案。此等微製作技術亦可包含以下步驟：沈積抗蝕劑及用於形成光柵耦合器之層；及移除殘餘抗蝕劑及層之部分。

【0053】 在操作中，光柵耦合器1-100可將入射光學輻射繞射成遠離入射波束之路徑(其沿著光軸1-101前進)之一或多個不同方向上。藉由仔細設計光柵耦合器(例如，針對操作特性波長選擇光柵1-110之合適間距*P*)及正確定向入射波束，大部分入射光學輻射可自光柵1-110朝向入口1-111繞射且基本上與接收區域1-112同軸。藉此，大部分入射輻射可耦合至接收區域1-112及下游波導1-213中。可藉由波束之位置及入射角來闡述入射波束(在圖1-1之實例中展示為脈衝1-122)之定向。舉例而言，在某些情形中，波束在光柵1-110上之位置可闡述為波束之中心(例如，光軸1-101)相對於光柵1-110之中心或入口1-111之中心之位置(在*x*及*y*方向上)。波束之入射角可由第一入射角或俯仰角θ_i (例如，自*z*軸朝向*x*方向量測，圍繞*y*軸旋轉)及第二入射角或傾斜角ϕ_i (例如，自*z*軸朝向*y*方向量測，圍繞*x*軸旋轉)闡述。波束在光柵1-110上之位置、俯仰角θ_i及傾斜角ϕ_i之改變可改變入射波束至接收區域1-112及下游波導1-213中之耦合效率。

【0054】 上文針對圖1-1、圖1-2及圖1-3之光柵耦合器實施例所闡述之特徵、材料及尺寸可實施於在直接自光柵1-110耦合至一個以上接收區域之以下實施例中闡述之光柵耦合器中。

【0055】 發明者已認識到並瞭解，一旦針對最高耦合效率將光學脈衝1-122之入射波束(或連續波入射波束)校準至光柵耦合器1-100，則當偵測到耦合至接收區域1-112或下游波導中之功率降低時，知曉波束之定向已如何改變可存在歧義或不確定性。舉例而言，當針對關於入射波束在光柵1-110上之位置之最高耦合效率定向時，波束朝向入口1-111或遠離入口1-111之運動在耦合效率上產生極類似特性減少。因此，藉由偵測下游波導中之功率降低，無法容易地判定入射波束是否已朝向或遠離入口1-111移動。因此，因在波束之x方向上之運動存在歧義而使波束位置之自動校正以維持高耦合效率複雜化。

【0056】 類似結果亦在俯仰角θ_i之改變時發生。舉例而言，在獲得關於俯仰角之最高耦合效率之後，俯仰角之增加或減小在耦合效率上產生基本上相同之降低。因此，因在波束之θ_i方向上之運動存在歧義而使波束位置之自動校正以維持高耦合效率進一步複雜化。

【0057】 圖2-1繪示具有經改良波束校準靈敏度之光柵耦合器2-100之實施例，其中可消除入射波束2-102在x方向上之移動方向(導致耦合效率降低)。該圖解說明展示光柵耦合器之平面圖。在所圖解說明實施例中，光柵耦合器2-100包括具有五個入口2-111a至2-111e之五個接收區域2-112a至2-112e，該等入口之某些者在x方向上或在垂直或基本上垂直於光柵之線2-116之方向上相對於其他入口偏移。在某些實施方案中，可存在少於或多於五個接收區域。對於某些應用，在光柵耦合器2-100中可存在數十個或超過一百個接收區域及入口。為簡化圖解說明，僅展示光柵線及波導之接收區域。光柵線2-116及波導之接收區域2-112a至2-112e可連同環繞材料一起形成於基板1-105上，如上文結合圖1-1至圖1-3所闡述。

【0058】 藉由使用多個入口2-111a至2-111e，光柵耦合器2-100可將來自高功率波束2-102之輻射直接耦合至多個波導中。(諸如$1/e^2$寬度之實例橫向波束輪廓指示為虛線橢圓形。)直接耦合至多個波導中可有利於避免損壞光學波導且避免可在較高功率下發生之不期望非線性光學行為。此外，入口2-111a至2-111e在y方向上之橫向寬度w_t可經定大小以在接收區域2-112a至2-112e當中獲得所期望功率比。舉例而言，外部入口2-111a、2-111e可比中心入口2-111c寬，使得每一接收區域2-112a、2-112c及2-112e自入射波束耦合大約相同量之光學功率。在某些實施例中，全部接收區域可自入射波束耦合大約相同量之光學功率，使得接收區域下游之每一波導攜載大約相同量之光學功率。在其他實施例中，可藉由選擇入口2-111a至2-111e及接收區域2-112a及2-112e之合適寬度來實施其他功率耦合比。

【0059】 根據某些實施例，入口2-111a至2-111e中之一或多者可基本上沿著同一參考線2-115 (其可係筆直或彎曲的)定位。在某些情形中，如圖2-1之所圖解說明實例中所繪示，大部分入口2-111a、2-111c、2-111e係沿著同一參考線2-115 (在$x = X_i$處繪示為虛線)定位。儘管參考線在圖解說明中展示為係筆直的，但在某些實施方案中，參考線2-115可係彎曲的(例如，以適應入射波束2-102之形狀之曲率)。參考線2-115可對應於以下位置：當入射波束定位在光柵上以達成至兩個或更多個接收區域中之一者中之最高耦合效率時，接收區域之兩個或更多個入口將經定位以提供至兩個或更多個接收區域之最高耦合效率。對於具有經改良x方向靈敏度之光柵耦合器2-100，至少一個入口在x方向上遠離參考線2-115一量$|\Delta x|$而定位。在某些實施例中，兩個或更多個入口在x方向上遠離參考線2-115

一量|Δ*x*|或兩個不同量而定位。在某些情形中，可能的係，使大部分入口在*x*方向上遠離參考線2-115一量|Δ*x*|或複數個不同量而定位。在此等情形中，參考線2-115可與僅一個入口(例如，在所有入口當中定位在平均*x*位置處之入口)校準。

【0060】 一或多個入口2-111b、2-111d可自參考線2-115偏移之一量可介於0.5微米與10微米之間，或根據某些實施例可係大約此等端值，且對於入射波束之波長，可介於400 nm與800 nm之間或可係大約此等端值。偏移入口2-111b、2-111d及接收區域s 2-112b、2-112d可耦合比在其等位於參考線2-115上的情況下其等將能耦合少的功率。在某些實施例中，偏移入口及接收區域之寬度可經定大小以在全部入口及接收區域當中耦合所期望功率比(例如，至每一入口及接收區域中之相同量之功率)。

【0061】 可藉由監測連接至偏移入口(例如，入口2-112d)之波導中之功率來感測波束運動之消除。舉例而言並再次參考圖2-1，初始波束校準可最佳化耦合至沿著參考線2-115放置之一或多個入口及接收區域(諸如入口2-111c及接收區域2-112c)中之功率。對於耦合效率之最佳化，可自連接至沿著參考線2-115放置之一或多個入口及接收區域之波導來監測功率或強度。在某些情形中，監測可在波導將功率遞送至之晶片上之一或多個位點處進行。舉例而言，晶片上之位點可包含光偵測器，其可感測波導中之輻射強度之量。在耦合效率之最佳化之後，在一或多個偏移入口及接收區域中監測之功率或強度可指示入射波束在哪個方向上(在*x*上)移動。舉例而言，若在連接至接收區域2-112d之波導中監測功率，則功率增加將指示入射波束2-102已在$-x$ (上游)方向上移動。功率降低將指示入射波束2-102已在$+x$ (下游)方向上移動。另一選擇係或另外，儘管本文中所闡述

之實例係指入射波束之功率，但可監測強度。

【0062】 對於同一光柵耦合器2-100，在連接至接收區域2-112b中之波導中監測之功率將展示與在連接至接收區域2-112d之波導中監測之功率之彼行為相反之行為。入射波束2-102在$-x$方向上之移動將導致耦合至接收區域2-112b中之功率降低。入射波束2-102在$+x$方向上之移動將導致耦合至接收區域2-112b中之功率增加。使來自連接至兩個接收區域2-112b、2-112d之兩個波導之功率信號差異化可增加偵測輸入波束2-102之運動之靈敏度。

【0063】 圖2-2繪示具有經改良波束校準靈敏度之光柵耦合器2-200之另一實施例。光柵耦合器2-200可幾乎與圖2-1之光柵耦合器2-100相同，惟入口與接收區域2-112a至2-112e係在y方向上空間分離而不是鄰接且在其等邊緣處接觸。光柵2-210可包括經分離部分2-210a至2-210e，如圖2-2中所圖解說明，或者可形成為連續線2-116，如圖2-1中所展示。在y方向上將入口2-111a至2-111e與接收區域2-112a至2-112e分離可導致經降低耦合效率，但可藉由降低直接鄰接入口面之不連續性之效應來改良接收區域中之光學模式輪廓。光柵2-210及接收區域2-112a至2-112e可連同環繞材料一起形成於基板1-105上，如上文結合圖1-1至圖1-3所闡述。

【0064】 在某些應用中，可期望將複數個入射波束2-330耦合至複數個積體波導中。圖2-3圖解說明用於此等應用之具有經改良波束校準靈敏度之光柵耦合器2-300之另一實施例。光柵耦合器2-300可包括光柵2-310及毗鄰於光柵2-310之複數個接收區域2-312a至2-312d。該光柵可包括經分離部分2-310a至2-310d，如所圖解說明，或者可形成為像圖2-1中具有連續線2-116之光柵一樣。接收區域2-312a至2-312d可在y方向上分

離，如所圖解說明，或者可彼此直接毗鄰而鄰接。接收區域及入口中之至少一者可在*x*方向上自參考線2-115偏移。根據某些實施方案，接收區域與入口之寬度可係大約相同的。在某些實施例中，偏移光柵之接收區域及入口之寬度可大於放置在參考線2-115上之入口之接收區域及入口之寬度(例如，以便在每一接收區域中獲得相同量之功率)。

【0065】 假如複數個入射波束2-330作為單元一起而不是獨立地移動，則複數個入射波束2-330在*x*方向上之運動將產生耦合至偏移接收區域中之相同功率改變，如上文結合圖2-1所闡述。舉例而言，入射波束2-330在+*x*方向上之運動可偵測為連接至接收區域2-312b之波導之功率增加及連接至接收區域2-312c之波導之功率降低。而且，入射波束2-330在–*x*方向上之運動可偵測為連接至接收區域2-312b之波導之功率降低及連接至接收區域2-312c之波導之功率增加。光柵2-310及接收區域2-312至2-312e可與環繞材料一起形成於基板1-105上，如上文結合圖1-1至圖1-3所闡述。

【0066】 圖2-4繪製對入射波束之*x*位置上之改變具有經改良靈敏度之光柵耦合器(諸如圖2-1中所圖解說明之耦合器)之模擬結果。第一曲線2-402圖解說明自具有放置在參考線2-115上之入口之接收區域2-112c接收之信號S_c之改變。對於定位於參考*x*位置(任意設定為0微米)處之入射波束，獲得至接收區域2-112c中之最高耦合效率。如可自第一曲線2-402所看到，對於沿著*x*方向之波束位置之增加或減少，信號位準類似地改變。儘管曲線中存在不對稱性，但差異可係小的且難以或不可能在經實施之自動系統中可靠地辨別。舉例而言，介於-20微米與20微米之間的每一信號值並不唯一地識別波束位置。第二曲線2-404圖解說明自兩個接收區域(其等自參考線2-115偏移)接收之差信號S_d - S_b之改變，如圖2-1中所繪示。差信

號展示波束位置自$x \approx -7$微米至$x \approx +7$之改變之連續增加，且可清楚地區分波束在$-x$方向上之運動與波束在$+x$方向上之運動。曲線中之非線性可以電子方式進行校對及補償。對於此模擬，兩個接收區域偏移+5微米及-5微米，但本發明並不限於僅此等偏移值。在某些實施例中，可使用較小或較大偏移。

【0067】 圖3-1中圖解說明具有經改良波束校準靈敏度之光柵耦合器3-100之另一實施例。所圖解說明實例可消除入射波束2-102之俯仰角θ_i(圖1-1中所圖解說明)之改變。對於此等實施例，光柵耦合器3-100可包括具有複數個部分3-110a至3-110e之光柵3-110，該複數個部分中之至少兩者具有不同或偏移光柵週期性(例如，P_1、P_2)。在某些實施方案中，接收區域3-112a至3-112e之入口可沿著共同參考線2-115放置，該參考線可係筆直或彎曲的，如上文所闡述。光柵部分3-110a至3-110e及接收區域3-112a至3-112e可在y方向上彼此直接鄰接，如所圖解說明，或者可彼此分離(像圖2-2中所繪示之彼等一樣)。在某些實施例中，光柵部分3-110a至3-110e及接收區域3-112a至3-112e可經分離且經定大小以便如圖2-3中所繪示地將複數個入射波束耦合至複數個波導中。

【0068】 光柵部分3-110a、3-110c、3-110e中之一或多者可具有相同光柵週期性P_1，其可係參考週期性。在某些情形中，大部分光柵部分3-110a、3-110c、3-110e可具有相同參考光柵週期性P_1。參考週期性可係當入射波束2-102針對至對應接收區域中之一者中之最高耦合效率而定向時提供至對應接收區域(例如，接收區域3-112a、3-112c、3-112e)中之每一者中之最高耦合效率的參考週期性。光柵部分3-110b中之至少一者可具有與參考週期性P_1不同之偏移週期性P_2。偏移週期性可導致至對應接收區域

3-112b中之經降低耦合效率。在某些情形中，可存在具有一或多個額外偏移週期性P_3之一或多個額外光柵部分3-110d。光柵3-110及接收區域3-112a至3-112e可連同環繞材料一起形成於基板1-105上，如上文結合圖1-1至圖1-3所闡述。

【0069】 對於具有參考週期性P_1之光柵部分3-110a，入射波束之一部分之繞射可基本上在y方向上(例如，直接至對應入口中)且基本上與接收區域之芯同軸。入射波束在$+\theta_i$方向上之間距改變將產生與在$-\theta_i$方向上之間距改變基本上相同之功率降低行為(再次參考圖1-1)。對於具有小於P_1之週期性P_2之光柵部分3-110b，入射波束之一部分之繞射可主要在y方向上但亦可部分地在$-z$方向上(不在紙張中)。此可導致至接收區域3-112b中之經降低耦合效率。然而，入射波束在$+\theta_i$方向上之間距改變將降低耦合至接收區域3-112b中之功率，而入射波束在$-\theta_i$方向上之間距改變將增加耦合至接收區域3-112b中之功率。監測來自耦合至接收區域3-112b之波導之功率或強度可然後消除入射波束2-102在$\pm\theta_i$方向上之間距改變。

【0070】 對於具有大於P_1之週期性P_3之光柵部分3-110d，可獲得與光柵部分3-110b之彼行為相反之行為。在週期性P_3大於參考週期性P_1的情況下，入射波束之部分之繞射可主要在y方向上但亦可部分地在$+z$方向上(在該圖之平面之中)。入射波束在$+\theta_i$方向上之間距改變將增加耦合至接收區域3-112d中之功率，而入射波束在$-\theta_i$方向上之間距改變將降低耦合至接收區域3-112d中之功率。將自接收區域3-112b、3-112d兩者接收之信號差異化可增加入射波束定向在$\pm\theta_i$方向上之改變之偵測靈敏度。

【0071】 根據某些實施例，光柵週期性自參考週期性P_1之偏移量可介於參考週期性P_1之0.1%與1%之間。對於某些可見光學組態，偏移光柵

之週期性改變可介於0.5 nm與4 nm之間，或介於大約0.5 nm與大約4 nm之間。

【0072】 圖3-2繪示組合偏移接收區域3-212b、3-212d與偏移光柵週期性P_2、P_3之態樣之光柵耦合器3-200之實例。光柵耦合器3-200可包含光柵3-210，其包括具有參考週期性P_1之光柵部分3-210b及具有一或多個偏移週期性P_2、P_3之一或多個額外部分3-210a、3-210c。光柵耦合器3-200可進一步包含：一或多個接收區域3-212a、3-212c、3-212e，其具有沿著參考線2-115定位之入口及具有在x方向上自參考線2-115偏移之入口之一或多個接收區域3-212b、3-212d。對於所圖解說明實例，自連接至接收區域3-212b及/或3-212d之波導偵測之功率改變可無歧義地指示光柵3-210上之入射波束位置在+x或-x方向上之運動。自連接至接收區域3-212a、3-212e之波導偵測之功率改變可無歧義地指示光柵3-210上之入射波束位置在+θ_i 或-θ_i方向上之運動。

【0073】 圖3-3繪製對入射波束之俯仰角θ_i之改變具有經改良靈敏度之光柵耦合器(諸如圖3-1中所圖解說明之耦合器)之模擬結果。第一曲線3-302圖解說明自毗鄰於具有參考週期性P_1之光柵之接收區域3-112c接收之信號S_c之改變。對於所選擇光柵設計及特性波長，針對-4.0度之入射俯仰角，獲得至毗鄰於具有參考週期性之光柵部分之接收區域中之最高耦合效率。如可自第一曲線3-302所看到，對於波束自成-4.0度之校準位置之入射俯仰角之增加或減小，信號位準基本上等同地改變。每一信號位準不唯一地識別波束之入射角。第二曲線3-304圖解說明自毗鄰於具有偏移週期性($P_2 < P_1$, $P_3 > P_1$)之兩個光柵部分之兩個接收區域接收之差信號$S_d - S_b$之改變。差信號在入射角之範圍內基本上係線性的，且可清楚地指示俯仰

角改變之方向。對於此模擬，偏移光柵週期性與參考光柵之週期性P_1之差係+1 nm及-1 nm，儘管光柵週期性之偏移並不限於僅此等值。可使用光柵週期性之較小或較大偏移。

【0074】 儘管在圖2-1至圖3-2中所圖解說明之實施例中，光柵線及接收區域之入口繪示為筆直的，但在某些實施方案中，光柵線及入口在實施例中之任一者中可係彎曲的。圖3-4圖解說明其中毗鄰於接收區域3-412之光柵3-410具有彎曲線3-416之實例。另外，接收區域3-412之入口3-411可具有彎曲表面。彎曲光柵線3-416及/或彎曲入口3-411可改良至接收區域3-412中之耦合效率。在某些情形中，另外或另一選擇係，彎曲光柵線3-416及/或彎曲入口3-411可改良接收區域3-412中之光學模式輪廓。

【0075】 圖3-5係圖解說明用於在本發明實施例之光柵耦合器上對入射波束進行校準或維持校準之實例方法3-500之流程圖。方法之動作中之某些或全部動作可係自動的(例如，藉由使用自動波束轉向及定位儀器)。方法3-500可包含首先在光柵耦合器2-100之光柵2-110上對入射波束2-102進行校準(動作3-510)之動作。經校準位置可係提供至參考接收區域(例如，具有放置在參考線2-115上之入口2-111之接收區域及/或具有用於對應參考光柵週期性P_1之入口之接收區域)中之最高或大約最高耦合效率之定向。在獲得經校準定向之後，可在x及/或θ_i方向上掃描波束定向以在一組未經校準定向內校對(動作3-520)感測器及信號位準。對於每一獨立自由度，可監測(動作3-530)校準信號位準。校準信號位準可由整合在其上形成波導及光柵耦合器之基板上之一個或多個感測器監測。在某些實施方案中，感測器可位於分析儀器之像素中，此將在下文進一步詳細闡述。自動系統可測試信號位準增加(動作3-540)或減少(動作3-550)。若偵測到

信號位準增加(例如，由在+x方向上之波束運動所導致)，則自動系統可在-x方向上移動波束(動作3-545)，直至信號位準復原至基本上經校準信號位準並恢復監測信號(動作3-530)為止。經校準信號位準可係在自動校準系統之校對(動作3-520)期間判定之電壓位準V_a，且該系統可經組態以接受在V_a之百分之幾內之值範圍作為指示校準。若偵測到信號位準減小(例如，由-x方向上之波束運動所導致)，則自動系統可在+x方向上移動波束(動作3-555)，直至信號位準復原至經校準位準並恢復對信號進行監測(動作3-530)為止。根據某些實施例，可使用電流計或步進馬達來實施波束之運動以使光學組件在入射波束之路徑中移動且藉此移動或改變入射波束之俯仰角。可執行類似動作以用於偵測波束俯仰角θ_i之改變且將波束復原至經校準定向。

【0076】 前述實施例中所闡述之光柵耦合器可用於上文所提及之各種光學應用中。其中可使用此等光柵耦合器之一個領域係關於分析晶片上之一個或複數個樣本(例如，晶片實驗室應用)。用於分析樣本之儀器繼續改良且可併入有經微製作組件(例如，電子晶片、微流體晶片)，此可幫助減小儀器之總體大小。待分析之樣本可包含空氣(例如，感測有害氣體洩漏、燃燒副產物或有毒化學成分)、水或其他可攝取液體、食品樣本及自受試者(血液、尿液等)提取之生物樣本。在某些情形中，可期望具有用於分析樣本之可攜式手持儀器，使得技術人員或醫療人員可容易地將儀器攜載至可執行服務且需要快速且準確地分析樣本之現場。在臨床環境中，桌上型大小儀器可期望用於更複雜之樣本分析，諸如對人類基因或蛋白質之定序或執行全血細胞計數分析。

【0077】 在高級分析儀器(諸如闡述於美國專利申請案第

2015/0141267號及美國專利第9,617,594號中之彼等儀器，其兩者以引用方式併入本文中)中，可棄式積體裝置(出於簡潔之目的，其可稱為「晶片」及「可棄式晶片」)可用於執行大規模並行樣本分析。可棄式積體裝置可包括經封裝生物光電晶片，其上可存在具有用於一個樣本或不同樣本之並行分析之反應室之大數目個像素。舉例而言，生物光電晶片上具有反應室之像素之數目在某些情形中可介於約10,000與約10,000,000之間且在某些情形中可介於100,000與約100,000,000之間。上文所闡述之光柵耦合器及波導可將光學輻射遞送至此生物光電晶片上之像素中之每一者。在某些實施例中，可棄式晶片可安裝至高級分析儀器之容座中且與儀器中之光學及電子組件介接。可棄式晶片可容易地由使用者替換以用於每一新樣本分析。

【0078】 圖4中展示根據某些實施例之可棄式晶片之實例結構4-100。可棄式晶片結構4-100可包含生物光電晶片4-110，其具有半導體基板4-105且包含形成於基板上之複數個像素4-140。在實施例中，可存在列或行波導4-115，其等將激發輻射提供至像素4-140之列或行。可使用上文所闡述之實施例之光柵耦合器將激發輻射耦合至波導中。舉例而言，光柵耦合器可形成於生物光電晶片4-110之表面上以將來自聚焦雷射波束之激發輻射耦合至連接至複數個波導4-115之一或多個接收波導中。

【0079】 可棄式晶片結構4-100可進一步包含壁4-120，其圍繞生物光電晶片4-110之像素區域形成。壁4-120可係支撐生物光電晶片4-110之塑膠或陶瓷殼體之部分。壁4-120可形成至少一個儲槽4-130，至少一個樣本可放置於其中且與生物光電晶片4-110之表面上之反應室1-130進行直接接觸。舉例而言，壁4-120可防止儲槽4-130中之樣本流動至含有光學埠4-

150及光柵耦合器之區域中。在某些實施例中，可棄式晶片結構4-100可進一步包含可棄式晶片之外部表面上之電觸點及封裝內之互連件，使得可在生物光電晶片4-110上之電路與可棄式晶片安裝至其中之儀器中之電路之間進行電連接。

【0080】 II. 實例生物分析應用

【0081】 闡述實例生物分析應用，其中積體光柵耦合器可用於高級分析儀器中。舉例而言，本發明實施例之光柵耦合器可用於改良自動維持入射波束與光柵耦合器之校準且在一時間週期內在下游波導中維持恆定功率位準之能力。

【0082】 當安裝在儀器之容座中時，可棄式晶片4-100 (像圖4中所展示之晶片一樣)可與高級分析儀器內之光學及電子設備進行光學及電子通信。該儀器可包含用於外部介面之硬體，使得可將來自晶片之資料傳遞至外部網路。在實施例中，術語「光學」可係指紫外光、可見光、近紅外光及短波長紅外光光譜頻帶。儘管可對各種樣本執行各種類型之分析，但以下解釋闡述基因定序且至少部分地適用於蛋白質定序。然而，本發明並不限於經組態以用於基因或蛋白質定序之儀器。

【0083】 在概述中並參考圖5-1A，可攜式高級分析儀器5-100可包括一或多個脈衝光源5-108，其作為可替換模組安裝在儀器5-100中或以其他方式耦合至儀器5-100。可攜式分析儀器5-100可包含光學耦合系統5-115及分析系統5-160。光學耦合系統5-115可包含光學組件(其可(舉例而言)不包含或包含來自以下組件當中之一者或者一個以上組件：透鏡、鏡、光學濾光器、衰減器、波束轉向組件、波束塑形組件)之某一組合且可經組態以在分析系統5-160上操作及/或將來自脈衝光源5-108之輸出光

學脈衝5-122耦合至分析系統5-160。分析系統5-160可包含複數個組件，其等經配置以將光學脈衝引導至至少一個反應室以供樣本分析，自至少一個反應室接收一或多個光學信號(例如，螢光、背向散射輻射)且產生表示所接收光學信號之一或多個電信號。在某些實施例中，分析系統5-160可包含一或多個光偵測器且亦可包含信號處理電子裝置(例如，一或多個微控制器、一或多個場可程式化閘陣列、一或多個微處理器、一或多個數位信號處理器、邏輯閘等)，其等經組態以處理來自光偵測器之電信號。分析系統5-160亦可包含資料傳輸硬體，其經組態以將資料傳輸至外部裝置(例如，儀器5-100可經由一或多個資料通信連結連接至其之網路上之一或多個外部裝置)且自外部裝置接收資料。在某些實施例中，分析系統5-160可經組態以接收生物光電晶片5-140，其固持待分析之一或多個樣本。

【0084】 圖5-1B繪示包含緊湊脈衝光源5-108之可攜式分析儀器5-100之另一詳細實例。在此實例中，脈衝光源5-108包括緊湊被動模式鎖定雷射模組5-110。被動模式鎖定雷射可自主產生光學脈衝，而無需施加外部脈衝信號。在某些實施方案中，模組可安裝至儀器機架或框架5-102，且可位於儀器之外部殼體內部。根據某些實施例，脈衝光源5-108可包含可用於操作光源且對來自光源5-108之輸出波束進行操作之額外組件。模式鎖定雷射5-110可包括在雷射腔中或耦合至雷射腔之元件(例如，飽和吸收體、聲光調變器、Kerr透鏡)，此誘發雷射之縱向頻率模式之相位鎖定。雷射腔可部分地由腔端鏡5-111、5-119界定。頻率模式之此鎖定導致雷射之脈衝操作(例如，腔內脈衝5-120在腔端鏡之間來回反彈)且自正部分地傳輸之一個端鏡5-111產生輸出光學脈衝5-122之串流。

【0085】 在某些情形中，分析儀器5-100經組態以接收可移除經封

裝生物光電或光電晶片5-140 (亦稱為「可棄式晶片」)。可棄式晶片可包含生物光電晶片4-110，舉例而言如圖4中所繪示，該生物光電晶片包括：複數個反應室；積體光學組件，其等經配置以將光學激發能量遞送至反應室；及積體光偵測器，其等經配置以偵測來自反應室之螢光發射。在某些實施方案中，晶片5-140可在單次使用之後被丟棄，而在其他實施方案中，晶片5-140可重複使用兩次或更多次。當晶片5-140由儀器5-100接收時，其可與脈衝光源5-108並與分析系統5-160中之設備進行電通信或光學通信。舉例而言，可經由晶片之封裝上之電觸點來進行電通信。

【0086】 在某些實施例中並參考圖5-1B，可棄式晶片5-140可安裝(例如，經由插口連接)在可包含額外儀器電子裝置之電子電路板5-130上，諸如印刷電路板(PCB)。舉例而言，PCB 5-130可包含經組態以將電功率、一或多個時脈信號及控制信號提供至晶片5-140之電路及經配置以接收表示自反應室偵測之螢光發射之信號之信號處理電路。自晶片5-140返回之資料可部分或完全由儀器5-100上之電子裝置處理，儘管在某些實施方案中，資料可經由網路連接傳輸至一或多個遠端資料處理器。PCB 5-130亦可包含經組態以自晶片接收關於耦合至晶片5-140之波導中之光學脈衝5-122之光學耦合及功率位準之回饋信號之電路。可將回饋信號提供至脈衝光源5-108及光學系統5-115中之一者或兩者以控制光學脈衝5-122之輸出波束之一或多個參數。在某些情形中，PCB 5-130可將功率提供或路由至脈衝光源5-108以便操作光源及光源5-108中之相關電路。

【0087】 根據某些實施例，脈衝光源5-108包括緊湊模式鎖定雷射模組5-110。模式鎖定雷射可包括增益介質5-105 (在某些實施例中，其可係固態材料)、輸出耦合器5-111及雷射腔端鏡5-119。模式鎖定雷射之光

學腔可由輸出耦合器5-111及端鏡5-119限界。雷射腔之光軸5-125可具有一或多個摺疊(匝)以增加雷射腔之長度並提供所期望脈衝重複率。脈衝重複率由雷射腔之長度(例如，光學脈衝在雷射腔內進行往返之時間)判定。

【0088】 在某些實施例中，在雷射腔中可存在額外光學元件(圖5-1B中未展示)以用於波束塑形、波長選擇及/或脈衝形成。在某些情形中，端鏡5-119包括飽和吸收體鏡(SAM)，其誘發縱向腔模式之被動模式鎖定且導致模式鎖定雷射之脈衝操作。模式鎖定雷射模組5-110可進一步包含幫浦源(例如，雷射二極體，圖5-1B中未展示)以用於激發增益介質5-105。模式鎖定雷射模組5-110之進一步細節可在於2017年12月15日提出申請之標題為「Compact Mode-Locked Laser Module」之美國專利申請案第15/844,469號中找到，該申請案以引用方式併入本文中。

【0089】 當將雷射5-110模式鎖定時，腔內脈衝5-120可在端鏡5-119與輸出耦合器5-111之間循環，且腔內脈衝之部分可作為輸出脈衝5-122經由輸出耦合器5-111傳輸。因此，如圖5-2之圖表中所繪示，當腔內脈衝5-120在雷射腔中之輸出耦合器5-111與端鏡5-119之間來回反彈時，可在輸出耦合器處偵測到輸出脈衝5-122之列。

【0090】 圖5-2繪示輸出脈衝5-122之時間強度輪廓，儘管該圖解說明未按比例繪製。在某些實施例中，所發射脈衝之峰值強度值可係大約相等的，且該等輪廓可具有高斯時間輪廓，儘管諸如sech^2輪廓之其他輪廓亦係可能的。在某些情形中，脈衝可不具有對稱時間輪廓，而是可具有其他時間形狀。每一脈衝之持續時間可由半高全寬(FWHM)值來表徵，如圖5-2中所指示。根據模式鎖定雷射之某些實施例，超短光學脈衝可具有小於100皮秒(ps)之FWHM值。在某些情形中，FWHM值可介於大約5 ps與

大約30 ps之間。

【0091】 輸出脈衝5-122可藉由規則間隔*T*分離。舉例而言，*T*可由輸出耦合器5-111與腔端鏡5-119之間的往返行進時間判定。根據某些實施例，脈衝分離間隔*T*可介於約1 ns與約30 ns之間。在某些情形中，脈衝分離間隔*T*可介於約5 ns與約20 ns之間，對應於約0.7米與約3米之間的雷射腔長度(雷射腔內之光軸5-125之大約長度)。在實施例中，脈衝分離間隔對應於雷射腔中之往返行進時間，使得3米之腔長度(6米之往返距離)提供大約20 ns之脈衝分離間隔*T*。

【0092】 根據某些實施例，所期望脈衝分離間隔*T*及雷射腔長度可由晶片5-140上之反應室之數目、螢光發射特性及用於自晶片5-140讀取資料之資料處置電路之速度的組合判定。在實施例中，不同螢光團可由其等不同螢光衰減速率及特性壽命來區分。因此，需要存在充足脈衝分離間隔*T*以收集用於所選擇螢光團之足夠統計資料以區分其等不同衰減速率。另外，若脈衝分離間隔*T*過短，則資料處置電路不能跟上由大數目個反應室收集之大量資料。介於約5 ns與約20 ns之間的脈衝分離間隔*T*適合於具有高達約2 ns之衰減速率之螢光團且適合於處置來自約60,000個與10,000,000個之間之反應室的資料。

【0093】 根據某些實施方案，波束轉向模組5-150可接收來自脈衝光源5-108之輸出脈衝且經組態以至少調整光學脈衝至晶片5-140之光學耦合器(例如，光柵耦合器)上之位置及入射角。在某些情形中，來自脈衝光源5-108之輸出脈衝5-122可由波束轉向模組5-150操作以(另外或另一選擇係)在晶片5-140上之光學耦合器處改變波束形狀及/或波束旋轉。在某些實施方案中，波束轉向模組5-150可進一步提供輸出脈衝之波束至光學耦

合器上之聚焦及/或偏光調整。波束轉向模組之一項實例闡述於於2016年5月20日提出申請之標題為「Pulsed Laser and Bioanalytic System」之美國專利申請案第15/161,088號中，該申請案以引用方式併入本文中。波束轉向模組之另一實例闡述於於2016年12月16日提出申請且標題為「Compact Beam Shaping and Steering Assembly」之單獨美國專利申請案第62/435,679號中，該申請案以引用方式併入本文中。

【0094】 參考圖5-3，舉例而言，來自脈衝光源之輸出脈衝5-122可耦合至可棄式生物光電晶片5-140上之一或多個光學波導5-312中。在某些實施例中，光學脈衝可經由一或多個光柵耦合器5-310耦合至一或多個波導，儘管在某些實施例中可使用耦合至晶片5-140上之一或多個光學波導之一端。光柵耦合器之簡化實例展示於圖解說明中。根據某些實施例，四象限偵測器5-320可位於半導體基板5-305 (例如，矽基板)上，以用於輔助光學脈衝5-122之波束與光柵耦合器5-310之校準。一或多個波導5-312及反應室或反應室5-330可整合於同一半導體基板上，在基板、波導、反應室與光偵測器5-322之間具有介入介電層(例如，二氧化矽層)。

【0095】 每一波導5-312可在反應室5-330下方包含漸縮部分5-315以等化沿著波導耦合至反應室之光學功率。減小之錐度可將更多光學能量驅迫至波導之芯外部，從而增加至反應室之耦合且補償沿著波導之光學損耗，包含耦合至反應室中之輻射之損耗。第二光柵耦合器5-317可位於每一波導之一端處以將光學能量引導至積體光電二極體5-324。舉例而言，積體光電二極體可偵測沿波導耦合之功率量且將經偵測信號提供至控制波束轉向模組5-150之回饋電路。

【0096】 反應室5-330或反應室5-330可與波導之漸縮部分5-315校

準且凹入於槽座5-340中。對於每一反應室5-330，可存在位於半導體基板5-305上之光偵測器5-322。在某些實施例中，半導體吸收體(圖5-5中展示為光學濾光器5-530)可在每一像素處定位在波導與光偵測器5-322之間。可圍繞反應室且在波導上方形成金屬塗層及/或多層塗層5-350以防止不在反應室中(例如，分散在反應室上方之溶液中)之螢光團之光學激發。金屬塗層及/或多層塗層5-350可升高得超出槽座5-340之邊緣以減少波導5-312中之光學能量在每一波導之輸入及輸出端處之吸收損耗。

【0097】 在晶片5-140上可存在複數列之波導、反應室及時間分級光偵測器。舉例而言，在某些實施方案中，可存在128個列，各自具有512個反應室，總共65,536個反應室。其他實施方案可包含更少個或更多個反應室，且可包含其他佈局組態。來自脈衝光源5-108之光學功率可經由一或多個星形耦合器或多模式干涉耦合器或者藉由位於至晶片5-140之光學耦合器5-310與複數個波導5-312之間的任何其他構件分配至多個波導。

【0098】 圖5-4圖解說明自波導之漸縮部分5-315內之光學脈衝5-122耦合至反應室5-330之光學能量。該圖式係依據光波之電磁場模擬而產生，該電磁場模擬計及波導尺寸、反應室尺寸、不同材料之光學性質及波導之漸縮部分5-315與反應室5-330之距離。舉例而言，該波導可在二氧化矽之環繞介質5-410中由氮化矽形成。波導、環繞介質及反應室可藉由以下申請案中闡述之微製作程序形成：於2015年8月7日提出申請之標題為「Integrated Device for Probing, Detecting and Analyzing Molecules」之美國申請案第14/821,688號。根據某些實施例，漸逝光場5-420將由波導輸送之光學能量耦合至反應室5-330。

【0099】 圖5-5中繪示在反應室5-330中發生之生物反應之非限制性實例。該實例繪示將核苷酸或核苷酸類似物依序併入至與靶標核酸互補之生長股中。依序併入可發生於反應室5-330中，且可由高級分析儀器偵測以定序DNA。該反應室可具有介於約150 nm與約250 nm之間的深度及介於約80 nm與約160 nm之間的直徑。可在光偵測器5-322上方圖案化金屬化層5-540 (例如，用於電參考電勢之金屬化)以提供阻擋來自毗鄰反應室及其他非想要輻射源之雜散輻射之孔口或虹膜。根據某些實施例，聚合酶5-520可位於反應室5-330內(例如，附接至室之基底)。聚合酶可抓取靶標核酸5-510 (例如，源自DNA之核酸之部分)，且定序互補核酸之生長股以產生DNA 5-512之生長股。以不同螢光團標記之核苷酸或核苷酸類似物可分散在上述溶液中及在反應室內。

【0100】 當經標記核苷酸或核苷酸類似物5-610併入至互補核酸之生長股中時，如圖5-6中所繪示，一或多個經附接螢光團5-630可由自波導5-315耦合至反應室5-330中之光學能量脈衝重複激發。在某些實施例中，該(等)螢光團5-630可藉助任何適合鏈接體5-620附接至一或多個核苷酸或核苷酸類似物5-610。併入事件可持續高達約100 ms之時間週期。在此時間期間，舉例而言，可藉助時間分級光偵測器5-322來偵測由藉由來自模式鎖定雷射之脈衝之螢光團之激發導致之螢光發射的脈衝。在某些實施例中，在每一像素處可存在一個或多個額外積體電子裝置5-323以用於信號處置(例如，放大、讀出、路由、信號預處理等)。根據某些實施例，每一像素可包含至少一個光學濾光器5-530 (例如，半導體吸收體)，其使螢光發射通過且減少來自激發脈衝之輻射之透射。某些實施方案可不使用光學濾光器5-530。藉由將具有不同發射特性(例如，螢光衰減速率、強度、螢

光波長)之螢光團附接至不同核苷酸(A、C、G、T)，偵測並區分不同發射特性，同時DNA 5-512之股併入有核酸並使得能夠判定DNA之生長股之基因序列。

【0101】 根據某些實施例，經組態以基於螢光發射特性而分析樣本之高級分析儀器5-100可偵測不同螢光分子之間的螢光壽命及/或強度之差異及/或同一螢光分子在不同環境中之壽命及/或強度之間的差異。藉由解釋之方式，圖5-7繪製兩個不同螢光發射概率曲線(A及B)，舉例而言，其等可表示來自兩個不同螢光分子之螢光發射。參考曲線A (虛線)，在由短或超短光學脈衝激發之後，來自第一分子之螢光發射之概率$p_A(t)$可隨時間衰減，如所繪示。在某些情形中，光子隨時間發射之概率之降低可由指數衰減函數$p_A(t) = P_{Ao}e^{-t/\tau_1}$表示，其中$P_{Ao}$係初始發射概率，且$\tau_1$係與第一螢光分子相關聯之時間參數，表徵發射衰減概率。τ_1可稱為第一螢光分子之「螢光壽命」、「發射壽命」或「壽命」。在某些情形中，τ_1之值可因螢光分子之局部環境而變更。其他螢光分子可具有與曲線A中所展示之發射特性不同的發射特性。舉例而言，另一螢光分子可具有不同於單個指數衰減之衰減輪廓，且其壽命可由半衰期值或某一其他度量表徵。

【0102】 第二螢光分子可具有呈指數之衰減輪廓$p_B(t)$，但具有可量測之不同壽命τ_2，如圖5-7中之曲線B所繪示。在所展示實例中，曲線B之第二螢光分子之壽命比曲線A之壽命短，且早在激發第二分子之後，發射之概率$p_B(t)$便比曲線A高。在某些實施例中，不同螢光分子可具有自約0.1 ns至約20 ns之範圍內之壽命或半衰期值。

【0103】 螢光發射壽命之差異可用於辨別不同螢光分子之存在或缺席及/或在螢光分子所經受之不同環境或條件之間進行辨別。在某些情形

中，基於壽命(舉例而言，而不是發射波長)辨別螢光分子可簡化分析儀器5-100之態樣。作為實例，當基於壽命辨別螢光分子時，波長區別光學器件(諸如波長濾光器、每一波長之專用偵測器、不同波長處之專用脈衝光源及/或繞射光學器件)可在數目上減少或可消除。在某些情形中，可使用在單個特性波長下操作之單個脈衝光源來激發不同螢光分子，該等螢光分子在光譜之相同波長範圍內發射但具有可量測之不同壽命。使用單個脈衝光源而不是在不同波長下操作之多個源來激發並辨別在同一波長區域處發射之不同螢光分子之分析系統可降低操作及維持之複雜度，使其更緊湊且可以較低成本製造。

【0104】 儘管基於螢光壽命分析之分析系統可具有某些益處，但藉由允許額外偵測技術可增加藉由分析系統獲得之資訊量及/或偵測準確度。舉例而言，某些分析系統5-160可另外經組態以基於螢光波長及/或螢光強度來辨別試樣之一或多個性質。

【0105】 再次參考圖5-7，根據某些實施例，可藉助光偵測器來區分不同螢光壽命，該光偵測器經組態以在螢光分子之激發之後對螢光發射事件進行時間分級。時間分級可在光偵測器之單個電荷累積循環期間發生。電荷累積循環係讀取事件之間的間隔，在此期間，光產生之載子累積在時間分級光偵測器之分級格中。藉由發射事件之時間分級來判定螢光壽命之概念在圖5-8中以圖示方式引入。在恰在t_1之前的時間t_e處，藉由短或超短光學脈衝來激發同一類型(例如，對應於圖5-7之曲線B之類型)之螢光分子或螢光分子之系集。對於大分子系集，發射強度可具有類似於曲線B之時間輪廓，如圖5-8中所繪示。

【0106】 然而，對於單個分子或小數目個分子，舉此實例而言，根

據圖5-7中之曲線B之統計資料發生螢光光子之發射。時間分級光偵測器5-322可將自發射事件產生之載子累積至離散時間分級格中。在圖5-8中指示三個分級格，儘管在實施例中可使用更少分級格或更多分級格。相對於螢光分子之激發時間t_e在時間上解析該等分級格。舉例而言，第一分級格可累積在時間t_1與t_2之間的間隔期間產生之載子，此在時間t_e之激發事件之後發生。第二分級格可累積在時間t_2與t_3之間的間隔期間產生之載子，且第三分級格可累積在時間t_3與t_4之間的間隔期間產生之載子。當對大數目個發射事件加總時，時間分級格中所累積之載子可近似圖5-8中所展示之衰減強度曲線，且經分級信號可用於區分不同螢光分子或螢光分子所位於之不同環境。

【0107】時間分級光偵測器5-322之實例闡述於以下申請案中：於2015年8月7日提出申請之標題為「Integrated Device for Temporal Binning of Received Photons」之美國專利申請案第14/821,656號及於2017年12月22日提出申請之標題為「Integrated Photodetector with Direct Binning Pixel」之美國專利申請案第15/852,571號，該等申請案兩者之全文以引用方式併入本文中。出於解釋目的，圖5-9中繪示時間分級光偵測器之非限制性實施例。單個時間分級光偵測器5-322可包括光子吸收/載子產生區域5-902、載子放電通道5-906及複數個載子儲存分級格5-908a、5-908b，其等全部形成於半導體基板上。載子輸送通道5-907可連接在光子吸收/載子產生區域5-902與載子儲存分級格5-908a、5-908b之間。在所圖解說明實例中，展示兩個載子儲存分級格，但可存在更多或更少載子儲存分級格。可存在連接至載子儲存分級格之讀出通道5-910。可藉由局部地摻雜半導體及/或形成毗鄰絕緣區域來形成光子吸收/載子產生

區域5-902、載子放電通道5-906、載子儲存分級格5-908a、5-908b及讀出通道5-910，以提供光電偵測能力、拘限及載子之輸送。時間分級光偵測器5-322亦可包含形成於基板上之複數個電極5-920、5-921、5-922、5-923、5-924，其等經組態以在裝置中產生電場以便經由裝置輸送載子。

【0108】 在操作中，經由時間分級光偵測器5-322將來自脈衝光源5-108 (例如，模式鎖定雷射)之激發脈衝5-122之一部分遞送至反應室5-330。最初，某些激發輻射光子5-901可到達光子吸收/載子產生區域5-902處且產生載子(展示為淺色陰影圓圈)。亦可存在與激發輻射光子5-901一起到達且產生對應載子(展示為深色陰影圓圈)之某些螢光發射光子5-903。最初，與由螢光發射產生之載子數目相比，由激發輻射產生之載子數目可係過大的。舉例而言，在時間間隔$|t_e - t_1|$期間產生之初始載子可藉由將其等閘控至具有第一電極5-920之載子放電通道5-906中來拒斥。

【0109】 在稍後時間處，大多數螢光發射光子5-903到達光子吸收/載子產生區域5-902處且產生提供表示來自反應室5-330之螢光發射之有用及可偵測信號之載子(指示為深色陰影圓圈)。根據某些偵測方法，可在稍後時間處對第二電極5-921及第三電極5-923進行閘控以將在稍後時間處(例如，在第二時間間隔$|t_1 - t_2|$期間)產生之載子引導至第一載子儲存分級格5-908a。隨後，可在稍後時間處(例如，在第三時間間隔$|t_2 - t_3|$期間)對第四電極5-922及第五電極5-924進行閘控以將載子引導至第二載子儲存分級格5-908b。在大數目個激發脈衝之激發脈衝之後，電荷累積可以此方式繼續以在每一載子儲存分級格5-908a、5-908b中累積相當可觀數目個載子及信號位準。在稍後時間處，可自分級格讀出信號。在某些實施方案中，對應於每一儲存分級格之時間間隔係亞納秒時間標度，但在某些實施例中

(例如，在螢光團具有較長衰減時間之實施例中)可使用較長時間標度。

【0110】 在時間分級光偵測器5-322之單個電荷累積循環期間，在激發時間(例如，來自脈衝光源之激發脈衝)之後產生及時間分級載子之程序可在單個激發脈衝之後發生一次或在多個激發脈衝之後重複多次。在電荷累積完成之後，可經由讀出通道5-910自儲存分級格讀出載子。舉例而言，可對電極5-923、5-924以及至少對電極5-940施加適當加偏壓序列以自儲存分級格5-908a、5-908b移除載子。電荷累積及讀出程序可在晶片5-140上之大規模並行操作中發生，從而導致資料訊框。

【0111】 儘管結合圖5-9所闡述之實例包含多個電荷儲存分級格5-908a、5-908b，但在某些情形中，可替代地使用單個電荷儲存分級格。舉例而言，時間分級光偵測器5-322中僅可存在分級格1。在此情形中，可以可變時間閘控方式操作單個儲存分級格5-908a，以在不同激發事件之後查看不同時間間隔。舉例而言，在第一序列激發脈衝中之脈衝之後，可對用於儲存分級格5-908a之電極進行閘控，以收集在第一時間間隔處(例如，在第二時間間隔$|t_1 - t_2|$期間)產生之載子，且可在第一預定數目個脈衝之後讀出所累積信號。在同一反應室處之一後續序列激發脈衝中之脈衝之後，可對儲存分級格5-908a之相同電極進行閘控，以收集在不同間隙期間(例如，在第三時間間隔$|t_2 - t_3|$期間)產生之載子，且可在第二預定數目個脈衝之後讀出所累積信號。若需要，可在稍後時間間隔期間以類似方式收集載子。以此方式，可使用單個載子儲存分級格來產生對應於激發脈衝到達反應室處之後之不同時間週期期間之螢光發射之信號位準。

【0112】 舉例而言，不管在激發之後如何在不同時間間隔內進行電荷累積，所讀出之信號皆可提供表示螢光發射衰減特性之分級格直方圖。

在圖5-10A及圖5-10B中圖解說明實例程序，針對該程序，兩個電荷儲存分級格用於自反應室獲取螢光發射。直方圖之分級格可指示在反應室5-330中之螢光團之激發之後的每一時間間隔期間偵測之光子數目。在某些實施例中，用於分級格之信號將在大數目個激發脈衝之後累積，如圖5-10A中所繪示。激發脈衝可發生於時間t_{e1}、t_{e2}、t_{e3}、...、t_{eN}處，該等時間由脈衝間隙時間*T*分離。在某些情形中，對於在反應室中觀察到之單個事件(例如，DNA分析中之單個核苷酸併入事件)，在電子儲存分級格中之信號累積期間可存在施加至反應室之介於10^5個與10^7個之間的激發脈衝5-122 (或其部分)。在某些實施例中，一個分級格(分級格0)可經組態以偵測以每一光學脈衝遞送之激發能量之幅度，且可用作參考信號(例如，以對資料進行正規化)。在其他情形中，激發脈衝幅度可係穩定的，可在信號獲取期間判定一或多次，且在每一激發脈衝之後不判定，使得在每一激發脈衝之後不存在分級格0信號獲取。在此等情形中，由激發脈衝產生之載子可如上文結合圖5-9所闡述地自光子吸收/載子產生區域5-902被拒斥及轉儲。

【0113】 在某些實施方案中，在激發事件之後僅可自螢光團發射單個光子，如圖5-10A中所繪示。在時間t_{e1}處之第一激發事件之後，時間t_{f1}處之所發射光子可發生於第一時間間隔內(例如，介於時間t_1與t_2之間)，使得所得電子信號累積於第一電子儲存分級格中(有助於分級格1)。在時間t_{e2}處之後續激發事件中，時間t_{f2}處之所發射光子可發生於第二時間間隔內(例如，介於時間t_2與t_3之間)，使得所得電子信號有助於分級格2。在時間t_{e3}處之下一激發事件中，光子可在時間t_{f3}處發射，從而發生於第一時間間隔內。

【0114】在某些實施方案中，在於反應室5-330處接收之每一激發脈衝之後，可不存在經發射及/或偵測之螢光光子。在某些情形中，對於遞送至反應室之每一10,000個激發脈衝，可存在在反應室中偵測之少至一個之螢光光子。將模式鎖定雷射5-110實施為脈衝激發源5-108之一個優點係，模式鎖定雷射可以高脈衝重複率(例如，介於50 MHz與250 MHz之間)產生具有高強度之短光學脈衝及快速關閉時間。在此等高脈衝重複率的情況下，在10毫秒電荷累積間隙內之激發脈衝數目可係50,000至250,000，使得可累積可偵測信號。

【0115】在大數目個激發事件及載子累積之後，時間分級光偵測器5-322之載子儲存分級格可經讀出以為反應室提供多值信號(例如，兩個或更多個值之直方圖、N維向量等)。每一分級格之信號值可取決於螢光團之衰減速率。舉例而言並再次參考圖5-8，具有衰減曲線B之螢光團將在分級格1至分級格2中具有比具有衰減曲線A之螢光團高之信號速率。可分析來自分級格之值並將其與校對值進行比較及/或相互比較以判定存在特定螢光團。對於定序應用，舉例而言，識別螢光團可判定將併入至DNA之生長股中之核苷酸或核苷酸類似物。對於其他應用，識別螢光團可判定可鏈接至螢光團或用螢光團標記之所關注分子或試樣之身份。

【0116】為進一步輔助理解信號分析，經累積多分級格值可繪製為直方圖，舉例而言如圖5-10B中所繪示，或可記錄為N維空間中之向量或位置。可單獨執行校對運行以獲取鏈接至四個核苷酸或核苷酸類似物之四個不同螢光團之多值信號(例如，校對直方圖)之校對值。作為實例，校對直方圖可顯現為在圖5-11A (與T核苷酸相關聯之螢光標籤)、圖5-11B (與A核苷酸相關聯之螢光標籤)、圖5-11C (與C核苷酸相關聯之螢光標籤)及

圖5-11D (與G核苷酸相關聯之螢光標籤)中所繪示。所量測多值信號(對應於圖5-10B之直方圖)與校對多值信號之比較可判定將併入至DNA之生長股中之核苷酸或核苷酸類似物之身份「T」(圖5-11A)。

【0117】 另外或另一選擇係，在某些實施方案中，螢光強度可用於在不同螢光團之間進行區分。舉例而言，即便某些螢光團衰減速率可係類似的，但該等螢光團可以顯著不同強度發射或在其激發概率上具有顯著差異(例如，至少約35%之差異)。藉由將經分級信號(分級格5至3)參考至所量測激發能量及/或其他所獲取信號，可基於強度位準區分不同螢光團係可能的。

【0118】 在某些實施例中，同一類型之不同數目個螢光團可鏈接至不同核苷酸或核苷酸類似物，使得可基於螢光團強度來識別核苷酸。舉例而言，兩個螢光團可鏈接至第一核苷酸(例如，「C」)或核苷酸類似物且四個或更多個螢光團可鏈接至第二核苷酸(例如，「T」)或核苷酸類似物。由於螢光團之不同數目，因此可存在與不同核苷酸相關聯之不同激發及螢光團發射概率。舉例而言，在信號累積間隙期間針對「T」核苷酸或核苷酸類似物可存在更多發射事件，使得分級格之視在強度顯著高於「C」核苷酸或核苷酸類似物。

【0119】 基於螢光團衰減速率及/或螢光團強度區分核苷酸或任何其他生物或化學試樣使得能夠簡化分析儀器5-100中之光學激發及偵測系統。舉例而言，可藉助單波長源(例如，產生一個特性波長之一源而非以多個不同特性波長操作之多個源或一源)來執行光學激發。另外，在偵測系統中可不需要波長區分光學器件及濾光器來在不同波長之螢光團之間進行區分。而且，單個光偵測器可用於每一反應室以偵測來自不同螢光團之

發射。

【0120】片語「特性波長」或「波長」用於指代輻射之有限頻帶寬度內之中心或主導性波長(例如，由脈衝光源輸出之20 nm頻帶寬度內之中心或峰值波長)。在某些情形中，「特性波長」或「波長」可用於指代由源輸出之輻射之總頻帶寬度內之峰值波長。

【0121】具有在約560 nm與約900 nm之間的範圍內之發射波長之螢光團可提供充足量之螢光，以由時間分級光偵測器(可使用CMOS程序在矽晶圓上製作)偵測。此等螢光團可鏈接至所關注生物分子，諸如用於基因定序應用之核苷酸或核苷酸類似物。在基於矽之光偵測器中可以比較長波長處之螢光高之回應度來偵測此波長範圍中之螢光發射。另外，在此波長範圍中之螢光團及相關聯鏈接體可不干擾核苷酸或核苷酸類似物併入至DNA之生長股中。在某些實施方案中，可藉助單波長源來光學地激發具有介於約560 nm與約660 nm之間的範圍中之發射波長之螢光團。在此範圍中之實例螢光團係可自馬薩諸塞州沃爾瑟姆之賽默飛世爾科技公司(Thermo Fisher Scientific Inc.)購得之Alexa Fluor 647。較短波長(例如，介於約500 nm與約650 nm之間)處之激發能量可用於激發以介於約560 nm與約900 nm之間的波長發射之螢光團。在某些實施例中，時間分級光偵測器可例如藉由將諸如Ge之其他材料併入至光偵測器之活動區域中來有效地偵測來自反應室之較長波長發射。

【0122】IV. 結論

【0123】因此，已闡述用於高級分析系統5-100之系統架構之數個實施例之數項態樣，應瞭解，熟習此項技術者將易於做出各種更改、修改及改良。此等更改、修改及改良意欲係本發明之部分且意欲在本發明之精

神及範疇內。雖然已結合各種實施例及實例闡述本發明教示，但並不意欲將本發明教示限制於此等實施例或實例。相反，本發明教示囊括各種替代方案、修改及等效形式，如熟習此項技術者將瞭解。

【0124】 雖然已闡述並圖解說明各種發明性實施例，但熟習此項技術者將易於想像用於執行功能及/或獲得所闡述之結果及/或優點中之一或多者之各種其他構件及/或結構，且此等變化及/或修改中之每一者皆被視為係在所闡述之發明性實施例之範疇內。更一般而言，熟習此項技術者將易於瞭解，所闡述之全部參數、尺寸、材料及組態皆意指實例，且實際參數、尺寸、材料及/或組態將取決於使用發明性教示之一個或多個具體應用。熟習此項技術者將僅僅使用常規實驗認識到或能夠斷定所闡述之特定發明性實施例之諸多等效內容。因此，應理解前述實施例僅以實例方式呈現且在隨附申請專利範圍及其等效內容之範疇內，可不同於所特定闡述及主張來實踐發明性實施例。本發明之發明性實施例係針對所闡述之每一個別特徵、系統、系統升級及/或方法。另外，若此等特徵、系統、系統升級及/或方法不相互矛盾，則兩個或更多個此等特徵、系統及/或方法之任一組合包含於本發明之發明性範疇內。

【0125】 此外，儘管可指示本發明之某些優點，但應瞭解，並非本發明之每一實施例皆將包含每一所闡述優點。某些實施例可不實施闡述為有利的任何特徵。因此，前述說明及圖式係僅藉由實例之方式。

【0126】 本申請案中所引用之全部文獻及類似材料(包含但不限於專利、專利申請案、文章、書籍、論文及網頁)之全文皆以引用方式明確併入而不管此等文獻及類似材料之格式如何。倘若所併入文獻及類似材料中之一或多者與本申請案不同或矛盾，包含但不限於所定義術語、術語用

途、所闡述技術或諸如此類，則以本申請案為准。

【0127】 所使用之各章節標頭僅出於組織目的，而不能解釋為以任何方式限制該標的物。

【0128】 而且，所闡述技術可體現為一種方法，其中已提供至少一項實例。作為方法之部分執行之動作可以任一適合方式排序。因此，實施例可經構造，其中以不同於所圖解說明之次序執行動作，其可包含同時執行某些動作，即使在說明性實施例中展示為依序動作。

【0129】 如所定義及所使用，全部定義皆應理解為控制在字典定義、以引用方式併入之文檔中之定義及/或所定義術語之普遍含義以內。

【0130】 數值及範圍可在本說明書及申請專利範圍中闡述為近似或準確值或範圍。舉例而言，在某些情形中，術語「約」、「大約」及「實質上」可用於參考一值。此等參考意欲囊括參考值以及該值之正及負合理變化。舉例而言，片語「介於約10與約20之間」意欲在某些實施例中意指「介於恰好10與恰好20之間」，且在某些實施例中意指「介於10 ± δ1與20 ± δ2之間」。值之變化量δ1、δ2在某些實施例中可小於該值之5%，在某些實施例中可小於該值之10%，且仍在某些實施例中可小於該值之20%。在給出值之大範圍(例如，包含兩個或更多個數量級之範圍)之實施例中，一值之變化量δ1、δ2可高達50%。舉例而言，若可操作範圍自2擴展至200，則「大約80」可囊括40與120之間的值，且該範圍可大至1與300之間。當意欲為準確值時，使用術語「恰好」，例如，「介於恰好2與恰好200之間」。

【0131】 術語「毗鄰」可係指配置於緊鄰彼此內之兩個元件(例如，在小於兩個元件中之較大者之橫向或垂直尺寸之約五分之一之距離內)。

在某些情形中，毗鄰元件之間可存在介入結構或層。在某些情形中，毗鄰元件可彼此緊鄰而不具有介入結構或元件。

【0132】 除非明確指示為相反，否則在說明書中及在申請專利範圍中使用之不定冠詞「一(a)」及「一(an)」應理解為意指「至少一個」。

【0133】 如在說明書中及在申請專利範圍中所使用，片語「及/或」應理解為意指如此結合之元件中之「任一者或兩者」，亦即，在某些情形中以結合方式存在且在其他情形中以分離方式存在之元件。以「及/或」列出之多個元件應視為呈相同方式，亦即，如此結合之元件中之「一或多者」。可視情況存在除由「及/或」從句特定識別之元件以外的其他元件，無論與特定識別之彼等元件相關還是不相關。因此，作為非限制性實例，當結合諸如「包括」之開放式語言使用時，對「A及/或B」之提及在一項實施例中可係指僅A (視情況包含除B以外之元件)；在另一實施例中，係指僅B (視情況包含除A以外之元件)；在仍另一實施例中，係指A及B兩者(視情況包含其他元件)；等等。

【0134】 如在說明書中及在申請專利範圍中所使用，「或」應理解為具有與上文所定義之「及/或」相同之含義。舉例而言，當分離清單中之物項時，「或」或者「及/或」應解釋為係包含性的，亦即，包含若干元件或元件清單中之至少一者(但亦包含一個以上)及視情況包含額外未列出物項。僅術語明確指示為相反，諸如當用於申請專利範圍中時，「……中之僅一者」或「……中之恰好一者」或「由……組成」將係指包含若干元件或元件清單中之恰好一個元件。一般而言，如所使用之術語「或」應僅解釋為在排他性術語之前指示排他性替代方案(亦即，「一個或另一個但非兩個」)，諸如「任一」、「……中之一者」、「……中之僅一者」或「……

中之恰好一者」。當在申請專利範圍中使用時，「基本上由……組成」應具有如其用於專利法律領域中之普遍含義。

【0135】 如在說明書中及在申請專利範圍中所使用，參考一或多個元件之清單之片語「至少一個」應理解為意指選自元件清單中之任何一個或多個元件中之至少一個元件，但未必包含元件清單內特定列出之各自及每一元件中之至少一者，且不排除元件清單中之元件之任何組合。此定義亦允許可視情況存在除片語「至少一個」所指之元件清單內特定識別之元件之外之元件，無論與特定識別之彼等元件相關還是不相關。因此，作為非限制性實例，在一項實施例中，「A及B中之至少一者」(或等效地，「A或B中之至少一者，或等效地，A及/或B中之至少一者」)可係指至少一個(視情況包含一個以上) A，而不存在B (且視情況包含除B以外之元件)；在另一實施例中，係指至少一個(視情況包含一個以上) B，而不存在A (且視情況包含除A以外之元件)；在仍另一實施例中，係指至少一個(視情況包含一個以上) A及至少一個(視情況包含一個以上) B (且視情況包含其他元件)；等等。

【0136】 在申請專利範圍中以及在上文說明中，所有過渡性片語(諸如「包括」、「包含」、「攜載」、「具有」、「含有」、「涉及」、「固持」、「由……構成」及諸如此類)應理解為係開放式的，亦即，意指包含但不限於。僅過渡性片語「由……組成」及「基本上由……組成」應分別係封閉或半封閉之過渡性片語。

【0137】 申請專利範圍不應被解讀為限於所闡述次序或元件，除非陳述為彼效果。應理解，熟習此項技術者可在形式及細節上進行各種改變，而不背離所附申請專利範圍之精神及範疇。主張歸屬於所附申請專利

範圍及其等效內容之精神及範疇內之全部實施例。

【符號說明】

【0138】

1-100: 光柵耦合器/實例光柵耦合器

1-101: 光軸

1-105: 基板

1-110: 光學光柵/光柵

1-111: 入口

1-112: 接收區域/漸縮區域/漸縮接收區域

1-116: 線/齒/光柵線/光柵齒/最後線

1-122: 光學脈衝/脈衝

1-213: 第一波導/波導/光學波導/經連接波導/下游波導

1-213a: 波導/下游波導/所圖解說明波導

1-213b: 波導/下游波導

1-225: 功率分配器

1-310: 毗鄰材料/第二材料

1-311: 第一材料

1-312: 第二材料

2-100: 光柵耦合器

2-102: 入射波束/高功率波束/輸入波束

2-110: 光柵

2-111a: 入口/外部入口

2-111b: 入口/偏移入口

2-111c: 入口/中心入口

2-111d: 入口/偏移入口

2-111e: 入口/外部入口

2-112a: 接收區域

2-112b: 接收區域

2-112c: 接收區域

2-112d: 接收區域

2-112e: 接收區域

2-115: 參考線/共同參考線

2-116: 線/光柵線/連續線

2-200: 光柵耦合器

2-210: 光柵

2-210a: 經分離部分

2-210b: 經分離部分

2-210c: 經分離部分

2-210d: 經分離部分

2-210e: 經分離部分

2-300: 光柵耦合器

2-310: 光柵

2-310a: 經分離部分

2-310b: 經分離部分

2-310c: 經分離部分

2-310d: 經分離部分

2-312a: 接收區域

2-312b: 接收區域

2-312c: 接收區域

2-312d: 接收區域

2-330: 入射波束

2-402: 第一曲線

2-404: 第二曲線

3-100: 光柵耦合器

3-110: 光柵

3-110a: 部分/光柵部分

3-110b: 部分/光柵部分

3-110c: 部分/光柵部分

3-110d: 部分/光柵部分/額外光柵部分

3-110e: 部分/光柵部分

3-112a: 接收區域

3-112b: 接收區域/對應接收區域

3-112c: 接收區域

3-112d: 接收區域

3-112e: 接收區域

3-200: 光柵耦合器

3-210: 光柵

3-210a: 額外部分

3-210b: 光柵部分

3-210c: 額外部分

3-212a: 接收區域

3-212b: 偏移接收區域/接收區域

3-212c: 接收區域

3-212d: 偏移接收區域/接收區域

3-212e: 接收區域

3-302: 第一曲線

3-304: 第二曲線

3-410: 光柵

3-411: 入口/彎曲入口

3-412: 接收區域

3-416: 彎曲線/彎曲光柵線

3-500: 實例方法/方法

3-510: 動作

3-520: 動作

3-530: 動作

3-540: 動作

3-545: 動作

3-550: 動作

3-555: 動作

4-100: 實例結構/可棄式晶片結構/可棄式晶片

4-105: 半導體基板

4-110: 生物光電晶片

4-115: 列或行波導/波導

4-120: 壁

4-130: 儲槽

4-140: 像素

4-150: 光學埠

5-100: 可攜式高級分析儀器/儀器/可攜式分析儀器/分析儀器/高級分析儀器/高級分析系統

5-102: 儀器機架或框架

5-105: 增益介質

5-108: 脈衝光源/緊湊脈衝光源/光源/脈衝激發源

5-110: 緊湊被動模式鎖定雷射模組/模式鎖定雷射/緊湊模式鎖定雷射模組/模式鎖定雷射模組/雷射

5-111: 腔端鏡/端鏡/輸出耦合器

5-115: 光學耦合系統/光學系統

5-119: 腔端鏡/雷射腔端鏡/端鏡

5-120: 腔內脈衝

5-122: 輸出光學脈衝/光學脈衝/輸出脈衝/激發脈衝

5-125: 光軸

5-130: 電子電路板/印刷電路板

5-140: 可移除經封裝生物光電或光電晶片/可棄式晶片/晶片/可棄式生物光電晶片

5-150: 波束轉向模組

5-160: 分析系統

5-310: 光柵耦合器

5-305: 半導體基板

5-312: 光學波導/波導

5-315: 漸縮部分/波導之漸縮部分/波導

5-317: 第二光柵耦合器

5-320: 四象限偵測器

5-322: 光偵測器/時間分級光偵測器

5-323: 額外積體電子裝置

5-324: 積體光電二極體

5-330: 反應室

5-340: 槽座

5-350: 金屬塗層及/或多層塗層

5-410: 環繞介質

5-420: 漸逝光場

5-510: 靶標核酸

5-512: DNA

5-520: 聚合酶

5-530: 光學濾光器

5-540: 金屬化層

5-610: 核苷酸/核苷酸類似物

5-620: 適合鏈接體

5-630: 經附接螢光團/螢光團

5-901: 激發輻射光子

5-902: 光子吸收/載子產生區域

5-903: 螢光發射光子

5-906: 載子放電通道

5-907: 載子輸送通道

5-908a: 載子儲存分級格/第一載子儲存分級格/儲存分級格/電荷儲存分級格

5-908b: 載子儲存分級格/第二載子儲存分級格/儲存分級格/電荷儲存分級格

5-910: 讀出通道

5-920: 電極/第一電極

5-921: 電極/第二電極

5-922: 電極/第四電極

5-923: 電極/第三電極

5-924: 電極/第五電極

5-940: 電極

A: 螢光發射概率曲線/虛線/曲線/衰減曲線/核苷酸

B: 螢光發射概率曲線/曲線

C: 核苷酸/核苷酸類似物

G: 核苷酸

P: 週期性/合適間距

P_1: 不同或偏移光柵週期性/相同光柵週期性/相同參考光柵週期性/參考週期性/偏移週期性

P_2: 不同或偏移光柵週期性/偏移週期性/週期性/偏移光柵週期性

P_3: 額外偏移週期性/週期性/偏移光柵週期性/偏移週期性

P_{Ao}: 初始發射概率

$p_A(t)$: 概率

$p_B(t)$: 衰減輪廓/發射概率

S_c: 信號

$S_d - S_b$: 差信號

T: 核苷酸/核苷酸類似物/規則間隔/脈衝分離間隔/所期望脈衝分離間隔/充足脈衝分離間隔/脈衝間隙時間/識別碼

t_1: 時間

t_2: 時間

$t_2 - t_3$: 第三時間間隔

t_3: 時間

t_4: 時間

t_e: 時間/激發時間

$t_e - t_1$: 時間間隔

t_{e1}: 時間

t_{e2}: 時間

t_{e3}: 時間

t_{f1}: 時間

t_{f2}: 時間

t_{f3}: 時間

t_g: 厚度

t_w: 厚度

w: 寬度

w_g: 寬度

w_t: 寬度/橫向寬度

X: 方向/軸/位置

X_i: 虛線

Y: 方向/軸

Z: 軸

ϕ_i: 第二入射角/傾斜角

θ_i: 第一入射角/俯仰角/波束俯仰角/方向

Δx: 量

τ_1: 螢光壽命/發射壽命/壽命/時間參數

τ_2: 可量測之不同壽命

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種積體裝置，其包括：

光柵，其安置在基板上且經配置以將入射在該光柵上之輻射耦合至安置在該基板上之複數個光學波導中；

包含第一接收區域之該複數個光學波導之第一波導，其使得該入射輻射從該光柵經由該第一接收區域之第一入口耦合至該第一接收區域中；及

包含第二接收區域之該複數個光學波導之第二波導，其使得該入射輻射從該光柵經由該第二接收區域之第二入口耦合至該第二接收區域中，

其中該第二入口在大約垂直於該光柵之線之第一方向上相對於該第一入口偏移第一距離，使來自該第一及第二波導之信號可消除光學波束在垂直於該光柵之線之方向上在該光柵上之運動。

【請求項2】

如請求項1之積體裝置，其進一步包括：

該複數個光學波導之第三波導之第三接收區域，及

第三入口，其中該入射輻射係經由該第三入口耦合至該第三接收區域中，

其中該第三入口在大約垂直於該光柵之線之第二方向上相對於該第一入口偏移第二量，該第二方向與該第一方向相反。

【請求項3】

如請求項1或2之積體裝置，其中毗鄰於該第一入口定位之該光柵之第一部分具有第一週期性，其不同於毗鄰於至該複數個光學波導之第四接收區域之第四入口定位之該光柵之第二部分之第二週期性。

【請求項4】

如請求項1或2之積體裝置，其進一步包括：

第一光學感測器，其經配置以接收耦合至第一波導中之輻射；及

第二光學感測器，其經配置以接收耦合至第二波導中之輻射。

【請求項5】

如請求項1或2之積體裝置，其中該第一入口與該第一接收區域成第一位置角，且該第二入口與該第二接收區域成第二位置角。

【請求項6】

如請求項1或2之積體裝置，其中該第一入口具有與該第二入口不同之寬度。

【請求項7】

如請求項1或2之積體裝置，其中該光柵包括複數個經分離光柵部分。

【請求項8】

如請求項1或2之積體裝置，其中該光柵之線包括嵌入於第二介電材料內之第一介電材料，該第二介電材料具有比該第一介電材料低之折射率。

【請求項9】

如請求項1或2之積體裝置，其中該光柵之線包括金屬。

【請求項10】

如請求項9之積體裝置，其中該第一介電材料係用於形成該複數個光學波導之相同材料及層。

【請求項11】

如請求項1或2之積體裝置，其中該複數個光學波導中之每一波導包括嵌入於第二介電材料內之第一介電材料，該第二介電材料具有比該第一介電材料低之折射率。

【請求項12】

如請求項11之積體裝置，其中該第一介電材料係氮化矽。

【請求項13】

如請求項1或2之積體裝置，其中該第二接收區域具有漸縮寬度。

【請求項14】

如請求項13之積體裝置，其中該第一入口之寬度不同於該第二入口之寬度。

【請求項15】

如請求項1或2之積體裝置，其進一步包括形成於該基板上之複數個像素，每一者包含反應室及光學感測器，其中至少一個波導經組態以將激發輻射提供至複數個該等反應室。

【請求項16】

如請求項15之積體裝置，其中每一反應室經組態以接收用於基因定序、蛋白質定序或另一生物分析之樣本。

【請求項17】

一種製造積體裝置之方法，其包括：

在基板上形成複數個波導；

在該基板上形成光柵以將入射在該光柵上之輻射耦合至該複數個波導中；

沿著該光柵之參考線定位至該複數個波導中之第一波導之第一接收

區域之第一入口；及

使至該複數個波導中之第二波導之第二接收區域之第二入口自該參考線偏移第一距離，其中該第一距離係在大約垂直於該光柵之線之第一方向上，且其中該第一距離係經提供以使來自該第一及第二波導之信號可消除光學波束在垂直於該光柵之線之方向上在該光柵上之運動；

形成毗鄰於該第一波導之該第一入口之該第一波導之該第一接收區域，使得入射輻射從該光柵經由該第一入口耦合至該第一接收區域中；及

形成毗鄰於該第二波導之該第二入口之該第二波導之該第二接收區域，使得入射輻射從該光柵經由該第二入口耦合至該第二接收區域中。

【請求項18】

如請求項17之方法，其中入口係與波導成一位置角，該位置角不同於另一入口與另一波導之另一位置角。

【請求項19】

如請求項17或18之方法，其中該第一接收區域及該第二接收區域係漸縮的。

【請求項20】

如請求項17或18之方法，其進一步包括將毗鄰於該第一入口定位之該光柵之第一部分形成為具有與毗鄰於至該複數個波導中之第三波導之第三入口定位之該光柵之第二部分不同的週期性。

【請求項21】

如請求項17或18之方法，其進一步包括至少部分地由用於形成該複數個波導之相同材料且在相同層中形成該光柵。

【請求項22】

一種積體裝置，其包括：

光柵，其安置在基板上且經配置以將入射在該光柵上之輻射耦合至安置在該基板上之複數個光學波導中；

該複數個光學波導之第一波導之第一接收區域；

第一入口，其中該入射輻射係經由該第一入口耦合至該第一接收區域中；

該複數個光學波導之第二波導之第二接收區域；

第二入口，其中該入射輻射係經由該第二入口耦合至該第二接收區域中，

其中該第二入口在大約垂直於該光柵之線之第一方向上相對於該第一入口偏移第一量，使來自第一及第二波導之信號可消除光學波束在朝向或遠離該第一及第二入口之方向上在該光柵上之運動；

該複數個光學波導之第三波導之第三接收區域；及

第三入口，其中該入射輻射係經由該第三入口耦合至該第三接收區域中，

其中毗鄰於該第一入口定位之該光柵之第一部分具有與毗鄰於該第三入口定位之該光柵之第二部分不同的週期性。

【請求項23】

如請求項22之積體裝置，其進一步包括：

第一光學感測器，其經配置以接收耦合至該第一波導中之輻射；及

第二光學感測器，其經配置以接收耦合至該第二波導中之輻射。

【請求項24】

如請求項22或23之積體裝置，其中該光柵包括複數個經分離光柵部

分。

【請求項25】

如請求項22或23之積體裝置，其中該光柵之線包括嵌入於第二介電材料內之第一介電材料，該第二介電材料具有比該第一介電材料低之折射率。

【請求項26】

如請求項25之積體裝置，其中該第一介電材料係用於形成該複數個光學波導之相同材料及層。

【請求項27】

如請求項22或23之積體裝置，其中該複數個光學波導中之每一波導包括嵌入於第二介電材料內之第一介電材料，該第二介電材料具有比該第一介電材料低之折射率。

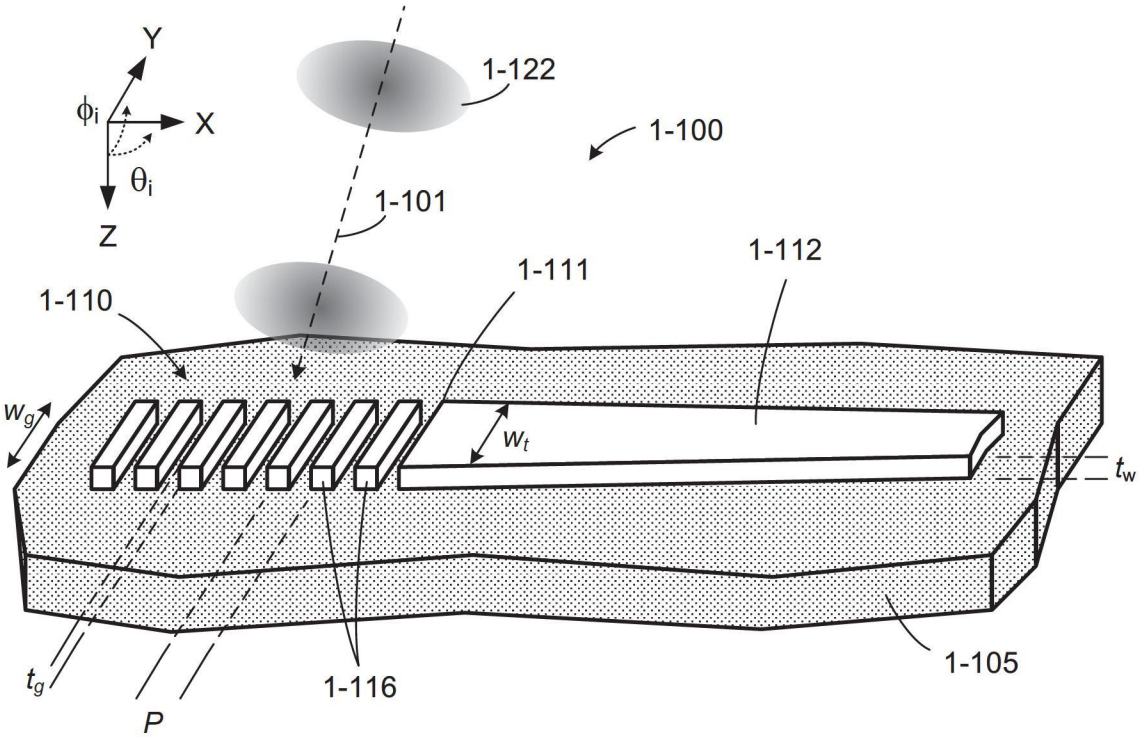
【請求項28】

如請求項22或23之積體裝置，其進一步包括形成於該基板上之複數個像素，每一者包含反應室及光學感測器，其中至少一個波導經組態以將激發輻射提供至複數個該等反應室。

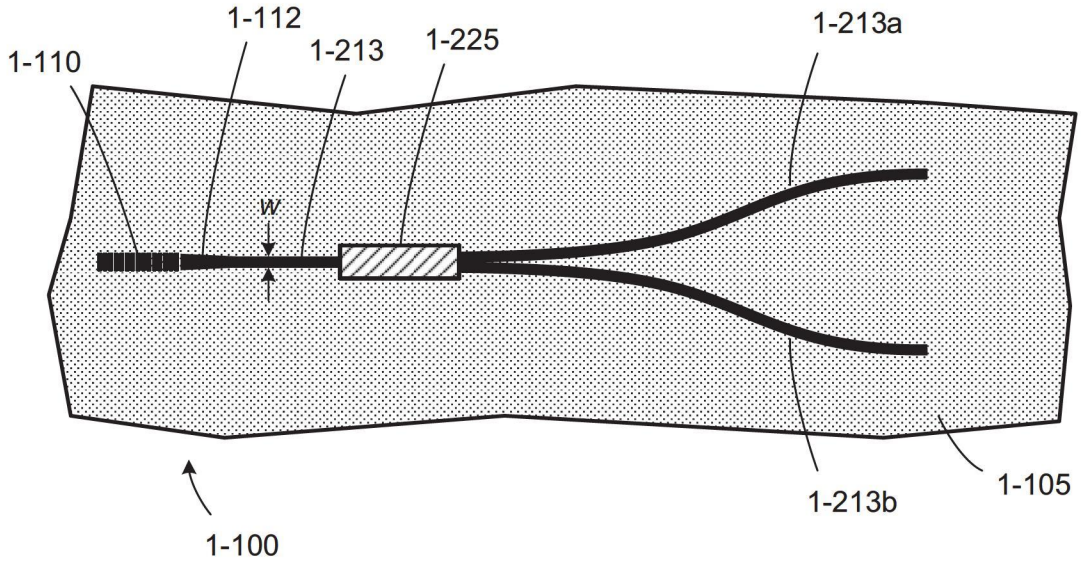
【請求項29】

如請求項28之積體裝置，其中每一反應室經組態以固持用於基因定序、蛋白質定序或另一生物分析之樣本。

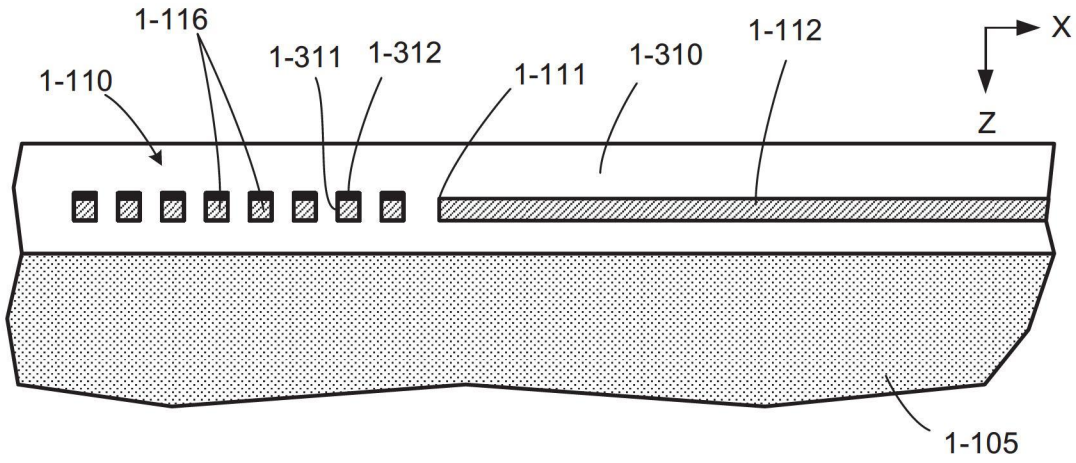
【發明圖式】


Y
X
Z
ϕ_i
θ_i
1-122
1-100
1-101
1-111
1-112
1-110
w_g
w_t
t_w
t_g
P
1-116
1-105

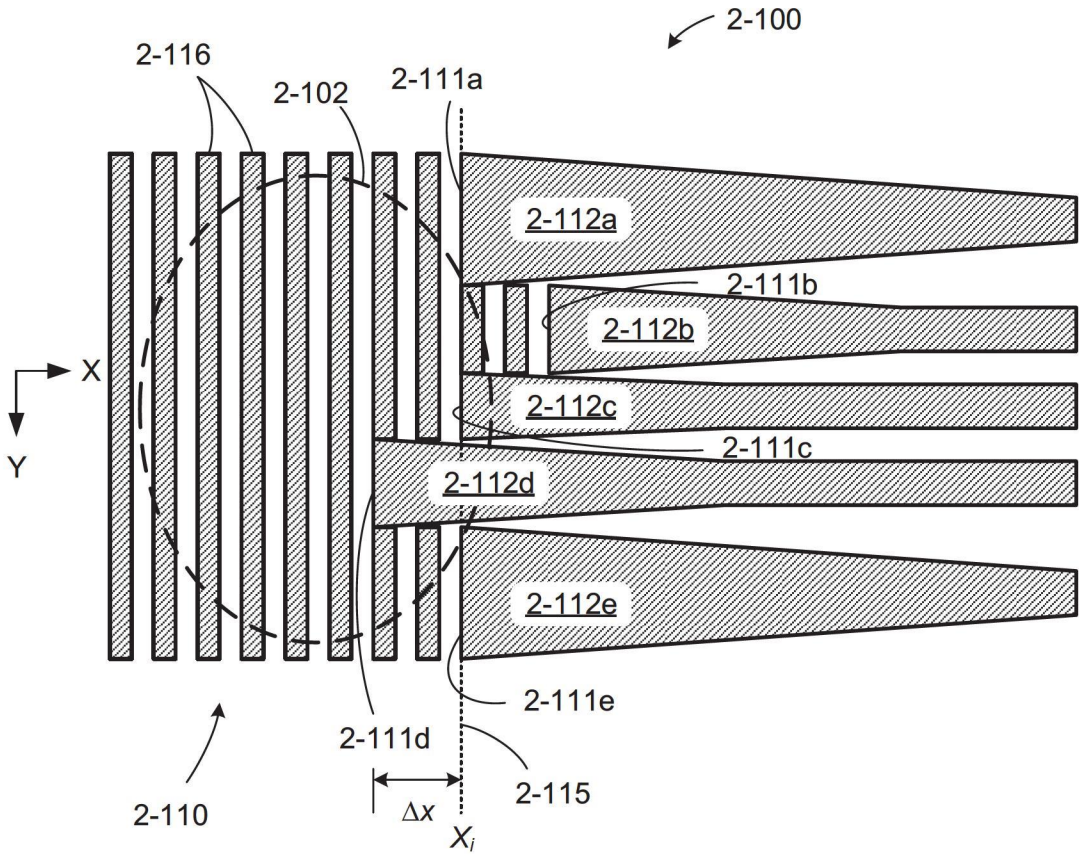
【圖1-1】


1-112
1-213
1-225
1-213a
1-110
w
1-213b
1-105
1-100

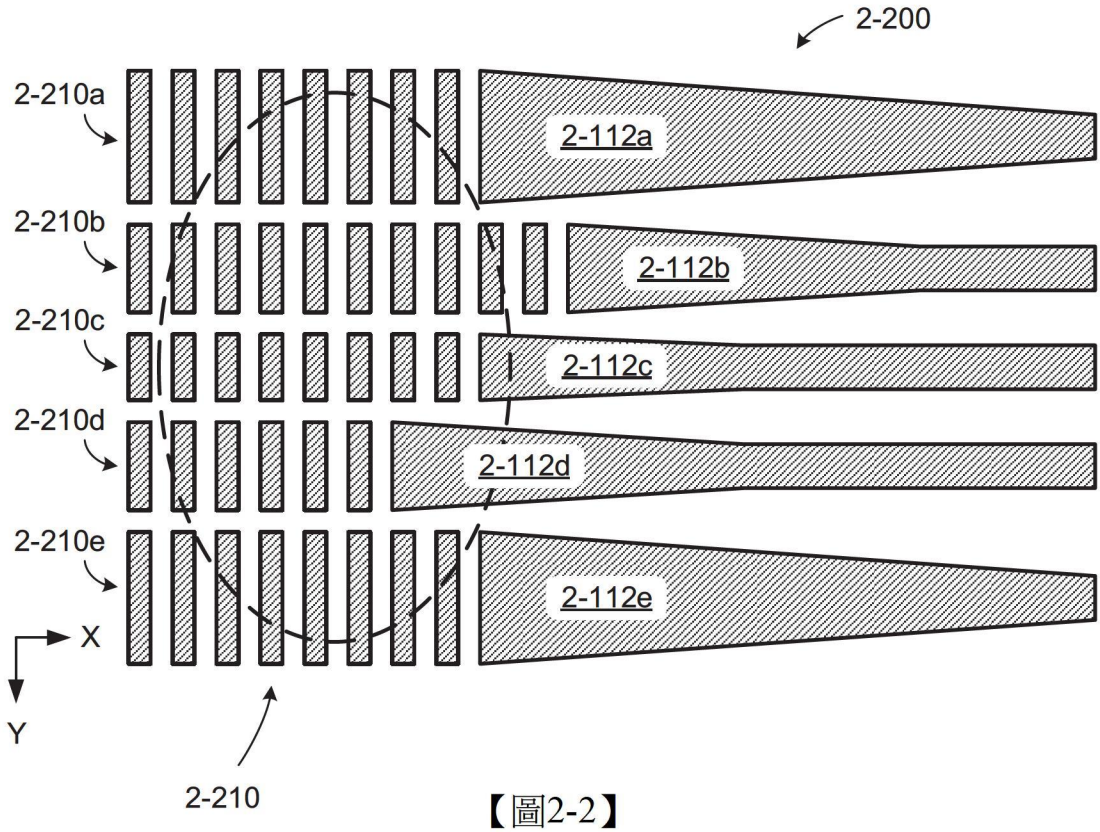
【圖1-2】


1-116
1-110
1-311
1-312
1-111
1-310
1-112
X
Z
1-105

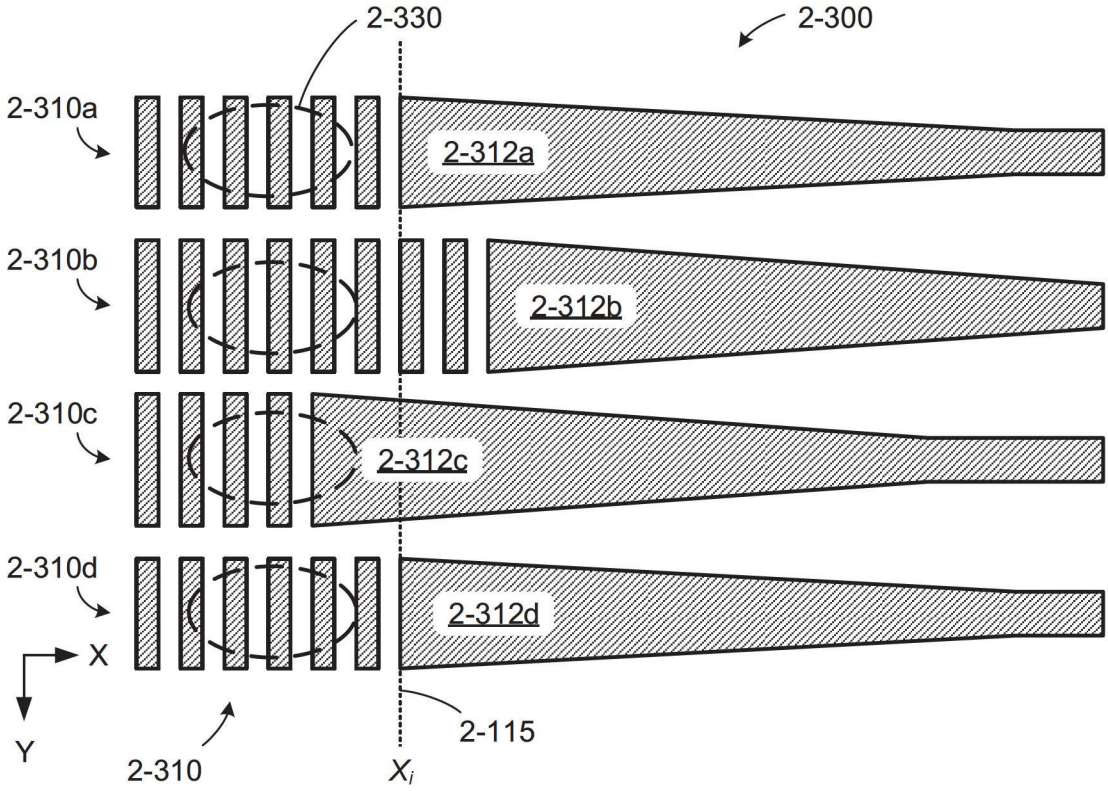
【圖1-3】


2-100
2-116
2-102
2-111a
2-112a
2-111b
2-112b
X
Y
2-112c
2-111c
2-112d
2-112e
2-111e
2-111d
2-115
2-110
Δx
X_i

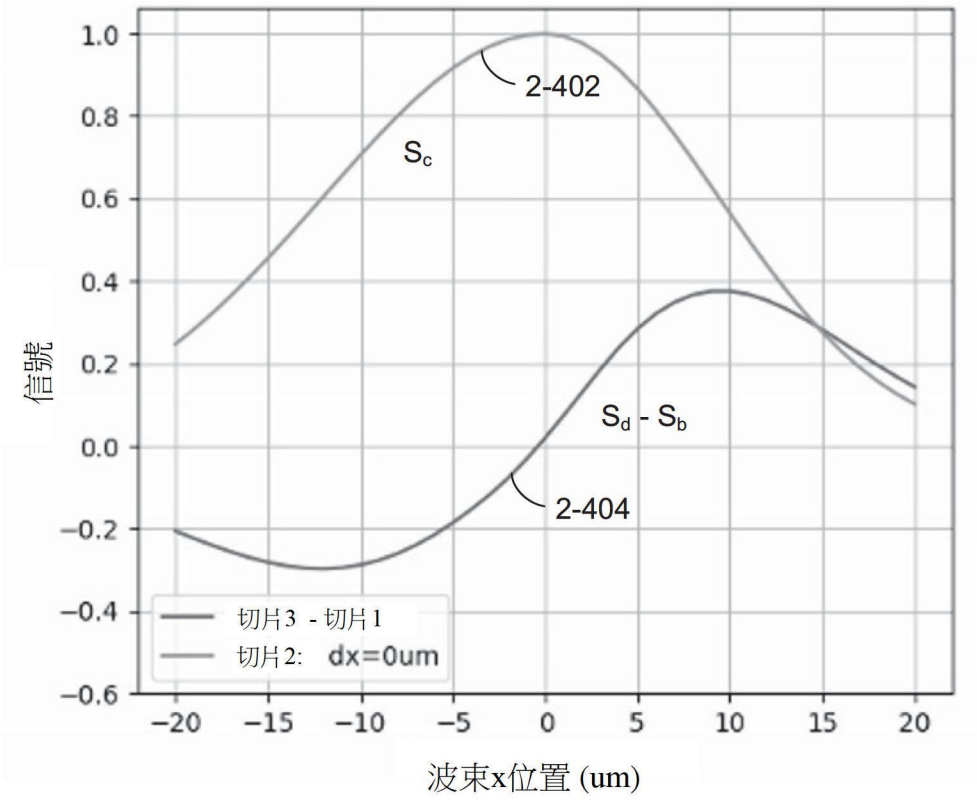
【圖2-1】


2-200
2-210a
2-112a
2-210b
2-112b
2-210c
2-112c
2-210d
2-112d
2-210e
2-112e
X
Y
2-210

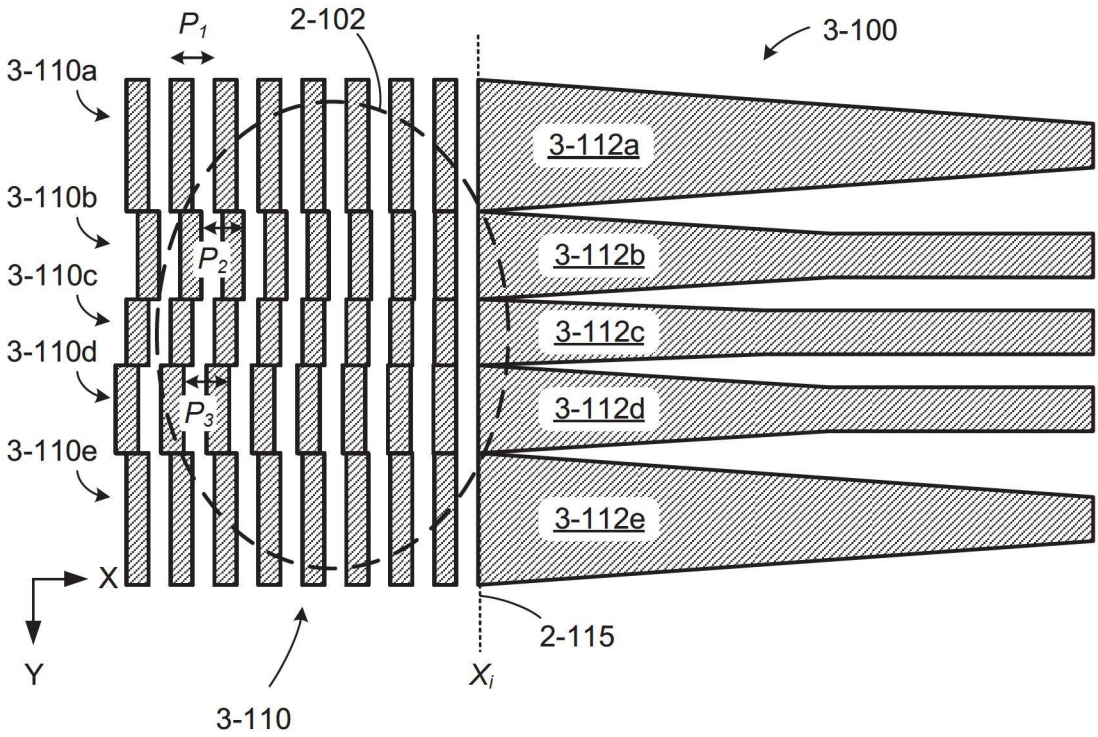
【圖2-2】


2-330
2-300
2-310a
2-312a
2-310b
2-312b
2-310c
2-312c
2-310d
2-312d
X
Y
2-310
2-115
X_i

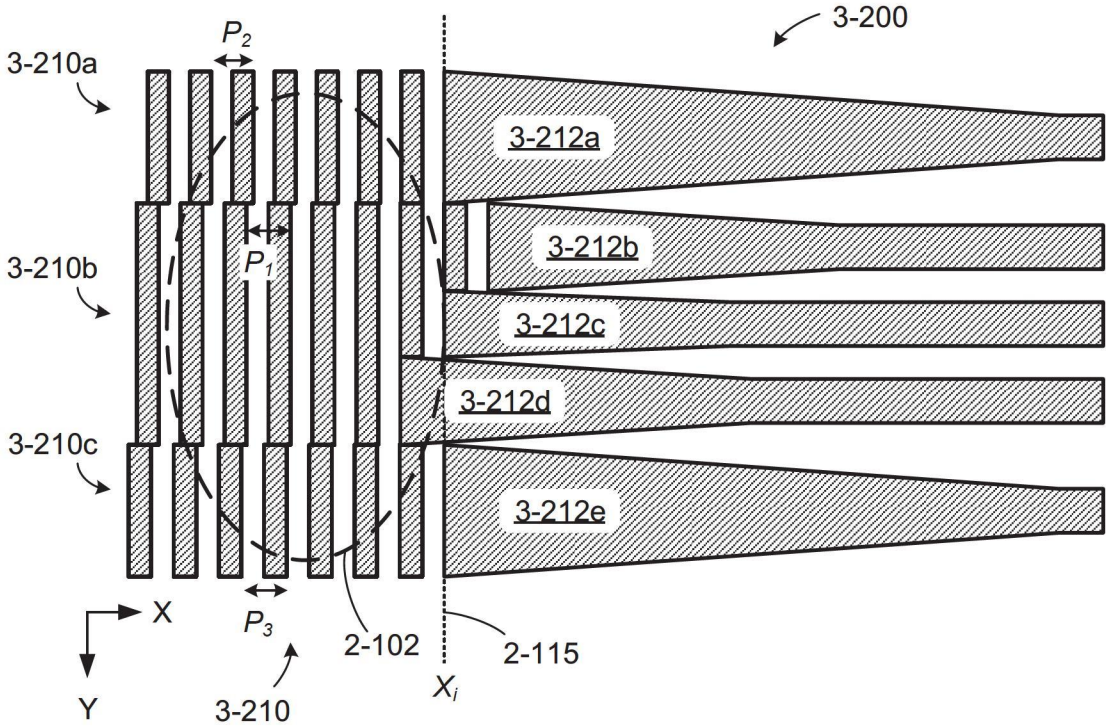
【圖2-3】


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
−0.2
−0.4
−0.6
信號
2-402
S_c
S_d - S_b
2-404
切片3 - 切片1
切片2: dx=0um
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
波束x位置 (um)

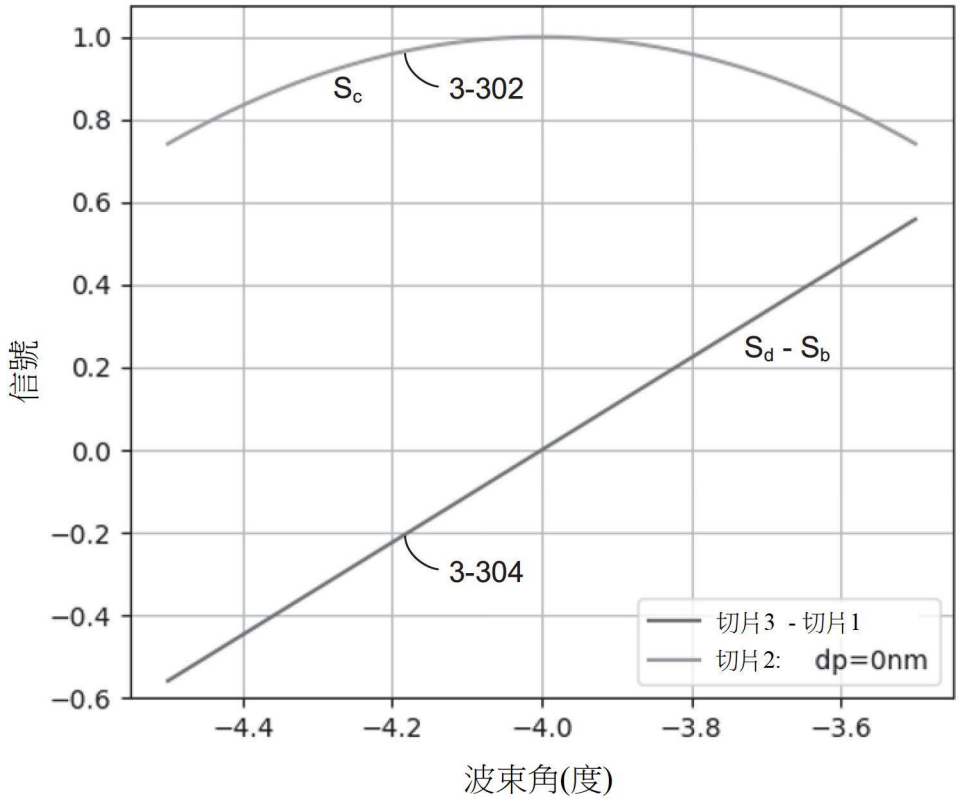
【圖2-4】


P1
2-102
3-100
3-110a
3-112a
3-110b
P2
3-112b
3-110c
3-112c
3-110d
3-112d
P3
3-110e
3-112e
X
2-115
Y
Xi
3-110

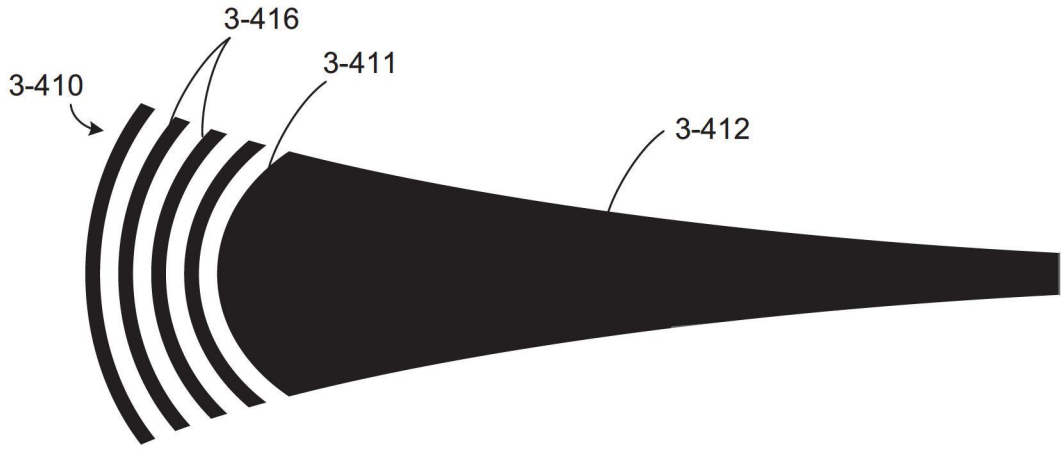
【圖3-1】


P2
3-200
3-210a
3-212a
3-212b
P1
3-210b
3-212c
3-212d
3-210c
3-212e
X
P3
2-102
2-115
Y
3-210
Xi

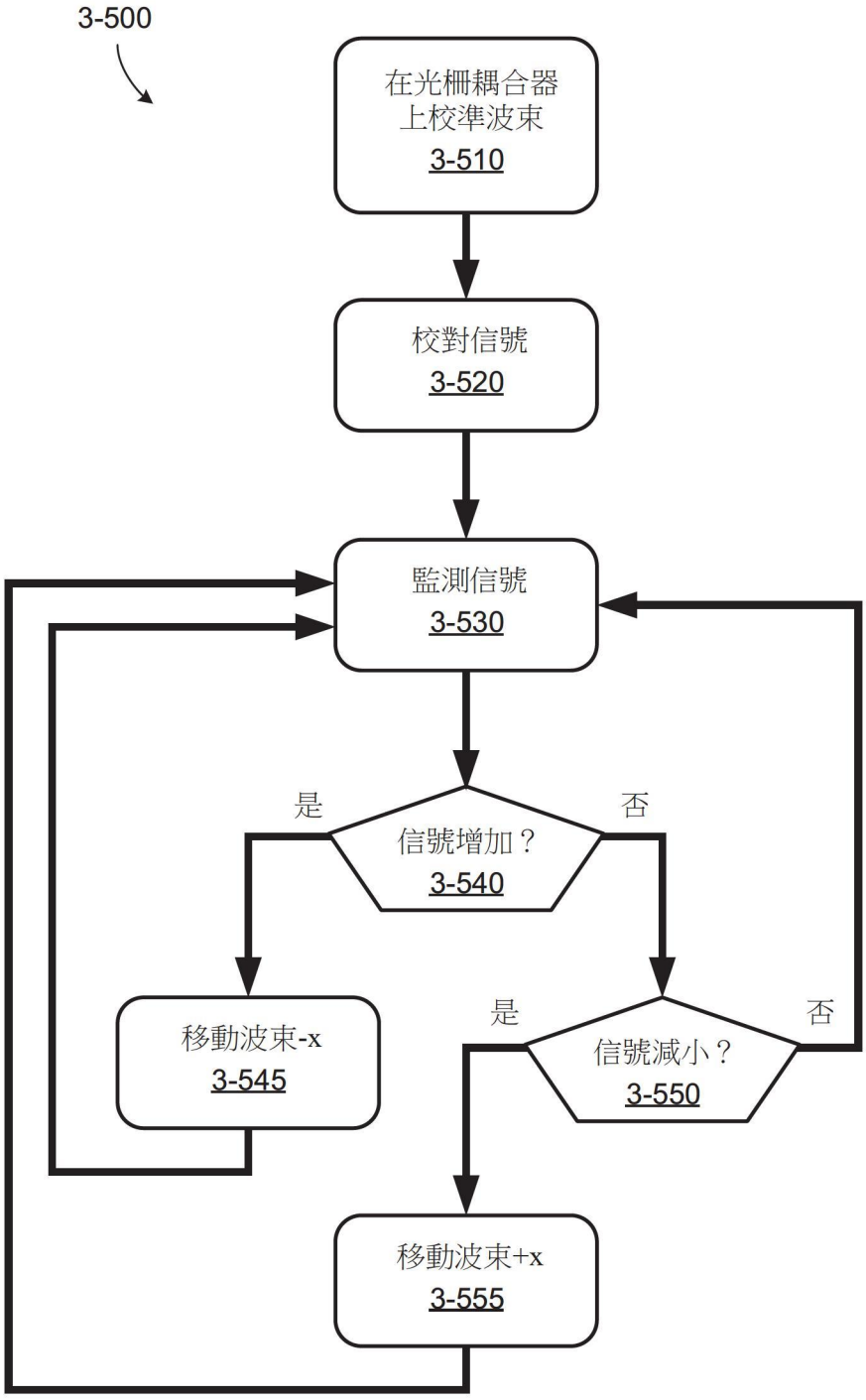
【圖3-2】


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
−0.2
−0.4
−0.6
信號
S_c
3-302
S_d - S_b
3-304
切片3 - 切片1
切片2: dp=0nm
−4.4
−4.2
−4.0
−3.8
−3.6
波束角(度)

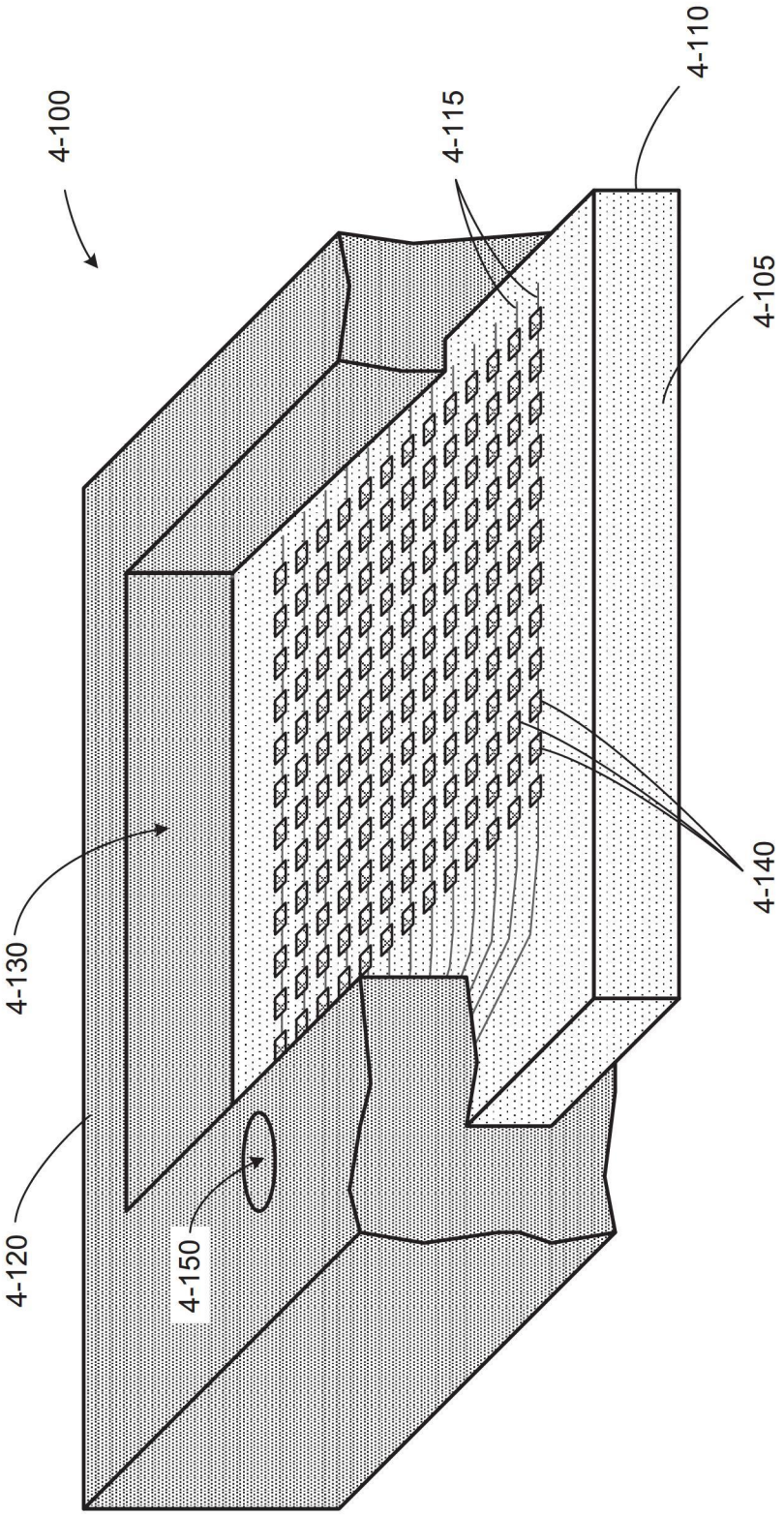
【圖3-3】


3-416
3-411
3-410
3-412

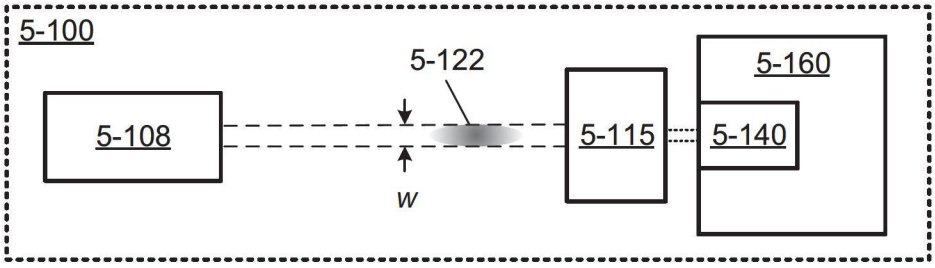
【圖3-4】


3-500
在光柵耦合器
上校準波束
3-510
校對信號
3-520
監測信號
3-530
是
否
信號增加？
3-540
移動波束-x
3-545
是
否
信號減小？
3-550
移動波束+x
3-555

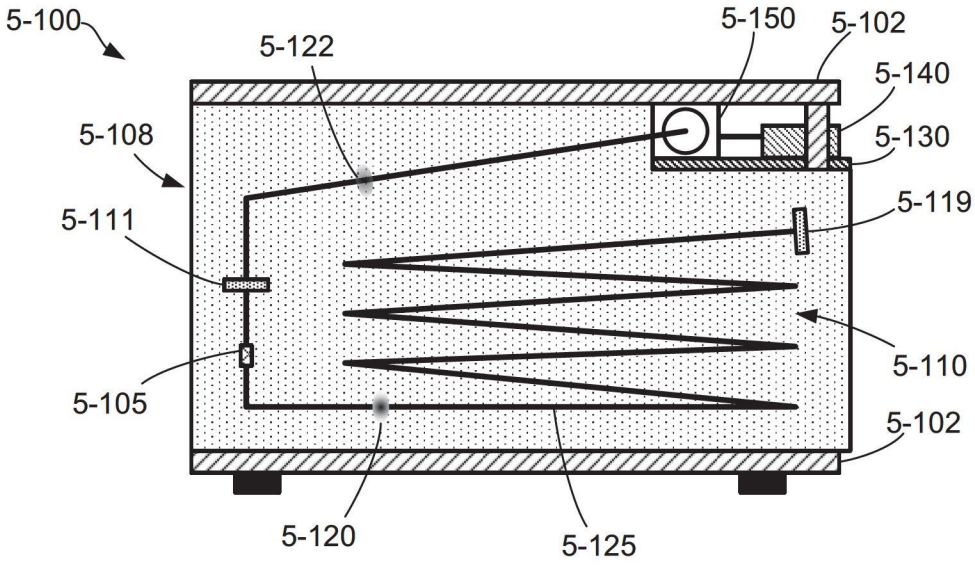
【圖3-5】



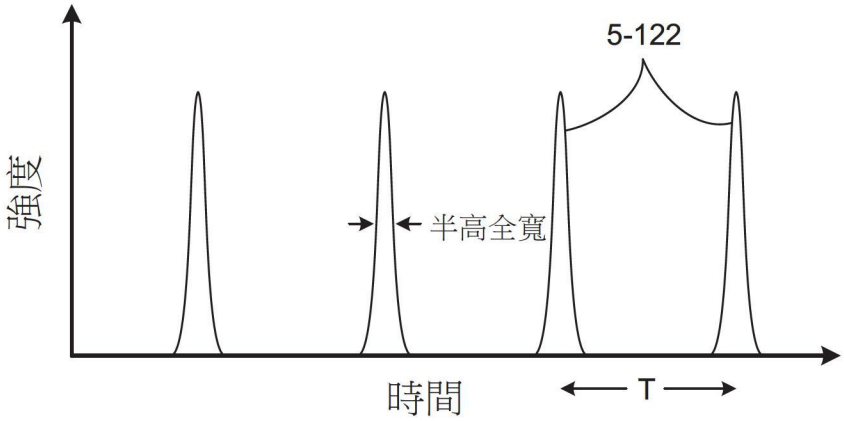
【圖4】



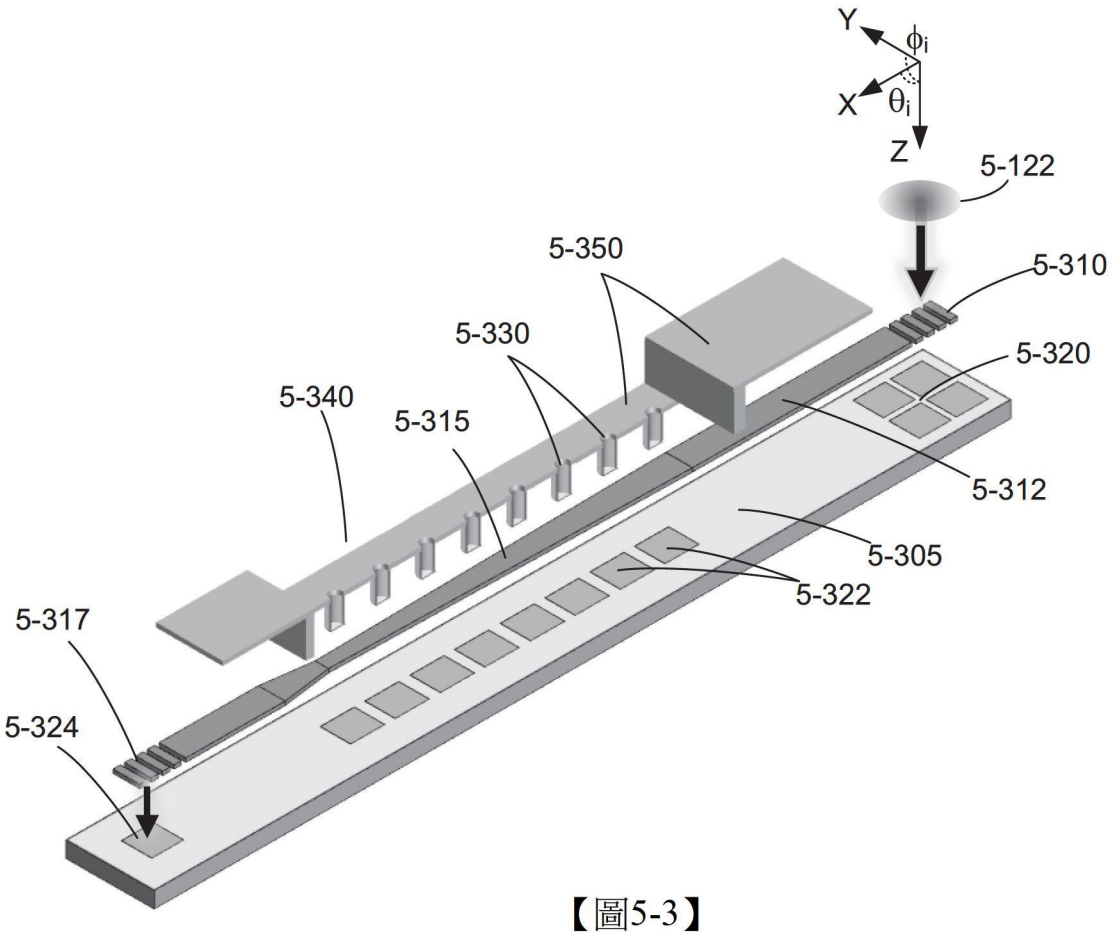
【圖5-1A】



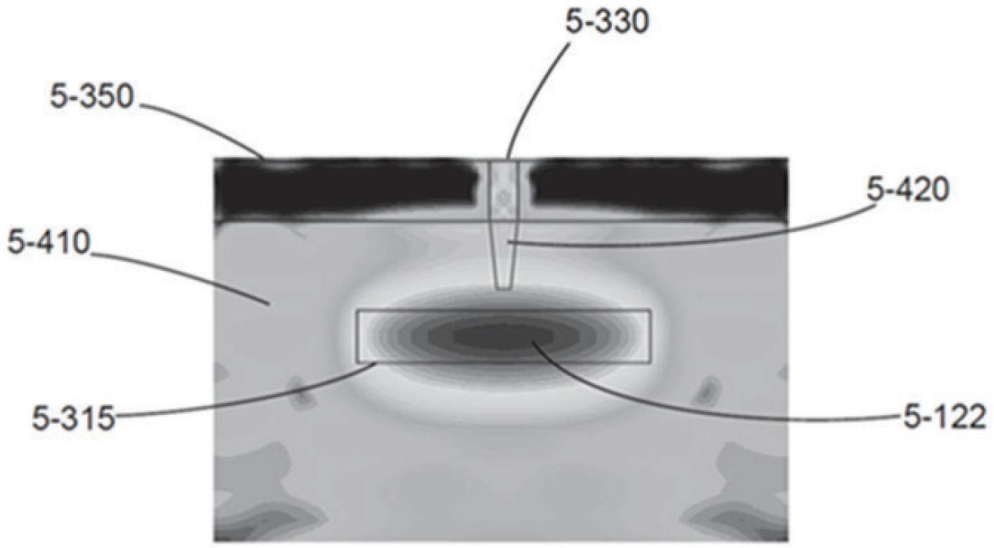
【圖5-1B】



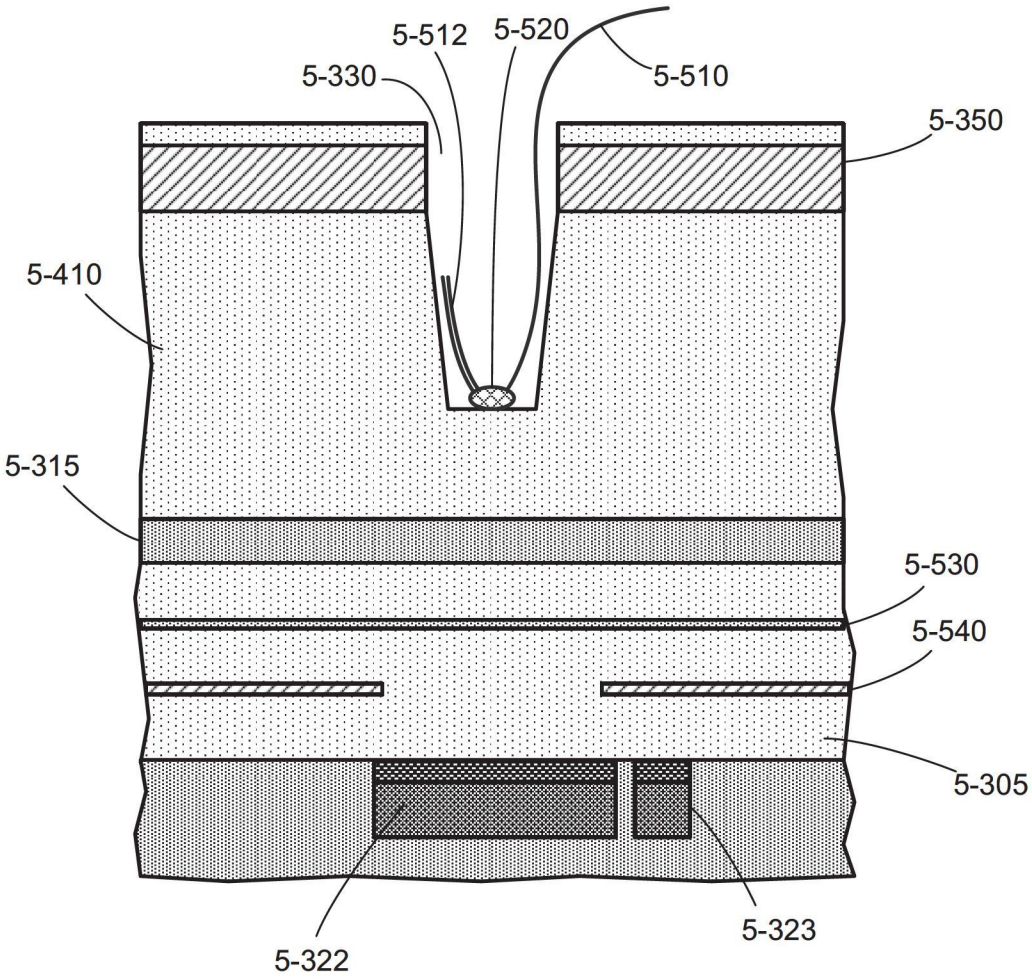
【圖5-2】


Y
ϕ_i
X
θ_i
Z
5-122
5-350
5-310
5-330
5-320
5-340
5-315
5-312
5-305
5-322
5-317
5-324

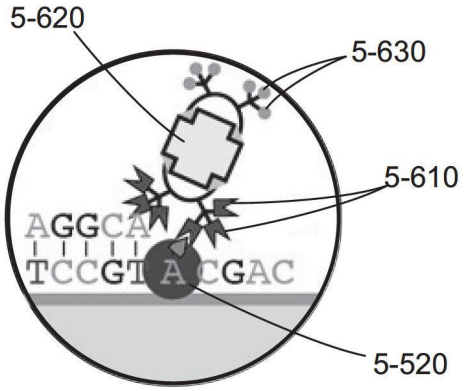
【圖5-3】


5-330
5-350
5-420
5-410
5-315
5-122

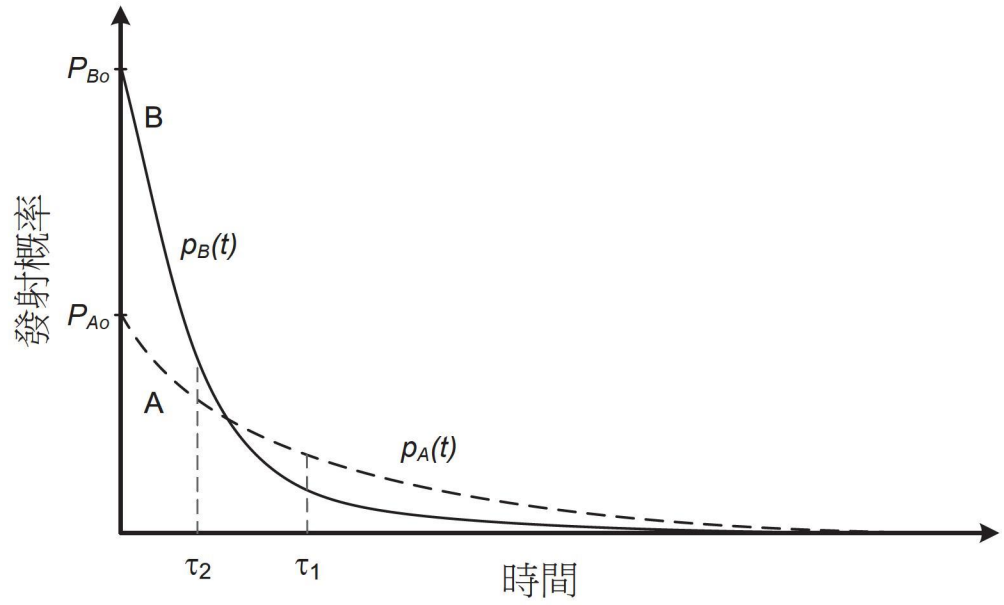
【圖5-4】


5-512
5-520
5-330
5-510
5-350
5-410
5-315
5-530
5-540
5-305
5-322
5-323

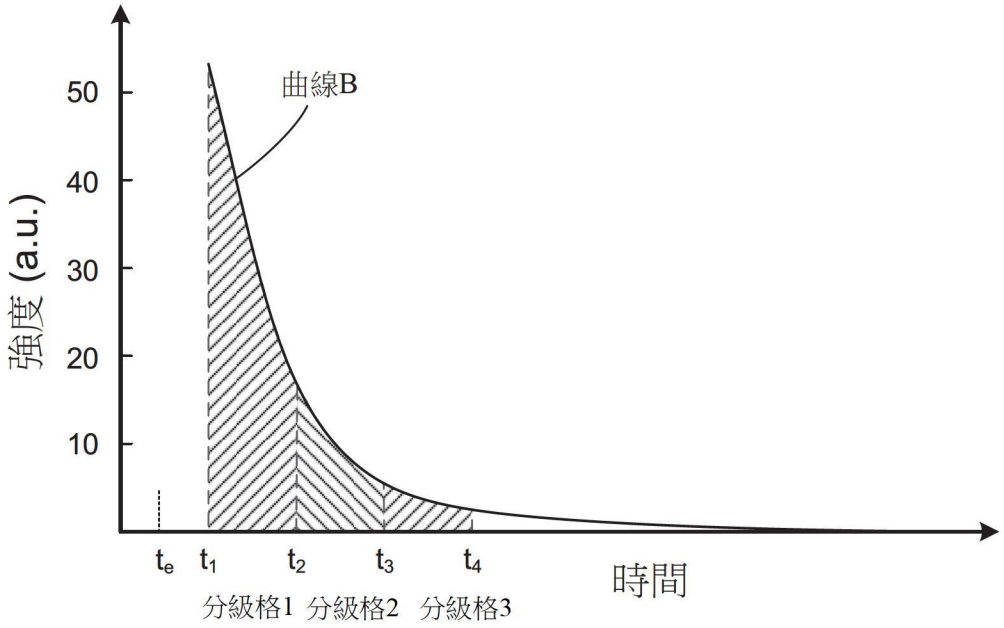
【圖5-5】


5-620
5-630
5-610
AGGCA
TCCGT
CGAC
5-520

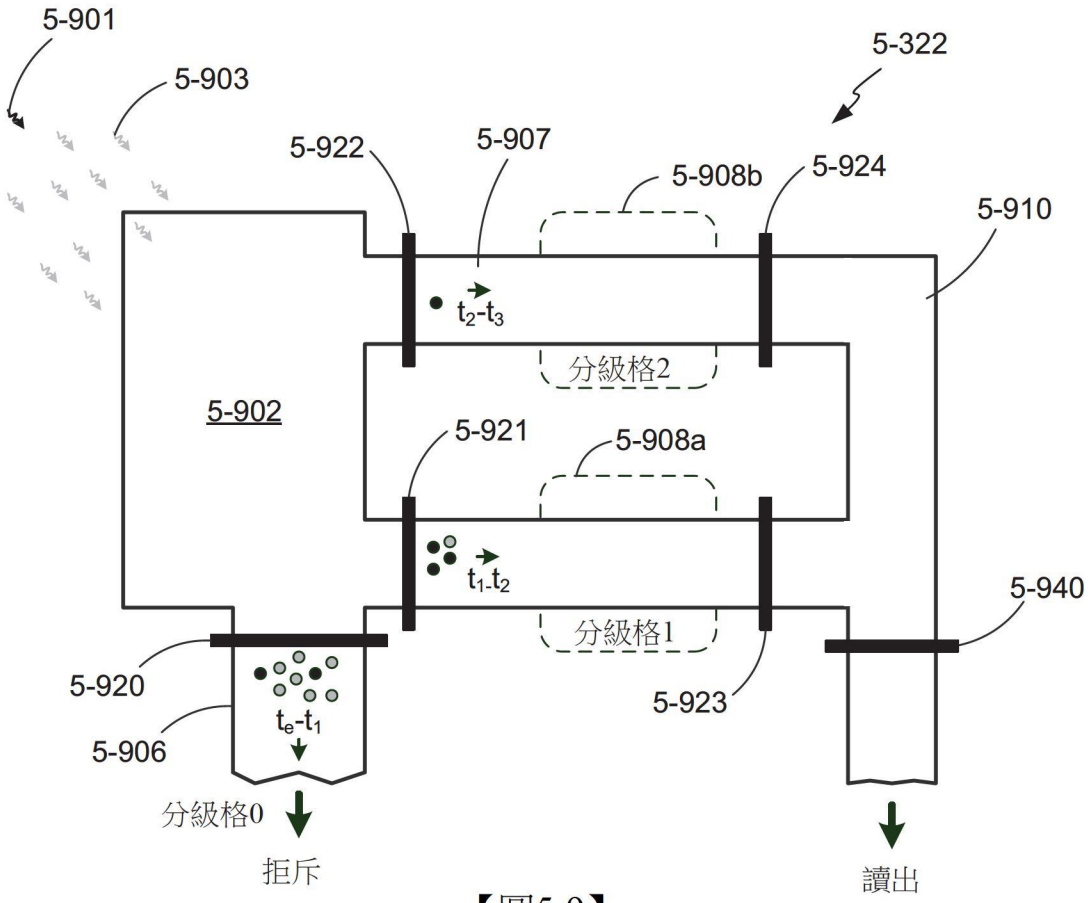
【圖5-6】


P_{Bo}
B
$p_B(t)$
P_{Ao}
A
$p_A(t)$
發射概率
τ_2
τ_1
時間

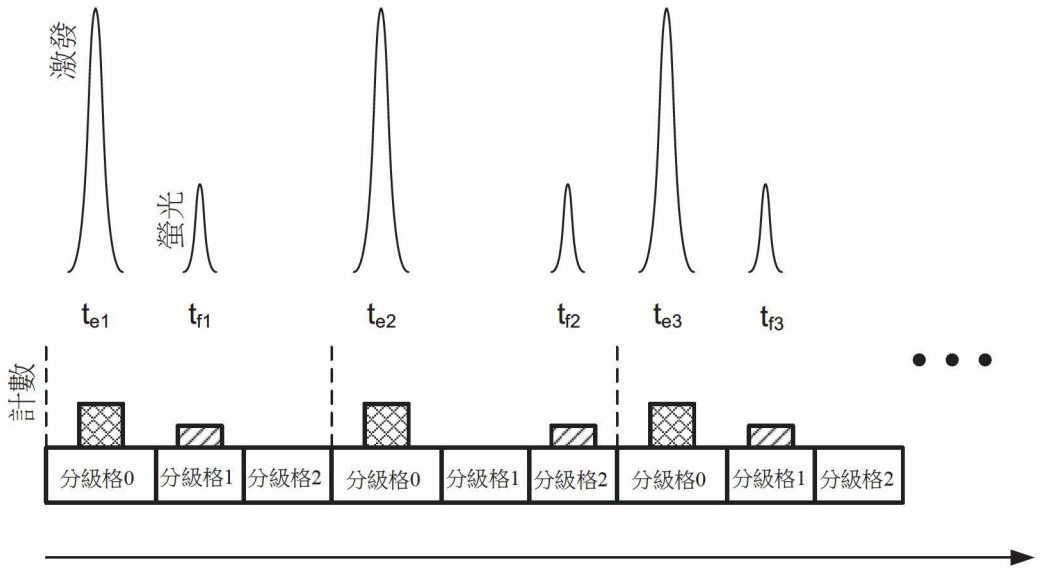
【圖5-7】


50
40
30
20
10
強度 (a.u.)
曲線B
t_e
t_1
t_2
t_3
t_4
時間
分級格1
分級格2
分級格3

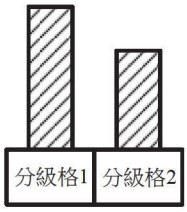
【圖5-8】


5-901
5-903
5-322
5-922
5-907
5-908b
5-924
5-910
t_2-t_3
分級格2
5-902
5-921
5-908a
t_1-t_2
5-940
分級格1
5-920
5-923
t_e-t_1
5-906
分級格0
拒斥
讀出

【圖5-9】

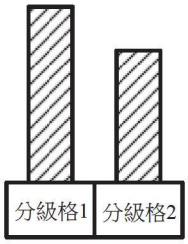

激發
螢光
t_{e1}
t_{f1}
t_{e2}
t_{f2}
t_{e3}
t_{f3}
計數
分級格0
分級格1
分級格2
分級格0
分級格1
分級格2
分級格0
分級格1
分級格2

【圖5-10A】



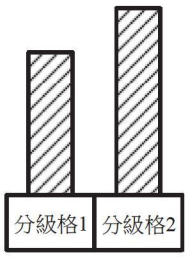
【圖5-10B】

T



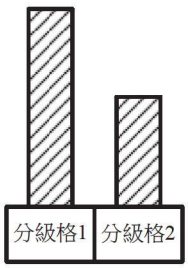
【圖5-11A】

A



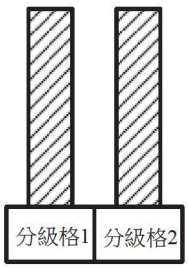
【圖5-11B】

C



【圖5-11C】

G



【圖5-11D】