



(21) 申請案號：111113378 (22) 申請日：中華民國 111 (2022) 年 04 月 08 日
 (51) Int. Cl. : **G06N10/00 (2019.01)** **B81B7/02 (2006.01)**
 (30) 優先權：2021/04/08 美國 63/201,018
 2022/03/08 美國 17/653,979
 (71) 申請人：美商昆媿努姆有限責任公司 (美國) QUANTINUUM LLC (US)
 美國
 (72) 發明人：博恩 馬修 BOHN, MATTHEW (US)；奧蘭尼克 亞當 OLLANIK, ADAM (US)
 (74) 代理人：陳長文
 申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：17 共 89 頁

(54) 名稱

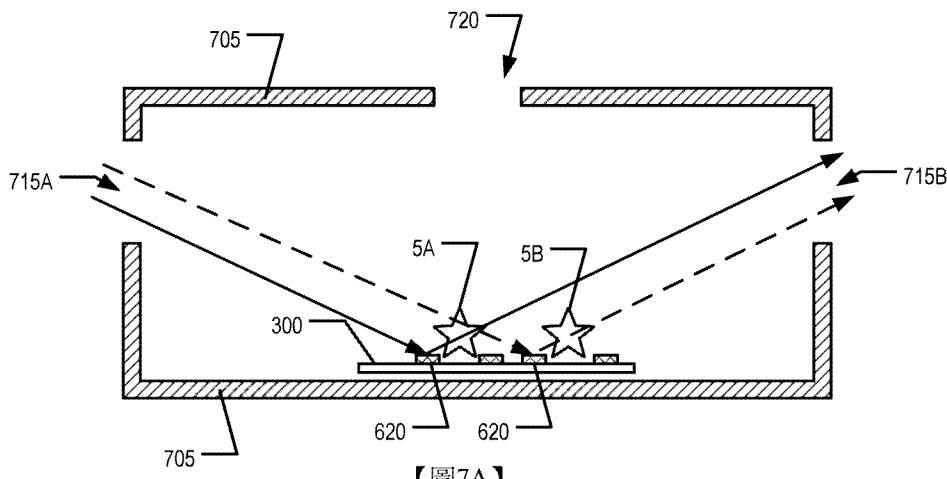
使用超材料陣列之量子計算

(57) 摘要

在各種實施例中，提供一種包括一原子物體侷限設備及一或多個信號操縱元件之系統。各信號操縱元件(a)與該原子物體侷限設備之一各自原子物體位置相關聯且(b)係一收集陣列或一作用陣列之一者。一收集陣列經組態以回應於由該各自原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號入射於該收集陣列上而將一誘發收集信號提供至一各自收集位置。一作用陣列經組態以回應於一傳入信號入射於該作用陣列上而將一誘發作用信號提供至該各自原子物體位置。該一或多個信號操縱元件包括超材料陣列及/或繞射光學元件。

In various embodiments, a system comprising an atomic object confinement apparatus and one or more signal manipulation elements is provided. Each signal manipulation element (a) is associated with a respective atomic object position of the atomic object confinement apparatus and (b) is one of a collection array or an action array. A collection array is configured to, responsive to an emitted signal emitted by an atomic object at the respective atomic object position being incident on the collection array, provide an induced collection signal to a respective collection position. An action array is configured to, responsive to an incoming signal being incident on the action array, provide an induced action signal to the respective atomic object position. The one or more signal manipulation elements comprise metamaterial arrays and/or diffractive optical elements.

指定代表圖：



【圖7A】

符號簡單說明：

5A:原子物體

5B:原子物體

300:原子物體侷限設備

620:作用陣列

705:外殼

715A:操縱信號視窗

715B:操縱信號視窗

720:收集視窗

【發明摘要】

【中文發明名稱】

使用超材料陣列之量子計算

【英文發明名稱】

QUANTUM COMPUTING USING METAMATERIAL ARRAYS

【中文】

在各種實施例中，提供一種包括一原子物體侷限設備及一或多個信號操縱元件之系統。各信號操縱元件(a)與該原子物體侷限設備之一各自原子物體位置相關聯且(b)係一收集陣列或一作用陣列之一者。一收集陣列經組態以回應於由該各自原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號入射於該收集陣列上而將一誘發收集信號提供至一各自收集位置。一作用陣列經組態以回應於一傳入信號入射於該作用陣列上而將一誘發作用信號提供至該各自原子物體位置。該一或多個信號操縱元件包括超材料陣列及/或繞射光學元件。

【英文】

In various embodiments, a system comprising an atomic object confinement apparatus and one or more signal manipulation elements is provided. Each signal manipulation element (a) is associated with a respective atomic object position of the atomic object confinement apparatus and (b) is one of a collection array or an action array. A collection array is configured to, responsive to an emitted signal emitted by an atomic object at the respective atomic object position being incident on the collection array, provide an induced collection signal to

a respective collection position. An action array is configured to, responsive to an incoming signal being incident on the action array, provide an induced action signal to the respective atomic object position. The one or more signal manipulation elements comprise metamaterial arrays and/or diffractive optical elements.

【指定代表圖】

圖7A

【代表圖之符號簡單說明】

5A:原子物體

5B:原子物體

300:原子物體侷限設備

620:作用陣列

705:外殼

715A:操縱信號視窗

715B:操縱信號視窗

720:收集視窗

【發明說明書】

【中文發明名稱】

使用超材料陣列之量子計算

【英文發明名稱】

QUANTUM COMPUTING USING METAMATERIAL ARRAYS

【技術領域】

【0001】 各種實施例係關於與使用超材料結構來將光束提供至受侷限原子物體及/或自受侷限原子物體接收光學信號相關之設備、系統及方法。一實例性實施例係關於將光束提供至一基於量子電荷耦合裝置(QCCD)之量子電腦之受侷限原子物體及/或自該等受侷限原子物體接收光學信號。

【先前技術】

【0002】 當使用一離子阱來執行量子計算時，藉由將雷射束施加至抑留於離子阱中之離子來執行量子電腦之閘及其他功能。歸因於阱上方之低離子高度、雷射束之瑞利(Rayleigh)範圍及需要傳送至阱內之一離子以執行量子電腦之功能之雷射功率量，將此等雷射束傳送至一大型量子電腦係一重大挑戰。透過付出努力、巧思及創新，已藉由開發根據本發明之實施例構建之解決方案來解決先前雷射束應用技術之諸多缺點，實施例之諸多實例在本文中詳細描述。

【發明內容】

【0003】 實例性實施例提供用於將一或多個操縱信號提供至侷限於一原子物體侷限設備內之一原子物體及/或捕捉及/或偵測由原子物體發射之(光學)信號之方法、系統、設備、電腦程式產品及/或其類似者。在各種

實施例中，原子物體係原子、離子、原子及/或離子(例如離子晶體)對或群組及/或其類似者。例如，在各種實施例中，原子物體用作一量子電腦之量子位元。在各種此等實施例中，操縱信號經組態以控制量子電腦之光電離、狀態準備、量子位元偵測及/或讀取、冷卻、擱置、再泵浦、單量子位元閘及雙量子位元閘。儘管本文中相對於量子計算應用(例如基於量子電荷耦合裝置(QCCD)之量子電腦)描述實例性實施例，但各種實施例係關於原子鐘及由各自原子物體侷限設備侷限之原子物體之各種其他應用、量子點之微影界定陣列及/或需要將光學信號精確傳送至特定位置及/或捕捉特定位置處發射之信號之其他應用。

【0004】 在各種實施例中，原子物體侷限設備具有安置/形成於其上及/或相對於其耦合/固定之一或多個超材料結構。在各種實施例中，至少一些超材料結構經組態使得入射於超材料結構上之一操縱信號誘發超材料結構將一各自作用信號發射至一對應原子物體位置及/或其部分上。在各種實施例中，至少一些超材料結構經組態使得由一對應原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號誘發超材料結構朝向經組態以捕捉、偵測、量測及/或其類似者一收集信號之收集光學器件發射收集信號。

【0005】 根據本發明之一態樣，提供一種系統。在一實例性實施例中，該系統包括：一原子物體侷限設備，其包括經組態以產生經組態以侷限一或多個原子物體之一侷限電位之複數個電極，該侷限電位界定複數個原子物體位置；及一或多個信號操縱元件。該一或多個信號操縱元件之各信號操縱元件(a)與該複數個原子物體位置之一各自原子物體位置相關聯且(b)係一收集陣列或一作用陣列之一者。該收集陣列經組態以回應於由位於該各自原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號入射於該收集

陣列上而將一誘發收集信號提供至一各自收集位置。該作用陣列經組態以回應於由一操縱源產生之一傳入信號入射於該作用陣列上而將一誘發作用信號提供至該各自原子物體位置。

【0006】 在一實例性實施例中，該複數個原子物體位置安置成二維佈局。

【0007】 在一實例性實施例中，該一或多個信號操縱元件之各者包括一超材料陣列。

【0008】 在一實例性實施例中，該一或多個信號操縱元件包括(a)一超材料陣列或(b)一繞射光學元件(DOE)之至少一者。

【0009】 在一實例性實施例中，該原子物體侷限設備係一表面離子阱。

【0010】 在一實例性實施例中，該一或多個信號操縱元件包括與該各自原子物體位置相關聯之至少一個收集陣列及一或多個作用陣列。

【0011】 在一實例性實施例中，該作用陣列經組態用於執行選自由以下組成之一群組之一量子電腦功能：一原子物體之光電離、該原子物體之狀態準備、讀取該原子物體之一量子態、冷卻該原子物體或包括該原子物體之一原子物體晶體、擱置該原子物體、再泵浦該原子物體、對該原子物體執行一單量子位元閘及對包括該原子物體之一組原子物體執行一多量子位元閘。

【0012】 在一實例性實施例中，該作用陣列之一或多個超材料結構經波長調諧以誘發用於執行該量子電腦功能中之一波長之一作用束。

【0013】 在一實例性實施例中，該複數個超材料結構之一或多個超材料結構係自該原子物體侷限裝置之一表面延伸0.5 nm至1 μm 之一範圍

內之一距離之支柱。

【0014】 在一實例性實施例中，該複數個超材料結構之各超材料結構形成一超表面。

【0015】 在一實例性實施例中，該原子物體侷限設備之一表面界定一平面，該一或多個信號操縱元件安置於該表面上，且該作用陣列經組態以接收橫向於該平面傳播之一傳入信號。

【0016】 在一實例性實施例中，該原子物體侷限設備之一表面界定一平面且該收集位置位於該平面外。

【0017】 在一實例性實施例中，該一或多個信號操縱元件係形成於該原子物體侷限設備之一表面上之超表面透鏡。

【0018】 在一實例性實施例中，該原子物體侷限設備之一基板之至少一或多個部分對具有該輸入信號之一波長之光或具有該發射信號之一波長之光之至少一者透明。

【0019】 在一實例性實施例中，該一或多個信號操縱元件安置於一第二基板上，該第二基板經安置使得包括該一或多個信號操縱元件之至少一者之該第二基板之一表面面向其上安置有該原子物體侷限設備之該複數個電極之一第一基板之一表面。

【0020】 在一實例性實施例中，該系統進一步包括經組態以控制該複數個電極及該至少一個操縱源之操作之一控制器。

【0021】 在一實例性實施例中，該控制器經進一步組態以接收指示該收集信號入射於該收集位置處之一信號。

【0022】 在一實例性實施例中，該系統係一量子電腦之部分且該控制器經組態以控制該複數個電極及該至少一個操縱源之該操作以引起該量

子電腦執行一量子電路之至少一部分，其中該一或多個原子物體用作該量子電腦之量子位元。

【0023】 在一實例性實施例中，該系統進一步包括經組態以界定自該操縱源至該作用陣列之一光學路徑之一或多個光學元件。

【0024】 在一實例性實施例中，該一或多個光學元件包括以下之至少一者：一雙層超表面分束器；一光子積體電路晶片及一或多個塊狀光學組件；或具有積體超表面之一光子積體電路晶片。

【0025】 在一實例性實施例中，該系統進一步包括位於對應於該各自原子物體位置之該收集位置處之收集光學器件及光學耦合至該收集光學器件之一或多個光偵測器，該一或多個光偵測器經組態以產生指示該收集信號入射於該收集光學器件上之一信號。

【0026】 在一實例性實施例中，複數個作用陣列與該各自原子物體位置相關聯，該複數個作用陣列之第一作用陣列經組態以回應於該作用信號入射於其上而提供一第一誘發作用信號且該複數個作用陣列之一第二作用陣列經組態以回應於該作用信號入射於其上而提供一第二誘發作用信號，該第一誘發作用信號及該第二誘發作用信號在該各自原子物體位置處之一光束寬度或通過該各自原子物體位置之一傳播路徑之至少一者上不同。

【0027】 在一實例性實施例中，該一或多個信號操縱元件包括一對準配置，其包括至少一個信號操縱元件。

【圖式簡單說明】

【0028】 因此，在大體描述本發明之後，現將參考附圖，其未必按比例繪製且其中：

【0029】 圖1係繪示根據一實例性實施例之包括一原子物體侷限設備(其一表面上包括超材料結構)之一實例性量子計算系統之一示意圖。

【0030】 圖2係根據一實例性實施例之一原子物體侷限設備之一表面之一部分之一示意圖。

【0031】 圖3係根據一實例性實施例之圖2中所展示之原子物體侷限設備之表面之一放大部分之一示意圖。

【0032】 圖4A係根據一實例性實施例之其一表面上包括由一超材料結構陣列形成之一作用陣列之一原子物體侷限設備之一部分橫截面圖。

【0033】 圖4B係根據一實例性實施例之其一表面上包括由一超材料結構陣列形成之一收集陣列之一原子物體侷限設備之一部分橫截面圖。

【0034】 圖4C係根據一實例性實施例之一超材料結構陣列之一部分透視圖。

【0035】 圖5係根據一實例性實施例之其一表面上包括信號操縱元件之一配置之一原子物體侷限設備之一表面之一部分之一示意圖。

【0036】 圖6係根據一實例性實施例之其一表面上包括超材料陣列之另一配置之一原子物體侷限設備之一表面之一部分之一示意圖。

【0037】 圖7A及圖7B係各繪示根據各種實施例之至少部分圍繞原子物體侷限設備安置之信號進入及/或離開外殼的示意圖。

【0038】 圖8係根據一實例性實施例之在原子物體侷限設備之一表面上包括信號操縱元件之一半透明基板傳送配置之一示意圖。

【0039】 圖9係根據一實例性實施例之其中包括信號操縱元件之一第二基板依相對於原子物體侷限設備之一固定關係安裝之一覆晶信號傳送配置之一示意圖。

【0040】 圖10A、圖10B及圖10C係各繪示根據各種實施例之由入射於各自信號操縱元件上之一作用信號誘發之各自作用信號之光束輪廓的示意圖。

【0041】 圖11係根據一實例性實施例之經組態以將操縱信號提供至一原子物體侷限設備之一表面上之超材料結構及/或自該等超材料結構接收收集信號之一光學總成之一部分橫截面圖。

【0042】 圖12係根據一實例性實施例之經組態以將操縱信號提供至一原子物體侷限設備之一表面上之超材料結構及/或自該等超材料結構接收收集信號之一光學組態之一部分橫截面圖。

【0043】 圖13繪示根據一實例性實施例之經組態用於將操縱信號傳送至原子物體位置之一實例性雙層超材料陣列分束器。

【0044】 圖14A提供根據一實例性實施例之經組態用於將操縱信號傳送至原子物體位置之一實例性光子積體電路(PIC)之一前視圖。

【0045】 圖14B提供根據一實例性實施例之經組態用於將操縱信號傳送至原子物體位置之一實例性PIC及對應塊狀光學器件之一側視圖。

【0046】 圖14C提供根據一實例性實施例之具有積體超材料陣列且經組態用於將操縱信號傳送至原子物體位置之一實例性PIC之一側視圖。

【0047】 圖15A及圖15B各繪示根據各種實施例之經組態用於一各自對準操作中之信號操縱元件之一對準配置之一實例性部分。

【0048】 圖16提供根據各種實施例之經組態以執行一或多個確定性重塑及/或重新排序功能之一量子電腦之一實例性控制器之一示意圖。

【0049】 圖17提供可根據一實例性實施例使用之一量子電腦系統之一實例性計算實體之一示意圖。

【實施方式】

相關申請案之交叉參考

【0050】 本申請案主張2021年4月8日申請之美國臨時申請案第63/201,018號之優先權，該案之全部內容以引用方式併入本文中。

【0051】 現將在下文中參考其中展示本發明之部分而非全部實施例之附圖來更完全描述本發明。其實，本發明依諸多不同形式體現且不應解釋為限於本文中所闡述之實施例；確切而言，此等實施例經提供使得本發明將滿足適用法律要求。除非另有指示，否則術語「或」(亦表示為「/」)在本文中用於意指替代及合取。術語「繪示性」及「例示性」用作實例且不指示品質水準。除非另有指示，否則術語「大體上」、「實質上」及「大致」係指在工程設計及/或製造容限內及/或在使用者量測能力內。相同元件符號係指所有相同元件。

【0052】 在各種實施例中，方法、設備、系統、電腦程式產品及/或其類似者用於將操縱信號提供至一原子物體侷限設備內之原子物體位置及/或收集、捕捉、偵測及/或量測由原子物體侷限設備侷限之原子物體發射之發射信號。例如，各種實施例提供相關聯於及/或包括原子物體侷限設備且包括一或多個信號操縱元件之一信號管理系統。在各種實施例中，一或多個信號操縱元件用於將操縱信號提供至由原子物體侷限設備界定之原子物體位置及/或收集、捕捉、偵測及/或量測由位於原子物體位置處之原子物體發射之發射信號。

【0053】 在各種實施例中，原子物體係一原子及/或離子。原子物體可為包括兩個或更多個原子物體之一原子物體晶體之量子位元原子物體，且在一實例性實施例中，原子物體晶體之兩個或更多個原子物體包括至少

兩個不同原子序之原子物體。在一實例性實施例中，原子物體侷限設備係一離子阱(例如一表面離子阱、保羅(Paul)阱及/或其類似者)。

【0054】 在各種實施例中，一或多個信號操縱元件相對於原子物體侷限設備安置及/或安裝，使得信號操縱元件形成各自原子物體位置與各自操縱源及/或光偵測器之間的各自光學路徑之至少一部分。

【0055】 在各種實施例中，信號管理系統之信號操縱元件之至少一者安置於原子物體侷限設備之一表面上及/或至少部分安置於其上形成原子物體侷限設備之一第一基板內。例如，在各種實施例中，原子物體侷限設備形成於一第一基板上，其中至少一個信號操縱元件形成及/或安置於第一基板之一表面上。應理解，第一基板可包括經組態以控制原子物體侷限設備之運作之操作之各種元件/組件之多層電路系統。在一實例性實施例中，信號操縱元件之至少一者係原子物體侷限設備之部分且相對於原子物體侷限設備之表面後退及/或凹進。例如，至少一個信號操縱元件可位於第一基板內之一製造層處及/或不直接位於由原子物體侷限設備之平面界定之表面上。例如，原子物體侷限設備之表面中可存在一孔或開口且至少一個信號操縱元件凹進其中。在一實例性實施例中，一透明層將至少一個信號操縱元件圍封於孔或開口內。各種實施例提供一原子物體侷限設備，其具有形成及/或安置於原子物體侷限設備之表面上及/或作為包括原子物體侷限設備之基板之部分之一或多個信號操縱元件。

【0056】 一實例性實施例提供其上及/或其中形成及/或安置有一或多個信號操縱元件之一第二基板，其依相對於原子物體侷限設備之一固定關係安裝，使得操縱信號可經由第二基板之各自信號操縱元件提供至原子物體位置。

【0057】 在各種實施例中，各信號操縱元件經形成及/或組態用於執行一基於QCCD之量子電腦之一或多個功能(光電離、狀態準備、量子位元偵測及/或讀取、冷卻、擱置、再泵浦、單量子位元閘或雙量子位元閘)。例如，在各種實施例中，一信號管理元件係包括複數個超材料結構之一超材料陣列。在各種實施例中，複數個超材料結構之各者係正超材料結構(支柱、柱、圓柱及/或其類似者)。在各種實施例中，複數個超材料結構之各者係負超材料結構(例如孔、凹坑、凹穴、氣泡及/或其類似者)。在各種實施例中，一超材料陣列可包括正及負超材料結構之一組合。在各種實施例中，一些超材料陣列由正超材料結構組成及/或包括正超材料結構且其他超材料陣列由負超材料結構組成及/或包括負超材料結構。

【0058】 在各種實施例中，各信號操縱元件經組態以提供對一各自特定波長範圍之入射信號(例如傳入操縱信號及/或發射信號)之一諧振回應。例如，針對由各自特定波長範圍內之一波長特徵化之一入射信號(及/或其部分)，由於入射信號入射於信號操縱元件上，所以將誘發信號操縱元件發射一受控誘發信號(例如，在方向、焦點、光束輪廓、偏振及/或其類似者方面受控)。然而，若入射信號(及/或入射信號之部分)由超出各自特定波長範圍之一或多個波長特徵化，則所得信號將具有施加至其之一均勻相位延遲但不會經歷受控誘發信號之聚焦、偏振控制、光束輪廓控制及/或其類似者。換言之，在各種實施例中，信號操縱元件可用作彩色濾光器。例如，可使各種波長之一或多個信號及/或包括各種波長之一信號入射於一信號操縱元件上。由信號操縱元件(例如經組態以具有對一各自特定波長之一諧振回應之一超材料陣列)執行之色濾波引起受控誘發信號僅包含信號操縱元件經組態以與其一起使用之一各自特定波長及/或各自特

定波長範圍之波長。例如，入射於一信號操縱元件上之一傳入操縱信號將在傳入操縱信號由各自特定波長範圍內之一波長特徵化時僅聚焦至對應原子物體位置上。

【0059】 在各種實施例中，一信號操縱元件經組態以具有入射於其上且回應於其而誘發發射各自作用信號之超過一個操縱信號。例如，一信號操縱元件可經組態以回應於一第一波長及第一偏振之一第一操縱信號入射於其上而誘發發射一第一作用信號，其具有對應於第一波長之一波長、對應於第一偏振之一偏振且經導引向對應原子物體位置之一第一部分。在一實例性實施例中，相同信號操縱元件經組態以回應於一第二波長及一第二偏振之一第二操縱信號入射於其上而誘發發射一第二作用信號，其具有對應於第二波長之一波長、對應於第二偏振之一偏振且經導引至對應原子物體位置之一第二部分。在各種實施例中，第一波長及第二波長實質上相同且第一偏振及第二偏振不同。在一實例性實施例中，第一波長及第二波長不同且第一偏振及第二偏振實質上相同。在一實例性實施例中，第一波長及第二波長不同且第一偏振及第二偏振不同。根據應用，原子物體位置之第一部分及原子物體位置之第二部分可或可不重疊。在各種實施例中，第一操縱信號及第二操縱信號可至少部分同時提供。例如，第一操縱信號及第二操縱信號可在第一操縱信號及/或第二操縱信號入射於信號操縱元件上之至少一部分時間內同時入射於信號操縱元件上。在一實例性實施例中，第一操縱信號及第二操縱信號單獨(例如，時間不重疊)提供。

【0060】 在各種實施例中，一信號操縱元件經組態以回應於一對應波長範圍內之一傳入操縱信號及/或發射信號入射於其上而誘發發射一作用信號及/或收集信號。例如，量子電腦之各功能可與一或多個波長相關

聯。因此，一各自信號操縱元件可對應於量子電腦之一或多個功能，其中量子電腦之一或多個功能對應於各自信號操縱元件之複數個超材料結構經組態以操作之波長範圍內之波長。

【0061】 在各種實施例中，各信號操縱元件與由原子物體侷限設備界定之一對應原子物體位置相關聯。在各種實施例中，由原子物體侷限設備界定之一或多個原子物體位置與包括複數個信號操縱元件之信號操縱元件之一配置相關聯。在各種實施例中，與一原子物體侷限設備相關聯之信號操縱元件之一配置之各信號操縱元件經組態以用於執行量子電腦之一或多個功能(例如光電離、狀態準備、量子位元偵測及/或讀取、冷卻、擱置、再泵浦、單量子位元閘、雙量子位元閘、發射信號偵測及/或其類似者)。例如，量子電腦之各種功能之執行可包含使用操縱信號及/或偵測各種波長之發射信號。各種信號操縱元件經組態用於不同波長，使得信號操縱元件之一配置之一特定信號操縱元件經組態以在相關聯原子物體位置處執行量子電腦之一或多個對應功能時使用。

【0062】 通常，雷射束藉由平行於一離子阱之平面傳輸雷射束來提供至離子阱內之位置，使得雷射束入射於離子阱內之離子上。然而，針對二維及/或具有較大尺寸之原子物體侷限設備，難以在不修剪離子阱之邊緣之情況下將一雷射束聚焦於離子阱內之離子處。因此，存在如何將操縱信號提供至能夠按比例調整一原子物體侷限設備之大小及/或尺寸之原子物體侷限設備之一技術問題。例如，存在有關如何將操縱信號提供至一原子物體侷限設備之原子物體位置(諸如圖2中所展示之原子物體位置)之一技術問題。

【0063】 各種實施例提供此等技術問題之技術解決方案。特定而

言，在各種實施例中，操縱信號橫向(例如大致垂直、依約45度角及/或其類似者)於原子物體侷限設備之平面發送。例如，操縱信號經發送使得其入射於一信號操縱元件上且誘發信號操縱元件發射導引向對應原子物體位置之一作用信號。換言之，各種實施例之信號管理系統使用信號操縱元件來使操縱信號能夠橫向於原子物體侷限設備之平面提供。因此，各種實施例提供有關如何將操縱信號提供至一原子物體侷限設備使得操縱信號不平行於原子物體侷限設備平面發送使得操縱信號可有效提供至二維阱之技術問題之技術解決方案。

【0064】 另外，偵測一原子物體之量子態亦歸因於光學器件收集及/或偵測由一大型及/或二維原子物體侷限設備內之原子物體發射之信號所需之大視場而存在一挑戰。各種實施例藉由輔助收集及/或導引發射信號使得由原子物體發射之信號被更高效捕捉、偵測及/或量測來提供此等技術問題之技術解決方案。例如，信號管理系統之信號操縱元件之一或多個收集陣列可經安置及/或組態使得回應於由一原子物體發射之一發射信號入射於收集陣列上而誘發發射一偵測束。在各種實施例中，偵測束在一已知方向上發射，使得偵測束可被捕捉(例如，經由收集光學器件及/或其類似者)及提供(例如，經由一光纖電纜、波導及/或其類似者)至一光偵測器(例如光二極體、光倍增管、電荷耦合裝置(CCD)感測器、互補金屬氧化物半導體(CMOS)感測器及/或其他光偵測器)。因此，各種實施例提供判定由一大型及/或二維原子物體侷限設備侷限之原子物體之量子態之大視場技術問題之一解決方案。

包括一原子物體侷限設備之實例性量子計算系統

【0065】 圖1提供根據一實例性實施例之包括一原子物體侷限設備

300 (例如一離子阱及/或其類似者)之一實例性計算系統100之一示意圖。如圖4A、圖4B、圖5、圖6及圖14中所展示，在各種實施例中，複數個信號操縱元件形成及/或安置於原子物體侷限設備之一表面上。在各種實施例中，形成及/或安置於原子物體侷限設備之表面上之信號操縱元件之至少一部分經組態以回應於一傳入信號入射於其上而誘發一作用信號發射向及/或聚焦至一各自原子物體位置上。傳入信號係由量子電腦110之一操縱源60產生之一操縱信號之至少一部分。在各種實施例中，形成及/或安置於原子物體侷限設備之表面上之至少一個信號操縱元件經組態以回應於由位於各自原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號而誘發一收集信號發射向及/或聚焦至對應於各自原子物體位置之一收集位置(例如，其中安置對應收集光學元件)上。

【0066】 在各種實施例中，量子計算系統100包括一計算實體10及一量子電腦110。在各種實施例中，量子電腦110包括一控制器30、圍封一侷限設備300 (例如一離子阱)之一恆冷室及/或真空室40及一或多個操縱源60。例如，恆冷室及/或真空室40可為一壓力控制室。在一實例性實施例中，由操縱源60產生之操縱信號經由對應光學路徑66 (例如66A、66B、66C)提供至恆冷室及/或真空室40之內部(其中定位原子物體侷限設備30)。在各種實施例中，光學路徑66至少部分由信號管理系統之一或多個組件及/或元件界定。例如，光學路徑66之至少一者包括信號管理系統之一信號操縱元件及/或部分由該信號操縱元件界定。

【0067】 在一實例性實施例中，一或多個操縱源60可包括一或多個雷射(例如光學雷射、微波源及/或其類似者)。在各種實施例中，各操縱源經組態以產生具有電磁頻譜之微波、紅外線、可見光或紫外線部分中之一

各自特性波長之一操縱信號60。在各種實施例中，一或多個操縱源60經組態以操縱及/或引起侷限設備內之一或多個原子物體之一受控量子態演進。例如，在一實例性實施例中，其中一或多個操縱源60包括一或多個雷射，雷射可將一或多個雷射束提供至由恆冷室及/或真空室40內之侷限設備300捕集之原子物體。

【0068】 例如，一操縱源60產生作為一傳入信號提供至信號管理系統之一適當信號操縱元件之一操縱信號。傳入信號入射於信號操縱元件(例如一超材料陣列)上誘發超材料陣列之複數個超材料結構發射導引向及/或聚焦於原子物體侷限設備之一對應原子物體位置之一作用信號。例如，操縱源60可經組態以產生可用於將一原子物體初始化為一量子位元空間之一狀態使得原子物體可用作受侷限原子物體量子電腦之一量子位元之一或多個光束、對受侷限原子物體量子電腦之一或多個量子位元執行一或多個閘、讀取及/或判定受侷限原子物體量子電腦之一或多個量子位元之一狀態及/或其類似者。

【0069】 在各種實施例中，量子電腦110包括經組態以收集及/或偵測由量子位元產生之光子(例如，在讀取程序期間)之一光學收集系統70。光學收集系統70可包括一或多個光學元件(例如透鏡、鏡、波導、光纖電纜及/或其類似者)及一或多個光偵測器。在各種實施例中，光偵測器可為光二極體、光倍增器、電荷耦合裝置(CCD)感測器、互補金屬氧化物半導體(CMOS)感測器、微機電系統(MEMS)感測器及/或對量子電腦之量子位元之一預期螢光波長之光敏感之其他光偵測器。在各種實施例中，偵測器可經由一或多個A/D轉換器1625 (參閱圖16)及/或其類似者與控制器30電子通信。例如，被讀取及/或已判定其量子態之一原子物體可發射一發射

信號，其至少一部分入射於信號管理系統之一收集陣列上。發射信號入射於收集陣列上誘發收集陣列之複數個超材料結構發射導引向及/或聚焦於原子物體侷限設備之收集光學器件之一偵測信號。收集光學器件經組態以將收集信號提供至一光偵測器。

【0070】 在各種實施例中，量子電腦110包括一或多個電壓源50。例如，電壓源50可包括複數個電壓驅動器及/或電壓源及/或至少一個RF驅動器及/或電壓源。在一實例性實施例中，電壓源50可電耦合至侷限設備300之對應電位產生元件(例如電極)。

【0071】 在各種實施例中，一計算實體10經組態以允許一使用者將輸入提供至量子電腦110 (例如，經由計算實體10之一使用者介面)且接收、觀看及/或其類似者來自量子電腦110之輸出。計算實體10可經由一或多個有線或無線網路20及/或經由直接有線及/或無線通信與量子電腦110之控制器30通信。在一實例性實施例中，計算實體10可將資訊/資料、量子計算演算法及/或電路及/或其類似者轉譯、組態、格式化及/或其類似者成控制器30可理解及/或實施之一計算語言、可執行指令、命令集及/或其類似者。

【0072】 在各種實施例中，控制器30經組態以控制電壓源50、控制恆冷室及/或真空室40內之溫度及壓力之恆冷系統及/或真空系統、操縱源60、光學收集系統70及/或控制恆冷室及/或真空室40內之各種環境條件(例如溫度、壓力及/或其類似者)及/或經組態以操縱及/或引起侷限設備內之一或多個原子物體之量子態之一受控演進之其他系統。例如，控制器30可引起侷限設備內之一或多個原子物體之量子態之一受控演進執行一量子電路及/或演算法。例如，控制器30可引起執行包括同調擱置之一讀取程

序，可能作為執行一量子電路及/或演算法之部分。在各種實施例中，侷限於侷限設備內之原子物體用作量子電腦110之量子位元。

實例性原子物體侷限設備

【0073】 在各種實施例中，原子物體侷限設備包括經組態以產生一侷限電位之複數個電極。例如，控制器30可控制電壓源50將電信號提供至原子物體侷限設備之電極，使得電極產生一侷限電位。侷限電位經組態以將複數個原子物體侷限於由原子物體侷限設備界定之一侷限容體內。例如，在一實例性實施例中，原子物體侷限設備係一表面離子阱且侷限容體係接近表面離子阱之表面定位之一容體。在各種實施例中，電極及/或侷限電位經組態以界定侷限容體內之複數個原子物體位置。

【0074】 在各種實施例中，原子物體位置依一維或二維佈局安置。例如，在一實例性實施例中，原子物體位置沿一線性原子物體侷限設備之一軸安置。在另一實例性實施例中，原子物體位置依由二維原子物體侷限設備界定之二維陣列或佈局安置。2019年12月17日申請之美國申請案第16/717,602號描述一實例性線性原子物體侷限設備，但可在各種實施例中使用各種其他線性原子物體侷限設備。2020年12月17日申請之美國申請案第63/199,279號描述一實例性二維原子物體侷限設備，但可在各種實施例中使用各種其他二維原子物體侷限設備。

【0075】 在各種實施例中，侷限電位基於由電壓源50提供至電極之電信號來隨時間演進。侷限電位之演進可經組態以引起一或多個原子物體自各自第一原子物體位置移動至各自第二原子物體位置。圖2及圖3各繪示包括由一間距因數 α 分離之電極310序列之一實例性二維原子物體侷限設備300之部分。在一實例性實施例中，間距因數 α 在500 μm 至1000 μm 之

間的一範圍內(例如約750 μm)。電極310序列界定複數個原子物體位置305。在各種實施例中，一原子物體位置305係對應於一原子物體路徑320之一容體，其中電極310經組態以維持一原子物體(例如，作為一原子物體晶體之部分)及/或一對或一組原子物體(例如，用於執行兩個或更多個量子位元閘)用於執行量子電腦之一功能及/或在對位於其他原子位置處之其他原子物體執行量子電腦之功能期間儲存一或多個原子物體。

【0076】 在所繪示實施例中，電極310序列界定複數個分隔區330及原子物體路徑320。在各種實施例中，原子物體可沿原子物體路徑320在各種原子物體位置305之間行進。一般而言，原子物體不位於分隔區330上方。在各種實施例中，一或多個信號操縱元件(例如作用陣列)可安置及/或形成於分隔區330上。在各種實施例中，一或多個信號操縱元件(例如收集陣列)可安置及/或形成於原子物體路徑320上。

【0077】 在各種實施例中，電壓源50將電信號提供至侷限設備300之電位產生元件(例如電極310)，使得產生一侷限電位。基於侷限電位之輪廓及時間演進，一或多個原子物體受侷限於各自原子物體位置處，在原子物體位置之間移動，及/或其類似者。當一原子物體位於一原子物體位置處時，可對原子物體執行一或多個功能(例如量子計算功能)。可對一原子物體執行之一實例性功能係原子物體之光電離。例如，一操縱信號可施加至原子物體以光電離原子物體。

【0078】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係原子物體之狀態準備。例如，一或多個操縱信號可施加至原子物體以準備呈一特定量子態之原子物體。例如，特定量子態可為由量子電腦使用之一界定量子位元空間內之一狀態，使得原子物體可用作量子電腦之一量子位元。

【0079】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係讀取原子物體之一量子態。例如，一操縱信號(例如一讀取信號)可施加至原子物體。當原子物體之波函數塌縮成量子位元空間之一第一狀態時，原子物體將回應於讀取信號施加至其而發螢光。當原子物體之波函數塌縮成量子位元空間之一第二狀態時，原子物體不會回應於讀取信號施加至其而發螢光。

【0080】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係冷卻原子物體或包括原子物體之一原子物體晶體。一原子物體晶體係一對或一組原子物體，其中原子物體晶體之原子物體之一者係用作量子電腦之一量子位元之量子位元原子物體且原子物體晶體之一或多個其他原子物體用於執行量子位元原子物體之交感冷卻。例如，一操縱信號(例如一冷卻信號或一交感冷卻信號)可施加至原子物體或原子物體晶體以引起(量子位元)原子物體冷卻(例如，減少(量子位元)原子物體之振動及/或其他動能)。

【0081】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係擱置原子物體。在各種實施例中，可在一讀取功能執行期間擱置呈量子位元空間之第二狀態之原子物體。例如，一擱置操作可包括在執行一讀取操作時引起呈量子位元空間之第二狀態之一原子物體之量子態演進成量子位元空間外之一至少亞穩態。2021年2月25日申請之美國申請案第63/200,263號描述一實例性擱置程序，但可在各種實施例中使用各種其他擱置程序。在各種實施例中，一原子物體之擱置藉由將一或多個操縱信號施加至原子物體以在原子物體呈量子位元空間之第二狀態時引起原子物體之量子態演進成量子位元空間外之一至少亞穩態來執行。

【0082】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係原子物體之(光學)再泵浦。在各種實施例中，原子物體之再泵浦包括將一或多個操縱信

號施加至原子物體以引起原子物體之量子態演進成一激發態。

【0083】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係對原子物體執行一單量子位元閘。例如，一或多個操縱信號可施加至原子物體以對原子物體執行一單量子位元量子閘。

【0084】 可對一原子物體執行之另一實例性功能係對原子物體執行一雙量子位元閘。例如，一或多個操縱信號可施加至包含原子物體之一對或一組原子物體以對原子物體及至少一個其他原子物體執行一雙量子位元(例如三個、四個或更多個)量子閘。

【0085】 在各種實施例中，原子物體侷限設備300包括一或多個信號操縱元件。在各種實施例中，操縱信號橫向於由原子物體侷限設備300之一表面界定之一平面提供，使得操縱信號入射於對應信號操縱元件上。各信號操縱元件經組態以回應於一傳入操縱信號入射於其上而誘發一作用信號，其經發射使得作用信號導引至對應於信號操縱元件之原子物體侷限設備300之一各自原子物體位置。作用信號係適合於引起對應功能回應於作用信號(及其他作用信號、磁場及/或其類似者之可能施加)入射於對應原子物體位置處之一原子物體(或一組原子物體)上而執行之一信號(例如，具有一適當波長、偏振、振幅及/或其類似者)。

實例性信號管理系統

【0086】 在各種實施例中，一信號管理系統經組態以控制將信號提供至由原子物體侷限設備300界定之各自原子物體位置及/或自該等各自原子物體位置收集信號。在各種實施例中，信號管理系統界定用於將信號提供至各自原子物體位置及/或收集由位於各自原子物體位置處之原子物體發射之信號之光學路徑。光學路徑包括各自信號操縱元件。在各種實施例

中，信號操縱元件經組態以使光學路徑能夠橫向於原子物體侷限設備之表面350。

【0087】 揭示各種實施例，其中原子物體侷限設備300之表面350包括一或多個信號操縱元件。例如，在各種實施例中，原子物體侷限設備300之表面350包括用於由原子物體侷限設備300界定之各原子物體位置305之信號操縱元件之一配置。揭示各種實施例，其中其上形成原子物體侷限設備300之第一基板810對一或多個波長透明及/或包括一傳入信號62及/或一傳出收集信號74可透過其傳播之波導及/或通孔，如圖8中所繪示。揭示各種實施例，其中一第二基板910依相對於原子物體侷限設備300之關係安裝及/或固定且信號操縱元件(及/或信號操縱元件之配置)形成及/或安置於第二基板之一表面上，如圖9中所繪示。

【0088】 在各種實施例中，原子物體侷限設備300包括一或多個信號操縱元件。在各種實施例中，信號操縱元件之一或多者係超材料陣列且各超材料陣列包括各界定及/或包括一各自超材料表面之複數個超材料結構。超材料結構陣列(例如藉由組合複數個超材料結構之各自超材料表面來形成之複合表面)形成及/或提供一光子超表面。術語「超材料陣列」及「光子超表面」在本文中可互換使用。一光子超表面係經設計以透過同調干涉操縱光之一工程設計表面，同調干涉透過局部控制反射或透射光之振幅、相位及/或偏振來實施。此控制由一光學散射元件(例如超材料結構)陣列實施，各光學散射元件在至少一個維度上具有光波長級或更小之尺寸及光波長級或更小之間距。例如，如本文中所使用，一光子超表面係指由一超材料陣列之複數個超材料結構形成之複合超表面。一超材料陣列之超材料結構係近似波長或次波長(例如奈米級)、高對比度結構(與原子物體侷

限設備300之表面之其他部分相比)，其幾何形狀、大小、配置及定向控制電磁波之相位、振幅及偏振。電磁波之此控制不是用於製造超材料結構之塊狀材料之一結果，而是超材料結構之大小及形狀之一結果。

【0089】 在各種實施例中，超材料結構係惠更斯(Huygen)超材料結構。例如，在各種實施例中，在超材料結構之各者內部，誘發一電偶極及一磁偶極以在一適當電磁束、信號、波及/或其類似者入射於各超材料結構上時引起超材料結構產生如同一惠更斯小波之一電磁波。磁偶極及電偶極之相位判定由超材料結構發射之電磁波、輻射、光束及/或信號之相位、方向及/或偏振。在各種實施例中，使用一或多個電漿光子超表面。例如，一負電漿光子超表面(例如一平坦金屬表面中之孔)可蝕刻至原子物體侷限設備300之表面350之一金屬表面及/或其部分中。在各種實施例中，使用一或多個光子超表面，其等係經組態以使用一或多個電或磁諧振修改幾何相位(例如潘查拉特南-貝里(PB)相位)之介電光子超表面。在各種實施例中，使用經組態以無諧振(例如截斷波導)修改傳播相位之介電光子超表面。在各種實施例中，光子超表面係使用任何順序之兩個或更多個電或磁諧振來局部工程設計各自光子超表面之所要相位及振幅回應之介電及/或電漿超表面。在各種實施例中，使用界定各種類型之超材料表面之各種其他類型之超材料結構。

【0090】 歸因於電及磁偶極之相位(例如)建立於組件超材料結構之表面處，光子超表面可經設計及/或組態以在一特定及/或指定方向上產生一電磁波、輻射、光束及/或信號。在各種實施例中，超材料結構包括正及/或負結構，其等經塑形及/或設定大小使得由複數個超材料結構形成之超材料陣列經組態以回應於一傳入信號入射於超材料陣列之至少一部分上

而將一作用信號提供至原子物體侷限設備之一各自原子物體位置及/或回應於一發射信號入射於超材料結構之至少一部分上而將一收集信號提供至量子電腦之收集光學器件。

【0091】 如本文中別處所描述，光子超表面可用於控制一誘發信號(例如作用信號及/或收集信號)之偏振、聚焦及/或準直誘發信號、色濾波誘發信號、控制誘發信號之相位及/或其類似者。

【0092】 在一實例性實施例中，信號操縱元件之至少一者係一DOE或一DOE總成。一般而言，一DOE係具有特性之一光學元件，特性具有大於各自特定光波長之尺寸級。例如，在一實例性實施例中，一信號操縱元件可為經組態以控制一誘發信號(例如作用信號及/或收集信號)之偏振、聚焦及/或準直誘發信號、色濾波誘發信號、控制誘發信號之相位及/或其類似者之一DOE。在一實例性實施例中，一信號操縱元件包括一超材料陣列(例如複數個超材料結構)及一DOE組件兩者。

【0093】 在一實例性實施例中，(若干)信號操縱元件形成、沈積及/或安置於原子物體侷限設備之表面上。圖4A繪示其中作用陣列400用於將操縱信號施加至一原子物體位置305之一原子物體侷限設備之一部分橫截面圖。例如，控制器30控制一或多個操縱源60產生操縱信號。操縱信號作為橫向於由原子物體侷限設備300之一表面350界定之一表面傳播之傳入信號62提供至原子物體侷限設備300，使得傳入信號62入射於作用陣列400上。傳入信號62入射於作用陣列400上引起各自誘發作用信號64發射向對應原子物體位置305。例如，誘發作用信號64入射於位於原子物體位置305處之一原子物體5上。如本文中所使用，一作用陣列400係經組態以回應於由一操縱源產生之一傳入信號入射於作用陣列上而將一誘發作用信

號提供至各自原子物體位置之一信號操縱元件。在所繪示實施例中，作用陣列400形成於對應於電極310及/或分隔區330之原子物體侷限設備300之表面350之部分上。

【0094】 圖4B繪示其中一收集陣列440用於收集由一各自原子物體位置305處之一原子物體5產生之一發射信號之一原子物體侷限設備之一部分橫截面圖。例如，在一量子位元讀取功能期間，例如可引起位於原子物體位置305處之一原子物體5發射一發射信號72。發射信號72之至少一部分入射於收集陣列440上。發射信號72之至少一部分入射於收集陣列440上引起一誘發收集信號74自收集陣列440發射向一收集位置445。在各種實施例中，收集光學器件位於及/或安置於收集位置445處。例如，在所繪示實施例中，收集光學器件包括一或多個光學元件，諸如經組態以將收集信號74之至少一部分耦合至一收集光纖425中之收集透鏡420。

【0095】 如本文中所使用，一收集陣列440係經組態以回應於由位於對應原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號入射於收集陣列上而將一誘發收集信號提供至對應收集位置445之一信號操縱元件。在各種實施例中，收集陣列440經組態以提供準直向、聚焦於及/或其類似者對應於各自原子物體位置305之收集光學器件之一誘發收集信號(回應於一發射信號入射於其上)。

【0096】 在各種實施例中，收集陣列440形成於對應於原子物體路徑320之原子物體侷限設備300之表面350之部分上。例如，在所繪示實施例中，收集陣列440大體上安置於對應原子物體位置305與原子物體侷限設備300之表面350之間。在各種實施例中，一收集陣列440經組態以自圍繞各自原子物體位置305之一大立體角收集發射信號。例如，收集陣列

440可經定位及設定大小以收集及/或在其上入射發射至近似及/或接近 2π 球面度中之發射信號。例如，自一原子物體位置305之角度看，收集陣列440可包括圍繞原子物體位置305之超過 π 、 1.25π 、 1.5π 、 1.75π 及/或約 2π 球面度之立體角。

【0097】 圖4C繪示一實例性信號操縱元件之一部分，諸如一作用陣列400及/或一收集陣列440。實例性信號操縱元件包括複數個超材料結構410。複數個超材料結構410之幾何形狀、大小、配置及/或定向控制由對應信號操縱元件發射之誘發作用信號及收集信號之相位、振幅及偏振。在各種實施例中，複數個超材料結構410之各超材料結構係自原子物體侷限裝置300之一表面450延伸出 0.5 nm 至 $1\text{ }\mu\text{m}$ 之一範圍內之一距離之一支柱。例如，超材料結構係奈米級結構。在各種實施例中，超材料結構係次波長結構。在各種實施例中，一次波長結構係自表面350延伸出及/或具有小於意欲入射於結構上之傳入信號及/或發射信號之波長及/或小於意欲由結構發射之作用信號及/或收集信號之波長之一直徑/邊長之一結構。在各種實施例中，超材料結構可由導電材料、半導體材料及/或介電材料形成或製成。在各種實施例中，超材料結構係負結構(例如孔、凹陷及/或其類似者)。

【0098】 在各種實施例中，一傳入信號或一發射信號之能量分別有效傳送至對應誘發作用信號或收集信號。例如，一誘發作用信號或收集信號攜帶分別作為對應傳入信號或發射信號入射於各自作用陣列或收集陣列上之能量及/或能量通量之約90%至約99%。在各種實施例中，在原子物體位置處提供 50 mW 至 90 mW 之一作用信號用於執行量子電腦之一些功能(例如，在一實例性實施例中，一雙量子位元閘)。信號操縱元件將能量

及/或能量通量自一傳入信號轉換成一作用信號之效率實現以高通量位準(例如約100 mW)執行量子電腦之功能且無需高功率操縱源60來導致能量通量損耗，歸因於在一操作信號之一光學路徑中使用一信號操縱元件。另外，信號操縱元件將能量及/或能量通量自一發射信號轉換成一收集信號之效率實現發射信號(例如，在讀取功能中用於判定量子位元/原子物體之一量子態)之有效偵測。

【0099】 在各種實施例中，超材料結構之半徑及/或高度(正或負)及一信號操縱元件(例如一超材料陣列)內之超材料結構之間距影響及/或界定信號操縱元件將一傳入信號之能量及/或能量通量轉換成一作用信號及/或將一發射信號轉換成一收集信號之效率。

【0100】 在各種實施例中，一超材料陣列之超材料結構之形狀(例如，在實質上平行於原子物體侷限設備300之表面350之一平面中之一橫截面中)影響及/或界定由超材料陣列發射之一誘發作用信號或收集信號之偏振。

【0101】 在各種實施例中，一超材料陣列內之超材料結構之間距及/或高度影響及/或界定由超材料陣列發射之誘發作用信號或收集信號傳播之方向。例如，一作用陣列400內之超材料結構之間距及/或高度可經組態以引起一誘發作用信號導引向及/或聚焦於對應原子物體位置305。例如，一收集陣列440內之超材料結構之間距及/或高度可經組態以引起一誘發收集信號導引向及/或聚焦於對應偵測位置445。

【0102】 在各種實施例中，一信號操縱元件經配置及/或組態以產生一可聚焦光束。例如，一作用陣列400可經組態以發射聚焦於對應原子物體位置305上之一誘發作用信號。例如，一收集陣列440可經組態以發射

聚焦於對應偵測位置445上之一誘發收集信號。

【0103】 在各種實施例中，一信號操縱元件(例如一作用陣列及/或一收集陣列)經由一或多個沈積及/或蝕刻步驟形成於原子物體侷限設備300之一表面350上。例如，信號操縱元件可使用一個或至少一個光微影步驟形成於原子物體侷限設備300之表面350上。在一實例性實施例中，一信號操縱元件使用深/極紫外(D/EUV)微影、電子束微影(EBL)、奈米壓印微影及/或其類似者形成於原子物體侷限設備300之表面350上。

【0104】 在一實例性實施例中，形成及/或安置於原子物體侷限設備300之表面350上之一信號操縱元件具有在5 μm 至200 μm 之一範圍內(例如約100 μm)之一直徑。在一實例性實施例中，信號操縱元件之直徑係信號操縱元件經組態以與其一起使用之特定波長之至少三倍。在一實例性實施例中，一傳入信號係聚焦至約32 μm 之一直徑之一光束。例如，當傳入信號與信號操縱元件相互作用時，傳入信號可具有約32 μm 之一直徑。例如，信號操縱元件可具有大於(例如，大1倍至7倍)一傳入信號光束之直徑之一直徑。在一實例性實施例中，傳入信號光束具有大於傳入信號入射於其上之信號操縱元件之至少一個尺寸之一直徑。在各種實施例中，信號操縱元件之金屬材料結構之幾何形狀對誘發作用信號及/或收集信號之指向之影響大於對入射於信號操縱元件上之傳入信號及/或發射信號之入射角之影響以引起分別產生作用信號及/或收集信號。

【0105】 在各種實施例中，原子物體侷限設備300之作用陣列400及/或收集陣列440形成及/或安置於原子物體侷限設備300之表面350上。在各種實施例中，原子物體侷限設備300之表面350之至少一部分包括氧化物及/或電絕緣層360，如圖4B中所展示。在各種實施例中，氧化物及/或

電絕緣層360經組態以使形成及/或安置於表面350上之信號操縱元件(例如超材料陣列)之(例如)超材料結構與原子物體侷限設備300之電極310電絕緣。例如，氧化物及/或電絕緣層360可安置及/或定位於信號操縱元件與原子物體侷限設備300之其他組件(例如電極310)之間。在一實例性實施例中，氧化物膜(例如氧化銻錫)用於塗佈一介電信號操縱元件。例如，信號操縱元件形成及/或安置於其上之表面350之部分可包括氧化物及/或電絕緣層360。在各種實施例中，氧化物及/或電絕緣層360係氧化銻錫或另一氧化物或電絕緣材料之一薄層(例如，在實質上垂直於由表面350界定之一平面之一方向上約10 nm至約30 nm厚或約20 nm厚)。在一實例性實施例中，一接地導體365可經組態以實現一信號操縱元件(例如一超材料陣列之超材料結構)至原子物體侷限設備300之一接地之間的電連通以防止電荷累積於超材料結構上。例如，在一實例性實施例中，原子物體侷限設備300及形成及/或安置於原子物體侷限設備300之表面350上之超材料陣列之超材料結構具有一共同接地。在一實例性實施例中，氧化物及/或電絕緣層360充當接地導體365。在一實例性實施例中，信號操縱元件與原子物體侷限設備(例如第一基板)之一導電層接觸。

【0106】 如上文所描述，在各種實施例中，複數個信號操縱元件相關聯於及/或對應於一各自原子物體位置。例如，各信號操縱元件可經組態用於執行量子電腦之一或多個功能。由於一超材料結構經組態以與一特定波長或一特定波長範圍內之信號及/或電磁波一起使用，所以在各種實施例中，使用不同波長信號之量子電腦之功能需要使用不同信號操縱元件。

【0107】 圖5繪示用於原子物體侷限設備300之一對應原子物體位置

305之信號操縱元件之一實例性配置500。信號操縱元件之配置中之各信號操縱元件對應於一共同原子物體位置305。圖5中所繪示之實施例包含形成及/或安置於相鄰於對應原子物體位置305之分隔區330上之複數個作用陣列400 (例如510A、510B、520A、520B、530)。圖5中所繪示之實施例進一步包含形成及/或安置於在對應原子物體位置305下方延伸之一原子物體路徑320上之一收集陣列540。例如，收集陣列540可實質上位於對應原子物體位置305與原子物體侷限設備300之表面350之間。

【0108】 複數個作用陣列440包含雙量子位元閘陣列510A、510B。在各種實施例中，雙量子位元閘陣列510A、510B經組態以用於執行量子電腦之一雙量子位元閘功能。雙量子位元閘陣列510A、510B經組態以接收經組態以對位於對應原子物體位置305處之兩個或更多個原子物體執行一雙量子位元閘之傳入信號且發射朝向及/或聚焦於對應原子物體位置305之對應誘發作用信號。在各種實施例中，一第一雙量子位元閘陣列510A經組態以使一第一波長之一傳入信號入射於其上且發射對應於第一波長(例如，在一實例性實施例中，實質上等於第一波長)之一誘發作用信號，且一第二雙量子位元閘陣列510B經組態以使一第二波長之一傳入信號入射於其上且發射對應於第二波長(例如，在一實例性實施例中，實質上等於第二波長)之一誘發作用信號。在一實例性實施例中，第一及第二波長彼此不相等。在一實例性實施例中，第一及第二波長實質上彼此相等。例如，在一實例性實施例中，第一及第二波長對應於彼此間隔小於15 GHz (例如約12.64 GHz)之頻率。

【0109】 在一實例性實施例中，雙量子位元閘陣列510A、510B經進一步組態以用於執行量子電腦之一擱置功能。例如，在一實例性實施例

中，雙量子位元閘陣列510A、510B經組態以接收經組態以對位於對應原子物體位置305處之一原子物體執行一擱置功能之傳入信號且發射朝向及/或聚焦於對應原子物體位置305之對應誘發作用信號。

【0110】 複數個作用陣列440進一步包含冷卻陣列520A、520B。在各種實施例中，冷卻陣列520A、520B經組態以接收經組態以執行位於對應原子物體位置處之原子物體或原子物體晶體(例如原子物體群組)之冷卻(例如交感冷卻)之傳入信號。冷卻陣列520A、520B經進一步組態以發射對應於入射於冷卻陣列520A、520B上之傳入信號之誘發冷卻信號，使得誘發冷卻信號發射朝向及/或聚焦於原子物體位置305。在各種實施例中，一第一冷卻陣列520A經組態以使一第三波長之一傳入信號入射於其上且發射對應於第三波長(例如，在一實例性實施例中，實質上等於第三波長)之一誘發作用信號，且一第二冷卻陣列520B經組態以使一第四波長之一傳入信號入射於其上且發射對應於第四波長(例如，在一實例性實施例中，實質上等於第四波長)之一誘發作用信號。在一實例性實施例中，第三及第四波長彼此不相等。例如，在一實例性實施例中，第三波長係493 nm且第四波長係650 nm。

【0111】 複數個作用陣列440進一步包含一偵測及/或單量子位元閘陣列530。在各種實施例中，偵測及/或信號量子位元閘陣列530經組態以接收經組態以對位於對應原子物體位置305處之一原子物體執行一單量子位元閘之傳入信號且發射朝向及/或聚焦於原子物體位置305之對應於入射傳入信號之誘發作用信號。在各種實施例中，偵測及/或信號量子位元閘陣列530經組態以接收經組態以對位於對應原子物體位置305處之一原子物體執行一偵測或讀取功能(本文中指稱一讀取功能)之傳入信號且發射朝

向及/或聚焦於原子物體位置305之對應於入射傳入信號之誘發作用信號。

【0112】 在所繪示實施例中，原子物體侷限設備300進一步包括對應於原子物體位置305之一收集陣列520。在各種實施例中，收集陣列520經組態以接收由位於原子物體位置處之一原子物體發射之發射信號(例如，回應於經組態以執行一讀取功能之一作用信號入射於原子物體上)。收集陣列540經進一步組態以回應於發射信號入射於收集陣列上而發射一誘發收集信號。收集陣列540經組態以發射朝向及/或聚焦於對應於原子物體位置305之一收集位置之收集信號。

【0113】 圖6係原子物體侷限設備300之表面350上之信號操縱元件之另一實例性配置600。配置600包括複數個作用陣列620(例如620A至620H)及一收集陣列640。在一實例性實施例中，作用陣列620之各者經組態用於執行量子電腦之一或多個功能。例如，各作用陣列620可經組態以與對應於(若干)各自功能之一各自特定波長及/或各自特定波長範圍一起使用。例如，各作用陣列620可經組態以提供依一特定方式聚焦之一作用陣列，如相對於圖10A、圖10B及圖10C更詳細描述。例如，一作用陣列620可經組態以將一誘發作用信號聚焦於(整個)各自原子物體位置上及/或各自原子物體位置之一或多個部分上。一各自作用陣列620之特定聚焦特性至少部分基於作用陣列620經設計用於執行之(若干)對應功能來組態。

【0114】 在各種實施例中，原子物體侷限設備300位於一真空/低溫室、一或多個輻射屏蔽及/或其類似者內。例如，如圖7A及圖7B中所展示，原子物體侷限設備300安置於某一外殼705(例如恆冷室及/或真空室40、輻射屏蔽及/或其類似者)內。外殼705包括複數個視窗、埠及/或其類似者。例如，操縱信號視窗715(例如715A、715B)經組態以使橫向(例

如，依20度至70度之一範圍內之角度)於原子物體侷限設備300之表面之平面傳播之操縱信號62能夠進入外殼705。在一實例性實施例中，操縱信號經提供使得其與原子物體侷限設備300之表面之平面形成一45度角。在其他實施例中，可使用操縱信號之各種其他仰角(例如，在(例如) 20度至70度之一範圍內)。

【0115】 在各種實施例中，操縱信號視窗715及作用陣列620經組態使得一作用信號在入射於及/或通過各自原子物體位置之後透過一對置操縱信號視窗715離開外殼705。例如，在一實例性實施例中，一第一操縱信號透過操縱信號視窗715A進入外殼，入射於作用陣列620B上，所得作用信號通過各自原子物體位置且透過對置操縱信號視窗715B離開外殼705。類似地，一第二操縱信號透過操縱信號視窗715B進入外殼，入射於作用陣列620F上，所得作用信號通過各自原子物體位置且透過對置操縱信號視窗715A離開外殼705。因此，可減少外殼705中視窗或埠之數目，同時使作用信號能夠離開外殼705。例如，無需為了使作用信號能夠離開外殼之單一目的而將視窗添加至外殼。此一組態亦防止過度加熱及/或減少由在入射於及/或通過各自原子物體位置305之後留在外殼705內之作用信號引起之原子物體讀取及/或作用串擾中之雜訊。

【0116】 在各種實施例中，外殼705進一步包括一或多個收集視窗720。如圖7B中所展示，由位於原子物體位置305處之一原子物體5A發射之一發射信號入射於對應收集陣列640上。誘發收集信號導引向外殼705之一收集視窗720。在各種實施例中，收集視窗720與對應於原子物體位置305之收集光學器件對準。例如，收集信號通過收集視窗720且入射於對應於原子物體位置305之收集光學器件上，使得收集信號由對應光偵測

器偵測。操縱信號視窗715、作用陣列620、收集視窗720及收集陣列640之組態減少透過獨立於由一原子物體5產生之一發射信號之程序產生之離開收集視窗720之光量。

【0117】 圖8繪示另一實例性實施例原子物體侷限設備300，其中信號操縱元件815（例如作用陣列815A、815B及/或收集陣列815C）形成及/或安置於原子物體侷限設備300之表面350上。信號操縱元件815係透明信號操縱元件。例如，信號操縱元件815係超表面透鏡，其係由超材料陣列（例如特定配置之複數個超材料結構）形成之透鏡或類透鏡光子超表面。在所繪示實施例中，原子物體侷限設備300形成於一第一基板810上。第一基板810對各種波長之光透明，其中各種波長包含可用於執行量子電腦之一或多個功能之波長及/或發射信號之波長。例如，在一實例性實施例中，第一基板810對特徵化由量子電腦使用之各自操縱信號之各種波長之光透明。在一實例性實施例中，第一基板810包括允許光自第一基板810之一第二表面355至第一基板810之一第一表面350通過第一基板之波導、通孔及/或其類似者，其中原子物體侷限設備300（例如電極310）形成於原子物體侷限設備之第一表面350上。在一實例性實施例中，信號操縱元件815形成於第一基板810之第二表面355上及/或第一基板810內（例如，在第二表面355與第一表面350之間）。

【0118】 例如，一操縱信號62經由第一基板810之第二表面355提供至原子物體侷限設備300。操縱信號62自第二表面355至第一表面350傳播通過第一基板810（例如，透過第一基板810之塊狀材料、一波導、一通孔及/或其類似者）。操縱信號62入射於作用陣列815A上。作用陣列815A充當一透鏡以導致作用信號64入射於位於原子物體位置305處之原子物體5

上。在各種實施例中，作用陣列815A引起作用信號64具有一特定偏振、相位、光束輪廓(例如原子物體位置305處之光束點大小、跨原子物體位置處之光束之強度分佈及/或其類似者)。在一實例性實施例中，對應於原子物體位置305之第二表面355之一區域用一或多個操縱信號照射且作用陣列執行色濾波，使得適當作用陣列依適合於執行功能之一方式提供至原子物體位置305。

【0119】 例如，由位於原子物體位置305處之原子物體5發射之一發射信號72入射於收集陣列815C上。收集陣列815C充當一透鏡且使一聚焦及/或準直收集信號74自第一表面350透過第一基板810提供至其第二表面355 (例如，透過第一基板810之塊狀材料、一波導、一通孔及/或其類似者)。收集光學器件可接近第一基板810之第二表面355安置，使得收集信號74入射於對應於原子物體位置305之收集光學器件上以實現發射信號之偵測。

【0120】 圖9繪示另一組態，其中使一或多個信號操縱元件915 (例如915A、915B、915C)形成及/或安置於其上及/或其中之一第二基板910依相對於原子物體侷限設備300之一固定關係安裝，使得操縱信號可經由第二基板910之各自信號操縱元件915提供至原子物體位置305。例如，在一實例性實施例中，一或多個作用陣列915A、915B形成及/或安置於第二基板910之一第一表面950上。例如，在一實例性實施例中，一或多個收集陣列915C形成及/或安置於第二基板910之第一表面950上。在一實例性實施例中，一或多個作用陣列915A、915B及/或收集陣列915C凹進及/或形成於第二基板910內。信號操縱元件915係透明信號操縱元件。在一實例性實施例中，信號操縱元件915形成於第二基板910之第二表面955上及/

或第二基板910內(例如，在第二表面955與第一表面950之間)。

【0121】 在各種實施例中，第二基板910對各種波長之光透明，其中各種波長包含可用於執行量子電腦之一或多個功能之波長及/或發射信號之波長。例如，在一實例性實施例中，第二基板910對特徵化由量子電腦使用之各自操縱信號之各種波長之光透明。在一實例性實施例中，第二基板910包括允許光自第二基板910之一第二表面955至第二基板810之一第一表面950通過第二基板之波導、通孔及/或其類似者，其中第二基板910之第一表面950面向原子物體侷限設備300。

【0122】 例如，操縱信號經由第二基板910之第二表面955提供至原子物體侷限設備300。操縱信號自第二表面955至第一表面950傳播通過第二基板910 (例如，透過第二基板910之塊狀材料、一波導、一通孔及/或其類似者)。操縱信號入射於各自作用陣列915A、915B上。例如，信號操縱元件915係超表面透鏡，其係由超材料陣列(例如特定配置之複數個超材料結構)形成之透鏡或類透鏡光子超表面。例如，作用陣列915A、915B充當透鏡以導致作用信號入射於位於原子物體位置305處之原子物體5上。在各種實施例中，作用陣列915A、915B引起各自作用信號具有各自特定偏振、相位、光束輪廓(例如原子物體位置305處之光束點大小、跨原子物體位置處之光束之強度分佈及/或其類似者)及/或其類似者。一旦作用信號入射於及/或通過原子物體位置305，則作用信號自原子物體侷限設備300之表面350反射。在一實例性實施例中，對應於原子物體位置305之第二表面955之一區域用一或多個操縱信號照射且作用陣列執行色濾波，使得適當作用陣列依適合於執行功能之一方式提供至原子物體位置305。

【0123】 儘管為清楚起見圖9中未繪示，但位於原子物體位置305處

之原子物體5可發射一發射信號。發射信號入射於收集陣列915C上。收集陣列915C充當一透鏡且使一聚焦及/或準直收集信號自第一表面950透過第二基板910提供至其第二表面955 (例如, 透過第二基板910之塊狀材料、一波導、一通孔及/或其類似者)。收集光學器件可接近第二基板910之第二表面955安置, 使得收集信號入射於對應於原子物體位置305之收集光學器件上以實現發射信號之偵測。

【0124】 在一實例性實施例中, 作用陣列安置及/或形成於第二基板910上, 如圖9中所展示, 且收集陣列安置及/或形成於第一基板810上(例如, 在原子物體侷限設備300之表面350上), 如圖8中所展示。在一實例性實施例中, 作用陣列安置及/或形成於第一基板810上(例如, 在原子物體侷限設備300之表面350上), 如圖8中所展示, 且收集陣列形成於第二基板910上, 如圖9中所展示。在另一實例性實施例中, 一些作用陣列安置及/或形成於第一基板810上且一些作用陣列安置及/或形成於第二基板910上。例如, 第一基板810可對由一第一波長範圍之波長特徵化之光透明且第二基板910可對由一第二波長範圍之波長特徵化之光透明。對應於第一波長範圍內之波長之作用陣列(及/或其他信號操縱元件)可形成及/或安置於第一基板810上且對應於第二波長範圍內之波長之作用陣列(及/或其他信號操縱元件)可形成及/或安置於第二基板910上。

【0125】 在各種實施例中, 信號操縱元件(例如作用陣列)經組態以引起一作用信號聚焦於(整個)各自原子物體位置上及/或各自原子物體位置之一或多個部分上。例如, 圖10A、圖10B及圖10C繪示位於原子物體位置305處之一群組之四個原子物體5A、5B、5C及5D。例如, 在一實例性實施例中, 原子物體群組可為四離子晶體。圖10A、圖10B及圖10C各繪

示藉由一各自信號操縱元件之一作用信號之一實例性聚焦。在各種實施例中，各種信號操縱元件可經組態以提供依繪示方式之一或多者或依其他方式聚焦之各自作用陣列。

【0126】 圖10A繪示入射於一第一信號操縱元件1040A (例如一作用陣列)上之一實例性傳入信號1062 (例如一操縱信號)。誘發第一作用信號1064A具有一第一光束輪廓1068A。第一光束輪廓1068A由形成第一信號操縱元件1040A之超材料結構之幾何形狀控制。第一光束輪廓1068A經組態使得整個原子物體位置305由第一作用信號1064A照射。例如，第一光束輪廓1068A經組態使得第一作用信號1064A入射於位於原子物體位置305處之所有原子物體5A、5B、5C、5D上。

【0127】 圖10B繪示入射於一第二信號操縱元件1040B (例如一作用陣列)上之一實例性傳入信號1062 (例如一操縱信號)。誘發第二作用信號1064B具有一第二光束輪廓1068B。第二光束輪廓1068B由形成第二信號操縱元件1040B之超材料結構之幾何形狀控制。第二光束輪廓1068B經組態使得位於原子物體位置305處之僅一個原子物體5B由第二作用信號1064B照射。例如，第二光束輪廓1068B經組態使得第二作用信號1064B僅入射於原子物體位置305之一(已知)部分上。此使第二作用信號1064B能夠僅入射於一個原子物體5B上。

【0128】 圖10C繪示入射於一第三信號操縱元件1040C (例如一作用陣列)上之一實例性傳入信號1062 (例如一操縱信號)。第三信號操縱元件1040C經組態以提供兩個獨立聚焦作用信號(例如第三作用信號1064C及第四作用信號1064D)。誘發第三作用信號1064C具有一第三光束輪廓1068C。誘發第四作用信號1064D具有一第四光束輪廓1068D。第三光束

輪廓1068C及第四光束輪廓1068D由形成第三信號操縱元件1040C之超材料結構之幾何形狀控制。第三光束輪廓1068C經組態使得位於原子物體位置305處之僅一個原子物體5B由第三作用信號1064C照射。例如，第三光束輪廓1068C經組態使得第三作用信號1064C僅入射於原子物體位置305之一(已知)部分上。第四光束輪廓1068D經組態使得位於原子物體位置305處之僅一個原子物體5C由第四作用信號1064D照射。例如，第四光束輪廓1068D經組態使得第四作用信號1064D僅入射於原子物體位置305之一(已知)部分上。此使第三作用信號1064C能夠僅入射於一個原子物體5B上且第四作用信號1064D僅入射於一個原子物體5C上。在一實例性實施例中，第三及第四作用信號1064C、1064D可具有不同特性(例如不同強度、偏振、相位及/或其類似者)或類似特性(例如類似強度、偏振、相位及/或其類似者)。

【0129】 因此，如由圖10A、圖10B及圖10C所繪示，信號操縱元件可經組態以提供具有所要特性且入射於整個對應原子物體位置及/或原子物體位置之一或多個部分上之誘發作用信號。

【0130】 在各種實施例中，信號管理系統界定及/或提供使操縱信號62能夠提供至作用陣列之光學路徑，作用陣列形成於第一基板上(例如，在原子物體侷限設備300之表面350上)及/或安裝於相對於原子物體侷限設備300之一固定位置中之一第二基板上。

【0131】 在各種實施例中，量子電腦110之信號管理系統包括經組態以界定自操縱源60至對應信號操縱元件(例如，形成及/或安置於原子物體侷限設備之第一基板或一第二基板上)之光學路徑66之光學元件。在各種實施例中，量子電腦110包括經組態以將一收集信號提供至用於量測、

偵測、捕捉及/或其類似者收集信號之一對應光偵測器(例如光二極體、光倍增管、電荷耦合裝置(CCD)感測器、互補金屬氧化物半導體(CMOS)感測器及/或其他光偵測器)之收集光學器件。

【0132】 圖11提供根據各種實施例之一實例性光學總成1100之一概念圖，光學總成1100經組態以將操縱信號提供至一原子物體侷限設備300之一表面350上及/或一第二基板910上之信號操縱元件及或自該等信號操縱元件接收收集信號。光學總成1100包括複數個傳入光纖1115，其係經組態以提供由操縱源60產生之操縱信號使得操作信號可提供至與原子物體侷限設備300相關聯之適當作用陣列之一光纖。

【0133】 例如，一傳入光纖1115將由一操縱源60產生之一操縱信號傳送至一傳入透鏡1110 (或透鏡總成)，傳入透鏡1110經組態以使操縱信號作為一傳入信號62聚焦至一對應作用陣列上。在一實例性實施例中，傳入透鏡1110將操縱信號聚焦至對應於一各自原子物體侷限設備之一大體區域上，使得操作信號入射於與原子物體位置相關聯之超過一個信號操縱元件上。由信號操縱元件執行之色濾波引起誘發適當信號操縱元件以提供適當作用信號。操縱信號入射於其上之其他信號操縱元件不提供對應作用信號，因為其未經組態以回應操縱信號之波長。

【0134】 所繪示光學總成1100進一步包括至少一個收集光纖425，其係經組態以將一收集信號自一收集位置445提供至一對應光偵測器450之一光纖。在各種實施例中，一收集透鏡420 (及/或透鏡總成)安置於一收集位置445處，使得對應於由位於一對應原子物體位置305處之一原子物體發射之一發射信號72之一收集信號74歸因於發射信號72與一各自收集陣列相互作用而入射於及/或聚焦於收集透鏡420上。收集透鏡420將收集

信號導引及/或聚焦至一對應收集光纖425中。收集光纖425將收集信號提供至一對應光偵測器450，如圖4B中所展示，使得光偵測器450可產生指示光學收集信號之一電信號。指示光學收集信號之電信號接著可提供至量子電腦110之控制器30用於處理、分析、儲存於記憶體中及/或其類似者(例如，在一實例性實施例中，經由類比-數位(A/D)轉換器1625)。

【0135】 在各種實施例中，傳入光纖1115及收集光纖425配置成一或多個光纖區塊，使得光纖隔開一光纖間距 β 。在各種實施例中，光纖間距 β 基於傳入光纖1115及/或收集光纖425之纖維包層來判定。在一實例性實施例中，光纖間距 β 係50 μm 至200 μm 之一範圍(例如約125 μm)。

【0136】 在一實例性實施例中，傳入透鏡1110及/或收集透鏡420具有約1.5 mm之一焦距 f 、約56 μm 之由透鏡1115、415形成之光束之一準直光束腰 w 及約18.5 mm之由透鏡1115、415形成之光束之一瑞利範圍 Z_r 。

【0137】 在各種實施例中，傳入透鏡1110及/或收集透鏡420係DOE及/或經組態以充當透鏡之透射超材料陣列。

【0138】 圖12提供一光學總成1200之一部分之一橫截面之一概念繪示，光學總成1200經組態以將傳入信號傳送至與一原子物體侷限設備300相關聯之信號操縱元件及/或自與原子物體侷限設備相關聯之信號操縱元件接收收集信號。原子物體侷限設備300位於具有一光學存取視窗45(例如操縱信號視窗715、收集視窗720)之一恆冷室及/或真空室40內。操縱信號由操縱源60產生且沿光學路徑66提供。在圖12中所繪示之實施例中，光學路徑66包括一或多個光纖尾線1220之一或多個光纖。光纖將操縱信號提供至一分佈及定位光學元件1210，分佈及定位光學元件1210經組態以將一操縱信號分成多個操縱信號、導引一操縱信號使得所得傳入信號入

射於適當信號操縱元件上及/或其類似者。在一實例性實施例中，分佈及定位光學元件1210係一五軸定位器，其經組態以準確定位一光纖陣列中之光纖之末端(例如，藉由一或多個光纖尾線1220提供至五軸定位器)。在一實例性實施例中，分佈及定位光學元件1210包括一或多個調變器、波導、分束器(例如，包括DOE及/或超材料陣列)、透鏡(例如傳入透鏡1110及/或收集透鏡420)、雙層超材料陣列分束器1300、光子積體電路(PIC)1400及/或其類似者。在一實例性實施例中，諸如一或多個聲光調變器(AOM)及/或一或多個電光偏轉器之自由空間光學元件可實現操縱信號之分時多工，其將降低雷射功率要求。在各種實施例中，調變器、PIC 1400及/或其類似者之操作由控制器30控制。

【0139】 一操作信號之至少一部分離開分佈及定位元件1210作為一傳入信號且傳播通過光學存取視窗45 (例如操縱信號視窗715)以入射於適當作用陣列400上。分佈及定位光學元件1210亦可包含經組態以使一收集信號入射於其上且將收集信號聚焦至光纖尾線1220之一者之一光纖中之收集光學器件，諸如一收集透鏡420。光纖接著可將收集信號傳送至一光偵測器。

【0140】 在一實例性實施例中，一操縱源60可提供一個操作信號，其分裂成提供至對應於原子物體侷限設備300之各種原子物體位置305之作用陣列之多個操縱信號。因此，在各種實施例中，由光束管理系統界定之光學路徑包括一或多個分束器。圖13繪示一雙層超材料陣列分束器1300之一實例性實施例。一或多個雙層超材料陣列分束器1300可包含於一分佈及定位光學元件1210中及/或否則用於形成及/或界定經組態以將操縱信號提供至與一原子物體侷限設備300相關聯之各自作用陣列之一或多

個光束路徑。

【0141】 分束器1300包括一分束器基板1330。基板1330包括對一分裂波長之至少光透明之材料1336，其中分束器1300經組態以分裂由分裂波長特徵化之一光學信號。一分裂超材料陣列1310形成及/或安置於分束器基板1330之一第一表面1332上。分裂超材料陣列1310經組態以回應於分裂波長之一光學信號90入射於其上而提供兩個或更多個信號92（例如92A至92C）。例如，分裂超材料陣列1310經組態以形成指向不同方向通過分束器基板1330之兩個或更多個信號92（例如，在所繪示實施例中，三個）。例如，分裂超材料陣列1310經組態以提供導引至及/或聚焦於分束器基板1330之一第二表面1334上之各自位置上之兩個或更多個信號92。分裂超材料陣列1310控制提供至兩個或更多個信號92之各者之光學信號90之傳入光學功率之部分。分裂超材料陣列1310進一步控制第二表面1334上之各自位置之定位。

【0142】 準直超材料陣列1320（例如1320A、1320B、1320C）形成及/或安置於分束器基板1330之第二表面1334上之各自位置處。準直超材料陣列1320經組態以回應於各自信號92入射於其上而提供各自準直信號94（例如94A至94C）。例如，準直信號94之各者可耦合至一各自光纖中，經由自由空間及/或塊狀光學器件及/或其類似者提供至一目標位置。在各種實施例中，準直超材料陣列1320可經組態以聚焦各自準直信號94。在一實例性實施例中，準直陣列1320經組態以聚焦、導引（例如，改變傳出角度）及/或準直各自準直信號94。在一實例性實施例中，分束器1300經組態使得當準直信號94經由準直超材料陣列1320離開分束器1300時，準直信號94朝向與原子物體侷限設備300相關聯之各自作用陣列傳播。

【0143】 在各種實施例中，分裂超材料陣列1310及/或準直超材料陣列1320經組態以執行傳入光學信號之色濾波，使得準直信號94由一所要波長(例如分裂波長)及/或頻率範圍及/或分佈(例如，包含對應於分裂波長之一頻率)特徵化。

【0144】 在各種實施例中，分裂超材料陣列1310及/或準直超材料陣列1320經組態以控制各自準直信號94之偏振及/或相位。

【0145】 在一實例性實施例中，一PIC 1400用於產生複數個操縱信號(例如，自由一操縱源60產生之一操作信號)且將複數個操縱信號提供至與一原子物體侷限設備300之各自原子物體位置305相關聯之各自作用陣列。圖14A繪示可用於將操縱信號提供至各自作用陣列之一實例性PIC 1400之一正面圖。圖14B繪示PIC 1400之一側視圖，其中PIC 1400與塊狀光學元件(例如透鏡1440)協調使用以將操縱信號提供至各自作用陣列。圖14C繪示PIC 1400之一側視圖，其中超材料陣列1450形成及/或安置於PIC 1400之輸出視窗1410中，使得無需外部光學組件來將操縱信號提供至各自作用陣列。

【0146】 在各種實施例中，由一或多個操縱源60產生之一或多個操縱信號經由各自光纖1420提供至PIC 400。PIC 1400根據應用適當分裂及/或修改(修改振幅、調變及/或其類似者)操縱信號。PIC 1400接著透過各自光學視窗1410提供適當調節信號。

【0147】 如圖14B中所展示，在各種實施例中，外部及/或塊狀光學器件(諸如透鏡1440)準直及/或聚焦離開PIC 1400之光學視窗1410之信號且將信號導引向與原子物體侷限設備300之各自原子物體位置305相關聯之各自作用陣列。

【0148】如圖14C中所展示，在各種實施例中，透射超材料陣列1450安置及/或形成於光學視窗1410中。超材料陣列1450經組態以準直及/或聚焦離開PIC 1400之光學視窗1410之信號且將信號導引向與原子物體侷限設備300之各自原子物體位置305相關聯之各自作用陣列。

光束管理系統之實例性對準

【0149】在各種實施例中，一對準程序經執行以使一或多個光束路徑與對應位置(例如作用陣列及/或其他信號操縱元件)對準，使得作用信號適當傳送至各自原子物體位置305。存在六個對準自由度：兩個自由度與平行於經界定為實質上垂直於傳入操縱信號之傳播方向之一平面之兩個獨立方向上之傾斜相關，一個自由度與圍繞實質上平行於傳入操縱信號之傳播方向之一軸之旋轉相關，兩個平移自由度與平行於經界定為實質上垂直於傳入操縱信號之傳播方向之平面之兩個獨立方向上之位移相關，且一個平移自由度與實質上平行於傳入操縱信號之傳播方向之一方向上之位移相關。

【0150】在各種實施例中，提供能夠判定在一或多個自由度上與理想對準之偏離之信號操縱元件之一對準配置。使用一高速回饋迴路，使用信號操縱元件之對準配置捕捉之量測可經處理且一機械微調機構(例如一壓電微調裝置)可經控制以調整光學路徑與原子物體侷限設備300相關聯之各自信號操縱元件之對準以達成適當對準且校正振動雜訊。在一實例性實施例中，控制器30經組態以接收使用信號操縱元件之對準配置捕捉之量測、處理該等量測及控制機械微調機構。

【0151】應理解，信號操縱元件之一對準配置之各種實施例可用於基於QCCD之量子計算應用中及其中需要及/或期望不同組件對準之各種

其他應用中。例如，一對準配置之各種實施例可用於光學器件在一表面上之精確對準、兩個表面彼此相對對準(即使無光學器件之一特定需要，但光學器件可僅用於確保相對對準)、一個表面相對於一固定表面之對準及/或其他精確對準應用中。

【0152】 在各種實施例中，對準配置形成於原子物體侷限設備300之表面350上及/或第二基板910之第一或第二表面950、955上。在一實例性實施例中，多個對準配置形成於原子物體侷限設備300之表面350上及/或第二基板910之第一或第二表面950、955上。例如，一對準配置可對應於一特定光學存取視窗45(例如操縱信號視窗715、收集視窗720)。在一實例性實施例中，一對準配置提供給各光學存取視窗45。在各種實施例中，經組態以捕捉及/或量測自對準配置反射及/或透射穿過對準配置之光之一或多個偵測器可位於外殼705外部及/或恆冷室及/或真空室外部。偵測器接著可將指示各自捕捉之光學信號之各自電信號提供至控制器30(例如，經由A/D轉換器1625)用於處理。

【0153】 在各種實施例中，一對準配置包括經組態以偵測相對於圍繞實質上平行於傳入信號之傳播方向之一軸之旋轉之對準或自適當對準之位移之一或多個信號操縱元件，本文中指稱旋轉對準信號操縱元件。針對一線性偏振之傳入信號，源之旋轉相同於傳入信號之偏振之旋轉。在各種實施例中，一旋轉對準信號操縱元件係具有一尖銳諧振峰(例如反對稱諧振、法諾(Fano)諧振、連續域內束縛態(BIC)諧振、準BIC諧振及/或其類似者)之一均勻光子超表面(例如，未施加梯度)，其對入射偏振高度敏感，使得正向傳播振幅基於傳入信號之偏振調變。在各種實施例中，旋轉對準信號操縱元件經組態使得傳入信號之一所要偏振正諧振且偏振之一標

稱旋轉略微偏諧振。例如，旋轉對準信號操縱元件經組態使得一正旋轉將接近諧振且一負旋轉將更遠離諧振移動(或反之亦然)。由於諧振回應之導數在諧振峰之側上最大化，所以此一旋轉對準信號操縱元件提供傳入信號光學路徑相對於旋轉對準信號操縱元件之旋轉對準之一高度敏感量測。在一實例性實施例中，旋轉對準信號操縱元件使用一電或磁偶極諧振。

【0154】 在一實例性實施例中，一對準配置包括兩個旋轉對準信號操縱元件。例如，一第一旋轉對準信號操縱元件可經調諧使得標稱對準對應於諧振峰之中心且一第二旋轉對準信號操縱元件可經調諧以最大化敏感度且提供關於旋轉方向之資訊。例如，第二旋轉對準信號操縱元件之標稱對準可約為諧振峰之一半。第一旋轉對準信號操縱元件可用於一初始對準且第二旋轉對準信號操縱元件可用於微調對準、對對準執行即時調整及/或其類似者。

【0155】 在各種實施例中，一對準配置包括經組態以偵測相對於沿實質上平行於由原子物體侷限設備300之表面350界定之平面之兩個獨立方向傾斜之對準或自適當對準之位移之一或多個信號操縱元件，本文中指稱傾斜對準信號操縱元件。在各種實施例中，一旋轉對準信號操縱元件係具有一尖銳諧振峰(例如反對稱諧振、法諾諧振、BIC諧振、準BIC諧振及/或其類似者)之一均勻光子超表面(例如，未施加梯度)，其對傳入信號之入射角高度敏感，使得正向傳播振幅基於傳入信號之入射角調變。在各種實施例中，傾斜對準信號操縱元件經組態使得傳入信號之一所要入射角正諧振且遠離所要入射角之一標稱傾斜略微偏諧振。例如，在一實例性實施例中，傾斜對準信號操縱元件經組態使得一正傾斜將接近諧振且一負傾斜將更遠離諧振移動(或反之亦然)。在一實例性實施例中，對準配置包括用

於各傾斜度之至少一個信號操縱元件。在各種實施例中，(若干)傾斜對準信號操縱元件對兩個傾斜度具有一不對稱回應。

【0156】 在一實例性實施例中，一對準配置包括每傾斜方向兩個傾斜對準信號操縱元件。例如，一第一傾斜對準信號操縱元件可經調諧使得標稱對準對應於諧振峰之中心且一第二傾斜對準信號操縱元件可經調諧以最大化敏感度且提供關於傾斜方向之資訊。例如，第二傾斜對準信號操縱元件之標稱對準可約為諧振峰之一半。第一傾斜對準信號操縱元件可用於一初始對準且第二傾斜對準信號操縱元件可用於微調對準、對對準執行即時調整及/或其類似者。

【0157】 在各種實施例中，一對準配置包括經組態以偵測相對於沿實質上垂直於由原子物體侷限設備300之表面350界定之平面之一方向之平移位移之對準或自適當對準之位移之一或多個信號操縱元件，本文中指稱垂直平移對準信號操縱元件。在各種實施例中，一垂直平移對準信號操縱元件係一高數值孔徑超材料透鏡。當一非準直信號入射於垂直平移對準信號操縱元件上時，在經過焦點之一平面處量測傳出光束之直徑。傳出光束之量測直徑指示對應光學路徑之信號釋放光學器件之位移。

【0158】 在一實例性實施例中，對準配置包括一橫向位移元件1500，其包括經組態用於量測光學路徑相對於實質上平行於由原子物體侷限設備之表面350界定之平面之兩個方向上之平移之對準之一組散射元件，如圖15A中所繪示。圖15A繪示散射元件1510 (例如1510A、1510B、1510C)之一圖案1505。提供呈一光學渦旋之形式之一傳入信號1520。在各種實施例中，傳入信號透過操縱光之軌道角動量來形成。一光學渦旋在其中心具有一零振幅奇點(例如，信號之振幅形成一環形結構，如圖15A

中所繪示)。當達成適當平行平移對準時，一第一散射體1510A與光學渦旋之中心處之零振幅奇點對準。當達成適當平行平移對準時，一第二散射體1510B部分照射於傳入信號1520環之向外邊緣上，在一第一方向上自第一散射體1510A位移。當達成適當平行平移對準時，一第三散射體1510C部分照射於傳入信號1520環之向外邊緣上，在一第二方向上自第一散射體1510A位移。第一方向位移散射體1510B之亮度將指示第一方向位移之量值及方向，第二方向位移散射體1510C之亮度將指示第二方向位移之量值及方向，且標稱位移對準將藉由最小化中心散射體1510A之亮度來特徵化。此組態藉由僅需三個散射元件來最小化散射光以及佔據面積。一光學渦旋可由一超材料陣列或DOE產生，可能與外部PIC 1400或雙超材料陣列分束器1300整合。在一實例性實施例中，一高斯(Gaussian)光束用作傳入信號1520。

【0159】 在另一實例性實施例中，對準配置包括一橫向位移元件1550，其包括經組態用於量測光學路徑相對於實質上平行於由原子物體侷限設備之表面350界定之平面之兩個方向上之平移之對準之散射元件1530 (例如1530A、1530B、1530C、1530D)之列1535 (例如1535A、1535B)，如圖15B中所繪示。傳入信號呈包括暗條紋1540 (例如1540A、1540B、1540C)及亮條紋1545 (例如1545A、1545B)之一干涉圖案之形式。當達成適當平行平移對準時，一第一列1535A沿一亮條紋1545A (例如，提供一50%亮度反射)之邊緣對準，一第二列1530B與一暗條紋1540B之中心標稱對準。散射元件1530之成像提供入射於散射元件1530之列1535上之光之總強度之一特徵化。橫向位移將導致各列1535變亮或變暗。標稱對準將導致與一暗條紋1540對準之列之最小散射強度。部分照

射列(例如列1535A)之散射振幅將指示未對準方向。一第二組散射體列及呈包括暗及亮條紋之一干涉圖案之形式之一第二傳入信號將用於判定亦實質上平行於由原子物體侷限設備300之表面350界定之平面之一第二(獨立)方向上之位移。

【0160】 在各種實施例中，一橫向位移元件1500、1550之使用包括偵測信號(例如歸因於入射光束入射於橫向位移元件上之反射/散射信號)之空間濾波。在一實例性實施例中，空間濾波藉由使散射體在一攝影機之焦平面上成像來執行。在各種其他實施例中，可使用用於一偵測光學信號之空間濾波之各種其他技術。

【0161】 在一實例性實施例中，對準配置包括經組態以同時特徵化所有六個自由度之一單一光子超表面透鏡。例如，對準配置可包括一多度對準超材料陣列或由多度對準超材料陣列組成。多度對準超材料陣列經組態使得圖塊之未對準將引起焦點形狀伸長及/或移位由一傳入信號入射於多度對準超材料陣列上產生之一光束之一傳出角。例如，多度對準超材料陣列之邊緣可經組態以將像差提供至由一傳入信號入射於多度對準超材料陣列產生之一光束，其指示傳入信號之橫向位移。例如，環繞多度對準超材料陣列之一繞射光柵將在被照射(例如，藉由未與多度對準超材料陣列適當對準之傳入信號)時提供特性條紋。例如，多度對準超材料陣列可經組態有單獨光學功能用於正交線性偏振以量測旋轉未對準。例如，第一方向線性偏振光將依一 θ 角聚焦及偏轉，而第二方向線性偏振光將以依一負 θ 角聚焦及偏轉。比較兩個焦點之振幅將指示兩個人射偏振之分率強度，使得可判定旋轉對準或未對準。

【0162】 在一實例性實施例中，一多度對準超材料陣列用於光束管

理系統之光學路徑與原子物體侷限設備300相關聯之對應作用陣列之初始對準。一或多個旋轉對準信號操縱元件、傾斜對準信號操縱元件、垂直平移對準信號操縱元件及/或散射元件組/列用於執行光束管理系統之光學路徑與原子物體侷限設備300相關聯之對應作用陣列之精細對準及/或即時對準校正。

技術優點

【0163】 各種實施例提供將操縱信號準確及高效傳送至受一原子物體侷限設備侷限之原子物體及/或收集由受原子物體侷限設備侷限之原子物體發射之發射信號之指示之技術解決方案。此等各種解決方案可擴展以提供大型一維或多維(例如二維)原子物體侷限設備之信號傳送及/或收集。例如，在各種實施例中，特定而言，操縱信號橫向(例如，大致垂直)於由原子物體侷限設備300之表面350界定之一平面發送。例如，操縱信號經發送使得其入射於一信號操縱元件上且誘發陣列之超材料結構發射聚焦於對應原子物體位置上之一作用信號。在另一實例中，由位於一原子物體位置處之一原子物體發射之發射信號入射於形成及/或安置於表面350上之一信號操縱元件上且一誘發收集信號自由表面350界定之平面發射向一各自收集位置。

【0164】 由於一傳入信號或一發射信號入射至一信號操縱元件上之角度分別對發射誘發作用信號或收集信號之指向而言不是很重要，所以系統對相當數量之光束抖動不敏感。例如，如上文所提及，一作用陣列可具有為一傳入信號之光束之直徑之1倍至7倍之一直徑。只要提供足夠能量通量來執行量子電腦之對應功能之傳入信號之至少一部分入射於作用陣列上，則將誘發作用陣列發射朝向及/或聚焦於各自原子物體位置處之一作

用信號用於執行對應功能。

【0165】 再者，由於信號操縱元件形成及/或安置於原子物體侷限設備300之表面350上，所以原子物體侷限設備300之運動不會導致一光束點誤差。確切而言，原子物體侷限設備之移動可導致可透過校準操縱信號功率來補償之一小振幅誤差。

【0166】 另外，各種實施例能夠使用較低功率操縱信號。例如，在一實例性習知組態中，使用一線性四離子晶體，其中量子位元離子位於線性晶體之末端上(例如，其中兩個交感冷卻離子位於量子位元離子之間)且量子位元離子間隔約8微米。為照射兩個量子位元離子，一大光點大小操縱信號(例如，半徑約17微米)用於照射兩個量子位元離子。然而，此需要一相對較高功率操縱信號(例如約50 mW)。各種實施例之超表面可將一單一操縱信號聚焦成間隔所需距離(例如約8微米)之兩個光點，各具有幾微米之一光點大小。此能夠顯著降低操縱信號之所需功率。例如，在各種實施例中，操縱信號之所需功率降低超過10倍。

【0167】 各種實施例進一步提供用於界定光束路徑及/或將傳入信號提供至作用陣列且使光束路徑與各自作用陣列對準之高效技術。

【0168】 因此，各種實施例提供將操縱信號提供至受一原子物體侷限設備侷限之原子物體及自該等原子物體收集發射信號之指示之技術領域之技術改良。

例示性控制器

【0169】 在各種實施例中，一原子物體侷限設備300併入至包括一控制器300之一系統(例如一量子電腦110)中。在各種實施例中，控制器300經組態以控制系統(例如量子電腦110)之各種元件。例如，控制器300可經

組態以控制電壓源50、控制恆冷室及/或真空室40內之溫度及壓力之一恆冷系統及/或真空系統、操縱源60、冷卻系統及/或控制恆冷室及/或真空室40內之環境條件(例如溫度、濕度、壓力及/或其類似者)及/或經組態以操縱及/或引起由原子物體侷限設備300侷限之一或多個原子物體之量子態之一受控演進之其他系統。在各種實施例中，控制器30可經組態以自一或多個光學收集系統接收信號。

【0170】 如圖16中所展示，在各種實施例中，控制器30可包括各種控制器元件，其等包含處理元件1605、記憶體1610、驅動器控制器元件1615、一通信介面1620、類比數位轉換器元件1625及/或其類似者。例如，處理元件1605可包括可程式化邏輯裝置(CPLD)、微處理器、共處理實體、專用指令集處理器(ASIP)、積體電路、專用積體電路(ASIC)、場可程式化閘陣列(FPGA)、可程式化邏輯陣列(PLA)、硬體加速度計、其他處理裝置及/或電路系統及/或其類似者及/或控制器。術語「電路系統」可係指一完全硬體實施例或硬體及電腦程式產品之一組合。在一實例性實施例中，控制器30之處理元件1605包括一時脈及/或與一時脈通信。

【0171】 例如，記憶體1610可包括非暫時性記憶體，諸如揮發性及/或非揮發性記憶體儲存器，諸如以下之一或多者：硬碟、ROM、PROM、EPROM、EEPROM、快閃記憶體、MMC、SD記憶卡、記憶棒、CBRAM、PRAM、FeRAM、RRAM、SONOS、賽道記憶體、RAM、DRAM、SRAM、FPM DRAM、EDO DRAM、SDRAM、DDR SDRAM、DDR2 SDRAM、DDR3 SDRAM、RDRAM、RIMM、DIMM、SIMM、VRAM、快取記憶體、暫存器記憶體及/或其類似者。在各種實施例中，記憶體1610可儲存經執行以引起執行一量子演算法及/或

電路(例如一可執行佇列)之一命令佇列、對應於量子電腦之量子位元之量子位元記錄(例如，在一量子位元資料儲存器、量子位元記錄資料庫、量子位元記錄表及/或其類似者中)、一校準表、電腦程式碼(例如，以一或多個電腦語言、專用控制器語言及/或其類似者)及/或其類似者。在一實例性實施例中，執行儲存於記憶體1610中之電腦程式碼之至少一部分(例如，藉由一處理元件1605)引起控制器30執行本文中所描述之一或多個步驟、操作、程序、流程及/或其類似者以將操縱信號提供至原子物體位置及/或收集、偵測、捕捉及/或量測由位於原子物體侷限設備300之對應原子物體位置處之原子物體發射之發射信號之指示。

【0172】 在各種實施例中，驅動器控制器元件1610可包含一或多個驅動器及/或各經組態以控制一或多個驅動器之控制器元件。在各種實施例中，驅動器控制器元件1610可包括驅動器及/或驅動器控制器。例如，驅動器控制器可經組態以引起一或多個對應驅動器根據由控制器30(例如，由處理元件1605)排程及執行之可執行指令、命令及/或其類似者操作。在各種實施例中，驅動器控制器元件1615可使控制器30能夠操作一電壓源50、操縱源60、冷卻系統及/或其類似者。在各種實施例中，驅動器可為經組態以操作一或多個操縱源60產生操縱信號之雷射驅動器、真空組件驅動器、用於控制電流流動及/或施加至用於維持及/或控制原子物體侷限設備300之捕集電位之電極之電壓之驅動器(及/或用於將驅動器作用序列提供至原子物體侷限設備之電位產生元件之其他驅動器)、恆冷及/或真空系統組件驅動器、冷卻系統驅動器及/或其類似者。在各種實施例中，控制器30包括用於通信及/或自一或多個光學接收器組件(例如光學收集系統之光偵測器)接收信號之構件。例如，控制器30可包括經組態以自

一或多個光學接收器組件(例如光學收集系統之一光偵測器)、校準感測器及/或其類似者接收信號之一或多個類比數位轉換器元件1625。

【0173】 在各種實施例中，控制器30可包括用於與一計算實體10介接及/或通信之一通信介面1620。例如，控制器30可包括用於自計算實體10接收可執行指令、命令集及/或其類似者及將自量子電腦110 (例如，自一光學收集系統)接收之輸出及/或處理輸出之結果提供至計算實體10之一通信介面1620。在各種實施例中，計算實體10及控制器30可經由一直接有線及/或無線連接及/或經由一或多個有線及/或無線網路20通信。

例示性計算實體

【0174】 圖17提供表示可結合本發明之實施例使用之一實例性計算實體10的一繪示示意圖。在各種實施例中，一計算實體10經組態以允許一使用者將輸入提供至量子電腦110 (例如，經由計算實體10之一使用者介面)及接收、顯示、分析及/或其類似者來自量子電腦110之輸出。

【0175】 如圖17中所展示，一計算實體10可包含一天線1712、一傳輸器1704 (例如無線電)、一接收器1706 (例如無線電)及將信號分別提供至傳輸器1704及接收器1706及分別自傳輸器1704及接收器1706接收信號之一處理元件1708。分別提供至及接收自傳輸器1704及接收器1706之信號可包含根據適用無線系統之一空中介面標準之信令資訊/資料以與各種實體(諸如一控制器30、其他計算實體10及/或其類似者)通信。就此而言，計算實體10能夠用一或多個空中介面標準、通信協定、調變類型及存取類型操作。例如，計算實體10可經組態以使用一有線資料傳輸協定(諸如光纖分散式資料介面(FDDI)、數位用戶線(DSL)、乙太網、非同步傳送模式(ATM)、訊框中繼、纜線資料服務介面規格(DOCSIS)或任何其他有

線傳輸協定)接收及/或提供通信。類似地，計算實體10可經組態以使用各種協定之任何者經由無線外部通信網路通信，諸如通用封包無線電服務(GPRS)、通用行動電信系統(UMTS)、分碼多重存取2000(CDMA2000)、CDMA2000 1X (1xRTT)、寬頻分碼多重存取(WCDMA)、全球行動通信系統(GSM)、GSM演進增強資料速率(EDGE)、分時同步分碼多重存取(TD-SCDMA)、長期演進(LTE)、演進全球陸地無線電存取網路(E-UTRAN)、演進資料最佳化(EVDO)、高速封包存取(HSPA)、高速下行鏈路封包存取(HSDPA)、IEEE 802.11 (Wi-Fi)、Wi-Fi直連、802.16 (WiMAX)、超寬頻(UWB)、紅外(IR)協定、近場通信(NFC)協定、Wibree、Bluetooth協定、無線通用串列匯流排(USB)協定及/或任何其他無線協定。計算實體10可使用此等協定及標準來使用以下通信：邊界閘道協定(BGP)、動態主機組態協定(DHCP)、域名系統(DNS)、檔案傳輸協定(FTP)、超文本傳輸協定(HTTP)、通過TLS/SSL/Secure之HTTP、網際網路訊息存取協定(IMAP)、網路時間協定(NTP)、簡單郵件傳輸協定(SMTP)、Telnet、傳輸層安全(TLS)、安全插座層(SSL)、網際網路協定(IP)、傳輸控制協定(TCP)、使用者資料報協定(UDP)、資料報擁塞控制協定(DCCP)、串流控制傳輸協定(SCTP)、超文本標記語言(HTML)及/或其類似者。

【0176】 經由此等通信標準及協定，計算實體10可使用諸如非結構化輔助服務資訊/資料(USSD)、簡訊服務(SMS)、多媒體傳訊服務(MMS)、雙音多頻信令(DTMF)及/或用戶身份模組撥號器(SIM撥號器)之概念與各種其他實體通信。計算實體10亦可將(例如)改變、附加及更新下載至其韌體、軟體(例如，包含可執行指令、應用程式、程式模組)及作業

系統。

【0177】 在各種實施例中，計算實體10可包括用於(例如)與控制器30介接及/或通信之一網路介面1720。例如，計算實體10可包括用於提供可執行指令、命令集及/或其類似者來供控制器30接收及/或接收由量子電腦110提供之輸出及/或處理輸出之結果之一網路介面1720。在各種實施例中，計算實體10及控制器30可經由一直接有線及/或無線連接及/或經由一或多個有線及/或無線網路20通信。

【0178】 計算實體10亦可包括一使用者介面裝置，其包括一或多個使用者輸入/輸出介面(例如一顯示器1716及/或耦合至一處理元件1708之揚聲器/揚聲器驅動器及耦合至一處理元件1708之一觸控螢幕、鍵盤、滑鼠及/或麥克風)。例如，使用者輸出介面可經組態以提供一應用程式、瀏覽器、使用者介面、介面、儀錶板、螢幕、網頁、頁面及/或在本文中可互換使用之類似用語，其在計算實體10上執行及/或可經由計算實體10存取以引起資訊/資料顯示或可聽呈現及經由一或多個使用者輸入介面與其互動。使用者輸入介面可包括允許計算實體10接收資料之諸多裝置之任何者，諸如一小鍵盤1718 (硬或軟)、一觸控顯示器、語音/話音或運動介面、掃描器、閱讀器或其他輸入裝置。在包含一小鍵盤1718之實施例中，小鍵盤1718可包含(或引起顯示)習知數字(0至9)及相關鍵(#、*)及用於操作計算實體10之其他鍵且可包含全套字母鍵或可經啟動以提供全套字母數字鍵之鍵集。除提供輸入之外，使用者輸入介面可用於(例如)啟動或停用某些功能，諸如螢幕保護器及/或睡眠模式。透過此等輸入，計算實體10可收集資訊/資料、使用者互動/輸入及/或其類似者。

【0179】 計算實體10亦可包含揮發性儲存器或記憶體1722及/或非

揮發性儲存器或記憶體1724，其等可為嵌入式及/或可為抽換式。例如，非揮發性記憶體可為ROM、PROM、EPROM、EEPROM、快閃記憶體、MMC、SD記憶卡、記憶棒、CBRAM、PRAM、FeRAM、RRAM、SONOS、賽道記憶體及/或其類似者。揮發性記憶體可為RAM、DRAM、SRAM、FPM DRAM、EDO DRAM、SDRAM、DDR SDRAM、DDR2 SDRAM、DDR3 SDRAM、RDRAM、RIMM、DIMM、SIMM、VRAM、快取記憶體、暫存器記憶體及/或其類似者。揮發性及非揮發性儲存器或記憶體可儲存資料庫、資料庫例項、資料庫管理系統實體、資料、應用程式、程式、程式模組、指令碼、源代碼、目標碼、位元組碼、編譯碼、解譯碼、機器碼、可執行指令及/或其類似者以實施計算實體10之功能。

結論

【0180】 受益於前述描述及相關聯圖式中呈現之教示之本發明所屬技術之熟習者可想到本文中所闡述之本發明之諸多修改及其他實施例。因此，應理解，本發明不限於所揭示之具體實施例且修改及其他實施例意欲包含於隨附申請專利範圍之範疇內。儘管本文中採用特定術語，但其僅在一般及描述意義上使用而非用於限制目的。

【符號說明】

【0181】

5:原子物體

5A:原子物體

5B:原子物體

5C:原子物體

5D:原子物體
10:計算實體
20:有線/無線網路
30:控制器
40:恆冷室/真空室
45:光學存取視窗
50:電壓源
60:操縱源/操縱信號
62:傳入信號
64:誘發作用信號
66:光學路徑
66A:光學路徑
66B:光學路徑
66C:光學路徑
70:光學收集系統
72:發射信號
74:傳出收集信號/誘發收集信號
90:光學信號
92:信號
92A至92C:信號
94:準直信號
94A至94C:準直信號
100:量子計算系統

- 110:量子電腦
- 300:原子物體侷限設備
- 305:原子物體位置
- 310:電極
- 320:原子物體路徑
- 330:分隔區
- 350:第一表面
- 355:第二表面
- 360:氧化物/電絕緣層
- 365:接地導體
- 400:作用陣列
- 410:超材料結構
- 420:收集透鏡
- 425:收集光纖
- 440:收集陣列
- 445:收集位置
- 450:表面/光偵測器
- 500:配置
- 510A:雙量子位元閘陣列
- 510B:雙量子位元閘陣列
- 520A:冷卻陣列
- 520B:冷卻陣列
- 530:偵測/單量子位元閘陣列

540:收集陣列
600:配置
620:作用陣列
620A至620H:作用陣列
640:收集陣列
705:外殼
715:操縱信號視窗
715A:操縱信號視窗
715B:操縱信號視窗
720:收集視窗
810:第一基板
815:信號操縱元件
815A:作用陣列
815B:作用陣列
815C:收集陣列
910:第二基板
915:信號操縱元件
915A:作用陣列
915B:作用陣列
915C:收集陣列
950:第一表面
955:第二表面
1040A:第一信號操縱元件

- 1040B:第二信號操縱元件
- 1040C:第三信號操縱元件
- 1062:傳入信號
- 1064A:第一作用信號
- 1064B:第二作用信號
- 1064C:第三作用信號
- 1064D:第四作用信號
- 1068A:第一光束輪廓
- 1068B:第二光束輪廓
- 1068C:第三光束輪廓
- 1068D:第四光束輪廓
- 1100:光學總成
- 1110:傳入透鏡
- 1115:傳入光纖
- 1200:光學總成
- 1210:分佈及定位光學元件
- 1220:光纖尾線
- 1300:雙層超材料陣列分束器
- 1310:分裂超材料陣列
- 1320:準直超材料陣列
- 1320A:準直超材料陣列
- 1320B:準直超材料陣列
- 1320C:準直超材料陣列

1330:分束器基板
1332:第一表面
1334:第二表面
1336:材料
1400:光子積體電路(PIC)
1410:輸出視窗/光學視窗
1420:光纖
1440:透鏡
1450:超材料陣列
1500:橫向位移元件
1505:圖案
1510:散射元件
1510A:第一散射體
1510B:第二散射體
1510C:第三散射體
1520:傳入信號
1530:散射元件
1530A:散射元件
1530B:散射元件
1530C:散射元件
1530D:散射元件
1535:列
1535A:第一列
1535B:第二列

1540:暗條紋

1540A:暗條紋

1540B:暗條紋

1540C:暗條紋

1545:亮條紋

1545A:亮條紋

1545B:亮條紋

1550:橫向位移元件

1605:處理元件

1610:記憶體

1615:驅動器控制器元件

1620:通信介面

1625:類比-數位(A/D)轉換器/類比數位轉換器元件

1704:傳輸器

1706:接收器

1708:處理元件

1712:天線

1716:顯示器

1718:小鍵盤

1720:網路介面

1722:揮發性儲存器/記憶體

1724:非揮發性儲存器/記憶體

α :間距因數

β :光纖間距

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種系統，其包括：

一原子物體侷限設備，其包括經組態以產生經組態以侷限一或多個原子物體之一侷限電位之複數個電極，該侷限電位界定複數個原子物體位置；及

一或多個信號操縱元件，該一或多個信號操縱元件之各信號操縱元件(a)與該複數個原子物體位置之一各自原子物體位置相關聯且(b)係以下之一者：

一收集陣列，該收集陣列經組態以回應於由位於該各自原子物體位置處之一原子物體發射之一發射信號入射於該收集陣列上而將一誘發收集信號提供至一各自收集位置，或

一作用陣列，該作用陣列經組態以回應於由一操縱源產生之一傳入信號入射於該作用陣列上而將一誘發作用信號提供至該各自原子物體位置。

【請求項2】

如請求項1之系統，其中該一或多個信號操縱元件包括(a)包括複數個超材料結構之一超材料陣列或(b)一繞射光學元件之至少一者。

【請求項3】

如請求項1之系統，其中該一或多個信號操縱元件包括一對準配置，該對準配置包括至少一個超材料陣列。

【請求項4】

如請求項1之系統，其中該一或多個信號操縱元件包括與該各自原子

物體位置相關聯之至少一個收集陣列及一或多個作用陣列。

【請求項5】

如請求項1之系統，其中該作用陣列經組態用於執行選自由以下組成之一群組之一量子電腦功能：一原子物體之光電離、該原子物體之狀態準備、讀取該原子物體之一量子態、冷卻該原子物體或包括該原子物體之一原子物體晶體、擱置該原子物體、再泵浦該原子物體、對該原子物體執行一單量子位元閘及對包括該原子物體之一組原子物體執行一多量子位元閘。

【請求項6】

如請求項5之系統，其中該作用陣列之一或多個超材料結構經波長調諧以誘發用於執行該量子電腦功能之一波長之一作用束。

【請求項7】

如請求項1之系統，其中該複數個超材料結構之一或多個超材料結構係自該原子物體侷限裝置之一表面延伸0.5 nm至1 μm 之一範圍內之一距離之支柱。

【請求項8】

如請求項1之系統，其中該複數個超材料結構之各超材料結構形成一超表面。

【請求項9】

如請求項1之系統，其中該原子物體侷限設備之一表面界定一平面，該一或多個信號操縱元件安置於該表面上，且該作用陣列經組態以接收橫向於該平面傳播之一傳入信號。

【請求項10】

如請求項1之系統，其中該原子物體侷限設備之一表面界定一平面且該收集位置位於該平面外部。

【請求項11】

如請求項1之系統，其中該一或多個信號操縱元件係形成於該原子物體侷限設備之一表面上之超表面透鏡。

【請求項12】

如請求項11之系統，其中該原子物體侷限設備之一基板之至少一或多個部分對具有該輸入信號之一波長之光或具有該發射信號之一波長之光之至少一者透明。

【請求項13】

如請求項1之系統，其中該一或多個信號操縱元件安置於一第二基板上，該第二基板經安置使得包括該一或多個信號操縱元件之至少一者之該第二基板之一表面面向其上安置有該原子物體侷限設備之該複數個電極之一第一基板之一表面。

【請求項14】

如請求項1之系統，其進一步包括經組態以控制該複數個電極及該至少一個操縱源之操作之一控制器。

【請求項15】

如請求項14之系統，其中該控制器經進一步組態以接收指示該收集信號入射於該收集位置處之一信號。

【請求項16】

如請求項14之系統，其中該系統係一量子電腦之部分且該控制器經組態以控制該複數個電極及該至少一個操縱源之操作以引起該量子電腦執

行一量子電路之至少一部分，其中該一或多個原子物體用作該量子電腦之量子位元。

【請求項17】

如請求項1之系統，其進一步包括經組態以界定自該操縱源至該作用陣列之一光學路徑之一或多個光學元件。

【請求項18】

如請求項17之系統，其中該一或多個光學元件包括以下之至少一者：

一雙層超表面分束器；

一光子積體電路晶片及一或多個塊狀光學組件；或

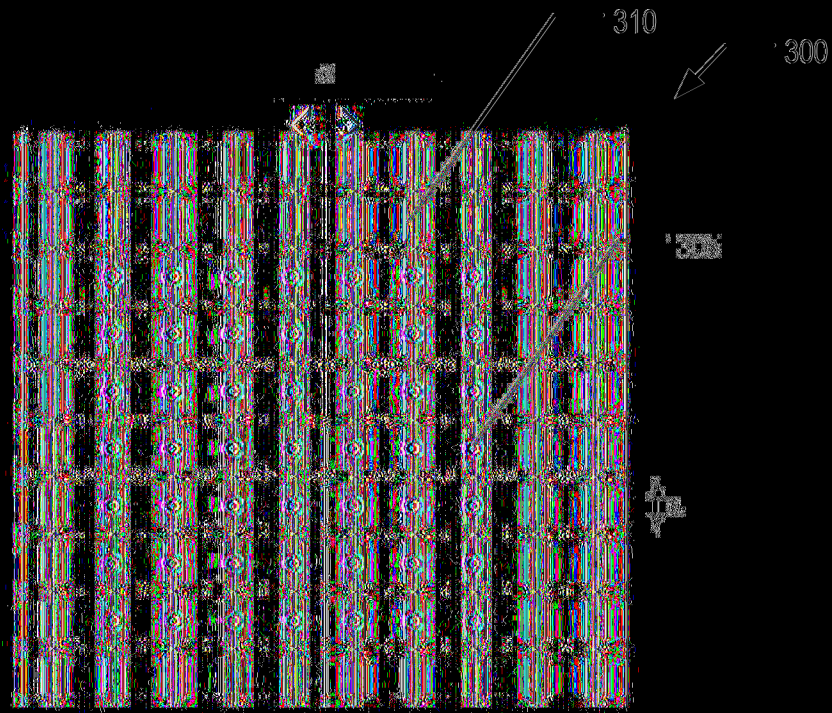
一光子積體電路晶片，其具有積體超表面。

【請求項19】

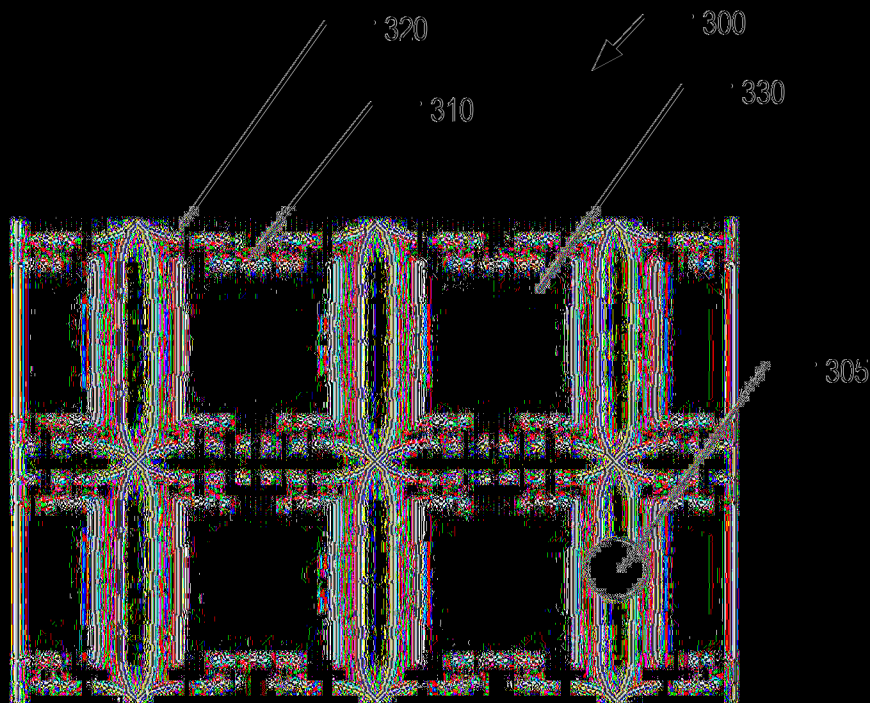
如請求項1之系統，其進一步包括位於對應於該各自原子物體位置之該收集位置處之收集光學器件及光學耦合至該收集光學器件之一或多個光偵測器，該一或多個光偵測器經組態以產生指示該收集信號入射於該收集光學器件上之一信號。

【請求項20】

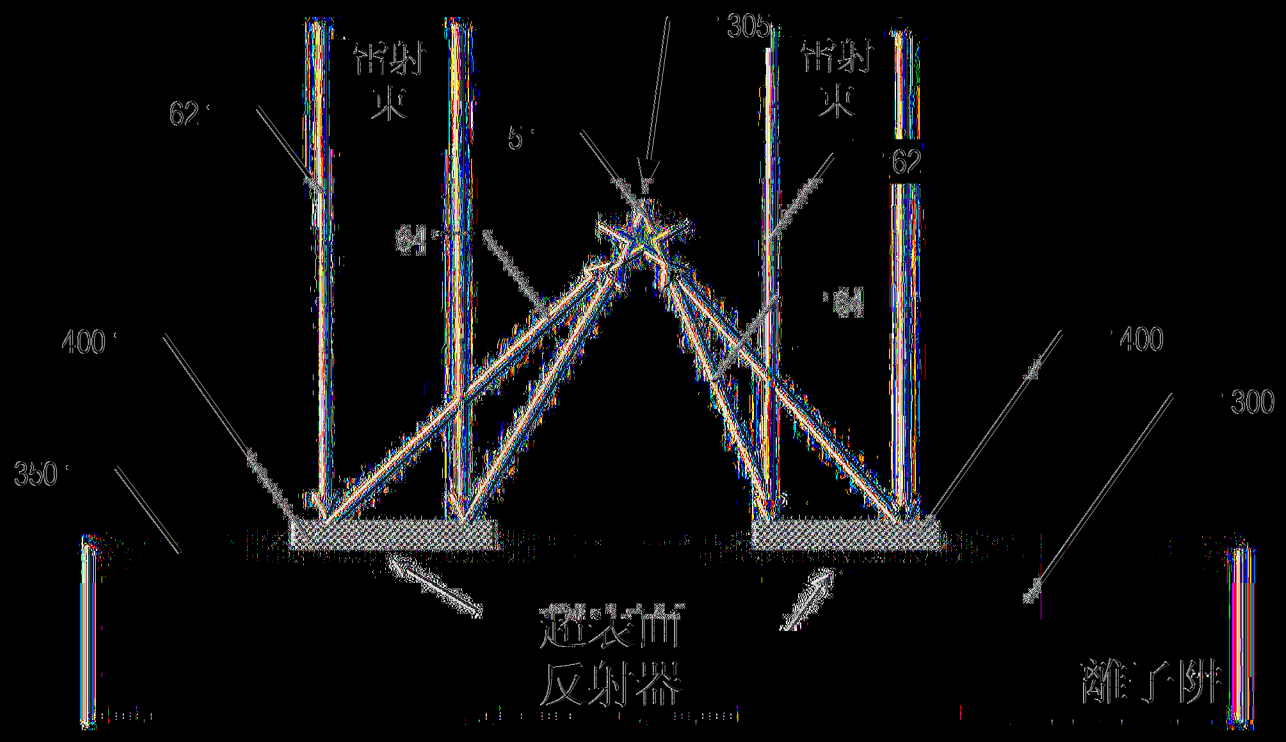
如請求項1之系統，其中複數個作用陣列與該各自原子物體位置相關聯，該複數個作用陣列之第一作用陣列經組態以回應於該作用信號入射於其上而提供一第一誘發作用信號且該複數個作用陣列之一第二作用陣列經組態以回應於該作用信號入射於其上而提供一第二誘發作用信號，該第一誘發作用信號及該第二誘發作用信號在該各自原子物體位置處之一光束寬度或通過該各自原子物體位置之一傳播路徑之至少一者上不同。



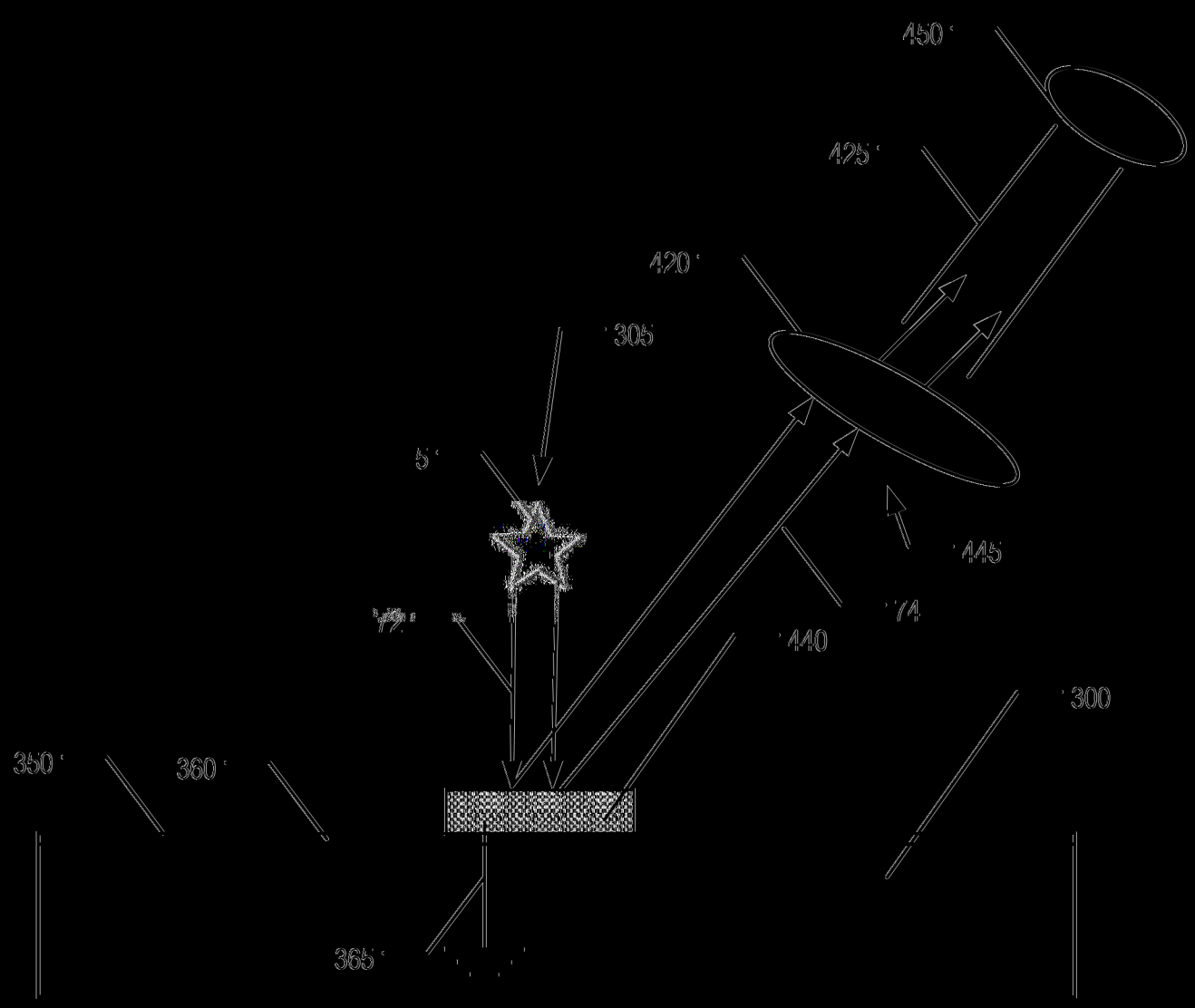
(圖2)



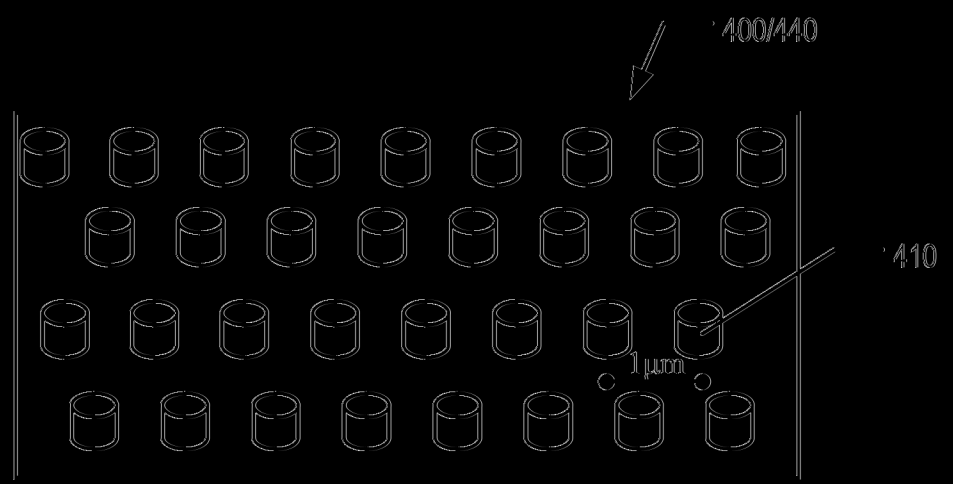
(圖3)



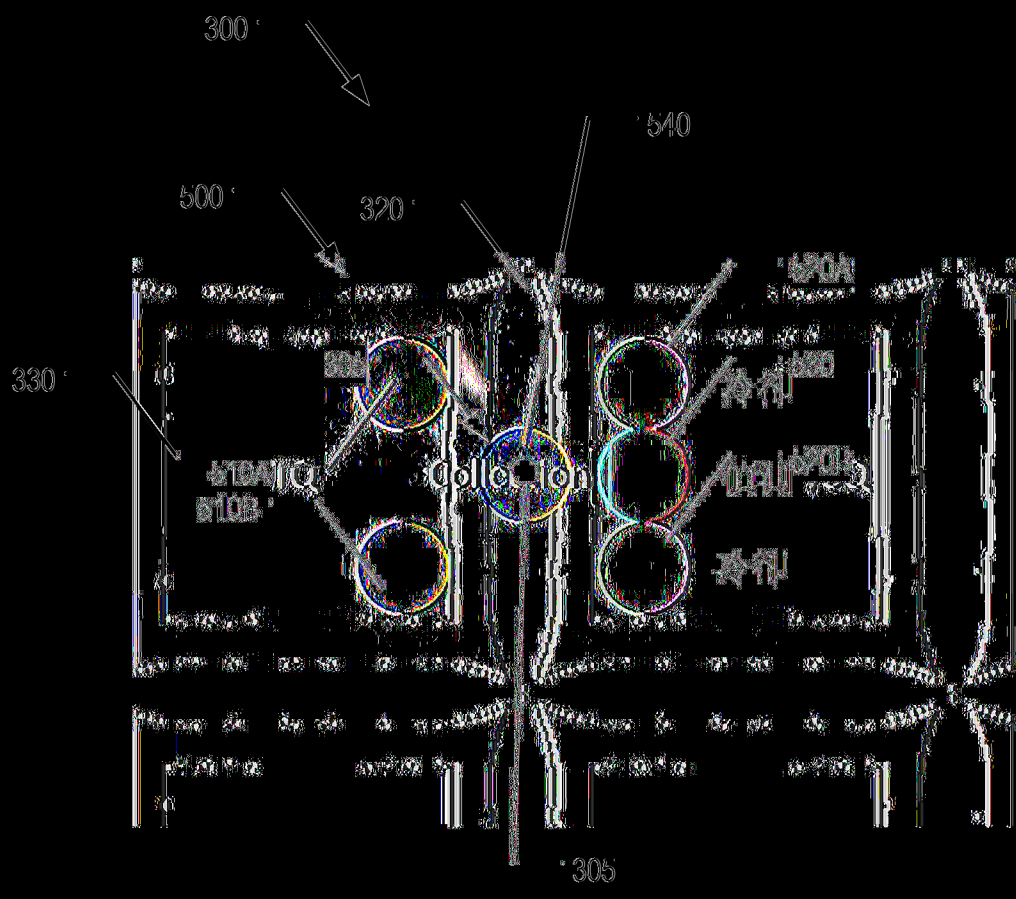
(圖4A)



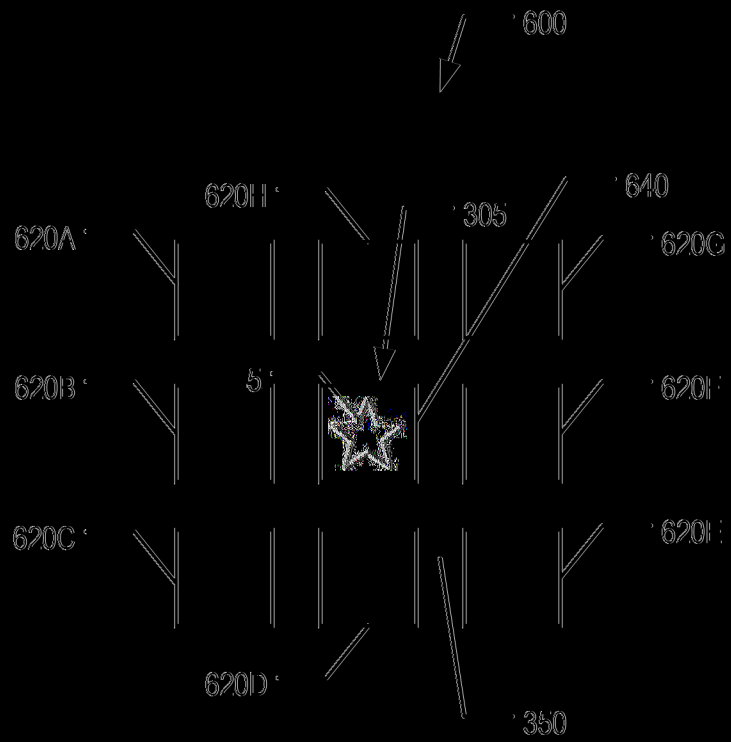
(B) 43



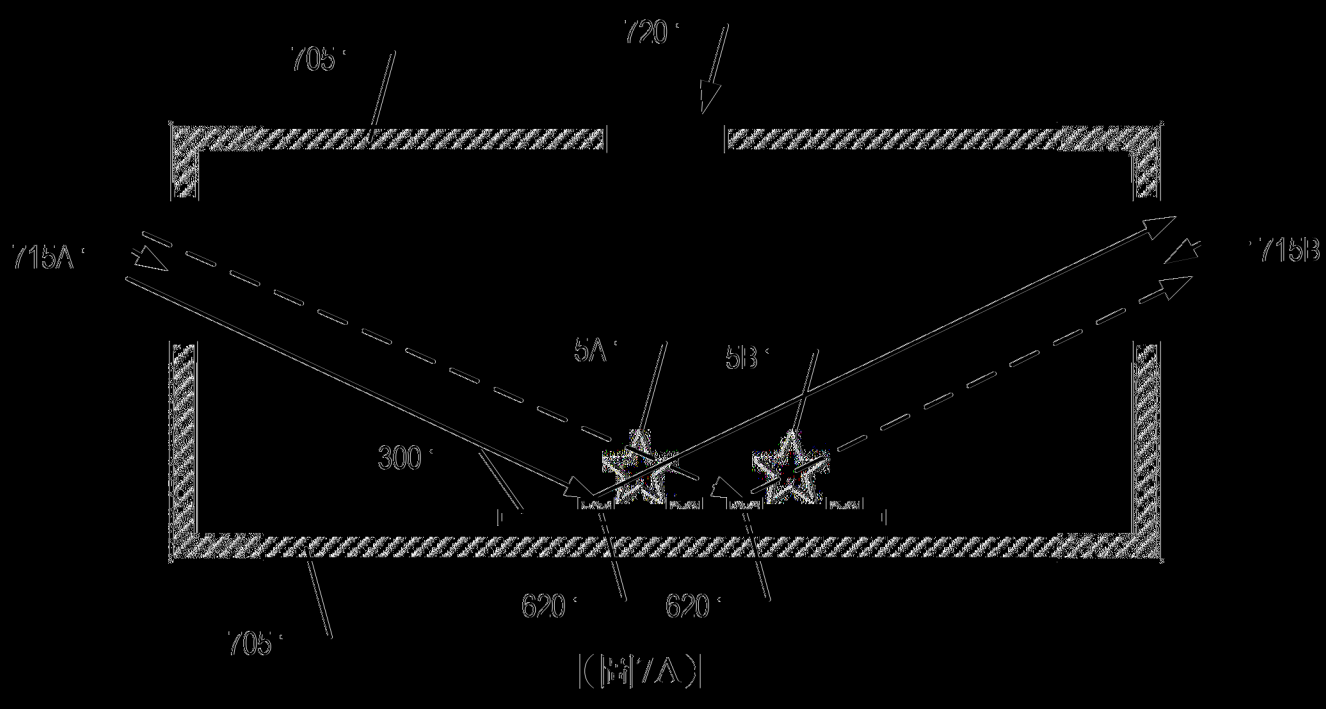
(B) 4C



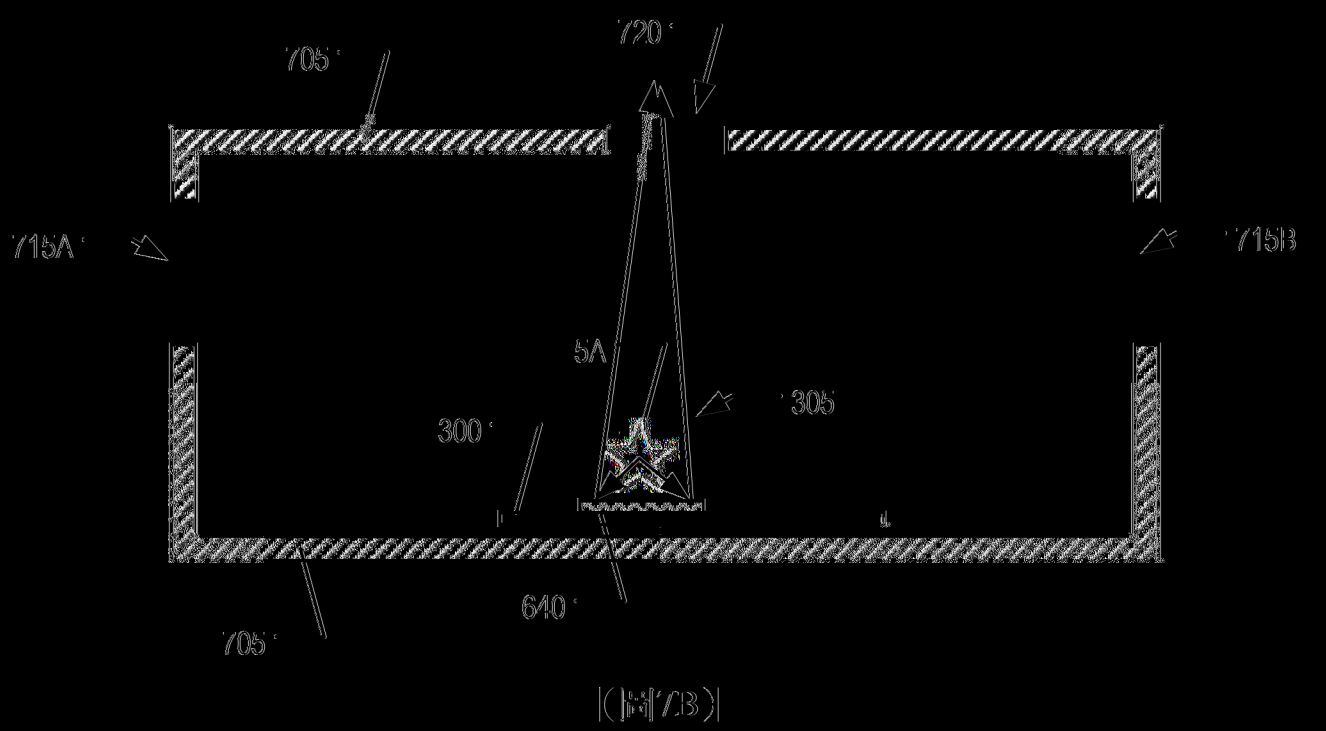
(圖5)



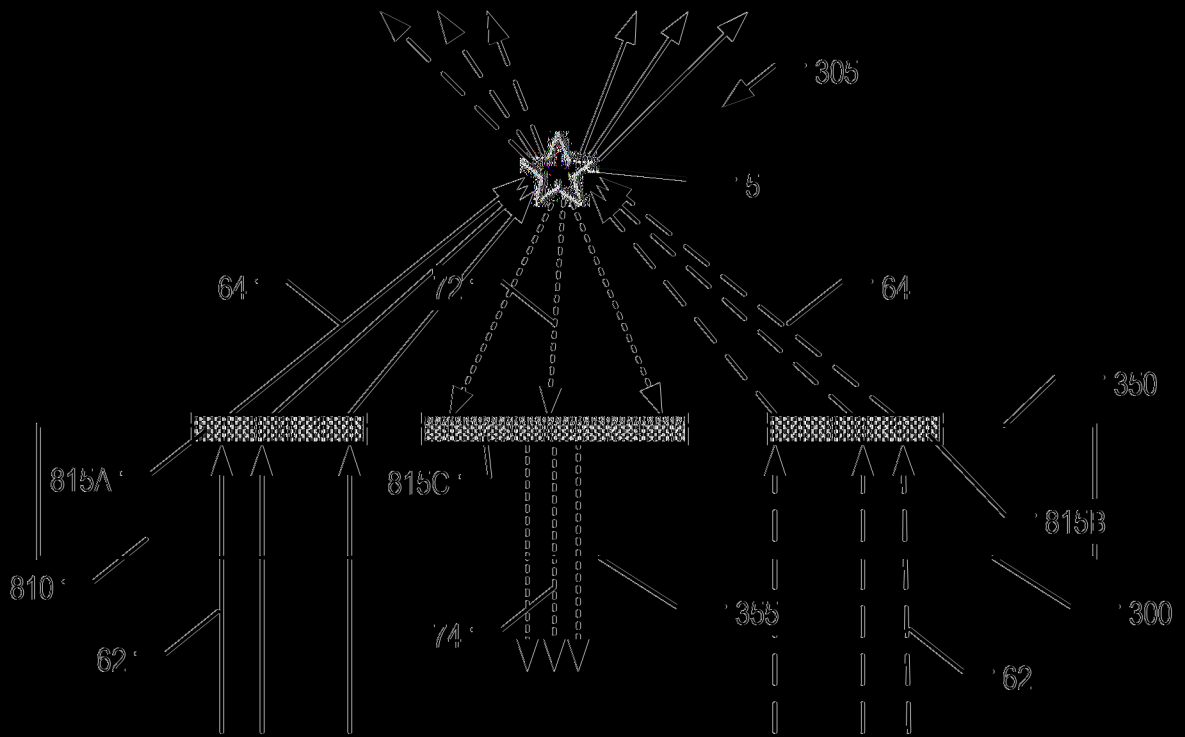
(圖6)



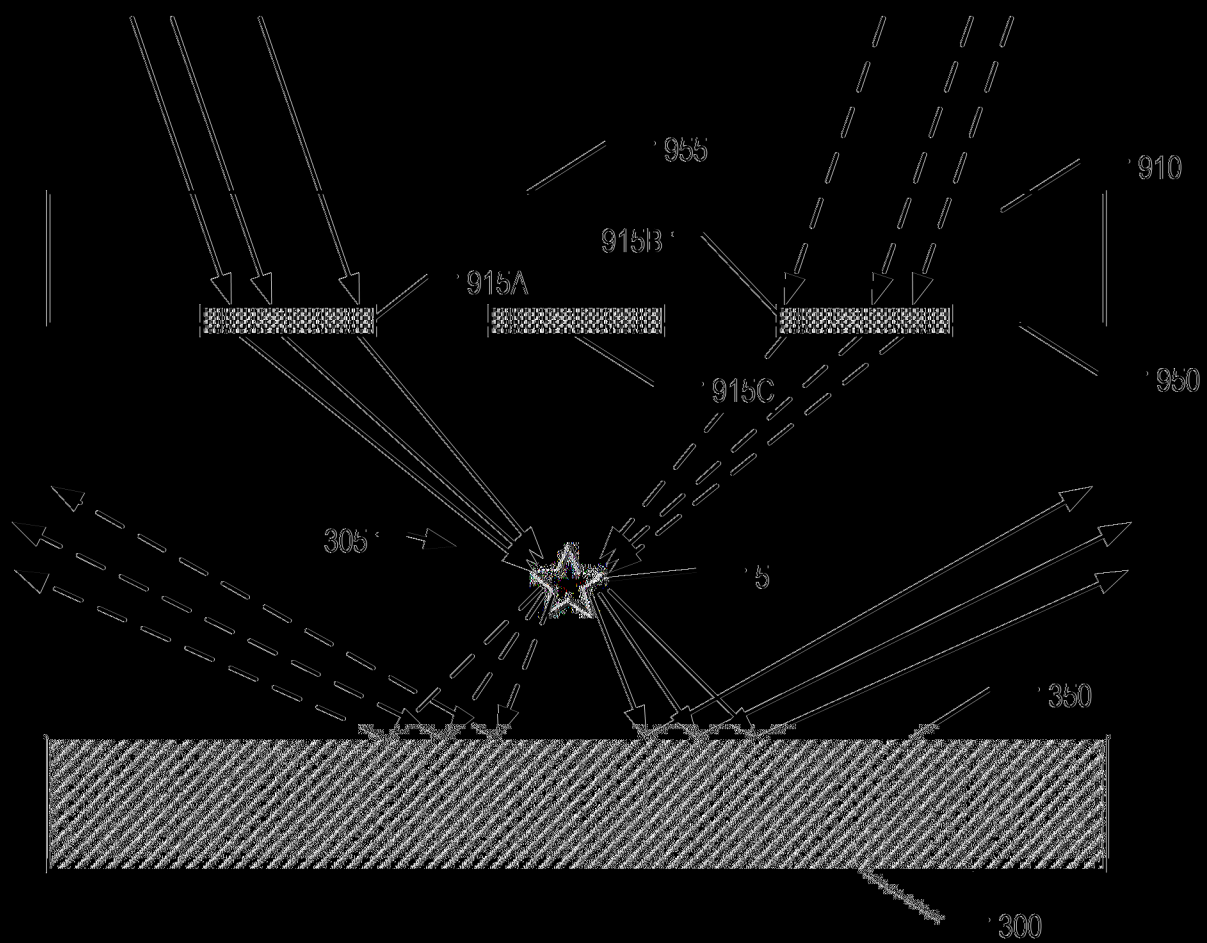
(A)



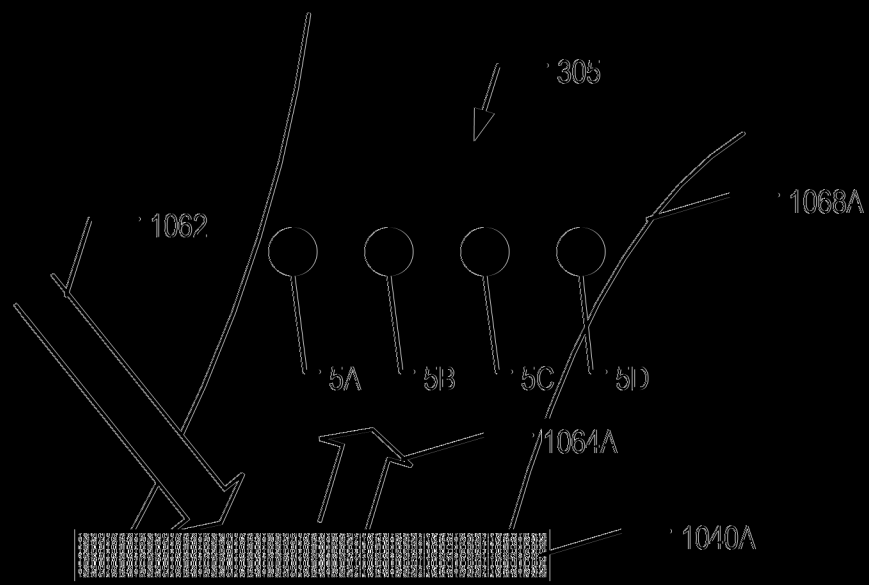
(B)



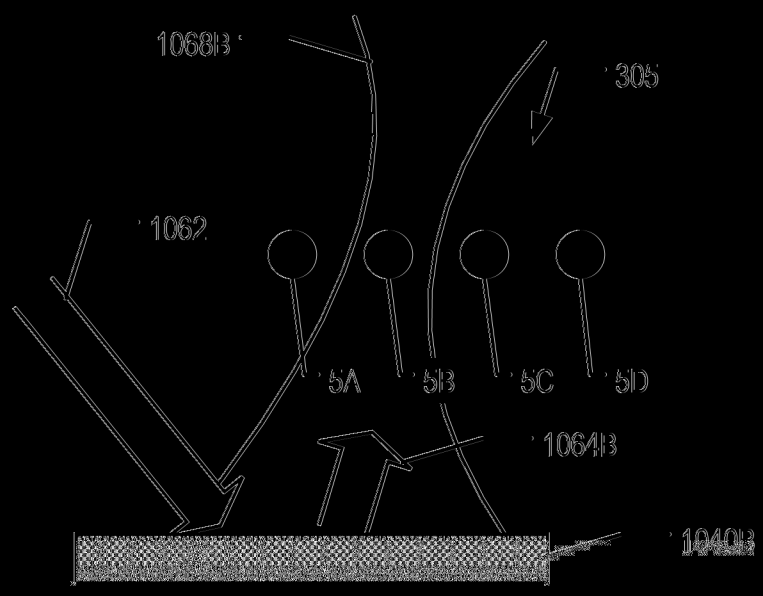
(圖8)



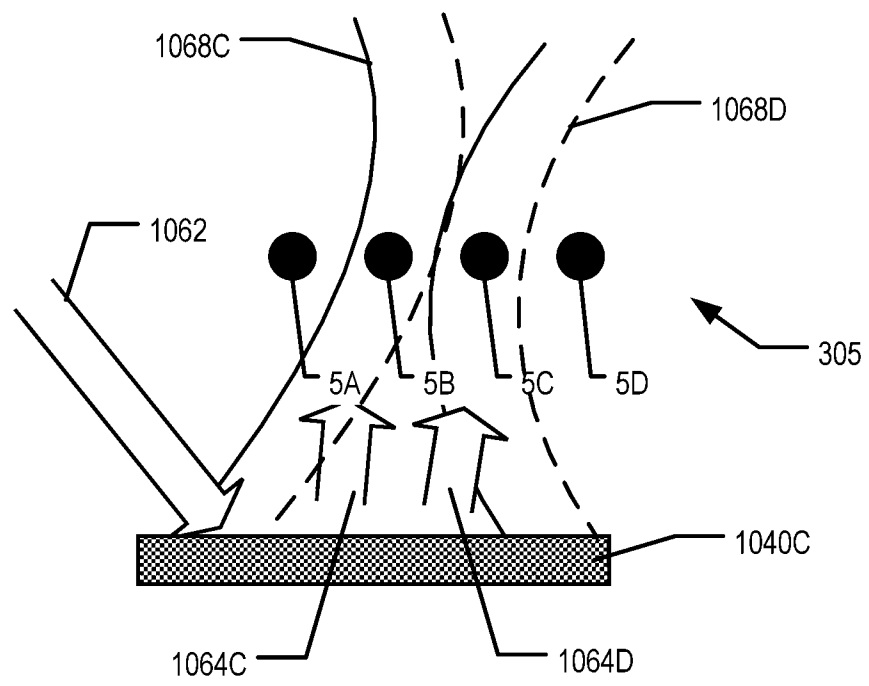
(圖9)



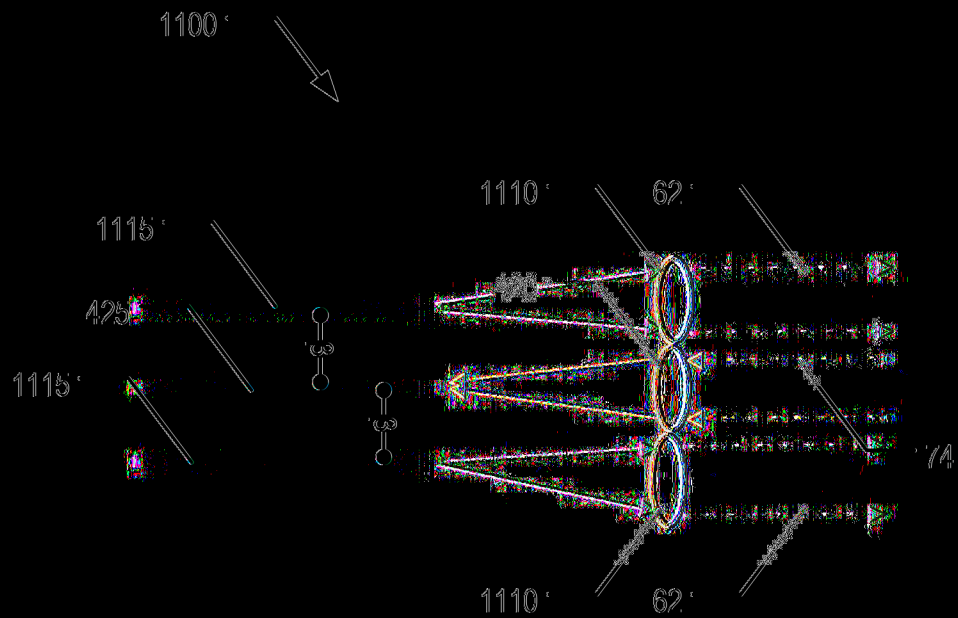
([圖]10A)



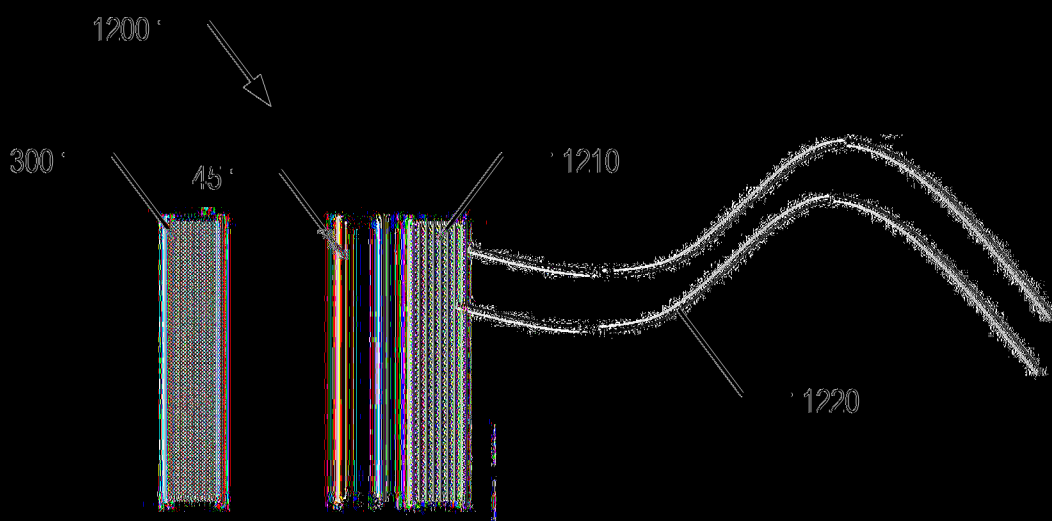
([圖]10B)



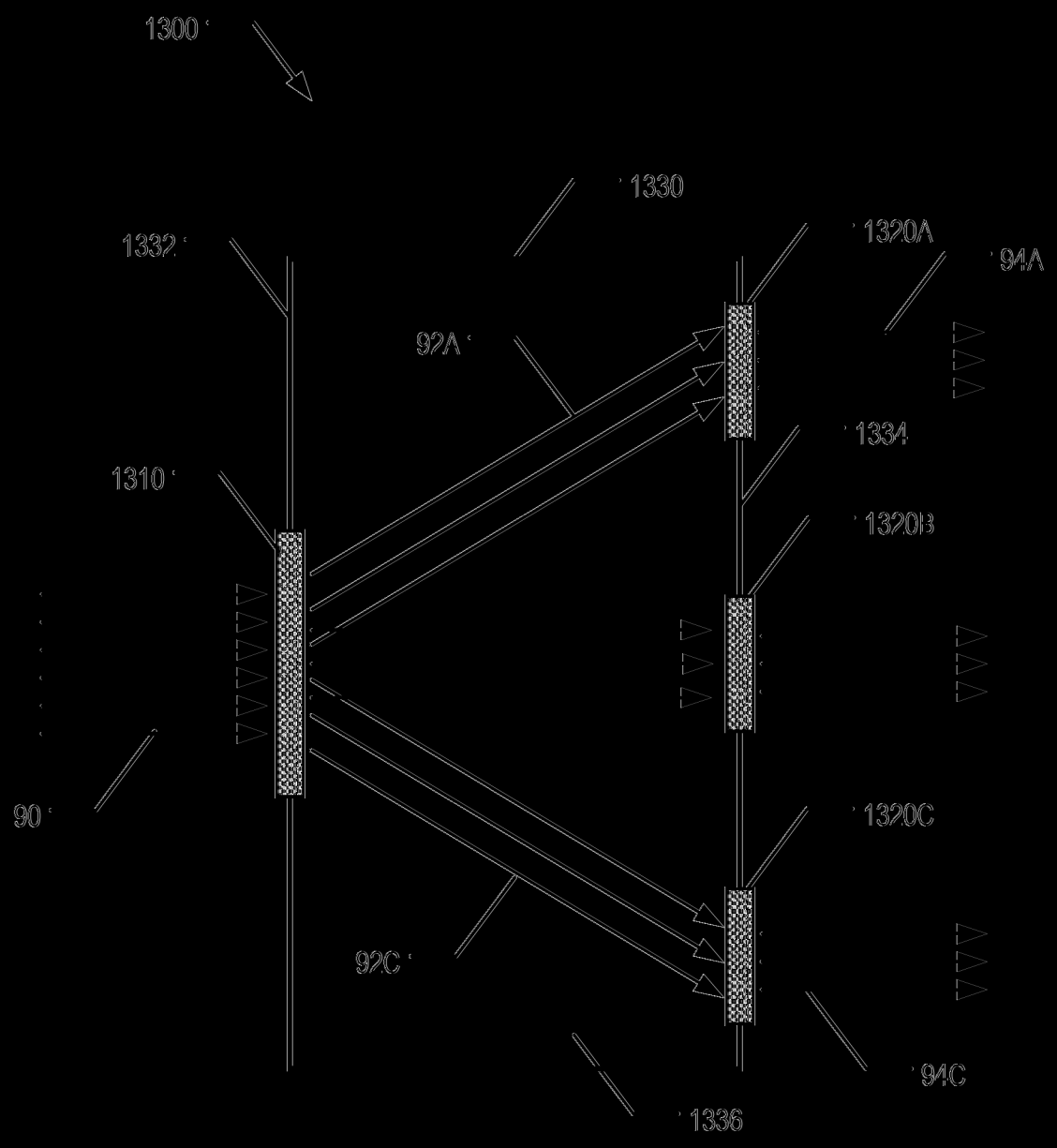
【圖10C】



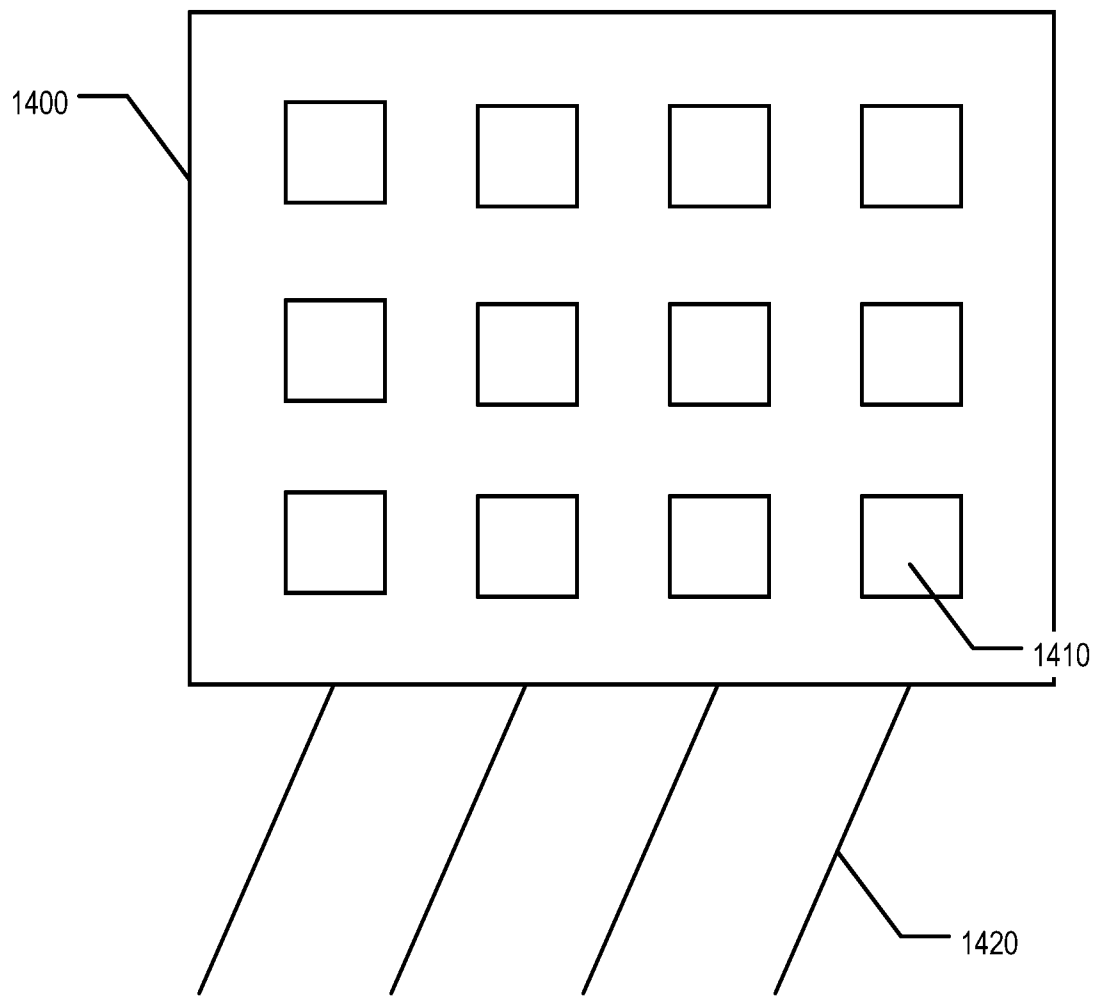
[(圖11)]



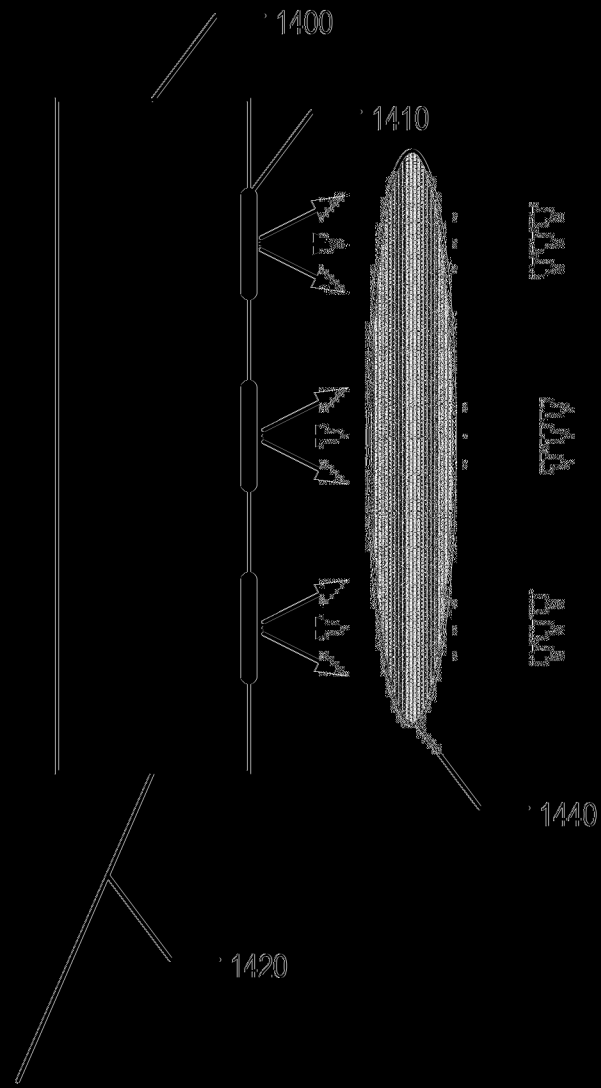
[(圖12)]



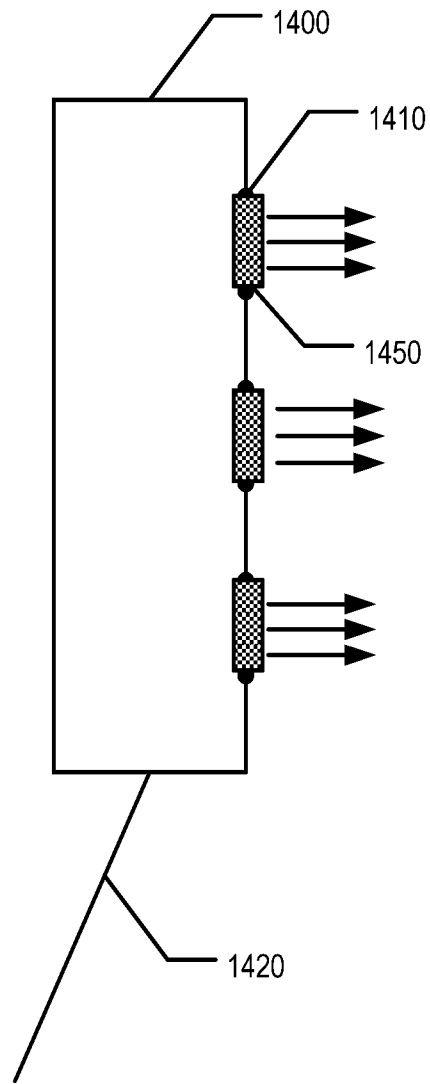
(圖13)



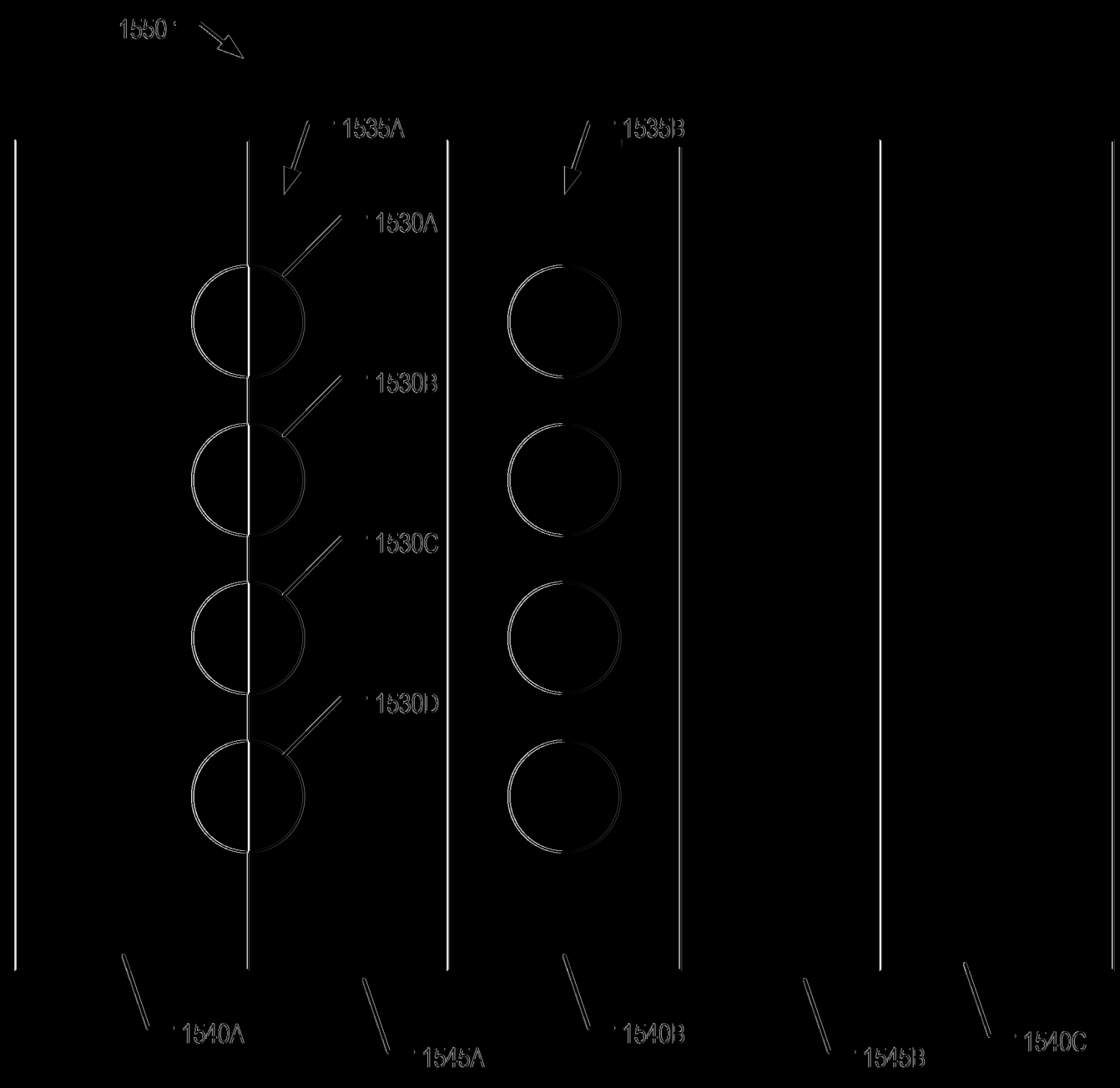
【圖14A】



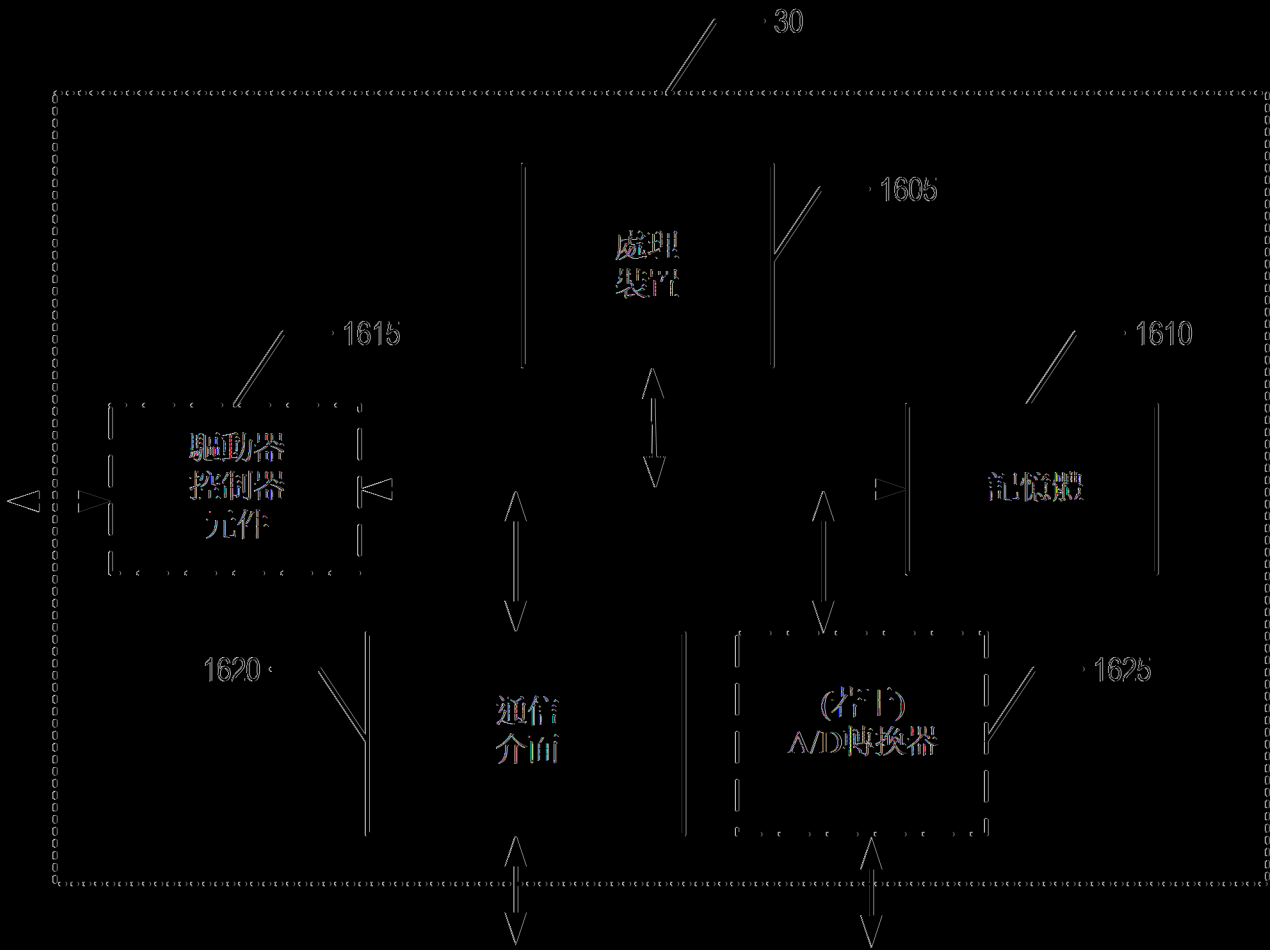
(圖 143)



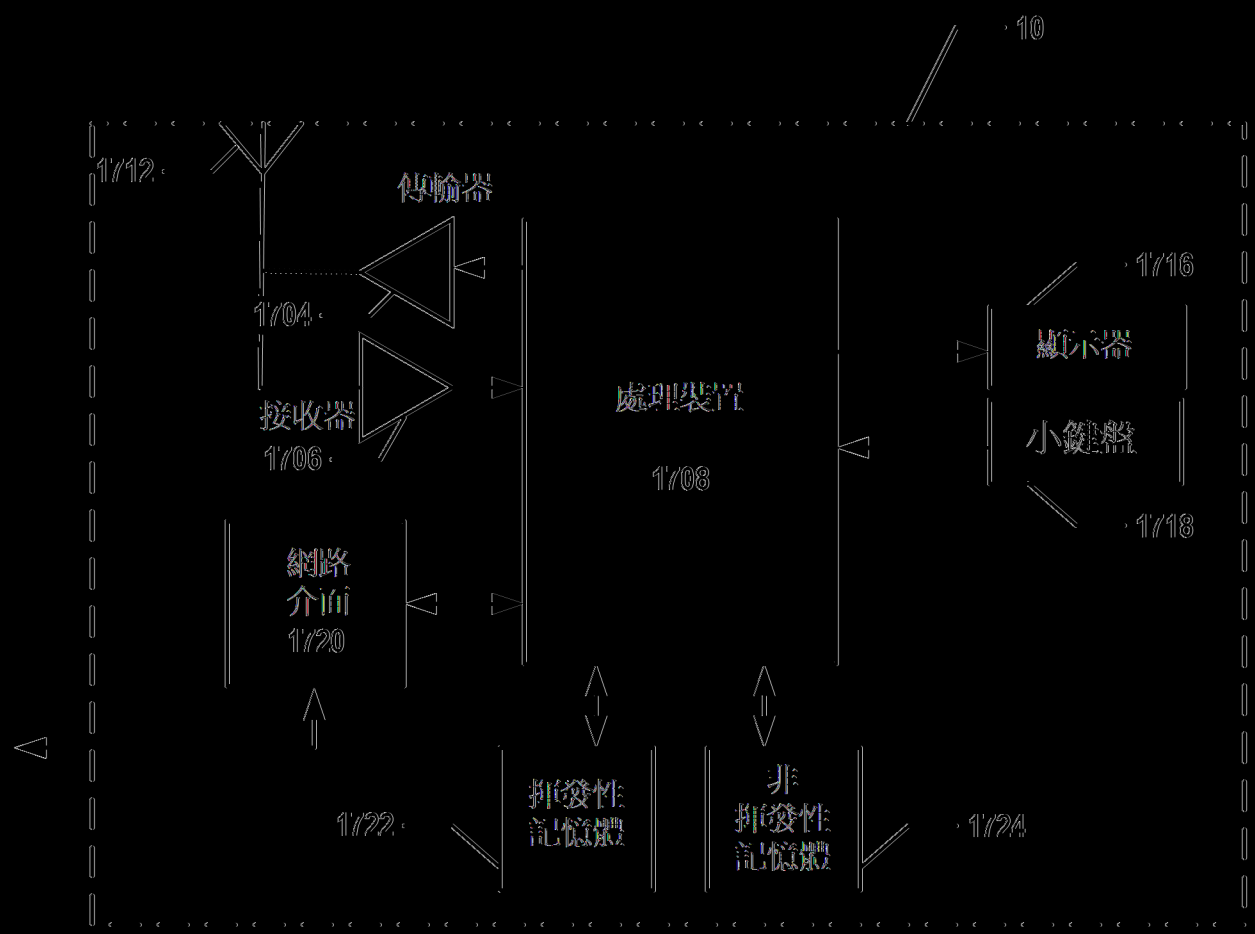
【圖 14C】



(圖15B)



(圖16)



(圖17)