

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-161879

(P2022-161879A)

(43)公開日 令和4年10月21日(2022.10.21)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード (参考)	
G 0 6 N	10/40 (2022.01)	G 0 6 N	10/40	2 K 1 0 2	
H 0 1 J	49/06 (2006.01)	H 0 1 J	49/06	5 C 0 3 8	
H 0 1 J	49/16 (2006.01)	H 0 1 J	49/16	1 0 0	
H 0 1 J	49/00 (2006.01)	H 0 1 J	49/00	3 1 0	
H 0 1 J	49/02 (2006.01)	H 0 1 J	49/02	5 0 0	
審査請求 未請求		請求項の数	20	O L	外国語出願 (全50頁) 最終頁に続く
(21)出願番号	特願2022-63891(P2022-63891)		(71)出願人	522047446	
(22)出願日	令和4年4月7日(2022.4.7)			クオンティニウム エルエルシー	
(31)優先権主張番号	63/201,018			アメリカ合衆国コロラド州80021,	
(32)優先日	令和3年4月8日(2021.4.8)			ブルームフィールド, サウス・テクノ	
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)			ジー・コート 303	
(31)優先権主張番号	17/653,979		(74)代理人	100108453	
(32)優先日	令和4年3月8日(2022.3.8)			弁理士 村山 靖彦	
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		(74)代理人	100110364	
				弁理士 実広 信哉	
			(74)代理人	100133400	
				弁理士 阿部 達彦	
			(72)発明者	マシュー・ボーン	
				アメリカ合衆国・コロラド・80021	
				・ブルームフィールド・サウス・テクノ	
				ロジー・コート・303	
				最終頁に続く	

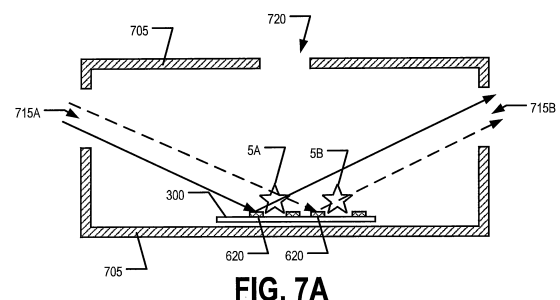
(54)【発明の名称】 信号操作要素を使用する量子コンピューティング

(57)【要約】

【課題】原子オブジェクト閉じ込め装置と1つまたは複数の信号操作要素とを備えるシステムが提供される。

【解決手段】各信号操作要素は、(a) 原子オブジェクト閉じ込め装置のそれぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられ、(b) 収集アレイまたは作用アレイのうちの1つである。収集アレイは、それぞれの原子オブジェクト位置における原子オブジェクトによって放射された放射信号が収集アレイ上に入射することに対応して、誘導された収集信号をそれぞれの収集位置に提供するように構成される。作用アレイは、到来信号が作用アレイ上に入射することに対応して、誘導された作用信号をそれぞれの原子オブジェクト位置に提供するように構成される。1つまたは複数の信号操作要素は、メタマテリアルアレイおよび／または回折光学素子を備える。

【選択図】図7A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 つまたは複数の原子オブジェクトを閉じ込めるように構成された閉じ込め電位を生成するように構成された複数の電極を備える原子オブジェクト閉じ込め装置であって、前記閉じ込め電位が複数の原子オブジェクト位置を規定する、原子オブジェクト閉じ込め装置と、

1 つまたは複数の信号操作要素とを備え、前記 1 つまたは複数の信号操作要素の各信号操作要素が、(a) 前記複数の原子オブジェクト位置のそれぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられ、(b)

前記それぞれの原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号が収集アレイ上に入射することに応答して、誘導された収集信号をそれぞれの収集位置に提供するように構成された、収集アレイ、または

操作ソースによって生成された到来信号が作用アレイ上に入射することに応答して、誘導された作用信号を前記それぞれの原子オブジェクト位置に提供するように構成された、作用アレイ

のうちの 1 つである、システム。

【請求項 2】

前記 1 つまたは複数の信号操作要素が、(a) 複数のメタマテリアル構造を備えるメタマテリアルアレイ、または (b) 回折光学素子のうちの少なくとも 1 つを備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記 1 つまたは複数の信号操作要素が、少なくとも 1 つのメタマテリアルアレイを備える位置合わせ配置を備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記 1 つまたは複数の信号操作要素が、少なくとも 1 つの収集アレイと、前記それぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられた 1 つまたは複数の作用アレイとを備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記作用アレイが、原子オブジェクトの光イオン化、前記原子オブジェクトの状態準備、前記原子オブジェクトの量子状態を読み取ること、前記原子オブジェクトもしくは前記原子オブジェクトを含む原子オブジェクト結晶を冷却すること、前記原子オブジェクトを棚上げすること、前記原子オブジェクトを再ポンピングすること、前記原子オブジェクトに対して単一の量子ビットゲートを実行すること、および前記原子オブジェクトを含む原子オブジェクトのセットに対して多量子ビットゲートを実行することからなるグループから選択された量子コンピュータ機能を実行する際に使用するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記作用アレイの前記 1 つまたは複数のメタマテリアル構造が、前記量子コンピュータ機能を実行する際に使用される波長の作用ビームを誘導するために波長調整される、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記複数のメタマテリアル構造のうちの 1 つまたは複数のメタマテリアル構造が、前記原子オブジェクト閉じ込め装置の表面から 0.5 nm から 1 μm の範囲における距離で延在する柱である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記複数のメタマテリアル構造の各メタマテリアル構造が、メタ表面を形成する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記原子オブジェクト閉じ込め装置の表面が、平面を規定し、前記 1 つまたは複数の信号操作要素が、前記表面上に配置され、前記作用アレイが、前記平面に対して横方向に伝

10

20

30

40

50

播する到来信号を受信するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記原子オブジェクト閉じ込め装置の表面が、平面を規定し、前記収集位置が、前記平面の外側に位置する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記 1 つまたは複数の信号操作要素が、前記原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に形成されたメタ表面レンズである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記原子オブジェクト閉じ込め装置の基板の少なくとも 1 つまたは複数の部分が、前記入力信号の波長を有する光、または前記放射信号の波長を有する光のうちの少なくとも 1 つに対して透明である、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記 1 つまたは複数の信号操作要素が、第 2 の基板上に配置され、前記第 2 の基板は、前記 1 つまたは複数の信号操作要素のうちの少なくとも 1 つを含む前記第 2 の基板の表面が、前記原子オブジェクト閉じ込め装置の前記複数の電極が上に配置された第 1 の基板の表面と対向するように配置された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記複数の電極および少なくとも 1 つの前記操作ソースの動作を制御するように構成されたコントローラをさらに備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記コントローラが、前記収集位置において入射する前記収集信号を示す信号を受信するようにさらに構成された、請求項 14 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記システムが、量子コンピュータの一部であり、前記コントローラが、前記量子コンピュータに量子回路の少なくとも一部を実行させるように前記複数の電極および少なくとも 1 つの前記操作ソースの前記動作を制御するように構成され、前記 1 つまたは複数の原子オブジェクトが、前記量子コンピュータの量子ビットとして使用される、請求項 14 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記操作ソースから前記作用アレイへの光路を規定するように構成された 1 つまたは複数の光学要素をさらに備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記 1 つまたは複数の光学要素が、
二重層メタ表面ビームスプリッタ、
フォトリソ集積回路チップおよび 1 つもしくは複数のバルク光学構成要素、または
統合されたメタ表面を有するフォトリソ集積回路チップ
のうちの少なくとも 1 つを備える、請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 19】

前記それぞれの原子オブジェクト位置に対応する前記収集位置に位置する収集光学系と、前記収集光学系に光学的に結合された 1 つまたは複数の光検出器とをさらに備え、前記 1 つまたは複数の光検出器が、前記収集光学系上に入射する前記収集信号を示す信号を生成するように構成された、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 20】

複数の作用アレイが、前記それぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられ、前記複数の作用アレイのうちの第 1 の作用アレイが、前記作用信号がその上に入射することに対応して第 1 の誘導作用信号を提供するように構成され、前記複数の作用アレイのうちの第 2 の作用アレイが、前記作用信号がその上に入射することに対応して第 2 の誘導作用信号を提供するように構成され、前記第 1 の誘導作用信号および前記第 2 の誘導作用信号が、前記それぞれの原子オブジェクト位置におけるビーム幅、または前記それぞれの原子オブジェクト位置を通る伝播経路のうちの少なくとも 1 つにおいて異なる、請求項 1 に記載のシ

10

20

30

40

50

ステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、その内容が参照によりその全体において本明細書に組み込まれる、2021年4月8日に出願した、米国仮出願第63／201,018号の優先権を主張するものである。

【0002】

様々な実施形態は、閉じ込められた原子オブジェクトに光ビームを供給し、および／またはそこから光信号を受信するためのメタマテリアル構造の使用に関する装置、システム、および方法に関する。例示的な実施形態は、量子電荷結合デバイス（QCCD（quantum charge coupled device））ベースの量子コンピュータの閉じ込められた原子オブジェクトに光ビームを提供すること、および／またはそこから光信号を受信することに関する。

【背景技術】

【0003】

量子コンピューティングを実行するためにイオントラップを使用する場合、イオントラップ内に含まれるイオンにレーザビームを印加することによって、量子コンピュータのゲートおよび他の機能が実行される。これらのレーザビームを大規模量子コンピュータに送達することは、トラップ上の低いイオン高さ、レーザビームのレイリー長、および量子コンピュータの機能を実行するためにトラップ内のイオンに送達される必要があるレーザパワーの量のため、重大な課題である。適用された努力、創意工夫、および革新によって、従来のレーザビーム印加技法の多くの欠陥が、本発明の実施形態に従って構造化された解決策を開発することによって解決され、その多くの例について、本明細書で詳細に説明する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国出願第16／717,602号

【特許文献2】米国出願第63／199,279号

【特許文献3】米国出願第63／200,263号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

例示的な実施形態は、原子オブジェクト閉じ込め装置内に閉じ込められた原子オブジェクトに1つもしくは複数の操作信号を提供するため、ならびに／または原子オブジェクトによって放出された（光）信号を捕捉および／もしくは検出（任意選択）するための方法、システム、装置、コンピュータプログラム製品などを提供する。様々な実施形態において、原子オブジェクトは、原子、イオン、または原子および／もしくはイオンのペアもしくはグループ（たとえば、イオン結晶）などである。たとえば、様々な実施形態において、原子オブジェクトは、量子コンピュータの量子ビットとして使用される。様々なそのような実施形態において、操作信号は、量子コンピュータの光イオン化、状態準備、量子ビット検出および／もしくは読み取り、冷却、棚上げ（shelving）、再ポンピング、単一量子ビットゲート、ならびに2量子ビットゲートを制御するように構成される。例示的な実施形態について、量子コンピューティング用途（たとえば、量子電荷結合デバイス（QCCD）ベースの量子コンピュータ）に関して本明細書では説明されているが、様々な実施形態は、原子時計、およびそれぞれの原子オブジェクト閉じ込め装置によって閉じ込められた原子オブジェクトの様々な他の用途、量子ドットのリソグラフィ的に規定されたアレイ、ならびに／または特定の場所への光信号の正確な送達、および／もしくは特

定の場所において放出された信号の捕捉を必要とする他の用途に関連する。

【0006】

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置は、その上に配置／形成されたおよび／またはそれに対して結合／固定された1つまたは複数のメタマテリアル構造を有する。様々な実施形態において、メタマテリアル構造のうちの少なくともいくつかは、メタマテリアル構造上に入射する操作信号が、対応する原子オブジェクト位置および／またはその一部にそれぞれの作用信号を放出するようにメタマテリアル構造を誘導するように構成される。様々な実施形態において、メタマテリアル構造のうちの少なくともいくつかは、対応する原子オブジェクト位置において原子オブジェクトによって放射される放射信号が、収集信号を捕捉、検出、測定などを行うように構成された収集光学系に向けて収集信号を放射するようにメタマテリアル構造を誘導するように構成される。

10

【0007】

本開示の態様によれば、システムが提供される。例示的な実施形態において、システムは、1つまたは複数の原子オブジェクトを閉じ込めるように構成された閉じ込め電位を生成するように構成された複数の電極を備える原子オブジェクト閉じ込め装置であって、閉じ込め電位が複数の原子オブジェクト位置を規定する、原子オブジェクト閉じ込め装置と、1つまたは複数の信号操作要素とを備える。1つまたは複数の信号操作要素の各信号操作要素は、(a) 複数の原子オブジェクト位置のそれぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられ、(b) 収集アレイまたは作用アレイのうちの1つである。収集アレイは、収集アレイ上に入射する原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号に応答し、誘導された収集信号をそれぞれの収集位置に提供するように構成され、作用アレイは、作用アレイ上に入射する操作ソースによって生成された到来信号に応答し、誘導された作用信号をそれぞれの原子オブジェクト位置に提供するように構成される。

20

【0008】

例示的な実施形態において、複数の原子オブジェクト位置は、2次元レイアウトにおいて配置される。

【0009】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素の各々は、メタマテリアルアレイを備える。

30

【0010】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素は、(a) メタマテリアルアレイまたは(b) 回折光学素子(DOE(diffractive optical element))のうちの少なくとも1つを備える。

【0011】

例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置は、表面イオントラップである。

【0012】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素は、それぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられた少なくとも1つの収集アレイと1つまたは複数の作用アレイとを備える。

40

【0013】

例示的な実施形態において、作用アレイは、原子オブジェクトの光イオン化、原子オブジェクトの状態準備、原子オブジェクトの量子状態を読み取ること、原子オブジェクトもしくは原子オブジェクトを備える原子オブジェクト結晶を冷却すること、原子オブジェクトを棚上げすること、原子オブジェクトを再ポンピングすること、原子オブジェクトに対して単一の量子ビットゲートを実行すること、および原子オブジェクトを含む原子オブジェクトのセットに対して複数の量子ビットゲートを実行することからなるグループから選択された量子コンピュータ機能を実行する際に使用するように構成される。

【0014】

50

例示的な実施形態において、作用アレイの1つまたは複数のメタマテリアル構造は、量子コンピュータ機能を実行する際に使用される波長の作用ビームを誘導するために波長調整される。

【0015】

例示的な実施形態において、複数のメタマテリアル構造のうちの1つまたは複数のメタマテリアル構造は、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面から0.5 nmから1 μmの範囲の距離で延在する柱である。

【0016】

例示的な実施形態において、複数のメタマテリアル構造の各メタマテリアル構造は、メタ表面を形成する。

【0017】

例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面は、平面を規定し、1つまたは複数の信号操作要素は、表面上に配置され、作用アレイは、平面に対して横方向に伝播する到来信号を受信するように構成される。

【0018】

例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面は、平面を規定し、収集位置は、平面の外側に位置する。

【0019】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素は、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に形成されたメタ表面レンズである。

【0020】

例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置の基板の少なくとも1つまたは複数の部分は、入力信号の波長を有する光、または放射信号の波長を有する光のうちの少なくとも1つに対して透明である。

【0021】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素は、第2の基板上に配置され、第2の基板は、1つまたは複数の信号操作要素のうちの少なくとも1つを含む第2の基板の表面が、原子オブジェクト閉じ込め装置の複数の電極が上に配置された第1の基板の表面と対向するように配置される。

【0022】

例示的な実施形態において、システムは、複数の電極および少なくとも1つの操作ソースの動作を制御するように構成されたコントローラをさらに備える。

【0023】

例示的な実施形態において、コントローラは、収集位置に入射する収集信号を示す信号を受信するようにさらに構成される。

【0024】

例示的な実施形態において、システムは、量子コンピュータの一部であり、コントローラは、量子コンピュータに量子回路の少なくとも一部を実行させるように複数の電極および少なくとも1つの操作ソースの動作を制御するように構成され、1つまたは複数の原子オブジェクトは、量子コンピュータの量子ビットとして使用される。

【0025】

例示的な実施形態において、システムは、操作ソースから作用アレイへの光路を規定するように構成された1つまたは複数の光学要素をさらに備える。

【0026】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の光学要素は、二重層メタ表面ビームスプリッタ、フォトニック集積回路チップおよび1つもしくは複数のバルク光学構成要素、または統合されたメタ表面を有するフォトニック集積回路チップのうちの少なくとも1つを備える。

【0027】

例示的な実施形態において、システムは、それぞれの原子オブジェクト位置に対応する

10

20

30

40

50

収集位置に位置する収集光学系と、収集光学系に光学的に結合された1つまたは複数の光検出器とをさらに備え、1つまたは複数の光検出器は、収集光学系上に入射する収集信号を示す信号を生成するように構成される。

【0028】

例示的な実施形態において、複数の作用アレイは、それぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられ、複数の作用アレイのうちの第1の作用アレイは、その上に入射する作用信号に応答して第1の誘導作用信号を提供するように構成され、複数の作用アレイのうちの第2の作用アレイは、その上に入射する作用信号に応答して第2の誘導作用信号を提供するように構成され、第1の誘導作用信号および第2の誘導作用信号は、それぞれの原子オブジェクト位置におけるビーム幅、またはそれぞれの原子オブジェクト位置を通る伝播経路のうちの少なくとも1つにおいて異なる。

10

【0029】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素は、少なくとも1つの信号操作要素を備える整列配置を備える。

【0030】

このようにして本発明について一般的な用語において説明したが、ここで、必ずしも縮尺通りに描かれていない添付図面を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】例示的な実施形態による、その表面上にメタマテリアル構造を備える原子オブジェクト閉じ込め装置を備える例示的な量子コンピューティングシステムを示す概略図である。

20

【図2】例示的な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面の一部の概略図である。

【図3】例示的な実施形態による、図2に示す原子オブジェクト閉じ込め装置の表面の拡大された部分の概略図である。

【図4A】例示的な実施形態による、その表面上にアレイメタマテリアル構造から形成された作用アレイを備える原子オブジェクト閉じ込め装置の部分断面図である。

【図4B】例示的な実施形態による、その表面上にメタマテリアル構造のアレイから形成された収集アレイを備える原子オブジェクト閉じ込め装置の部分断面図である。

30

【図4C】例示的な実施形態による、メタマテリアル構造のアレイの部分的な斜視図である。

【図5】例示的な実施形態による、その表面上に信号操作要素の配置を備える原子オブジェクト閉じ込め装置の表面の一部の概略図である。

【図6】例示的な実施形態による、その表面上にメタマテリアルアレイの別の配置を備える原子オブジェクト閉じ込め装置の表面の一部の概略図である。

【図7A】様々な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置の周りに少なくとも部分的に配置されたハウジングに入る信号を示す概略図である。

【図7B】様々な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置の周りに少なくとも部分的に配置されたハウジングから出る信号を示す概略図である。

40

【図8】例示的な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上の信号操作要素を備える半透明基板送達配置の概略図である。

【図9】例示的な実施形態による、信号操作要素を備える第2の基板が原子オブジェクト閉じ込め装置に対して固定された関係において取り付けられた、フリップチップ信号送達配置の概略図である。

【図10A】様々な実施形態による、それぞれの信号操作要素上に入射する作用信号によって誘導されるそれぞれの作用信号のビームプロファイルを示す概略図である。

【図10B】様々な実施形態による、それぞれの信号操作要素上に入射する作用信号によって誘導されるそれぞれの作用信号のビームプロファイルを示す概略図である。

【図10C】様々な実施形態による、それぞれの信号操作要素上に入射する作用信号によ

50

って誘導されるそれぞれの作用信号のビームプロファイルを示す概略図である。

【図 1 1】例示的な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上のメタマテリアル構造に操作信号を提供するおよび／またはそこから収集信号を受信するように構成された光学アセンブリの部分断面図である。

【図 1 2】例示的な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上のメタマテリアル構造に操作信号を提供するおよび／またはそこから収集信号を受信するように構成された光学構成の部分断面図である。

【図 1 3】例示的な実施形態による、操作信号を原子オブジェクト位置に送達するために構成された例示的な二重層メタマテリアルアレイビームスプリッタを示す図である。

【図 1 4 A】例示的な実施形態による、操作信号を原子オブジェクト位置に送達するために構成された例示的なフォトニック集積回路 (PIC (photonic integrated circuit)) の正面図である。

【図 1 4 B】例示的な実施形態による、操作信号を原子オブジェクト位置に送達するために構成された例示的な PIC および対応するバルク光学系の側面図である。

【図 1 4 C】例示的な実施形態による、統合されたメタマテリアルアレイを有し、操作信号を原子オブジェクト位置に送達するために構成された例示的な PIC の側面図である。

【図 1 5 A】様々な実施形態による、それぞれの整列動作において使用するために構成された信号操作要素の整列配置の例示的な部分を示す図である。

【図 1 5 B】様々な実施形態による、それぞれの整列動作において使用するために構成された信号操作要素の整列配置の例示的な部分を示す図である。

【図 1 6】様々な実施形態による、1 つもしくは複数の決定論的再形成および／または最順序付け機能を実行するように構成された量子コンピュータの例示的なコントローラの概略図である。

【図 1 7】例示的な実施形態に従って使用され得る量子コンピュータシステムの例示的なコンピューティングエンティティの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

本発明について、本発明のすべてではないがいくつかの実施形態が示されている添付図面を参照して以下により完全に説明する。実際、本発明は、多くの異なる形態において具体化され得、本明細書に記載の実施形態に限定されるものと解釈されるべきではなく、むしろ、これらの実施形態は、本開示が適用可能な法的要件を満たすように提供されている。「または」(「／」とも表記される)という用語は、特に明記しない限り、代替的な意味と接続的な意味の両方において使用される。「説明的」および「例示的」という用語は、品質レベルを示すものではない例として使用される。「一般的に」、「実質的に」、および「ほぼ」という用語は、特に明記しない限り、工学的公差および／もしくは製造公差内、ならびに／またはユーザ測定能力内を指す。同様の番号は、全体を通して同様の要素を指す。

【0033】

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置内の原子オブジェクト位置に操作信号を提供するための、ならびに／または原子オブジェクト閉じ込め装置によって閉じ込められた原子オブジェクトによって放射された放射信号を収集、捕捉、検出、および／もしくは測定するための方法、装置、システム、コンピュータプログラム製品など。たとえば、様々な実施形態は、原子オブジェクト閉じ込め装置に関連付けられ、および／またはそれを備え、1 つもしくは複数の信号操作要素を備える信号管理システムを提供する。様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置によって規定された原子オブジェクト位置に操作信号を提供し、ならびに／または原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号を収集、捕捉、検出、および／もしくは測定するために、1 つまたは複数の信号操作要素が使用される。

【0034】

様々な実施形態において、原子オブジェクトは、原子および／またはイオンである。原子オブジェクトは、2つ以上の原子オブジェクトを備える原子オブジェクト結晶の量子ビット原子オブジェクトであり得、例示的な実施形態において、原子オブジェクト結晶の2つ以上の原子オブジェクトは、少なくとも2つの異なる原子番号の原子オブジェクトを含む。例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置は、イオントラップ（たとえば、表面イオントラップ、パウルトラップなど）である。

【0035】

様々な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素は、信号操作要素がそれぞれの原子オブジェクト位置とそれぞれの操作ソースおよび／または光検出器との間のそれぞれの光路の少なくとも一部を形成するように、原子オブジェクト閉じ込め装置に対して配置および／または取り付けられる。

【0036】

様々な実施形態において、信号管理システムの信号操作要素の少なくとも1つは、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に、および／または少なくとも部分的に、原子オブジェクト閉じ込め装置が形成された第1の基板内に配置される。たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置は、様々な実施形態において、第1の基板上に形成され、少なくとも1つの信号操作要素は、第1の基板の表面上に形成および／または配置される。理解されるべきであるように、第1の基板は、原子オブジェクト閉じ込め装置の機能の動作の様々な要素／構成要素を制御するように構成された回路の複数の層を備え得る。例示的な実施形態において、信号操作要素の少なくとも1つは、原子オブジェクト閉じ込め装置の一部であり、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面に対して後退および／または凹んでいる。たとえば、少なくとも1つの信号操作要素は、第1の基板内にある、および／または原子オブジェクト閉じ込め装置の平面によって規定された表面上に直接ではなく製造された層において位置し得る。たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面内において、少なくとも1つの信号操作要素が埋め込まれる穴または開口部が存在し得る。例示的な実施形態において、透明層が、穴または開口部内の少なくとも1つの信号操作要素を囲む。様々な実施形態は、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上におよび／または原子オブジェクト閉じ込め装置を備える基板の一部として形成および／または配置された1つまたは複数の信号操作要素を有する原子オブジェクト閉じ込め装置を提供する。

【0037】

例示的な実施形態は、操作信号が第2の基板のそれぞれの信号操作要素を介して原子オブジェクト位置に提供され得るように、原子オブジェクト閉じ込め装置に対して固定された関係において取り付けられた、その上および／またはその中に形成および／または配置された1つまたは複数の信号操作要素を有する第2の基板を提供する。

【0038】

様々な実施形態において、各信号操作要素は、QCCDベースの量子コンピュータの1つまたは複数の機能（光イオン化、状態準備、量子ビット検出および／もしくは読み取り、冷却、棚上げ、再ポンピング、単一の量子ビットゲート、または2量子ビットゲート）を実行する際に使用するために形成および／または構成される。たとえば、様々な実施形態において、信号管理要素は、複数のメタマテリアル構造を備えるメタマテリアルアレイである。様々な実施形態において、複数のメタマテリアル構造の各々は、正のメタマテリアル構造（たとえば、柱、列、円柱など）である。様々な実施形態において、複数のメタマテリアル構造の各々は、負のメタマテリアル構造（たとえば、穴、ピット、ポケット、気泡など）である。様々な実施形態において、メタマテリアルアレイは、正および負のメタマテリアル構造の組合せを備え得る。様々な実施形態において、メタマテリアルアレイのうちのいくつかは、正のメタマテリアル構造からなるおよび／またはそれを備え、他のメタマテリアルアレイは、負のメタマテリアル構造からなるおよび／またはそれを備える。

【0039】

様々な実施形態において、各信号操作要素は、それぞれの特定の波長範囲の入射信号（たとえば、到来する操作信号および／または放射信号）に対して共振応答を提供するように構成される。たとえば、それぞれの特定の波長範囲内の波長によって特徴付けられる入射信号（および／またはその一部）に対して、信号操作要素は、入射信号が信号操作要素上に入射した結果として、（たとえば、方向、焦点、ビームプロファイル、偏光などに関して制御された）制御された誘導信号を放射するように誘導される。しかしながら、それぞれの特定の波長範囲外の１つまたは複数の波長によって特徴付けられる入射信号（および／または入射信号の一部）の場合、結果として生じる信号は、それに適用される均一な位相遅延を有するが、制御された誘導信号の集束、偏光制御、ビームプロファイル制御などを経験しない。言い換えれば、信号操作要素は、様々な実施形態において、色彩フィルタとして使用され得る。たとえば、様々な波長の１つもしくは複数の信号、および／または様々な波長を含む信号が、信号操作要素上に入射させられ得る。信号操作要素（たとえば、それぞれの特定の波長に対して共振応答を有するように構成されたメタマテリアルアレイ）によって実行される色彩フィルタリングは、制御された誘導信号に、信号操作要素が使用するように構成されたそれぞれの特定の波長および／またはそれぞれの特定の波長範囲の波長のみを含むようにさせる。たとえば、信号操作要素上に入射する到来操作信号は、到来操作信号がそれぞれの特定の波長範囲内の波長によって特徴付けられる場合にのみ、対応する原子オブジェクト位置に集束される。

10

【0040】

様々な実施形態において、信号操作要素は、その上に入射する２つ以上の操作信号を有し、それに応答してそれぞれの作用信号を放射するように誘導されるように構成される。たとえば、信号操作要素は、第１の波長および第１の偏光の第１の操作信号がその上に入射することに応答して、第１の波長に対応する波長と、第１の偏光に対応する偏光とを有し、対応する原子オブジェクト位置の第１の部分に向けられた第１の作用信号を放射するように誘導されるように構成され得る。同じ信号操作要素は、例示的な実施形態において、第２の波長および第２の偏光の第２の操作信号がその上に入射することに応答して、第２の波長に対応する波長と、第２の偏光に対応する偏光とを有し、対応する原子オブジェクト位置の第２の部分に向けられた第２の作用信号を放射するように誘導されるように構成される。様々な実施形態において、第１の波長および第２の波長は、実質的に同じであり、第１の偏光および第２の偏光は、異なる。例示的な実施形態において、第１の波長および第２の波長は、異なり、第１の偏光および第２の偏光は、実質的に同じである。例示的な実施形態において、第１の波長および第２の波長は、異なり、第１の偏光および第２の偏光は、異なる。原子オブジェクト位置の第１の部分および原子オブジェクト位置の第２の部分は、用途に応じて、重複しても重複しなくてもよい。様々な実施形態において、第１の操作信号および第２の操作信号は、少なくとも部分的に同時に提供され得る。たとえば、第１の操作信号および第２の操作信号は、第１の操作信号および／または第２の操作信号が信号操作要素上に入射する時間の少なくとも一部の間、信号操作要素上に同時に入射し得る。例示的な実施形態において、第１の操作信号および第２の操作信号は、別々に提供される（たとえば、時間的に重複しない）。

20

30

【0041】

様々な実施形態において、信号操作要素は、対応する波長範囲内の到来操作信号および／または放射信号がその上に入射することに応答して、作用信号および／または収集信号を放射するように誘導されるように構成される。たとえば、量子コンピュータの各機能は、１つまたは複数の波長に関連付けられ得る。したがって、それぞれの信号操作要素は、量子コンピュータの１つまたは複数の機能に対応し得、量子コンピュータの１つまたは複数の機能は、それぞれの信号操作要素の複数のメタマテリアル構造が動作するように構成された波長範囲内の波長に対応する。

40

【0042】

様々な実施形態において、各信号操作要素は、原子オブジェクト閉じ込め装置によって提示された対応する原子オブジェクト位置に関連付けられる。様々な実施形態において、

50

原子オブジェクト閉じ込め装置によって規定された1つまたは複数の原子オブジェクト位置は、複数の信号操作要素を備える信号操作要素の配置に関連付けられる。様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置に関連付けられた信号操作要素の配置の各信号操作要素は、量子コンピュータの1つまたは複数の機能（たとえば、光イオン化、状態準備、量子ビット検出および／または読み取り、冷却、棚上げ、再ポンピング、単一の量子ビットゲート、2量子ビットゲート、放射信号検出など）を実行する際に使用するために構成される。たとえば、量子コンピュータの様々な機能の実行は、操作信号の使用および／または様々な波長の放射信号の検出を含み得る。信号操作要素の配置の特定の信号操作要素が、関連する原子オブジェクト位置において量子コンピュータの1つまたは複数の対応する機能を実行するときに使用するように構成されるように、様々な信号操作要素が、異なる波長において使用するように構成される。

10

【0043】

従来、レーザビームがイオントラップ内のイオン上に入射するように、イオントラップの平面に対して平行にレーザビームを送信することによって、レーザビームがイオントラップ内の位置に提供される。しかしながら、2次元である、および／またはより大きい次元を有する原子オブジェクト閉じ込め装置について、イオントラップのエッジを切り取ることなくイオントラップ内のイオンにレーザビームを集束させることは、困難である。したがって、原子オブジェクト閉じ込め装置のサイズおよび／または次元に比例して変化することができる操作信号を原子オブジェクト閉じ込め装置にどのように提供するかに関して、技術的課題が存在する。たとえば、図2に示すような原子オブジェクト閉じ込め装置の原子オブジェクト位置に操作信号をどのように提供するかに関して、技術的課題が存在する。

20

【0044】

様々な実施形態は、これらの技術的課題に対する技術的解決策を提供する。特に、様々な実施形態において、操作信号は、原子オブジェクト閉じ込め装置の平面に対して横方向に（たとえば、ほぼ垂直に、約45度の角度で、など）送信される。たとえば、操作信号は、操作信号が信号操作要素上に入射し、対応する原子オブジェクト位置に向けられる作用信号を放射するように信号操作要素を誘導するように送信される。言い換えれば、様々な実施形態の信号管理システムは、操作信号が原子オブジェクト閉じ込め装置の平面に対して横方向に提供されることを可能にするために信号操作要素を使用する。したがって、様々な実施形態は、操作信号が2次元トラップに効果的に提供され得るように、操作信号が原子オブジェクト閉じ込め装置平面に対して平行に送信されないように、原子オブジェクト閉じ込め装置に操作信号をどのように提供するかに関する技術的課題に対する技術的解決策を提供する。

30

【0045】

それに加えて、原子オブジェクトの量子状態を検出することも、大きいおよび／または2次元の原子オブジェクト閉じ込め装置内の原子オブジェクトによって放射される信号を収集および／または検出するために光学系に必要とされる大きい視野のために、課題を提示する。様々な実施形態は、原子オブジェクトによって放射された信号がより効率的に捕捉、検出、および／または測定されるように、放射信号を収集および／または配向する際に支援することによって、これらの技術的課題に対する技術的解決策を提供する。たとえば、信号管理システムの信号操作要素の1つまたは複数の収集アレイは、原子オブジェクトによって放射された放射信号が収集アレイ上に入射することに応答して検出ビームが放射されるように誘導するように、配置および／または構成され得る。様々な実施形態において、検出ビームは、検出ビームが（たとえば、収集光学系などを介して）補足され、（たとえば、光ファイバケーブル、導波路などを介して）光検出器（たとえば、フォトダイオード、光電子増倍管、電荷結合素子（CCD）センサ、相補型金属酸化物半導体（CMOS）センサ、および／または他の光検出器）に提供され得るように、既知の方向において放射される。したがって、様々な実施形態は、大きいおよび／または2次元原子オブジェクト閉じ込め装置によって閉じ込められた原子オブジェクトの量子状態を決定するとい

40

50

う大視野の技術的課題に対する解決策を提供する。

【0046】

原子オブジェクト閉じ込め装置を備える例示的な量子コンピューティングシステム

図1は、例示的な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置300（たとえば、イオントリップなど）を備える例示的な量子コンピューティングシステム100の概略図を提供する。図4A、図4B、図5、図6、および図14に示すように、様々な実施形態において、複数の信号操作要素が、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に形成および／または配置される。様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に形成および／または配置された信号操作要素の少なくとも一部は、到来信号がその上に入射することに対応して、それぞれの原子オブジェクト位置に向けておよび／または集束させて作用信号を放射するように誘導されるように構成される。到来信号は、量子コンピュータ110の操作ソース60によって生成された操作信号の少なくとも一部である。様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に形成および／または配置された少なくとも1つの信号操作要素は、それぞれの原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号に対応して、それぞれの原子オブジェクト位置に対応する（たとえば、対応する収集光学要素が配置された）収集位置に向けておよび／または集束させて収集信号を放射するように誘導されるように構成される。

10

【0047】

様々な実施形態において、量子コンピューティングシステム100は、コンピューティングエンティティ10と量子コンピュータ110とを備える。様々な実施形態において、量子コンピュータ110は、コントローラ30と、閉じ込め装置300（たとえば、イオントラップ）を囲むクライオスタットおよび／または真空チャンバ40と、1つまたは複数の操作ソース60とを備える。たとえば、クライオスタットおよび／または真空チャンバ40は、圧力制御されたチャンバであり得る。例示的な実施形態において、操作ソース60によって生成された操作信号は、対応する光路66（たとえば、66A、66B、66C）を介して（原子オブジェクト閉じ込め装置30が位置する）クライオスタットおよび／または真空チャンバ40の内部に提供される。様々な実施形態において、光路66は、少なくとも部分的に、信号管理システムの1つまたは複数の構成要素および／または要素によって規定される。たとえば、光路66の少なくとも1つは、信号管理システムの信号操作要素を備え、および／またはそれによって部分的に規定される。

20

30

【0048】

例示的な実施形態において、1つまたは複数の操作ソース60は、1つまたは複数のレーザ（たとえば、光学レーザ、マイクロ波源など）を備え得る。様々な実施形態において、各操作ソースは、電磁スペクトルのマイクロ波、赤外線、可視、または紫外線部分におけるそれぞれの特徴的な波長を有する操作信号60を生成するように構成される。様々な実施形態において、1つまたは複数の操作ソース60は、閉じ込め装置内の1つまたは複数の原子オブジェクトの制御された量子状態発展を操作および／または引き起こすように構成される。たとえば、1つまたは複数の操作ソース60が1つまたは複数のレーザを備える例示的な実施形態において、レーザは、クライオスタットおよび／または真空チャンバ40内の閉じ込め装置300によってトラップされた原子オブジェクトに1つまたは複数のレーザビームを提供し得る。

40

【0049】

たとえば、操作ソース60は、信号管理システムの適切な信号操作要素への到来信号として提供される操作信号を生成する。信号操作要素、たとえば、メタマテリアルアレイ上に入射する到来信号は、原子オブジェクト閉じ込め装置の対応する原子オブジェクト位置に向けられたおよび／または集束された作用信号を放射するようにメタマテリアルアレイの複数のメタマテリアル構造を誘導する。たとえば、操作ソース60は、原子オブジェクトが閉じ込められた原子オブジェクト量子コンピュータの量子ビットとして使用され得るように原子オブジェクトを量子ビット空間の状態に初期化するために使用され得る1つまたは複数のビームを生成すること、閉じ込められた原子オブジェクト量子コンピュータの

50

1つまたは複数の量子ビットに対して1つまたは複数のゲートを実行すること、閉じ込められた原子オブジェクト量子コンピュータの1つまたは複数の量子ビットの状態を読み取るおよび／または決定することなどを行うように構成され得る。

【0050】

様々な実施形態において、量子コンピュータ110は、（たとえば、読み取り手順中に）量子ビットによって生成された光子を収集および／または検出するように構成された光収集システム70を備える。光収集システム70は、1つまたは複数の光学要素（たとえば、レンズ、ミラー、導波路、光ファイバケーブルなど）と、1つまたは複数の光検出器とを備え得る。様々な実施形態において、光検出器は、量子コンピュータの量子ビットの予測蛍光波長の光に感受性のあるフォトダイオード、光電子増倍管、電荷結合デバイス（CCD）センサ、相補型金属酸化物半導体（CMOS）センサ、微小電気機械システム（MEMS）センサ、および／または他の光検出器であり得る。様々な実施形態において、検出器は、1つまたは複数のA/Dコンバータ1625（図16を参照）などを介してコントローラ30と電子通信し得る。たとえば、読み取られたおよび／またはその量子状態が決定された原子オブジェクトは、放射信号を放射し得、その少なくとも一部は、信号管理システムの収集アレイ上に入射する。収集アレイ上に入射する放射信号は、原子オブジェクト閉じ込め装置の収集光学系に向けられたおよび／または集束された検出信号を放射するように収集アレイの複数のメタマテリアル構造を誘導する。収集光学系は、収集信号を光検出器に提供するように構成される。

10

【0051】

様々な実施形態において、量子コンピュータ110は、1つまた複数の電圧源50を備える。たとえば、電圧源50は、複数の電圧ドライバおよび／もしくは電圧源、ならびに／または少なくとも1つのRFドライバおよび／もしくは電圧源を備え得る。電圧源50は、例示的な実施形態において、閉じ込め装置300の対応する電位生成要素（たとえば、電極）に電氣的に結合され得る。

20

【0052】

様々な実施形態において、コンピューティングエンティティ10は、ユーザが（たとえば、コンピューティングエンティティ10のユーザインターフェースを介して）量子コンピュータ110に入力を提供し、量子コンピュータ110からの出力を受信すること、見る、などを行うことを可能にするように構成される。コンピューティングエンティティ10は、1つもしくは複数の有線もしくはワイヤレスネットワーク20を介して、および／または直接有線および／もしくはワイヤレス通信を介して、量子コンピュータ110のコントローラ30と通信し得る。例示的な実施形態において、コンピューティングエンティティ10は、情報／データ、量子コンピューティングアルゴリズム、および／または回路などを、コントローラ30が理解および／または実装することができるコンピューティング言語、実行可能命令、コマンドセットなどに変換すること、構成すること、フォーマットすることなどを行い得る。

30

【0053】

様々な実施形態において、コントローラ30は、電圧源50、クライオスタットおよび／もしくは真空チャンバ40内の温度と圧力とを制御するクライオスタットシステムおよび／もしくは真空システム、操作ソース60、光収集システム70、および／もしくはクライオスタットおよび／もしくは真空チャンバ40内の様々な環境条件（たとえば、温度、圧力など）を制御する他のシステムを制御するように構成され、ならびに／または閉じ込め装置内の1つもしくは複数の原子オブジェクトの量子状態の制御された発展を操作および／もしくは引き起こすように構成される。たとえば、コントローラ30は、量子回路および／またはアルゴリズムを実行するために、閉じ込め装置内の1つまたは複数の原子オブジェクトの量子状態の制御された発展を引き起こし得る。たとえば、コントローラ30は、おそらくは量子回路および／またはアルゴリズムを実行することの一部として、コヒーレント棚上げを含む読み取り手順が実行されることを引き起こし得る。様々な実施形態において、閉じ込め装置内に閉じ込められた原子オブジェクトは、量子コンピュータ1

40

50

10の量子ビットとして使用される。

【0054】

例示的な原子オブジェクト閉じ込め装置

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置は、閉じ込め電位を生成するように構成された複数の電極を備える。たとえば、コントローラ30は、電極が閉じ込め電位を生成するように、原子オブジェクト閉じ込め装置の電極に電気信号を提供するように電圧源50を制御し得る。閉じ込め電位は、原子オブジェクト閉じ込め装置によって規定された閉じ込めボリューム内に複数の原子オブジェクトを閉じ込めるように構成される。たとえば、例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置は、表面イオントラップであり、閉じ込めボリュームは、表面イオントラップの表面に近接して位置するボリュームである。様々な実施形態において、電極および／または閉じ込め電位は、閉じ込めボリューム内の複数の原子オブジェクト位置を規定するように構成される。

10

【0055】

様々な実施形態において、原子オブジェクト位置は、1次元または2次元レイアウトにおいて配置される。たとえば、例示的な実施形態において、原子オブジェクト位置は、線形原子オブジェクト閉じ込め装置の軸に沿って配置される。別の例示的な実施形態において、原子オブジェクト位置は、2次元原子オブジェクト閉じ込め装置によって規定された2次元アレイまたはレイアウトにおいて配置される。例示的な線形原子オブジェクト閉じ込め装置は、2019年12月17日に出願された米国出願第16／717,602号によって記載されているが、他の様々な線形原子オブジェクト閉じ込め装置が、様々な実施形態において使用され得る。例示的な2次元原子オブジェクト閉じ込め装置は、2020年12月17日に出願された米国出願第63／199,279号によって記載されているが、他の様々な2次元原子オブジェクト閉じ込め装置が、様々な実施形態において使用され得る。

20

【0056】

様々な実施形態において、閉じ込め電位は、電圧源50によって電極に提供される電気信号に基づいて、時間とともに発展する。閉じ込め電位の発展は、1つまたは複数の原子オブジェクトをそれぞれの第1の原子オブジェクト位置からそれぞれの第2の原子オブジェクト位置に移動させるように構成され得る。図2および図3は、各々、間隔係数 α だけ離間した電極310の配列を備える例示的な2次元原子オブジェクト閉じ込め装置300の一部を示す。例示的な実施形態において、間隔係数 α は、500 μm と1000 μm との間の範囲内にある（たとえば、約750 μm ）。電極310の配列は、複数の原子オブジェクト位置305を規定する。様々な実施形態において、原子オブジェクト位置305は、原子オブジェクト経路320の一部に対応するボリュームであり、電極310は、量子コンピュータの機能の実行のために（たとえば、原子オブジェクト結晶の一部として）原子オブジェクト、および／もしくは（たとえば、2つ以上の量子ビットゲートを実行するための）原子オブジェクトのペアもしくはセットを維持するように、ならびに／または他の原子位置に位置する他の原子オブジェクトに対する量子コンピュータの機能の実行中に1つもしくは複数の原子オブジェクトを記憶するように、構成される。

30

【0057】

図示されている実施形態において、電極310の配列は、複数の島330と原子オブジェクト経路320とを規定する。様々な実施形態において、原子オブジェクトは、原子オブジェクト経路320に沿った様々な原子オブジェクト位置305の間を移動し得る。一般に、原子オブジェクトは、島330の上に位置しない。様々な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素（たとえば、作用アレイ）は、島330上に配置および／または形成され得る。様々な実施形態において、1つまたは複数の信号操作要素（たとえば、収集アレイ）は、原子オブジェクト経路320上に配置および／または形成され得る。

40

【0058】

様々な実施形態において、電圧源50は、閉じ込め電位が形成されるように、閉じ込め装置300の電位生成要素（たとえば、電極310）に電気信号を提供する。閉じ込め電

50

位の輪郭および時間発展に基づいて、1つまたは複数の原子オブジェクトは、それぞれの原子オブジェクト位置において閉じ込められること、原子オブジェクト位置間を移動させられること、などを行われる。原子オブジェクトが原子オブジェクト位置に位置するとき、1つまたは複数の機能（たとえば、量子コンピューティング機能）が原子オブジェクトに対して実行され得る。原子オブジェクトに対して実行され得る例示的な機能は、原子オブジェクトの光イオン化である。たとえば、原子オブジェクトを光イオン化するために、操作信号が原子オブジェクトに印加され得る。

【0059】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトの状態準備である。たとえば、特定の量子状態における原子オブジェクトを準備するために、1つまたは複数の操作信号が原子オブジェクトに印加され得る。たとえば、特定の量子状態は、原子オブジェクトが量子コンピュータの量子ビットとして使用され得るように、量子コンピュータによって使用される規定された量子ビット空間内の状態であり得る。

10

【0060】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトの量子状態を読み取ることである。たとえば、操作信号（たとえば、読み取り信号）が原子オブジェクトに印加され得る。原子オブジェクトの波動関数が量子ビット空間の第1の状態に崩壊すると、原子オブジェクトは、読み取り信号が印加されたことに応答して蛍光を発する。原子オブジェクトの波動関数が量子ビット空間の第2の状態に崩壊すると、原子オブジェクトは、読み取り信号が印加されたことに応答して蛍光を発しない。

20

【0061】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトまたは原子オブジェクトを備える原子オブジェクト結晶を冷却することである。原子オブジェクト結晶は、原子オブジェクトのペアまたはセットであり、原子オブジェクト結晶の原子オブジェクトのうちの1つは、量子コンピュータの量子ビットとして使用される量子ビット原子オブジェクトであり、原子オブジェクト結晶の1つまたは複数の他の原子オブジェクトは、量子ビット原子オブジェクトの共同冷却（sympathetic cooling）を実行するために使用される。たとえば、（量子ビット）原子オブジェクトを冷却させる（たとえば、（量子ビット）原子オブジェクトの振動および／または他の運動エネルギーを低減させる）ために、操作信号（たとえば、冷却信号または共同冷却信号）が原子オブジェクトまたは原子オブジェクト結晶に印加され得る。

30

【0062】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトを棚上げすることである。様々な実施形態において、量子ビット空間の第2の状態における原子オブジェクトは、読み取り機能の実行中に棚上げされ得る。たとえば、棚上げ動作は、読み取り動作が実行されている間、量子ビット空間の第2の状態にある原子オブジェクトの量子状態を量子ビット空間の外側の少なくともメタ安定状態に発展させることを含み得る。例示的な棚上げプロセスは、2021年2月25日に出願された米国出願第63／200,263号によって記載されているが、他の様々な棚上げプロセスが様々な実施形態において使用され得る。様々な実施形態において、原子オブジェクトの棚上げは、原子オブジェクトが量子ビット空間の第2の状態にあるときに、原子オブジェクトの量子状態を量子ビット空間の外側の少なくともメタ安定状態に発展させるために、1つまたは複数の操作信号を原子オブジェクトに印加することによって実行される。

40

【0063】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトの（光学的）再ポンピングである。様々な実施形態において、原子オブジェクトの再ポンピングは、原子オブジェクトの量子状態を励起状態に発展させるために、1つまたは複数の操作信号を原子オブジェクトに印加することを含む。

【0064】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトに対し

50

て単一の量子ビットゲートを実行することである。たとえば、原子オブジェクトに対して単一の量子ビット量子ゲートを実行するために、1つまたは複数の操作信号が原子オブジェクトに印加され得る。

【0065】

原子オブジェクトに対して実行され得る別の例示的な機能は、原子オブジェクトに対して2量子ビットゲートを実行することである。たとえば、原子オブジェクトおよび少なくとも1つの他の原子オブジェクトに対して2つ（または、3つ、4つ、もしくはそれよりも多く）の量子ビット量子ゲートを実行するために、1つまたは複数の操作信号が、原子オブジェクトを含む原子オブジェクトのペアまたはセットに印加され得る。

【0066】

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置300は、1つまたは複数の信号操作要素を備える。様々な実施形態において、操作信号は、操作信号が対応する信号操作要素上に入射するように、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面によって規定される平面に対して横方向に提供される。各信号操作要素は、到来操作信号が入射することに応答し、作用信号が信号操作要素に対応する原子オブジェクト閉じ込め装置300のそれぞれの原子オブジェクト位置に向けられるように放射される作用信号を誘導するように構成される。作用信号は、作用信号（および、場合によっては他の作用信号、磁場、などの印加）が対応する原子オブジェクト位置における原子オブジェクト（または原子オブジェクトのセット）上に入射することに応答して対応する機能を実行させるための（たとえば、適切な波長、偏光、振幅などを有する）適切な信号である。

【0067】

例示的な信号管理システム

様々な実施形態において、信号管理システムは、原子オブジェクト閉じ込め装置300によって規定されたそれぞれの原子オブジェクト位置へのおよび／またはそこからの信号の提供および／または収集を制御するように構成される。様々な実施形態において、信号管理システムは、それぞれの原子オブジェクト位置に信号を提供するため、および／またはそれぞれの原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射される信号を収集するために使用される光路を規定する。光路は、それぞれの信号操作要素を含む。様々な実施形態において、信号操作要素は、光路が原子オブジェクト閉じ込め装置の表面350に対して横方向になることを可能にするように構成される。

【0068】

原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350が1つまたは複数の信号操作要素を備える様々な実施形態が開示される。たとえば、様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350は、原子オブジェクト閉じ込め装置300によって規定された原子オブジェクト位置305ごとに信号操作要素の配置を備える。図8に示すように、原子オブジェクト閉じ込め装置300が形成された第1の基板810が、1つもしくは複数の波長において透明であり、ならびに／または到来信号62および／もしくは送出収集信号74が伝播し得る導波路および／もしくはビアを備える、様々な実施形態が開示される。様々な実施形態は、図9に示すように、第2の基板910が原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連付けて取り付けられおよび／または固定され、信号操作要素（および／または信号操作要素の配置）が第2の基板の表面上に形成および／または配置された、様々な実施形態が開示される。

【0069】

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置300は、1つまたは複数の信号操作要素を備える。様々な実施形態において、信号操作要素のうちの1つまたは複数の信号操作要素は、メタマテリアルアレイであり、各メタマテリアルアレイは、各々がそれぞれのメタマテリアル表面を規定するおよび／または備える複数のメタマテリアル構造を備える。メタマテリアル構造のアレイ（たとえば、複数のメタマテリアル構造のそれぞれのメタマテリアル表面を組み合わせることによって形成された複合表面）は、フォトニックメタ表面を形成および／または提供する。メタ表面アレイおよびフォトニックメタ表面という用語は

、本明細書では交換可能に使用される。フォトニックメタ表面は、反射光または透過光の振幅、位相、および／または偏光の局所制御を通じて実装されるコヒーレント干渉を通じて光を操作するように設計された工学的な表面である。この制御は、光散乱要素（たとえば、メタマテリアル構造）のアレイによって実装され、光散乱要素の各々は、光の波長またはそれ未満のスケールの間隔で、少なくとも1次元において光の波長またはそれ未満のスケールの寸法を有する。たとえば、本明細書で使用されるフォトニックメタ表面は、メタマテリアルアレイの複数のメタマテリアル構造によって形成された複合メタ表面を指す。メタマテリアルアレイのメタマテリアル構造は、その幾何学的形状、サイズ、配置、および向きが電磁波の位相、振幅、および偏光を制御する、ほぼ波長またはサブ波長（たとえば、ナノメートルスケール）の、（原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面の他の部分と比較して）高コントラストの構造である。電磁波のこの制御は、メタマテリアル構造を作るために使用されるバルク材料の結果ではなく、メタマテリアル構造のサイズおよび形状の結果である。

10

【0070】

様々な実施形態において、メタマテリアル構造は、Huygenのメタマテリアル構造である。たとえば、様々な実施形態において、メタマテリアル構造の各々の内部で、電気双極子および磁気双極子が誘導され、適切な電磁ビーム、信号、波などがメタマテリアル構造上に入射されると、各メタマテリアル構造にHuygenのウェーブレットのような電磁波を生成させる。磁気双極子および電気双極子の位相は、メタマテリアル構造によって放射される電磁波、放射線、ビーム、および／または信号の位相、方向、および／または偏光を決定する。様々な実施形態において、1つまたは複数のプラズモニックフォトニックメタ表面が使用される。たとえば、負のプラズモニックフォトニックメタ表面（たとえば、平坦な金属表面における穴）が、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350の金属表面および／またはその一部にエッチングされ得る。様々な実施形態において、1つまたは複数の電気共鳴または磁気共鳴を使用して幾何学的位相（たとえば、Pancharatnam-Berry（PB）位相）を変更するように構成された誘電体フォトニックメタ表面である1つまたは複数のフォトニックメタ表面が使用される。様々な実施形態において、共鳴なしに伝播位相を変更するように構成された誘電体フォトニックメタ表面（たとえば、切頭導波路）が使用される。様々な実施形態において、フォトニックメタ表面は、それぞれのフォトニックメタ表面の所望の位相および振幅応答を局所的に操作するために任意の順序の2つ以上の電気共鳴または磁気共鳴を使用する誘電体および／またはプラズモニックメタ表面である。様々なタイプのメタマテリアル表面を規定する他の様々なタイプのメタマテリアル構造が、様々な実施形態において使用される。

20

30

【0071】

フォトニックメタ表面は、たとえば、構成要素のメタマテリアル構造の表面において確立されている電気双極子および磁気双極子の位相により、特定のおよび／または指定された方向において、電磁波、放射線、ビーム、および／または信号を生成するように設計および／または構成され得る。様々な実施形態において、メタマテリアル構造は、複数のメタマテリアル構造によって形成されたメタマテリアルアレイが、到来信号がメタマテリアルアレイの少なくとも一部上に入射することに応答して原子オブジェクト閉じ込め装置のそれぞれの原子オブジェクト位置に作用信号を提供するように、および／または放射信号がメタマテリアルアレイの少なくとも一部上に入射することに応答して量子コンピュータの収集光学系に収集信号を提供するように構成されるように成形されたおよび／またはサイズが決められた正および／または負の構造を備える。

40

【0072】

本明細書の他の場所において説明するように、フォトニックメタ表面は、誘導された信号（たとえば、作用信号および／または収集信号）の偏光を制御すること、誘導された信号を集束および／またはコリメートすること、誘導された信号を色彩的にフィルタリングすること、誘導された信号の位相を制御することなどを行うために使用され得る。

【0073】

50

例示的な実施形態において、信号操作要素のうちの少なくとも1つは、D O EまたはD O Eのアセンブリである。一般に、D O Eは、光のそれぞれの特定の波長よりも大きいスケールにおける寸法を有する特性を有する光学素子である。たとえば、信号操作要素は、例示的な実施形態において、誘導された信号（たとえば、作用信号および／または収集信号）の偏光を制御すること、誘導された信号を集束および／またはコリメートすること、誘導された信号を色彩的にフィルタリングすること、誘導された信号の位相を制御することなどを行うように構成されたD O Eであり得る。例示的な実施形態において、信号操作要素は、メタマテリアルアレイ（たとえば、複数のメタマテリアル構造）とD O E構成要素の両方を備える。

【0074】

例示的な実施形態において、信号操作要素は、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面上に形成、堆積、および／または配置される。図4Aは、作用アレイ400が操作信号を原子オブジェクト位置305に印加するために使用される原子オブジェクト閉じ込め装置の部分断面図を示す。たとえば、コントローラ30は、操作信号を生成するために1つまたは複数の操作ソース60を制御する。操作信号は、到来信号62が作用アレイ400上に入射するように、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350によって規定された平面に対して横方向に伝播する到来信号62として、原子オブジェクト閉じ込め装置300に提供される。作用アレイ400上に入射する到来信号62は、それぞれの誘導された作用信号64を、対応する原子オブジェクト位置305に向けて放射させる。たとえば、誘導された作用信号64は、原子オブジェクト位置305に位置する原子オブジェクト5上に入射する。本明細書で使用される場合、作用アレイ400は、操作ソースによって生成された到来信号が作用アレイ上に入射することに応答して、誘導された作用信号をそれぞれの原子オブジェクト位置に提供するように構成された信号操作要素である。図示の実施形態において、作用アレイ400は、電極310および／または島330に対応する原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350の部分上に形成される。

【0075】

図4Bは、収集アレイ440がそれぞれの原子オブジェクト位置305における原子オブジェクト5によって生成された放射信号を収集するために使用される原子オブジェクト閉じ込め装置の部分断面図を示す。たとえば、量子ビット読み取り機能中、たとえば、原子オブジェクト位置305に位置する原子オブジェクト5は、放射信号72を放射させられ得る。放射信号72の少なくとも一部は、収集アレイ440上に入射する。収集アレイ440上に入射する放射信号72の少なくとも一部は、誘導された収集信号74を収集アレイ440から収集位置445に向けて放射させる。様々な実施形態において、収集光学系が、収集位置445に位置するおよび／または配置される。たとえば、図示の実施形態において、収集光学系は、収集信号74の少なくとも一部を収集ファイバ425に結合するように構成された収集レンズ420などの、1つまたは複数の光学素子を備える。

【0076】

本明細書で使用される場合、収集アレイ440は、対応する原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号が収集アレイ上に入射することに応答して、誘導された収集信号に対応する収集位置445に提供するように構成された信号操作要素である。様々な実施形態において、収集アレイ440は、（放射信号がその上に入射することに応答して）誘導された収集信号を提供するように構成され、誘導された収集信号には、それぞれの原子オブジェクト位置305に対応する収集光学系に向けてコリメートされること、そこに集束されることなどが行われる。

【0077】

様々な実施形態において、収集アレイ440は、原子オブジェクト経路320に対応する原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350の部分上に形成される。たとえば、図示の実施形態において、収集アレイ440は、一般に、対応する原子オブジェクト位置305と原子オブジェクト閉じ込め装置300との間に配置される。様々な実施形態において、収集アレイ440は、それぞれの原子オブジェクト位置305の周囲の大きい立体

10

20

30

40

50

角から放射された信号を収集するように構成される。たとえば、収集アレイ 440 は、約 2π ステラジアンおよび／または 2π ステラジアン近くに放射された放射信号を収集するおよび／またはその上に入射するように位置決めおよびサイズ決めされ得る。たとえば、原子オブジェクト位置 305 の観点から、収集アレイ 440 は、 π 、 1.25π 、 1.5π 、 1.75π 、および／または約 2π ステラジアンよりも多くの原子オブジェクト位置 305 の周囲の立体角を含み得る。

【0078】

図 4C は、作用アレイ 400 および／または収集アレイ 440 などの例示的な信号操作要素の一部を示す。例示的な信号操作要素は、複数のメタマテリアル構造 410 を備える。複数のメタマテリアル構造 410 の幾何学的形状、サイズ、配置、および／または向きは、対応する信号操作要素によって放射された誘導された作用信号および／または収集信号の位相、振幅、および偏光を制御する。様々な実施形態において、複数のメタマテリアル構造 410 の各メタマテリアル構造は、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 から 0.5 nm から $1\text{ }\mu\text{m}$ の範囲の距離で延在する柱である。たとえば、メタマテリアル構造は、ナノメートルスケールの構造である。様々な実施形態において、メタマテリアル構造は、サブ波長構造である。様々な実施形態において、サブ波長構造は、表面 350 から延出し、ならびに／または構造上に入射することが意図された到来信号および／もしくは放射信号の波長未満および／もしくは構造によって放射されることが意図された作用信号および／もしくは収集信号の波長未満の直径／辺長を有する構造である。様々な実施形態において、メタマテリアル構造は、導電性材料、半導体材料、および／または誘電体材料から形成または作製され得る。様々な実施形態において、メタマテリアル構造は、負の構造（たとえば、穴、くぼみなど）である。

【0079】

様々な実施形態において、到来信号または放射信号のエネルギーは、それぞれ、対応する誘導された作用信号または収集信号に効果的に転送される。たとえば、誘導された作用信号または収集信号は、それぞれ、対応する到来信号または放射信号としてそれぞれの作用アレイまたは収集アレイ上に入射するエネルギーおよび／またはエネルギーフラックスの約 90～99% を伝達する。様々な実施形態において、原子オブジェクト位置において 50～90 mW を提供する作用信号が、量子コンピュータのいくつかの機能（たとえば、例示的な実施形態において、2 量子ビットゲート）を実行するために使用される。エネルギーおよび／またはエネルギーフラックスを到来信号から作用信号に変換する際の信号操作要素の効率は、操作信号の光路内の信号操作要素の使用によるエネルギーフラックスにおける損失を考慮するために高出力の操作ソース 60 を必要とすることなく、比較的高いフラックスレベル（たとえば、約 100 mW）で量子コンピュータの機能の実行を可能にする。それに加えて、エネルギーおよび／またはエネルギーフラックスを放射信号から収集信号に変換する際の信号操作要素の効率は、（たとえば、量子ビット／原子オブジェクトの量子状態を決定するための読み取り機能において使用される）放射信号の効果的な検出を可能にする。

【0080】

様々な実施形態において、信号操作要素（たとえば、メタマテリアルアレイ）内のメタマテリアル構造の半径および／または高さ（正または負）ならびにメタマテリアル構造の間隔は、信号操作要素が到来信号のエネルギーおよび／もしくはエネルギーフラックスを作用信号に変換する効率ならびに／または放射信号を収集信号に変換する効率に影響を及ぼすおよび／またはそれを規定する。

【0081】

様々な実施形態において、（たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 に対して実質的に平行な平面における断面における）メタマテリアルアレイのメタマテリアル構造の形状は、メタマテリアルアレイによって放射される誘導された作用信号または収集信号の偏光に影響を及ぼすおよび／またはそれを規定する。

【0082】

様々な実施形態において、メタマテリアルアレイ内のメタマテリアル構造の間隔および／または高さは、メタマテリアルアレイによって放射される誘導された作用信号または収集信号が伝播する方向に影響を及ぼすおよび／またはそれを規定する。たとえば、作用アレイ 400 内のメタマテリアル構造の間隔および／または高さは、誘導された作用信号に対応する原子オブジェクト位置 305 に向けさせるおよび／または集束させるように構成され得る。たとえば、収集アレイ 440 内のメタマテリアル構造の間隔および／または高さは、誘導された収集信号に対応する検出位置 445 に向けさせるおよび／または集束させるように構成され得る。

【0083】

様々な実施形態において、信号操作要素は、集束可能なビームを生成するように配置および／または構成される。たとえば、作用アレイ 400 は、対応する原子オブジェクト位置 305 において集束する誘導された作用信号を放射するように構成され得る。たとえば、収集アレイ 440 は、対応する検出位置 445 において集束される誘導された収集信号を放射するように構成され得る。

【0084】

様々な実施形態において、信号操作要素（たとえば、作用アレイおよび／または収集アレイ）は、1つまたは複数の堆積および／またはエッチングステップを介して、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成される。たとえば、信号操作要素は、1つまたは少なくとも1つのフォトリソグラフィステップを使用して、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成され得る。例示的な実施形態において、信号操作要素は、深／極紫外線（D／EUV（deep／extreme ultraviolet））リソグラフィ、電子ビームリソグラフィ（EBL（electron beam lithography））、ナノプリントリソグラフィなどを使用して、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成される。

【0085】

例示的な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成および／または配置された信号操作要素は、5 μm から 200 μm の範囲内（たとえば、約 100 μm ）の直径を有する。例示的な実施形態において、信号操作要素は、直径において、信号操作要素が使用するように構成される特定の波長の少なくとも3倍である。例示的な実施形態において、到来信号は、約 32 μm の直径に集束されたビームである。たとえば、到来信号は、到来信号が信号操作要素と相互作用するとき、約 32 μm の直径を有し得る。たとえば、信号操作要素は、到来信号ビームの直径よりも大きい（たとえば、1 から 7 倍大きい）直径を有し得る。例示的な実施形態において、到来信号ビームは、到来信号が入射する信号操作要素の少なくとも1つの寸法よりも大きい直径を有する。様々な実施形態において、信号操作要素の金属材料構造の幾何学的形状は、それぞれ、作用信号および／または収集信号の生成を引き起こすために信号操作要素上に入射した到来信号および／または放射信号の入射角よりも、誘導された作用信号および／または収集信号の指向に対して大きい影響を有する。

【0086】

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の作用アレイ 400 および／または収集アレイ 440 は、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成および／または配置される。様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 の少なくとも一部は、図 4B に示すように、酸化物および／または電気絶縁層 360 を備える。様々な実施形態において、酸化物および／または電気絶縁層 360 は、たとえば、表面 350 上に形成および／または配置された信号操作要素（たとえば、メタマテリアルアレイ）のメタマテリアル構造を、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の電極 310 から電氣的に絶縁するように構成される。たとえば、酸化物および／または電気絶縁層 360 は、信号操作要素と原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の他の構成要素（たとえば、電極 310）との間に配置および／または位置決めされ得る。例示的な実施形態において、酸化膜（たとえば、インジウムスズ酸化物）が、誘電体信号操

10

20

30

40

50

作要素をコーティングするために使用される。たとえば、信号操作要素が形成および／または配置される表面 350 の部分は、酸化物および／または電気絶縁層 360 を備え得る。様々な実施形態において、酸化物および／または電気絶縁層 360 は、インジウムスズ酸化物または別の酸化物もしくは電気絶縁材料の薄層（たとえば、表面 350 によって規定される平面に対して実質的に垂直な方向において約 10 ～ 30 nm 厚または約 20 nm 厚）である。例示的な実施形態において、接地導体 365 は、メタマテリアル構造上の電荷の蓄積を防止するために、信号操作要素（たとえば、メタマテリアルアレイのメタマテリアル構造）と原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の接地との間の電氣的通信を可能にするように構成され得る。たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置 300、および原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成および／または配置されたメタマテリアルアレイのメタマテリアル構造は、例示的な実施形態において、共通の接地を有する。例示的な実施形態において、酸化物および／または電気絶縁層 360 は、接地導体 365 として機能する。例示的な実施形態において、信号操作要素は、原子オブジェクト閉じ込め装置（たとえば、第 1 の基板）の導電層と接触する。

10

【0087】

上記で説明したように、様々な実施形態において、複数の信号操作要素が、それぞれの原子オブジェクト位置に関連付けられるおよび／または対応する。たとえば、各信号操作要素は、量子コンピュータの 1 つまたは複数の機能を実行するように構成され得る。メタマテリアル構造は、特定の波長または特定の波長範囲の信号および／または電磁波とともに使用されるように構成されるので、様々な実施形態において、異なる波長信号を使用する量子コンピュータの機能は、異なる信号操作要素の使用を必要とする。

20

【0088】

図 5 は、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の対応する原子オブジェクト位置 305 のための信号操作要素の例示的な配置 500 を示す。信号操作要素の配置内の各信号操作要素は、共通の原子オブジェクト位置 305 に対応する。図 5 に示す実施形態は、対応する原子オブジェクト位置 305 に隣接する島 330 上に形成および／または配置された複数の作用アレイ 400（たとえば、510 A、510 B、520 A、520 B、530）を含む。図 5 に示す実施形態は、対応する原子オブジェクト位置 305 の下に延在する原子オブジェクト経路 320 上に形成および／または配置された収集アレイ 540 をさらに含む。たとえば、収集アレイ 540 は、対応する原子オブジェクト位置 305 と原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 との間に実質的に位置し得る。

30

【0089】

複数の作用アレイ 440 は、2 量子ビットゲートアレイ 510 A、510 B を含む。様々な実施形態において、2 量子ビットゲートアレイ 510 A、510 B は、量子コンピュータの 2 量子ビットゲート機能を実行するために使用されるように構成される。2 量子ビットゲートアレイ 510 A、510 B は、対応する原子オブジェクト位置 305 に位置する 2 つ以上の原子オブジェクトに対して 2 量子ビットゲートを実行するように構成された到来信号を受信し、対応する原子オブジェクト位置 305 に向けられたおよび／または集束された対応する誘導された作用信号を放射するように構成される。様々な実施形態において、第 1 の 2 量子ビットゲートアレイ 510 A は、第 1 の波長の到来信号をその上に入射させ、第 1 の波長に対応する（たとえば、例示的な実施形態において、第 1 の波長に実質的に等しい）誘導された作用信号を放射するように構成され、第 2 の 2 量子ビットゲートアレイ 510 B は、第 2 の波長の到来信号をその上に入射させ、第 2 の波長に対応する（たとえば、例示的な実施形態において、第 2 の波長に実質的に等しい）誘導された作用信号を放射するように構成される。例示的な実施形態において、第 1 および第 2 の波長は、互いに等しくない。例示的な実施形態において、第 1 および第 2 の波長は、互いに実質的に等しい。たとえば、例示的な実施形態において、第 1 および第 2 の波長は、15 GHz 未満（たとえば、約 12.64 GHz）だけ互いに分離された周波数に対応する。

40

【0090】

例示的な実施形態において、2 量子ビットゲートアレイ 510 A、510 B は、量子コ

50

ンピュータの棚上げ機能を実行するために使用されるようにさらに構成される。たとえば、例示的な実施形態において、2量子ビットゲートアレイ510A、510Bは、対応する原子オブジェクト位置305に位置する原子オブジェクトのための棚上げ機能を実行するように構成された到来信号を受信し、対応する原子オブジェクト位置305に向けられたおよび／または集束された対応する誘導された作用信号を放射するように構成される。

【0091】

複数の作用アレイ440は、冷却アレイ520A、520Bをさらに含む。様々な実施形態において、冷却アレイ520A、520Bは、対応する原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトまたは原子オブジェクト結晶（たとえば、原子オブジェクトのグループ）の冷却（たとえば、共同冷却）を実行するように構成された到来信号を受信するように構成される。冷却アレイ520A、520Bは、誘導された冷却信号が原子オブジェクト位置305に向けておよび／または集束させて放射されるように、冷却アレイ520A、520B上に入射する到来信号に対応する誘導された冷却信号を放射するようにさらに構成される。様々な実施形態において、第1の冷却アレイ520Aは、第3の波長の到来信号をその上に入射させ、第3の波長に対応する（たとえば、例示的な実施形態において、第3の波長に実質的に等しい）誘導された作用信号を放射するように構成され、第2の冷却アレイ520Bは、第4の波長の到来信号をその上に入射させ、第4の波長に対応する（たとえば、例示的な実施形態において、第4の波長に実質的に等しい）誘導された作用信号を放射するように構成される。例示的な実施形態において、第3および第4の波長は、互いに等しくない。たとえば、例示的な実施形態において、第3の波長は493nmであり、第4の波長は、650nmである。

【0092】

複数の作用アレイ440は、検出および／または単一量子ビットゲートアレイ530をさらに含む。様々な実施形態において、検出および／または単一量子ビットゲートアレイ530は、対応する原子オブジェクト位置305に位置する原子オブジェクトに対して単一量子ビットゲートを実行するように構成された到来信号を受信し、原子オブジェクト位置305に向かうおよび／または集束された入射到来信号に対応する誘導された作用信号を放射するように構成される。様々な実施形態において、検出および／または単一量子ビットゲートアレイ530は、対応する原子オブジェクト位置305に位置する原子オブジェクトに対して検出または読み取り機能（本明細書では読み取り機能と呼ばれる）を実行するように構成された到来信号を受信し、原子オブジェクト位置305に向かうおよび／または集束された入射到来信号に対応する誘導された作用信号を放射するように構成される。

【0093】

図示の実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置300は、原子オブジェクト位置305に対応する収集アレイ520をさらに備える。様々な実施形態において、収集アレイ520は、（たとえば、読み取り機能を実行するように構成された作用信号が原子オブジェクト上に入射することに応答して）原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号を受信するように構成される。収集アレイ540は、放射信号が収集アレイ上に入射することに応答して、誘導された収集信号を放射するようにさらに構成される。収集アレイ540は、原子オブジェクト位置305に対応する収集位置に向かうおよび／または集束する収集信号を放射するように構成される。

【0094】

図6は、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350上の信号操作要素の別の例示的な配置600を示す。配置600は、複数の作用アレイ620（たとえば、620A～H）と収集アレイ640とを備える。例示的な実施形態において、作用アレイ620の各々は、量子コンピュータの1つまたは複数の機能を実行するために使用するように構成される。たとえば、各作用アレイ620は、それぞれの機能に対応するそれぞれの特定の波長および／またはそれぞれの特定の波長範囲とともに使用するように構成され得る。たとえば、各作用アレイ620は、図10A、図10B、および図10Cに関してより詳細

に説明するように、特定の方法において集束される作用アレイを提供するように構成され得る。たとえば、作用アレイ 620 は、誘導された作用信号を、（全体の）それぞれの原子オブジェクト位置上および／またはそれぞれの原子オブジェクト位置の 1 つもしくは複数の部分上に集束させるように構成され得る。それぞれの作用アレイ 620 の特定の集束特性は、作用アレイ 620 が実行する際に使用するよう設計された対応する機能に少なくとも部分的に基づいて構成される。

【0095】

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 は、真空／極低温チャンバ、1 つまたは複数の放射線シールドなどの中に位置する。たとえば、図 7A および図 7B に示すように、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 は、なんらかのハウジング 705（たとえば、クライオスタットおよび／または真空チャンバ 40、放射線シールドなど）内に配置される。ハウジング 705 は、複数の窓、ポートなどを備える。たとえば、操作信号窓 715（たとえば、715A、715B）は、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面の平面に対して横方向に（たとえば、20 度と 70 度との間の範囲内の角度で）伝播する操作信号 62 がハウジング 705 に入ることを可能にするように構成される。例示的な実施形態において、操作信号は、操作信号が原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面の平面と 45 度の角度を形成するように提供される。他の実施形態において、操作信号の様々な他の仰角（たとえば、20 度から 70 度の範囲内）が使用され得る。

【0096】

様々な実施形態において、操作信号窓 715 および作用アレイ 620 は、作用信号が、それぞれの原子オブジェクト位置上に入射および／またはそれを通過した後に、反対の操作信号窓 715 を通ってハウジング 705 から出るように構成される。たとえば、例示的な実施形態において、第 1 の操作信号が、操作信号窓 715A を通ってハウジングに入り、作用アレイ 620B 上に入射し、結果として生じる作用信号が、それぞれの原子オブジェクト位置を通過し、反対の操作信号窓 715B を通ってハウジング 705 から出る。同様に、第 2 の操作信号が、操作信号窓 715B を通ってハウジングに入り、作用アレイ 620F 上に入射し、結果として生じる作用信号が、それぞれの原子オブジェクト位置を通過し、反対の操作信号窓 715A を通ってハウジング 705 から出る。したがって、作用信号がハウジング 705 から出ることを可能にしながら、ハウジング 705 における窓またはポートの数を減らすことができる。たとえば、作用信号がハウジングから出ることを可能にするという唯一の目的のために、窓がハウジングに追加される必要はない。そのような構成はまた、過剰な加熱を防止し、ならびに／またはそれぞれの原子オブジェクト位置 305 上に入射し、および／またはそれを通過した後にハウジング 705 内に残る作用信号によって引き起こされる原子オブジェクト読み取りにおけるノイズおよび作用クロストークを低減する。

【0097】

様々な実施形態において、ハウジング 705 は、1 つまたは複数の収集窓 720 をさらに備える。図 7B に示すように、原子オブジェクト位置 305 に位置する原子オブジェクト 5A によって放射された放射信号は、対応する収集アレイ 640 上に入射する。誘導された収集信号は、ハウジング 705 の収集窓 720 に向けられる。様々な実施形態において、収集窓 720 は、原子オブジェクト位置 305 に対応する収集光学系と位置合わせされる。たとえば、収集信号は、収集信号が対応する光検出器によって検出されるように、収集窓 720 を通過し、原子オブジェクト位置 305 に対応する収集光学系上に入射する。操作信号窓 715、作用アレイ 620、収集窓 720、および収集アレイ 640 の構成は、原子オブジェクト 5 によって生成される放射信号とは独立したプロセスを通じて生成される収集窓 720 から出る光の量を低減する。

【0098】

図 8 は、信号操作要素 815（たとえば、作用アレイ 815A、815B、および／または収集アレイ 815C）が原子オブジェクト閉じ込め装置 300 の表面 350 上に形成および／または配置された別の例示的な実施形態の原子オブジェクト閉じ込め装置 300

を示す。信号操作要素 8 1 5 は、透明な信号操作要素である。たとえば、信号操作要素 8 1 5 は、メタマテリアルアレイ（たとえば、特に配置された複数のメタマテリアル構造）によって形成されたレンズまたはレンズ状のフォトニックメタ表面であるメタ表面レンズである。図示の実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 は、第 1 の基板 8 1 0 上に形成される。第 1 の基板 8 1 0 は、様々な波長の光に対して透明であり、様々な波長は、量子コンピュータの 1 つもしくは複数の機能を実行するために使用され得る波長、および／または放射信号の波長を含む。たとえば、第 1 の基板 8 1 0 は、例示的な実施形態において、量子コンピュータによって使用されるそれぞれの操作信号を特徴付ける様々な波長の光に対して透明である。例示的な実施形態において、第 1 の基板 8 1 0 は、光が第 1 の基板 8 1 0 の第 2 の表面 3 5 5 から第 1 の基板 8 1 0 の第 1 の表面 3 5 0 まで第 1 の基板を通過することを可能にする導波路、ビアなどを備え、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0（たとえば、電極 3 1 0）は、原子オブジェクト閉じ込め装置の第 1 の表面 3 5 0 上に形成される。例示的な実施形態において、信号操作要素 8 1 5 は、第 1 の基板 8 1 0 の第 2 の表面 3 5 5 上、および／または第 1 の基板 8 1 0 内（たとえば、第 2 の表面 3 5 5 と第 1 の表面 3 5 0 との間）に形成される。

10

【0099】

たとえば、操作信号 6 2 は、第 1 の基板 8 1 0 の第 2 の表面 3 5 5 を介して原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 に提供される。操作信号 6 2 は、第 1 の基板 8 1 0 を通って第 2 の表面 3 5 5 から第 1 の表面 3 5 0 に（たとえば、第 1 の基板 8 1 0 のバルク材料、導波路、ビアなどを通して）伝播する。操作信号 6 2 は、作用アレイ 8 1 5 A 上に入射する。作用アレイ 8 1 5 A は、レンズとして機能し、その結果、作用信号 6 4 は、原子オブジェクト位置 3 0 5 に位置する原子オブジェクト 5 上に入射する。様々な実施形態において、作用アレイ 8 1 5 A は、作用信号 6 4 に、特定の偏光、位相、ビームプロファイル（たとえば、原子オブジェクト位置 3 0 5 におけるビームスポットサイズ、原子オブジェクト位置におけるビームにわたる強度プロファイルなど）を有するようにさせる。例示的な実施形態において、原子オブジェクト位置 3 0 5 に対応する第 2 の表面 3 5 5 の領域は、1 つまたは複数の操作信号によって照射され、作用アレイは、実行されるべき機能のための適切な方法において適切な作用アレイが原子オブジェクト位置 3 0 5 に提供されるように、色彩フィルタリングを実行する。

20

【0100】

たとえば、原子オブジェクト位置 3 0 5 に位置する原子オブジェクト 5 によって放射された放射信号 7 2 は、収集アレイ 8 1 5 C 上に入射する。収集アレイ 8 1 5 C は、レンズとして機能し、第 1 の基板 8 1 0 を介してその第 1 の表面 3 5 0 から第 2 の表面 3 5 5 に（たとえば、第 1 の基板 8 1 0 のバルク材料、導波路、ビアなどを介して）、集束および／またはコリメートされた収集信号 7 4 を提供する。収集光学系は、放射信号の検出を可能にするために収集信号 7 4 が原子オブジェクト位置 3 0 5 に対応する収集光学系上に入射するように、第 1 の基板 8 1 0 の第 2 の表面 3 5 5 の近くに配置され得る。

30

【0101】

図 9 は、その上および／またはその中に形成および／または配置された 1 つまたは複数の信号操作要素 9 1 5（たとえば、9 1 5 A、9 1 5 B、9 1 5 C）を有する第 2 の基板 9 1 0 が、操作信号が第 2 の基板 9 1 0 のそれぞれの信号操作要素 9 1 5 を介して原子オブジェクト位置 3 0 5 に提供され得るように、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 に対して固定された関係において取り付けられる別の構成を示す。たとえば、1 つまたは複数の作用アレイ 9 1 5 A、9 1 5 B が、例示的な実施形態において、第 2 の基板 9 1 0 の第 1 の表面 9 5 0 上に形成および／または配置される。たとえば、1 つまたは複数の収集アレイ 9 1 5 C が、例示的な実施形態において、第 2 の基板 9 1 0 の第 1 の表面 9 5 0 上に形成および／または配置される。例示的な実施形態において、1 つまたは複数の作用アレイ 9 1 5 A、9 1 5 B および／または収集アレイ 9 1 5 C は、第 2 の基板 9 1 0 内に埋め込まれるおよび／または形成される。信号操作要素 9 1 5 は、透明な信号操作要素である。例示的な実施形態において、信号操作要素 9 1 5 は、第 2 の基板 9 1 0 の第 2 の表面 9

40

50

5 5 上、および／または第 2 の基板 9 1 0 内（たとえば、第 2 の表面 9 5 5 と第 1 の表面 9 5 0 との間）に形成される。

【0 1 0 2】

様々な実施形態において、第 2 の基板 9 1 0 は、様々な波長の光に対して透明であり、様々な波長は、量子コンピュータの 1 つもしくは複数の機能を実行するために使用される波長、および／または放射信号の波長を含む。たとえば、第 2 の基板 9 1 0 は、例示的な実施形態において、量子コンピュータによって使用されるそれぞれの操作信号を特徴付ける様々な波長の光に対して透明である。例示的な実施形態において、第 2 の基板 9 1 0 は、光が第 2 の基板 9 1 0 の第 2 の表面 9 5 5 から第 2 の基板 9 1 0 の第 1 の表面 9 5 0 まで第 2 の基板を通過することを可能にする導波路、ビアなどを備え、第 2 の基板 9 1 0 の第 1 の表面 9 5 0 は、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 に面する。

10

【0 1 0 3】

たとえば、操作信号は、第 2 の基板 9 1 0 の第 2 の表面 9 5 5 を介して原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 に提供される。操作信号は、第 2 の基板 9 1 0 を通って、第 2 の表面 9 5 5 から第 2 の表面 9 5 0 に（たとえば、第 2 の基板 9 1 0 のバルク材料、導波路、ビアなどを通って）伝播する。操作信号は、それぞれの作用アレイ 9 1 5 A、9 1 5 B 上に入射する。たとえば、信号操作要素 9 1 5 は、メタマテリアルアレイ（たとえば、特に配置された複数のメタマテリアル構造）によって形成されたレンズまたはレンズ状のフォトリソグラフィメタ表面であるメタ表面レンズである。たとえば、作用アレイ 9 1 5 A、9 1 5 B は、レンズとして機能し、その結果、作用信号は、原子オブジェクト位置 3 0 5 に位置する原子オブジェクト 5 上に入射する。様々な実施形態において、作用アレイ 9 1 5 A、9 1 5 B は、それぞれの作用信号に、特定の偏光、位相、ビームプロファイル（たとえば、原子オブジェクト位置 3 0 5 におけるビームスポットサイズ、原子オブジェクト位置におけるビームにわたる強度プロファイルなど）などを有するようにさせる。作用信号が原子オブジェクト位置 3 0 5 上に入射および／またはそれを通過すると、作用信号は、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 の表面 3 5 0 で反射する。例示的な実施形態において、原子オブジェクト位置 3 0 5 に対応する第 2 の表面 9 5 5 の領域は、1 つまたは複数の操作信号によって照射され、作用アレイは、実行されるべき機能のための適切な方法において適切な作用アレイが原子オブジェクト位置 3 0 5 に提供されるように、色彩フィルタリングを実行する。

20

30

【0 1 0 4】

明確にするために図 9 には示されていないが、原子オブジェクト位置 3 0 5 に位置する原子オブジェクト 5 は、放射信号を放射し得る。放射信号は、収集アレイ 9 1 5 C 上に入射する。収集アレイ 9 1 5 C は、レンズとして機能し、第 2 の基板 9 1 0 を介してその第 1 の表面 9 5 0 から第 2 の表面 9 5 5 に（たとえば、第 2 の基板 9 1 0 のバルク材料、導波路、ビアなどを介して）、集束および／またはコリメートされた収集信号を提供する。収集光学系は、放射信号の検出を可能にするために収集信号が原子オブジェクト位置 3 0 5 に対応する収集光学系上に入射するように、第 2 の基板 9 1 0 の第 2 の表面 9 5 5 の近くに配置され得る。

【0 1 0 5】

40

例示的な実施形態において、作用アレイは、図 9 に示すように、第 2 の基板 9 1 0 上に配置および／または形成され、収集アレイは、図 8 に示すように、第 1 の基板 8 1 0 上（たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 の表面 3 5 0 上）に配置および／または形成される。例示的な実施形態において、作用アレイは、図 8 に示すように、第 1 の基板 8 1 0 上（たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 の表面 3 5 0 上）に配置および／または形成され、収集アレイは、図 9 に示すように、第 2 の基板 9 1 0 上に形成される。別の例示的な実施形態において、作用アレイのうちのいくつかは、第 1 の基板 8 1 0 上に配置および／または形成され、作用アレイのうちのいくつかは、第 2 の基板 9 1 0 上に配置および／または形成される。たとえば、第 1 の基板 8 1 0 は、第 1 の波長範囲の波長によって特徴付けられる光に対して透明であり得、第 2 の基板 9 1 0 は、第 2 の波長範

50

図の波長によって特徴付けられる光に対して透明であり得る。第1の波長範囲内の波長に対応する作用アレイ（および／または他の信号操作要素）が、第1の基板810上に形成および／または配置され得、第2の波長範囲内の波長に対応する作用アレイ（および／または他の信号操作要素）が、第2の基板910上に形成および／または配置され得る。

【0106】

様々な実施形態において、信号操作要素（たとえば、作用アレイ）は、作用信号を、（全体の）それぞれの原子オブジェクト位置上および／またはそれぞれの原子オブジェクト位置の1つもしくは複数の部分上に集束させるように構成される。たとえば、図10A、図10B、および図10Cは、原子オブジェクト位置305に位置する4つの原子オブジェクト5A、5B、5C、および5Dのグループを示す。たとえば、原子オブジェクトのグループは、例示的な実施形態において、4つのイオン結晶であり得る。図10A、図10B、および図10Cは、それぞれの信号操作要素による作用信号の例示的な集束を示す。様々な実施形態において、様々な信号操作要素が、図示の方法のうちの1つもしくは複数において、または他の方法において集束されたそれぞれの作用アレイを提供するように構成され得る。

10

【0107】

図10Aは、第1の信号操作要素1040A（たとえば、作用アレイ）上に入射する例示的な到来信号1062（たとえば、操作信号）を示す。誘導された第1の作用信号1064Aは、第1のビームプロファイル1068Aを有する。第1のビームプロファイル1068Aは、第1の信号操作要素1040Aを形成するメタマテリアル構造の幾何学的形状によって制御される。第1のビームプロファイル1068Aは、原子オブジェクト位置305全体が第1の作用信号1064Aによって照射されるように構成される。たとえば、第1のビームプロファイル1068Aは、第1の作用信号1064Aが、原子オブジェクト位置305に位置する原子オブジェクト5A、5B、5C、および5Dのすべての上に入射するように構成される。

20

【0108】

図10Bは、第2の信号操作要素1040B（たとえば、作用アレイ）上に入射する例示的な到来信号1062（たとえば、操作信号）を示す。誘導された第2の作用信号1064Bは、第2のビームプロファイル1068Bを有する。第2のビームプロファイル1068Bは、第2の信号操作要素1040Bを形成するメタマテリアル構造の幾何学的形状によって制御される。第2のビームプロファイル1068Bは、原子オブジェクト位置305に位置する1つの原子オブジェクト5Bのみが第2の作用信号1064Bによって照射されるように構成される。たとえば、第2のビームプロファイル1068Bは、第2の作用信号1064Bが原子オブジェクト位置305の（既知の）部分上にのみ入射するように構成される。これは、第2の作用信号1064Bが原子オブジェクト5Bのうちの1つのみの上に入射することを可能にする。

30

【0109】

図10Cは、第3の信号操作要素1040C（たとえば、作用アレイ）上に入射する例示的な到来信号1062（たとえば、操作信号）を示す。第3の信号操作要素1040Cは、2つの独立して集束された作用信号（たとえば、第3の作用信号1064Cおよび第4の作用信号1064D）を提供するように構成される。誘導された第3の作用信号1064Cは、第3のビームプロファイル1068Cを有する。誘導された第4の作用信号1064Dは、第4のビームプロファイル1068Dを有する。第3のビームプロファイル1068Cおよび第4のビームプロファイル1068Dは、第3の信号操作要素1040Cを形成するメタマテリアル構造の幾何学的形状によって制御される。第3のビームプロファイル1068Cは、原子オブジェクト位置305に位置する1つの原子オブジェクト5Bのみが第3の作用信号1064Cによって照射されるように構成される。たとえば、第3のビームプロファイル1068Cは、第3の作用信号1064Cが原子オブジェクト位置305の（既知の）部分上にのみ入射するように構成される。第4のビームプロファイル1068Dは、原子オブジェクト位置305に位置する1つの原子オブジェクト5C

40

50

のみが第4の作用信号1064Dによって照射されるように構成される。たとえば、第4のビームプロファイル1068Dは、第4の作用信号1064Dが原子オブジェクト位置305の（既知の）部分上にのみ入射するように構成される。これは、第3の作用信号1064Cが原子オブジェクト5Bのうちの1つのみの上に入射し、第4の作用信号1064Dが原子オブジェクト5Cのうちの1つのみの上に入射することを可能にする。例示的な実施形態において、第3および第4の作用信号1064C、1064Dは、異なる特性（たとえば、異なる強度、偏光、位相など）または同様の特性（たとえば、同様の強度、偏光、位相など）を有し得る。

【0110】

したがって、図10A、図10B、および図10Cによって示されているように、信号操作要素は、所望の特性を有し、対応する原子オブジェクト位置全体および／または原子オブジェクト位置の1つもしくは複数の部分の上に入射する誘導された作用信号を提供するように構成され得る。

【0111】

様々な実施形態において、信号管理システムは、第1の基板上（たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350上）および／または原子オブジェクト閉じ込め装置300に対して固定された位置において取り付けられた第2の基板上に形成された作用アレイに操作信号62が提供されることを可能にする光路を規定および／または提供する。

【0112】

様々な実施形態において、量子コンピュータ110の信号管理システムは、操作ソース60から（たとえば、原子オブジェクト閉じ込め装置の第1の基板または第2の基板上に形成および／または配置された）対応する信号操作要素までの光路66を規定するように構成された光学素子を備える。様々な実施形態において、量子コンピュータ110は、収集信号の測定、検出、捕捉などのために、対応する光検出器（たとえば、フォトダイオード、光電子増倍管、電荷結合デバイス（CCD）センサ、相補型金属酸化物半導体（CMOS）センサ、および／または他の光検出器）に収集信号を提供するように構成された収集光学系を備える。

【0113】

図11は、様々な実施形態による、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350上および／または第2の基板910上の信号操作要素に操作信号を提供するおよび／または信号操作要素から収集信号を受信するように構成された例示的な光学アセンブリ1100の概念図である。光学アセンブリ1100は、操作信号が原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連する適切な作用アレイに提供され得るように、操作ソース60によって生成された操作信号を提供するように構成された光ファイバである複数の到来ファイバ1115を備える。

【0114】

たとえば、到来ファイバ1115は、操作ソース60によって生成された操作信号を、操作信号を到来信号62として対応する作用アレイに集束させるように構成された到来レンズ1110（またはレンズアセンブリ）に送達する。例示的な実施形態において、到来レンズ1110は、操作信号が原子オブジェクト位置に関連する2つ以上の信号操作要素上に入射するように、操作信号を、それぞれの原子オブジェクト閉じ込め装置に対応する一般領域に集束させる。信号操作要素によって実行される色彩フィルタリングは、適切な作用信号を提供するように適切な信号操作要素を誘導させる。操作信号が入射する他の信号操作要素は、操作信号の波長に応答するように構成されていないので、対応する作用信号を提供しない。

【0115】

図示の光学アセンブリ1100は、収集位置445からの収集信号を対応する光検出器450に提供するように構成された光ファイバである少なくとも1つの収集ファイバ425をさらに備える。様々な実施形態において、対応する原子オブジェクト位置305に位

10

20

30

40

50

置する原子オブジェクトによって放射された放射信号 7 2 に対応する収集信号 7 4 が、放射信号 7 2 とそれぞれの収集アレイとの相互作用により収集レンズ 4 2 0 上に入射および／または集束されるように、収集レンズ 4 2 0（および／またはレンズアセンブリ）が収集位置 4 4 5 において配置される。集束レンズ 4 2 0 は、収集信号に対応する収集ファイバ 4 2 5 に向け、および／または集束させる。収集ファイバ 4 2 5 は、光検出器 4 5 0 が光収集信号を示す電気信号を生成し得るように、図 4 B に示すように、収集信号に対応する光検出器 4 5 0 に提供する。次いで、光収集信号を示す電気信号は、処理、分析、メモリへの記憶などのために、（たとえば、例示的な実施形態において、アナログーデジタル（A/D）コンバータ 1 6 2 5 を介して）量子コンピュータ 1 1 0 のコントローラ 3 0 に提供され得る。

10

【0 1 1 6】

様々な実施形態において、到来ファイバ 1 1 1 5 および収集ファイバ 4 2 5 は、ファイバがファイバ間隔 β だけ離間されるように、1 つまたは複数のファイバブロックにおいて配置される。様々な実施形態において、ファイバ間隔 β は、到来ファイバ 1 1 1 5 および／または収集ファイバ 4 2 5 のファイバクラディングに基づいて決定される。例示的な実施形態において、ファイバ間隔 β は、5 0 から 2 0 0 μm の範囲（たとえば、約 1 2 5 μm ）である。

【0 1 1 7】

例示的な実施形態において、到来レンズ 1 1 1 0 および／または収集レンズ 4 2 0 は、約 1 . 5 mm の焦点距離 f と、約 5 6 μm のレンズ 1 1 1 5、4 1 5 によって形成されたビームのコリメートされたビームウェスト w と、約 1 8 . 5 mm のレンズ 1 1 1 5、4 1 5 によって形成されたビームのレイリー長 Z_r とを有する。

20

【0 1 1 8】

様々な実施形態において、到来レンズ 1 1 1 0 および／または収集レンズ 4 2 0 は、レンズとして機能するように構成された DOE および／または透過性メタマテリアルアレイである。

【0 1 1 9】

図 1 2 は、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 に関連する信号操作要素に到来信号を送達するように、および／または原子オブジェクト閉じ込め装置に関連する信号操作要素から収集信号を受信するように構成された光学アセンブリ 1 2 0 0 の一部の断面の概念図を提供する。原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 は、光学アクセス窓 4 5（たとえば、操作信号窓 7 1 5、収集窓 7 2 0）を有するクライオスタットおよび／または真空チャンバ 4 0 内に位置する。操作信号は、操作ソース 6 0 によって生成され、光路 6 6 に沿って提供される。図 1 2 に示す実施形態において、光路 6 6 は、1 つまたは複数のファイバピグテール 1 2 2 0 の 1 つまたは複数の光ファイバを備える。光ファイバは、操作信号を複数の操作信号に分割すること、結果として生じる到来信号が適切な信号操作要素上に入射するように操作信号を向けることなどを行うように構成された分配および位置決め光学要素 1 2 1 0 に操作信号を提供する。例示的な実施形態において、分配および位置決め光学要素 1 2 1 0 は、（たとえば、1 つまたは複数のファイバピグテール 1 2 2 0 によって 5 軸ポジションに提供される）光ファイバアレイ内の光ファイバの端部を正確に位置決めするように構成された 5 軸ポジションである。例示的な実施形態において、分配および位置決め光学要素 1 2 1 0 は、1 つまたは複数の変調器、導波路、（たとえば、DOE および／またはメタマテリアルアレイを備える）ビームスプリッタ、レンズ（たとえば、到来レンズ 1 1 1 0 および／または収集レンズ 4 2 0）、二重層メタマテリアルアレイビームスプリッタ 1 3 0 0、フォトリック集積回路（PIC（photonic integrated circuit））1 4 0 0などを備える。例示的な実施形態において、1 つもしくは複数の音響光学変調器（AOM（acoustic optic modulator））および／または 1 つもしくは複数の電気工学偏向器などの自由空間光学要素は、操作信号の時分割多重化を可能にすることができ、これは、レーザパワー要件を低減する。様々な実施形態において、変調器、PIC 1 4 0 0 などの動作は、コントローラ 3 0 に

30

40

50

よって制御される。

【0120】

操作信号の少なくとも一部は、到来信号として分配および位置決め光学要素1210を出て、適切な作用アレイ400上に入射するように光学アクセス窓45（たとえば、操作信号窓715）を通して伝播する。分配および位置決め光学要素1210は、その上に入射する収集信号を有し、収集信号をファイバピグテール1220のうちの1つの光ファイバに集束させるように構成された収集レンズ420などの収集光学系も含み得る。次いで、光ファイバは、収集信号を光検出器に送達し得る。

【0121】

例示的な実施形態において、1つの操作ソース60は、原子オブジェクト閉じ込め装置300の様々な原子オブジェクト位置305に対応する作用アレイに提供される複数の操作信号に分割される1つの操作信号を提供し得る。したがって、ビーム管理システムによって規定される光路は、様々な実施形態において、1つまたは複数のビームスプリッタを含む。図13は、二重層メタマテリアルアレイビームスプリッタ1300の例示的な実施形態を示す。1つまたは複数の二重層メタマテリアルアレイビームスプリッタ1300は、分配および位置決め光学要素1210内に含まれ得、ならびに／または原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連するそれぞれの作用アレイに操作信号を提供するように構成された1つもしくは複数のビーム経路を形成および／もしくは規定するためにその他の方法で使用され得る。

【0122】

ビームスプリッタ1300は、ビームスプリッタ基板1330を備える。基板1330は、少なくとも分割波長の光に対して透明である材料1336を含み、ビームスプリッタ1300は、分割波長によって特徴付けられる光の光信号を分割するように構成される。分割メタマテリアルアレイ1310が、ビームスプリッタ基板1330の第1の表面1332上に形成および／または配置される。分割メタマテリアルアレイ1310は、分割波長の光信号90がその上に入射することに対応して2つ以上の信号92（たとえば、92A～C）を提供するように構成される。たとえば、分割メタマテリアルアレイ1310は、ビームスプリッタ基板1330を通して異なる方向に向けられた2つ以上の信号92（たとえば、図示の実施形態において3つ）を形成するように構成される。たとえば、分割メタマテリアルアレイ1310は、ビームスプリッタ基板1330の第2の表面1334上のそれぞれの位置上に向けられたおよび／または集束された2つ以上の信号92を提供するように構成される。分割メタマテリアルアレイ1310は、2つ以上の信号92の各々に提供される光信号90の到来光パワーの部分を制御する。分割メタマテリアルアレイ1310は、第2の表面1334上のそれぞれの位置の位置決めをさらに制御する。

【0123】

コリメートメタマテリアルアレイ1320（たとえば、1320A、1320B、1320C）は、ビームスプリッタ基板1330の第2の表面1334上のそれぞれの位置上に形成および／または配置される。コリメートメタマテリアルアレイ1320は、それぞれの信号92がその上に入射することに対応して、それぞれのコリメートされた信号94（たとえば、94A～C）を提供するように構成される。たとえば、コリメートされた信号94の各々は、それぞれの光ファイバに結合され、自由空間および／またはバルク光学系などを介して標的位置に提供され得る。様々な実施形態において、コリメートメタマテリアルアレイ1320は、それぞれのコリメートされた信号94を集束するように構成され得る。例示的な実施形態において、コリメートアレイ1320は、それぞれのコリメートされた信号94を集束し、方向付け（たとえば、出射角を変更し）、および／またはコリメートするように構成される。例示的な実施形態において、ビームスプリッタ1300は、コリメートされた信号94がコリメートメタマテリアルアレイ1320を介してビームスプリッタ1300を出るとき、コリメートされた信号94が原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連するそれぞれの作用アレイに向かって伝播するように構成される。

【0124】

様々な実施形態において、分割メタマテリアルアレイ 1310 および／またはコリメートメタマテリアルアレイ 1320 は、コリメートされた信号 94 が所望の波長（たとえば、分割波長）および／または周波数範囲および／またはプロファイル（たとえば、分割波長に対応する周波数を含む）によって特徴付けられるように、到来光信号の色彩フィルタリングを実行するように構成される。

【0125】

様々な実施形態において、分割メタマテリアルアレイ 1310 および／またはコリメートメタマテリアルアレイ 1320 は、それぞれのコリメートされた信号 94 の偏光および／または位相を制御するように構成される。

【0126】

例示的な実施形態において、PIC 1400 は、（たとえば、操作ソース 60 によって生成された操作信号から）複数の操作信号を生成し、複数の操作信号を、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 のそれぞれの原子オブジェクト位置 305 に関連するそれぞれの作用アレイに提供するために使用される。図 14A は、操作信号をそれぞれの作用アレイに提供するために使用され得る例示的な PIC 1400 の正面図（face-on view）を示す。図 14B は、PIC 1400 の側面図を示し、PIC 1400 は、操作信号をそれぞれの作用アレイに提供するためにバルク光学要素（たとえば、レンズ 1440）と協調して使用される。図 14C は、操作信号をそれぞれの作用アレイに提供するために外部光学構成要素が必要とされないように、メタマテリアルアレイ 1450 が PIC 1400 の出力窓 1410 内に形成および／または配置された PIC 1400 の側面図を示す。

【0127】

様々な実施形態において、1つまたは複数の操作ソース 60 によって生成された1つまたは複数の操作信号が、それぞれの光ファイバ 1420 を介して PIC 1400 に提供される。PIC 1400 は、用途に応じて、操作信号を分割および／または変更する（たとえば、振幅を変更する、変調するなど）。次いで、PIC 1400 は、それぞれの光学窓 1410 を介して、適切に調整された信号を提供する。

【0128】

図 14B に示すように、様々な実施形態において、レンズ 1440 などの外部および／またはバルク光学系が、PIC 1400 の光学窓 1410 を出る信号をコリメートおよび／または集束し、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 のそれぞれの原子オブジェクト位置 305 に関連するそれぞれの作用アレイに向けて信号を導く。

【0129】

図 14C に示すように、様々な実施形態において、透過性メタマテリアルアレイ 1450 が、光学窓 1410 内に配置および／または形成される。メタマテリアルアレイ 1450 は、PIC 1400 の光学窓 1410 を出る信号をコリメートおよび／または集束し、信号を、原子オブジェクト閉じ込め装置 300 のそれぞれの原子オブジェクト位置 305 に関連するそれぞれの作用アレイに向けて導くように構成される。

【0130】

ビーム管理システムの例示的な位置合わせ

様々な実施形態において、作用信号がそれぞれの原子オブジェクト位置 305 に適切に送達されるように、1つまたは複数の光ビーム経路に対応する位置（たとえば、作用アレイおよび／または他の信号操作要素）と位置合わせするために、位置合わせプロセスが実行される。位置合わせには、到来操作信号の伝播方向に対して実質的に垂直であるように規定された平面に対して平行な2つの独立した方向における傾きに関連する2つの自由度、到来操作信号の伝播方向に対して実質的に平行な軸の周りの回転に関連する1つの自由度、到来操作信号の伝播方向に対して実質的に垂直であるように規定された平面に対して平行な2つの独立した方向における変位に関連する2つの並進自由度、および到来操作信号の伝播方向に対して実質的に平行な方向における変位に関連する1つの並進自由度の6つの自由度が存在する。

【0131】

様々な実施形態において、1つまたは複数の自由度における理想的な位置合わせからの逸脱が決定されることを可能にする信号操作要素の位置合わせ配置が提供される。高速フィードバックループを使用して、信号操作要素の位置合わせ配置を使用して捕捉された測定値が処理され得、機械的な微調整メカニズム（たとえば、圧電微調整デバイス）が、適切な位置合わせを達成し、振動ノイズを補正するために、光路と原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連するそれぞれの信号操作要素との位置合わせを調整するように制御され得る。例示的な実施形態において、コントローラ30は、信号操作要素の位置合わせ配置を使用して捕捉された測定値を受信し、それらの測定値を処理し、機械的な微調整メカニズムを制御するように構成される。

10

【0132】

理解されるべきであるように、信号操作要素の位置合わせ配置の様々な実施形態が、QCCDベースの量子コンピューティング用途において、ならびに異なる構成要素の配置が必要とされるおよび／または望まれる様々な他の用途において使用され得る。たとえば、位置合わせ配置の様々な実施形態が、表面上の光学系の正確な位置合わせ、2つの表面の互いに対する位置合わせ（光学系の特定の必要性なしに、光学系が相対的な位置合わせを確実にするためにのみ使用され得る）、固定表面に対する1つの表面、および／または他の正確な位置合わせ用途において使用され得る。

【0133】

様々な実施形態において、位置合わせ配置は、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350上、および／または第2の基板910の第1または第2の表面950、955上に形成される。例示的な実施形態において、複数の位置合わせ配置が、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350および／または第2の基板910の第1もしくは第2の表面950、955上に形成される。たとえば、位置合わせ配置は、特定の光学アクセス窓45（たとえば、操作信号窓715、収集窓720）に対応し得る。例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、光学アクセス窓45ごとに設けられる。様々な実施形態において、位置合わせ配置から反射されたおよび／またはそれを透過した光を捕捉および／または測定するように構成された1つまたは複数の検出器が、ハウジング705の外側、ならびに／またはクライオスタットおよび／もしくは真空チャンバの外側に位置し得る。次いで、検出器は、処理のためにそれぞれの捕捉された光信号を示すそれぞれの電気信号を（たとえば、A/Dコンバータ1625を介して）コントローラ30に提供し得る。

20

30

【0134】

様々な実施形態において、位置合わせ配置は、本明細書では回転位置合わせ信号操作要素と呼ばれる、到来信号の伝播の方向に対して実質的に平行な軸の周りの回転に関する位置合わせまたは適切な位置合わせからの変位を検出するように構成された1つまたは複数の信号操作要素を備える。直線偏光到来信号について、ソースの回転は、到来信号の偏光の回転と同じである。様々な実施形態において、回転位置合わせ信号操作要素は、前方伝播振幅が到来信号の偏光に基づいて変調されるように、入射偏光に対して非常に敏感な鋭い共鳴ピーク（たとえば、反対称共鳴、ファノ共鳴、連続体の束縛状態（BIC (bound states in the continuum)）共鳴、疑似BIC共鳴など）を有する（たとえば、勾配が課されていない）均一なフォトリックメタ表面である。様々な実施形態において、回転位置合わせ信号操作要素は、到来信号の所望の偏光が共鳴し、偏光の公称回転が共鳴からわずかに外れるように構成される。たとえば、回転位置合わせ信号操作要素は、正の回転が共鳴に近づき、負の回転が共鳴から離れるように（またはその逆に）構成される。共鳴応答の導関数は、共鳴ピークの側において最大化されるので、そのような回転位置合わせ信号操作要素は、回転位置合わせ信号操作要素に対する到来信号光路の回転位置合わせの高感度の測定を提供する。例示的な実施形態において、回転位置合わせ信号操作要素は、電気的または磁気的雙極子共鳴を使用する。

40

【0135】

例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、2つの回転位置合わせ信号操作要素を

50

備える。たとえば、第1の回転位置合わせ信号操作要素は、公称位置合わせが応答ピークの中心に対応するように調整され得、第2の回転位置合わせ信号操作要素は、感度を最大化し、回転検出に関する情報を提供するように調整され得る。たとえば、第2の回転位置合わせ信号操作要素の公称位置合わせは、応答ピークの約半分であり得る。第1の回転位置合わせ信号操作要素は、初期位置合わせのために使用され得、第2の回転位置合わせ信号操作要素は、位置合わせを微調整すること、位置合わせに対するリアルタイム調整を実行することなどのために使用され得る。

【0136】

様々な実施形態において、位置合わせ配置は、本明細書では傾斜位置合わせ信号操作要素と呼ばれる、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350によって規定された表面に対して実質的に平行な2つの独立した方向に沿った傾斜に関する位置合わせまたは適切な位置合わせからの変位を検出するように構成された1つまたは複数の信号操作要素を備える。様々な実施形態において、傾斜位置合わせ信号操作要素は、前方伝播振幅が到来信号の入射角に基づいて変調されるように、到来信号の入射角に対して非常に敏感な鋭い共鳴ピーク（たとえば、反対称共鳴、ファノ共鳴、BIC共鳴、疑似BIC共鳴など）を有する（たとえば、勾配が課されていない）均一なフォトリソニックメタ表面である。様々な実施形態において、傾斜位置合わせ信号操作要素は、到来信号の所望の入射角が共鳴し、所望の入射角から離れた公称傾斜が共鳴からわずかに外れるように構成される。たとえば、例示的な実施形態において、傾斜位置合わせ信号操作要素は、正の傾斜が共鳴に近づき、負の傾斜が共鳴から離れるように（またはその逆に）構成される。例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、傾斜度ごとに少なくとも1つの信号操作要素を備える。様々な実施形態において、傾斜位置合わせ信号操作要素は、2度の傾斜に対して非対称な応答を有する。

【0137】

例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、傾斜方向ごとに2つの傾斜位置合わせ信号操作要素を備える。たとえば、第1の傾斜位置合わせ信号操作要素は、公称位置合わせが応答ピークの中心に対応するように調整され得、第2の傾斜位置合わせ信号操作要素は、感度を最大化し、傾斜検出に関する情報を提供するように調整され得る。たとえば、第2の傾斜位置合わせ信号操作要素の公称位置合わせは、応答ピークの約半分であり得る。第1の傾斜位置合わせ信号操作要素は、初期位置合わせのために使用され得、第2の傾斜位置合わせ信号操作要素は、位置合わせを微調整すること、位置合わせに対するリアルタイム調整を実行することなどのために使用され得る。

【0138】

様々な実施形態において、位置合わせ配置は、本明細書では垂直並進位置合わせ信号操作要素と呼ばれる、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350によって規定された表面に対して実質的に垂直な方向に沿った並進変位に関する位置合わせまたは適切な位置合わせからの変位を検出するように構成された1つまたは複数の信号操作要素を備える。様々な実施形態において、垂直並進位置合わせ信号操作要素は、高開口数メタマテリアルレンズである。コリメートされていない信号が垂直並進位置合わせ信号操作要素上に入射すると、出射ビームの直径は、焦点を過ぎた平面において測定される。出射ビームの測定された直径は、対応する光路の信号放出光学系の変位を示す。

【0139】

例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、図15Aに示すように、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面350によって規定された平面に対して実質的に平行な2つの方向における並進に関する光路の位置合わせを測定するように構成された散乱要素のセットを備える横方向変位要素1500を備える。図15Aは、散乱要素1510（たとえば、1510A、1510B、1510C）のパターン1505を示す。光渦の形態における到来信号1520が提供される。様々な実施形態において、到来信号は、光の軌道角運動量の操作を通じて形成される。光渦は、その中心においてゼロ振幅の特異点を有する（たとえば、図15Aに示すように、信号の振幅は、環状構造を形成する）。第1の散乱体1

5 1 0 A は、適切な並行並進位置合わせが達成されると、光渦の中心におけるゼロ振幅の特異点と位置合わせされる。第 2 の散乱体 1 5 1 0 B は、適切な並行並進位置合わせが達成されると、第 1 の散乱体 1 5 1 0 A から第 1 の方向において変位した、到来信号 1 5 2 0 のリングの外方エッジにおいて部分的に照射される。第 3 の散乱体 1 5 1 0 C は、適切な並行並進位置合わせが達成されると、第 1 の散乱体 1 5 1 0 A から第 2 の方向において変位した、到来信号 1 5 2 0 のリングの外方エッジにおいて部分的に照射される。第 1 の方向に変位した散乱体 1 5 1 0 B の輝度は、第 1 の方向の変位の大きさおよび方向を示し、第 2 の方向に変位した散乱体 1 5 1 0 C の輝度は、第 2 の方向の変位の大きさおよび方向を示し、公称変位位置合わせは、中央散乱体 1 5 1 0 A の輝度を最小化することによって特徴付けられる。この構成は、3 つの散乱要素のみを必要とすることによって、散乱光ならびにフットプリントを最小化する。光渦は、あるいは外部の P I C 1 4 0 0 または二重メタマテリアルアレイビームスプリッタ 1 3 0 0 のいずれかと統合されるメタマテリアルアレイまたは D O E によって生成され得る。例示的な実施形態において、ガウスビームが到来信号 1 5 2 0 として使用される。

10

【0 1 4 0】

別の例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、図 1 5 B に示すように、原子オブジェクト閉じ込め装置の表面 3 5 0 によって規定された平面に実質的に平行な 2 つの方向における並進に関する光路との位置合わせを測定するように構成された散乱要素 1 5 3 0 (たとえば、1 5 3 0 A、1 5 3 0 B、1 5 3 0 C、1 5 3 0 D) の行 1 5 3 5 (たとえば、1 5 3 5 A、1 5 3 5 B) を備える横方向変位要素 1 5 5 0 を備える。到来信号は、暗フリンジ 1 5 4 0 (たとえば、1 5 4 0 A、1 5 4 0 B、1 5 4 0 C) と明フリンジ 1 5 4 5 (たとえば、1 5 4 5 A、1 5 4 5 B) とを含む干渉パターンの形態である。適切な平行並進位置合わせが達成されると、第 1 の行 1 5 3 5 A は、(たとえば、5 0 % の輝度反射を提供する) 明フリンジ 1 5 4 5 A の縁に沿って位置合わせされ、第 2 の行 1 5 3 5 B は、暗フリンジ 1 5 4 0 B の中心と位置合わせされる。散乱要素 1 5 3 0 の画像化は、散乱要素 1 5 3 0 の行 1 5 3 5 上に入射する光の全強度の特徴付けを提供する。横方向の変位は、各行 1 5 3 5 の明化または暗化を結果として生じることになる。公称位置合わせは、暗フリンジ 1 5 4 0 と位置合わせされた行の最小の散乱強度を結果として生じる。部分的に照射された行 (たとえば、行 1 5 3 5 A) の散乱の振幅は、位置ずれの方向を示す。散乱体の行の第 2 のセット、および暗フリンジと明フリンジとを含む干渉パターンの形態における第 2 の到来信号は、原子オブジェクト閉じ込め装置 3 0 0 の表面 3 5 0 によって規定される平面に対しても実質的に平行な第 2 の (独立した) 方向における変位を決定するために使用される。

20

30

【0 1 4 1】

様々な実施形態において、横方向変位要素 1 5 0 0、1 5 5 0 の使用は、検出された信号 (たとえば、入射ビームが横方向変位要素に入射することによる反射 / 散乱信号) の空間フィルタリングを含む。例示的な実施形態において、空間フィルタリングは、カメラの焦点面上の散乱体を画像化することによって行われる。検出された光信号の空間フィルタリングのための様々な他の技法が、様々な他の実施形態において使用され得る。

【0 1 4 2】

例示的な実施形態において、位置合わせ配置は、6 つの自由度すべてを同時に特徴付けるように構成された単一のフォトニックメタ表面レンズを備える。たとえば、位置合わせ配置は、多次位置合わせメタマテリアルアレイを備えるか、またはそれからなり得る。多次位置合わせメタマテリアルアレイは、傾斜の位置ずれが、到来信号が多次位置合わせメタマテリアルアレイ上に入射することから結果として生じるビームの焦点形状の伸長を引き起こし、および / または出射角をシフトするように構成される。たとえば、多次位置合わせメタマテリアルアレイのエッジは、到来信号が多次位置合わせメタマテリアルアレイに入射することから結果として生じるビームに到来信号の横方向の変位を示す偏差を提供するように構成され得る。たとえば、多次位置合わせメタマテリアルアレイを囲む回折格子は、(たとえば、到来信号が多次位置合わせメタマテリアルアレイと適切に位置合わせ

40

50

されていないことによって) 照射される場合、特徴的なフリンジを提供する。たとえば、多次位置合わせメタマテリアルアレイは、回転位置ずれを測定するために、直交する直線偏光について個別の光学機能を用いて構成され得る。たとえば、第1の方向の直線偏光された光は、シータの角度において集束および偏光され、第2の方向の線形偏光された光は、負のシータの角度において集束および偏光される。2つの焦点の振幅を比較することは、回転の位置合わせまたは位置ずれが決定され得るように、両方の入射偏光の強度比を示す。

【0143】

例示的な実施形態において、多次位置合わせメタマテリアルアレイは、ビーム管理システムの光路と原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連する対応する作用アレイとの初期位置合わせのために使用される。1つまたは複数の回転位置合わせ信号操作要素、傾斜位置合わせ信号操作要素、垂直並進位置合わせ信号操作要素、および／または散乱要素のセット／行は、ビーム管理システムの光路と原子オブジェクト閉じ込め装置300に関連する対応する作用アレイとの微細な位置合わせおよび／または位置合わせのリアルタイム補正を実行するために使用される。

10

【0144】

技術的利点

様々な実施形態は、原子オブジェクト閉じ込め装置によって閉じ込められた原子オブジェクトへの操作信号の正確かつ効率的な送達、および／または原子オブジェクト閉じ込め装置によって閉じ込められた原子オブジェクトによって放射される放射信号の指標を収集することに対する技術的解決策を提供する。これらの様々な解決策は、大規模な1次元または多次元(たとえば、2次元)の原子オブジェクト閉じ込め装置のための信号送達および／または収集を提供するためにスケーラブルである。たとえば、様々な実施形態において、特に、操作信号は、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350によって規定された平面に対して横方向に(たとえば、ほぼ垂直に)送られる。たとえば、操作信号は、操作信号が信号操作要素上に入射し、対応する原子オブジェクト位置上に集束する作用信号を放出するようにアレイのメタマテリアル構造を誘導するように、送られる。別の例において、原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号が、表面350上に形成および／または配置された信号操作要素上に入射し、誘導された収集信号が、表面350によって定義された平面からそれぞれの収集位置に向けて放射される。

20

30

【0145】

信号操作要素への到来信号または放射信号の入射角は、放射された誘導された作用信号または収集信号のそれぞれの位置決めにとってそれほど重要ではないので、システムは、かなりのビームジッタに対してロバストである。たとえば、上記のように、作用アレイは、到来信号のビームの直径の1倍から7倍の直径を有し得る。量子コンピュータの対応する機能の実行のために十分なエネルギーフラックスを提供する到来信号の少なくとも一部が作用アレイ上に入射する限り、作用アレイは、対応する機能を実行するためにそれぞれの原子オブジェクト位置に向けておよび／または集束させて作用信号を放射するように誘導される。

40

【0146】

さらに、信号操作要素は、原子オブジェクト閉じ込め装置300の表面350上に形成および／または配置されるので、原子オブジェクト閉じ込め装置300の動きは、ビームポイントエラーにつながらない。むしろ、原子オブジェクト閉じ込め装置の動きは、操作信号パワーの較正を通じて補償され得る小さい振幅エラーをもたらす可能性がある。

【0147】

それに加えて、様々な実施形態は、より低いパワーの操作信号の使用を可能にする。たとえば、例示的な従来の構成において、線形4イオン結晶が量子ビットイオンとともに使用され、量子ビットイオンは線形結晶の端部に位置し(たとえば、2つの共同冷却イオンが量子ビットイオン間に位置し)、量子ビットイオンは、約8ミクロンだけ分離されてい

50

る。量子ビットイオンの両方を照射するために、両方の量子ビットイオンを照射するために大きいスポットサイズの操作信号（たとえば、直径約17ミクロン）が使用される。しかしながら、これは、比較的高いパワーの操作信号（たとえば、約50mW）を必要とする。様々な実施形態のメタ表面は、単一の操作信号を、必要な距離（たとえば、約8ミクロン）だけ分離された、各々が数ミクロンのスポットサイズを有する2つのスポットに集束させることを可能にする。これは、操作信号の必要なパワーの大幅な削減を可能にする。たとえば、様々な実施形態において、操作信号の必要なパワーは、10分の1よりも削減される。

【0148】

様々な実施形態は、光路を規定し、および／または到来信号を作用アレイに提供し、光路をそれぞれの作用アレイと位置合わせするための効率的な技法をさらに提供する。

【0149】

したがって、様々な実施形態は、原子オブジェクト閉じ込め装置によって閉じ込められた原子オブジェクトに操作信号を提供し、原子オブジェクトからの放射信号の指標を収集する技術分野に技術的な改善を提供する。

【0150】

例示的なコントローラ

様々な実施形態において、原子オブジェクト閉じ込め装置300が、コントローラ30を備えるシステム（たとえば、量子コンピュータ110）に組み込まれる。様々な実施形態において、コントローラ30は、システム（たとえば、量子コンピュータ110）の様々な要素を制御するように構成される。たとえば、コントローラ30は、電圧源50、クライオスタットおよび／もしくは真空チャンバ40内の温度および圧力を制御するクライオスタットシステムおよび／もしくは真空システム、操作ソース60、冷却システム、および／もしくはクライオスタットおよび／もしくは真空チャンバ40内の環境条件（たとえば、温度、湿度、圧力など）を制御する他のシステムを制御するように構成され得、ならびに／または原子オブジェクト閉じ込め装置300によって閉じ込められた1つもしくは複数の原子オブジェクトの量子状態の制御された発展を操作および／もしくは引き起こすように構成され得る。様々な実施形態において、コントローラ30は、1つまたは複数の光収集システムから信号を受信するように構成され得る。

【0151】

図16に示すように、様々な実施形態において、コントローラ30は、処理要素1605、メモリ1610、ドライバコントローラ要素1615、通信インターフェース1620、アナログーデジタルコンバータ要素1625などを含む様々なコントローラ要素を備え得る。たとえば、処理要素1605は、プログラマブルロジックデバイス（CPLD）、マイクロプロセッサ、コプロセッシングエンティティ、特定用途向け命令セットプロセッサ（ASIP）、集積回路、特定用途向け集積回路（ASIC）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、プログラマブルロジックアレイ（PLA）、ハードウェアアクセラレータ、他の処理デバイスおよび／もしくは回路など、ならびに／またはコントローラを備え得る。回路という用語は、完全にハードウェアの実施形態、またはハードウェアとコンピュータプログラム製品との組合せを指し得る。例示的な実施形態において、コントローラ30の処理要素1605は、クロックを備え、および／またはクロックと通信している。

【0152】

たとえば、メモリ1610は、ハードディスク、ROM、PROM、EPROM、EEPROM、フラッシュメモリ、MMC、SDメモ리카ード、メモリスティック、CBRAM、PRAM、FeRAM、RRAM、SONOS、レーストラックメモリ、RAM、DRAM、SRAM、FPM DRAM、EDO DRAM、SDRAM、DDR SDRAM、DDR2 SDRAM、DDR3 SDRAM、RDRAM、RIMM、DIMM、SIMM、VRAM、キャッシュメモリ、レジスタメモリなどのうちの1つまたは複数の揮発性および／または不揮発性メモリストレージなどの非一時的メモリを備え得る

。様々な実施形態において、メモリ1610は、量子アルゴリズムおよび／または回路に実行させるために実行されるコマンドのキュー（たとえば、実行可能キュー）、（たとえば、量子ビットレコードデータストア、量子ビットレコードデータベース、量子ビットレコードテーブル、などの中）量子コンピュータの量子ビットに対応する量子ビットレコード、較正テーブル、（たとえば、1つまたは複数のコンピュータ言語、専用コントローラ言語などにおける）コンピュータプログラムコードなどを記憶し得る。例示的な実施形態において、（たとえば、処理要素1605による）メモリ1610内に記憶されたコンピュータプログラムコードの少なくとも一部の実行は、コントローラ30に、操作信号を原子オブジェクト位置に提供するため、ならびに／または原子オブジェクト閉じ込め装置300の対応する原子オブジェクト位置に位置する原子オブジェクトによって放射された放射信号の指標を収集、検出、捕捉、および／もしくは測定するための、本明細書に記載の1つまたは複数のステップ、動作、処理、手順などを実行させる。

10

【0153】

様々な実施形態において、ドライバコントローラ要素1610は、1つもしくは複数のドライバ、および／または各々が1つもしくは複数のドライバを制御するように構成されたコントローラ要素を含み得る。様々な実施形態において、ドライバコントローラ要素1610は、ドライバおよび／またはドライバコントローラを備え得る。たとえば、ドライバコントローラは、1つまたは複数の対応するドライバに、コントローラ30によって（たとえば、処理要素1605によって）スケジュールされ、実行される実行可能命令、コマンドなどに従って動作させるように構成され得る。様々な実施形態において、ドライバコントローラ要素1615は、コントローラ30が電圧源50、操作ソース60、冷却システムなどを動作することを可能にし得る。様々な実施形態において、ドライバは、操作信号を生成するために1つまたは複数の操作ソース60を動作するように構成されたレーザドライバ、真空構成要素ドライバ、原子オブジェクト閉じ込め装置300のトラップ電位を維持および／または制御するために使用される電極に印加される電流および／または電圧の流れを制御するためのドライバ（および／または原子オブジェクト閉じ込め装置の電位生成要素にドライバ作用シーケンスを提供するための他のドライバ）、クライオスタットおよび／または真空システム構成要素ドライバ、冷却システムドライバなどであり得る。様々な実施形態において、コントローラ30は、1つまたは複数の光受信機構成要素（たとえば、光収集システムの光検出器）からの信号を通信および／または受信するための手段を備える。たとえば、コントローラ30は、1つまたは複数の光受信機構成要素（たとえば、光収集システムの光検出器）、較正センサなどからの信号を受信するように構成された1つまたは複数のアナログーデジタルコンバータ要素1625を備え得る。

20

30

【0154】

様々な実施形態において、コントローラ30は、コンピューティングエンティティ10とインターフェースおよび／または通信するための通信インターフェース1620を備え得る。たとえば、コントローラ30は、コンピューティングエンティティ10から実行可能命令、コマンドセットなどを受信し、量子コンピュータ110から（たとえば、光収集システムから）受信した出力および／または出力を処理した結果をコンピューティングエンティティ10に提供するための通信インターフェース1620を備え得る。様々な実施形態において、コンピューティングエンティティ10およびコントローラ30は、直接有線および／もしくはワイヤレス接続を介して、ならびに／または1つもしくは複数の有線および／もしくはワイヤレスネットワーク20を介して通信し得る。

40

【0155】

例示的なコンピューティングエンティティ

図17は、本発明の実施形態と併せて使用され得る例示的なコンピューティングエンティティ10の説明的な概略表現を提供する。様々な実施形態において、コンピューティングエンティティ10は、ユーザが、（たとえば、コンピューティングエンティティ10のユーザインターフェースを介して）量子コンピュータ110に入力を提供し、量子コンピュータ110からの出力を受信、表示、分析などすることを可能にするように構成される

50

。

【0156】

図17に示すように、コンピューティングエンティティ10は、アンテナ1712と、送信機1704（たとえば、無線）と、受信機1706（たとえば、無線）と、それぞれ、送信機1704および受信機1706に信号を提供し、送信機1704および受信機1706から信号を受信する処理要素1708とを含むことができる。それぞれ、送信機1704および受信機1706に提供され、送信機1704および受信機1706から受信される信号は、コントローラ30、他のコンピューティングエンティティ10などの様々なエンティティと通信するための適用可能なワイヤレスシステムのエアインターフェース規格に従うシグナリング情報／データを含み得る。これに関して、コンピューティングエンティティ10は、1つまたは複数のエアインターフェース規格、通信プロトコル、変調タイプ、およびアクセスタイプを用いて動作することが可能であり得る。たとえば、コンピューティングエンティティ10は、ファイバ分散データインターフェース（FDDI（fiber distributed data interface））、デジタル加入者線（DSL（digital subscriber line））、イーサネット、非同期転送モード（ATM（asynchronous transfer mode））、フレームリレー、ケーブルによるデータサービスインターフェース標準（DOCSIS（data over cable service interface specification））、または任意の他の有線伝送プロトコルなどの、有線データ伝送プロトコルを使用して通信を受信および／または提供するように構成され得る。同様に、コンピューティングエンティティ10は、汎用パケット無線サービス（GPRS（general packet radio service））、ユニバーサル移動体通信システム（UMTS（Universal Mobile Telecommunications System））、符号分割多元接続2000（CDMA（Code Division Multiple Access）2000）、CDMA2000 1X（1xRTT）、広帯域符号分割多元接続（WCDMA（登録商標）（Wideband Code Division Multiple Access））、汎欧州デジタル移動電話方式（GSM（Global System for Mobile Communications））、GSM進化型高速データレート（EDGE（Enhanced Data rates for GSM Evolution））、時分割同期符号分割多元接続（TD-SCDMA（Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access））、ロングタームエボリューション（LTE（Long Term Evolution））、進化型ユニバーサル地上無線アクセスネットワーク（E-UTRAN（Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network））、エボリューションデータオブティマイズド（EVDO（Evolution-Data Optimized））、高速パケットアクセス（HSPA）、高速ダウンリンクパケットアクセス（HSDPA）、IEEE802.11（Wi-Fi）、Wi-Fi Direct、802.16（WiMAX）、超広帯域（UWB）、赤外線（IR）プロトコル、近距離無線通信（NFC（near field communication））プロトコル、Wibree、Bluetoothプロトコル、ワイヤレスユニバーサルシリアルバス（USB）プロトコル、および／または任意の他のワイヤレスプロトコルなどの、様々なプロトコルのいずれかを使用するワイヤレス外部通信ネットワークを介して通信するように構成され得る。コンピューティングエンティティ10は、境界ゲートウェイプロトコル（BGP（Border Gateway Protocol））、動的ホスト構成プロトコル（DHCP（Dynamic Host Configuration Protocol））、ドメイン名システム（DNS（Domain Name System））、ファイル転送プロトコル（FTP（File Transfer Protocol））、ハイパーテキスト転送プロトコル（HTTP（Hypertext Transfer Protocol））、HTTPオーバTLS／SSL／セキュア、インター

10

20

30

40

50

ネットメッセージアクセスプロトコル (IMAP (Internet Message Access Protocol))、ネットワーク時間プロトコル (NTP (Network Time Protocol))、簡易メール転送プロトコル (SMTP (Simple Mail Transfer Protocol))、テルネット、トランスポート層セキュリティ (TLS (Transport Layer Security))、セキュアソケットレイヤ (SSL (Secure Sockets Layer))、インターネットプロトコル (IP (Internet Protocol))、伝送制御プロトコル (TCP (Transmission Control Protocol))、ユーザデータグラムプロトコル (UDP (User Datagram Protocol))、データグラム輻輳制御プロトコル (DCCP (Datagram Congestion Control Protocol))、ストリーム制御伝送プロトコル (SCTP (Stream Control Transmission Protocol))、ハイパーテキストマークアップ言語 (HTML (HyperText Markup Language)) などを使用して通信するために、そのようなプロトコルおよび規格を使用し得る。

10

【0157】

これらの通信規格およびプロトコルを介して、非構造化付加サービス情報／データ (USSD)、ショートメッセージサービス (SMS (Short Message Service))、マルチメディアメッセージングサービス (MMS (Multimedia Messaging Service))、デュアルトーン多重周波数シグナリング (DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency Signaling))、および／または加入者識別モジュールダイヤラ (SIM (Subscriber Identity Module) ダイヤラ) などの概念を使用して様々な他のエンティティと通信することができる。コンピューティングエンティティ10は、たとえば、そのファームウェア、ソフトウェア (たとえば、実行可能命令、アプリケーション、プログラムモジュールを含む)、およびオペレーティングシステムに対する変更、アドオン、および更新をダウンロードすることもできる。

20

【0158】

様々な実施形態において、コンピューティングエンティティ10は、たとえば、コントローラ30とインターフェースおよび／または通信するためのネットワークインターフェース1720を備え得る。たとえば、コンピューティングエンティティ10は、コントローラ30による受信のための実行可能命令、コマンドセットなどを提供するため、ならびに／または量子コンピュータ110によって提供される出力および／もしくは出力を処理した結果を受信するためのネットワークインターフェース1720を備え得る。様々な実施形態において、コンピューティングエンティティ10およびコントローラ30は、直接有線および／もしくはワイヤレス接続を介して、ならびに／または1つもしくは複数の有線および／もしくはワイヤレスネットワーク20を介して通信し得る。

30

【0159】

コンピューティングエンティティ10は、1つまたは複数のユーザ入力／出力インターフェース (たとえば、処理要素1708に結合されたディスプレイ1716および／もしくはスピーカ／スピーカドライバ、ならびに処理要素1708に結合されたタッチスクリーン、キーボード、マウス、および／もしくはマイクロフォン) を備えるユーザインターフェースデバイスも備え得る。たとえば、ユーザ出力インターフェースは、情報／データの表示もしくは可聴提示を引き起こすため、および／または1つもしくは複数のユーザ入力インターフェースを介してそれと対話するために、コンピューティングエンティティ10上で交換可能に実行されるおよび／またはそれを介してアクセス可能な、アプリケーション、ブラウザ、ユーザインターフェース、インターフェース、ダッシュボード、スクリーン、ウェブページ、ページ、および／または本明細書で使用される同様の単語を提供するように構成され得る。ユーザ入力インターフェースは、キーパッド1718 (ハードまたはソフト)、タッチディスプレイ、ボイス／音声もしくはモーションインターフェース

40

50

、スキャナ、リーダー、または他の入力デバイスなどの、コンピューティングエンティティ 10 がデータを受信することを可能にするいくつかのデバイスのうちのいずれかを備えることができる。キーパッド 1718 を含む実施形態において、キーパッド 1718 は、従来の数字（0～9）および関連するキー（＃、＊）と、コンピューティングエンティティ 10 を動作するために使用される他のキーとを含む（またはそれらのキーの表示をもたらす）ことができ、英数字キーの完全なセット、または英数字キーの完全なセットを提供するためにアクティブ化され得るキーのセットを含み得る。入力を提供することに加えて、ユーザ入力インターフェースは、たとえば、スクリーンサーバおよび／またはスリープモードなどの特定の機能をアクティブ化または非アクティブ化するために使用され得る。そのような入力を通じて、コンピューティングエンティティ 10 は、情報／データ、ユーザ対話／入力などを収集することができる。

10

【0160】

コンピューティングエンティティ 10 は、埋め込まれ得、および／または取り外し可能であり得る、揮発性ストレージもしくはメモリ 1722、および／または不揮発性ストレージもしくはメモリ 1724 を含むこともできる。たとえば、不揮発性メモリは、ROM、PROM、EPROM、EEPROM、フラッシュメモリ、MMC、SD メモリカード、メモリスティック、CBRAM、PRAM、FeRAM、RRAM、SONOS、レストラックメモリなどであり得る。揮発性メモリは、RAM、DRAM、SRAM、FPM DRAM、EDO DRAM、SDRAM、DDR SDRAM、DDR2 SDRAM、DDR3 SDRAM、RDRAM、RIMM、DIMM、SIMM、VRAM、

20

【0161】

結論

本明細書に記載の本発明の多くの修正および他の実施形態が、前述の説明および関連する図面において提示した教示の利益を有する、本発明が関係する当業者に思い浮かぶであろう。したがって、本発明は、開示された特定の実施形態に限定されるものではなく、修正および他の実施形態が添付の特許請求の範囲内に含まれることが意図されていることが理解されるべきである。本明細書において特定の用語が用いられているが、それらは、一般的かつ説明的な意味においてのみ使用されており、限定の目的のために使用されていない。

30

【符号の説明】

【0162】

- 5 原子オブジェクト
- 5 A 原子オブジェクト、オブジェクト
- 5 B オブジェクト
- 5 C オブジェクト
- 5 D オブジェクト
- 10 コンピューティングエンティティ
- 20 有線またはワイヤレスネットワーク
- 30 コントローラ
- 40 クライオスタットおよび／または真空チャンバ
- 45 光学アクセス窓
- 50 電圧源
- 60 操作ソース
- 62 操作信号

40

50

6 6	光路	
6 6 A	光路	
6 6 B	光路	
6 6 C	光路	
7 0	光収集システム	
7 2	放射信号	
7 4	収集信号	
9 0	光信号	
9 2	信号	
9 2 A ~ C	信号	10
9 4	コリメートされた信号	
9 4 A ~ C	コリメートされた信号	
1 0 0	量子コンピューティングシステム	
1 1 0	量子コンピュータ	
3 0 0	原子オブジェクト閉じ込め装置、閉じ込め装置、2次元原子オブジェクト閉じ込め装置	
3 0 5	原子オブジェクト位置	
3 1 0	電極	
3 2 0	原子オブジェクト経路	
3 3 0	島	20
3 5 0	表面、第1の表面	
3 5 5	第2の表面	
3 6 0	酸化物および／または電気絶縁層	
3 6 5	接地導体	
4 0 0	作用アレイ	
4 1 0	メタマテリアル構造	
4 2 0	収集レンズ	
4 2 5	収集ファイバ	
4 4 0	収集アレイ	
4 4 5	収集位置	30
4 5 0	光検出器	
5 0 0	配置	
5 1 0 A	作用アレイ、2量子ビットゲートアレイ	
5 1 0 B	作用アレイ、2量子ビットゲートアレイ	
5 2 0	収集アレイ	
5 2 0 A	作用アレイ、冷却アレイ	
5 2 0 B	作用アレイ、冷却アレイ	
5 3 0	作用アレイ、検出および／または単一量子ビットゲートアレイ	
5 4 0	収集アレイ	
6 0 0	配置	40
6 2 0	作用アレイ	
6 2 0 A ~ H	作用アレイ	
6 4 0	収集アレイ	
7 0 5	ハウジング	
7 1 5	操作信号窓	
7 1 5 A	操作信号窓	
7 1 5 B	操作信号窓	
7 2 0	収集窓	
8 1 0	第1の基板	
8 1 5	信号操作要素	50

8 1 5 A	作用アレイ	
8 1 5 B	作用アレイ	
8 1 5 C	収集アレイ	
9 1 0	第 2 の基板	
9 1 5	信号操作要素	
9 1 5 A	信号操作要素、作用アレイ	
9 1 5 B	信号操作要素、作用アレイ	
9 1 5 C	信号操作要素、収集アレイ	
9 5 0	第 1 の表面	
9 5 5	第 2 の表面	10
1 0 4 0 A	第 1 の信号操作要素	
1 0 4 0 B	第 2 の信号操作要素	
1 0 4 0 C	第 3 の信号操作要素	
1 0 6 2	到来信号	
1 0 6 4 A	第 1 の作用信号	
1 0 6 4 B	第 2 の作用信号	
1 0 6 4 C	第 3 の作用信号	
1 0 6 4 D	第 4 の作用信号	
1 0 6 8 A	第 1 のビームプロファイル	
1 0 6 8 B	第 2 のビームプロファイル	20
1 0 6 8 C	第 3 のビームプロファイル	
1 0 6 8 D	第 4 のビームプロファイル	
1 1 0 0	光学アセンブリ	
1 1 1 0	到来レンズ	
1 1 1 5	到来ファイバ	
1 2 0 0	光学アセンブリ	
1 2 1 0	分配および位置決め光学要素	
1 2 2 0	ファイバピグテール	
1 3 0 0	二重層メタマテリアルアレイビームスプリッタ、ビームスプリッタ	
1 3 1 0	分割メタマテリアルアレイ	30
1 3 2 0	コリメートメタマテリアルアレイ、コリメートアレイ	
1 3 2 0 A	コリメートメタマテリアルアレイ	
1 3 2 0 B	コリメートメタマテリアルアレイ	
1 3 2 0 C	コリメートメタマテリアルアレイ	
1 3 3 0	ビームスプリッタ基板、基板	
1 3 3 2	第 1 の表面	
1 3 3 4	第 2 の表面	
1 3 3 6	材料	
1 4 0 0	フォトニック集積回路 (P I C) 、 P I C	
1 4 1 0	出力窓、光学窓	40
1 4 2 0	光ファイバ	
1 4 4 0	レンズ	
1 4 5 0	メタマテリアルアレイ、透過性メタマテリアルアレイ	
1 5 0 0	横方向変位要素	
1 5 0 5	パターン	
1 5 1 0	散乱要素	
1 5 1 0 A	散乱要素、第 1 の散乱体	
1 5 1 0 B	散乱要素、第 2 の散乱体	
1 5 1 0 C	散乱要素、第 3 の散乱体	
1 5 2 0	到来信号	50

1 5 3 0	散乱要素	
1 5 3 0 A	散乱要素	
1 5 3 0 B	散乱要素	
1 5 3 0 C	散乱要素	
1 5 3 0 D	散乱要素	
1 5 3 5	行	
1 5 3 5 A	行、第 1 の行	
1 5 3 5 B	行、第 2 の行	
1 5 4 0	暗フリンジ	
1 5 4 0 A	暗フリンジ	10
1 5 4 0 B	暗フリンジ	
1 5 4 0 C	暗フリンジ	
1 5 4 5	明フリンジ	
1 5 4 5 A	明フリンジ	
1 5 4 5 B	明フリンジ	
1 5 5 0	横方向変異要素	
1 6 0 5	処理要素	
1 6 1 0	メモリ	
1 6 1 5	ドライバコントローラ要素	
1 6 2 0	通信インターフェース	20
1 6 2 5	A / D コンバータ、アナログーデジタル (A / D) コンバータ、アナログーデジタルコンバータ要素	
1 7 0 4	送信機	
1 7 0 6	受信機	
1 7 0 8	処理要素	
1 7 1 2	アンテナ	
1 7 1 6	ディスプレイ	
1 7 1 8	キーパッド	
1 7 2 0	ネットワークインターフェース	
1 7 2 2	揮発性ストレージまたはメモリ	30
1 7 2 4	不揮発性ストレージまたはメモリ	

【図面】
【図 1】

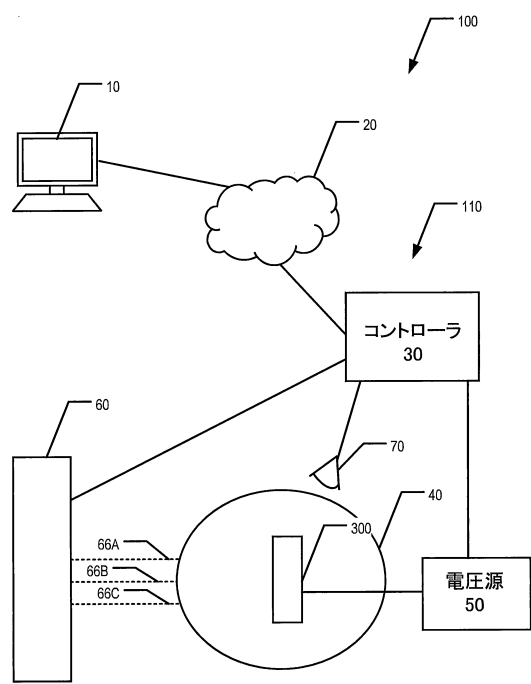


FIG. 1

【図 2】

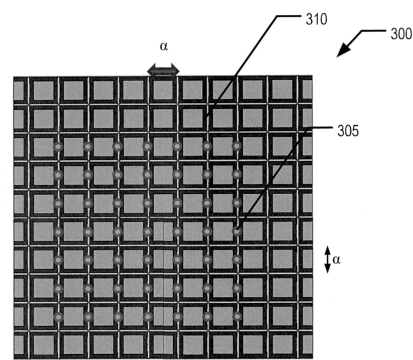


FIG. 2

【図 3】

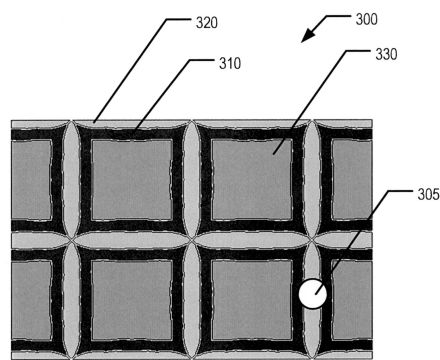


FIG. 3

【図 4 A】

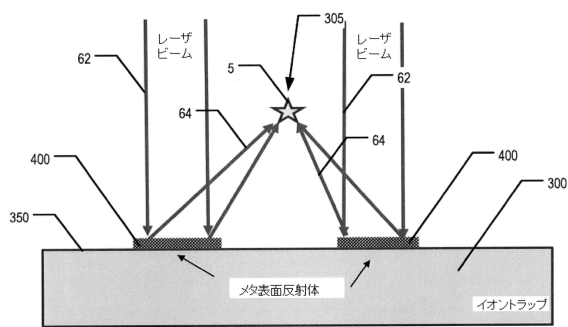


FIG. 4A

10

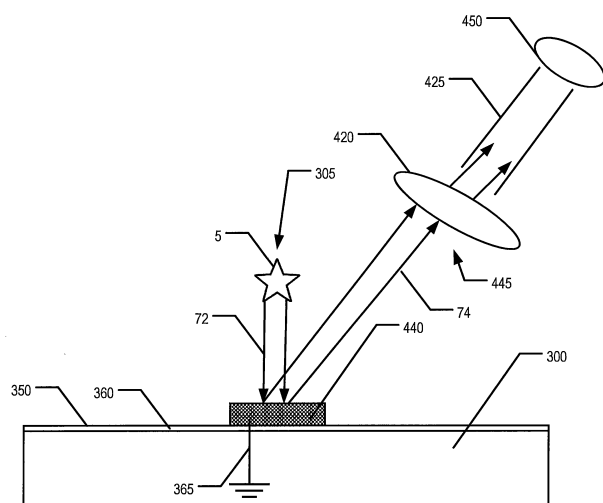
20

30

40

50

【図 4 B】



【図 4 C】

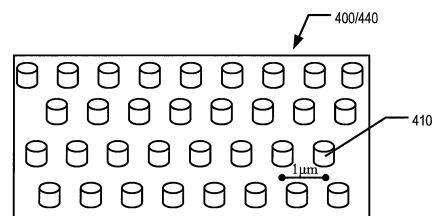


FIG. 4C

【図 5】

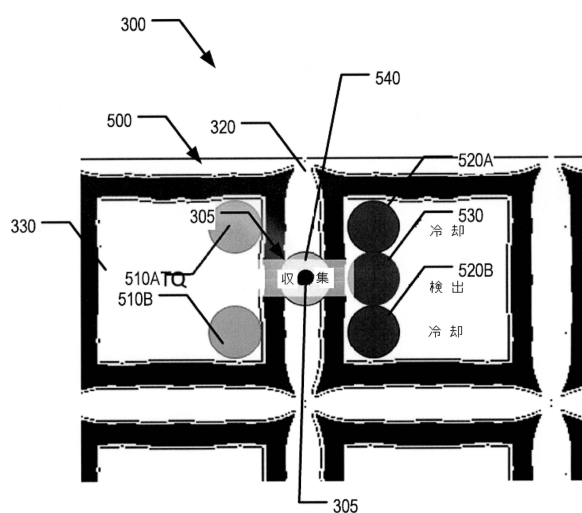


FIG. 5

【圖 6】

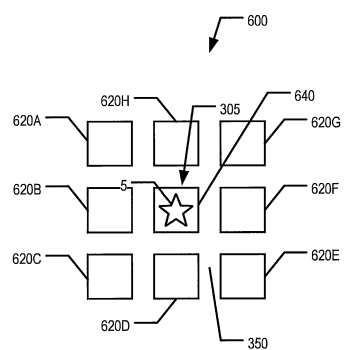


FIG. 6

【図 7 A】

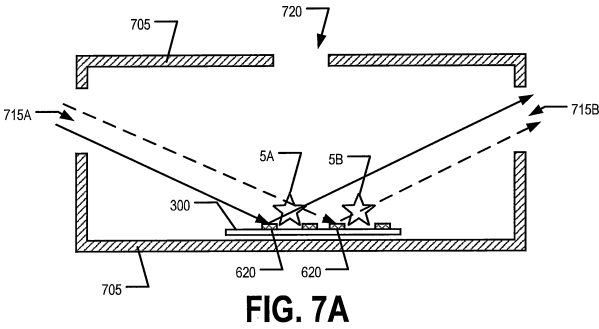


FIG. 7A

【図 7 B】

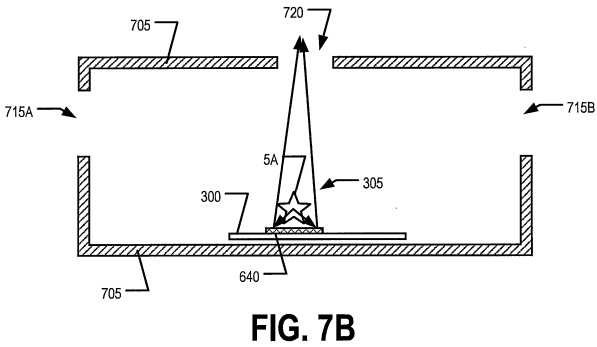


FIG. 7B

10

【図 8】

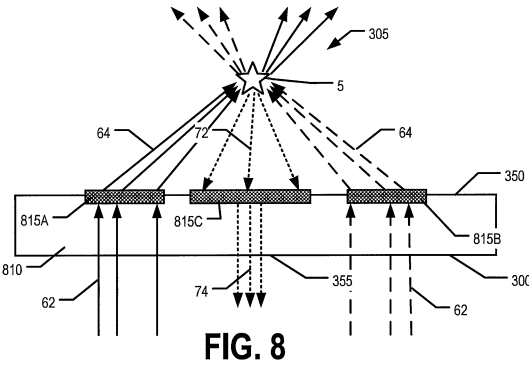


FIG. 8

【図 9】

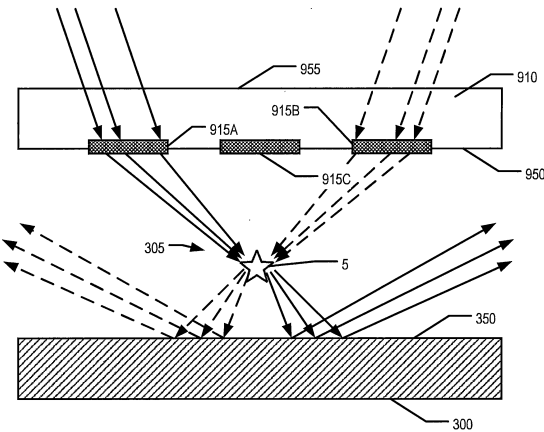


FIG. 9

20

30

40

50

【図 1 0 A】

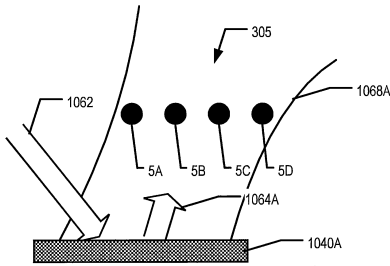


FIG. 10A

【図 1 0 B】

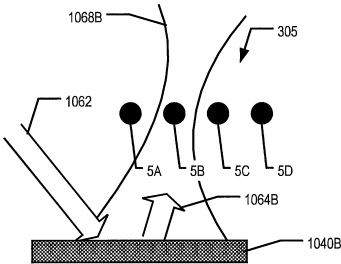


FIG. 10B

【図 1 0 C】

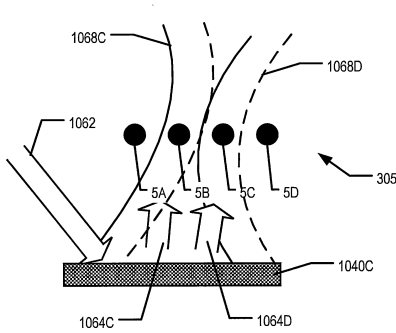


FIG. 10C

【図 1 1】

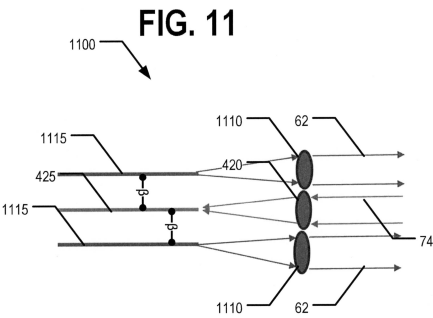


FIG. 11

10

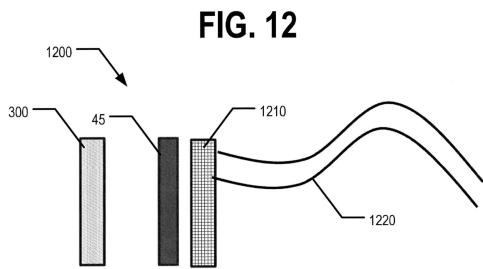
20

30

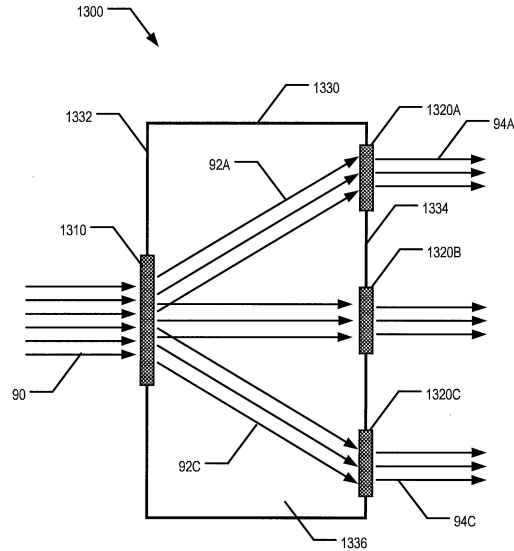
40

50

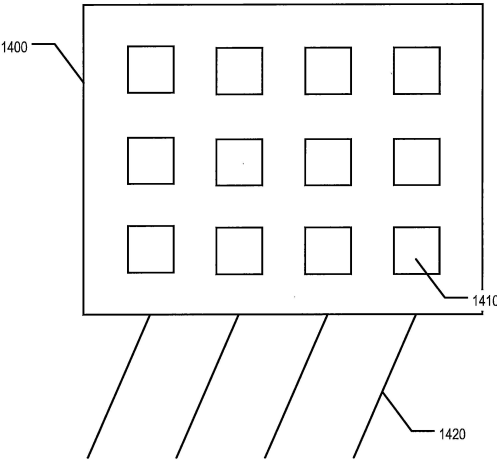
【 図 1 2 】



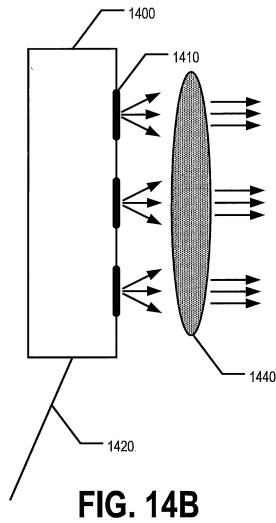
【 図 1 3 】



【 図 1 4 A 】



【 図 1 4 B 】



10

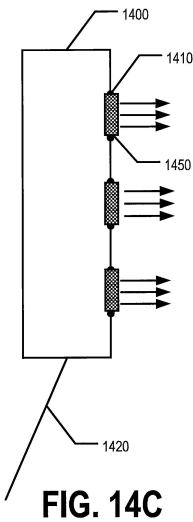
20

30

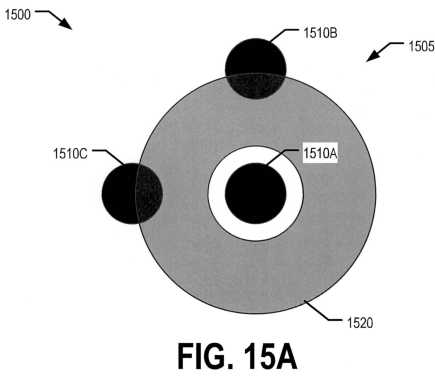
40

50

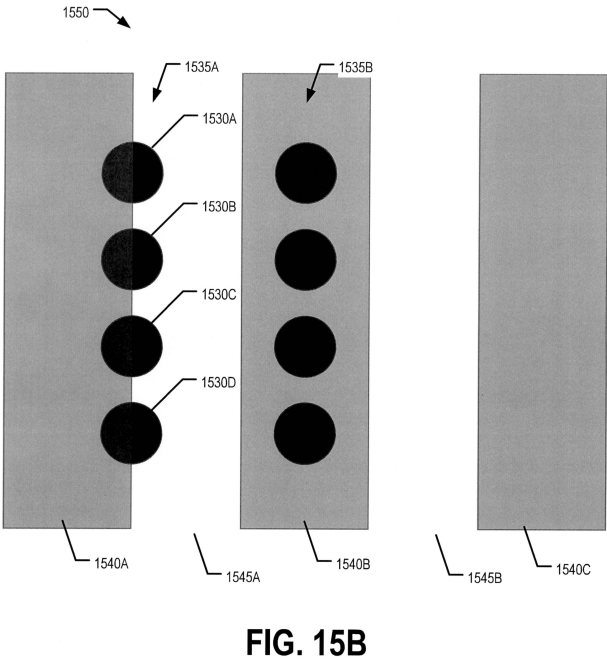
【図 1 4 C】



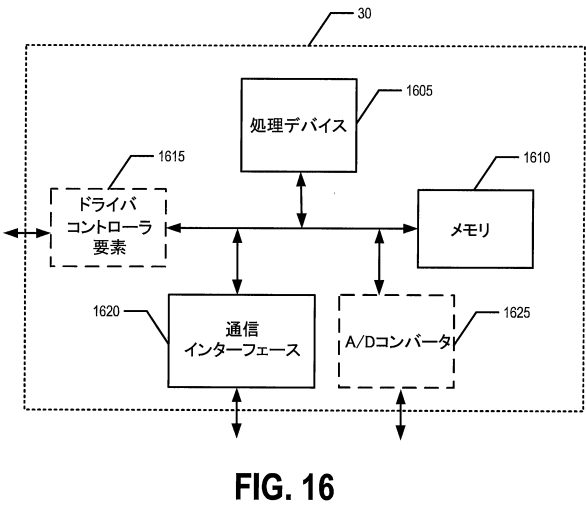
【図 1 5 A】



【図 1 5 B】



【図 1 6】



10

20

30

40

50

【図 17】

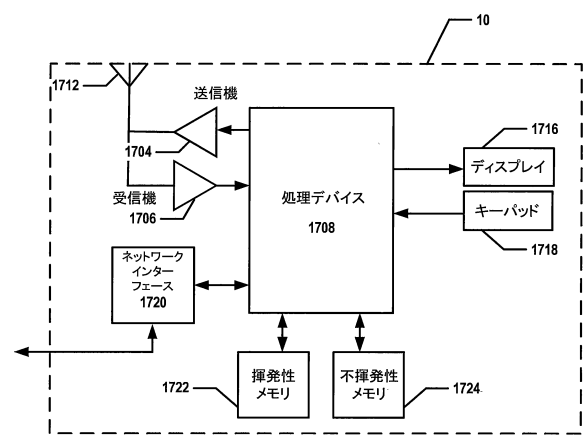


FIG. 17

【外国語明細書】

2022161879000027.pdf

フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
<i>B 8 2 Y</i> 10/00 (2011.01)	B 8 2 Y 10/00	
<i>G 0 6 N</i> 10/20 (2022.01)	G 0 6 N 10/20	
<i>G 0 2 F</i> 3/00 (2006.01)	G 0 2 F 3/00	5 0 1

(72)発明者 アダム・オラニク
アメリカ合衆国・コロラド・8 0 0 2 1・ブルームフィールド・サウス・テクノロジー・コート・
3 0 3

F ターム (参考) 2K102 BA31 BB01 BB04 BB05 BB10 BC01 DA16 DC09 DD10 EA02
EA19 EA21 EB10 EB16 EB20 EB30
5C038 FF13