

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7516574号

(P7516574)

(45)発行日 令和6年7月16日(2024.7.16)

(24)登録日 令和6年7月5日(2024.7.5)

(51)国際特許分類 F I
 G 0 2 F 1/035(2006.01) G 0 2 F 1/035

請求項の数 8 (全11頁)

(21)出願番号	特願2022-579684(P2022-579684)	(73)特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050 3050 Bowers Avenue Santa Clara CA 95054 U.S.A.
(86)(22)出願日	令和3年5月3日(2021.5.3)	(74)代理人	110002077 園田・小林弁理士法人
(65)公表番号	特表2023-532244(P2023-532244 A)	(72)発明者	テオ, ラッセル チン イー アメリカ合衆国 カリフォルニア 950 最終頁に続く
(43)公表日	令和5年7月27日(2023.7.27)		
(86)国際出願番号	PCT/US2021/030418		
(87)国際公開番号	WO2021/262321		
(87)国際公開日	令和3年12月30日(2021.12.30)		
審査請求日	令和5年2月21日(2023.2.21)		
(31)優先権主張番号	63/045,044		
(32)優先日	令和2年6月27日(2020.6.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 薄膜電気光学導波管変調器装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気光学導波管変調器装置であって、
 基板上のシード層であって、当該シード層の表面と整列した第1の結晶面を有する、シード層、
 前記シード層上で第1の方向に延在し、前記シード層の前記表面と整列した第2の結晶面を有する、電気光学チャネル、
 前記第1の方向と直交する第2の方向における、前記基板上的前記電気光学チャネルの両側の絶縁体層、
 前記電気光学チャネル及び絶縁体層の上の電極バリア層、並びに
 前記第2の方向に延在する電極のうちの1つ又は複数
 を備え、
 前記シード層、前記電極バリア層、及び前記絶縁体層が、それぞれ異なる材料から形成され、
 前記シード層及び前記絶縁体層がそれぞれ、前記電気光学チャネルより低い屈折率を有する、電気光学導波管変調器装置。

【請求項2】

前記シード層が、前記シード層の前記表面と整列した(001)結晶面を有する酸化マグネシウム(MgO)を含む、請求項1に記載の電気光学導波管変調器装置。

【請求項3】

10

20

前記電気光学チャネルが、前記シード層の前記表面と整列した(001)結晶面を有するチタン酸バリウム($BaTiO_3$)及びチタン酸バリウムストロンチウム(BaO_4SrTi , $BSTO$)から選択された材料を含む、請求項2に記載の電気光学導波管変調器装置。

【請求項4】

前記シード層が、約0.25nmと約5nmとの間の厚さを有する、請求項1に記載の電気光学導波管変調器装置。

【請求項5】

前記電気光学チャネルが、前記第2の方向における約4nmと約500nmとの間の幅、及び約100nmと約300nmとの間の厚さを有する、請求項1に記載の電気光学導波管変調器装置。

10

【請求項6】

前記シード層がチタン酸ストロンチウム($SrTiO_3$)を含む、請求項1に記載の電気光学導波管変調器装置。

【請求項7】

前記電気光学チャネルが、チタン酸ランタン($La_2Ti_2O_7$)を含む、請求項1に記載の電気光学導波管変調器装置。

【請求項8】

前記電極バリア層は、窒化タンタル(TaN)、窒化チタン(TiN)、チタン(Ti)、及び酸化タンタル(Ta_2O_5)から選択された材料で形成され、

20

前記絶縁体層は、酸化ケイ素(SiO_2)、窒化ケイ素(Si_3N_4)、低k誘電体材料、超低k誘電体材料、極低k誘電体材料、 $SiCH$ 、 $SiCNH$ 、 $SiCONH$ 、ブラックダイヤモンド、多孔質材、及びエアギャップ材料のうちの少なくとも1つから形成される、請求項1に記載の電気光学導波管変調器装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の実施形態は、概して、電気光学装置に関し、より具体的には、シリコンプラットフォームに組み込まれた薄膜電気光学導波管(導波路)変調器装置に関する。

【背景技術】

30

【0002】

シリコンフォトンクス(silicon photonics)は、広範囲の用途向けに高密度で低コストの集積フォトニック回路用のプラットフォームとなっている。チタン酸バリウム($BaTiO_3$ 、 BTO)などの電気光学(EO : electro-optical)材料をシリコンフォトンクスに追加することにより、電力消費を低減しつつ動作速度を向上させることができる、変調器及びスイッチなどの多数の新規な動的フォトニックデバイスが実現可能となる。電気光学(EO)導波管位相変調器を含む、シリコンプラットフォームに組み込まれた電気光学装置は、単一光子源及び単一光子検出器を使用する全光量子計算(all-optical quantum computing)などの、台頭しつつある量子技術における重要な要素であり得る。

40

【0003】

しかしながら、近い将来の量子技術の進歩のためには、スケーラブルで再現可能な集積電気光学装置のためのアーキテクチャの開発が依然として欠けた要素である。

【発明の概要】

【0004】

本開示の実施形態は、概して、電気光学導波管変調器装置に関する。電気光学装置は、基板上的シード層であって、シード層の表面と整列した第1の結晶面を有する、シード層と、シード層上で第1の方向に延在し、シード層の表面と整列した第2の結晶面を有する、電気光学チャネルと、第1の方向と直交する第2の方向における、基板上的電気光学チャネルの両側の絶縁体層と、電気光学チャネル及び絶縁体層上の電極バリア層と、第2の

50

方向に延在する電極のうちの1つ又は複数とを含む。シード層及び絶縁体層はそれぞれ、電気光学チャネルより低い屈折率を有する材料を含む。

【0005】

本開示の実施形態は、結晶学的に整列した表面を有する基板を形成する方法にさらに関連する。当該方法は、イオンビーム支援堆積プロセス及びパルスレーザ堆積プロセスから選択された1つのプロセスを通して、基板上にシード層を堆積させることと、堆積されたシード層をアニーリングして、シード層の第1の結晶面をシード層の表面と整列させることとを含む。

【0006】

本開示の実施形態は、電気光学導波管変調器装置を形成する方法にさらに関連する。当該方法は、イオンビーム支援堆積プロセス及びパルスレーザ堆積プロセスから選択された1つのプロセスを通して、基板上にシード層を堆積させることと、堆積されたシード層をアニーリングして、シード層の第1の結晶面をシード層の表面と整列させることと、シード層上に電気光学材料の層を堆積させることと、電気光学材料の堆積された層をアニーリングして、電気光学材料の層の第2の結晶面をシード層の表面と整列させることと、電気光学材料の層をパターンニングして、シード層上で第1の方向に延在する電気光学チャネルを形成することとを含む。シード層は、電気光学チャネルより低い屈折率を有する材料を含む。

10

【0007】

本開示の上述の特徴を詳しく理解することができるように、実施形態を参照することによって、上記で簡単に要約された本開示のより詳細な説明を得ることができる。実施形態の一部は、添付の図面に示されている。しかし、添付の図面は、例示的な実施形態のみを示すものであり、したがって、本開示の範囲を限定すると見なすべきではなく、その他の等しく有効な実施形態も許容し得ることに、留意されたい。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】—実施形態に係る、電気光学(EO)導波管変調器の概略図である。

【図2】—実施形態に係る、EO導波管の製造に使用される処理シーケンスのフロー図を示す。

【図3】—実施形態に係る、基板処理システムの概略図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0009】

理解を容易にするために、可能な場合には、複数の図に共通する同一の要素を指し示すのに同一の参照番号を使用した。ある実施形態の要素及び特徴は、さらなる記述がなくとも、他の実施形態に有益に組み込まれ得ると想定されている。

【0010】

本開示の実施形態は、概して、電気光学(EO: electro-optical)装置に関し、より具体的には、シリコンプラットフォームに組み込まれた薄膜電気光学(EO)導波管変調器装置に関する。

【0011】

本明細書に記載された実施形態では、シリコンプラットフォームに組み込まれた薄膜電気光学(EO)導波管位相変調器は、EO材料が高い電気光学係数(例えば、ポッケル係数(Pockel Coefficient) $> 700 \text{ pm/V}$)を有するように結晶方位が整列したEO材料を備えるほどに高品質であり、結果的に、印加された電界に対して高感度である。EO材料の結晶方位と堆積されたシード層は整列していないため、EO材料の結晶方位と基板上に形成された下層のシード層との整列は、高温でレーザアニールプロセスなどのアニーリングプロセスによって行われる。アニールプロセスは、基板を、予洗浄のための予洗浄チャンバとEO材料及び/又はシード層の堆積のための処理チャンバとの間で移送する際に、真空を破ることなく実行される。

40

【0012】

50

このような薄膜電極導波管位相変調器は、入射光の位相を変調するために、印加される電界の強さによって屈折率が異なり、したがって、光ファイバ、又は単一光子源及び単一光子検出器と組み合わせることにより、次世代の光通信や量子技術における有効な素子として利用することができる。

【0013】

従来、電気光学（EO）装置は、バルクニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）単結晶上に製作され、大型かつ高品質の単結晶として成長する能力の故に、他の光学構成要素や電子構成要素と組み合わせられる。シリコン上の集積化され小型の光学系に対する最近の開発努力により、 LiNbO_3 よりも遙かに高い電気光学係数を有する強誘電体酸化物材料（例えば、チタン酸バリウム（ BaTiO_3 、BTO））を用いて、薄膜の光学構成要素及び電気光学（EO）構成要素（例えば、導波路、光源、変調器、検出器）の製造と特性化が要求されている。本明細書に記載された実施形態では、シリコンベースプラットフォーム上に形成された薄膜電気光学（EO）導波管位相変調器の実施例が説明される。しかしながら、本開示は、この特定の用途での使用に限定されず、他の薄膜電気光学（EO）構成要素に適用することができる。図1は、1つ又は複数の実施形態に係る、電気光学（EO）導波管変調器100の概略図である。図2は、1つ又は複数の実施形態に係る、EO導波管変調器100の製造に使用される処理シーケンス200のフロー図を示す。基板102上にEO導波管変調器100を製作するための処理シーケンス200は、図3に関連して以下で説明されるクラスタツール300などの基板処理システムで実行される。

【0014】

ここで使用される「基板」という用語は、後続の処理動作の土台として機能する材料の層のことを指しており、その上にEO導波管変調器100を形成するために配置される表面を含む。基板102は、(001)シリコンウエハ、酸化ケイ素、ストレインドシリコン、シリコンゲルマニウム、ドーパされた又はドーパされていないポリシリコン、ドーパされた又はドーパされていないシリコンウエハ、パターニングされた又はパターニングされていないウエハのシリコンオンインシュレータ（SOI）、炭素がドーパされた酸化ケイ素、窒化ケイ素、リン化インジウム、ゲルマニウム、ヒ化ガリウム、窒化ガリウム、石英、熔融シリカ、ガラス、又はサファイアであってもよい。しかも、基板102はいかなる特定の大きさ又は形状に限定されない。基板102は、直径200mm、直径300mm、又は他の直径、とりわけ直径450mmを有する円形ウエハであってもよい。さらに、基板102は、多角形ガラス基板などの、任意の多角形の、正方形の、長方形の、湾曲した、又は非円形のワークピースであってもよい。

【0015】

処理シーケンス200のブロック202では、基板102の表面は、その上にEO導波管変調器100を製造する前に、予備洗浄されて、自然酸化物又は他の汚染源が除去される。例えば、基板102は、約24 から約50 の温度で希フッ酸（dHF）エッチング溶液を用いた湿式エッチングプロセスによって予備洗浄され得る。代替的に、基板102は、カリフォルニア州サンタクララのアプライドマテリアルズ社から入手可能なSICONI（商標）チャンバなどの予洗浄チャンバにおいて蒸気エッチングプロセスによって予洗浄され得る。予洗浄ガスは、窒素（ N_2 ）ガスと水素（ H_2 ）ガスの混合ガスであってもよい。アルゴン（Ar）などのパージガス又はキャリアガスも予洗浄ガス混合物に加えることができる。

【0016】

EO導波管変調器100は、基板102上に形成されたシード層104を含む。シード層104は、X-Y面において酸化マグネシウム（又はマグネシア、 MgO ）で形成され、Z方向において約0.25nmと約15nmとの間の厚さを有する。シード層104は、下層基板102（例えば、(001)シリコンウエハ）の結晶面と整列したX-Y面に平行な(001)結晶面を有するように形成される。幾つかの実施形態では、シード層104は、室温で、アルゴン（Ar）ガス及び酸素（ O_2 ）ガスを含む混合ガスに基づくプラズマを用いて、物理的気相堆積（PVD）プロセスによって、予備洗浄された基板10

10

20

30

40

50

2 上に MgO を堆積させることによって形成される。PVD チャンバ内に收容されたターゲットは、MgO を含む。処理シーケンス 200 のブロック 204 では、シード層 104 は、他の化学堆積プロセス（例えば、化学気相堆積（CVD）プロセス、有機金属化学気相堆積（MOCVD）、原子層堆積（ALD）プロセス、又は分子線エピタキシー（MBE: molecular beam epitaxy）プロセス）によって形成される。しかしながら、堆積されたシード層 104 は、体心立方（BCC）又は面心立方（FCC）の結晶格子構造の（200）、（220）、（222）のような、サイズと結晶方位の異なる複数の結晶子のドメインを含むことがある。したがって、シード層 104 が、X-Y 面に平行な（001）結晶面を有する MgO 結晶子のより大きなドメインを含むようにさらに処理される。例えば、MgO は、イオンビーム支援堆積（IBAD: ion beam assisted deposition）プロセスにより、基板 102 上にさらに堆積され得る。IBAD プロセスでは、MgO が堆積されると、MgO 結晶子の結晶方位に応じて、アルゴンイオン（Ar⁺）又は酸素イオン（O⁺）などの高エネルギー（約 300 eV 及び約 2000 eV）イオンのビームによって、MgO が同時にエッチングされる。シード層 104 の表面（すなわち、X-Y 面）に対して 45 度の角度でイオンビームが入射すると、（001）結晶面（イオンビームに対して面外）と（101）結晶面（面内かつイオンビームに対して平行）を有する結晶子が優先的に形成され、他の面を有する結晶体は除去される。幾つかの実施形態では、シード層 104 は、パルスレーザ堆積プロセスによって形成される。

【0017】

処理シーケンス 200 のブロック 206 では、シード層 104 は、レーザアニールプロセス、急速熱アニール（RTA）プロセス、アニールプロセス、又は真空アニールチャンバ内のアニールプロセスによって、結晶面（001）とまだ整列していないドメインから結晶構造を再生するためにさらにアニールされてもよい。レーザアニールプロセスでは、シード層 104 の表面が、アルゴン（Ar）などのパージガス又はキャリアガスを用いて、酸素（O₂）、水素（H₂）、及び窒素（N₂）を含む雰囲気において、大気圧で約 700 から約 1100 の間の温度で、約 0.1 秒から約 24 時間の間照射される。RTA プロセスでは、アニールプロセスは、高真空圧で約 200 から約 1000 の温度で、アルゴン（Ar）などのパージガス又はキャリアガスを用いて、酸素（O₂）、水素（H₂）、及び窒素（N₂）を含む雰囲気において約 0.1 秒から約 24 時間の間持続する。アニールプロセスは、急速熱処理（RTP）チャンバ内の炉アニールであってもよく、この場合、シード層 104 は、高真空で約 0.1 秒と約 24 時間との間、アルゴン（Ar）などのパージガス又はキャリアガスを用いて、酸素（O₂）、水素（H₂）、及び窒素（N₂）を含む雰囲気において、約 200 と約 1000 との間の温度に加熱される。アニールプロセスは、アルゴン（Ar）などのパージガス又はキャリアガスを用いて、約 5 分から約 90 分の間、約 1000 の温度で真空アニールチャンバ又は高圧チャンバ内で行うことができる。

【0018】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる別の実施形態では、ブロック 204 における堆積プロセス、及びブロック 206 におけるアニールプロセスは、結晶面（001）を有する MgO 結晶子の所望のドメインサイズを有するシード層 104 の所望の厚さを達成するまで繰り返される。

【0019】

EO 導波管変調器 100 は、シード層 104 の（001）結晶面に X 方向に形成された EO チャンネル 106 をさらに含む。EO チャンネル 106 は、EO 導波管変調器 100 の導波領域を画定する。EO チャンネル 106 は、材料に印加される電界に比例して屈折率が変化するポッケルス効果（Pockels effect）（線形 EO 効果とも呼ばれる）を示す材料で形成される。幾つかの実施形態では、EO チャンネル 106 は、BTO の c 軸が Z 方向に配向されたチタン酸バリウム（BaTiO₃, BTO）で形成される。バルク BTO は、周知の材料の中で最も大きなポッケルス係数（> 1000 pm/V 以上）を有

する。EOチャンネル106は、Y方向の幅が約4nmと約500nmとの間であり、Z方向の厚さが約100nmと約300nmとの間である。EOチャンネル106は、シード層104上にBTOの層を形成し、シード層104上のBTOの層をパターニングすることにより製作される。処理シーケンス200のブロック208では、BTOの層は、堆積プロセス（例えば、PVDプロセス、CVDプロセス、若しくはALDプロセス）によって形成されてもよく、又はエピタキシャル成長させてもよい。処理シーケンス200のブロック210では、堆積されたBTOの層を、ブロック206におけるアニーリングプロセスと実質的に同じようにアニールして、X-Y平面（すなわち、Z軸に沿ったc軸）に(001)結晶面を有するBTO結晶子の大きなドメインを形成してもよい。幾つかの実施形態では、EOチャンネル106は、チタン酸バリウムストロンチウム（BaO₄SrTi, BSTO）で形成される。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる別の実施形態では、ブロック208における堆積プロセス、及びブロック210におけるアニールプロセスは、結晶面(001)を有するBTO結晶子の所望のドメインサイズを有するシード層104の所望の厚さを達成するまで繰り返される。

10

【0020】

処理シーケンス200のブロック212では、下層のシード層104とともにBTOの層がエッチングされて、EOチャンネル106を形成する。

【0021】

立方晶MgO（300Kで $a = 4.2313$ ）と正方晶BTO（300Kで $a = 3.992$ 、 $c = 4.036$ ）との間の格子不整合が非常に大きい。しかしながら、MgOは、その低い屈折率（波長 $1.55\mu\text{m}$ で約1.7）及び光透過性のゆえに、シード層104として使用されることが多い。シード層104の低屈折率（波長 $1.55\mu\text{m}$ で電界が印加されていないときに約2.3であるEOチャンネル106の屈折率より低い）により、EOチャンネル106内でZ方向の光の閉じ込めが保証されるので、シード層104は、EOチャンネル106を下層のシリコン基板102から光学的に分離する。

20

【0022】

幾つかの実施形態では、シード層104は、チタン酸ストロンチウム（SrTiO₃, STO）から形成され、EOチャンネル106は、チタン酸ランタン（La₂Ti₂O₇, LTO）から形成される。

【0023】

EO導波管変調器100は、X方向にEOチャンネル106の両側で、基板102上に絶縁体層108をさらに含む。絶縁体層108は、低屈折率を有する誘電体材料（例えば、酸化ケイ素（SiO₂、波長 $1.55\mu\text{m}$ で屈折率約1.4）、窒化ケイ素（Si₃N₄、波長 $1.55\mu\text{m}$ での屈折率約2.0）、低k誘電体材料、超低k誘電体材料、極低k誘電体材料、SiCH、SiCNH、SiCONH、ブラックダイヤモンド、多孔質材、エアギャップ材料）から形成され得る。処理シーケンス200のブロック214では、絶縁体層108は、PVDプロセス、CVDプロセス、又はALDプロセスなどの堆積プロセスによって、シード層104及びEOチャンネル106の露出表面に誘電体材料のブランケット層を堆積し、その後、誘電体材料のブランケット層を部分的にエッチバック又は化学研磨して、EOチャンネル106を露出させて絶縁層108と平坦化されるようにすることにより、形成される。

30

40

【0024】

EO導波管変調器100は、EOチャンネル106及び絶縁体層108の上に電極バリア層110をさらに含む。電極バリア層110は、窒化タンタル（Ta₂N₅）、窒化チタン（TiN）、チタン（Ti）、及び酸化タンタル（Ta₂O₅）から選択された材料で形成される。バリア層110のZ方向の厚さは、約0.25nmと約15nmとの間である。処理シーケンス200のブロック216では、電極バリア層110は、堆積プロセス（例えば、PVDプロセス、CVDプロセス、又はALDプロセス）によって形成されてもよい。

【0025】

50

EO導波管変調器100は、EOチャンネル106の側面に形成された、Y方向に延びる同一平面上の電極112のうちの1つ又は複数をさらに含む。電極112は、ニッケル(Ni)、タングステン(W)、ルテニウム(Ru)、アルミニウム(Al)、モリブデン(Mo)、銅(Cu)、又はコバルト(Co)から形成される。電極112はそれぞれ、Y方向の幅が約0.4nmと約500nmとの間であり、Z方向の厚さが約1nmと約1000nm、例えば、約100nmである。電極112にDC電圧又は低周波電圧を印加すると、EOチャンネル106の屈折率が変化し、結果的にEOチャンネル106の導波領域を伝搬する光の位相の変調が生じる。処理シーケンス200のブロック218では、電極112は、堆積プロセス(例えば、PVDプロセス、CVDプロセス、又はALDプロセス)によって、ニッケル(Ni)、タングステン(W)、ルテニウム(Ru)、アルミニウム(Al)、モリブデン(Mo)、銅(Cu)、又はコバルト(Co)などの金属の層を堆積し、堆積した金属の層をパターニングすることによって形成される。電極112は、ブロック206におけるアニーリングプロセスと実質的に同じようにアニールされてもよい。

【0026】

図3は、1つ又は複数の実施形態に係る、EO導波管変調器100が製造され得る基板処理システム300を示す。基板処理システム300の例としては、カリフォルニア州サンタクララのアプライドマテリアルズ社から市販されているENDURA(登録商標)システム及びCentura(登録商標システム)が挙げられる。代替的に、他の基板処理システムも本開示に従って改修することができる。

【0027】

基板処理システム300は、真空気密処理プラットフォーム302、ファクトリインターフェース304、及びシステムコントローラ306を含む。さらに、基板処理システム300は、クラスタツール又はマルチチャンバ処理システムとも呼ばれることがある。

【0028】

処理プラットフォーム302は、1つ又は複数の処理チャンバを含む。例えば、処理プラットフォーム302は、処理チャンバ308、310、312、314、316、318、320、322、324を含み得る。さらに、処理プラットフォーム302は、1つ又は複数の移送チャンバを含む。例えば、図3に示されるように、処理プラットフォーム302は、移送チャンバ326、328を含む。処理プラットフォーム302は、移送チャンバ間で基板を移送することを可能にする1つ又は複数のパススルーチャンバも含み得る。例えば、パススルーチャンバ330、332が、基板を移送チャンバ326と移送チャンバ328との間で移送することを可能にし得る。

【0029】

処理プラットフォーム302は、1つ又は複数のロードロックチャンバをさらに含む。例えば、図3に示されるように、処理プラットフォーム302は、ロードロックチャンバ334、336を含む。ファクトリインターフェース304から移送チャンバ326に基板を移送する前に、ロードロックチャンバ334、336を真空下で動作するようにポンプダウンしてもよい。

【0030】

ファクトリインターフェース304は、1つ又は複数のドッキングステーション338、1つ又は複数のファクトリインターフェースロボット340、及び充電ステーション342を含む。ドッキングステーション338は、1つ又は複数の前面開口型統一ポッド(FOUP: front opening unified pods)344A、344B、344C、344Dを含む。ファクトリインターフェースロボット340は、矢印346で示される線形運動及び回転運動が可能であり得る。さらに、ファクトリインターフェースロボット340は、FOUP344A~344D、ロードロックチャンバ334、336、及び充電ステーション342の間で基板を移送することができる。処理プラットフォーム302内で基板を処理するために、ファクトリインターフェースロボット340によって、基板を充電ステーション342からロードロックチャンバ334、336のうち

10

20

30

40

50

の1つ又は複数に移送することができる。その後、処理された基板は、ファクトリインターフェースロボット340によって、ロードロックチャンバ334、336からFOUP344A~344Dのうちのいずれかに移送され得る。

【0031】

移送チャンバ326は、移送ロボット348を含む。移送ロボット348は、ロードロックチャンバ334、336との間で、処理チャンバ308、310、312、314との間で、かつパススルーチャンバ330、332との間で基板を移送する。パススルーチャンバ330及び332は、真空状態を維持するために利用することができ、それと同時に、処理プラットフォーム302内で移送チャンバ326と移送チャンバ328との間で基板を移送することを可能にする。移送チャンバ328は、移送ロボット350を含む。移送ロボット350は、基板を、パススルーチャンバ330、332と処理チャンバ316、318、320、322、324との間、及び処理チャンバ316、318、320、320、322、324の間で移送する。

10

【0032】

処理チャンバ308、310、312、314、316、318、320、322、324は、基板を処理するのに適した任意の態様で構成され得る。例えば、処理チャンバ308、310、312、314、316、318、320、322、324は、1つ又は複数の材料層を堆積し、1つ又は複数の洗浄プロセスを基板に施すように構成されてもよい。

【0033】

処理チャンバ、例えば、処理チャンバ308、310、312、314は、基板を別の処理チャンバに移送する前に、予洗浄プロセスを行い、基板から汚染物質を除去し、かつ/又は揮発性構成要素を抜くように構成され得る。処理チャンバ322は、基板上に1つ又は複数の層を堆積させるように構成され得る。さらに、処理チャンバ324は、基板が処理チャンバ316、318、320、322のうちの1つ又は複数に移送される前に基板上にマスク（例えば、シャドウマスク）を位置付けし、処理チャンバ316、318、320、322のうちの1つ又は複数の中での処理後に基板からマスクを取り外すように構成され得る。処理チャンバ316、318、320、322は、とりわけ、化学気相堆積（CVD）、原子層堆積（ALD）、有機金属化学気相堆積（MOCVD）、プラズマ化学気相堆積（PECVD）、及び物理的気相堆積（PVD）（例えば、スパッタリングプロセス又は蒸発プロセス）などの堆積プロセスを用いて、材料を堆積させるよう構成され得る。処理チャンバ316、318、320は、真空又は真空に近い圧力で基板をアニールし得る、急速熱アニール処理（RTA）チャンバ、又は急速熱処理（RTP）チャンバであり得る。RTAチャンバの例としては、カリフォルニア州サンタクララのアプリドマテリアルズ社から市販されているRADIANCE（商標）チャンバが挙げられる。代替的に、処理チャンバ316、318、320は、高温CVD堆積、アニーリングプロセス、又はインシトゥの堆積及びアニーリングプロセスを行うことができるW×Z（商標）堆積チャンバであり得る。

20

【0034】

コントローラ306は、基板処理システム300の構成要素を制御するように構成されている。コントローラ306は、処理チャンバ308、310、312、314、316、318、320、322、324、移送チャンバ326、328、パススルーチャンバ330、332、及びファクトリインターフェース304のうちの1つ又は複数の動作を制御するための任意の適切なコントローラであってもよい。例えば、コントローラ306は、移送ロボット348、移送ロボット350、及びファクトリインターフェースロボット340の動作を制御するように構成され得る。コントローラ306は、中央処理ユニット（CPU）352、メモリ354、及び支持回路356を含む。CPU352は、産業環境で利用され得る任意の汎用コンピュータプロセッサであってもよい。支持回路356は、CPU352に連結され、キャッシュ、クロック回路、入出力サブシステム、及び電源等を含み得る。ソフトウェアルーチンは、メモリ354内に記憶され得る。ソフトウェ

30

40

50

ルーチンは、CPU 352によって実行されてもよく、したがって、基板処理システム300内の様々な構成要素に、本明細書に記載される方法のうちの1つ又は複数を実行させるように適合される。代替的に、又は追加的に、ソフトウェアルーチンのうちの1つ又は複数が、第2のCPU(図示せず)によって実行されてもよい。第2のCPUは、コントローラ306の一部であってもよく、又はコントローラ306から遠隔な位置にあってもよい。

【0035】

1つ若しくは複数の処理チャンバ308、310、312、314、316、318、320、322、324、1つ若しくは複数の移送チャンバ326、328、1つ若しくは複数のパススルーチャンバ330、332、及び/又はファクトリインターフェース304は、ここに開示する方法の少なくとも一部を制御するように構成された専用の1つ又は複数のコントローラ(図示せず)を有してもよい。専用コントローラは、コントローラ306と同様に構成されてもよく、基板処理システム300内の処理を同期させるためにコントローラ306に連結されてもよい。

10

【0036】

ここに記載された実施形態では、シリコンプラットフォームに組み込まれた薄膜電気光学(EO)導波管位相変調器は、結晶方位が整列した電気光学材料を有する高品質なものである。このような薄膜電極導波管位相変調器は、光ファイバ、又は単一光子源及び単一光子検出器と組み合わせた場合、次世代の光通信や量子技術における有効な素子として利用することができる。

20

【0037】

以上の説明は本開示の実施形態を対象としているが、本開示の基本的な範囲から逸脱することなく本開示の他の実施形態及び更なる実施形態が考案されてもよく、本開示の範囲は、以下の特許請求の範囲によって決定される。

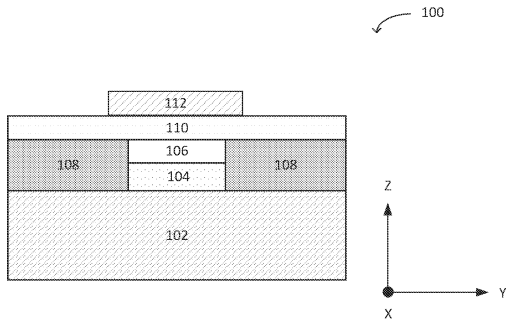
30

40

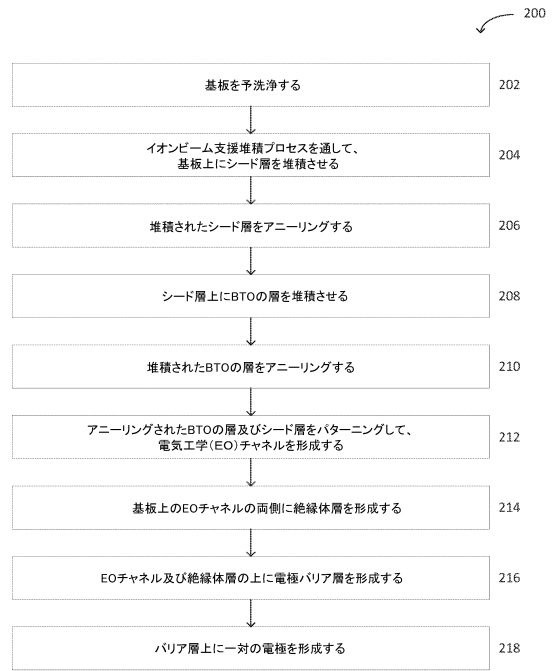
50

【図面】

【図 1】



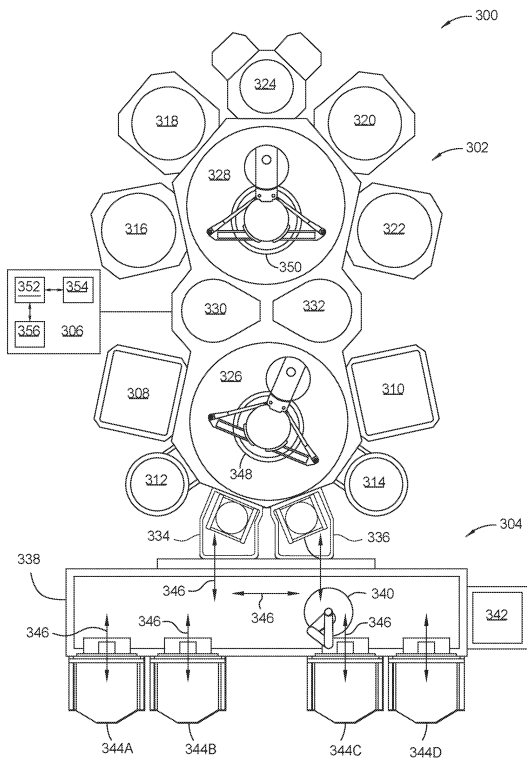
【図 2】



10

20

【図 3】



30

40

50

フロントページの続き

- 54, サンタ クララ, バウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ゴデット, ルドヴィーク
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, バウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ヤハブ, ニル
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, バウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ヴィッサー, ロバート ジャン
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, バウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- 審査官 奥村 政人
- (56)参考文献 特開2015-014716(JP, A)
特開2000-047272(JP, A)
特開平06-118357(JP, A)
米国特許出願公開第2019/0384073(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02F 1/00 - 1/125
G02F 1/21 - 7/00
G02B 6/12 - 6/14
C23C 14/00 - 14/58
C23C 16/00 - 16/56