

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7512349号
(P7512349)

(45)発行日 令和6年7月8日(2024.7.8)

(24)登録日 令和6年6月28日(2024.6.28)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 2 B	5/18 (2006.01)	G 0 2 B	5/18
H 0 1 L	21/027 (2006.01)	H 0 1 L	21/30 5 0 2 D
G 0 3 F	7/20 (2006.01)	G 0 3 F	7/20 5 0 1
請求項の数 17 外国語出願 (全20頁)			
(21)出願番号	特願2022-178867(P2022-178867)	(73)特許権者	390040660
(22)出願日	令和4年11月8日(2022.11.8)		アプライド マテリアルズ インコーポレ
(62)分割の表示	特願2020-571759(P2020-571759)		イテッド
	の分割		APPLIED MATERIALS ,
原出願日	令和1年6月27日(2019.6.27)		INCORPORATED
(65)公開番号	特開2023-22053(P2023-22053A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0
(43)公開日	令和5年2月14日(2023.2.14)		5 4 , サンタ クララ , パウアーズ ア
審査請求日	令和4年12月7日(2022.12.7)		ヴェニュー 3 0 5 0
(31)優先権主張番号	62/691,421		3 0 5 0 Bowers Avenue
(32)優先日	平成30年6月28日(2018.6.28)		Santa Clara CA 9 5 0 5 4
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	U . S . A .
(31)優先権主張番号	62/692,286		110002077
(32)優先日	平成30年6月29日(2018.6.29)		園田・小林弁理士法人
(33)優先権主張国・地域又は機関		(72)発明者	ゴデット , ルドヴィーク
	最終頁に続く		アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 4 0
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 回折格子の製造

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板をパターニングする方法であって、
基板の第 1 の面上にハードマスク層を形成することであって、前記基板は、透明な材料から形成され、前記基板の幅に沿った垂直面によって規定される、ハードマスク層を形成することと、
前記ハードマスク層上に、パターニングされた層を形成することと、
前記パターニングされた層および前記ハードマスク層をエッチングして、前記基板の前記第 1 の面を露出させることと、
前記パターニングされた層を除去することと、
前記基板の前記第 1 の面をエッチングして、前記基板の前記第 1 の面に第 1 の複数の傾斜メサを形成することであって、前記第 1 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、前記垂直面に対して 2 0 度から 7 0 度の角度でエッチングされる、第 1 の複数の傾斜メサを形成することと、
その後、前記ハードマスク層を除去することと、
前記第 1 の面とは反対側の前記基板の第 2 の面上に、前記第 1 の複数の傾斜メサとは異なる角度の第 2 の複数の傾斜メサを形成することと、
を含む、方法。

【請求項 2】

前記基板の前記第 1 の面上に前記ハードマスク層を形成することは、化学気相堆積 (C

V D)、物理的気相堆積(P V D)、または原子層堆積(A L D)を使用することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記透明な材料がガラスまたはポリマーを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基板の前記第 2 の面上に前記第 2 の複数の傾斜メサを形成するのに、ナノインプリントリソグラフィが使用される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

回折格子を形成する方法であって、

ターゲットスタック上に第 1 のハードマスク層を形成することであって、前記ターゲットスタックは、第 1 の基板の第 1 の面上に形成されている、第 1 のハードマスク層を形成することと、

前記第 1 のハードマスク層に複数の開口をエッチングすることと、

前記ターゲットスタックをエッチングして、前記第 1 の基板の前記第 1 の面上の前記ターゲットスタックに第 1 の複数の傾斜メサを形成することであって、前記第 1 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、垂直面に対して 20 度から 70 度の第 1 の角度でエッチングされる、第 1 の複数の傾斜メサを形成することと、

エッチングされた前記ターゲットスタックから、前記第 1 の基板を除去することと、

第 2 の基板の第 1 の面に、エッチングされた前記ターゲットスタックを取り付けることと、

前記第 2 の基板の前記第 1 の面とは反対側の、前記第 2 の基板の第 2 の面上に、第 2 のハードマスク層を形成することであって、前記第 2 の基板は、透明な材料を含み、前記第 2 の基板の幅に沿った垂直面によって規定される、第 2 のハードマスク層を形成することと、前記第 2 のハードマスク層上に、パターンングされた層を形成することと、

前記パターンングされた層および前記第 2 のハードマスク層をエッチングして、前記第 2 の基板の前記第 2 の面を露出させることと、

前記パターンングされた層を除去することと、

前記第 2 の基板の前記第 2 の面をエッチングすることと、

前記エッチングに応答して、前記第 2 の基板の前記第 2 の面に第 2 の複数の傾斜メサを形成することであって、前記第 2 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、前記垂直面に対して 20 度から 70 度の第 2 の角度でエッチングされる、第 2 の複数の傾斜メサを形成することと、

を含む、方法。

【請求項 6】

前記パターンングされた層を形成することが、ナノインプリントリソグラフィを使用することを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 2 の基板が透明基板である、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記ターゲットスタックは、デボンディング層を介して前記第 1 の基板に結合され、前記第 1 の基板を除去することは、前記デボンディング層を介して前記ターゲットスタックから前記第 1 の基板を取り外すことを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 9】

前記パターンングされた層を形成することが、ナノインプリントリソグラフィを使用することを含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

指向性エッチングを使用して、前記ターゲットスタックおよび前記第 2 の基板の前記第 2 の面の各々をエッチングすることをさらに含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 11】

前記ターゲットスタックに対する指向性エッチングは、

10

20

30

40

50

前記第 1 の基板の前記垂直面に対して前記第 1 の角度をなすイオンビームの経路に前記ターゲットスタックの第 1 の部分を位置付けることであって、前記ターゲットスタックの前記第 1 の部分をエッチングすることは、前記ターゲットスタックの前記第 1 の部分を前記イオンビームに露出して、前記第 1 の角度で前記第 1 の複数の傾斜メサを形成することを含む、第 1 の部分を位置付けることと、

前記第 1 の基板を、前記垂直面に対して垂直な中心軸の周りに所定の回転角度まで回転させることと、

を含む、請求項 1 0 に記載の方法。

【請求項 1 2】

回折格子を形成する方法であって、

ターゲットスタック上に第 1 のハードマスク層を形成することであって、前記ターゲットスタックは、第 1 の基板の第 1 の面上に形成されている、第 1 のハードマスク層を形成することと、

前記第 1 のハードマスク層に複数の開口をエッチングすることと、

前記ターゲットスタックをエッチングして、前記第 1 の基板の前記第 1 の面上の前記ターゲットスタックに、第 1 の複数の傾斜メサを形成することであって、前記第 1 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、垂直面に対して 2 0 度から 7 0 度の角度でエッチングされる、傾斜メサを形成することと、

前記第 1 の面とは反対側の前記第 1 の基板の第 2 の面上に、第 2 のハードマスク層を形成することであって、前記第 1 の基板は、前記第 1 の基板の幅に沿った垂直面によって規定される、第 2 のハードマスク層を形成することと、

前記第 2 のハードマスク層上に、パターニングされた層を形成することと、

前記パターニングされた層および前記第 2 のハードマスク層をエッチングして、前記第 1 の基板の前記第 2 の面を露出させることと、

前記パターニングされた層を除去することと、

前記第 1 の基板の前記第 2 の面をエッチングすることと、
を含む方法。

【請求項 1 3】

前記パターニングされた層を形成することが、ナノインプリントリソグラフィを使用することを含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記第 1 の基板の前記第 2 の面の前記エッチングに応答して、前記第 1 の基板の前記第 2 の面に第 2 の複数の傾斜メサを形成することをさらに含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記第 2 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、前記垂直面に対して 2 0 度から 7 0 度の角度でエッチングされる、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記第 1 のハードマスク層および/または前記第 2 のハードマスク層を形成することは、化学気相堆積 (CVD)、物理的気相堆積 (PVD)、または原子層堆積 (ALD) を使用することを含む、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記第 1 の基板が光学的に透明であり、ガラスまたはポリマーを含んでいる、請求項 1 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

【0001】 本開示の実施形態は、概して、種々のタイプの導波路で使用されるような光学素子構造、および光学素子構造を製造するシステムならびに方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

関連技術の説明

〔 0 0 0 2 〕 導波路は、信号の拡がりを 1 次元または 2 次元に制限し、最小のエネルギー損失での信号の伝播を可能にすることによって、電磁波または音波を導く構造である。波は 3 次元的に伝播し、音波や電磁波などの波の生成源から伝播して離れるにつれて、波は出力を失うことがある。波が 1 次元または 2 次元で伝搬するように波を閉じ込めることによって、波の出力は保存される。導波路はこのように、波が伝搬する間、波の出力を保持する。

【 0 0 0 3 〕

〔 0 0 0 3 〕 導波路結合器は、複数の入力信号を受け入れ、入力信号の組み合わせである単一の出力信号を生成することによって、RF 信号などの信号を組み合わせるために使用される。導波路に対する需要が増大するにつれて、例えば、光ファイバ用途、レーダ用途、科学的計装、および拡張現実において、導波路に対する需要が増大しており、現在の技術は、格子を形成するためのマスターパターンの作製およびインプリント複製の実行を包含するもので、インプリント可能な材料のみが導波路製造に使用可能である。

【 0 0 0 4 〕

〔 0 0 0 4 〕 そのため、改良された導波路製造のシステムおよび方法が依然として必要とされている。

【発明の概要】

【 0 0 0 5 〕

〔 0 0 0 5 〕 本明細書に記載のシステムおよび方法は、格子を形成する方法を対象としている。一実施例では、基板をパターニングする方法は、基板の第 1 の面上にハードマスク層を形成することであって、基板が透明な材料から形成され、基板の幅に沿った垂直面によって規定される、ハードマスク層を形成することと、ナノインプリントリソグラフィによって、ハードマスク層上にパターニングされた層を形成することとを含む。この実施例では、本方法は、パターニングされた層およびハードマスク層をエッチングして、基板の第 1 の面を露出することと、パターニングされた層を除去することと、基板の第 1 の面をエッチングして、基板の第 1 の面に第 1 の複数の傾斜メサ (a n g l e d m e s a s) を形成することとをさらに含む。第 1 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、垂直面に対して 2 0 度から 7 0 度の角度でエッチングされる。さらにこの方法では、基板の第 1 の面をエッチングした後、ハードマスク層を除去する。

【 0 0 0 6 〕

〔 0 0 0 6 〕 別の実施例では、格子を形成する方法は、第 1 の基板の第 1 の面上に形成されるターゲットスタック上にハードマスク層を形成することと、ハードマスク層内の複数の開口をエッチングすることと、ターゲットスタックをエッチングして、第 1 の基板の第 1 の面上のターゲットスタック内に第 1 の複数の傾斜メサを形成することとを含む。第 1 の複数の傾斜メサの各傾斜メサは、垂直面に対して 2 0 度から 7 0 度の第 1 の角度でエッチングされる。

【 0 0 0 7 〕

〔 0 0 0 7 〕 別の実施例では、格子を形成する方法は、第 1 の基板の第 1 の面上に形成されるターゲットスタック上にハードマスク層を形成することと、ハードマスク層内の複数の開口をエッチングすることと、ターゲットスタックをエッチングして、第 1 の基板の第 1 の面上のターゲットスタック内に第 1 の複数の傾斜メサを形成することとを含む。複数の傾斜メサの各傾斜メサは、垂直面に対して 2 0 度から 7 0 度の角度でエッチングされる。本方法はさらに、基板の幅に沿った垂直面によって規定される第 1 の基板の第 2 の面上にハードマスク層を形成することと、ナノインプリントリソグラフィによって、ハードマスク層上にパターニングされた層を形成することとを含む。

【 0 0 0 8 〕

〔 0 0 0 8 〕 本開示の上述の特徴を詳細に理解しうるように、上記で簡単に要約された本開示のより具体的な説明が、実施形態を参照することによって得られ、一部の実施形態は、添付の図面に例示されている。しかしながら、添付図面は例示的な実施形態のみを

10

20

30

40

50

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されうることに留意されたい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】本開示の実施形態による、透明基板上に格子構造を直接形成する方法のフロー図である。

【図 2 A】本開示の実施形態による、格子構造の形成操作の部分概略図である。

【図 2 B】本開示の実施形態による、格子構造の形成操作の部分概略図である。

【図 2 C】本開示の実施形態による、格子構造の形成操作の部分概略図である。

【図 2 D】本開示の実施形態による、格子構造の形成操作の部分概略図である。

10

【図 2 E】本開示の実施形態による、格子構造の形成操作の部分概略図である。

【図 2 F】本開示の実施形態による、格子構造の形成操作の部分概略図である。

【図 3】本開示の実施形態による、透明基板上に格子構造を直接形成する方法のフロー図である。

【図 4 A】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 4 B】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 4 C】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 4 D】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 4 E】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 5】本開示の実施形態による、第 1 の基板から第 2 の基板に格子構造を転写する方法である。

20

【図 6 A】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 6 B】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 6 C】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 6 D】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 6 E】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 7】本開示の実施形態による、第 1 の基板から第 2 の基板に格子構造を転写する方法である。

【図 8 A】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 8 B】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 8 C】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 8 D】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 8 E】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

30

【図 9】本開示の実施形態による、透明基板に格子構造を直接エッチングする方法である。

【図 10 A】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 10 B】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 10 C】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 10 D】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 10 E】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

【図 10 F】本開示の実施形態による、格子構造の形成の部分概略図である。

40

【図 11 A】本開示の実施形態による、導波路結合器を製造するために使用される方法のフロー図である。

【図 11 B】本開示の実施形態による、導波路結合器を製造するために使用される方法のフロー図である。

【図 11 C】本開示の実施形態による、導波路結合器を製造するために使用される方法のフロー図である。

【図 12】本開示の実施形態にしたがって製造された導波路結合器構造の部分概略図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

50

【 0 0 2 1 】 理解を容易にするために、可能な場合には、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。一実施形態の要素および特徴は、さらなる記述がなくても、他の実施形態に有益に組み込むことができると考えられている。

【 0 0 1 1 】

【 0 0 2 2 】 本明細書で説明されているシステムおよび方法は、導波路に使用される回折格子の大量生産を含むことができる。拡張現実表面レリーフ導波路結合器は、マスタリングおよび複製のプロセスによって作製される。現在、これらの導波路結合器は数千の単位でしか製造されていないが、将来的に予測される数量は数千万以上の単位となる。現在の製造プロセスにおける課題には、特に大量生産におけるように、複製された形状の再現性を含み、ナノインプリントリソグラフィ（N I L）プロセスにおける歩留まりに関する懸念が含まれる。さらに、格子が垂直面に対して45度以上の角度で形成され得るので、高角度格子のN I Lインプリント後の取り外しも課題となる。

10

【 0 0 1 2 】

【 0 0 2 3 】 本明細書で説明されるように、低い屈折率を有する材料である「低屈折率」材料は、二酸化ケイ素（S i O₂）、ドーブされたS i O₂、フッ素化ポリマー、または多孔質材料を含み得る。高い屈折率を有する材料である「高屈折率」材料は、アモルファスおよび結晶性S i、窒化ケイ素（S i N）、二酸化チタン（T i O₂）、リン酸ガリウム（G a P）、五酸化タンタル（T a₂ O₅）、または硫化材料およびポリマーを含み得る。

【 0 0 1 3 】

20

【 0 0 2 4 】 本明細書で説明するのは、直接エッチングおよびN I Lを使用して導波路デバイスを製造するためのシステムおよび方法である。導波路結合器を含む導波路デバイスは、低屈折率材料、高屈折率材料、または低屈折率材料と高屈折率材料との組合せに形成された複数の回折格子と、ポリマーまたはガラスなどの光学的に透明な基板に形成された複数の格子とを含む。本明細書で説明しているように、「透明」基板は、導波路結合器が動作することが意図される所定の波長範囲において光学的に透明な基板である。本明細書で説明しているように、回折格子は、「格子」とも称されるが、歯またはフィンとも称される複数の傾斜メサと、隣接する傾斜メサ間に形成される複数のトラフ（溝）とを含み得る。いくつかの実施例では、格子のトラフは、充填材料を含まず、他の実施例では、格子のトラフは、様々な材料で充填される。一実施例では、格子のメサは低屈折率材料から形成することができ、格子のトラフは高屈折率材料で充填される。別の実施例では、格子の傾斜メサは、高屈折率材料から形成することができ、格子のトラフは、低屈折率材料で充填される。格子内の傾斜メサおよびトラフは、基板の垂直面に対して幅、長さ、間隔、または角度のうちの1つまたは複数において均一になり得る。別の実施例では、格子の傾斜メサおよびトラフは、基板の垂直面に対して幅、長さ、間隔、または角度のうちの1つまたは複数において異なり得る。

30

【 0 0 1 4 】

【 0 0 2 5 】 本明細書の様々な実施形態で説明されるように、N I Lは直接エッチングと共に使用して、導波路結合器を製造することができる。いくつかの実施例では、両面処理法を使用して導波路結合器を製造する。両面製造法は、透明基板上にN I Lを使用することによって、低屈折率材料または高屈折率材料のうちの少なくとも1つから形成されるターゲットスタック内に第1の格子を形成することと、同じ基板の他方の面に直接エッチングを使用して第2の格子を形成することを含む。直接エッチングにおける課題の1つは、ガラス基板上にリソグラフィを行うことである。例えば、従来のリソグラフィ処理は、リソグラフィスキナパラメータにより、最大厚さ775 μmの基板を受け入れるように構成することができる。導波路結合器は、現在、設計に応じた厚さを有するガラス基板を使用して作製されているが、典型的には、0.5 mmまたは0.8 mmの厚さであり、これは、リソグラフィスキナが処理するように構成されているものよりも著しく薄い。

40

【 0 0 1 5 】

【 0 0 2 6 】 一実施形態では、格子は、シリコンから形成することができる一時的な

50

基板上にN I Lおよび直接エッチングを使用して形成される。次いで、格子は、一時的な基板から剥離され、ガラスを含み得る第2の透明基板に転写される。別の実施形態では、格子は、N I Lを介して形成され、ガラスまたは他の透明基板上に配置済みのターゲット層上に直接エッチングされる。また、N I Lおよび透明基板での直接エッチングを使用して格子を形成することができる。本明細書で説明されているシステムおよび方法を使用して、高角度格子が形成され、その角度は、基板に平行な垂直面から20度から70度の範囲とすることができる。本明細書で説明される導波路および導波路構成要素は、デバイスの直接エッチングによって形成され、N I Lと組み合わせて、一時的な結合または永続的な結合を使用して製造することができる。

【0016】

10

【0027】 他の実施例では、広範囲のデューティサイクル(DC)(すなわち、メサピッチに対するメサ幅の比率)を有する導波路設計が望ましい。インプリント材料の収縮により、この範囲のデューティサイクルをN I Lで製造することは困難であろう。しかしながら、いくつかの実施形態では、この課題は、低屈折率かつ低デューティサイクル格子をインプリントし、次いで、高屈折率材料で低デューティサイクル格子を充填し、高デューティサイクルおよび高屈折率格子で格子を形成することによって克服される。

【0017】

【0028】 図1は、透明基板上に格子構造を直接形成する方法100のフロー図である。図2A~図2Fは、方法100の操作の部分概略図である。図1および図2A~図2Fは、以下に共に参照される。

20

【0018】

【0029】 方法100の操作102では、図2Aの構造200Aに示すように、ターゲットスタック204が基板202上に形成される。基板202は、ガラスまたはポリマー基板などの透明基板から形成することができ、これらは0.5mmから0.8mmで形成され得る。操作104では、図2Aに示すように、ハードマスク層206がターゲットスタック204上に形成される。ターゲットスタック204は、SiN、TiO₂、Gap、または別の高屈折率材料で製造することができ、操作102で、CVD、PVD、スピニングオン、または別の適切な方法によって堆積される。一実施形態では、ターゲットスタック204の厚さは、完成した導波路結合器デバイスにおいて使用される屈折率および光波長に応じて、100nmから500nmまでとすることができる。ハードマスク層206は、操作104において、TiN、Ta₂N₅、Cr、またはCVD、PVD、ALD、または別の薄膜堆積処理によって堆積された別のエッチング耐性材料から製造することができる。ハードマスク層206は、操作104で、約10nmから約50nmの厚さに形成することができる。いくつかの実施例では、25nm未満の厚さのハードマスク層206を採用して、その後のエッチング操作中のシャドウイングを低減または回避することができる。

30

【0019】

【0030】 方法100の操作106では、図2Bの構造200Bに示したように、N I Lを使用してハードマスク層206上にパターン層208が形成される。パターン層208は、インプリント可能なレジスト材料から形成される。パターン層は、複数の隆起フィーチャ210から形成され、複数のギャップ212が、隣接する隆起フィーチャ210のペアの間に形成される。複数のギャップ212の各ギャップは、パターン層208の底部残留層214を有する。一実施形態では、操作106において、ハードマスクのN I Lは、隆起フィーチャ210の各々と基板202との間の角度で実行される。角度は、90度よりも大きくすることができ、これは、本明細書で説明するように、コストを低下させ、指向性エッチング中に後続のフィーチャの形成を促進することができる。

40

【0020】

【0031】 続いて、操作108において、および図2Cの構造200Cに示したように、ハードマスク層206およびパターン層208の一部は、エッチングによって除去される。このように、各ギャップ212の底部216がターゲットスタック204を露出

50

し、複数のハードマスクメサ218が形成される。方法100の操作110において、図2Dの構造200Dに示したように、パターン層208が除去され、複数のハードマスクメサ218を露出させる。操作112では、図2Eの構造200Eに示したように、ターゲットスタック204がエッチングされて、複数の傾斜メサ222と、傾斜メサ222の間に複数のトラフ220が形成され、操作112でのエッチングによって、基板202が露出される。複数の傾斜メサ222は、基板202の垂直面224から角度θで形成することができる。操作112でのエッチングは、指向性エッチングと呼ぶことができる。角度θは、20度から70度とすることができる。

【0021】

[0032] 操作114では、図2Fの構造200Fに示したように、ハードマスク層206の残りの部分が除去され、複数の傾斜メサ222および複数のトラフ220が深さ226まで形成されたまま残される。本明細書で説明されている指向性エッチングは、一実施例では、エッチングチャンパ内のイオンビームの経路の第1の位置に、プラテン上に保持される基板202の第1の部分を配置することによって実行される。イオンビームは、リボンビーム、スポットビーム、または第1のエッジから第1のエッジに平行な第2のエッジまで基板を横切って延在する完全な基板サイズのビームとすることができる。イオンビームは、ターゲットスタック204などのターゲット材料の上面に接触するように構成され、傾斜メサ222を含む第1の格子を形成する。イオンビーム角度は、0度から90度（すなわち、所望の任意の角度）になり得るが、イオンビームは、典型的には、イオンビームが所望の最大角度でターゲットスタック204をアタックするように、基板202の垂直面に対して所望のエッチング角度（例えば、20度から70度）に設定される。イオンビーム方向によって設定される最大角度よりも低い角度を有するエッチングを得るために、プラテン上に保持された基板202は、プラテンの軸を中心として所定の回転角度まで回転させることができる。回転の結果、イオンビームがターゲットスタック204の上面に異なる角度で接触し、第2の格子または他の後続の格子を形成する。基板の回転量、例えば、使用される所定の回転角度を計算して、所望の正確な格子エッチング角度を生成することができる。

【0022】

[0033] 代替の実施形態では、操作112での指向性エッチングは、本明細書で説明されている種々の格子にわたるハードマスク厚を調整することによって、制御（例えば、エッチング深さ、エッチング角度、およびエッチング速度の制御）可能である。ハードマスク厚の調整は、ハードマスクのエッチングおよび/またはNILによって達成することができる。いくつかの実施例では、NILは、より費用対効果の高いものとなり得る。この実施例では、操作112での指向性エッチングが実行されるとき、図2Fの226によって示されるような複数のトラフ220の最終的な深さは、格子上の異なる位置で（操作106でNILによって形成される）ハードマスク層206の厚さに応じて変化し得る。

【0023】

[0034] 図3は、透明基板上に格子構造を直接形成する方法300のフロー図である。図4A～図4Eは、方法300の部分概略図である。図3および図4A～図4Eは共に、以下に説明される。

【0024】

[0035] 方法300の操作302では、図4Aの構造400Aに示したように、ターゲットスタック404が基板402上に形成される。基板402は透明であり、ポリマー、ガラス、セラミック、または他の光学的に透明な材料から形成することができる。ターゲットスタック404は、化学気相成長（CVD）によって100nmから500nmの厚さに形成される。代替的な実施形態では、PVD、スピニングオン、またはALDを使用して、ターゲットスタック404を形成することができる。操作304では、図4Bの構造400Bに示したように、ターゲットスタック404上にNILを介してハードマスク406が形成される。ハードマスク406は、フィーチャ408と、隣接するフィーチャ408間のギャップ410との層として形成される。各ギャップ410の底部41

10

20

30

40

50

2は、その上に形成されるハードマスク406を有する。ハードマスク406は、金属または金属酸化物、TiNまたはTa₂Nを含む金属窒化物、炭素から、あるいは別のエッチング耐性ナノインプリント可能材料から製造することができる。操作306では、図4Cの構造400Cに示したように、各ギャップ410内のハードマスク406の下部412層は、エッチングを介して除去され、ターゲットスタック404を露出させる。操作308では、図4Dの構造400Dに示したように、ターゲットスタック404は、複数の傾斜メサ414を形成するようにエッチングされる。複数の傾斜メサ414は、基板402の垂直面418から角度θで形成することができる。角度θは、20度から70度とすることができる。複数の傾斜メサ414の各々は、同様の幅420で図4Dに示されているが、他の実施例では、傾斜メサ414の間の幅またはその他の寸法は、角度θを含め、変化し得る。傾斜メサ414は、ターゲットスタック404に対してある角度でエッチャントを向けるように構成されたツーリングを用いた指向性エッチングによって形成することができる。操作310では、図4Eの構造400Eに示したように、ハードマスク406が除去される。方法300は、第1の操作でハードマスクが堆積され、次いで第2の操作でパターニングされる本明細書で説明される方法とは対照的に、操作304でハードマスク406を形成することが望ましい場合に使用することができる。

【0025】

[0036] 図5は、本開示の実施形態による、第1の基板から第2の基板に格子構造を転写する方法500である。図6A～図6Eは、方法500の部分概略図である。図5および図6A～図6Eは、以下で共に説明される。

【0026】

[0037] 図6Aは、上述の図1の方法100および図3の方法300にしたがって製造された構造と同様に製造された構造を示す。しかしながら、図6Aは、上述のように透明基板上に形成される代わりに、シリコンを含む第1の基板602上に形成された格子606を含む構造600Aを示す。デボンディング層604は、CVDを使用して二酸化ケイ素の薄い層を成長させることによって、または第1の基板602と格子606との間の薄い接着剤上でスピニングすることによって形成される。格子606は、複数の傾斜メサ608と、隣接する傾斜メサ608の各ペア間の複数のトラフ610を含む。第1の基板602は、シリコンから形成することができる。本明細書の他の実施例と組み合わせることができる別の実施例では、格子606は、高屈折率材料から形成することができ、デボンディング層604は、熱応答性接着剤またはSiO₂の層から形成することができる。方法500の操作502では、図6Aの構造がプロセスチャンバ内に受け入れられる。操作504では、充填層612が、図6Bの構造600Bに示したように、トラフ610内および格子606の傾斜メサ608の上に堆積される。いくつかの実施例では、操作504中に、充填層612は、傾斜メサ608の上部に層614を形成する。低屈折率材料のこの層614は、図6Cの構造600Cに示したように、機械的手段、化学的手段、またはこれらの組み合わせを介して、操作506で除去される。図6Dの構造600Dに示した操作508において、構造600Dは、第1の基板602が結合された場所とは反対側のガラス基板618に結合される。図6Eの構造600Eに示した操作510では、第1の基板602は、デボンディング層604が格子606から解放されるように、熱手段を介して除去されるか、またはシリコンウェハを研磨してSiO₂上に停止させることによって除去される。

【0027】

[0038] 図7は、本開示の実施形態による、第1の基板から第2の基板に格子構造を転写する方法700である。図8A～図8Eは、方法700の部分概略図である。図7および図8A～図8Eは、以下で共に参照される。

【0028】

[0039] 図8Aは、上述の図1の方法100および図3の方法300にしたがって製造された構造と同様に製造された構造800Aを示す。しかしながら、図8Aは、上述のように透明基板上に形成される代わりに、第1の基板802上に形成された格子80

6を示す。一実施例では、第1の基板802はシリコンから形成される。デボンディング層804は、第1の基板802と格子806との間に形成される。格子806は、複数の傾斜メサ808と、傾斜メサ808の間にある複数のトラフ810とを備える。一実施例では、第1の基板802は、シリコンから形成することができる。本明細書の他の実施例と組み合わせることができる別の実施例では、格子806は、低屈折率材料から形成することができる。デボンディング層804は、熱応答性接着剤から形成することができる。方法700の操作702では、図8Aの構造が処理チャンバ内に受け入れられる。操作704では、図8Bの構造800Bに示したように、充填層812が、トラフ810内および格子806の傾斜メサ608の上に堆積される。いくつかの実施例では、操作704中に、充填層812は、傾斜メサ808の上部に層814を含む。高屈折率材料のこの層814は、図8Cの構造800Cに示したように、機械的手段、化学的手段、またはこれらの組み合わせを介して、操作706で除去される。操作708では、図8Dの構造800Dに示したように、第1の基板802は、デボンディング層804が格子806から取り外されるように、熱手段によって除去される。操作710では、図8Eの構造800Eに示したように、図8Dの構造800Dは、第1の基板802が結合された側とは反対側のガラス基板818に結合される。

【0029】

[0040] 図9は、透明基板に格子構造を直接エッチングする方法900である。図10A~図10Fは、方法900の部分概略図である。図9および図10A~図10Fは、以下で共に参照される。

【0030】

[0041] 方法900では、図10Aの構造1000Aに示したように、操作902で、ハードマスク1004が透明基板1002上に形成される。透明基板1002は、ガラス、ポリマー、または光学的に透明な他の材料から形成することができる。ハードマスク1004は、TiN、Ta₂N₅、Cr、または他のエッチング耐性材料から形成することができる。操作902において、CVD、PVD、ALD、または他の方法を介して、10nmから50nmの厚さで形成される。操作904では、図10Bの構造1000Bに示したように、層1006を生成するため、NILによってパターンが形成される。層1006は、複数のメサ1010およびトラフ1012として形成される。各トラフ1012の底部1008は、層1006の材料の残留層から形成される。層1006は、実施形態に応じて、低屈折率材料または高屈折率材料とすることができる。層1006は、図10Cに示した構造1000Cを形成するため、操作906で、ハードマスク1004と共にエッチングされる。操作906で層1006およびハードマスク1004をエッチングすることによって、トラフ1012の底部1014において透明基板1002が露出される。操作908では、図10Dの構造1000Dに示したように、層1006が除去され、複数のハードマスクアイランド1016が残る。操作910では、図10Eの構造1000に示したように、透明基板1002は、エッチングされて、複数の傾斜メサ1022を形成し、複数のトラフ1018は、各隣接する傾斜メサ1022のペア間に形成される。複数の傾斜メサ1022の各傾斜メサ1022は、垂直面1024からの角度にある。各トラフ1018の底部1020は、基板材料である。操作912では、図10Fに示したように、ハードマスク1004が除去され、ハードマスクアイランド1016が除去され、透明基板1002の構造1000Fが残される。

【0031】

[0042] 図11A~図11Cは、本開示の実施形態による導波路結合器を製造するために使用される方法のフロー図である。

【0032】

[0043] 図11Aは、本開示の実施形態による、導波路結合器において使用可能な回折格子を形成する方法1100Aを示す。操作1102では、シリコン(Si)から形成され得る第1の基板に取り付けられたデボンディング層上に、パターンニングされたターゲット層が形成される。操作1102は、図5の方法500または図7の方法700の

一部または要素をそれぞれ含むことができ、これらの各々は、S i 基板上にパターンを形成し、基板を取り外し、ガラス、プラスチック、または別の光学的に透明な材料の透明基板を取り付ける。操作 1 1 0 2 は、実施形態に応じて、高屈折率層と低屈折率層との組み合わせから形成することができるパターンニングされたターゲット層の転写を含む。一実施例では、操作 1 1 0 2 は、パターンニングされたターゲット層を透明基板の第 1 の面に転写することを含む。操作 1 1 0 4 では、透明基板の第 2 の面が、例えば、図 9 の方法 9 0 0 にしたがってパターンニングされ、操作 1 1 0 6 で導波路結合器を形成する。

【 0 0 3 3 】

[0 0 4 4] 図 1 1 B は、本開示の実施形態による、導波路結合器において使用可能な 1 つまたは複数の回折格子を形成する方法 1 1 0 0 B を示す。操作 1 1 0 8 では、図 1 の方法 1 0 0 および図 3 の方法 3 0 0 に記載されているものと同様に、パターンニングされたターゲット層が透明基板として形成される。操作 1 1 1 0 では、透明基板の第 2 の面は、例えば、図 9 の方法 9 0 0 にしたがって、操作 1 1 1 2 で導波路結合器を形成するようにパターンニングされる。

10

【 0 0 3 4 】

[0 0 4 5] 図 1 1 C は、本開示の実施形態による、導波路結合器において使用可能な 1 つまたは複数の回折格子を形成する方法 1 1 0 0 C を示す。操作 1 1 1 4 では、ガラスまたはポリマーから形成することができる透明基板の第 1 の面にパターンニングされた層が形成され、図 9 の方法 9 0 0 にしたがって操作 1 1 1 4 が実行され得る。操作 1 1 1 8 で導波路結合器を形成するため、操作 1 1 1 6 では、図 1 および図 3 に示した方法 1 0 0 または方法 3 0 0 にしたがって、パターンニングされたターゲット層が透明基板の第 2 の面上に形成される。

20

【 0 0 3 5 】

[0 0 4 6] 図 1 2 は、図 1 1 A ~ 図 1 1 C の方法によって製造された導波路結合器構造 1 2 0 0 の部分概略図である。図 1 2 は、透明基板 1 2 0 2 と、図 1、図 3、図 5、および図 7 の方法 1 0 0、3 0 0、5 0 0、および 7 0 0 をそれぞれ含む本開示の実施形態により形成された第 1 の格子構造 1 2 0 4 とを備える、導波路結合器構造 1 2 0 0 を示す。第 1 の格子構造 1 2 0 4 は、図 1 2 の実施例では、それぞれが垂直面 1 2 2 8 に対して の角度で形成された傾斜メサ 1 2 0 8 を備えるものとして示されている。角度 は、2 0 度から 7 0 度とすることができる。各傾斜メサ 1 2 0 8 は、実施形態に応じて、低屈折率材料または高屈折率材料から形成することができる。図 1 2 では、複数のトラフ 1 2 1 0 が、材料を含まないものとして、隣接する傾斜メサ 1 2 0 8 の各ペア間に示されているが、代替的な実施形態では、トラフ 1 2 1 0 は、低屈折率材料または高屈折率材料で充填される。傾斜メサ 1 2 0 8 が低屈折率材料から形成される場合、トラフ 1 2 1 0 は高屈折率材料で充填することができる。傾斜メサ 1 2 0 8 が高屈折率材料から形成される場合、トラフ 1 2 1 0 は低屈折率材料で充填することができる。各傾斜メサ 1 2 0 8 は、幅 1 2 1 2 と、長さ 1 2 1 4 と、隣接する傾斜メサ 1 2 1 8 間の間隔 1 2 1 6 とを有する。幅 1 2 1 2、長さ 1 2 1 4、および間隔 1 2 1 6 の各々は、実施例の導波路結合器構造 1 2 0 0 では、角度 でほぼ同じになるように示されている。しかし、他の実施例では、これらの寸法のうちの 1 つまたは複数の、個々の傾斜メサ 1 2 0 8 の間で、あるいは行、列、またはこれらの組合せからなる群の間で、変化することがあり得る。

30

40

【 0 0 3 6 】

[0 0 4 7] 導波路結合器構造 1 2 0 0 は、透明基板 1 2 0 2 に形成された、複数の傾斜メサ 1 2 1 8 を備える第 2 のゲート構造 1 2 0 6 をさらに含む。複数のトラフ 1 2 2 0 が、隣接する傾斜メサ 1 2 1 8 の各ペア間に形成され、傾斜メサ 1 2 1 8 は垂直面 1 2 2 8 に対して の角度で形成される。角度 は、約 4 5 度以下とすることができる。各傾斜メサ 1 2 1 8 は、隣接する傾斜メサ 1 2 1 8 から距離 1 2 2 2 だけ離れて形成され、幅 1 2 2 6 および長さ 1 2 2 4 を有する。傾斜メサ 1 2 1 8 の間の距離 1 2 2 2、ならびに幅 1 2 2 6、長さ 1 2 2 4 は、傾斜メサ 1 2 1 8 間でほぼ同じであることが示されている。しかしながら、代替的な実施形態では、これらの寸法のうちの 1 つまたは複数の、個々

50

の傾斜メサ 1 2 1 8 の間で、あるいは行、列、またはこれらの組合せからなる群の間で、変化することがあり得る。

【 0 0 3 7 】

【 0 0 4 8 】 したがって、本明細書で説明される導波路および導波路結合器のためのシステムおよび方法を使用して、広範囲のデューティサイクル（DC）（すなわち、メサピッチに対するメサ幅の比率）を有する導波路および導波路結合器が製造される。一実施例では、インプリントされた材料の収縮の問題は、低屈折率かつ低デューティサイクル格子をインプリントすることによって克服される。次いで、インプリントされた構造体に高屈折率材料を充填して、高デューティサイクルかつ高屈折率格子を有する格子を形成する。本明細書で説明される回折格子形成の実施例は、本明細書の他の実施例と組み合わせて、導波路および導波路結合器に含まれる回折格子を形成することができる。

10

【 0 0 3 8 】

【 0 0 4 9 】 本発明の教示を組み込んだ様々な実施形態が、本明細書で詳細に示され、説明されてきたが、当業者は、これらの教示をさらに組み込んだ多くの他の様々な実施形態を容易に考案することができる。

20

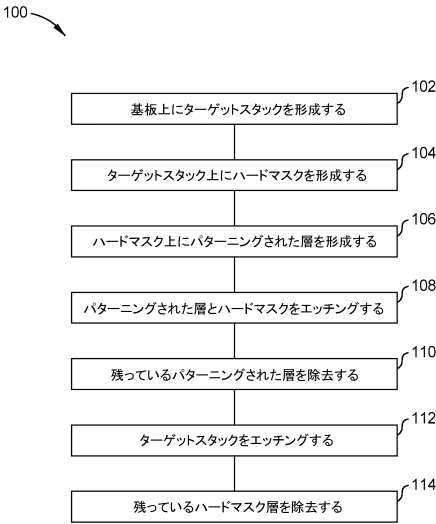
30

40

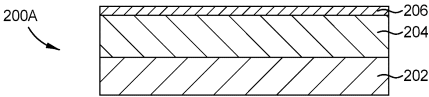
50

【図面】

【図 1】

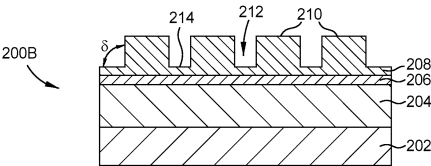


【図 2 A】

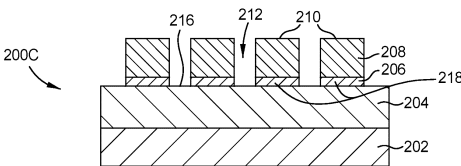


10

【図 2 B】



【図 2 C】



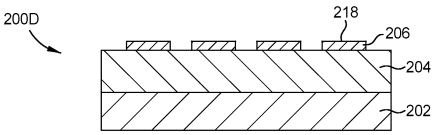
20

30

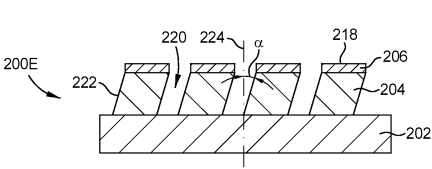
40

50

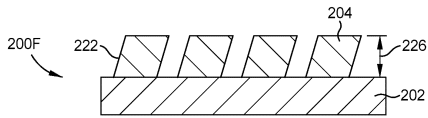
【図 2 D】



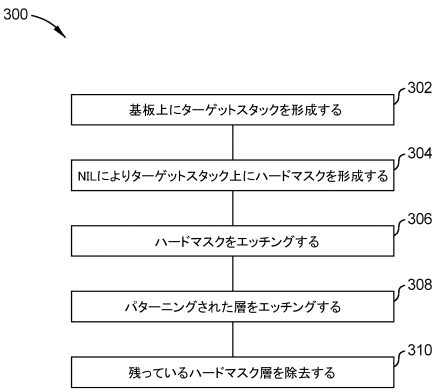
【図 2 E】



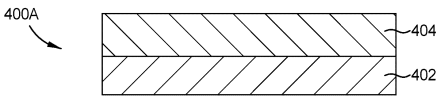
【図 2 F】



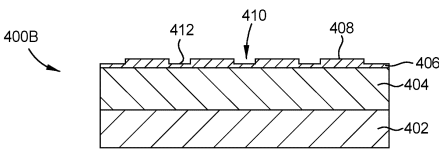
【図 3】



【図 4 A】



【図 4 B】



10

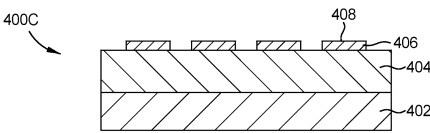
20

30

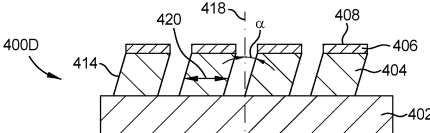
40

50

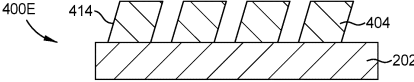
【図 4 C】



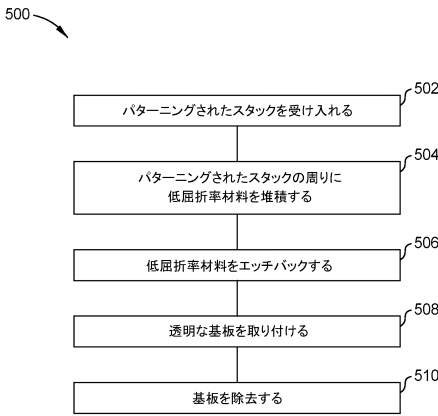
【図 4 D】



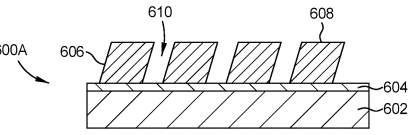
【図 4 E】



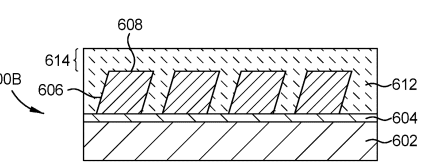
【図 5】



【図 6 A】



【図 6 B】



10

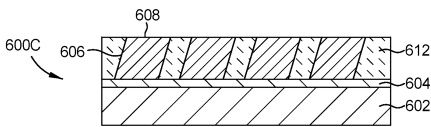
20

30

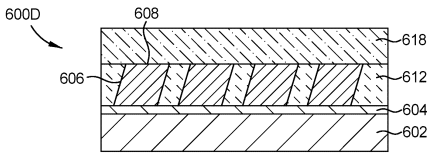
40

50

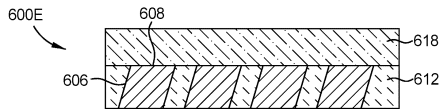
【図 6 C】



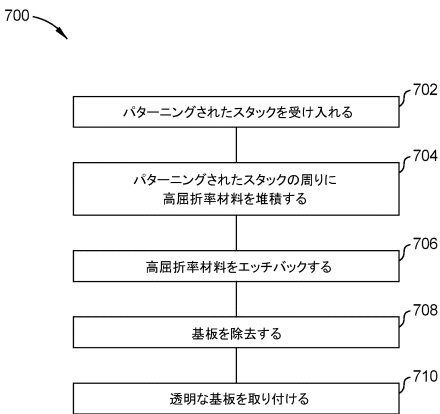
【図 6 D】



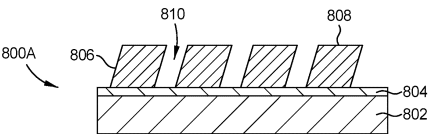
【図 6 E】



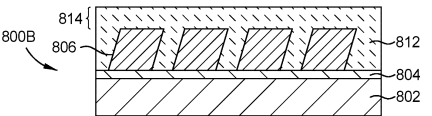
【図 7】



【図 8 A】



【図 8 B】



10

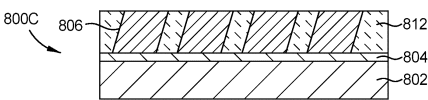
20

30

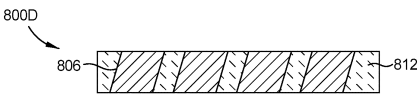
40

50

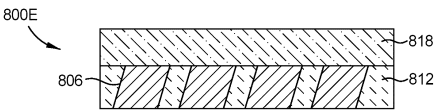
【図 8 C】



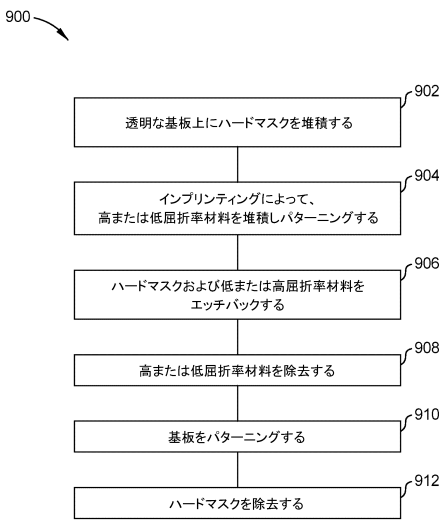
【図 8 D】



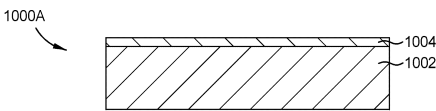
【図 8 E】



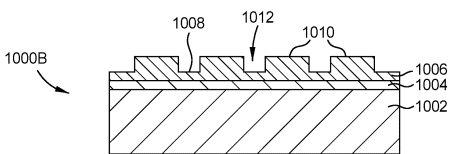
【図 9】



【図 1 0 A】



【図 1 0 B】



10

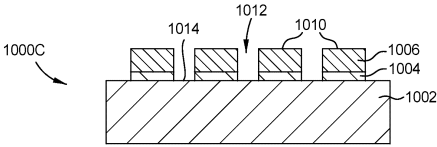
20

30

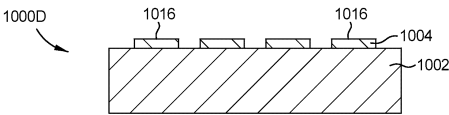
40

50

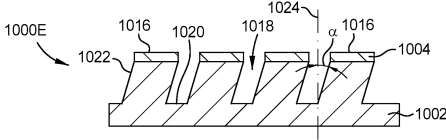
【図10C】



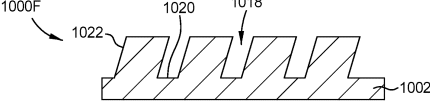
【図10D】



【図10E】

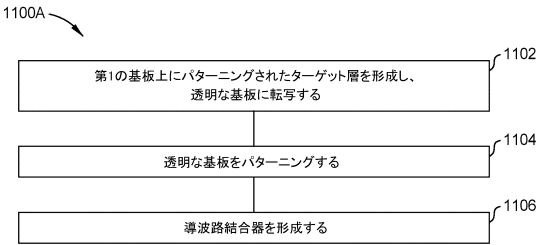


【図10F】

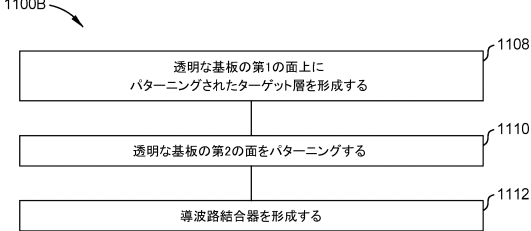


10

【図11A】



【図11B】



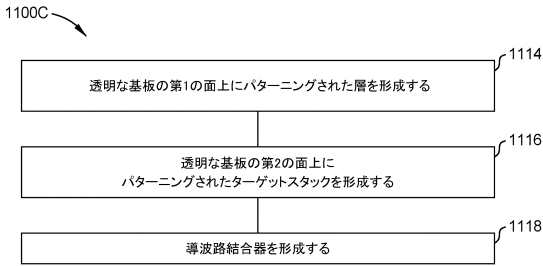
20

30

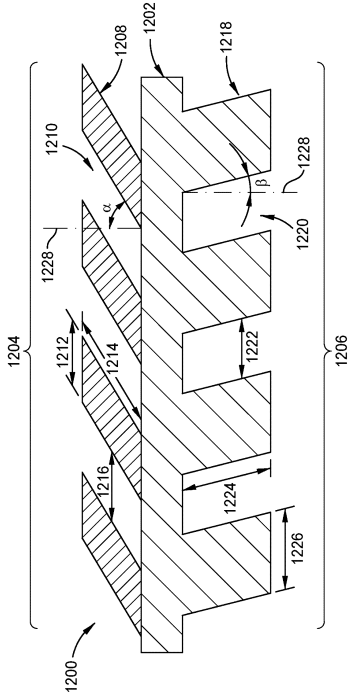
40

50

【図 1 1 C】



【図 1 2】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

米国(US)
86, サニーヴェール, ウェスト ワシントン アヴェニュー 299
(72)発明者 マクミラン, ウェイン
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95120, サン ノゼ, マウンテン クウェイル サークル
1141
(72)発明者 マイヤー ティーママン タイセン, ラトガー
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95128, サン ノゼ, ホワイトソーン ドライブ 2487
審査官 植木 隆和
(56)参考文献 特開平10-096807(JP,A)
特開2005-004068(JP,A)
特開2005-149594(JP,A)
特開2006-318568(JP,A)
特表2009-516225(JP,A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G03F 7/20
B29C 59/02
G02B 5/18