

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5433584号  
(P5433584)

(45) 発行日 平成26年3月5日 (2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月13日 (2013.12.13)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 O 2 D

H O 1 L 21/683 (2006.01)

H O 1 L 21/68 Z N M N

B 2 9 C 59/02 (2006.01)

B 2 9 C 59/02 Z

請求項の数 21 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2010-536930 (P2010-536930)  
 (86) (22) 出願日 平成20年12月4日 (2008.12.4)  
 (65) 公表番号 特表2011-512019 (P2011-512019A)  
 (43) 公表日 平成23年4月14日 (2011.4.14)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/013362  
 (87) 国際公開番号 W02009/073200  
 (87) 国際公開日 平成21年6月11日 (2009.6.11)  
 審査請求日 平成23年3月7日 (2011.3.7)  
 (31) 優先権主張番号 61/005, 297  
 (32) 優先日 平成19年12月4日 (2007.12.4)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 12/327, 618  
 (32) 優先日 平成20年12月3日 (2008.12.3)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 503193362  
 モレキュラー・インプリンツ・インコーポ  
 レーテッド  
 アメリカ合衆国・78758-3605・  
 テキサス州・オースティン・ウエスト ブ  
 レイカー レーン・1807・ビルディン  
 グ シー 100  
 (74) 代理人 100064621  
 弁理士 山川 政樹  
 (74) 代理人 100098394  
 弁理士 山川 茂樹  
 (72) 発明者 ル, シャオミング  
 アメリカ合衆国・78613・テキサス州  
 ・セダー パーク・ネルソン ランチ ル  
 ープ・1859

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接触線運動トラッキング制御に基づく高スループット・インプリント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上の重合可能材料のインプリント中のテンプレートと前記基板との間の接触境界線の速度および高さプロファイルを制御する制御システムであって、

所定の量の力をテンプレートに与えることができる複数のアクチュエータを有するインプリント・ヘッドと、

テンプレートに隣接して位置決めされ、所定の量の圧力をテンプレートに与えることができるチャックであって、前記所定の量の力および前記所定の量の圧力は、テンプレートと基板との間の前記接触境界線の第1速度およびテンプレートと基板との間の第1高さプロファイルをもたらしよう、テンプレートに印加される力および圧力を与える、チャックと、

テンプレートと基板との間に位置決めされ、テンプレートに印加される力および印加される圧力の第1信号を供給できる少なくとも1つの力センサと、

前記力センサ、アクチュエータ、およびチャックと通信するコントローラであって、前記力センサから前記第1信号を受け取ることができ、前記第1信号を評価することができてアクチュエータおよびチャックに第2信号を供給するよう構成され、当該第2信号は、テンプレートと基板との間の前記接触境界線の第2速度およびテンプレートと基板との間の第2高さプロファイルを前記重合可能材料の拡散中に提供するよう調整された力および調整された圧力を有するようになされている、コントローラとを含む制御システム。

10

20

## 【請求項 2】

前記コントローラと通信するスプレッド・カメラをさらに含み、前記スプレッド・カメラは、第 1 接触境界線の少なくとも 1 つのイメージを前記コントローラに提供し、前記コントローラは、前記調整された力および前記調整された圧力を提供するために前記イメージおよび前記第 1 信号を評価することができる、請求項 1 に記載の制御システム。

## 【請求項 3】

前記スプレッド・カメラは、テンプレートを介して基板を照明するためにテンプレートに重ね合わされる LED アレイを含む、請求項 1 に記載の制御システム。

## 【請求項 4】

前記スプレッド・カメラは、前記イメージを提供する電荷結合素子 (CCD) を含む、請求項 3 に記載の制御システム。

10

## 【請求項 5】

前記コントローラは、テンプレートと基板との間の接触境界線の前記第 2 速度を提供するために前記イメージを評価することができる、請求項 2 に記載の制御システム。

## 【請求項 6】

前記コントローラは、テンプレートと基板との間の前記第 2 高さプロファイルを提供するために前記イメージを評価することができる、請求項 2 に記載の制御システム。

## 【請求項 7】

基板の表面上の重合可能材料のインプリント中のテンプレートと基板との間の接触推移および適合を制御する方法であって、

20

テンプレートと基板との間の距離を提供することと、

インプリント・ヘッドによって、テンプレートに所定の量の力を印加することであって、前記所定の量の力は、テンプレートと基板との間の接触境界線の第 1 速度およびテンプレートと基板との間の第 1 高さプロファイルを提供するために決定される、印加することと、

少なくとも 1 つの力センサによって、テンプレートに印加される力を判定することと、力センサによって、テンプレートに印加される前記力を含む第 1 信号を提供することと、

コントローラによって、テンプレートに印加される前記力を含む前記第 1 信号を受け取ることと、

30

コントローラによって、テンプレートと基板との間の前記接触境界線の第 2 速度および第 2 高さプロファイルを提供するために、調整された力を判定することと、

コントローラによって、前記調整された力を含む第 2 信号を提供することと、

インプリント・ヘッドによって、前記調整された力を含む前記第 2 信号を受け取ることと、

インプリント・ヘッドによって、前記調整された力をテンプレートに印加し、前記接触境界線の移動の前記第 2 速度および前記接触境界線に隣接する前記第 2 高さプロファイルを前記重合可能材料の拡散中に制御することと

を含む方法。

## 【請求項 8】

40

チャックによって、所定の量の圧力をテンプレートに印加することであって、前記所定の量の圧力は、前記所定の量の力と共に、テンプレートと基板との間の接触境界線の前記第 1 速度およびテンプレートと基板との間の前記第 1 高さプロファイルを提供するために決定される、印加することと、

少なくとも 1 つの力センサによって、テンプレートへの印加される圧力を判定することと、

力センサによって、テンプレートへの前記印加される圧力を含む第 3 信号を提供することと、

コントローラによって、テンプレートへの前記印加される圧力を含む前記第 3 信号を受け取ることと、

50

コントローラによって、テンプレートと基板との間の前記第 2 接触境界線速度および前記第 2 高さプロファイルを、前記調整された力と共に提供するために、調整された圧力を判定することと、

コントローラによって、前記調整された圧力を含む第 4 信号を提供することと、  
チャックによって、前記調整された圧力を含む前記第 4 信号を受け取ることと、  
チャックによって、前記調整された圧力をテンプレートに印加することと  
をさらに含む、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記印加される力および前記印加される圧力は、同一の信号で提供される、請求項 8 に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記調整された力および前記調整された圧力は、同一の信号で提供される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 11】

前記印加される力および圧力は、テンプレートと基板との間の複数の位置に位置決めされた力センサを使用して判定される、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 12】

スプレッド・カメラによって、テンプレートと基板との間の前記第 1 接触境界線の少なくとも 1 つのイメージを提供することと、

コントローラによって、テンプレートと基板との間の前記第 1 接触境界線の前記イメージを受け取ることと

20

をさらに含み、テンプレートと基板との間の前記第 2 高さプロファイルを判定することは、スプレッド・カメラによって提供される前記イメージを評価することを含む

請求項 8 に記載の方法。

【請求項 13】

スプレッド・カメラによって提供される前記イメージを評価することは、

前記イメージから光強度の高周波数雑音を除去することと、

光強度の直流値を評価することと、

最大強度変調および最小強度変調を判定することと、

位相変化を判定するために最大強度変調および最小強度変調を評価することと

30

を含む、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

テンプレートと基板との間の前記接触境界線の前記第 2 速度を判定することは、スプレッド・カメラによって提供される前記イメージを評価することを含む、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 15】

スプレッド・カメラによって提供される前記イメージを評価することは、

接触境界線の推定中心を判定することと、

前記イメージから観察された光強度の高周波数雑音を除去することと、

接触境界線のエッジの位置を提供するために前記イメージ内の最大光強度および最小光強度を突き止めることと、

40

接触境界線の前記エッジの位置に基づいて接触境界線の推定直径を判定することと、

接触境界線の推定中心および接触境界線の推定直径に基づいて接触境界線のマップを提供することと

を含む、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

テンプレートに印加される調整された力および圧力が所定のエラー・ウィンドウ内になるようにテンプレートの方角を調整することをさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 17】

重合可能材料を固体化することをさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

50

## 【請求項 18】

インプリント・ヘッドおよびチャックによって印加される調整された力および圧力を減らすことをさらに含む、請求項 17 に記載の方法。

## 【請求項 19】

前記調整された力および圧力は、実質的に 0 まで減らされる、請求項 18 に記載の方法。

## 【請求項 20】

前記調整された力および圧力は、重合可能材料を固体化する前に減らされる、請求項 19 に記載の方法。

## 【請求項 21】

テンプレートと基板との間の前記接触推移および適合は、実質的にリアルタイムで直接実行される、請求項 7 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

(関連出願の相互参照)

本願は、その両方が参照によって本明細書に組み込まれている、2007 年 12 月 4 日に出願した米国仮出願第 61/005297 号および 2008 年 12 月 3 日に出願した米国特許出願第 12/327618 号の、米国特許法第 119(e)(1)条の下での利益を主張するものである。

## 【0002】

(技術分野)

ナノファブリケーションは、100 ナノメートル以下程度のフィーチャを有する非常に小さい構造の製造を含む。ナノファブリケーションがかなり大きい影響を有してきた 1 つの応用例が、集積回路の処理である。半導体処理産業は、基板上に形成される単位面積あたりの回路を増やししながら、より高い製造歩留まりを求めて努力し続けており、したがって、ナノファブリケーションは、ますます重要になっている。ナノファブリケーションは、形成される構造の最小フィーチャ寸法の継続される縮小を可能にしながら、より高いプロセス制御をもたらす。ナノファブリケーションが使用されてきた開発の他の領域は、バイオテクノロジー、光テクノロジー、機械システム、および類似物を含む。

## 【背景技術】

## 【0003】

現在使用されている例示的なナノファブリケーション技法を、一般に、インプリント・リソグラフィ(imprint lithography)と称する。例示的なインプリント・リソグラフィ・プロセスは、そのすべてが参照によって本明細書に組み込まれている、米国特許公開第 2004/0065976 号、米国特許公開第 2004/0065252 号、および米国特許第 6936194 号など、多数の刊行物で詳細に説明されている。

## 【0004】

前述の米国特許公開および米国特許のそれぞれで開示されるインプリント・リソグラフィ技法は、形成可能層(重合可能)内でのレリーフ・パターンの形成および基礎になる基板へのレリーフ・パターンに対応するパターンの転写を含む。基板を移動ステージに結合して、パターンング・プロセスを容易にするための所望の位置決めを得ることができる。パターンング・プロセスは、基板から離隔されたテンプレートおよびテンプレートと基板との間に適用される形成可能な液体を使用する。形成可能な液体は、固体化されて、それに接触するテンプレートの表面の形状に適合するパターンを有する堅固な層を形成する。固体化の後に、テンプレートは、堅固な層から分離され、テンプレートおよび基板が離隔される。基板および固体化された層は、その後、固体化された層内のパターンに対応するレリーフ・イメージを基板に転写するために、追加プロセスを受ける。

## 【発明の概要】

## 【 0 0 0 5 】

本発明のより詳細な理解は、本発明の実施形態、添付図面を参照しての説明から得られるでしょう。しかし、添付図面が、本発明の通常の実施形態のみを示し、したがって、範囲について限定的と考えられてはならないことに留意願いたいのです。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 0 6 】

【図 1】本発明の実施形態によるリソグラフィ・システムを示す単純化された側面図である。

【図 2】その上にパターニングされた層を配置された図 1 に示された基板を示す単純化された側面図である。

【図 3 A】テンプレートと基板との間の接触のフェーズを示す単純化された側面図である。

【図 3 B】テンプレートと基板との間の接触のフェーズを示す単純化された側面図である。

【図 3 C】テンプレートと基板との間の接触のフェーズを示す単純化された側面図である。

【図 3 D】テンプレートと基板との間の接触のフェーズを示す単純化された側面図である。

【図 4】テンプレートと基板との間の接触中のテンプレートの剛性に関するインプリント・ヘッドによって与えられる接触力を示すグラフ表現である。

【図 5】テンプレート上の圧力分布および力分布を示すグラフ表現である。

【図 6】基板へのテンプレートの接触推移および適合を制御する例示的方法を示す流れ図である。

【図 7】テンプレートと基板との間の制御された接触を実現するのに使用することのできる例示的な制御システムを示すブロック図である。

【図 8】テンプレートと基板との間の制御された接触を実現するのに使用することのできるもう 1 つの例示的な制御システムを示すブロック図である。

【図 9】テンプレートと基板との間の接触面の高さプロファイルを判定する例示的方法を示す流れ図である。

【図 1 0】テンプレートと基板との間の接触面付近の高さプロファイルを示すグラフ表現である。

【図 1 1】接触面を得る例示的方法を示す流れ図である。

【図 1 2】スプレッド・カメラ (spread camera) から得られた接触面のイメージと接触面の関連するマップとの横並びの比較を示す図である。

【図 1 3】テンプレートに接触し、接触面を画定するチャックを示す単純化された側面図である。

【図 1 4】テンプレートと基板との間の制御された接触線運動を実質的にリアルタイムでもたらすのに使用することのできるもう 1 つの例示的な制御システムを示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 0 7 】

図面、具体的には図 1 を参照すると、基板 1 2 上にレリーフ・パターンを形成するのに使用されるリソグラフィ・システム 1 0 が示されている。基板 1 2 を、基板チャック 1 4 に結合することができる。図示されているように、基板チャック 1 4 は、真空チャックである。しかし、基板チャック 1 4 を、真空、ピンタイプ、溝タイプ、静電気、電磁、および/または類似物を含むがこれらに限定はされない任意のチャックとすることができる。例示的なチャックは、参照によって本明細書に組み込まれている米国特許第 6 8 7 3 0 8 7 号に記載されている。

## 【 0 0 0 8 】

基板 1 2 および基板チャック 1 4 を、さらに、ステージ 1 6 によって支持することができる。ステージ 1 6 は、x 軸、y 軸、および z 軸に沿った運動を実現することができる。

10

20

30

40

50

ステージ 16、基板 12、および基板チャック 14 を、ベース（図示せず）上で位置決めすることもできる。

【0009】

基板 12 から離隔されているのが、テンプレート 18 である。テンプレート 18 は、そこから基板 12 に向かって延びるメサ 20 を含むことができ、メサ 20 は、その上にパターンニング表面 22 を有する。さらに、メサ 20 を、モールド 20 と称する場合がある。その代わりに、テンプレート 18 を、メサ 20 なしで形成することができる。

【0010】

テンプレート 18 および / またはモールド 20 は、熔融石英、石英、珪素、有機重合体、シロキサン重合体、ホウケイ酸ガラス、フルオロカーボン重合体、金属、硬化サファイヤ、および / または類似物を含むがこれらに限定されない材料から形成することができる。図示されているように、パターンニング表面 22 は、複数の離隔された凹窩 24 および / または突起 26 によって画定されるフィーチャを含むが、本発明の実施形態は、そのような構成に限定されない。パターンニング表面 22 は、基板 12 上に形成されるパターンの基礎を形成する任意のオリジナル・パターンを画定することができる。

【0011】

テンプレート 18 をチャック 28 に結合することができる。チャック 28 は、真空、ピントタイプ、溝タイプ、静電気、電磁、および / または他の類似するチャック・タイプとして構成することができるが、これらに限定はされない。例示的なチャックは、参照によって本明細書に組み込まれている米国特許第 6873087 号にさらに記載されている。さらに、チャック 28 をインプリント・ヘッド 30 に結合することができ、チャック 28 および / またはインプリント・ヘッド 30 を、テンプレート 18 の移動を容易にするように構成することができる。

【0012】

システム 10 は、さらに、流体ディスペンス・システム (fluid dispense system) 32 を含むことができる。流体ディスペンス・システム 32 を使用して、基板 12 上に重合可能材料 34 を堆積することができる。重合可能材料 34 は、ドロップ・ディスペンス (drop dispense)、スピンのコーティング、浸漬コーティング、化学蒸着 (CVD)、物理蒸着 (PVD)、薄膜析出、厚膜溶着、および / または類似物などの技法を使用して基板 12 上に配置することができる。重合可能材料 34 を、設計考慮事項に依存して、所望の体積がモールド 20 と基板 12 との間で画定される前および / または後に、基板 12 に配置することができる。重合可能材料 34 は、いずれもが参照によって本明細書に組み込まれている米国特許第 7157036 号および米国特許公開第 2005/0187339 に記載されているように単量体混合物を含むことができる。

【0013】

図 1 および 2 を参照すると、システム 10 は、さらに、経路 42 に沿ってエネルギー 40 を向けるように結合されたエネルギー源 38 を含むことができる。インプリント・ヘッド 30 およびステージ 16 を、経路 42 に重ね合わせてテンプレート 18 および基板 12 を位置決めするように構成することができる。システム 10 を、ステージ 16、インプリント・ヘッド 30、流体ディスペンス・システム 32、および / または源 38 と通信するプロセッサ 54 によって調整することができ、システム 10 は、メモリ 56 に格納されたコンピュータ可読プログラム上で動作することができる。

【0014】

インプリント・ヘッド 30 またはステージ 16 のいずれかあるいはその両方が、重合可能材料 34 によって充てんされる、モールド 20 と基板 12 との間の所望の体積を画定するために、その間の距離を変更することができる。たとえば、インプリント・ヘッド 30 は、モールド 20 が重合可能材料 34 と接触するように、テンプレート 18 に力を印加することができる。所望の体積が重合可能材料 34 によって充てんされた後に、源 38 は、エネルギー 40、たとえば紫外線放射を作り、重合可能材料 34 に固体化させ、かつ / また

10

20

30

40

50

は架橋させ、基板 1 2 上でパターニングされた層 4 6 を画定する、基板 1 2 の表面 4 4 およびパターニング表面 2 2 の形状に適合される。パターニングされた層 4 6 は、残留層 4 8 ならびに突起 5 0 および凹窩 5 2 として図示された複数のフィーチャを含むことができ、突起 5 0 は、厚さ  $t_1$  を有し、残留層は、厚さ  $t_2$  を有する。

【 0 0 1 5 】

上で述べたシステムおよびプロセスを、さらに、それぞれが参照によって本明細書に組み込まれている米国特許第 6 9 3 2 9 3 4 号、米国特許公開第 2 0 0 4 / 0 1 2 4 5 6 6 号、米国特許公開第 2 0 0 4 / 0 1 8 8 3 8 1 号、および米国特許公開第 2 0 0 4 / 0 2 1 1 7 5 4 号で言及されたインプリント・リソグラフィのプロセスおよびシステムで使用する事ができる。

10

【 0 0 1 6 】

チャック 2 8 および基板チャック 1 4 を、それぞれテンプレート 1 8 および基板 1 2 を固定するのに、インプリント中に使用することができる。チャック 2 8 を、インプリント・ヘッド 3 0 に取り付けることができる。インプリント・ヘッド 3 0 は、複数軸での運動を制御できるものとする事ができる。たとえば、インプリント・ヘッド 3 0 を、独立の  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、および  $Z_3$  位置に移動することによって、 $Z$ 、 $R_x$ 、および  $R_y$  運動（たとえば、チップ/チルト運動）を制御できる 3 軸インプリント・ヘッド 3 0 とする事ができる。インプリント・ヘッド 3 0 は、テンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の接触力  $F$  をもたらすこともできる。

【 0 0 1 7 】

20

一般に、インプリント・プロセス中にはインプリント・ヘッド 3 0 に関する 3 つのフェーズがある。図 3 A に示されたフェーズ 1 中には、基板 1 2 へのテンプレート 1 8 の接触推移および接触力を制御して、比較的速い応答を達成しながらテンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の実質的に安定した相互作用をもたらすことができる。

【 0 0 1 8 】

インプリント・ヘッド 3 0 は、自由空間運動でテンプレート 1 8 を提供することができる、ここで、テンプレート 1 8 および基板 1 2 を、距離  $d$  だけ分離することができる。テンプレート 1 8 が基板 1 2 に向かって移動する時に、テンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の圧力は、ガス流量がテンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の距離によって制限される場合があるので、高まる場合がある。インプリント・ヘッド 3 0 によって検出される力は、インプリント・ヘッド 3 0 の速度およびテンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の距離の関数である圧力分布に依存する可能性がある。テンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の距離  $d$  が、約  $10\text{ }\mu\text{m}$  を超える場合に、空気によって生成される抵抗力は、比較的小さい大きさのものである可能性があり、したがって、テンプレート 1 8 が約  $3\text{ mm/s}$  の速度で基板 1 2 に向かって移動する場合であっても検出できない可能性がある。

30

【 0 0 1 9 】

インプリント・ヘッド 3 0 は、基板 1 2 に向かって速度  $v$ （たとえば、 $3\text{ mm/s}$ ）でテンプレート 1 8 を移動し、テンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の距離を約  $10\text{ }\mu\text{m}$  未満に減らす。このフェーズでは、数ニュートンの力（たとえば、空気抵抗）を測定することができる。この力は、インプリント・ヘッド 3 0 の移動速度を下げることによって減らすことができる。

40

【 0 0 2 0 】

図 3 B に示されたフェーズ 2 中に、テンプレート 1 8 は、基板 1 2 に接触する。たとえば、インプリント・ヘッド 3 0 は、基板 1 2 へのテンプレート 1 8 の接触をもたらすことができる。テンプレート 1 8 の  $Z$  運動を、堅い環境によって制約することができる。たとえば、インプリント・ヘッド 3 0 移動範囲を、テンプレート 1 8 および基板 1 2 のコンプライアンス（たとえば、剛性）に加えて、おそらくはインプリント・ヘッド 3 0 によって生成できる力  $F$  の大きさによって制限することができる。図 4 のグラフに示されているように、接触力  $F$  は、0 から  $1\text{ N}/\mu\text{m}$  まで徐々に増加し、その後、 $9\text{ N}/\mu\text{m}$  まですばやく増加する。この接触力  $F$  は、テンプレート 1 8 および/または基板 1 2 の剛性に比例す

50

る場合がある。

【 0 0 2 1 】

逆圧を、テンプレート 1 8 および / または基板 1 2 に印加することができる。たとえば、図 3 B および 3 C に示されているように、それぞれ、逆圧をチャック 2 8 によってテンプレート 1 8 に印加することができ、かつ / または、逆圧を基板チャック 1 4 によって基板 1 2 に印加することができる。図 5 に示されているように、インプリント・ヘッド 3 0 が力 F の大きさを増やす時に、チャック 2 8 および / またはチャック 1 4 によってもたらされる逆圧を減らすことができる。

【 0 0 2 2 】

図 3 B を参照すると、接触面 6 0 は、テンプレート 1 8 の表面および基板 1 2 の表面が互いに適合（一致）する位置である。接触面 6 0 の縁は、画定された接触線 6 1 とすることができる。たとえば、接触面 6 0 は、メサ 2 0 が基板 1 2 の表面と接触する位置であり、接触線 6 1 は、接触面 6 0 の縁を画定する。接触線 6 1 は、全般的に、テンプレート 1 8 および基板 1 2 が接触している領域 6 3 とテンプレート 1 8 および基板 1 2 が接触していない領域 6 5 とを区別する。

10

【 0 0 2 3 】

図 3 B を参照すると、リアルタイム多変量追跡戦略を使用して、接触線 6 1 の移動の速度および接触線 6 1 に隣接する高さプロファイルを制御することができる。高さプロファイルは、領域 6 5 内のテンプレート 1 8 と基板 1 2 との間の変化する距離 d によって定義することができる。一般に、重合可能材料 3 4 の拡散中の接触線 6 1 の運動は、基板 1 2 のたわみおよびインプリント・ヘッド 3 0 によって与えられる力 F の非線形関数である。

20

【 0 0 2 4 】

インプリント中に、接触線 6 1 付近の気体分子を、テンプレート 1 8 のたわみを減らすことおよび / またはインプリント・ヘッド 3 0 による力 F の印加を減らすことによって生成される差圧によって減らすことができる。分子間引力も、接触線 6 1 の運動の方向で気体分子にエネルギーを転送するのを助けることができる。たとえば、分子間引力は、距離が分子の作用球の半径（たとえば、約 5 0 n m）未満である時に、接触線 6 1 の方向での気体分子へのエネルギーの転送を助けることができる。接触線 6 1 付近の高さプロファイルは、

$$h(r) = h_0 + a(r - r_0)^2$$

30

としてモデル化することができ、ここで、a は、プロファイルの係数であり、h<sub>0</sub> は、残留層 4 8 の厚さであり、r<sub>0</sub> は、ラジウス・スプレッド・エリア (radius spread area) であり、r は、中心からの距離である。一般に、半径方向に沿った圧力は、

【 0 0 2 5 】

【 数 1 】

$$pdp = - \frac{6m\mu RT}{\pi m_{mol}(h_0 + a(r - r_0)^2)^3 r} dr$$

40

によって制御することができる。圧力分布 p は、上の式の両辺を積分して、

【 0 0 2 6 】



【数 2】

$$\begin{aligned}
 p^2 - p_0^2 &= - \int_{r_0}^r \frac{6m\mu RT}{\pi m_{mol} (h_0 + a(r-r_0)^2)^3} dr \\
 &= - \frac{12m\mu RT}{m_{mol}\pi} \left[ \frac{\ln \frac{r+r_0}{\sqrt{ar^2+h_0}} + \frac{ar_0}{\sqrt{ah_0} \operatorname{atan}\left(\frac{ar}{\sqrt{ah_0}}\right)} - \frac{1+rr_0 + \frac{ar_0r}{h_0\sqrt{ah_0} \operatorname{atan}\left(\frac{ar}{\sqrt{ah_0}}\right)}}{h_0^3 + 3ar_0^2h_0^2 + 3a^2r_0^4h_0 + a^3r_0^6} - \frac{2(h_0^2 + 2ar_0^2h_0 + a^2r_0^4)(ar^2 + h_0)}{4(ar_0^2 + h_0)(ar^2 + h_0)} - \frac{\frac{arr_0}{h_0} - 1 - \frac{3}{2h_0^2}arr_0}{8h_0^2(ar_0^2 + h_0)(ar^2 + h_0)\sqrt{h_0a}} + \frac{3ar_0\operatorname{atan}\left(\frac{ar}{\sqrt{ah_0}}\right)}{4h_0^2(ar_0^2 + h_0)^3} + \frac{a^2r_0^4 + 4ar_0^2h_0 + 2h_0^2\ln\frac{r_0^2}{h_0} + 3h_0^2}{4h_0^2(ar_0^2 + h_0)^3} \right]
 \end{aligned}$$

10

をもたらすことによって得ることができる。したがって、圧力分布を、テンプレート 18 と基板 12 との間の距離  $d$  およびガス流量の関数とすることができる（たとえば、接触線 61 付近の高さプロファイルが急峻であればあるほど、圧力低下がすばやい）。

【0027】

20

接触線 61 付近に圧力勾配がある場合がある。気体および重合可能材料 34 の分子は、圧力勾配にさらされる可能性がある。一般に、気体は、比較的低い密度および粘性を有し、したがって、気体は、力  $F$  および圧力勾配によって接触境界線 61 付近のギャップから押し出される可能性がある。その一方で、液体は、一般に、より高い密度および粘性の特徴があり、したがって、体積が、重合可能材料 34 の液滴の間の自己会合性によって一定のままになる傾向がある。重合可能材料 34 と基板 12 との間の気体圧力勾配および分子間引力は、テンプレート 18 と基板 12 との間でテンプレート 18 のフィーチャを充てんするように横および垂直に重合可能材料 34 の拡散を駆動する可能性がある。気体分子からの運動エネルギーの一部が、気体分子が高速で押し出される時に重合可能材料 34 の分子に転送される可能性がある。

30

【0028】

重合可能材料 34 の周囲のトラップされた気体分子は、気体分子を噴出する適当な通気孔がない場合に、気体が重合可能材料 34 に高い圧力を働かせ、拡散を妨げるので、重合可能材料 34 の液滴の拡散に対する強い影響を有する可能性がある。これは、重合可能材料 34 の拡散プロセス中のより長い拡散時間をもたらす可能性がある。

【0029】

気体のガス抜きは、テンプレート 18 を基板 12 に徐々に適合させることによって改善することができる。たとえば、ガス抜きアクションを、接触面 60 の中心から外へとテンプレート 18 を基板 12 に徐々に適合させることによって改善することができる。

【0030】

40

図 3D に示されたフェーズ 3 中に、インプリント・ヘッド 30 によってもたらされる力  $F$  ならびにチャック 28 および / または基板チャック 14 によってもたらされる逆圧の大きさを、徐々に減らすことができる。たとえば、インプリント・ヘッド 30 によってもたらされる力  $F$  ならびにチャック 28 および / または基板チャック 14 によってもたらされる逆圧の大きさを、フィードバック制御を使用して、徐々に実質的に 0 まで減らすことができる。力  $F$  および逆圧を減らすことによって、余分な力を引き起こす可能性があるオーバーレイひずみを最小化することができる。たとえば、実質的に薄いテンプレート 18 のインプリント中に、1 ニュートン力  $F$  が、5 nm オーバーレイひずみを引き起こし得、10 kPa テンプレート逆圧が、7 nm オーバーレイひずみを引き起こし得ることが実証された。これらのオーバーレイひずみは、重合可能材料 34 の固体化および / または架橋の

50

前およびその間に力  $F$  および逆圧を減らすことによって最小化することができる。

#### 【0031】

図6に、基板12へのテンプレート18の接触推移および適合を制御する例示的方法100の流れ図を示す。一般に、ステップ102で、テンプレート18を、テンプレート18と重合可能材料34をその表面46に有する基板12との間の適切な距離  $d$  をもたらしめるために調整することができる。ステップ104では、テンプレート18と基板12との間の接触をもたらしめるテンプレート18に印加される力および圧力の事前に決定された量を判定することができる。ステップ106では、力および圧力の事前に決定された量を、テンプレート18と基板12との間の接触をもたらしめるためにテンプレート18に印加することができる。ステップ108では、テンプレート18に印加される力および圧力の事前に決定された量を調整して、力および圧力の調整された量をもたらしめることができる。力および圧力の調整された量は、適切な接触境界線速度および/または適切な高さプロファイルを提供することができる。ステップ110では、インプリント・ヘッド30によって印加される力が、事前に決定されるエラー・ウィンドウ (error window) 内になるように、テンプレート18の方位を調整することができる。ステップ112では、力および圧力の調整された量を減らすことができる。たとえば、力および圧力の調整された量を、0まで減らすことができる。ステップ114では、重合可能材料34を固体化し、かつ/または架橋させることができる。次は、上で説明したステップのより詳細な説明を与えるものである。

#### 【0032】

##### インプリント・ヘッドの調整

図3Aを参照すると、テンプレート18と基板12との間の距離は、テンプレート18が、テンプレート18と基板12との間に適切な距離  $d$  をもたらしめるために位置  $z$  に移動されるように調節することができる。位置  $z$  は、一般的に、接触面60より高く、テンプレート18と基板12との間の接触をほとんどまたは全くもたらしめない。位置  $z$  は、

$$z = z_{\text{CONTACT}} - z_p - z$$

として計算することができ、ここで、 $z$  は、接触面60のエラー・ウィンドウであり、 $z_p$  は、推定されたたわみであり、 $z_{\text{CONTACT}}$  は、推定された接触面60である。

#### 【0033】

接触面60のエラー・ウィンドウ  $z$  は、接触面60の正確さを推定することによって判定することができる。接触面60の推定された正確さは、一般に、テンプレート18および基板12の厚さの組み合わせられた変動の推定された正確さである。一般に、接触面60のエラー・ウィンドウ  $z$  は、テンプレート18がインプリント・ヘッド30の位置制御の下で基板12に隣接して移動される時にすべての接触を避けるのに十分に大きいものとすることができる。しかし、テンプレート18が基板12に向かう移動を停止する時に大きい分離距離がある場合に、接触推移を増やすことができることに留意されたい。

#### 【0034】

推定されたたわみ  $z_p$  は、テンプレート18に印加される逆圧に基づくものとするることができる。たとえば、 $z_p$  を、較正されたテンプレートたわみモデルを使用する、テンプレート18に印加される逆圧に基づくものとするることができる。

#### 【0035】

推定された接触面  $z_{\text{CONTACT}}$  は、まず、機構設計の機械的寸法を使用することによって判定することができる。次に、より正確な推定を、スプレッド・カメラ70によって干渉じまが観察されるまで、テンプレート18と基板12との間のギャップを徐々に減らすことによって行うことができる。たとえば、エネルギー(たとえば、白色光)によって照明される時に、しまは、一般に、分離距離がそのエネルギーの干渉長さ (interference length) (たとえば、 $< 1 \mu\text{m}$ ) 未満になるまで観察されない。接触面  $z_{\text{CONTACT}}$  は、接触推移中に所望の量の接触力を維持しながら位置  $z$  を記録することによって測定することができる。

#### 【0036】

## 制御システム

図7に、テンプレート18と基板12との間の制御された接触を実現するためにインプリント・ヘッド30の移動速度を減らすのに使用することのできる制御システム72のブロック図を示す。接触力Fと接触境界線61の長さとの間のマッピングを、スプレッド・カメラ70を使用して較正して、接触力軌跡を与えることができる。一般に、接触力のプロファイルを追跡することによって、接触境界線61の実質的に一定の速度を維持し、テンプレート18が基板12に接触する時の滑らかな遷移をもたらすことができる。これは、残留層48(図2に図示)の均一性に影響し得る待ち時間を無効にすることができる。

### 【0037】

一般に、制御システム72は、テンプレート18と基板との間のギャップの徐々の減少によって基板12とのテンプレート18の接触をもたらすことができる。制御システム72は、異なる位置でインプリント・ヘッド30によって印加される接触力Fを測定できる力センサ74を含むことができる。力センサ74は、コントローラ78と通信し、コントローラ78に第1信号(入力信号)を供給することができる。コントローラ78は、テンプレート18に印加される力および圧力に関する情報を提供する第1信号を受け取り、この情報を使用して、調整された力および圧力を有する第2信号(出力信号)をインプリント・ヘッド30の位置アクチュエータ76に供給する。

### 【0038】

積分動作およびフィードバック制御の組合せを使用して、調整された力および圧力を位置アクチュエータ76に供給することができる。一般に、接触境界線61の状態は、インプリント・ヘッド30の測定された位置ならびに接触力Fおよび圧力に加えて、機構設計の機械的寸法に基づいて推定することができる。接触面60の変動を、積分動作によって打ち消すことができる。したがって、接触力が、基板12とのテンプレート18の接触の前に0に接近するものとすることができるので、接触力Fの誤差は、設定点力から測定された力を減じたものと実質的に等しいものとすることができる。接触力Fを積分することができ、作動信号を、誤差の積分に比例するものとすることができる。この信号は、インプリント・ヘッド30が基板12に向かって進行する時に累算を続けることができる。図3Bに示されているように、テンプレート18が基板12に接触する時に、接触力Fは、設定点値に収束することができ、接触力Fが接触境界線61推定値の誤差を打ち消すことができる。

### 【0039】

図8に、もう1つの例示的な制御システム72aのブロック図を示す。接触境界線61の移動速度および接触境界線61付近の高さプロファイルは、インプリント・ヘッド30の力Fならびに/あるいはチャック28および/または基板チャック14によって与えられる圧力の大きさを調整することによって制御することができる。それぞれインプリント・ヘッド30およびチャック28によって与えられる力Fおよび/または圧力の大きさは、重合可能材料34の拡散に関する物理モデルに基づくものとすることができる。コントローラ78は、この物理モデルに基づいて、印加される力Fおよび/または圧力を評価して、力Fおよび圧力の調整された大きさを供給することができる。力Fおよび/または圧力の調整された大きさを、位置アクチュエータ76および/またはチャック28に与えることができる。たとえば、力Fの制御を、カスケード接続された制御方式を使用してインプリント・ヘッド30の位置を調整することによって実施することができる。

### 【0040】

接触境界線61および接触面60付近の高さプロファイルを、スプレッド・カメラ70を使用して測定することができる。たとえば、重合可能材料34の流体拡散中の接触境界線61を、白色光干渉分光法を使用して測定することができる。白色光は、テンプレート18を介して基板12を照明するLEDアレイからのすべての可視波長 = 400 nm ~ 700 nmを含むことができる。一部の入射ビームは、テンプレート18の基板12から反射し、かつ/または偏向する。これらの反射されたビームは、干渉することができ、結果のビーム干渉パターンは、イメージ(たとえば、CCDスクリーン上のイメージ)で与

10

20

30

40

50

えることができる。イメージの光強度は、光源のコヒーレンス関数に従って変化することができる。この観察された光強度は、

【 0 0 4 1 】

【 数 3 】

$$I(h) = I_0 \left( 1 + e^{-\left(\frac{h}{l_c}\right)^2} \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda_c}\right) \right)$$

によって記述されるように、テンプレート 18 と基板 12 との間の距離  $d$ （本明細書ではギャップ高さとも称する）の関数として変化することができ、ここで、 $I$  は、CCD 上の光強度であり、 $h$  は、テンプレート 18 と基板 12 との間のギャップ高さであり、 $l_c$  は、白色光の中心波長（たとえば、 $0.5 \mu\text{m}$ ）であり、 $I_0$  は、白色光のコヒーレンス長（たとえば、 $1.2 \mu\text{m}$ ）である。

【 0 0 4 2 】

図 9 に、スプレッド・カメラ 70 によってもたらされるイメージを使用して接触境界線 61 付近の高さプロファイルを判定する例示的方法 200 の流れ図を示す。ステップ 202 で、低域フィルタを使用して、観察された光強度の高周波数雑音を除去することができる。ステップ 204 で、光強度  $I_0$  の直流値を評価することができる。たとえば、光強度  $I_0$  の直流値は、観察された光強度  $I(h)$  の平均をとることによって評価することができる。ステップ 206 で、強度変調の最大値および最小値を判定することができる（たとえば、ピークおよび谷）。ステップ 208 で、変調

【 0 0 4 3 】

【 数 4 】

$$e^{-\left(\frac{h}{l_c}\right)^2}$$

を強度変調の最大値および最小値を使用して評価することができる。ステップ 210 で、強度変調の最大値と最小値との間の高さ差を判定することができる。ステップ 212 で、強度変調の隣接する最大値と最小値との間の高さ変動（または位相変化）を評価することができる。図 10 に、接触境界線 61 付近の例示的な高さプロファイルのグラフ表現を示す。

【 0 0 4 4 】

図 11 に、スプレッド・カメラ 70 によってもたらされるイメージを使用して接触境界線 61 のマップを得る例示的方法 300 の流れ図を示す。ステップ 302 で、接触境界線 61 の中心を推定することができる。ステップ 304 で、必要な場合に、スプレッド・カメラ 70 によって得られた光強度プロファイルを、直交座標から極座標に変換することができる。ステップ 306 で、観察された光強度の高周波数雑音を除去することができる。たとえば、観察された光強度の高周波数雑音を、低域フィルタを使用して除去することができる。ステップ 308 で、接触境界線 61 の少なくとも 1 つのエッジを、最大光強度および最小光強度の位置を突き止めることによって判定することができる。ステップ 310 で、接触境界線 61 の直径を推定することができる。ステップ 312 で、必要な場合に、接触境界線 61 の位置を、極座標から直交座標に変換することができる。ステップ 314 で、接触境界線 61 の中心を推定することができる。ステップ 316 で、スプレッド・カメラによってもたらされたイメージによって得られた接触境界線 61 のマップを、提供することができる。スプレッド・カメラ 70 から得られた接触境界線 61 の例示的イメージと接触境界線 61 の関連するマップとの横並びの比較を、図 12 に示す。

【 0 0 4 5 】

図 14 に、制御システム 72 c のもう 1 つの例示的实施形態を示す。一般に、スプレッド・カメラ 70 は、少なくとも 1 つのイメージを提供することができる。イメージは、テ

10

20

30

40

50

ンプレート 18 と基板 12 との間の接触境界線 61 の速度および接触境界線 61 付近の高さプロファイルを判定するために、イメージ処理を受けることができる。たとえば、接触境界線 61 の速度および高さプロファイルを、白色光干渉分光法を使用して判定することができる。テンプレート 18 と基板 12 との間の接触境界線 61 の速度および接触境界線 61 付近の高さプロファイルを、コントローラ 78 によって使用して、テンプレート 18 と基板 12 との間の制御された接触をもたらすためにインプリント・ヘッド 30、チャック 28、および / または基板チャック 14 を調整することができる。

【0046】

テンプレートの方位

図 7 および 8 を参照すると、テンプレート 18 が基板 12 と接触した後に、テンプレート 18 の方位を調整し、インプリント・ヘッド 30 によってテンプレート 18 に印加される力が所定のエラー・ウィンドウ内になるようにすることができる。一般に、力センサ 74 から観察される接触力を、感知方向と中央接触点との間の距離と組み合わせて、初期設定点でのテンプレート 18 の方位を判定することができる。たとえば、コントローラ 78 を使用して、力の間の差が所定のエラー・ウィンドウ内になるまで 3 軸  $z$  位置を調整することによって、テンプレート 18 の方位を調整することができる。さらに、テンプレート 18 および基板 12 が実質的に同一平面になり、テンプレート 18 が実質的に基板 12 と平行になるように、テンプレート 18 を調整することができる。これを、さらに、スプレッド・カメラ 70 を用いる観察によって検証することができる。

【0047】

重合可能材料の固体化 / 架橋

テンプレート 18 および基板 12 が適合した後に、テンプレート 18 に印加される力および圧力の大きさを徐々に減らすことができる。たとえば、テンプレート 18 に印加される力および圧力の大きさを、徐々に 0 まで減らすことができる。力および圧力の大きさの減少は、制御システム 72 によって供給される情報に基づくものとすることができる。

【0048】

そして力および圧力の大きさを減らされた状態で、基板 12 の表面 46 上の重合可能材料 34 を固体化し、かつ / または架橋することができる。前に述べたように、力および圧力の減少は、オーバーレイひずみを減らすことができる。

【0049】

テンプレートのローディング

本明細書で説明するシステムおよび方法を、テンプレート 18 のローディングに適用することに留意されたい。チャック 28 とテンプレート 18 との間の平行度誤差の変動を、テンプレート 18 のローディング中に閉ループ制御を使用することによって最小化することができる。低い接触力は、テンプレート 18 の潜在的な損傷を防ぐことができる。たとえば、図 13 に示されているように、チャック 28 の真空ランド表面 (vacuum land surface) 120 を、テンプレート 18 の表面 122 に近い位置へ移動することができる。接触面を検出することができ、インプリント・ヘッド 30 の方位を調整して、チャック 28 の真空ランド表面 120 が最小限の接触力でテンプレート 18 の表面 122 に適合するようにすることができる。その後、テンプレート 18 は、転送され、チャック 28 によって、チャック 28 の真空をオンにすることによって固定される。

【0050】

本明細書で説明されるシステムおよび方法をテンプレート 18 のローディングに使用する際に、一般に、位置  $z$ 、 $R_x$ 、および  $R_y$  は、正確に検討合わせされる必要がない可能性がある。たとえば、力測定精度によって制限される低い接触力は、テンプレート 18 が物体に接触する場所およびその時を自動的に検出するのに十分である可能性がある。したがって、テンプレート 18 をロードする際の信頼性を高めることができる。

【符号の説明】

【0051】

12 基板； 18 テンプレート； 30 インプリント・ヘッド；

10

20

30

40

50

60 接触面； 61 接触境界線； 72 制御システム； 74 力センサ；  
76 位置アクチュエータ； 78 コントローラ 78； F 接触力。

【図 1】

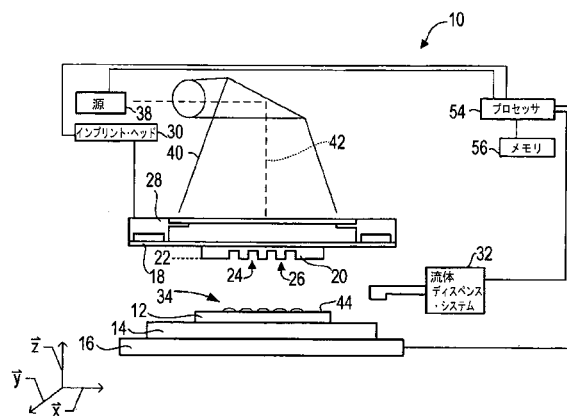


FIG. 1

【図 2】

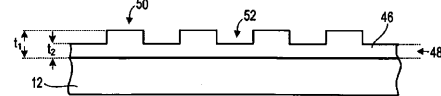


FIG. 2

【図 3 A】

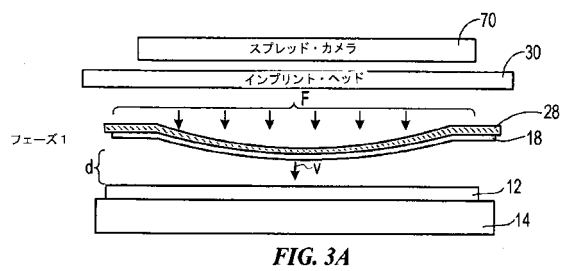


FIG. 3A

【図 3 B】

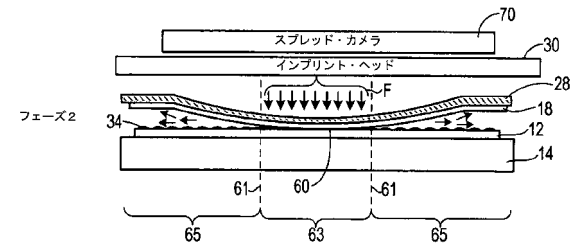


FIG. 3B

【図 3 C】

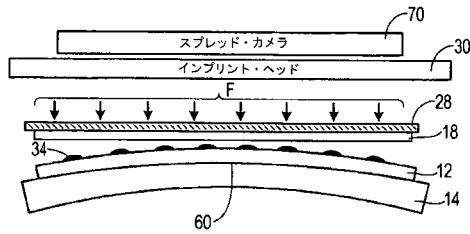


FIG. 3C

【図 3 D】

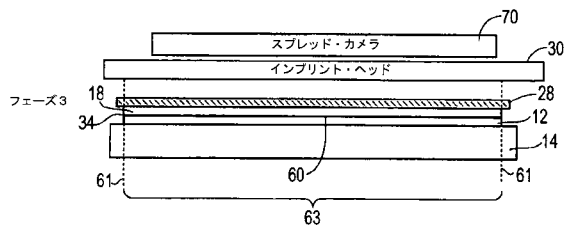


FIG. 3D

【図 4】

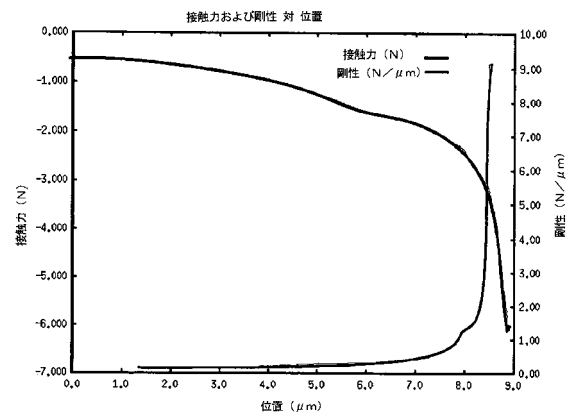


FIG. 4

【図 5】

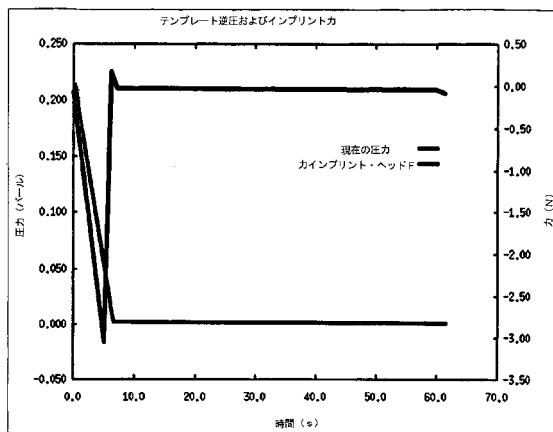


FIG. 5

【図 6】

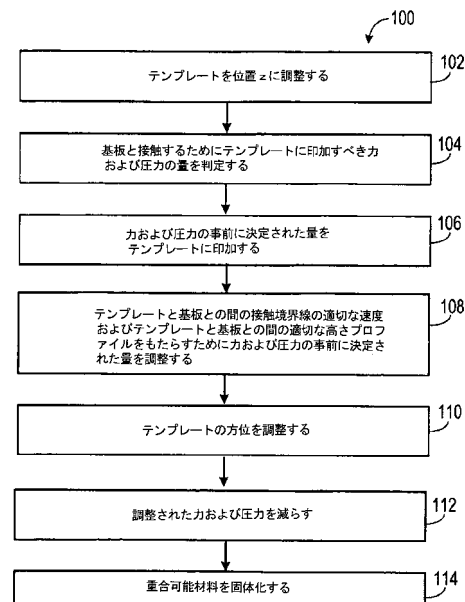


FIG. 6

【図 7】

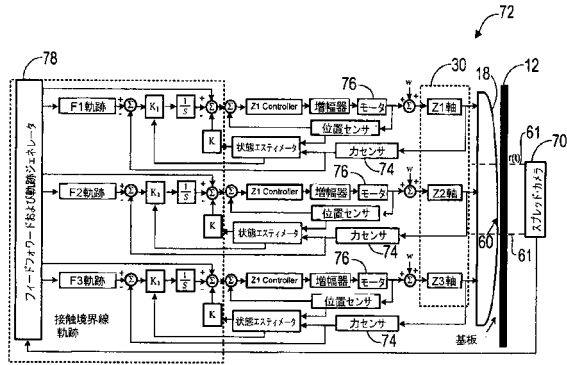


FIG. 7

【図 8】

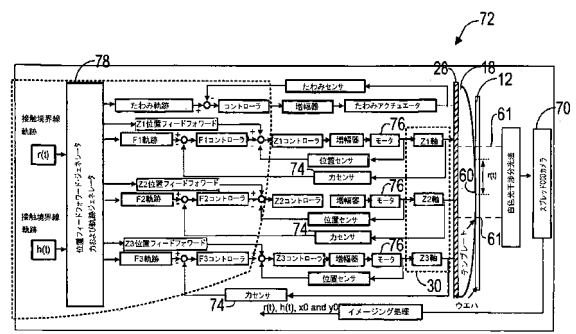


FIG. 8

【図 9】

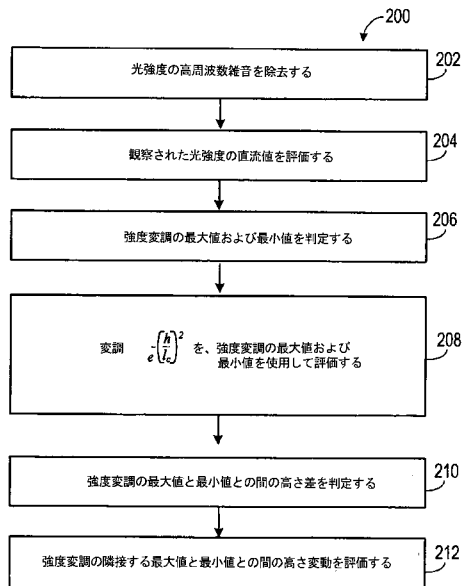


FIG. 9

【図 10】

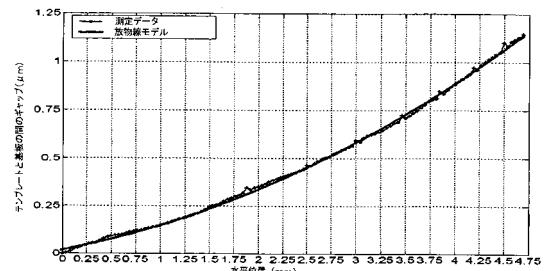
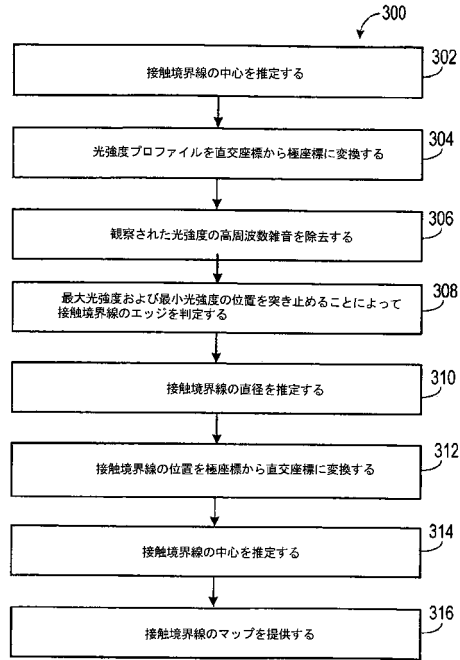


FIG. 10

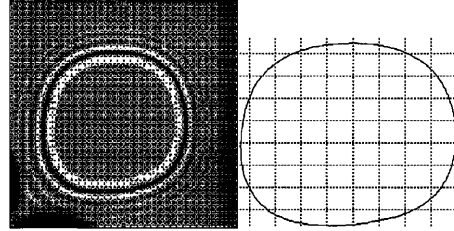


【 図 1 1 】



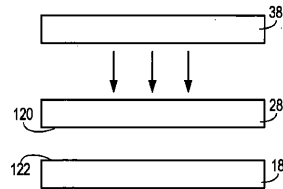
**FIG. 11**

【 図 1 2 】



**FIG. 12**

【 図 1 3 】



**FIG. 13**

【 圖 1 4 】

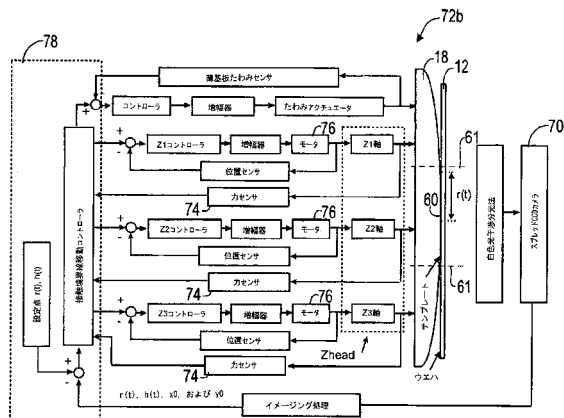


FIG. 14

---

フロントページの続き

(72)発明者 シューメイカー, フィリップ・ディ

アメリカ合衆国・78735・テキサス州・オースティン・サンディア ループ・7600

審査官 渡戸 正義

(56)参考文献 特開2005-353858(JP, A)

特開2007-137051(JP, A)

特開2008-244441(JP, A)

特開2006-245071(JP, A)

国際公開第2008/068701(WO, A2)

特表2010-512000(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

B29C 41/00 - 70/68

B81B 1/00 - 7/04