

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5349588号  
(P5349588)

(45) 発行日 平成25年11月20日 (2013.11.20)

(24) 登録日 平成25年8月30日 (2013.8.30)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 O 2 D
B 2 9 C 59/02 (2006.01)	B 2 9 C 59/02 Z N M Z

請求項の数 14 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-513482 (P2011-513482)	(73) 特許権者	500039463
(86) (22) 出願日	平成21年6月5日 (2009.6.5)		ボード・オブ・リージェンツ, ザ・ユニバ ーシテイ・オブ・テキサス・システム
(65) 公表番号	特表2011-529626 (P2011-529626A)		アメリカ合衆国、テキサス・78701、 オースティン、ウエスト・セブンス・スト リート・201
(43) 公表日	平成23年12月8日 (2011.12.8)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/003420	(74) 代理人	100064621
(87) 国際公開番号	W02009/151560		弁理士 山川 政樹
(87) 国際公開日	平成21年12月17日 (2009.12.17)	(74) 代理人	100098394
審査請求日	平成24年5月23日 (2012.5.23)		弁理士 山川 茂樹
(31) 優先権主張番号	61/060,007	(72) 発明者	パンガ, アヴィナッシュ
(32) 優先日	平成20年6月9日 (2008.6.9)		アメリカ合衆国・78705・テキサス州 ・オースティン・アパートメント 306 ・30ティエイチ ストリート・202 イー
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	12/479,200		
(32) 優先日	平成21年6月5日 (2009.6.5)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 適応ナノトポグラフィ・スカルプティング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の表面のナノトポグラフィを決定する工程と、  
 第2の表面に関する所望の形状特性を決定する工程と、  
 滴下パターンを生成するために、前記第1の表面の前記ナノトポグラフィおよび前記第2の表面に関する前記所望の形状特性を評価する工程と、  
 前記滴下パターンに従って、テンプレートと前記第1の表面との間に重合可能物質を堆積する工程と、  
 前記重合可能物質に前記テンプレートを接触させる工程と、  
 前記重合可能物質を固化させる工程と、  
 前記所望の形状特性を有する前記第2の表面を形成するために、前記重合可能物質をエッチングする工程と、  
 から構成されることを特徴とする、インプリント・リソグラフィ・システムを使用して所望の形状特性を有する表面を形成する方法。

【請求項 2】

少なくとも1つの寄生効果を決定し、前記寄生効果を補正するために前記滴下パターンを調整する工程をさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記寄生効果は前記重合可能物質の蒸発であることを特徴とする請求項2に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記寄生効果はパターン密度のばらつきであることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記寄生効果はエッチングの不均一性であることを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記寄生効果はポリシングの不均一性であることを特徴とする請求項 2 乃至 5 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記寄生効果は体積収縮であることを特徴とする請求項 2 乃至 6 のいずれか一項に記載の方法。

10

**【請求項 8】**

前記所望の形状特性を有する前記第 2 の表面を形成するために、前記重合可能物質をエッチングする工程は、前記第 1 の表面のナノトポグラフィおよびラフネスを修正することを特徴とする、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記第 2 の表面の前記所望の形状特性は、平坦であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 10】**

前記第 2 の表面の前記所望の形状特性は平坦でないことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の方法。

20

**【請求項 11】**

前記滴下パターンに従って、テンプレートと前記第 1 の表面との間に重合可能物質を堆積する工程は、

第 1 のエッチ速度を有する第 1 の重合可能物質を堆積し、第 2 のエッチ速度を有する第 2 の重合可能物質を堆積する工程と、

前記第 1 のエッチ速度および前記第 2 のエッチ速度を補正するために、前記滴下パターンを調整する工程と

をさらに含むことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の方法。

30

**【請求項 12】**

前記第 1 のエッチ速度および前記第 2 のエッチ速度は異なることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

**【請求項 13】**

前記滴下パターンを生成するために、前記第 1 の表面の前記ナノトポグラフィおよび前記第 2 の表面に関する前記所望の形状特性を評価する工程は、

高さ補正マップを生成するために、前記第 1 の表面の前記ナノトポグラフィと前記第 2 の表面に関する前記所望の形状特性との間の差異を評価する工程と、

前記高さ補正マップに基づいて密度マップを生成する工程と、

前記滴下パターンを決定するために前記密度マップを使用する工程と

をさらに含むことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の方法。

40

**【請求項 14】**

表面のナノトポグラフィを決定する工程と、

所望のナノトポグラフィと比較して前記表面の前記ナノトポグラフィとの間の高さ補正を決定するために、前記表面の前記ナノトポグラフィを評価する工程と、

前記所望のナノトポグラフィと比較して前記表面の前記ナノトポグラフィとの間の前記高さ補正に基づいて密度マップを生成する工程と、

前記密度マップに基づいて滴下パターンを決定する工程と、

前記滴下パターンに従って、インプリント・リソグラフィ・テンプレートと前記表面との間に重合可能物質を堆積する工程と、

50

前記重合可能物質に前記テンプレートを接触させる工程と、  
前記重合可能物質を固化させる工程と、  
前記所望のナノトポグラフィを有する前記表面を形成するために、前記重合可能物質をエッチングする工程と  
を含むことを特徴とする、インプリント・リソグラフィ・システムを使用して所望のナノトポグラフィを有する表面を形成する方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本出願は、引用により本明細書に取り込まれている2008年6月9日に出願した、米国特許仮出願番号第61/060,007号の米国特許法第119条(e)項(1)に基づく利益を主張する。本出願は、引用により本明細書に取り込まれている2009年6月6日に出願した、第12/479,200号に対する優先権を主張する。

【背景技術】

【0002】

ナノファブリケーションは、100ナノメートル程度またはそれ以下のフィーチャを有する非常に小さな構造の製作を含む。ナノファブリケーションがかなりの量の影響を与えている一応用例は、集積回路の加工においてである。半導体加工産業では、基板上に形成する単位面積当たりの回路を増加させつつより高い製造歩留りを目指して努力し続けており、それゆえ、ナノファブリケーションは、重要性を増してきている。ナノファブリケーションは、形成する構造の最小フィーチャ寸法の継続的な縮小を可能にしつつより高いプロセス制御を提供する。ナノファブリケーションが採用されてきている開発の別の領域は、バイオテクノロジーや、光工学や、機械システムや、その他を含む。

【0003】

今日使用されている例示的なナノファブリケーション技術は、インプリント・リソグラフィと一般的に呼ばれている。例示的なインプリント・リソグラフィ・プロセスは、引用によりそのすべてが本明細書中に取り込まれている、米国特許出願公開第2004/0065976号や、米国特許出願公開第2004/0065252号や、米国特許第6,936,194号などの数多くの出版物に詳細に記載されている。

【0004】

上記の米国特許出願公開および米国特許のそれぞれに開示されているインプリント・リソグラフィ技術は、(重合可能な)成形可能層中にレリーフ・パターンの形成およびレリーフ・パターンに対応するパターンを下地基板へと転写することを含む。所望の位置決めを実現してパターニング・プロセスを容易にするために、基板を移動ステージに結合することができる。パターニング・プロセスは、基板から間を空けて置かれたテンプレートおよびテンプレートと基板との間に付けられた成形可能液を使用する。成形可能液と接触しているテンプレートの表面の形状に従ったパターンを有する硬質層を形成させるために、成形可能液を固化させる。固化後に、テンプレートおよび基板が間を空けるように、テンプレートは、硬質層から離される。固化層中のパターンに対応するレリーフ像を基板へと転写するために、基板および固化層は、次に、さらなるプロセスを受ける。

【0005】

インプリント・リソグラフィを使用する加工技術は、実質的に平坦な下地基板または(1つまたは複数の)実質的に平坦な下地層の存在に依存することがある。例えば、層毎の半導体デバイス製造中の製造の信頼性および容易性は、実質的に平坦な基板トポグラフィに依存することがある。

【0006】

半導体製造に関係して、2つのタイプのプロセスを広く説明するために、用語、平坦化を使用することができ、すなわち、物質堆積プロセス後のウェーハ表面のトポグラフィ改善(例えば、層間絶縁膜(ILD)の平坦化)、または窪ませた領域中に物質を残すため

10

20

30

40

50

の堆積した膜の除去（例えば、シャロー・トレンチ・アイソレーション（STI）、ダマシ・プロセス、など）、である。

【0007】

加熱およびリフロー技術や、スピン・オン・ガラス（SOG）プロセスなどを含む、様々な平坦化方式が、開発されてきている。しかしながら、現在の方式によって得ることが可能な平坦度の程度は、限られることがある。例えば、一般的に使用される平坦化技術のうちの1つである、化学機械的製作（CMP）は、物質のパターン密度に基づく物質除去速度依存性が一般にある。高パターン密度を有する領域は、低パターン密度を有する領域と比較してより多くの接触面積を有することがある。これは、より大きな圧力が低パターン密度領域において与えられるという結果になり、低密度領域内でより大きな物質除去速度をもたらすことがある。低密度領域が、最初に平坦化され、次に、物質が一定速度で除去されるにつれて、高密度領域が局所的に平坦になる。これは、高密度領域と低密度領域との間でステップ状態を形成することになり、平坦化した膜内で広範囲の厚さばらつきをもたらす。パターン密度のばらつきを低減させるために、ダミーで埋めることおよびパターン付きレジストなどの、予防技術を使用することができるが、かかる技術は、平坦化プロセスの複雑さを増大させる。

10

【0008】

CMPの代替である接触平坦化は、光硬化性物質でスピン・コートし残留溶媒を除去するためにブリークした基板を準備する。超平坦表面をスピン・コートしたウェーハ上に押し付けて、物質をリフローさせることができ、平坦化のために物質を均等に薄く広げるために、圧力を使用することができる。しかしながら、平坦化の品質は、パターン密度ばらつきによって損なわれることがある。流体供給のために使用するスピン・コーティングは、基板全体にわたって一様になるように一般に期待されている。それはそれとして、密度がばらついている領域は、流体の同じ分布を一般に有するであろう。物質が超平坦表面により押されるときには、物質は、高フィーチャ密度領域から低フィーチャ密度領域へと流れる傾向がある。物質の高い粘性のためにおよび／または超平坦表面と基板との間に形成される狭い流路に起因する物質の移動度のために、リフローが制限されることがある。それに加えて、超平坦表面と基板との間の流体工学的な力が、流体膜中に引張応力を生じさせることがある。超平坦表面が取り除かれると、この応力が解放され、表面平坦度の劣化をもたらすことがある。

20

30

【0009】

その上、CPは、一般に、フィーチャ密度の大きなばらつきに対応できない。例えば、ダイ中に低パターン密度の大きな領域がある場合には、物質を、ボイド中を埋めるようにはリフローできないことがあり、そのためにグローバルな平坦度に悪影響を及ぼすことがある。それに加えて、CPは、基板および／または超平坦表面の表面トポグラフィの違いを一般に考慮しない。例えば、超平坦表面が基板に対して押し付けられるときに、それらの間の物質の厚さのばらつきがありうる。物質の非常に厚い膜の使用は、流体の移動度を向上させる、それにもかかわらず、引き続く物質除去プロセス（例えば、エッチング、ポリッシング、等）の不均一性が、厚い膜では支配的になることがあるので、基板に同じ平坦度を転写することが困難なことがある。

40

【0010】

本発明をより詳細に理解できるように、本発明の実施形態の説明が、添付した図面に図示した実施形態を参照して行われる。しかしながら、添付した図面が、本発明の典型的な実施形態だけを図示し、それゆえ範囲を限定するようにはみなされないことに、留意されたい。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施形態によるリソグラフィ・システムの単純化した側面図である。

【図2】基板上に設置されたパターンニングした層を有する図1に示した基板の単純化した側面図である。

50

【図 3】下地基板に起因する複数膜層のトポグラフィ変化量の単純化した側面図である。

【図 4 A】ローカル・トポグラフィ平坦度偏差の単純化した側面図である。

【図 4 B】グローバル・トポグラフィ平坦度偏差の単純化した側面図である。

【図 5 A】適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用した、所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

【図 5 B】適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用した、所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

【図 5 C】適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用した、所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

【図 5 D】適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用した、所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

10

【図 6】適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用した、所望の形状特性を有する表面を形成する方法の一実施形態の流れ図である。

【図 7】適応ナノトポグラフィ・スカルプティングにおいて使用するための滴下パターンを生成するためのマッピング・プロセスの一実施形態の流れ図である。

【図 8】基板の表面を事前ポリッシングする方法の一実施形態の流れ図である。

【図 9】平坦でない所望の形状特性を有する表面の単純化した側面図である。

【図 10 A】平坦でない所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

【図 10 B】平坦でない所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

20

【図 10 C】平坦でない所望の形状特性を有する表面の形成過程の単純化した側面図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

図、特に図 1 を参照すると、そこに図示したものは、基板 12 上にレリーフ・パターンを形成するために使用するリソグラフィ・システム 10 である。基板 12 を、基板チャック 14 に結合することができる。図示したように、基板チャック 14 は、真空チャックである。しかしながら、基板チャック 14 は、真空や、ピン・タイプや、溝タイプや、電磁および/またはその他を含むが、これらに限定されない、任意のチャックであってもよい。例示的なチャックが、引用により本明細書中に取り込まれている米国特許第 6,873,087 号に記載されている。

30

【0013】

基板 12 および基板チャック 14 を、ステージ 16 によってさらに支持することができる。ステージ 16 は、x 軸、y 軸、および z 軸に沿った動きを与えることができる。ステージ 16 や、基板 12 や、基板チャック 14 を、やはり、基体（図示せず）上に設置することができる。

【0014】

基板 12 から間隔を空けて離れているものが、テンプレート 18 である。テンプレート 18 は、基板 12 に向けてそこから延びるメサ 20 を含むことがあり、メサ 20 は、パターンニング表面 22 をその上に有する。さらに、メサ 20 を、母型 20 と呼ぶことができる。あるいは、テンプレート 18 を、メサ 20 なしで形成することができる。

40

【0015】

溶融石英、石英、シリコン、有機ポリマ、シロキサン・ポリマ、ホウケイ酸ガラス、フロロカーボン・ポリマ、金属、硬化サファイア、および/またはその他、を含むが、これらに限定されない物質から、テンプレート 18 および/または母型 20 を形成することができる。図示したように、パターンニング表面 22 は、複数の間隔を空けて離れた凹部 24 および/または凸部 26 によって規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 上に形成されるべきパターンの基本を形成する任意の原型パターンを定めることができる。

50

## 【 0 0 1 6 】

テンプレート 1 8 を、チャック 2 8 に結合することができる。チャック 2 8 を、真空や、ピン・タイプや、溝タイプや、電磁および／または別の類似のチャック・タイプとして構成することができるが、これらに限定されない。例示的なチャックが、引用により本明細書中に取り込まれている米国特許第 6 , 8 7 3 , 0 8 7 号にさらに記載されている。さらに、チャック 2 8 を、インプリント・ヘッド 3 0 に結合することができ、その結果、チャック 2 8 および／またはインプリント・ヘッド 3 0 を、テンプレート 1 8 の動きを容易にするように構成することができる。

## 【 0 0 1 7 】

システム 1 0 は、流体供給システム 3 2 をさらに含むことができる。基板 1 2 上に重合可能物質 3 4 を堆積させるために、流体供給システム 3 2 を使用することができる。重合可能物質 3 4 を、滴下供給や、スピン・コーティングや、浸漬コーティングや、化学気相堆積 ( C V D ) や、物理気相堆積 ( P V D ) や、薄膜堆積や、厚膜堆積、および／またはその他、などの技術を使用して基板 1 2 上に設置することができる。設計考慮事項に応じて母型 2 0 と基板 1 2 との間の所望の体積を決める前におよび／または決めた後で、重合可能物質 3 4 を、基板 1 2 上に配置することができる。重合可能物質 3 4 は、引用によりそのすべてが本明細書中に取り込まれている、米国特許第 7 , 1 5 7 , 0 3 6 号および米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 1 8 7 3 3 9 号に記載されているようなモノマ混合物を含むことができる。

## 【 0 0 1 8 】

図 1 および図 2 を参照して、システム 1 0 は、経路 4 2 に沿ったエネルギー 4 0 を管理するように結合されたエネルギー供給源 3 8 をさらに備えることができる。経路 4 2 と重ねてテンプレート 1 8 および基板 1 2 を設置するように、インプリント・ヘッド 3 0 およびステージ 1 6 を構成することができる。ステージ 1 6 や、インプリント・ヘッド 3 0 や、流体供給システム 3 2 、および／または供給源 3 8 と通信するプロセッサ 5 4 によって、システム 1 0 を調整することができ、メモリ 5 6 中に記憶されたコンピュータ可読プログラム上で動作させることができる。

## 【 0 0 1 9 】

重合可能物質 3 4 によって埋められる、母型 2 0 と基板 1 2 との間の所望の体積を決めるために、インプリント・ヘッド 3 0 かステージ 1 6 のいずれか一方または両方は、母型 2 0 と基板 1 2 との間の距離を変化させる。例えば、母型 2 0 が重合可能物質 3 4 に接触するように、インプリント・ヘッド 3 0 は、テンプレート 1 8 に力を加えることができる。所望の体積を重合可能物質 3 4 で埋めた後で、供給源 3 8 は、エネルギー 4 0 、例えば、広帯域の紫外線放射を生じさせ、基板 1 2 の表面 4 4 およびパターンニング表面 2 2 の形状に従って重合可能物質 3 4 を固化させおよび／またはクロス・リンクさせ、基板 1 2 上にパターンニングした層 4 6 を画定する。パターンニングした層 4 6 は、残存層 4 8 および凸部 5 0 や凹部 5 2 として示された複数のフィーチャを含むことができ、凸部 5 0 が厚さ  $t_1$  を有し、残存層が厚さ  $t_2$  を有する。

## 【 0 0 2 0 】

上記のシステムおよびプロセスを、引用によりそれぞれが本明細書中に取り込まれている、米国特許第 6 , 9 3 2 , 9 3 4 号や、米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 1 2 4 5 6 6 号や、米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 1 8 8 3 8 1 号、および米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 2 1 1 7 5 4 号中で引用したインプリント・リソグラフィ・プロセスおよびシステムにおいてさらに採用することができる。

## 【 0 0 2 1 】

図 3 を参照して、物質堆積プロセスは、下地基板 6 2 のトポグラフィと同じトポグラフィを保存する物質の膜層 6 0 を一般に生成する。図 3 に図示したように、膜層 6 0 の数が増加すると、フィーチャ 6 4 のステップ高さ  $h_F$  は、合成ステップ高さ  $h_{R1}$  に増加し、次に合成ステップ高さ  $h_{R2}$  へとさらに増加することさえありうる。この増加が、トポグラフィ変動を結果としてもたらすことがある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

大きなトポグラフィ変動は、製作プロセスを妨げることがありおよび/または信頼性問題を引き起こすことがある。半導体加工では、例えば、大きなトポグラフィ変動を最小にするために、ウェーハをポリシングして、表面平坦度を向上させる。ラフネスや、サイト表面基準二次関数表面トポグラフィや、グローバル裏面基準指示値範囲 (GBIR) は、低空間波長や、中間空間波長や、長空間波長において表面トポグラフィを定量化するために使用する尺度である。90 nm ノードでの製造のために使用する典型的な 300 mm プライム・グレード・ウェーハは、1 nm 未満のラフネス、ほぼ 90 nm の SFQR、および 2 ミクロンの GBIR を有する。比較すると、75 mm プライム・グレード・ウェーハは、5 nm 未満のラフネス、1000 nm の SFQR、および 10 ミクロンの GBIR を有することがある。しかしながら、厳しい平坦度要求に対して供給するために、ウェーハは、一般にコストを増加させる複数回のポリシング・ステップを受けることがある。それに加えて、小さなサイズのウェーハ、および別の材料のウェーハは、一般に、厳しい平坦度要求を満足させることは不可能であり、厳密な意味で、サブ・ミクロンのフィーチャを有するデバイスを製造するために使用することは、一般に実用的ではない。

10

## 【 0 0 2 3 】

図 4 A および図 4 B は、半導体製造中に見られるローカル・トポグラフィ平坦度偏差 6 およびグローバル・トポグラフィ平坦度偏差 68 を図示する。ローカル・トポグラフィ平坦度偏差 66 は、堆積した物質が下地フィーチャに従うので、下地表面変化量を反映するという結果をもたらすことがある。これらの偏差 66 は、同じ程度の大きさ (例えば、フィーチャ高さ) を有することがあり、および/または低空間波長を有することがある。

20

## 【 0 0 2 4 】

図 4 B に図示したように、グローバル・トポグラフィ平坦度偏差 68 は、より大きな大きさのものであり、ダイのサイズと同じ程度の空間波長を有することがある。グローバル・トポグラフィ平坦度偏差 68 を、下地パターン密度の大きな変化を有する領域を超えて観測することができる。26 x 33 mm のサイズを有するパターンニング・フィールドがパターンニングのために同時に露出される全フィールドを含むことができるが、目標とされるパターンニングした領域とは対照的に、ウェーハ全体の表面トポグラフィ (例えば、厚さばらつき) に起因して、大きなトポグラフィ変動が存在することがある。この大きなトポグラフィ変動は、ウェーハの直径と同程度でありうる。

30

## 【 0 0 2 5 】

表面の高さばらつきを、空間波長領域において解析すると、3つの構成要素に分類することができる、すなわち、公称形状 (空間波長 > 20 mm での高さばらつき)、ナノトポグラフィ (0.2 ~ 20 mm の間の空間波長での高さばらつき)、および表面ラフネス (空間波長 < 0.2 mm での高さばらつき) である。本明細書中で説明されるように、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを、ナノトポグラフィを修正するために使用することができる。それに加えて、本明細書中で説明されるように、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを、ラフネスを修正するために使用することができる。例えば、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、基板 (例えば、ベア・シリコン・ウェーハ) の表面ラフネスや、サブミクロン・フィーチャを有する基板や、その他を修正することができる。適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを、表面の公称形状を修正せずにナノトポグラフィおよび/またはラフネスを修正するために使用することができることに、留意すべきである。

40

## 【 0 0 2 6 】

図 5 A ~ 図 5 D を参照すると、ナノスカルプティングするためにおよびナノトポグラフィ偏差 (例えば、ローカル・トポグラフィ平坦度偏差および/またはグローバル・トポグラフィ平坦度偏差) を適応的に最小にするために、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用することができる。ナノスカルプティングを、第 1 の表面 74 により始めることができ、堆積および適切な深さまでのエッチ・バックを使用することによって、(例えば、平坦な) 所望の表面トポグラフィを有する第 2 の表面 76 を生成することができる。

50

## 【 0 0 2 7 】

適応ナノトポグラフィ・スカルプティング・プロセスは、図 1 に示され本明細書中で説明されるリソグラフィ・システム 1 0 を使用して、表面 7 4 上のばらつきのあるパターン密度に適應することができる。図 5 B を参照すると、重合可能物質 3 4 を、膜層 6 0 a (例えば、 $\text{SiO}_2$ ) の第 1 の表面 7 4 上に堆積させることができる。可変量の重合可能物質 3 4 を第 1 の表面 7 4 上の特定の場所に置くことができるように、本明細書中で説明したような滴下供給を使用して、重合可能物質 3 4 を第 1 の表面 7 4 上に置くことができる。

## 【 0 0 2 8 】

一般に、テンプレート 1 8 と第 1 の表面 7 4 との間の距離を、所望の体積を決めるように変えることができ、それらの間を重合可能物質 3 4 によって埋めることができる。テンプレート 1 8 は、実質的に平坦なパターンニング表面 2 2 を有する母型 2 0 を含むことができる。テンプレート 1 8 が重合可能物質 3 4 に接触し、重合可能物質 3 4 が実質的に連続した膜を形成し、所望の体積を実質的に埋めるように、力がテンプレート 1 8 に加えられる。さらに、薄膜を形成するために、重合可能物質 3 4 を広げることを毛管力によって制御することができる。所望の体積が重合可能物質 3 4 により埋められた後で、表面 7 8 を有し厚さ  $t_3$  により決められるパターンニングした層 4 6 a を画定させるために、重合可能物質 3 4 を固化させることができる。パターンニングした層 4 6 a の表面を転写して所望の表面トポグラフィを有する第 2 の表面 7 6 を生成するために、除去プロセス (例えば、エッチング、ポリシング、CMP、など) を次に使用することができる。

## 【 0 0 2 9 】

第 1 の表面 7 4 上への物質 (例えば、重合可能物質 3 4) の堆積は、第 2 の表面 7 6 に関する所望の表面トポグラフィを実現させることができる。それに加えて、物質の堆積は、プロセスにおける様々な寄生効果 (例えば、パターン密度ばらつき、広い範囲のウェーハ・トポグラフィ、エッチングの不均一性、ポリシングの不均一性、CMP の不均一性、不均一な物質の除去速度、体積収縮、蒸発、などを含むが、これらの限定されない、所望の表面トポグラフィの程度を低下させる効果) を補正することができる。

## 【 0 0 3 0 】

一般に、除去 (例えば、エッチング) 中に、第 2 の表面 7 6 に関する所望の表面トポグラフィを実現させることができるように、堆積は、第 1 の表面 7 4 上の選択領域に適正な体積を形成させるように重合可能物質 3 4 を分布させる。それはそれとして、所望の形状特性 (例えば、実質的に同等な、基板 6 2 a の表面 7 2 のトポグラフィや、平坦度や、奇抜な形状、および / または別の所望の形状特性) を有する第 2 の表面 7 6 を生成するために、堆積は、第 1 の表面 7 4 上や、下地層上、および / またはその他の上のばらつきのあるパターン密度に対して適應することができる。本明細書中にさらに詳細に述べられるように、堆積は、第 1 の表面 7 4 のトポグラフィに基づいて重合可能物質 3 4 を分布させる。例えば、パターン密度ばらつきを補正するために、重合可能物質 3 4 の増加させた滴下体積または増加させた滴下量を、第 1 の表面 7 4 の低密度領域に供給することができる。このパターン密度ばらつきは、下地層 6 2 a および / またはフィーチャ 6 4 a のばらつきのあるパターン密度によりもたらされることがある。

## 【 0 0 3 1 】

図 6 を参照すると、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、( a ) 第 1 の表面 7 4 のトポグラフィ、( b ) 第 2 の表面 7 6 を生成するために必要なパラメータ、および ( c ) 第 1 の表面 7 4 上に重合可能物質 3 4 を堆積させるための供給パターンを決めるための空間分布パラメータを使用することができる。ステップ 1 0 0 では、初期トポグラフィ・マップ 8 0 を第 1 の表面 7 4 に対して生成することができる。ステップ 1 0 2 では、所望の表面トポグラフィ有する第 2 の表面 7 6 を形成するためのパラメータを、決定することができる (例えば、平坦化長、厚さ、所望の最終トポグラフィ)。ステップ 1 0 4 では、初期トポグラフィ・マップ 8 0 および第 2 の表面 7 6 のパラメータに基づいて、重合可能物質 3 4 に対する滴下パターン 8 6 を生成することができる。ステップ 1 0 6 では、重



合可能物質 3 4 の液滴を、滴下パターン 8 6 に基づいて供給することができる。ステップ 1 0 8 では、テンプレート 1 8 を重合可能物質 3 4 に接触させることができる。ステップ 1 1 0 では、パターニングした層 4 6 a を形成するため、重合可能物質 3 4 を固化させることができる。ステップ 1 1 2 では、所望の表面トポグラフィを有する第 2 の表面 7 6 を形成するために、パターニングした層 4 6 a の一部を除去することができる。

#### 【 0 0 3 2 】

図 7 を参照すると、トポグラフィ・マップ 8 0 を、表面スキャニング・システムを使用して生成することができる。例えば、Z y g o<sup>viii</sup> 表面スキャニング・システムを、2 5 0 × 2 5 0 μ m のサンプリング格子で使うことができる。第 1 の表面 7 4 に対して生成したトポグラフィ・マップ 8 0 と第 2 の表面 7 6 に関する所望のトポグラフィとの間の差異は、補正マップ 8 2 に与えられるような各場所に対する高さ補正を与えることができる。フィーチャ密度マップ 8 4 を生成するために、この情報をさらに変換することができる。フィーチャ密度マップ 8 4 は、滴下パターン 8 6 を結果としてもたらす各場所に対して必要な重合可能物質 3 4 の密度を与えることができる。

10

#### 【 0 0 3 3 】

図 5 A ~ 図 5 D を参照すると、重合可能物質 3 4 の空間分布の制御を行うために、パターニングした層 4 6 a の厚さ  $t_3$  や、重合可能物質 3 4 の粘性や、重合可能物質 3 4 の供給とエネルギーへの重合可能物質 3 4 の露出との間の時間間隔や、テンプレート 1 8 の剛性、および / またはその他を含むがこれらに限定されない、複数のパラメータを決定することができるおよび / またはバランスさせることができる。

20

#### 【 0 0 3 4 】

重合可能物質 3 4 の空間分布を、供給する重合可能物質 3 4 の体積の空間分布に関連付けることができる。例えば、重合可能物質 3 4 の液滴が供給された場所にまだ実質的に留まる（例えば、表面 7 4 上の横方向の移動を最小にする）ように連続する膜を形成するために、重合可能物質 3 4 を液滴の形で供給することができる。約 2 0 n m から 2 5 0 n m の厚さ  $t_3$  を形成するために、この関連付けを実行することができる。それに加えて、重合可能物質 3 4 の粘性（例えば、3 センチポアズから 1 0 0 センチポアズ）が、重合可能物質 3 4 の横方向の自由な流れに対する抵抗を与えることがある。

#### 【 0 0 3 5 】

空間分布を、やはり、重合可能物質 3 4 の供給とエネルギーへの重合可能物質 3 4 の露出（例えば、紫外線照射）との間の時間間隔と関連付けることができる。例えば、重合可能物質 3 4 の供給とエネルギーへの重合可能物質 3 4 の露出との間の妥当な時間は、重合可能物質 3 4 の液滴からの連続する膜の形成を可能にするように十分に長い時間であるが、顕著な横方向の流体の流れを低減させるように十分に短い時間であってもよい。妥当な時間間隔は、数秒から数分の間でありうる。

30

#### 【 0 0 3 6 】

テンプレート 1 8 の剛性（例えば、厚さおよび / または材料特性）を、やはり、重合可能物質 3 4 の空間分布と関連付けることができる。例えば、剛性は、連続した膜の形成を行うために重合可能物質 3 4 の個々の液滴の変形を最小にするように十分に高く、さらに、重合可能物質 3 4 の分布と膜層 6 0 a の表面 7 4 の低空間周波数形状とを容易に一致させるように十分に低くするべきである。妥当な剛性は、0 . 2 5 m m から 2 m m の間でありうる。

40

#### 【 0 0 3 7 】

適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、やはり、様々な寄生効果を補正することができる 1 1 2。寄生効果は、第 2 の表面 7 6 の結果としての形状に悪影響を及ぼすことがあり、パターン密度ばらつきや、広い範囲のウェーハ・トポグラフィや、エッチングの不均一性や、ポリシングの不均一性や、物質の除去速度や、体積収縮や、蒸発や、その他を含むことができるが、これらに限定されない。例えば、第 1 の表面 7 4 の全体にわたって重合可能物質 3 4 の量を変えることによりパターン密度ばらつきを補正するために、（図 7 に示した）滴下パターン 8 6 を決定することができる。重合可能物質 3 4 の量のこの

50

変動は、事前に存在するパターン密度ばらつきおよび／または推定したパターン密度ばらつきに基づくことがある。

【 0 0 3 8 】

それに加えて、パターニングした層 4 6 a の所望の形状を形成するために、第 1 の表面 7 4 上に供給する重合可能物質 3 4 の量を決定することができる。パターニングした層 4 6 a の所望の形状を形成するために量を調整することで、第 2 の表面 7 6 に関する表面トポグラフィのナノスカルプティングをさらに行うことができる。

【 0 0 3 9 】

適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、また、エッチングの不均一性の寄生効果を補正することができる。一般に、物質が第 2 の表面 7 6 の所望の形状を形成するのと同じ速度で、重合可能物質 3 4 を除去することができる。しかしながら、これらのプロセスは、特定の除去プロセスの特性および／または装置の特性（すなわち、エッチ・シグネチャ）に基づく不均一な除去速度を有することがある。不均一な除去が、第 2 の表面 7 6 の所望の形状特性（例えば、表面平坦度）の劣化の一因になることがある。個々のプロセスおよび／または装置に関するエッチング・シグネチャを、複数回の試行により決定することができる。一旦、エッチング・シグネチャが決定されると、重合可能物質 3 4 の量を、エッチング・シグネチャに基づき調整することができる。例えば、相対的に高いエッチ速度を有する領域を補正するために、（図 7 に示した）滴下パターン 8 6 を、エッチング・シグネチャに基づき調整することができる。

【 0 0 4 0 】

所望の特性（例えば、平坦度）を有する第 2 の表面 7 6 を形成するために、重合可能物質 3 4 の体積収縮もまた、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用することによって補正することができる。上記に詳細に説明したように、重合可能物質 3 4 は、エネルギーへの露出により固化する。この固化プロセスは、重合可能物質 3 4 の体積の収縮を伴うことがある。例えば、収縮は、重合可能物質 3 4 の組成に応じて約 5 ~ 25 % でありうる。収縮が、局所的な体積に依存することがあり、それは第 1 の表面 7 4 全体にわたって変化することがあり、また、収縮が、固化した重合可能物質 3 4 中に応力を生じさせることもある。滴下パターン 8 6 内の重合可能物質 3 4 の分布を変えることによって、この収縮効果を補正することができる。それに加えて、またはその代わりに、テンプレート 1 8 の除去および／または変形によって、応力を解放させることができる。

【 0 0 4 1 】

蒸発は、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用することによって補正することができるもう 1 つの寄生効果である。重合可能物質 3 4 の蒸発速度は、組成に応じて早いことがある。例えば、まだインプリンティングの前に、重合可能物質 3 4 の堆積に引き続く蒸発のために、重合可能物質 3 4 の損失がありうる。蒸発は、一般に第 1 の表面 7 4 の端部近くでより大きくなることがある。

【 0 0 4 2 】

所望の特性（例えば、平坦度）を有する第 2 の表面 7 6 を形成するために、蒸発に起因して予想される体積損失を、やはり、決定することができ、滴下パターン 8 6 において補正することができる。例えば、湿度や、温度や、微粒子の蓄積や、その他を制御するために保たれる空気の流れが、不均一な蒸発の一因になることがある。この空気の流れは、系統立った不均一な蒸発を結果としてもたらしうることがある。所望の形状特性（例えば、平坦度）を有する第 2 の表面 7 6 を形成するために、蒸発シグネチャを決定することができ、滴下パターン 8 6 を調整することによって補正することができる。

【 0 0 4 3 】

適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、やはり、重合可能物質 3 4 の変動を補正することができる。例えば、第 2 の重合可能物質とは異なる第 1 の重合可能物質を用いて、第 1 の重合可能物質および第 2 の重合可能物質を、第 1 の表面 7 4 上に供給することができる。第 1 の重合可能物質は、第 2 の重合可能物質とは異なる除去速度（例えば、エッチ速度）を有することがある。それはそうとして、除去速度が異なる効果を最小にするた

めに、堆積すべき第1の体積の第1の重合可能物質および堆積すべき第2の体積の第2の重合可能物質を供給するように、滴下パターン86を調整することができる。

【0044】

基板ポリシングや、事前にパターニングした基板のポリシングや、平坦でない表面のポリシングなどの応用および平坦でないナノトポグラフィ応用における物理的なポリシング、ならびに下記にさらに説明されるような別のプロセスの代わりに、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用することができる。例えば、ベア・シリコン基板の公称表面の平坦化の際、などの基板ポリシングの代わりに、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用することができる。除去ステップでは、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用してエッチングされるべき物質は、シリコン、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{InP}$ 、サファイア、および/またはその他を含むが、これらに限定されないバルク基板物質でありうる。

10

【0045】

図8は、例えば、平坦化した表面を形成するためのパターニングした層の応用例におけるような、事前にパターニングした基板のポリシングの代わりに、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用する方法120を図示する。一般に、パターン・レイアウトに基づきパターニングしたフィーチャの追加補正を作り出すために、滴下パターン86を調整することができる。例えば、第1の表面74上に重合可能物質34を供給することは、事前に存在するパターンからの体積変動を含むことができる。

【0046】

20

ステップ122では、表面のナノトポグラフィをマッピングすることができる。例えば、第1の表面74のナノトポグラフィを、Zygo計器か、プロファイラまたはその他を使用してマッピングすることができる。ステップ124では、滴下パターン86を生成するために、第1の表面74と所望の最終ナノトポグラフィ（例えば、第2の表面76）との間の差異を決定することができる。ステップ126では、滴下パターン86を調整するために、寄生効果を決定することができる。ステップ128では、第1の表面74上に重合可能物質34を堆積させて所望の形状特性を有する第2の表面76を形成するために、滴下パターン86を使用することができる。ステップ130では、テンプレート17を重合可能物質34と接触させるように設置することができる。ステップ132では、重合可能物質34を、インプリント・リソグラフィ・テンプレート18を使用して固化させることができる。ステップ134では、所望の形状特性を有する第2の表面76を形成するために、固化させた重合可能物質をエッチングすることができる。

30

【0047】

パターニングした基板の応用例では、エッチング可能な物質（例えば、 $\text{SiO}_2$ ）中のパターンの存在が、所望の形状特性を転写して第2の表面76を形成するために、1:1エッチ・バック・ステップを可能にすることがある。パターンが容易にはエッチングできない物質（例えば、銅）中に存在する場合には、エッチングに加えてまたはその代わりに、第2の表面76の所望の形状特性を形成するために、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを、別の物質除去プロセス（例えば、化学機械ポリシング）とともにさらに使用することができる。

40

【0048】

図9を参照すると、第2の表面76の平坦でない所望の形状特性を作り出すために、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングを使用することができる。例えば、第2の表面76は、凹型形状か、凸型形状か、球面形状か、非球面形状か、連続する周期的形状か、またはいずれか別の奇抜な形状を有することがある。一般に、（図7に図示したような）滴下パターン86を決定する際の追加の修正（例えば、アルゴリズムの調整）は、第2の表面76の変形例を与えることができる。例えば、図9に図示したような第2の表面76は、 $h$ が10nmから10ミクロンの範囲になり、 $w$ が1mmから1000mmの範囲になることがある、大きな曲率半径を有する球面状の凸型形状を有することができる。

【0049】

50

適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、また、任意の自由に作った表面（すなわち、平坦でない表面）のナノトポグラフィを扱うことができる。例えば、公称形状（すなわち、空間波長  $> 20 \text{ mm}$  における高さばらつき）が、バルク製造プロセス（例えば、鋳造、機械加工、グラインディング、およびその他）によって悪影響を受けることがあるが、一般にポリシング中には悪影響を受けない。ポリシング・プロセスは、公称形状に適応させる能力を有することができる。従来のポリシング・プロセスは、一般に公称形状には悪影響を及ぼさないが、パターン密度ばらつきのためにナノトポグラフィに悪影響を及ぼすことがある。やはり、従来型のポリシング機器は、基板の公称形状の変更に適応させるために、機械設計に大きな変更を必要とすることがある（例えば、平坦な表面のCMP用の機械設計は、球面状表面のCMP用の機械とは全く異なることがある）。それはそうとして、従来型のポリシング機器は、球面形状／非球面形状／対称的な形状を扱えるだけのことがある。しかしながら、適応ナノトポグラフィ・スカルプティングは、例えば、図10A～図10Cに図示した自由に作った表面（例えば、第1の表面74）などの自由に作った表面のナノトポグラフィの修正を扱うことができる。これらの図に図示したように、第1の表面74と比較して第2の表面76のナノトポグラフィの修正を実現するために、自由に作った第1の表面74の相補的な形状を有するインプリント・リソグラフィ・テンプレート18aを使用することができる。

10

#### 【0050】

球面レンズ／非球面レンズの適応ナノトポグラフィ・スカルプティングでは、レンズ・ダブレットを精密に作ることができる。例えば、レンズ・ダブレットを約500ミクロン厚まで精密に作ることができる。この物質の球面状部品および／または柔軟な部品を、インプリント・リソグラフィ・テンプレート18aとして使用することができる。別の自由に作った形状に関して、PDMSテンプレートを、所望の相補的な形状の鋳型成形を使用して作ることができる。

20

#### 【0051】

相補的な形状のテンプレート18a（例えば、テンプレート18）に加えて、またはその代わりに、テンプレート18aの公称形状の半径を制御するために、加圧中空チャックを使用することができる。例えば、チャックおよび／またはテンプレート18aの幾何学形状の設計によって規定されるような特定の公称形状を有する球面状表面／非球面状表面のポリシングの際に、このプロセスを使用することができる。

30

#### 【0052】

あるいは、テンプレート18aを、非脆性材料からなる最小厚を有するように設計することができる。追加強度を与えるために、テンプレート18を厚い溶融石英フレームに選択肢として貼り付けることができる。一般に、溶融石英フレームは、チャックとテンプレート18との間にアダプタを形成することができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0053】

18 テンプレート； 46a パターニングした層； 60a 膜層；  
62a 基板； 64a フィーチャ； 72 表面； 74 第1の表面；  
76 第2の表面。

40

【図 1】

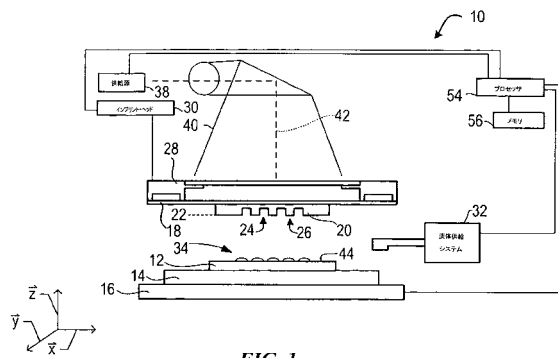


FIG. 1

【図 2】

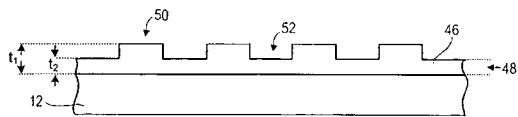


FIG. 2

【図 3】

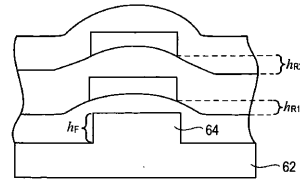


FIG. 3

【図 4 A】

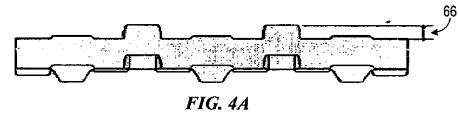


FIG. 4A

【図 4 B】

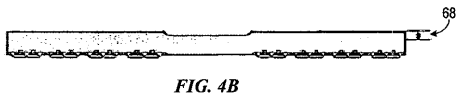


FIG. 4B

【図 5 A】

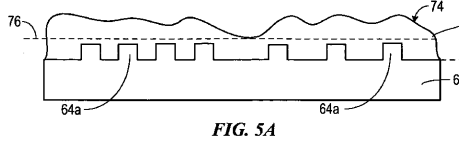


FIG. 5A

【図 5 B】

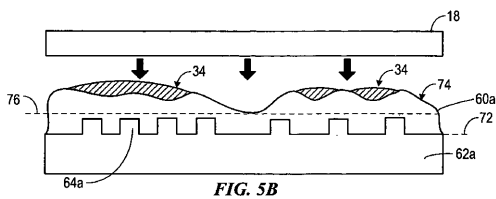


FIG. 5B

【図 5 C】

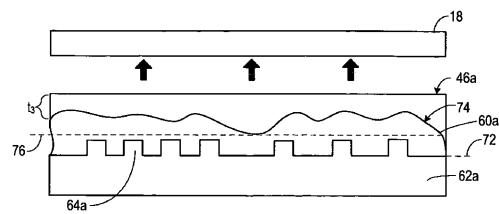


FIG. 5C

【図 5 D】

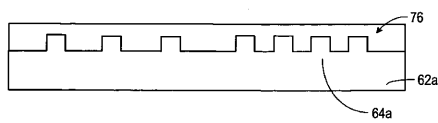


FIG. 5D

【図 6】

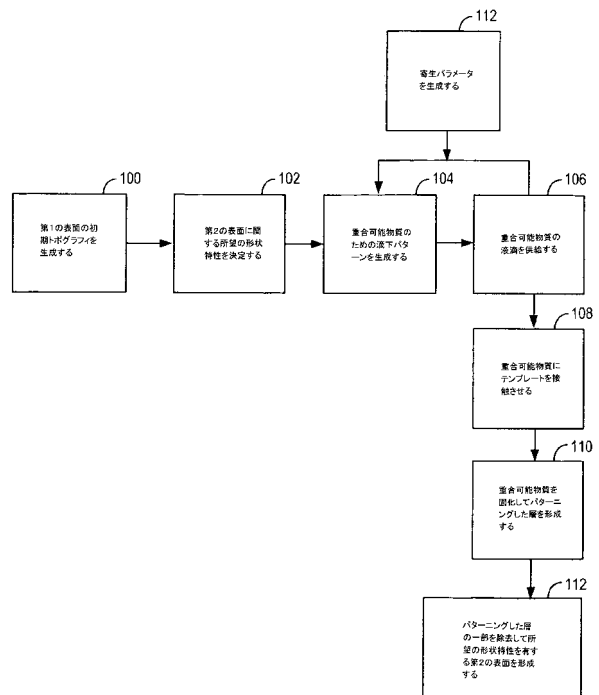


FIG. 6

【図 7】

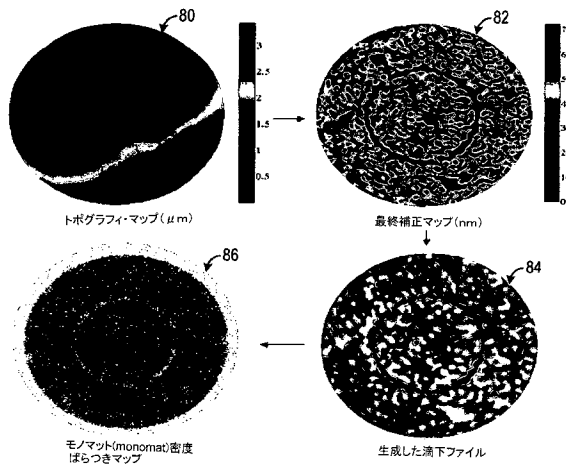


FIG. 7

【図 8】

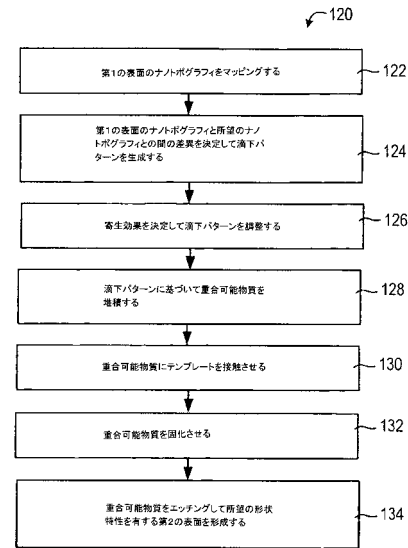


FIG. 8

【図 9】

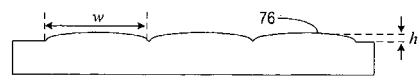


FIG. 9

【図 10 A】

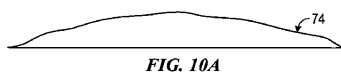


FIG. 10A

【図 10 B】

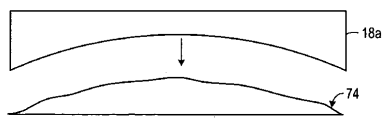


FIG. 10B

【図 10 C】

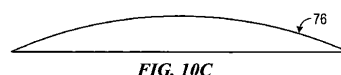


FIG. 10C

---

フロントページの続き

(72)発明者 スリーニヴァッサン, シトルガタ・ヴィ  
アメリカ合衆国・78750・テキサス州・オースティン・グランド オーク ドライブ・105  
02

審査官 佐野 浩樹

(56)参考文献 特表2008-502157(JP, A)  
国際公開第2008/066562(WO, A2)  
米国特許出願公開第2007/0228593(US, A1)  
米国特許第7360851(US, B1)  
特開2007-296783(JP, A)  
米国特許出願公開第2004/0090478(US, A1)  
米国特許出願公開第2006/0035464(US, A1)  
特開平08-088169(JP, A)  
特表2005-532576(JP, A)  
特開2008-091782(JP, A)  
特開2002-014477(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B29C53/00-53/84  
57/00-59/18  
H01L21/027  
21/30