(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3964469号
(P3964469)
(45)発行日　平成19年8月22日(2007.8.22)　(24)登録日　平成19年6月1日(2007.6.1)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	569F
G01B 11/24	(2006.01)	G01B	11/24	Z
G03F 7/26	(2006.01)	G03F	7/26	501

請求項の数 7　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願平6-273534
(22)出願日　平成6年11月8日(1994.11.8)
(65)公開番号　特開平8-136236
(43)公開日　平成8年5月31日(1996.5.31)
審査請求日　平成13年7月13日(2001.7.13)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(72)発明者　三本木　省次
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１番地　株式会社東芝研究開発センター内
(72)発明者　井上　壮一
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１番地　株式会社東芝研究開発センター内

審査官　新井　重雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】形状シミュレーション方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基板上の被加工膜の表面を異方性エッチングを用いて処理したその処理後の形状を予測する形状シミュレーション方法において、

加工前の前記被加工膜表面上の複数の点を代表点とし、これらの代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に垂直な方向に移動させる第１工程と、

前記代表点の移動方向を前記基板に垂直な方向から前記基板に水平な方向に切り替える第２工程と、

前記代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に水平な方向に移動させる第３工程と、

任意の加工時間において第１工程から第３工程を経て移動した該代表点の軌跡を経路とし、前記全ての経路について、基板の平行方向に進んだ点の集合について包絡線又は包絡面をとり、前記包絡線又は包絡面を前記加工後の形状とする第４工程とを含むことを特徴とする形状シミュレーション方法。

【請求項２】

前記基板に水平な方向を、前記基板に水平な面内に成す角が互いに１８０°である２方向にとることを特徴とする請求項１記載の形状シミュレーション方法。

【請求項３】

前記基板に水平な方向として、前記基板に水平な面内に隣合う方向の成す角が等しい方向を８方向以上とることを特徴とする請求項１記載の形状シミュレーション方法。

【請求項４】
前記被加工膜は、所望パターンに露光された感光性樹脂層であることを特徴とする請求項１記載の形状シミュレーション方法。
【請求項５】
前記代表点は、前記被加工膜の加工方法として、ウェットエッチングを対象として、移動することを特徴とする請求項１記載の形状シミュレーション方法。
【請求項６】
基板上に形成され所望パターンを含む感光性樹脂層を異方性エッチングしたその処理後の形状を予測する形状シミュレーション方法において、
前記現像処理前の前記感光性樹脂層表面上の複数の点を代表点とし、これらの代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に垂直な方向に移動させる第１工程と、
前記代表点の移動方向を前記基板に垂直な方向から前記基板に水平な方向で、かつ前記基板に水平な面内に隣合う方向の成す角が等しい８方向以上に切り替える第２工程と、
前記代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に水平な方向に移動させる第３工程と、
任意の加工時間において第１工程から第３工程を経て移動した該代表点の軌跡を経路とし、前記全ての経路について、基板の平行方向に進んだ点の集合について包絡線又は包絡面をとり、前記包絡線又は包絡面を現像処理後の形状とする第４工程とを含むことを特徴とする形状シミュレーション方法。
【請求項７】
前記異方性エッチングは、ウェットエッチングであることを特徴とする請求項１又は請求項６記載の形状シミュレーション方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、形状シミュレーション方法に係わり、例えば半導体素子等をリソグラフィ工程で製造する際の、現像液によるレジストの溶解による形状変化等を予測する場合に適した形状シミュレーション方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
半導体素子等をリソグラフィ工程で製造する場合には、レジスト（感光性樹脂層）が塗布されたウェハ上にマスクパターンの像を投影した後、そのウェハを現像することにより、例えばポジレジストであれば露光量の多い部分のレジストが現像液により溶解し、レジストパターンが形成される。現像後のレジストパターンは、マスクパターンの像を投影する際のウェハのデフォーカス状態、露光条件（開口絞り，コヒーレンスファクタ，光源形状，瞳フィルタ等）、現像時間、さらにはマスクパターンそのものによって種々に変化する。従って、所定の焦点深度を持つように所望パターンを仕上げるための投影光学系の条件及びマスクパターンを実験で求めるには、膨大な数の露光実験を行わなければならない。
【０００３】
そこで、コンピュータによるシミュレーションによって、現像後のレジスト形状を予め最良の状態となる条件を求めておくことが望ましい。このように現像後のレジスト形状を予測する手法は、レジスト形状シミュレーションとして知られている。
【０００４】
従来のレジスト形状シミュレーションの方法としては、種々の方法が提案されている。以下に、これらを簡単に説明する。
２次元的な形状のみを扱う場合にはレジストの形状を微小線分の連なりで、３次元的な形状を扱う場合にはレジストの形状を微小面素の連なりで表現し、微小線素又は微小面素の移動する方向は表面に垂直な方向とするストリング・モデルがある。これに対して、移動方向を光線の微分方程式と同様な微分方程式を解いて求める手法は、レイ・トレーシング・モデルと呼ばれる。

【０００５】
物体を微小なセルの集合体に分割し、物体表面におけるセルの消失又は付着により形状変化を表現する手法であるセル・モデルも知られている。また、特開平６－１７６９９７号公報に示されているように、物体形状を分布関数の等値面で表し、形状の時間変化を拡散方程式に類似した微分方程式を解くことによって求める分布関数法もある。
【０００６】
さらに、簡易的な方法ではあるが現像のプロセスをレジスト表面の最も溶解速度の速い点を始点として、基板に垂直な方向に現像が進み、ある距離進んだ点から基板に水平な方向に現像が進み、現像方向を切り替える点を基板に垂直な全ての点で起こるとして、終点の集合を現像後の形状とする簡易現像モデルも知られている。
【０００７】
しかしながら、この種の方法にあっては次のように問題があった。即ち、ストリング・モデルやレイ・トレーシング・モデルを用いると、微小線分又は微小面素がループを形成してしまう場合があり、ループの削除を行う必要がある。ところが、３次元に拡張されたモデルでは、膨大な数の微小面素に対してループの有無を調べなければならず、極めて複雑なアルゴリズムとなる上に、計算コストも大幅に増大するという不都合があった。
【０００８】
また、セル・モデルでは、セルの辺に対して斜め方向の形状をうまく表現できない。さらに、表面に露出したセルの面の数に応じて移動速度を補正する必要があるが、この際に物理的意味が明確なモデルを作ることは困難であるため、信頼性に欠けるという不都合があった。
【０００９】
また、分布関数法では、物体表面の移動を熱伝導問題等で現れる拡散方程式を修正することによって、実際の物理現象と対応しているため精度良く計算できるが、計算コストが極めて大きく、投影光学系の条件やマスクパターンの最適化には不都合であった。
【００１０】
また、簡易現像モデルでは、物体表面の移動の始点と移動方向の限定があり計算コストは他のモデルに比べて格段に小さいが、限定が強すぎるために精度が悪い場合があるという不都合があった。
【００１１】
【発明が解決しようとする課題】
このように従来、レジストの形状シミュレーション方法としては各種の方式が提唱されているが、いずれの方式も計算コストと精度の両方を満足することはできなかった。例えば、分布関数法は精度的には最も優れるものの計算コストが大きく、簡易現像モデルは計算コストの点では最も優れているものの精度が悪い問題があった。
【００１２】
本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、少ない計算時間で２次元及び３次元の被加工膜の形状をある程度正確に予測できる形状シミュレーション方法を提供することを目的とする。
【００１３】
【課題を解決するための手段】
上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。
即ち本発明は、基板上の被加工膜の表面を異方性エッチングを用いて処理したその処理後の形状を予測する形状シミュレーション方法において、加工前の前記被加工膜表面上の複数の点を代表点とし、これらの代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に垂直な方向に移動させる第１工程と、前記代表点の移動方向を前記基板に垂直な方向から前記基板に水平な方向に切り替える第２工程と、前記代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に水平な方向に移動させる第３工程と、任意の加工時間において第１工程から第３工程を経て移動した該代表点の軌跡を経路とし、前記全ての経路について、基板の平行方向に進んだ点の集合について包絡線又は包絡面をとり、前記包絡線又は包絡面を前記加工後

の形状とする第４工程とを含むことを特徴とする。

本発明に係る他の形状シミュレーション方法は、基板上に形成され所望パターンを含む感光性樹脂層を異方性エッチングしたその処理後の形状を予測する形状シミュレーション方法において、前記現像処理前の前記感光性樹脂層表面上の複数の点を代表点とし、これらの代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に垂直な方向に移動させる第１工程と、前記代表点の移動方向を前記基板に垂直な方向から前記基板に水平な方向で、かつ前記基板に水平な面内に隣合う方向の成す角が等しい８方向以上に切り替える第２工程と、前記代表点をそれぞれの加工速度に応じて前記基板に水平な方向に移動させる第３工程と、任意の加工時間において第１工程から第３工程を経て移動した該代表点の軌跡を経路とし、前記全ての経路について、基板の平行方向に進んだ点の集合について包絡線又は包絡面をとり、前記包絡線又は包絡面を現像処理後の形状とする第４工程とを含むことを特徴とする。

【００１４】

ここで、本発明の望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

(1) 基板に水平な方向を、前記基板に水平な面内に成す角が互いに１８０°である２方向にとること。

(2) 基板に水平な方向を、基板に水平な面内に隣合う方向の成す角が等しい方向に８方向以上とること。

(3) 被加工膜として所望パターンに露光された感光性樹脂層を用い、この感光性樹脂層を加工する処理として現像処理を行うこと。

(4) 被加工膜はその表面に所望パターンのエッチングマスクが形成され、被加工膜を加工する処理として、ウェットエッチングを行うこと。

(5) 前記複数の代表点は、所望の精度を保つような幅を有するメッシュに前記被加工膜の表面を分割し、そのメッシュの格子点を前記複数の代表点とするように設定されること。

(6) 前記メッシュの幅は、前記加工後の形状の最小形状の１／１０以下であること。

(7) 前記代表点は、前記被加工膜の加工方法として、ウェットエッチングを対象として、移動すること。

【００１５】

【作用】

本発明によれば、現像等による加工の始点を被加工膜表面の複数の点にとり、加工の進むべき方向を基板に垂直な方向と水平な方向に限定し、複数点の軌跡を経路とし全ての経路についての包絡線又は包絡面をとることにより、被加工膜の加工後の形状を正確に予測することができる。そしてこの場合、加工の進むべき方向を基板に垂直な方向と水平な方向に限定しているので、非常に少ない計算時間で済ませることができる。より具体的には、従来の簡易現像モデルと差ほど変わらない計算コストで、従来の分布関数法と同等若しくはそれに近い精度を得ることが可能となる。

【００１６】

【実施例】

以下、本発明の詳細を図示の実施例によって説明する。

（実施例１）

図１から図４は、本発明の第１の実施例に係わるレジストの形状シミュレーション方法を説明するための図である。図１は、レジストを露光・現像する際における空間像及び現像方向を示す模式図である。１１は空間像、１２は垂直方向の現像方向、１３，１４は水平方向の現像方向を示している。

【００１７】

まず、マスクパターンの投影光学系透過後の空間像１１を計算する。ここで、膜厚方向の光強度分布変化はなく、ｚ方向での光強度分布は空間像１１に等しいとする。

【００１８】

次いで、図２に示すレジストの溶解特性を表わす溶解速度曲線に従って、レジスト中の溶解速度分布Ｒ（ｘ，ｚ）を求める。現像前のレジストの表面各点（$x = x_0$，ｚ＝０）か

ら現像を膜厚方向（ｚ方向）１２に進める。このとき、膜厚方向にｚだけ現像を進めるのに要する時間t_1は次式で与えられる。

【００１９】

【数１】

$$t_1 = \int_0^z dz' / R(x_0, z')$$

【００２０】

膜厚方向にｚだけ現像を進めた後、基板に水平な方向に現像を進める。このとき、図１の１３及び１４のように互いに成す角１８０°の方向の２方向に現像を進める。このときｘ＝x_0からｘ＝ｘ’まで現像が進むのに要する時間t_2は次式で与えられる。

【００２１】

【数２】

$$t_2 = \int_{x0}^{x'} dx / R(x, z)$$

【００２２】

次に、$t_1 + t_2$を一定（現像時間）とするような経路を全ての始点、現像方向を切り替える点をｚ＝０からｚ＝Ｔの全ての点にとったものに対して求める。全ての経路に対する包絡線が現像後のレジスト形状を示している。

【００２３】

小パターン（露光波長３６５ｎｍ、開口数０．５、コヒーレンスファクタ０．６、輪帯遮蔽率０．６７、０．３５μｍＬ／Ｓ）に対する現像時間を１０秒刻みで変えた結果を、図３（ｂ）に破線で示す。比較のために分布関数Ｃ（ｘ，ｙ，ｚ，ｔ）を用いて、次式を解き等値面を求めた（分布関数モデル）結果を、図３（ｂ）に実線で示す。但し、現像時間を１０秒刻みで変えた結果を示す。

【００２４】

【数３】

$$\partial C(x, y, z, t) / \partial t + R(x, y, z) |\nabla C(x, y, z, t)| = 0$$

【００２５】

また、比較のために、現像の始点を溶解速度の最も大きい点に限定した場合（簡易現像モデル）の現像時間を１０秒刻みで変えた結果を図３（ａ）に破線で示し、分布関数モデルでの結果を図３（ａ）に実線で示す。

【００２６】

また、大パターン（露光波長３６５ｎｍ、開口数０．５、コヒーレンスファクタ０．６、輪帯遮蔽率０．６７、１．０μｍＬ／Ｓ）での現像時間を５秒刻みで変えた結果を、図４に示す。図４（ａ）（ｂ）で実線は分布関数モデルでの結果で、図４（ａ）の破線は簡易現像モデルでの結果で、図４（ｂ）の破線は本実施例方法での結果である。

【００２７】

現像時間の小さい場合や大パターンの場合には、簡易現像モデルは分布関数モデルからのずれが大きい。これに対して、本実施例方法による結果は分布関数モデルと良く合う。特に、基板上での仕上がり寸法の誤差は１％以下でかなり良い一致を示している。

【００２８】
また、ｚ＝Ｔの場合のみを計算することによって、レジストの解像寸法だけを算出することも可能である。また、本実施例では、光強度分布は膜厚方向で一定であると仮定しているが本発明を限定するものではなく、デフォーカス、下地からの反射等によるレジスト膜方向の光強度分布を計算しても、本発明を逸脱するものではない。
【００２９】
このように本実施例方法によれば、非常に短時間で現像後のレジスト形状を正確に計算することができる。即ち、従来の簡易現像モデルと差ほど変わらない計算コストで、従来の分布関数法と同等若しくはそれに近い精度を得ることができる。このため、所定の焦点深度を持つように所望パターンを仕上げるための露光条件及びマスクパターンを高速に求めることが可能となる。
（実施例２）
次に、図５から図７を用いて本発明の第２の実施例を説明する。本実施例は、図５（ａ）（ｂ）に示すような２次元的なマスクパターンによるレジスト形状を算出する方法に関する。
【００３０】
図５（ａ）（ｂ）のマスクパターンによる２次元的な空間像を計算する。ここで、図５（ａ）では、露光波長３６５ｎｍ、開口数０．６３、コヒーレンスファクタ０．５４、輪帯遮蔽率０．０の繰り返しパターンとする。図５（ｂ）では、露光波長３６５ｎｍ、開口数０．５７、コヒーレンスファクタ０．６、輪帯遮蔽率０．０の繰り返しパターンとする。
【００３１】
第１の実施例と同様に、レジストの膜厚方向の光強度分布は無視し、膜厚方向で光強度分布は一定であるとする。前記図２の溶解速度特性から、溶解速度分布を求める。現像前のレジストの表面の全ての点から現像を開始し、第１の実施例と同様に始めは膜厚方向、次いで基板に水平な方向に現像を進め、包絡線を求める。
【００３２】
基板に水平な方向は、無限に多く存在するが、図６に示すように放射状に等角に４方向（ａ）、８方向（ｂ）、１６方向（ｃ）にとる。それらのｚ＝Ｔの場合の結果と分布関数による結果をそれぞれ重ねて、図７に示す。
【００３３】
図７中の破線が本実施例による結果であり、外側の実線が分布関数モデルによる結果である。図７（ａ）は４方向、（ｂ）は８方向、（ｃ）は１６方向であり、７ａＡ，７ｂＡ，７ｃＡはマスクパターンＡによるボトムでのレジストの界面、７ａＢ，７ｂＢ，７ｃＢはマスクパターンＢによるボトムでのレジストの界面である。
【００３４】
図７（ａ）では、分布関数モデルによる結果と本実施例による結果とが僅かにずれている。しかし、図７（ｂ）（ｃ）では、分布関数モデルによる結果と本実施例による結果が一致しており、破線及び実線が重なっている。つまり、水平方向を８方向以上とることによって、分布関数による結果と非常に良く一致するのが分かる。
【００３５】
また、ｚ＝Ｔの場合のみを計算することによって、レジストの解像寸法だけを算出することも可能である。また、本実施例では、光強度分布は膜厚方向で一定であると仮定しているが本発明を限定するものではなく、デフォーカス、下地からの反射等によるレジスト膜方向の光強度分布を計算しても、本発明を逸脱するものではない。
（実施例３）
次に、図８及び図９を用いて、本発明の第３の実施例方法を説明する。ここでは、図８に示すように膜厚方向の溶解速度分布が大きいレジストでの計算方法を述べる。
【００３６】
ボトムの仕上がり寸法のみを計算する場合には、基坂まで到達しない場合は抜き寸法は零と考えればよく、計算では基坂に到達する場合だけを考える。基坂まで到達するのに必要

な時間t_Tは、

【００３７】

【数４】

$$t_T = \int_0^T dz / R(x, z)$$

であるから、溶解速度分布Ｒ（ｘ，ｚ）を膜厚方向で平均化したもの

【００３８】

【数５】

$$Rave(x) = T / t_T$$

で置き換えることができる。また、水平方向に進む現像ではボトム付近での溶解速度Ｒbottom（ｘ）を用いる。

【００３９】

図９に、０．２５μｍＬ／Ｓパターンの露光結果（露光波長３６５ｎｍ、開口数０．５、コヒーレンスファクタ０．５、輪帯遮蔽率０．０）と計算結果を示す。この図から、実験結果とシミュレーション結果（露光量３８ｍＪ）とが非常に良く一致しているのが分かる。

【００４０】

なお、本発明は上述した各実施例に限定されるものではない。実施例では光リソグラフィにおけるレジストの溶解現象を示したが、本発明は光リソグラフィに限るものではなく、電子線リソグラフィ又はＸ線リソグラフィ等での、照射強度と溶解速度との関係の知られているレジストの溶解現象にも適用できる。

【００４１】

また、被加工膜は必ずしもレジストに限るものではなく、ウェットエッチングにより加工される薄膜であってもよい。この場合、被加工膜のマスクパターン開口に露出した部分のエッチング速度が、面内方向の各位置で分かっているものであればよい。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

【００４２】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明によれば、加工の始点を被加工膜表面の複数の点にとり、加工の進むべき方向を基板に垂直な方向と水平な方向に限定し、複数点の軌跡を経路とし全ての経路についての包絡線をとることにより、少ない計算時間で２次元及び３次元の被加工膜の形状をある程度正確に予測できる形状シミュレーション方法を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図１】第１の実施例を説明するためのもので、レジストを露光・現像する際における空間像と現像方向を示す模式図。

【図２】第１の実施例で用いるレジストの溶解速度曲線を示す図。

【図３】現像後時間に対する包絡線パターンを実施例と従来例で比較して示す図。

【図４】現像後時間に対する包絡線パターンを実施例と従来例で比較して示す図。

【図５】第２の実施例で用いたマスクパターン形状を示す図。

【図６】第２の実施例において選択した基板に水平な方向を示す図。

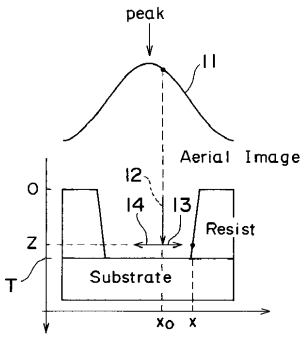
【図７】第２の実施例における包絡線パターンを示す図。

【図８】第３の実施例で用いたレジストの溶解速度曲線を示す図。

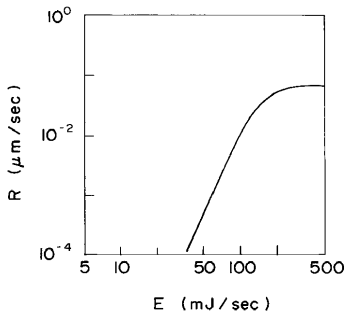
【図９】第３の実施例におけるパターン露光結果と計算結果を示す図。

【符号の説明】
１１…空間像
１２，１３，１４…現像方向
７aA，７bA，７cA…マスクパターンＡによるボトムでのレジストの界面
７aB，７bB，７cB…マスクパターンＢによるボトムでのレジストの界面

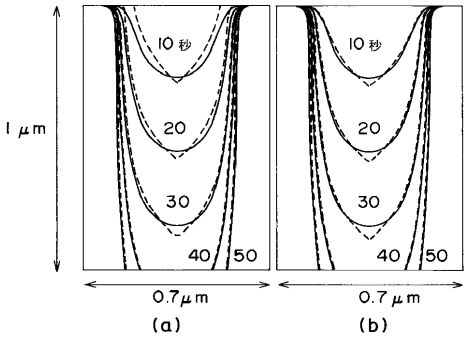
【図１】



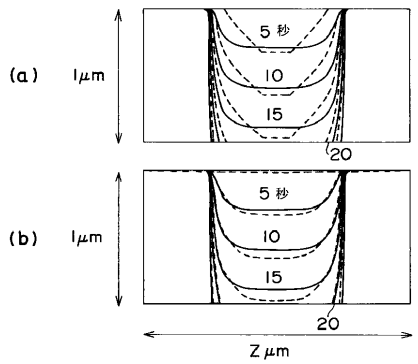
【図２】



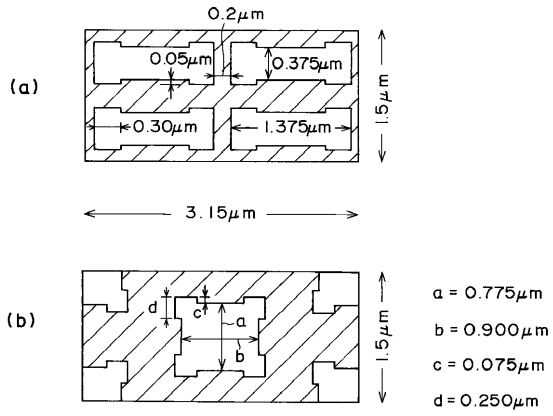
【図３】



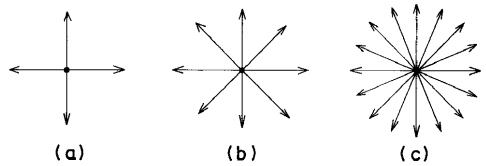
【図４】



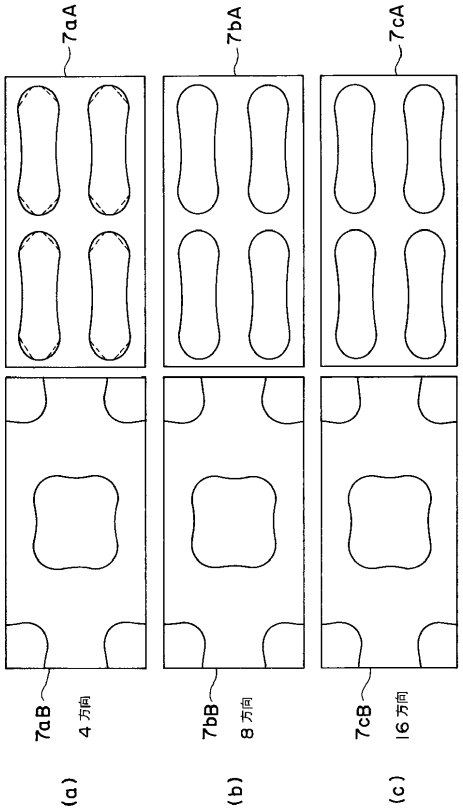
【図５】


(a)
0.2μm
0.05μm
0.375μm
0.30μm
1.375μm
1.5μm
3.15μm
(b)
d
c
a
b
1.5μm
a = 0.775μm
b = 0.900μm
c = 0.075μm
d = 0.250μm

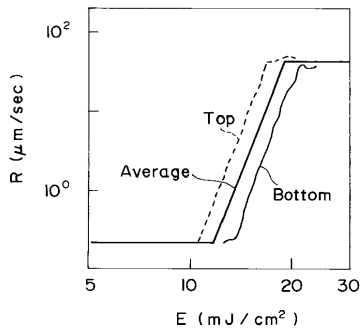
【図６】


(a)
(b)
(c)

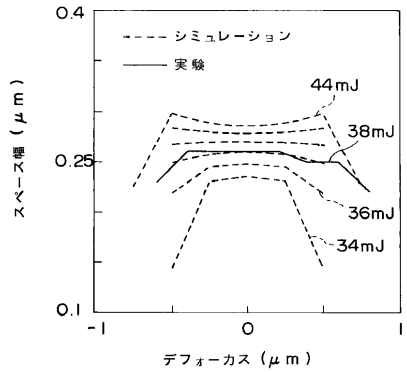
【図７】


7aA
7bA
7cA
7aB
4 方向
7bB
8 方向
7cB
16 方向
(a)
(b)
(c)

【図８】


10²
10⁰
R (μm/sec)
Top
Average
Bottom
5
10
20
30
E (mJ/cm²)

【図９】


0.4
0.25
0.1
スペース幅 (μm)
シミュレーション
実験
44mJ
38mJ
36mJ
34mJ
-1
0
1
デフォーカス (μm)

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０６－０４５４２４（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－０４４３１２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－１５０２１８（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１１２２９３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 21/027
G01B 11/24
G03F 7/26