

ホトリソグラフィにおける実測溶解速度を用いた
デフォーカスシミュレーションの検討

正員 南 洋一[†] 正員 関口 淳[†]

Defocus Simulation Using Observed Dissolution Rate in
Photolithography

Youichi MINAMI[†] and Atsushi SEKIGUCHI[†], Members

あらまし 本論文では、ホトレジストの溶解速度の実測値を用いたデフォーカス状態のホトレジストの形状シミュレーションについて報告する。我々は、デフォーカス時のホトレジスト中の光強度分布のモデルとして、Mackらのモデルを採用し、一方、溶解速度については、溶解によるホトレジストの膜厚の変化に伴う干渉光強度の変化から実測し、それらを組み合わせて、Mack, Bernardのモデルが妥当であるかどうかをGrindleの手法を改良して検証した。

本シミュレーション方法の妥当性を検証するための実験として、i線(365 nm)用高解像性ポジ形レジストを用いて、NA0.50i線ステップでデフォーカス量を変えてパターンングを行って、SEM観察と共にこれに対するシミュレーションを行い、形状の比較を行った。また、合わせてレジスト形状が最良となる場合(いわゆるベストフォーカスの状態)、レジスト膜中のどの位置に結像点が存在するのか検討した。その結果、SEM観察結果とシミュレーションによる形状との一致がみられ、プラスデフォーカス時とマイナスデフォーカス時の形状の違いを計算で再現できた。このことは、Mackらのデフォーカスモデルに妥当性があることを示すものと考えられる。

キーワード 焦点深度, 溶解速度, 形状シミュレーション, フォーカスマージン, ホトレジスト

1. ま え が き

最近、半導体の集積回路の設計寸法は、ハーフミクロンからサブハーフミクロンの領域へと微細化してきた。各半導体デバイスメーカーでは、ハーフミクロンプロセスの開発を終え、次のサブハーフミクロンプロセスの開発へ拍車をかけている模様である。それらの状況の中で、レジストの形状シミュレーション技術が重要になってきた。レジスト形状シミュレーションについては、Dillらが発表したモデル⁽¹⁾(以下Dillモデルと記述)を基本としてさまざまな方法が示されている。それらの方法を大別すると、ホトレジスト内の光強度分布の計算方法に関する改良で、他のひとつは、現像に関して実測値を用いる方法である。まず、前者であるが、Dillらの方法は、ホトレジスト表面での光強度だ

けを計算し、ホトレジスト膜中でのデフォーカスの効果を考慮していないため、焦点ずれによるベストフォーカス位置の変動によるホトレジスト形状の変化を十分に表現できない。そこで、Yeung, Mack, Bernerd, Henken⁽²⁾⁻⁽⁵⁾らは、ホトレジスト膜内のデフォーカス効果を数値計算で取り込む(Bulk Image Model)ことにより、現実に近いシミュレーションを可能にした。

他方、現像に関する実測値の利用としては、Grindleらが提案した以下のような手法がある。すなわち、Dillモデルは、ホトレジスト表面上の光強度の計算に始まり、レジストの感光、現像過程すべてを数値計算によってシミュレートするのに対して、Grindleらは、光強度分布については、数値計算で求めるが、現像シミュレーションは、溶解速度の実測値に基づいて行う方法を提案している⁽⁶⁾。

この方法の利点は、Dillらのモデルに不可欠の感光パラメータ A, B, C や現象パラメータ E_1, E_2, E_3 を必要としないこと、また、Post Exposure Bake (P. E.

[†]ゼネラルシグナルジャパン, 戸田市
GENERAL SIGNAL Japan Corp., Toda-shi, 335 Japan

B.) の効果⁽⁷⁾ や表面難溶化効果⁽⁸⁾ など適切なモデルがまだ与えられていない現象に対しても実測溶解速度を通してシミュレーションに取り込めることである。

これら二つの方法の融合、すなわちホトレジスト膜内の光強度分布をデフォーカス効果を考慮して計算するモデルと実測溶解速度により現象シミュレーションを行う方法を組み合わせれば更に現実即したシミュレーションが可能になると期待される。これまでのところ、それに関する報告は無い。

本論文では、我々が開発したホトレジスト溶解速度測定装置と Mack らのモデル⁽³⁾ による光強度分布計算プログラムを組み合わせ、シミュレータ LEAP SIMU (Lithography process Evaluation and Analysis Program by SIMulation) を構成し、シミュレーション結果と実測結果を比較したので報告する。併せて、レジスト形状が最良になる場合 (いわゆるベストフォーカス状態)、レジスト膜中のどの位置に結像点が存在するかを検討する。

2. 膜中光強度分布の計算

2.1 レジスト表面の光強度分布

図1にレジストに投影される光強度分布の模式図を示す。レティクル上のCrパターンのスリットを透過した光は、Crパターンにより回折が起こる。回折した光は、レジスト膜上で結像するが、レンズのNAの制約でレンズを通過できず、結像しない回折光があり、レンズ通過後の光強度分布は、理想強度分布に比べて劣

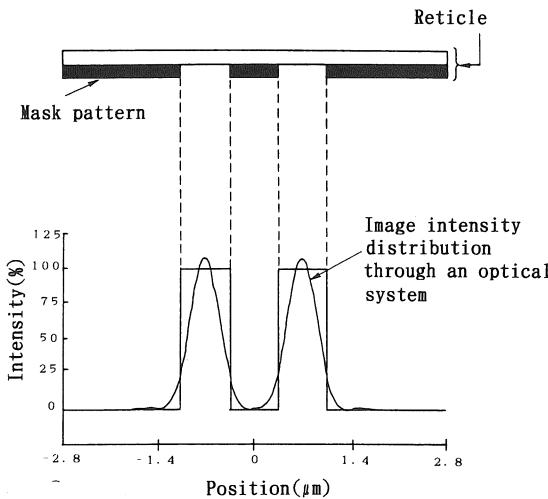


図1 レジスト表面における光強度分布図
Fig. 1 Image intensity distribution on the resist surface.

化する。このレンズ透過後の光強度分布はホプキンスの部分コヒーレント結像理論⁽⁹⁾ により求められる。今、投影露光系で、レンズの収差がない理想レンズ系を考えた場合、投影面 $x-y$ 平面上での相対的光強度 $I(x, y)$ は式(1)で求められる。

$$I(x, y) = \iiint B_0(x_1, y_1, x_2, y_2) K(x_1, y_1, x', y') \times K^*(x_1, y_1, x', y') F(x_1, y_1) \times F^*(x_2, y_2) dx_1 dy_1 dx_2 dy_2 \quad (1)$$

但し、

$$B_0(x_1, y_1, x_2, y_2) = 2J_1(V_r) / V_r$$

$$V_r = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) NA \sigma \{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2\}^{1/2}$$

$$K(x_1, y_1, x', y') = NA \left(\frac{2\pi}{\lambda^2}\right) e^{i\pi/4} \times \int_0^i J_0(Up) e^{i\pi e^2/2} p dp$$

$$u = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) NA \{(x_1 - x')^2 + (y_1 - y')^2\}^{1/2}$$

$$V = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) NA^2 Z$$

ここで λ : 光の波長

NA : 投影レンズの開口数

σ : コヒーレントファクタ

Z : デフォーカス量

$B_0(x_1, y_1, x_2, y_2)$: Transmission Cross Coefficients

ここで、 λ は光の波長、 NA は投影レンズの開口数、 σ は照明系のコヒーレントファクタ、 Z はデフォーカス量、 $B_0(x_1, y_1, x_2, y_2)$ は光学系の周波数応答を表す相互透過係数である。

2.2 レジスト内部の光強度分布

デフォーカス状態における膜内光強度分布の模式図を図2に示す。ここで、ステッパで露光を行う場合の機械的な基準位置を基準面と呼ぶことにする。具体的には、レジスト膜の深さの方向の中心点を基準面とする。

本論文では、基準面でのデフォーカス量が $3.0 \mu\text{m}$ の場合にベストフォーカスの状態にあるものと仮定する。これを基準に、投影レンズとウェーハの相対的位置が変化して、その間隔がベストフォーカスの状態より、例えば $1.0 \mu\text{m}$ 広がった場合をマイナス $1.0 \mu\text{m}$ デフォーカスの状態、この逆をプラス $1.0 \mu\text{m}$ デフォーカスの状態にあると言う。プラスデフォーカスでは、基準面が

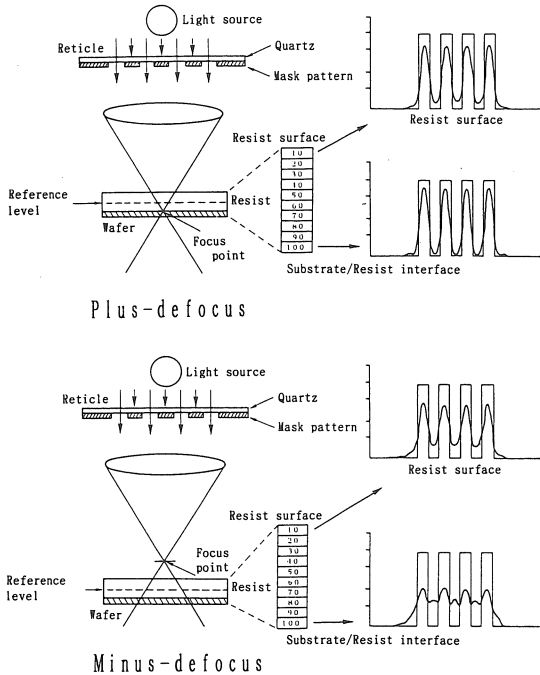


図2 プラスデフォーカスとマイナスデフォーカス時の膜中光強度分布の関係
Fig. 2 Schematic illustration of image intensity distribution in resist film.

結像点とレンズの間にあり、マイナスデフォーカスでは基準面が結像点とレンズの外側にあることになる。プラスデフォーカスの場合、レジスト表面は、レジスト/基板界面と比較すると結像点から遠く、従ってレジスト/基板界面よりレジスト表面側で光強度の劣化が大きくなる。これに対してマイナスデフォーカスの場合、この逆となる。このような膜内の光強度の分布を計算するために、MackらのBulk Image Model⁽⁹⁾を用いる。まず、レジスト膜を100等分し、分割した各層の界面に表面から基板に向かって0から100の番号を付ける(図3)。従って、基準面の境界番号は50となる。境界番号におけるデフォーカス量は、式(2)より求められる。

$$Z_m = Z_0 \{ (50 - m) \times T_{ri} / 100n \} \quad (2)$$

但し、 $0 \leq m < 100$

ここで、 Z_m は境界番号 m におけるデフォーカス量、 Z_0 は基準面におけるデフォーカス量(ステップにおけるデフォーカス量の設定値)、 T_{ri} はレジスト初期膜厚、 n はレジスト屈折率である。式(2)により求められた各層界面におけるデフォーカス量を考慮したレジスト膜中の光強度分布を求めることができる。以上により深さ方

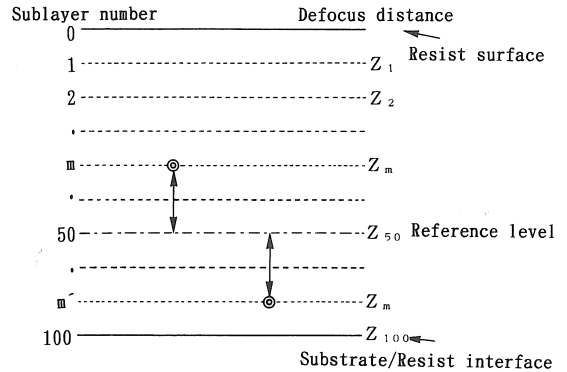


図3 膜中を100等分したときの膜番号とデフォーカス量の関係
Fig. 3 Relation between defocus distance and sublayer number of resist film composed of 100 sublayers.

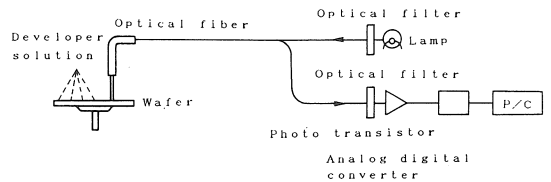


図4 溶解速度測定装置の模式図
Fig. 4 Schematic diagram of development rate monitor.

向 D の光強度分布が求められる。投影面方向 X (水平方向)については、128に分割して光強度を計算する。このようにして、位置 (X_m, D_n) 、 $1 \leq m \leq 128$ 、 $1 \leq n \leq 100$ における規格化された光強度分布が求まるので、これにマスクが無い場合の照射エネルギー $E(X_m, D_n)$ が求められ、膜中エネルギー分布が得られる。

3. レジスト膜深さ方向の溶解速度分布の測定

レジストの溶解速度は現象中のレジストに単色光を当てることにより測定する。すなわち、単色光が現象中のレジストに当たるとレジストの表面からの反射光と基板面からの反射光とが干渉し、レジストの厚みが変化するにつれ、その反射強度が時間に対して正弦波状の曲線として観測される。実験に用いた装置の概要を図4に示す。ハロゲンランプからの光をカットフィルタを通し、UV光をカットする。これを光ファイバに導き、現像中のウェーハに照射する。次いで反射した光を受光ファイバに導き、740 nm 狭帯域フィルタに通す。ここで、740 nmを用いたのは、レジストの吸収および溶解生成物の吸収の影響を少なくするためであ

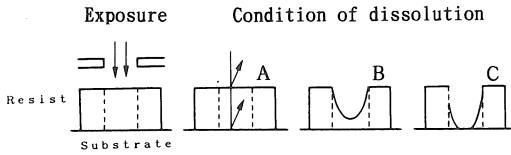
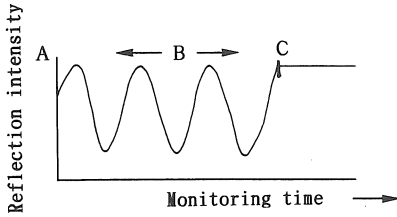


図5 反射強度のモデルとレジスト膜の溶解状況
Fig. 5 Changes in intensity of light reflected from a resist film and a substrate during development.

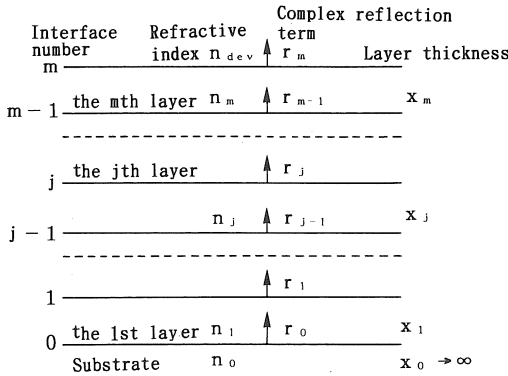


図6 薄膜の積層モデルと反射係数の関係
Fig. 6 Diagram of substrate and overlaying layers.

る。狭帯域フィルタを通過した光はホトランジスタで電気信号に変換し、A-Dコンバータでデジタル化してPCで解析する。現像の進行と得られた干渉波の関係を図5に示す。

レジスト膜深さ方向における溶解速度分布の計算は、実測で求めた反射強度とモニタ時間との関係とシミュレーションにより求めた反射強度とレジスト膜厚との関係を比較することにより行う⁽¹⁰⁾。構成されている基板のモデルとそのときのパラメータを図6に示す。基板の屈折率を n_0 、その膜厚は基板上に存在する薄膜と比べて圧倒的に厚いものとする。この基板上に第1層、 \dots 、第 j 層、 \dots 、そして最上層の第 m 層が存在する。このときの各膜の屈折率をそれぞれ $n_1, \dots, n_j, \dots, n_m$ 、各膜の膜厚を $x_1, \dots, x_j, \dots, x_m$ とする。ここでは、最上層の第 m 層はレジスト膜、その上は現像液となる。現

像液の屈折率は n_{dev} とする。この場合、平たんな境界をもつ複数の材質から成る多層膜に垂直に一樣な単色光が入射した場合について考える。Dillらによれば、第 j 層に対して反射係数は、

$$r_j = \frac{\exp(-2i\Phi_{j-1})(F_{j-1} - r_{j-1}) - F_{j-1}(1 - F_{j-1}r_{j-1})}{F_{j-1}\exp(-2i\Phi_{j-1})(F_{j-1} - r_{j-1}) - (1 - F_{j-1}r_{j-1})} \quad (3)$$

ここで

$$F_j = \frac{n_{dev} - n_{j+1}}{n_{dev} + n_{j+1}} : \text{Fresnel 係数}$$

$$\Phi_j = \frac{2\pi}{\lambda} n_{j+1} X_{j+1} : \text{位相因子}$$

λ は入射光(モニタ光)の波長を示す。 n_j は第 j 層の屈折率で、一般的に光の吸収を扱うため複素数となっている。この式を次の境界条件の下で解く。境界条件は、基板表面で、

$$r_0 = \frac{n_{dev} - n_0}{n_{dev} + n_0} \quad (4)$$

$$t_0 = \frac{2(n_{dev} R_e(n_0))^{1/2}}{n_{dev} + n_0} \quad (5)$$

であり、最終的には系の表面での反射強度は、

$$R = |r_m|^2 \quad (6)$$

と求められる。

このようにして求めたレジスト表面の反射強度とレジスト膜厚との関係と、実測で得た反射強度とモニタ時間の関係から、反射強度を消去し、レジスト膜深さ方向の溶解速度分布を精密に求める。図7にその手順を示す。すなわち、計算で求めた反射強度の結果のうち、あるフリンジP-Q間に着目すると、反射強度 R を ΔR に分割して反射強度 R と膜厚 T の組合せの (R, T) テーブルが得られる。一方、実測で得た反射強度と時間のデータからは、シミュレーションで得た反射強度に対応するフリンジP-Q間を規格化し、反射強度 R を ΔR に分割することにより、反射強度 R と時刻 t の組合せの (R, t) テーブルが得られる。この二つのテーブルは、共通のパラメータとして反射強度 R をもつため、この R を消去することにより膜厚 T とそのときの時刻 t の (T, t) テーブルが得られる。以上により、レジスト溶解速度は式(7)により求められる。

$$V_{DEV} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T_n - T_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (7)$$

そして、この方法は薄膜中の光強度の計算を式(3)~(6)に従って行っているため多層の薄膜を含む任意の基板について適応できる。また、何種類かの露光量に

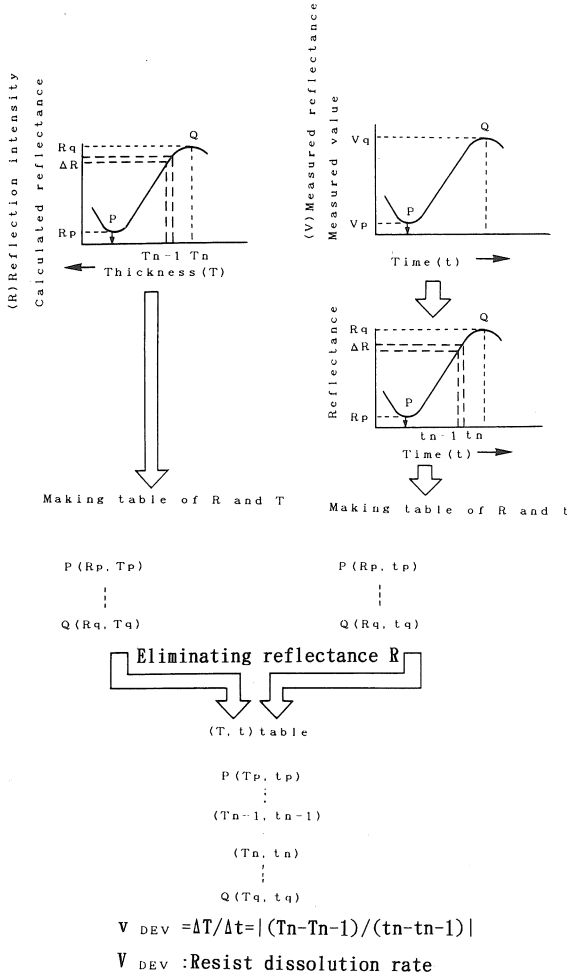


図7 溶解速度の算出方法

Fig. 7 Procedure for calculation of dissolution rate.

対して膜厚 T と溶解速度 V_{DEV} をプロットすると露光量に対するレジスト膜深さ方向溶解速度分布が作成できる (図 8 (b)).

4. レジスト膜中溶解速度分布の計算

先に示したレジスト膜中光強度分布 $E(X_m, D_n)$ は、空間上での光強度分布であり、膜中デフォーカスの効果のみ考慮している (基板からの光の反射によるレジスト膜内多重干渉効果や、レジストの光吸収に起因するバルク効果などは考慮されていない)。現実には、入射光強度は、レジスト膜内でこれらの効果を受けて変化するはずである。そこで、この効果を Grindle らの実測溶解速度を用いる手法により取り入れることにする。

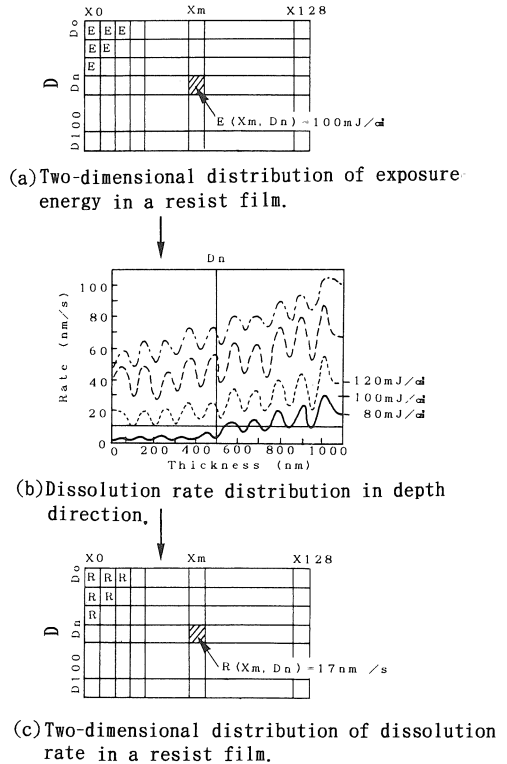


図8 レジスト膜中溶解速度分布の作成方法

Fig. 8 Procedure for estimating two-dimensional dissolution rate distribution in a resist film.

その手法について図 8 に詳しく述べる。今、膜中光強度分布の投影面位置 X_m 、深さ D_n における光強度 $E(X_m, D_n)$ が例えば 100 mJ/cm^2 であるとする。この光強度 100 mJ/cm^2 は、ホトレジストの光吸収効果を考慮していないので光学系により決定される光強度のみを表している。次にレジスト膜内での光吸収効果や多重干渉効果を考慮した位置 (X_m, D_n) におけるレジスト溶解速度を求める必要がある。なぜならば、これらの効果すべてが実測の溶解速度分布の中に取り込まれることになるからである。この効果は実測データから求められる。これは以下のような処理を行うことによって求められる。すなわち、図 8 (b) は、実測されたレジスト膜中溶解速度分布である。図の右の照射エネルギーは、レジスト表面での値である。レジスト表面の光強度はレジストの光吸収を含まないのでこの光強度に対応する深さ D_n におけるレジスト溶解速度を求める。図 8 (b) のように 100 mJ/cm^2 に直接対応するデータは無いが、 120 mJ/cm^2 と 80 mJ/cm^2 に関するデータが存在するので内挿により 100 mJ/cm^2 に対応する溶解速度

$V(X_m, D_n)$ を決定する。以上の操作をすべてのセルについて行うとレジスト膜中溶解速度分布が作成できる。以上の処理により、位置 (X_m, D_n) における溶解速度が推定できたことになるが、この妥当性については、Mackらのモデルを表す式(8)を参照にすればより明確になる。

Mackらのモデルによれば光強度は、式(8)で示される。

$$I(x, d, z) = I_i(x, d) I_s(z) \quad (8)$$

$I_i(x, d)$ はデフォーカスを考慮したレジスト表面での光強度であり、 $I_s(z)$ は、光の多重干渉、吸収の項である。すなわち、ホトレジストが全く存在しない場合には、露光された光は減衰しないので深さ d における光強度 $I_i(x, d)$ で表されるが、実際にはホトレジストが存在し、種々の効果を受けるので深さ d における光強度は、 $I_i(x, d)$ のままで有り得ず $I_s(z)$ の分だけ変化することになる。本論文の手法では $E(X_m, D_n)$ が $I_i(x, d)$ に相当すると考えられる。

5. セルリムーバルモデルによる現像計算

レジスト膜中溶解速度分布とセルリムーバルモデル⁽¹¹⁾を用いて現像計算を行い、各セルを溶解除去するに要する時間を求める。セルリムーバルモデルは、各セルを現像によって順次除去しながら、現像をシミュレートするモデルである。本論文では、Dillらの方式に基づいて各セルの溶解に要する時間の計算を行った。すべてのセルを溶解速度分布 $V(X_m, D_n)$ からセルの溶解除去された時間分布 $t(X_m, D_n)$ に変換する。この分布から同じ溶解時間をもつセルを等高線で結ぶことにより、その時間におけるレジストの現像プロファイルが得られる。

6. 実験結果および結果の検討

6.1 形状の比較とプロセス特性の比較

実験条件を示す。ベア Si 基板上に i 線レジスト THMR-ip1800 (東京応化工業社製) を $1.16 \mu\text{m}$ 塗布した。このときのベーク条件はプリベーク 90°C , 90 秒, 露光後ベーク (P. E. B.) は 110°C , 90 秒とした。露光装置は NA0.50, 露光波長は 365 nm , 照明系コヒーレンスファクタ $\sigma = 0.50$, 波長 365 nm におけるレジストの屈折率は 1.64 とした。露光量はデフォーカス $0 \mu\text{m}$ において $0.5 \mu\text{m}$ ラインスペースパターンが 1 対 1 の寸法となる露光量 E_{op} とした。現像液は NMD-W (TMAH 2.38%) で、 23°C ディップ現像を行った。溶解速度の測定は 780 nm のモニタ波長を用い、このときのレジスト

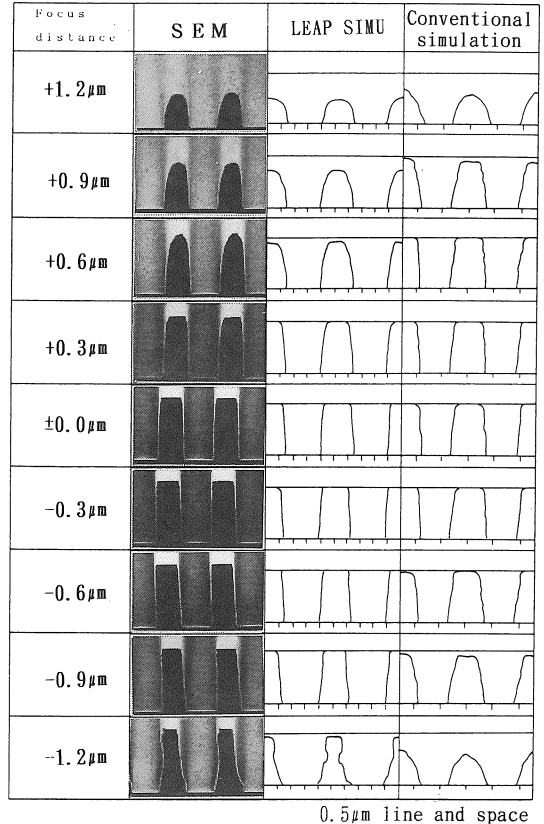
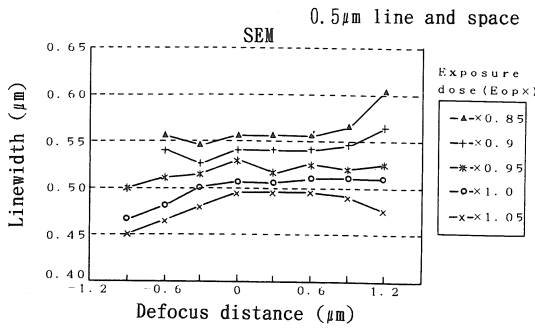


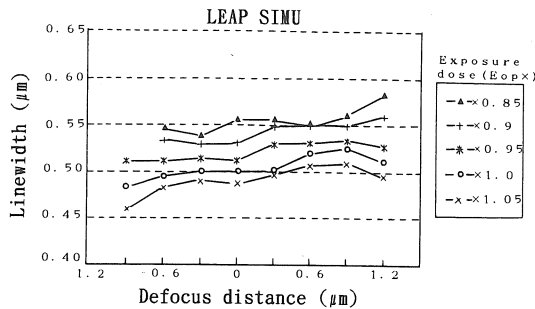
図9 SEM 観察結果と本シミュレーション結果および従来方法シミュレーション結果との比較
Fig. 9 Comparisons between actual resist profiles observed by SEM and simulated profiles.

屈折率は 1.68 とした。デフォーカス値を $+1.2 \mu\text{m}$ ~ $-1.2 \mu\text{m}$ と変化したときの SEM 観察および LEAP SIMU での計算結果、また従来方法によるシミュレーション結果を図 9 に示す。ここで従来方法によるシミュレーションとは、Grindle らの示す膜中のデフォーカスの効果を考慮せずに実測溶解速度を用いるシミュレーションのことである。

プラスデフォーカスでは、レジストパターンのトップに膜減りが生じ、丸みを帯びたプロファイルを呈する。 $+1.2 \mu\text{m}$ では 50% 程度の膜減りが認められる。LEAP SIMU による計算結果は、SEM 観察と一致する結果が得られた。マイナスデフォーカスではパターンのプロファイルは垂直形状を保ちながらデフォーカス量が大きくなるとパターン幅が細り、 $-1.2 \mu\text{m}$ で形状の崩れが認められる。同じように LEAP SIMU による計算結果でも同様の結果が得られた。このことから Grindle らのモデルに Mack らの示すバルクイメージモ



(a) Measured linewidth from SEM photograph.



(b) Calculated linewidth from LEAP SIMU.

図10 SEM測長結果とシミュレーション結果のデフォーカス特性の比較

Fig. 10 Relationship between resist linewidth and defocus distance.

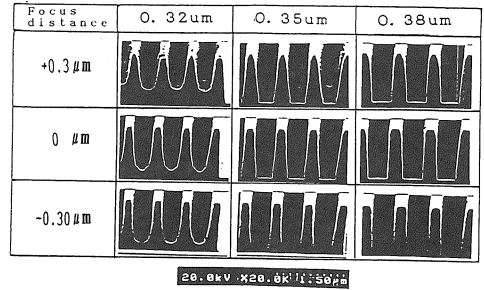
デルを融合させることにより、より現実に近いシミュレーション結果が得られることがわかった。

図10に現像後の仕上り寸法とデフォーカス量を露光量を変えてプロットした。デフォーカス量を変えても寸法変化の少ない露光量をピボタルポイントと言うが、SEM観察結果では $E_{op} \times 0.95$ であり、LEAP SIMUで得られた結果と一致することがわかった。

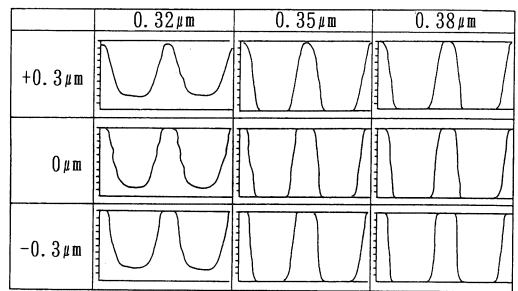
図11に限界解像度近くでのSEM観察結果および、LEAP SIMUの計算結果を示す。このレジストはSEM観察結果から、露光量を上げることで $0.35 \mu\text{m}$ ラインスペースパターンまで解像できることがわかる。LEAP SIMUでも同様の結果が得られた。また、SEM観察結果から $+0.3 \mu\text{m}$ デフォーカスではパターンのトップが丸みを帯び、 $-0.3 \mu\text{m}$ デフォーカスではパターンのトップが直線的であることがわかる。LEAP SIMUでも同様の結果が得られている。

6.2 プラスデフォーカスとマイナスデフォーカスでの形状の非対称性の考察

図12に $\pm 1.2 \mu\text{m}$ および $0 \mu\text{m}$ デフォーカス時における膜中光強度、膜中溶解速度分布およびレジスト形状



(a) Photoresist profiles observed by SEM.



(b) Photoresist profiles simulation by LEAP SIMU.

図11 限界解像付近のレジスト形状におけるSEM観察結果とシミュレーション結果の比較

Fig. 11 Comparisons between observed and simulated profiles near resolution limit.

を示す。 $+1.2 \mu\text{m}$ デフォーカスではレジスト形状はトップで丸みを呈し、ボトムではすそ引きが見られない。これは、レジスト表面に近づくに従い光のコントラストは低下し、本来遮光されるべきところに光が回り込んで遮光部分にレジストが溶解するに十分な溶解速度分布が発生し、一方、レジスト/基板界面では十分なコントラストが得られており、パターンの抜け性(露光領域のレジスト膜の基板界面での溶解性)が向上してパターンのすそ引きが起こらないためと考えられる。これに対して $-1.2 \mu\text{m}$ デフォーカスでは、レジスト表面に近づくに従い光のコントラストは向上し、トップの形状は良好に保たれている。一方、レジスト/基板界面では光のコントラストは低下してレジストが溶解するのに十分な溶解速度分布が得られずパターンのボトムではすそ引きの形状を呈すると考えられる。以上により、プラスデフォーカスとマイナスデフォーカスでの形状の非対称性は膜中の光強度分布が支配的であるというMackらのモデルと同様の考察が得られ、Henkeらが示したようにプラスデフォーカス時とマイナスデフォーカス時では、レジストのプロファイルが非対称になることが実測溶解速度を用いる本シミュレーションでも

0.5 μ m line and space

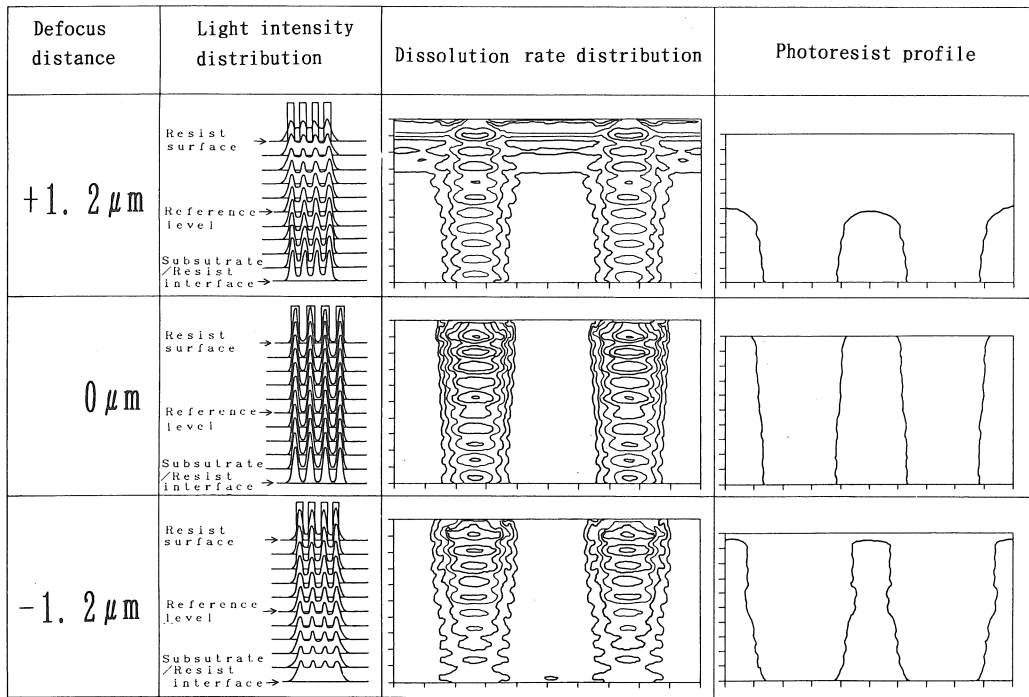


図 12 +1.2, -1.2 μ m デフォーカスおよびベストフォーカス時における 0.5 μ m L/S のレジスト膜中光強度分布, 溶解速度分布, および形状シミュレーションの比較
 Fig. 12 Distributions of light intensity and dissolution rate in photoresist film and photoresist profiles after development for defocus distances of +1.2 μ m, 0 μ m, -1.2 μ m.

確認された。

6.3 ベストフォーカス時の結像点位置の推定

図 13 にシミュレーションにおける基準面をレジスト膜の中心に設定した場合と、レジスト表面に設定した場合でのデフォーカス値と仕上り寸法の関係を $E_{op} \times 0.85$ の露光量で計算してプロットした。このレジストは、0.5 μ m ラインスペースパターンに対して $E_{op} \times 0.95$ がピボタルポイントを与える露光量であるが、この露光量では寸法の差異がわかりにくいため $E_{op} \times 0.85$ の露光量で検討した。SEM 観察結果から求めたデフォーカス値と仕上り寸法の関係を合わせてプロットした。基準面をレジスト中心に設定すると、SEM 観察結果と良く一致する。これに対して基準面をレジスト表面に設定すると、シミュレーションで求めた寸法および焦点深度が実際と異なることがわかった。このことからベストフォーカス時の結像点は、レジスト膜のほぼ中心に位置するものと推察される。

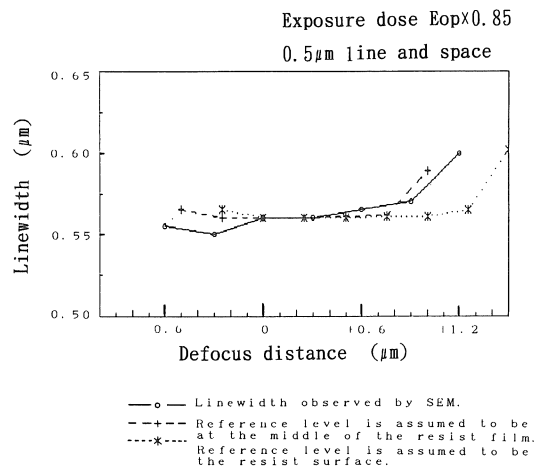


図 13 基準面をレジスト表面に設定した場合と、レジスト中心に設定した場合のデフォーカス特性シミュレーション結果と SEM 測長結果の比較
 Fig. 13 Relationship between linewidth and defocus distance for different positions of reference level.

7. むすび

Mack らの Bulk Image Model を用いて求めた膜中光強度分布シミュレーションと実測溶解速度を組み合わせるによりデフォーカス時におけるパターン形状の劣化や寸法変動を精度良くシミュレーションすることができた。プラスデフォーカス時とマイナスデフォーカス時のパターン形状の非対称性の原因は膜中光強度が支配的であり、このことにより Mack らの示す Bulk Image Model が膜内でデフォーカス効果を示すのに有効であることがわかった。また、ベストフォーカス時の合焦点位置はレジスト膜の中心に位置することがわかった。今後、異なるレジスト膜厚における合焦点位置の検討が必要である。

謝辞 本研究を進めるに当り、レジストの SEM 写真を提供下さった東京応化工業(株)の主任技師田中初幸氏、主任技師大野勇人氏、また、シミュレータの開発に際し御指導頂いた(株)テクノフロント松澤敏晴博士、光強度分布計算に関して御指導頂いた装置1部の伊藤徳久氏、中村吉宏氏に感謝致します。

文 献

- (1) Dill F. H., Neureuther A. R., Ruttler J. A. and Walker E. J. : "Modeling Projection Printing of Positive Photoresists", IEEE Trans. Electron Devices, **ED-22**, 7, pp. 456-464 (July 1975).
- (2) Yeung M. S. : "Modeling high numerical aperture optical lithography", SPIE, **922**, Optical/Laser Micro lithography, pp. 149-167 (1988).
- (3) Mack C. A. : "PROLITH : a comprehensive optical lithography model", SPIE, **538**, pp. 207-219 (1985).
- (4) Bernard D. A. : "Simulation of Focus Effects in Photolithography", IEEE Trans. Semiconductor Manufacturing, **1**, 3, pp. 85-97 (Aug. 1988).
- (5) Henke W. and Czech G. : "SIMULATION OF LITHOGRAPHIC IMAGES AND RESIST PROFILES", Elsevier Science Publishers B. V., pp. 629-633 (Nov. 1990).
- (6) Garza C. M. and Grindle S. O. : "Resist Characterization and Optimization Using a Development Simulation Computer Program. PROSIM", SPIE, **631**, Advances in Resist Technology and Rrocessing III (1986).
- (7) Batchelder T. and Piatt J. : "ボジ型フォトレジストのベークン効果", Solid State Technology 日本版, pp. 55-61 (1984-02).
- (8) 遠藤政孝, 笹子 勝, 上野 厚, 野村 登 : "新規高解像レジストプロセス", 第35回応物春季予稿集, **2**, 28 p-H-7, p. 509 (1988).
- (9) Hopkins, H. H. : "On the diffraction theory of optical

image", Proc. Roy. Soc. **A217**, pp. 408-432 (1953).

- (10) 関口 淳, 南 洋一, 藤田俊一 : "多層膜基板上的のフォトレジスト溶解速度の測定方法", 第51回応物秋季予稿集, **2**, 27a-ZG-6, p. 488 (1990).
- (11) Hirai Yoshihiko, Tomida Sadafumi, Ikeda Kazushi, Sasago Masaru, Endo Masayuki, Hayama Sigeru and Nomura Noboru : "Three-Dimensional Resist Process Simulator PEACE", IEEE Trans. Comput. Aided Des., **10**, 6, pp. 802-807 (June 1991).

(平成5年2月3日受付, 4月2日再受付)



南 洋一

昭54電機大・工・電子卒, 同年プロセスシステム入社, 米国GCA社のフィールドサービスに従事, 昭58住友GCA社に入社, コータデベロッパの国産化に従事, その後, 現像終点検出コントロール装置の開発に従事, 以来それらを応用したレジストプロセス解析装置の開発に従事。



関口 淳

昭57芝浦工大・工・工業化学卒, 昭58日本ケミテック入社, 無電解Auメッキ試薬の開発に従事, 昭60住友GCA社, レジスト塗布現像装置のプロセス開発に従事, その後レジスト解析装置および形状シミュレータのシステム開発に従事, 現在ゼネラルシグナルジャパン株式会社に勤務, 応用物理学会会員。