

ホトレジストの感光パラメータ ( $A, B, C$ ) 測定装置の開発

正員 関口 淳<sup>†</sup> 正員 南 洋一<sup>†</sup> 正員 松澤 敏晴<sup>††</sup>  
 非会員 武澤 亨<sup>†††</sup> 正員 宮川 久行<sup>†††</sup>

Measuring System for  $A, B$  and  $C$  Parameters of Photoresist

Atsushi SEKIGUCHI<sup>†</sup>, Youichi MINAMI<sup>†</sup>, Toshiharu MATSUZAWA<sup>††</sup>, Members,  
 Toru TAKEZAWA<sup>†††</sup>, Nonmember and Hisayuki MIYAKAWA<sup>†††</sup>, Member

あらまし ホトレジストの光学パラメータ  $A, B, C$  の概念, 測定原理および測定装置の概要は Dill らによって 1975 年に発表された。以来, パラメータ  $A, B, C$  は, ホトレジスト形状シミュレーションやホトレジストの品質管理に広く用いられている。しかし通常, 専用の測定装置が用いられることはなく, 分光光度計で透過率を測定することによってそれらの数値が求められている。また, Dill らは, 屈折率を調整した基板を用いて測定したが, 通常は測定の便宜上, 石英基板が用いられることが多い。我々は, 厳密に Dill らに従う方法と便宜的な方法について比較したので報告する。基板にレジストを塗布して試料とする。Xe-Hg からの UV 光をフィルタで狭帯域化して試料に照射し, その透過率の時間的変化を測定した。得られた透過率と照射時間の関係から Dill のモデルに従って  $A, B, C$  パラメータを算出する。一方, 基板にレジストを塗布した後ステップで露光し, 分光光度計で試料の透過率を求め, 透過率の露光時間に対する変化から, 同様に Dill モデルに従って  $A, B, C$  パラメータを算出し, 比較した。その結果, 本装置で測定した  $A, B$  の値が分光光度計での測定値と比べて低く測定されることがわかった。これは, 分光光度計との測定方法の違いによるものである。すなわち, 分光光度計で求まる透過率が, Dill らの定義による透過率と異なるためであると考えられる。屈折率を調整していない基板(石英基板)を用いた場合, 屈折率を調整した基板に対して,  $A$  の値で最大 5%,  $B$  の値で最大 45% の差異が発生した。これは, レジスト-基板界面および, 基板裏面からの反射光による多重干渉効果によるもので, パラメータ  $A, B, C$  の測定において, この効果を低減することが測定精度の向上において重要であることが確かめられた。

キーワード 感光パラメータ, ホトレジスト, 分光光度計, 形状シミュレーション, 反射防止膜, 品質管理, 多重干渉

1. まえがき

半導体集積回路が絶え間ない微細化を続ける中でホトレジストの形状シミュレーション技術は, 露光装置の最適化<sup>(1)</sup>, ホトレジストの選定, プロセス裕度の検討<sup>(2)</sup>などを支援するための重要な技術として位置づけられるようになってきた。

ホトレジストの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<sup>(3)</sup>(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<sup>(4)~(6)</sup>。これ

ら形状シミュレーションを行う上でパラメータ  $A, B, C$  は不可欠な入力数値である。また, レジストの品質管理を行う上でも重要な尺度, 指標パラメータである。 $A, B$  はホトレジストの光吸収の程度,  $C$  は光反応速度を表す量で, 透過率の時間変化を追うことによって求められる。しかし, パラメータ  $A, B, C$  を求めるための透過率の測定は, 従来 Dill らの方法に基づいた測定装置が存在しなかったため, 一般には分光光度計を用いて行われ, また基板も Dill らが提唱する屈折率を調整した基板<sup>(9)</sup>を用いずに石英基板が用いられてきた。通常, 議論に用いられるのは, この分光光度計による  $A, B, C$  である。

そこで, 本論文では, Dill モデルに基づく  $A, B, C$  パラメータ測定装置 ABC-Analyzer (以降 ABC-Analyzer と記述)を開発し, 分光光度計による

<sup>†</sup> リソテックジャパン株式会社, 川口市  
 Lithotech Japan Corporation, Kawaguchi-shi, 332 Japan

<sup>††</sup> (株)テクノフロント, 小平市  
 Technofront Inc., Kodaira-shi, 187 Japan

<sup>†††</sup> (株)東北中谷, 宮城県  
 TOUHOKUNAKATANI Corporation, Miyagi-ken, 989-15 Japan

測定と比較することにより両者の差異を明らかにすると共に、屈折率を調整した基板の代わりに石英基板を用いることの影響について検討した。併せて、このような測定方法の違い、および石英基板を代用する便宜的手法が形状シミュレーションの結果に与える影響について検討したので報告する。

## 2. 装置構成と測定方法

### 2.1 装置構成

図1にABC-Analyzerの装置構成を示す。装置は光源ユニットを含む測定器本体と装置の制御、データの解析を行うパーソナルコンピュータ(PC)から構成される。図2にハードウェアの模式図を示す。Xe-Hgランプからの光を反射鏡により集光し、更に集光レンズで約6mmφに集光する。これをフィルタを用いて狭帯域化して試料に照射する。狭帯域化フィルタとしては、波長248nm用(半値幅11nm)、365nm用(半値幅4nm)、436nm用(半値幅4nm)を用いた。試料面での照射強度は248nmの場合5.21mW/cm<sup>2</sup>、365nmの

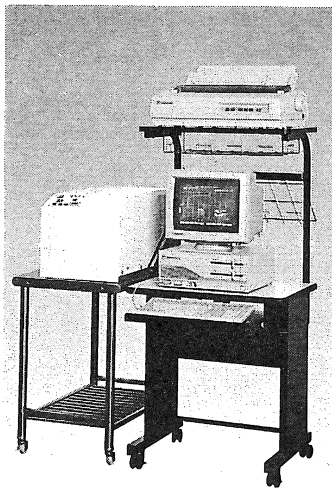


図1 ABCアナライザ装置構成図  
Fig. 1 The view of system.

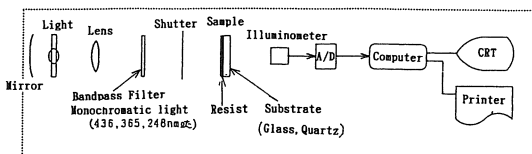


図2 ABCアナライザハードウェア模式図  
Fig. 2 The block diagram of the ABC-Analyzer.

場合4.21mW/cm<sup>2</sup>、436nmの場合5.03mW/cm<sup>2</sup>である。試料を透過した光はホトトランジスタにより電気信号に変換し、A-Dコンバータでデジタル化してPCに取り込む。ホトトランジスタからの出力は、あらかじめ実測して求めてある換算式によって光強度に変換される。

### 2.2 測定原理

ポジ型のg線およびi線ホトレジストは大別して三つの成分からなる。すなわち、クレゾールノボラック樹脂と感光性化合物と有機溶媒である。感光性化合物はナフトキノンジアジドと総称される化合物で紫外光の照射によりインデンケテンに変化し、H<sub>2</sub>Oの存在下でインデンカルボン酸に変化する光化学反応を起こす(図3)<sup>(10)</sup>。ナフトキノンジアジドが分解するにつれて、ホトレジストの透過率は上昇し(ブリーチング)、すべてのナフトキノンジアジドが分解すると、それ以上紫外光を照射しても透過率は上昇しなくなる。この状態をブリーチアウトと呼ぶ。この、照射時間と透過率の関係を示したのが図4である。

そこで、光照射量が限りなく0に近いときの透過率を初期透過率T<sub>0</sub>、ブリーチアウト時の透過率をT<sub>∞</sub>、レジストの初期膜厚をdとすると、光学パラメータA、B、Cと透過率とは次のような関係にある<sup>(9)</sup>。

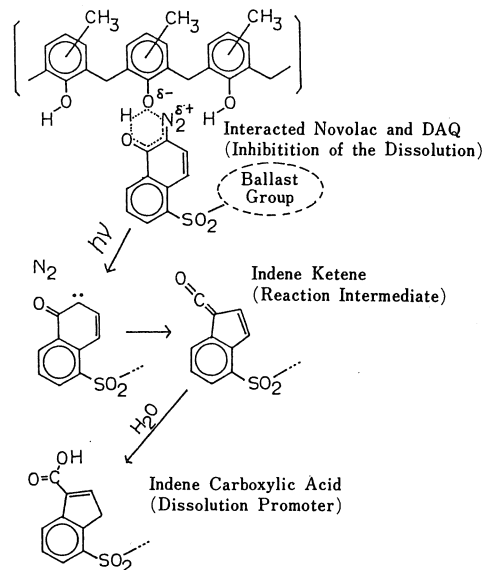


図3 ノボラック系ポジ型ホトレジストの光化学反応  
Fig. 3 Photochemical reaction scheme of positive photoresist.

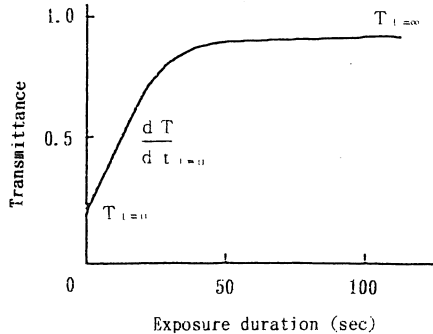


図4 透過率と露光時間の関係

Fig. 4 Relationship between transmittance and exposure duration.

$$A = \left(\frac{1}{d}\right) \cdot \ln\left(\frac{T_{\infty}}{T_0}\right) \quad (1)$$

$$B = -\left(\frac{1}{d}\right) \cdot \ln(T_{\infty}) \quad (2)$$

$$C = \frac{A+B}{A I_0 T_0 (1-T_0)} \cdot \frac{dT_0}{dt} \quad (3)$$

但し、 $I_0$  はレジスト表面での光強度

$dT_0/dt$  は  $t=0$  における接線の傾き

定性的には、 $A$  は感光剤の光吸収、 $B$  は樹脂の光吸収、 $C$  は感光剤の分解速度 (レジスト感度) を示すものと解釈できる<sup>(9)</sup>。照射時間と透過率の測定結果に対して、式(1)~(3)を適用すれば  $A$ ,  $B$ ,  $C$  が定まる。しかし、実測値は当然ばらつきを含むし、特に  $dT_0/dt$  のような値を求める際には誤差が大きくなりやすいので、Dill らはいったん  $A$ ,  $B$ ,  $C$  を求めた後、ホトレジストのブリーチング過程を表す次の連立微分方程式が実測値をうまく再現するように、 $A$ ,  $B$ ,  $C$  を最適化している<sup>(9)</sup>。本装置でも Dill らの方法に従って最適化を行うプログラムを作成した。

$$\frac{\partial I(z,t)}{\partial z} = -I(z,t) \cdot [AM(z,t) + B] \quad (4)$$

$$\frac{\partial I(z,t)}{\partial t} = -I(z,t) \cdot M(z,t) \cdot C \quad (5)$$

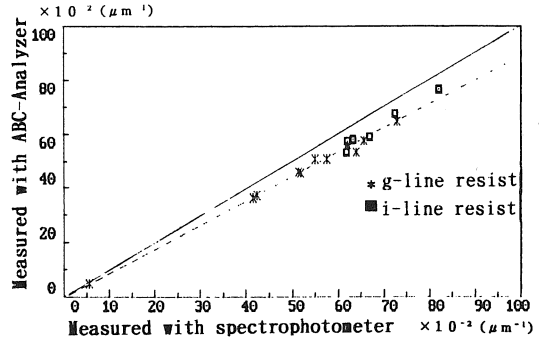
但し、 $I(z,t)$ : 時刻  $t$ , 深さ  $z$  における光強度

$M(z,t)$ : 時刻  $t$ , 深さ  $z$  における規格化された感光剤の濃度

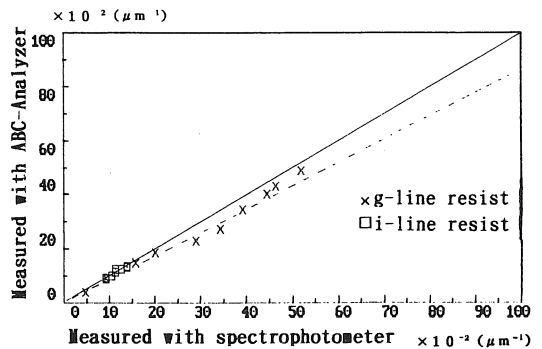
### 3. 測定方法による差異の検討

#### 3.1 実験条件および結果

実験に用いたポジ型  $g$  線ホトレジストは次のとおりである: TSMR-CR2, TSMR-CRH3,



(a) Comparison of A.



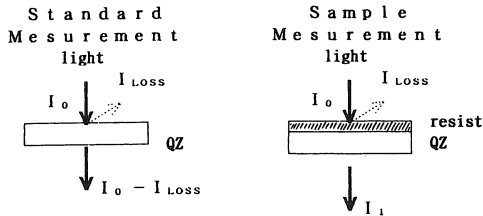
(b) Comparison of B.

図5 ABCアナライザと分光光度計での測定  $A$ ,  $B$  値の比較

Fig. 5 Comparison of measured data of  $A$ ,  $B$  with ABC-Analyzer and spectrophotometer.

TSMR-CRGA, TSMR-V50, TSMR-8900 (以上東京応化工業製), HPR-204D, FH-6100 (以上富士ハントエレクトロニクステクノロジー製), MP-1400 (シプレイファーイースト製), AZ-5214 (ヘキストジャパン製)。実験に用いたポジ型  $i$  線ホトレジストは以下のとおりである: THMR-ip3000, TSMR-CR50 (以上東京応化工業製), PFR-IX061 (日本合成ゴム製), PFI-15, PFI-26, PFI-28 (住友化学工業製)。塗布膜厚は  $1.0 \mu\text{m}$  とした。試料板は石英基板 ( $g$  線での屈折率  $n_g=1.4667$ ,  $i$  線での屈折率  $n_i=1.4746$ ) を用いた。

分光光度計での透過率の測定方法について以下に述べる。用いた分光光度計は、島津製作所 UV-2400 で、まずホトレジストを塗布していない石英基板を透過した光強度が透過率 100% となるように、分光光度計の校正を行った。次いでホトレジスト塗布済みの石英基板にステップで何種類か露光時間を変えて露光を行い、続いて分光光度計を用いて試料の透過率を測定した。



$I_0$  : Light power on substrate surface and resist surface.

図6 測定方法の説明図  
Fig. 6 Diagram of measuring principle.

露光に用いたステッパはGCA社製ステッパで、露光波長g線およびi線のものを用いた。こうして得られたステッパでの露光時間と透過率の関係から、式(1)~(3)を適用してパラメータA, B, Cを求めた。

図5にABC-Analyzerを用いて透過率を測定して求めたA, Bの分光光度計を用いて透過率を測定して求めたA, Bを対比して示す。両者が一致するならば、測定値は実線上に乗らなければならない。しかし、分光光度計を用いて求めたAに対してABC-Analyzer測定値の方が5~10%程度低く測定されることがわかった。また、Aの値が大きくなるにつれて、この傾向が大きくなることがわかった。Bについても同様の結果が得られている。

### 3.2 結果の検討

そこでこの差の原因について考察した。図6は測定方法の説明図である。透過率の測定においては、はじめにホトレジストを塗布していない基板を用いて基準測定を行い、次いでレジストを塗布した試料を用いて測定を行う。

分光光度計では、まずはじめに基板だけの透過光強度を求めこの光強度を100%の透過率になるように分光光度計を校正する。基板の測定では、基板表面および裏面での反射、基板自体の光吸収により透過光の一部が失われる。この量を $I_{Loss}$ と定義する。また、初期の光強度を $I_0$ (ここでは基板表面での光強度と定義する)とすると、分光光度計での透過率計算における分母の項は $I_0 - I_{Loss}$ となる。これが100%の光量である。次にレジストを塗布した石英基板を用いて試料測定を行う。この場合レジスト/石英基板を透過した光強度を $I_i$ とすると、透過率 $T_s$ は、

$$T_s = I_i / (I_0 - I_{Loss}) \quad (6)$$

により求めることができる。

一方、ABC-Analyzerでは基準測定を行う場合、ま

ず光路に基板のない状態での光強度を求める。この光強度はDillらの提唱する基板面での光強度 $I_0$ に相当する。次にホトレジストを塗布していない基板を光路に挿入して基板透過後の光強度を求める。これを、 $I_{0q}$ とすると基板での反射および基板自体の光吸収により失われる光量 $I_{Loss}$ は、 $I_0 - I_{0q}$ により得られる。Dillモデルでは基板表面での光強度 $I_0$ を透過率計算における分母の項として用いているので、ABC-Analyzerでもそれに従う。次にホトレジストを塗布済みの基板を用いて試料の測定を行う。この場合ホトレジスト/基板を透過した光強度を $I_i$ とすると、この $I_i$ には、 $I_{Loss}$ 分がレジスト吸収分として含まれているので失われたロス分を補い透過率計算の分子項を $I_i + I_{Loss}$ として透過率を計算する。

透過率 $T_{AN}$ は、

$$T_{AN} = (I_i + I_{Loss}) / I_0 \quad (7)$$

により求めることができる。

例えば、それぞれの測定法で、 $T_0$ を求める場合を考える。初期透過率30%程度( $I_{i0} = 30$ )のホトレジストの場合、 $I_0 = 100$ ,  $I_{Loss} = 5$ とすると、分光光度計の場合

$T_{S0} = I_{i0} / (I_0 - I_{Loss}) = 30 / (100 - 5) = 0.316$ , ABC-Analyzerの場合、 $T_{AN0} = (I_{i0} + I_{Loss}) / I_0 = (30 + 5) / 100 = 0.350$ となり、分光光度計を基準にすると、 $(0.350 - 0.316) / 0.316 = 0.108$ つまり透過率で11%程度、ABC-Analyzerの方が、初期透過率が高く測定されることになる。更に初期透過率40%程度のホトレジストでは、分光光度計で $T_{S0} = 40 / (100 - 5) = 0.421$ , ABC-Analyzerで $T_{AN0} = (40 + 5) / 100 = 0.450$ となり、分光光度計を基準にすると、 $(0.450 - 0.421) / 0.421 = 0.0689$ つまり7%ABC-Analyzerの方が、初期透過率が高く測定されることになる。つまり、初期透過率の高いホトレジスト(ホトレジストの光吸収が弱い)ほど、ABC-Analyzerと分光光度計での測定差が小さくなることがわかる。これが図5での測定結果の食違いを示している。

そこで、ABC-Analyzerで測定した初期透過率 $T_{AN0}$ およびブリーチアウト後の透過率 $T_{AN\infty}$ を用いて先の議論に従い、分光光度計によるA, Bを模擬的に算出してみた。

検討に用いた測定条件および測定結果を示す。

レジスト : THMR-ip1800 (東京応化工業製)

ベーク : 90°C/90秒

膜厚 : 1.2030  $\mu\text{m}$

表1 測定 A, B および、数値補正後の A, B の比較  
Table 1 Comparison of measured data and revised data.

Resist: THNR-ip1800 Thickness: 1.2030  $\mu\text{m}$

	A ( $\mu\text{m}^{-1}$ )	B ( $\mu\text{m}^{-1}$ )
Measured data with ABC-Analyzer	0.4831	0.2356
Measured data with spectrophotometer	0.55	0.27
Revised ABC-Analyzer data	0.5443	0.2450

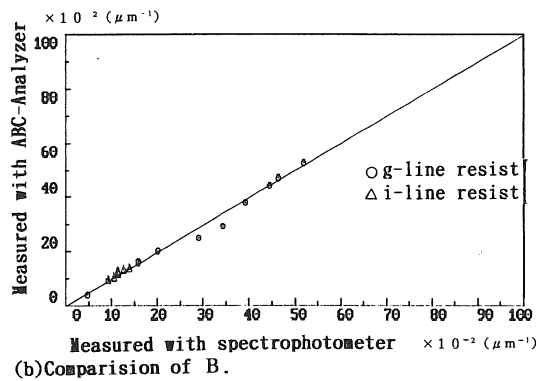
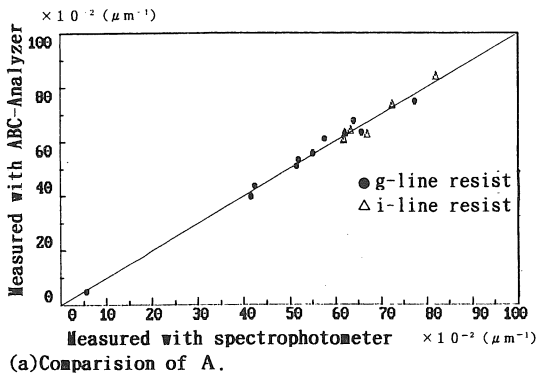


図7 数値補正後の測定 A, B 値の比較  
Fig. 7 Comparison of measured data of A, B after revised.

〈ABC-Analyzer による A, B 値〉

$$A = 0.4831 \mu\text{m}^{-1}$$

$$B = 0.2356 \mu\text{m}^{-1}$$

〈分光光度計による A, B 値〉

$$A = 0.55 \mu\text{m}^{-1}$$

$$B = 0.27 \mu\text{m}^{-1}$$

〈ABC-Analyzer による光強度〉

$$I_{AN0} = 2.9135 \text{ mW/cm}^2$$

$$I_{Loss} = 0.1759 \text{ mW/cm}^2$$

$$I_{AN0} - I_{Loss} = 2.7377 \text{ mW/cm}^2$$

$$I_{ANi t=0} = 1.0592 \text{ mW/cm}^2$$

$$I_{ANi t=\infty} = 2.0387 \text{ mW/cm}^2$$

ABC-Analyzer による光強度測定値を用いて、先に述べた議論に従い式(6)により分光光度計方式に計算しなおすと、

$$T_{S t=0} = I_{ANi t=0} / (I_{AN0} - I_{Loss}) = 0.3869$$

$$T_{S t=\infty} = I_{ANi t=\infty} / (I_{AN0} - I_{Loss}) = 0.7447$$

分光光度計法による値に\*を付けて表すと、

$$A^* = 1/d \cdot \ln(T_{S t=\infty} / T_{S t=0})$$

$$= 0.5443$$

$$B^* = -1/d \cdot \ln(T_{S t=\infty})$$

$$= 0.2450$$

となる。

以上をまとめて表1に示す。

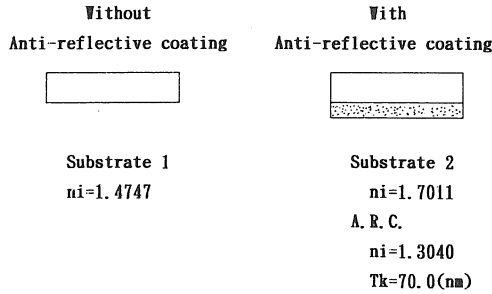
分光光度計測定値と分光光度計法変換値はほぼ、一致した。そこで、図5に示すホトレジストデータに関して、ABC-Analyzer で測定した光強度を用いて、分光光度計方式に A, B 値を変換して分光光度計での測定結果と対比して図7に示す。

以上により Dill モデルと分光光度計での A, B 値に差異が生じたのは、透過率計算上における計算方法の違いであることが確かめられた。

#### 4. 屈折率を調整した反射防止基板の効果の検討

これまでは石英基板を用いて分光光度計での測定と Dill モデルを用いた ABC-Analyzer での測定方法の違いについて検討してきた。しかし、石英基板を用いると、レジストと石英基板との屈折率の違いからレジスト/基板界面および基板裏面で反射が生じる。これにより、ホトレジスト膜内に多重干渉が発生することからホトレジスト膜厚が変化するとホトレジスト膜に吸収されるエネルギーが変化することになり、結局、膜厚の変動が式(1)および式(2)で考慮している膜厚の寄与以上の透過率の変動(従って A, B, C の変動)を招くことになる。A, B, C はホトレジストの固有の値であるべきであって、膜厚に依存してはならないはずである。Dill らが屈折率を調整した基板を用いた理由はここにある。

正確に Dill らの測定方法を実行するためには、ホトレジストと同じ屈折率をもつガラス基板を用いて、レジスト/基板界面からの反射を抑え、なおかつ基板裏面からの反射を抑えるために反射防止膜をコートした基板を用いる必要がある。そこで、ホトレジストと同じ屈折率をもつ反射防止膜つきガラス基板を作成して多



$n_i$ : Reflective index of  $i$ -line light.  
 $Tk$ : Thickness of Anti-reflective coating.

図8 基板の光学的条件  
 Fig. 8 Optical conditions of substrate.

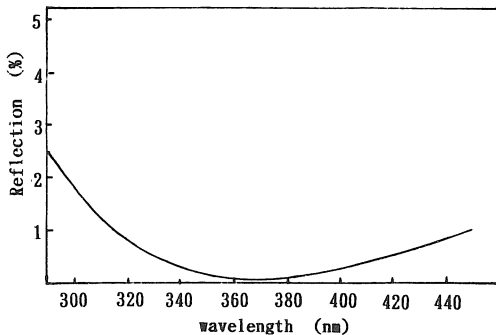
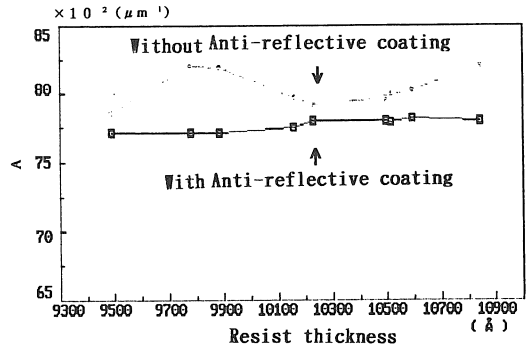


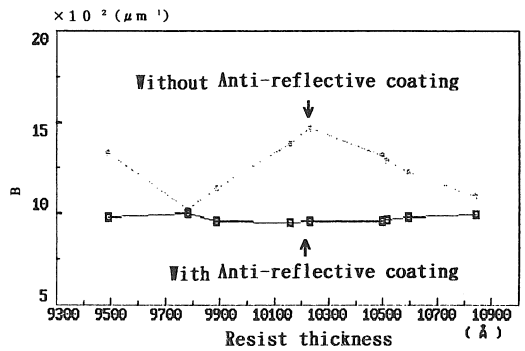
図9 基板裏面の反射率と波長の関係  
 Fig. 9 Relationship between reflection from bottom of substrate and wavelength.

重干渉効果の低減を試みた。図8に使用した基板の光学的条件を示す。反射防止膜なしの測定には、石英基板を用い、屈折率を調整した反射防止基板には、 $i$ 線に対する屈折率  $n_i=1.7011$  のガラス基板を用い、これを  $i$  線に対して無反射となるように  $n_i=1.3040$  の無機膜 ( $\text{MgF}_2$ ) を  $70 \text{ nm}$  の厚さでコートした。図9に作成した基板の裏面の反射率を示す。ホトレジストは PFI-34 (住友化学工業製： $i$ 線における屈折率  $n_i=1.7002$ ，消衰係数  $k_i=-0.021$ ) を  $90^\circ\text{C}$ ， $90$  秒ベークしたものを用い、膜厚は  $0.950\sim 1.090 \mu\text{m}$  と変化させた。測定波長は  $i$  線を用いた。

図10にホトレジスト初期膜厚と  $A$ ，および  $B$  の関係を示す。反射防止膜のない石英基板では、レジスト膜厚の変化に対して、 $A$ ， $B$  ともに周期的に変化している。振幅は、 $A$  では  $5\%$ ， $B$   $45\%$  の変動幅を有する事がわかる。これは、ホトレジスト/基板界面および、基板裏面からの反射光により発生した多重干渉効果に



(a) Relationship between  $A$  and resist thickness.



(b) Relationship between  $B$  and resist thickness.

図10 反射防止基板の効果  
 Fig. 10 Effect of antireflective coating.

より、透過率が膜厚に依存して変化したためと考えられる。これに対して屈折率を調整した基板(ホトレジストとほぼ同じ屈折率をもつガラス基板の裏面に反射防止膜をコートした基板)を用いると、 $A$ ， $B$  とともに一定になることがわかった。このことから、 $A$ ， $B$  パラメータの測定においてホトレジスト/基板界面および、基板裏面からの反射を低減することが膜厚の影響を受けない本来の  $A$ ， $B$ ， $(C)$  を求めるのに不可欠であることが確かめられた。また、 $A$ ， $B$ ， $(C)$  の品質管理の指標として用いる際には、ホトレジストの品質以外の影響を排除する必要があるから、その意味で、屈折率の調整した基板を使用することは測定の信頼性向上に重要である。

## 5. $A$ ， $B$ ， $C$ の測定差異が形状シミュレーションに与える影響

### 5.1 測定方法の違いによる差の検討

測定方法の違いが形状シミュレーション<sup>(11)</sup>にどの程度影響を与えるのかを検討した。シミュレーション条

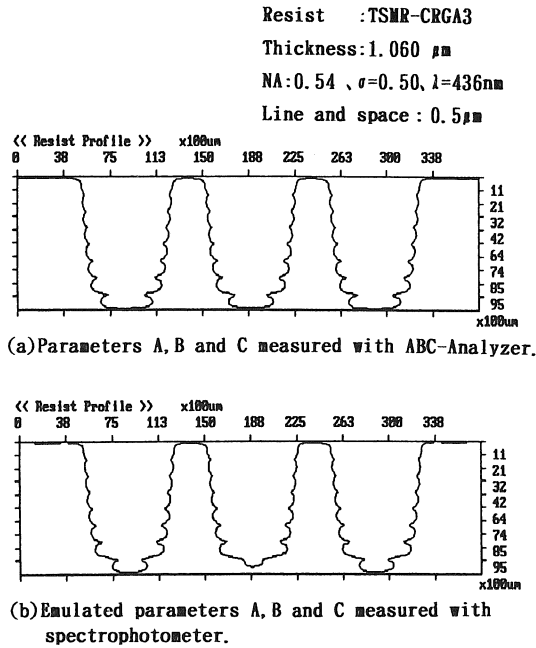


図 11 分光光度計による測定方法と ABC アナライザで求めた A, B, C を用いた場合の形状シミュレーションに与える影響

Fig. 11 Effect on profile simulation of parameters A, B and C measured by using (a) ABC-Analyzer and (b) spectrophotometer emulated.

件を示す。ホトレジストは両測定法で測定数値の差異が大きい光吸収の強い染料入りホトレジスト TSMR-CRGA3 (東京応化工業製) を用いた。膜厚は 1.060  $\mu\text{m}$ 、露光波長は 436 nm とした。現像パラメータは NMD-W22.6°C において実測して  $E_1=4.5075$ ,  $E_2=5.0695$ ,  $E_3=-13.4887$  を得た。ここで現像パラメータの測定方法について述べる。ホトレジスト深さ位置  $D$  における溶解速度  $R$  を数種類の異なる露光量において実測し<sup>(2)</sup>、 $D$  と  $R$  の関係のデータテーブルを作成する。次に Dill モデルを用いてホトレジスト深さ位置  $D$  におけるインヒビター濃度  $M$  を計算し<sup>(9)</sup>、 $D$  と  $M$  の関係のデータテーブルを作成する。この二つのデータテーブルは、共通因子のホトレジスト深さ位置  $D$  をもつので、 $D$  を消去し、 $R$  と  $M$  の関係のデータテーブルを作成する。このデータテーブルを Dill の現像速度式、式 (8) を用いて最小 2 乗法によりフィッティングして現像パラメータ  $E_1, E_2, E_3$  を得た。

$$R = \exp(E_1 M + E_2 M^2 + E_3 M^3) \quad (8)$$

$R$  : ホトレジスト溶解速度

$M$  : 規格化インヒビタ濃度

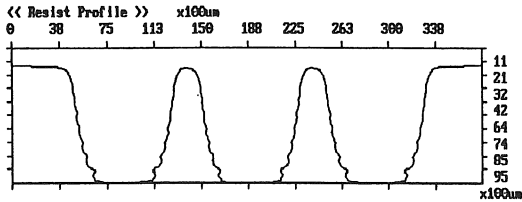
$E_1, E_2, E_3$  : 定数

光学系の条件は、 $NA=0.54$ 、コヒーレンスファクタ  $\sigma=0.50$ 、マスクパターンは 0.50  $\mu\text{m}$  ライン-0.50  $\mu\text{m}$  スペースとした。露光条件は 125  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、現像時間は 60 秒とした。図 11 に ABC-Analyzer に基づく時間-透過率測定による A, B, C パラメータを用いた場合のシミュレーション結果および、分光光度計方式に基づく時間-透過率測定による A, B, C パラメータを用いた場合のシミュレーション結果の比較を示す。このときのそれぞれの A, B, C は、ABC-Analyzer の測定で、 $A=0.5087$ ,  $B=0.4029$ ,  $C=0.0092$ 、分光光度計方式の測定で  $A=0.6076$ ,  $B=0.4383$ ,  $C=0.0115$  であった。分光光度計方式による A, B, C を用いた場合のブレイクスルー時間 (基板が露出するまでの時間) は 63 秒であり、ABC アナライザによる A, B, C を用いた場合は、61 秒で、分光光度計方式の方がブレイクスルーは遅くなっている。また、現像時間 60 秒での形状を比較すると分光光度計方式での測定値を用いた場合の方が、ホトレジスト抜け性 (ホトレジストと基板界面での現象の進行度合) が低下していることがわかる。これは、特に分光光度計方式に基づく測定による B が ABC アナライザの B より高い値によると考えられる。

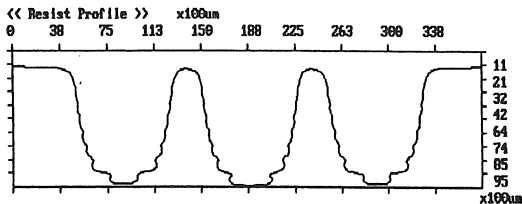
## 5.2 基板の光学特性の違いによる差の検討

更に基板の光学特性の違いが形状シミュレーション<sup>(11)</sup>にどの程度影響を与えるのかを、同様の手法を用いて検討した。検討条件を示す。レジストは i 線高解像性レジスト PFI-34 (住友化学工業製)。膜厚は、 $B$  値での差異が大きい 1.06  $\mu\text{m}$  とした。A, B, C の測定は、それぞれ ABC-Analyzer を使い、60 回の最適化計算を行った。このときの A, B, C は石英基板で  $A=0.7236$ ,  $B=0.1580$ ,  $C=0.0077$ 、屈折率を調整した反射防止基板で  $A=0.7216$ ,  $B=0.1163$ ,  $C=0.0078$  であった。また、現像パラメータは 5.1 「測定方法の違いによる差の検討」のところで示した手法により実測して  $E_1=6.5027$ ,  $E_2=2.7865$ ,  $E_3=-9.5176$  を得た。検討を行った光学系の条件は、開口数  $NA=0.50$ 、コヒーレンスファクタ  $\sigma=0.50$ 、マスク寸法 0.50  $\mu\text{m}$  ラインと 0.50  $\mu\text{m}$  スペースとした。露光条件は、365 nm, 200  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、現像時間は、60 秒とした。図 12 に石英基板を用いて測定した、A, B, C を用いた場合のシミュレーション結果および、反射防止基板を用いて測定した、A, B, C を用いた場合のシミュレーション結果の比較を示す。石英基板では、レジスト/基板界面および基板裏面からの光反射による多重干渉効果がレジスト

Resist : PFI-34  
 Thickness: 1.060  $\mu\text{m}$   
 NA : 0.50,  $\sigma = 0.50$ ,  $\lambda = 365\text{nm}$   
 Line and space : 0.5  $\mu\text{m}$



(a) With antireflective coating.



(b) Without antireflective coating.

図12 反射防止基板を用いずに測定した  $A, B, C$  を用いた場合と、反射防止膜基板を用いて測定した  $A, B, C$  を用いた場合の形状シミュレーションに与える影響

Fig. 12 Effects on resist profile simulation using measured  $A, B$  and  $C$  (a) with and (b) without antireflective coating.

の吸収の一部と測定されてしまい、 $B$  が高めに測定されている。このことが影響して、見掛け上のレジストの光吸収効果の増大により、レジストの抜け性が著しく低下していることがわかる。このことからこの基板条件の差異は、形状シミュレーションを行う上で、結果に大きな誤差を与えることがわかった。

## 6. むすび

Dill モデルに従って測定を行う  $A, B, C$  パラメータ測定装置を開発した。分光光度計での測定結果と本装置での測定結果を比較すると、分光光度計での測定結果の方が  $A, B$  とも 5~10% 程度高く測定されることがわかった。また、初期透過率の低いホトレジストほど、この差が大きかった。これは、透過率の測定方法の違いによるものであることが実験から確かめられた。石英基板を用いた測定結果と Dill らの示す屈折率を調整した反射防止基板を用いた場合、最大で  $A$  で 5%、 $B$  で 45% 高く測定されることがわかった。Dill らの示す反射防止基板を用いる手法では、レジストと基板界面、および基板裏面からの反射が抑えら

れ多重干渉効果を十分に低減できることがわかった。この測定差異が形状シミュレーションにどの程度影響を与えるかについて検討した。その結果、基板条件の違いによる測定差異の影響が度合としては大きく、パラメータ  $A, B, C$  の測定において測定基板の光学特性の最適化は測定精度の向上において重要な因子であることがわかった。しかし、反射防止膜を用いる場合、ガラス基板の屈折率とホトレジストの屈折率が完全に一致する必要があり、また、反射防止膜は露光波長ごとにコートする必要があり、1種類の基板ですべてのレジストに対応することは困難である。そこで、今後は、石英基板を用いて測定を行い、光学多層薄膜の理論<sup>(12)</sup>を用いて、ホトレジスト/基板界面および基板裏面からの反射光量を計算により求め、透過率を補正する計算手法の検討が必要である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、ホトレジストを提供頂きました、助言して下さった東京応化工業(株)の主任技師田中初幸氏、および住友化学工業(株)の埴良太郎博士、および分光光度計での測定に御助力頂いた富士フイルム(株)の山中司氏に感謝致します。また、ホトリソグラフィシミュレータに関して御指導頂いたライトロン(株)の江口満男氏に感謝致します。

## 文 献

- (1) Fukuda H., Imai A., Terasawa T. and Okazaki S.: "New Approach to Resolution Limit and Advanced Image Formation Techniques in Optical Lithography", IEEE Trans. Electron Devices, T-ED-38, 1, pp. 67-75 (Jan. 1991).
- (2) 南洋一, 関口 淳: "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", 信学論(C-II), J76-C-II, 8, pp. 562-570 (1993-08).
- (3) Dill F. H., Neureuther A. R., Tuttle J. A., and Walker E. J.: "Modeling Projection Printing of Positive Photoresists", IEEE Trans. Electron Devices, ED-22, 7, pp. 456-464 (July 1975).
- (4) Yeung M. S.: "Modeling high numerical aperture optical lithography", SPIE 922, Optical/Laser Micro lithography, pp. 149-167 (1988).
- (5) Mack C. A.: "Understanding focus effects in submicrometer optical lithography", OPTICAL ENGINEERING, 27, 12, pp. 1093-1100 (Dec. 1988).
- (6) Hirai Y., Tomida S., Ikeda K., Sasago M., Endo M., Hayama S. and Nomura N.: "Three-Dimensional Resist Process Simulator PEACE", IEEE, T-CAD-10, 6, pp. 802-807 (June 1975).
- (7) Matsuzawa T., Moniwa A., Hasegawa N. and Sunami H.: "Two-Dimensional Simulation of Photolithography on Reflective Stepped Substrate", IEEE Trans. on Computer Aided Design of Integrated Circuits And



- Systems, CAD-6, 3, pp. 446-451 (1987).
- (8) 石塚辰美: “光レジスト現像時の3次元形状シミュレーション”, 信学論(C-II), J73-C-II, 11, pp. 775-785 (1993-11).
- (9) Dill F. H., Hornberger W. P., Hauge P. S. and Shaw J. M.: “Characterization of Positive Photoresist”, IEEE Trans. Electron Devices, ED-22, 7, pp. 445-452 (July 1975).
- (10) Dammel R.: “Diazonaphthoquinone-Based Resists”, SPIE Short Course Tutorial SC7, Symposium on Microlithography, p. 5 (March 1991).
- (11) Oldham W. G., Nandgaonkar S. N., Neureuther A. R. and O'Toole M.: “A General Simulator for VLSI Lithography and Etching Processes: Part-I Application to Projection Lithography”, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-26, 4, pp. 717-722 (1979).
- (12) 石黒浩三, 池田英生, 横田英嗣: “光学薄膜”, pp. 25-34, 共立出版(1986)など.

(平成6年5月12日受付, 7月12日再受付)



武澤 亨

昭59東北学院大・工・機械卒。同年(株)東北中谷入社。以来、磁性薄膜の研究、各種成膜用真空装置の研究・開発に従事。



宮川 久行

昭47東京電機大・工・応用理化学卒。昭49蕨特殊製鋼入社。圧延磁石の研究に従事。昭56東北中谷入社。以来垂直磁気記録、磁性薄膜等の研究に従事。応用物理学会、応用磁気学会各会員。



関口 淳

昭57芝浦工大・工・工業化学卒。昭58日本ケミテック(株)入社。無線解 Au メッキ試薬の開発に従事。昭60住友ジーシーエー(株)入社。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、リソテックジャパン(株)に勤務。応用物理学会会員。



南 洋一

昭54東京電機大・工・電子卒。同年プロセスシステム(株)入社。米国GCA社のフィールドサービスに従事。昭58住友ジーシーエー(株)入社。塗布・現像装置の国産化に従事。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、それらを用いたレジストプロセス解析装置の開発に従事。現在、リソテックジャパン(株)代表取締役。



松澤 敏晴

昭50東北大・工学研究科化学工学修士課程了。同年日立製作所に入社。同社中央研究所で主にホトリソグラフィのプロセス技術およびシミュレーション技術の開発を行う。昭60工博。昭63日立製作所退職。同年テクノフロント設立。日本化学会、応用物理学会、IEEE各会員。