

エッチング加工法における流動現象

Fluid Dynamical Aspects of Wet Chemical Etching

○ 西中川 遵, 電気通信大学大学院, 〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

杉野 文弘, 関東学院大学工学部, 〒 236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦町 4834

宮崎 武, 電気通信大学大学院, 〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

Jun NISHINAKAGAWA, Univ. of Electro-Communications, Chofugaoka 1-5-1, Chofu, Tokyo, 182-8585, Japan

Fumihito SUGINO, Kanto Gakuin Univ., Mitsuura-machi 4834, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa, 236-8501, Japan

Takeshi MIYAZAKI, Univ. of Electro-Communications, Chofugaoka 1-5-1, Chofu, Tokyo, 182-8585, Japan

Wet chemical etching is used for making shadow masks that have many microscopic hole in steel sheet. Etching is assumed to be limited by removal of the dissolution products away from the vicinity of the active surface. We investigate numerically fluid dynamical aspects and mass transport phenomena nearby the etching cavity, using a standard two dimensional MAC method. In addition, we calculate the shape evolution of etching cavity in a quasistationary manner.

1. 緒言

テレビなどのブラウン管に用いられ、鋼板に多数の微細な穴が開けられているシャドウマスクの製造には、溶液による化学的溶解作用を利用して所要の寸法・形状を得るウェットケミカルエッチングが使用されている。エッチング液には通常塩化第二鉄液が用いられる。エッチングの溶解反応で生成される Fe^{2+} イオンはエッチングの溶解反応には寄与しないため、効率よくエッチングを行うためにはこの Fe^{2+} イオンを速やかに除去し、溶解反応で要求される Fe^{3+} イオンを供給する必要がある。このようなエッチング種の移送には流動や拡散現象が大きく影響している。これまで、エッチング種の移送を絡めた数値計算はいくつか行われている^{1, 2, 3, 4}。しかし、シャドウマスクの製造などで使用されているスプレーエッチングを想定したような、流動を主体とした数値計算は行われていない。そこで、本研究ではスプレーエッチングを想定して、エッチング液を水平方向と垂直方向に流した場合の数値計算を行い、エッチング時の流動や濃度分布のレイノルズ数およびシュミット数依存性を調べた。

2. 計算方法

Fig.1 に示す計算領域において、2次元非圧縮性の流体基礎方程式、

$$\text{div } \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \text{grad}) \mathbf{v} = -\text{grad } p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{v} \quad (2)$$

を MAC 法を用いて解き、エッチング液の流動を求めた。レイノルズ数は $\text{Re} = \frac{UL}{\nu}$ であり、実際は数十のオーダーとなる。エッチングの溶解反応の進行は、 Fe^{2+} イオンが反応面からどの程度除去されるかに依存するとした。このイオンの物質輸送を 2次元の移流拡散方程式、

$$\frac{\partial c}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \text{grad}) c = \frac{1}{\text{Re}} \frac{1}{\text{Sc}} \Delta c \quad (3)$$

で求めた (c は無次元濃度)。シュミット数は $\text{Sc} = \frac{\nu}{D}$ である。また、反応面から Fe^{2+} イオンが除去される割合として、局所シャーウッド数 $\text{Sh}_x = \frac{1}{\text{Sc}} \frac{\partial c}{\partial n}$ (n は境界 Γ_1

の単位法線ベクトル) を用いた。レジスト面上部のエッチング液の流動条件として、水平方向クエット流、

$$u = U \frac{y-h}{L}, \quad v = 0 \quad (4)$$

および垂直方向澗み線流の相似解⁵、

$$u = (x - S_l) f'(\text{Re}^{\frac{1}{2}}(y-h)) \quad (5)$$

$$v = -\text{Re}^{-\frac{1}{2}} f(\text{Re}^{\frac{1}{2}}(y-h)) \quad (6)$$

$$f'^2 - ff'' = 1 + f''' \quad (7)$$

($f(0) = 0, f'(0) = 0, f'(\infty) = 1$) を適用した。

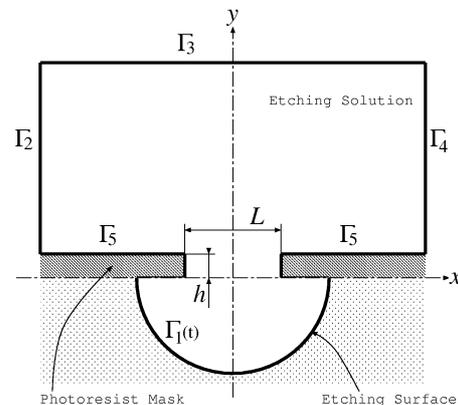


Fig. 1: Schematic of computational domain

3. 計算結果

3.1 くぼみ形状固定

くぼみの形状を半径 L の半円形状に固定して計算を行い、 Sh_x の Re および Sc 、 h に対する依存性を調べた。水平方向クエット流 くぼみ内部にはレジスト上部の流れから剥離した大きな内部渦が発生する。 Sc が一定で Re が大きくなると、 Sh_x も大きくなる (Fig.2)。 Re の増加

は流速の増大を意味するので、物質の輸送は活発になり Sh_x は大きくなる。Re を一定にして Sc を大きくすると、 Sh_x は次第に小さくなった (Fig.3)。Sc の増加は拡散項の影響の減少を意味するので、流れが同一であると物質の拡散は小さくなる。Re と Sc を一定にし、レジスト厚さ h を大きくすると、くぼみ表面の Sh_x 分布は徐々に左右対称になる (Fig.4)。これは、レジストが厚くなるにしたがって、内部渦がくぼみ部分に達しないでレジスト部分のみで発生するようになり、くぼみ内部の流動が弱くなって物質の輸送が停滞するためである。

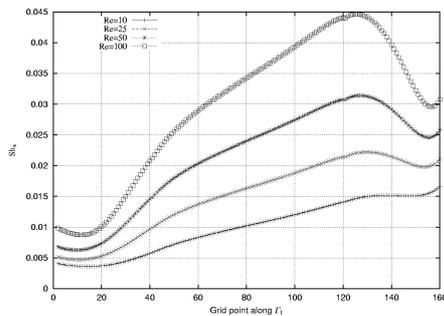


Fig. 2: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various Reynolds numbers (Flow condition is Couette flow)

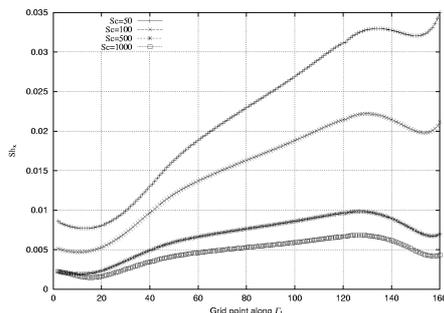


Fig. 3: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various Schmidt numbers (Flow condition is Couette flow)

垂直方向澱み線流 くぼみ内部の流れの様子は澱み線的位置によって変わり、それとともに Sh_x も変化してくる (Fig.5)。澱み線がレジスト開口部の中心にあると、くぼみ内部には左右対称の2つの内部渦が発生し、その影響で Sh_x も左右対称形になる。澱み線が中心からずれるにしたがって内部渦の流速は水平方向成分が強くなり、レジスト開口部からはずれるとほぼ水平方向流と同じ状態になる。澱み線的位置をレジスト開口部の中心から半分ずれたところに設定し、Re を大きくしていくと、レジスト上部流は次第にくぼみの内部に入り内部渦は2つに分断され、 Sh_x も山が2つ現れる (Fig.6)。同様な澱み線的位置で Sc を大きくしていくと、水平方向流の場合と

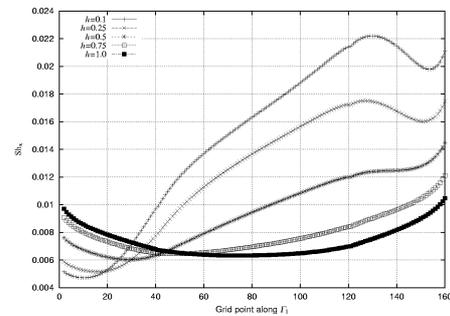


Fig. 4: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various thicknesses of photoresist (Flow condition is Couette flow)

同様に Sh_x は小さくなっていく (Fig.7)。 h も、大きくなるにつれて水平方向流の場合と同様に Sh_x は次第に左右対称形になる (Fig.8)。

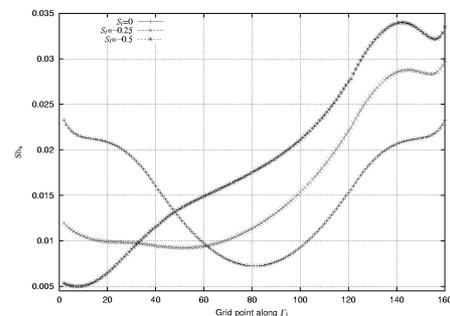


Fig. 5: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various locations of stagnation line (Flow condition is Stagnation flow)

3.2 くぼみ形状変化

流動条件を変えてくぼみ形状の変化を伴う計算を行い、出来上がるくぼみの形状の違いを調べた (Fig.9)。形状変化は、流れの時間スケールより溶解の時間スケールが大きいことより、準定常的に行った。形成されたくぼみの形状は、上部流によって引き起こされるくぼみ内部の流動状態によって大きく変化していることが分かる。水平方向流では下流側にずれたくぼみ形状となる。垂直方向流においては澱み線がレジスト開口部の中心にある場合は、左右対称の2つの内部渦の影響で中央部分が出張った左右対称形になっている。澱み線がずれていくにしたがって内部流が水平方向流の場合と似てくることから、くぼみの形状も水平方向流の場合に近づいていく。

4. まとめ

以上の結果、次のような知見を得た。

- 垂直方向澱み線流では、澱み線的位置によってくぼみ内部の流れは大きく変わる。澱み線がレジスト開口部からはずれたところでは、くぼみ内部の流れは

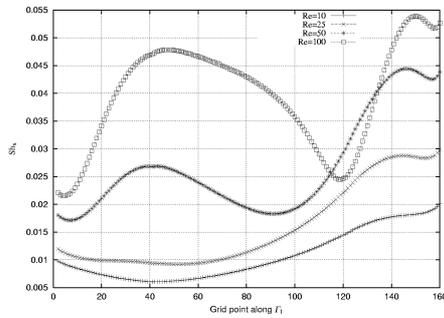


Fig. 6: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various Reynolds numbers (Flow condition is Stagnation flow)

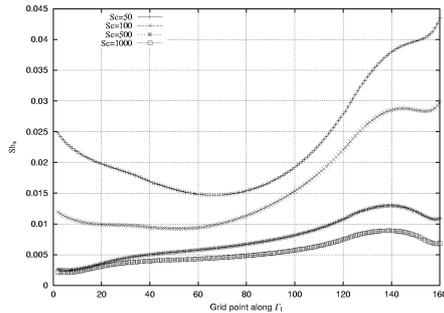


Fig. 7: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various Schmidt numbers (Flow condition is Stagnation flow)

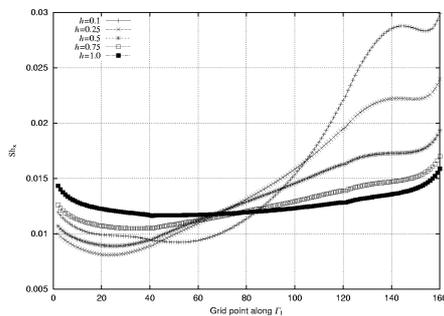


Fig. 8: Local Sherwood number distribution along the etching surface for various thicknesses of photoresist (Flow condition is Stagnation flow)

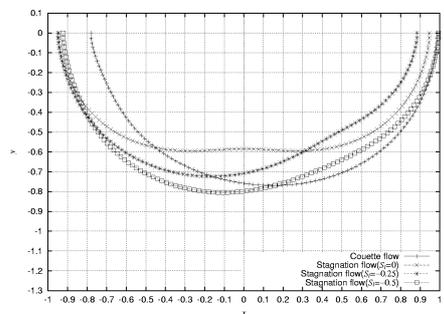


Fig. 9: Cavity wall profile (Comparison between Couette flow and Stagnation flow)

ほぼ水平方向クエット流の場合と一致する。これより、この2通りの流れを考えることで、スプレーエッチング時にくぼみ内部で発生する流れのパターンを再現できる。

- レイノルズ数が増大するにつれて、流速が大きくなるため、全般的に局所シャーウッド数の値は増加する。垂直方向流の場合は、レイノルズ数の増大によって上部流のくぼみ内部への流入が拡大し、流れの様相や局所シャーウッド数の分布は大きく変化する。
- シュミット数の増大によって、拡散項の影響が弱まるため、物質の拡散する力は小さくなる。また、相対的に移流項の影響が大きくなるため、物質濃度の分布は流動の影響を強く受けるようになる。
- レジストが厚くなるとくぼみ内部の流動は極めて小さくなり、物質濃度の分布は平準化される。
- 準定常なくぼみ形状の変化を伴った計算を行って形成されていくくぼみの形状は、その過程で生じるエッチング液の流動状態、特にレジスト上部の流動条件によって変動する内部渦の状態によって大きく変化する。

なお、本研究は凸版印刷株式会社エッチング要素技術プロジェクトの一環として行われた。本プロジェクトに参加する機会を与えてくださった凸版印刷株式会社エレクトロニクス研究所の皆様および東京農工大学高木隆司先生に感謝の意をこめてここに記す。

参考文献

1. Richard Alkire and Hariklia Deligianni, The Role of Mass Transport on Anisotropic Electrochemical Pattern Etching, J. Electrochem. Soc. Vol.135(1988) No.5 1093-1103
2. Chee Burm Shin and Demetre J. Economou, Effect of Transport and Reaction on the Shape Evolution of Cavities during Wet Chemical Etching, J. Electrochem. Soc. Vol.136(1989) No.7 1997-2004
3. Chee Burm Shin and Demetre J. Economou, Forced and Natural Convection Effects on the Shape Evolution of Cavities during Wet Chemical Etching, J. Electrochem. Soc. Vol.138(1991) No.2 527-538
4. C. H. Driesen, J. G. M. Kuerten and H. K. Kuiken, Mass transport in a partially covered fluid-filled cavity, Int. J. Heat Mass Transfer 43(2000) 1823-1835
5. Chia Shun Yih. FLUID MECHANICS A CONCISE INTRODUCTION TO THE THEORY (McGraw-Hill, Inc. 1969)