

半導体用フォトマスクの精度を向上させるスキャン型現像技術

先端半導体デバイスの製造を支える フォトマスクパターンの高精度化

映像の高画質化や3D（立体視）化など、半導体応用製品における技術の進化に伴い、デバイスパターンの更なる高精度化が求められています。これを実現するうえで、フォトマスクのパターン加工精度は非常に重要です。パターン加工は主に電子線を用いた露光工程と現像工程から成り、現像工程では、回路パターンの疎密に依存する寸法変動と、フォトマスク基板内でのパターン寸法の均一性を改善することが課題です。

東芝は、これらの課題を同時に解決するスキャン型現像技術 PGSD (Proximity Gap Suction Development) 方式を開発し、フォトマスクの量産展開を実現しました。

スキャン型現像技術開発の背景

半導体デバイスの回路パターンは、リソグラフィ装置を用いてフォトマスク上のパターンを縮小転写し形成します。そのため原版であるフォトマスクのパターン精度は、デバイスパターンの精度を決定するうえで非常に重要です。特に、フォトマスク製造における現像工程は、パターンの元になるレジスト（感光剤）パターンを形成する工程のため、重要とされています。

現像とは、露光されたレジストが可溶性に変化する性質を利用して、露光部のレジストだけを選択的に現像液に溶解させて取り除き、パターンを形成する工程を表します。現像工程における課題は、回路パターンの疎密差（被覆率差）によって発生する寸法変動を低減させること、及びフォトマスク基板内

でのパターン寸法の均一性を向上させることの二つです。従来、現像方式として現像液を基板上に盛るパドル式現像や現像液をスプレーするスプレー式現像などが主に用いられてきましたが、両者とも前述の課題に対して部分的な改善をもたらすだけで、課題全体を解決するには至りませんでした。

そこで東芝は、これらの課題を同時に解決することができるフォトマスク現像技術を開発しました。

従来の現像方式における課題

一つ目の課題である回路パターンの疎密差によって発生する寸法変動は、現像処理中の現像液の劣化により発生します。露光により可溶性となったレジストは、現像液が接触すると現像液中に溶解していきます。しかし、レジストの現像液への溶解が進むにつれ、現像

液の溶解性能が劣化して溶解速度が低下し、形成されるパターンの寸法変動が発生します。この現象を解消するためには、性能が劣化した現像液をフォトマスク上からいち早く除去するとともに、常に新鮮な現像液を供給して均一な溶解速度を維持する必要があります。

二つ目の課題であるフォトマスク基板内でのパターン寸法の均一性は、フォトマスク面上の各箇所における現像液の供給量の差によって左右されます。そのため、この現像液の供給量を厳密にそろえることが求められます。

従来のパドル式現像装置は、フォトマスク基板上に現像液を静止させることで現像を進行させるため、性能が劣化した現像液が滞留してしまい、パターンの疎密差が大きいフォトマスクの寸法精度が悪化する問題があります。一方、スプレー式現像装置は、フォトマスク基

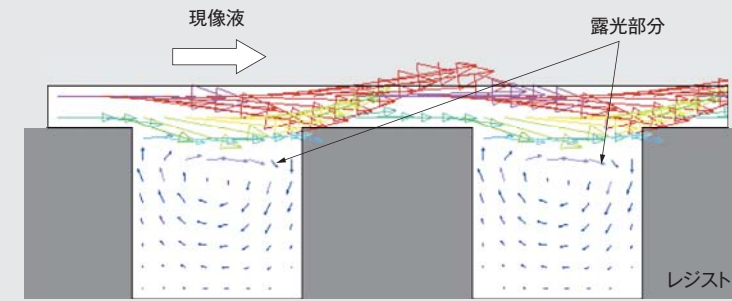


図2. パターン間の液流れシミュレーションの例 — パターン間に発生する渦流で性能が劣化した現像液を効率的に置換えて、パターンの疎密により生じる寸法変動を低減できることがわかりました。

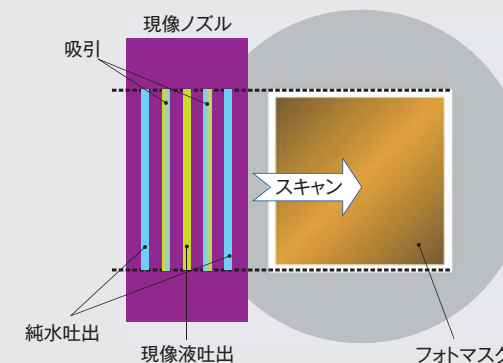


図3. 現像ノズルの構造（上視図）— ノズルスリットの長辺を各々フォトマスク辺と同じ長さとし、ノズルをスリットと垂直な方向に等速でスキャンできます。これにより現像液の供給量をフォトマスク面内でそろえることができるとなり、面内寸法の均一性が格段に向上しました。

板を回転させつつスプレーノズルで現像液を供給するため、遠心力で現像液の流れを発生させ、新鮮な現像液への置換えを促します。しかし、現像液の流れの下流側に性能が劣化した現像液が供給されることになり、フォトマスク基板内で現像液の供給量を厳密にそろえることが難しく、パターン寸法の均一性に問題がありました。

スキャン型現像技術の構成と効果

前述の課題を克服するため、当社は、PGSD方式と呼ぶスキャン型現像技術を開発しました。この方式の特徴は、スリット状の吸引口と現像液吐出口を持つ現像ノズルを使用することです（図1）。ノズルに吸引口と吐出口を同時に持たせることで、現像反応により生じる性能が劣化した現像液をフォトマ

スク基板上から即座に吸引及び除去しつつ、新鮮な現像液を供給し続けることができるようになりました。

更に、ノズル下面とフォトマスク基板面との距離（ギャップ）を、ノズル部材の加工・組立て誤差の限界である150 μmまで近接させた状態で現像処理を行う構造を実現しました。これにより、近接させない状態に比べて、ノズル下面とフォトマスク基板の間の現像液を約40倍の速さで流すことが可能になり、フォトマスク基板内のパターン間でも劣化した現像液の置換えの効率を上げることができるようになりました。現像液の置換えが難しいと予想されるパターン間での流れを、モンテカルロ法を用いてシミュレーションしたところ、パターン間で渦流が発生し、この渦流によるかはん効果で性能が劣化した現像液を効率的に置換えてくれることがわかり

ました（図2）。この技術により回路パターンの疎密差によって発生する寸法変動を他方式の装置に比べて2/5まで低減できました。

また、各スリットの長さをフォトマスク辺と同じ長さとして、ノズルをスリット長辺と垂直な方向にスキャンできる構造としました（図3）。これにより、吐出口で現像液の供給量をマスク縦方向にそろえながらノズルを等速でスキャンすることで、マスク横方向にもそろえることができ、現像液の供給量をフォトマスク面内でそろえることが可能となりました。その結果、フォトマスク基板内でのパターン寸法の均一性を他方式の装置に比べて1/6（面内寸法誤差0.11 nmに相当）と大幅に低減できました。この装置を実用化することで、回路パターン線幅19 nmのメモリ製造に使用されるフォトマスクに要求される精度を達成しました。

今後の展望

ここで述べたフォトマスク現像技術は、先端半導体デバイス製造の一翼を担ってきました。今後、回路線幅の微細化に伴う露光波長の限界から、多様化することが予想されるリソグラフィ手法（ナノインプリントや、EUV (Extreme Ultraviolet) リソグラフィなど）でも、マスク製造技術は更に重要な位置を占めると予想されます。

当社は、マスク製造技術の開発を通して、世界の半導体製品及び半導体応用製品の発展に貢献していきます。

桜井 秀昭

研究開発センター
デバイスプロセス開発センター 研究主務