

## 第1章 露光装置

### 1-1 はじめに

450mm ウェーハは、300mm ウェーハに対して面積で 225%になり、生産性の大きな改善が期待されているが、露光装置はウェーハをショット単位で露光処理するため、ウェーハサイズの大口径化だけでは、大きな改善は期待できない。

大口径化による効果を簡単に計算してみる。それぞれのウェーハサイズに対するショット数は、例えば下図に示すように、300mm ウェーハで 98 ショット、450mm ウェーハで 208 ショットとする。ここで、ショット単位の処理時間(露光とステージの加減速の時間)とウェーハ交換に関わる時間が等しいと仮定すると、300mm でスループットを 200 枚とした場合、450mm では 110 枚に相当する。スループットは 300mm ウェーハに対して 55%に減少するが、これを全ショット数で比較すると、115%に生産性が向上することになる。

本章では450mm化における露光装置の技術的な課題をまとめる。450mm化が生産性の向上であるので、露光装置に対しては上記見積もり以上のスループットが期待される。1つはこの要求に対応するために、スループット改善を行う場合の課題についてまとめる。もう1点は、ウェーハサイズが大型化することで想定される懸念と、それに対する露光装置側の対応をまとめる。

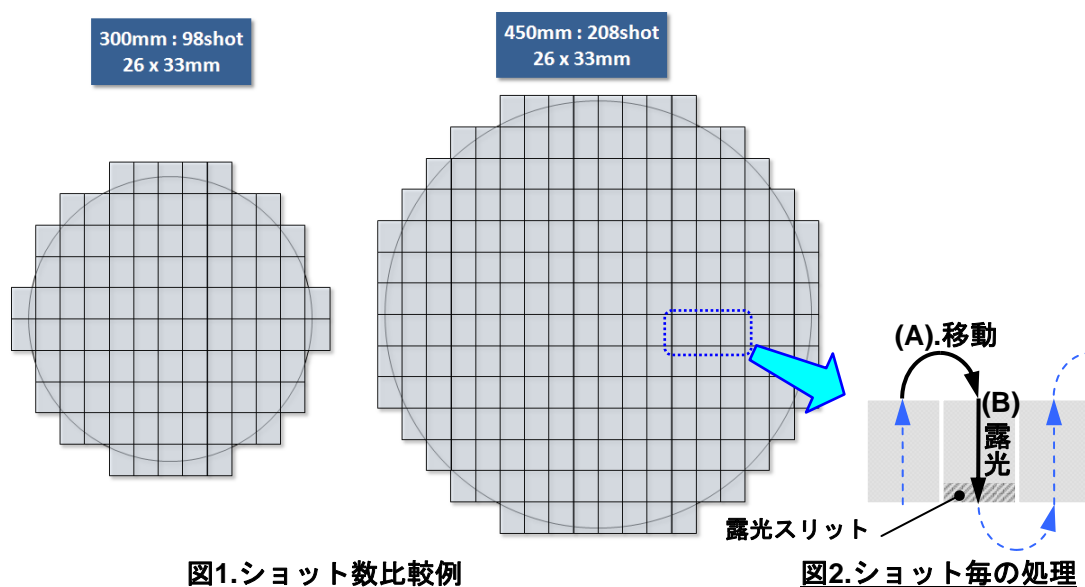


図1.ショット数比較例

図2.ショット毎の処理

### 1-2 スループット・アップに向けての課題と対策

#### 1-2-1 ステージ加速度・速度アップ

露光装置のスループット向上のためには、ショット毎に発生するショット間の移動時間(A)、露光時間(B)の短縮を図らなければならない。(図2)

(A).ショット間移動時間の短縮には、ステージ加速度の向上が必要だが、ウェーハの大口径

化に伴って一般的にはステージの質量が増えるのが大きな課題である。軽量化設計の他、アクチュエータの大出力・高効率化、冷却系の開発などを進めてゆかねばならない。

(B).ショット毎の走査露光時間は、レジストの感度が十分に高い場合にはステージ最高速度アップで短縮できる。また液浸露光の場合には、高速走査に耐える液浸水の管理法も必要となる。

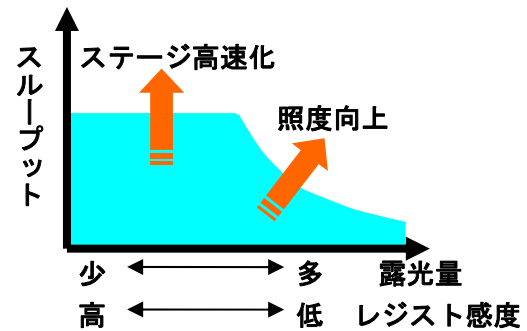


図3.レジスト感度とスループット

### 1-2-2 レーザ・パワー・アップ

レジスト感度が低い場合には、必要な露光量を与えるためにステージは走査速度を落とさねばならない。一方、一般的にはレジスト感度と、解像度と、LWR(Line Width Roughness)との間にはトレード・オフの関係があると言われており、将来のレジスト感度向上に過度な期待をすることはできない。このため、光源(レーザー)の出力向上や光学系の効率化など、照度向上のための開発を進めてゆく必要がある。

### 1-2-3 結像光学系熱収差、レチクル熱膨張

スループット向上のため、単位時間により多くのエネルギーをレジストに注入した場合、結像光学系、レチクル、ウェーハに対しても、熱的な負荷を増やすこととなる。

結像系において、注入パワーの増加は、収差の変化の原因となる。また、レチクルの場合は、パターン面形状の変化を招き、ひいては像のフォーカシング精度や、オーバーレイ精度の劣化に繋がる。

これらを回避するため、収差や像面形状のキャリブレーション/補正方法の拡充、結像系の透過率の改善、部材の保持方法/冷却方法などの改良が必要となる。

### 1-2-4 レチクル・サイズ見直し

走査型露光装置の場合、露光の前後でステージの加減速が入るため、この回数を減らすことができれば生産性の向上が可能になる。現在のレチクルの大きさは6”であるが、これを例えば9”レチクルに変更し、スリット長は26mmに固定したまま走査方向だけ1.5倍に拡大することができれば、ショット数が208ショットから152ショットとなり、450mmでのスループットが110枚から150枚に改善する。これを、従来のショット数に換算した場合、300mmウェーハに対して、生産性が170%に向上することができる。露光装置の生産性向上に対しては、極めて効果が大きいレチクルサイズの変更であるが、レチクルの描画範囲が1.5倍となるため、描画時間が延びる問題や、またレチクル製造に関係する装置も新規となるため、採用するには業界のコンセンサスの形成が必要となる。

## 1-3 ウェーハ径拡大に対する課題と対策

### 1-3-1 装置、ウェーハ・ステージのサイズ・アップ

ウェーハ径の拡大に伴って、ウェーハ・ステージ本体のサイズ、移動範囲が拡大するのみな

らず、アクチュエータの大型化、冷却システム等を初めとする補機類の大型化も免れない。

これらをまとめた装置形状は、コータ・デベロッパと組み合わせたレイアウト、ウェーハやレチクルの工場内搬送システムとの整合性などに鑑みて最適化する必要があるが、フットプリントについてはウェーハ面積の拡大率(2.25 倍)を超えないというのが一つの目安であろう。

### 1-3-2 オーバーレイ精度

近年重ね合わせ精度の向上への要求が非常に大きくなり、Complete shot のみならず、ウェーハ周辺の欠けショットを含めた改善が必要になっている。ウェーハサイズが 450mm と大型化することで、各プロセスにおいて、ウェーハ内の温度の均一性の維持が難しくなり、これまで以上にウェーハ周辺のショット形状の変形が増大する可能性が大きい。欠けショット数の全体ショット数に対する比率は小さくなるが、欠けショット数自身は増えるため、露光装置は、これまで以上に変形した周辺ショット形状に合わせて露光ショットの形状を補正する機能の必要性が増大する。

ウェーハの大型化は、ショット形状の変形だけでなく、ウェーハのそり量が大きくなることも考えられる。そり量の大きいウェーハに対しても、確実に吸着できるウエハチャックの開発が必要となる。また特にウェーハ周辺のショットにおいては、平面度も悪化することが想定される。大型化したステージで、これまで以上の駆動ストロークを確保したフォーカス・チルトの制御を高速に行うことが要求される。

## 第 2 章 450mm コータ／デベロッパ

### 2-1 コータ／デベロッパの一般技術動向

コータ／デベロッパの基本工程は、ウェーハ基板上に感光性材料であるフォトレジスト(以下、レジストと表記)膜を形成する塗布膜形成プロセス、露光プロセスによってフォトレジスト膜内に形成されたイメージ像を熱処理によってコントラストを増加させるプロセスである Post Exposure Bake (以下、PEB と表記) プロセス、そのイメージ像を現像液により溶解させ、所望のレジストパターン形成を行う現像プロセスからなる。

塗布膜形成プロセスにおいては、ウェーハ基板上中心部分にレジスト液を滴下し、基板を回転することで塗布膜を形成するスピン塗布技術が用いられているが、引き続き均一性の確保、処理時間、消費量コントロールの観点から使われると考えられる。

次の基本工程である PEB プロセスにおいては、同一レジストであったとしても使用される PEB 温度が多様であるために使用されるプロセス毎に PEB 温度変更が要求される。その温度変更要求される時間は、装置の処理能力に影響するために、潜熱の小さいホットプレート形状の熱板が用いられてきており、今後も引き続き使用されるものと予想される。

次の現像プロセスにおいては、CD 線幅均一性の改善も課題のひとつであるが、より現像後欠陥低減に対しての要求が強くなってきている。

これらの基本工程は、今後想定されている次世代露光技術の導入に対しても、大きくは変

化することなく用いられると考えられ、コータ／デベロッパとしてはこれら基本工程のプロセス性能の向上や処理能力向上を主としたコスト低減の開発が行われていく。

また、大多数のコータ／デベロッパは、露光装置と接続（インライン）されて、コータ（レジスト塗布）→露光→PEB→デベロッパ（Wet 現像）の一貫したプロセス装置として提供される。光（レーザー）露光光源方式の露光装置の高生産性化が進む中、インラインされたコータ／デベロッパにおいても露光装置に同等以上の高い生産性が要求されている。生産性を上げるためにはより多くのプロセスユニットの搭載が必要となり、装置の大型化、複雑化が進んできた。こうした傾向の対策として各プロセスユニットの多段化が進められており、最新のコータ／デベロッパは、コータユニット／デベロッパユニットを高さ方向に複数搭載可能となっている。また、コータは露光機直前の装置という位置づけであるため、露光機内の汚染やウェーハの汚染を引き起こさないようにするために、清浄なウェーハを供給する機能もコータ／デベロッパに要求されてきており、液浸プロセスでは露光中ウェーハ上に水が接触するために、ウェーハ外周部も含めた清浄度の維持が課題である。また、ウェーハ裏面の汚染も露光機内での Defocus・OL エラーの要因となり得るため、露光機直前での洗浄機構の必要性も指摘されている。

上記で述べたコータ／デベロッパの基本工程、およびそれら工程における必要技術は、450mm でも大きく変わることは無いと想定されるが、大口径化に伴う課題がいくつか見えてきており、それらを以下に述べる。

## 2-2 コータ／デベロッパの 450mm 化における課題

塗布膜形成プロセスにおいては、ウェーハ径の増大に伴い基板回転時に起こるウェーハエッジ近傍の乱流が、膜厚均一性を乱す原因となり得る（図4）。その為、膜厚を決める為の回転数領域に制限が発生する為、レジスト粘度等の最適化、プロセスの最適化が必要となる。

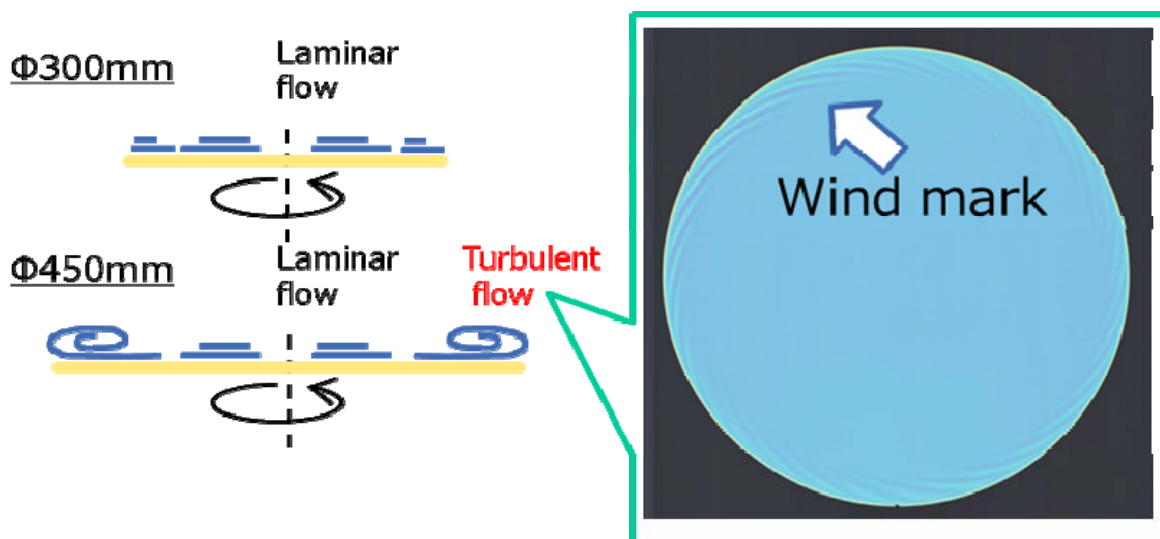


図4. 膜厚均一性を乱すウェーハエッジ近傍の乱流

現像後欠陥低減としては、装置としての課題であるパーティクル低減が大きな課題であり、従来以上に装置内での気流制御やウェーハ搬送制御が必要になってきている。同様に、液中パーティクルによる欠陥、現像欠陥低減に対しても、450mm プロセスが用いられる世代においては、今まで以上にコータ／デベロッパが担う役割は強くなってきている。これは昨今レジスト材料に要求される項目が高度化し、レジスト単体では目標とする欠陥密度までの低減が困難になってきたために、レジスト材料の特性に適したコータ／デベロッパ技術開発が必要になってきたため、今後の微細化に伴って、このような傾向はさらに強まっていくと考えられる。

PEB プロセスに代表されるベークプロセスにおいては、面積・厚みともに増大したウェーハを精度高く、且つ急速に加熱冷却する機構が必要となるため、基本的には潜熱の大きなホットプレートが必要となるが、一方で高速昇降温性とトレードオフになる点が大きな課題となる。

また、現時点においてはウェーハ全面を露光できる露光装置が利用できない為、コータ／デベロッパプロセスにおいてキーとなる、CD 均一性、現像後欠陥低減に向けての実験・検証インフラが整っていないことも大きな課題である。

### 第3章 マスク描画装置

マスク描画装置で作られたマスクは、ウェーハ上をスキャンしながらウェーハ全面を加工するため、マスク自体はウェーハ口径に直接関係しない。このため 450mm ウェーハ化による新しい仕様が追加されない限り、装置への設計には直接の大きな影響は無いと言える。但し ITRS2012 年によると 450mm ウェーハの量産は 2018 年であり、Flash では 12nm half pitch, DRAM、MPU では 15-16nm half pitch のデザインルールになる。マスクデータ量が膨大になりスループットの改善を求められ、また微細化に伴い CD 精度向上と Overlay などの改善も要求され、従来に増して装置開発の困難度が増すのは避けられない状況である。

最近の先端半導体の市場で最も高い伸びを期待されているスマートフォンやメディア・タブレットなどではデュアルコアからクアッドコアへのマルチコア化の流れや内蔵するGPUの高性能化・大規模化、また無線通信用ICの内臓化などチップサイズが大型化する傾向がある。また先端プロセス技術を応用する機器では、機能の高性能化とともに低消費電力化が非常に重要視されるようになってきている。従来のCMOSの構造のままではゲートリーク電流が増大するため、high k Metal gate などゲート材料の変更が必須になってきている。IC の性能向上のためトランジスタに歪を与えていたが、性能向上も限界に達し、従来のプレーナーな CMOS 構造から Fin FET や Tri-gate など 3 次元的な構造への変更も必要になり、従来以上に微細化の実現が難しくなっている。

リソグラフィーのソリューションでは、ArF 液浸+Multiple Patterning や EUV+higherNA、EUVL+Double Patterning, Litho+DSA など新しいソリューションが議論されるようになってきた。これらも微細化のプロセス面での困難度が増す方向である。

微細化の困難度が増しているため、IC のチップサイズ縮小が計画通り進みにくくなるため、レチクルのサイズを現行の 6×6 インチ角から 9×9 インチ角に拡大したいとの提案もされるよう

になってきた。2012 年の ITRS のリソグラフィーの Long Term Challenge にもレチクルサイズの見直しが記載されている。未だ多くの半導体メーカーからの要求にはなっていないが、レチクルのサイズ変更はマスク描画装置の大きな設計変更が必要になり、またレチクルあたりの描画時間が増大することが予想され、変更には業界のコンセンサスが必要と思われる。

微細化による解像度の向上も難しくなるため、レチクルの倍率を現在の 4 倍体から 8 倍体にしたという提案もなされるようになり、2012 年の ITRS のリソグラフィーの Long Term Challenge にもレチクル倍率の見直しも記載されている。8 倍体化は精度向上には寄与するが、ウェーハ製造のスループットが懸念されるためこの件も業界のコンセンサスが必要と思われる。

以上