

半導体の微細化をけん引する 超精密フォーカス計測技術

1 nmのフォーカスずれを計測し リソグラフィ装置を超精密に管理

NAND型フラッシュメモリなど先端半導体の微細化が進み、このためにリソグラフィ装置を精密に管理することの重要性がますます高まっています。リソグラフィ装置は、写真技術を応用して、原版（フォトマスク）の図柄をウェーハの上に転写する巨大な縮小投影装置です。しかし、投影像を結ぶことができる焦点（フォーカス）の範囲（DOF：Depth of Focus）は、わずか0.1 μ m程度しかありません。そこで、フォーカスずれ（デフォーカス）を超精密に計測してウェーハ表面の高さを管理することが求められています。

東芝は、フォーカス計測精度を極限まで突き詰め、1 nmの分解能で高速にフォーカスずれを計測する技術を開発しました。

フォーカス計測技術 開発の背景

半導体の微細化に伴い、1999年頃からDOFが急激に狭くなってきました。しかし、当時の計測精度は微細化のスピードに追いつけず、近い将来、微細化への大きな障害となることが予想されていました。

そこで東芝は、計測精度を従来の1/50である1 nmとすることを目指して、まったく新しい理論に基づくフォーカス計測技術の開発を始めました。

非対称な二光束干渉

透明基板に細線が周期的に並ぶ光学素子を回折格子と呼びます。プリズム

と同じように、白色光を7色に分光するときに用いられます。また、回折格子にレーザなどの単色光を垂直に当てると、背後のスクリーンには、複数の回折光が対称に分布します（図1）。

リソグラフィ装置でも、これと同じことが実現できます。フォトマスクに回折格子パターンを配置すると、投影レンズの瞳には、回折光が対称に分布します。回折光の間隔は、入射光の波長に比例し、細線の周期に反比例します。したがって、適当な周期の回折格子を使えば、投影レンズの瞳に0次光とその両側に二つの1次光だけが分布するようにできます。

ここで、一方の1次光が存在しない場合を考えます。投影レンズを通過した

0次光ともう一方の1次光がウェーハ近くで干渉して、斜めに傾いた直線状の定在波を作ります（図2）。ウェーハ表面に感光剤を塗布すれば、この定在波に沿った格子パターンが結像されます。定在波が傾いているため、この格子パターンの像はウェーハの高さに比例して横方向に移動します。つまり、ウェーハの高さの変位をパターン像の横ずれに線形変換できます。

位相シフト回折格子

当社では、このような一方の1次光を消滅させる回折格子パターンの構造を発見し、いち早くリソグラフィ装置のフォーカス計測に活用することに成功しました。

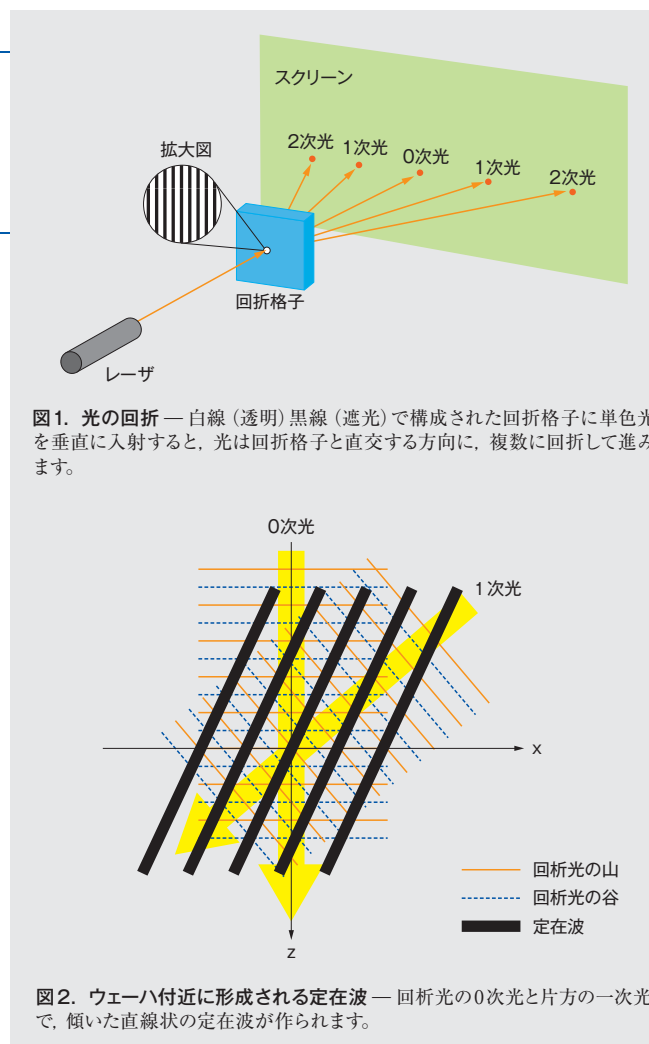


図1. 光の回折 — 白線（透明）黒線（遮光）で構成された回折格子に単色光を垂直に入射すると、光は回折格子と直交する方向に、複数の回折して進みます。

図2. ウェーハ付近に形成される定在波 — 回折光の0次光と片方の一次光で、傾いた直線状の定在波が作られます。

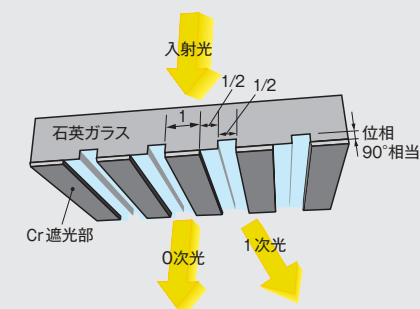


図3. 位相シフト回折格子の構造 — 遮光部と透過部の比率を1:1に調整し、更に透過部の1/2の幅を、透過光の位相が90°遅れるような深さに掘り込んだ構造をしています。

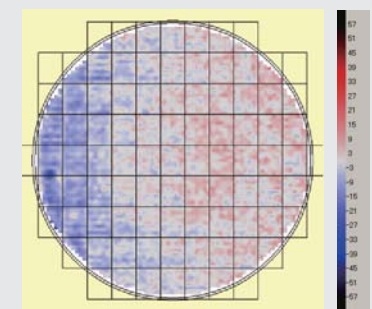


図5. 300 mmウェーハ全面でのフォーカス性能の計測例 — 最先端のリソグラフィ装置では、フォーカスのばらつきは約20 nmに抑えられています。

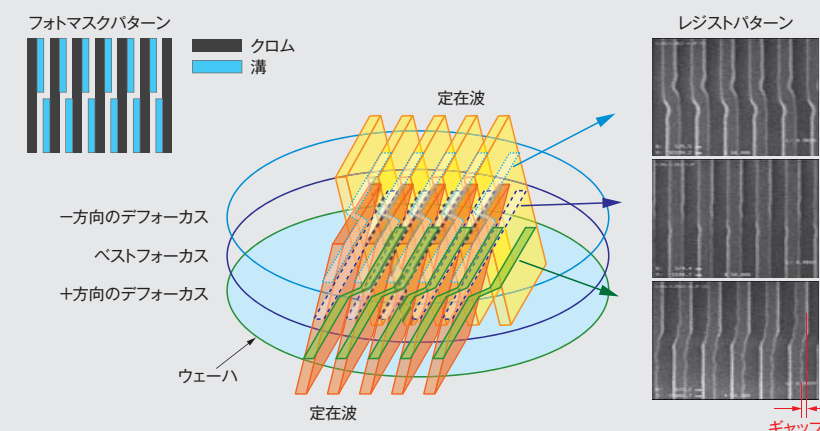


図4. フォーカス計測の原理図 — フォトマスクに反対称な二つの位相シフト回折格子を隣り合わせて配置すると、ウェーハ上に転写されたレジストパターンにはデフォーカス量に比例したギャップが発生します。このギャップからデフォーカス量が正確に計測できます。

この回折格子では、フォトマスクに、透過部とクロム（Cr）の遮光部が同じ線幅で並び、透過部の1/2の幅は透過光の位相が90°遅れるような深さの溝を掘ってあります（図3）。この回折格子に光が入射すると、回折の原理に従って、二つある1次光のうち一方が消滅します。この特殊なパターンを“位相シフト回折格子”と呼びます。

フォーカス計測方法

この位相シフト回折格子パターンを用いたフォーカス計測方法について、図4に示す例を用いて説明します。

フォトマスクには、反対称な位相シフト回折格子を隣り合わせて配置します。このフォトマスクを用いて、ウェーハの

高さを徐々に変えてマスクパターンをウェーハに転写し、形成されたレジストパターンを、電子顕微鏡を用いて撮影します。ウェーハの高さがちょうどベストフォーカスと一致したときにレジストパターンは直線になり、デフォーカスのときには図の上半分と下半分とでギャップが発生します。このギャップを高精度に計測し、定在波の傾きの2倍に相当する計測感度係数との積をとれば、デフォーカス量を求めることができます。

実際の計測には、リソグラフィ工程の検査で広く使われているオーバレイ検査装置が活用できます。

一般的なオーバレイ検査装置の計測再現性は約0.5 nmで、最適条件下

での計測感度係数は約1.7ですので、フォーカス計測精度は約0.85 nmとなります。

ウェーハ全面のフォーカス計測

露光領域全体に位相シフト回折格子パターンを配置したフォトマスクを用いて、300 mmウェーハの全面にこのパターンを転写し、フォーカスずれを計測します。計測点はウェーハ全面で約15,000点もありますが、最新のオーバレイ検査装置を用いれば、約3時間ですべての計測が完了します。この計測結果から、リソグラフィ装置のフォーカス性能だけでなく、ウェーハの表面形状や投影レンズの収差なども同時に評価できます。従来特に、ウェーハをステージから離脱するときに動作するリフトピンの周辺や、外周部付近で、フォーカスずれが多発する傾向がありました。これらフォーカスずれを精密に計測し、エラー要因の一つひとつを解決することで、現在では、フォーカスのばらつきが約20 nmと極めて平坦なフォーカス性能を実現しています（図5）。

今後の展望

ここで述べたフォーカス計測技術を、既に当社のリソグラフィ装置に適用しており、他社も活用しています。

当社は、超精密な計測技術の開発を通して、世界のリソグラフィ技術向上に貢献していきます。

野村 博

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