

論文の内容の要旨

論文題目 光学的誤差要因解析に基づく集積回路パターン位置検出のロバスト性向上に関する研究

氏名 中村(菅谷)綾子

現代社会を語る上でなくてはならないものの一つに、半導体集積回路 (Large Scale Integration: LSI) がある。LSIは水平方向への高集積化である微細化を追及しつつ、垂直方向への高集積化である配線の多層化が図られる。LSIのパターン形成には半導体露光装置が使われてきたが、垂直方向の重ね合わせは、半導体露光装置に搭載されたウエハライメント系の位置検出結果に基づいて行われる。従ってLSIが電子回路として正常に機能するために、ウエハライメント系には微細化に対応した精度でパターンの位置を検出することが求められる。

ウエハライメント計測は、重ね合わされる層の半導体用プロセス処理を経たパターンの位置を検出する。プロセス処理は多種多様であり、さらにパターンの形状の観点において変動する。特にLSIの製造に不可欠な平坦化技術はパターン形状を大きく変化させ、ウエハ毎やショット毎のパターン形状ばらつきも大きい。ウエハライメント系は、このようなプロセス変動に対し高いロバスト性をもつことが要求される。本論文は、光学的な誤差要因解析を理論的に行うことにより開発した、ウエハのプロセス変動に対し高ロバスト性をもつ検出手法に関するものである。

まず光学像の歪が位置検出誤差の要因となることを、物理的に理解するための考察を行う。検出誤差への見通しをよくするため、誤差要因を振幅誤差と位相誤差に分類することを提案する。そして理論解析のために本分類に基づいた解析式を導入し、本研究で注目した光学像歪みに本解析を用いることで、光学系の振幅誤差と位相誤差の計測が可能になる手法を提案する。シミュレーションにより本計測法の有効性を確認した結果、十分な計測

精度を示した。さらに振幅誤差と光学像の歪みの理論的考察により、回折光の残存した虚数成分により光学像の歪が生じることが判明した。

次に振幅誤差が位置検出誤差を引き起こす解釈を得るため、各振幅誤差の要因抽出および解析を行う。光学系の振幅誤差は光学系の瞳における光軸に非対称な振幅分布であり、開口絞りの位置ずれや振幅を不均一にさせる要因がある場合に生じる。この振幅誤差による位置検出誤差は、本研究で注目する光学像歪みを用いることで理論的解釈を与えることができた。さらに光学系の振幅誤差およびパターン形状誤差による位置検出誤差の解析を行い、パターンの位相差やデューティー比に対する位置検出誤差の特徴を明らかにした。

得られたこれらの理論的見解から、振幅誤差による位置検出誤差を低減する手法を提案する。振幅誤差の生じている回折光と0次光との位相差を $\pi/2$ とすると、振幅誤差による像の非対称性をなくせることを明らかにする。そしてこれを、検出フォーカス位置の最適化で行う手法を提案する。またシミュレーションと実験により、本手法の有効性を検証する。効果が大きいもので検出誤差を90%低減でき、プロセス変動に対して高ロバスト性をもつ検出法が開発できた。

本手法は、市場に投入されている半導体露光装置に適用されている。LSIの製造に用いられる装置であるため、多種多様なプロセスに適用可能であることが望ましい。低コヒーレンスの照明条件における、デフォーカスによる像コントラストの変化を理論的に明らかにすることで、本手法は計測パターンの構造変化、すなわちデューティー比と位相差に関し高ロバスト性をもつ手法であることを示す。そして生産現場で生じるウエハ内やショット毎のパターン形状ばらつきに対しても、高ロバスト性をもつ手法であることを示す。

本研究では、従来各誤差要因に対して個別にかつシミュレーションと実験を中心に議論されてきた位置検出誤差に関して、光学的な観点において理論解析に基づく議論を行う。それにより物理的な見通しを得、プロセス変動に対して高いロバスト性をもった検出法を提案する。本研究は微細化を続けるLSI製造において、パターン位置検出の高精度化に貢献するものである。