

論文審査の結果の要旨

氏名 中村（菅谷） 綾子

本論文は、「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」と題し、半導体製造工程におけるリソグラフィプロセスに関し、集積回路パターンの重ね合わせ精度向上に関する研究成果を纏めたもので、全文7章よりなる。

第1章は、序論であり、本研究の背景について議論するとともに本論文の構成について述べている。

第2章では、ウェハアライメント装置に関する従来技術の変遷について述べるとともに、集積回路パターンの重ね合わせ精度の劣化をもたらすパターン検出誤差に関し、計測器に起因する誤差 TIS(Tool-Induced Shift)と計測対象に起因する誤差 WIS(Wafer-Induced Shift)といった従来広く用いられている外面的な誤差要因分類では、本質的な重ね合わせ精度向上の指針として不適切であることを指摘し、本研究のとるべき方向性を提示している。

第3章では、計測誤差を光学的な観点から見直し、光学像の歪みがパターン位置検出誤差の要因になることを指摘し、本質的な誤差要因を表現できる新しい誤差分類として光の振幅誤差と位相誤差に分類する手法を提案している。新しい誤差分類の観点に基づき、光学像の歪みの表現手段としてパターンエッジに対応する像の非対称性に着目した光学理論解析を行い、光学系に起因する振幅誤差と位相誤差について、特に振幅誤差が光学系で歪みを生じる原因となることを理論的に検証している。

第4章では、振幅誤差が位置検出誤差を引き起こす原因を探るため、振幅誤差を生じる要因の抽出を行うとともに、前章で展開した光学理論解析に基づき、振幅誤差による位置検出誤差発生メカニズムを明らかにしている。光学系の振幅誤差要因は、光学系の瞳における光軸に非対称な振幅分布であり、検出器に入射する光束の瞳内輝度分布が非対称となるために生じる誤差である。そして、低位相差パターンにおける位置検出精度の低下は振幅誤差による像の非対象性に起因するものであることを理論的に示している。これは重要な知見である。

第5章では、前章で明らかにした振幅誤差による位置検出誤差発生メカニズムの解析結果に基づき、光学系の振幅誤差や低位相差パターン誤差、パターン形状誤差の大幅な低減を可能にする新たな位置検出手法として、検出フォーカス位置最適化手法である FFO (Field Image Alignment Focus Optimization) を提案している。FFO は、検出フォーカス位置を0次光とn次光との位相差が $\pi/2$ になるように設定することにより、振幅誤差の影響による像の非対称性をなくす手法であり、特に大きな位置検出誤差を発生する可能性のある低位相差パターンの位置検出誤差を有効に低減することができる。シミュレーションと実験の両方の評価により、本方式が極めて有効であることを実証している。これは、本技術を実用化する上で重要な成果である。

第6章では、前章で提案した FFO 方式のパターン位置検出方式を半導体露光装置に搭載するための機能を、高位相差パターンから低位相差パターンにわたるロバスト性を確保する観点から最適化した結果について述べている。FFO では、高周波成分(AHF)が最大となるデフォーカス位置を最適位置検出フォーカス位置 Z_{OFF} とすることで、WIS の低減とパターンからのコントラスト向上を同時に達成できることをシミュレーションと実験から確認している。商品機に搭載したときの Z_{OFF} 決定シーケンスとして、フォーカスを振りながら FIA で画像を取得し、その取得した画像から波形の特定の高周波数成分の振幅 AHF とフォーカスとの関係を求め、AHF が最大になるフォーカス位置を最適位置としてパターン位置検出を行う手法について述べている。さらに、スループットを向上する手法も提案し、本技術を実用技術として確立することにより、最新機種露光装置で採用されるに至ったことを述べている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、集積回路の微細化において最大の課題の一つである高精度ウェハアライメント技術において、製造プロセス変動に対するロバスト性向上に関して、光学的な観点から新たなパターン位置検出誤差分類手法を提案するとともに、誤差発生要因を統一的に解釈できる光学理論を展開することにより、ロバスト性の高いウェハアライメント手法(FFO方式)を提案し、且つ商品における実用化を達成した研究であり、半導体電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認められる。