HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Optical Amplifying Aberration Measurement for Semiconductor Optical Aligner [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	諏訪, 恭一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第6955号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58987
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kyoichi_Suwa_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　諏訪 恭一

審査担当者　主　査　特任教授　馬場 直志
副　査　特任教授　武藤 俊一
副　査　教　授　森田 隆二

学位論文題名

Study on Optical Amplifying Aberration Measurement for Semiconductor Optical Aligner
(半導体露光装置に於ける光学増幅型収差計測の研究)

半導体露光装置における微細化の進展とともに投影レンズの解像力は急速に高まり、レンズを搭載した露光機本体でレンズの各種収差計測が必要となっている。また、重ね合わせに必要な露光装置の限界位置ずれ精度を測定する必要性もある。レンズの収差計測と露光した微細線幅均一性計測は、従来から、走査型電子顕微鏡を使用して、レジスト像で凹凸を繰り返す周期構造線群の線幅変化量を計測し求めていた。しかし、処理時間の長さと電子線によるレジストのダメージが問題となっていた。また露光装置本体の重ね合わせ限界精度計測は、計測に使用する光学センサーよりも一桁高精度であることが要望されていた。

このような研究背景のもとで、レンズの球面収差、コマ収差、非点収差、歪曲収差、像面湾曲に関して大幅な計測精度向上を目的とした計測手法の研究を行っている。さらに、露光装置本体の重ね合わせ限界精度計測の向上を並行して研究し、その成果を歪曲収差計測へ適用している。本研究は、光学像を強度増幅する手法と光学像を位置増幅する手法とに分かれている。

第 1 章では、本研究に至る背景と問題点を叙述し、次いで光学像増幅の概念、強度増幅と位置増幅の差を述べている。

第 2 章では、光学像強度増幅を用いるレンズコマ収差計測手法を考察している。ここで、世界最初に開発した実験手法により、コマ収差原因の滲み像波形の左右に現れる物体像が、空間的コヒーレンスの良い光源にて明視野背景光で強度増幅される事象を発見している。次に、左右像強度の差をコマ収差量とするコマ収差計測を開発している。フーリエ結像論を用いて、マスク上の単一開口のコマ収差影響の像面結像を計算し、本計測の特徴である左右空間像端に現れる非対称なピーク像の強度最大値を導出している。コマ収差量は左右当該ピーク強度の差分量であることが示されている。コマ収差計測の実用に使われる 5 本線群の線幅比率の最適解は比率 0.5 であり、その感度は単一開口より高感度であることが明らかにされている。

第 3 章では、光学位置増幅を用いるレンズ最適焦点位置計測手法について述べられている。楔物体の露光レンズによる結像では、楔先端位置がその幅よりも焦点変化で非線形に数十倍で位置変化する量となるが、その最初の実例報告を行っている。さらに、周期構造楔からレンズに向かう空間周波数がレンズの有限開口で限定されて再結像するときの楔の位置増幅について考究されている。コヒーレント照明下で楔先端位置の変化量は、余弦関数となることが解明されている。また、半導体回路線幅を最適に露光する露光量で、楔位置の変化が最大となる現象の解明と増幅率計算を行っている。

第 4 章では、光学位置増幅を用いる露光した微細線幅の計測手法を述べている。微小角度で同質の群線を 2 回露光した楔を作成して、線幅変化を数十倍増幅する手法の研究を行っている。本方式は、幾何学交差角度により線幅が長さに増幅される拡大手法である。線幅自動光計測の実例と結果について述べている。

第 5 章では、光学位置増幅を用いて露光装置の位置ずれ計測手法について述べている。一般に、モアレ計測は対象物に投影した縞が物体の高低差で変形されて空間に作成され、その変形縞をデジタルセンサーにて計測している。この時に何らかの手段で、投影モアレ縞を左右に振動させて極性を求めている。しかしながら、露光機の位置ずれ計測に繰り込むモアレ手法は、レジスト像にモアレ効果を入れ込む必要があり、また位置の正負極性をモアレ像に繰り込む必要もあり、モアレ計測分野の難問であった。本研究では、この問題解決のために、モアレ交差角度がグループごとに角度の正負符号を代える新たな Alternative Directional Moire 法を提示している。モアレ計測誤差の厳密解を求めると同時に、実験によりモアレ倍率と精度向上が比例することを確認している。

第 6 章では、4 分野で得られた研究成果がまとめられている。

以上、本研究では、1) 新たな光学計測手法である光学像の強度増幅によりコマ収差の計測に成功、2) 光学像の位置増幅により最適焦点位置計測に成功、3) 光学像の位置増幅で線幅計測に成功、4) 光学像の位置増幅で位置ずれ計測に成功している。これらの研究成果は、レンズ収差計測における新しい高精度計測の可能性を示し、半導体製造分野での計測時間短縮に大きく貢献し、最先端半導体の線幅 20 ナノメータ計測等に応用でき、半導体の超微細化を対象とする応用物理学、計測工学の各分野への適応可能性がある。よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。