九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

レーザ生成プラズマ方式極端紫外線光源の高出力化と長寿命化に関する研究

菅沼，崇

https://doi.org/10.15017/1441272

出版情報：九州大学，2013，博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

（別紙様式２）

氏　　名　：菅沼　崇

論文題名　：　レーザ生成プラズマ方式極端紫外線光源の高出力化と

長寿命化に関する研究

区　　分　：甲

論　文　内　容　の　要　旨

光リソグラフィ技術は，半導体集積回路 (LSI) 微細化の基盤技術として，LSIの高集積化を牽引してきた。現在，光リソグラフィにはエキシマレーザを光源とする深紫外線リソグラフィが実用化されている。LSIのさらなる微細化を進めるため，将来の露光技術として波長13.5nmの極端紫外光 (EUV: Extreme Ultra Violet) を光源に用いるEUVリソグラフィの実用化が期待されている。このEUVリソグラフィは，32nmノード以細における量産露光技術の有力候補とされている。

量産時のEUV光源には出力115W以上の高出力が要求されており，実用化にはまず本出力を実現することが課題となる。EUV光源には，放電プラズマからの発光を利用する方式と，レーザ生成プラズマからの発光を利用する方式が有るが，高出力化が容易なレーザ生成プラズマ方式が有力視されている。レーザ生成プラズマ方式は，真空容器内の微小金属液滴に高出力レーザ光を集光してプラズマを生成し，発生したEUV光をプラズマ近傍に設置したミラーにより集光して，光リソグラフィ光学系に輸送する構成になっている。このため，まず高出力レーザにより安定したプラズマを生成して高出力EUV光を発生するとともに，プラズマ近傍に配置されるEUV集光ミラーがプラズマからの飛散物により汚損するのを避けてミラーの長寿命化を図ることが重要な課題である。さらに，実機では波長13.5nmの高出力の光源の集光点における光特性をどのように評価，モニターするかも重要な技術課題である。

本論文は，レーザ生成プラズマ方式によるEUV光源装置の開発において，高出力EUV光の発生に不可欠なプラズマ生成用の高出力レーザシステムの開発，装置寿命を制限する最大の要因の一つであるプラズマからの付着物に起因する集光ミラーの反射率低下を防止するための付着防止技術の開発，さらに実用化に際して不可欠なEUV光源性能の評価技術の確立を目的として行った研究成果をまとめたものであり，以下の6章から構成される.

第1章は緒論であり，本研究の背景および本論文の意義と概要を述べている.

第2章では，レーザ生成プラズマ方式EUV光源の高出力化に不可欠となる，高出力パルスレーザ開発にに関して，まずNd:YAGを用いた高出力パルスレーザの開発について述べる。小出力のパルスNd:YAGレーザ発振器にLD励起Nd:YAG増幅器を用いるMOPA(Master Oscillator Power Amplifier)方式を採用して， EUV光を生成するためのレーザパルス出力として最大1.5kW， パルス幅15nsec，繰り返し周波数100kHzの性能を得るとともに，ビーム品質や安定性などの特性を評価した。しかし，Nd:YAGレーザシステムでは，高出力動作時のビーム品質の劣化が激しく，さらなる高出力化は困難と判断した。

第3章では，レーザ生成プラズマ方式EUV光源の高出力化に不可欠となる，高出力パルスレーザの開

発に関して，もう一方の候補として有力視されているCO_2レーザシステムの開発結果を述べる。CO_2レーザシステムは，小出力のパルス炭酸ガスレーザ発振器を連続発振用炭酸ガスレーザを増幅器として用いるMOPA(Master Oscillator Power Amplifier)方式を提案し， EUV光を生成するレーザパルス出力として最大8kW， パルス幅20nsec，繰り返し周波数100kHzの性能を得るとともに，ビーム品質や安定性などの特性を評価している。また，今後実用化に対してさらなる増幅器の増幅効率改善を図って装置規模の縮小化を図る必要があるが，本研究ではスラブタイプのCO_2レーザを増幅器を導入して性能を評価し，スラブタイプのCO_2レーザ増幅器の有効性を実証した。

第4章では、EUV光用集光ミラーへの中性粒子付着による反射率低下を改善するために，ECRを用いた中性粒子のイオン化の実験結果について述べている。水晶振動子膜厚計を用いて，プラズマからの飛散物のミラーへの堆積量を測定した。この時，磁場を用いてプラズマ中のイオンの飛散を制御することにより，集光ミラーへの堆積量は約40%低減することを確認した。また，直接磁場で制御できないプラズマからの中性原子の飛散を制御するため，イオンサイクロトロン共鳴プラズマを併用すると，磁場でコントロールされたイオン信号量は1.5倍に増加することを実証して，中性元素の飛散を制御できることを初めて実証した。本ECRによるイオン化により集光ミラー寿命は，1.5倍になると推定される。

第5章では、高出力レーザ生成プラズマ方式EUV光源の集光点での光特性評価技術を開発した結果について述べる。波長13.5nmのEUV光はガス中を伝搬できないため，全ての計測は真空装置内で行う必要がある。また，光源に要求されている特性は，波長13.5nmのみの特性ではなく，プラズマから放射される全スペクトルに渡っての特性についても規定されている。集光後のレーザ生成プラズマ方式光源の性能を高出力EUV光源で直接測定した例はなく，実用技術として確立するには直接測定による評価技術を確立する必要が有る。レーザ生成錫プラズマを用いたEUV光源システムを試作して，EUV光パワー，EUV光スペクトル，EUV光集光パターン，EUV以外の波長での光パワーを実機レベルの集光点において評価する技術を確立した。

第6章では，本研究で得られた成果をまとめ，今後の展望を述べている。