

強磁場カソードスパッタ装置による 光学多層薄膜製造技術の研究開発

J S T イノベーションプラザ東海における育成研究 平成 16 年度採択課題
「強磁場カソードスパッタ装置による光学多層薄膜製造技術の研究開発」

代表研究者：財団法人豊田理化学研究所 フェロー 水谷 宇一郎



超高密度化する LSI の微細パターンに対応できる技術として、極端紫外 (Extreme Ultra Violet ; EUV) 光を用いた露光装置の開発が急務となっている。EUV 光の波長は 13.5nm と非常に短いため、光学系には多層膜ミラーが用いられる。そのため、高反射率をもつ多層膜ミラーを作成する技術が必要とされている。我々が開発した超電導永久磁石を搭載した強磁場カソードスパッタ装置は、従来よりもガス圧が 2 桁も低い条件下で高密度なプラズマをターゲット上に生成できる。このためスパッタ原子の平均自由行程が大きくなり、基板とターゲット間の距離を離すことでプラズマダメージのない良質な膜が得られる。本研究ではこの強磁場カソードスパッタ装置の優れた特性を活かして、高反射率 EUV ミラーの製造技術の研究開発を行った。

■ 研究内容、研究成果

EUV 露光装置の光学系にはモリブデン (Mo) とシリコン (Si) を積み重ねた多層膜が用いられる。しかし Mo 層と Si 層の間には界面拡散層が形成され、反射率低下の一因となっている。そこで我々は多層膜を作成する手法として、従来の希土類磁石を用いたマグネトロンスパッタ法に代わり、バルク超電導体による強力永久磁石を用いた強磁場マグネトロンスパッタ法を用いて界面拡散層の少ない Mo/Si 多層膜を作成し、高反射率多層膜ミラーの実現を目指した。本研究において Mo/Si 多層膜作成のために図 1 に示すような二元強磁場カソードスパッタ装置を製作した。本装置では 10^{-3} Pa 台の低ガス圧下でも安定した成膜が可能である。ターゲット - 基板間距離も 600mm までとることができ、長距離成膜が可能となっている。

本装置の特性を活かし、Mo/Si 多層膜の作成を行った。多層膜の反射率を決定する要因は複数存在するが、本研究では拡散層厚さ、表面粗さ、膜中不純物について評価を行った。図 2 に本装置で作成した Mo/Si 多層膜の断面 TEM 像を示す。低ガス圧・長距離下で成膜を行い、条件を最適化することにより、Mo-on-Si の拡散層厚さを 1.5nm、Si-on-Mo の拡散層厚さを 0.5nm に抑えることに成功した。図 3 に原子間力顕微鏡 (AFM) によって決定した Mo/Si 多層膜の表面粗さの圧力依存性を示す。低ガス圧下で成膜することで表面粗さを基板の表面粗さとほぼ同じ 0.11nmRMS まで抑えることができた。図 4 に Si 単層膜のラザフォード後方散乱 (RBS) スペクトルを示す。成膜ガスに使用しているキセノン (Xe) ガス圧力を下げることによって Xe のピークが減少し、成膜ガスの巻き込みが抑えられることがわかった。これらの結果から、強磁場カソードスパッタ装置は Mo/Si 多層膜ミラーの作成に対して優れた性能を持つ装置であることが明らかになった。図 5 に多層膜の EUV 反射率を示す。直入射の場合で 67% の反射率を達成した。これまでの多層膜の評価を考慮すれば、理論上 69% の反射率が期待できる。最近の研究結果より、多層膜の上層部と下層部で周期長の変化が見られることが明らかになっている。周期長の精密制御を行い、周期構造の精度を上げることにより反射率のさらなる向上が可能と考えられる。

■ 今後の展開、将来の展望

本研究により、EUV 露光装置の集光ミラーの製造における強磁場カソードスパッタ装置の有効性が明らかになった。この結果を踏まえて、強磁場カソードスパッタ装置の事業化を推進する。

そのために、以下の点についてさらなる検討を行う必要がある。

- i) 周期長の精密制御
反射率を理想値に近づけるために周期長の精密制御が必要である。長時間成膜時の放電電流の安定化を行い、解決をはかる。
- ii) 大面積成膜への対応
直径 300mm 基板に対応するために高均一度な成膜技術を確立する必要がある。基板回転機構などの最適化によりこれを実現する。

図 1 二元強磁場カソードスパッタ装置

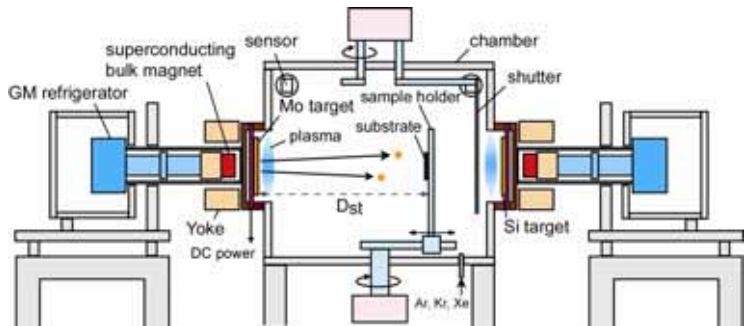


図 2 Mo/Si 多層膜の断面 TEM 像

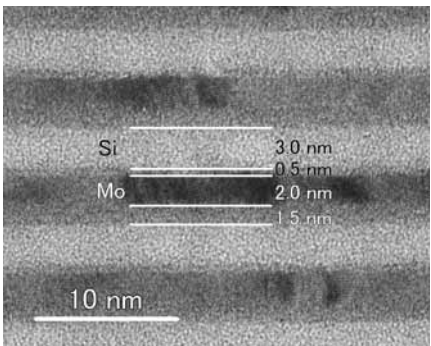


図 3 Mo/Si 多層膜の表面粗さの成膜ガス圧依存性

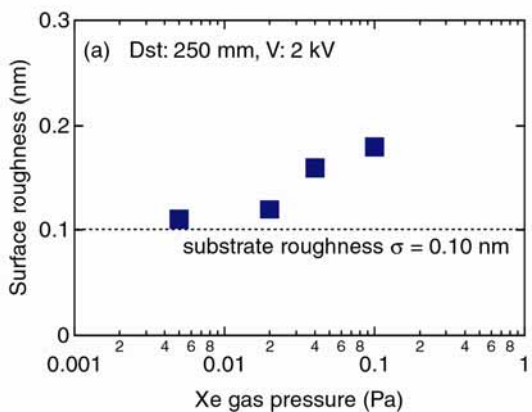


図 4 Si 単層膜の RBS スペクトル

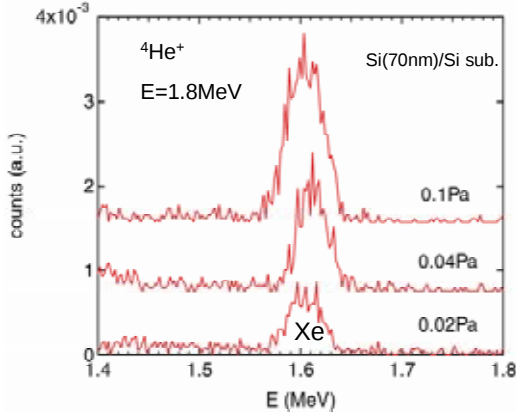
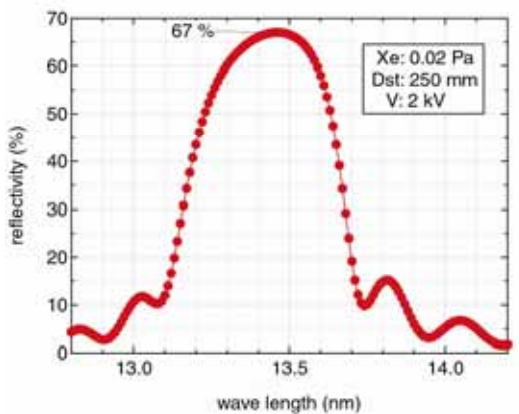


図 5 Mo/Si 多層膜の EUV 反射率



■ 研究体制

代表研究者

財団法人豊田理化学研究所 フェロー 水谷 宇一郎

研究者

山口 隆 (科学技術振興機構) 生田 博志 (名古屋大学大学院工学研究科)

伊藤 佳孝 ((株) イムラ材料開発研究所) 柳 陽介 ((株) イムラ材料開発研究所)

友藤 哲也 ((株) ニコン) 岡 徹雄 (新潟大学工学部)

共同研究機関

(財) 豊田理化学研究所、名古屋大学大学院工学研究科、(株) イムラ材料開発研究所、
(株) ニコン、新潟大学工学部

■ 研究期間

平成 17 年 4 月 ~ 平成 20 年 3 月