

EUV 露光装置光源への期待

海老沼 隆一

キヤノン株式会社 製品技術研究所長

1. 半導体露光技術について

半導体回路の製造技術の進展はメモリや CPU といったデバイスの高性能化とコストダウンをもたらし、計算機だけではなく家電や自動車などに幅広く使われている。この技術の進化には製造手段であるリソグラフィの微細化が大きく寄与している。半導体回路の微細化を示す指標としては、使われている最小パターンの寸法で表される場合もあるが、総合的には周期的なパターンのハーフピッチ (以下 hp) 寸法で示すのが適切である。この寸法で示すと現在は hp65nm の回路が量産に使われ始めているところであり、この回路形成には波長 193nm のエキシマレーザーを使った露光技術が使われる。次世代技術となる hp45nm では、投影レンズと半導体ウエハの間に純水を満たしてさらに解像力を向上させた液浸露光という技術が使われることがほぼ確実であり、2007 年には量産用の露光装置が半導体メーカーに出荷され始める。この露光装置には引き続き 193nm のレーザーが光源として使用されている。次々世代である hp32nm になると、確実な露光技術はまだ確定できる状況ではないが、極端紫外光 (以下 EUV : イーユーブイ Extreme Ultra Violet) を光源として用いる露光技術が第一候補として挙げられている。

2. EUV 露光の課題

露光に用いる EUV の波長は 13.5nm である。空気を含め、透過率が十分な物質が無いため、光学系は反射鏡を用い、光路は真空である。従って露光装置には新たに開発しなければならない多々の課題がある。図は EUV 露光装置の光学系の概略である。反射率を高めるため、反射鏡には多層膜を用いるが、反射率は 1 枚あたり 70% ほどに留まる。これは従来の露光装置のレンズの透過率と比較すると著しく低い値であり、光学系システムの設計に大きな課題を与える。少ない枚数で収差を抑えるため、反射鏡はすべて非球面でありその形状精度は 100pm を要求される。これを実現するためには 10pm オーダの精度を有する反射鏡の形状計測装置が必要である。

一方、感光剤には解像力と感度を両立させるという大きな課題がある。EUV では上述のように反射鏡の反射率が低いこと、光源の出力が充分得られないことから、ウエハに到達する光の強度を大きくすることは困難である。光源の強度を現実的なものとするためにも、装置の精度を維持するためにも、感光剤は高感度のものが求められる。しかしながら感光剤を高

感度化することと、パターンの直線性を確保することは原理的に相反する要求である。これに対応するため、低分子量の感光剤の開発が行われている。

光源にも困難な課題が山積している。光源は現在、高出力のレーザー、あるいは放電によりキセノンや錫のプラズマを発生させ、そこから放出される EUV 光を用いるタイプが開発されている。露光装置の生産性仕様と光学系の構成、感光剤の感度を想定すれば、必要な光源出力が計算されるが、現在達成できている出力は、寿命、安定性、現実的なコストということを勘案するとまだ充分ではない。これを克服すべく、国内では光源開発に大学を始めとする多くの研究機関が参加しており、光源メーカーと連携してエネルギー効率の向上や、寿命の向上に向けて新しい技術が投入され、精力的な開発が進められている。

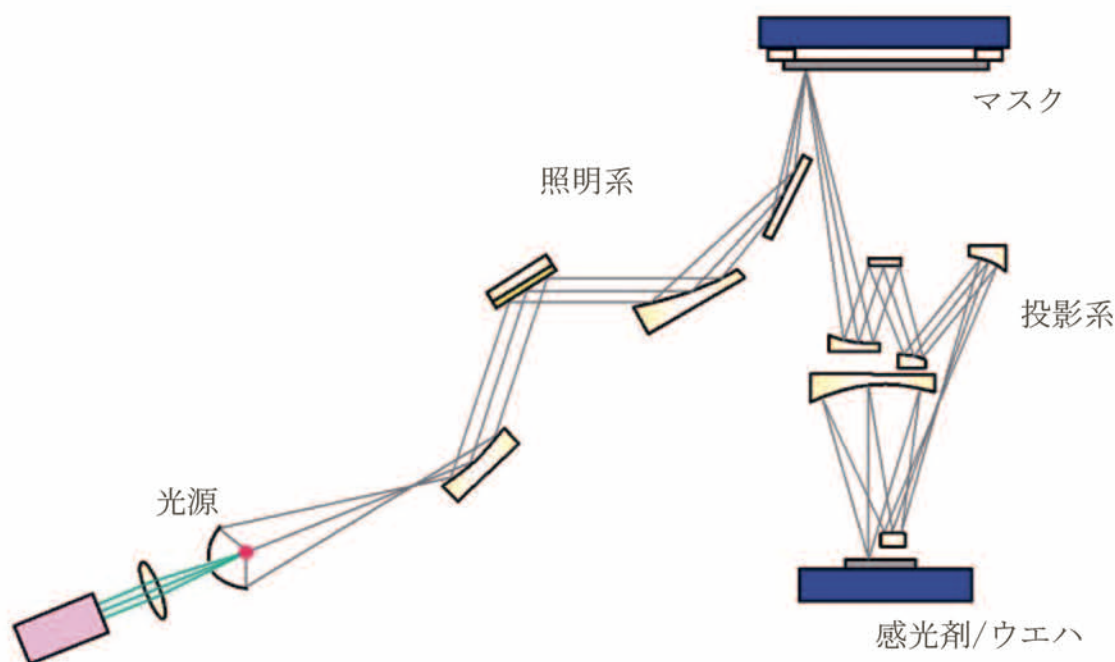


図. EUV 光源の光学系概略

3. EUV 光源に求められること

日米欧の半導体開発コンソーシアムが主催する EUV シンポジウムが 10 月に開催されたが、表はこのシンポジウムで発表された露光装置メーカー3社 (ASML、ニコン、キヤノン) の共同作成による EUV 光源の要求仕様の一部を抜粋したものである。出力は感光剤の感度に応じて半導体の生産性に適う値が設定される。従来の要求は 115W であったが、 $10\text{mj}/\text{cm}^2$ の感光剤の感度も考慮する必要があるとの議論から 180W という数値が提案され、あらたに要求仕様として盛り込まれている。周波数は露光時のドーズ量均一性の要求から定められており、露光装置の仕様によって異なるが、連続発光であれば問題ない。最適な光源の寸法形状は露

光装置の光学系設計に依存するが、光学系の反射率が小さいため、光の利用効率を大きくとるためには、考慮せざるを得ない項目である。表の寸法は光源の大きさと放射角の積で示したものである。清浄性は光源側から露光装置側照明系の反射鏡に入り込む不要な粒子の影響を制限するものである。半導体の量産に適応できる信頼性とコストでこの表の数値をすべて実現する光源が求められている。

項目	要求値
波長	13.5 nm
出力	115 W@5 mJ/cm ² ~ 180 W@10 mJ/cm ²
周波数	> 7 - 10 kHz
安定性	0.3%、3σ (50パルス積算)
寸法	< 3.3 mm ² sr
清浄性	30000時間後で反射率低下が10%以下 (露光装置側)

表. EUV 光源への共同要求仕様

4. 結言

半導体開発では3年で2倍の高集積化が進むというムーアの法則に従って、国際的に開発のロードマップが策定され、関連業界が歩調を合わせて開発してきた歴史があり、驚異的なスピードで微細化が進められてきたが、近年、先進的な半導体メーカーは、2年で2倍のペースで開発を進めていく計画を表明している。その計画では2009年には量産に向けた EUV 露光装置が要求されるが、装置が間に合わないのではないかと危惧されているのが現状である。そうすると他の露光技術ということになるが、技術的には可能であっても生産性の面で大きな欠点を持っている。それを突破できる可能性があるのは、やはり EUV 露光技術である。新しい技術によって、クリーンで信頼性の高い EUV 光源が確立されることを期待したい。