

リソグラフィ技術の発展と EUV リソグラフィの最新動向

Development of lithography and current status of EUV lithography

○岡崎信次 (ギガフォトン株式会社)

○Shinji Okazaki (Gigaphoton Inc.)

E-mail: shinji_okazaki@gigaphoton.com

1、はじめに

半導体集積回路は、ここ 40 数年間、高集積化、高性能化という進化を続けている。この進化を支えてきた技術の一つが微細加工技術であり、中でもウエハ上にパターンを創り出すリソグラフィ技術の発展の役割が大きい。本稿では、リソグラフィ技術の発展の概要と、今後のリソグラフィ技術の本命技術と位置付けられる EUV リソグラフィの最新動向を紹介する。

2、半導体集積回路の高集積化と光リソグラフィ技術の発展

半導体集積回路の加工には、今迄、光リソグラフィ技術が使われて来た。当初のコンタクト露光法から始まり、等倍投影露光、縮小投影露光法、さらに最近の液浸型縮小投影露光法へと進化している。投影露光法では、解像度 R が次に示すレーリーの式で与えられる。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA$$

ここで λ は露光波長、 NA は投影光学系の開口数、 k_1 は露光方式やレジスト材料で決まる比例定数である。

この式から、 R を小さくしようとすれば、 λ を小さく、 NA を大きく、定数 k_1 を小さくすれば良い。この結果、光リソグラフィ技術の発展では、ひたすら、高 NA 化、短波長化、さらに様々な解像度向上技術を駆使した定数 k_1 の低減が追及された。 NA は、空気中では 1.0 が限界で、液浸により 1.0 を超えるが、実用的に 1.35 が最大となっている。定数 k_1 は原理的に 1 回の露光では、0.25 が下限である。露光波長も光学材料の制限から、実用的に 193nm が限界となった。これらの限界を組み合わせた形で、現在ハーフピッチで 40nm 程度のパターンが解像できるまでに至っている。しかし、要求はすでにハーフピッチで 20nm を下回っている。このため、工程は複雑化するが、露光を複数回に分けて加工する、マルチプルパターンニング法と言う手段が、最先端のデバイス加工には用いられている。

一方、本質的な解像度向上を狙った NGL (Next Generation Lithography) 技術として、EUV リソグラフィ、マルチビーム型電子線リソグラフィ、ナノインプリント (NIT)、Directed Self Assembly (DSA) 等の新技術の開発も進んでいる。NIT や DSA は、別途詳細な議論が有るので、ここでは EUV リソグラフィについて紹介する。

3、EUV リソグラフィの最新動向

EUV リソグラフィは、基本的に光リソグラフィの縮小投影型露光方式を踏襲した技術で、波長が 13.5nm と EUV 領域の光を用いる技術である。EUV 光は、ほとんどの物質で吸収され、透過型の光学系が用いることができないため、全て反射型の光学系を用いる。反射面には多層膜が用いられる。この 13.5nm という露光波長、多層膜反射面という事から多くの技術課題が生じる。まず波長 13.5nm の強力な光源の開発が大きな課題となる。続いて高精度な反射型光学系の開発、低欠陥な反射型マスクの開発、さらに 13.5nm の光に高感度なレジスト材料の開発も課題となる。

光源には、レーザ励起型プラズマ (LPP) 光源が用いられ、100W 程度の出力 (目標は 250W) が得られている状況にある。マスクの欠陥密度も低減化の努力が進み、実用的に無欠陥のマスク基板も得られているが、歩留まりは未だ大変低い。また、欠陥からマスクを保護するペリクル膜に、最近実用化の目途が立った。レジスト感度の目標は、10-20mJ/cm² であるが、同時に解像度、ラインエッジラフネスの要求値を満たす材料は、未だ開発途上である。

上記したように、現状の技術レベルは未だ実用化には不十分だが、技術の進展は速く、一部のデバイスメーカーでは、来年から量産適用を視野に入れた動きをするなど、2018 年頃をめどに、本格実用化が期待されている。

4、まとめ

半導体集積回路の高集積化、高性能化に、リソグラフィ技術の発展が果たした貢献は大きい。今までは光を用いたリソグラフィ技術がその主流であったが、すでに限界を超えている。これを打破すべく、様々な NGL 技術が検討され、中でも本格的リソグラフィ技術としての EUV リソグラフィ技術の実用化に、期待が集まっている。