

## リソグラフィ技術の最新動向

リソグラフィ技術は半導体の微細化を支える根幹であるが、ここ数年は微細化も 20nm を切るところまで進み、非常に特殊化、高度化している。今回、次世代リソグラフィ技術研究会の企画により、応用物理学会ではあまり報告されないリソグラフィ技術の最新技術動向を、各技術分野を代表する方々にご紹介いただいた。

岡崎氏(ギガフォトン)は、まず全体の技術動向を概観し、続いて EUV リソグラフィの最新の話題を紹介した。すでに、最先端デバイスは、レイリーの式で表される光リソグラフィの解像限界を超えた微細領域に突入しており、パターンのピッチを 2 倍あるいはそれ以上にするマルチパターンニング技術が量産に使用されている。この光(液浸)リソグラフィとマルチパターンニングの組合せも、難易度やコストの面から限界に近付いており、本質的に解像力を向上させる EUV リソグラフィ(EUVL)、マルチビーム電子線リソグラフィ、ナノインプリントリソグラフィ(NIL)、自己組織化リソグラフィ(DSA)の開発が精力的に進められている。

EUVL は、1980 年代から研究開発が進められてきた。投影光学系、レジスト、マスクなどは着実に進歩しているが、光源の出力不足が最大の課題とされてきた。量産時のスループットを確保するために必要とされる光源の出力は 250W であるが、ここ数年 30~50W 程度で足踏みをしていた。昨年後半から今年にかけて、漸く 100W に迫る出力が ASML の露光装置(NXE:3300)で達成され、1000 枚/日を超える処理能力(40 枚—50 枚/時に相当)が報告された。また、光源単体ではギガフォトンから 140W の出力が報告されており、大きな進歩が認められる。EUVL では、欠陥を防止するためのペリクルが使えないことが実用化への懸念の一つであったが、poly-Si 膜で 85% の EUV 透過率をもつフルサイズのペリクルが開発され、実用化が期待されている。レジストの解像力、感度、ラフネスのトレードオフ問題や、低欠陥密度のマスク製作など、まだ課題は残っているが、ここ 1~2 年での量産適用を目指すデバイスメーカーもあり、開発速度が上がっている。NA0.33 の NXE:3300 でハーフピッチ 13~14nm のパターンを解像でき、本質的な高解像性に期待が集まる。

八重樫氏(東京エレクトロン)は、光リソグラフィとマルチパターンニングの組合せでの解像性追求に関して講演した。マルチパターンニングには、パターンを複数枚のマスクに分割して露光する”ピッチスプリット”と呼ばれる手法と、1 回の露光でピッチを多重化する”自己整合型(SAxP)”がある。自己整合型のマルチパターンニング技術は、微細化が最も早く進む NAND フラッシュメモリのゲート用に開発され、2007-2008 年頃から SADP(2 倍化)が使用されており、SAQP(4 倍化)も使用が開始された。R&D では、すでに SAOP(8 倍化)も実証されており、液浸露光で形成した 44nmL&S パターンから 5.5nmL&S パターンを形成した例が紹介された。SAxP では、マンドレルとなるレジストにドライエッチング耐性を持たせる必要がないため、レジスト材料をラフネス低減に特化させることにより、2nm という低 LER を実現した。L&S の形成とそのカッティングで回路を形成するいわゆる 1D リ

ソグラフィへ SAxP を適用した例も紹介された。

吉元氏(京大)は、DSA 技術の解説と、最新のモデリングの成果を発表した。DSA は、ポリスチレン(PS)とポリメチルメタアクリレート(PMMA)のような、化学的性質の異なる 2 種類のポリマーを、鎖長を制御して結合させたジブロックコポリマーの自己組織化をリソグラフィに応用する技術である。ジブロックコポリマーは、基板に塗布し、熱処理するだけでマイクロ相分離を起こし、周期が 10~50nm 程度の規則的なナノ構造を形成する。予め基板に化学的あるいは物理的なガイドパターンを形成しておくことによって、ラインパターンでピッチを多重化したり、ホールパターンの径を縮小したりするなどの応用が期待されている。実用化には、欠陥の低減が課題であり、それにはモデリングによって欠陥生成メカニズムを調べ、材料、プロセスを最適化することが必須である。大規模な系にも適用できる太田-川崎モデルと、実験との比較によって得られた相互作用パラメータを用いることによって、実験結果をシミュレーションでよく再現できるようになり、シミュレーションがプロセス改善のための強力なツールとなっている。

酒井氏(キヤノン)は、キヤノンが開発した NIL 装置の最新の開発状況を報告した。NIL は既に MEMS などの分野では応用が進んでおり、半導体製造プロセスへの適用に関しても、OPC が不要であり、コスト的にも優位であることから、期待が高まっている。キヤノンでは、旧 Molecular Imprints 社が開発した J-FIL 技術を採用し、20nm 以下のパターン形成への応用を目指して、デバイスメーカー、マスクメーカーと共同で装置・プロセス開発を進めている。ショットサイズはスキャナと同じ 26mm×33mm であり、欠陥密度が 9 個/cm<sup>2</sup>、重ね合わせ精度が液浸との Mix&Match で 4.8nm と大きく改善した。スループットは単体装置で 6wph であるが、今後、単体のスループット改善と 4 クラスター化によって、2016 年に 60-80 枚/時、2019 年には、更にマルチフィールドインプリントを採用し、200 枚/時を達成する計画である。欠陥密度、パーティクル、重ね合わせ精度についても、引き続き改善を進めていくことが示された。

シンポジウムには約 80 名の参加者がおり、ほぼ満席であった。質疑応答も活発であり、学会参加者の最新リソグラフィ技術に対する関心の高さが窺われた。

(世話人)