

## 講演「LSIの開発競争とEUV光源の開発研究」

講師 大西正視（おおにし まさみ）氏  
（関西大学先端科学技術推進機構研究員）

日時：平成28年4月28日（木）16時30分～17時30分

場所：京都大学本部 百周年時計台記念館2階 会議室Ⅲ

参加者数：21名



### 【講演概要】

#### 1. 序

10nm以下のゲート長を持つトランジスタによる次世代LSI製造では、リソグラフィプロセス（回路パターンをウェハ上に露光転写するプロセス）における光源として極端紫外光（EUV）が不可欠である。講演者は文科省「大学発新産業創出拠点プロジェクト」（STARTプロジェクト）の支援を受けて、EUV光源発生システム（MDPP：Microwave discharge produced plasma system）の開発を行ったので、以下に半導体製造の進展、リソグラフィの原理を述べた後、MDPP開発研究の成果及び今後の展望を述べる。

#### 2. 文科省STARTプロジェクト

文科省では平成24年度から社会への貢献が目に見える研究開発への支援を行うとの観点からSTARTプロジェクトを開始した。このプロジェクトでは文科省と研究者の間にプロモータ（大学の投資会社等）が介在し、プロモータは研究者とともに事業化に最適な研究開発・事業化計画を策定するとともに研究の進捗チェック、研究者へのアドバイスを行う仕組みとなっている。更にプロジェクトのアウトプットは大学発ベンチャー等の創業と新規事業を立てることを目指すものとなっている。

#### 3. 半導体集積回路開発の状況

半導体集積回路は1971年Jack Kilbyが発明し、その後、集積度は継続して上昇（2年で倍）してきた。集積度の上昇の牽引力は社会のニーズであり、特に1980年代の高速コンピュータ開発、ジェット戦闘機の開発、現在のスマートフォンにおける省エネルギーでの高速作動の要求等の影響が大きい。

半導体の製造では、現在14nmゲート長のトランジスタが製造されており、7nm（1nmでシリコン原子4個分）までは集積化が実現可能と考えられる。

半導体の集積度を上げるにはリソグラフィ光源の波長を短くすることが必要と

なる。これまで、エキシマレーザーの波長を短くする (KrF→ArF) ことで 65nm のゲート長を達成し、更に短くするため液浸法が行われた。さらなる集積化を図るには、より短い波長の EUV (波長 13.5nm) が必要となっており、装置の研究開発が進められている。

#### 4. EUV 光源と問題点

EUV 露光の装置概念としてはペレットにレーザを当てて EUV を発生させ、9 枚の反射鏡で EUV の形状、波長を整えたのち、シリコンウェハに露光するというものである。EUV はガラスに吸収されるので反射鏡を用いる必要がある。それでも反射率 0.7 であり、その 9 乗で EUV の光度が減衰するため光源は出力の大きなもの (250W) でなくてはならず、さらに光源の大きさは小さなもの (1mm 以下) が必要である。

EUV 光源の開発では LPP (レーザ生成プラズマ) 方式と DDP (放電生成プラズマ) 方式が進められているが、出力はそれぞれ 250W に達しておらず、また、プラズマ発生のためのスズがシリコンウェアやミラーへ不純物 (デブリ) として付着し、ミラーの短寿命化の原因となっている。

#### 5. 講演者による MDPP の開発

講演者の開発した装置 (MDPP) は発信器でマイクロ波を生成し、それをキャビティに導くことにより、キャビティに電磁波をため込み、Xe の入った放電管がマイクロ波を吸収してプラズマ化し、EUV 光を出すものである。光源の出力を上げるためチューニングが行える仕組みとなっている。出力の測定は EUV 光をカロリメータで測定する方法をとっている。

EUV の出力を上げるためにキャビティでの Q 値 (共振の鋭さ) が重要であるが、プラズマが存在すると共振周波数が変化する点であり、オートチューナーの設置等が考えられるが、これは克服すべき課題となっている。

講演者の開発した MDPP では Xe ガスを使っているので効率が下がるが、デブリが付着しないメリットがある。

計測系はミラーで反射させた EUV 光をフォトダイオードで測定しているが ミラーの平滑度は、例えると地球に対して地上の凸凹が数 mm 程度というもので先端技術が必要とされる。

発信器については古川電工においてソリッドステートのものが開発され、従来のマグネトロンに比べ、1 ケタ以上効率が上がることを確認している。

実験では TM モードと TE モード 2 つのモードでプラズマを発生させており、空

気中でブレークダウンを起こす限界に近い電界条件となっている。  
ガス圧の変化に対する EUV 出力は放電管の径が 1mm のものでは 5Pa で最も高い出力が出ている。しかし、マイクロ波のキャビティからの反射電力は 45%になり、この低減が課題である。MDPP の光源は定常状態で動くため、効率が良くなるというメリットがある。

EUV リソグラフィでは出力が 250W、etendue（光源の大きさと発散角をかけたもの）が  $3.3\text{mm}^2 \cdot \text{sr}$ （小さいほうが良い）必要であるが、MDPP ではすぐにこれに到達するのは難しい。一方、これに届かなくてもリソグラフィのマスクの内部欠陥を探す（EUV mask inspection）ために EUV 光源が必要であり、これにはより低い出力で達成できるので、MDPP については当面 EUV mask inspection 用の光源の開発に視点を置いて進めている。出力が 1 ケタ上、大きさも 1/10 にしなければならないので、これを乗り越えられることが課題である。

## 6. サマリー

- ・次世代 LSI には EUV リソグラフィ技術が必須
- ・現在、ミラー、マスク、レジスト、光学系は開発が進んでおり、光源の開発が遅れている
- ・半導体商業化の要求(60 枚/時間)を満足する EUV 光源は実現化されていない。
- ・MDDP はデブリが出ないという利点があり、EUV 光源として有望である
- ・プラズマでチューニングがずれるが、プラズマを小さくする方法、オートチューニングで周波数を可変にすることで解決すると考えられる。

（主な質疑応答）

Q. 実用化はどこまで進んでいるのか？

A. 大学では人もいないし、物もない。また手続きも手間がかかるが、企業に実施を移したことで、迅速な対応ができるようになった。

Q. 文科省のプロジェクトの資金、期間はどの程度か？

A. 毎年全体で 10 億円で採択件数が約 10 件程度となっている。本開発では年間 2500 万円で 3 年間の資金を確保できた。



大西正視先生



講演会場風景