

極端紫外 (EUV) 光源開発の現状ならびにその応用のフロンティアを探る

大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 西村博明

次世代半導体製造技術の実用化におけるキー・テクノロジーとして、産官学の連携で進められてきた極端紫外 (EUV) 光源開発は新しい局面を迎えつつある。レーザー駆動 EUV 光源の最適化に関する理論・実験データベースを提供してきた文部科学省リーディング・プロジェクト(LP)「極端紫外 (EUV) 光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」研究、ならびに、これと強い連携のもとで進められてきた経済産業省/NEDO プロジェクト「極端紫外(EUV)露光システムの開発」は平成 20 年 3 月をもって終了し、EUV 露光技術をさらに高度化する段階に入った。一方で、これまでの開発研究を通して高平均出力 EUV 光源がより身近な存在となった結果、従来、放射光でなされてきた材料分析から EUV プロセスへ新しい応用を広げる土壌が整いつつある。

EUV 光を巡るこのような動きを背景として、EUV 光源開発の現状を整理するとともに、高平均出力 EUV 光の様々な応用分野の最前線をオーバービューすることにより、EUV 光を巡る今後を明らかにしていくことを目的として本シンポジウムが開催された。

現在、高平均出力の EUV 光を発生させるには、大きく分類して、放電プラズマ (DPP: discharge-produced plasma)、レーザー生成プラズマ(LPP: laser-produced plasma)、そしてその混成方式である、レーザー支援放電プラズマ(LA-DPP: laser-assist DPP)の3つの方式がある。当初、DPP 方式が出力値で先行していたが、産業界が設定した光源要求仕様である中間集光点 (IF: intermediate-focus) での出力 180W を得るのが技術的に困難であるとの理由から、DDP 方式は LA-DPP 方式へ大きく舵がきられている。

レーザープラズマ EUV 放射プラズマに関する理論的研究の現状について、レーザー総研・砂原淳氏が講演した。LPP 方式では、直径 20 $\mu$ m 程度の最小質量スズドロプレットターゲットを先行膨張させ、比較的長波長レーザーで加熱するダブルパルス方式が一つの技術指針となっているが、先行膨張させるためには、微小スズ内部を伝搬する衝撃波や引き続き起こる相転移などの問題

を解く必要があり、関連した状態方程式 (EOS: equation of state) の理解の現状と問題提起がなされた。これに続き、高効率かつクリーンな EUV 光源を得るための物理解明をテーマとした LP の研究成果が阪大・宮永憲明氏から報告がなされた。本研究グループが提唱する 2 波長ダブルパルス照射法により、世界最高の変換効率 4% が実証され、また、この値が、産業界が目指すロードマップの求める変換効率であることが示された。引き続き、EUVA 平塚・住谷明氏から、LPP 光源システム開発の現状が報告され、加熱源を CO<sub>2</sub> レーザーとする事により、LPP ですでに 60W@IF 換算が達成できているとの報告があった。

DPP 方式に関する研究現状ならびにシステム開発の成果報告が東工大・堀田栄喜氏、EUVA 御殿場・佐藤弘人氏からなされた。DPP 方式は、放電電極と EUV プラズマとが隣接しているという構造が、熱負荷の軽減とデブリの抑制という技術課題を生み出してきたため、その解決に多くの努力が払われた。LPP 方式に先行して 50W@IF を達成したが、これが限界点でもあることが同時に明らかとなった。そのため、微弱レーザーでスズを予備電離させ、引き続き開放型の電極間でスズプラズマによる放電引き起こさせる LA-DPP 方式が開発中である。

これら光源開発の現状に対し、光源ユーザーの立場から EUV 露光技術と今後の技術課題について SELETE・西山岩男氏から講演がなされ、32 から 20nm 細線化へ向けた EUV 露光技術全般の現状と展望が報告された。

最後に、高平均 EUV 光を用いた微細加工の研究に関して筑波大学・牧村哲也氏から講演があり、透明体材料のナノメートルの加工が可能であることが紹介された。また、宇宙航空技術における EUV 光アブレーションについて、神戸大学・田川雅人氏の講演があり、宇宙航空機器開発のため、宇宙デブリによるアブレーションのデータベースが必要であり、LPP を用いた地上実験では、如何に同時発生する EUV を理解し、また、これを除去するかが鍵であるとの報告があった。