

小特集

リソグラフィ用 EUV (極端紫外) 光源研究の現状と将来展望

6. EUVA における光源開発と産学連携について

豊田 浩一

(東京理科大学 基礎工学部)

EUV Light Source Development Project at EUVA
and Research Collaboration between Universities and Industry

TOYODA Koichi

Department of Applied Electronics, Tokyo University of Science, Chiba 278-8510 Japan

(Received 25 November 2002)

Abstract

The extreme ultraviolet (EUV) light source development project of the EUVA and the research collaboration between industry and universities are described. The development of EUV light sources using both laser produced plasma and discharge produced plasma is currently under way. The goal of four-year project is to attain 10 W output power at an intermediate focus point which should satisfy all the requirements of the EUV lithography light sources. The collaboration with universities will expand next year under the new research framework of the leading program of laser-based EUV sources.

Keywords:

EUV light source, EUV project, EUVA, LPP, laser produced plasma, DPP, discharge produced plasma, research collaboration, EUV lithography

6.1 EUV 光源開発の意義

レーザー生成プラズマやキャピラリー放電から放出される極端紫外光線を用いた 50 nm テクノロジー以細の露光システム開発のため技術開発機構 (略称 EUVA) が発足した。

多様な大量の情報を時間や場所の制約を受けずに誰もが自在に活用できる高度情報社会を目指して、情報通信技術の高度化を進めることが求められている。このような社会的ニーズを受けて半導体 LSI 技術の高度化が進められるが、半導体製造の基本である EUV 光源開発プロジェクトがスタートしたことは、半導体技術の復権を果たすべきわが国の将来にとってまたとないチャンスである。一方、世界的に進められる EUV 光源の開発は技術的ハードルがきわめて高く、しかも、わが国は後発である

author's e-mail: toyoda@te.noda.tus.ac.jp

ため欧米各国に比して不利な状態にある。したがって、先発の米国やヨーロッパの開発を乗り越え、独創的技術開発を行うには相当の努力と創意工夫が必要である。

ここに紹介するのは、このような状況においてスタートした、EUV 光源プロジェクトの取り組み状況および産学連携への期待である。この研究開発において、わが国の総力をあげてこの問題に取り組まねばならないことを理解していただければ幸いである。

6.2 研究開発のゴールと新しい産学連携

この研究開発のゴールは2005年度末において所望の光出力と EUV 露光システム用光源としての性能要件をすべて備えた EUV 光源を得ることである。これを発展させて今後、幾世代かにわたるリソグラフィ技術の発達に

貢献しようとするのである。実用光源に到達できるか否かが問われるわけで、わが国の半導体技術の復権がなされるか否かのキーとなる研究開発である。したがって、ゴールを達成するためには関係した専門分野の研究者の協力を得て、総力を結集した研究努力が必要とされる。総力を結集する手段としては、EUVA と関係する 6 大学との連携がそのひとつである。さらに、来年からスタートする予定のリーディング・プロジェクトによる先進半導体製造技術の実用化研究は産学連携の取り組みとして重要な位置づけが期待されている。本プロジェクトにおいて産学連携が重要視される理由は、研究のターゲットである高温プラズマからの極端紫外線の発生効率を向上させ、また高出力化を図るという点において、プラズマに関する科学とリソグラフィ光源という実用化技術が表裏一体であることと密接な関係がある。大学サイドの貢献に期待するところが大きい。

6.3 新しい形の産学連携

大学と企業が連携する研究開発の形態はいろいろあると思うが、そういった視点で EUV 光源開発にかかわる産学連携をみると、このプロジェクトでは省と省をまたがる新しい意味での連携が実現すると期待される。このことは、換言すれば EUV 光源開発が国の総力を結集

するに相当するものであることを示唆する。すなわち、企業サイドの研究開発は経済産業省プロジェクトとして 2002 年に開始した。この研究のフレームの中で既に委託研究の形で大学サイドの研究もスタートしたわけであるが、LPP 方式については平成 15(2003)年度より文部科学省のリーディング・プロジェクトによる研究が開始される。DPP 方式の開発は引き続き経済産業省のプロジェクトとして推進されることとなるが、これら 2 つのプロジェクトを結ぶ連携の場を持たねばならない。これら 2 つのプロジェクトが平行して進められることから、大学と企業サイドとでは研究開発費の出所については別となるが、開発の方向としては一体となって情報を共有しながら開発が進められるような体制を模索している。これにより産学官連携の実を挙げることができると期待される。

6.4 EUVA における EUV 光源開発計画

EUV 光源開発および産学連携の意義は非常に重要であるが、それを具体化するため現在進行している EUVA における光源開発計画の概要を述べよう。光源開発計画の中で、プラズマの性質に密接な関係を有するのは光源の高出力化・高品位化であると考えられる。Fig. 1 に EUV 光源開発計画のスケジュールを示す。EUV 露光シ

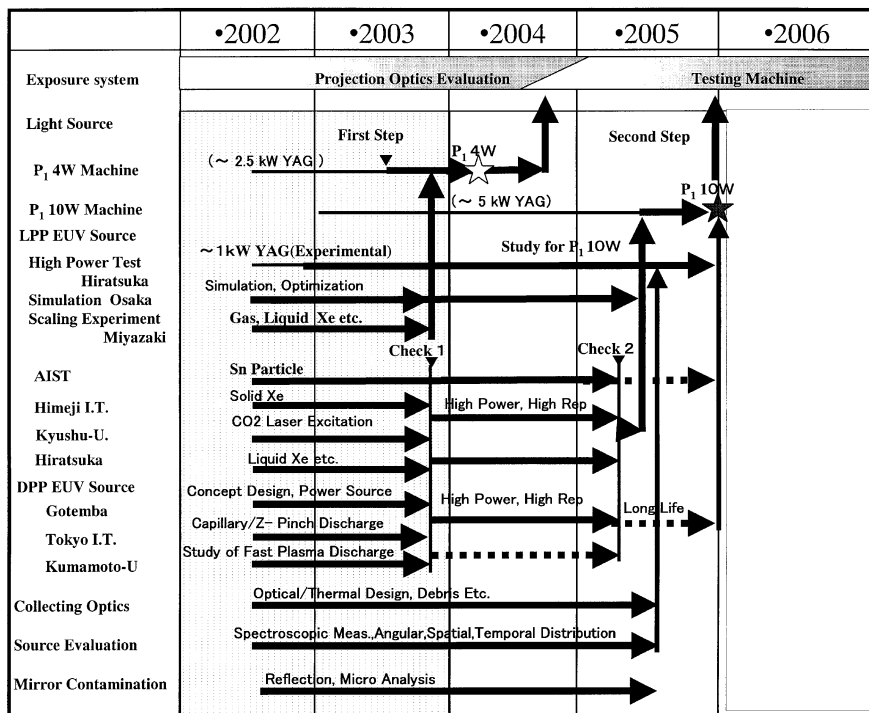


Fig. 1 Schedule of EUV light source development.

システムの開発の進展に応じて2003年度末の4 W 出力を中間目標値とし、2005年度末に10 W 出力を達成するための高出力化計画が遂行されている。EUV 光源においては、レーザー光をターゲットに照射することによってEUV 光を得るLPP(Laser Produced Plasma)方式とDPP(Discharge Produced Plasma)方式が考えられる。

LPP 方式では、1 kW/YAG レーザー、5 kW/YAG レーザーを用いる高出力化研究開発が平塚研究センターでなされ、それと平行して、大学、研究所等による気体/液体/固体Xe, Sn粒子ターゲット、CO₂ レーザー励起について研究がなされている。一方、DPP 方式では、御殿場分室でのキャピラリー放電等による高出力化研究と平行して大学との連携で高速放電・短パルス放電などの研究がなされている。

プラズマからの EUV 光生成効率を可能な限り向上させるプラズマ条件、レーザー条件については世界的にもまだ定説がなく、経験的なデータが得られている状況である。これについては基礎的な研究が必要である。我々としては、産学連携の成果を反映した新機軸のコンセプトを發展させ、独自の光源技術の達成を念願している。

6.5 LPP 方式と DPP 方式の得失

LPP 方式は比較的デブリ発生が少ないクリーンな光源の可能性があり、また、ターゲットの供給方法やレーザーの配置などの空間的な配置などにもフレキシビリティがある。しかしながら、注入する電気からレーザーへの変換効率は約25%であり、レーザーからEUV 光への変換効率は1%程度であることから、電気からEUV 光への総合効率は0.25%と低いとされる。

これに対してDPP方式EUV光源はEUV光を放出する高温プラズマを大電流パルス放電により生成する方式である。この方式の特徴は、直接電気入力を放電プラズマに変換してEUV光を取り出すことからLPP方式に比較してプラグイン効率が高く、小型化、低コスト化が可能である点である。現状では、高出力化、高効率化、長寿命化、高繰り返し化等、技術的ハードルが高い。このような問題に対して、新しいアイデアと国内大学の有する高い技術水準を駆使して、サイエンスとエンジニアリングの両面から課題の解決に取り組み、この難問を解決しようとするのである。

6.6 課題の絞込み

EUVA 計画ではLPP方式とDPP方式を平行して推進することとなっているが、進捗状況により課題を絞り込

むことが予定されている。

LPP 方式の場合、Xe ターゲットを中心に開発を行い、2003 年末において EUV 変換効率 0.7% 以上、5 kHz 以上の運転可能なデータが得られることを目指す。また、本方式の最終課題である 10 W を達成するのに必要とされるスケール則上問題がないことという観点も重要である。Xe 以外の有力なターゲットとして、変換効率が 2% と最高変換効率が期待される Sn について研究し、1% 以上の高い変換効率を得ることを期待したい。

DPP 方式では2003年度の中間目標を達成し、さらに電源方式についてSIサイリスタ磁気スイッチ方式、ブルームライン線路方式、固体化電源磁気圧縮方式等を研究し、2005 年度までに EUV 変換効率 0.3% 以上、エネルギー伝送効率70%、繰り返し周波数 5 kHz を達成する見通しが得られる電源方式を選択する。中間目標の一部が達成できない場合においても、2005年度までにLPP方式より優位な10 W 装置化が可能な技術見込みを明確化する必要がある。いずれのケースでも求められるハードルは極めて高く、現状技術に新しい創意工夫を付加しなければならない。

6.7 EUV 光源装置の見込み構成

光源装置のイメージを明確にするため、中間目標である EUV 出力 4 W 装置の LPP および DPP 方式光源の予想される構成を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。Fig. 2 は LPP 方式の見込み構成を示す。レーザー出力 2.5 kW、MOPA 方式レーザーにより形成されるレーザー生成プラズマより 2π sr/2%IB において 13.8 W の EUV 出力を得、ガス吸収、集光角度、ミラー反射率等を仮定して、中間集光点で 4 W を得る。Fig. 3 は DPP 方式の見込み構成である。5 ~ 10 kW パルスパワー発生器より変換効率 0.1 ~ 0.2% で

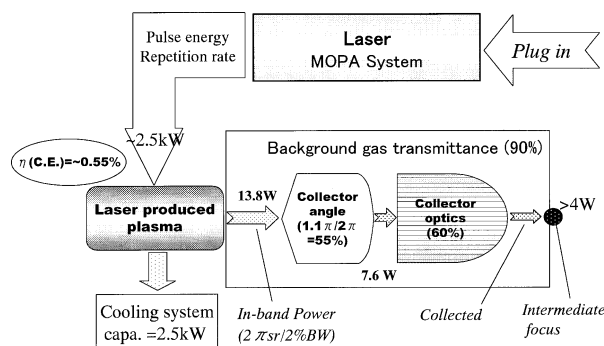


Fig. 2 Construction of LPP-EUV light source for 4 W output power.

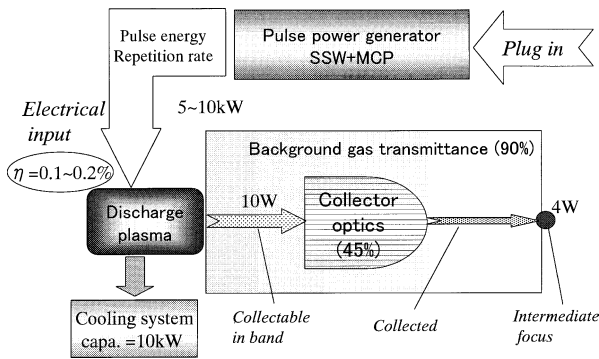


Fig. 3 Construction of DPP-EUV light source for 4 W output power.

10 W の EUV 光を発生し、同様にガス吸収、集光ミラー効率を仮定して、中間集光点において 4 W の EUV 光を得る構成となっている。

6.8 EUV 光源の応用—まとめに代えて

LPP にしても DPP にしても基礎研究・応用研究の歴史は長く、それぞれ有用な技術を生み出してきた。高温プラズマ応用が、45 nm テクノロジー以細の微細な半導体回路の作成に役立つが、EUV 光源の用途はそれにとど

まらない。EUV 光源は従来光源と異なり、リソグラフィ応用に限っても、多世代にわたる光源技術であるとされる。しかし、この技術は単なるリソグラフィ光源に留まることなく、いろいろな科学計測手段、医学・生物学・産業等における新しい計測診断技術を生み出すに違いない。光源のエタンドュが制限された高輝度光源であり、また、高精密な光学系やデブリ制御やミラー損傷防止技術等もこのプロジェクトの成果として期待されるので、画像計測や走査型 X 線プローブへの応用等、想像すれば際限なくその応用可能性が広がる。21 世紀における光技術は EUV 光源開発のような例が積み重なって大きな技術体系ができあがってくるような気がするのである。

EUVA 活動の中で日々行われる検討資料を参考にし、EUV 光源開発への取り組み、大学等との産学連携について紹介した。内容についてはできるかぎり正確を期したつもりである。最後に、広い分野から専門家の方々のご助言、ご協力をお願いしたい。

謝辞

本研究は経済産業省「極端紫外線 (EUV) 露光システムの基盤技術研究開発」の一環としてなされた。ここに記して謝辞とする。