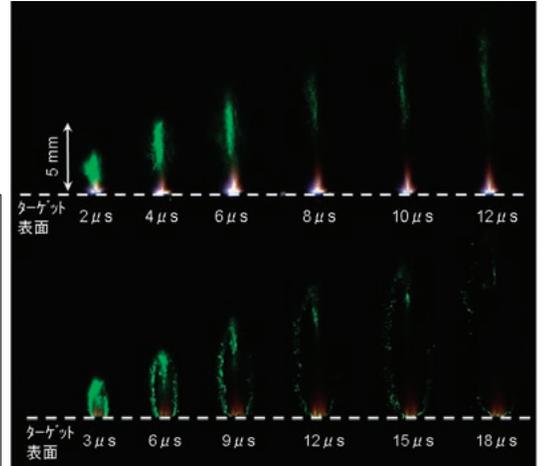
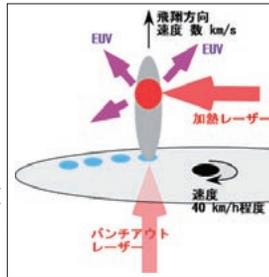


CONTENTS

- 次世代リソグラフィ光源用パンチアウトターゲット供給方式の開発
- EUV光源における質量制限錫ターゲットの最適化
- EUVリソグラフィ用レーザー生成プラズマ光源の開発
- 【光と蔭】レーザー総研創立20周年を迎えて

【口絵1(左)】パンチアウトターゲット供給装置概念
【口絵2(右)】薄膜錫ターゲットとドット錫ターゲットとの飛翔状態の違い



次世代リソグラフィ光源用 パンチアウトターゲット供給方式の開発

EUVプロジェクト 島田義則

■パンチアウトターゲット供給システム

レーザープラズマからの高強度放射光は幅広い応用が期待されている。その中で、極端紫外光(EUV)の研究が盛んに行われている。当研究所では2003年度から阪大レーザー研や他の研究機関とも連携して研究を行い、極端紫外光(EUV)発生効率に関してレーザー波長、パルス幅、照射強度依存性を実験的に明らかにし、シミュレーションコードの開発を進めてきた(「レーザークロス」No.189、199、203、205)。特に錫ターゲットを用いることによりレーザーエネルギーからEUV(波長13.5nm2%BW)への変換効率は2~4%を達成できることを明らかにした。一方、10kHzのターゲット供給方式はドロップレットや回転ドラム式などが提案されている。その中で当研究所と阪大レーザー研はパンチアウトターゲット方式を提案した(口絵1)。本稿ではその研究の現状について述べる。

■必要最低限のターゲット供給を目指したパンチアウトターゲット方式

パンチアウトターゲット方式は基板と蒸着された薄膜錫の2層構造で、基板側から蒸着錫に向けてレーザーを照射し、基板と薄膜錫の界面で発生したプラズ

マの圧力によって錫を噴出させる方法である。EUV光源として錫ターゲットに要求される仕様は、EUV光を発生させるために必要な最小質量程度(10^{15-16} 個)で、その錫が直径500 μm の球内に納まっていること(錫密度は 10^{19-20}cm^{-3})である。レーザー強度、レーザーパルス幅やターゲット初期状態などを変化させ、パンチアウトターゲットの諸特性、最適な条件を求めた。

波長532nm(緑色)のレーザーをプローブ光として用い、散乱計測を行った。口絵2上図がレーザースポットサイズより小さい錫ドットターゲットを、下図が錫薄膜ターゲットをパンチアウトレーザーで照射した場合の飛翔状態である。パンチアウト用レーザーの強度は $5 \times 10^6\text{W}/\text{cm}^2$ 、スポットサイズ500 μm である。散乱計測用レーザーのパルス幅は10nsを用いた。錫薄膜ターゲットの飛翔状態は馬蹄形となり横方向に広がる部分が存在するが、ドットターゲットでは直線的に進む成分が多い。また、両ターゲットともに飛翔速度は1~2km/sに達した。ドットターゲットの飛翔は直線的に進むため、EUV発光に寄与しなかったターゲットは集光ミラー外に放出される。

次に、パンチアウトターゲットの面密度をEUV光

次ページへつづく▶

次世代リソグラフィ光源用パンチアウトターゲット供給方式の開発

をバックライトとする吸収法により計測した。中心付近の面密度は $10^{17}/\text{cm}^2$ 程度であった。パンチアウトターゲットの直径を $400\ \mu\text{m}$ とすると平均密度は $2.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の初期密度が達成されている。この密度では、EUV発光スペクトルは錫原子によるEUV光の吸収を受けないため、波長 13.5nm にシャープなピークを持つ形となる。

■連続供給可能なパンチアウトターゲット方式

パンチアウトターゲット方式を用いて 10kHz 連続供給を行うためには基板を高速で移動させる必要があり、ディスク型、テープ型などが考えられている。

筆者らはディスク型を用いて 10Hz のターゲット供給実験を行い、安定したパンチアウトターゲットが供給できることを実証した。今後、 10kHz の高速供給のためには基板の速度を 40km/h 以上で移動させる必要があるため、ディスクを大型化し、数千rpmで回転させる実験を行う。

本研究は、文科省リーディングプロジェクト「極端紫外(EUV)光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」のもと、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターと共同で実施した。

TOPICS

EUV光源における質量制限錫ターゲットの最適化

EUVプロジェクト 古河裕之

■錫ターゲットを用いた場合の課題

EUV光源の実用化においては、大きく分けて4つの課題がある。

- 1)高いEUV光出力を達成する。
- 2)長寿命(半年程度以上)の光源を開発する。
- 3)ターゲットの高速(10kHz 程度以上)供給技術を開発する。
- 4)低コスト化を図る。

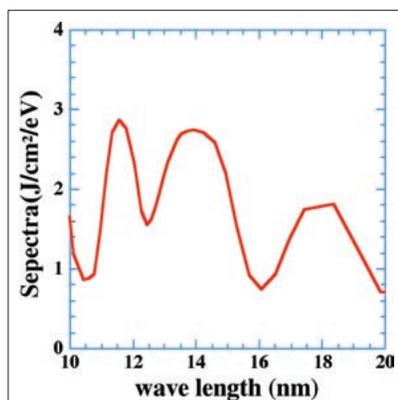
錫ターゲットを用いる場合、特に2)と3)が重要な課題となる。光源を長寿命化するには、錫デブリ粒子を大幅に低減する必要がある。しかも、十分なEUV光出力を保ち、錫ターゲットを高速に供給できなければならない。当研究所では、主にパンチアウト方式により、1)から4)の課題を克服すべく、研究を推進している。

■EUV光の発光量および中性粒子数の評価

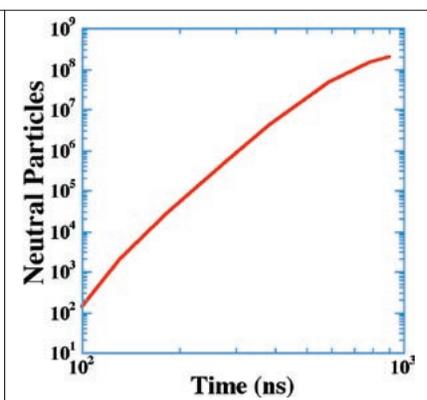
レーザー技術総合研究所、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、EUVA(極端紫外線露光システム技術開発機構)等の精力的な研究により、高エネルギー粒子発生メカニズムは、ほぼ明らかになってきた。高エネルギーの荷電粒子に関しては、磁場を用いた制御に関する研究が精力的に進められ、成果を収めつつある。

しかし、中性粒子は電磁場で制御できないため、その影響を低減することは荷電粒子の場合に比べ非常に困難である。中性の錫は金属であり、ミラーに付着しミラーの反射率を著しく低下させる。また生成されるプラズマの電子温度は数十eV程度であり、レーザー照射が終了した後、放射冷却等により温度が下がり、放射

中性再結合等により価数の低いイオンや中性粒子が生成されることが予想される。これはEUV光源実用機開発に関して非常に大きな問題であり、イオンの電離過程・再結合過程、励起過程・脱励起過程に関し、詳細な解析が必要である。従来は、電離平衡を仮定した放射流体シミュレーションにより解析されてきたが、EUV錫プラズマは必ずしも電離平衡が成り立たない。本研究において、時間依存の原子過程を含んだ放射流体シミュレーションを行い、EUV光の発光量および中性粒子数の観点から、質量制



【図1】EUV光発光スペクトル



【図2】中性粒子数の時間発展

限ターゲットの最適化を行った。

図1は、ある条件下でレーザーを照射した場合のEUV光発光スペクトルである。図1に記されたEUV発光量は、実用機の条件を満たしている。図2は、中性

粒子数の時間発展である。図2から分かるように、レーザーの照射が終了した後、放射性再結合、3体再結合等により中性粒子数が時間とともに増加している。今後、より詳細な研究が必要である。



EUVリソグラフィ用レーザー生成プラズマ光源の開発

技術研究組合 極端紫外線露光システム技術開発機構(EUVA)

平塚研究開発センタ 住谷 明

■量産光源に向けた高出力EUV光源の開発を推進

13.5nm近傍の極端紫外線(EUV)を光源として用いるEUVリソグラフィは、次世代の半導体リソグラフィ技術の有力候補とされている。これに用いる高出力の実用的なEUV光源の実現を目指して、EUVAではレーザー生成プラズマ(LPP)方式と放電生成プラズ

マ(DPP)方式によるEUV光源開発を進めている。本稿では、EUVA平塚研究開発センタにおける、量産光源に向けたLPP方式EUV光源の開発状況と、システム検証機である小領域露光装置(SFET)用光源について紹介する。本研究は、大阪大学を中心とした文部科学省リーディング・プロジェクト「極端紫外(EUV)光源開発

山中千代衛



レーザー総研創立20周年を迎えて

光陰は矢の如しと言うが、財団法人レーザー技術総合研究所は今年2007年創立20周年の記念すべき年を迎える。

財団設立の時、産官学の関係者が心を一つにして企画し、運動し、設立した経過は拙著「慣性核融合研究開発史—レーザー核融合パイオニア物語—」に詳しく記述してある。今から考えると元石田寛人科技庁次官の言の通り、将に「天の時に恵まれた」のであって、この時節を外すと早くても、遅くても財団の誕生はなかったのである。発足の基本精神は大阪大学レーザー核融合研究センター(ILE)において開発したハイパワーレーザー技術をレーザー技術総合研究所(ILT)の努力によって広く産業界にスピノフし、大学のもつ科学技術力を直接生産力に結びつけるということである。この思想は他に先駆けて一時代早く展開されたので、その後の大学の技術解放に一石を投じたと考えている。しかし現実にはまだ両者の理想的な協力関係は完成していない。

ILEは基礎的研究に全力を指向し、ILTはその成果をこまめに産業界へ移行するという努力は不十分と言わざるを得ない。付言すれば両者の間に血が通うような交流が不足している。両者の補完関係は互いに大きなメリットを産むのだからぜひ活用して欲しいものだ。阪大レーザー研(ILE)と財団レーザー総研(ILT)を設立した者として両者の絆の深まることを心より願っている次第である。このような素晴らしい相互環境にどうして適応しないことがあろうか。

レーザー総研(ILT)は20周年を祝賀して記念行事を計画している。7月には「21世紀は光の時代」(仮題)と題する座談会を東京で開催し、10月には「光科学技術の拓く新天地」(仮題)をテーマに記念講演会、パネル討論会、セミナー、記念パーティーを大阪において実施する計画である。この記念行事に際し関係者の表彰も考えている。

ところで阪大レーザー研(ILE)も今年は創立35周年に当たる。是非本家本元の祝賀行事も行いたいものである。昔々の話だがわが敬愛する"Peter Mulser"は「大阪にいた時程パーティーに多く出たことはない」と述べている。記念祝賀は多い程いい。2月には新設の諮問会議でILEとILTのネットワークの強化を相談することになっている。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

等の先進半導体製造技術の実用化」と連携して進められている。

■CO₂レーザーとSnドロップレットターゲットによる実用LPP-EUV光源

実用的な高出力EUV光源を実現するためには、高効率な高出力レーザーの開発と、EUV変換効率の向上が必要となる。産業界で多く利用されているCO₂レーザーを増幅器として用いて、増幅取り出し効率を向上できれば経済性に優れたドライバーレーザーを実現できる。EUV変換効率に関しては、ターゲット材質として高い変換効率を得られるSnの利用技術の確立が望まれる。この場合は、圧倒的に多いデブリ(飛散粒子)の抑制が、EUV集光ミラーの寿命延長問題において重要な開発課題である。

SnワイヤーにCO₂レーザーを照射した場合、EUV変換効率はXeの場合の3倍以上の2.5~4.5%程度が測定されている。また、SnターゲットをNd:YAGレーザーで照射した場合と比較しても、CO₂レーザーの場合は、より低いレーザー強度において高い変換効率を得られており、EUV領域のスペクトル波形も、Nd:YAGレーザーの場合と比べて、狭帯域になっている。これらの結果は、九州大学での測定結果や大阪大学ならびにレーザー総研での理論計算の結果と一致しており、CO₂レーザーを用いる場合の利点となる。これらの状況から、高出力EUV光源の構成として、高出力CO₂レーザーとSnドロップレットターゲットとの組み合わせが実用的と考え、要素技術の開発を進めている。

開発しているCO₂レーザーシステムは、産業用の高速軸流RF励起CO₂レーザーを増幅器として用いたMOPAシステムを採用している。発振段(パルス幅15ns、100kHz)の出力光を、3台のCO₂増幅器により増幅することにより約3kWの出力を得ている。ターゲットに関しては、Snドロップレットの開発を行っている。Snを融点である232℃以上に加熱して、液体Snジェット生成とドロップレット化を行っている。現在のところ、直径約75 μ m、速度16m/sのSnドロップレットが100kHzで生成されている。ドロップレット径の縮小と、高速化を進めており、高速Snドロップレットと100kHzの高出力CO₂レーザーを用いたEUV発生を計画している。



【図】SFET用LPP光源

■磁場を用いたEUV集光ミラーの保護

EUV集光ミラーは、プラズマ近傍に設置され、EUV光を露光装置の照明光学系へ反射集光する。プラズマからは数keVのエネルギーを持つ高速イオンの発生が観測されており、高速イオンによるミラー表面の多層膜のスパッタリング損傷が発生する。高速イオンに関しては、大阪大学レーザー研とレーザー総研のグループにより理論解析が行なわれ、発生機構の解明が進んでいる。また、Snターゲットの場合は、デブリの反射面への付着が問題であり、ミラーの保護が課題である。高速イオンの対策として、磁場を用いたイオン制御の有効性の確認を行った。スパッタ損傷率は磁束密度の増加により減少することが観測された。実用EUV光源への磁場制御の適応に際しては、口径の大きな集光ミラーに対応した大きな磁場空間を有する1T以上の磁束密度の磁石の実現が課題となる。大阪大学のグループによる、磁場中でのプラズマ運動の解析に関する協力を得て、磁場設計の検討を行っている。Snデブリに関しては、質量制限ターゲットの利用や、レーザー照射条件等の最適化による抑制を図る予定である。

■SFET用LPP-EUV光源で実証試験

EUV光源の基盤技術の総合的な実証のために、SFET用光源を試作した(図)。SFET用EUV光源は小出力のため、デブリの少ないXeターゲットによるLPP方式を選択した。ドライバーレーザーには、リソグラフィ用光源として実績のあるKrFエキシマレーザーを採用し、出力500W以上、パルス幅15ns(FWHM)以下の高出力、短パルスレーザーを用いた。ターゲットは、最大速度30m/s、直径約50 μ mのXeジェット

であり、集光ミラーには反射率60%以上のMo/Si多層膜を用いた。EUV変換効率の物理的理解に関しては、大阪大学レーザー研およびレーザー総研の協力を頂いた。光源の評価はSFET本体の開発を進めているキャノンと共同で実施し、32nmL&Sの解像を目指した露光実験用光源としての適用が確認されている。

本研究はNEDO「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。また、本研究に対する文部科学省リーディング・プロジェクト「極端紫外(EUV)光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」の協力を感謝いたします。