

錫微粒子クラスタでMCMリソグラフィー量産用光源に道を拓く

レーザープラズマ発光の変換効率最大化条件を解明

高度情報化社会を支えるための半導体素子は、現在、線幅が90nmまで到達しているが、2010年には45nmになり、その後も微細化が進展すると期待されている。素子を量産するためのリソグラフィーに現在は波長193nmのレーザーが使われている。光源の波長を一挙に135nmまで短波長化して、45nm以下の線幅の微細加工を可能にするのが極端紫外線(EUV)リソグラフィーであり、米、欧および日本で国家プロジェクトとして研究開発が行われている。素子の量産時には、EUVリソグラフィーの照明光学系に100W以上のEUVパワーの投入が必要とされており、EUV光源の開発が最重要開発課題になっている。

現状のキセノンプラズマkHz光源は、出力EUVパワーと入力パワーとの比である変換効率が0.5%から1%である。EUVパワーを10倍程度増倍して100Wにするには、数十kWのパワーを入力することになる。すると、励起源コストが莫大になるだけでなく、真空容器内の除熱問題も深刻である。この解決には、変換効率の大幅な増大が求められ、錫プラズマの採用とともに、変換効率最大の条件の解明が必要である。

我々は、理論考察により、レーザープラズマ発光の変換効率を最大化する条件を導いた¹⁾。その考察に依れば、加熱中にプラズマが膨張する距離とレーザーの吸収長が同程度になるプラズマ密度の場合に効率が最大になる。レーザーパルス幅が数nsの場合、数百μm膨張するのでプラズマの厚さは数百μmが必要であり、レー

ザー波長が1μmであれば、固体密度の数千分の一のプラズマ密度(10¹⁸個/cm³程度)が最適である。

従来のターゲット供給法では上記の条件は実現できないので、理論検証のため、新ターゲット供給法を考案した²⁾。図1に示すように、酸化錫微粒子にパルスレーザーを照射して衝撃を与えて、微粒子クラスタを広く均一に分散させた後に、プラズマ化する方式である。時間とともにクラスタが広がって密度が低くなるので、拡散のための衝撃からプラズマ加熱までの遅延時間を変えることによって、密度依存性を検証することができる。加熱レーザーのパルス幅は8ns、パルスエネルギー400mJ、集光径300μmであった。図2に示すように、50μsまでは遅延時間とともにEUV強度が増大し、それ以降は緩やかに減少した。実線で示した理論予測と実験結果は良く一致した³⁾。同じ図にターゲットを平板錫に替えて得られたEUV強度を点線で示す。微粒子プラズマの方が平板錫ターゲット方式よりも最大で4倍発光強度が大きい。また平板錫の効率は現在のキセノンプラズマ光源より高いので、錫微粒子クラスタを用いればキセノンプラズマよりも数倍高い効率が期待されることから、EUVリソグラフィーの量産用光源の実現に道が拓けてきたと言える。

本方式を実用光源にするには、微粒子クラスタをマルチkHz供給するための液滴搬送技術の開発が課題であり、その研究を進めている。

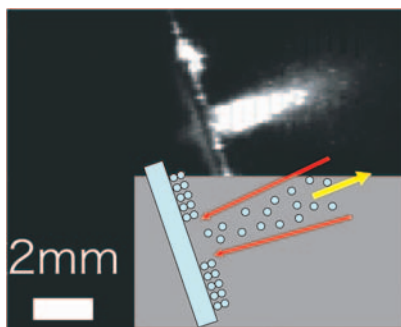


図1 緑のパルスレーザー光の散乱で観測した、拡散する微粒子群の像

Siウエハーに塗布したサブμm径の酸化錫微粒子群に、極短パルスレーザーを照射して衝撃を与えて分散させることで、効率の最大化のために要求される均一で最適密度の状態が実現できる。

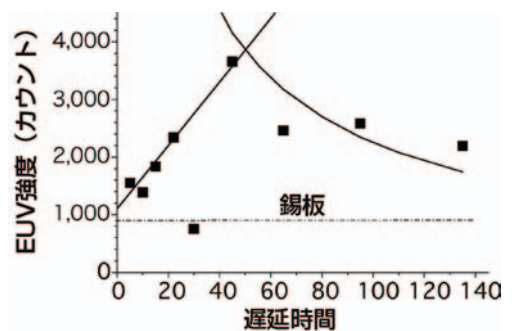


図2 レーザー衝撃で分散させた酸化錫微粒子群ターゲットをプラズマ化した際のEUV発光強度。衝撃発生後プラズマ生成までの遅延時間に反比例して、プラズマ密度が低下する。遅延時間50μsの時に最大のEUV強度が観測された。実線は理論曲線。



とみえとしひさ
富江敏尚
t-tomie@aist.go.jp
次世代半導体研究センター

関連情報

- 共同研究者: 青田達也 (学術振興会) .
- 1) 富江敏尚, 青田達也; 第51回応用物理学学会関係連合講演会 30p-YM-6 (2004) .
- 2) 特願 2003-080378 (富江敏尚) .
- 3) T. Tomie, et al. : Proc. SPIE 5271, 383 (2004).
- 本研究は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託により実施した。