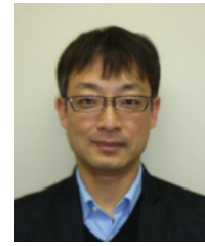


## 次々世代半導体リソグラフィ用波長 6.7nm 極端紫外光源の開発

研究代表者

東口 武史 宇都宮大学工学研究科



### 1. 研究の背景と達成目標

本研究開発は、半導体露光技術の本命であり、来年度市場に投入されようとしている波長 13.5 nm のレーザー生成プラズマ方式極端紫外 (EUV: extreme ultraviolet) 光源の次世代, Beyond EUV (BEUV) 光源(波長 6.X nm)に着手するものである。光源の短波長化によって、2020 年のハーフピッチ 10 nm と予想されるムーアの法則に対応できるようにしておく必要がある。本研究によって、波長 6.7 nm 光源に対応でき、その結果、半導体の微細化プロセスによる駆動電圧の低減化を伴う消費電力の削減に貢献することができる。

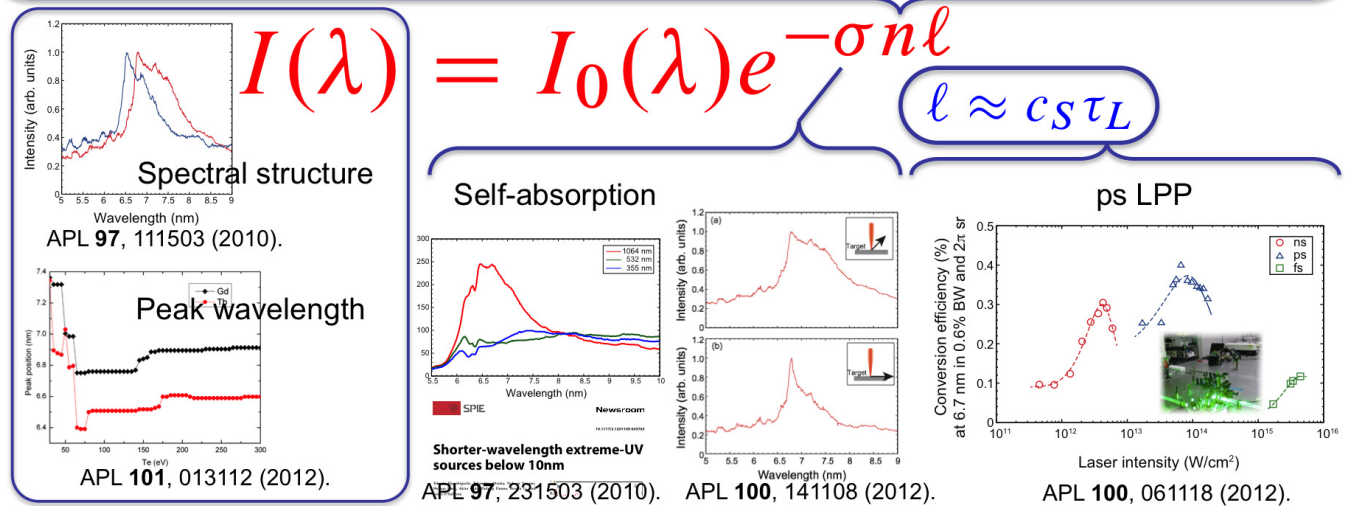
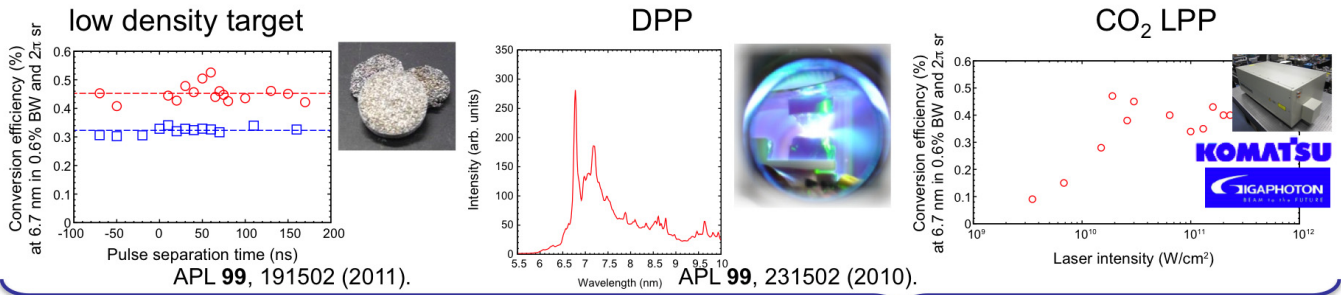
ムーアの法則が未来永劫続く訳ではないであろうが、半導体の微細化によって、駆動電圧が低下し、消費電力が減少することは半導体微細化技術では自明のことである。製造プロセスの微細化によりダイサイズが縮小されることによるコストダウンとトランジスタの高速化による利点があり、プロセスの微細化により消費電力は減少する。露光解像度は波長に比例するため、次々世代の波長(本命は 6.X nm)光源開発に加えて、レーザーから EUV 光へのエネルギー変換効率を改善することによって、必要なプラズマ生成用レーザーの消費電力を低減し、製造プロセスにおける消費電力を低減させることもできる。本研究課題では光源開発における開発指針を明らかにすることにした。また、更なる短波長化(2~4 nm の水の窓生体顕微鏡用光源)への適用可能性も探ることにした。

### 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- 各種放射特性の観測、放射スペクトルおよびプラズマ特性の数値解析  
これらの研究成果は、EUV 光源を中心とする半導体コミュニティの Web サイトなどでも紹介されている。
- 波長 2~4 nm の水の窓生体顕微鏡用光源への拡張  
生物細胞の小器官をライブで観察できると期待されている水の窓軟 X 線光源への拡張実験も行った。SPIE Newsroom にも紹介され、国際シンポジウムでの招待講演が予定されている。

### 3. 研究成果

研究成果の詳細を述べることはできないが、これらは、発表実績 (Journal) に公表されているので、参照されたい。レーザーエネルギーから所望の波長、帯域幅(中心波長 6.7 nm, 帯域幅 2% (申請時の解釈))で、エネルギー変換効率を 2%にすると目標を掲げ、約 1.8%まで達成したことを公表した。そのため、多くの光源実験を実施した。その結果、光源の高効率化には、高温、低密度プラズマを生成することによって、X 線に対するプラズマの光学的厚みを薄くし、放射スペクトル構造を能動的に制御することが重要であることが分かり、これらのことをマッピングした。更に、この光源の物理には短波長光源への拡張性があり、生物細胞内小器官を観察できると期待されている水の窓・炭素の窓軟 X 線光源についても光源実験を行うことができた。異なる波長 6.7 nm, 2~4 nm の放射光源プラズマの相似則を明らかにすることができたため、このことを踏まえて、光源に適したハイブリッドレーザーシステムを構築中である。また、本助成により、このような光源研究を通して、実験的研究成果のみならず、多くの国内外との共同研究に発展させることができた。



#### 4. 今後の展開

本研究課題では、次世代の半導体分野に貢献することを意識しながら、波長 6.7 nm 光源について理解するところから始まった。この光源の物理機構、相似則を更に短波長光源に適用することにより、波長 2-4 nm の生物細胞内小器官をフラッシュ撮影するための水の窓軟 X 線光源も実現できる見通しも立ってきた。半導体分野から生体分野に展開できる光源の物理を国内外の共同研究を通して明らかにしていく予定である。

#### 5. 発表実績(代表的な学・協会誌論文のみ)

- [1] Applied Physics Letters, Vol. 97, p. 111503 (2010). [introduced to Nature Photonics 4, pp. 809-811 (2010) news & views].
- [2] Applied Physics Letters, Vol. 97, pp. 231503 (2010).
- [3] Applied Physics Letters, Vol. 99, p. 191502 (2011).
- [4] Applied Physics Letters, Vol. 99, p. 231502 (2011).
- [5] Applied Physics Letters, Vol. 100, p. 014103 (2012).
- [6] Applied Physics Letters, Vol. 100, p. 061118 (2012).
- [7] Applied Physics Letters, Vol. 100, p. 141108 (2012).
- [8] Applied Physics Letters, Vol. 101, p. 013112 (2012).
- [9] Journal of Physics B, Vol. 45, p. 205002 (2012). [Highlight of 2012 Collection, LabTALK]
- [10] Applied Physics Letters, Vol. 102, p. 041117 (2013).