

【ナノテクノロジー分野】

仮訳

ローレンスリバモア国立研究所(LLNL)が 次世代極紫外線リソグラフィー研究を主導(米国)

2024 年 12 月 23 日

著者： Benny Evangelista



(左から)Drew Willard 氏、Brendan Reagan 氏と Issa Tamer 氏が Big Aperture Thulium (BAT) レーザーシステムでの作業に取り組む (写真提供: Jason Laurea/LLNL)

[ローレンスリバモア国立研究所 \(LLNL\)](#) による数十年にわたる最先端のレーザー、光学およびプラズマ物理学の研究活動は、半導体産業が高度なマイクロプロセッサの製造で使用する基礎科学において重要な役割を担ってきた。これらのコンピュータチップは、今日の人工知能(AI)、高性能スーパーコンピューターやスマートフォンの驚異的なイノベーションの原動力となっている。

LLNL が主導する新しい研究パートナーシップでは、同研究所が開発した [Big Aperture Thulium \(BAT\) レーザー](#) と呼ばれるドライバーシステムを中心とした、極端紫外線 (EUV) リソグラフィーの今後の進展を支える基礎の構築を目指している。

LLNL の研究チームは、米国エネルギー省 (DOE) 科学局(OS) [マイクロエレクトロニクス科学研究センター \(MSRC\)](#) プロジェクトに選ばれたセンターの 1 つである、Extreme lithography & Materials Innovation Center (ELMIC) に参加する。[DOE では、2022 年に成立した超党派「CHIPS および科学法」の一環として承認された 3 つの MSRC に 1 億 7,900 万ドルの資金提供を発表](#)している。

ELMIC は、将来のマイクロエレクトロニクスシステムへの新しい材料・プロセスの統合に向けた基礎科学の発展を目指している。ここで LLNL が主導するプロジェクトでは、4 年間で 1,200 万ドルの、EUV 生成とプラズマベースの粒子源に関する基礎科学の拡大を特に目的とした調査を実施する。別の ELMIC プロジェクトでは、プラズマベースのナノファブリケーション、2D 材料システムや極限スケールのメモリ等の重要な研究分野に焦点が当てられる。

LLNL の主導するこのプロジェクトでは、BAT レーザー による EUV 光源効率を、現在の業界標準である二酸化炭素 (CO₂) レーザーの約 10 倍に向上させる試験を実施する。これにより、さらに小型で強力、迅速かつ低電力で製造可能なチップの実現に向けた、「EUV を超える」次世代のリソグラフィーシステムにつながる可能性が期待できる。

「私たちはこの 5 年間で、このプロジェクトの基礎となる理論的なプラズマシミュレーションと概念実証レーザーの実証を実施してきました」と、LLNL のレーザー物理学者 Brendan Reagan 氏は言う。「私たちの研究は、EUV リソグラフィーのコミュニティにすでに大きな影響を与えているため、次のステップに進むことを非常に楽しみにしています」。

Reagan 氏と LLNL のプラズマ物理学者の Jackson Williams 氏は、このプロジェクトの共同主任研究員である。このプロジェクトには、[SLAC 国立加速器研究所](#)、[ASML サンディエゴ](#)、オランダに拠点を置く官民共同研究センターである Advanced Research Center for Nanolithography ([ARCNL](#)) の科学者が参加している。

EUV リソグラフィーでは、高出力レーザーを 1 秒あたり数万個のスズの液滴に照射する。約 3000 万分の 1 メートルサイズの各液滴を約 50 万度に加熱することでプラズマ

を生成し、このプラズマが波長 13.5 nm の極端紫外線(EUV)を発生させる。

特殊な多層膜ミラーがマスクと呼ばれるプレートを通じて EUV 光を誘導するが、このマスクには半導体ウェハーに形成する複雑な回路パターンが描かれている。EUV 光がフォトリソ層に回路パターンを投影し、同層のエッチング後、チップ上には集積回路が残る。

LLNL の主導するこのプロジェクトでは、レーザービームの強度と光量を高める利得媒質としてツリウムを添加したイットリウムフッ化リチウムを使用したペタワットクラスの新しい BAT レーザー用に開発された技術により、半導体製造用の既存の EUV リソグラフィ 光源のエネルギー効率を改善するという主要な仮説について調査する。

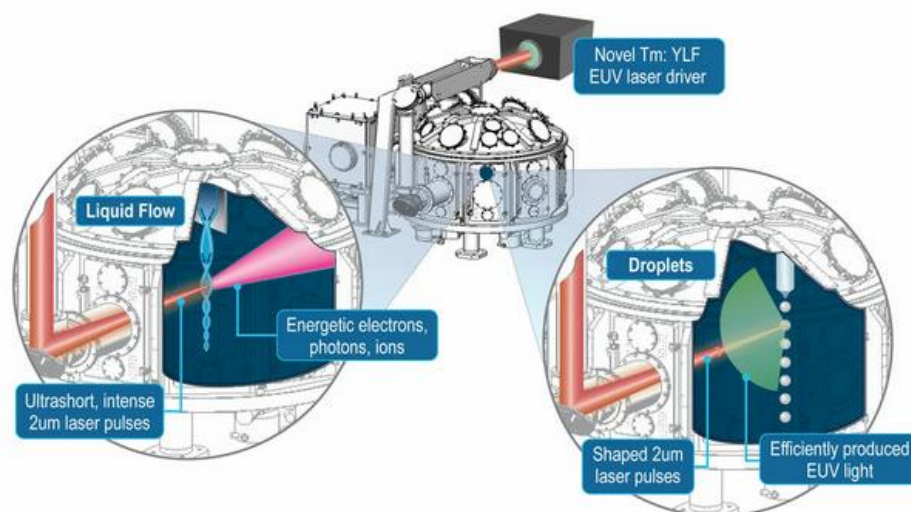
ツリウム添加イットリウムフッ化リチウムのユニークな中心波長は、約 1 ミクロンまたはそれ以下や 10 ミクロンで動作する他のすべての強力なレーザーとは異なり、約 2 ミクロンでレーザー光を発する。このプロジェクトでは、2 ミクロンでのジュールレベルのレーザーターゲットのカップリングについて初めて調査する。

これは、LLNL による [Laboratory Directed Research and Development Program](#) の事業や、DOE SC の High Energy Physics [Accelerator Stewardship Program](#) および国防高等研究計画局(DARPA)が資金を提供する外部からのサポートをベースとしている。

LLNL の研究チームは、成形されたナノ秒パルス、高エネルギー X 線と超短サブピコ秒パルスを使用した粒子を使用して、コンパクトな高繰り返し率 BAT レーザーと EUV を生成する技術との組み合わせを実証する予定である。

「このプロジェクトにより、LLNL で初めて高出力、高繰り返し率、約 2 ミクロンでのレーザーが実証されるでしょう」と Williams 氏は言う。「BAT レーザーで可能になる機能はまた、高エネルギー密度物理学や慣性核融合エネルギーの分野にも大きな影響を与えるでしょう」。

実験の多くは、LLNL の [Jupiter Laser Facility \(JLF\)](#) で実施される。JLF は [4 年間の改修工事](#)を終えたばかりの中規模のユーザー施設で、DOE OS の北米における高出力レーザー施設の核融合エネルギー科学ネットワークである、[LaserNetUS](#)の一員である。



上図は LLNL の Jupiter Laser Facility Titan ターゲットエリア (中央) への高繰り返し率レーザー バーストの照射を示す。ここでは、高エネルギー粒子用の短パルス照射液体フローシート(左)と EUV 生成・他の実験用の長パルス照射液滴 (右) の 2 つのターゲットに BAT レーザービームを照射している。

(イラスト: Janelle Cataldo/LLNL)

半導体業界は、その創設以来、できるだけ多くの集積回路やその他の機能を 1 個のチップに詰め込むことで、各世代のマイクロプロセッサをより小型かつ高性能にするという絶え間ない競争に取り組んできた。数ナノメートルの微細回路を高度なチップやプロセッサに EUV 光を使用してエッチングする EUV リソグラフィーは、この数年間において最も重要な位置を占めている。

Reagan 氏は、プラズマベースの EUV 光源の基礎を成した初期の分光学的研究を含め、EUV リソグラフィーの開発を LLNL が長年先導してきたことに触れる。

LLNL、サンディア国立研究所(SNL)、ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)が共同で [1997 年に行った研究プロジェクト](#) では、EUV 露光ツールの最初のプロトタイプである [Engineer Test Stand](#) が開発された。

さらに、LLNL は、リソグラフィー用の EUV 光の輸送と供給に役立つ効率的な多層光学部品も開発している。以前には、LLNL は [ASML と提携](#)し、同研究所の広範なプラズマ シミュレーション機能を活用して光源の効率性を最適化した。

長年にわたり、LLNL の広範な学際的研究活動は、多層コーティング科学技術、光学計測、光源、レーザー、高性能コンピューティング、そして特に 2022 年 12 月には [NIF](#) での[核融合点火](#)という歴史的な功績の達成に貢献してきた。

チップの主要生産者向けの EUV リソグラフィー 装置を製造する ASML は、EUV 光源の駆動に CO2 パルス レーザーを使用している。しかし、過去 10 年間の LLNL の研究により、新しいダイオード駆動の固体レーザー技術は、EUV リソグラフィーシステムに向けたより高い出力と全体的な効率性の向上を実現する有望な道筋を提供することが示されている。

Reagan 氏と Williams 氏に加え、LLNL の学際的チームの主要メンバーには、Félicie Albert 氏, Leily Kiani 氏, Emily Link 氏, Thomas Spinka 氏, Issa Tamer 氏 と Scott Wilks 氏が含まれる。

このプロジェクトには、SLAC の高エネルギー密度部門ディレクターであり、元 LLNL プラズマ物理グループリーダーである Siegfried Glenzer 氏、ASML の主任 EUV 光源研究技術者である Michael Purvis 氏、また、ARCNL の光源部門責任者である Oscar Versolato 氏も参加している。

訳：NEDO（担当 イノベーション戦略センター）

出典：本資料は、ローレンスリバモア国立研究所(LLNL)の記事 “LLNL selected to lead next-gen extreme ultraviolet lithography research”

(<https://www.llnl.gov/article/52226/llnl-selected-lead-next-gen-extreme-ultraviolet-lithography-research>) を翻訳したものである。