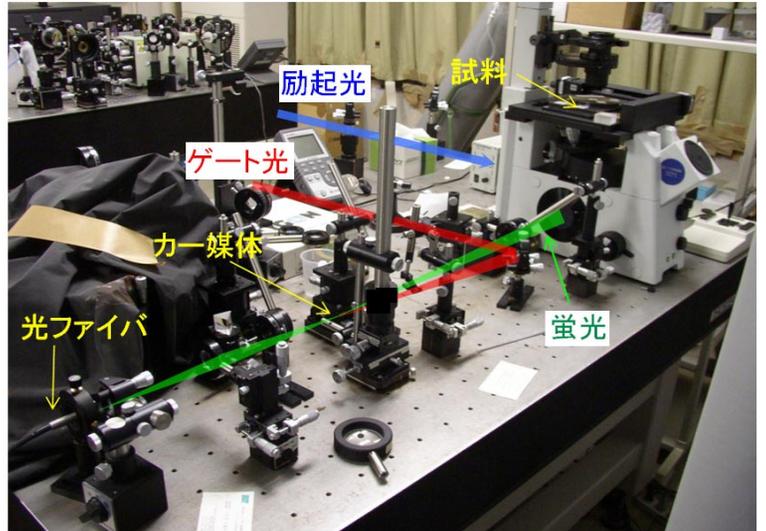


**CONTENTS**

- 顕微フェムト秒光カーゲート計測装置
- レーザー・放電ハイブリッド励起光源のシミュレーション研究
- 【光と蔭】人を見て法を説け
- The 30th international free-electron laser conference
自由電子レーザー国際会議に参加
- 主な学会報告予定



【表紙写真】顕微フェムト秒光カーゲート計測装置

顕微フェムト秒光カーゲート計測装置

レーザーバイオ科学研究チーム 谷口誠治

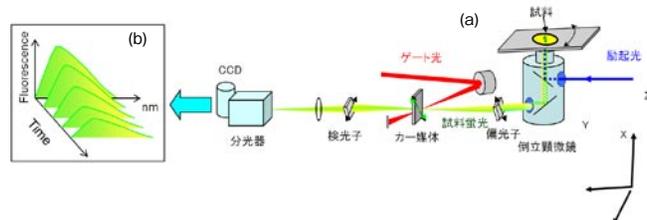
はじめに

我々の研究チームではこれまで、蛋白質微結晶等の微量な固体試料の計測を行うため、従来行ってきた蛍光アップコンバージョン法と光学顕微鏡を組み合わせた顕微蛍光アップコンバージョン計測システムを開発し、この手法により蛋白質微結晶のフェムト秒領域での蛍光ダイナミクスの観測に初めて成功した(Laser Cross No.229)。この手法は、顕微領域においてフェムト秒蛍光ダイナミクスの観測が可能となる有用な手法である。しかし一方、一度の測定での観測は1波長のみであるため、観測波長を変えた場合に再度同様の計測を繰り返す必要があり、試料の劣化による誤差が問題となる点や、観測波長毎の絶対的な蛍光強度を比較することが難しい点等、研究を進めていく上での問題点も存在する。これらの解決には、蛍光スペクトル全体を同時に観測することができる計測手法を用いる必要がある。この観点から我々は光カーゲート時間分解蛍光スペクトル計測法を光学顕微鏡と組み合わせた計測システム(顕微フェムト秒光カーゲート測定法)を新たに提案し、その開発を進めており本稿においてその現状について報告する。

計測装置

計測装置の概念図を図1(a)に示し、その計測原理について説明する。まず観測したい蛍光の光路上に光

カー媒質を置き、その前後に偏光子-検光子対をクロスニコル配置で設置する。試料から発生する蛍光は、通常は偏光子検光子対により検光子後まで透過することはないが(光シャッター)、カー媒質に強いゲート光パルス照射すると、光カー効果の屈折率の変化により蛍光の偏光が回転し、蛍光の一部が検光子を透過するようになる。この現象は蛍光のいずれの波長においても同様に起こるため、試料の蛍光スペクトルを一度に検出する事が可能となる。計測される蛍光ダイナミクスのデータ形状は図1(b)のようになり、反応ダイナミクスを議論する上で重要な蛍光スペクトル幅の変化や波長シフト等の情報の取得が容易となる。また、各観測点を時間方向につなげる事で、任意の波長の蛍光の経時変化を取得する事も可能となる。励起光源として、パルス幅約100フェムト秒のチタン-サファイアレー



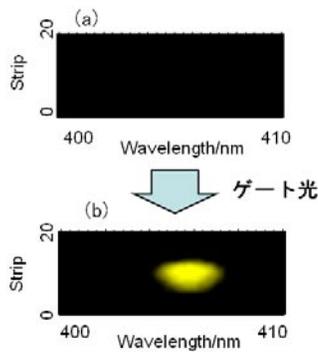
【図1】顕微フェムト秒光カーゲート計測装置の概念図(a)と観測データの形状(b)

次ページへつづく▶

ザー(820nm、1W、76MHz)を使用し、励起光としてその第二高調波(410nm)を、ゲート光には基本波を用いた。検知器には、感度の高い冷却型CCD検出器を使用し、カー媒体として標準的な二硫化炭素(CS₂、光路長1mm)を用いた。

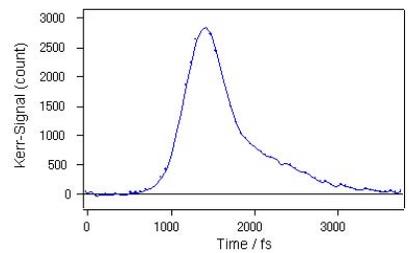
■装置応答関数の計測

この測定システムを用い、装置応答関数について検証した。図2に時間原点における透過光のCCD像を示す。ゲート光を照射した条件において透過光強度の大幅な増加が見られている。この条件で光学遅延時間を変化させ、装置応答関数を観測した。結果を図3に示す。レーザー光のパルス



【図2】ゲート光非照射時(a)、ゲート光照射時(b)の透過光のCCD像

幅が広いためにCS₂の即時的な電子応答は明確ではないが、その後の指数関数的な挙動を示す遅い核の応答、更にその後の配向緩和過程によると思われる数ピコ秒の減衰が見ら



【図3】装置応答関数(470nm、カー媒体: CS₂)

れる。これらの挙動はCS₂の特性と一致する。この結果は、顕微フェムト秒光カーゲート法の構築が十分に可能である事を示していると思われる。今後はカー媒体として応答性の高い材料を使用し、計測システムの高時間分解能化、および空間分解能を高めるための措置を施して測定システムの高性能化を行い、蛋白質微結晶や分子結晶等固相試料への適用を進めていく予定である。

レーザー・放電ハイブリッド励起光源のシミュレーション研究

共同研究員(日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門 副主任研究員) 佐々木明

■EUV光源の基礎研究の背景

2003年度から2007年度まで、文部科学省リーディングプロジェクト「極端紫外光源開発等の先進半導体技術の実用化」において、大阪大学レーザーエネルギー学研究所を中心とし、次世代半導体製造技術に用いられる、波長13.5nmのレーザープラズマ(LPP)EUV光源の研究が行われた。Snプラズマの発光機構が明らかになり、3%以上の高い変換効率を得る励起条件が解明された¹⁾。今後の実用機の開発を目指す研究は、企業を中心として行われるが、これまで全く存在しない新しい装置の実用化のためには、基礎研究の課題もまだ多く残されている²⁾。

■レーザーアシスト放電EUV光源のシミュレーション研究の計画

放電励起(DPP)EUV光源も、LPP方式と並んで研究開発が進められてきた。DPP光源の装置は、安価でコンパクトだが、リソグラフィに要求される高出力へのスケラビリティが課題であると考えられていた。最近、回転電極を用いて、それまで問題であった電極の熱負荷を減らすとともに、レーザー照射によってプラズマを生成し放電を開始させる、レーザーアシスト放電方式(LA-DPP)が提案された。このようなLA-DPP光源の動作機構を解明するため、科学研究費基盤研究B「レーザー・放電ハイブリッド励起プラズマ光源にお

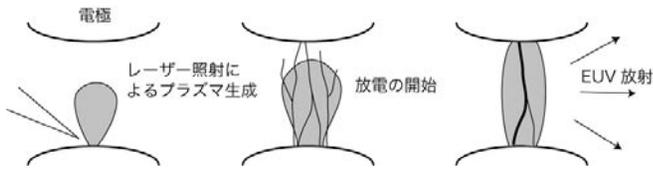
ける原子輻射過程の統合モデル構築」では、レーザー総研古河副主任研究員、砂原研究員他と共同で、リーディングプロジェクトの成果を活用し、発展させる研究を行うことになった。また、LA-DPP光源は、紫外からX線領域の準単色、高効率の新しい光源としての応用可能性をも持っている。

■LA-DPP光源の動作機構

LA-DPP光源の動作機構は、図1のように考えられている。はじめに、レーザーで電極表面をアブレートするなどして予備生成プラズマを発生させる。次に、電極間に電界を印加して放電を開始させる。最後に放電電流によるジュール加熱と、ピンチによる圧縮で高温のプラズマを生成し、EUV光を発生させる。本研究では、このような光源の特性を評価するために、レーザープラズマ相互作用および電磁流体力学(MHD)と原子過程を含む統合的なプラズマシミュレーションを行う。

■予備生成プラズマの特性の評価

レーザーによる予備生成プラズマの発生過程は、LPP光源のシミュレーションのために砂原研究員によって開発された輻射流体シミュレーションコードや、古河副主任研究員によって開発されたレーザーアブレーションシミュレーションコードを用いて解析する。低強度のレーザーでターゲットを照射して生成する、クラスター、ガス、プラズマ状態が混在する状態を、



【図1】レーザーアシスト放電(LA-DPP)EUV光源の動作の模式図

Luk'yanchukモデルⁱⁱⁱで解析し、Etendueで制限される微小な空間領域に、高出力を得るために必要な量のSnを供給する方法を明らかにするとともに、飛散粒子(デブリ)の発生を抑制する条件についても検討する。

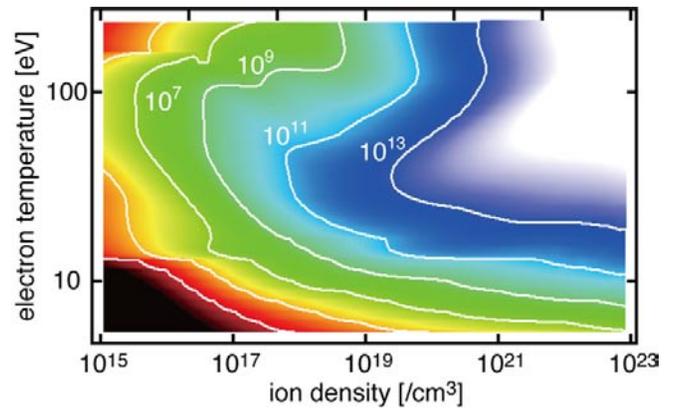
■放電プラズマの統合モデルの構築

EUV光源で用いられる放電は、おもに真空スパークである。自己磁場によるピンチ力とプラズマの圧力、ジュール加熱および衝撃波加熱と輻射によるエネルギー損失がそれぞれ同程度になる条件で動作すると考えられているが、図2に示すようにSnプラズマの原子過程は非線形性が強いことに起因して、放電は空間的な不均一性が大きく、時間的な変化が激しい現象となる。電極の加熱によってプラズマが供給される過程も放電の特性に大きな影響を与える。レーザーアブレーションによって予めプラズマを生成すると、長パルス(>1μs)の安定な放電を起こすことができ、高出力が得られると期待されている^{iv}。

このような放電の特性を評価するためには、多次元のMHDと原子過程、輻射輸送を統合したシミュレーションが必要になる。しかしながら、そのような計算

は実行困難であることから、時空間やエネルギー空間で現象の分解能に合わせた計算格子を用いるAMR (Adaptive Mesh Refinement)法をはじめ、対象となる物理を適切に表現しながら計算量を削減するモデリング手法、計算手法について研究する。また、モデルを光源の特性の評価に応用するためには、検証が欠かせないが、実験的に観測される物理量はごく限られていることから、数值的、論理的にモデルの妥当性を検証する方法についても研究する。これらを通して、従来困難とされている、より一般的な放電現象のモデリングへと展開できる知見を得ることを目指している。

- 【参考文献】i) K. Nishihara et al., Phys. Plasmas, **15**, 056708 (2008).
 ii) "EUV sources for lithography", edited by V. Bakshi, 2005 SPIE press.
 iii) B. S. Luk'yanchuk et al., SPIE **3618**, 434 (1999).
 iv) T. Hosokai et al., J. Appl. Phys., **104**, 053306 (2008).



【図2】Snの波長13.5nm、2%帯域内への放射率(W/cm²)の電子温度、イオン密度依存性

山中千代衛



人を見て法を説け

世の中まさに人いろいろである。生まれ、育ち、成人し、社会に出てくるパスを考えるとそれぞれが異なった個性と能力を持っているのは当然である。これらの人々の集まりが社会を形成し、団体として機能することが求め

られる。その組織は当然使命があり、目的があり、そのため活動パターンが定まってくる。

この組織を健全に運営するためには、構成員各人上から下まですべて合目的な自律活動が期待される。どのようにしてメンバーの能力を向上させ、自発的に使命に沿って活躍できるようにするかの対応が求められる。

山本五十六が述べたそうであるが人材育成のこつは「やって見せ、言って聴かせて、させてみて、ほめてやらねば人は動かじ」と言う。70年昔戦前の人間教育は今と比べはるかに容易であった筈である。人々は素朴で向上心に富み、今に比べようもなくハングリー精神に満ちていた。しかもこれは海軍軍人の教育についての心掛けである。

当時海軍はすべて志願兵で構成されていたから教育は水が砂にしみ込むような状態であったと思われる。それでもこれだけの配慮が必要と彼は考えていた。

今日現在の若者は往時に比べはるかにリッチな社会で育ち、自己中心的な風潮にあるから、より相手の状態を正確に認識し、その思考パターンを理解した上でアドバイスすることが求められる。これを十把一絡げで一律に指導したりするとそのリアクションはおして知るべしである。相手の人品骨柄を十分に理解して法を説くことが何よりも肝要である。

角を矯めて牛を殺してはならぬし、一升の壺に二升は入らない。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

The 30th international free-electron laser conference

自由電子レーザー国際会議に参加



1. 韓国の慶州で開催

第30回自由電子レーザー国際会議は8月24日から29日まで韓国の慶州で開催された。この会議は一年に一度開催され、今回は韓国のPohang Accelerator Laboratory (PAL)主催であった。PAL研究所は、2.5 GeVの電子蓄積リング放射線装置を持ち、最近X線自由電子レーザー装置の建造も計画されていることで有名な研究所である。欧州諸国、アメリカ、日本、中国、韓国、イスラエルなどから211人程度の出席者が自由電子レーザーに関するアイデアを披露した。慶州は天馬塚、瞻星台、国立博物館など韓国国内有数の遺跡があり、小さい都市である。

2. X線とテラヘルツ自由電子レーザーが注目

本国際会議は「X線自由電子レーザー」、「長波長自由電子レーザー」、「電子銃と加速器」、「新アイデア」、「自由電子レーザー応用」のセッションで構成されている。口頭発表とポスター発表が全部で約200件。始めに、First lasing報告として短波長と長波長自由電子レーザーの最新結果が紹介された。まず波長7 nmのコヒーレント放射がドイツのDESY研究所におけるX線自由電子レーザー装置(FLASH)で計測され、世界最短波長レーザーができた。次に、日本の京都大学は赤外線自由電子レーザーのFirst lasing実験を報告した。今後、この赤外線自由電子レーザー装置はテラヘルツ自由電

レーザーエネルギー研究チーム 李 大治

子レーザーに向け開発されることが表明された。テラヘルツ自由電子レーザーを目指す、undulatorを用いた自由電子レーザーだけでなく、Smith-Purcell型自由電子レーザー装置の発表もあった。また電子バンチ生成技術など、新しい実験結果と理論・シミュレーションの発表も盛んである。自由電子レーザーを利用する応用論文も発表された。

3. 小型化テラヘルツ自由電子レーザーに注目

小型化テラヘルツSmith-Purcell自由電子レーザーも注目されている。以前の会議ではこの問題についての理論・シミュレーション論文があったが、今年の実験論文が出た。アメリカのVanderbilt大学はSmith-Purcell実験結果を発表した。彼らの実験結果は、我々がシミュレーションで予言したものと一致しなかった。ほかの国の研究機構もそれぞれ実験計画を報告した。Smith-Purcell自由電子レーザーに適した小型化電子銃、加速装置などのアイデアも提出された。

4. レーザー総研の貢献

筆者らはガンマ線による陽電子発生、Smith-Purcell型自由電子レーザー、Cherenkov型自由電子レーザーについての論文3部を提出した。陽電子源は工業イメージング、次世代colliderなどにいろいろな応用ができ、この実験研究発表が注目された。今後、陽電子発生量を向上し、実用性を高めることに努める。小型化テラヘルツSmith-Purcell自由電子レーザーについての研究で、効率の高い提案が報告された。この新しい機構では、閾値電流が下がり、大出力などの利点があり、理論解析研究を続けている。なお、我々はテラヘルツCherenkov型自由電子レーザーの研究も併行に進めている。

主な学会報告予定

11月17日(月)～21日(金) 50th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics(Dallas, TX, USA)

砂原 淳 「Expansion of Cone Inner Surface Irradiated by Low intensity Pre-Pulse of Main Heating Laser in Fast-Ignition」

12月2日(火)～5日(金) 第25回プラズマ核融合学会年会(栃木県総合文化センター)

古河 裕之「レーザー核融合液体壁炉チェンバー内のアブレーションルームの衝突に関する考察」

砂原 淳 「極端紫外光源開発のための放射流体シミュレーション」

島田 義則「バンチアウト法を用いた α 粒子による核融合炉液体壁のアブレーションダイナミクスの評価」
「最小質量スズターゲットを用いたCO₂レーザー生成プラズマからのEUV放射特性」

12月3日(水)～5日(金) IDW2008(朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター)

藤田 雅之「Debris-Free Laser Dicing for Multi-Layered MEMS」

12月17日(水)～19日(金) 日本流体力学会 第22回数値力学シンポジウム(国立オリンピック記念青少年総合センター)

砂原 淳 「極端紫外光源開発のための放射流体シミュレーション」