

## 高強度レーザー照射による CO<sub>2</sub> クラスタからの軟X線発生と ナノ構造体イメージングへの応用

(原子力機構関西<sup>A</sup>、ロシア科学アカデミー<sup>B</sup>) ○福田祐仁<sup>A</sup>、A.Ya. Faenov<sup>A,B</sup>、  
T. Pikuz<sup>B</sup>、神門正城<sup>A</sup>、小瀧秀行<sup>A</sup>、大東出<sup>A</sup>、馬景龍<sup>A</sup>、陳黎明<sup>A</sup>、本間隆之<sup>A</sup>、  
川瀬啓悟<sup>A</sup>、亀島敬<sup>A</sup>、河内哲哉<sup>A</sup>、大道博行<sup>A</sup>、木村豊秋<sup>A</sup>、田島俊樹<sup>A</sup>、加藤  
義章<sup>A</sup>、S.V. Bulanov<sup>A,B</sup>

【序】 クラスタに高強度フェムト秒レーザーを照射すると、クラスタは瞬時にプラズマ化し、激しい電離・加熱過程を経て崩壊する。この際、MeV を超える相対論電子発生、高エネルギー多価イオン発生、高強度 X 線発生等、様々な新しい現象が観測されており、これらは、コンパクトでデブリフリーな量子ビーム源としての利用が期待されている。

本研究では、クラスタから発生する高輝度軟 X 線を利用したイメージング研究に取り組んだ。X 線による物質のイメージングは、医学、生物学、物質科学の分野で広く診断ツールとして用いられている。従来の硬 X 線を用いた物質のイメージングでは、試料サンプルの化学組成や厚みの違いに起因する X 線吸収量の差から、“吸収差像”を得ている。また、より高コントラストのイメージを得るために、サンプルを透過してきた X 線の位相差を記録することで、“位相差象”を取得する試みもなされている [1]。しかし、ナノ構造体のようなマイクロ物体のイメージングを行う場合、サンプルが非常に“薄い”ため、軟 X 線を用いる方が有利である。これは、軟 X 線は硬 X 線に比べ、物質に吸収されやすいこと、及び、大きな位相差が得られることに起因している。しかし、軟 X 線を用いたナノ構造体の位相差像の計測は、このような利点があるにもかかわらず、現時点では、ほとんど行われていない。これは、適切な軟 X 線源の不足と、高分解能かつ高ダイナミックレンジの軟 X 線イメージング用検出器が容易に手に入らないことに起因している。

本研究では、高強度フェムト秒レーザーと CO<sub>2</sub> クラスタとの相互作用により発生した軟 X 線を線源とし、高ダイナミックレンジのフッ化リチウム結晶を軟 X 線検出器として用いることで、ナノ構造体の広視野、かつ、高分解能の“吸収差像”、及び、“位相差象”の取得を行った [2]。

【実験】 特殊な内部構造を有するコニカルノズルを用いて、CO<sub>2</sub> と He ガスとの混合ガスを真空中に噴出させ、CO<sub>2</sub> クラスタを生成させた。流体コードによるシミュレーションから、この CO<sub>2</sub> クラスタの平均直径は、約 400 nm と見積もられた。クラスタに高強度フェムト秒レーザー(30 fs、120 mJ)を照射して発生した軟 X 線を湾曲結晶分光器で分光し、水素様

(653.7 eV)、および、ヘリウム様(665.7 eV)の酸素イオンから発生した軟X線が最大となるように実験条件を最適化した。その結果、レーザープラズマX線源としては世界最高レベルのピーク輝度  $10^{23}$  ph/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%BW を達成した。この軟X線を線源とし、高ダイナミックレンジのフッ化リチウム結晶を軟X線検出器として用いることで、ナノ構造体のイメージングをおこなった。フッ化リチウム結晶にインプリントされたイメージング像は、共焦点レーザー蛍光顕微鏡(FV300、OLYMPUS)を用いて読み出した。

【結果】 図2は、レーザー顕微鏡を用いて読み出したナノ構造体(破れて丸まった100 nm厚モリブデンフォイル)の吸収差像を示している。この図から、我々の手法は、4層のモリブデンフォイルが重なっている様子を明確に識別出来る能力を有することが分かる。同様に、図3は、1500 lpi メッシュ、及び、蚊の吸収差像を示している。この図から、我々の手法では、広視野(mm<sup>2</sup>スケール)、かつ、高分解能(空間分解能: 700 nm)のイメージングが可能であることがわかる。

現在、位相差法を適用することにより、高コントラストのイメージングに取り組んでいる。本研究により、軟X線によるナノ構造体や生体分子の位相差像計測の手法が確立されれば、これを、医学、生物学、物質科学の新たな診断ツールとして用いることが期待できる。

[1] S. W. Wilkins *et al.*, Nature **384**, 335 (1996).

[2] Y. Fukuda *et al.*, Appl. Phys. Lett. **92**, 121110 (2008).

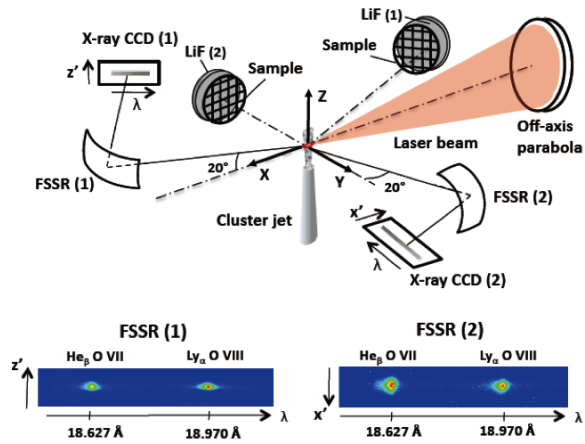


図1. 実験装置の概略図。

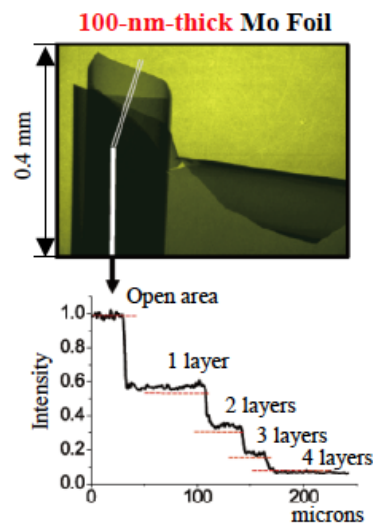


図2. ナノ構造体の吸収差像。

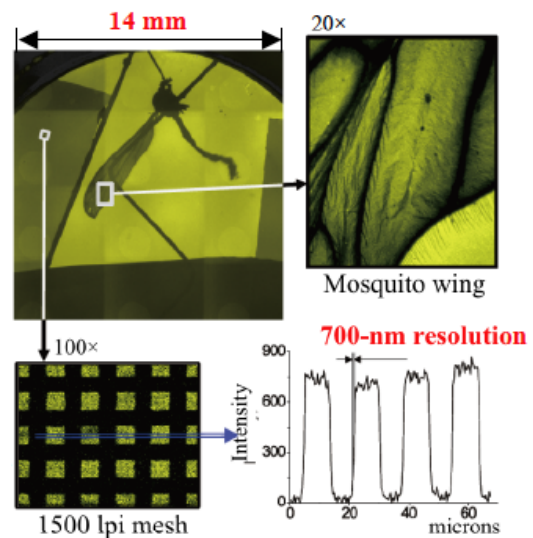


図3. 広視野、かつ、高分解能の吸収差像。