

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360364

研究課題名（和文）EUVレーザーによるアブレーション基礎課程の解明とマスクフリー微細加工への展開

研究課題名（英文）The study of fundamental processes of EUV laser ablation and the application toward mask-free nano-fabrication

研究代表者

河内 哲哉（KAWACHI TETSUYA）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号：40343941

研究成果の概要（和文）：EUVレーザーを固体に照射した際のアブレーションしきい値と照射フルエンスの関係を定量的に明らかにするとともに、EUVレーザーを利用した超微細加工に向けた要素技術開発を行った。また、EUVレーザーの高出力化および波長領域の拡大に向けた手法の検討を行った。

研究成果の概要（英文）：We have quantitatively investigated the relation between the energy fluence of the EUV laser and the ablation threshold of substances and have developed key technologies toward nano-fabrication using EUV laser. We also investigated the method to increase the EUV laser power and to expand the wavelength range to shorter wavelength region.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	7,800,000	2,340,000	10,140,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工、処理

キーワード：①材料加工・処理、②量子ビーム、③高性能レーザー

1. 研究開始当初の背景

EUV領域の光を用いた微細加工の可能性は広がりつつあるが、EUV光と固体の相互作用はまだ完全には理解されているとはいえない。超精密加工で一般に用いられるレジスト材への露光はアブレーションしきい値以下で行われる。したがって、アブレーションしきい値が変われば、露光に必要な条件は変わる。従来の可視・紫外レーザーを用いたアブレーション過程は、光吸収により加熱された表面から熱伝導によって内部が加熱され、原子間結合が切れることで原子が蒸発していく描像で

理解できる一方で、EUVレーザーでは物質に対する光の侵入深さが小さいことに加え、一光子当たりのエネルギーが高いために、レーザー光が照射・吸収される微小領域で構成原子の光イオン化により比較的大きなエネルギー（数10 eV）の運動エネルギーを持つ電子が生成すると考えられる。その結果、局所的な電子融解や圧力上昇による応力波の発生が主要なアブレーション過程になると予想され、その描像は、可視・紫外レーザーのそれとは大きく異なると考えられる。実際、パルス幅10 nsの46.9 nm放電型軟X線レーザーによる実

験では、アブレーションしきい値が可視レーザーの場合に比べて1桁以上小さくなることが観測されている。すなわち、より短パルス（ピコ秒領域の時間幅）で高強度のEUVレーザーを用いれば、アブレーションしきい値を更に小さくできることを意味する。

研究代表者の研究グループでは、EUV領域の空間コヒーレンスに優れた量子ビームとして小型軟X線(EUV)レーザービームの開発と、その実用化研究を行っている。すでに、波長13.9 nmにおいて超短パルス性(パルス幅 7 ps)と微細加工に必要な高い干渉性(完全な空間コヒーレンス)を持ち、ピーク輝度がSpring-8等の大型放射光に比べて6桁以上高いEUVレーザーが利用可能となっている。

このような短パルスEUVレーザービームを用いて、そのアブレーション基礎過程を明らかにするとともに、近年、開発が進められている高分子を用いた超高感度レジスト材に対する最適な照射条件を明らかにすれば、EUVリソグラフィ等の微細加工の際にコストの問題となるマスクを必要としない新しい超微細加工への可能性を開拓できる状況にある。

2. 研究の目的

本研究では、EUV領域において利用可能な完全コヒーレンスを持つ、原子力機構のプラズマ軟X線(EUV)レーザー(波長13.9 nm)を用いて、光源特性(パルス幅、波長)とEUVアブレーションしきい値の関係を定量的に評価し、EUV光によるアブレーション基礎過程を明らかにするとともに、EUVレーザーの干渉性を利用したマスクフリー超微細加工に向けた要素技術開発を行う。また、より広範囲の領域を加工するためにEUVレーザーの高出力化および、波長領域の拡大に向けた基礎研究を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

研究の方法として、以下の3つを主要な研究開発項目として研究を実施した。

- (1) EUVレーザーによるアブレーションしきい値の定量評価とアブレーション機構解明
- (2) EUVレーザー照射による微細加工に向けた研究
- (3) EUVレーザーの高出力化および、波長領域拡大に向けた基礎研究

4. 研究成果

- (1) EUVレーザーによるアブレーションしきい値の定量評価とアブレーション機構解明

波長13.9 nmのEUVレーザー(パルス幅 7 ps)を絶縁体(LiF)、半導体(Si)および金属(Cu, Au)に照射した。EUVレーザーの集光径を変えることにより、単位面積当たりの照射エネルギー

(フルエンス (J/cm^2))を変化させ、それにより試料表面にアブレーション痕ができたかどうかを、原子間力顕微鏡(AFM)により確認した。原子力機構の13.9 nmレーザーをさまざまな試料に照射した実験結果から、物質の性質(絶縁体、半導体、金属)に関わらず、物質に対する13.9 nm線の侵入長とほぼ一致する深さ30-50 nm程度のアブレーション痕が得られているとともに、アブレーションしきい値は $5 mJ/cm^2$ 程度になることを見いだした。この値は、同様の時間パルス幅の赤外レーザーによるしきい値よりも3桁、また放電型軟X線レーザーと比較しても1.5桁程度小さい。図1は、横軸を光子エネルギーとしたときのアブレーションしきい値を表しており、今回測定した13.9 nmレーザーの結果のほかに、波長800 nmおよび $1 \mu m$ の赤外線レーザー、更には波長46.9 nm(パルス幅10 ns)のEUVレーザーの結果も示している。物質のアブレーションしきい値が、使用するレーザーの波長と時間幅にたいして明確な依存性を示すことが判る。

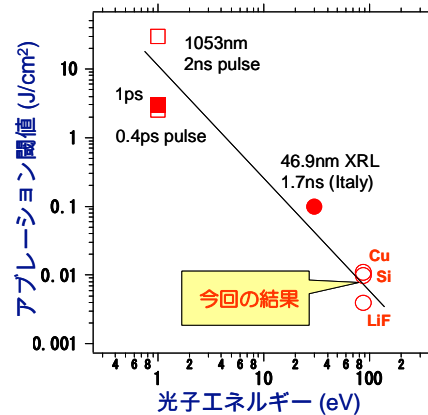


図1 アブレーションしきい値の光子エネルギー依存性。波長13.9 nmのピコ秒EUVレーザーを用いることで、可視・赤外領域のレーザーよりもアブレーションしきい値が2-3桁小さくなることを見出した。

短パルスのEUVレーザーを用いた場合にアブレーションしきい値が低くなる原因を、ロシア、ランダウ理論研究所のグループと協力して考察した。理論計算は流体シミュレーションと分子動力学による計算を組み合わせたものである。EUVレーザーを照射した場合に、吸収領域が狭いことと、光電離の結果生成する電子の運動エネルギーが高いことから、可視レーザーの場合に比較して局所的に高温な領域が生成することが示されている。固体表面付近での局所的な温度上昇は、急激な圧力上昇を引き起こし、固体内部と固体表面に向かう圧縮応力波を生成する。図2はその際の応力分布の時間発展を示す。図において、縦軸の正の値は圧縮応力、負の値は引張り応力を表わす。固体表面へ達した圧縮応力波は符号を変えて引張り応力波として内部へ戻り、

先に固体内部へ進んでいった圧縮応力波と重ね合わさることで、固体内部の特定の位置の引張り応力のピークを生じる。その応力値は、例えば軟X線パルスのフルエンスが 5 mJ/cm^2 程度であれば、LiF結晶の破断値を超えるために、そこで破碎的なアブレーションが起こる可能性が示されている。

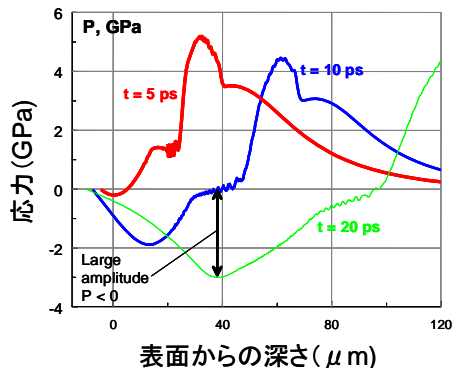


図2 EUVレーザーを 5 mJ/cm^2 のフルエンスで絶縁体に照射した際の応力の表面からの深さに応じた応力分布の時間発展の計算値。縦軸の正の値は圧縮応力、負の値は引張り応力を表わす。

このモデル計算が示すEUVレーザーアブレーション過程は、破砕を起こす領域以外の原子間結合エネルギーを断ち切る必要がなく、可視レーザーの場合のようにアブレーション領域のほとんどすべての原子を蒸発させる描像とは異なる。この傾向は、EUVレーザーの場合に少ないエネルギーでアブレーションが起きることとも符合する。また、破砕が起きるのに要する時間スケールは、圧縮応力波が表面で反射した後引張り応力波として固体内部に帰っていくのに要する時間であり、そこから破砕に最適なレーザーの時間パルス幅についての情報も得られる。13.9 nmレーザーをLiF結晶に照射した場合に、軟X線の侵入深さを固体内部の音速で割った値は $\sim 5 \text{ ps}$ であり、ほぼ、13.9 nmレーザーの時間パルス幅7 psと一致している。

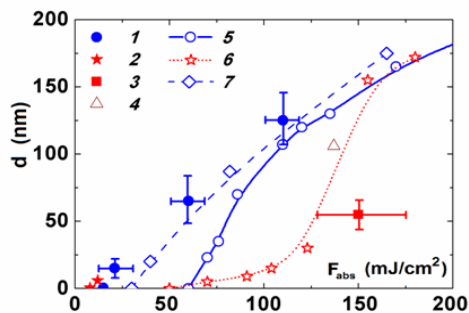


図3 アブレーション深さ(縦軸)を照射フルエンス(横軸)に対してプロットした結果。青がEUVレーザーで赤が赤外線レーザーの結果。

図3は、一連の計測から得られた、照射フルエンスと、アブレーション深さの関係について表している。今回の研究により得られた実測値は青色の●であり、前述の破碎的なアブレーションモデルによる理論計算値(青色の点線: 溶融する深さ、青色実線: アブレーション深さ)も示している。赤色のデータ点及び点線は赤外線レーザーによる結果である。赤外線レーザーによるアブレーションが明確なしきい値 ($100\text{--}150 \text{ mJ/cm}^2$) を示し、それを超えると急激にアブレーション深さが増加するのに対し、EUVレーザーによる場合では、低フルエンス領域からアブレーションが実効的に生じており、そのアブレーション深さはほぼフルエンスに比例している。理論計算値は、この傾向をほぼ正確に再現しており、この結果は、前述のEUVレーザーによる破碎的なアブレーションの描像の検証にもなっている。

(2) EUVレーザー照射による微細加工に向けた研究

EUVレーザー露光を目的とした干渉露光装置の製作を行った。干渉露光装置の光軸調整では、互いに干渉させる2つの光線の光路長を厳密に一致させるために、100フェムト秒のパルス幅のTi:Sapphireレーザー(波長800 nm)をEUVレーザーと同軸で干渉計に導入した。EUVレーザーの時間コヒーレンス長は、1ピコ秒程度なので、Ti:Sapphireレーザーによる干渉縞が得られる条件を光軸調整から見いだすことにより、EUVレーザー干渉露光装置として十分な精度の調整が可能になった。一方で、EUV光に対して高い感度を持つレジスト材を入手し、そのレジスト材に対するEUVレーザーの最適露光条件を実験的に明らかにした。今回採用したレジスト材に対しては、シリコン基板上に膜厚40 nmのレジスト材を塗布した条件で、加工に最適な照射フルエンスは $10\text{--}15 \text{ mJ/cm}^2$ であった。それ以上の照射フルエンスでは、現像等の処理後に、シリコン基盤部分のアブレーションが観測された。

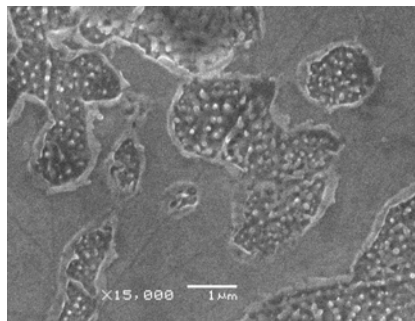


図4 EUVレーザーを単一照射した際に生じる円錐状のパターン。試料はアルミで、各円錐構造の直径は200 nm程度、間隔は200-300 nmである。

この照射条件下で、EUVレーザー干渉露光装置

による露光を行った。露光材料として、レジスト材の他にLiF晶も用いた。LiF結晶では400 nm程度までの明瞭な干渉縞が得られたことに対して、レジスト材への露光の場合には、明瞭なコントラストを持った干渉縞は得られなかった。この原因としては、今回使用したレジスト材が紫外線に対する感度が非常に高いために、プラズマからの紫外線の混入によりコントラストが低下したものと考えられる。今後、照射領域での更なる紫外線除去対策を施す必要がある。

一方で、EUVレーザーを金属（Al等）に照射した際に、低照射フルエンス領域（10 mJ/cm²）において、表面に直径200 nm程度の大きさの円錐状の構造が生成することを見出した（図4）。EUV領域のパルスレーザーによるナノ構造生成に関する報告は、我々の知るところ、これまでに無い。分子動力学に基づく解析から、EUVパルスレーザーを試料に照射した際に、比較的照射フルエンスが低い場合には、試料表面から深さ数10 nmの領域が局所的に融解・蒸発し、その領域の膨張に伴い表面層が押し上げられることで円錐形のナノ構造が生成することを明らかにした。

高輝度軟X線を物質に照射するときの物質の振る舞いに関わる研究は、光と物質の相互作用の基礎プロセスに関する研究対象としてのみならず、固体からプラズマに移行する際のWarm Dense Matter (WDM) 物性や、軟X線照射によって生じる局所的な電子励起や電離が引き金となる物質の自己組織化やナノ構造形成等の励起ナノプロセスの研究対象として重要であり、今後ともEUVレーザー照射時のナノ構造形成等の研究を進めていく予定である。

(3) EUVレーザーの高出力化および、波長領域拡大に向けた基礎研究

EUVレーザーによる物質との相互作用や超微細加工の可能性を拓げるためには、現状のEUVレーザーの出力増強と、波長領域の拡大が必要不可欠である。我々は、EUVレーザーの出力増強に向けたレーザー利得媒質を大型化する技術に関わる実験的な研究と、波長拡大に向けた理論計算に基づく研究を実施した。

プラズマベースのEUVレーザーにおいては、その出力強度は飽和出力強度に達しており、その出力を増大するには、均一な密度分布を持つ高温高密度な利得領域を可能な限り大きくする必要がある。我々は、均一な利得領域生成を目的として、通常使用する平板ターゲットとは別に、V溝（幅150 μm、深さ120 μm）のターゲットを用いたEUVレーザー発生実験を行った。V溝のターゲットを用いることで励起レーザーによるプラズマの加熱領域の拡大と加熱効率が改善することは、以前行った研究で明らかにしており、今回は実際に均一な

利得領域生成の指標となる、EUVレーザーのビーム発散角の比較を行った。図5は、EUVレーザーの出力ビームの遠視野像であり、通常の平板ターゲットの場合とV溝ターゲットの場合との比較を示している。V溝ターゲットを用いることで、輝度（すなわち出力エネルギー）が3倍以上改善することを示した。

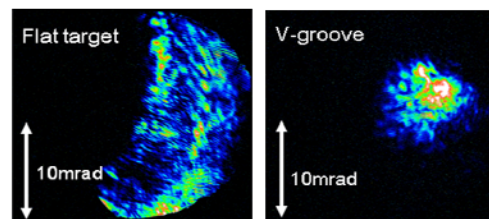


図5. 平板（左）およびV溝ターゲット（右）の場合のEUVレーザーの遠視野像。V溝ターゲットの採用により、ビーム発散角は横方向に2倍、縦方向に4倍以上改善した。これはV溝ターゲットにより均一な利得領域が生成することで、増幅時における電子密度勾配による屈折の影響が低減したことを示している。

また、EUVレーザーの波長領域の拡大を目指し、高輝度のインコヒーレントX線を励起光源として光励起型のEUV（軟X線）レーザーの利得発生の可能性について検討を行った。AlのK殻特性X線の波長（0.83395 nm）とネオン様亜鉛イオンの2p-4d共鳴線の波長（0.83400 nm）がほぼ一致することに着目し、高輝度Al-Kα線を亜鉛プラズマに照射した際の、ネオン様亜鉛イオンの3p-4d線（波長3.5 nm）に実効的な反転分布が生成するかどうかを検証するために、モンテカルロコードに基づく輻射捕獲の影響を組み込んだ衝突輻射モデルによる励起状態占有密度の計算コードを独自に開発した。計算機シミュレーションの手法により、3p-4d線の利得係数の時間発展を計算し、出力エネルギー5 J程度の中規模のチタンサファイアレーザーを用いることで、実効的な3.5 nmレーザーが実現できることを示した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計15件）

① M. Ishino, A. Faenov, M. Tanaka, N. Hasegawa, M. Nishikino, S. Tamaotsu, T. Pikuz, T. Ohba, T. Kaihori and T. Kawachi “Surface modifications of metals induced by soft x-ray laser pulse irradiations”, J. Micro/Nanoeng., 査読有 7, 147-151 (2012). DOI: 10.2961/jlmm.2012.02.0004

- ② T. Kawachi, M. Kishimoto, M. Kado, Y. Ochi, N. Hasegawa, M. Tanaka, M. Nishikino, M. Ishino, T. Imazono, T. Ohba, T. Kaihori, M. Koike, K. Namikawa, T. Suemoto, K. Terakawa, T. Tomita, H. Nishimura, A. Faenov, and S. Bulanov, "Source development and novel applications of laser-driven plasma x-ray lasers in JAEA", *proc. X-ray lasers 2010*, 査読有 Springer, **136** 12-19 (2011).
<http://www.springer.com/physics/atomic.+molecular.+optical+%26+plasma+physics/book/978-94-007-1185-3>
- ③ T. Kawachi and Y. Kato, "Resonant photo pumping x-ray laser scheme using intense characteristic x-rays for water-window radiation generation", *Phys. Rev. A* 査読有 **84**, 063848-1-7 (2011).
DOI: 10.1103/PhysRevA.84.063848
- ④ N. Inogamov, S. Anisimov, V. Khokhlov, A. Faenov, T. Pikuz, V. Fortov, Yu. Skobelev, Y. Kato, V. Shepelev, Y. Fukuda, M. Tanaka, M. Ishino, M. Kando, T. Kawachi, M. Kishimoto, M. Nagasono, M. Yabashi, T. Ishikawa, N. Ohashi, K. Tano, T. Togashi, Y. Senba, "Ablation of insulators under the action of short pulses of x-ray plasma lasers and free-electron lasers", *J. Opt. Tech.*, 査読有 **78**, 473-480 (2011).
DOI: 10.1364/JOT.78.000473
- ⑤ S. V. Starikov, V. Stegaliv, G. Norman, V. Fortov, M. Ishino, M. Tanaka, N. Hasegawa, M. Nishikino, T. Ohba, T. Kaihori, Y. Ochi, T. Imazono, T. Kawachi, S. Tamotsu, T. Pikuz, I. Skobelev and A. Faenov "Laser ablation of gold: Experimental and atomic simulation", *JETP let.*, 査読有 **93**, 642-647 (2011).
DOI: 10.1134/S0021364011110129
- ⑥ N. Inogamov, A. Faenov, V. Khokholov, V. Zhakhovskii, Y. Petrov, I. Skobelev, K. Nishihara, Y. Kato, M. Tanaka, T. Pikuz, M. Kishimoto, M. Ishino, M. Nishikino, Y. Fukuda, S. Bulanov, T. Kawachi, S. Anisimov and V. Fortov, "Interaction of short laser pulses in wavelength range from infrared to x-ray with metals, semiconductors and dielectrics", *Contr. plasma phys.*, 査読有 **51**, 361-366 (2011).
DOI: 10.1002/ctpp.201010103
- ⑦ M. Ishino, A. Faenov, M. Tanaka, N. Hasegawa, M. Nishikino, S. Tamotsu, T.A. Pikuz, N.A. Inogamov, V.V. Zhakhovskiy, I.Yu. Skobelev, V.E. Fortov, V.A. Khokhlov, V.V. Shepelev, T. Ohba, T. Kaihori, Y. Ochi, T. Imazono, T. Kawachi, "Nanoscale surface modifications and formation of conical structures at aluminum surface induced by single shot exposure of soft x-ray laser pulse", *J. Appl. Phys.*, 査読有 **109**, 13504-13509 (2011).
DOI: 10.1063/1.3525980
- ⑧ 河内哲哉, "プラズマ軟X線レーザーとその応用", *レーザー研究*, 査読有 **38**, 91-95 (2010).
<http://www.lsj.or.jp/laser/38/38-12.pdf>
- ⑨ N. Inogamov, V.V. Zhakhovskiy, A.Y. Faenov, V.A. Khokhlov, I.Y. Skobelev, Y. Kato, M. Tanaka, T.A. Pikuz, M. Ishino, M. Nishikino, Y. Fukuda, S.V. Bulanov, T. Kawachi, Y.V. Petrov, S.I. Anisimov, V.E. Fortov, "Spallative ablation of dielectrics by X-ray laser", *Appl. Phys. A*, 査読有 **101**, 87-96 (2010).
DOI:10.1007/s00339-010-5746-3
- ⑩ N. Inogamov, A. Faenov, V. Khokholov, V. Zhakhovskii, Y. Petrov, I. Skobelev, K. Nishihara, Y. Kato, M. Tanaka, T. Pikuz, M. Kishimoto, M. Ishino, M. Nishikino, Y. Fukuda, S. Bulanov, T. Kawachi, S. Anisimov and V. Fortov, "Spallative Ablation of Metals and Dielectrics", *Contr. plasma phys.*, 査読有 **49**, 455-466 (2009).
DOI: 10.1002/ctpp.200910045
- ⑪ 河内哲哉, "レーザー駆動プラズマ軟X線レーザーの開発とその応用", *レーザー研究*, 査読有 **37**, 101-105 (2009).
<http://www.lsj.or.jp/laser/37/ab37-12.pdf>
- ⑫ S. Gasilov, A. Faenov, T. Pikuz, Y. Fukuda, M. Kando, T. Kawachi, I. Skobelev, Y. Kato and S. Bulanov, "Wide-field-of-view phase contrast imaging of nanostructure with a comparatively large polychromatic soft x-ray plasma source", *Opt. Lett.* 査読有 **34**, 3268-3270 (2009).
DOI: 10.1364/OL.34.003268
- ⑬ T. Pikuz, A. Faenov, S. Gasilov, I. Skobelev, Y. Fukuda, M. Kando, H. Kotaki, T. Homma, K. Kawase, Y. Hayashi, T. Kawachi, H. Daido, Y. Kato and S. Bulanov, "Propagation-based phase contrast enhancement of nanostructure images using a debris free femto second laser

driven cluster based plasma soft x-ray source and a LiF crystal detector”, Appl. Opt., 査読有 **48**, 6271-6276 (2009).
DOI: [10.1364/AO.48.006271](https://doi.org/10.1364/AO.48.006271)

⑭ T. Kawachi, M. Kishimoto, M. Kado, Y. Ochi, N. Hasegawa, M. Tanaka, M. Nishikino, M. Ishino, T. Imazono, T. Ohba, T. Kaihori, M. Koike, K. Namikawa, T. Suemoto, K. Terakawa, T. Tomita, N. Sarukura, H. Nishimura, A. Faenov, S. Bulanov and H. Daido, “Source Development and Novel Applications of X-ray Lasers for Probing Materials”, SPIE, 査読有, **7451**, 745107 (2009).
DOI: [10.1117/12.825662](https://doi.org/10.1117/12.825662)

⑮ A.Y. Faenov, N. Inogamov, V. Zhakhovskii, V. Khokhlov, K. Nishihara, Y. Kato, M. Tanaka, T. Pikuz, M. Nishikino, M. Ishino, T. Nakamura, Y. Fukuda, S. Bulanov and T. Kawachi, “Low threshold ablation of dielectrics irradiated by pico-second soft x-ray laser pulses”, Appl. Phys. Lett., 査読有 **94**, 231107 (2009).
DOI: [10.1063/1.3152290](https://doi.org/10.1063/1.3152290)

[学会発表] (計 12 件)

① M. Ishino et al., “Coherent X-ray Mirage”, SPIE 2011 Optics and Photonics, San Diego, USA, Aug. 2011. (招待講演)

② M. Nishikino et al., Novel applications using x-ray lasers”, JSPS Asian Core Workshop on Next Generation Ultra Short Pulse Lasers for High Field and Ultrafast Science, 和光市, Mar 2011. (招待講演)

③ M. Nishikino et al., “Development and application of plasma x-ray lasers”, The 6th asian symposium on intense laser science (ASILS6), Beijing, China, Oct. 2010. (招待講演)

④ “EUV レーザーによる固体のアブレーションしきい値の観測”, 河内等、第 65 回日本物理学会、大阪、Sep. 2010.

⑤ “軟 X 線レーザーを集光照射した金属表面の観察”, 石野等、第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎、Sep. 2010.

⑥ “ピコ秒 EUV レーザー照射による低アブレーションしきい値の観察”, 河内等、第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎、Sep. 2010.

⑦ A. Faenov et al., “Low threshold ablation of dielectrics irradiated by picoseconds soft x-ray laser pulse. Observation and modeling”, The 12th international conference on x-ray lasers, Gwangju, Korea, Jun. 2010.

⑧ T. Kawachi et al., “Source development and novel applications of laser-driven plasma x-ray lasers in JAEA”, The 12th international conference on x-ray lasers, Gwangju, Korea, Jun. 2010. (招待講演)

⑨ A. Faenov et al., “Low-threshold ablation of dielectrics irradiated by ultrashort soft x-ray laser pulses, Observation and modeling”, 第 16 回 FEL と High power radiation 研究会、播磨、Mar. 2010.

⑩ Y. Ochi et al., “Applications of laser driven plasma x-ray laser in JAEA”, レーザー共同研究所設立記念国際シンポジウム、敦賀市、Feb. 2010 (招待講演)

⑪ T. Kawachi et al., “Laser driven plasma x-ray lasers and the applications”, The 5th Asian Symposium (ASILS5), Vietnam, Hanoi, Dec. 2009. (招待講演)

⑫ T. Kawachi et al., “Source Development and Novel Applications of X-ray Lasers for Probing Materials”, SPIE Photonics and Optics, San Diego, USA, Aug. 2009. (招待講演)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等: 無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河内 哲哉 (KAWACHI TETSUYA)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・研究主幹

研究者番号: 40343941

(2) 研究分担者

ファエノフ アナトリー (FAENOV ANATOLY)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・リサーチフェロー

—

研究者番号：10469794 (H22 まで)

(3) 研究分担者

石野 雅彦 (ISHINO MASAHIKO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・研究副主幹

研究者番号：80380410

(4) 研究分担者

長谷川登 (HASEGAWA NOBORU)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・研究職

研究者番号：50360409

(5) 研究分担者

越智義浩 (OCHI YOSHIHIRO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・研究副主幹

研究者番号：20370372 (H22 まで)

(6) 連携研究者

錦野将元 (NISHIKINO MASAHARU)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・

量子ビーム応用研究部門・研究副主幹

研究者番号：70370450 (H21 まで)