

令和 2 年 5 月 7 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05735

研究課題名(和文) ガス雰囲気下におけるレーザープラズマ軟X線の高輝度化

研究課題名(英文) Enhancement of soft x-ray emission from laser-produced plasma under gas atmosphere

研究代表者

岸本 牧 (Kishimoto, Maki)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子生命科学領域・上席研究員(定常)

研究者番号：40360432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：市販のジュール級YAGレーザーを用いて、低圧窒素雰囲気下での金レーザープラズマからの水の窓軟X線放射増強現象の再現に成功し、窒素ガス圧400Paで発生する水の窓軟X線量が真空中に比べて13倍以上にもなった。

さらに様々なレーザー照射条件やガス種類でレーザープラズマ軟X線実験を行い、それらの結果よりこの水の窓軟X線増強現象が、金レーザープラズマからの高エネルギー軟X線による窒素分子の内殻電離とオージェ電子放出、さらにそれに続く生成オージェ電子による金イオンの励起と光放出脱励起という一連のプロセスにより、keV域の高エネルギー軟X線が水の窓波長域へ波長変換される事で生じるという物理機構を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

申請者らが見出した雰囲気ガス中でのレーザー生成プラズマにおけるオージェ過程を用いたX線波長変換手法は、従来大型レーザー装置を必要とされた水の窓軟X線顕微鏡用軟X線光源の小型化を実現して小型で汎用性のある水の窓軟X線顕微鏡の実用化につながるものであり、これにより生物研究において光学顕微鏡や電子顕微鏡に続く第3の観察ツールを提供できる。

さらにターゲット材料、雰囲気ガス種やレーザー照射条件を最適化することにより水の窓域以外の波長の軟X線増強が可能であることを示すことができ、これにより材料・物性研究や社会インフラ診断、半導体製造等の様々なX線応用分野に革新的X線発生技術を提供することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：We demonstrated drastic enhancement of water-window (WW) soft x-ray from Au laser-produced plasma (LPP) under nitrogen gas atmosphere by use of a joule-energy class compact YAG laser. The WW soft x-ray intensity from Au LPP was 13 times larger than that in vacuum condition at the nitrogen gas pressure of 400 Pa.

Furthermore, we performed similar Au LPP experiments with various gases (O₂, Ne, He, Ar) and the yield enhancement of soft x-ray was not observed. From the experimental results, we concluded that the yield enhancement of the WW soft x-rays under nitrogen gas atmosphere is caused by the Auger electron emission from nitrogen molecules by high energy x-rays from the Au LPP and subsequent electron collisional excitation of Au ions and radiative decay.

研究分野：X線光学

キーワード：レーザープラズマ 水の窓軟X線 雰囲気ガス オージェ電子 X線顕微鏡 光放出脱励起 X線波長変換 ダウンコンバージョン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

真空紫外、可視光より短い波長を持つ軟X線を用いた軟X線顕微鏡はナノスケールの物体を観察するための重要な計測ツールであり、特に生体細胞の主要構成要素である酸素と炭素の吸収端(酸素の吸収端: 2.3 nm、炭素の吸収端: 4.4 nm)に挟まれた「水の窓」軟X線を光源として用いた水の窓軟X線顕微鏡は、生物研究分野において数十 nm という可視光を光源として用いる光学顕微鏡を遥かに超える高い空間分解能で水中の生きた細胞の内部構造を観察することが出来るツールとして、世界各地の放射光施設を中心に研究開発が行われている。

しかしながら、生物研究用の水の窓軟X線顕微鏡を実現するためには解決すべき大きな課題が存在する。まず高い空間分解能で細胞内微細構造の軟X線像を取得するためには、空間分解能を低下させる統計ノイズを抑えるために細胞上の単位面積あたりの照射軟X線光子数(dose)が非常に大きくなければならない。ところが一方でこの非常に高い軟X線 dose は、光イオン化プロセスを通じた化学結合の破壊により細胞に対して放射線ダメージを引き起こしてしまう。さらに軟X線吸収によって生じる熱的な細胞の体積増加も発生し、それらの結果として軟X線像のボケが生じてしまう。それ故高空間分解能軟X線像の取得には、数ナノ秒程度以下の非常に短いパルス幅を持つ高輝度軟X線パルスを細胞に照射することが必要となる。

この軟X線顕微鏡用の高輝度パルス軟X線源の有力な候補のひとつが、レーザー生成プラズマ(Laser Produced Plasma, LPP)である。これは励起用パルスレーザーでターゲット材料を照射することにより生じる高温高密度のプラズマである。LPP 軟X線源は、(1)高輝度(high brightness)や(2)短パルス幅、(3)点光源であること、などの利点を持ち、水の窓軟X線顕微鏡用の軟X線光源として優れている。LPPからのEUV光に関しては、次世代13.5 nmリソグラフィ光源として世界各国で活発に研究がなされており、これらの研究からレーザービームの特性、ターゲット材料、そしてプラズマの生成法の最適化が、レーザー光エネルギーからEUV放射へのエネルギー変換効率の著しい改善をもたらすことが分かっている。しかしながらLPPにおける水の窓軟X線へのエネルギー変換効率は、現在たかだか $\sim 1.5\%/sr$ 程度でしかなく、軟X線顕微鏡光源としては不十分である。さらに水の窓軟X線顕微鏡はEUVリソグラフィ光源と比べて3~6倍も高い軟X線フォトンエネルギーを必要とし、このことはEUVリソグラフィ光源よりもっと高温・高密度のプラズマを生成する必要があることを意味している。そのため実際の水の窓軟X線顕微鏡実験では、より強い軟X線を放射するLPPを生成するために1 ns以下のパルス幅と10 J以上の高いパルスエネルギーを持つ大型パルスレーザー装置が用いられるようになり、これにより初めて光学顕微鏡を超える100 nm以下の空間分解能で生体細胞のシングルショットX線撮像をすることが可能になった。しかしながら、こうした大型パルスレーザー装置は一つの学校の体育館以上の面積を占領するほどにサイズが大きく、また装置の安定運転やメンテナンスのためのコストも甚大なために一つの研究室レベルで維持管理することは実質不可能である。したがって、現状において生物研究分野で求められている多目的・低価格・コンパクトな水の窓軟X線顕微鏡とはかけ離れたものとなっており、このことが水の窓軟X線顕微鏡が生物研究分野における研究ツールとして普及しない大きな要因となっている。

最近、量子科学技術研究開発機構の加道と申請者らは、大阪大学レーザー科学研究所の大型パルスレーザー装置「激光XII」号を用いた軟X線顕微鏡実験において、金(Au)をターゲットにしたLPPからの水の窓軟X線放射が低圧窒素ガス雰囲気下で大幅に増強されるというユニークな現象を発見した[1]。その実験は、波長: 1053nm、パルス幅: 600ps、エネルギー: 150Jという高エネルギーパルスレーザーを用いて行われたのであるが、もし同様の水の窓軟X線増強現象を数J程度のコマーシャルベースのコンパクトなパルスレーザー装置で再現することができ、且つその軟X線発生量が生体のナノイメージングに使えるほど十分であるならば、コンパクトで汎用性のある軟X線顕微鏡の実現に繋がる可能性があり、このことが本研究において窒素ガス雰囲気下で金LPPから放出される水の窓軟X線の振る舞いを調べ、水の窓軟X線発生量の増強に潜む物理機構を明らかにしようとする我々の強い動機となっている。

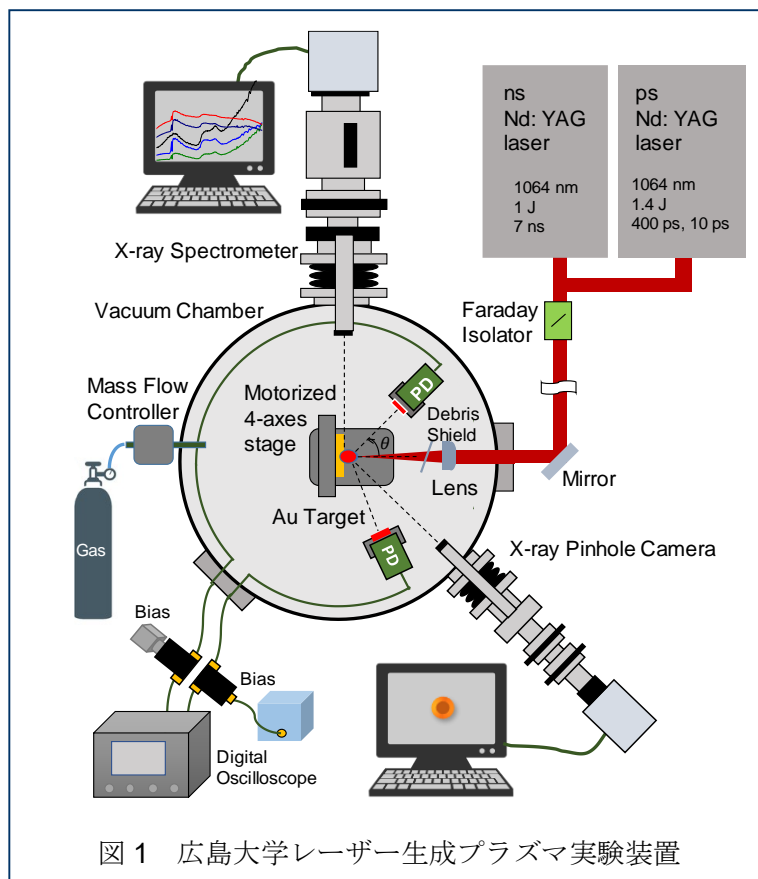
2. 研究の目的

小型で汎用性がある生物研究用水の窓軟X線顕微鏡を実現するためには軟X線光源の小型化が必須であり、我々の最終目標は低圧窒素ガス雰囲気下で金(Au)ターゲットにレーザーを照射すると金LPPからの水の窓軟X線発生量が劇的に増大するという現象を利用したコンパクトな高輝度軟X線源を実現することである。そこで本研究では、ガスを用いたLPP実験装置を新たに構築し、それを用いて市販のジュール級YAGレーザーでもガス雰囲気下の軟X線増幅現象を再現出来ることを実証するとともに、様々なレーザー照射条件、ターゲット条件そしてガス種の下でLPP軟X線実験を実施してガス雰囲気下でのLPP軟X線発生量増加の物理メカニズムを解明する。またさらに本手法を科学や産業界の様々な分野へ応用展開することを見据え、水の窓域以外の波長(例えばX線リソグラフィ用光源の13nmや6nmなど)での軟X線放射増強の可能性も検証する。

3. 研究の方法

図1に今回広島大学に構築したレーザー生成プラズマ(LPP)実験装置の概略図を示す。LPP実験用のポンプレーザー装置は、ナノ秒YAGレーザー(米Continuum社Powerlight 8000、波長: 1064 nm、エネルギー: 1 J、パルス幅: 7 ns)とピコ秒YAGレーザー(米Coherent社製カスタ

ムレーザー、波長：1064 nm、エネルギー：1.4 J、パルス幅：10 ps か 400 ps のどちらか選択可) の2つが用意され、LPP からの X 線放射特性のレーザーパルス幅依存性を調べる事が可能である。各レーザーは、プラズマからの反射光を防ぐファラデーアイソレータを含む伝送光学系により LPP 実験用真空チャンバーに送られ、容器内のターゲットにレンズにて集光される。ターゲットは真空チャンバー内に設置した高精度電動4軸ステージ上に取り付けられ、ターゲット位置は高精度で制御される。同様に集光レンズも電動ステージ上にセットされ、これらを用いることによりプラズマの位置やレーザー集光サイズなどをコンピュータによりミクロン精度で制御可能となっている。また様々なガス (N₂、O₂、Ne、He、Ar) を容器内に導入できるようにガス導入ラインが整備さ



れており、ガス圧は高精度マスフローコントローラにより 0 Pa から 400 Pa までの範囲で安定に保持可能である。LPP から放出される軟 X 線は、真空チャンバーに取り付けられている様々な軟 X 線計測機器により詳細に計測される。計測機器としては、① LPP からの軟 X 線スペクトル計測を行う差動排気装置付きの平面結像型グレーティング (1200 grooves/mm) 斜入射分光器と CCD カメラ、② LPP からの軟 X 線放出の空間分布を計測するための X 線フィルター交換器付きの軟 X 線ピンホールカメラ (倍率：15.8 倍、ピンホール径：10 ミクロン)、③ LPP からの発生軟 X 線の時間的 (過渡的) な振る舞いと放出エネルギーを計測するための軟 X 線フィルター付き高速フォトディテクター (Opto Diode 社、Model: AXUVHS11、応答時間：700 ps) と積算フォトディテクター (浜松ホトニクス社、Model S1337-21) が取り付けられており、これらの X 線計測機器を使って LPP からの軟 X 線放出を詳細に計測することができる。この LPP 実験装置を用い、雰囲気ガスの種類やターゲット材質とターゲット表面の状態、またレーザー照射条件 (パルス幅、エネルギー強度、偏光方向など) などを様々な変化させて、LPP からの軟 X 線スペクトルやその強度変化を詳細に計測し、雰囲気ガス中での軟 X 線増強の物理メカニズムを解明する。

4. 研究成果

図 2 (a) は、ナノ秒 YAG レーザーを励起レーザーとして用いて様々な窒素ガス圧力下での 2.7 nm ~ 7 nm 波長範囲の金 LPP 軟 X 線スペクトルを示す。また窒素ガス圧力 133 Pa、光路長 1000 mm の時の窒素の透過率スペクトル曲線を図 2 (b) に示す。波長 3.1 nm 付近でのスペクトルの dip は窒素の K 吸収端に対応している。図を見ると、50 Pa で観測された軟 X 線発生量は図の全ての波長域で真空中の場合より小さいが、しかし窒素ガス圧が増加すると共に軟 X 線発生量は増加傾向を示し、250Pa 以上では特に波長 5.5 nm 以下の波長域で真空状態での軟 X 線放射量を遙かに超えて大きな放射強度を示していることが分かる。ここでガス無しの状態での LPP からの軟 X 線放射強度の時間変化を観測している高速シリコン検出器の信号をみると、LPP からの軟 X 線放射は YAG レーザーパルス幅 (7 ns) の時間内で終わっており、さらにその時の軟 X 線ピンホールカメラの軟 X 線像は軟 X 線放射領域がパルスレーザー集光点近傍の約 60 ミクロンの空間領域に制限されていることを示していた。

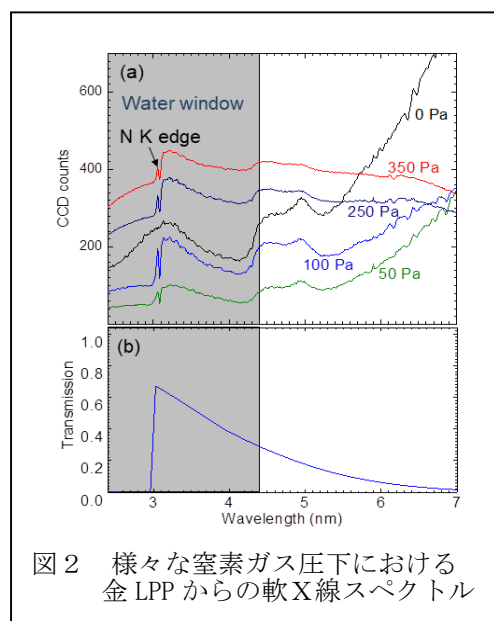


図3は窒素ガス圧の関数として、水の窓領域内の軟X線カウント数を積算した値をプロットしたものである。水の窓領域積算カウント数は0から50 Paで減少しているが、それ以降はほぼニアにガス圧とともに増加している。そして400 Paでは真空中のカウント数より3.8倍も大きくなっており、窒素ガスによる強い吸収を考慮すると、非常に強い軟X線が窒素ガス雰囲気下においてLPPから放出されることが分かる。さらに吸収係数が窒素を導入した真空チャンパー内で一定であると仮定してLPP部での実効的な軟X線発生量のガス圧依存性を評価したものを同じ図3中に示す。なおこの図では真空での水の窓領域軟X線カウント積算値を使って各ガス圧での補正済み水の窓軟X線積算値を規格化して表示している。これによると400 Paでの結果は真空中のものに比べて13倍と劇的な増加を示している。

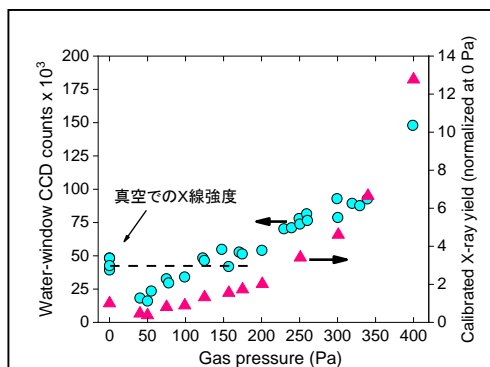


図3 水の窓軟X線強度の窒素ガス圧依存性

次に窒素ガス雰囲気下での軟X線発生量増加のメカニズムを明らかにするため、 O_2 、 Ne 、 He 、 Ar といった窒素以外のガスを真空チャンパー内に導入して窒素ガスの時と同様のLPP軟X線実験を行い、比較検討を行った。その中の Ne と O_2 についての実験結果を図4(a)と(b)に示す。どちらも窒素ガス実験におけるLPP軟X線スペクトルとは対照的に単純にガス圧の増加とともに軟X線強度は減少している。そしてこれら以外の Ar や He を使った同様の実験でも、やはりガス圧増加とともに軟X線強度は減少することが観測された。以上の実験結果より、金LPPからの軟X線放射の増強現象は、窒素ガスに特徴的な現象であり、その発生メカニズムは高温高密度の金プラズマと窒素分子との相互作用に関わる衝突及び放射プロセスによると考えられた。

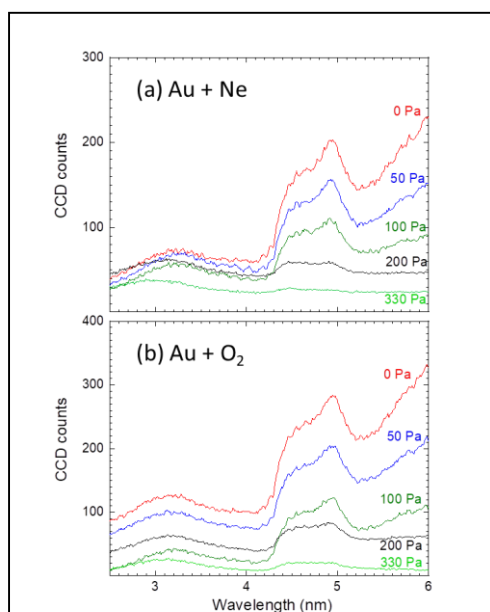


図4 ネオンと酸素の雰囲気中での金LPPからの軟X線スペクトル

そこで我々は窒素ガス雰囲気下での軟X線増強メカニズムを次のように解釈した[2]。その概略を図5に示す。まず初めに励起レーザー照射によって金ターゲットに生じた高温高密度のLPPは、真空紫外からX線域までの非常に幅広い波長域において強い連続スペクトルを放射する。この連続スペクトルのうち404.5 eVより上の軟X線(~ 3.1 nm)は光電離によって窒素の1s軌道の電子に内核電離を生じさせる。生じた電子空孔は直ちに価電子によって満たされ、その結果、356~368 eVの準単色運動エネルギーを持つオージェ電子が生成される(図5(a))。このオージェ電子により Au^{qt} イオン基底状態から励起レベルへ電子衝突励起が生じ、この電子衝突励起を通じた占有密度の流れは、高い放射遷移確率によってより低い励起状態、特に基底状態に緩和し、その際に水の窓軟X線を放出して緩和過程が終了する(図5(b))。すなわち金のLPPからの初期高エネルギー軟X線は、窒素のイオン化と発生オージェ電子による金イオンの衝突励起というプロセスを通じて水の窓軟X線に変換される。このように雰囲気窒素ガスは高エネルギー電子源として、さらにそれに続くエネルギーダウンコンバージョン(波長の長波長化)において、決定的な役割を果たすことになる。

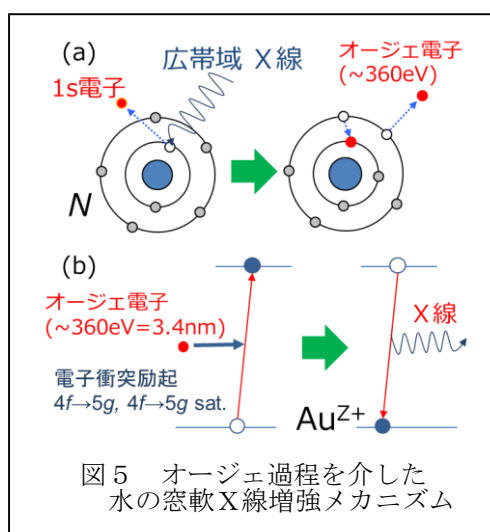


図5 オージェ過程を介した水の窓軟X線増強メカニズム

以上本研究において、市販のジュール級YAGレーザーを用いて窒素雰囲気下での金LPPからの水の窓軟X線放射の増強現象を再現することができた。さらにその増強現象が金LPPと窒素ガス分子の相互作用によるオージェ過程を介した短波長軟X線の水の窓領域への波長変換現象によって生じるという物理メカニズムを提案した。

現状においてこの軟X線源を実際の軟X線顕微鏡等に应用するには、軟X線増強に寄与しない雰囲気ガス分子による発生軟X線の吸収という制約がある。しかしこれについては、小型のガスセルやパルス状ガスジェットの使用などの雰囲気ガス導入法を工夫することによって吸収損失の少ない高効率な軟X線源を実現することが可能であると思われる。

また我々が提案した軟X線増強メカニズムによれば、LPPからの軟X線が雰囲気ガスの内殻電子の光イオン化に十分なエネルギーを持つならば、オージェ電子の発生とそれに続く軟X線発生が他のガスでも生じる可能性があることを示唆している。実際図4を詳細に見ると、Ne 雰囲気下 (Ne の K 吸収端： 1.46 nm) において、2.8 nm 以下の波長域で 200 Pa におけるカウント数は真空の時と比べて高くなっており (図4 (a))、Ne ガス雰囲気下で増強現象が 2.8 nm 以下で生じていることが期待される。さらに酸素雰囲気下 (K 吸収端： 2.36 nm) でも、200 Pa におけるカウント数は 4.3 nm 以下の波長域で 100 Pa より大きくなっていることがはっきり見て取れる (図4 (b))。これらの結果は、ある与えられた波長におけるX線発生量の増大が、LPPから放射されるX線光子エネルギー、雰囲気ガスの原子構造、そしてそのガス圧力を最適化することで実現できる可能性を示している。低圧のガスを導入するだけという非常に簡単な手法により LPP 軟X線源の高輝度化を可能にする本手法は、科学や産業の分野におけるX線技術に十分インパクトを与えるものである。

参考文献

- [1] “Increase of the emission of laser-produced plasmas under N₂ gas atmosphere in the 2.9 - 6 nm region”, Kado Masataka, Kishimoto Maki, Shinohara Kunio and Ejima Takeo, Applied Physics Letters **111**, 054102 (2017)
- [2] “Enhancement of water-window soft x-ray emission from laser-produced Au plasma under low-pressure nitrogen atmosphere”, Christian John, Kishimoto Maki, Johzaki Tomoyuki, Higashiguchi Takeshi, Kakunaka Noboru, Matsumoto Yasuhiro, Hasegawa Noboru, Nishikino Masaharu, Ejima Takeo, Sunahara Atsushi, Endo Takuma and Namba Shinichi, Optics Letters Vol.44, No.6, pp.1439-1442 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 John Christian, Kishimoto Maki, Johzaki Tomoyuki, Higashiguchi Takeshi, Kakunaka Noboru, Matsumoto Yasuhiro, Hasegawa Noboru, Nishikino Masaharu, Ejima Takeo, Sunahara Atsushi, Endo Takuma, Namba Shinichi	4. 巻 44
2. 論文標題 Enhancement of water-window soft x-ray emission from laser-produced Au plasma under low-pressure nitrogen atmosphere	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1439 ~ 1442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OL.44.001439	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件/うち国際学会 13件）

1. 発表者名 S.Namba, M. Kishimoto, C.John, N. Kakunaka, Y. Matsumoto, N. Hasergawa, M. Nishikino, T. Higashiguchi, T. Ejima, A. Sunahara, T. Johzaki
2. 発表標題 Anomalous enhancement of water window X-rays emitted from laser produced Au plasma under low-pressure nitrogen atmosphere
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2018), Division of Plasma Physics, Association of Asia Pacific Physics Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Matsumoto, C. John, N. Kakunaka, T. Moroshita, J. Yu Jin, M. Kishimoto, S. Namba
2. 発表標題 Observation of enhancement in water window laser plasma X-ray under nitrogen atmosphere
3. 学会等名 60th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, American Physical Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C. John, N. Kakunaka, Y. Matsumoto, M. Kishimoto, S. Namba
2. 発表標題 Observation of water-window soft X-ray emitted from laser plasmas generated in N2 gas atmospheres
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2018), Division of Plasma Physics, Association of Asia Pacific Physical Societies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kakunaka, C. John, M. Kishimoto, Y. Matsumoto, N. Hasegawa, M. Nishikino, T. Higashiguch, T. Ejima, A. Sunahara, F. Nakajima, T. Johzaki, T. Endo, S. Namba
2. 発表標題 Water window soft X-ray emission from Au plasmas generated with a picosecond laser pulse
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2018), Division of Plasma Physics, Association of Asia Pacific Physical Societies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田切 誠、角中 昇、松本康弘、岸本 牧、難波慎一
2. 発表標題 ガス雰囲気中でのレーザー励起プラズマ軟X線の高出力化
3. 学会等名 Plasma Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角中 昇、小田切 誠、松本康寛、岸本 牧、難波 慎一
2. 発表標題 高気圧窒素雰囲気下でのレーザープラズマ軟X線の増幅効果
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第38回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Namba, M. Kishimoto, C. John, N. Kakunaka, Y. Matsumoto, N. Hasegawa, M. Nishikino, T. Higashiguchi, T. Ejima, A. Sunahara, T. Johzaki
2. 発表標題 Anomalous enhancement of water window X-rays emitted from laser produced Au plasma under low-pressure nitrogen atmosphere
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森下岳大、Christian John、松本康寛、岸本 牧、城崎友至、砂原 淳、難波慎一
2. 発表標題 レーザー生成金プラズマの生成と流体シミュレーションの比較
3. 学会等名 核融合研NIFS共同研究「プラズマ分光計測と原子分子素過程研究の融合最前線」研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 YASUHIRO MATSUMOTO, CHRISTIAN JOHN, TAKEHIRO MORISHITA, MAKI KISHIMOTO, SHINICHI NAMBA
2. 発表標題 Characteristics of soft x-ray emissions from Au plasmas generated with various driving laser pulse durations
3. 学会等名 DPP19 Meeting of The American Physical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TAKEHIRO MORISHITA, YASUHIRO MATSUMOTO, CHRISTIAN JOHN, Maki Kishimoto, TOMOYUKI JOHZAKI, TAKEO EJIMA, ATSUSHI SUNAHARA, TAKUMA ENDO, TAKESHI HIGASHIGUCHI, SHINICHI NAMBA
2. 発表標題 Observation of keV X-ray emitted from laser produced Au plasmas by using a crystal spectrometer
3. 学会等名 DPP19 Meeting of The American Physical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Christian John, Maki Kishimoto, Higashiguchi Takeshi, Johzaki Tomoyuki, Sunahara Atsushi, Endo Takuma, Ejima Takeo, Namba Shinichi
2. 発表標題 Observation of Water-Window Soft X-Ray Emission from Laser-Produced Au Plasma Under Vacuum at Various Laser Parameters
3. 学会等名 The 11th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. John, N. Kakunaka, Y. Matsumoto, M. Kishimoto, S. Namba
2. 発表標題 Observation of water-window soft X-ray emitted from laser plasmas generated in N2 gas atmospheres
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Kakunaka, C. John, M. Kishimoto, Y. Matsumoto, N. Hasegawa, M. Nishikino, T. Higashiguch, T. Ejima, A. Sunahara, F. Nakajima, T. Johzaki, T. Endo, S. Namba
2. 発表標題 Water window soft X-ray emission from Au plasmas generated with a picosecond laser pulse
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田切誠, 角中昇, 松本康弘, 岸本牧, 難波慎一
2. 発表標題 ガス雰囲気中でのレーザー励起プラズマ軟X線の高出力化
3. 学会等名 プラズマカンファレンス2017, プラズマ核融合学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	難波 慎一 (Namba Shinichi) (00343294)	広島大学・工学研究科・教授 (15401)	