



Title	高輝度レーザープラズマX線源とその応用に関する研究
Author(s)	鈴木, 将之
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44327">https://hdl.handle.net/11094/44327</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	鈴木 木 将 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 8 4 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 15 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	高輝度レーザープラズマ X 線源とその応用に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三間 園興 (副査) 教 授 西原 功修    教 授 西村 博明    教 授 飯田 敏行 教 授 田中 和夫    教 授 西川 雅弘    教 授 堀池 寛 教 授 朝日 一      教 授 栗津 邦男

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高輝度レーザープラズマ X 線源とその応用実験に関する研究についてまとめたものである。本論文は、以下の 8 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、レーザープラズマ X 線源の産業利用について紹介し、ガスパフターゲットを用いたレーザープラズマ X 線源の産業利用の可能性について述べた。

第 2 章では、レーザーガスパフターゲットを加熱する機構について述べた。また、プラズマ中でのレーザーの伝搬について述べた。

第 3 章では、本研究で用いたレーザー装置、真空チャンバー装置、計測器および検出器の特性を示し、それぞれの有用性について述べた。

第 4 章では、ガスパフターゲットのガス密度測定の結果について述べた。ガス中を透過してきたレーザーパルスの測定を行い、レーザーのガス中における吸収および生成されるレーザープラズマからの X 線放射の時間発展の観測を行った。レーザー伝搬方向に縦長のプラズマが生成されておりレーザー長の中で熱的自己収束によってレーザーは集光、発散を繰り返すことを観測した。この実験結果は、プラズマ中のレーザーの伝搬方程式を用いたモデルと定量的に一致することを示した。

第 5 章では、ダブルノズルガスパフターゲットを用いたときの X 線放射特性について述べた。波長 10-15 nm の領域において、キセノンガスを用いたときの X 線は、固体のスズを用いたときの X 線とほぼ同程度の強度であった。波長 2-3 nm の領域において、窒素ガスを用いたときの X 線は、固体の炭素を用いたときの X 線とほぼ同程度であった。アルゴンを用いたとき 0.4 nm の波長域でヘリウム様の強い線スペクトルを確認した。

第 6 章では、ピコ秒レーザーを用いた波長 1-5 nm における X 線放射特性について報告した。ダブルノズルガスパフターゲットの窒素、酸素を用いたとき水素様までイオン化が進んでいることを確認した。

第 7 章では、ダブルノズルガスパフターゲットを用いて得られた X 線を X 線顕微鏡および LIGA プロセスの露光用光源として応用実験に用いた結果について述べた。X 線顕微鏡については、水中生体試料を分解能、数 10 nm で撮像することができた。LIGA プロセスに関しては線幅 9  $\mu\text{m}$ 、深さ 500 nm の加工が可能であることを確認した。

第8章は、まとめであり、本論文を総括した。ガスパフターゲットを用いたレーザープラズマX線源は、高輝度なX線源であり利用研究への展開が可能であること示した。

## 論文審査の結果の要旨

高輝度X線源はリソグラフィ、生体構造の観測、タンパク質の三次元構造解析等基礎科学や産業科学への広い応用が期待されている。最近、小型装置で高輝度かつ短パルスで広い波長領域をカバーするX線源としてレーザープラズマX線が注目されている。レーザープラズマX線源の利用のためには、高出力レーザーを固体ターゲットやガスターゲットに照射して発生するプラズマを用いるが、ターゲットデブリの影響を最小限に抑えるとともに、個々の利用に適した波長のX線を選択的に発生させる手法を確立することが重要な研究課題となっている。

本論文はガスパフターゲットを用いたレーザープラズマX線源に関する実験をおこない、発生するX線の特性評価とLIGAプロセスの露光光源としての有用性に関する研究をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) ナノ秒の高出力レーザーとガスパフターゲットとの相互作用の物理を調べ、X線源の空間時間的挙動を明らかにしている。すなわち、波長5~20 nmにおけるレーザープラズマX線源の時間空間分解測定をおこない、発光領域とレーザーの集光位置との関係について、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンガスで実験をおこない、レーザーの吸収と自己収束を調べ、キセノンやクリプトンの場合には、2ヶ所でX線発光することを明らかにしている。
- (2) 発光効率を高める目的で、ダブルノズルガスパフターゲットを開発し、その時のX線放射特性を評価している。その結果、波長が5 nmから20 nmの領域でダブルノズルでのX線放射強度がシングルノズルの場合に比べ2~10倍高くなることが明らかにされている。
- (3) 波長が5 nmよりも短い領域でも窒素の波長2.48 nmのHe様の線スペクトルの輝度は、炭素の固体ターゲットからの2.2 nmのH様の線スペクトルと同程度の輝度になるなど、ダブルガスパフターゲットのX線源が固体ターゲットと比較して遜色ないことが明らかにされている。
- (4) ピコ秒レーザーをガスパフターゲットに照射する実験をおこない、高輝度X線発生に関するレーザーパルス長依存性を明らかにしている。
- (5) ガスパフターゲットや固体ターゲットからのレーザープラズマX線を用いて、X線顕微鏡を構成し、生体試料としてヌクレオソームを用いて1回露光での撮像に成功し分解能10~30 nmを実現している。
- (6) 上記の結果、ヌクレオソームの構造を明らかにするとともに、ヌクレオソームが細胞分裂期に生物種に特有な形態をとることなどの観測に成功している。
- (7) レーザープラズマX線源をLIGAプロセス露光実験に用いることで、線幅9  $\mu\text{m}$  で深さ500 nmの加工が可能であることを確認している。

以上のように本論文はレーザープラズマX線源につき、ナノ秒の高出力レーザーパルスとダブルノズルガスパフターゲットを用いた装置が有効であることを実験及びその解析で明らかにするとともに、具体的な応用例についても実験によりレーザープラズマX線の有用性を明らかにしたもので、高出力レーザー科学やレーザープラズマ科学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。