

Title	レーザー生成プラズマを利用した軟X線レーザーに関する研究
Author(s)	村井, 健介
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3094164
DOI	10.11501/3094164
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	むら い けん すけ 村 井 健 介		
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)		
学位記番号	第 1 1 3 5 8 号		
学位授与年月日	平成 6 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気工学専攻		
学位論文名	レーザー生成プラズマを利用した軟 X 線レーザーに関する研究		
論文審査委員	(主査) 教授 加藤 義章 教授 青木 亮三 教授 松浦 虔士 教授 白藤 純嗣 教授 平木 昭夫 教授 辻 毅一郎 教授 小牧 省三 教授 佐々木孝友 教授 村上 吉繁 教授 鈴木 胖 教授 薦田 憲久 教授 山中 龍彦 教授 中島 尚男 教授 黒田 英三		

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、レーザー生成プラズマから発生する軟 X 線レーザーの発生機構を理解し、軟 X 線レーザーの高利得長積の達成、空間コヒーレンスの向上、高効率化を目的として行った研究成果をまとめたもので、次の 11 章と付録より構成されている。

第 1 章は緒論であり、軟 X 線レーザー光の特性と方式について述べている。

第 2 章では、高原子番号元素のレーザー生成プラズマから発生する軟 X 線ベクトルを、高波長分解で絶対光量計測した結果を示している。スペクトルに含まれる N 殻放射の $\Delta n = 1$ 遷移および $\Delta n = 0$ 遷移について、非分離遷移群解析法をもとに考察し、3~5 nm 付近に現れる 2 つのピークが $\Delta n = 0$ 遷移に起因することを明らかにしている。

第 3 章では、電子再結合励起型水素様炭素イオンのバルマー α 線を用いた軟 X 線レーザーについて実験結果を示し、照射強度の非一様性が軟 X 線レーザー光の増幅に与える影響を考察している。

第 4 章では、電子再結合励起型水素様ナトリウムイオンのバルマー α 線を用いた軟 X 線レーザーについて実験結果を示し、屈折効果が軟 X 線レーザー光の増幅に与える影響を考察している。

第 5 章では、電子衝突励起型ネオン様ゲルマニウム軟 X 線レーザーの 5 本のレーザー線の増幅特性を詳細に検討し、波長 19.6nm の $J=0-1$ 遷移と比較して特徴的なふるまいをすることを述べている。実験結果を光路追跡計算をもとに考察し、利得発生のプラズマ条件を明らかにしている。

第 6 章では、ネオン様ゲルマニウム軟 X 線レーザーの高性能化とその応用について述べている。屈折効果の補償を目的とした湾曲ターゲットの使用により、特に 19.6nm 線について著しく強度が増加することを示している。また、湾曲ターゲットと平面多層膜軟 X 線反射鏡を使用した複光路増幅において、約 1 mrad のビーム発散角をもつ軟 X 線レーザー光の実現について述べている。

第 7 章では、軟 X 線レーザー光の空間コヒーレンスについて考察し、軟 X 線レーザー光がガウス型相関を有する準均質光源であるとの解析が与えられている。また、第 6 章において複光路増幅によって得られた狭いビーム発散角が空間コヒーレンスの向上と密接に関係することが明らかにされている。

第 8 章では、19.6nm 線の複光路増幅に関する実験結果について述べられ、プラズマ中のファラデー効果による偏光面の回転についての考察が与えられている。

第9章では、短パルス幅複パルス光照射により波長19.6nm線 ($J=0-1$) のみの選択的励起と高効率化が可能であることが述べられている。

第10章では、軟X線レーザー光のエネルギー評価の結果が与えられている。

第11章では以上の結果を要約し、本研究で得られた主たる結論を総括している。

付録では、本論文で使用した軟X線光学、コヒーレント光学、自然放射光増幅に関する基本式がまとめられている。

論文審査の結果の要旨

レーザー生成プラズマから発生する軟X線レーザーは、従来の軟X線源と比較して優れたスペクトル輝度をもつ光源であり、高密度プラズマおよび生体試料の観測等多岐にわたる応用が拓ける重要な光源である。

本論文は、レーザー生成プラズマから発生する軟X線スペクトルおよび軟X線レーザーの発生機構を理解し、軟X線レーザーの高性能化を目的として行った研究成果をまとめたものであり、主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 原子番号が80近傍の物質 (W, Au, Pb, Bi) を対象とし、照射強度 $4 \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$ のレーザー光照射で得られるレーザー生成プラズマの軟X線スペクトル (波長 $1 \sim 6 \text{ nm}$) を高波長分解で絶対光量計測し、波長 $3 \sim 5 \text{ nm}$ の波長域の放射はN殻の $\Delta n = 0$ 遷移に起因することを明らかにしている。
- (2) 電子再結合励起型軟X線レーザーにおいて利得長積の実現が妨げられている原因として、照射レーザー光の吸収の不均一と軟X線レーザーの屈折効果が重要であることを明らかにしている。
- (3) 電子衝突励起型ネオン様ゲルマニウム軟X線レーザーについて、同一の照射条件下でターゲット構造を変化させ、各レーザー線の増幅特性を調べている。実験結果をもとに流体計算および光路追跡計算を用いて利得の発生条件や屈折効果を考察し、 $J = 0-1$ 遷移と $J = 2-1$ 遷移の利得領域の電子密度と電子温度を評価している。
- (4) $J = 0-1$ 遷移 (19.6nm線) は、平板ターゲットにおいては他のレーザー線と比較して発光ピークが早く、その利得発生には薄膜ターゲットは適していないことを明らかにしている。ダブルターゲットおよび湾曲ターゲットにより、軟X線レーザー光の屈折効果が補償されることを示し、特に $J = 0-1$ 遷移線の強度が他のレーザー光よりも強くなり得ることを示している。
- (5) 軟X線レーザー光の空間コヒーレンスの計測を行い、軟X線レーザー光がガウス型の強度分布と空間相互相関関数を有する部分コヒーレント光源であることを明らかにしている。また、湾曲ターゲットの複光路増幅によって得られたビーム発散角は、 1 mrad と小さくできることを示し、発散角の低減と空間コヒーレンスの向上との関係を定量的に明らかにしている。
- (6) 偏光反射鏡を用いた複光路増幅により、偏光した軟X線レーザー光の発生が可能であることを示している。
- (7) 短パルス幅ダブルパルス光照射により $J = 0-1$ 遷移線を選択的に励起し、高効率で短パルスの単色軟X線レーザー光が実現できることを示している。
- (8) 以上の実験で得られた軟X線レーザー光の時間波形、角度分布、出力エネルギーなど諸特性を定量的に評価し、その結果、スペクトル輝度が約 $2 \times 10^{23} \text{ Photons/sec} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{mrad}^2 \cdot (0.01\% \text{ バンド幅})$ の単色単パルス軟X線レーザー光を実現できたことを明らかにしている。

以上のように本論文は、レーザー生成プラズマによって発生する軟X線の発生機構と軟X線レーザーの高性能化に関して多くの新しい知見を与えており、電気工学の発展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。