

Title	High Resolution Spectroscopy and Efficiency Improvement of Ne-Like Ge Soft-X-Ray Lasers
Author(s)	袁, 鋼
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40493
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。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	袁 鋼
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 2 8 8 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 9 年 3 月 18 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	High Resolution Spectroscopy and Efficiency Improvement of Ne-Like Ge Soft-X-Ray Lasers (ネオン様ゲルマニウムイオン軟 X 線レーザーの高分解能分光と効率向上)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 山 中 龍 彦 (副査) 教 授 青 木 亮 三 教 授 白 藤 純 嗣 教 授 佐 々 木 孝 友 教 授 中 塚 正 大 教 授 加 藤 義 章

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ネオン様ゲルマニウムイオン軟 X 線レーザーの高分解能分光計測と発生効率の改善に関する研究成果をまとめたもので、次の 8 章より構成されている。

第 1 章は序論であり、電子衝突励起型ネオン様イオン軟 X 線レーザーの特性について述べ、本研究の背景及び目的を説明している。

第 2 章では、レーザー生成ゲルマニウムプラズマから発生する軟 X 線レーザー光と自然放出光の高精度分光計測について述べている。分光計測により得られたスペクトルに含まれるネオン様イオンの遷移について、相対論的効果を考慮した計算結果と対比し、23種の遷移過程を同定し、ネオン様ゲルマニウムイオンにおけるエネルギー準位の正確な値の決定を行っている。

第 3 章では、ネオン様ゲルマニウムイオン軟 X 線レーザーにおける 3 本のレーザー線のスペクトル幅を精密に測定し、その時間コヒーレンスを評価している。この結果、時間コヒーレンスは 0.3-0.6 ps であることを明らかにしている。また、実験結果と自然放出光の増幅計算から、スペクトル広がりおよび屈折効果が軟 X 線レーザー光の増幅に与える影響を評価している。

第 4 章では、軟 X 線レーザー光の不均一プラズマ中における伝播を考慮するため、光線伝播方程式を用いた解析モデルを開発し、屈折効果の補償に関する定量的評価を行っている。この結果、湾曲ターゲットを使用することにより、屈折効果が補償でき、特に 196.19 Å (J=0-1) 遷移線の強度が著しく増加することを明らかにしている。

第 5 章では、ネオン様ゲルマニウムイオン軟 X 線レーザーの高性能化を行うため、湾曲ターゲットを用いた実験について述べている。この結果、湾曲ターゲットを用いることにより、理論的に予測されるように、通常の平板ターゲットと比較して、196.19 Å 線が約 10 倍、236.25 Å が約 2 倍強くなることを実験的に明らかにしている。

第 6 章では、ダブル短パルスレーザー励起による、196.19 Å 線のみを選択的励起と高効率化の実験について述べている。この結果、ダブル短パルス (100 ps) の使用により、約 1/3 の照射エネルギー (300 J) で、196.19 Å 軟 X 線レーザーは 15 倍強くなることを確認している。

第7章では、トリプル短パルスレーザー励起による196.19 Å軟X線レーザー特性の計算および実験結果について説明している。第6章で示したダブル短パルス励起と比べ、トリプル短パルス励起を使用すると、理論的に利得発生領域が2倍広くなることを予測し、実験で、196.19 Å軟X線レーザーの強度が3.5倍強くなることを示している。また、複光路増幅による、軟X線レーザー光の2次元ビーム伝播特性の研究結果を述べ、実験と理論に良い一致が得られることを示している。このことより、トリプル短パルスレーザー励起と湾曲ターゲットの使用により、196.19 Å軟X線レーザーの発生効率の改善されることを示している。

第8章は結論であり、本研究で得られた主たる結論を總括している。

論文審査の結果の要旨

軟X線レーザーは、単色性に優れ、高い輝度とコヒーレンスを持つため、ナノメートルオーダーの微細構造、生体試料、高密度プラズマ等の観測用光源として期待されている。しかし、軟X線増幅の詳細な物理過程を明らかにし、光源としての性能を評価するためには、レーザービームの波長、空間・時間コヒーレンス等の基本特性を高い精度で評価する必要がある。また将来観測用光源として実用化するためには、発生効率の改善は最も重要な課題の1つである。

本論文では、ネオン様ゲルマニウムイオン軟X線レーザーの基礎特性評価と、発生効率の改善に関する研究成果をまとめたもので、得られた主な成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) レーザー生成ゲルマニウムプラズマから発生する軟X線レーザー光と、自然放出光の精密な波長の決定を極めて高い分解能を持つX線分光器を用いて行ない、スペクトルに含まれるネオン様イオンの遷移について、相対論的効果を考慮した計算結果と対比することにより、23種の遷移過程を同定し、ネオン様ゲルマニウムイオンの精密なエネルギー準位を明らかにしている。
- (2) ネオン様ゲルマニウムイオン軟X線レーザーの3つの波長に対して、スペクトル幅を精密に測定し、軟X線レーザーの時間コヒーレンス長を評価し、コヒーレンス長は100-175 μmであり、微細干渉計測用光源として利用可能であることを示している。
- (3) レーザー生成プラズマを持つ密度、温度の不均一性に起因する軟X線レーザー光の屈折の効果を記述するために光線伝播モデルを開発し、これを用いて媒質中での軟X線の屈折がレーザー増幅に与える影響を定量的に評価し、湾曲ターゲットを使用することにより、屈折効果を補償することができ、特に196.19 Å (J=0-1) 遷移線の強度が著しく改善できることを示すとともに、実験により196.19 Å線が約10倍、236.25 Å線が約2倍強くなることを明らかにしている。
- (4) プラズマ生成用パルスと励起用パルスを分けて照射することにより、196.19 Å線のみを選択的励起と高効率化の実験を行ない、ダブル短パルス (パルス幅100 ps, パルス間隔400 ps) の照射により、約1/3の照射エネルギー (300 J) で、196.19 Å軟X線レーザーは15倍強くなることを示している。さらに、トリプル短パルスレーザーによって励起した場合には、ダブル短パルス励起に比べ、196.19 Å軟X線レーザーの強度がさらに3.5倍強くなることを明らかにしている。
- (5) 複光路増幅による、軟X線レーザー光の空間コヒーレンスが向上することを確認している。

以上の様に、本論文は軟X線レーザー領域の精密な分光計測技術を確立するとともに軟X線レーザー増幅の物理過程に対する新知見を与え、軟X線レーザーの発生効率の改善に対する具体的方法を示し、実験により実証しており、軟X線レーザーの実用化に対して大きく寄与するものであり、レーザー工学、X線光学分野に大きな貢献をもたらすものである。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。