



Title	レーザー生成プラズマにおける再結合軟X線レーザーに関する研究
Author(s)	三浦, 永祐
Citation	大阪大学, 1991, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3054379
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	三	浦	永	祐
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	9764	号	
学位授与の日付	平成3年3月26日			
学位授与の要件	基礎工学研究科 物理系専攻 学位規則第5条第1項該当			
学位論文題目	レーザー生成プラズマにおける再結合軟X線レーザーに関する研究			
論文審査委員	(主査)			
	教授	西原	功修	
	(副査)			
	教授	難波	進	教授 末田 正 教授 加藤 義章

論文内容の要旨

軟X線領域の光源として用いられてきたシンクロトロン放射光等に比べて、コヒーレンスおよび輝度の高い軟X線レーザーはX線顕微鏡、X線ホログラフィー等の光源としての幅広い応用が期待され、注目を集めている。軟X線レーザーを得るために必要な反転分布を生成し、自然放出光増幅を得る方法は確立しつつある。従って、研究の主題は飽和増幅を達成し、ビームのコヒーレンスの向上と高出力化を行なうことに変わりつつある。ビームの品質が良く、出力の高いレーザー光を得るには、増幅媒質に共振器を構成する必要がある。共振器を構成するには広い領域で長い時間にわたり、反転分布を維持する増幅媒質が望ましい。本研究では、このような増幅媒質を得るために、増幅媒質であるプラズマの閉じ込めに着目し、シリンダー状のターゲットを提案した。プラスチックのシリンダー状のターゲットに炭酸ガスレーザーを照射して生成されるプラズマの増幅媒質としての特徴を調べ、炭素のバルマー α 線の増幅を得ることを目的とした研究を行なった。

また、生体物質の計測用の光源としての応用が期待される波長がウォーターウィンドウ領域(23~44 Å)にあるレーザーの実現が発振波長の短波長化の当面の課題である。波長がウォーターウィンドウ領域にせまるレーザー実現の見通しを得ることを目的として、ガラスレーザーの3倍高調波光をナトリウム等に照射し、それぞれのバルマー α 線の増幅特性を明らかにする研究を行なった。

本論文は5章から構成されている。

第1章において軟X線レーザー研究の重要性を述べ、本論文の目的、意義を明らかににする。

第2章では、衝突・輻射モデルに基づくレート方程式を解いて、プラズマ中の原子過程を解析できるシミュレーションコードの開発について述べる。本コードを用いて、炭素のバルマー α 遷移で反転分布

を得るための条件について議論する。

第3章では、炭酸ガスレーザーをシリンダー状のターゲットに照射して生成されるプラズマ中で炭素のバルマー α 線の増幅を得ることを目的とした研究について述べる。シリンダー内に閉じ込めたプラズマ中で炭素のバルマー α 線の増幅を観測し、利得係数 2.8cm^{-1} を得た。利得係数の空間分布を測定し、半径約1mmの断面を持つ増幅媒質の生成を観測した。また、流体コードと原子過程コードを結合したシミュレーションを行ない、8nsにわたって反転分布が発生することを示した。

第4章では、波長がウォーターウインドウ領域にせまるレーザーを実現する見通しを得ることを目的とした研究について述べる。ガラスレーザーの3倍高調波光をナトリウム等の平板ターゲットに照射し、生成される自由膨張プラズマ中において、ナトリウムおよびマグネシウムのバルマー α 線の増幅を観測した。マグネシウムのバルマー α 線の波長は $45\text{\AA}$ でありウォーターウインドウ領域に極めて近く、この波長領域のレーザー実現への見通しを得た。

第5章は結論であり、第4章までに得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

1984年にレーザー生成ネオン様セレン、および水素様炭素で自然放出XUV光（波長 $206\text{\AA}$ 、 $209\text{\AA}$ 、および $182\text{\AA}$ ）の指数関数的増幅が観測されて以来、高輝度X線源としてレーザー生成プラズマが注目されるようになった。本研究は、レーザー生成プラズマの膨張再結合過程で生じる水素様イオンの自然放出XUV光、および軟X線光の増幅実験を行ない、その基本的性質と関連する原子過程の解析を加え、軟X線レーザーに関する一連の研究としてまとめたものである。

まず、衝突、輻射モデルに基づくレート方程式の計算コードを開発し、再結合過程で生じる水素様イオンの反転分布生成の条件を調べ、実験に用いた炭素のバルマー α 線について増幅利得とプラズマの温度、密度との関係を明らかにしている。

本研究で行なった実験は、増幅媒質の長時間維持の可能性を目的とした炭酸ガスレーザーを用いた実験と、増幅波長の短波長化を目的としたガラスレーザーの3倍高調波を用いた実験に大別できる。

前者の実験ではバリレンシリンダー内に炭素の再結合プラズマを形成し、シリンダーによる閉じ込めにより長時間維持を行うことを提案している。増幅が得られる軸方向及び軸外し方向から感度比較正を行なった2台の分光器により自然放出光の強度計測を行ない、炭素のバルマー α 線（ $182\text{\AA}$ ）の利得係数 2.8cm^{-1} を求めている。また、プラズマの電子温度、密度を連続スペクトル、サテライト線等を用いて計測し、反転分布生成条件が満たされていることを確認している。さらに反転分布の発生領域をも計測し、シミュレーションとの比較検討を行ない、シリンダー内に閉じ込めたプラズマは広い断面積（半径 0.75mm ）を持つこと、またシミュレーションとの比較により、約8nsの長時間にわたり増幅媒質となる可能性があることを示している。

後者の実験では、ナトリウムとマグネシウムのバルマー α 線（ $54\text{\AA}$ と $45\text{\AA}$ ）についても同様の計測を

行ない、それぞれの利得係数 (2.0cm^{-1} と 3.0cm^{-1}) を求めている。ナトリウムのバルマー α 線については、非常に近接する他の線スペクトルとの重なりを除去を行ないスペクトル線の正確な強度評価を行なっている。本実験においても利得係数の時間変化や、電子温度、密度の計測を行ない、自然放出光の増幅特性を明らかにしている。観測した $45\text{\AA}$ の波長は、生体観測応用が期待される $23\sim 44\text{\AA}$ のウォーターウインドウ領域にせまるものである。

以上のように、本論文は、レーザー生成再結合プラズマにおける反転分布生成過程と自然放出光の増幅特性を明らかにしたものであり、軟X線レーザー研究に寄与するところ大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。