



Title	XUV自由電子レーザー装置の開発に関する研究
Author(s)	中尾, 直也
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42071">https://hdl.handle.net/11094/42071</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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</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	中尾直也
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 15445 号
学位授与年月日	平成12年3月24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	XUV自由電子レーザー装置の開発に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 三間 罔興  (副査) 教授 中井 貞雄 教授 堀池 寛 教授 西川 雅弘 教授 権田 俊一 教授 西原 功修 教授 飯田 敏行

### 論文内容の要旨

本論文は、XUV域の自由電子レーザーのコンパクト化を目指した開発に関する研究成果をまとめたもので、全5章より構成されている。

第1章では、自由電子レーザーの特徴と研究開発の動向を概説し、既存のレーザー等の光源では実現出来なかった波長及び輝度の領域のレーザーとして、XUV域の自由電子レーザーの開発の重要性を述べ、本研究の位置付け、及び目的を説明している。

第2章では、自由電子レーザーの基礎原理を述べ、高調波利得向上のための手法について考察し、高調波磁界成分を持つウイグラーの有効性を提案している。すなわち、高調波磁界成分を持つウイグラー中を伝播する電子の運動方程式から軌道計算をおこない、その結果を用いて、自由電子レーザーの高調波利得を求めている。その結果より、高調波利得の向上に適した磁界分布を明らかにし、最適な高調波ウイグラーの設計指針を示している。

第3章では、第2章で得られた設計指針をもとに、パーメンダー等の高透磁率材料を磁界変調用の磁極として永久磁石ウイグラーに付加することで、大きい高調波成分を持つ高調波ウイグラーを試作したことについて説明している。また、試作された3次高調波ウイグラーに8 MeVの線形加速器からの電子ビームを入射することにより、3次高調波の自然放射光強度の観測を行っている。その結果から、磁界に高次成分を持たない通常のウイグラーを使用した場合に比べ、高次高調波ウイグラーでは、3次高調波が強くなることを確認し、高次高調波ウイグラーの有効性を示している。

第4章では、XUV域での自由電子レーザー発振の手法として、自己増幅自発放射光(SASE)を利用する方法を提案するとともに、より短いウイグラーで発振を可能にするための手法として、外部パルスXUV光を種光として入射する方式を考案している。この提案では、XUV光が自由電子レーザー中で電子ビームに捕捉されることが重要であるため、3次元の自由電子レーザーシミュレーションコードを用いた増幅の数値計算をおこない、種光の入射の有効性を明らかにしている。また、種光の強度と必要なウイグラーの長さとの関係を計算機シミュレーションで明らかにすることにより、種光の強度に関する必要条件を検討している。さらに、必要な強度の種光を得るための方法としてレーザープラズマXUV光源の利用の可能性を考察している。

第5章は結論であり、本研究で得られた知見を総括し、本論文の結論を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

自由電子レーザーは原理的に発振波長領域に制限を持たない特徴を持っており、他のレーザーでは実現出来ない波長領域の光源として光科学における期待が高い。短波長域では、波長が100nm以下のコンパクトな自由電子レーザーの開発への期待が高まっている。本論文は、コンパクトな短波長自由電子レーザーの開発には欠かせない高調波光の増幅に関し、増幅率を高める高調波ウイグラの設計・試作、XUV域の自己増幅自発放射光の増幅特性等に関する研究開発の結果をまとめたものである。得られた主な成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 自由電子レーザーの高調波利得を高めるための手法として、高透磁率材料（パーメンダー）を変調磁極として付加した高調波ウイグラを提案して、磁極配置による高調波磁界成分の増加を磁界解析コードを用いて明らかにし、最適な磁極配置の決定に成功している。
- (2) 設計した高調波ウイグラに対し、高調波磁界成分の付加により高調波増幅率が増加することを電子ビームの軌道解析により示し、増幅率の計算を行って、高調波ウイグラを短波長自由電子レーザーに適用する有効性を明らかにしている。
- (3) パーメンダーを変調磁極とする3次高調波ウイグラを製作し、磁界計測を行って設計通りの高調波磁界の発生に成功している。
- (4) 製作された3次高調波ウイグラに8 MeVの線形加速器からの電子ビームを入射し、3次高調波放射光が通常のウイグラの場合に比べ最大4倍にまで増加することを実証している。
- (5) XUV自由電子レーザーの発振に必要なウイグラ長を短くするため、外部よりXUV種光を入射する方法を提案し、種光入射の効果を3次元の自由電子レーザーシミュレーションにより明らかにしている。
- (6) XUV種光として、レーザープラズマXUV光源を利用することを検討し、集光光学系を工夫すればXUV自由電子レーザーの種光となりうることを明らかにしている。

以上のように、本論文は短波長自由電子レーザーのコンパクト化に不可欠な高調波ウイグラの開発とXUV種光の効果の評価を行ったものであり、レーザー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。