The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	深紫外シングルモード全固体レーザーの開発と高速応答中性子シンチレーター開発への応用
Author(s)	坪井, 瑞輝
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61713
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（坪井　瑞輝）	
論文題名	深紫外シングルモード全固体レーザーの開発と高速応答中性子シンチレーター開発への応用

論文内容の要旨

半導体を用いた集積回路は人々の生活に不可欠なものである。導体製造の場で最も広く用いられているのは、発振波長 193nm の ArF エキシマレーザーである。半導体製造に使われる ArF レーザーは、狭帯域化した ArF 発振器と ArF 増幅器により構成されているが、電力効率が 0.1%程度であり、効率の向上が必要とされている。

ArF オシレータを発振波長の 193nm の全固体レーザーで代用することができれば、レーザーシステムの消費電力を削減することができる。そのため今回我々は、ArF オシレータを置き換えるための、全固体レーザーの開発に取り組んだ。

本論文は六章より構成されている。第一章から三章までは 193nm 前固体レーザーシステムの開発について述べた。本研究で開発したシステムは 904nm で発振するオシレータの出力をマルチパスアンプを用いて増幅し、非線形光学結晶による波長変換により 193nm を達成する。第一章では波長変換の基本波を発生させるための 904nm、6kHz、Ti:sapphire オシレータの開発について述べた。縦単一モードで 6kHz で発振する、発振波長 904nm のオシレータを作成した。

第二章では第一章で作成した発振器の出力を増幅するためのマルチパスアンプシステムの開発について述べた。高繰り返しのために励起光強度が大きくなり、結晶上に形成される熱レンズの影響が非常に大きくなった。高励起強度では熱レンズの影響でマルチパスアンプの構築が困難であったことから、マルチパスアンプを 3 段階化することで熱レンズの影響を許容可能なレベルにした。出力 10W、6kHz、904nm、縦単一モードのレーザーシステムの開発に成功した。

第三章では波長変換による 193nm 光の発生について説明した。904nm 光源に対して LBO 結晶により 2 倍波の 452nm を発生させ、さらに BBO 結晶を用いて四倍波 256nm 光を発生させた。さらに四倍波と 1.3μm とで和周波発生を行い、193nm を発生させた。出力は ArF エキシマレーザーシステムの発振器を置き換えるのに要求されスペックを満たした。

第四章では核融合炉プラズマの燃料密度の計測への応用が期待されている、APLF+Pr 中性子シンチレータの発光特性の研究について述べた。放射光を用いた分光測定により APLF の発光核である Pr^{3+} の電子準位を調べ、シンチレータ特性の向上について検討する。

第五章では本研究で開発した 193nm レーザーシステムを APLF+Pr シンチレータの発光時間特性の測定に応用したことについて述べる。APLF+Pr の発光時間は $4f5d \rightarrow 4d^2$ 遷移による発光だけでなく、$^1S_0$ からの遷移も非常に高速であることを確認した。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　　名　　（　坪井　瑞輝　）			
論文審査担当者		（職）	氏　　名
	主 査	教授	猿倉　信彦
	副 査	教授	乗松　孝好
	副 査	准教授	長友　英夫
	副 査	教授	村田　勲

論文審査の結果の要旨

本論文は高密度集積回路等の半導体素子製造に使用されるＡｒＦレーザーの置き換えをねらった波長１９３ｎｍの深紫外シングルモード全固体レーザーの開発と、１９３ｎｍレーザーのさらなる応用の実例として核融合用高速応答中性子シンチレーターの評価を行ったものである。

第一章では、研究の背景を概観している。ここではまず、１９３ｎｍ固体レーザーの必要性を産業的な観点からも指摘し、現在の光源技術の抱える問題点が整理されている。それに加え、レーザーの新たな用途として中性子シンチレーターを挙げ、それが必要とされている核融合研究分野の説明と解決すべき課題が説明されている。

第二章から第四章では、１９３ｎｍ深紫外シングルモード全固体レーザーの開発について述べられている。このレーザーシステムは９０４ｎｍの高繰り返しレーザーを非線形結晶で波長変換することで１９３ｎｍ光を得る構成になっている。第二章ではこのレーザーシステムの発振器部となる９０４ｎｍ、６ｋＨｚのＴｉ：Ｓａｐｐｈｉｒｅレーザーを開発している。最終的なレーザー発振器性能としては１．１Ｗ、６ｋＨｚ、９０４ｎｍとなった。　第三章では、この発振器よりの出力を増幅させるマルチパス増幅器を開発している。高繰り返しであることから熱レンズによる影響が大きくなるため、３段化したマルチパス増幅システムを開発することで対応した。結果、１０Ｗ、６ｋＨｚ、９０４ｎｍのレーザー光を得ることが可能となった。　第四章では、この９０４ｎｍのレーザー光を波長変換により１９３ｎｍ光の発生を行っている。まず、ＬＢＯ結晶およびＢＢＯ結晶を使用することで４倍波の２２６ｎｍ光を発生させる。そして、この２２６ｎｍ光と波長１．３μｍのレーザーダイオードの光の和周波発生をＣＬＢＯ結晶で行うことで１９３ｎｍ光を得ている。ここまでのレーザー開発において、申請者は発振器作成における注入同期の調整やヘンシュ法による共振器長制御、増幅部における熱レンズ問題への対策、多段的な波長変換よる１９３ｎｍ発生など、いずれも高度な技術を要する課題の解決に成功しており、目的となる１９３ｎｍレーザー開発を達成している。

次に第五章、第六章において、１９３ｎｍレーザーの新しい応用として、核融合用高速応答中性子シンチレーターの評価を提案している。第五章においてはＡＰＬＦ＋Ｐｒ中性子シンチレーターの基礎特性評価を行っている。第六章では、申請者の開発した１９３ｎｍレーザーを使用し、ＡＰＬＦ＋Ｐｒ中性子シンチレーターの短波長光応答特性の評価が行われた。本レーザーを使用することで初めて短波長に対しても２０ｎｓ以下と高速の応答を持っていることが計測された。この結果から散乱中性子の計測によるプラズマ密度の計測の実現可能性が示された。

以上のように、本論文は学術・産業界で求められる新しいレーザーの開発と次世代のエネルギーである核融合研究に求められるシンチレーターの新しい評価手法の確立をおこなったものであり、双方の成果ともそれぞれの分野で足りなかった部分を補う重要な研究であり、環境・エネルギー工学を発展させるものといえる。装置開発から装置の応用まで一貫した研究も発見的・独創的研究として評価できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。