

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	核物質非破壊検知用小型光核中性子源の研究
Title(English)	
著者(和文)	村田亜希
Author(English)	aki murata
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11262号, 授与年月日:2019年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林崎 規託,千葉 敏,片淵 竜也,相樂 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11262号, Conferred date:2019/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	村田 亜希		
		氏名	職名	氏名	職名	
論文審査 審査員	主査	林崎 規託	教授	審査員	筒井 広明	准教授
	審査員	千葉 敏	教授			
		片渕 竜也	准教授			
		相樂 洋	准教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「核物質非破壊検知用小型光核中性子源の研究」と題し、全8章から構成されている。

第1章「序論」では、2001年の米国同時多発テロ事件を契機に核テロリズムの脅威に対する緊張感が一層高まり、核セキュリティ強化の取り組みが加速し、核燃料物質であるウランやプルトニウムを非破壊で検知する重要性が増していることを述べ、その測定には重陽子や三重陽子の核融合反応による中性子発生管が主に利用されているものの、三重陽子を使用する場合には寿命の問題があり、重陽子同士の反応の場合には中性子強度が不足することを指摘している。そこで、本論文研究ではベリリウムの光核反応のしきいエネルギーが他の物質よりも格段に小さい1.67 MeVであることに着目し、ベリリウム光核反応ターゲットと加速エネルギーが5~10 MeVの熱陰極型Sバンド(2.856 GHz)高周波電子銃より構成される、新しい核物質非破壊検知用小型光核パルス中性子源の開発を目的としていること、また、中性子発生管では技術的に困難な1 μs以下の短パルスビームを発生可能なので、例えば中性子飛行時間測定法のエネルギー分解能を向上できることを述べている。

第2章「加速器中性子源の仕様」では、加速器中性子源の主要パラメータのひとつである加速エネルギーを決めるために、中性子発生管で用いられている重陽子・三重陽子核融合反応の場合と、本論文研究で取り扱うベリリウムの光核反応の場合の中性子収量を比較し、さらに後者における入射光子エネルギーと反応断面積の関係を示している。そして、加速器本体がテーブルトップサイズに収まる核物質非破壊検知用小型光核パルス中性子源を、5 MeVと10 MeVの各加速エネルギーの場合について、ベリリウムターゲットとともに検討することを述べている。

第3章「光中性子発生原理」では、電子ビームの制動放射による光子発生および光核反応による中性子発生原理、また、実際の核物質非破壊検知において重要な中性子減速について述べている。そして、ベリリウムは光核反応ターゲットだけでなく中性子減速材の作用も有するが、水やポリエチレンに比べて減速時間や熱化時間が長いことを指摘している。

第4章「光中性子発生ターゲット設計」では、本論文研究において制動放射と光核反応の二段階による中性子発生、また線量分布を評価する方法として、粒子・重イオン輸送統合コードPHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) を利用したモンテカルロシミュレーションをおこなったことを述べている。そして、タングステンとベリリウムの組み合わせにより核分裂反応に必要な熱中性子を生成するため、ホウ素中性子捕捉療法のための光核反応の先行研究をベースに、反射材としてのグラファイトと減速材としてのポリエチレンも用いて第1デザインを検討したことを述べている。その結果、グラファイトがなくても中性子発生管程度の中性子収量が得られたことから、タングステンとベリリウムのみで後者の直径と厚さを変化させながら第2デザインを検討し、ベリリウム直径100 mmの場合では、加速エネルギー5 MeV、厚さ30 mmで $3.4 \times 10^{13}$  n/s (直流ビーム1 A換算)、同様に加速エネルギー10 MeV、厚さ40 mmで $2.2 \times 10^{14}$  n/s (直流ビーム1 A換算)の中性子収量が見込まれると考察している。

第5章「電子加速器」では、主な電子の発生原理には熱電子放出、光電子放出、電界放出があり、電子の加速方法としては直流加速と高周波加速が存在すること、また、本論文研究では大電流ビームを生成して数多くの中性子を得る必要があることから熱陰極型高周波電子銃を開発するとともに、熱陰極のヒーター機構を簡素化するための新しい提案として、レーザーを陰極背面から照射して加熱する方法について述べている。

第6章「高周波電子銃の設計」では、核物質非破壊検知用小型パルス中性子源用電子加速器として、上流側よりハーフセルとフルセル(両方あわせて1.6セル)から構成される高周波加速空洞を備えた1.6セルBNL型高周波電子銃を設計し、これに2.856 GHzのマイクロ波電力を与えると陰極面に対して垂直にTM<sub>010</sub>モードの高周波電磁場が励振され、所定のエネルギーまで電子ビームが加速されることを、3次元高周波電磁場シミュレーションおよびビームシミュレーションにより示している。

第7章「熱電子銃の設計」では、熱陰極材料として、仕事関数が低くて高融点かつ残留ガスの影響を受けにくい六ホウ化ランタンを選択し、新しく提案した半導体レーザーによる陰極背面加熱法の予備実験をおこない、レーザー出力が55.3 Wのときに陰極が約1390 °Cまで加熱され、実際に260 mAの電子ビームが引き出された結果を示している。そして、1/4波長空洞共振器の構造をもつ熱電子銃を3次元高周波電磁場シミュレーションにより設計し、前章で述べた高周波電子銃と組み合わせること、フルセル部分の内径が89.8 mm、全長179.4 mmの小型パルス中性子源用電子加速器を提案している。

第8章「結論」では、各章において得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに、本論文は、ベリリウムを用いた核物質非破壊検知用小型光核パルス中性子源を新しく設計研究し、さらに半導体レーザーによる陰極背面加熱法を実証したことで、原子核工学の分野に新たな知見を与えたものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。