T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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:林﨑 規託,千葉 敏,片渕 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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	原子核工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（工学） Doctor of
学生氏名： Student's Name	村田　亜希	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	林﨑　規託
		指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	相樂　　洋

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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 章から構成される。

第 1 章「序論」では、核不拡散・保障措置の着実かつ確実な実施に向けて、核セキュリティ強化の取り組みが加速するとともに核燃料物質の検知・定量技術の開発が積極的に進められており、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た。その非破壊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た。そこで、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た。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た。

第 2 章「加速器中性子源の仕様」では、加速エネルギーを決めるために、中性子発生管と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た。そして、加速器本体がテーブルトップサイズに収まる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た。

第 3 章「光中性子発生の原理」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の原理、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た。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た。

第 4 章「光中性子発生ターゲット設計」では、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。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。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 3.4×10^{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 2.2×10^{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た。

第 5 章「電子加速器」では、主な電子の発生原理を述べた。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、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た。

第 6 章「高周波電子銃の設計」では、1.6 セル BNL 型高周波電子銃を設計した。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 TM010 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た。

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 ℃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た。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、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た。

第 8 章「結論」では、各章を総括し、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を本文の結論として述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	原子核工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（工学）
学生氏名： Student's Name	村田　亜希	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	林﨑　規託
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	相樂　　洋

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

At present, neutron generators used for non-destructive assay of nuclear materials based on nuclear fusion have some problems such as limited neutron intensity and inability to generate short pulses. In the present thesis, a neutron generator driven by an electron-accelerator with very short pulses based on the photonuclear reaction of beryllium 9 is newly proposed. Based on Monte Carlo simulations, the effectiveness and feasibility of the novel designed neutron generator is confirmed.

This system is composed of a combination of an S-band (2.856 GHz) RF-gun with a thermionic cathode, a tungsten target to produce photons by bremsstrahlung reaction and a beryllium target, which is suitable for use in generating neutrons because of the low threshold energy of photonuclear reactions. It has the advantage of generating neutron beams with very short pulses. The pulse width is less than 1 μs which is technically difficult to generate by conventional neutron generators. Therefore, it will drastically improve the energy resolution of neutron time-of-flight measurement.

According to Monte Carlo simulation, it has been confirmed that neutron intensity equal to or better than that of a neutron generator can be obtained. When the RF-gun is operated with an average electron beam current of 1 A, the neutron intensities are 3.4×10^{13} n/s and 2.2×10^{14} n/s for incident electron beam energies of 5 MeV and 10 MeV, respectively. The size of the photonuclear reaction target is 10 cm in diameter and 3 cm in thickness for the former, and the latter is 10 cm in diameter and 4 cm in thickness.

By 3D RF electromagnetic field simulation and beam simulation, it is also confirmed that the newly designed accelerator system can accelerate the electron beam. As a thermionic cathode, lanthanum hexaboride with a low work function and a high melting point was selected.

Based on the newly proposed design of a neutron generator in the present thesis, the system is drastically simplified and downsized. A simple method of heating by irradiating the back of the cathode with laser was proposed. The dimensions of the accelerator system were a maximum of 89.8 mm inside diameter and 179.4 mm length.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).