

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年3月31日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
量子ビーム科学部門高崎量子応用研究所

[職・氏名]

部長・大島 武

[課題番号]

JPJSBP120195007

1. 事業名 相手国: スロベニア (振興会対応機関: MESS)との共同研究

2. 研究課題名

(和文) SiC 中性子検出器の性能向上に向けた中性子変換構造最適化

(英文) Optimization of neutron converting components for enhanced performance of
silicon carbide based neutron detectors3. 共同研究全実施期間 2019年4月1日 ~ 2022年3月31日 (3年0ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

Institute Jozef Stefan · Principal Researcher · Luka SNOJ

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		3,765,516 円
内訳	1年度目執行経費	1,865,516 円
	2年度目執行経費	1,900,000 円
	3年度目執行経費	0 円

6. 共同研究全実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	7名
相手国側参加者等	6名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	3	0	1(0)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	0	0	0(0)
4年度目	-	-	-(-)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 本委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

放射線施設の安全、核セキュリティーなどの観点から、炭化ケイ素(SiC)半導体デバイスの中性子検出器応用が求められている。SiC半導体による中性子検出のためには、検出器前段「中性子-荷電粒子変換層」が必要であり、本提案では、検出効率向上に向けSiC半導体デバイス構造及び中性子変換構造の最適化を目的とした。具体的には、JSI(Jozef Stefan Institute)がコンピュータシミュレーションによる変換層の最適化および中性子照射、量子科学技術研究開発機構(量研)がデバイス作製を担当した。

初年度(2019年度)は、日本から3名、スロベニアへ渡航し、研究打ち合わせを行うとともに、原子炉からの中性子を用いてSiCデバイスによる中性子検出実験を行った。一方、スロベニアからは2020年3月に1名の研究者が、量研を訪問した。しかし、量研への訪問初日に、スロベニア大使館から新型コロナウイルス感染症の拡大により帰国勧告が出され、簡単な討論及び施設見学を実施して帰国することとなった。

それ以降、人的交流はできなかったものの、量研では検出感度向上のためSiCデバイスの大面積化に取り組み、研究開始当初に比べ検出面積を25倍にすることに成功した。作製したデバイスは2022年1月にスロベニアに向けて発送され、現在、スロベニアでは当該デバイスを用いた中性子検出試験の準備を進めている。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

SiCデバイスによる中性子検出の感度向上への構造的アプローチとしては、検出器の大面積化が最も有効であることが2019年に実施したJSI原子炉での中性子照射実験で示唆された。そのため、検出器の大面積化に挑み、2022年に大面積デバイスの作製に成功した。図1に、作製した大面積デバイスの写真を示す。大面積化に伴い、漏れ電流の増加、歩留まりの低下などの問題が発生した。この解決のために、SiCデバイスの金蔵電極の周囲を絶縁膜(酸化膜)で保護する構造の提案を行った。デバイス作製プロセスの最適化などを図ることにより、漏れ電流の低減に成功し、結果として歩留まりの向上を達成した。検出面積の増分と、検出感度の増分の相関に関しては、今後の照射実験の結果による。これらの成果はSiC中性子検出器の開発に重要な知見であるとともに、SiCデバイス全体のプロセス技術の向上に貢献する知見と言える。

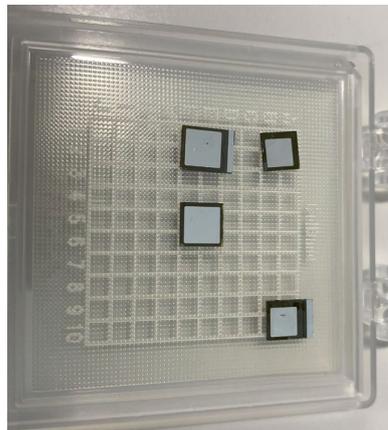


図1: 作製した大面積デバイス。それぞれ5mmx5mm, 4mmx4mmの検出面積を持つ。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

今回の提案研究では、日本側は材料科学の研究者として主にSiC基板上に放射線検出器となるダイオードを作製、その電気特性を評価し、Snoj博士は原子炉を有する研究所に所属する放射線計測の専門家として中性子をはじめとした放射線検出について分担した。交流を通して、日本側は原子炉からの中性子線を用いた検出器を評価するためのノウハウ等を習得することができた。日本国内では、原子炉を用いた評価試験の機会はなかなか得られないため、貴重な経験である。軽量、高耐放射線性を兼ね備えた半導体中性子検出器への要求は日増しに高まっており、本交流で得られた成果は、今後の研究の推進にも重要な成果といえる。

また、スロベニア側が有する中性子検出機開発や応用に向けた課題を共有することができたことは今回の交流事業を通して得た大きな収穫と言える。後述する NATO Science for Peace and Security program (SPS) プロジェクト E-SiCure (Engineering Silicon Carbide for Border and Port Security)といった外部資金を活用して、今後も継続して研究を推進することで合意が得られている。加えて、スロベニア滞在時に、JSIにおいて、半導体照射効果に関するセミナーが行われ、その中で今回の中性子検出に限らず、互いが関連する研究について幅広く議論を行うことができた。今後、中性子検出器のみならず、我々が推進する様々な研究で協力関係が築けることを期待したい。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本交流事業以前からスロベニアとは日本-クロアチア-スロベニアの三国間での研究交流を推進しており、交流事業に直接参加した研究者は互いの文化や伝統についてはある程度の理解があった。一方で、間接的に関与した量研で受け入れをしている学生にとってはクロアチアは全く知らない国であり、初めて出会うクロアチアの研究者との交流を通してクロアチアを身近に感ずるようになったと考える。残念なことに新型コロナウイルスによる感染症の影響で、電子メールやオンラインでの交流が中心となり、直接会って議論する機会は限られてしまったが、今後も継続して研究交流をしていくことで合意しており、今後の研究交流を通して、研究だけでなく相互の国の文化などの理解もさらに進んでいくことが大いに期待できる。

研究そのものを考えると、新しい中性子検出器の開発は、宇宙、加速器、核融合や原子力といった分野で貢献するだけでなく、貿易(密輸)や核セキュリティといった国家安全保障からも重要となる技術であり、SiC による高性能・耐放射線性中性子検出器は、これらに貢献するものとなると考える。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

申請者は、2016 年よりクロアチア・ルジェルボスコビッチ研究所(RBI)の Ivana Capan 博士が研究者代表の NATO SPS プロジェクト E-SiCure (Engineering Silicon Carbide for Border and Port Security)に日本の研究者代表として参加してきた。本プロジェクト相手国研究者 Luka Snoj 博士も参加しており SiC 検出器ベース中性子検出器研究を推進してきた。E-SiCure は、2019 年に終了し、現在その後継プロジェクトとして E-SiCure2 が始まったが、本交流事業の参加者である若手研究者の牧野が新たな日本の研究代表者として進めている。また実験用サンプルの作製や改良をはじめ、国際会議での発表、海外施設での実験、セミナー発表等若手研究者が主体的に中心となって実施した。特に、実験サンプルは、量研で受け入れている群馬大学・大学院及び埼玉大学・大学院の学生(実習生やリサーチアシスタント)も加わり作製した。本交流事業に直接参加した量研の若手研究者のみならず学生の方々も海外研究者と交流する機会が得られた。今回の交流を通して、若手研究者や学生の方の研究・技術レベルの向上のみならず、国際感覚の養成の観点からも非常に有益な機会が得られたと考える。

(6)将来発展可能性(本研究交流事業を実施したことにより、今後どの様な発展の可能性が認められるか)

先述もしたが、耐放射線性中性子検出器の潜在的な研究・開発ニーズは大きい。実験用原子炉を用いた実験は、日本国内において年々実施が難しくなっているが、量研の技術を発展・継承していくためには、継続的な実験が望まれる。そのような中、スロベニア TRIGA 原子炉を利用した中性子検出器開発は、継続的な研究開発を可能とするものである。現在、本研究交流成果を基に獲得した競争的資金(E-SiCure2)を活用し、中性子ピクセル検出器の開発、中性子-ガンマ線弁別機能を付加した検出器開発に向けた研究を推進するとともに、核融合炉応用を見据えた次世代検出器の開発などの議論を進めている。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記述してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞、産業財産権の出願・取得など

特になし