

# 2020年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

## 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】高放射線耐性半導体を用いた重粒子線検出器の調査研究

【整理番号】TK20-018

【代表機関】物質・材料研究機構

【調査研究代表者(氏名)】井村将隆

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】産業技術総合研究所 西永慈郎  
筑波大学 奥村宏典  
高エネルギー加速器研究機構 外川学  
東北大学 三輪浩司

【TIA 外連携機関】なし

【報告書作成者】井村将隆

【報告書作成年月日】2021/3/29

【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】

本調査研究の深化と連携をさらに推進するために、「TIA-EXA 広域エレクトロニクス融合セミナー」を「次世代エレクトロニクス創成に向けた広域分野連携プラットフォーム」と共催した。TIA-EXA は、TIA の 6 機関(産総研、NIMS、筑波大、KEK、東大、東北大)を中心に、次世代エレクトロニクスに関する若手研究者・技術者の連携を支援するために結成した若手連携組織である。セミナー題目は、「第 6 回～高放射線耐性半導体検出器の研究開発動向～」であり、2021/2/19 開催、90 名以上の参加者が集まり、半導体デバイス物理の基礎から放射線検出器の研究開発動向までの幅広い知見を得た。具体的な講演題目、講演者を下記の通りである。

- \* “ダイヤモンド耐環境素子” 梅沢仁(産総研)
- \* “日立製作所の粒子線治療システムにおける放射線検出器のご紹介” 豊田高士(日立製作所)
- \* “先端計測技術の融合で実現する高耐放射線燃料デブリセンサーの研究開発” 萩原雅之(高エネルギー加速器研究機構)
- \* “半導体デバイス中における深い準位の評価” 櫻井岳暁(筑波大学)

セミナー後に 1 社企業からの連絡を受け、現在も議論を交わしている状況である。

また本研究の活動を拡張するために 2020 年茨城テックプランターに応募し、ライトニングトークのプレゼンターに選定され、多くの関連企業の方と議論を交わした。

### 【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

近年、宇宙応用、原子炉、加速器、医療分野への応用を見据えた研究開発は加速している。既存のシリコン(Si)検出器を利用している上記分野においては、利用する放射線量は加速的に増加傾向に有る。しかしながら、Si 検出器の放射線耐性が高くないため、実験遂行に必要な性能を維持できないことがわかってきた。また福島原発の廃炉作業におけるロボットのモニターも長時間利用できない状況である。更にまたガス検出器を利用している医療分野においては、照射位置(検出位置)精度が悪い、粒子検出後の回復時間が遅いため照射ビーム量を増やせない等の問題が有り、患者への負担増加や治療時間の遅延を引き起こしている。そのため、放射線耐性が高く検出位置精度の優れた新素材半導体検出器の開発が不可欠である。我々はこれまでにCu(In, Ga)Se<sub>2</sub>(CIGS)は放射線耐性が高く、放射線損傷を簡便な光熱処理により回復する特性を有することを明らかにしてきた。また窒化物半導体(GaN 及び AlN)に関しても放射線耐性が高いことを実証してきた。そこで、本研究は、CIGS 及び GaN 材料に着目をして粒子線検出実験を行った。

今年度、まず重粒子線として $\alpha$ 線に着目した実験を行った。 $\alpha$ 線源はアメリシウム(Am)を用い、単 $\alpha$ 線粒子の照射実験ができるように高エネルギー加速器研究機構(KEK)にて実験セットアップを行った。続いて、単 $\alpha$ 線粒子の読み出し回路の設計及び照射シミュレーションを実施した。読み出し回路は、ASD(Amp-Shaper-Discriminator)機能を持ち8chの信号入力と各々のアナログ出力/デジタル出力を搭載したものを選定した(本研究のKEK 調査研究員、宮原が設計・作製を担当)。また本回路のSPIでレジスタ設定を行い、利得及び時定数を制御することで、検出信号の強度を調節した。PIN接合型CIGS及びGaNデバイスを各研究機関にて試作し、事前に照射シミュレーションを実施することで、適切なコンデンサー容量に調節した。CIGSデバイス及びGaNデバイスは、p電極及びn電極読み出し配置にて検出を試みた。その結果、単 $\alpha$ 線粒子が通過した際に生じる微弱な信号を問題なく読み出し回路にて取り出すことに成功し、両デバイスを用いて単 $\alpha$ 線粒子の検出が可能であることが明らかにした。検出特性としては既存Si検出器と同等であると考えられる。またCIGSを用いた単 $\alpha$ 線粒子検出は報告例がなく、世界初であり、特筆すべき内容である。今後、両デバイスの耐性等を詳細に評価することが不可欠であり、放射線損傷回復特性やデバイス構造の最適化を行い、本研究で開発している新材料半導体検出器の優位性を実証する必要がある。

### 【今後の活動予定】

次年度は、単 $\alpha$ 線粒子照射検出実験に加えて、量子科学技術研究開発機構(QST)の重粒子線がん治療装置(HIMAC)を用いて重粒子線(Xe 400 MeV/核子)の照射検出実験を行う。今年度使用したPIN接合型CIGS・GaNデバイスに加えてAlNデバイスを各研究機関にて試作し、重粒子線照射実験を試みる。また今年度はコロナウイルスの影響で、陽子線照射実験が制限され、関連実験ができなかったが、次年度は、その制限が緩和されることの情報を得ている。そのため、これまでどおり、東北大学CYRIC施設にて陽子線照射実験も実施する。また上記セミナー後に連絡を受けた一社企業にセミナー講演なども依頼しており、双方の要求案件について議論を行い、共同研究に展開するように努める。更にRIBF実験や加速器医療への展開を考え、理化学研究所及び日立製作所の研究者と議論を行い、重イオン検出器の設計も試みる。

以上