

2023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ピクセル検出器実証に向けた調査研究
Demonstration of pixel detector with high radiation tolerant semiconductors

【整理番号】 TK23-035

【代表機関】 筑波大学

【調査研究代表者（氏名）】 奥村 宏典

【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
物質・材料研究機構 井村将隆
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】

理化学研究所 磯部忠昭

【報告書作成者】 奥村宏典

【報告書作成年月日】 2024/4/8

【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）】

本調査研究機関の連携強化のために、オンラインで1回、対面で1回会議を行い、研究成果および今後の研究活動の方針について話し合った。食事会も開催することで関係が深まった。現在、連携機関は、TIA 内では東大を除くすべての機関と連携できている。更なる拡大に向けて、豊田中央研究所（2023年10月26日、2時間）および名古屋大学 CIRFE（2024年3月4日、1時間）でセミナーを行い、本研究活動の紹介および成果について話した。

【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、人工衛星搭載用撮像素子や原子炉内の廃炉ロボット用撮像素子、高強度ビーム実験下での粒子飛跡検出器など、高い放射線環境下における長寿命素子の需要が高まっている。現在、低価格かつ高品質なシリコン（Si）結晶を用いた素子が、民生品として広く普及しており、光検出器や放射線検出器としても優れた性能を発揮している。しかし、現在の Si 素子を高放射線環境下に暴露すると、短期間で故障もしくは性能が劣化してしまう。本研究では、Si に代わる新しい半導体材料を利用することで、10 MGy 以上の放射線耐性を持つ素子の実現を目指す。

我々はこれまでに、窒化ガリウム（GaN）およびダイヤモンドは、Si と比べて放射線耐性が高いことを実証してきた。また、Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) は、放射線損傷が生じるものの、100℃以下の光熱処理により特性が回復することを明らかにした。本研究では、実用性の観点から、CIGS および GaN 材料に着目をして粒子線検出実験を行っている。

今年度、GaN2次元ピクセル検出器を作製し、 α 線の位置検出実験を実施した。昨年度の1次元検出に引き続き、今年度は2次元検出にも成功した。GaNを用いた粒子位置検出は世界初であり、特筆すべき点である。

論文発表（査読付き）

1. Jiro Nishinaga, Manabu Togawa, Masaya Miyahara, Kosuke Itabashi, Hironori Okumura, Masataka Imura, Yukiko Kamikawa, Shogo Ishizuka, "Annealing effects on Cu(In,Ga)Se₂ solar cells irradiated by high-fluence proton beam", Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SK1014 (2023).
2. Hironori Okumura, Yohei Ogawara, Manabu Togawa, Masaya Miyahara, Tadaaki Isobe, Kosuke Itabashi, Jiro Nishinaga, Masataka IMURA, "Degradation of vertical GaN diodes during proton and xenon-ion irradiation", Jpn. J. Appl. Phys. **62**, 064001 (2023).

学会発表

1. K. Itabashi, S. Fujii, M. Imura, T. Isobe, M. Miyahara, J. Nishinaga, H. Okumura, M. Togawa, "Study of radiation tolerance of Cu(In, Ga)Se₂ detector", PSD13
2. M. Togawa, S. Fujii, M. Imura, K. Itabashi, T. Isobe, M. Miyahara, J. Nishinaga, H. Okumura, "The CIGS semiconductor detector for particle physics", iWoRID2023
3. 板橋 浩介、磯部 忠昭、井村 将隆、奥村 宏典、外川 学、西永 慈郎、藤井 翔也、宮原 正也、"重粒子線がん治療装置による粒子検出器の放射線耐性評価" 日本量子医科学会第3回学術大会、2023年12月8日
4. M. Imura, M. Togawa, M. Miyahara, H. Okumura, J. Nishinaga, M.Y. Liao, and Y. Koide "Development of Highly Tolerant Diamond Schottky Barrier Photodiodes for Deep-Ultraviolet Xenon Excimer Lamp and Protons Detection", ISPlasma2024/IC-PLANTS2024/APSPT-13, 2024年3月5日, 招待講演

【今後の活動予定】

今後、CIGSについても2次元検出器の作製を行う。GaNについては、LGAD(Low Gain Avalanche Diodes)構造を採用し、時間分解能の高い2次元検出器の作製を行う。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。放射線照射には、今年度行えなかったHIMACにおけるXe重粒子線の照射検出実験を行う。また、CIGSおよびGaN素子の放射線劣化要因を調べるため、照射後試料に欠陥および電気的特性評価を行う。引き続き、学会発表を中心に産学連携の可能性を探る。

【SDGs17目標について、調査研究成果について、貢献ができると思われる項目があれば、最大3つまで☑をご記載下さい。】

研究成果に関連するSDGs目標がある。

関連するSDGs目標は無い

1 <input type="checkbox"/> 貧困をなくそう	2 <input type="checkbox"/> 飢餓をゼロに
3 <input type="checkbox"/> すべての人に健康と福祉	4 <input checked="" type="checkbox"/> 質の高い教育をみんなに

5 <input type="checkbox"/> ジェンダー平等を実現しよう	6 <input type="checkbox"/> 安全な水とトイレを世界中に
7 <input checked="" type="checkbox"/> エネルギーをみんなに、そしてクリーンに	8 <input type="checkbox"/> 働きがいも経済成長も
9 <input checked="" type="checkbox"/> 産業と技術革新の基盤を作ろう	10 <input type="checkbox"/> 人や国の不平等をなくそう
11 <input type="checkbox"/> 住み続けられるまちづくりを	12 <input type="checkbox"/> つくる責任、つかう責任
13 <input type="checkbox"/> 気候変動に具体的な対策を	14 <input type="checkbox"/> 海の豊かさを守ろう
15 <input type="checkbox"/> 陸の豊かさを守ろう	16 <input type="checkbox"/> 平和と公正をすべての人に
17 <input type="checkbox"/> パートナーシップで目標を達成しよう	

以上