

## 可視光から X 線領域に及ぶ広帯域・高感度光検出器の 原理解明とその試作

### [1] 組織

代表者：岡野 健

(国際基督教大学)

対応者：根尾 陽一郎

(静岡大学電子工学研究所)

### [2] 研究経過

アモルファスセレン(a-Se)を光電変換素子として用いた光検出器は、a-Se 膜内でのキャリア増倍現象により、100%を越える高い光電変換効率を実現可能であることから、高感度撮像素子としての応用が期待されている。また、a-Se は可視光から X 線までの幅広い波長の光に感度を有することから、可視光～X 線までの広帯域で動作する天体望遠鏡や、高分解能 CT など、医療用生体イメージングへの応用が期待される。近年では、a-Se 光電変換素子と、HEED や Spindt 型冷陰極とを組み合わせたデバイスが開発され、熱陰極駆動方式にくらべ低消費電力化や小型化を実現しているが、電子線の収束や、高光量下での電流量については課題が残されている。

本研究では、これまでにダイヤモンド冷陰極を用いた冷陰極駆動型 a-Se 撮像素子を試作し、可視光及び紫外光での光検出を確認した。また、a-Se に特徴的な信号増倍現象により、入射光子一つ当たり40のキャリアを生成する(量子効率40)高感度での光検出を実現した。次の課題として、この光検出器を可視光外の波長に適用し、高感度化による低強度での UV・X 線検出など動作特性の評価を行うことを目標とした。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまでの研究では、可視光を用いた光検出器の感度評価を行い、高感度での光検出を確認していた。本プロジェクトでは高感度光検出の紫外光への展開および、キャリア増倍を用いた高感度光検出の原理を解明し、UV・X 線への展開にむけた技術的課題の洗い出しを行った。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず、キャリア増倍による高感度光検出の可視光以外への適用については、紫外光を用いた光検出を行い、375 nm の近紫外光について光検出器の動作特性を評価した。その結果、可視光を検出する場合よりも最大で100倍ほど感度が向上することが確認された。

この結果によって a-Se を用いた光検出器の紫外光域での有用性が示されたほか、可視光域での光検出器の感度評価方法について、実際の感度よりも評価結果が低く見積もられている可能性が示唆された。今後は、可視光域での量子効率見積り方法の見直しを行い、より精度の高い感度評価の方法を探索する予定である。

次に、キャリア増倍による高感度化の原理解明および X 線への展開については、以下の知見が得られた。

異なる膜厚の a-Se 薄膜を用いた光検出器の動作特性比較により、a-Se 膜内でのキャリア増倍は、a-Se と電極の接触部分での寄与と、膜内の平均電界による寄与とを分けて考慮する必要があることが示唆された。また、従来の HARP ターゲットでは必須とされた、キャリア注入阻止層については、阻止層のない a-Se 膜を用いてもキャリア増倍が起こることが示された。

従来のキャリア増倍のモデルでは、a-Se 膜内の平均電界による寄与だけが説明されていたが、上記の知見により、pn 接合や pin 構造でのキャリア増倍を利用した、新しい光電デバイス開発の可能性が示された。

キャリア増倍の X 線への転用については、アモルファス半導体を主に扱う国際学会(ICANS-25)にて a-Se を扱うカナダおよびアメリカの研究者と交流する機会を得た。この学会および交流での議論から、a-Se のキャリア増倍を X 線に転用する場合、a-Se 表面に入射した光子が捕獲される深さに統計的ばらつきが生じ、それによってキャリア増倍の増倍率や信号に揺らぎが生じる問題が指摘された。

X線光子の捕獲に必要な深さのばらつきは、原子番号が大きい元素ほど小さくなるため、今後の展開として、X線光子の捕獲に特化した光電変換層と、a-Seを用いたキャリア増倍層からなる、新しい形の光検出器開発の方向性が示された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

前述の ICANS-25 において、a-Se を用いた X 線検出器の医療応用を目指す Thunder Bay Regional Research Institute の Prof. Rowlands らと研究交流の機会を得た。今後、本研究で目標とするデバイスが実現した際に、医療分野での応用可能性を検証するため、これらの研究チームとの共同研究を打診している。

また、本プロジェクトに基づき開発された a-Se 光検出器の応用先として、Inverse photoemission spectroscopy (IPS) という表面分析法への応用が見いだされた。この分光法は、固体表面に電子線を照射し、表面から放射された光子を分光することで、固体表面での電子構造を調べるという手法である。IPS への適用可能生を探索するため、ケムニッツ工科大(ドイツ)の Prof. Zahn と研究協力を開始した。論文等の成果はまだ得られていないものの、研究打合せや学生の交流などが始まり、今後の発展が期待される。

### [4] 成果資料

本プロジェクトに関連する学術論文

(1) T. Masuzawa, S. Kuniyoshi, M. Onishi, R. Kato, I. Saito, T. Yamada, A.T.T. Koh, D.H.C. Chua, T. Shimosawa, and K. Okano, *Appl. Phys. Lett.* **102**, pp.73506 (2013)

(2) T. Masuzawa, M. Onishi, I. Saito, T. Yamada, A. T. T. Koh, D. H. C. Chua, S. Ogawa, Y. Takakuwa, Y. Mori, T. Shimosawa and K. Okano, *physica status solidi - Rapid Research Letters*, **7**, 473 (2013)

(3) T. Masuzawa, I. Saito, T. Yamada, M. Onishi, H. Yamaguchi, Y. Suzuki, K. Onuki, N. Kato, S. Ogawa, Y. Takakuwa, A. T.T. Koh, D. H.C. Chua, Y. Mori, T. Shimosawa and K. Okano, *Sensors*, **13**, 13744 (2013)

関連する学会発表

(4) M. Onishi, I. Saito, K. Komiyama, K. Takeno, W. Miyazaki, T. Ebisudani, T. Masuzawa, A. T.T Koh, D. H.C. Chua, T. Yamada, N. Sano, Y. Mori, K. Ogawa, Y. Takakuwa and K. Okano "Characterization of Amorphous Selenium p-n Junction Fabricated Using Bidirectional

Electrolysis in NaCl aq."

ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013.11)

(5) T. Masuzawa, I. Saito, M. Onishi, T. Ebisudani, T. Yamada and K. Okano "A high-sensitivity photodetector made of amorphous selenium and diamond cold cathode" ACSIN-12 & ICSPM21, Tsukuba, Japan (2013.11)

(6) T. Masuzawa, M. Onishi, I. Saito, T. Ebisudani, T. Yamada, S. Ogawa, Y. Takakuwa, T. Nakamura, Y. Iwai, T. Shimosawa and K. Okano "Quantum efficiency of a-Se based photodetector driven by diamond cold cathode", 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto, Japan (2013.9)

(7) I. Saito, M. Onishi, K. Komiyama, T. Masuzawa, A. T.T. Koh, D. H.C. Chua, T. Yamada, M. Overend, K. Soga, Y. Mori, N. Sano, G. A.J. Amaratunga and K. Okano, "Simplification of Amorphous Selenium based Photovoltaic Device Fabrication through Aerosol Deposition Method and Electrochemical Doping", The 25th International Conference on Amorphous and Nano-crystalline Semiconductors, Toronto, Canada (2013.8)

(8) T. Masuzawa, I. Saito, M. Onishi, T. Ebisudani, A. T.T. Koh, D. H.C. Chua, T. Yamada, S. Ogawa, Y. Takakuwa, T. Shimosawa and K. Okano, "High Sensitivity Photodetector Made of Amorphous Selenium and Diamond Cold Cathode", The 25th International Conference on Amorphous and Nano-crystalline Semiconductors, Toronto, Canada (2013.8)

(9) T. Masuzawa, M. Onishi, I. Saito, T. Yamada, S. Ogawa, Y. Takakuwa, A.T.T. Koh, D.H.C. Chua, T. Nakamura, Y. Iwai, Y. Mori, T. Shimosawa and K. Okano, "a-Se Based Wide Wave-range Photodetector Driven by Diamond Cold Cathode", 26th International Vacuum Nanoelectronics Conference, Roanoke VA, U.S.A. (2013.7)

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合について，全員分記載して下さい。）

氏 名：増澤 智昭

所 属：国際基督教大学

期 間：2014年3月10日

用務先：静岡大学電子工学研究所

用務内容：研究打合せ

主たる対応者：根尾 陽一郎