

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

(国際基督教大学大学院)

対応者：増澤 智昭

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：山田 貴壽

(産業技術総合研究所)

[2] 研究経過

X 線イメージセンサの高感度化は、医療や非破壊検査の分野でその需要が高まっている。アモルファスセレン (a-Se) のキャリア増倍現象を利用した高感度光検出を X 線に適用することで、高感度撮像や被曝低減が可能となる。本プロジェクトでは、a-Se のキャリア増倍原理分析による光電変換感度の効率化と、信号読み出し部としてのダイヤモンド電子源の開発を目指して研究を行った。

これまでの研究で、a-Se 薄膜とダイヤモンド電子源を組み合わせた光検出器の試作と、可視光に対する信号検出を確認していた。これを踏まえ、今年度には a-Se 薄膜に電気化学処理を施すことで、光信号の感度向上と、ダイヤモンド電子源の効率化のための電子放出原理の検討を行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

国際基督教大学にて a-Se の成膜および電気化学処理を行なった。また、a-Se 薄膜の電気的特性評価を行なった。ダイヤモンド電子源開発の一貫として、静岡大学にてダイヤモンド表面の光電子分光測定を行なった。研究交流として、研究打ち合わせ(6/22, 8/3)および光検出器の動作実験 (8/3-8/10, 2/7-12) を共同で行なった。

[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。

まず第 1 に、a-Se 薄膜に電気化学処理を施すことで、p-n 接合を形成する手法の確立に成功した。図 1 のように、a-Se の基板に形成した電極と対向電極 (Cu) を向かい合わせて固定し、食塩水 (NaCl:aq) 中で電圧を印加すると、イオン電流が観察される。

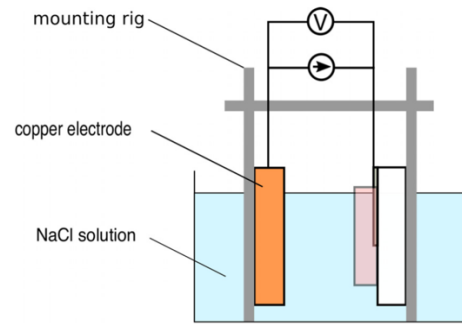


図 1 a-Se の不純物添加に用いる電気化学処理の配置図。右側の薄赤で表された膜が a-Se。

このように処理された a-Se は、表面に溶液中の Cl 原子が添加され、n 型伝導を示す。n 型層の深さや Cl 濃度は、印加電圧とイオン電流により制御される。電気化学処理を行う前後の a-Se 薄膜の電流電圧特性の例を図 2 に示す。処理前ほぼ線形であった特性が、電気化学処理後は整流性を示すことが確認された。また、処理時間を長くすることで Cl 濃度増加に伴うトンネル電流が観察された。

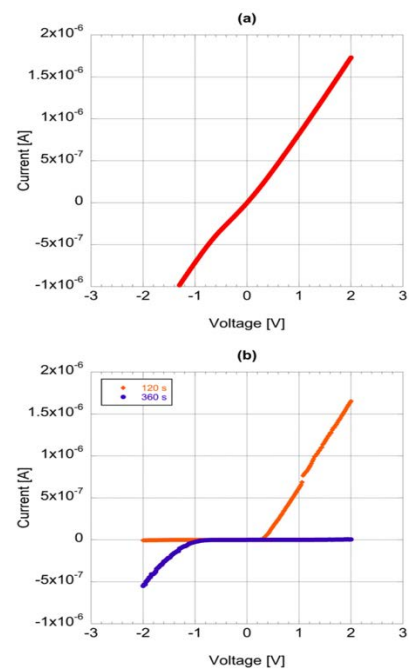


図 2 (a)電気化学処理前、(b)処理後、の a-Se 薄膜の I-V 特性比較。

これらの結果から、a-Se 内部に p-n 接合を形成するための条件が明らかとなり、接合を形成する方法が確立された。

ダイヤモンド電子源については、信号読み出しのための放出電流量増加が課題であった。電流増加を目指し、本年度は n 型伝導を示すリン添加ダイヤモンドの電子放出メカニズムを紫外線光電子分光法 (UPS) によって評価した。光電子スペクトルを分析した結果、水素終端されたリン添加ダイヤモンドでは、電界印加によって伝導帯から電子が放出されることが確認され、伝導電子による高電流取り出しの可能性が示された。電子放出を阻むダイヤモンド内部の上側バンドベンディングを緩和することが今後の課題である。

放出電流増加については、図3に示すような、グラフェンを電子源とした信号読み出しを検討している。グラフェンは、1層のグラファイト状炭素からなり、その形状に比べて高い伝導性を持つことが知られている。グラフェンは面方向に対して高い伝導率を示すため、図3のような縦型構造のグラフェン電子源が開発されれば、高い放射電流が期待される。試料の作成方法について現在検討中である。

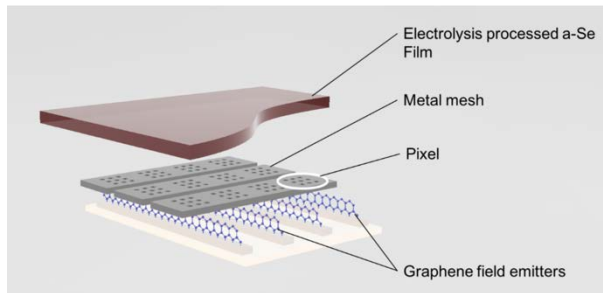


図3 グラフェン電子源を用いた場合の、信号読み出しイメージ (概念図)

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の実施により、国際共著論文3件が採択されるなど、共同研究による国際的な研究交流の活性化につながった。また、博士課程進学を希望する学生が筆頭著者として2件の論文を発表するなど、若手研究者の育成にも大いに貢献した。さらに、本研究から派生的に生じた成果として、a-Seの電気化学処理による p-n 接合形成手法が確立された点が重要である。この発見により、a-Se と Si のヘテロ接合デバイスが提案されるなど、今後の研究領域の開拓が見込まれる。以上のように、国際学術交流、若手研究者の育成、および新研究領域の開拓に大きな成果をあげることができた。

[4] 成果資料

(1) 雑誌論文 (査読あり)

- [1] John, J. D., Saito, I., Toyama, R., Ochiai, J., Yamada, T. Chua, D. H. C. and Okano, K., Electronic Properties and Potential Applications of the Heterojunction between Silicon and Multi-nanolayer Amorphous Selenium, *Electronics Letters*, 53 (18) (2017). doi:10.1049/el.2017.1413
- [2] John, J. D., Saito, I., Toyama, R., Ochiai, J., Yamada, T. Chua, D. H. C. and Okano, K. , Electrolysis as a controllable method for establishing p-n junctions in multi-nanolayer films of amorphous selenium, *Journal of Applied Physics* 122, 065107 (2017); doi: 10.1063/1.4989874
- [3] Masuzawa, T., Ohata, A., John, J. D., Saito, I., Yamada, T., Chua, D. H. C., Neo, Y., Mimura, H. and Okano, K., Formation of p-n Junction in a-Se Thin Film and Its Application to High Sensitivity Photodetector Driven by Diamond Cold Cathode. *Phys. Status Solidi A*, 1700161. (2017) doi:10.1002/pssa.201700161

(2) 学会発表

- [1] ダイヤモンド冷陰極を用いた X 線検出機試作に向けた課題、岡野健、遠山諒、増澤智昭、斉藤市太郎、Joshua D John, 山田貴壽, 第14回真空系ナノエレクトロニクスシンポジウム、03/2017
- [2] K. Okano, J. D. John, I. Saito, T. Masuzawa, T. Yamada, D. H. C. Chua,; "Device applications of amorphous selenium (a-Se) photoconductor," *IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference*, 2017
- [3] Tomoaki Masuzawa, Akinori Ohata, Jun Ochiai, Joshua D. John, Ichitaro Saito, Takatoshi Yamada, Yoichiro Neo, Hidenori Mimura, Ken Okano,; "Characterisation of amorphous selenium based photoconductor for high-sensitivity photodetector driven by diamond cold cathode," *International Vacuum Nanoelectronics Conference*, 2017

出張報告（共同研究プロジェクトの予算を使用した場合について、全員分記載して下さい。）

氏名：山田 貴壽

所属：産業技術総合研究所

期間：2017/8/20-22

用務先：静岡大学電子工学研究所

用務内容：光電子分光法によるダイヤモンド表面分析実験の立会い

主たる対応者：増澤 智昭