

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

(国際基督教大学物質科学デパートメント)

対応者：根尾 陽一郎

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

齋藤 市太郎

(国際基督教大学物質科学デパートメント)

大西 正徳

(国際基督教大学物質科学デパートメント)

胡谷 大志

(国際基督教大学物質科学デパートメント)

三村 秀典 (静岡大学電子工学研究所)

増澤 智昭 (静岡大学電子工学研究所)

[2] 研究経過

量子効率40(入射光子一つ当たり40のキャリアを生成する)という高感度での光検出を実現したアモルファスセレン(a-Se)を用いた光検出器は、可視光からX線までの幅広い波長の光に感度を有する為、従来の目的であった放送技術の範疇にとどまらず、様々なイメージング応用が期待されている。熱陰極に比べ低消費電力化や小型化の実現が容易なHEEDやSpindt型冷陰極を組み合わせたデバイスも開発される一方で、電子放出の分散角、高入射光量時の電流量など、未だ課題も残されている。

昨年度、ダイヤモンド冷陰極を用いた冷陰極駆動型 a-Se 撮像素子を試作した際に、可視光及び紫外光での光検出を確認、同時に量子効率 40 も再現性よく実現することに成功したが、数十 keV 以上の X 線に対する a-Se の捕獲断面積を考えると、実用に耐えうるデバイスを作製するには、a-Se の膜厚を数百倍にするか、根本的な解決が必要であることが明らかとなった。もう一方の電子放出源も、実用化のためにはマトリックス動作をすることが必須である。

本年度は、薄膜 a-Se の高感度化のために、電気化学的手法を用いて不純物添加を行い、a-Se のバルク内部に p-n 接合を作り込む事による感度増加方法を探った。一方、マトリックス動作するダイヤモンド電界電子放出アレイの設計を行い、その試作を行

うことを目標とした。

[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。

先行研究で、a-Se に電気化学的手法を用いた不純物添加法は確立しているが、固体表面側から添加している関係上、a-Se バルク内での不純物分布は、どうしてもバルクの内部に向かって減少してしまうことが飛行時間型二次イオン質量分析(ToF-SIMS)の結果などから確認された。この場合、もし必要としているデバイス構造と、不純物添加部分の極性が逆、つまりは n-p 構造を作りこみたいところに p-n 構造しか作れないという問題点が生じてしまう。キャリア増倍は、バルクに生じた高電界によりキャリアが加速し、インパクトイオン化に起因する雪崩増倍であると理解されている。よって、より大きな増倍効果を得るには、高電圧の印加、すなわち受光面側から、n-p 構造を形成し、逆バイアスを印加するのが適切である。しかし、現状として先行研究で行った不純物添加法ではその構造を作るのは不可能である。

本研究では、この問題を打開すべく、従来の方法で不純物添加を行った a-Se を、純水といった不純物の入っていない電解質で更に電気分解を行い、これまでは不可能だった不純物分布の制御を試みた。一度添加された不純物を、更にバルク内部に「引き込む」ということから、この手法を“drive-in (ドライヴイン)”とした。様々な条件で drive-in を行ったサンプルを ToF-SIMS で確認したところ、目論見通り a-Se に添加した塩素の分布が移動していることが確認された。その結果を現在論文にまとめている。

次に、ダイヤモンド冷陰極の電子放出アレイの作製に関して報告する。一般的な冷陰極は、エミッタの先端を尖らせることにより電界が先端に集中し、電子放出を起こしやすくする設計が主流だが、電界が集中するほど放出電子の分散角が広がるというジレンマが存在する。先行研究により、ダイヤモンドからの電子放出は、表面形状・構造因子に依存しないことが分かっており、先述したジレンマを解消す

るには、敢えて先端を尖らせない **flat-type** 構造にするのが好ましい。具体的には、先行研究で用いられた鋳型成長法を発展させ、シリコン基板への異方性エッチングの制御によって底面が平坦な窪みを持つ鋳型基板を作製し、その上にダイヤモンドを成長させた。更に、鋳型基板のシリコン層を意図的に残存させるエッチングを行う事により、ダイヤモンド構造上にゲート電極の作製を試みた。その結果 **flat-type** ダイヤモンドエミッタアレイ、及び引き出し用のゲート電極の作製に成功し、次にその特性試験を行う予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

電気分解を用いた不純物添加は、これまでの固体物理の概念では説明することが難しい現象であったが、IEEE INEC での発表の際に、多くの研究者から問い合わせがあり、結果的に国内外の複数の大学の協力を得ることができ、ToF-SIMS の測定を行うに至った。

また、本研究に今後用いる a-Se の蒸着源の選定に、昨年 ICANS-25 を通じて知り合った Thunder Bay Regional Research Institute の研究チームから、彼らの先行研究から得られた「安定化セレン」の配合と購入先について助言をいただき、本研究予算を通じて購入するに至った。今後は、これまで我々独自の方法で開発したレンピで作った薄膜と、購入した安定化セレンを用いて作製した薄膜の物性比較などを通じ、研究協力していく予定である。

[4] 成果資料

本プロジェクトに関連する学術論文

- (1) T. Masuzawa, 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, *Can. J. Phys.* 92, 667 (2014).
- (2) I. Saito, T. Masuzawa, Y. Kudo, S. Pittner, T. Yamada, A. T. T. Koh, D. H. C. Chua, Y. Mori, D. R. T. Zahn, G. A. J. Amaratunga, and K. Okano, *J. Non. Cryst. Solids* 378, 96 (2013).

関連する学会発表

- (3) 大畑慧訓, 落合潤, 増澤智昭[○], 胡谷大志, 大西正徳, 齋藤市太郎, W. Hongyu, T. A. J. Loh, D. H. C. Chua, 山田貴壽, 根尾陽一郎, 三村秀典, 岡野健, 日本学術振興会第12回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム, 2015. 3. 2-3, 浜松 (招待講演)

- (4) T. Masuzawa[○], Y. Neo, H. Mimura, D. H. C. Chua, M. Onishi, T. Ebisudani, A. Ohata, R. Tsukimura, J. Ochiai, I. Saito, K. Okano, and T. Yamada, in *2014 27th Int. Vac. Nanoelectron. Conf.* (IEEE, 2014), pp. 23-24.
- (5) 胡谷大志[○], 岡野 健, 増澤智昭, 谷口尚, 山田貴壽, 第28回ダイヤモンドシンポジウム, 2014. 11. 19-21, 東京
- (6) K. Okano, IEEE International Nano Electronic Conference (INEC) 2014, 2014. 7. 28-31, Sapporo, Hokkaido. (招待講演)
- (7) 岡野健, 未踏科学技術協会 第1回エコイノベーションとエコビジネスに関する研究会 (SPEED 研究会), 2014. 4. 11, 東京 (招待講演)
- (8) 岡野健[○], 増澤智昭, 齋藤市太郎, 大西正徳, A. T. T. Koh, D. H. C. Chua, 山田貴壽, 日本学術振興会真空ナノエレクトロニクス第158委員会・第97回研究会, 2013. 4. 18, 東京 (招待講演)
- (9) T. Masuzawa[○], I. Saito, M. Onishi, T. Ebisudani, J. Ochiai, T. Yamada, Y. Neo, H. Mimura, D. Chua and K. Okano, "A high-sensitivity photodetector made of amorphous selenium and nitrogen-doped diamond cold cathode", 21st International Display Workshops, Niigata, Japan (2014. 12)
- (10) T. Masuzawa[○], Y. Neo, H. Mimura, M. Onishi, T. Ebisudani, A. Ohata, R. Tsukimura, J. Ochiai, I. Saito, K. Okano, D. Chua and T. Yamada, "a-Se junction based photodetector driven by diamond cold cathode", 27th International Vacuum Nanoelectronics Conference, Engelberg, Switzerland (2014. 07)
- (11) 増澤 智昭[○], 山田 貴壽, 根尾洋一郎, 三村秀典, 胡谷大志, 岡野健, 谷口尚, "六方晶窒化ホウ素上に転写されたグラフェンからの電子放出", 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, (2014. 09)
- (12) 増澤智昭[○], 大西正徳, 胡谷大志, 大畑慧訓, 月村玲菜, 落合潤, 齋藤市太郎, 山田貴壽, 根尾陽一郎, 三村秀典, 岡野健, "a-Seのキャリア増倍を利用した光検出器の高感度化", 電子情報通信学会電子デバイス研究会, 北海道大学, (2014. 10)

(注: [○]は登壇者)

出張報告

氏名：岡野 健

所属：国際基督教大学物質科学部門

期間：平成27年2月20日

用務先：静岡大学電子工学研究所

用務内容：共同研究の方針打合せおよび研究打合せ

主たる対応者：根尾陽一郎

氏名：落合 潤

所属：国際基督教大学物質科学部門

期間：平成27年2月20日

用務先：静岡大学電子工学研究所

用務内容：共同研究の方針打合せおよび研究打合せ

主たる対応者：根尾陽一郎