

## 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)

分担者：

齋藤 市太郎 (国際基督教大学)

落合 潤 (国際基督教大学)

胡谷 大志 (国際基督教大学)

根尾 陽一郎 (静岡大学)

三村 秀典 (静岡大学)

増澤 智明 (静岡大学)

[2] 研究経過

(背景・目的)

1985年に発表された HARP 撮像管をはじめとして、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撮像素子は超高感度かつ広波長域に感度を有する検出器として期待されている。本プロジェクトでは、電気化学的ドーピング手法を用いて a-Se 薄膜内部に内蔵電位を生じさせる構造を作成し、より効率的なキャリア増倍を促進させることを目指して研究を行った。また、フラットパネルの信号読み出しの改良のため、電界放出型ダイヤモンド冷陰極を用いた信号読み出し機構の開発に取り組んだ。

(研究概要)

**電子源開発：**電子源開発に関しては、先行研究において高濃度窒素添加ダイヤモンドからの低電界での電子放出を報告しており、またその電子放出機構について、バックコンタクトからダイヤモンドの伝導帯へトンネリングにより注入された電子が、負の電子親和力を利用して伝導帯から真空中に放出される金属-絶縁体-真空 (MIV) モデルを報告している。このような MIV モデルの優位性を十分に発揮出来る電子源構造を本研究で提案する。さらに、先行研究において、シリコン基板に対し異方性エッチングを施した鋳型を用いた多結晶ダイヤモンドの鋳型成長が可能であることが示されており、鋳型成長に用いたシリコン基板から引出電極を一体的に形成す

る事を試みる。高濃度窒素添加ダイヤモンドが非常に高い抵抗率を示すため、鋳型成長に用いたシリコン基板層をエッチング等の手法で薄くすることで、これを引き出し電極として利用することが可能となる (図1)。冷陰極の作製が完了した後、電界電子放出特性の測定を行い、平板型の放出部から低電圧で電子が放出されることを検証する高濃度窒素添加ダイヤモンドの持つ高抵抗率により、絶縁層等を用いることなく、モジュレーション電極をダイヤモンド薄膜上に直接形成することが可能と考えられる。

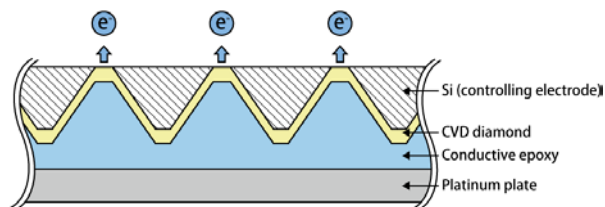


図2 電極一体・平板電子源構造

**光導電膜開発：**a-Se 薄膜の作製と物性評価をおこなう。a-Se 薄膜を真空蒸着法によって成膜し、ラマン分光法および ToF-SIMS 法を用いてその構造や組成を分析する。Se は、CdTe に比べて抵抗率が3桁ほど高いため、暗電流が小さく高コントラスト化が容易である。更に、近年開発した電気化学的手法による不純物添加 (図2) を行うことで、a-Se 膜内に不純物濃度の高い層を作りこむことが可能である。この手法を応用して a-Se 膜内部に n-i、あるいは n-p 構造を作製し、膜内の内蔵電位を活かしたキャリアの加速を行うことによってより効率的なキャリア増倍を促進させることを目指す。

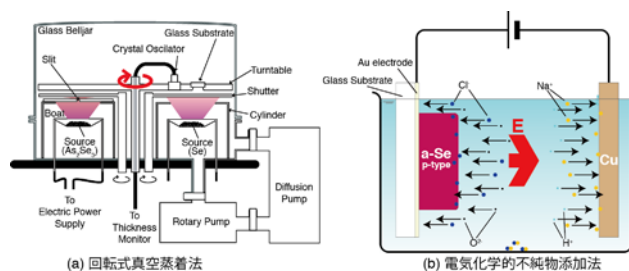


図1 光導電膜製膜法・不純物添加法

(研究打合せの状況)

本プロジェクトを進めるにあたり、研究代表者・研究分担者らによる月例の研究会及び研究打合せを行い、実験の方針や学会発表の内容に関する議論を行った。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

電子源開発：本研究における電極一体・平板型電子源構造は、鋳型成長法によるダイヤモンドFEA作製工程を応用し、(I) 鋳型基盤作製、(II) 鋳型基板上へのダイヤモンド合成、(III) エッチングによる鋳型基盤の除去、の3段階工程により作成された。2極構造でのI-V特性から得られたFowler-Nordheim(F-N)プロットは、傾き-4.3~4.7×10<sup>3</sup>を持つ直線を示したが、低電圧領域ではF-Nプロットの傾きの絶対値が小さくなった(図3)。窒素濃度の比較的低い窒素添加ダイヤモンド薄膜から類似の傾向を持つ電子放出特性を確認していることから、鋳型形成されたダイヤモンドへの窒素添加についてはまだ課題があるものと考えられる。

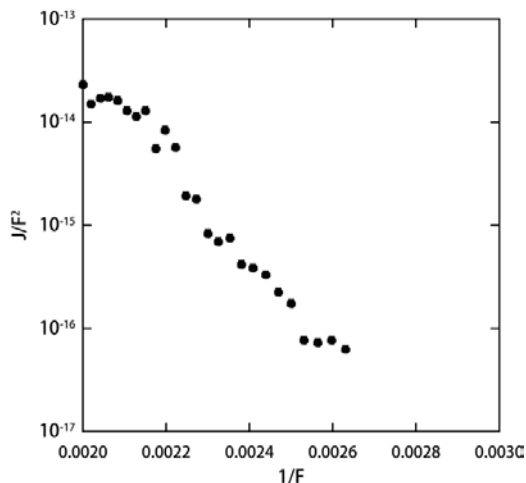


図3 作製した電子源によるF-Nプロット

光導電膜開発：a-Se膜への不純物添加処理は、従来の電気化学的手法を応用し、(I) a-Se薄膜の形成、(II) 電気化学的手法による表面への塩素添加、(III) 塩素の膜内への引き込み処理(ドライブイン処理)の3段階工程により作製された。特に第3工程の処理により、これまで表面付近に分布していた塩素を引き込み、塩素添加に起因しているとされたn型領域を基板付近に形成することを目指した。

不純物添加処理前と引き込み処理を行ったa-Se薄膜の不純物分布をToF-SIMS(飛行型二次イオン質量分析法)法を用いて分析したところ、第2工程による塩素の表面への添加を確認、そして第3工程において塩素がより基板側に移動したことも確認し

た(図4)。続いて塩素添加前と第3工程処理後のI-V特性を比較したところ、ドライブイン処理により明電流の向上は確認されたものの、暗電流の低減は見られなかった。一方、量子効率の向上、すなわち高感度化の実現可能性が示唆されたので、今後は条件の最適化によるさらなる向上を目指していく。

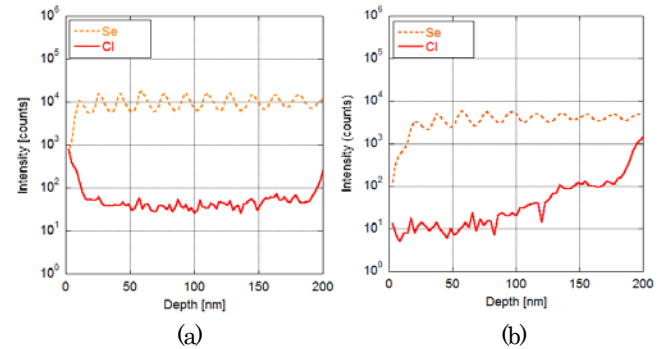


図4 電気化学的手法による表面への塩素添加後(a)、ドライブイン処理後(b)のSe、Cl濃度分布

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果に基づき、a-Se光電変換膜に関するシンガポール国立大学(NUS)との共同研究プロジェクトの立案が模索されている。現在、NUSに対する成膜装置の導入やa-Se薄膜の分析・評価などの業務分担に関して打合せが行われ、緊密な連携のもと構想が練られている。

### [4] 成果資料

(1) I. T. Yamada, T. Masuzawa, H. Mimura and K. Okano, "Electron emission from conduction band of heavily phosphorus doped diamond negative electron affinity surface", J. Phys. D: Appl. Phys. 49 (2016) 045102.

出張報告

該当なし