ZnSe系有機-無機ハイブリッド型紫外集積APDの開発

Development of ZnSe-based Organic-Inorganic Ultraviolet Integrated APDs

M20助自4

代表研究者 阿部友紀 鳥取大学 工学部 准教授
Tomoki Abe Associate Professor, Faculty of Engineering, Tottori University
共同研究者 市野邦男 鳥取大学 工学部 教授
Kunio Ichino Professor, Faculty of Engineering, Tottori University

Ultraviolet photodetectors are expected to be applied in various fields such as medical treatment, fire detection, and astronomy. Currently, photomultiplier tubes (PMTs) are the mainstream as ultraviolet photo-detectors, but there are problems such as high operating voltage over 1000V, large size and fragility, and difficulty in integration because they are composed of vacuum tubes. Therefore, avalanche photodiodes (APDs) using wide bandgap semiconductors such as GaN, SiC, and ZnSe have been studied as next-generation photo-detectors that will replace PMTs. The feature of the APD device produced in this study is the organic-inorganic hybrid structure using ZnSe as the multiplier layer and the hole transport material PEDOT:PSS as the window layer, and the operating voltage is lower than that of the ultraviolet APD device made of other materials. Is as low as about 30V, and the dark current before breakdown is as low as $\sim 1\text{pA/mm}^2$. Furthermore, integration is possible without separation processing between APD elements such as etching.

In this research, we have optimized multiplying layer thickness with the aim of reducing the electric field strength applied to the multiplying layer by increasing the thickness from $0.3\mu\text{m}$, reducing dark current under 1nA/mm^2 and improving the average multiplication factor of 890. We also report the element characteristics of a 10-element one-dimensional APD array.

研究目的

本研究では、ZnSe系有機-無機ハイブリッド型アバランシェ・フォトダイオード (APD) により紫外線APDのもつ感度および暗電流などの課題を打破して、実用的な集積型APDを実現することを目的とする。本研究は、無機層としてZnSSeを、有機層としてPEDOT:PSSを用いたZnSe系有機-無機ハイブリッド型APDにおいて、低暗電流化・安定動作化、および集積化を目指し、実用に供しうる紫外線領域の全固体高感度集積型光検出器を実現しようと

するものである。

近年、医療、科学計測、天文計測、次世代光ディスク用、火炎センサー用などの紫外線光検出器に注目が集まっている。現在の医療用PETに必要な微弱放射線の検出には、シンチレータを介して変換された可視光を光電子増倍管で検出する方式が用いられる。そのため、応答速度が遅くかつ装置が大型で壊れやすいという問題点が、紫外線変換型の高速シンチレータを用いることで、高速PETシステムが実現可能になると期待されている。そこで、光電子増倍管を紫外APDに置き換えることが

できれば、上記問題が解決されるだけでなく集積化も可能となる。しかしながら、紫外線領域では各材料の吸収損失が大きいため、紫外線波長域専用の集積型APDは実用化されていない。紫外線光波帯の高感度集積型APDが実用化されれば、医療分野のみならず、天文分野、科学計測分野などに貢献できるものと期待されている。

概 要

本研究では、ZnSe系有機-無機ハイブリッド型アバランシェ・フォトダイオード(APD)により紫外線APDのもつ感度および暗電流などの課題を打破して、紫外線光波帯で初めて実用的な集積型APDを実現することを目的とする。光検出器の性能で最も重要なものは、高い感度および低い暗電流であり、この両立により高い光検出能 D^* が実現される。本研究は、無機層としてZnSSeを、有機層としてPEDOT:PSSを用いたZnSe系有機-無機ハイブリッド型APD(図1参照)において、低暗電流化・安定動作化、および集積化を目指し、実用に供しうる紫外線領域の全固体高感度集積型光検出器を実現しようとするものである。

近年、医療、科学計測、天文計測、次世代光ディスク用、火炎センサー用などの紫外線光検出器に注目が集まっている。現在の医療用PETに必要な微弱放射線の検出には、シンチレータを介して変換された可視光を光電子増倍管で検出する方式が用いられる。そのため、応答速度が遅くかつ装置が大型で壊れやすく高価になるという問題点がある。一方、紫外線変換型の高速シンチレータ(LuAG:Prなど：応答速度20 ns)を用いることで、高速PETシステムが実現可能になると期待されている。そこで、光電子増倍管を全固体素子である紫外線光波帯アバランシェ・フォトダイオード

(APD)に置き換えることができれば、上記問題が解決されるだけでなく集積化も可能となる。しかしながら、紫外線領域では各材料の吸収損失が大きいため、紫外線波長域専用の集積型APDは実用化されていない。紫外線光波帯の高感度集積型APDが実用化されれば、医療分野のみならず、天文分野、科学計測分野、次世代光ディスクなど多分野にわたり貢献できるものと期待されている。

現在実用化されているAPDの中で紫外線を検出可能なものはSi製のAPDがあるが、Siのバンドギャップが小さいため紫外線の感度は可視光の感度の3分の1まで減少する。また、動作電圧が150Vと高いという問題点もある。そのため、国内外でZnSe、GaN、SiC、ZnOといったワイドギャップ半導体を用いたAPD素子の開発が進められている。これらのワイドギャップ半導体材料は理想的なpn接合を作製すれば、Siに比べて大幅に暗電流を低減することができる。しかしながら、転位などのマクロ欠陥により暗電流は理想値を大きく上回り、Siの暗電流以下を実現しているのは本研究のZnSe系のみである。

そこで本研究では、従来の光電子増倍管を紫外APDに置き換えて高速・高精細PETシステムに導入するために集積型APD(図4参照)の開発を目指す。本研究では、GaAs基板に完全格子整合可能であり、かつバンド構造からワイドギャップ半導体の中では特に低電界で高いイオン化率をもつZnSSe系有機-無機ハイブリッド型APDを用いることで、動作電圧、暗電流および感度などの課題を打破して、紫外線領域で初めて集積型APDを実現することを目的とする。具体的には、窓層である紫外透明導電膜PEDOT:PSSをフォトリソグラフィにより形成することで、現在実現している低暗電流特性の安定化と、APDアレイを発展させた集積

化を実現し、ポリイミドバッシベーション膜および素子雰囲気制御を用いることにより長寿命化を実現する。

本研究による紫外集積型APDが実用化されれば、高速ラインスキャンが可能な1次元APDアレイ、微弱紫外光撮像デバイス等の実現が期待される。これらの集積型APDデバイスは、前述した次世代高速・高精細PET装置等の医療分野のみならず、今まで微弱紫外線の撮像が難しかった天文計測分野、科学計測分野、次世代光ディスク、火炎センサーなど多様な分野にわたり貢献できるものと考えられる。

－以下割愛－