

ZnSe 系有機-無機ハイブリッド型紫外集積 APD の開発

研究者 鳥取大学工学部 准教授 阿部 友紀

〔研究の概要〕

紫外光検出器は医療、火災検知、天文学などの様々な分野での応用が期待されており、ワイドバンドギャップ半導体である GaN, SiC, ZnSe 等を用いたアバランシェ・フォトダイオード(APD)が次世代型の紫外光検出器として研究されている。本研究で開発する APD 素子は、ZnSe を増倍層とし正孔輸送材料の PEDOT:PSS を窓層に使用した有機-無機ハイブリッド構造で、低暗電流および低動作電圧かつ集積化に素子間分離加工を必要としないといった特長をもっている。本研究では、さらなる暗電流低減と増倍率向上を目指して最適増倍層膜厚を模索した。また、成長基板上に集積化した 10 素子 1 次元 APD アレイを作製したので報告する。

〔研究経過および成果〕

1. 増倍層膜厚の最適化

作製した PEDOT:PSS/ZnSe 有機-無機ハイブリッド紫外 APD の素子構造を図 1 に示す。n-GaAs 基板上に MBE 法を用いて i-ZnSSe/n-ZnSSe/n-ZnSe を成長させた。増倍層となる i-ZnSSe の膜厚は 0.3~0.9 μm とした。その後スピコーティングおよびフォトリソグラフィで PEDOT:PSS を窓層としてパターンニングした。

図 2 に暗電流特性および増倍率特性の典型例を示す。増倍層膜厚を増加するにしたがい、ブレイクダウン電圧 V_B は増加しているが電界強度は 1.0MV/cm(0.3 μm)から 0.68MV/cm(0.9 μm)に低減している。次に、各増倍層膜厚での暗電流値(ブレイクダウン電圧の 95%時)と最大増倍率を図 3 に示す。図 3 より増倍率厚 0.5 μm の素子のブレイクダウン前の暗電流の平均値は 0.56nA であり、ほかの増倍層厚の素子より低い値を示した。最大増倍率は 0.5 μm の素子で 2430 倍を観測した。また、最大増倍率の平均値についても増倍層厚 0.5 μm の素子が最も高く、890 倍を達成した。以上より、最適化増倍層膜厚は 0.5 μm であることが分かった。

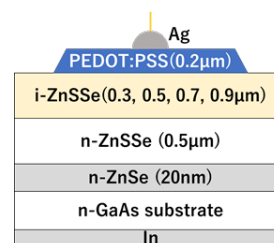


図 1: ZnSe 系有機-無機ハイブリッド型 APD の構造

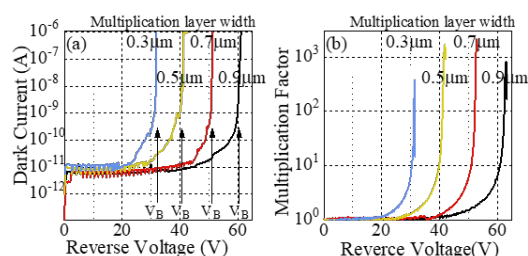


図 2: ハイブリッド APD の(a)暗電流および(b)増倍率

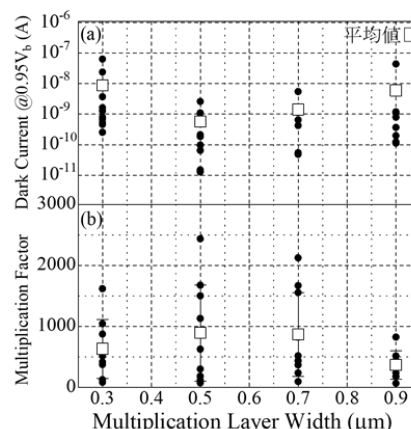


図 3: (a)暗電流(ブレイクダウン電圧の 95%時)および (b)増倍率の増倍層膜厚依存性

2. デバイスプロセスおよび APD アレイの特性

上述した APD 素子は、PEDOT:PSS 窓層上に Ag ペーストにて Au 線をボンディングしていたため、歩留まりが 6 割程度であった。そこで、PEDOT:PSS 窓層上に Au 外部電極を形成した APD アレイを作製した。

図 4 に作製した APD アレイの表面図、断面図、および全体像を示す。まず、PEDOT:PSS 窓層上に保護膜として SU-8 絶縁膜を形成し、その後フォトリソグラフィで Ti/Au 電極を形成した。Ti/Au 電極形成後の表面の顕微鏡写真は図 5 に示すように、パターン通りに形成できていることがわかる。

作製した APD アレイの表面写真と暗電流特性を図 6 に示す。用いた APD ウェハの特性より暗電流は大きいものの、微小なリークが発生している #07 を除いて約 28V でシャープなブレイクダウンを観測した。複数の APD アレイを作成したところ、歩留まりは 8~9 割であった。増倍率特性についても測定できた 6 素子の平均値は 320 倍を達成した。

[発表論文]

- 辻裕哉, 藤井祐太, 吉田健太郎, 中村海輝, 宮崎竜一, 山本隼平, 有本志優, 近添大輝, 又野陸哉, 阿部友紀, 市野邦男, 赤岩和明, "ZnSe 系有機-無機ハイブリッド型紫外 APD アレイの開発", 2021 年度応用物理・物理系学会中国四国支部学術講演会, Gp-4, 2021 年 7 月
- 辻裕哉, 宮崎竜一, 中村海輝, 又野陸哉, 近添大輝, 有本志優, 阿部友紀, 市野邦男, 赤岩和明, "ZnSe 系有機-無機ハイブリッド紫外 APD アレイの開発~増倍層膜厚の最適化~", 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 26p-E301-4, 2022 年 3 月

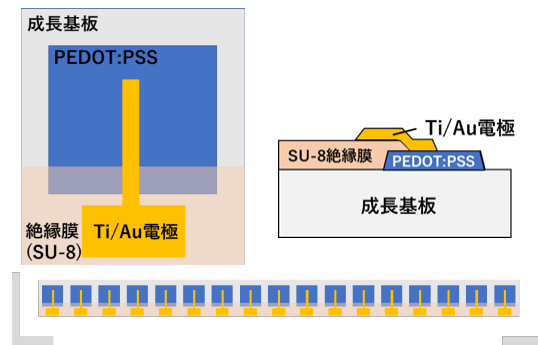


図 4: ZnSe 系ハイブリッド APD アレイの構造

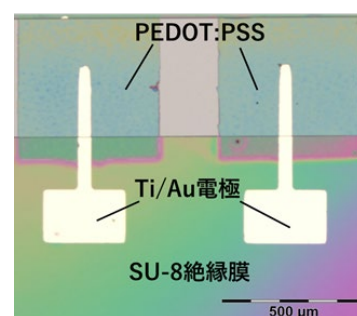


図 5: ZnSe 系ハイブリッド APD アレイの表面写真

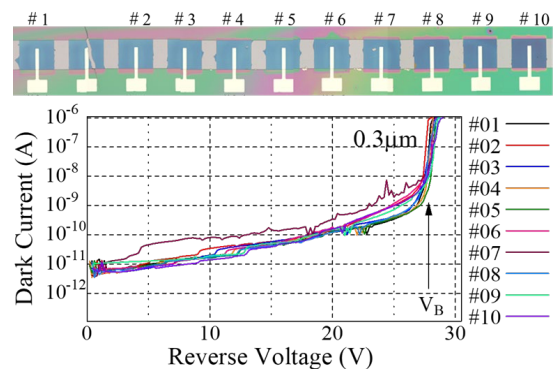


図 6: ZnSe 系ハイブリッド APD アレイの暗電流特性