

Title	Planar AlInAs Avalanche Photodiode and Single-Photon Detection Avalanche Photodiode for Optical Fiber Communication Systems
Author(s)	柳生, 栄治
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/58320">http://hdl.handle.net/11094/58320</a>
DOI	
rights	
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏 名	柳 生 榮 治
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 4 2 3 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 22 年 9 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	Planar AlInAs Avalanche Photodiode and Single-Photon Detection Avalanche Photodiode for Optical Fiber Communication Systems (光ファイバ通信用プレーナ型AlInAsアバランシェ・フォトダイオード及 び単一光子検出アバランシェ・フォトダイオードの開発)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 伊 東 一 良  (副査) 教 授 金 谷 茂 則 教 授 福 住 俊 一 教 授 宮 田 幹 二 教 授 菊 地 和 也 教 授 伊 東 忍 教 授 高 井 義 造 教 授 渡 部 平 司 教 授 兼 松 泰 男

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、光ファイバ通信に用いるアバランシェ・フォトダイオード(APD)の高性能化に取組み、高感度なAlInAs-APDと単一光子通信に向けたInP-APDに関する研究開発についてまとめた。

第1章では、本論の背景として、APDの基本構造と動作原理について示し、実用化されているInP-APDよりAlInAs-APDが材料物性の観点から本質的に優位な一方、構造的課題が存在することを提示した。また、単一光子通信においては、システムに対し検出器であるAPDの最適化開発が遅れている現状を提示した。

第2章では、課題明確化のため、APDの感度を理論的に導くと共に、APDの素子構造について示した。その結果、イオン化率比に優れたAlInAs-APDは高感度であるが、n型不純物の欠如によりプレーナ構造が実現できておらず、実用化への課題が残っていることを示した。次に、単一光子通信に向け、システム性能とAPD特性との関係を導出するとともに、光子検出時のガイガー動作について述べ、APDに求められる特性を明らかにした。

第3章では、課題解決への取組みとして、擬似プレーナ型Tiガードリング構造とガードリングフリー・プレーナ型構造のAlInAs-APDを提示した。また、単一光子通信に向け、その通信距離を決定するAPDの光子検出率と暗計数率の比( $P_{dc}/\eta_{dc}$ )に着目した手法を提示した。

第4章では、高感度AlInAs-APDへの研究内容を示した。擬似プレーナ型Tiガードリング型APDでは、n-p-n構造に

よりプロセスを簡素化すると共に、従来InP-APDを超える高感度特性を実証した。さらに、ガードリングフリー・プレーナ型構造を考案し、実験とシミュレーションから動作原理、設計指針を明確化した。特性として、現在の2.5~10Gb/s光通信における世界最高感度を達成すると共に、加速試験によって2500万時間以上の長期信頼性を確認した。さらに、劣化現象を調査、解析し、劣化要因を明確化した。

第5章では、単一光子通信用InP-APDへの研究内容を示した。まず、アバランシェ過程を数値的に解析し、APD構造設計指針を導出した。この設計に基づき、InP-APDを作製、評価し、世界最高となる $P_{det}/\eta_{dc}$ を実証した。さらに、暗計数解析手法を提示し、特性結果解析によって、その発生源を同定した。

第6章において、本論における光ファイバ通信APDの研究開発について総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、社会で重要な役割を果たしている光ファイバ通信に用いるアバランシェ・フォトダイオード(APD)の高性能化を目指して、高感度なAlInAs-APDと単一光子通信に向けたInP-APDに関する研究開発についてまとめたものである。

第1章では、本論の背景として、APDの基本構造と動作原理について述べ、実用化されているInP-APDよりAlInAs-APDが材料物性の観点から本質的に優れた一方、構造的課題が存在することを提示している。また、単一光子通信においては、システムに対し検出器であるAPDの最適化開発が遅れている現状を提示している。

第2章では、課題明確化のため、APDの感度を理論的に導くと共に、APDの素子構造について示している。その結果、イオン化率比に優れたAlInAs-APDは高感度であるが、n型不純物の欠如によりプレーナ構造が実現できておらず、実用化への課題が残っていることを示している。次に、単一光子通信に向け、システム性能とAPD特性との関係を導出するとともに、光子検出時のガイガー動作について述べ、APDに求められる特性を明らかにしている。

第3章では、課題解決への取組みとして、擬似プレーナ型Tiガードリング構造とガードリングフリー・プレーナ型構造のAlInAs-APDを提示している。また、単一光子通信に向け、その通信距離を決定するAPDの光子検出率と暗計数率の比( $P_{dc}/\eta_d$ )に着目した手法を提示している。

第4章では、高感度AlInAs-APDに関する研究内容を述べている。擬似プレーナ型Tiガードリング型APDでは、n-p-n構造によりプロセスを簡素化すると共に、従来のInP-APDを超える高感度特性を実証している。さらに、ガードリングフリー・プレーナ型構造を考案し、実験とシミュレーションから動作原理、設計指針を明確化している。特性として、現在の2.5~10Gb/s光通信における世界最高感度を達成すると共に、加速試験によって2500万時間以上の長期信頼性を確認している。さらに、劣化現象を調査、解析し、劣化要因を明確化している。

第5章では、単一光子通信用InP-APDに関する研究内容を述べている。まず、アバランシェ過程を数値的に解析し、APD構造設計指針を導出し、この設計に基づき、InP-APDを作製、評価し、世界最高となる $P_{dc}/\eta_d$ を実証している。さらに、暗計数解析手法を提示し、特性結果解析によって、その発生源を同定している。

第6章において、本論における光ファイバ通信APDの研究開発について総括を行っている。

以上のように、本論文は光ファイバ通信に用いる高感度AlInAs-APDおよび単一光子通信用InP-APDの世界レベルでの高性能化を達成している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。