

氏 名	やまぐちあきら 山 口 章
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3516 号
学位授与の日付	平 成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	p 型 InP に対する高信頼性オーミック・コンタクト材の研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 村 上 正 紀	教 授 足 立 裕 彦	教 授 栗 倉 泰 弘
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、光通信用半導体デバイスや超高速電子デバイスの材料として重要な InP 系半導体に対するオーミック・コンタクト材、特に InGaAs p-i-n フォトダイオードの窓層である p 型 InP に形成するオーミック・コンタクト材の研究を行ない、従来のコンタクト材料である AuZn 材に較べて画期的な特性向上が得られた研究成果をまとめたものであって、七章からなっている。

第一章は序論であり、この研究の背景と従来の主な研究成果の紹介を行なっている。次に p-InP オーミック・コンタクト材に対する要求特性を示し本研究の目標値を設定している。特に InP 中の p 型不純物である Zn の濃度やキャリア濃度等の現状を把握した上で、オーミック・コンタクト材の開発方針について述べている。

第二章ではオーミック・コンタクト材を開発するために重要な評価技術の中で、接触抵抗率の評価法と透過電子顕微鏡による金属・半導体界面の微細構造解析技術の確立を行なっている。特に電気特性と界面微細構造との関係を明確化するため、集束イオンビームを用いて $0.1\mu\text{m}$ の加工精度で特定した領域の透過電子顕微鏡試料の作製技術の開発を行ない、超微細コンタクト材に応用できる技術を確認した。

第三章では p 型 InP に対する AuZn コンタクト材の Au 膜厚を薄くすることにより反応層の薄膜化が可能かどうかを調べた。形成する Au 膜厚を薄膜化すると反応層深さは浅くなり Au (50 nm) / Zn (30 nm) / Au (20 nm) 構造により目標の $0.1\mu\text{m}$ 以下のコンタクト材が出来たが、一方で接触抵抗が増大してしまうことを明らかにしている。また AuZn コンタクト材における Au の役割は InP との反応により InP 中の In をコンタクト材側への拡散を促し、In の空格子点の生成を促進することである。Zn の役割は InP 中の Zn の外部拡散を抑制することであり、双方の最適条件を見出す事により、初めて低接触抵抗が得られるという事を明らかにした。

第四章では、AuZn コンタクト材の第一層に 3～5 nm 厚の Sb を添加することにより AuZn コンタクト材の特性を改善することに成功している。第一層に形成した Sb は熱処理により InP 表面の自然酸化膜を還元破壊することにより Au と Zn の InP 中への拡散を促進することを見出し、接触抵抗値と熱処理温度の両方を低減することが出来た。この結果、反応深さ、熱処理温度、接触抵抗値、密着強度について当初設定した目標を上回る特性を有する AuZn (Sb) オーミック・コンタクト材を開発することに成功した。

第五章では、AuZn コンタクト材の熱安定性が低い問題点に対し、Au に代わる材料として遷移貴金属を検討している。n 型 GaAs に対するオーミック・コンタクト材において良好な特性が得られている Ni および Pd を比較検討した。この結果、GaAs と異なり InP に対しては両者の反応機構に大きく差があり、Ni では反応初期に生成した Ni_xInP 三元化合物が 300°C で分解し、より安定な Ni_2P と In が生成するのに対し、Pd の場合は Pd_xInP が 450°C まで安定であることを明らかにしている。このような Ni 及び Pd の特性を反映し Ni/Zn/Ni 構造のオーミック・コンタクト材に較べ Pd/Zn/Pd 構造のオーミック・コンタクト材は低接触抵抗値を得る熱処理温度および時間領域が広く実用的な材料であることを示している。また Ni や Pd に対して添加した Zn の機能は、熱処理により InP 中に拡散するのではなく、InP の表面にあって InP 中に存在する Zn の外部拡散を抑えるキャップ効果にあることを提案している。

第六章では第五章で開発した PdZn オーミック・コンタクト材が InP 表面のキャリア濃度等の表面物性に影響を受けやすいことを示すと共に、PdZn コンタクト材にとっても第一層に Sb を添加することが有用であることを明らかにしている。PdZn コンタクト材に対する Sb の機能は InP 表面の自然酸化膜の還元機構に加え、InP 表面への Zn の堆積を可能にし、Zn のキャップ効果を高めることにより、基板の表面状態の影響を軽減した。この結果作製した PdZn (Sb) コンタクト材は当初目標値を全て満足するものである事を明らかにした。

第七章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高信頼化と低コスト化が要求されている InP 系光通信用受光素子に用いられるオーミック・コンタクト材に対して系統的な研究を行い、従来の AuZn コンタクト材の改良ならびに新しい PdZn (Sb) コンタクト材を開発した成果をとりまとめたものであり、得られた成果は以下の通りである。

1. p 型 InP 層中の p 型不純物である Zn の拡散挙動を解析し、コンタクト材に添加した Zn の役割が InP 中の Zn の外部拡散を抑制するキャップ効果にある事を見出した。

2. AuZn コンタクト材の第一層に 3～5 nm 厚の Sb を添加することにより AuZn コンタクト材の接触抵抗値と熱処理温度の両方を低減させ、第一層に添加した Sb の効果を高分解能透過電子顕微鏡を用いた微細構造解析により明らかにした。

3. 熱安定性を向上させるため Au に代わる金属として遷移金属 (Ni および Pd) を検討した。これらの金属と InP との界面反応を微細構造解析及び拡散速度測定により行ない、界面に生成する反応層の熱安定性の観点で Pd がコンタクト材としては最適の材料である事を見出した。次に Pd に Zn を添加した PdZn コンタクト材を作製し、低接触抵抗値が得られる熱処理温度における時間範囲が広く、PdZn 材は実用化可能な材料である事を見出した。

4. PdZn コンタクト材の再現性は基板表面状態に大きく影響されたが、Sb の添加により良好な再現性を得ることに成功した。Sb が InP 表面上の Zn の堆積を可能にし、Zn のキャップ効果を高める機能を見出した。この結果に基づき開発した PdZn (Sb) コンタクト材は熱安定性が非常に優れ、実用に適している材料である事も見出した。

以上要するに本論文は、光通信用受光素子の高信頼化と低コスト化を同時に実現するオーミック・コンタクト材の開発に成功したものであり、開発を通して得られた知見はコンタクト材の材料設計の指針となり、学術上、実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 12 年 2 月 1 日、論文・内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。