

Title	新しいIII-V族混晶半導体材料に関する研究
Author(s)	周, 逸凱
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3184390">https://doi.org/10.11501/3184390</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	周逸凱
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16225 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	新しいIII-V族混晶半導体材料に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中井 貞雄  (副査) 教授 西原 功修    教授 西川 雅弘    教授 堀池 寛 教授 飯田 敏行    教授 三間 罔興    教授 栗津 邦男 助教授 朝日 一

### 論文内容の要旨

新しい機能を持つ半導体デバイスの実現には、新しい特性を持つ半導体材料の開発が重要である。本論文は、磁性原子およびタリウム (Tl) を含む新しいIII-V族混晶半導体の結晶成長、および、それらによる新規な物性および特性の創製に関する研究についてまとめたものであり、以下の6章により構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的を述べるとともに、本論文の構成を示している。

第2章では、本研究で結晶成長に用いた MOMBE 法とガスソース MBE 法の特徴と実験装置を説明し、成長した材料に対する評価方法について記している。

第3章では、希薄磁性半導体の強磁性の起源について述べるとともに、InMnAs/InAs/GaSb 多重ヘテロ構造と InMnAsSb/InSb 単一ヘテロ構造を提案し、期待される特性について説明している。MOMBE 法を用いた結晶成長では、まず、InAs の低温成長に用いる原料の選択及び成長条件を明らかにし、そして、InMnAs の成長条件と組成の関係を明らかにした後、InMnAs/InAs/GaSb 多重ヘテロ構造の作製法を説明している。続いてラマン散乱測定から InMnAs が p-type であることを確認すると同時に光学的、電気的性質を明らかにしている。更に、光誘起磁性の確認と発現温度の改善を磁化測定により明らかにしている。本章の後半では、InMnAsSb の結晶成長条件を明らかにしている。InMnAsSb/InSb ヘテロ構造の作製法と作製条件を明らかにし、結晶性の評価結果を述べ、より長波長領域での光誘起磁性の発現を明らかにしている。

第4章では、Mn 原子を含む InAs ドットの特徴と MOMBE 法を用いた作製方法を説明し、有機金属ソースの特徴と作製可能性を検討している。Mn 原子を含む InAs 量子ドット構造作製手順を説明し、その作製条件を明らかにし、ドットに含まれる Mn 原子数とドットサイズの制御方法を明らかにしている。磁気力顕微鏡・原子間力顕微鏡観察、フォトルミネッセンス測定、磁化測定から、量子ドット構造の磁氣的、光学的性質を明らかにしている。本章の後半では、Mn を含む InAs ディスク状量子ドット (量子ディスク) の作製方法を明らかにしている。また、量子ディスクの光学的性質と磁気光学効果を明らかにしている。

第5章では、ガスソース MBE 法による TlGaAs と TlGaP の成長条件を述べ、X線回折測定とラマン散乱測定結果から、TlGaAs、TlGaP のフォノンの性質と結晶性の関係及び最適な成長条件を明らかにしている。

第6章では、本研究の結果として、得られた研究結果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

希薄磁性半導体はスピニエレクトロニクス用材料として、また、Tlを含む新しいIII-V族半導体は波長多重光通信進展のために期待が大きい。しかし、新しいIII-V族半導体材料の結晶成長が困難で、それらの特性が解明されていないなどの問題がある。本論文は、これら新しいIII-V族半導体の結晶成長およびそれらによる新機能の創製に関する研究をまとめたもので、主な成果を要約すると次の通りである。

- (1)希薄磁性半導体 InMnAs の MOMBE 成長では、低温での成長 ( $<300^{\circ}\text{C}$ ) が重要であることを明らかにしている。ラマン散乱測定により、InMnAs の LO フォノンとプラズモンの結合モードが初めて観察され、理論解析から、作製された InMnAs が p-type であることを明らかにしている。時間分解反射率測定からは、InMnAs の短いキャリア寿命 (100-270fs) を初めて明らかにし、この超高速キャリア緩和という性質を用いれば、テラヘルツ (THz) 電磁波の発生或いは検出の素子が作製できることを説明している。バンドエンジニアリングの立場から新しい InMnAs/InAs/GaSb 多重ヘテロ構造を設計・作製し、光照射磁化測定から InMnAs/GaSb 単一ヘテロ構造よりも高い光誘起強磁性転移温度 (70K) を観測し、改善された光誘起磁性を示すことを明らかにしている。
- (2)新しい希薄磁性半導体 InMnAsSb の結晶成長に成功し、InSb とのヘテロ構造を作製する条件を明らかにしている。また、InMnAsSb/InSb 単一ヘテロ構造においては、長波長 ( $>2\mu\text{m}$ ) の赤外光 (中赤外光) の照射による光誘起磁性 (光誘起強磁性転移温度: 60K) を初めて実現し、更に、これらの光誘起磁性は光照射停止後も保持されることを観測し、良好な特性を持つことを実験的に明らかにしている。このような希薄磁性半導体のヘテロ構造は中赤外光に対する光センサー・メモリ素子に応用できることを明らかにしている。
- (3)MOMBE 法の特徴を利用し、磁性原子 Mn を含む InAs 量子ドット構造と InAs 量子ディスク構造を自己形成している。原料ソースの供給時間及び成長温度を調節することにより、量子構造の大きさおよびそれに含まれる Mn 原子数を制御できることを明らかにしている。磁化測定などから、Mn を含む量子構造の磁化は面に垂直方向に向きやすいこと、そして、Mn は MnGa 或いは、MnGaAs の形で含まれていることを明らかにしている。更に、量子構造形成プロセスを明らかにすることにより、欠陥の少ない Mn 原子含有 InAs 量子構造を作製することができることを示している。この結果を基に、より発光効率のよい InAs 量子ディスク構造を考案・作製し、新規な磁気光学特性を明らかにしている。
- (4)温度無依存のバンドギャップを示す可能性のある TlGaAs と TlGaP をガスソース MBE 法で結晶成長し、ラマン散乱、X線回折測定により、それらの結晶性と光学フォノンの性質を明らかにし、TlGaAs のフォノンモード、GaAs と格子整合した TlGaP のフォノンモード、TlP-rich TlGaP フォノンの特性を明らかにしている。これらの観察から、新しいIII-V族半導体 TlGaP 最適成長条件を明らかにしている。

以上のように本論文は、希薄磁性半導体の光誘起磁性に関する改善方法及び磁性原子を含む量子構造の作製条件や新規な磁気光学特性、更に、Tlを含む新しいIII-V族半導体の成長条件を明らかにしたもので、光・電子材料工学および素子工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。