

情報担体を活用した集積デバイス・システム  
2021 年度採択研究代表者

|                  |
|------------------|
| 2021 年度<br>年次報告書 |
|------------------|

中塚 理

名古屋大学 大学院工学研究科  
教授

狭ギャップIV族混晶による赤外多帯域受発光集積デバイス

## § 1. 研究成果の概要

赤外多帯域集積素子への応用に好適な狭バンドギャップかつ高効率光電変換を実現する直接遷移 IV 族混晶半導体ヘテロ構造を創製し、準安定な IV 族材料の特性を損じない欠陥制御と低サーマルバジェットプロセス構築を目指して初年度の研究を推進した。

新規 IV 族混晶ヘテロ構造創製に向け、大格子定数 InP 基板上における超高 Sn 組成  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の結晶成長条件がその結晶性に及ぼす影響を明確化した。膜厚 15nm の薄膜の場合、Sn 析出が抑制され、26%の高 Sn 組成  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  エピタキシャル層がほぼ均一に形成される一方で、膜厚増加とともに (~100 nm)、局所的 Sn 析出が生じ、面内の一部において低 Sn 組成 (~10%)  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  エピタキシャル領域の形成が見出された。さらに赤外多帯域撮像デバイス検証に向けて、Si 読み取り回路(ROIC)実装を想定した Si 基板上への  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層転写プロセス構築を開始した。 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層に対応した BCB 接着剤の利用と、高選択性エッチングプロセス開発により、低温での  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{BCB}/\text{Si}$  基板構造の作製に成功した。

また、金属/半導体(M/S)および金属/絶縁膜/半導体(MIS)構造の低温形成プロセス・物性評価にも取り組んだ。その結果、下記のような成果を得た。(1)  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  の M/S オーミックコンタクト構造を形成し、室温でのオーミック特性を得た。(2) M/S 構造の整流特性を調査し、TiN/ $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  界面に非晶質界面層の形成を確認できた。(3) MIS 構造の容量-電圧特性からキャリア密度を評価し、また、電流-電圧特性の On/Off 比とキャリア密度の関連性を明確化した。

さらに、IV 族混晶の理論的物性解明に向けて、(1) Ge 結晶に関する人工ニューラルネットワーク(ANN)ポテンシャルの開発、Ge 結晶中の原子空孔クラスターに関する数値計算、(2) Sn 添加した Ge に関する学習データの収集、(3) 誤差逆伝播法を擬似逆行列演算に置き換える Extreme Learning Machine (ELM) 手法の回帰テスト、等に取り組んだ。Ge の ANN ポテンシャル開発において、4s4p 混成軌道の 4 個の価電子のみを考慮して十分な計算精度が得られることを確認できた。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 中塚グループ

- ① 研究代表者: 中塚 理 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・高品位 IV 族混晶ヘテロ構造創製と赤外デバイス集積

### (2) 前田グループ

- ① 主たる共同研究者: 前田 辰郎 (産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 研究主幹)
- ② 研究項目
  - ・モノリシック集積に向けた狭ギャップ IV 族混晶半導体薄膜転写

### (3) 王グループ

- ① 主たる共同研究者: 王 冬 (九州大学 大学院総合理工学研究院 准教授)
- ② 研究項目
  - ・IV 族混晶デバイス化に向けた低温プロセス、欠陥評価・制御技術の構築

### (4) 末岡グループ

- ① 主たる共同研究者: 末岡 浩治 (岡山県立大学 情報工学部 教授)
- ② 研究項目
  - ・IV 族混晶の結晶物性・欠陥構造／準位の理論的解明