

## 博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学専攻

氏名(本籍) 秋山 肇 (兵庫県)

博士論文題名

ZnTe のヘテロ構造に関する研究

## 要旨

ZnTe は LED(Light Emitting Diode)、LD(Laser Diode)や光導波路等の光デバイス及びテラヘルツ波発生・検出デバイスとしての応用が期待され、その混晶材料を含めると太陽電池の高効率化にも寄与が見込まれる有望な半導体機能材料である。本研究では GaAs 基板と ZnO 基板を下地とした場合の MOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)技術を用いた ZnTe ヘテロエピタキシャル成長、及び ZnTe 基板と ZnO 基板を用いた常温直接接合法(RTDB : Room Temperature Direct Bonding)についてその基本的なプロセス技術の探索を行い、ヘテロ接合技術の確立及び特性の解明を目的とする。

特に ZnO はバンドギャップエネルギーが 3.24eV の直接遷移型ワイドギャップ半導体であると共に II - VI 族半導体の持つ自己補償性から安定的な *n* 形導電性を得ることが容易である。一方、ZnTe は 2.26eV の直接遷移型 II - VI 族半導体であり、固相・液相状態で共に Te 過剰な組成となることから Zn 空孔が発生し易いことが知られている。この Zn 空孔は電氣的にアクセプターとして機能するため、積極的にドーパントを導入しない場合でも容易に *p* 形の導

電形を示す。従ってヘテロ *pn* 接合の電氣的特性の評価を通して ZnTe と ZnO 各々の電子状態を把握することが可能であると共に ZnO が有する良好な光透過性を利用して同ヘテロ接合の光電効果特性の評価も容易であることから新規デバイスを開拓することができる。ZnTe/ZnO ヘテロ界面に関する先行研究は PLD (Pulsed Laser Deposition)や MBE(Molecular Beam Epitaxy)を用いた結果が知られているが、本研究はその前提に工業化を見越した手法として MOVPE 及び RTDB に注目するという観点から独自の視点を有している。

以下に本論文の構成を述べる。第 1 章では本研究の背景と目的を概説する。MOVPE は原料としてメチル化やエチル化された有機金属化合物、水素化合物を用いている。これらの原料はその蒸気圧の高さから成膜エリアまでの輸送が容易であることと、加熱によって迅速に分解され金属化合物を遊離してエピタキシャル層を形成できることから比較的低温でのプロセス制御が容易である特徴を有する。本研究に用いた MOVPE システムは佐賀大学にて基本設計を行い、各種の制御パラメータを広い範囲で設定できるよう考慮されたものである。

(2 頁目へ続く)

## 博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学専攻

氏名 秋山 肇

第 2 章では GaAs(111)基板を下地とした ZnTe エピタキシャル成長について MOVPE 成長条件を表面反応律速領域から原料供給律速領域に亘る広範囲で行い、最適なパラメータの組み合わせを見出した。エピタキシャル膜の結晶性と光学特性は X 線回折法、フォトルミネッセンス法、ラマン分光法等の手法を用いて評価すると共にキャリア濃度とその移動度について Hall 測定を行い総合的な観点から優位な結晶成長のプロセス条件を見出した。又、佐賀大学シンクロトロン光研究センターのビームライン (BL13)を用いて ZnTe/GaAs 界面のバンドオフセット評価を行い、 $\Delta E_v=0.18\text{eV}$ 、 $\Delta E_c=0.66\text{eV}$  のエネルギーギャップを有する Type-I のエネルギーバンド構造であることを解明した。

第 3 章では ZnO(c 面)基板を下地とし、MOVPE による ZnTe エピタキシャル成長に初めて成功した。成長条件と結晶性の関係の評価した結果、 $T_s=440\sim 460^\circ\text{C}$  の成長温度領域で良好な結果が得られた。更に成長された膜の光学特性についての温度依存性を評価し、その特性を明らかにした。本章では ZnTe/ZnO ヘテロダイオード構造としての電気特性についても着目した。各種比抵抗を有する *n* 形 ZnO 基板上に *p* 形 ZnTe エピタキシャル膜と金電極を形成し電

流電圧特性や接合容量特性の評価を行ったところ、整流特性が認められることを明らかにした。

第 4 章では第 3 章で得られた成果を基にしてテラヘルツデバイスへの応用展開を念頭に下地基板の配向性と ZnTe エピタキシャル膜の配向性の関係について研究した。ZnO(*m* 面、*a* 面)基板を下地とした場合に得られる ZnTe エピタキシャル膜の配向性と結晶性を評価し、非線形光学結晶としての有意性を期待し得る面方位 (211)が実現できることを示した。

第 5 章では RTDB 法を用いて ZnTe(111)基板と ZnO(*c* 面)基板とのヘテロ接合作製に初めて取り組んだ。基板同士を原子レベルで接合させるには接合面の平坦性を確保すると同時に最表面の母材原子が化学的に活性な状態を保持したままでプロセスを進める必要がある。本研究によって作製したサンプルの透過型電子顕微鏡観察を行い、厚さ 10nm 前後の接合層を介して原子レベルでの接合が形成されていることを解明した。更にヘテロダイオード構造としての電気特性を評価して整流特性であることを解明すると共に、ポストアニールプロセスを加味することで順方向電流の立ち上がりが増加して理想的な電流電圧特性に近づくことが判明した。最後に第 6 章では本研究で得られた成果を総括した。(1823 文字)