

ホットウォール法によるInAsSb結晶の組成制御とバッファ層導入効果に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中村, 慎吾 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1175

氏名・(本籍)	中 村 慎 吾 (静岡県) 453
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 282 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子材料科学
学位論文題目	ホットウォール法によるInAsSb 結晶の組成制御とバッ ファ層導入効果に関する研究
論文審査委員	(委員長) 教授 江 間 義 則 教授 立 岡 浩 一 助教授 石 田 明 広 教授 早 川 泰 弘

論 文 内 容 の 要 旨

CO₂、NO等のガスにより吸収される光の波長領域、大気主成分による吸収の少ない光の波長領域や比較的低温の物質が放射する光の波長領域は3.5~12μm 帯の中赤外線領域に存在する。そのため、ガス検出、通信、気象観測、温度測定等には中赤外線波長領域で動作する受光・発光デバイス開発が必要である。現在この波長領域で動作するデバイス材料として主にHgCdTeが用いられているが、偏析が起りやすいために均一な組成が得られにくいことや応答速度が遅い問題がある。一方、InAsSb はAs とSb の組成比を変化させることで3.5~12μm の光を検出できることや速い応答速度が期待できるので、中赤外線デバイス材料として有望である。しかし、結晶性が十分でないために、高感度の検出器が作製されていない。

InAsSb を用いた中赤外線デバイス作製の主な課題は、(1)InAs_xSb_{1-x}結晶の組成制御、(2)結晶性の向上、(3)不純物濃度制御である。本研究では、蒸発源と基板を熱い壁(Hot Wall)で取り囲み、原料蒸気が蒸発源から基板表面に到達する間に十分な熱交換を行い、熱平衡に近い状態で薄膜を基板の上に堆積させるホットウォールエピタキシー(HWE)法を用いて、(1)InAs_xSb_{1-x} 結晶の組成制御、(2)様々なバッファ層の導入による結晶性の向上とX線回折法、ホール効果測定法やラマン散乱測定等による結晶性の評価、(3)中赤外線デバイス作製のための不純物ドーピング条件を調べた。

第1章は序論である。赤外線検出器開発の歴史、InAsSb 結晶とHWE法の特徴を示し、本研究の目的とその意義を述べた。

第2章では、実験に用いたHWE装置の構成、実験方法及び評価方法について記述した。

第3章では、HWE法によるInAs 結晶成長の結果を記述した。蒸発源には純度6NのIn、Sb 及びAs

の金属単体を使用した。ソース源の温度制御、表面拡散を十分に行わせるための最適な成長条件を検討し、GaAs 基板上に配向性の良いInAs 結晶を成長させた。

第4章では、 $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ 結晶成長の組成制御と特性評価について記述した。基板温度、In とSb ソース温度を最適化し、As ソース温度を精密に制御することで、 $4.5\sim 12\mu\text{m}$ 帯光検出に対応するAs 組成(x)が0.02から0.90の $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ 結晶の組成制御に成功した。As 中間組成の $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ 成長層と比べ、As 組成の低い(Sb 組成の高い)結晶はGaAs 基板との格子定数差が大きいにも係わらず平坦性が良く、X線回折強度、電子移動度が高かった。ラマン散乱測定から $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ にはIn-As 結合とIn-Sb 結合に起因するフォノンモードが共存することやAs 組成が低くなるにつれてIn-As 結合に起因するフォノンピークが低波数側に移動し、強度が弱くなることが示された。In-As フォノンピークがIn-Sb フォノンピークに比べ高波数側に現れるのは、In-As 結合がIn-Sb 結合よりも結合力が強いためであり、これはSb 組成の高い成長では表面拡散が起りやすく平坦性が良い試料が成長しやすいことを示している。

第5章では、中間組成の $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ 成長層の結晶性向上のために、GaAs 基板と成長層の間にバッファ層を導入し、その効果を調べた。第4章に記載した実験により、Sb 組成の高い $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ 結晶の結晶性が良いことが示されたので、GaAs 基板上へのバッファ層としてInSb 層を用いた。さらに、InSb バッファ層上に、As 組成を連続的に高くするグレーデッドバッファ層を形成した場合とAs 組成を階段状に高くするステップバッファ層を形成した場合の $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ 成長層の特性を比較した。基板に直接成長させた $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ エピ層のX線ロックアップカーブの半値幅は 2.3° と広く、電子移動度は $1.5\times 10^3\text{cm}^2/\text{Vs}$ であった。しかし、GaAs 基板にInSb バッファ層を形成し、その上に $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ エピ層を成長させると、X線半値幅が 0.84° に狭くなり配向性が向上した。InSb バッファ層は基板との濡れ性を良くすることで成長層の平坦性と配向性を高める効果があった。

グレーデッドバッファ層をInSb バッファ層と $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ 成長層の間に導入すると、電子移動度が $1.1\times 10^4\text{cm}^2/\text{Vs}$ と大きくなった。グレーデッドバッファ層は、InSb バッファ層と $\text{InAs}_{0.5}\text{Sb}_{0.5}$ 成長層の格子不整合を緩和させる効果があった。さらに、ステップバッファ層を導入すると、X線半値幅が 0.48° となり、直接成長試料の値の約1/5倍になった。また、電子移動度が $1.3\times 10^4\text{cm}^2/\text{Vs}$ まで向上し、分子線エピタキシー法による $\text{InAs}_{0.33}\text{Sb}_{0.67}$ 成長層の値 $2.0\times 10^4\text{cm}^2/\text{Vs}$ と同等な値が得られた。バッファ層の導入が $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ 結晶の結晶性向上に有効であることが示された。

第6章では、中赤外線検出器作製のために不純物ドーピング条件を検討した。Zn ドーピングによりp型InSb 結晶を成長させ、さらにInSb/InAsSb 二層構造の作製を行った。

第7章では、本研究の結論について述べ、それを元に今後の展望について記述した。

以上、HWE法により $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ 結晶の組成制御を行い、各種のバッファ層導入により結晶品質を向上させた。また、成長層への不純物ドーピングを行い、中赤外線デバイス作製のための問題点を検討した。デバイス作製のためには、キャリア濃度の低減、 SiN_x 保護膜の成長等による漏れ電流の抑制が今後の課題である。

論文審査結果の要旨

CO₂、NO等のガスにより吸収される光の波長領域、大気主成分による吸収の少ない光の波長領域や比較的低温の物質が放射する光の波長領域は3.5~12 μ m帯の中赤外線領域に存在する。そのため、ガス検出、通信、気象観測、温度測定等には中赤外線波長領域で動作する受光・発光デバイス開発が必要である。現在この波長領域で動作するデバイス材料として主にHgCdTeが用いられているが、偏析が起こりやすいために均一な組成が得られにくいことや感度が低くかつ応答速度が遅い問題がある。一方、InAsSbはAsとSbの組成比を変化させることで3.5~12 μ mの光を検出できることや速い応答速度が期待できるので、中赤外線デバイス材料として有望である。しかし、現在のところ結晶性が十分でないために、高感度の検出器が作製されていない。本研究では、3.5~12 μ m帯の中赤外線検出器の開発を目指し、ホットウォールエピタキシー(HWE)法を用いて、(1)InAs_xSb_{1-x}結晶の組成制御、(2)様々なバッファ層の導入による結晶性の向上、(3)不純物ドーピング条件を調べることを目的としてなされた。

第1章では、赤外線検出器開発の歴史、InAsSb結晶とHWE法の特徴を示し、本研究の目的とその意義を述べている。

第2章では、HWE装置の構成、実験方法及び評価方法について記述している。

第3章では、HWE法によるInAs結晶成長条件を検討し、ソース温度と基板温度の制御によりInAs結晶の配向性を向上させた。

第4章では、InAs_xSb_{1-x}結晶成長の組成制御と特性評価について記述している。基板温度、InとSbソース温度を最適化し、Asソース温度を精密に制御することで、4.5~12 μ m帯光検出に対応するAs組成(x)が0.02から0.90のInAs_xSb_{1-x}結晶の組成制御を達成した。また、ラマン散乱測定により、縦波光学フォノンモードと横波光学フォノンモードの比と表面形態との関係等を見出した。

第5章では、中間組成のInAs_{0.5}Sb_{0.5}成長層の結晶性向上のために、バッファ層導入効果を調べている。GaAs基板にInSbバッファ層を形成し、その上にInAs_{0.5}Sb_{0.5}エピ層を成長させることで、結晶の配向性を向上させた。また、グレーデッドバッファ層やステップバッファ層をInSbバッファ層とInAs_{0.5}Sb_{0.5}成長層の間に導入することで、成長層の電子移動度を向上させており、バッファ層の導入がInAs_xSb_{1-x}結晶の結晶性向上に有効であることを明らかにした。

第6章では、中赤外線検出器作製のためにZnドーピング条件を検討し、p型InSb結晶を成長させた。

第7章では、本研究の結論について述べ、それを元に問題点と今後の展望について記述している。

以上のように、本論文は、HWE法によるInAs_xSb_{1-x}結晶の組成制御、各種のバッファ層導入による結晶品質向上、成長層への不純物ドーピングに関する知見を得ており、博士(工学)の学位を与えるに十分な内容を有するものと認定する。