

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560012

研究課題名(和文) 新材料・新量子構造を用いた高性能中赤外デバイスの研究

研究課題名(英文) studies of mid-infrared devices using new materials and structures

研究代表者

河村 裕一 (Kawamura, Yuichi)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80275289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：微量窒素を導入したナノ構造化合物半導体を用いた中赤外用光デバイスの開発を行った。具体的にはInP基板をベースとした波長2 μ m帯のInAsSbN歪量子井戸レーザーと同じくInP基板をベースとした波長2 μ m帯の光源・光検出器として有用なInGaAsN/GaAsSbタイプII量子井戸光デバイスを作製を行った。前者に関しては量子井戸幅3nmの歪量子井戸レーザーを分子線成長法(MBE)で作製し、220Kで波長2.36 μ mのレーザー発振を実現することが出来た。また後者に関しては窒素導入量1%の組成において室温での発光波長2.86 μ mのエレクトロルミネッセンス(EL)を観測することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Dilute nitride semiconductors on InP for mid-infrared optical devices were studied. InAsSbN strained quantum well laser diodes were fabricated and obtained laser operation at 2.36 μ m wavelength at 300K. InGaAsN/aAsSb MQW diodes were also fabricated. Light emission at 2.86 μ m was obtained at 300K.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：分子線結晶成長 化合物半導体 量子井戸 赤外デバイス

1. 研究開始当初の背景

波長 2 ~ 3 μm 帯における中赤外半導体素子は、 CO_2 、 CH_4 、 NO_x など地球環境に影響を及ぼす物質のモニターや、様々な物質の化学分析、リモートセンシング、レーザー医療等の分野で応用が期待されている。この波長帯において室温で安定に動作する高性能のレーザ光源や光検出器が実現できれば、装置の小型化や携帯化が実現出来、環境計測、医療などで多くの新産業分野が創出されると期待されている。従来、この波長帯の素子は GaSb や InAs をベースとした材料で研究開発が進められて来た。しかしながらこれらの素子は結晶品質が充分でない、あるいは低温でなければ動作しないといった問題のため、ごく限られた領域にしか応用されていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、光通信分野ですでに実用化されている InP ベースの高性能レーザ技術が適用可能な InP 基板の上に、従来に無い新しい量子井戸構造を提案し、室温動作可能な波長 2 ~ 3 μm 帯の高性能中赤外素子の実現を目的とするものである。特にタイプ II 量子井戸構造を有した光量子デバイスを検討し、室温において、低電圧で安定に動作する波長 2 ~ 3 μm 帯のレーザあるいは光検出器の実現を目的とする。この構造は InAsSbN 層と GaAsSbN 層における As, Sb, N の組成を調整することにより、通常タイプ I 構造にもタイプ II 構造にもすることが出来る。たとえば InAsSbN 層の N 組成を増大し、GaAsSb 層の Sb 組成を増大することにより、実効的にバンドギャップの小さいタイプ II 構造を実現出来る。

3. 研究の方法

本研究ではこの材料系の成長に適した分子線結晶成長法 (MBE 法) を用いることにより、デバイス品質を有する InP 基板の上の

InGaAsN/GaAsSb 量子井戸構造を作製し、その物性を評価するとともに、この量子井戸構造を用いた波長 2 ~ 3 μm 帯の室温動作可能な高性能光素子を実現するものである。

4. 研究成果

(1) InP 基板の上の歪補償 InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造の特性

InP 基板の上の InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造は、環境モニターや化学分析等の分野で応用可能な波長 2 μm 帯光検出器の材料として有望である¹⁾。InGaAs の Ga 組成と GaAsSb の Sb 組成を増加させ両者の歪を互いに相殺する歪補償構造の導入によりさらに長波長化が可能である²⁾。今回、界面における成長中断がエピタキシャル層の特性に与える影響を調べたので報告する。

測定に用いた歪補償 InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸層 (5nm/5nm、50 ペア) は、半絶縁性(100)InP 基板の上に MBE 法を用いて成長した。成長温度は 480 である。歪み量は InGaAs : -0.6%、GaAsSb : +0.6% である。As ビーム (As_4) はバルブセルにより、また Sb ビーム (Sb_4) は K セルにより供給した。InGaAs 層と GaAsSb 層の切り替えにおける成長中断有り、無しの 2 種類を成長した。中断有りの場合の中断時間は、InGaAs \rightarrow GaAsSb : 8sec、GaAsSb \rightarrow InGaAs : 16sec とした。

今回の測定から以下のことが明らかとなった。(a) PL ピーク強度は成長中断無しの場合が有りの場合の約 2 倍であり、成長中断により若干弱くなっている。(b) PL スペクトル半値幅 (300K) は成長中断無しの場合が 57meV、成長中断有りの場合が 76meV と後者の場合が広がっている。(c) 成長中断無しの場合低温において低エネルギー側にサブピークが現れるのに対し、成長中断有りの場合は低温においてもサブピークは観測されなかった。

(2) InP 基板の上の InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸ダイオードの EL 特性

InP 基板に格子整合する InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸ダイオードは波長 2 μm 帯の発光・受光デバイスへの応用が可能である。我々は InGaAs 層に N を導入することにより、さらなる長波長化が可能であることをエレクトロルミネッセンス (EL) で示した。

結晶は MBE 法により作製し、Fe ドープ (100) InP 基板の上に、InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸層 (InGaAsN=5nm, GaAsSb 層=5nm) を 50 周期積層した構造を有している。成長温度は 480 とした。

N 濃度 0% および 1% の InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸ダイオードの EL の温度依存性の測定結果を測定した。注入電流は 30mA 一定としている。N=0% の場合における室温での発光波長がおよそ 2.4 μm であるのに対し、N=1% の場合における室温での発光波長は 2.86 μm となることがわかり、窒素 1% の導入により大幅に長波長化が可能である。ただし発光強度は窒素の導入により大きく減少しており、室温での強度は N=0% の場合に比較すると N=1% の導入で二桁以上減少している。この EL 強度の大幅な減少の原因は窒素の導入による界面欠陥の増大によるものと考えられる。

(3) InP 基板上的 InAsSbN 単一量子井戸の PL 特性

InP 基板をベースにした波長 2~3 μm 帯レーザは、化学分析、リモートセンシングなどの分野での応用が期待されている。これまでに、InAs 歪み量子井戸を用いた波長 2.3 μm の DFB レーザの室温動作が実現されている。我々は新材料系である InP 基板上的 InAsSbN 量子井戸レーザを提案し、MBE 法により作製したレーザで、210K において波長 2.3 μm のレーザ発振、および室温におい

て波長 2.5 μm の EL 発光を実現している。ここでは InP 基板の上に InAsSbN 単一量子井戸 (SQW) を作製し、フォトルミネッセンス (PL) の温度依存性を、条件の異なる試料について測定した。

InAsSbN SQW 層は MBE 法を用いて作製した。成長温度は 480 とし、SQW 層の井戸幅は 3nm とした。また、N 組成は 1.1% と固定して、Sb 組成は 0~6% の間で変化させた。N 源としては ECR プラズマセルを用いた。Sb 組成が 0% 及び 2% の SQW 層の PL ピーク強度の温度依存性を測定した結果 Sb=2% の SQW の室温における強度は Sb=0% の強度の約 25 倍と大幅に増大していることがわかった。また Sb=0% の SQW ではほとんど温度変化が無いのに対し、Sb=2% の SQW では、温度の低下とともに PL 強度が増大し、低温においては Sb=0% の 2 桁以上の強度となっている。また Sb=0% 及び 2% の SQW 層の PL ピークエネルギーの温度依存性を測定した結果 Sb=2% の SQW 層の温度依存性は varshni の式にフィッティング可能であり、良質の結晶が得られていることがわかる。これに対し、Sb=0% の SQW では 200K 以下の領域においてエネルギーが小さくなっており欠陥からの発光が支配的となっている。これらの結果は、InAsSbN 系においても Sb のサーファクタント効果が顕著であることを示している。

5) InP 基板上的 InAsSbN 単一量子井戸ダイオードの EL 特性

InP 基板をベースにした波長 2~3 μm 帯レーザは、化学分析、リモートセンシングなどの分野での応用が期待されている。これまでに、InAs 歪み量子井戸を用いた波長 2.3 μm の DFB レーザの室温動作が実現されている。我々は新材料系である InP 基板上的 InAsSbN 量子井戸レーザを提案し、MBE 法により作製したレーザで、220K において波長 2.36 μm のレーザ発振を実現している。ここでは InP

基板上 InAsSbN 単一量子井戸 (SQW) ダイオードにおける EL 温度依存性を測定したのでその結果を報告する。

InAsSbN SQW ダイオードは MBE 法を用いて作製した。成長温度は 450 とした。SQW 層の井戸幅は 3nm とした。また、N 組成は 1%、Sb 組成は 2% とした。N 源としては ECR プラズマセルを用いた。アニール処理無しの場合、およびアニール処理あり (600、1 分間) の場合の EL スペクトルの温度依存性を示したものである。どちらの場合もすべての温度領域において単一ピークのスペクトルが得られていることがわかる。発光強度に関してはアニール処理することにより低温で約一桁増大していることがわかる。これはアニールにより非発光再結合センターが減少したことによるものと思われる。また発光ピーク波長はアニール処理することによりエネルギーにして約 10meV 短波長側にシフトしていることがわかる。これはアニールにより、as-grown の状態で窒素原子の分布が不均一であったものが、アニールにより均一化したことが原因であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

- (1) "2.86mm room-temperature light emission of InGaAsN/GaAsSb type II quantum well diodes grown on InP substrates"
Y. Kawamura and T. Shahasi
Jpn.J.Appl. Phys. 53, (2014) p.028004
(査読あり)
- (2) "The growth of high quality GaAsSb and Type II InGaAs/GaAsSb superlattice structure"
K. Miura, Y. Iguchi, M. Thubokura and Y. Kawamura;
J. Appl. Phys. 113 (2013) p. 143506
(査読あり)

- (3) "Optical properties of InAsSbN single quantum wells grown on InP substrates for 2mm wavelength Region", T. Shono, S. Mizuta and Y. Kawamura
J. Crystal growth 378 (2013) pp.69-72
(査読あり)
- (4) "Type II InAs/GaSb superlattice grown on InP substrate"
K. Miura, Y. Iguchi and Y. Kawamura
J. Crystal Growth 378 (2013) pp.121-124
(査読あり)
- (5) "Fabrication of InGaAsN/AlAsSb resonant tunneling diodes grown by molecular beam epitaxy"
Y. Kawamura and K. Mitsuyoshi;
Electron. Lett. 48 (2012) pp.280-281
(査読あり)
- (6) "Characterization of InGaAsSbN layers grown on InP by MBE"
M. Yoshikawa, K. Miura, Y. Iguchi and Y. Kawamura
Phys. Status Solidi C8 N0.2 (2011) pp.390-392
(査読あり)

[学会発表](計 3 件)

- (1) Mid-infrared photodetectors with InAs/GaSb typeII quantum wells grown on InP substrate
H. Inada, K. Miura, Y. Iguchi, Y. Kawamura, H. Katayama, and M. Kimata
The 25th International Conference on InP and related materials
May 19-23 (2013) Kobe, Japan
- (2) Type II InAs/GaSb superlattice grown on InP: K. Miura, Y. Iguchi and Y. Kawamura
The 17th International Conference of Molecular Beam Epitaxy ThA-2-3
- (3) Optical properties of InAsSbN single quantum wells grown on InP substrates for

2 μ m wavelength region T. Shono, M.
Mizuta and Y. Kawamura
The 17th International Conference of
Molecular Beam Epitaxy TuA-2-4
September 23-28, (2012) Nara, Japan

〔図書〕(計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

河村 裕一 (KAWAMURA, Yuichi)
大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号 : 80275289

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

()

研究者番号 :