

平成22年 5月 15日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560016

研究課題名（和文）InAsSbN/GaAsSbN 新量子井戸構造を用いた赤外光素子の研究

研究課題名（英文）Study of InAsSbN/GaAsSbN new type quantum structure device in the infra-red wavelength region.

研究代表者 河村 裕一（KAWAMURA YUICHI）

大阪府立大学・産学官連携機構・教授

研究者番号：80275289

研究成果の概要（和文）：

新量子井戸構造を用いた光デバイスとして、InGaAs(N)/GaAsSb タイプ II 光検出器、および InAsSbN 歪量子井戸レーザを検討した。その結果、InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造を用いることにより波長 $2 \mu\text{m}$ の 2 次元イメージセンサーの室温動作を実現した。また InAsSbN 歪量子井戸レーザにおいて 210K で波長 $2.3 \mu\text{m}$ の発振を実現した。

研究成果の概要（英文）：

New types of InGaAs(N)/GaAsSb type II photo-detectors and InAsSbN strained-quantum well lasers were studied. A Room temperature operation of 2D-image sensor of InGaAs/GaAsSb type II quantum well with low dark current was obtained. Laser operation at $2.3 \mu\text{m}$ of InAsSbN quantum well lasers was also obtained at 210K .

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,700
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：ヘテロ構造

1. 研究開始当初の背景

波長 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 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。これを打開するため、最近では新しいタイプの半導体量子井戸構造を用いた中赤外領域の素子の開発が盛んに行われている。たとえば半導体量子井戸における

サブバンド間遷移を用いた光源や光検出器が盛んに研究されている。しかしながら、これらサブバンド遷移を用いた素子は、構造設計などの難しさを有している上、主に波長 $4\ \mu\text{m}$ より長い領域で、かつ低温で動作するものが多く、波長 $3\ \mu\text{m}$ の領域において室温で安定に動作する高性能の中赤外素子は実現されていない。こうした状況の中で、最近我々は波長 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ の領域の新しい材料系として InP 基板上の InGaAsSbN 系に注目し高性能中赤外素子の実現を目的として研究を進めて来た。すでに世界に先駆けて波長 $2\ \mu\text{m}$ 帯の InP 基板上の InGaAsSbN 量子井戸発光ダイオードを開発し、室温で $2.5\ \mu\text{m}$ の発光を観測するとともに、 190K において波長 $2.3\ \mu\text{m}$ のレーザ発振も実現した。また他の機関においても InP 基板上の InGaAsN 量子井戸層を用いた波長 $2\ \mu\text{m}$ 帯のレーザが実現されている。このことは、この材料系が波長 $2\ \mu\text{m}$ 帯中赤外素子の材料としてきわめて大きなポテンシャルを有していることを示している。周知のように、InP 系材料 (InGaAsP 半導体) は波長 $1.3\sim 1.5\ \mu\text{m}$ 帯の光通信素子としてすでに実用化されている。InP 基板をベースとした波長 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 帯の中赤外素子が実現できれば、従来の光通信素子の高度な作製技術が応用できるため、波長 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 帯での分布帰還形単一モードレーザや波長可変レーザの作製、あるいは低雑音で優れた検出感度を有する高性能光検出素子の作製が可能である。こうした室温動作可能な中赤外光素子が実現出来ればその波及効果はきわめて大きいと考えられる。しかしながら、現在のところ室温動作は実現されておらず、またこの材料系を用いた光検出器に関する報告は皆無である。さらに、動作波長は $2\ \mu\text{m}$ 帯に限られており、波長 $3\ \mu\text{m}$ 帯のデバイスの報告もなされていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、上記の問題を解決するため、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 基板上の InGaAsSbN 系半導体を用いた新構造の量子井戸を提案し、室温動作可能な波長 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 帯の高性能中赤外素子の実現を目的とするものである。より具体的には、上記の我々の成果をさらに発展させ、これまで試みられたことの無い新しい量子井戸構造である InAsSbN/GaAsSbN 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、低電圧で低電圧で安定に動作する波長 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 帯のレーザあるいは光検出器の実現を目的とする。現時点においては InAsSbN 層および GaAsSbN 層の結晶性は充分でなく、結晶の高品質化のために解決すべき

多くの問題がある。特にこの材料系は大きな非混和性を有しており高品質の結晶を得ることが極めて難しい。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 基板上の InGaAsSbN 層を作製し、その物性を評価するとともに、新たに提案する InAsSbN/GaAsSbN タイプ II 構造を作製し、これを用いた波長 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 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。

3. 研究の方法

新材料の半導体結晶はすべて分子線結晶成長法により作製した。また評価方法としては、X 線回折測定、光吸収電流測定、フォトルミネッセンス測定、エレクトロルミネッセンス測定を用いた。

4. 研究成果

新構造赤外素子として量子井戸レーザおよび赤外光検出器の試作を行った。まず、量子井戸レーザに関しては InAsSbN 層の成長条件を把握するとともに、これを量子井戸活性層に用いた赤外量子井戸レーザを試作した。バリア層には InGaAsN 層を用いた歪み補償構造を採用した。また光ガイド層には InGaAs 層、クラッド層には InAlAs 層を用いることとした。その結果、 210K で波長 $2.3\ \mu\text{m}$ のパルスレーザ動作を実現することが出来た。また発振閾値の特製温度は 60K 程度であり、光通信用レーザと同程度の値を得ることが出来た。これは InAsSbN 層を用いた初めてのレーザ動作である。

さらに、InAsSbN 量子井戸レーザの特性向上目的に実験を進めた。まず InAsSbN 量子井戸レーザに関しては単一井戸層の評価用結晶を作製し、窒素組成、Sb 組成をパラメータとしてフォトルミネッセンス測定により光学的特性を評価した。その結果、窒素の導入により、臨界膜厚が増大し、高品質の量子井戸が形成出来ることが明らかとなった。Sb 組成を 2% と 4% および 6% の試料を作製し、Sb が 2% の場合に大幅な特性の変化が生じることを見出した。

次に赤外光検出器に関しては、光吸収層として InGaAsN 層と InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸層の 2 種類を検討した。InGaAsN 層については格子整合条件で波長 $2\ \mu\text{m}$ のフォトルミネッセンス (PL) 発光を観測することに成功した。しかしながらそれ以上の長波長化は実現出来なかった。これに対して InGaAs/GaAsSb 層に関しては行使整合条件で波長 $2.4\ \mu\text{m}$ まで長波長化することが可能であった。このタイプ II 量子井戸構造を用い

ることにより、2次元センサーを試作した。その結果、室温での暗電流として 37 nA/cm^2 というこの波長帯では最少の値を実現した。さらに InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸層において歪み補償構造を作製し、その発光特性を測定した。その結果、6%の歪み補償構造において、約 40 meV の低エネルギーシフトを観測した。これは理論値である 30 meV にかなり近い値である。また発光強度の低下もほとんど見られず、光学的に高品質の結晶が得られていることが明らかとなり、歪補償構造が長波長化に有効であることがわかった。またより長波長化を目的とした InGaAsN/GaAsSb type II 量子井戸ダイオードを試作し、 10K において波長 $2.66 \mu\text{m}$ での発光を得ることが出来た。

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7件)

- 1) "Optical characterization of InGaAsN layers grown on InP substrates"
M. Yoshikawa, K. Miura, Y. Iguchi, Y. Kawamura
J. Crystal Growth vol.311, p.1745 (2009) 査読有り
 - 2) "InP-based InGaAsSbN quantum well laser diodes in $2 \mu\text{m}$ wavelength region"
Y. Kawamura; IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems Vol.128 No.5 p.727 (2008) 査読有り
 - 3) "Effect of Sb incorporation on electroluminescence of InGaAsSbN quantum well diodes on GaAs substrates"
Y. Kawamura and M. Nishino;
Jpn. J. Appl. Phys vol.47 No.8 p.6302 (2008). 査読有り
 - 4) "EL of InGaAsN/GaAsSb Type II quantum well light emitting diodes grown on InP by molecular beam epitaxy" Y. Kawamura, N. Inoue
Jpn. J. Appl. Phys. 46, 6A, 2280-3381 p.457 (2007). 査読有り
 - 5) "Properties of InAsSbN Quantum Well Laser Diodes Operating at $2 \mu\text{m}$ Wavelength Region Grown on InP Substrates",
Y. Kawamura and N. Inoue:
J. Crystal Growth 301-302, p.963 (2007). 査読有り
 - 6) "Improvement of crystal quality of thick InGaAsN layers grown on InP substrates by adding antimony",
K.Miura, Y.Nagai, Y.Iguchi, H.Okada,
- Y.Kawamura:
J. Crystal Growth 301-302, p.575 (2007). 査読有り
- 7) "Atomic arrangement in an MBE-grown CuPt-B type ordered GaAsSb layer as observed by cross sectional scanning tunneling microscope"
Gomyo, S. Ohkouchi, and Y. Kawamura
J. Crystal Growth, 301, p.47 (2007). 査読有り
- [学会発表] (計16件)
- 1) 第57回応用物理学関係連合講演会 (2010年3月18日, 神奈川) 井上直久、須田良幸、菅谷孝夫、河村裕一
「SiCの赤外吸収(2)」
講演予稿第1分冊
 - 2) 第57回応用物理学関係連合講演会 (2010年3月18日, 神奈川) 井上直久、後藤康則、杉山隆英、河村裕一
「低炭素濃度 Si 結晶中の赤外吸収(7)」講演予稿第1分冊
 - 3) 第57回応用物理学関係連合講演会 (2010年3月20日, 神奈川) 三浦広平、森大樹、永井陽一、稲田博史、猪口康博、河村裕一
「InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸を用いた非冷却赤外 2 次元センサーレイ」講演予稿第1分冊
 - 4) 第57回応用物理学関係連合講演会 (2010年3月18日, 神奈川) 吉川真央、三浦広平、猪口康博、河村裕一
「InP 基板上的 InGaAsSbN 層のアニール効果」講演予稿第1分冊
 - 5) 第57回応用物理学関係連合講演会 (2010年3月18日, 神奈川) 西野正嗣、河村裕一
「InP 基板上 InAsSbN 単一量子井戸の MBE 成長」講演予稿集第1分冊
 - 6) 第70回応用物理学学会学術講演会 (2009年9月9日, 富山) 井上直久、後藤康則、杉山隆英、河村裕一
「低炭素濃度 Si 結晶中の赤外吸収(6)」講演予稿集第1分冊
 - 7) 第70回応用物理学学会学術講演会 (2009年9月9日, 富山) 鹿山昌代、河村裕一
「InGaAsP/InAlAsP MQW層の評価」講演予稿集第1分冊
 - 8) 第70回応用物理学学会学術講演会 (2009年9月9日, 富山) 平池龍馬、三浦広平、猪口正博、河村裕一 「InP 基板上的 MBE 成長 GaAsSb の評価」講演予稿集第1分冊
 - 9) 第56回応用物理学関係連合講演会 (2009年3月30日, 筑波)

- 井上直久、須田良幸、山口雄一郎、河村裕一、久保田嘉孝
 “SiC 薄膜の赤外吸収” 2aE-8
- 10) 第 56 回応用物理学関係連合講演会
 (2009 年 3 月 30 日, 筑波)
 井上直久、後藤安則、杉山隆英、河村裕一、久保田嘉孝
 “低炭素濃度 CZ-Si 結晶中の低線量照射誘起複合体の赤外吸収” 2aE-4
- 11) 第56回応用物理学関係連合講演会
 (2009年3月31日, 筑波)
 三浦広平, 永井陽一, 稲田博史,
 猪口康博, 坪倉光隆, 河村裕一
 “InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸を受光層に用いた低暗電流 pin フォトダイオード” 講演予稿第 1 分冊, 31a-11.
- 12) 第 56 回応用物理学関係連合講演会
 (2009 年 3 月 31 日, 筑波)
 米澤康弘、河村裕一、三浦広平, 猪口康博
 ” InP 基板上の MBE 成長 InGaAs/GaAsSb 歪補償タイプ II 多重量子井戸層の評価” 講演予稿集第 1 分冊, 31a-9.
- 13) 第69会応用物理学学会学術講演会 (2008年9月5日, 名古屋)
 井上直久、後藤康則、杉山隆英、河村裕一
 ” 低炭素濃度CZ-Si結晶中の低線量照射複合体の赤外吸収” 講演予稿集第1分冊, 367.
- 14) 第69会応用物理学学会学術講演会 (2008年9月5日, 名古屋)
 吉川真央、三浦広平, 永井陽一, 猪口康博、河村裕一
 ” InP上にMBE成長した厚いInGaAsSbNの光学的評価” 講演予稿集第1分冊, 294.
- 15) 第 69 会応用物理学学会学術講演会
 (2008 年 9 月 3 日, 名古屋)
河村裕一、三浦広平、坪倉光隆、岡田浩
 ” InP 基板上の GaAsSb と InGaAs/GaAsSb タイプ II 量子井戸の TEM 観察” 講演予稿集第 1 分冊, 285.
- 16) 第 68 会応用物理学学会学術講演会
 (2008 年 9 月 3 日, 北海道) 河村裕一、井上直久
 ”InP 基板上の InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸ダイオードの発光特性” 講演予稿集第 1 分冊, 340.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 4 件)

- 1) 名称「新規受光素子」
 発明者：河村裕一
 権利者：大阪府立大学
 種類：特願
 番号：2007-002104
 出願年月日：2007 年 4 月 1 0 日
 国内外の別：国内
- 2) 名称「受光デバイス」
 発明者：河村裕一
 権利者：大阪府立大学
 種類：特願
 番号：2007-190281
 出願年月日：2007 年 5 月 1 5 日
 国内外の別：国内
- 3) 名称「半導体ウェハ・その製造」
 発明者：河村裕一
 権利者：大阪府立大学
 種類：特願
 番号：2007-76446
 出願年月日：2007 年 7 月 7 日
 国内外の別：国内
- 4) 名称：「半導体素子」
 発明者：河村裕一
 権利者：大阪府立大学
 種類：特願
 番号：2008-119978
 出願年月日：2008 年 8 月 7 日
 国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ:

<http://tokachi.riast.osakafu-u.ac.jp/%7Esentan4/home.html>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 河村 裕一 (KAWAMURA YUICHI)
 大阪府立大学・産学官連携機構・教授

研究者番号：80275289

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし