

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 8 月 30 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04666

研究課題名(和文)新しいナノ構造半導体を用いた高性能中赤外デバイスの創成

研究課題名(英文)Fabrication of mid- infrared devices with nwe nano-structure

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：新しい量子ナノ構造を用いた波長3～5μm帯の中赤外デバイスの創成を目的として、分子線結晶成長法(MBE)を用いて量子ナノ構造を作成し、その特性を評価するとともに、発光型デバイスも試作しその発光特性を調べた。まずInGaAsN/GaAsSbタイプIIダイオード(発光波長2.6μm)のアニール効果を調べた。その結果550℃でアニールした場合は発光波長が3.4μmに、600℃でアニールした場合は発光波長が4.2μmにシフトすることが分かった。またアニールするとともにInGaAsN発光層の有効質量が減少することもあきらかとなった。これはアニールにより窒素原子が拡散していることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：We fabricated new type of quantum well structures for 3～5μm mid-infrared devices by molecular beam epitaxy(MBE) and characterized their optical properties. First, we studied annealing effects on the emission properties of InGaAsN/GaAsSb type II diodes and found that the emission wavelength of the diodes shifts from 2.6μm to 3.4μm by 550℃ annealing and to 4.2μm by 600℃ annealing. In addition, the effective mass of the InGaAsN layers decreases by the annealing. This is considered to be due to that Nitrogen atoms diffuse to cladding layers from InGaAsN active layers by the annealing.

研究分野：半導体

キーワード：量子井戸 中赤外デバイス 分子線結晶成長法

1. 研究開始当初の背景

波長 3 ~ 5 μm 帯における中赤外半導体レーザー光源および光検出器は、 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ー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。

2. 研究の目的

本研究は波長 3 ~ 5 μm 帯の高性能中赤外デバイスを、新しいナノ構造半導体を用いて実現することを目的としている。具体的には InP 基板上的 InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸構造を対象とする。この材料系は我々の研究グループで初めて提案されたものであり波長 3 ~ 5 μm 帯の光源および光検出器として極めて有望な材料系である。作製した結晶の結晶学的、電気的および光学的特性を調べることにより成長条件および構造の最適化を図り、室温で安定に動作可能な波長 3 ~ 5 μm 帯の中赤外光デバイスを実現することにより、環境計測、化学分析、医療等の分野への応用を目指す。

3. 研究の方法

本研究においては InP 基板の上に InGaAsN/GaAsSb タイプ II 量子井戸を分子線結晶成長法 (MBE) で作製し、その発光特性をフォトルミネッセンス法やエレクトロルミネッセンス法で測定した。また電流電圧特性についてもアニール効果を検討した。また低温強磁場の条件で InGaAsN/GaAsSb 多重量子井戸層の電気伝導特性についても測定した。それらの結果からアニール効果のメカニズムを検討し、成長条件にフィードバックすることにより高性能の中赤外デバイスを実現した。

4. 研究成果

InP基板をベースとした

InGaAsN/GaAsSb量子井戸ダイオード (発光波長 2.6 μm) に対してアニール処理の効果を調べた。その結果、550 K でアニールすることにより波長 3.3 μm の発光を観測した。さらにアニール温度を 500 K から 600 K に増加させることにより、発光波長を 4.2 μm まで長波長化することを見出した (図 1)。

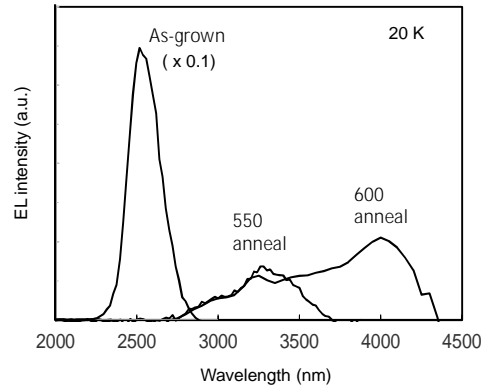


図 1 EL スペクトルのアニール効果

ただし発光強度は約一桁低下することも明らかとなった。また電流電圧特性において、アニールによりダイオードの逆方向電流が増大することも観測した (図 2)。

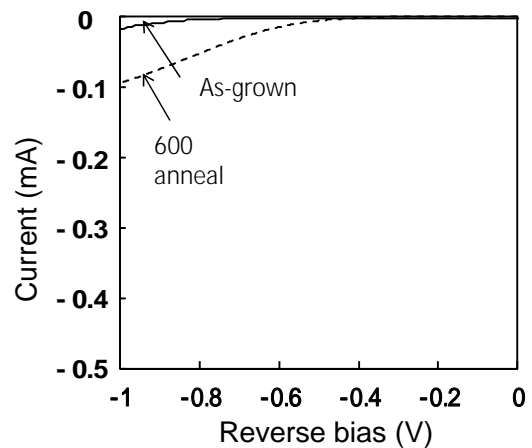


図 2 電流電圧特性のアニール効果

上記の原因を明らかにするため、低温磁場測定により InGaAsN/GaAsSb 量子井戸構造のアニール効果を調べた。アニール温度は 550 K

0 及び600 とした。試料として50周期のInGaAsN/GaAsSb多重量子井戸層を用いた。有効質量はドハースシュブニコフ振動から評価した(図3)。

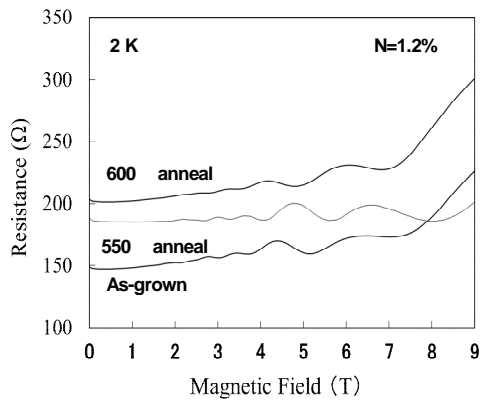


図3 ドハースシュブニコフ振動

その結果、アニールにより電子の有効質量が減少することが判明した。図4よりアニール無しでは0.062であるのに対し、550 では0.056、600 では0.051となっている。

	effective mass (m^*/m_0)
As-grown	0.062
550 anneal	0.056
600 anneal	0.051

図4 有効質量のアニール効果

以上の実験事実はInGaAsN層中の窒素原子がGaAsSb層に拡散していることを示唆している。GaAsSb層中に入りこんだ窒素原子が深い準位を形成し、これが発光波長の長波長化をもたらしているのではないかと考えられる。アニールによる長波長化のメカニズムに関しては今後さらに詳細に原因を調べる必要があると思われる。

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3件)

- (1) "Effective mass of two-dimensional electrons in InGaAsN/GaAsSb type II quantum well by Shubnikov-de Haas oscillations"
Shuichi Kawamata, SHO Tanaka,
Y. Kawamura
Journal of Appl. Phys. **120**, 142109 (2016)
- (2) "Annealing Effects on the Properties of InGaAsN/GaAsSb Type-II Quantum Well Diodes Grown on InP Substrates"
Y. Kawamura, I. Shishido, S. Tanaka, S. Kawamata
Phys. Status Solidi A, **214**, 1600510 (2017).
- (3) "Annealing effect on effective mass of two-dimensional electrons in InGaAsN/GaAsSb type II quantum well"
Shuichi Kawamata, Sho Tanaka, Akira Hibino and Yuichi Kawamura
Journal of Physics: Conf. Series **969** (2018) 012151

[学会発表](計3件)

- (1) "Effective Mass of Two-Dimensional Electrons in InGaAsN/GaAsSb Type II Quantum Well by Shubnikov-de Haas Oscillation."
S. Kawamata, A. Hibino, S. Tanaka,
Y. Kawamura
2nd International Symposium on Frontiers in Materials Science, November (2015) Tokyo, Japan
- (2) "Annealing Effects on the Electroluminescence of InGaAsN/GaAsSb Type- Quantum Well Diodes Grown on InP Substrates"
Y. Kawamura, I. Shishido, S. Tanaka, S. Kawamata
The 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, (2016)
Toyama, Japan
- (3) " Annealing effects on effective mass

of InGaAsN/GaAsSb quantum well structures.

S. Kawamata, S. Tanaka, Y. Kawamura
28th International Conference on Low Temperature Physics, Sweden 2018

〔図書〕(計1件)

Molecular Beam Epitaxy
シュプリンガーフェアラグ(2018)

〔雑誌論文の査読〕(1件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

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：

(4) 研究協力者

川又修一 (KAWAMATA SHUICHI)