

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360139

研究課題名（和文） III-N-V半導体における原子緩和に関する研究

研究課題名（英文） Study on atomic relaxation of III-N-V semiconductor

研究代表者

近藤 正彦 (KONDOW MASAHIKO)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：90403170

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料、III-N-V 半導体

1. 研究計画の概要

近年のIT社会の爆発的發展により、情報伝送の急速な高速化および大容量化が求められている。ユビキタス社会を実現するために端末の無線化が進行しているが、その裏側で光通信が高速・大容量伝送を支えており、光通信が今以上に重要な役割を果たすことに異論はない。研究代表者は、現在光通信用半導体レーザのブレークスルー材料と考えられているGaInNAs（ガリウム・インジウム・窒素・ひ素＝ゲイナスと略称）という新しい半導体材料を提案・創造した。GaInNAs等のIII-N-V半導体は従来のIII-V族混晶半導体の物性の枠を打破できるので、素子設計に極めて大きな自由度を与える。研究代表者の先導的業績により、III-N-V半導体の研究は世界中で進展し、現在半導体研究の一分野となっている。研究代表者のGaInNAs関連の論文引用数は合わせて2000件を越えている。

III-N-V半導体の独特な物性は窒素原子の添加による。窒素原子の原子半径は他のIII, V元素と比べて著しく小さい。その為、窒素原子は近接する原子の位置を変化させて極局所的な歪を引き起こす。（原子サイズでの組成変調や原子位置の変動は、ショートレンジオーダーリングとか原子緩和とか呼ばれる。本研究では、以下、原子緩和と呼ぶ。）しかしながら、III-N-V半導体の原子緩和に関する実験的な研究は少なく、未解明のまま残っている。

熱力学的に不/準安定なIII-N-V半導体の結晶成長は、相分離を抑制するため一般に低温で行われる。結晶の高品質化のためには、成長後の熱処理（アニール）が有効である。GaInNAsにおいては、このアニール時にバン

ドギャップが増大し、短波長化（ブルーシフト）する奇妙な現象が発生する。この原因解明は、長波長帯半導体レーザの材料であるGaInNAsにとって非常に重要である。

本研究では、GaInNAs結晶のアニール時のバンドギャップのブルーシフトの原因を明らかにすることを最終目的とし、未だ解明されていないIII-N-V半導体の原子緩和と実験的に調べることを期間内の目標に定める。

2. 研究の進捗状況

本研究は、従来に報告の無い、Ga-K端近傍のX線吸収微細構造（XAFS）スペクトルを測定することで、アニールが原子配列に与える影響について考察することを軸に展開する。XAFS法は、固体中のボンドの長さや結合角等を直接的に測定できる数少ない実験方法である。しかし、測定対象の元素の含有率（組成）が小さい場合には、一般に測定が困難であり、測定方法に特別な工夫やノウハウが必要である。本研究では、この測定分野で第1人者である江村修一が研究分担当する。江村達は、GaN:Cr結晶中で組成が僅か1%のCr元素のXAFS測定に成功している。GaInNAsの場合、N組成が数%で上記GaN:Crの場合と同程度であるが、悪いことに軽元素であるN元素はX線の吸収率が非常に小さくN元素のXAFS測定は不可能である。そのため、N元素が結合するGa元素もしくはIn元素のXAFS測定を行い、Ga-NボンドあるいはIn-Nボンドを調べなければならない。現在までに報告されているGaInNAsのXAFS測定は全てIn元素について行われたものである。GaInNAs中におけるIn-Nボンドの数は非常に少ないので、

良好な測定を行うことが困難である。GaInNAs結晶中でのGa-Nボンド数は、混晶組成にも依存するが、In-Nボンドより1桁程度多く、より正確なXAFS測定が期待できる。しかし、GaInNAs結晶はGaAsウエハ上にエピ成長されるので、Ga元素のXAFS測定では、GaInNAs層からの情報はGaAs基板ウエハの情報に埋もれてしまい観測できない。そこで本研究では、エピタキシャルリフトオフ手法を用いて特殊試料を準備することで、GaAs基板の情報を含まない、GaInNAs Ga-K端のXAFS測定を試みる。

3. 現在までの達成度

③やや遅れている。

(理由) 本研究を行っていた研究室の建物が耐震基準を満たしてなかったため、その耐震工事が平成22年8月より急遽開始され、研究室を移転することとなり、試料作製の結晶成長実験を行うことができなくなった。研究を再開できるのが平成23年4月となったため、8ヶ月の遅延が生じている。

4. 今後の研究の推進方策

昨年度までに、エピタキシャルリフトオフの基盤技術を確立した。今年度は、GaAs基板の情報を含まない、GaInNAsのXAFS測定を試みる。また、X線光電子分光(XPS)法などの他の測定を行いその結果を、総合的に鑑みて、最終目標であるN周辺の原子緩和について新しい知見を得たいと考えている。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計11件)

- ① H. Nakamoto, F. Ishikawa, M. Kondow, Y. Ohshima, A. Yabuuchi, M. Mizuno, H. Araki, Y. Shirai: "Reduction of S-parameter by the Introduction of Nitrogen in GaNAs: Positron Annihilation and Photoluminescence Spectroscopy Study" to be published in Jpn. J. Appl. Phys. 査読有
- ② F. Ishikawa, S. Fuyuno, K. Higashi, M. Kondow, M. Machida, H. Oji, J.-Y. Son, A. Trampert, K. Umeno, Y. Furukawa, and A. Wakahara: "Direct observation of N-(group V) bonding defects in dilute nitride semiconductors using hard x-ray photoelectron spectroscopy" Appl. Phys. Lett. **98** (2011) 121915 査読有
- ③ K. Umeno, Y. Furukawa, N. Urakami, S.

Mitsuyoshi, H. Yonezu, A. Wakahara, F. Ishikawa, and M. Kondow: "Growth and luminescence characterization of dilute InPN alloys grown by molecular beam epitaxy" J. Vac. Sci. & Tech B **28** (2010) C3B22 査読有

- ④ K. Higashi, F. Ishikawa, K. Handa, S. Emura, and M. Kondow: "Epitaxial Lift-off for Sample Preparation of X-ray Absorption Fine Structure" Rev. Sci. Instr. **81** (2010) 043903 査読有
- ⑤ M. Kondow, F. Ishikawa, K. Umeno, Y. Furukawa, and A. Wakahara: "Infrared Absorption Spectrum of InNP" Appl. Phys. Exp. **3** (2010) 011001 査読有
[学会発表] (計27件)

- ① H. Nakamoto, F. Ishikawa, M. Kondow, Y. Oshima, A. Yabuuchi, M. Mizuno, H. Araki, Y. Shirai: "Reduction of S-parameter by the Introduction of Nitrogen in GaNAs: Positron Annihilation and Its Comparative Study with Photoluminescence Spectroscopy" 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, September 24, 2010.
- ② F. Ishikawa, M. Morifuji, S. Furuse, K. Nagahara, M. Uchiyama, K. Higashi, and M. Kondow: "Direct band engineering with sub-monolayer nitride into III-V quantum system" The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Berlin, August 24, 2010.
- ③ S. Emura, H. Nakamoto, F. Ishikawa, M. Kondow, and H. Asahi: "Temperature dependence of photoluminescence peak energy in Ga(In)NAs" The 30th International Conference on the Physics of Semiconductors, Seoul, July 27, 2010.
- ④ A. Fukuyama, T. Ikari, M. Yano, K. Sakai, H. Yokoyama, and M. Kondow: "Determination of the band gap and its exciton binding energy of 100nm thick GaInNAs films by using a piezoelectric photo-thermal and a photo-reflectance spectroscopy" European Materials Research Society 2010 Spring Meeting, Strasbourg, June 10, 2010.

[その他]

ホームページ

<http://www.e3.eei.eng.osaka-u.ac.jp>