

機関番号：34315

研究種目：特定領域研究（総括班）

研究期間：2006～2010

課題番号：18069013

研究課題名（和文）窒化物光半導体のフロンティア - 材料潜在能力の極限発現 -

研究課題名（英文）Optoelectronics Frontier by Nitride Semiconductor -Ultimate Utilization of Nitride Semiconductor Material Potential-

研究代表者

名西 やす之（NANISHI YASUSHI）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40268157

研究成果の概要（和文）：

窒化物半導体の持つ材料本来のポテンシャルからすれば、これまで開発された技術の適用波長範囲は、そのほんの一部でしかない。本特定領域においては、材料、物性、デバイスの全ての階層での全波長領域（紫外域～赤外域）にわたる横断的研究に取り組み、InN、AlN系窒化物半導体結晶に対する新規結晶成長技術の開発、欠陥物理、発光機構の解明および光デバイス発光波長領域拡大のための基盤技術開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

Nitride semiconductors have contributed a great deal to the development of our society. In terms of high intrinsic potential of the materials, however, nitride semiconductors presently produce only a part of the wavelength region from ultraviolet to infrared. The aim of this research area is to extract the full potential of nitride semiconductors. We have developed novel crystal growth techniques, deep understanding of defect physics and luminescence dynamics, and optical devices with wider emission wavelength.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,100,000	0	2,100,000
2007年度	4,300,000	0	4,300,000
2008年度	4,300,000	0	4,300,000
2009年度	4,300,000	0	4,300,000
2010年度	4,300,000	0	4,300,000
総計	19,300,000	0	19,300,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：窒化物光半導体のフロンティア（領域番号 464）

キーワード：窒化物半導体、結晶成長、半導体物性、光デバイス、紫外、赤外

1. 研究開始当初の背景

21世紀の重要な課題として、エネルギー、情報通信、環境、健康・医療などの問題があげられる。人類が利便性を追求しながら、持続的繁栄を追求していくためには、これらの重要な課題を解決する技術開発を積極的に進めていく必要がある。窒化ガリウム（GaN）、窒化アルミニウム（AlN）、窒化インジウム

（InN）に代表される窒化物半導体は、その優れた物理的特徴から、青色・緑色発光ダイオード（LED）、白色光源、青紫色レーザー（LD）などを次々と実現し、短期間のうちに実用化を成し遂げ、社会の発展に大きく寄与してきた。しかし、窒化物半導体のもつ材料本来の能力（ポテンシャル）からすれば、これまで開発された技術の範囲は、そのほんの一部で

しかない。これらの窒化物半導体は、いずれも直接遷移形で、AlNの6.2 eV(200 nm)から、InNの約0.65 eV(1.9 μm)までの極めて広いバンドギャップ(波長)の範囲をカバーしている。すなわち多くのIII-V族、II-VI族化合物半導体の波長範囲を、窒化物半導体のみでカバーできることを意味している。一方、実質的なLED動作が報告されている波長範囲は、このうち280 nmから600 nm程度であり、また発振が確認されているLDの波長範囲は、さらに狭い340 nmから480 nmの範囲でしかない。これらの値は、あくまで研究段階のトップデータであり、十分な輝度があり実用に供される波長範囲は、これよりさらにずっと狭い領域に限られているのが現状である。多くの研究者が連携して重点的に研究開発を進め、材料本来の性能を極限まで引き出すことができれば、今後極めて大きな波長範囲をカバーする新領域光エレクトロニクスが、窒化物半導体のみにより実現できることを示している。

2. 研究の目的

窒化物半導体は、その優れた物理的特徴から、青色・緑色発光ダイオード(LED)、白色光源、青紫色レーザ(LD)などを次々と実現し、短期間のうちに実用化を成し遂げ、社会の発展に大きく寄与してきた。しかし、窒化物半導体のもつ材料本来の能力(ポテンシャル)からすれば、これまで開発された技術の範囲は、そのほんの一部でしかない。ここに提案する研究の目的は、窒化物半導体が本来持つ優れた潜在能力を極限まで引き出し、新領域光エレクトロニクス分野を開拓することによって、21世紀の課題解決のための重要な科学・技術の基盤を構築しようとするものである。

窒化物半導体の未踏波長領域においては、材料の基本物性についても未だ不明な点が多い。したがって、結晶成長から物性の理論解析・評価・制御、デバイス化応用技術にいたるまでの各方面における重点的な研究を、深く相互に連携しながら有機的に進めることなくしては、この優れた潜在能力を実際のデバイスとして人類が享受することは極めて難しいと言える。このため、本特定領域研究内では、A01 結晶成長技術、A02 物性評価、A03 短波長デバイス基盤技術、A04 長波長デバイス基盤技術の4研究項目を掲げ、重点的計画研究を推し進める。これらの研究の成果は21世紀のエネルギー、環境問題、情報通信、健康・医療の課題を同時に解決することのできる新しい光エレクトロニクス研究領域の創造へと結びつくことと期待される。

3. 研究の方法

本特定領域研究では、2006年度よりA01

結晶成長技術、A02 物性評価、A03 短波長デバイス基盤技術、A04 長波長デバイス基盤技術の4つの研究項目において、計画研究を開始した。

研究項目A01「結晶成長技術」では、高品質InNおよびその混晶の薄膜・ナノ構造の結晶成長技術に関する検討を行い、プラズマ励起MBE法、レーザ光パルスを用いた新しい低温堆積技術、各種反応種、成長条件、励起手法などを用いたMOVPE技術などの研究を行う。またInN基板を含む各種基板材料の探索も並行して検討した。

研究項目A02「物性評価」では、窒化物半導体発光デバイス設計に必須な物性値を明らかにし、量子構造における輻射・非輻射再結合過程を解明することにより、発光波長の深紫外への超短波長化、赤・赤外への超長波長化を進め、さらに窒化物系の優れた物性を活かした超高効率化対策を打ち出すことを目的とした。

研究項目A03「短波長デバイス基盤技術」では、既に電流注入による発光は観測されているものの、その外部量子効率が数%或いはそれ以下に留まっている波長350 nm以下のLED、および光励起では250 nm以下の発振まで確認されているものの、電流注入では350 nm以上に留まっているLDについて、現在までに培った独自技術を基にした新しい取り組みによる基盤技術の確立を行った。

研究項目A04「長波長デバイス基盤技術」では、AlInGaIn系半導体の優れた材料特性を基礎に、新しい窒化物光デバイスを創成して、従来の窒化物半導体の限界を打破し、情報、通信、エネルギー分野に寄与するAlGaInN系光デバイスを開拓することを目的とした。

研究期間は、2006年度～2010年度までの5年間とし、それぞれの研究項目では、総計13件の計画研究を実施した。また、2007年度からは、計画研究を補充する公募研究も開始した。

総括班における役割分担として、領域代表者である名西が中心となり、各研究項目の総括者(A01:名西、A02:吉川、A03:天野、A04:岸野)との間において、研究項目間の連携の強化、調整を密に図り、領域全体の方針策定・立案・調整を進めた。

さらに総括班内には、客観的且つ公正な内部評価を行うため評価担当者を配置した。評価担当者は、本特定領域研究分野が強く関連する化合物半導体研究分野において、それぞれ結晶成長、半導体物性、量子物性、半導体デバイス研究における世界的権威である。研究会などを通じて、評価担当者へ適宜研究の進捗状況を報告し、意見を聴取することにより、本特定領域研究計画へのフィードバックを有機的に行った。

4. 研究成果

総括班として実施した各年度の具体的な活動を以下に示す。

2006年度、本特定領域研究発足後、2006年9月2日(土)立命館大学びわこ・くさつキャンパスローム記念館において、キックオフミーティングを開催した。名西領域代表による本特定領域全体概要説明に引き続き、13の各計画研究代表者から研究内容の概要と今後の研究計画についての発表を行った。

また、年度末の成果報告会として、2007年3月5日(月) - 6日(火)熱海後楽園ホテルにおいて、2006年度研究成果報告会を開催し、各研究項目間の成果共有を図った。

上記両会議にあわせて、第1回(2006年8月31日(木))、第2回(2007年3月5日(月))の総括班ミーティングを行い、総括班メンバー、評価担当者出席のもと、研究方針策定、研究会企画などを議論した。

研究動向調査としては、窒化物半導体国際ワークショップ(IWN2006)(2006年10月22 - 26日、京都)、アジア太平洋ワイドバンドギャップ半導体ワークショップ(APWS、韓国)(2007年3月11 - 14日)、2007年春季第54回応用物理学関係連合講演会(2007年3月27 - 30日、神奈川)に出席し、情報収集を行った。

2007年度は、2007年7月7日(土)立命館大学びわこ・くさつキャンパスローム記念館において、研究会を開催した。本会では、領域代表による本領域全体概要説明および各項目代表からの研究項目概要説明に引き続き、2007年度より新たに領域に参画した7件の公募研究課題研究代表者から研究内容の概要と今後の研究計画についての発表を行った。

また2007年9月5日(水)北海道工業大学にて、2007年秋季第68回応用物理学会学術講演会シンポジウム「窒化物の新展開」特定領域研究企画「窒化物光半導体のフロンティア」-材料潜在能力の極限発現-を開催した。領域代表によるイントロダクトリートークに引き続き、計画研究代表者8名による研究成果が発表された。会場は常時立ち見が得るほどの大盛況で、300名程度の参加者を得た。各講演に対して質疑応答も活発に行われ、窒化物半導体のフロンティア領域に対する関心が非常に高いことを示すものであった。

年度末の成果報告会として、2008年3月12日(水) - 13日(木)熱海後楽園ホテルにおいて、2007年度研究成果報告会を開催し、計画研究、公募研究あわせて全20件の成果報告を行い、各研究項目間の成果共有を図った。

上記会議にあわせて、第3回(2007年7月7日(土))、第4回(2008年3月12日(水))の総括班ミーティングを行い、総括班メンバー、評価担当者出席のもと、研究方針策定、研究会企画などを議論した。

2008年度は、2008年8月1 - 2日東京学士会館にて、特定領域研究公開シンポジウム「窒化物光半導体のフロンティア」-材料潜在能力の極限発現-を開催した。大学・企業関係から約150名の研究者が集まり、口頭講演、ポスターセッションを通じて各講演に対して質疑応答も活発に行われた。

また、本特定領域研究が主催として、2008年7月6 - 9日伊豆ラフォーレ修善寺にて、Second International Symposium on Growth of III-Nitrides(ISGN-2)を開催した。国内外から約260名の研究者が参加し、本特定領域メンバーからも数多くの優れた成果発表がなされたとともに、最新のデータが発表・議論されるなど本分野の研究活動のさらなる発展に大きく貢献した。

9月には中間審査ヒアリングを受け、評価結果:A(現行のまま推進すればよい)の中間評価結果を頂いた。

年度末の成果報告会として、2009年3月11 - 12日鳥羽シーサイドホテルにおいて、2008年度研究成果報告会を開催し、計画研究、公募研究あわせて全20件の成果報告を行い、各研究項目間の成果共有を図った。

上記会議にあわせて、第5回(2008年8月2日)、第6回(2009年3月12日)の総括班ミーティングを行い、総括班メンバー、評価担当者出席のもと、研究方針策定、研究会企画などを議論した。

2009年度は、研究会として、2009年7月11日(土)立命館大学びわこ・くさつキャンパスにて、2009年度研究会を開催し、本会では、領域代表による本領域全体概要説明に引き続き、2009年度より新たに領域に参画した7件の公募研究課題研究代表者から研究内容の概要と今後の研究計画についての発表を行った。

また2009年9月9日(水)富山大学にて、2009年秋季第70回応用物理学会学術講演会シンポジウム「窒化物の新展開」特定領域研究企画「紫外発光素子の進展」を開催した。領域代表によるイントロダクトリートークに引き続き、7名による研究成果が発表された。会場は常時立ち見が得るほどの大盛況で、各講演に対して質疑応答も活発に行われ、窒化物半導体紫外発光素子に対する関心が非常に高いことを示すものであった。

年度末の成果報告会として、2010年3月15日(月) - 16日(火)長浜ロイヤルホテルにおいて、2009年度研究成果報告会を開

催し、計画研究、公募研究あわせて全 19 件の成果報告を行い、各研究項目間の成果共有を図るとともに、全体パネルディスカッションを行い、最終年度へ向けた研究方針について議論した。

上記会議にあわせて、第 7 回（2009 年 7 月 11 日）、第 8 回（2010 年 3 月 15 日、16 日）の総括班ミーティングを行い、総括班メンバー、評価担当者出席のもと、研究方針策定、研究会企画などを議論した。

2010 年度は、年度末の成果報告会として、2011 年 3 月 1 日（火） - 2 日（水）長浜口イタルホテル（滋賀県長浜市）において、2010 年度研究成果報告会を開催した。13 件の計画研究、7 件の公募研究、あわせて 20 件の研究課題からの成果報告を行った。今回が最終年度の報告会となるため、各研究代表者は、研究計画書の内容に基づき、特定領域研究開始当初のターゲット、領域内、グループ内での役割・分担、現在までの到達点、成果、国際的位置づけおよび今後の課題などについてまとめた報告を行った。また成果報告会の最後には、全体討論を行い、領域代表者、各項目代表者を中心として、5 年間の特定領域としての成果のまとめ、今後の展開など総括を行った。

上記会議にあわせて、第 9 回（2011 年 3 月 1 日、2 日）の総括班ミーティングを行い、総括班メンバー、評価担当者出席のもと、研究活動の総括、今後の報告活動の予定策定などを検討した。

対外活動としては、日本結晶成長学会ナノ構造・エピタキシャル成長分科会 第 2 回窒化物半導体結晶成長講演会「窒化物半導体結晶成長の新しい流れ」（2010 年 5 月 14 日（金）～15 日（土）三重大学）を共催として開催し、関連研究成果の普及に努めた。

5．主な発表論文等
総括班としての発表論文等はない。

〔その他〕

研究成果公表の手段として、ホームページを開設し、領域の概要、研究項目、組織、研究会情報などを公開している。

<http://www.bkc.ritsumei.ac.jp/~tara/tokutei/index.htm>

6．研究組織

(1)研究代表者

名西 やす之（NANISHI YASUSHI）
立命館大学・理工学部・教授
研究者番号：40268157

(2)研究分担者

吉川 明彦（YOSHIKAWA AKIHIKO）
千葉大学・工学部・教授
研究者番号：20016603

天野 浩（AMANO HIROSHI）
名古屋大学・理工学部・教授
研究者番号：60202694

岸野 克巳（KISHINO KATSUMI）
上智大学・理工学部・教授
研究者番号：90134824

川上 養一（KAWAKAMI YOICHI）
京都大学・工学研究科・教授
研究者番号：30214604

荒木 努（ARAKI TSUTOMU）
立命館大学・理工学・准教授
研究者番号：20312126

船戸 充（FUNATO MITSURU）
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号：70240827

(3)研究協力者（評価班として）

赤崎 勇（AKASAKI ISAMU）
名城大学・教授、名古屋大学・特別教授、
名誉教授

佐々木 昭夫（SASAKI AKIO）
京都大学・大阪電気通信大学 名誉教授

高橋 清（TAKAHASHI KIYOSHI）
東京工業大学・名誉教授、最高裁判所・専門委員

西永 頌（NISHINAGA TATAU）
豊橋技術科学大学・客員教授、東京大学・
名誉教授