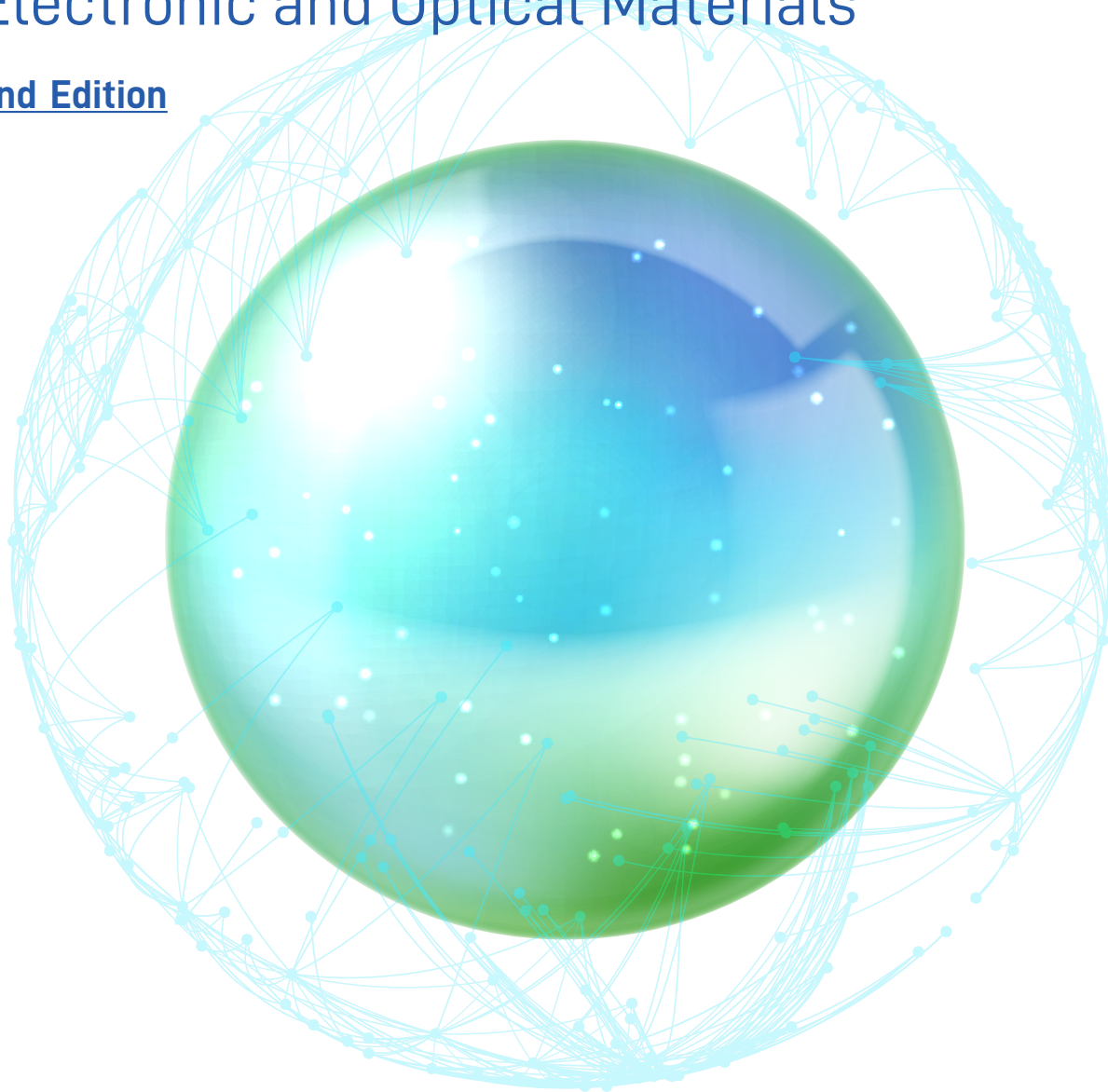




電子・光機能材料研究センター

Research Center for
Electronic and Optical Materials

2nd Edition



はじめに

本センターでは、我が国のマテリアル革新力の根幹となる基盤技術である電子・光機能材料の競争力維持と追隨を許さない開発力の獲得に向けた研究開発を進めます。

人類の持続的発展の実現のためには、社会システムの変革に向けた材料技術の創出が求められています。社会システムの効率化によるエネルギー消費削減は持続性への必要条件であることから、革新的な高効率化によってエネルギー消費の削減を実現するための半導体や光学材料の開発を進めます。また、人々の生活に安全や安心を与えるシステムの構築に向け、バイオセンサ、化学センサや赤外線センサなどのセンサ材料の感度や信頼性の向上と、それらの材料の非毒化を推進します。

This center will carry out research and development aimed at maintaining the competitiveness of electronic and optical functional materials, which are the core technologies of Japan's material innovation, and acquiring unrivaled development capabilities.

In order to realize the sustainable development of mankind, the creation of material technology for the transformation of social systems is required. Reducing energy consumption by improving the efficiency of social systems is a necessary condition for sustainability. In addition, we will improve the sensitivity and reliability of sensor materials such as biosensors, chemical sensors, and infrared sensors, and promote the detoxification of these materials in order to build systems that provide safety and security to people's lives.



センター長 兼 機能材料分野長

大橋直樹

Director of the Center and Functional Materials field
Naoki Ohashi



光学材料分野長

島村清史

Director of Optical Materials Field
Kiyoshi Shimamura

電子・光機能材料研究センター

Research Center for Electronic and Optical Materials

CONTENTS

機能材料分野

02 電子セラミックスグループ

03 超ワイドギャップ半導体グループ

04 次世代半導体グループ

05 資源循環材料グループ

06 ナノ電子デバイス材料グループ

Functional Materials Field

Electroceramics Group

Ultra-wide bandgap Semiconductors Group

Next-generation Semiconductor Group

Environmental Circulation Composite Materials Group

Nano Electronics Device Materials Group

光学材料分野

07 光学単結晶グループ

08 高機能光学セラミックスグループ

09 次世代蛍光体グループ

10 半導体エピタキシャル構造グループ

11 量子フォトニクスグループ

12 ナノフォトニクスグループ

13 半導体欠陥制御グループ

14 多結晶光学材料グループ

Optical Materials Field

Optical Single Crystals Group

Optical Ceramics Group

Advanced Phosphor Group

Semiconductor Epitaxial Structures Group

Quantum Photonics Group

Nanophotonics Group

Semiconductor Defect Design Group

Polycrystalline Optical Material Group

15 独立研究者

16 上席研究員

Independent Researcher

Managing Researcher

電子セラミックスグループ Electroceramics Group

グループリーダー
大橋 直樹

Group Leader
Ohashi.naoki

連絡先 Contact

Mail Ohashi.naoki@nims.go.jp

TEL 029-860-4867 FAX 029-855-1196

目的 Purpose

電子セラミックスとは、絶縁性、導電性、磁性、光学特性などの電子の振る舞いと機能が直結したセラミックスです。パソコンなどの電子機器、変電所のような電気設備に組み込まれます。近年、チップ状の磁器にとどまらず、ウエファ上の薄膜など、様々な形態で用いられます。本グループでは、そうした電子セラミックスの高機能化や、製造技術の開発を進め、進歩の著しい情報・通信や、省エネ技術などへの貢献を目指します。

Electroceramics are ceramics exhibiting functionality, including dielectric, conductive, magnetic, and optical properties, originated in behavior of electrons, and are utilized in electronic devices, such as computers, and electric facilities, such as power stations. Those are not only in chip form but also in various forms, e.g., films on wafers etc. This group is engaged to obtain further higher functionality of electroceramics and technology for production of new electroceramics aiming to contribute development of information technology and energy saving systems.

アプローチ Approach

理論計算や蓄積した知見に基づく新物質・新材料の探索や得られた物質の電子状態の詳細な検討を進めています。特に、新しい半導体物質や新しい圧電体・強誘電体を見出し、従来にない機能を実現することを目指した検討を進めています。また、表面や接合等における機能発現に注目した研究を進めています。エピタキシャル薄膜、結晶・非晶質のナノ構造制御などの構造形成技術の開発を通じた新しい機能の取得を目指した検討を進めています。

This group performs exploration of new compounds and materials based on theoretical prediction and accumulated knowledge, and characterization of electronic structure of those materials. In particular, this group aims to realize new semiconductors, piezoelectric/ferroelectric materials exhibiting non-traditional functionality. In addition, this group pays attention to functionality originated at surface and interfaces: hence, this group also concentrates on

development of new processes, such as growth of epitaxial film and construction of nanostructures composed of crystalline and non-crystalline materials.

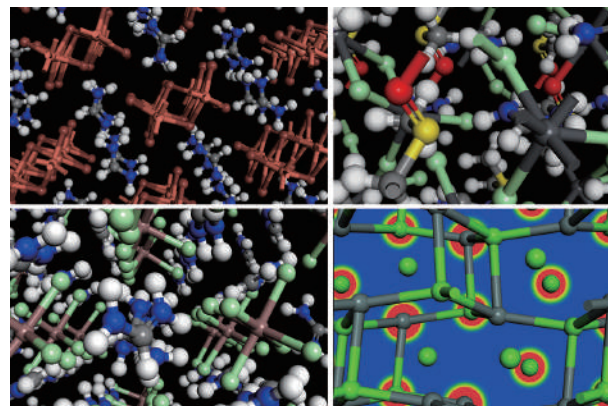


図1 新しい結晶構造を持つ有機・無機ハイブリッド結晶の探索や、電子状態シミュレーションによる新しい機能の探索

Fig.1 Exploration of new crystal structures, e.g., organic-inorganic hybrid crystals, and search on new functionality utilizing ab-initio calculations.

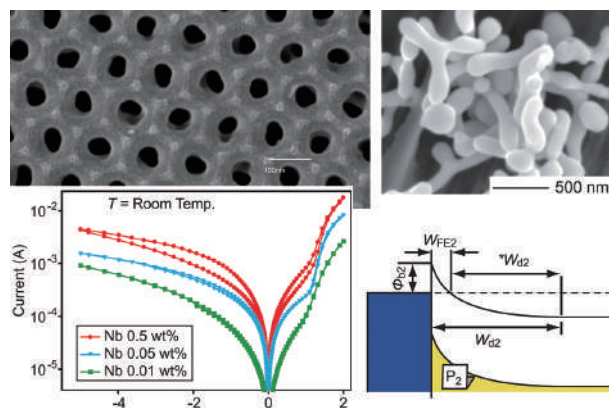


図2 ナノ構造表面やナノ粒子の形成プロセスの開発と表面・界面の新たな機能の探索

Fig.2 Development of new processes for fabrication of nano-structures and exploration of new functions at surfaces and interfaces

グループメンバー Group Members

大橋 直樹 Naoki OHASHI
坂口 勲 Isao SAKAGUCHI
鈴木 拓 Taku SUZUKI
岡田 勝行 Katsuyuki OKADA
瀬川 浩代 Hiroyo SEGAWA
安達 裕 Yutaka ADACHI
大澤 健男 Takeo OHSAWA

齋藤 紀子 Noriko SAITO
上田 茂典 Shigenori UEDA
大垣 武 Takeshi OGAKI
清水 荘雄 Takao SHIMIZU
飯村 壮史 Soshi IIMURA
末廣 隆之 Takayuki SUEHIRO
中村 真佐樹 Masaki NAKAMURA

超ワイドギャップ半導体グループ Ultra-wide Bandgap Semiconductors Group

グループリーダー

小泉 聡

Group Leader

Satoshi, KOIZUMI

連絡先 Contact

Mail koizumi.satoshi@nims.go.jp

TEL 029-860-4310

目的 Purpose

カーボンニュートラル社会の実現に向け、電力消費の低減は喫緊の課題です。パワー半導体素子の効率向上は省エネのために極めて有効な手段です。現状、ほとんどのパワー半導体素子はシリコンを用いて作られています。その性能は物質限界に近づいています。さらなる性能向上のために有望なのが、ワイドギャップ半導体の利用であり、SiCやGaNを用いてつくられたパワー半導体素子の普及が進みつつあります。我々は、それを超える高効率/高耐圧パワー半導体デバイスや耐環境デバイスの実現に資するべく、超ワイドギャップ材料の研究開発に取り組んでいます。

Reducing electricity consumption is an urgent issue in order to realize a carbon-neutral society. Improving the efficiency of power semiconductor devices is an extremely effective means of saving energy. Currently, most power semiconductor devices are made using silicon, but its performance is approaching the material limit. The use of wide bandgap semiconductors holds promise for further performance improvements, and power semiconductor devices made using SiC and GaN are becoming more widespread. We are working on research and development of ultra-wide bandgap materials in order to contribute to the realization of high-efficiency/high-voltage power semiconductor devices and environmentally resistant devices of ultimate semiconducting characteristics.

アプローチ Approach

超ワイドギャップ半導体材料は、高性能なパワー半導体素子用として優れたポテンシャルをもちますが、その実現のためには多くの技術課題を克服する必要があります。例えば、高欠陥密度、準安定性、ドーピング/コンタクト形成の困難、および高電界集中などが挙げられます。我々は、これらの技術課題の解決に貢献できるエピタキシャル成長技術や界面制御技術の確立を目指します。当面はダイヤモンド、酸化ガリウムを中心に取り組み、より新しいターゲットにも積極的に挑戦します。

Ultra-wide bandgap semiconductor materials have great potential for use in high-performance power semiconductor devices. However, many technical challenges related to crystalline defects, doping and device fabrication issues must be overcome in order to realize the ultimate semiconducting

devices. We aim to establish epitaxial growth technology and interface control technology that can contribute to solving these technical issues. For the time being, we will focus on diamond and gallium oxide, and will also actively take on newer targets.

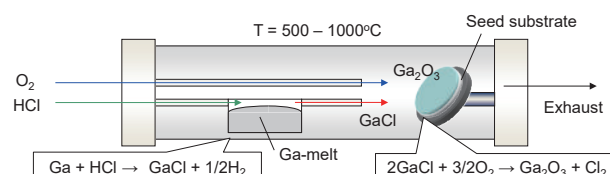


図1 HVPE (halide vapor phase epitaxy) による超高速・高純度酸化ガリウム成長技術の追求

→ 平衡定数の小さい化学反応により寄生反応を防ぎ、MOCVD等に比べ100倍以上の高速成膜、高純度化が可能で、高度な半導体制御に適した反応系を持つ。

Fig.1 Ultra-high-speed, high-purity growth of Gallium Oxide using HVPE (halide vapor phase epitaxy)

→ A chemical reaction with a small equilibrium constant prevents parasitic reactions, enabling film formation more than 100 times faster and with higher purity than MOCVD, etc.

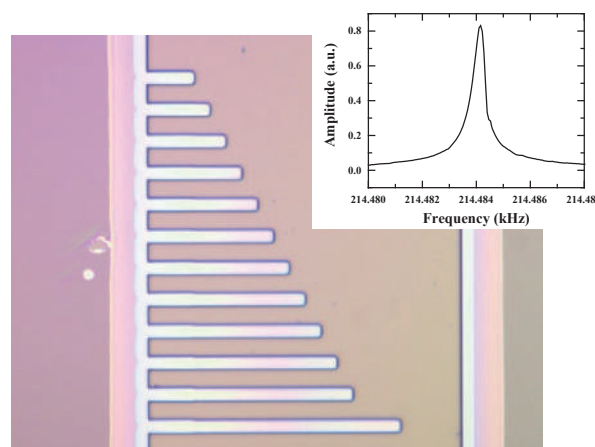


図2 ダイヤモンドMEMS共振器で世界最高の品質因子を達成
→ 極限的性能を持つ各種センサの実現（質量、加速度、磁気）

Fig.2 Achieving the world's highest quality factor with diamond MEMS resonators

→ Can be used for ultimate performance sensors (mass, acceleration, magnetism)

グループメンバー
Group Members

廖 梅勇 Meiyong LIAO

大島 祐一 Yuichi OSHIMA

大島 孝仁 Takayoshi OSHIMA

次世代半導体グループ Next-Generation Semiconductor Group

グループリーダー
小出 康夫 特命研究員

Group Leader
Yasuo Koide, Scientist with Special Missions

連絡先 Contact

Mail koide.yasuo@nims.go.jp

TEL 029-860-4311

目的 Purpose

窒化物半導体及びダイヤモンド半導体を中心に、異種接合、結晶成長、微細加工、並びにプロセス技術を含めて、次世代半導体材料開発と光電子デバイス開発を一体的に推進するとともに、材料デバイス設計及び動作原理指針を構築する。

Focusing on nitride and diamond semiconductors, we will promote the development of next-generation semiconductor materials and optoelectronic devices in an integrated manner, including heterojunction, epitaxial growth, microfabrication, and processing technologies, and establish guidelines for material device design and operating principles.

アプローチ Approach

- (1) 窒化物半導体薄膜の高品質化と物理現象の理解から機能高度化を進め、高電子移動度トランジスタ及び光電変換デバイスの特性向上につなげる。
 - (2) 窒化物半導体デバイスの環境雰囲気や材料物性が特性に与える影響を調べることによって信頼性向上をはかる。
 - (3) ダイヤモンド深紫外線検出器の真空紫外線及び陽子線の応答特性とデバイスの長期安定動作を目指す。
 - (4) ノーマリオン/オフ型動作モードの金属—酸化物—半導体電界効果トランジスタを組み合わせた極限環境下に強いダイヤモンド論理回路の開発を目指す。
 - (5) ダイヤモンド及び窒化物半導体の絶縁ゲート材料および低抵抗オーム性電極材料開発を進めるとともに半導体界面の材料設計指針を構築する。
- (1) Lead to improvement of the performance of high-electron mobility transistors and photoelectric conversion devices by improving the quality of nitride semiconductor thin films and advancing their functions based on an understanding of physical phenomena.
 - (2) Improve the reliability of nitride semiconductor devices by exploring the effects of environmental atmosphere and material properties on their characteristics.
 - (3) Improve the response characteristics of diamond deep-ultraviolet detectors to vacuum ultraviolet and proton beams and the long-term stable operation of the devices.

- (4) Develop diamond logic circuits which are robust under extreme conditions by combining metal-oxide-semiconductor field-effect transistors with normally-on/off operation modes.
- (5) Develop insulating gate materials and low-resistance ohmic contact materials for diamond and nitride semiconductors, and establish material design guidelines for semiconductor interfaces.

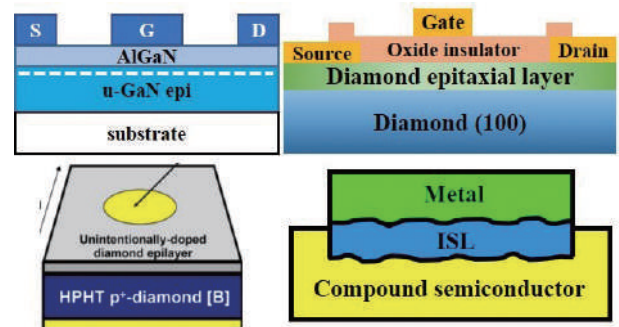


図1 次世代半導体グループにおいて目指す種々光電子デバイスの概略図

Fig.1 Schematic drawing of various optoelectronic devices aimed at in the next-generation semiconductor group



図2 窒化物半導体及びダイヤモンド半導体の気相成長装置の外観フォト

Fig.2 Photos of vapor phase growth equipment for nitride and diamond semiconductors.

グループメンバー Group Members

角谷 正友	主席研究員	Masatomo Sumiya, Chief Researcher
色川 芳宏	主幹研究員	Yoshihiro Irokawa, Principal Researcher
井村 将隆	主幹研究員	Masataka Imura, Principal Researcher
劉 江偉	主幹研究員	Jiangwei Liu, Principal Researcher

資源循環材料グループ Environmental Circulation Composite Material Group

グループリーダー
田村 堅志
Group Leader
Kenji TAMURA

連絡先 Contact

Mail TAMURA.Kenji@nims.go.jp
TEL 029-860-4370 FAX 029-860-4667

目的 Purpose

球環境問題の解決は喫緊の課題となっています。資源循環材料グループでは、資源回収・循環システムに貢献する基盤技術から応用化技術の開発に取り組んでいます。具体的には、廃棄物を再生可能な有価物に変換する取り組みや、天然資源を高付加価値化する技術の研究に重点を置いています。また、機能性だけでなく、天然資源を最大限に活用し、環境にも配慮した高性能複合材料の開発にも積極的に取り組んでいます。

Solving global environmental problems has become an urgent priority. The Environmental Circulation Composite Materials Group is dedicated to developing fundamental and applied technologies that contribute to resource recovery and recycling systems. Specifically, our focus is on converting waste into recyclable, valuable materials, as well as conducting research on technologies that enhance the value of natural resources. Additionally, we are actively engaged in the development of high-performance composite materials that are not only highly functional but also environmentally friendly, making optimal use of natural resources.

アプローチ Approach

- 再生材料の開発: バイオマスの普及を促進するため、物性バランスの課題を克服する複合化技術の開発に取り組み、天然鉱物や排気CO₂から合成した無機物質を強化フィラーとして活用する研究を行っています(図1a)。
- 循環型機能性材料の開発: 環境負荷の低い高スルホン化ポリマーと高保水粒子を使用した高速イオン伝導体の開発を進め。水素の製造/利用デバイスへの応用を目指します(図1b)。
- 理論アプローチ: 先進的な理論解析と実験実証を組み合わせ、物質の複雑な性質を徹底的に理解します(図2)。
- Development of Recycled Materials: In order to promote the widespread use of biomass, we are working on the development of composite technology to overcome the issues related to their physical properties. We are also conducting research on using inorganic materials synthesized from natural minerals and exhaust CO₂ as reinforcing fillers (Fig.1 a).
- Development of Circular Functional Materials: We are developing fast ionic conductors using highly sulfonated polymers with low environmental impact and highly water-retentive particles. Our goal is to apply them in hydrogen production/utilization devices (Fig.1 b).

- Theoretical Approach: We combine advanced theoretical analysis and experimental demonstrations to thoroughly understand the complex properties of materials (Fig.2).

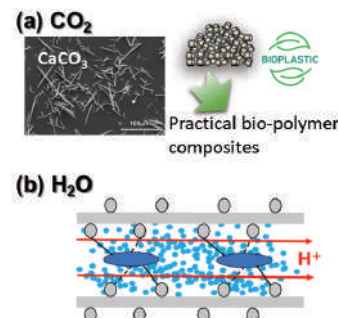


図1 資源活用型機能性複合材料の開発: (a) CO₂から得られる高性能フィラーを充填した高性能バイオ高分子複合材料開発, (b) 高スルホン化ポリマーと高保水粒子による高速イオン伝導体

Fig.1 Development of resource-utilization functional composite materials: (a) Development of high-performance bio-polymer composite materials filled with high-function fillers obtained from CO₂, (b) Fast ionic conductors with highly sulfonated polymers and highly water-retentive particles.

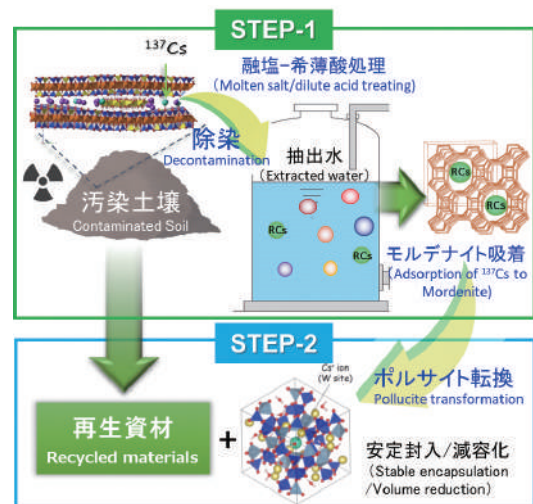


図2 理論解析と実験実証による汚染土壌減容化技術の開発 (STEP-1) 汚染土壌から放射性セシウムの分離処理(溶融塩/酸処理法) (STEP-2) 土壌再生と放射性セシウムのポルサイト封入—減容化

Fig.2 Development of technology for reducing the volume of contaminated soil through theoretical analysis and demonstration experiments. (STEP-1) The desorption treatment of radioactive Cs from contaminated soil using the molten salt-acid treatment method. (STEP-2) Soil regeneration and pollucite inclusion of radioactive Cs—volume reduction.

グループメンバー
Group Members
末原 茂 Shigeru SUEHARA
金 済徳 Jedeok KIM
佐久間 博 Hiroshi SAKUMA

ナノ電子デバイス材料グループ Nano Electronics Device Materials Group

グループリーダー
長田 貴弘
Group Leader
Takahiro NAGATA

連絡先 Contact

Mail NAGATA.Takahiro@nims.go.jp
TEL 029-860-4546 FAX 029-860-4916

目的 Purpose

半導体に代表される電子材料は、IoT、電気自動車などの新技術で多様な用途で使用されています。この中で高集積、多機能化に加えて高耐久性、高速動作や合成のしやすさなどのニーズが増加しています。当グループでは、電子材料の薄膜誘電体材料に注目し、高信頼性と次世代の高速/高電力電子素子に資する新薄膜材料の開発を目的としています。コンビナトリアル/データ駆動材料開発と界面評価技術を用いて、薄膜キャパシタ、メモリ素子、絶縁膜など次世代半導体素子に資する電子材料開発を目指します。

Nanoelectronics materials have been applied to various new devices for IoT, electric vehicle and so on. For these applications, demands of high reliability, high-speed operation, and high power are increasing. Our group focuses on thin-film dielectric materials in electronic materials with the aim of developing new thin-film materials that contribute to high reliability and next-generation high-speed/high-power electronic devices. Using combinatorial material development and interface evaluation techniques, we develop electronic materials that contribute to next-generation semiconductor devices such as film capacitors, memory devices, and high-k materials.

アプローチ Approach

高速薄膜材料合成技術であるコンビナトリアル材料合成・評価技術に加えて、マテリアルズ・インフォマティクスと外部連携を進め、更なる材料開発の加速を行います。また、電子素子応用では、異種材料接合界面が重要となります。我々は、特に光電子分光を用いた電圧印加での素子動作状態で界面の化学結合やバンドアライメントを解析するその場観察技術で多様な界面の電子・欠陥構造を解明してきました。これら合成・データ科学・高度評価技術の連携で新材料開発と素子応用への検証と問題解決を行います。

To accelerate the development of thin film materials, we are combining our combinatorial materials synthesis/evaluation technology with materials informatics. In addition, in the device application of new materials, the interfacial properties affect the physical and electrical properties. We have elucidated the electronic and defect structures of various interfaces using in-situ observation techniques, in particular

the application of voltage using photoelectron spectroscopy. We will verify and solve problems in the development of new materials and device applications through the collaboration of synthesis, evaluation, and data science.

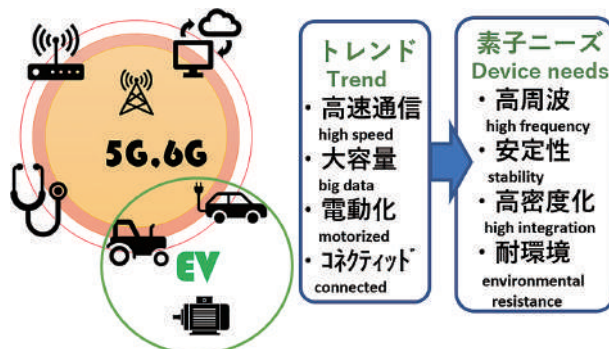


図1 研究のターゲット

Fig.1 Our research targets

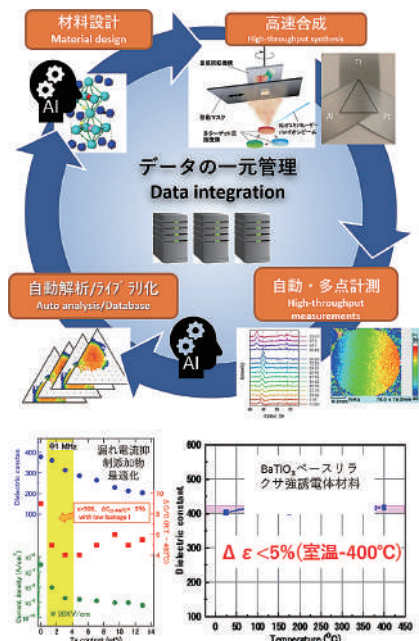


図2 コンビナトリアル手法を組み合わせたデータ駆動材料開発概略（上段）と添加物最適化による高温度安定高誘電体薄膜実現例（下段）

Fig.2 Schematic of data-driven materials development combining combinatorial methods (upper) and optimization of dopants to realize high-temperature stable high-dielectric thin films (lower)

グループメンバー
Group Members
木野 日織 Hiori KINO
山下 良之 Yoshiyuki YAMASHITA
柳生 進二郎 Shinjiro YAGYU

光学単結晶グループ Optical single crystals group

グループリーダー

島村 清史

Group Leader

Kiyoshi SHIMAMURA

連絡先 Contact

Mail SHIMAMURA.Kiyoshi@nims.go.jp

TEL 029-860-4692 FAX 029-851-6159

目的 Purpose

- 新しい単結晶材料の設計とバルク単結晶化、それらの評価とデバイス化
- それぞれの材料に適した結晶成長技術開発
- Design, bulk growth, and characterization of new single crystal materials
- Development of proper growth techniques to achieve the best material properties

アプローチ Approach

- レーザー・非線形光学結晶、磁気光学結晶、シンチレーター結晶、ワイドバンドギャップ半導体、圧電・強誘電体単結晶など応用分野を限定せず、単結晶全般を対象とする。
- 近年は、高輝度白色照明に適した単結晶蛍光体、レーザー加工機等のための光アイソレーター用ファラデー回転子、燃焼圧センサー等を視野に入れた高温センサー用圧電体単結晶、新しいワイドギャップ半導体である酸化ガリウム、赤外光学用途を視野に入れたカルコゲナイド単結晶などを開発。
- 大学・研究機関、企業との連携を進めると同時に積極的な国際交流を推し進め、常に新しい観点からの、基礎から実用化まで幅のある研究を目指す。
- A wide range of crystals for optical applications is covered: laser and nonlinear optical crystals, magneto-optical crystals, scintillator/dosimeter crystals, wide bandgap semiconductor, piezoelectric and ferroelectric single crystals, etc.
- Our current main research targets are: Single crystal phosphors for high-brightness lighting devices. Faraday rotators for optical isolators used for laser machinery. Piezoelectric crystals for high temperature use such as combustion pressure sensors. Gallium oxide as novel wide bandgap semiconductor. Chalcogenides for IR optical applications
- Collaboration with universities, national institutes and industries are actively promoted, and the international cooperation is also actively pursued in order to promote new viewpoints and original ideas.

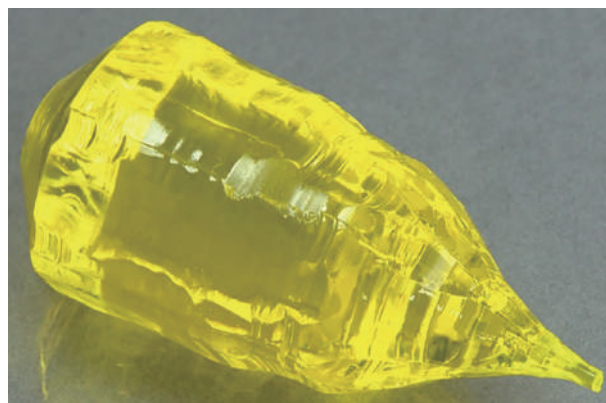


図1 チョクラスキー法によるCe:YAG単結晶蛍光体(黄色)。従来の粉末合成による蛍光体に比べて変換効率が低い。高温でも良好な特性が維持されるので、特に超高輝度発光素子に好適である。

Fig.1 CZ-grown Ce:YAG single crystal phosphor. This novel phosphor exhibits superior internal quantum efficiency compared with conventional ceramic based phosphors even at high temperatures. Therefore, this is suitable for high-brightness white lighting applications.



図2 TSLAG大型単結晶。大きなファラデー回転角と高い透明性を示すため、高出力レーザー加工機の光源保護に使われる光アイソレーター用として優れた性能を発揮する。

Fig.2 Large-size TSLAG single crystal. This novel crystal shows large Faraday rotation angle and high transmittance, and therefore exhibits better performance for optical isolators which protect the light source of laser machinery.

グループメンバー
Group Members

中村 優 Masaru Nakamura
ガルシア ビジョラ Encarnación G.Víllora
原 東升 Yuan Dongsheng

高機能光学セラミックスグループ Optical Ceramics Group

グループリーダー

鈴木 達

Group Leader

Tohru S. SUZUKI

連絡先 Contact

Mail SUZUKI.Tohru@nims.go.jp

TEL 029-859-2459 FAX 029-859-2401

目的 Purpose

近年、組成制御のしやすさや大型化のしやすさからセラミックスにおいて多結晶焼結体であっても透光性を付与し、その機能を利用する取り組みが求められるようになってきています。耐熱性、耐薬品などの耐過酷環境性を備える光学セラミックスは、レーザーやシンチレータ、蛍光媒体などに資する材料となり、医療分野やセンサーでの使用が可能となります。光学的機能はもとより、さらにセラミックスの特性を生かした電気伝導性、耐熱性や高強度といった機能を重量させた先端セラミックスを創製することを目指しています。

Recently, fabrication and usage of transparent polycrystalline sintered ceramics are required because easily composition control and upsizing. Optical ceramics, which possess harsh-environment resistance such as heat resistance and chemical resistance, can be used as materials for lasers, phosphor matrix and scintillators, etc., and can be applied for sensors and medical field. We aim to fabricate advanced ceramics that not only possess optical functions but also have other functions such as electrical conductivity, mechanical properties, etc. that take advantage of the feature of ceramics.

アプローチ Approach

多結晶セラミックスにおいて透光性を発現させるためには、欠陥を究極的に取り除いた緻密化が必要で、そのためには粒子合成・成形・焼結といった創製プロセスの一つ一つを理解し、微構造を精緻に制御することが重要となります。磁場や電場などの外場を用いたプロセスにも注目し、それらの有効性について明らかにするために磁場中プロセスでのその場観察などを用いてプロセス中で起こる現象を解明することも行います。さらに、光学特性測定以外のイオン伝導度の測定などに関しても、その高度化を行います。

In order to make transparency in polycrystalline ceramics, it is necessary to achieve densification by ultimately eliminating defects, and it is necessary to understand each of the ceramics processing such as powder synthesis, forming and sintering. It is important to design the process for precisely controlling the microstructure in sintered ceramics. We also focus on the processing using the external fields such as magnetic field and electric field, and in order to clarify their effectiveness, we also use in-situ observations in a magnetic field to elucidate the phenomena that occur during the

processing. Furthermore, we are improving the method of the ionic conductivity measurement in addition to measuring optical properties.

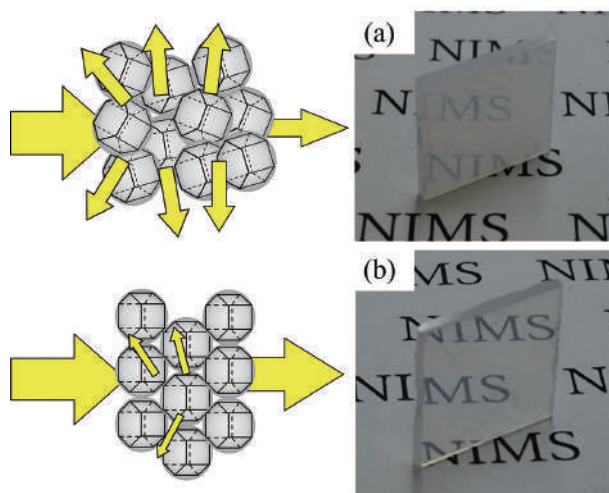


図1 放電プラズマ焼結で作製した透光性アルミナ (a)粉体から直接作製した試料、(b)コロイドプロセスと強磁場によりc軸配向制御した試料

Fig.1 Transparent alumina fabricated by Spark Plasma Sintering. (a) is prepared from the powder directly, (b) is prepared by colloidal processing in a magnetic field for controlling the c-axis orientation.

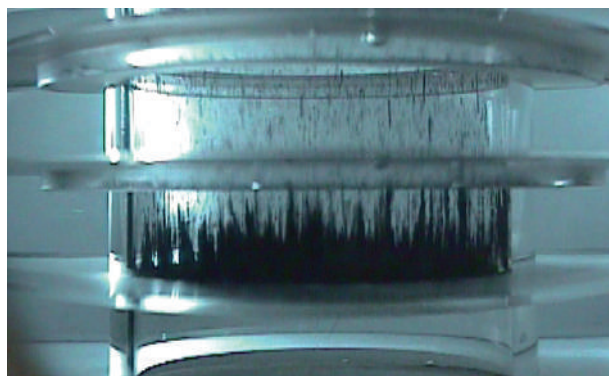


図2 高勾配磁気分離における粒子堆積過程の高磁場下その場観察（高磁場下における物質挙動のその場観察例）

Fig.2 In-situ observation of particle deposition process under high magnetic fields in HGMS (high gradient magnetic separation) (an example of the in-situ observation of behavior of materials under high magnetic fields)

グループメンバー
Group Members

中根 茂行 Takayuki NAKANE
廣田 憲之 Noriyuki HIROTA
小林 清 Kiyoshi KOBAYASHI

エステイリ メーディ Mehdi ESTILI
古瀬 裕章（併任） Hiroaki FURUSE

次世代蛍光体グループ Advanced Phosphor Group

グループリーダー
武田 隆史
Group Leader
Takashi Takeda

連絡先 Contact

Mail TAKEDA.Takashi@nims.go.jp
TEL 029-860-4304 FAX 029-851-3613

目的 Purpose

- 蛍光体は、省エネ・低環境負荷である固体照明の演色性や、薄型ディスプレイの色域を左右するキーマテリアルであり、可視光域だけでなく生体用光源など近赤外光域での応用も期待されています。次世代蛍光体グループでは発光特性に優れたサイアロン蛍光体を含む無機蛍光体や希土類錯体蛍光体に注目して研究を行っています。
- 組成、結晶構造と発光特性の関係の解明から、高性能で信頼性の高い新蛍光体の開発、デバイス化など、基礎と応用の両方の観点から研究を行っています。
- Luminescent materials are one of key materials in solid state lighting and advanced flat panel displays that hold the promise of energy saving, environment friendliness and high quality. Our group concerns itself with both fundamental and industrial research and development in the field of advanced luminescent materials for energy and environment related applications.
- We are going to discover new highly efficient and reliable phosphors with promising luminescence properties and interesting crystal structures for those applications, by careful materials selection and synthetic strategies.

アプローチ Approach

- 新蛍光体開発：粉末生成物中の1粒子の結晶構造や発光特性の分析により新蛍光体を開発する単粒子診断法を用いています。粉末単一相合成を必要とせず、様々な生成相を含む混合相粉末からでも新蛍光体開発が可能です。またMIを組み合わせた開発も進めています。
- 物質合成：ガス圧焼成、熱間等方圧加圧（HIP）、ガス還元窒化、液相プロセスなど様々な手法を用いて蛍光体合成を行っています。
- New phosphors discovery : A single-particle-diagnosis approach is used to search for luminescent materials with new crystal structure and promising properties. New phosphors are developed even from mixture powder.
- Materials synthesis : Several synthetic techniques, such as gas-pressure sintering, hot-isostatic pressing, gas reduction and nitridation, solution synthesis are applied to prepare phosphor powders.

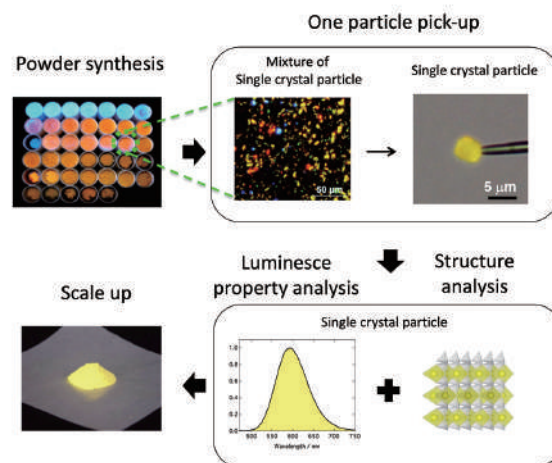


図1 高速で新蛍光体の開発が可能な単粒子診断法

Fig.1 A single particle diagnosis approach for high-speed discovery of novel phosphors

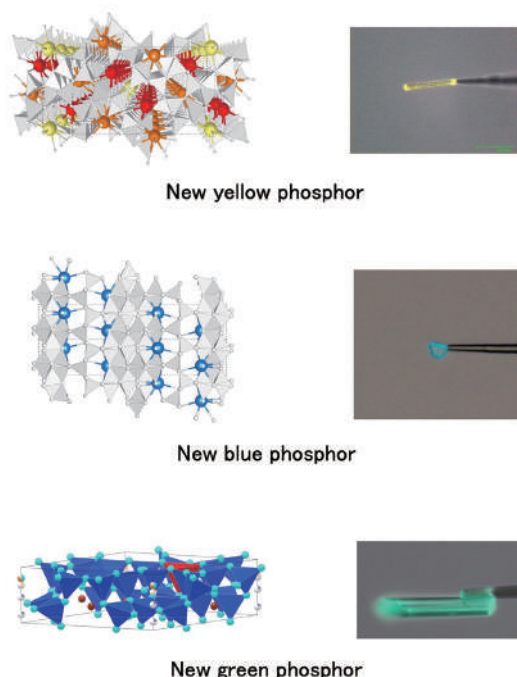


図2 単粒子診断法で開発された蛍光体の一例（結晶構造図と発光の様子）

Fig.2 New phosphors discovered by a single particle diagnosis approach (crystal structure and appearance)

グループメンバー 中西 貴之 Takayuki Nakanishi
Group Members

半導体エピタキシャル構造グループ Semiconductor Epitaxial Structures Group

グループリーダー
間野 高明
Group Leader
Takaaki Mano

連絡先 Contact

Mail MANO.Takaaki@nims.go.jp
TEL 029-859-2790 FAX 029-859-2301

目的 Purpose

Ⅲ-V族化合物半導体ヘテロ構造は、レーザ・LED等の発光デバイス、赤外センサー素子やホールセンサ素子などのセンシングデバイス、高周波デバイス等、多様な身近な用途で用いられています。近未来のIoT社会の実現には、これらのデバイスのさらなる高性能化、新機能開拓、低価格化が必要不可欠です。これらの課題解決に向けて、当グループでは高度なエピタキシャル成長技術を駆使した新規半導体ヘテロ構造材料を開発することを目的に研究を進めています。

III-V compound semiconductor heterostructures are used in various familiar applications, such as light emitting devices, sensing devices, and high-frequency devices. Toward the realization of IoT society in near future, it is necessary to (1) further improve their performance, (2) explore novel functionalities, and (3) realizing price reduction of high quality devices. Our challenges for solving those issues are developments of novel semiconductor heterostructures by using advanced epitaxial growth techniques.

アプローチ Approach

本グループでは、Ⅲ-V族化合物半導体を中心とする材料に関して、高度なエピタキシャル成長技術開発及びそれを駆使した新規ヘテロ構造の作製とその物性開拓に関する研究を行っています。理論計算に基づくヘテロ構造設計、結晶成長素過程の理解に基づく高度な成長技術を開発することにより、量子性を有する次世代光源や高感度センシングデバイス等の革新的な光・電子機能を有する半導体材料開発を推進します。

In this group, we will develop advanced epitaxial-growth techniques of compound semiconductor materials (mainly III-V) and realize innovative hetero-epitaxial structures. By utilizing the surface-, interface-, and quantum-properties in the structures, we will explore novel optoelectronic functionalities toward the next generation quantum- or IoT-devices, such as quantum light emitters and advanced sensing devices.

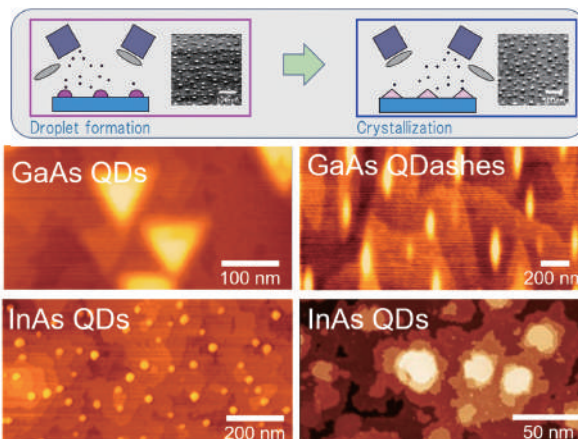


図1 液滴エピタキシー法の模式図、及び、それを用いて作製したGaAs及びInAs量子ナノ構造の走査プローブ顕微鏡像。

Fig.1 Schematic drawing of droplet epitaxy method and scanning probe microscopy images of GaAs and InAs quantum nanostructures grown by the method.

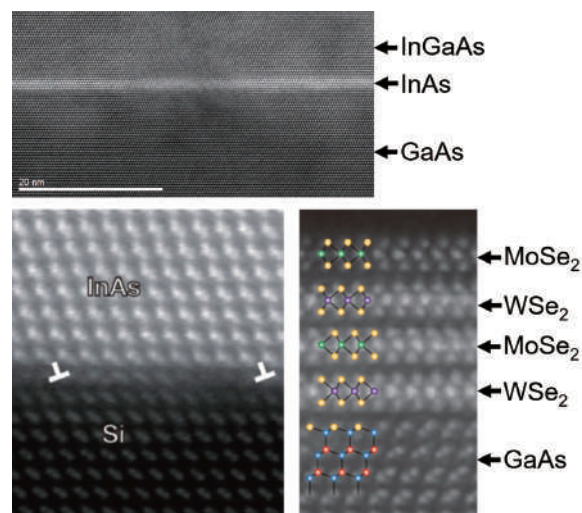


図2 高度なヘテロエピタキシャル成長技術により作製された様々な半導体ヘテロ構造の断面TEM像。

Fig.2 Cross-sectional TEM imaged of various semiconductor heterostructures grown by using advanced epitaxial growth techniques.

グループメンバー
Group Members
大竹 晃浩 Akihiro Ohtake
川津 琢也 Takuya Kawazu
佐久間 芳樹 Yoshiki Sakuma

量子フォトニクスグループ Quantum Photonics Group

グループリーダー
黒田 隆
Group Leader
Takashi KURODA

連絡先 Contact

Mail KURODA.Takashi@nims.go.jp
TEL 029-860-4194

目的 Purpose

- 物質のナノ構造化による新規量子機能を開拓します。
- 半導体量子構造の光物性を探索し、革新的な量子光源を開発します。
- 独自開発する有機分子ナノファイバーの光機能性を創出し特異な力学特性を解明します。回折限界を越えるナノスケールの光素子を実現します。
- 高度な光子制御を可能にする光量子構造の設計と新概念の量子機能性の理論探索を行います。
- We are aiming to create innovative photonic devices exploiting new optical functionalities that appear for advanced nanostructures.
- Study of semiconductor quantum nanostructures, their physics and applications to novel quantum light sources.
- Study of originally fabricated organic nanofibers. Their application to microoptics free from diffraction limits.
- Design of innovative quantum structures that enable artificial control of electromagnetic fields. Prediction of new quantum optical functionalities.

アプローチ Approach

- 先端的なレーザー分光：紫外～中赤外の幅広いエネルギー域で極微空間からの信号検知が可能な分光法を開発しています。
- 量子光学特性：非古典的な光である単一光子や量子もつれ状態の発生と検証を行い、汎用量子光源の実現を進めています。
- 理論解析：フォトリックナノ構造などでの新規な光-物質間相互作用を探索するための電磁場計算とモデル解析を進めています。
- Advanced laser spectroscopy: We develop new spectroscopy techniques, which enable to detect optical signals from small regions, with broad spectral ranges from UV to mid-IR wavelengths.
- Quantum optics: We observe the generation of nonclassical light, which includes single photons and quantum-entangled pairs, and develop practical quantum light sources.
- Theoretical analysis: We perform electromagnetic and model analysis to investigate novel light-matter interactions in photonic nanostructures.

グループメンバー
Group Members
栗村 直 Sunao KURIMURA
高澤 健 Ken TAKAZAWA
落合 哲行 Tetsuyuki OCHIAI

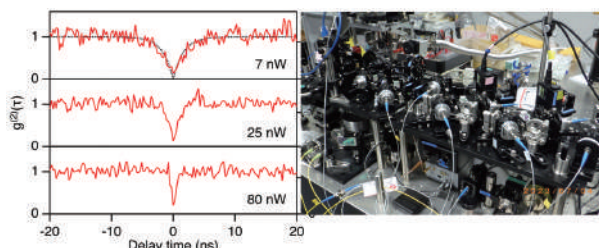


図1 (左) 1.55 μm 帯量子ドット単一光子源のアンチバンチング特性、(右) 量子もつれ発生実験の写真

Fig.1 (Left) Anti-bunching characteristics of a quantum-dot single-photon source at a wavelength of 1.55 μm . (Right) Setup for measuring the degree of quantum entanglement.

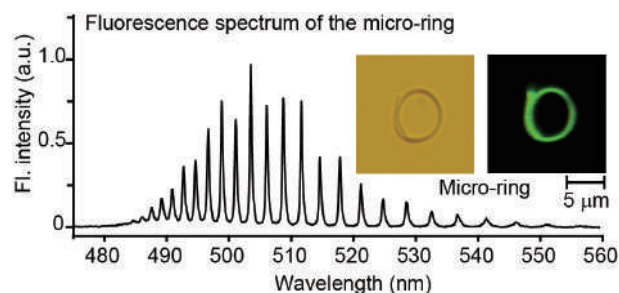


図2 有機色素ナノファイバーを操作して微小リングを製作した。リングの蛍光スペクトルには鋭い共鳴線が現れ、この構造がリング共振器として機能していることを示している。

Fig.2 A micro-ring is fabricated from an organic dye nanofiber by micromanipulation. Fluorescence spectrum of the ring exhibits sharp resonance peaks, indicating that it functions as a ring resonator.

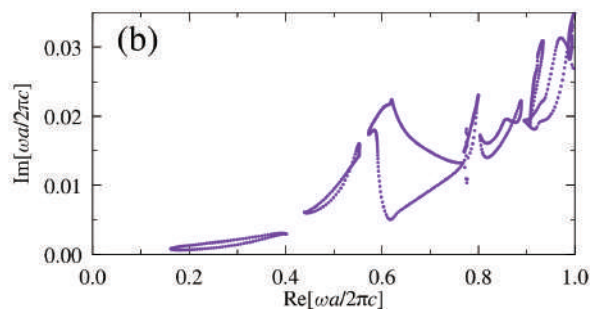


図3 非エルミートフォトリック結晶の固有周波数スペクトル。非エルミート性により固有周波数は複素平面上に拡がり、空間対称性の破れによりループをなす。

Fig.3 Eigenfrequency spectrum in a non-Hermitian photonic crystal. Due to the non-Hermitian nature, the eigenfrequencies spread out on the complex plane and form loops due to a spatial symmetry breaking.

ナノフォトニクスグループ Nanophotonics Group

グループリーダー
宮崎 英樹
Group Leader
Hideki T. MIYAZAKI

連絡先 Contact

Mail MIYAZAKI.Hideki@nims.go.jp
TEL 029-860-4716

目的 Purpose

- メタ表面（メタマテリアル）、フォトニック結晶など、光の波長よりも小さな構造体で構成されたナノフォトニクス材料の研究開発を進めます。
- 精密な設計と高精度な加工技術に基づいて作製した人工微細構造により、自然界には存在し得ない特異な光機能を持った材料を実現します。
- センサなどの応用展開を目指す一方で、新現象を探索する基礎研究にも力を注いでいきます。

Our research targets are nanophotonics materials such as metasurfaces (metamaterials) and photonic crystals, composed of subwavelength-sized structures.

We will create artificial materials with peculiar optical functions never attained in nature by precise design and high-accuracy fabrication.

In addition to the applications of nanophotonics materials to sensors, etc., we will also focus on fundamental researches for exploring novel physics.

アプローチ Approach

- 極微細加工装置によるトップダウン、自己集積化によるボトムアップ、双方のアプローチを駆使して、高度に制御されたナノフォトニクス材料を実現します。
- 対象とする光の波長よりも十分小さな構造を表面に正確に作ったメタ表面のバイオセンサや赤外線センサへの応用を進めています。
- 球状コロイド粒子やコロイド量子ドットの3次元的な自己集積化技術を開発し、歪み可視化やレーザなどへの応用を進めています。

Our highly engineered nanophotonics materials are produced by both approaches: the top-down nanofabrication and the bottom-up self-assembly.

We are developing metasurfaces with precise surface structures sufficiently smaller than the optical wavelength and applying them to biosensors and infrared detectors.

We are developing three-dimensional self-assembling techniques of spherical colloidal particles and colloidal quantum dots, and extending their application to strain imaging and lasers.

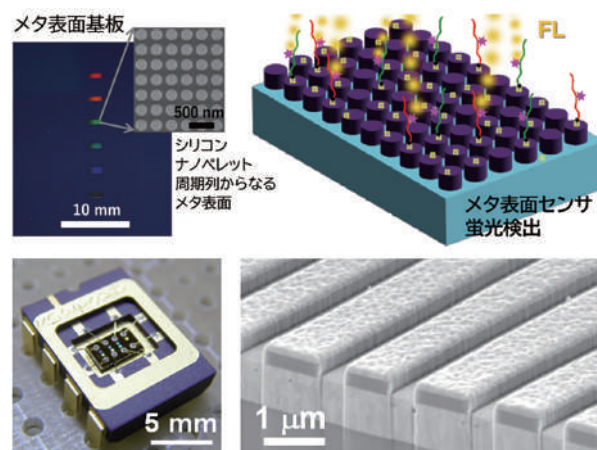


図1 超高感度で標的配列のDNAを検出するメタ表面バイオセンサ（上）と特定のガスの濃度を高精度に計測するメタ表面2波長赤外検出器（下）

Fig.1 Metasurface biosensor to detect a target DNA at ultrahigh sensitivity (top). Metasurface infrared dual-wavelength detector for measuring the concentration of a specific gas (bottom).

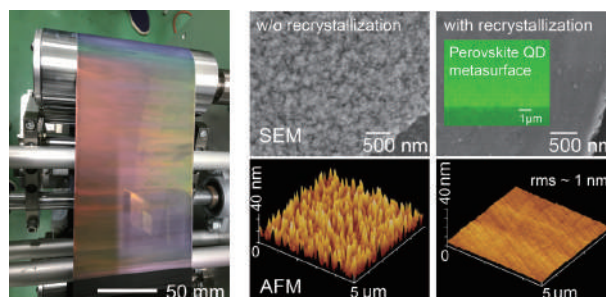


図2 コロイドフォトニック結晶のRoll-to-Roll連続成長（左）とペロブスカイト量子ドットの高品質薄膜化（右）

Fig.2 Roll-to-Roll continuous growth of colloidal photonic crystals (left). High-quality thin film made of perovskite quantum dots (right).

グループメンバー
Group Members
不動寺 浩 Hiroshi FUDOUZI
岩長 祐伸 Masanobu IWANAGA
何 亜倫 Ya-Lun HO

半導体欠陥制御グループ Semiconductor Defect Design Group

グループリーダー
寺地 徳之
Group Leader
Tokuyuki TERAJI

連絡先 Contact

Mail TERAJI.Tokuyuki@nims.go.jp
TEL 029-860-4776 FAX 029-851-4005

目的 Purpose

- 半導体における欠陥制御は、高品質な材料の創出だけでなく、欠陥を利用した新しい機能の創出にもつながります。例えば、ダイヤモンド中に欠陥を導入することで、量子ビットや量子センシングに応用できる新しい素子を形成できます。
- 半導体欠陥制御グループでは、ワイドバンドギャップ半導体材料を中心にしてこの研究に取り組んでいます。我々は、室温動作する量子技術応用、エネルギー効率の向上や環境負荷の低減など、社会的に価値が高い技術創出を目指しています。
- Defect control of semiconductors not only leads to the creation of high-quality materials, but also to the discovery of new functions using defects. For example, the designed defects in diamond will enable new devices for applications such as quantum bits and quantum sensing.
- The Semiconductor Defect Design Group is focusing on wide bandgap semiconductor materials. We aim to realize technologies with high social value, such as applying room-temperature quantum technology, improving energy efficiency, and reducing environmental impact.

アプローチ Approach

- 成長プロセス：欠陥制御には、成長プロセスや材料の組成など、多くの要素が関わってきます。成長プロセスの最適化や不純物の緻密制御を行うことで、より高品質な半導体材料の創製に取り組んでいます。
- 欠陥特性：光学的・電気的評価技術を用いて欠陥を評価することで、欠陥の形成制御のための知見を得ています。また、使いやすい量子物性を目指し、物性理論や量子光学の手法を取り入れ、現象の本質に焦点を当てた効果的な枠組みを構築します。
- Growth Process: Defect control involves many factors, including the growth process and material composition. We are working to create higher quality semiconductor materials by optimizing the growth process and controlling impurities densely.
- Defect characteristics: We gain knowledge for controlling defect formation by characterizing optical and electrical properties of defects. Aiming at quantum properties good to use, we incorporate methods of condensed matter theory and quantum optics, and construct an effective framework focusing on essentials of phenomena.

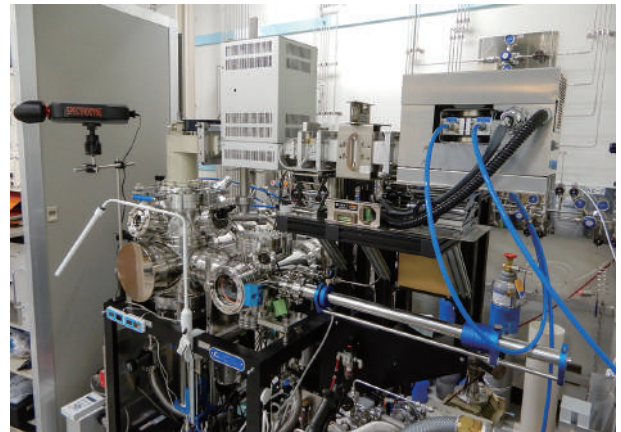


図1 高純度ダイヤモンド単結晶を成長するための化学気相成長装置

Fig.1 Chemical vapor deposition system for growing high-purity diamond single crystals

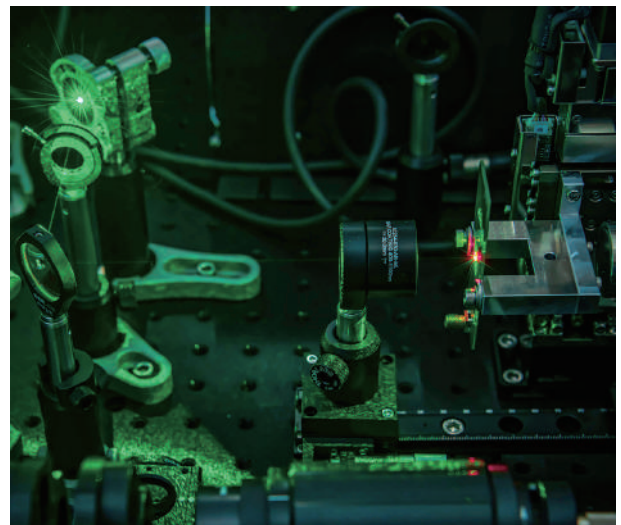


図2 量子特性を評価するための光検出磁気共鳴装置（ダイヤモンド中の欠陥から量子特性を反映する赤い光が出ている）

Fig.2 Optically detected magnetic resonance (ODMR) system for characterizing quantum properties (red fluorescence light reflecting is emitted from diamond)

グループメンバー
Group Members
井上 純一 Junichi INOUE
陳 君 Jun CHEN
渡邊 賢司 Kenji WATANABE

多結晶光学材料グループ Polycrystalline Optical Material Group

グループリーダー
森田 孝治
Group Leader
Koji MORITA

連絡先 Contact

Mail MORITA.Koji@nims.go.jp

TEL 029-859-2537 FAX 029-861-7732

目的 Purpose

- センサー窓材や高輝度光源用の光学材料は、スマート社会の実現に不可欠なキーコンポーネントです。我々のグループでは、可視～近赤外の広帯域透過性に加え、優れた力学や熱特性を有する新規な多結晶光学セラミックスの開拓を目指し研究しています。
- 既知のシンプル組成系材料の改良のみで大きな特性改善や複数機能の重畳を実現するには限界があるため、挑戦的な開拓領域として、複雑組成系の光学セラミックスに注目して新規材料の開拓を目指します。
- Optical materials for sensor windows and light sources are one of key components for realizing smart society. Our group is aiming to develop new polycrystalline optical ceramics that possess excellent mechanical and thermal properties in addition to visible to near-infrared broadband transmission.
- In order to attain a major breakthrough in the optical ceramics, our group are now focusing on complex composition systems as a new challenging field of the optical ceramics.

アプローチ Approach

- 新規光学材料：探索範囲を未開拓領域の複雑組成系まで拡大することで、広帯域透過性に加え、優れた力学や熱特性を重畳した新規な光学セラミックスの開拓が期待できます。
- バルク化プロセス：組成を調整した混合粉末を出発原料に、通電/電場、高圧などの外場効果を活用した焼結法により複雑組成系の多結晶光学セラミックスの開拓を目指します。
- 応用：広帯域用センサー窓材や高輝度光源用の光学部材を視野に研究を進めます。
- New optical materials: By expanding the search area from simple composition systems to unexplored complex composition systems, we are expecting to develop new optical ceramics that possess excellent mechanical and thermal properties in addition to broadband transmission.
- Bulk processing: We are aiming to develop densification techniques that enable to synthesize polycrystalline optical ceramics with complex composition systems through

utilizing external field effects such as current/electric field and high pressure.

- Applications: New polycrystalline optical ceramics applicable to broadband sensor windows and light sources.

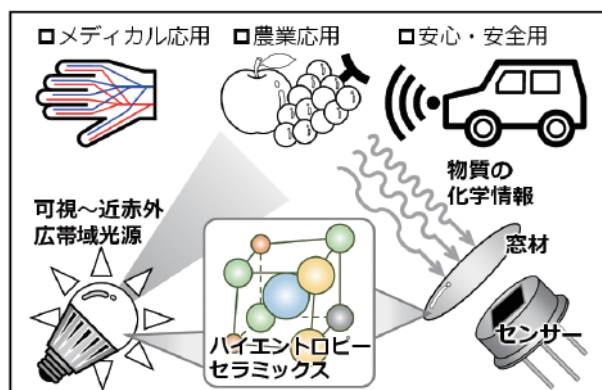


図1 スマート社会実現に向けた光センシング用の窓材や光源用光学セラミックスの概念図

Fig.1 Application examples of optical ceramics in sensing windows and light sources for realizing smart society.

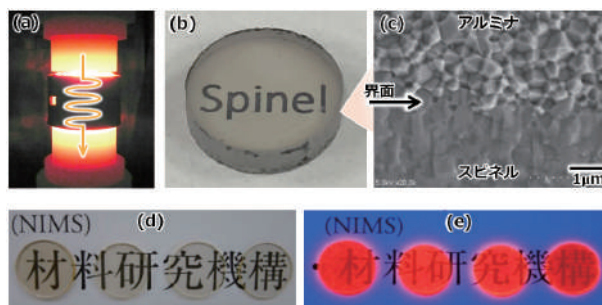


図2 (a)通電焼結法で作製した(b)高強度アルミナ/スピネル積層透明体と(c)その断面組織の電子顕微鏡写真、および(d)ナノ粒子から作製した $(Y,Gd)_2O_3:Eu^{3+}$ 透明セラミックスと(e)蛍光発光の例

Fig.2 Examples of (b) high strength alumina/spinel laminated composite and (c) cross-sectional interface microstructure fabricated through (a) a pulsed current sintering technique, and (d) $(Y,Gd)_2O_3:Eu^{3+}$ transparent polycrystalline ceramics and (e) red luminescence under UV excitation.

グループメンバー
Group Members
轟 真一 Shin-ichi TODOROKI
李 継光 Jiguang Li
バジルキフ オレグ Oleg VASYLKIV

独立研究者 Independent Researcher

清水 荘雄

SHIMIZU.Takao@nims.go.jp

独立研究者

目的 Purpose

強誘電体は多彩な特性を示すことから、幅広い用途へ応用がされているが、従来材料は微細化が困難であることや、環境適合性の低い鉛が含まれるという課題がある。これらを克服する新規材料の開発を目指している。

Because of their characteristics, the ferroelectric materials have been applied to various devices. However, conventional materials suffer problems, such as difficulty in scaling and inclusion of toxic element, Pb. New materials have been developed to surmount these problems.

アプローチ Approach

従来用いられてきた組成や結晶構造・さらにはコンセプトの枠を超えた材料の探索・開発を行っており、世界最高の圧電定数を持つ非鉛薄膜材料や、よく知られた材料の強誘電体化に成功している。

The materials have been developed beyond the conventional composition, crystal structure, and concept, resulting in

success to develop the lead-free piezoelectric film with the largest piezoelectric coefficient and polarization switching in well-known polar materials. transparent ceramics.

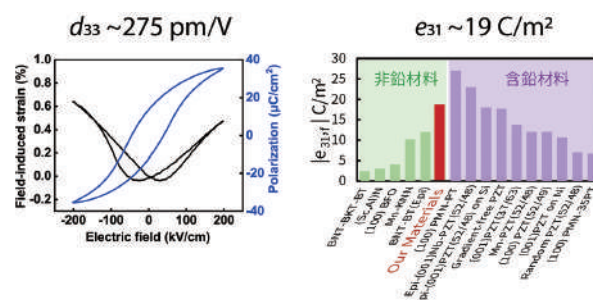


図 ドメインスイッチングを利用した非鉛圧電体材料の開発例。巨大な電界誘起歪が観測された。また、非鉛圧電体膜の中で最大の圧電応力定数を示す

Fig. Results of the developed lead-free piezoelectric film using domain switching. A large electric field induced strain (~0.6%) was observed. The material has the largest piezoelectric stress coefficient among reported lead-free piezoelectric films.



古瀬 裕章

Hiroaki FURUSE

連絡先 Contact

Mail FURUSE.Hiroaki@nims.go.jp

TEL +81-29-859-2265 FAX +81-29-859-2501

目的 Purpose

非立方晶材料を中心に、従来にない有効な透明多結晶セラミック材料を開発し、レーザー材料、シンチレータ、蛍光体など幅広い光学分野への展開を目指す。

I'm aiming to develop effective non-cubic transparent polycrystalline ceramics that have never been realized for application in whole photonics fields including laser, scintillator, phosphors.

アプローチ Approach

初期粉体の合成、成形、焼結の過程で最適な条件探索を行い、セラミックスを構成する結晶粒を高度に制御することで高機能な透明セラミックスを実現する。

Controlling the crystal grains constituting ceramics by optimizing fabrication processes in powder synthesis, forming of green body, and sintering for realization of functional transparent ceramics.

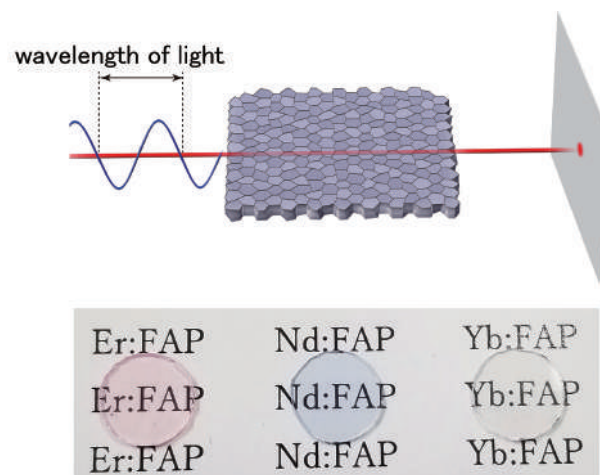


図 結晶粒制御による非立方晶透明セラミックスの概念図と作製した試料写真

Fig. Conceptual design of non-cubic transparent ceramics with fine microstructure and photo of the ceramics.

上席研究員 Managing Researcher

任 晓兵
REN Xiaobing

連絡先 Contact

Mail Ren.xiaobing@nims.go.jp
TEL 029-859-2731 FAX 029-859-2601

目的 Purpose

Ferroic材料は圧電材料、強弾性材料、磁歪材料の総称で、電気、応力、磁場に応答する最も重要な機能性材料群の一つである。我々はこれらの材料の新しい物理を探索し、高性能かつ環境型のFerroic材料を創出する。

Ferroic material is a generic name for three physically-parallel classes of important functional materials including ferroelectric/piezoelectric materials, ferroelastic materials and ferromagnetic/magnetostrictive materials. We aim to discover novel physics in these materials and design high-performance ferroic materials.

アプローチ Approach

初期粉体の合成、成形、焼結の過程で最適な条件探索を行い、セラミックスを構成する結晶粒を高度に制御することで高機能な透明セラミックスを実現する。

- Understanding critical phenomena in ferroic materials and develop high-performance ferroic materials

- Discovering and understanding ferroic glasses and develop glassy ferroic materials.

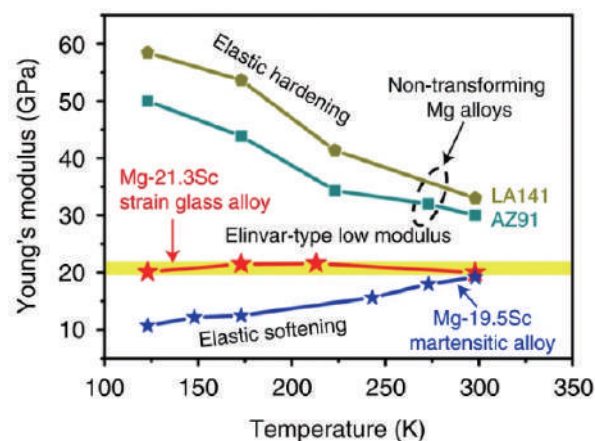


図 Strain glassが起因するElinvar (恒弾性) 効果 (Nature Materials 2022)

Fig. Elinvar effect from a strain glass transition (Nature Materials 2022)

URL

機能材料分野 Functional Materials Field

02 電子セラミックスグループ

Electroceramics Group



03 超ワイドギャップ半導体グループ

Ultra-wide bandgap Semiconductors Group



04 次世代半導体グループ

Next-generation Semiconductor Group



05 資源循環材料グループ

Environmental Circulation Composite Materials Group



06 ナノ電子デバイス材料グループ

Nano Electronics Device Materials Group



URL

光学材料分野 Optical Materials Field

07 光学単結晶グループ

Optical Single Crystals Group

日本語
ホームページ



The English
website



11 量子フォトンクスグループ

Quantum Photonics Group

日本語
ホームページ



The English
website



08 高機能光学セラミックスグループ

Optical Ceramics Group

日本語
ホームページ



The English
website



12 ナノフォトンクスグループ

Nanophotonics Group

日本語
ホームページ



The English
website



09 次世代蛍光体グループ

Advanced Phosphor Group

日本語
ホームページ



The English
website



13 半導体欠陥制御グループ

Semiconductor Defect Design Group

日本語
ホームページ



The English
website



10 半導体エピタキシャル構造グループ

Semiconductor Epitaxial
Structures Group

日本語
ホームページ



The English
website



14 多結晶光学材料グループ

Polycrystalline Optical Material Group

日本語
ホームページ



The English
website



発行 2024年1月1日 第2版

編集 電子・光機能材料研究センター運営室

問い合わせ先

〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

物質・材料研究機構 電子・光機能材料研究センター運営室

電話：029-860-4867

メール：kinou-inquiry@ml.nims.go.jp

Contact

Administrative Office, Research Center for Electronic and Optical Materials

National Institute for Materials Science (NIMS)

1-1 Namiki, Tsukuba, Ibaraki, 305-0044, Japan

Tel : +81-29-860-4867

Mail : Kinou-inquiry@ml.nims.go.jp



国立研究開発法人

物質・材料研究機構

National Institute for Materials Science

