

特異構造トピックス

平成 29 年度公募研究が決定

2017 年 4 月 1 日 18 件の公募研究が採択されました。本号では「公募研究特集」として、各公募研究グループの概要をご紹介します。

平成 29 年度若手研究者海外派遣事業

本領域では国際活動支援の一環として、若手研究者を海外研究機関に派遣し、国際共同研究の推進や海外ネットワークの構築をおこなっています。今年度は以下の 5 名を派遣者として決定しました。

- **小島一信准教授 (B02-2、東北大学)**
派遣先：ケムニッツ工科大学 (ドイツ)
- **小田将人講師 (B01-3、和歌山大学)**
派遣先：University College London (イギリス)
- **奥村宏典助教 (B01-2、筑波大学)**
派遣先：マサチューセッツ工科大学 (アメリカ)
- **河村貴宏助教 (A01-5、三重大)**
派遣先：Institute of High Pressure Physics, Polish Academy of Sciences (ポーランド)
- **宮川鈴衣奈助教 (A01-2、名古屋工業大学)**
派遣先：University of Erlangen-Nürnberg (ドイツ)

応物シンポジウム開催

2017 年 3 月 14 日 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 (パシフィコ横浜) でシンポジウム「窒化物半導体特異構造の科学 ～発光再結合の解明と制御～」を開催しました。



メディア報道

- **小出康夫理事 (A02-1、物質・材料研究機構)**
「天野名大教授と小出物材機構理事 共同研究室が開所 つくば」(毎日新聞 2017 年 3 月 7 日)
2017 年 3 月 1 日付で、名古屋大学、物質・材料研究機構の両機関それぞれに共同研究室が設置され、3 月 6 日に物質・材料研究機構で開催さ

れた開所式典の様子が NHK 水戸放送局のニュースで取り上げられました。

朝日新聞、読売新聞、毎日新聞、中日新聞、東京新聞、日刊産業新聞の 6 紙、電子版では、時事ドットコム、朝日新聞 DIGITAL、デジタル毎日、YOMIURI ONLINE の 4 紙で報道されました。

- **三宅秀人教授 (A01-2、三重大)** が中日新聞で紹介されました。「省エネ、殺菌 輝く未来」(2017 年 5 月 19 日)
- 「**三重大 特異構造の結晶科学リサーチセンター**」(三宅秀人センター長、A01-2)が発足し、伊勢新聞に取り上げられました。(2017 年 5 月 19 日)

受賞報告

- **谷川智之講師 (A02-17-2、東北大学)** が、第 42 回 (2017 年春季) 応用物理学会講演奨励賞を受賞しました。
受賞者：谷川智之、大西一生、加納聖也、向井孝志、松岡隆志
- **三重大の吉澤涼さん(博士前期課程 1 年)、三宅秀人教授(A01-2)、平松和政教授(A01-5)**が、ISPlasma2017/IC-PLANTS2017 で Best Presentation Award を受賞しました。

平成 29 年度公募研究紹介

A01-17-1：窒化物半導体極性制御特異構造の非線形光学素子応用

研究代表者：片山竜二 (大阪大学)

近年、高効率な深紫外光源の実現に向け、バンド端発光によるレーザ開発と並行して波長変換による深紫外光発生法の開発が求められています。また量子情報分野において、集積化に有利で安定性に優れた小型量子光源が求められています。これらの非線形光学デバイスは、窒化物半導体における反転対称性の欠如に起因した強い二次光学非線形性を利用し、c 軸方位を局所的に制御した極性反転構造を作製することで実現できます。本研究では窒化物半導体の「極性反転」という特異構造の更なる理解と制御技術の確立を行い、積極活用することで、青色レーザ励起深紫外第二高調波発生や量子もつれ光子対発生など、新規な波長変換素子の開発をめざします。

A01-17-2: 窒化物半導体超薄膜における構造多形の成長と物性

研究代表者: 高橋正光 (量子科学技術研究開発機構)

III-V 族半導体などイオン性を持つ化合物半導体の極性面は、静電エネルギーが発散し、本質的に不安定です。そのため、結晶内部に比べて構造自由度の大きい最表面層や超薄膜では、バルクと異なる結晶構造が出現し、新しいデバイスなどへの応用も期待できます。このような表面・超薄膜に特有な特異構造を活用するには、精密な構造の決定と、それに基づく基礎的物性の理論的・実験的検証が不可欠です。本研究では、シンクロトロン放射光を利用したその場測定技術を用いた、III 族窒化物の表面・超薄膜の原子座標の定量決定や分光測定を通じて、特異構造形成の物理的機構と基礎物性を解明します。

A01-17-3: 自己形成ボイドを用いた応力緩和による異種基板上への高品質結晶成長技術の開発

研究代表者: 出浦桃子 (東京大学)

従来の薄膜成長では、欠陥や表面凹凸のない高品質基板を用いることが常識でした。本研究では、基板表面近傍に存在する「ボイド (空隙)」という特異構造を用いて応力緩和させることにより、異種基板上への高品質結晶成長技術を実現することを最終目標として、Si 基板上の窒化物半導体成長で解析・実証します。そのために、まず Si 基板表面炭化により SiC 薄膜直下に自己形成されるボイドを積極的に利用して、「表面平坦な自己形成ボイド SiC/Si 基板」を実現します。その上に高品質窒化物半導体層を成長し、内部応力と成長層の結晶性との関係を定量的に解析することにより、材料によらない普遍的な学理を構築することを目指します。

A01-17-4: バルク SiC 結晶中の積層欠陥のアクティブ制御

研究代表者: 原田俊太 (名古屋大学)

炭化ケイ素 (SiC) 結晶中の積層欠陥はキャリアの再結合により拡張することが知られていますが、そのメカニズムは明らかになっていません。転位論に基づいて考えると、積層欠陥が室温で拡張するためには、(1) 積層欠陥エネルギーが低下し負になることと、(2) 積層欠陥を縁取る部分転位のパイエルスポテンシャルが低下すること、が必要です。そこで本研究では、積層欠陥におけるキャリア再結合に伴う変化を定量評価し、拡張メカニズムを解明することにより、外部からのシグナル (紫外線照射) により積層欠陥をアクティブに制御することを目指します。

A01-17-5: 機能性酸化物における非対称傾斜歪場及び秩序・無秩序人工格子による特異構造創出

研究代表者: 田畑仁 (東京大学)

機能性酸化物の多彩な物性とイオン結合の高い結晶歪許容性を生かし、近年明らかになってきた Strain-gradient (傾斜歪) 効果を生かした、Flexoelectricity による双極子とスピン結合による新規マルチフェロ物質創成を実現します。鉄系機能性酸化物薄膜を対象として、基板との格子ミスマッチ誘起の傾斜格子歪導入により空間反転対称性の破れを実現します。これによりフォノンソフト化: 双極子強結合 (強誘電性) の発現と、傾角スピンと中心対称の破れの相乗効果による Dzyaloshinskii-Moriya (DM) 相関によりスピン・フォノン結合型マグノン誘起とマルチフェロ物性の創発を目指します。

A01-17-6: チタン酸カルシウム微結晶の特異構造と光触媒活性の相関の解明

研究代表者: 吉田寿雄 (京都大学)

光触媒は光によって励起すると触媒作用を示す物質です。我々は、チタン酸カルシウムの微結晶を光触媒として用いることによって、二酸化炭素を一酸化炭素と酸素に分解することに成功しています。最近、チタン酸カルシウム微結晶に、少量の異元素をドーピングしたところ、そのドーピング率によって、微結晶が大きく成長したり、小さくなったりすることを見出しました。光触媒反応の効率、結晶の構造の完全性・不完全性とそれに基づく電子状態、反応場を与える表面の状態などに大きく影響されると考えられるので、これらの相関関係を解明することを目指します。

A02-17-1: 窒化ガリウム系ナノワイヤによる縦型 FET の作製と評価

研究代表者: 本久順一 (北海道大学)

多重ゲート構造は、電界効果トランジスタ (FET) の短チャネル効果を抑制する構造として利用されていますが、窒化ガリウム系の多重ゲート構造 FET においても、電流駆動力や特性の安定性等、優れた特性が示されています。本研究では、多重ゲート FET を実現する別の手法として、GaN 系ナノワイヤを用いた縦型ゲートオールアラウンド構造 FET を作製し、その評価を行います。特に、選択成長による GaN ナノワイヤ形成技術の確立、縦型 FET 実現のために必要なプロセス技術の確立、そして、FET の性能向上に適切な、ヘテロ構造を有するナノワイヤの形成技術について検討を行い、ナノワイヤという特異構造を活用した電子デバイスの実現を目指します。

A02-17-2: 分極効果の能動的作用による窒化物半導体の伝導制御

研究代表者：谷川智之（東北大学）

窒化物半導体や酸化物半導体などの材料は、半導体としての性質を示す一方、強い誘電体的性質を併せ持ち、分極がデバイス特性に強く影響を与えます。本研究では、これらの分極を有する半導体デバイスの高性能化に向けて、分極を意図的に導入し伝導制御を行う手法について、実験的検討を行います。具体的には、サファイア基板上に結晶成長した Ga 極性もしくは N 極性 GaN に分極誘起層を導入し、分極誘起ツェナーダイオードもしくは分極ドーピング p 型層を作製し、トンネル確率の増強やアクセプタ活性化の増強を目指します。

A02-17-3: 窒化物半導体への精密イオン注入技術の開発と集積回路応用

研究代表者：関口寛人（豊橋技術科学大学）

窒化物半導体 MOSFET を基本構成とした過酷環境下において特性劣化の小さい集積回路の実現を目指します。本研究では、窒化物半導体におけるイオン注入の精密な制御技術の開発に向けて、イオン注入ダメージ層の結晶構造、光学的・電気的特性評価を行い、窒化物半導体へのイオン注入プロセスが結晶構造・結晶欠陥・不純物に与える影響を明らかにします。この知見を基礎にして、ソース／ドレインのコンタクト抵抗の低減や MOSFET の閾値調整、素子分離のための絶縁層形成などのイオン注入法を用いたプロセス技術を開発し、GaN 集積回路実現のための基盤技術を構築します。

A02-17-4: 多層グラフェン薄膜の乱層構造に起因する特異物性の研究

研究代表者：小林慶裕（大阪大学）

積層方向の周期性を乱す乱層構造をもった多層グラフェンを合成し、そこから単層グラフェンに類似した優れた物性を引き出すことが研究の目的です。新奇ナノ炭素材料である低欠陥・乱層・多層グラフェンの合成には、酸化グラフェン積層膜を反応性雰囲気中で超高温熱処理するという新たなプロセスを開発します。乱層構造でグラフェンシート層間の相互作用が抑制される効果を利用して、多層グラフェンの電気的・熱的物性の飛躍的な向上を目指します。本研究により、高機能グラフェン薄膜をスケラブルに製造する技術が開拓され、エレクトロニクス材料や電極・放熱シート等の構造材料へのグラフェンの応用が可能となります。

A02-17-5: 完全結晶に存在する空間自由度および乱れが創出する機能と応用

研究代表者：谷垣勝己（東北大学）

無機単結晶や有機単結晶などの完全結晶に空間的乱れを導入する事により、(1)非調和フォノンを創出して、ナノ構造を制御したフォノンエンジニアリングを実現する。(2)バンドギャップ内に存在する乱れが生み出す準位を利用してキャリアを半導体に高効率で注入する。という完全結晶では得られない新しい機能を創出します。これらの機能は、非調和フォノンが関与する低熱伝導率の実現による高効率の熱電変換機能の実現や両極性キャリア注入の実現による高効率の発光素子への新機能素子実現に応用可能です。

B01-17-1: 窒化物・酸化物半導体における構造欠陥のマルチスケール解析

研究代表者：木口賢紀（東北大学）

窒化物・酸化物半導体薄膜では、転位など格子欠陥やエピタキシャル成長に伴う残留歪みが電子・光学デバイスの物性向上や創製の障害となってきました。本研究では、これら結晶の非完全性についてナノからミクロンスケール、2次元から3次元までマルチスケールで解明し、格子欠陥や弾性場を活用した窒化物半導体の新機能発現・新デバイス創製のための特異構造の解明を目指します。特に、領域内外の連携を通して窒化物・酸化物半導体薄膜における(1)格子欠陥の原子分解能観察、(2)ナノ・ミクロンスケールでの特異構造の3次元解明、(3)格子欠陥の局所弾性場解析と3次元解析への展開、(4)格子欠陥の電子状態の解明に取り組みます。

B01-17-2: テラヘルツ放射を用いた半導体特異構造が誘起する電荷・分極電場の計測

研究代表者：川山巖（大阪大学）

半導体特異構造－ヘテロ界面、量子井戸、傾斜組成領域等－にフェムト秒パルスレーザーを照射することにより発生するテラヘルツ波の波形計測・イメージングを行い、特異構造によって生じる蓄積電荷、分極電場およびケミカルポテンシャル等計測することが本研究の目的です。半導体結晶成長、デバイス作製、材料分析および光物性グループと連携することにより、特異構造とテラヘルツ発生機構との相関を系統的に明らかにし、テラヘルツ分光・イメージングにより抽出可能な物性情報の精度を格段に向上させるとともに、特異構造が誘起する、分極、電荷、ポテンシャル変化などの選択的計測を目指します。

B01-17-3: 酸化物の特異構造におけるイオンダイナミクスの理論計算

研究代表者: 渡邊聡 (東京大学)

本研究グループでは、信頼性と計算効率を兼ね備えたイオンダイナミクスのシミュレーション解析法を、第一原理計算と機械学習手法(主にニューラルネットワーク)を用いて開発します。具体的には、

(1) 様々な構造(アモルファスを含む)・組成を持つ多元化合物、(2) 電場印加状態、および(3) 欠陥を含む系でのフォノン計算に適用できる原子間ポテンシャルの構築スキームを確立します。開発した手法・スキームを用いて、酸化物の局所特異構造におけるイオンダイナミクスの振舞いと、それが抵抗変化素子や燃料電池・二次電池等、様々なデバイスの特性に及ぼす影響の解明を目指します。

B01-17-4: 先端 X 線利用による回折結晶学の再構築

研究代表者: 西堀英治 (筑波大学)

100 ナノメートルサイズの放射光ビームの利用研究を、イメージングやピーク位置検出から、原子配列をピコメートル(0.001nm)精度で決定する構造解析的な手法に転換するための基盤技術を開発します。この技術によりナノサイズ素子の構造を、表面緩和による原子変位や欠陥・歪などを含めて物性を議論可能な精度で解明することを目指します。素子などの固定・保持され形状を有するナノ構造体の原子配列決定の X 線回折構造解析のために回折結晶学を再構築することを将来的な目標にしています。

B02-17-1: 輻射・非輻射再結合の同時観測とそれに基づく特異構造の電子状態の理論モデル構築

研究代表者: 山口敦史 (金沢工業大学)

多様な特異構造を含む窒化物半導体においては、そのキャリアダイナミクスを理解する上で、輻射再結合と非輻射再結合の2つの過程の各々のメカニズムを明らかにすることが重要となります。本研究では、同一の光励起条件下で、この2つの過程を同時計測する光音響・発光同時計測法を用い、特異構造内での内部量子効率を正確に求めていきます。さらに、時間分解発光測定などの光学実験と理論モデル計算をこれに組み合わせることにより、特異構造の電子状態とキャリアダイナミクスを包括的に理解することを目指します。

B02-17-2: 特異構造を介してのエネルギー変換機構の理論

研究代表者: 小田将人 (和歌山大学)

GaN に代表される窒化物系発光デバイスの発光領域において、暗線欠陥の増殖によるデバイスの機能劣化が問題になっています。デバイスの寿命を担保するためには、欠陥増殖機構の解明及び制御が不可欠ですが詳細はまだ手探りの段階にあります。暗線欠陥の増殖は特異構造における電子系から格子系へのエネルギー転換によって起こる欠陥反応が原因だと考えられています。本研究では、第一原理電子状態計算を用いて電子系から格子系へのエネルギー転換機構の解明を目指し、将来的に欠陥増殖機構を制御することにつなげることを目標としています。

B02-17-3: フェムト秒レーザー加工によるシリコンカーバイドへの単一光子源の作製

研究代表者: 富田卓朗 (徳島大学)

近年、シリコンカーバイド(SiC)に電子線照射を行うことで点欠陥が生成されることが報告されています。この点欠陥からの光は単一光子であることが確認されています。このことは、SiC への適切な欠陥の導入が単一光子源の作製に繋がることを示しています。そこで、本研究では電子線照射の代わりにフェムト秒レーザー光照射を行うことで単一光子源を作製することを目的とします。具体的にはレーザー光の照射パラメーターを制御することで、フェムト秒レーザーアブレーション過程に関与する複数の物理過程の寄与を調整し、光子描像に基づく光加工を実現することで、点欠陥の作製が可能であることを実証します。

今後の予定

[主催国際会議]

International Workshop on UV Materials and Devices 2017 (IWUMD-2017)

会期: 2017 年 11 月 14~18 日

場所: 九州大学医学部

<http://www.iwumd.jp>

[主催国際会議]

International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2018)

会期: 2018 年 11 月 11~16 日

場所: 石川県立音楽堂/ANA クラウンプラザホテル

<http://www.iwn2018.jp>