

日本—V4 国際共同研究「先端材料」 平成 29 年度 年次報告書	
<b>研究課題名（和文）</b>	金属-IV 族半導体ナノ複合体のナノフォトニクス：単一ナノ粒子から機能性集合体まで
<b>研究課題名（英文）</b>	Nanophotonics with metal – group-IV-semiconductor nanocomposites: From single nanoobjects to functional ensembles
<b>日本側研究代表者氏名</b>	藤井 稔
<b>所属・役職</b>	神戸大学 大学院工学研究科・教授
<b>研究期間</b>	平成 27 年 11 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

## 1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
藤井 稔	神戸大学・大学院工学研究科・教授	中心的な役割を果たす研究者
加納 伸也	神戸大学・工学研究科・助教	電気特性評価
青木 画奈	神戸大学・工学研究科・助教	金属ナノ構造形成
杉本 泰	神戸大学・工学研究科・助教	基礎物性解明・ナノ複合体形成
井上 飛鳥	神戸大学・工学研究科・博士課程学生	ナノ複合体形成
八嶋 志保	神戸大学・工学研究科・修士課程学生	ナノ複合体形成

## 2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

本プロジェクトの中心材料であるホウ素とリンを同時ドーピングしたコロイド状シリコンナノ結晶について、原子レベルでの構造解析を実施する。また、表面に吸着した分子との

電子の授受によるキャリア制御（化学ドーピング）技術の開発を行う。シリコンナノ結晶の発光特性向上とバイオ応用への展開を目的に、金属ナノ構造との複合体を形成し、従来よりも高い発光増強とスペクトルシェーピング効果を実現する。また、金属ナノ構造で問題となるロス回避するため、誘電体ナノ構造とシリコンナノ結晶の複合ナノ構造を形成し、発光増強（特に励起断面積の増強）を実現する。さらに、シリコンナノ結晶と生体分子からなる複合ナノ構造の形成と評価に関する研究を実施する。

### 3. 日本側研究チームの実施概要

本プロジェクトの中心材料であるホウ素とリンを同時ドーピングしたシリコンナノ結晶について、昨年度に引き続き基礎物性の解明に関する研究を実施した。これまでは、シリコンナノ結晶の評価は膨大な数の粒子の集合体について行ってきたため、その平均情報しか得ることができなかった。今年度は、Scanning Tunneling Spectroscopyにより単一のシリコン量子ドットの状態密度スペクトルを測定することを試み、単一の粒子について伝導帯端、価電子帯端、ドナー準位、アクセプター準位のエネルギーを決定することに成功した。また、そのサイズ依存性を明らかにした。これにより、不純物同時ドーピングシリコンナノ結晶の電子状態や発光の起源をほぼ完全に解明することができたと考えている。

電子状態の解明に引き続き、シリコンナノ結晶と吸着分子間の電子の授受について研究を行った。これは、電子授受によるシリコンナノ結晶のドーピング（化学ドーピング）の実証や光触媒反応の評価を目的としている。シリコンナノ結晶の化学ドーピングの研究例はほとんどなかったが、本研究により、吸着分子からの電子移動によりp型のシリコンナノ結晶を補償することが可能であることを強く示唆する結果が得られた。また、光励起されたシリコン量子ドットから吸着分子への電子移動による吸着分子の脱色（光触媒効果）を観測した。脱色レートのシリコンナノ結晶サイズ依存性を詳細に検討したところ、脱色レートの対数とナノ結晶と色素のLUMOエネルギーの差に比例関係があることが明らかになった。これは、量子サイズ効果によるエネルギー準位構造の変化が、シリコンナノ結晶の光触媒反応の効率を決定していることを実験的に示した初めての例である。

以上のシリコンナノ結晶の基礎物性に関わる研究に加えて、金属ナノ構造の表面プラズモン共鳴によるシリコンナノ結晶の発光特性の向上を目的とする研究を実施し、励起効率と発光量子効率を同時に増強できる構造の実現が可能であることを示した。さらに、金属ナノ構造の代替として期待される誘電体ナノ構造として、可視領域にMie共鳴を持つ直径100nm～200nmのシリコン球を形成する技術を開発した。また、シリコン球による蛍光体の発光増強を実証した。同時ドーピングシリコンナノ結晶の応用の一つとして、ナノ結晶薄膜をセンサーチップとするポータブル・フレキシブル呼吸センサーを開発した。開発したセンサーは歩行中や運動中も正常に動作することから、今後医療分野での応用が期待できる。