

日本-V4 国際共同研究「先端材料」 平成 27 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>研究代表者氏名</b>	藤井 稔
<b>研究代表者所属・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 1 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日

## 1. 日本側の研究実施体制

ワークパッケージ 2：ナノ複合材料形成・評価		
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
今北 健二	神戸大学・工学研究科・准教授	基礎物性評価
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・博士課程学生	ナノ複合体形成
菅野 天	神戸大学・工学研究科・博士課程学生	表面修飾

## 2. 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、ホウ素とリンを高濃度に同時ドーピングしたシリコンナノ結

晶のコロイド溶液を、他グループ（特に、チェコ側のバイオグループ）に潤沢に供給するための体制を整えた。本材料の電子状態を計算する上で、シリコンナノ結晶の構造（特に不純物分布）と、最高被占軌道（HOMO）、最低空軌道（LUMO）、フェルミ準位のエネルギーのサイズ依存性のデータが必要である。構造については、海外の研究機関（University of New South Wales (Australia)）と共同で Atom Probe Tomography による原子レベルの構造評価を開始した。HOMO、LUMO 及びフェルミ準位のエネルギーに関しては、光電子収量分光（PYS）、光電子分光（XPS）、ケルビンプローブにより測定を行い、これらの準位のサイズ依存性をはじめて明らかにした。サイズが比較的大きい（～10nm）ナノ結晶では、HOMO 準位及び LUMO 準位がバルクシリコン結晶のエネルギーギャップ内にあり、アクセプター準位及びドナー準位がそれぞれ HOMO、LUMO を形成していることが明らかになった。いずれの準位もサイズの減少に伴ってシフトするが、サイズ依存性が価電子帯端及び伝導体端に比べて小さいため、サイズの減少に伴い不純物原子のイオン化エネルギーが増加することが明らかになった。さらに、サイズが比較的大きいナノ結晶はフェルミ準位が HOMO 準位近傍にあり p 型半導体となっているが、サイズが減少すると共にフェルミ準位がバンドギャップの中心付近に移動し、補償された半導体になることが明らかになった。この結果は、非常に小さいシリコンナノ結晶では、n 型と p 型の不純物がペアでドーピングされるという理論予想を裏付けるものである。以上の成果は、Nano Letters 誌に発表した。また、得られたデータをハンガリーグループ及びスロバキアグループに提供した。