

# 海洋光合成細菌に III-V 族半導体結晶を成長させる技術の開拓

研究代表者

富永 依里子 広島大学大学院先端物質科学研究科 助教

共同研究者

岡村 好子 広島大学大学院先端物質科学研究科 准教授



## 1. 研究の背景と達成目標

本研究では、海洋光合成細菌による未開拓の半導体材料の結晶成長を初めて実現することを目的とした。光合成細菌が有する光合成と呼吸の 2 つの電子伝達系を利用し、光合成細菌の電子授受によって形成される金属を用いて半導体結晶を成長させる。本研究は、海洋光合成細菌の機能を半導体の結晶成長に応用展開させるというものである。

バイオミネラリゼーションの分野では、磁性体や半導体を合成させる細菌の存在が示され、様々な材料の合成に取り組みられている。しかし、実際のデバイス動作を視野に入れた結晶性の評価やデバイス設計は充分に行われていない。本研究では特に、細菌による世界的にも未開拓の半導体の結晶成長に着目し、他の化合物半導体と比較しながら、細菌の採取・培養から半導体の合成、その結晶性の評価を行った。

## 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

<主な研究成果>

- ・細菌による硫化鉛 (PbS, 硫化物半導体の一つ) の結晶形成を確認
- ・合成用溶液量を増加させることで PbS 結晶の形状を粒状から一様なものへと面積を増加させることに成功
- ・PbS 結晶の面積の違いに連動して、光吸収端が短波長にシフトする傾向や  $\mu\text{A}$  オーダーの電流が試料に流れることを確認 他.

<社会、学術へのインパクト>

化合物半導体の形状が細菌によって制御できる可能性を示すことができた。細菌による様々な材料合成に挑戦し、粒状や薄膜状など、その形状の制御で半導体の禁制帯の制御ができるようになる可能性が示された。「結晶成長」や「量子(ドット)」といった従来の半導体結晶工学の分野で用いられ、形成されてきた材料や構造が細菌によっても合成できることを示唆している。

## 3. 研究成果

日本近海から共同研究者(岡村)が採取した細菌群を用い、各種化合物半導体の構成元素のイオンを含む水溶液中で 1 週間、化合物の形成を行った。半導体の形成は、X 線回折 (XRD)測定および透過電子顕微鏡 (TEM) 観察により確認した。結果の一例を図 1 と図 2 に示す。図 1 は、細菌によって合成した PbS の放射光 XRD スペクトルである。明瞭な回折ピークが確認でき、各ピークの回折角度ならびに回折強度は PbS 結晶の各結晶面由来のデータベースとよく一致した。このことから、細菌による PbS 結晶の合成ができていることを確認した。図 2(a)は、PbS 形成時の低倍率な TEM 像で、灰色の楕円形は菌体である。菌の細胞膜外側に付着している黒色の領域に Pb と S が含まれていることを

TEM 装置付属のエネルギー分散型 X 線分光器(EDS)を用いて確認した。この試料の XRD スペクトルにおいては、明瞭な PbS 結晶由来の回折ピークが得られ、図 2(a) の黒色の領域を拡大すると、直径 3.9-5.5 nm の粒状微結晶になっていることが確認できた(図 2(b))。この試料は試験管での微量溶液内での合成であったが、容量を 580 ml まで増やした場合には少なくとも 25 nm 四方の薄膜化した PbS 結晶が確認できた。結晶の面積の違いに連動して、光吸収端が波長シフトする傾向や  $\mu$ A オーダーの電流が試料に流れることも確認した。III-V 族化合物については、特許出願準備中のため、ここでは詳細は割愛する。

#### 4. 今後の展開

本研究で得た周期表上の各元素を回収する細菌を、ある時は母体材料の結晶成長用、ある時はドーパント(不純物の意)の添加用として用いる。細菌を用いた半導体結晶の導電性制御に取り組み、細菌による半導体 pn 接合の形成に挑戦する。導電性制御と結晶性改善のためにも、有機物のような残留不純物をほぼ完全に除去する技術の確立が急務である。こうした技術を含めてデバイス開発へと繋げる。長期的には、汚染環境や海洋・河川、土壌といった比較的希薄な水溶液から金属を回収し、半導体デバイスの製作までを可能とする細菌材料合成システムを確立する。

#### 5. 発表実績

- ・清水稜、富永依里子、真木祥千子、前田誠、岡村好子、「細菌が形成した PbS の結晶性評価」、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、18p-P8-15、2018 年 03 月、東京都。
- ・清水稜、富永依里子、真木祥千子、前田誠、岡村好子、「細菌形成 PbS の結晶性」、第 36 回電子材料シンポジウム(EMS36th)、Th4-14、2017 年 11 月、滋賀県。
- ・清水稜、富永依里子、岡村好子、「II-VI 族化合物半導体結晶を合成する光合成細菌のスクリーニング」、2016(平成 28 年度) 第 68 回日本生物工学会大会、3P-1p123、2016 年 09 月、富山県。

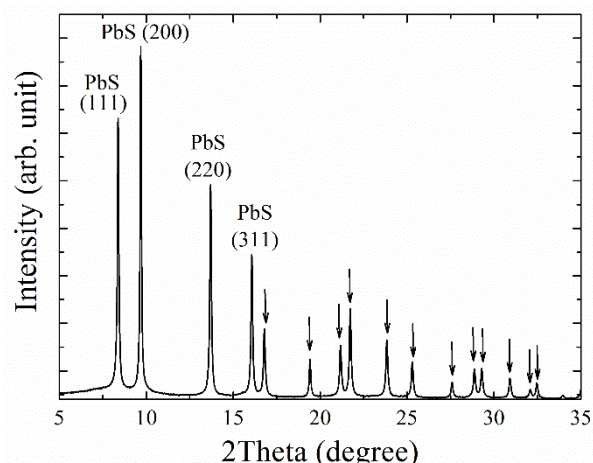


図 1. 本研究で得られた PbS の XRD スペクトル (測定は、広島大学大学院理学研究科 真木祥千子助教によって大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL44B2 にて行われた)。

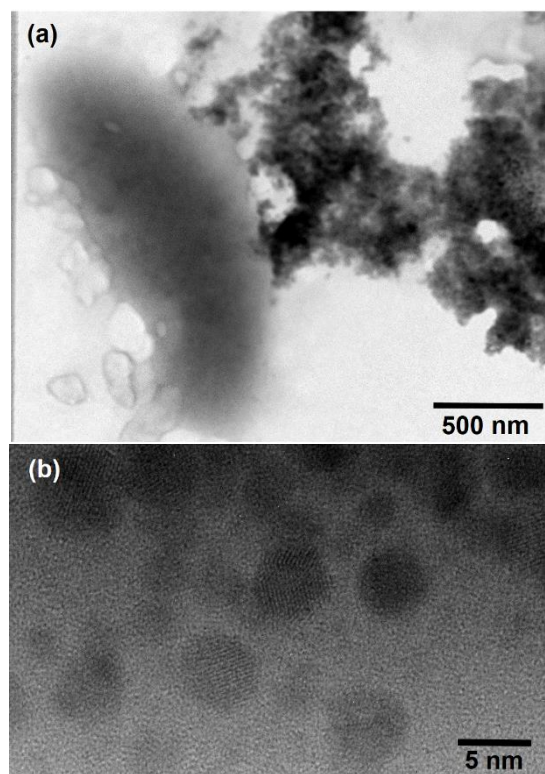


図 2. 細菌が形成した化合物半導体の TEM 像. (a) PbS 形成時の低倍率像, (b) PbS の高倍率像。