

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－スペイン研究交流）

1. 研究課題名：「熱電応用のためのナノワイヤアレイ技術の集積く実用エネルギー素子への第一歩」
2. 研究期間：平成21年11月～平成25年3月
3. 支援額： 総額 29,075 千円
4. 主な参加研究者名：
日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	篠原 嘉一	独立行政法人 物質・材料研究機構 電池材料ユニットエコエネルギーG	グループリーダー
研究者	磯田 幸宏	独立行政法人 物質・材料研究機構 電池材料ユニットエコエネルギーG	主幹研究員
研究者	磯部 雅朗	独立行政法人 物質・材料研究機構 超伝導物性ユニット強相関物質探索G	主席研究員
研究者	森 孝雄	独立行政法人 物質・材料研究機構、WPI国際ナノアーキテクニクス研究拠点	MANA研究者
研究者	Biswapria Deb	独立行政法人 物質・材料研究機構 電池材料ユニット エコエネルギーG	NIMSポスドク研究員
研究者	川上 博司	独立行政法人 物質・材料研究機構 電池材料ユニットエコエネルギーG	NIMSポスドク研究員
参加研究者 のべ 7 名			

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Marisol Martin-Gonzalez	Instituto de Microelectrónica de Madrid CNM -CSIC-	Tenure Scientist
研究者	Fernando Briones	Instituto de Microelectrónica de Madrid CNM -CSIC-	Professor
研究者	Olga C. Calero	Instituto de Microelectrónica de Madrid CNM -CSIC-	Post Doctoral Researcher
研究者	Pablo Díaz Chao	Instituto de Microelectrónica de Madrid CNM -CSIC-	Post Doctoral Researcher
研究者	Begona A.Mayor	Instituto de Microelectrónica de Madrid CNM -CSIC-	PhD student
研究者	David Solís	Instituto de Microelectrónica de Madrid CNM -CSIC-	Electronics engineer student
参加研究者 のべ 6 名			

5. 研究・交流の目的

本研究課題は、ナノワイヤアレイの実用熱電技術を開発するとともに、熱電変換のブレークスルーのためのヒントを見出すことを目的とする。

スペイン側のマドリッドマイクロエレクトロニクス研究所（**Instituto de Microelectrónica de Madrid: IMM**）はナノワイヤアレイについて優れた電着合成技術を有し、日本側の（独）物質・材料研究機構（**National Institute for Materials Science: NIMS**）はバルク状熱電材料の熱電特性について優れた評価技術を有する。そこでスペイン側は実用組成の Bi_2Te_3 系ナノワイヤアレイの電着合成技術の開発を分担し、日本側は電着法により合成した Bi_2Te_3 系ナノワイヤアレイおよびナノワイヤの熱電特性の定量測定技術開発を分担する。ナノ効果を検証するためのモデル実験の域を出ていなかった従来のナノワイヤ研究から脱却して、材料プロセス研究へと発展させる。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

スペイン側は、実用組成である Bi_2Te_3 系ナノワイヤアレイの合成の予備実験として、まず BiTe 系膜の電着合成を行い、電着条件が析出物の形状や組成に与える効果を明らかにした。多孔性アルミナテンプレート（ポア径：120, 40nm、厚さ：約100 nm）を製作し、実用組成である Bi_2Te_3 系ナノワイヤアレイの電着合成プロセスを開発した。電着合成した BiTe 系膜、 Bi_2Te_3 系ナノワイヤアレイとアルミナテンプレートを溶出して作製した Bi_2Te_3 系ナノワイヤは、日本側に試料提供された。同時に、日本側から技術提供された熱伝導率の測定技術をベースとして、独自に絶対法および比較法による熱伝導率測定システムを開発した。このシステムの測定誤差は10%程度と比較的小さく、技術交流の成果と言える。

日本側は、スペイン側の予備実験に対応して、薄膜試料の熱電特性（ゼーベック係数、電気伝導率）を定量評価する技術（測定誤差：0.1%以下）を最初に開発した。これを用いて BiTe 系膜の熱電特性評価を行い、熱電特性と合成条件の相関を明らかにした。次に、 Bi_2Te_3 系ナノワイヤアレイの熱電特性（ゼーベック係数、電気伝導率）を定量評価する技術（測定誤差：約2.5%）を開発した。これを用いてポア径120nmのナノワイヤアレイの特性評価を行ったが、ナノワイヤ化による熱電特性の改善効果は認められなかった。

スペイン側の学生が2012年にNIMSを二度訪問し、合計で約一カ月滞在してNIMSで開発中のナノワイヤアレイの熱電特性評価技術について研修を受けた。これを元にスペイン側は、自国ラボ内でナノワイヤアレイの熱電特性評価システムを新たに開発した。なお、ナノワイヤの熱電特性（ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率）の定量評価技術については、日本側で継続的に開発が進められている。

本研究・交流の成果は、**Oral/Poster**として40件以上が国際会議や国際ワークショップで発表され、科学技術論文として7報が誌上発表されている（印刷中も含む）。

6-2 人的交流の成果

本研究・交流は、スペイン側からのナノワイヤアレイ試料の提供と日本側からの測定技術の提供が柱であるため、約3年半の研究・交流の実施期間内に、5回の日本-スペイン国際ワークショップおよび10回の国際研究ミーティングを実施した。双方を合わせると、相手国への訪問者数はのべ20名以上である。人的交流の成果を以下に列記する。

1) ポスドクの育成

スペイン側、日本側共に、それぞれ二名のポスドクを雇用し、人的・技術交流の中心的役割をポスドクが担った。交流は幅広い技術情報を身につけると共に国際感覚を培うことに大いに役立った。

2) 学生の育成

スペイン側は二名の学生（**PhD** 学生、学部学生）の研究指導を行った。二名の学生は交流を通して材料の研究開発の実プロセスを経験し、研究活動のトレーニングを受けることができた。**PhD** 学生は、2011年の9月にトレドで開催された第1回スペイン-日本二国間

ワークショップ (SJNANO2011) において、ベストポスター賞を受賞した。

3) 技術交流

スペイン側は電着合成技術、ナノワイヤアレイおよびナノワイヤの取り扱い方について、日本側は熱電特性の定量測定技術、特に熱伝導率の測定技術、ナノワイヤアレイの熱電特性の定量評価技術について、技術提供した。スペイン側は日本側の提供技術に基づいて、熱伝導率の測定システムを開発した。

4) 学生研修

スペイン側の PhD 学生を日本側は研修生として 2 回受け入れた。受け入れ期間は延べ約 1 カ月である。スペイン帰国後は、習得技術を元にナノワイヤアレイの熱電特性評価システムを開発した。

7. 主な論文発表・特許等 (5 件以内)

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	H. Kawakami, H. Takemoto, H. Yamamura, Y. Isoda, Y. Shinohara, "Thermoelectric Properties of Perovskite-type Oxide Ca-Mn-O System in Relation to A-site Vacancies", Material Transactions, 2013 (in printing)	
論文	H. Kawakami, H. Takemoto, H. Yamamura, Y. Isoda, Y. Shinohara, "Effect of improvement of tolerance factor on thermoelectric properties oh Perovskite-type oxide Ca-Mn-O system", J. functionally graded materials, 23, 2013 (in printing)	
論文	B. Deb, Y. Isoda, O. Caballero-Calero, P. Díaz-Chao, M.S. Martín-González, Y. Shinohara, "Heat treatment effects on electrochemically grown Bi ₂ Te ₃ thin films for thermoelectric applications", Materials Transactions, 53, 08, 1481-1485, (2012)	共著
論文	B. Abad, P. Díaz-Chao, A. Almarza, D. Amantia, S. Vázquez-Campos, Y. Isoda, Shinohara, F. Briones, M. Martín González, "Thermal diffusivity measurement system applied to polymers", Proc.ECT2011, 28-30, (2011)	共著
論文	Y. Shinohara, "Thermoelectric devices and functionally graded devices", Metals, 81, 1, 38-42, (2011)	