

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：「ZnMgO 系酸化物半導体ナノコラム構造並びにコアシェルナノ構造を用いた高効率発光 LED の開発」
2. 研究期間：平成 22 年 11 月～平成 26 年 3 月
3. 支援額： 総額 19,998,000 円
4. 主な参加研究者名：

日本

	氏名	所属	役職
研究代表者	中村篤志	静岡大学大学院工学研究科	講師
研究代表者	天明二郎	静岡大学大学院工学研究科	教授
研究者	S. K. Mohanta	静岡大学電子工学研究所	ポスドク
研究者	臧 志剛	静岡大学電子工学研究所	ポスドク
研究者	大村信亮	静岡大学電子工学研究所	学部学生
研究者	仁枝嘉昭	静岡大学電子工学研究所	学部学生
参加研究者 のべ17名			

スペイン

	氏名	所属	役職
研究代表者	A. Hierro	ISOM, UPM（マドリッド工科大）	准教授
研究代表者	E. Muñoz	ISOM, UPM	教授
研究者	山本兼司	ISOM, UPM（H22.12～H23.9）	ポスドク
研究者	G. Tabares	ISOM, UPM	大学院学生
研究者	M. Lopez	ISOM, UPM	大学院学生
研究者	A. Kurtz	ISOM, UPM	大学院学生
参加研究者 のべ11名			

5. 研究・交流の目的

本課題では、酸化物半導体材料を用いて、高効率・低消費電力の発光ダイオード(LED)の研究開発を進め、グリーンデバイスとして資する事を目的とする。中心的課題は、p 型 ZnO 系混晶成長技術の検討、ZnMgO 系材料のナノコラム構造形成の試み、量子構造 LED の開発である。ベースとなる基本技術としては、日本側静大（SU）は MOCVD 結晶成長技術、スペインマドリッド工科大（UPM）は DL0S 等結晶評価技術で、お互いに有機的に補完しながら上記目標を達成する事とした。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

共同の研究成果

日本側の独自技術のリモートプラズマ支援有機金属化学気相堆積法（RPE-MOCVD）法を用いると、非平衡度を高め Zn(Mg, Cd)O 混晶の組成制御性が実現されることを明らかにして来ている、その成長メカニズムやアクセプター形成、組成取り込まれメカニズムが理解されていないため。日本側とスペイン側が協力し、日本側は Zn(Mg, Cd)O:N 混晶の結晶成長と評価を行い、スペイン側は光学/電氣的評価を DL0S、TEM 技術を駆使して行って、p 型を示す可能性のあるアクセプター準位の形成とメカニズムを明らかにした。同時に酸化物半導体に特徴的な強いイオン性に基づく表面極性と酸素空孔に由来する高濃度 n 型表面層のパッシベーションが p 型実現には必要であることが明らかになった。

LEDs の開発に関しては、これまでの期間内に当初計画した n 型 ZnO 基板を用いた通常の pn 接構造は実現できなかった。しかしながら、p-SiC 基板を用いた緑色ナノコラム構造 MQW-LED の EL 発光実現、発光波長をさらに拡大し赤色ナノコラム MQW 構造を得た。表面へのダメージの少ない p 電極である有機 PEDOT:PSS をショットキー接合評価に展開し、その幅広いスペクトル吸収層を利用出来る 4 元系 PVs へ応用できる可能性を見出した。

今後はさらにバンドギャップ制御範囲の拡大とナノカーボン電極を用いた PVs、エネルギーストレージデバイスへの展開を計画している。

双方が独自に取り組んだ研究成果

両研究チームは、それぞれ独自にナノ構造形成と評価の研究も進めた。スペイン側の成果としては、分散 ZnCdO 系ナノワイヤーの水素センシング、RTA ポストアニーリングによる熱的安定性と発光強度増強について結果を各種ジャーナルに出版した。

日本側は、酸化物で数少ない p 型伝導を示す p-Cu₂O/n-ZnO PV の基本検討、グラフェン CVD 直接成長技術の開発とグラフェン膜の FET チャネル層、液晶デバイス電極を展開し、ジャーナル出版、また国際会議でも報告してきている。

6-2 人的交流の成果

・第一期スタートアップ交流 (H22.12-H23.9 9 か月)

従来からの UPM との研究交流に関連のあった山本兼司氏 (H22.3 天明研 D 修了) が UPM ポスドクとして参加した。共同研究を通し、緑色 LED の実験結果を IEEE PTL に出版でき、UPM では MBE 技術を使った赤外センサーの研究で貢献した。帰国後ローム社で研究開発に従事しているが、現在まで、日西共同研究のかけ橋役となっている。

・第二期 (中間) 交流 (H25.1-H25.2 1 か月)

UPM からは、PhD 院生 Lopez 氏が SU に一ヶ月滞在し、RPE-MOCVD 成長 ZnCdO MQW 評価を実施し、ゼミの討論を通し SU メンバーにも刺激をもたらした。その結果は、Nanotechnology の今月 5 月号に論文化でき、D 論まとめを目指し交流が続いている。

・第三期 (最終年度) 交流 (H26.1-H26.2 3 週間)

プロジェクト最終年度には、SU 卒研究生の仁枝嘉昭氏がさる 1 月に 3 週間 UPM に共同実験のため滞在した。新規 4 元混晶膜の評価を進め、その結果を 9 月開催の SSDM2014 に投稿した。現在は NAIST 院で酸化物材料の FET 応用研究をスタートしていると聞いている。

今回、日西双方の研究チームは上記の通り人材交流を進めながら、期間中に JST-MINECO 事務局の尽力で開催された 2 回の Spain-Japan ワークショップと国際会議を有効に利用出来た。共同研究成果の発表にいたる準備／コミュニケーションは研究を深化加速させた。これらの機会を通じて、研究だけでなく文化的な交流も進み、両国の相互理解に貢献することができた。UPM は欧州ナノマテリアルの研究コンソーシアムにも加わっており、今後も新しい結果を出すべく継続して交流を続けていく。

7. 主な論文発表・特許等

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	備考
論文	M. Lopez, A. Nakamura, M. Suzuki, J. Temmyo, S. Agouram, MC Martinez-Tomas, V. Munoz-SanJose, P. Lefebvre, J. M. Ulloa, E. Munoz, A. Hierro, VIS-UV ZnCdO/ZnO multiple quantum well nanowires and the quantification of Cd diffusion, Nanotechnology, in-press, May 2014.	共著 論文
論文	A. Kurtz, A. Hierro, G. Tabares, E. Munoz, S. K. Mohanta, A. Nakamura, J. Temmyo, "Acceptor levels probed by deep level optical spectroscopy", Appl. Phys. Lett. Vol. 104, no.8, pp. 081105-081105-5, 2014.	共著 論文
論文	S. K. Mohanta, A. Nakamura, G. Tabares, A. Hierro, A. Guzman, E. Munoz, J. Temmyo, "Electrical characterization of Schottky contacts to n-MgZnO films", Thin Solid Films, vol. 548, pp.539-545, 2013.	共著 論文
論文	M. Lopez-Ponce, A. Hierro, J. M. Ulloa, P. Lefebvre, E. Munoz, S. Agouram, V. Munoz-SanJose, K. Yamamoto, A. Nakamura, J. Temmyo, "Optical properties and microstructure of 2.02-3.30 eV ZnCdO nanowires: effect of annealing", Appl. Phys. Lett. vol. 102, no.14, pp.143103-143103-5, 2013	共著 論文
論文	Kenji Yamamoto, Atsushi Nakamura, Jiro Temmyo, Elías Muñoz, Adrian Hierro, "Green Electroluminescence from ZnCdO Multiple Quantum Well Light-Emitting Diodes Grown by Remote-Plasma-Enhanced Metalorganic Chemical Vapor Deposition", IEEE/Photonics Technology Letters, vol.23, no15, pp. 1052-54, 2011.	共著 論文