

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－ドイツ研究交流）

1. 研究課題名：「単一量子ドットを用いたレーザの開発」
2. 研究期間：平成21年 8月～平成25年3月
3. 支援額： 総額 14,960,000 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	荒川 泰彦	東京大学生産技術研究所	教授
研究者	岩本 敏	東京大学生産技術研究所	准教授
研究者	野村 政宏	東京大学生産技術研究所	准教授
研究者	Aniwat Tanda echanurat	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構	特任助教
研究者	太田 泰友	東京大学ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構	特任助教
研究者	石田 悟己	東京大学生産技術研究所	助手
参加研究者 のべ 9 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	Alfred Forchel	Universität Würzburg	教授
研究者	Martin Kamp	Universität Würzburg	教授
研究者	Stephan Reitzenstein	Technische Universität Berlin	教授
研究者	Sven Höfling	Universität Würzburg	グループリーダー
研究者			
研究者			
参加研究者 のべ 4 名			

5. 研究・交流の目的

本研究は位置制御された単一量子ドットを用いたナノレーザを開発することを目的とする。

具体的には、ドイツ側の位置合わせ量子ドット作製技術と、日本側の高品質フォトニック結晶ナノ共振器作製技術を融合することで目的を達成する。

各々の技術単体では、位置合わせ量子ドットを用いた単一量子ドットレーザを実現することは困難であるが、日独が本交流研究を通じて互いの得意とする位置制御量子ドット作製技術（ドイツ）とナノ共振器作製技術（日本）を融合することで目的の実現にプロジェクト期間内に到達できると期待できる。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

Würzburg 大学は、単一量子ドットレーザを実現するために必要な、高品質な位置制御量子ドット形成技術を確立した。作製された位置制御 InGaAs 量子ドットは、GaAs 中に埋め込

まれておりその位置がわからないため、位置を特定するためのマーカーも同時に作製し、その試料を東京大学に輸送した。東京大学は、その量子ドットが中心に位置されるよう、マーカーを読み取りながら数十ナノメートル程度の高精度位置制御技術を用いて高品質なフォトリソニック結晶微小共振器を作製する技術を確立した。共振器としては、二次元および三次元フォトリソニック結晶微小共振器を用いた。

二次元フォトリソニック結晶微小共振器については、単一量子ドット-微小共振器結合系を作製し、光学特性を評価することができた。光励起によって量子ドット内に電子-正孔対を生成し、その再結合によって発生した光の波長(4 K において約 940 nm)が、共振器共鳴波長とほぼ一致する系について実験を行った。励起強度を高くするにつれ、共振器モードの光強度が非線形に高くなり、線幅の狭窄化も観測することに成功した。これは、レーザ発振を示唆する実験データであるが、量子ドットの発光波長と共振器共鳴波長が若干ずれていたため、より性能のよい単一量子ドットレーザの実現に向けて研究を継続中である。

三次元フォトリソニック結晶微小共振器については、940 nm という短い波長で単一量子ドット-ナノ共振器結合系を作製するための設計を行い、最適構造パラメータを決定した。また、短波長領域で要求されるより微細な構造作製に付随する様々なプロセス上の問題を解決し、プロセス手法を確立した。これらにより、位置制御量子ドットと完全フォトリソニックバンドギャップを有する三次元フォトリソニック結晶微小共振器を用いる事で、量子ビットとその集積化の実現まで見据えた量子ドット-微小共振器結合系の作製技術確立に貢献した。

6-2 人的交流の成果

交流研究による相乗効果を十分に活用するため、人的交流を積極的に行った。年1回、日独で交互にワークショップを計4回開催し、その場を活用して、両国の研究者同士で様々な議論や意見交換がなされた。交流を深めることで研究が活発化し、両方で執り行われた共同研究の進展にも大きく寄与するとともに、メンバーが外国人研究者と緊密に連携して研究を進めるという経験を積むことができた。

東京大学の修士課程の学生1名が、ドイツの共同研究交流先に二ヶ月間滞在した。留学体験から様々な研究知識や研究マインド、また国の文化や人柄を学んできてもらう事で、世界で活躍できる研究者としての人材育成を行うことができた。その学生はドイツ側の研究グループが有する位置制御量子ドット形成技術を身に付け、我々のグループでも同様の位置制御量子ドット形成に関わる研究が行える経験とノウハウを持つ人材を育成することが可能になり、今後日本でも本技術を発展させる下地を作ることができた。

今後も当該研究に関わる活動を続け、さらなる成果の獲得を目指し両者の間で研究を発展させていく予定であり、今後も電子メールや直接の発表の場を通じて盛んに研究交流が行われる予定である。

平成22年度に、東大-Würzburg 大間で全学協定を締結したが、研究リーダーである荒川教授と Würzburg 大学学長かつドイツ側の研究リーダーの Forchel 教授が、協定締結に至る過程で大きな役割を果たしている。長年の研究交流に加え、本プロジェクトによる一層の交流の深化も寄与したと言え、将来にわたり、大学間というより大きな規模での日独間研究交流の活発化に貢献したことは、大きな成果といえる。

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	備考
論文	H. Takagi, Y. Ota, N. Kumagai, S. Ishida, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, "High Q H1 photonic crystal nanocavities with efficient vertical emission," Opt.	

	Express, 20, 28292 (2012).	
論文	Alexandre Enderlin, Yasutomo Ota, Ryuichi Ohta, Naoto Kumagai, Satoshi Iwamoto, Yasuhiko Arakawa “High guided mode–cavity mode coupling for an efficient extraction of spontaneous emission of a single quantum dot embedded in a photonic crystal nanobeam cavity,” Phys. Rev. B, 86 (7) 075314 (2012).	
論文	Yasutomo Ota, Satoshi Iwamoto, Naoto Kumagai, Yasuhiko Arakawa, “Spontaneous Two–Photon Emission from a Single Quantum Dot,” Phys. Rev. Lett., 107 (23) 233602 (2011).	