

審査の結果の要旨

氏名 太田 竜一

半導体における光電子相互作用は様々な光デバイスの基礎となる現象である。特に、光ナノ共振器を用いるとこの相互作用が大きく改変されることから、高効率レーザや量子情報素子への応用を目指し、その物理に関する基礎研究が進められている。近年では、この光ナノ共振器における光電子相互作用を積極的に制御することにより光エレクトロニクス素子や量子情報素子の更なる高機能化を図ろうとする試みが注目されつつある。本論文は「Fabrication of Tunable- Q Photonic Crystal Nanobeam Cavities for the Control of Light- Matter Interaction (Q 値可変フォトニック結晶ナノビーム共振器の作製と光電子相互作用の制御に関する研究)」と題して、高品質フォトニック結晶(PhC)ナノビーム共振器の形成、マイクロエレクトロメカニカル機構(MEMS)によるその Q 値制御、およびそれを利用した光電子間相互作用の制御の可能性を論じており、8章から構成され、英文で執筆されている。

第1章では、「Introduction」と題して、フォトニック結晶ナノ共振器およびナノ共振器における光と物質の相互作用に関する研究の背景とそこでの Q 値制御の意義を論じた後、本研究の目的を示している。

第2章では、「Fundamentals of light-matter interaction in photonic crystal nanocavities」と題して、その舞台となる PhC ナノ共振器共振器と半導体量子ドット(QD)、及び QD-PhC ナノ共振器結合系で生じる光電子相互作用の基礎について概説している。

第3章では、「Design and fabrication of high- Q PhC nanobeam cavities」と題して、高 Q 値 PhC ナノビーム共振器の設計と作製について説明している。空孔間隔変調の手法により高い Q 値と小さなモード体積を併せ持つ PhC ナノビーム共振器の設計に加えて、細線状の PhC ナノビーム構造を高品質かつ安定的に形成するために独自の作製手法についても論じている。本章で論じられている設計・作製技術は本研究の基盤技術となっている。

第4章では、「Fundamental characteristic of PhC nanobeam cavities and observation of vacuum Rabi splitting」と題して、QD-共振器結合系を評価するための光学測定

手法を紹介した後に、第3章で作製された QD を有する PhC ナノビーム共振器の基礎特性の評価、および量子ドットと共振器光子の量子力学的相互作用の観測について報告している。半導体発光体を含む PhC ナノビーム共振器としては最高となる $Q \sim 44,000$ を実現するとともに、ナノビーム共振器で初めて QD と共振器の強結合状態に特徴的な真空ラビ分裂を観測することに成功している。

第5章では、「Design and fabrication of tunable- Q PhC nanobeam cavities」と題して、MEMS を用いた Q 値可変 PhC ナノビーム共振器の設計と作製手法について述べている。有限要素法と時間領域差分法を用いて、 Q 値可変 PhC ナノビーム共振器を設計し、電圧印加 17V で Q 値約 4,000 から 70,000 までの連続的な制御が可能であることを示している。また PhC ナノビーム共振器と MEMS を組み合わせた素子の作製技術開発を行い、その作製に成功している。

第6章では、「Electromechanical control of Q factor and manipulation of light-matter interaction」と題して、PhC ナノビーム共振器と MEMS を組み合わせた素子における広範囲な Q 値制御の実証とそれを用いた QD-PhC 共振器結合系の制御について議論している。作製された素子において、3,500 から 14,000 までの Q 値制御に成功している。これは QD を含む PhC ナノ共振器としては最大の制御幅となるものである。また、 Q 値制御にともなう QD の発光寿命変化の測定にも成功しており、それに基づき更なる光電子相互作用の制御の可能性も議論している。

第7章では、「Theoretical analysis of wavelength shift in Q factor control operation」と題して、 Q 値制御の際に同時に生じる波長シフトについて、議論を展開し、波長シフトを抑制する方法を提案している。結合モード理論と時間領域差分法との比較から波長シフトが共振器-導波路間のモード結合に起因していることを明らかにするとともに、導波路分散の設計により波長シフトの生じない Q 値制御が可能であることを示している。

第8章では「Conclusion and future prospects」と題して、各章の主要な研究成果を総括し、本論文の結論及び将来展望について述べている。

以上、これを要するに、本論文は、高 Q 値フォトニック結晶ナノビーム共振器の形成とマイクロエレクトロメカニカル機構を用いたその Q 値制御について論じるとともに、光電子相互作用制御への応用の可能性を示したものであり、電子工学に貢献するところが少なくない

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。