

審査の結果の要旨

氏名 山本 巧

近年、高密度に集積化された電子-光融合デバイスへの期待が高まっているが、光デバイスと電子デバイスの大きさの違いがこれを妨げる要因のひとつとなっており、光デバイスの小型化が求められている。この課題の解決に期待される技術の一つがプラズモニクスである。プラズモニクスとは、金属界面の電子の集団運動と光との相互作用を制御する技術であり、回折限界以下の小さな空間領域に閉じ込められた表面電磁界と電子の集団運動の結合状態（以下、表面プラズモンポラリトンと呼称）に立脚している。特に、金属海面に沿って伝搬する表面プラズモンポラリトン（伝播型表面プラズモンポラリトン: Propagating Surface Plasmon Polariton: PSPP）を信号とする光回路（プラズモニック光回路）の実現は重要な到達点の一つとなっており、PSPP を励起する光源と PSPP を実現する導波路構造（プラズモニック導波路構造）の結合系の研究が注目されている。光源として III-V 族量子ドットを用いた研究報告は少なく、未だその PSPP の励起に対する理解は不十分である。またパターンニング可能な導波路構造を用いた結合系の研究報告も少ない。本論文では、III-V 量子ドットを用いた高効率な PSPP 励起の構造の実現を目指して、2次元金属-半導体-金属導波路構造（Two-Dimensional Metal-Semiconductor-Metal: 2D-MSM）中に埋め込まれた自己形成 InAs 量子ドットの光学特性を明らかにすることを目的として、「金属に挟まれた半導体リッジ構造中の InAs 量子ドットの光学特性に関する研究 (Study on optical properties of InAs quantum dots in semiconductor ridge structures sandwiched by metal)」と題し、金属クラッドによって挟まれたサブ波長幅の 2D-MSM 導波路構造に埋め込まれた InAs 量子ドットの光学的な特性に関して論じており、全 6 章から構成され和文で書かれている。

第 1 章は「序論」と題し、本博士論文の背景及び構成について述べるとともに、プラズモニック回路の高効率 PSPP 励起構造の実現に向けた、2D-MSM 導波路構造と InAs 量子ドットの結合系の研究の重要性を論じている。

第 2 章は「表面プラズモンポラリトンモードの基礎と計算手法」と題し、本論文で重要な SPP の基礎的な事柄を述べたのち、本論文で重要な計算手法として 3次元時間領域差分法と 2次元周波数領域有限要素法について述べる。また、発光体の励起子緩和率の変化の 3次元時間領域差分法による見積もり方法の説明も行っている。

第 3 章は「設計と作製」と題し、2D-MSM 導波路構造中の InAs 量子ドットについて実際の実験で用いる系を設計している。そこでは PSPP モードの励起効率を表す 3つの指標を定義し、設計を行っている。その後、以降の章で用いる実際の実験のサンプル作製の手順を、実際に作製された構

造の電子顕微鏡像を用いながら説明している。

第4章は「サブ波長幅導波路中に埋め込まれた InAs 量子ドットの光学特性」と題し、金属がないサブ波長半導体導波路構造中の InAs 量子ドットの光学的な挙動について実験結果とともに論じている。この結果は、次章で議論される金属を有した場合の結果の理解に重要となる。

第5章は「金属クラッドを有するサブ波長幅導波路構造中に埋め込まれた InAs 量子ドットの光学特性」と題し、2D-MSM 導波路構造中の InAs 量子ドットの光学特性について実験結果を示すと共に、反射電子顕微鏡像から得られた構造の断面形状の詳細と、前述の章で論じた計算手法を用いて、観測された結果をシミュレーションを用いて論じている。この結果、金属による増強効果が明確になるとともに、InAs 量子ドットの励起子緩和率と PSPF の励起効率にとって重要な構造パラメータが明らかにされる。

第6章は「結論と今後の展望」と題し、各章の主要な成果をまとめて総括し、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、金属クラッドによって挟まれたサブ波長幅の半導体導波路構造における InAs 量子ドットの光学特性を検討し、金属による量子ドットの発光の増強効果の観測とその構造依存性などを実験とシミュレーションにより明らかにしたものであり、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。