

審査の結果の要旨

氏名 野村 航

本論文は、「伝搬光・近接場光変換素子の開発」と題し、ナノ寸法微粒子と近接場光との相互作用を利用したナノフォトニックデバイスを、巨視的な従来の光デバイスと接続して情報を受信するために必要な伝搬光・近接場光変換機能を有するデバイス開発の結果について述べたものであり、4章と補遺4編からなる。

第1章「序論」では、ナノフォトニクス歴史的経緯、伝搬光・近接場光変換機能を有するデバイスが必要とされる背景、本研究の目的、本論文の構成について記している。

第2章は「表面プラズモンを用いた伝搬光・近接場光変換素子の開発」と題し、まず伝搬光を表面プラズモンポラリトン (Surface Plasmon Polariton:SPP) に変換した後にそのエネルギーを集中させるプラズモン集光器を提案し有限差分時間領域法を用いて設計した結果を述べている。この結果をもとに Au 膜上に直径 $10\mu\text{m}$ の半円形のプラズモン集光器を作製し、波長 $\lambda=785\text{nm}$ のレーザー光の集光実験を行って 400nm 幅の領域への SPP のエネルギー集中を確認している。

次に、このプラズモン集光器の焦点を起点として金属微粒子を直線的に連ね、それらに発生する局在表面プラズモン(Localized Surface Plasmon : LSP)の結合により光エネルギーを送るナノドットカップラーを提案している。直径 230nm の Au 微粒子を 300nm ピッチで連ねることによりこのデバイスのひな形を作製し、長さ $4\mu\text{m}$ にわたる光エネルギー伝送を実現している。これは同じ条件で作製した金属細線 SPP 導波路の3倍以上の伝送距離であることから、その優越性を確認している。また、このナノドットカップラーを 90° 折り曲げても伝送損失が増加しないことから、電場の振動方向に依存しない伝送特性を持つことを明らかにしている。

更にナノドットカップラーの金属微粒子の寸法と伝送性能との関係を解析し、 $\lambda=785\text{nm}$ の光に対して LSP の電場増強効果が最大となる幅 200nm 高さ 50nm の扁平球形の Au 微粒子を連ねることでエネルギー伝送効率が極大になることを示している。また効率が最大となる微粒子径が入射光の波長に依存することを確認し、ナノドットカップラーが波長選択性も有すると述べている。以上の結果から、金属製のプラズモン集光器とナノドットカップラーからなる伝搬光・近接場光変換素子の試作に成功したと結論している。

第3章は「半導体ナノドットカップラー」と題し、半導体量子ドット間の近接場光エネルギー移動を用いたナノ寸法の光伝送路を提案し、その動作を検証した結果について述べている。まずその原理について説明し、次に均一な寸法の CdSe/ZnS コアシェル量子ドット群を光ファイバの断面上に堆積し、室温にて光励起することにより、同一寸法の量子ドット間でのエネルギー伝送を確認している。次に、互いに共鳴する励起子エネルギー準位を有する直径 2.8nm と 4.1nm の2種の CdSe/ZnS コアシェル量子ドットを

基板上に混在させて堆積し、130K 以下において波長 $\lambda=306\text{nm}$ の光で励起して発光スペクトル強度の低下を見出し、近接場光エネルギー移動確率が増加したこと、それが励起子寿命の増大に起因するものであることを明らかにし、寸法の異なる量子ドット間でのエネルギー移動と散逸を確認している。

以上の結果をさらに詳細に検討するために、直径 2.8nm の量子ドットからの発光の時間発展に着目し、 4.1nm の量子ドットと混在する箇所では発光寿命が短くなっていることを見出して、 4.1nm の量子ドットへの近接場光エネルギー移動と緩和を確認している。以上の結果から、半導体ナノドットカップラーの動作の検証が終了し、今後はこれらを規則正しく配列させることでデバイスが実現可能であると述べている。

第4章「結論」では、本論文で明らかになった知見をまとめている。

補遺では今後の研究の発展のための方策を述べている。補遺 A「結晶の選択成長による半導体ナノドットカップラーの作製」では、ナノフォトニック集積回路を視野に入れたデバイス作製法の開発のために、GaAs バッファ層の選択成長を行った結果について述べている。補遺 B「単分子膜パターンの制御」では、溶液中の CdSe/ZnS 量子ドット等を 1 次元的に配列させるための基板パターンの制御の結果について述べている。補遺 C「近接場光ナノインプリント」、補遺 D「近接場光による金属微粒子列の事故組織的一括作製法」はともに近接場光を用いたナノ加工法の開発の結果に関するものであり、ナノドットカップラーのような微細デバイスを大面積に一括して作製する方法について述べている。

以上のように、本論文は、ナノフォトニックデバイスを外部の巨視的光デバイスと接続し駆動させるために必要な伝搬光・近接場光変換素子を提案し、その動作を検証したものであり、光エレクトロニクスを中心とする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。