

京都大学	博士 (工学)	氏名	今本浩史
論文題目	Studies on Fabrication and Characterization of High Efficiency Optical Sensing Devices (高効率光センシングデバイスの研究)		

(論文内容の要旨)

本論文は、光センシングに関する高感度化、高信頼化、低消費電力化をターゲットとして、発光効率、受光感度の向上、および高S/N比を実現するために、結晶成長、フェムト秒レーザ加工を中心としたナノ構造制御技術に着目し、研究を進め、それをまとめたものである。本論文は以下の三章から成る。

第一章の前半部では、分子線エピタキシー法を用いた短周期超格子をバッファ層と活性層近傍に導入することで結晶性と原子レベルでの平坦性の向上、および活性層の量子井戸構造の最適化を図り、温度特性にすぐれた低しきい値で動作可能な半導体レーザを実現している。後半部では、ユーザの視点から可視化ならびに誘導放出を伴わない独自の電流狭窄型発光ダイオードを提案し、微小発光領域であるにもかかわらず光出力の低減を抑制することに成功している。また、Ga原子のマイグレーションを促進させる新成長法を(111)面方位に適用することで、発光のさらなる高効率化に成功している。

第二章の前半部では、有機金属気相成長(MOCVD)法による新規なZnO結晶の成長技術の確立を目指すため、サファイア基板の面方位などの条件を変化させて分子ステップに沿ったZnOナノワイヤの形成を試みている。後半部では、気相法に比べて簡易な成長法のひとつであるソフト溶液成長法に着目し、櫛歯電極、およびナノギャップの電極間にZnOナノ構造を架橋する手法を試みている。成長条件の最適化によって架橋できる条件を抽出し、高い比表面積に起因する高感度紫外線センサ動作を確認することにも成功している。

第三章では、ナノ構造のトップダウン加工法のひとつとしてフェムト秒レーザ加工に着目している。人体センシングの光学部品として広く使用されているSiの高屈折率( $n \sim 3.5$ )に起因した反射損失を低減するために、フェムト秒レーザ一括加工によるmoth-eye型周期構造の作製を行っている。フェムト秒レーザ一括加工による凹凸構造の形成を実現し、従来のラインスキャンでのフェムト秒レーザ加工と比較し、高スループット性や低反射率の観点で優位性を確認している。また、加工後の表面状態の分析を行い、反射率をさらに低減するための方法について議論している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、光センシングに関する高感度化、高信頼化、低消費電力化をターゲットとしており、発光効率、受光感度の向上、および高S/N比を実現するために、結晶成長やフェムト秒レーザ加工の観点で新たな構造および加工法を提案している。また、ナノ構造の形成法と特性の関係をAlGaAsとZnOを中心に明らかにしており、目的とした光センサの特性向上に対して重要な知見を得ている。また、フェムト秒レーザの一括加工による表面ナノ加工によって、従来実現できなかった高効率光学特性、および高スループット性を確認し、実用化を加速する重要な指針を与えている。得られた主な成果は以下の通りである。

1. 短周期超格子層を量子井戸半導体レーザのバッファ層、および活性層近傍に導入した。格子定数の大きいInGaAs層をバッファ層に導入することで、レーザの共振器損失を低減することを見いだした。また、AlGaAs混晶層を短周期超格子で形成することを提案した結果、低しきい値化、および温度特性にすぐれたレーザを実現した。このような、短周期超格子層の導入による界面平坦性、および結晶性の改善をレーザ特性から確認している。
2. 有機金属気相成長 (MOCVD) 法でZnOをサファイアのオフ基板に成長させ、原子ステップ上での一分子層以下の成長条件でZnOナノワイヤを形成することに成功している。また、基板の面方位依存性を調べ、ナノワイヤに適した面方位やアニール条件を示している。さらに、MOCVD等の気相法に比べて簡易な成長法であるソフト溶液の成長法に着目し、櫛歯電極、およびナノギャップの電極間にZnOナノ構造を架橋する条件を見いだしている。その結果、比表面積が高いことに起因する高感度紫外線センサやガスセンサの動作を確認することにも成功している。
3. 人体センシングの光学部品として広く使用されている遠赤外線センサの高効率化を実現するために、Si表面へフェムト秒レーザ一括加工によるmoth-eye型周期構造の作製を行ない、高スループット性で大面積のサブミクロンサイズの凹凸構造の形成に成功し、未加工のSi鏡面に比べて反射率を低減することを実証している。また本技術の向上により、さらなる反射率を低減するための方策について設計・プロセス・デバイス形状の観点から議論しており、新たな特性向上の可能性を示唆している。

以上、本論文は、半導体ナノ構造の形成とその結果得られる特性との詳細な研究を行っており、半導体光デバイスの特性改善に向けた最適な構造設計、および構造形成指針を与えるものである。これらの研究成果は光センサの高感度化、高信頼化、低消費電力化に向けた重要な知見を数多く提供しており、基礎および応用の両側面において寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成23年 2月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。