

氏 名	キム 金	サン 湘	ウー 祐
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	工 博 第 2390 号		
学位授与の日付	平 成 16 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当		
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 子 物 性 工 学 専 攻		
学位論文題目	Study on Fabrication and Characterization of Self- and Artificially-Assembled ZnO Nanodots (ZnO ナノドットの自己形成と人為形成およびその物性評価に関する研究)		
論文調査委員	(主 査) 教 授 藤 田 静 雄	教 授 野 田 進	助教授 木 本 恒 暢

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は酸化亜鉛の励起子効果に着目して、発光の高効率化や大きな非線形光学効果を引き出す場としての酸化亜鉛ナノ構造形成に関する基礎技術の確立と、物性評価を目的として研究した成果についてまとめたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、酸化亜鉛半導体の特性、とくに特徴ある励起子効果について概要を述べ、ナノ構造における量子効果によって強い励起子効果を発現させることで、高効率の発光デバイスや光非線形デバイスに応用可能なことを示している。また、自己組織化によるナノ構造の形成技術の現状を概観し、ナノ構造のサイズ・形状・位置制御の重要性を指摘して本論文の目的を示している。

第2章では、酸化亜鉛の育成に用いる有機金属気相成長法の原理と研究に用いた成長装置の概要、成長方法について述べている。また、ナノ構造のサイズ・形状・位置制御の手法として、集束イオンビームによる基板加工技術を提唱し、既存技術と比較した優位性を示している。

第3章では、シリコンおよび酸化シリコン上に有機金属気相成長法によって酸化亜鉛を成長する条件とその結果を述べている。シリコン上では、成長前の基板表面処理の条件と原料供給方法を工夫することにより、平坦性に優れた薄膜の成長条件を見出した。他方、酸化シリコン膜上では、成長初期に三次元的な核成長をする傾向が強いことを見出した。この成長モードを応用することにより、ナノサイズのドット構造を得る可能性を示した。

第4章では、酸化シリコン上に酸化亜鉛の短時間成長を行い、かつ条件を最適化することによって、幅数十nm以下、高さ10nm以下という酸化亜鉛ナノドットの自己形成に成功した結果について述べている。このようなドットの形成機構として、酸化亜鉛と酸化シリコンの異質性によって成長時にぬれ性が悪いために凝集が生じるといういわゆる Volmer-Weber モードであることを提案している。また、このナノドットは、欠陥をほとんど含まない単結晶であることを示している。とくにサイズが幅20nm以下の小さいナノドットに対する光物性測定から、ゼロ次元量子ドットの形成による量子効果の発現を示唆する結果を得ている。さらに、強励起のもとで、励起子効果に基づく誘導放出を観測してデバイス応用への可能性を示している。

第5章では、酸化シリコン上に金微粒子をスピコートし、これを成長核として酸化亜鉛ナノ構造の成長を行った結果について述べている。サイズの揃っている金微粒子を用いることで、スピコートの条件に応じて成長核のサイズと密度を制御できることが、この技術の大きな特徴であることを強調している。また、成長温度と金微粒子のサイズ・密度に応じて、ナノネイル、ナノピン、ナノワイヤ等の各種ナノ構造の形状を制御できることを述べている。得られたナノワイヤから、励起子分子の発光や高い量子効率の発光を観測し、結晶性の優れたナノ構造が得られることを実証している。

第6章では、ナノドットの位置およびサイズの人為的制御を目的として、集束イオンビームによって酸化シリコン表面に深さ2～10nmの溝状または穴状の加工を施すこと、そしてこの上へ酸化亜鉛の成長を行うという手法を提唱し、実証して

いる。溝の内部にサイズの揃ったナノドットの周期的配列形成や、穴の内部に単一ナノドットを形成することに成功するとともに、広範囲に亘って酸化亜鉛ナノドットアレイを短時間に容易に形成可能なことを示して、この技術の有用性を示している。得られた単一ナノドットから室温でのカソードルミネセンスを観測し、光応用に向けた優れた特性を持つナノドットが形成できることを実証している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。あわせて、今後本成果を基礎として研究の進展をはかるための課題と提言について言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は酸化亜鉛の励起子効果に着目して、発光の高効率化や大きな非線形光学効果を引き出す場としての酸化亜鉛ナノ構造形成に関する基礎技術の確立と、物性評価を目的として研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. シリコンおよび酸化シリコン上に有機金属気相成長法によって酸化亜鉛を成長する条件を検討し、シリコン上において平坦性に優れた薄膜の成長条件を見出した。他方、酸化シリコン膜上では、成長初期に三次元的な核成長を応用することによりナノサイズのドット構造を得る可能性を見出した。
2. 酸化シリコン上への成長条件を最適化することによって、幅数十nm以下、高さ10nm以下という酸化亜鉛ナノドットの自己形成に成功した。この形成機構として、Volmer-Weberモードであることを提案した。
3. 酸化シリコン上に自己形成したナノドットは、欠陥をほとんど含まない単結晶であることを見出した。とくにサイズが幅20nm以下の小さいナノドットに対する光物性測定から、ゼロ次元量子ドットの形成による量子効果の発現を見出した。また、強励起のもとで、励起子効果に基づく誘導放出を観測して光デバイス応用への可能性を示した。
4. 酸化シリコン上にスピンコートされた金微粒子を成長核として酸化亜鉛ナノ構造の成長を行い、金微粒子のサイズ・密度に応じてナノネイル、ナノワイヤ等の各種ナノ構造の形状を制御することに成功した。励起子分子の発光や高い量子効率の発光を観測し、結晶性の優れたナノ構造が得られることを実証した。
5. ナノドットのサイズおよび位置の人為的制御を目的として、集束イオンビームによって酸化シリコン表面に深さ2～10nmの溝状または穴状の加工を施す手法を確立するとともに、この上へ酸化亜鉛の成長を行うことにより、加工形状に応じてサイズおよび位置の制御されたナノドットの配列構造を形成することに成功した。単一ナノドットからの発光を観測し、光応用に向けた可能性を実証した。

以上要するに、本論文は、酸化亜鉛ナノ構造の形状・サイズ・位置制御技術を開発し、特徴ある光物性の発現を通じてナノデバイスへの進展を明確に示したもので、学術上、実際に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16年2月20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。