

氏名(本籍)	ごとう けん (山梨県) 後藤 健		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第4915号		
学位授与年月日	平成21年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Optical properties of novel semiconductor nanostructures: wurtzite InP/InAs/ InP core-multishell nanowires (新しい半導体ナノ構造 – ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤの 光学的性質)		
主査	筑波大学教授	理学博士	舩本 泰章
副査	筑波大学教授	工学博士	日野 健一
副査	筑波大学教授	博士(理学)	守友 浩
副査	筑波大学准教授	博士(理学)	野村 晋太郎

論文の内容の要旨

新しいナノメートルサイズの InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤの光学的性質は、基本的な特性も含めて未知である。本論文は、ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤの光学的性質を説明することを目的としている。

InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤは、有機金属気相成長法によって基板に対して垂直に成長されており、長さは 2 μm 、幅は 140 nm である。ワイヤの形状は六角柱状で、InP の核と外殻に挟まれて InAs 層が単原子層 (mono-layer: ML) 精度の厚さで埋もれている。六角柱の側面部分は量子井戸として、角部分は量子細線として、それぞれコアマルチシェルナノワイヤの基本構造を形成している。結晶構造はウルツ鉱型で、内包されている InAs は約 4% の格子定数の違いによる圧縮ひずみを受けている。

発光スペクトルに見られる複数のピークは、有効質量近似による計算から、内包された InAs の ML 数に対応していると同定された。16 ns の長い発光寿命、発光線幅の 2 倍以上である 70 meV のストークスシフトから、電子の有効質量が、正孔の有効質量に比べて極めて軽く、正孔は InAs 層に閉じ込められるが、電子は InAs 層から InP 層に広く広がっているタイプ II 型のバンド構造であることが推論にされた。格子定数の違いによる InAs の圧縮ひずみを考慮して、Model-solid theory から、タイプ II 型バンド構造であることが推測された。

顕微分光によるワイヤ 1 本からの発光スペクトルもワイヤの集合の発光スペクトルと同様の線幅約 30 meV を持つことが明らかにされ、30 meV の不均一広がりワイヤ 1 本の中にすでに含まれることが明らかにされた。時間分解発光測定が、弱励起強度下で行われ、発光スペクトルは時間の経過に従ってレッドシフトするスペクトル拡散が明らかにされた。スペクトルの平均値の時間変化を求めると、数 ns を境にスペクトル拡散による平均エネルギーの減少速度が遅くなることが明らかにされ、励起子が閉じ込められている領域が、ナノワイヤの側面である量子井戸領域から角の量子細線領域に移ると推測された。量子井戸領域では、励起子は 2 次元面内の動きが可能のため、ポテンシャルエネルギーの低いクラスターへの移動が比較的容易

であるが、量子細線領域では1次元の動きしか許されないため、ポテンシャルエネルギーの低いクラスターを見つけ出すのが困難になり、拡散速度は量子井戸領域に比べて遅くなると考えられるからである。有限要素法によって、コアマルチシェルナノワイヤの側面と角での正孔の閉じ込めエネルギーを計算すると、角の領域の方が2.7 meVほど低くなり、上記の筋書きを支持する結果が得られた。

強い励起密度では、時間分解発光スペクトルの平均エネルギーは、数100 psで素早くレッドシフトするバンドベンディングの緩和が見られる。ポアソン方程式とシュレーディンガー方程式を自己無撞着に解くことで、正孔の精度の高い束縛エネルギーを求め、束縛エネルギーは励起密度の1/3乗（励起子密度の2/3乗）に比例してブルーシフトすることが明らかにされ、これは定常発光スペクトルの励起強度依存性により実験的に確認された。数100 psで素早くレッドシフトするバンドベンディングの緩和は、バンドベンディングによる正孔の束縛準位のブルーシフトが素早く緩和するために生じていると同定された。励起子密度の時間変化と発光の積分強度時間変化との間に良い一致を見出したことから、励起子の再結合発光による励起子“数”の変化ではなく、励起子の拡散による励起子“密度”の変化が、バンドベンディング緩和の物理的な根源になっていると説明された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤの光学的性質を解明したものであり、高く評価できる。ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤのバンド構造はタイプII型であることが明らかにされた。ナノ秒の時間尺度で、ナノワイヤ中の側面領域から角領域に向かって励起子が移動することが明らかにされた。また、数100ピコ秒の時間領域では、励起子の拡散によってバンドベンディングが緩和することが明らかにされた。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。