

Title	(411)A super-flat interfaces in InGaAs-related III-V heterostructures grown by molecular beam epitaxy
Author(s)	北田, 貴弘
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3161867
DOI	10.11501/3161867
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	北 田 貴 弘
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 4 8 9 0 号
学位授与年月日	平成 11 年 7 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	(411)A super-flat interfaces in InGaAs-related III-V heterostructures grown by molecular beam epitaxy (MBE 成長による (411)A 超平坦ヘテロ界面を有する InGaAs 系 III-V 族化合物半導体ヘテロ構造)
論文審査委員	(主査) 教授 冷水 佐壽 (副査) 教授 中島 尚男 教授 鈴木 直

論文内容の要旨

これまでに、(411)A GaAs 基板上に分子線結晶成長 (MBE) 法により作製した GaAs/AlGaAs 量子井戸は、マクロスコピックな領域 (1 cm×1 cm) にわたって原子レベルで平坦なヘテロ界面 [“(411)A 超平坦ヘテロ界面”] を有することが報告され、この (411)A 超平坦ヘテロ界面を有する GaAs/AlGaAs 変調ドープ量子井戸や共鳴トンネルダイオードは従来用いられてきた (100) 基板上のものに比較して優れた特性をもつことが示されている。

本研究では、電子・光デバイス材料として重要である InGaAs 系 III-V 族化合物半導体ヘテロ構造において MBE 法により (411)A 超平坦ヘテロ界面を実現し、(411)A InP 基板上に作製した超平坦ヘテロ界面を有する InGaAs/InAlAs 変調ドープ歪量子井戸は、従来のものに比較して高い電子移動度を有することを見出した。

まず、InGaAs 系歪ヘテロ構造の特性を調べるために、(411)A GaAs 基板上に InGaAs/AlGaAs 歪ヘテロ構造を作製し、その構造・光学特性を評価した。InGaAs/AlGaAs 量子井戸のホトルミネッセンス特性より InGaAs の In 組成が 0.27 以下で (411)A 超平坦ヘテロ界面が実現可能であることがわかった。また、(411)A 基板上における InGaAs の良質な結晶が得られる臨界膜厚は、従来の (100) 基板のものよりも大きいことが (411)A InGaAs/GaAs 歪超格子の構造特性及び (411)A InGaAs/AlGaAs 歪量子井戸の光学特性よりわかった。(411)A 基板上における In 原子の表面偏析効果は、MBE 成長における III 族原子の表面マイグレーションが大きいため (100) 基板上よりも大きくなるが、In 原子の表面偏析が促進された場合においても超平坦ヘテロ界面が実現可能であることがわかった。

次に、デバイス応用を考えた場合に重要となる (411)A InP 基板に格子整合した InGaAs/InAlAs ヘテロ構造の構造・光学特性について評価した。(411)A InP 基板上に高品質な InGaAs 膜、InAlAs 膜を作製可能であることを示し、この材料系においても (411)A 超平坦ヘテロ界面が実現できることを InGaAs/InAlAs 量子井戸の光学特性より明らかにした。

これらの結果をもとに、(411)A InP 基板上に超平坦ヘテロ界面を有する InGaAs/InAlAs 変調ドープ歪量子井戸を作製し、その電気的特性を評価した。量子井戸の厚さ (L_w) が 12-16 nm では (411)A 超平坦ヘテロ界面により従来の (100) 変調ドープ量子井戸よりも高電子移動が実現でき、また、 $L_w=18$ nm では (411)A InGaAs の臨界膜厚が大き

いことにより高い電子移動度が実現できることがわかった。 $L_w=12$ nmである(411)A変調ドープ量子井戸の電子移動度は77 Kにおいて $108,000$ cm²/Vsでこれまでに報告されているもののなかで最も大きな値を示した。また、(411)A超平坦界面によって高い電子移動が実現されていることを2次元電子ガスにおける弾性散乱モデルに基づいた電子移動度の解析により確認した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、電子・光半導体デバイス材料として注目されているInGaAs系III-V族化合物半導体ヘテロ構造において、分子線エピタキシャル法(MBE法)により(411)A超平坦ヘテロ界面(マクロスコピックな領域において原子レベルで平坦なヘテロ界面)を実現し、InP基板上にMBE成長した(411)A超平坦ヘテロ界面を有するInGaAs/InAlAs変調ドープ歪量子井戸構造に適用して、従来のものにはない高い電子移動度が得られることを初めて実証したものである。

(411)A GaAs基板上にInGaAs/AlGaAs歪ヘテロ構造をMBE法により成長し、その構造的・光学的特性を調べている。InGaAs/AlGaAs歪量子井戸構造においてInGaAsのIn組成が0.27以下で(411)A超平坦ヘテロ界面を実現し、(411)A基板上における臨界膜厚が従来の(100)基板上のものよりも大きいことを見出している。また、InGaAs系材料のMBE成長において特徴的であるIn原子の表面偏析現象について調べ、(411)A基板上のInGaAsではIII族原子の表面マイグレーションが大きいために(100)基板上に比べて表面偏析が促進されること、表面偏析効果が大きくても(411)A超平坦ヘテロ界面が実現可能であることを明らかにしている。次に、(411)A InP基板に格子整合したInGaAs/InAlAsヘテロ構造の光学特性について評価し、(411)A InP基板上に高品質のInGaAs膜とInAlAs膜を作製する技術を確立するとともに、(411)A InGaAs/InAlAs超平坦ヘテロ界面を実現している。さらに、(411)A超平坦ヘテロ界面を有するInGaAs/InAlAs変調ドープ歪量子井戸構造を作製し、その電気的特性を評価している。量子井戸の厚さ(L_w)が12-16 nmではヘテロ界面の平坦性が優れていることにより、また、 $L_w=18$ nmでは(411)A InGaAsの臨界膜厚が大きいことにより従来の(100)基板上のものに比較して高い電子移動度が実現できることを見出している。 $L_w=12$ nmである(411)A変調ドープ量子井戸の電子移動度は77 Kにおいて $108,000$ cm²/Vs(2次元電子濃度 1.5×10^{12} cm⁻²)で、同じ2次元電子濃度のもものではこれまでに報告されている中で最も高い電子移動度となっている。また、弾性散乱モデルに基づいた2次元電子ガスの移動度を解析し、(411)A超平坦界面によって界面ラフネスによる電子散乱が抑制されて高い電子移動度が実現されていることを明らかにしている。

以上のように、半導体素子に広く応用されているInGaAs系III-V族化合物半導体ヘテロ構造において(411)A超平坦ヘテロ界面をはじめて実現するとともに、(411)A超平坦ヘテロ界面を有するInGaAs/InAlAs変調ドープ歪量子井戸構造においてこれまでになく高い電子移動度を実現している本論文は、電子材料・電子デバイスの発展に寄与するところが大きく、工学博士論文として価値あるものと認める。