

Title	(411)A super-flat interfaces in InGaAs-related III-V heterostructures grown by molecular beam epitaxy
Author(s)	北田, 貴弘
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3161867
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

[49]

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学位記番号第 14890 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 heteros-

tructures 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 族化合物半導体へテロ構造)

(主査)

論 文 審 査 委 員 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($1 \, \mathrm{cm} \times 1 \, \mathrm{cm}$)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族化合物半導体へテロ構造において MBE 法により(411)A 超平坦へテロ界面を実現し、(411)A InP 基板上に作製した超平坦へテロ界面を有する 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 系歪へテロ構造の特性を調べるために、(411) A GaAs 基板上に InGaAs/AlGaAs 歪へテロ構造を作製し、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 超平坦へ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に(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へ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 基板上に超平坦へテロ界面を有する 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 超平坦へ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。 $L_w=12~\mathrm{nm}$ 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 $2~\mathrm{次元電子}$ 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証した。

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族化合物半導体へテロ構造において、分子線エピタキシャル法 (MBE 法) により (411)A 超平坦へテロ界面 (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 超平坦へテロ界面を有する InGaAs/InAIAs 変調ドープ歪量子井戸構造に応用して、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 歪へテロ構造を 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 超平坦へテロ界面を実現し、(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 超平坦へ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 へ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 超平坦へテロ界面を実現している。さらに、(411) A 超平坦へテロ界面を有する 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1.5×10½ cm²) で、同じ2 次元電子濃度の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 次元電子満皮の移動度を解析し、(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族化合物半導体へテロ構造において(411)A 超平坦へテロ界面をはじめて実現するとともに、(411)A 超平坦へテロ界面を有する 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。