



Title	GaAs/Al _{0.3} Ga _{0.7} As tilted T-shaped quantum wires fabricated by glancing-angle molecular beam epitaxy
Author(s)	富田, 信之
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40258
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	とみ 富 た のぶ 田 信 ゆき 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 2 2 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 9 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	GaAs/Al _{0.3} Ga _{0.7} As tilted T - shaped quantum wires fabricated by glancing - angle molecular beam epitaxy (斜入射 MBE 法により作製した GaAs/Al _{0.3} Ga _{0.7} As 斜め T 字形量子細線)
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 助教授 下村 哲

論 文 内 容 の 要 旨

逆メサエッチ (001) GaAs 基板上的 GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As ヘテロ構造の分子線エピタキシャル (MBE) 成長のメカニズムに関する研究結果を基礎に、高品質の GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 斜め T 字形量子細線を、新しく開発された逆メサエッチ (001) GaAs 基板上的斜入射 MBE 成長と通常の MBE 成長からなる 2 段階の結晶成長法を用いて作製した。

斜入射成長では、逆メサストライプをケミカルエッチングで加工した (001) GaAs 基板上に斜入射成長条件で GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 多重量子井戸を成長する。このとき、選択的に形成される (111) B ファセット上には Ga と Al の分子線は直接入射しないため、Ga 原子と Al 原子のファセット間マイグレーションが生じない条件で GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 多重量子井戸を斜入射成長すると、その断面構造が (111) B ファセット上にあらわれる。斜め T 字形量子細線は、この (111) B ファセット上に基板回転を行って GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 単一量子井戸を成長することで作製することができる。本方法による斜め T 字形量子細線は広い GaAs 基板の全面に数多く作製することができるため、多重量子井戸のへき開面上の非常に限られた領域にしか形成されない従来の T 字形量子細線に比べ、デバイス応用上はるかに優れたものとなっている。初期段階の GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 斜め T 字形量子細線で観測されたカソードルミネッセンス (CL) の発光半値幅は 61 meV (観測温度 78 K) と非常に大きいものであった。これはこの斜め T 字形量子細線の品質が不十分で形状がそろっていないことを示している。この斜め T 字形量子細線を改善するために、加工基板上の斜入射成長、および (111) B ファセット上への量子井戸の再成長について研究を行った。

斜入射成長のメカニズムを調べるため、加工基板上に斜入射成長法により作製された GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As マーカー構造の断面 SEM 観察を行った。成長温度 $T_s = 600^\circ\text{C} - 630^\circ\text{C}$ 、V/Ⅲ比が 28 で作製された試料では Ga 原子のファセット間マイグレーションによる非常に薄い GaAs のエピタキシャル層が (111) B ファセット上に形成されているのが観測されたが、 $T_s = 570^\circ\text{C}$ 、V/Ⅲ = 28 で作製された試料では、Ga 原子のファセット間マイグレーションがほとんど無いことが確認された。従って、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 斜め T 字形量子細線の斜入射成長条件としては $T_s = 570^\circ\text{C}$ 、V/Ⅲ = 28 が望ましいことがわかった。また、断面 TEM 観察の結果、Al 原子のファセット間マイグレーションは $T_s = 570^\circ\text{C} - 630^\circ\text{C}$ 、V/Ⅲ = 25 で作製された試料では観測されなかった。

斜め T 字形量子細線の CL 特性を改善するために、斜入射成長で形成される (111) B ファセット上への GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As 単一量子井戸の成長条件の最適化を行った。 $T_s = 630^\circ\text{C}$ 、V/Ⅲ = 10 で再成長した単一量子井戸からは強い CL 発光が確認され、その強度は $T_s = 630^\circ\text{C}$ 、V/Ⅲ = 25 で再成長したものの約 10 倍であった。また $T_s = 600^\circ\text{C}$ 、

$V/\text{III}=10$ で再成長した単一量子井戸からは非常に均一な CL 発光が確認され、その発光半値幅は78 K で23meV であった。

これらの結果を用いて、高品質 GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 斜めT字形量子細線 [(001) 面上に成長した5周期の多重量子井戸 (6.6nm) と (111) B ファセット面上に成長した単一量子井戸 (7.3nm)] を作製した。斜めT字形量子細線からの発光半値幅は78 K で10meV と小さく、これは初期段階のその1/6であって、従来の劈開再成長法で作製されたT字形量子細線 (7-10meV) と同等の高品質量子細線が形成されていることを示している。この新しい2段階結晶成長法により、GaAs 基板の広い面積に多数の高品質 GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 斜めT字形量子細線を作製できることが明らかになり、斜めT字形量子細線の様々な種類のデバイスへの応用が可能になった。

論文審査の結果の要旨

本論文では、形状を極めて高精度にコントロールして高品質の GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 斜めT字形量子細線を、新しく開発された逆メサエッチ (001) GaAs 基板上の斜入射 MBE 成長と通常の MBE 成長からなる2段階の結晶成長法を用いて作製している。

斜入射成長では、(001) GaAs 基板表面にケミカルエッチングで形成した逆メサストライプ上に斜入射成長条件で GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 多重量子井戸を成長する。斜入射成長では、選択的に形成される (111) B ファセット上への Ga と Al の分子線の入射がないため、Ga 原子と Al 原子のファセット間マイグレーションが生じない条件で多重量子井戸を斜入射成長すると、その断面構造が (111) B ファセット上にあらわれる。多重量子井戸の斜入射成長に引き続いて、基板回転を行って (111) B ファセット上に GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 単一量子井戸を成長することで、斜めT字形量子細線を作製することができる。初期段階の GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 斜めT字形量子細線で観測されたカソードルミネッセンス (CL) の発光半値幅は61meV (観測温度78 K) であり、これはこの斜めT字形量子細線の構造・品質ともに不十分であることを示している。この斜めT字形量子細線の光学的特性を改善するために、加工基板上の斜入射成長、および (111) B ファセット上への量子井戸の再成長について研究を行っている。

斜入射成長のメカニズムを調べるため、加工基板上に斜入射成長法により GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ マーカー構造を作製し、その断面 SEM 観察を行っている。成長温度 $T_s=600^{\circ}\text{C}-630^{\circ}\text{C}$ 、 V/III 比が28で作製された試料では Ga 原子の (001) 面から (111) B ファセット面へのファセット間マイグレーションによる非常に薄い GaAs のエピタキシャル層が (111) B ファセット上に形成されているのが観測されたが、 $T_s=570^{\circ}\text{C}$ 、 $V/\text{III}=28$ では作製された試料で、Ga 原子のファセット間マイグレーションがほとんど無いことが明らかとなり、斜めT字形量子細線の斜入射成長条件として望ましいことがわかった。さらに斜入射成長で形成される (111) B ファセット上への GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 単一量子井戸の成長条件の最適化では、 $T_s=630^{\circ}\text{C}$ 、 $V/\text{III}=10$ で再成長した単一量子井戸からは均一性が高く強い CL 発光が確認され、その発光強度は $T_s=630^{\circ}\text{C}$ 、 $V/\text{III}=25$ で再成長したものの約10倍であった。

これらの研究結果を基礎に、改良型の GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 斜めT字形量子細線 [(001) 面上に成長した5周期の多重量子井戸 (6.6nm) と (111) B ファセット面上に成長した単一量子井戸 (7.3nm)] を作製している。改良型斜めT字形量子細線からの発光半値幅は78 K で10meV と小さく、これは初期のその1/6であって、従来のへき開再成長法で作製されたT字形量子細線 (7-10meV) と同等の高品質量子細線が形成されたことを示している。へき開再成長法による GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ T字形量子細線作製方法では、形状を最も高精度にコントロールして高品質の量子細線が得られる特徴があるが、へき開面という極めて微細な領域にしか作製できないという大きな制限がある。今回の斜めT字形量子細線では、高品質と素子応用に不可欠の広い基板面上への成長という二条件をクリアしている。

斜入射成長による GaAs の結晶成長メカニズムについて新しい知見が得られるとともに、この新しい2段階結晶成長法により、GaAs 基板の広い面積に多数の高品質 GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 斜めT字形量子細線を作製できる方法が開発されており、本論文が博士論文として価値あるものと認められる。