The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | GaAs/Al0.3Ga0.7As tilted T-shaped quantum wires fabricated by glancing-angle molecular beam epitaxy |
| Author(s) | 冨田, 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">大阪大学の博士論文について</a>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 | 冨田信之（とみたのぶゆき） |
| 博士の専攻分野の名称 | 博　士（工　学） |
| 学位記番号 | 第　13225　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<br>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<br>（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）<br>教　授　冷水　佐壽<br>（副査）<br>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基板上の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61meV（観測温度78K）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℃−630℃，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℃，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℃，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℃−630℃，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℃，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℃，V／Ⅲ＝25で再成長したものの約10倍であった。また$T_s$＝600℃，

V／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78Kで23meVであった。

これらの結果を用いて，高品質GaAs／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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78Kで10meVと小さく，これは初期段階のそれの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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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ィ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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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61meV（観測温度78K）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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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℃－630℃，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℃，V／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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$単一量子井戸の成長条件の最適化では，$T_s$＝630℃，V／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℃，V／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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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78Kで10meVと小さく，これは初期のそれの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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ T字形量子細線の作製方法では，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ーしている。

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／$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$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。