

Title	High-Density GaAs/(GaAs) <sub>m</sub> (AlAs) <sub>n</sub> Quantum Wires Grown on (775) B-Oriented GaAs Substrates by Molecular Beam Epitaxy
Author(s)	Higashiwaki, Masataka
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3144057">https://doi.org/10.11501/3144057</a>
DOI	10.11501/3144057
rights	
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

氏名	ひがし 東	わき 脇	まさ 正	たか 高
博士の専攻分野の名称	博士(工学)			
学位記番号	第 13943 号			
学位授与年月日	平成10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	High-density GaAs/(GaAs) <sub>m</sub> (AlAs) <sub>n</sub> quantum wires grown on (775) B-oriented GaAs substrates by molecular beam epitaxy (775) B GaAs 基板上にMBE 成長した超高密度GaAs/(GaAs) <sub>m</sub> (AlAs) <sub>n</sub> 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 吉田 博			

## 論文内容の要旨

本論文は、(775) B GaAs 基板上への MBE (分子線エピタキシー) 成長中に自然形成される (775) B GaAs 表面 コラゲーションの成長モードと、その (775) B GaAs コラゲーションを利用して作製した自然形成型高密度 GaAs 量子細線についての研究をまとめたものである。

最初、(111) B 面から (110) 面方向に 8.5° オフした (775) B 面という特殊な面方位で切り出した (775) B GaAs 基板上に、成長温度  $T_s = 670^\circ\text{C}$  で成長した GaAs 表面に均一で高密度の周期 12 nm、高さ 1.2 nm の波板状のコラゲーション構造が自然形成されることを本研究で発見した。そして、この GaAs 成長表面に形成されるコラゲーションを利用して GaAs/AlAs 量子井戸構造を作製すると、 $[1\bar{1}0]$  方向に直線上に伸びた井戸層の膜厚が厚い部分と薄い部分とが周期的に形成され、井戸層の膜厚の厚い部分が世界最高密度 ( $8 \times 10^6$  本/cm) の量子細線となることがわかった。この (775) B GaAs 基板上に成長した GaAs 表面は成長温度  $T_s = 540 - 580^\circ\text{C}$  でコラゲーションの無い平坦な表面となり、 $T_s \geq 640^\circ\text{C}$  でコラゲーションが現れる。一方、(775) B AlAs 表面は成長温度によらず常に平坦である。また、上述のような量子細線作製に関して、(775) B GaAs 基板が均一性の面で最適であることも確認している。

(775) B GaAs コラゲーションを利用して応用上より有用な GaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub>、GaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub> 量子細線構造を作製した。その中で、最高の特性を示した GaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub> 量子細線では、14K におけるフォトルミネッセンス (PL) 測定において、高い一次元性を表す細線方向への大きな偏光特性を示し [偏光度  $P = (I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp}) = 0.19$ ]、また量子細線の均一性の高さを表す PL 発光半値幅は 15 meV と非常に小さい値を示した。この半値幅 15 meV という値はこれまで報告されている自然形成型量子細線の中では最も小さく、また他の全ての量子細線の中でも最高レベルの均一性を表す値であった。レーザーの性能に大きく関係する PL 発光強度に関して、同時成長した通常の (100) 基板上の量子井戸と同程度の大きな値であった。加えて、(775) B 量子細線の高い一次元性については PL 半値幅、強度、緩和時間の温度依存性等から確認されている。これらの PL 特性から (775) B 量子細線は、高一次元性、高密度、高均一性、高品質の結晶性そして高い再現性等の条件を満たしており、量子細線レーザーへの応用に最も適した量子細線であることが分かった。

(775) B GaAs 基板上に GaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub> 量子細線レーザー構造を MBE 成長し、それをストライプ型半導体レーザーに加工して素子特性を評価した。(775) B 量子細線レーザーは自然形成型量子細線を用いたレーザーでは初めて室温パルス発振し、そのしきい値電流は通常の (100) 基板上に同時成長した量子井戸レーザーよりも小さ

い値を示した。また、室温におけるしきい値電流密度は $2.8 \text{ kA/cm}^2$ で、これはV溝量子細線レーザーにおいて実現されている世界最高の $1.0 \text{ kA/cm}^2$ に次ぐレベルのものである。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、(775)B GaAs 基板上へのMBE(分子線エピタキシー)成長中に自然形成される(775)B GaAs 表面コラゲーションの成長モードと、その(775)B GaAs コラゲーションを利用して作製した自然形成型高密度 GaAs 量子細線の研究についてまとめたものである。

(111)B面から(110)面方向に $8.5^\circ$ オフした(775)B面という特殊な面方位で切り出した(775)B GaAs 基板上に基板温度 $T_s=670^\circ\text{C}$ で成長したGaAs表面に、一様に周期12 nm、高さ1.2 nmの波板状のコラゲーション構造が自然形成されることを本研究で発見している。この(775)B GaAs 基板上に成長したGaAs表面は、 $T_s=540-580^\circ\text{C}$ でコラゲーションの無い平坦な表面となり、 $T_s \geq 640^\circ\text{C}$ でコラゲーションが現れる。一方、(775)B AlAs 表面は基板温度によらず常に平坦である。このGaAs表面のコラゲーションを利用してGaAs/AlAs量子井戸構造を作製すると、 $[1\bar{1}0]$ 方向に直線上に伸びた最高密度( $8 \times 10^6$ 本/cm)の量子細線が得られることを見いだした。

この(775)B GaAs コラゲーションを利用した応用上より有用なGaAs/(GaAs)<sub>2</sub>(AlAs)<sub>2</sub>量子細線、GaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub>量子細線を作製している。その中で、最高の特性を示したGaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub>量子細線では、14Kにおけるフォトルミネッセンス(PL)測定において、高い一次元性を表す細線方向への大きな偏光特性[偏光度 $P=(I_{\parallel}-I_{\perp})/(I_{\parallel}+I_{\perp})=0.19$ ]と、量子細線の均一性の高さを表す非常に小さいPL発光半値幅(15 meV)が得られている。この15 meVという半値幅はこれまで報告されている自然形成型量子細線の中では最小であるばかりでなく、全ての量子細線の中でも最高レベルの均一性を表す値である。また(775)B量子細線のPL強度は、同時成長した通常の(100)基板上の量子井戸と同程度の強い発光であり、優れた光学的品質を備えていることを示している。さらに、(775)B量子細線の高い一次元性は、PL半値幅、強度、緩和時間等の温度依存性を測定することにより確認されている。これらの研究から(775)B量子細線は、高一次元性、高密度、高均一性、高品質の結晶性そして量子細線作製の高い再現性等の条件を充たしており、量子細線レーザーへの応用に極めて適したものであることがわかる。

(775)B GaAs 基板上にGaAs/(GaAs)<sub>4</sub>(AlAs)<sub>2</sub>量子細線レーザー構造をMBE成長し、それをストライプ型半導体レーザーに加工して素子特性を評価している。(775)B量子細線レーザーは自然形成型量子細線を用いたレーザーでは初めて室温パルス発振し、そのしきい値電流は通常の(100)基板上に同時成長した量子井戸レーザーよりも小さい値を示している。また、室温におけるしきい値電流密度は $2.8 \text{ kA/cm}^2$ で、これはV溝量子細線レーザーにおいて実現されている世界最高の $1.0 \text{ kA/cm}^2$ に次ぐレベルのものである。

以上のように、新しい高品質の半導体量子細線が開発されており、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。