

液相成長法による高品質InGaAs横方向ブリッジ成長

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 飯田, 晋 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1492

氏名・(本籍)	飯 田 晋 (北海道)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 202 号
学位授与の日付	平成 12 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子材料科学
学位論文題目	液相成長法による高品質InGaAs横方向ブリッジ成長

論文審査委員	(委員長)				
	教授	福 家 俊 郎	助教授	田 中 昭	
	教授	栞 原 弘	助教授	早 川 泰 弘	
	教授	熊 川 征 司			

論 文 内 容 の 要 旨

In_xGa_{1-x}As三元混晶半導体は、In組成比 x を変化させることにより禁制帯幅を1.42eVから0.35eVまで、発光受光の波長を0.87 μ mから3.5 μ mまで制御できるため、中赤外光デバイスの重要な材料の一つである。しかし、現在InGaAs成長用基板材料として入手可能な材料は、GaAs、InP、InAs等の二元化合物半導体に限られているため、基板と異なる格子定数をもつ良質な成長層を得る技術、つまりヘテロエピタキシャル成長技術の開発が重要な課題となっている。本研究では、溝を形成したGaAs基板上に、液相成長法を用いてInGaAs層をブリッジ状に横方向成長させる方法を開発した。InGaAsを溝壁面からブリッジ状にヘテロエピタキシャル成長させると、成長層が溝底面と接触しないため、転位密度の少ない良質な成長層を得ることができる。

第1章は序論で、本研究の背景及び研究課題の問題点を明らかにすると共に、研究目的とその意義を述べている。第2章では実験装置及び実験方法と試料の評価方法について述べている。成長用基板には、SiN_x膜を堆積させたGaAs基板上にフォトリソグラフィ技術を用いて円形、三角形、六角形などの形をした窓を形成した基板と、更に窓内部にウェットエッチにより溝を形成した基板を用いた。前者を溝なし基板、後者を溝付き基板と呼ぶ。

第3章では、GaAs(111)B面基板上にInGaAsを成長させた結果を記述した。溝なし基板と溝付き基板上のInGaAs成長層のモロロジー、組成分布、結晶性、光学的特性を比較すると共にブリッジ形成過程を調べた。溝の深さが40 μ m以上の場合、直径1mmの円形の溝付き基板上にIn_xGa_{1-x}As($x=0.06$ 、0.1、0.15)層が、溝壁面からブリッジ状に横方向成長した。成長時間5分では溝の内側にジグザグ状に

{111} A面とB面が現れ、30分後 {111} A面から成る三角形とB面から成る三角形が重なり合った星形が現れた。成長時間1時間ではB面だけからなる三角形が現れ、3時間後、溝は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層で完全に覆われブリッジが完成した。溝の直径が1.5~0.5mmの溝付き基板上にブリッジ層が成長した。(111)B成長表面のIn組成比は均一で、平坦な成長層であった。ブリッジ層は溝底面と接触せず基板の影響を受けないため、溝なし基板上への成長層と比べエッチピット密度(EPD)は4桁以上小さくなり、フォトルミネッセンス(PL)強度も強く半値幅も狭い良質な成長層であることが分かった。

第4章では成長用基板としてGaAs(111)A基板を用いた。溝の深さが $55\mu\text{m}$ 以上の溝付き基板(タイプII)上に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(x=0.06)$ 層がブリッジ成長した。しかし、溝底面からの成長層が非常に厚いため、溝の中央部分においてブリッジ層と接触した結果、基板からの貫通転位がブリッジ層へ伝搬し結晶性が劣化した。溝の底面にも SiN_x 膜を堆積させた溝付き基板(タイプIII)上に成長させると、溝底面からの成長は完全に抑制され、溝内部において成長層は完全なブリッジを形成した。ブリッジ層中央部においてもEPDは低くなり、PL強度も強く半値幅の狭いスペクトルが得られ、結晶性が向上した。これらのことにより、溝底面からの成長を抑制し完全なブリッジを形成すると、ブリッジ層の結晶性が向上することが分かった。{111} A面と {111} B面の成長速度の違いは結晶学的相違による界面律速であること、横方向成長は鏡面で平坦な成長層を得るために非常に有利であることが分かった。

第5章ではブリッジ成長の形成メカニズムを調べるために、あらゆる角度から形成要因を考察し、様々な成長実験結果からメカニズムを解明した。溝底面付近において溶質供給が滞ることや、不安定な溶質密度勾配に起因する対流は、ブリッジ状の横方向成長速度に大きく影響を与えるが、ブリッジ形成の主要な原因ではなかった。 InGaAs ブリッジ成長はベルグ効果によって説明でき、ブリッジ形成には(1)横方向成長界面がシャープなエッジを持つこと、(2)横方向成長層の縦方向の膜厚が $40\mu\text{m}$ 以上厚いことの二つの条件が必要であることが分かった。

第6章では三角形や六角形パターン基板上に InGaAs を成長させた。横方向成長界面のエッジが $54.7^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲にある場合、 InGaAs 層はブリッジ成長した。{111} A面がブリッジを形成するためには、その周りに{111} B面が隣接していることが非常に重要であることが分かった。溝壁面の一部にも SiN_x 膜を堆積させた溝付き基板を用いることにより、溝壁面付近のPL強度が向上し結晶性が向上した。(100)GaAs基板を用いた場合、成長層は{111}面で囲まれたピラミッド状に成長した。溝付き基板を用いると、ピラミッド内部に空洞が現れブリッジ状に成長した。

第7章では本技術をデバイスへ応用するための基礎実験として多層膜構造を成長させた。溝付きGaAs(111)B基板上に成長した1層目の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(x=0.06)$ ブリッジ成長層の上に、2層目の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(x=0.06)$ 層がホモエピタキシャル成長できた。ブリッジ層の大部分の場所でEPDは0に近い値を取り、非常に平坦で高品質な2層目の InGaAs 層を成長できた。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}(x=0.06)$ 上に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}(x=0.55)$ を成長させる場合、きれいな成長界面を得るためには、GaAs(111)A基板が適していることが分かった。

第8章は本研究の結論を述べ、今後の展望についても考察した。また、Appendix Aにおいて、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ のx値の計算方法を記載した。

論文審査結果の要旨

本論文は液相成長法による高品質InGaAs横方向ブリッジ成長の研究を纏めたものである。In_xGa_{1-x}As三元混晶半導体は、In組成比xを変化させることにより禁制帯幅を1.42eVから0.35eVまで、発光受光の波長を0.87 μmから3.5 μmまで制御できるため、中赤外光デバイスの重要な材料の一つである。本論文では、溝を形成したGaAs基板上に、液相成長法を用いてInGaAs層をブリッジ状に横方向成長させる方法を開発した。InGaAsを溝側面からブリッジ状に成長させると、成長層が溝底面と接触しないため、転位密度の少ない良質な成長層を得ることができる。第1章は序論で、研究の背景及び問題点を明らかにすると共に、研究目的と意義を述べている。第2章では液相成長法の実験方法と試料評価方法を説明している。第3章ではGaAs(111)B基板上へのInGaAs結晶成長の結果を記載している。溝の深さを40 μm以上にした場合、In_xGa_{1-x}As(x=0.06、0.1、0.15)層が溝壁面からブリッジを形成するように横方向成長した。ブリッジ層は溝底面と接触せず基板の影響を受けないため、溝を形成していない基板上への成長層と比べエッチピット密度(EPD)が4桁以上も小さく、フォトルミネッセンス強度が約8倍強く、半値幅が25%狭い良質な成長層であった。第4章ではGaAs(111)A基板上へのInGaAs結晶成長の結果を述べている。溝の深さを55 μm以上にした場合、溝付き基板上にInGaAsがブリッジ成長した。しかし、溝底面からの成長層が厚いため、溝中央部においてブリッジ層と接触した。そのため、転位がブリッジ層に伝搬し、結晶性が劣化した。溝の底面にもSiN_x膜を堆積した溝付き基板上に成長させると、溝底面からの成長は完全に抑制され、成長層は完全なブリッジを形成した結果、結晶性が向上した。第5章ではブリッジの形成機構を論じている。InGaAsブリッジ成長をベルグ効果によって説明できた。ブリッジ形成には、(1)横方向成長界面がシャープなエッジを持つこと、(2)横方向成長層の膜厚が40 μm以上厚いことの二つの条件が必要であった。第6章では三角形や六角形パターン基板上にInGaAsを成長させ、ブリッジ形成条件を詳細に調べている。横方向成長界面のエッジが $54.7^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ}$ の範囲にある場合、InGaAsはブリッジ成長した。{111}A面がブリッジを形成するためには、{111}B面が隣接していることが必要であった。第7章では本方法をデバイスに応用するための基礎研究として、多層膜構造の成長を行っている。1層目のブリッジ層の上に成長させた2層目のInGaAs層のEPDはほぼ0となり、平坦で高品質な多層膜を成長できた。第8章では結論と今後の展望について考察している。以上のように、本研究では、液相成長法によりGaAs溝付き基板へ転位密度の少ない良質なInGaAs単結晶を成長させる方法を開発し、さらにブリッジ形成機構を明らかにしており、博士(工学)の学位を与えるに十分な資格があると認定する。