

分子線エピタキシ法を用いた化合物半導体ヘテロ成長機構と格子歪緩和

| | |
|-------|--|
| 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: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 吉川, 昌宏 メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/10297/1241 |

| | |
|-----------|----------------------------------|
| 氏名・(本籍) | 吉川昌宏(静岡県) |
| 学位の種類 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 工博甲第 124 号 |
| 学位授与の日付 | 平成8年3月23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 | 分子線エピタキシ法を用いた化合物半導体ヘテロ成長機構と格子歪緩和 |

| | | | |
|--------|-------|------|---------|
| 論文審査委員 | (委員長) | | |
| | 教授 | 助川徳三 | 教授 福家俊郎 |
| | 教授 | 福田安生 | 教授 皆方誠 |
| | 助教授 | 石川賢司 | |

論文内容の要旨

高速で多機能な半導体デバイスを作製するために、化合物半導体ヘテロ成長を用いた超格子構造の作製が重要である。また、良質なエピタキシャル膜を成長するためには、成長前の基板表面の状態を明らかにする必要がある。格子不整合をもつヘテロ成長において成長初期のコヒーレントな層構造は量子井戸として利用されている。最近、格子不整合をもつヘテロ成長の初期に2次元から3次元的な成長へと成長モード遷移が起こり、この成長モード遷移に伴って表面にナノメータサイズのコヒーレントな島構造が形成されることが報告されている。この島構造を量子箱に利用することが提案され、注目を集めている。格子不整合をもつヘテロ成長において量子井戸構造を作製するためには、成長モード遷移の起こる臨界膜厚を増加させることが必要である。一方、量子箱構造を作製するためには表面に形成される島構造のサイズを制御する必要がある。これらのことから、成長モード遷移付近での成長機構を明らかにすることは重要である。本論文ではGaP(001)表面に3.7%大きい格子定数をもつGaAsを分子線エピタキシ(MBE)法を用いてヘテロ成長を行い、成長モード遷移付近における成長機構を調べた結果について述べる。

第1章では研究の背景と目的を述べた。第2章では固体ソースを用いたMBE法について説明し、その成長条件の決定方法を述べた。また、ヘテロ成長過程を調べるために用いた反射高速電子線回折(RHEED)のパターン解析法および表面の化学状態を調べるために用いた表面光吸収(SPA)法について述べた。第3章ではRHEEDとSPA法を相補的に用いることにより、基板となるGaP(001)表面における再

構成構造とストイキオメトリの関係を明らかにした。P安定な表面にGaを供給すると、再構成構造は 2×4 から 4×4 へ変化する。Gaの堆積量が2MLを越えると再構成構造は 2×4 へ変化する。この 2×4 の再構成構造をもつ表面に過剰なGaが存在することが、SPA信号強度とRHEEDのPの取り込み振動から明らかになった。つまり、GaP表面において再構成構造が 2×4 をしていることだけから、GaAs(001)表面の場合のように、表面が過剰なGaが存在しないV族安定な状態であることを単純に判断することができない。以上のことから、GaP表面においてP安定面を得るためにはRHEEDおよびSPA法を相補的に用いる必要がある。第4章では成長モード遷移前の2次元層成長している膜厚領域での格子歪緩和過程を明らかにした。成長膜の格子間隔は表面のステップ密度が最大のときに最大となり、1MLのGaAsが成長したところで基板の格子定数に戻る。これより、格子歪が表面に形成された2次元核ステップ付近での弾性変形によって緩和していることがわかる。また、GaAs膜は少なくともはじめの1MLまではコヒーレントな層構造をしていると考えられる。さらに、MEE法を用いてGaとAsの供給をわけることにより、Ga原子が格子歪緩和過程に及ぼす影響を調べた。成長膜の格子間隔はGaの供給時にのみ変化し、Asの供給時には変化しない。Ga供給時における格子歪緩和は2次元核のステップ付近における弾性変形によるものであると考えられる。以上のように、2次元層成長中の格子歪緩和は2次元核のステップ付近における弾性変形によるものであることを明らかにした。第5章では成長モード遷移が起こる膜厚領域における成長機構のモデルを提案し、格子歪緩和過程を説明した。GaAsへテロ成長を停止した後も、成長膜は層から島へと構造を変化させながら格子歪を緩和していく。また、ヘテロ成長中のGaの供給速度を大きくすることや基板温度を下げることにより、成長モード遷移が起こる臨界膜厚を大きくできる。これらのことから、成長モード遷移付近での成長機構は、(a)基板表面に供給された原子が近くのキンクサイトに取り込まれて、準安定な層構造を形成する過程、(b)格子歪を緩和するために、一度準安定な層を形成した原子がマイグレーションすることによる成長膜の層から島への構造変化の過程、という二つのプロセスから成り立っていることを明らかにした。これらの二つのプロセスの速度を制御することによって、成長モード遷移の起こる臨界膜厚や表面に形成される島構造のサイズを制御できる可能性を示した。

以上をまとめると、以下の通りである。GaP(001)表面では、表面に過剰なGaが存在する場合にも、表面再構成構造が 2×4 構造を形成する。このことは、今後のGaP基板上におけるエピタキシャル成長に有益な情報を与えるものである。また、格子不整合をもつヘテロ成長における成長初期過程を明らかにすることによって表面に形成される島構造のサイズを制御できることおよび層成長できる膜厚を増加できることを明らかにした。このことは格子不整合をもつヘテロ成長に一般的に適用しうるものであり、ヘテロ成長技術を進展させるための重要な知見を得た。

論文審査結果の要旨

多機能半導体デバイスにヘテロ構造を応用するためには、ヘテロ成長過程を解明することが重要である。最近、格子不整合をもつヘテロ成長の初期に2次元から3次元への成長モード遷移が起こり、表面にナノメータサイズのコヒーレントな島構造が形成されることが報告されている。格子不整合をもつヘテロ成長において量子井戸構造を作製するためには、成長モード遷移が起こる臨界膜厚を増加させることが必要である。一方、量子箱構造を作製するためには表面に形成される島構造のサイズを制御する必要がある。これらのことから、成長モード遷移付近における成長機構を明らかにすることは重要である。

本論文は6章から構成されている。第1章では研究の背景と目的を述べている。第2章では、本研究に用いた固体ソース分子線エピタキシ(MBE)法の成長条件の決定方法を述べ、さらに、ヘテロ成長過程を調べるために用いた反射高速電子線回折(RHEED)のパターン解析法および表面の化学状態を調べるために用いた表面光吸収(SPA)法について述べている。第3章ではRHEEDとSPA法を相補的に用いることにより、基板となるGaP(001)表面における再構成構造とストイキオメトリの関係を明らかにしている。第4章では成長モード遷移が起こる前の2次元的な成長をしている膜厚領域における格子歪が、表面に形成される2次元核のステップ付近における弾性変形によって緩和していることを明らかにし、さらにMEE法を用いてGaとAsの供給をわけることにより、Ga原子が格子歪緩和過程に及ぼす影響を明らかにしている。第5章では成長モード遷移付近における成長機構のモデルを提案し、格子歪緩和過程を説明している。成長モード遷移付近における成長機構は、(a)基板表面に供給された原子が近くのキンクサイトに取り込まれて、準安定な層構造を形成する過程、(b)格子歪を緩和するために、一度準安定な層を形成した原子がマイグレーションすることによる成長膜の層から島への構造変化の過程、という二つの過程から成り立っており、これらの二つの過程の速度を制御することによって、成長モード遷移の起こる臨界膜厚や表面に形成される島構造のサイズを制御できる可能性を示した。

以上のように、本研究ではMBE法による格子不整合をもつヘテロ成長において、成長モード遷移付近における成長機構を明らかにし、さらに、基板として用いたGaP(001)表面の再構成構造とストイキオメトリの関係を明らかにした。これらのことは、今後のGaP基板上におけるエピタキシャル成長および格子不整合をもつヘテロ成長において有益な情報を与えるものである。

以上述べたように、本論文の研究成果は学術的にもまた実用的にも価値の高いものであり、博士(工学)の学位を授与するに十分な内容であると認定する。