

2008 年度 修士論文要旨

MBE 法を用いた Si 基板上の GaAs 三次元ナノ構造制御に関する研究 - 酸化膜を用いた成長テンプレート機能の検証 -

関西学院大学大学院理工学研究科
物理学専攻 金子研究室 牛尾 昌史

異種半導体材料同士を接合した一次元電子系からなるナノ構造は、量子効果の発現や特異な導電特性、優れた機械強度など、従来にない新しい機能素子を生み出す可能性を秘めている。このようなナノ構造を作製・制御するには、リソグラフィなどの半導体微細加工技術を用いたトップダウン手法と、結晶成長に代表される原子レベルの自己組織化現象を利用したボトムアップ手法の融合が必要となる。半導体ヘテロ構造においては、特に集積回路などエレクトロニクス分野で高度に発展を遂げる Si と、 III-V 族化合物半導体を代表する GaAs の組み合わせが重要である。これは、資源的に豊富で汎用性の高い材料である Si と、高い電子移動度や直接遷移型のエネルギーバンド構造など Si にない物性的特徴をもつ GaAs を一体化することにより、光電子集積回路など幅広い応用展開が期待されるためである。このような背景から、現在、Si 基板上の GaAs ナノ構造が注目され、MBE 法や MOVPE 法などの結晶成長を用いた構造制御が試みられている。しかし、トップダウン手法及びボトムアップ手法それぞれに起因した課題が存在する。

現在報告されているトップダウン手法に基づいた研究例として、パターニングと選択領域的な結晶成長を組み合わせて作製された柱状 GaAs アレイ構造が挙げられる。これは、 SiO_2 などの非晶質膜を基板表面に構築し、リソグラフィ及び多段階エッチングを施し、周期的開口領域を設けた Si パターン基板上へ GaAs 結晶成長を行うことにより実現される。一方、ボトムアップ手法を用いた場合、一般的には Au などの外因的金属触媒を必要とする VLS 成長機構により自立型のナノワイヤ構造が得られる。しかし、触媒金属自体が意図しない準位の導入の原因になり、デバイス特性を害する側面をもつことから、近年は VLS 成長機構に拠らない新たな成長方法として、特に表面酸化膜を介した成長メカニズムが重要視されている[2]。これらの構造の形成過程では、いずれも基板表面へ形成した酸化膜の役割が大きな役割を占め、広域二次元薄膜成長を三次元ナノ構造成長へ誘導する空間的な成長制限材料として機能する。ただし、トップダウン手法においては強制的な酸化膜材料の蒸着やリソグラフィ過程の複雑さなどにより、柱状構造の均一性・再現性に問題があるほか、ボトムアップ手法においても自己組織的ナノワイヤ成長はランダムであり位置制御が困難である。よって、トップダウン手法とボトムアップ手法の効果的な融合を目指す上で、それぞれの課題を解決することが必要であると考えられる。

本研究では、Si 基板上に GaAs ナノ構造を作製・制御することを目的として、トップダウン手法及びボトムアップ手法それぞれのアプローチから、より単純な原理と清浄なプロセスに基づく MBE 結晶成長法を検討した。特に、GaAs 及び Si 表面酸化膜に着目し、電子線描画と熱処理によってその酸化膜上に積極的に設けた開口部を結晶成長における成長サイトとして使い、柱状アレイ構造とナノワイヤの作製を試みた。実験では、以下の 2 点について、それぞれ表面酸化膜における成長テンプレート機能を検証した。(1) 電子線描画に対するレジストマスク機能をもつ GaAs 酸化膜テンプレートの Si 基板上への形成(周期的成長領域の形成)と、直接選択成長による GaAs アレイ構造の作製。(2) Si 基板表面の酸化膜に対する熱分解微細孔テンプレートの作製と、そこを核形成サイトに用いた GaAs ナノワイヤ成長を行った。

結果として、アレイ構造とナノワイヤの形成における表面酸化膜の有効性が確認された。アレイ構造作製には GaAs 酸化膜へ Al を含有することにより成長の選択性の向上が見られ、またナノワイヤ形成には Si 酸化膜に対する熱処理の導入が形成密度の増加に大きく寄与することが見出された。