

MBE 法を用いた選択成長用 AlGaAs 酸化膜マスクの機能の検証

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 福原 盛泰

化合物半導体を用いたナノオーダーの三次元微細構造は光電子デバイス、量子デバイスへの応用が期待され、その作製法として原子の自己組織化機能を用いた選択成長法が注目されている。選択成長とは、成長抑止機能をもつパターン・テンプレート（マスク領域）を基板表面に予め形成することにより、空間的な選択性をもつエピタキシャル成長が、基板表面の露出した領域（非マスク領域）のみににおいて自発的に発現し、三次元形状へと発展する手法である。一般的なマスク材料には熱耐性に優れる SiO_2 が用いられるが、その成膜過程では基板との界面に品質の低下が発生する。そこで、 SiO_2 をマスクに用いた実際の選択成長は、数十 nm 以上の限定された SiO_2 膜厚に対して検証されてきた。しかし、ナノオーダーで三次元構造を高集積化させるには、マスクの膜厚を薄くする必要がある。従って、界面品質を保証した、薄い選択成長用マスクの開発が必要となる。

我々は、GaAs 基板表面に存在する厚さがわずか 3nm の GaAs 自然酸化膜を用いた選択成長法 “MBE-Litho 法” を提案し、清浄な表面・界面からなる三次元微細構造物を “その場” で作製できることを実証してきた。この手法は、真空一環であり、電子線直接描画法による GaAs 表面酸化膜改質、描画領域外の酸化膜の選択的脱離、改質酸化膜をマスクに用いた MBE 選択成長を要素プロセスとする。しかし、GaAs 自然酸化膜がもつ熱耐性のままでは、GaAs と比較して高温成長が要求される Si や GaN 系などへ、選択成長を拡張することは困難であった。本研究では、この解決に向けて新たに AlGaAs 酸化膜を提案する。その理由は、(1). Al_2O_3 の融点は SiO_2 や Ga_2O_3 (GaAs 酸化膜マスクの主成分) に比べて高い、(2). MBE 法で AlGaAs 膜厚・組成を原子層レベルで制御が可能であること等による。AlGaAs 酸化膜を選択成長用マスクとして機能させる上での課題は、電子線で描画・改質されたマスク領域以外の成長領域表面上に残留する Al 酸化物の選択成長への影響である。この残存 Al 酸化物が三次元構造へ及ぼす影響に関する知見はない。

そこで、本研究では、GaAs を対象にして、MBE-Litho 法を用いた三次元構造形成に対する AlGaAs 酸化膜マスクの有効性の検証、及び構造形成過程の観察で酸化膜脱離後の表面に残存する Al 酸化物の三次元構造への影響を考察することを目的とする。

結果として、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 酸化膜マスクの場合で、GaAs 酸化膜マスクと比べて、アスペクト比の高い三次元構造形状を得た。構造発展の結果から、AlGaAs 酸化膜マスクを用いた場合、構造は横幅一定に保ち基板表面に対して垂直方向に発展した。一方、GaAs 酸化膜マスクでは、構造は横幅が広がるように発展する結果となった。このことから、AlGaAs 酸化膜によるマスク機能向上の要因は、Al 含有したマスク領域で吸着原子に対する排除機能の向上に加えて、酸化膜脱離後の表面に残存する Al 酸化物効果で、マスク領域と成長領域の境界の形状が変化したことが考えられる。さらに、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 酸化膜のマスク機能性は、Si 基板上の GaAs 選択成長に展開しても、GaAs 酸化膜マスクよりも高く、選択性のある三次元構造を得たことで確認できた。