

Ge(111)基板上の垂直 InAs ナノワイヤの選択成長 Selective-Area Growth of Vertical InAs Nanowires on Ge(111) Substrate

1 北大院情報科学および量子集積センター、2JST さきがけ

○富岡 克広^{1,2}, 石坂 文哉¹, 中井 栄治¹, 福井 孝志¹

GS-IST, and RCIQE, Hokkaido Univ.¹, JST-PRESTO²,

○K. Tomioka^{1,2}, F. Ishizaka¹, E. Nakai¹ and T. Fukui¹

E-mail: tomioka@rciqe.hokudai.ac.jp

[はじめに] 電界効果トランジスタ(FET)の微細化・集積度の増加による集積回路の消費電力の急増が懸念されている中、FETの次世代チャネル材料として III-V 族化合物半導体や Ge が注目されている。各チャネル材料の電子・正孔移動度を考慮すると、III-V チャネル材料は、微細化と立体ゲート構造によって、オン電流の増加とオフリーク電流の抑制を同時に実現する必要がある。一方、Ge チャネルは III-V チャネルの電子移動度と比べて正孔移動度が低いいため、比較的大面積で III-V チャネルと混載する必要がある。最新の国際半導体ロードマップ(ITRS)では、III-V/Ge 混載技術の確立が課題として挙げられおり[1]、結晶成長技術分野のさらなる技術進展が求められている。このような背景の中、筆者らは Ge(111)プラットフォーム上の垂直 III-V ナノワイヤの異種集積技術に注目している。

本報告では、Ge(111)基板上の InAs ナノワイヤの選択成長とナノワイヤ成長方向制御について報告する。

[実験] 基板は、p 型 Ge(111)基板を用いた。はじめに、超音波脱脂洗浄した基板に対し、高周波スパッタリング法で膜厚 20 nm の SiO₂ を形成した。次に、電子線ビームリソグラフィとウェットケミカルエッチングにより、直径 100 nm の開口パターンを作製した後、有機金属相成長(MOVPE)法により、InAs ナノワイヤを成長した。MOVPE 成長は、減圧(0.1 atm)横型反応炉を用い、水素ガスをキャリアガスとした。成長原料は、III 族原料にトリメチルインジウム(TMIn)、V 族原料にアルシン(AsH₃)ガスを用いた。n 型ドーピングには、モノシラン(SiH₄)を用いた。InAs の成長条件は、成長温度(T_G) 540°C、V/III 分圧比 256 とし、成長時間は 20 分とし、図 1(a)のような成長シーケンスによって、InAs ナノワイヤの成長方向の制御を検討した。

[結果と考察] 選択成長法における As 系 III-V ナノワイヤは、ファセット成長機構のため、<111>B 方向に優先的に成長する特徴を有しているが、Ge は単一原子からなる無極性結晶構造である。Ge(111)基板に対して垂直方向に InAs ナノワイヤを選択成長するためには、ナノワイヤ成長直前の Ge(111)表面を、(111)B 極性面にしなければならない。具体的には、Ge(111)の最表面原子を As 原子で置き換えるか、Ge(111)表面のダングリングボンドを In 原子で終端すると(111)B 極性面になる。そこで、図 1(b)に、400°C、AsH₃ 表面処理における AsH₃ 分圧と成長方向の割合の関係について示す。成長方向の割合は、選択成長の開口部に成長したナノワイヤの方向を 10 μm × 10 μm の範囲で評価した。

表面処理中に AsH₃ を導入しない場合、垂直<111>方向に成長するナノワイヤの割合は 25%、19.6°傾斜した<111>に成長するナノワイヤの割合は 75%である。これは、開口部の Ge 基板表面の多くが(111)A 極性になるこ

とを示している。(111)A 極性面は、表面処理直後の流量変調成長(FME)モードで、Ge(111)表面のダングリングボンドが As 原子で終端されたためと考えられる。一方、表面処理で AsH₃ を供給すると垂直ナノワイヤの割合が増加し、[AsH₃] = 7.5 × 10⁻⁴ atm で 95%まで増加することが分かる。これは、Ge(111)表面状態が表面処理中の AsH₃ 分圧に強く依存し、AsH₃ 供給量の増加で(111)B 極性面が形成されやすくなることを示している。

図 1(b)では、[AsH₃] = 7.5 × 10⁻⁴ atm の表面処理条件で、斜め方向に成長するナノワイヤの割合がおおよそ 5%になる。これはマスク材料の SiO₂ 膜の稠密性・熱耐性と関係があると考えており、より稠密なマスク材料を選択することで改善できると考えている。図 2 は、マスク材料を SiON 膜にした時の成長結果であり、図 1 で最適化した条件下では、垂直 InAs ナノワイヤ成長の割合をほぼ 100%にすることができる。成長した InAs ナノワイヤは{1-10}垂直ファセット、(111)B 面で構成されることがわかり、Ge(111)基板において、ファセット成長機構によるナノワイヤ成長を生じていることが分かる。当日は、Ge/InAs ナノワイヤ接合界面の結晶構造や、電気特性について考察する。

[参考文献]

[1] ITRS 2013 Edition

(<http://www.itrs.net/Links/2013ITRS/Home2013.htm>)

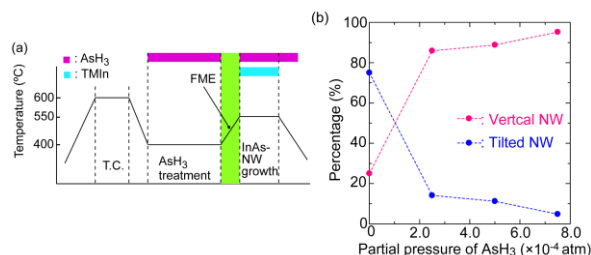


図 1. (a) Ge(111)基板上の InAs ナノワイヤ選択成長シーケンス。T.C. はアニーリング、FME は流量変調モード成長を示す。(b) ナノワイヤの成長方向と AsH₃ 表面処理中の AsH₃ 分圧の関係

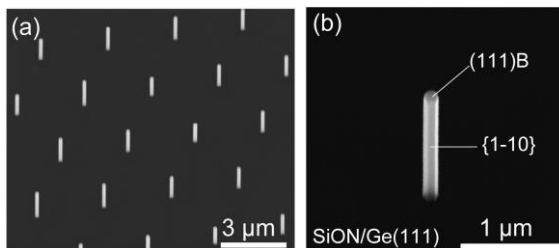


図 2. (a) MOVPE 選択成長法による SiON 膜/p-Ge(111) 基板上的 InAs ナノワイヤアレイの SEM 像。直径 70 nm、高さ 2.0 μm、(b) InAs ナノワイヤの高倍率 SEM 像