

化合物半導体ナノワイヤの選択成長機構

Selective Area Growth Mechanisms of Compound Semiconductor Nanowires

北大院情報科学および量子集積センター 福井孝志

GS-IST and RCIQE, Hokkaido Univ. Takashi Fukui

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

半導体ナノワイヤは、数 10 nm から数 100 nm の直径を有した針状・細線結晶構造である。金属触媒を合金化する過程で生じる合金直下の液相を結晶成長に利用した VLS 法が広く知られており、2000 年初頭から欧米の研究機関による研究が活発化し、現在では半導体ナノワイヤの研究人口が急速に増加している。

我々は、これまで触媒を用いない、選択成長技術により半導体ナノワイヤの結晶成長とそのデバイス応用を報告してきた^{1,2}。特徴は、トップダウン技術を用いることで、位置、サイズなど制御性に優れていること、コアシェル構造、異種基板の利用など多彩な構造が得られるなどである。選択成長法は、優れた特徴を持ちながらも、リソグラフィを始めとした多くのプロセス機器が必要なためなかなか普及しなかったが、最近では欧米の多くの研究機関から論文が出るようになり、研究を加速している。本講演では、結晶成長の基礎に立ち返って、下記に示すトピックスを中心に、GaAs, InP などの III-V 族化合物半導体ナノワイヤの選択成長の特色と、その成長機構を議論する。

1) Twinning Growth Model

(111) 方位の結晶を非晶質マスクで覆い部分的に開口部を設けた基板上で柱状成長モードが生じるのは「自明の理」ではなく、むしろエネルギー的な安定構造は正四面体である。ここでは、なぜ正四面体ではなくナノワイヤになるかを、Twining Growth Model³を使って説明する。

2) セン亜鉛鉱とウルツ鉱の構造制御

III-V 族化合物半導体のうち GaAs, InP などは ABCABC の積層構造を持つ典型的なセン亜鉛鉱構造であるが、ナノワイヤ結晶では、条件によりしばしば ABAB の積層構造を持つウルツ鉱構造に遷移する。共有結合、イオン結合の観点から両結晶構造について議論し、構造制御について説明する。

3) コアシェル成長機構

コアシェル構造は、単なるナノワイヤ（コア）のパッシベーション膜だけでなく、コアのワイヤ結晶をテンプレートとして、多層シェル構造内にデバイスを作る上でも重要である。成長軸を垂直方向から水平方向にどのように変えるか、また (111) の可変積層軸に対し側面 (011) 方位の固定積層軸を利用して新しい結晶構造を持つ材料を作製した結果についても紹介する。

4) 異種基板 (Si, グラフェン) 上への成長と界面構造

ナノワイヤ成長の特徴は、基板結晶との接触面積が非常に小さいことであり、これまで良質な結晶成長が不可能と思われていた異種基板上への成長でも、良好な結果が得られている。III-V 族半導体とシリコンの場合は、極性、非極性その他格子不整合など多くの課題があるが、これらを克服する手法について述べる⁴。さらにグラフェン基板については、結合様式が sp^3 と sp^2 の大きな差にもかかわらず、“エピタキシャル成長”した例を紹介し、その界面におけるファンデルワールス結合について議論する⁵。

[参考文献]

- 1 K. Tomioka, M. Yoshimura, T. Fukui, *NATURE* **488** (2012) 189.
- 2 H. Goto, K. Nosaki, K. Tomioka, S. Hara, K. Hiruma, J. Motohisa, T. Fukui, *Appl. Phys. Exp.*, **2** (2009) 035004.
- 3 K. Ikejiri, J. Noborisaka, S. Hara, J. Motohisa, T. Fukui, *J. Cryst. Growth*, **298** (2007) 616.
- 4 K. Tomioka, J. Motohisa, S. Hara, T. Fukui, *Nanoletters*, **8** (2008) 3475.
- 5 YJ Hong, T. Fukui, *Nanoletters*, **12** (2012) 1431.