

界面ナノ構造埋め込みを利用した IV 族半導体結晶中へのドーピング法

Doping technique for IV-group semiconductor using interfacial nanostructures

物材機構¹, 筑波大数物², London Centre Nanotechnology³, University College, London⁴

○ 三木 一司^{1,2}, 村田 晃一^{1,2,*}, Kirkham Christopher^{2,3,4}, David Bowler^{3,4}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba², LCN³, UCL⁴

○ K. Miki^{1,2}, K. Murata^{1,2,*}, C. Kirkham^{2,3,4}, D. R. Bowler^{3,4}

E-mail: miki.kazushi@nims.go.jp

IV 族半導体元素 (シリコン、ゲルマニウム) のデバイス技術は、結晶成長技術を中心とした表面・界面制御技術の発展に即してきたと言っても過言ではない。ドーピング技術のうち、特に δ ドーピング技術は結晶成長を利用して行われる事が多く、ドーピング量最大化、結晶化と欠陥抑制のバランスを取りながらプロセス開発が行われて来た。

我々は埋め込まれたナノ構造をドーパント源として利用するドーピング法の研究を進めている (図 1 に概念図)。表面ナノ構造は、基板と結合した局所構造を形成するため、シリコン結晶中への埋め込みに有利である。このドーピング法では、アニール等を利用して、電気的な欠陥を抑制しながら、埋め込みナノ構造を破壊して、構成原子をシリコン結晶の格子置換位置に再配置して電気的活性化を実現する。これまで様々な表面ナノ構造が探索されており本ドーピング法の拡張性はかなり高い。界面ナノ構造を利用すれば、遷移金属等のシリサイドを形成しやすい元素の原子層ドーピングも可能となる。複数元素から構成するナノ構造を利用すれば、異種元素を同一原子層に配置できる (多元素重畳 δ ドーピング法)。本発表では、IV 族半導体におけるドーピング技術の更なる発展がパラダイム・シフトを引き起こす新機能創発に繋がることを期待し、これまでに得られたマンガン(Mn)及びビスマス(Bi)の δ ドーピング技術を系統的に示す。

Bi は Si(001)表面上に形成した Bi 原子細線構造をドーパント源のナノ構造として用いるが、STM 法と DFT 計算を併用することで、構造のモデル化に成功している。分子線エピタキシー装置内で、Bi 原子細線/Si(001)を作製し、結晶成長によりシリコン結晶中に埋め込む。キャリア輸送特性評価やフォトルミネッセンス測定に加え、サブモノレイヤーの極微量ドーパントの局所構造評価は放射光施設を利用した X 線吸収微細構造法を用いた。実際、Si 結晶中に Bi 原子細線を埋め込んだ場合の Bi-Si の結合距離の決定に成功している (図 1 右)。この結果は、ドーピング機構の考察が局所構造の観点から可能となったことを示している。局所構造評価と電気的特性評価から、Bi 原子細線の一部は室温でのシリコン層 (α -Si 層) 堆積で部分的に壊れ、400°C のアニールで、ほぼ壊れてシリコン結晶中の格子置換位置に配置されて電気的に活性化することが分かった。このアニールでは電気的な欠陥は発生しない。更に 700°C までアニールすると Bi ドーパントは n 型では無く p 型を示し、Bi 局所構造は点欠陥との複合物になっている可能性が高い。講演では磁性不純物であるマンガンと共に詳細を報告する。

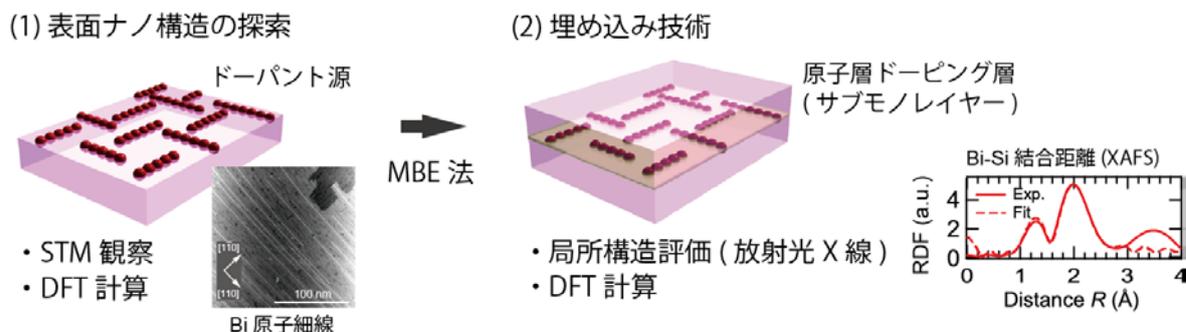


図 1 界面ナノ構造を利用したドーピング法 (1) 表面ナノ構造の探索 (2) 埋め込み技術

*current address: Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles