

## EXAFS 法による Si 結晶中の Bi $\delta$ ドーピング層形成過程の研究 3: 埋め込み Bi 原子細線構造

### EXAFS measurement of encapsulated Bi nanoline in Si

物材機構<sup>1</sup>, 筑波大院数物<sup>2</sup>, JASRI<sup>3</sup>, 東北大多元研<sup>4</sup>,

○村田 晃一<sup>1,2</sup>, 新田 清文<sup>3</sup>, 宇留賀 朋哉<sup>3</sup>, 寺田 靖子<sup>3</sup>, 矢代 航<sup>4</sup>, 日塔 光一<sup>1</sup>, 坂田 修身<sup>1</sup>, 三木 一司<sup>1,2</sup>  
NIMS<sup>1</sup>, Univ. of Tsukuba<sup>2</sup>, JASRI<sup>3</sup>, Tohoku Univ.<sup>4</sup>

○K. Murata<sup>1,2</sup>, K. Nitta<sup>3</sup>, T. Uruga<sup>3</sup>, Y. Terada<sup>3</sup>, W. Yashiro<sup>4</sup>, K. Nittoh<sup>1</sup>, O. Sakata<sup>1</sup>, K. Miki<sup>1,2</sup>

E-mail: MURATA.Koichi@nims.go.jp

我々は Si 結晶中に埋め込まれた Bi 原子細線をドーパント源として利用することで、高濃度 Bi  $\delta$  ドーピング法を実現している [1, 2]。この手法では Bi 原子をドーパントとして活性化するために 1100 °C 以上の高温アニールが必要となる。高温アニール時に Bi 原子細線構造中の Bi 原子周辺の局所構造の変化が想定されるが、現在のところ埋め込まれた Bi 原子細線さえ構造が同定されていない。これまでに、Bi 原子細線上に Si 層をエピタキシャル成長した場合、1 次元構造とともに二倍周期構造を維持することが、X 線逆格子イメージング法を用いた研究から明らかにされている [3]。また、X 線定在波法を用いた研究から、Bi 原子細線上に室温にて Si 層を堆積した場合、(004) 面から上部に 0.26Å、Si ダイマー位置から [110] 方向に  $\pm 0.5\text{Å}$  の位置に Bi 原子が存在することが報告されている [4]。この結果は、表面上の Bi 原子細線の Haiku 構造モデルと矛盾は無い [5]。また、透過型電子顕微鏡による観察から、室温にて Si 層を堆積した際にも、数原子層はエピタキシャル成長することも報告されている [6]。そこで、Si 結晶中に埋め込まれた Bi 原子細線の構造を同定するために、高輝度 XAFS 法を用いた Si 結晶中の Bi 原子周辺の局所構造評価を行った。

シングルドメイン基板上に形成した Bi 原子細線上に、基板温度  $T_{sub} = 400^\circ\text{C}$  (サーファクタント Bi 1 ML) および室温にて Si 層を 50 nm 堆積した 2 つの試料を評価した (図 1(a))。抽出された EXAFS 振動及びフーリエ変換より得られた動径分布関数を、図 1(b,c) にそれぞれ示す。第一近接原子 Si との結合を仮定したフィッティングより、Bi-Si 結合距離はそれぞれ  $2.64 \pm 0.02\text{Å}$  ( $T_{sub} = 400^\circ\text{C}$ )、 $2.68 \pm 0.02\text{Å}$  ( $T_{sub} = RT$ ) であることが得られた。Si(001) 表面上の Bi 原子細線構造中の最近接 Bi-Si 結合距離は  $2.78\text{Å}$  である。ゆえに、Bi-Si 結合距離は、エピタキシャル成長した試料中に比べ、室温にて Si を堆積した試料中の方が長く、表面上での Haiku 構造よりも短い。以上の結果から、Si 結晶中へ Bi 原子細線の埋め込み過程について、(1) Si 層をエピタキシャル成長 (サーファクタント使用) すると、Bi 原子細線構造は緩和し、(2) 室温で堆積した場合は Bi 原子細線構造の一部が緩和する、以上の統一的な見解が得られる。

なお、本研究は科研費及び、高輝度光科学研究センター 萌芽的研究支援課題 (課題番号: 2011B1692, 2012A1546, 2012B1664) の支援を受けたものである。

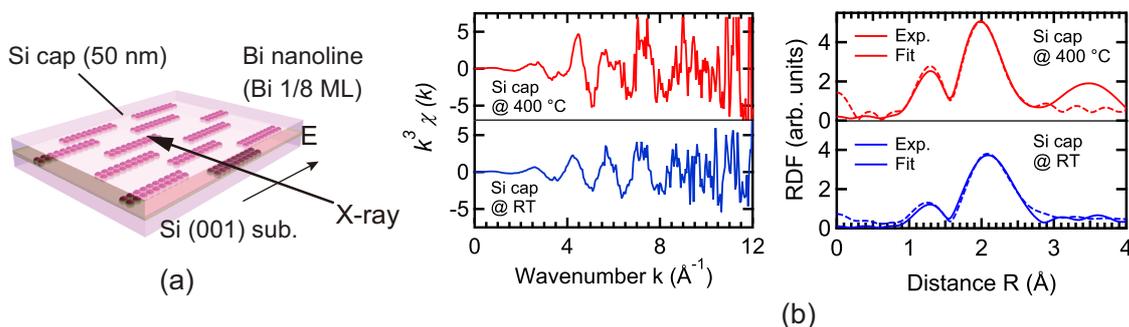


図 1: (a) 試料構造 (b) EXAFS 振動およびフーリエ変換より得られた動径分布関数

- [1] K. Miki, J. H. G. Owen, D. R. Bowler, G. A. D. Briggs, and K. Sakamoto: Surf. Sci. **421** (1999) 397.
- [2] K. Murata, Y. Yasutake, K. Nittoh, K. Sakamoto, S. Fukatsu, and K. Miki: Appl. Phys. Express **3** (2010) 061302.
- [3] O. Sakata, W. Yashiro, D.R. Bowler, K. Sakamoto, and K. Miki: Phys. Rev. B **72** (2005) 121407.
- [4] A. Saito, K. Matoba, T. Kurata, J. Maruyama, Y. Kuwahara, K. Miki, and M. Aono: Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) 2408.
- [5] J. H. G. Owen, K. Miki, H. Koh, H. W. Yeom, and D. R. Bowler: Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 226104.
- [6] H. Matsuhata, K. Sakamoto, and K. Miki, Journal of Electron Microscopy **53** (2004) 325.