

Bi 原子細線をドーパント源とするSi 結晶中のBi δ ドーピング法： EXAFSによるドーピング機構解明

Delta doping of Bi in Si crystal with use of Bi nanoline as a dopant source:

Elucidation of doping mechanism by using EXAFS

物材機構¹, 筑波大院数物², JASRI³

村田晃一^{1,2}, 新田清文³, 宇留賀朋哉³, 寺田靖子³, 日塔光一¹, 坂田修身¹, ○ 三木一司^{1,2}

NIMS,¹ Univ. of Tsukuba,² JASRI³

K. Murata,^{1,2} K. Nitta,³ T. Uruga,³ Y. Terada,³ K. Nittoh,¹ O. Sakata,¹ ○ K. Miki^{1,2}

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

ドーパントの多様化は、Si 結晶へ新機能を与えることが期待され、一つとしてBi 原子により形成される深いドナー準位によるスピントロニクス機能が提案されている。しかし、現実的なドーピング法が確立されていない。その解決策として、我々は (1) Bi 原子細線構造をドーパント源としてSi 結晶中に埋め込み、(2) 高温瞬時レーザーアニールにより活性化させる、2 工程からなる高濃度 Bi δ ドーピング法を提案し、実証している[1]。このプロセスでは、不純物活性化のために1100 °C以上の高温アニールを必要とする。一方、イオン注入法によりドーパされたBi 原子は 600 °C 程度のアニールにより活性化されるため、我々の手法が高温アニールを必要とする理由は明らかとなっていない。そこで、ドーピング機構を探るため、Si (001)表面に形成したBi 原子細線構造上に、基板温度 400°C (試料 A)及び室温(試料 B)にてシリコン層の成長を行い、EXAFS法を用いてBi原子周辺の局所構造解析を行った。

高輝度XAFS 測定は、SPring-8 の硬X 線領域のアンジュレータービームラインBL37XU にて行った。測定対象元素濃度 (1/8 ML) が極希薄な薄膜試料であるため、ラウエ型分光結晶 (BCLA) を用い、試料からの散乱X線を除去する蛍光分光XAFS 測定法を用いた。蛍光X 線検出には19素子Ge 検出器を利用し、XAFS計測はBi L3-edge で行った。測定結果を表 1 に示す。

表 1: Bi 原子周辺の局所構造

Samples	r (Å)	N*	σ^2 (Å ²)
(A) Si cap at 400°C	2.64 ± 0.02	4.1 ± 0.5	0.0074
(B) Si cap at RT	2.67 ± 0.02	2.9 ± 0.5	0.0044
(C) Bi ion implantation	2.64 ± 0.02	1.1 ± 0.5	0.0022

400°Cでシリコン結晶成長を行った試料のBi-Si 結合距離2.64 Åは、Bi原子細線の値2.78 Åに比べて非常に小さく、イオン注入試料の値と近い。これは、シリコン結晶成長を行った際に、ドーパント源であるBi原子細線の構造が破壊し、具体的にはBi-Bi結合が切断されていることを示唆している(図 1)。当日は、Si結晶中のBiドーパントの局所構造に関するDFT計算結果を含めて議論する。

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。

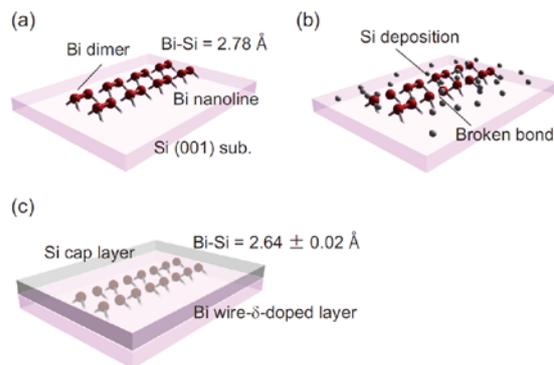


図 1: Bi 原子細線構造の埋め込み機構

[1] K. Murata, Y. Yasutake, K. Nittoh, K. Sakamoto, S. Fukatsu, and K. Miki: Appl. Phys. Express 3 (2010) 061302