微傾斜 Si(211)基板上への Bi ドーピング層成長 2

Formation of Bi doped layer on vicinal Si(211) surface 2

物材機構 [1]，筑波大数物 [2]，横国大院 [3]　○三木 一司 [1,2]，村田 晃一 [1,2,*]，
金澤 孝 [1,2]，田中 博也 [1,3]，日塔 光一 [1]，大野 真也 [3]，田中 正俊 [3]
NIMS[1], Univ. of Tsukuba[2], Yokohama National Univ. [3]　○ K. Miki [1,2], K. Murata[1,2],
T. Kanazawa[1,2], H. Tanaka[1,3], K. Nittoh[1], M. Ohno[3], M. Tanaka[3]
E-mail: miki.kazushi@nims.go.jp

従来のプレーナ型FETに代わり、微細化及び高集積化のためにFinFETやGate-all-around FET 等の立体構造デバイスの開発が進められている。立体面は多くの指数面で囲まれているが、表面超構造やドーピング法の学術的研究は(001)と(111)の低指数面に限られ、高指数面に関する情報は乏しい。又、既にFETは原子レベルのサイズに達しており、一個の不純物元素・欠陥の存在がデバイス特性に大きな影響を与える。少数ドーパントの負の側面に対して、単一ドナー原子に局在した電子スピンを利用する量子情報処理プラットフォームが提案されている。これはムーアの法則を超越した新概念の情報処理技術と考えられている。この技術的トレンドは、既に成熟したと看做されるシリコン半導体技術に未だ開拓の余地あることを示している。我々は、Si表面上に形成する表面ナノ構造をドーパント源として利用して、P, B, As以外の元素をドーパントとする高濃度ビスマスδドーピング法を提唱・実現している[1]。この手法では、ドーパントをキャリア源とする考え方から、スピン源や量子ビット等他用途も視野に入れるように改め、新しいシリコン半導体技術を開拓しようとするものである。

本研究では、表面構造を利用して微傾斜シリコン基板にBiのδドーピングした結果を報告する。Si(211)清浄表面は(733)と(111)ファセットから成る（図1(a)）[2]。Si(211)清浄表面上にビスマス原子を堆積すると、(111)ファセットから吸着が起こり、最終的に図1(b)に示すビスマス積層構造が形成する。分子線エピタキシー法を用いて、この微傾斜表面上にシリコン結晶層をエピタキシャル成長すると、基板温度に依存して構造的に10^{18}–10^{20} cm^{-3} のビスマスドーピング層を形成できることを二次イオン質量分析により確認した。図1(c)のTEM像より、高品質なエピタキシャル層を得るために、低指数面に比べて高い基板温度が必要となることが分かる。２つのファセットが存在するため、特定のファセットが選択的に成長するためと考えられる。また、基板温度400℃で成長した試料は、キャリア密度 $n = 4.0 \times 10^{19}$ cm^{-3}を示し電気的に活性化していることを確認した。

[1] K.Murata, Y.Yasutake, K.Nittoh, K.Sakamoto, S.Fukatsu, and K.Miki: *Appl. Phys. Express* **3** (2010) 061302.
[2] A.A.Baski and L.J.Whitman: *Phys. Rev. Lett.* **74** (1995) 956.
* Current address: Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles

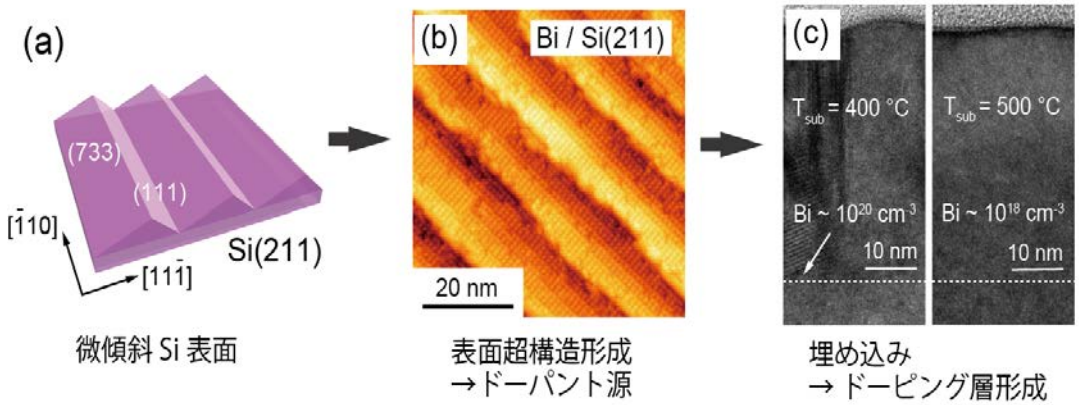

図 1 :表面超構造を利用した Si(211)基板上への Bi δ ドーピング法 (a) Si (211) 表面構造 (b) Bi 原子層堆積後の Si(211)表面 (STM 像) (c) 埋め込み後の δ ドーピング層(TEM 像)

© 2016年 応用物理学会