

Si ナノシートの価電子帯端バンド構造の観察へ向けて Toward the Observation of Valence Band Edge Structures in Silicon Nanosheets

内田建^{1,*}, 豊島遼¹, 渡邊一輝¹

¹ 東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

Ken UCHIDA^{1,*}, Ryo TOYOSHIMA¹, Kazuki WATANABE¹

¹ Department of Materials Engineering, The University of Tokyo

7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan

1 はじめに

近年、次世代トランジスタ構造として、シリコン (Si) ナノシートをチャネル材料に用いた GAA-FET (Gate-All-Around FET) の実用化に向けた検討が盛んに進められている。今後の微細化に伴い、Si ナノシートの厚みは4 nm以下に達すると予想されているが、このような極薄膜領域においては量子閉じ込め効果が顕著となり、デバイス特性に多大な影響を及ぼす。

バルク Si の価電子帯は、重い正孔 (HH) バンド、軽い正孔 (LH) バンド、およびスピン軌道相互作用 (SO) バンドから構成されている。しかし、量子構造下においてこれらがどのようなバンド構造へと変化するかは必ずしも明らかになっていない。特に、高移動度化の観点から注目される(110)面方位におけるナノシートの価電子帯構造に関する知見は極めて限定的である。

本研究は、次世代 Si デバイスの材料設計指針を得ることを目的とし、放射光を用いた角度分解光電子分光 (ARPES) により、極薄 Si(110)ナノシートの価電子帯端における電子バンド構造を実験的に明らかにすることを目指す。

2 実験

本研究では、将来的な SOI (Silicon on Insulator) 構造への適用を見据え、その前段階として、角度分解光電子分光 (ARPES) による測定手順の確立およびバルク Si における価電子帯端構造の観測を目的とした実験を行った。

試料にはバルク Si を用い、測定に先立ち、まずは希 HF (フッ化水素酸) 溶液処理による水素終端表面の作製を試みた。しかし、超高真空内への導入後、初期の ARPES 測定では明瞭な信号が得られず、清浄表面の形成には至らなかった。

そこで、より確実な超高真空 (UHV) 清浄表面を得るため、試料に対して最高 900°C のフラッシュ加熱処理 (サーマルクリーニング) を施した。加熱処理後の表面に対して ARPES 測定を行った結果、Si の価電子帯に由来する明瞭なエネルギー分散関係 (バンド構造) を直接観察することに成功した。

3 結果および考察

フラッシュ加熱処理を施したバルク Si 試料に対し、入射光エネルギーを 100 eV から 170 eV まで変化させて ARPES 測定を行った。その結果、図 1 に示すように、Si の価電子帯端として妥当なエネルギー運動量 ($E-k$) 分散関係を得ることに成功した。これにより、本ビームラインにおける Si のバンド構造観察に不可欠な、一連の実験・測定手順を確立することができた。一方で、本手法を SiO₂ 上の極薄 Si ナノシートへ適用する場合、900°C の高温熱処理によって Si がナノ粒子化 (凝集) し、薄膜構造が破壊される懸念がある。今後はナノシート構造を維持しつつ清浄表面を得るため、希 HF 処理条件のさらなる改善や、薄膜向けに最適化した低温フラッシュ加熱条件の探索を進める。

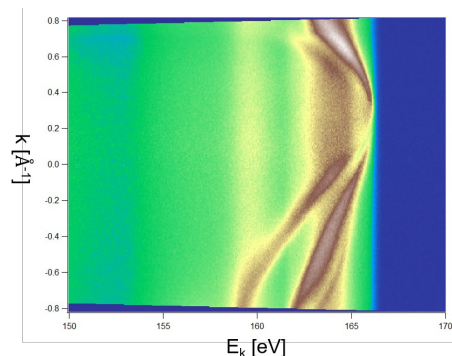


図 1 : ARPES による Si の価電子帯端の $E-k$ 関係

4 まとめ

バルク Si の ARPES 測定により、妥当な価電子帯端の $E-k$ 関係を得ることに成功した。今後は、高温熱処理による Si ナノシートの粒子化 (凝集) を防ぐ手法の確立が必要である。

謝辞

本研究の遂行における間瀬一彦特別教授、小澤健一教授の多大なるご助力に感謝いたします。

* uchidak@material.t.u-tokyo.ac.jp