

Si ナノワイヤ及び極薄 SOI における UV ラマンスペクトルのサイズ効果 Size Effects in Ultraviolet Raman Spectra of Si Nanowires and Extremely Thin SOI

産総研-NeRI¹, GNC-産総研², ロシア熱物理学研究所³,○多田 哲也¹, ウラジミール ポボロッチ¹, 森田 行則², パベル・ゲシェフ³,AIST-NeRI¹, GNC-AIST², Institute of Thermophysics³, AIST⁴, Tetsuya Tada¹, Vladimir Poborchii¹,
Yukinori Morita², Pavel Geshev³

E-mail: t-tada@aist.go.jp

【序論】

近年、超微細 CMOS においては、短チャンネル効果を抑制するため、厚さ数 nm 以下の薄膜 SOI (Silicon On Insulator) や、Si ナノワイヤ(NW)構造の使用が検討されている。これらの、微細構造に於いては、低次元化に伴うフォノンの量子閉じ込め効果等による物性の変調が予想される。我々は、前回、極薄 SOI のラマンスペクトルのサイズ/応力効果について報告した[1]。本講演では、Si NW のラマンスペクトルのサイズ効果の測定を行ったので報告する。

【実験と結果】

使用した NW 試料は、(001) SOI 基板を用いて作製した。SOI 基板は、SOITEC 製で、BOX (Buried Oxide)層は、145nm、SOI 層は 12nm および、7nm である。電子線リンググラフィーによりこれらの基板を加工し、幅 12nm、厚さ 12nm、及び、幅 9nm、厚さ 7nm の NW 試料を作製した。ラマンスペクトルは、364nm の励起光を用いた顕微ラマン分光装置を用い、後方散乱配置で行った。測定温度は、熱によるスペクトル幅の増大を避けるため、77K で行った。また、比較のため、厚さ 3-70nm の SOI の測定も行った。

Si ナノ構造のラマンスペクトルは、サイズがおおよそ 10nm より小さくなると、ピーク位置が低波数側にシフトし、幅が広がる。図1に NW 及び SOI のラマンスペクトルの低波数側へのシフト量($\Delta\omega$)を半値幅の増加量($\Delta FWHM$)の関数としてプロットしたグラフを示す。実線は、Richter-Campbell-Fauchet (RCF)モデルを用いて、 $\Delta\omega$ と $\Delta FWHM$ を

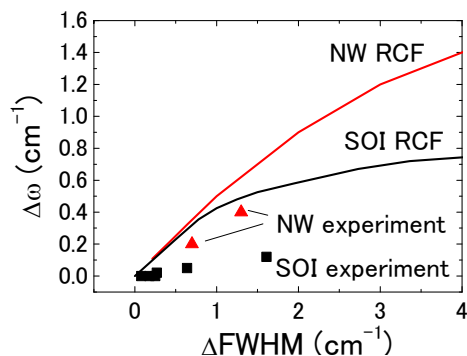


図1 ラマンスペクトルの線幅増加と低波数シフトとの関係。

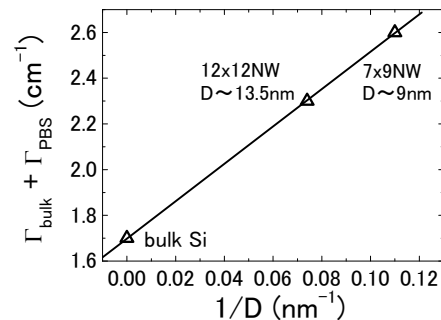


図2 ラマンスペクトルの線幅増加と NW サイズの関係。

計算した結果である。RCFモデルは、微細構造中のフォノン閉じ込め効果で波数の選択則が緩和する効果により、ピーク位置シフトと幅の変化を説明するものである。グラフから分かるように、NW、SOI 双方とも実測値との一致はよくない。

これは、ラマンスペクトルの変化が、フォノン閉じ込め以外の効果の寄与も無視できないことを示している。そこで我々は、フォノンが界面で散乱される効果を取り入れて解析を行った。すなわち、ラマンスペクトルの半値幅を

$$FWHM = \Delta FWHM_{\text{conf}} + \Gamma_{\text{boundary}} + \Gamma_{\text{bulk}}$$

と表して解析を行った。ここで、 $\Delta FWHM_{\text{conf}}$ はフォノン閉じ込め効果による半値幅の増加量、 Γ_{boundary} は、界面散乱による幅、 Γ_{bulk} はバルク Si の自然幅で、77K における値は、 $\sim 1.7 \text{ cm}^{-1}$ である。

界面散乱による線幅は、Cashimir Limit により、

$$\Gamma_{\text{boundary}} = v/2\pi cD$$

と書ける。 v は音速、 D はNWの断面積と同じ面積を持つ円柱の直径に相当する長さ、 c は光速である。 $\Gamma_{\text{boundary}} + \Gamma_{\text{bulk}}$ を $1/D$ の関数としてプロットしたグラフを図2に示す。図から分かるように、データは直線上によくのっており、音速 $v \sim 800 \text{ m/sec}$ と評価される。さらに、フォノンの寿命と平均自由行程を計算したところ、 $\tau_{7 \times 9 \text{ NW}} \sim 4.1 \text{ psec}$, $\Lambda_{7 \times 9 \text{ NW}} \sim 3.3 \text{ nm}$, $\tau_{12 \times 12 \text{ NW}} \sim 4.6 \text{ psec}$, $\Lambda_{12 \times 12 \text{ NW}} \sim 3.7 \text{ nm}$ であった。[2]

[1]多田哲也 他, 第74回応用物理学会秋期学術講演会 20a-C9-4

[2]V. Poborchii 他, Appl. Phys. Lett. **103**, 153104 (2013).