

半導体ナノワイヤ物性評価のための MEMS-Based Strain Engineering



北田勇馬*, 川瀬真也*, 菅野公二*, Stefan Wagesreither**, Alois Lugstein**, 磯野吉正*

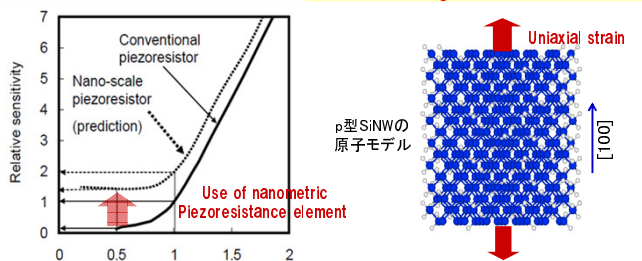
*神戸大学 大学院工学研究科 機械工学専攻

**Institute of Solid State Electronics, Vienna University of Technology (TUW), Austria

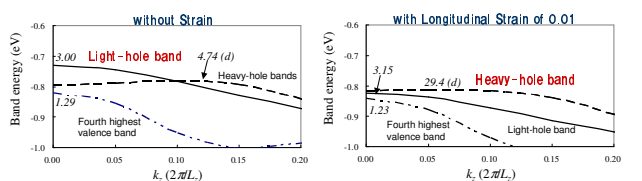
概要: 低次元ナノ構造材料は機械的破壊強度が大きいので、10%程度までの巨大な弾性歪みを材料内に空間的に均質もしくは不均質に生じさせることができる。最近、この巨大歪みをナノ構造材料に付与することで、電子物性、光物性、磁気特性、触媒反応特性などの物理的、化学的性質をチューニングできる可能性が見いだされてきた。このような弾性歪みによる物理パラメータ変化とその解明に係る研究領域を“Elastic Strain Engineering”と位置づけ、いくつかの研究が開発されてきた。本研究では、MEMSデバイスを用いて、低次元ナノ構造材料に対する“Elastic Strain Engineering”研究が必要となる基盤技術の確立を図った。具体的には、ナノ細線集積歪み制御MEMSデバイスの開発、VLSによりボトムアップ成長させたSiナノワイヤ(SiNWs)のSEM内ナノマニピュレーション技術の確立、および同ワイヤのMechano-electric特性評価を試みた。その結果、SiNWの抵抗変化率は、3%歪みの下で-80%という極めて大きな値を示し、高感度力学センサ素子として有効であることが示された。

Background

- 力学量センサの本質的課題: センサ小型化に伴う低感度化
解決策 → 比重の大きい材料の利用、e.g. 金メッキetc.によりセンササイズを変更すること無くmassを増加させる
→ 半導体ナノ細線の利用による高感度化、e.g. SiNWやSiCNW etc.



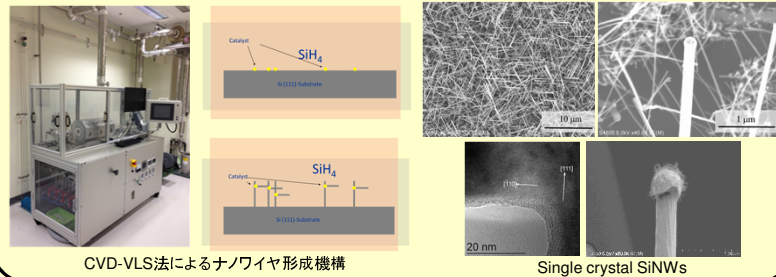
● 密度汎関数による第一原理計算
-1%歪み下でのSiナノワイヤのバンド構造変化-



歪み下の低次元ナノ半導体 → Electron mobilityの劇的な変化

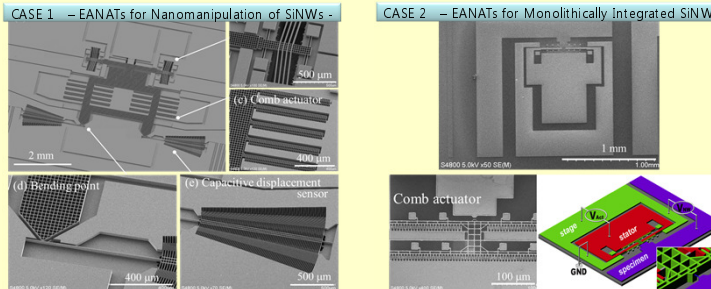
- 巨大歪み下でのSiNW単体のMechano-electric特性をMEMS技術で検証!

Nanowires growth by Vapor-Liquid-Solid

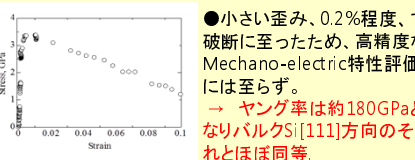
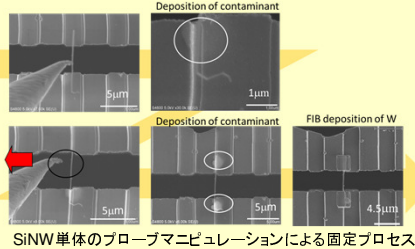
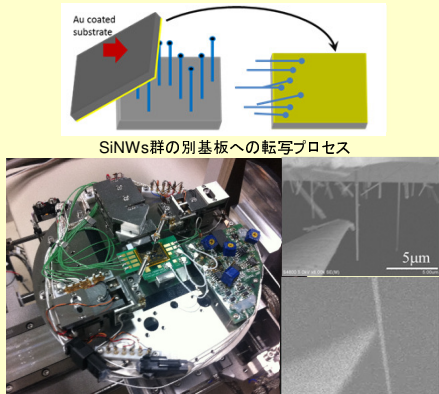


Electrostatically Actuated Nanotensile Tensing Devices (EANATs)

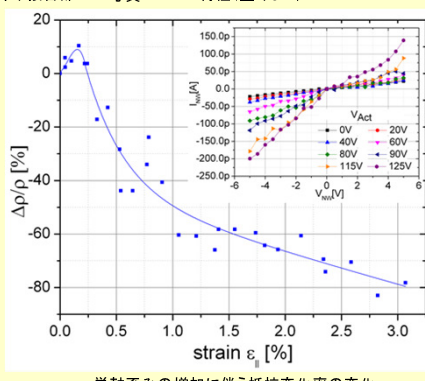
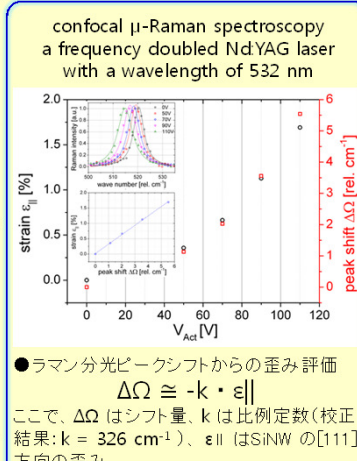
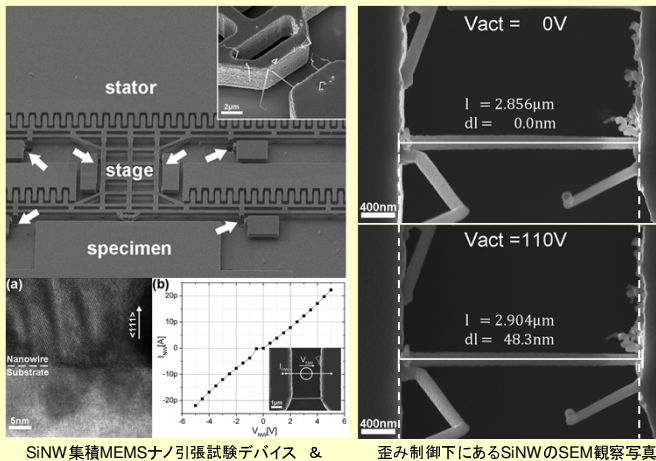
- 2種類のナノメカニクス実験 → CASE 1 SEM内ナノマニピュレーションによるデバイス上へのSiNWsの集積
→ CASE 2 デバイス上へのSiNWsの直接成長(モノリシック化デバイスの開発)



Nanomanipulation of SiNWs



Monolithically Integrated SiNWs



- 3%の巨大弾性歪みを付与することができた。
- ヤング率は約187GPa、破断歪み3.3%、破断応力6.17GPaとなった。
- 抵抗変化率 $\Delta\rho/\rho$ は歪みの増加に伴って指数関数的に減少し、3%歪みで-80%に達した。これは、無歪み状態にあるSiNWの電気伝導率が、3%歪みで5倍増加することに相当している。

VLS-growth SiNWsは超小型力学量センサ向け高感度ピエゾ抵抗素子として有望

ナノ細線集積歪み制御MEMSデバイスはMechano-electric特性評価ツールとして有効