

研究課題 (テーマ)		シリコンナノ細線の高信頼性集積体構築に関する研究	
研究者	所属学科等	職	氏名
代表者	機械システム工学科	講師	上杉 晃生
	機械システム工学科	教授	堀川 教世
	機械システム工学科	准教授	木下 貴博
研究結果の概要			
<p>半導体のナノワイヤ構造（直径が数 10～数 100 nm 程度の細線状の構造）は、高感度な微小力センサや化学センサなど、さまざまなセンサや電子素子への応用が期待されており、それに伴い多様な形成手法の研究が進められている。本研究では、高信頼性なナノワイヤ集積構造の構築を目指し、金属支援化学エッチング法（Metal-Assisted Chemical Etching : MACE）に着目し、シリコンナノワイヤの基板水平方向への形成特性について評価実験を実施した。</p> <p>MACE 法とは、貴金属を触媒としてシリコン表面における酸化反応および溶解反応を繰り返すことでマイクロ・ナノスケールの微細構造を形成する手法である。触媒金属の種類や形態、薬液濃度、シリコン基板条件などにより、多様なナノ構造を形成することが可能である。ナノワイヤ構造の形成法としては、他にも高分解能の電子ビームによる直接描画法や、化学気相成長法による結晶成長法が挙げられるが、それらに比べて低コストかつ低エネルギーでナノワイヤ構造が形成可能な手法である。従来報告されている MACE 法によるナノワイヤ構造形成の多くは、基板に対して垂直方向に成長するものである。これは、〈100〉結晶方位に沿って進展しやすい化学的性質に基づくものである。しかしながら、光学素子や化学センサとは異なり、力覚センサなどの機械的センサにおいては、基板に対して垂直なナノワイヤは必ずしも適しているとは限らず、ナノワイヤ形成基板からセンサ基板への集積が課題となる。そこで本研究では、センサ基板への集積性を考慮し、基板表面に対して水平方向にナノワイヤを形成する手法を提案した。</p> <p>本手法の実現にあたっては、基板結晶方位の影響を把握することは重要であり、さらに基板表面の保護膜（シリコン酸化膜を想定）との共存条件の最適化も必要である。本研究の評価実験では、基板表面に厚さ 1 μm の保護酸化膜を有し、厚さ 10 μm、抵抗率 5～10 $\Omega\cdot\text{cm}$ の n 型 Si デバイス層と、厚さ 0.5 μm の埋め込み酸化膜層から構成される SOI 基板（Silicon-on-Insulator 基板）を用いた。UV リソグラフィにより表面酸化膜に開口パターンを形成した後、フッ酸および硝酸を含む酸性溶液による等方的ウェットエッチングにより Si デバイス層の縁が表面酸化膜層下になるように除去加工した後、フッ酸・硝酸銀の低濃度の混合水溶液を用いてシリコンナノワイヤを形成した。このとき開口パターンは、同一基板上において結晶方位の影響評価が可能となるように、ナノワイヤの形成方向が〈110〉結晶方位から 15 度ずつ変化するように形成した。また、提案手法では基板表面の保護膜との共存を考慮し、フッ酸と硝酸銀のモル比を一定に保ちながら、フッ酸のモル濃度を変化させて実施した。</p> <p>形成実験において、基板上の変質領域幅を見かけのナノワイヤ長さとして分析した結果、〈100〉結晶方位は〈110〉結晶方位に比べて長く形成されることが確認され、また薬液濃度依存性が形態に強く現れることが実験的に示された。〈110〉結晶方位での形成においても、その中では〈100〉方位へも進展が生じたため、結果として〈100〉結晶方位がより長く形成されたものと考えられる。さらに薬液濃度依存性については、本手法が微細な溝内での反応であるため、液中イオンの衝突頻度が通常の基板表面での反応とは異なることが影響したものと考えられ、以上より、提案する形成手法の確立に向けて重要な知見が得ることができた。</p>			
今後の展開			
<p>ナノワイヤ形成に対する基板の導電型（p 型/n 型）の影響についても検討を進め、基板表面に対して水平方向のナノワイヤ形成手法の確立を目指す。また、提案手法によるナノワイヤ構造の集積化手法について研究を進め、機械センサを想定する集積構造としての物性評価・信頼性評価を行う予定である。</p>			