

博士論文審査報告書

論文題目： 集束イオンビーム励起表面反応によるナノワイヤーの作製とその特性評価

申請者： 中 松 健 一 郎

1. 論文内容の要旨

超微細加工技術を用いて作製された2次元機能デバイスでは、既に10nmレベルの微細化が達成されている。この超微細化の達成は、2次元機能デバイスの性能限界到達を意味している。そのため、新規機能デバイスを創出するためには機能デバイスの多次元化が必要であり、本研究では、集束イオンビーム励起表面反応を用いた化学気相成長法(Focused-Ion-Beam Chemical-Vapor-Deposition: FIB-CVD)による任意の3次元ナノ構造形成技術を用いて、ナノワイヤーから構成されるナノスプリングおよびナノ空中配線の作製方法およびその材料構造解析、機械的・電気的特性評価を行った。

FIB-CVDに波形発生装置を組み合わせることで、様々なコイル径、高さ、ピッチ、巻数をもつナノスプリングを作製することができることを示し、それらナノスプリングの機械的動作を、光学顕微鏡・電子顕微鏡を用いて自ら構築した測定系によりその場観察した。その結果、ナノスプリングがマクロスケールのバネと同様、柔軟に伸び縮みすることが明らかとなり、その中でナノスプリングの、マイクロスケールという非常に大きい変位量を初めて観測することに成功した。ナノスプリングのバネ定数がコイル径に依存し、横弾性定数が通常の鋼材バネと同程度の70GPaであることをその場観察と解析により見出した。これらの特性を利用して、4探針マルチナノプローブを考案・試作し、Pseudo MOS特性評価に適用した。

さらに、FIB-CVDにより空中配線を作製し、幅およそ20 μm のギャップ間に、長さ25 μm の空中配線の作製に成功した。アーチ状に作製された空中配線が、FIB照射による表面改質により、直線状に形状変化する現象を見出した。元素分析により、FIB照射後は素線内部のGaが殆どなくなっていることが分かり、グラファイト化している箇所も観測された。電気特性評価から、FIB-CVDにより作製されたナノワイヤーが半導体的振る舞いを示す導電材料であることを示し、作製後にFIBを照射した配線の方が、導電率が高いことが明らかとなった。FIBの照射による表面改質により直線状に形状変化する現象を利用して、世界最小径80nmの電子線バイプリズムの作製に成功した。直径400nmの従来のガラスファイバー製電子線バイプリズムと比較して、コントラストおよび干渉領域性能が向上することを、透過電子顕微鏡を用いた電子波干渉実験により実証した。

2. 論文審査結果

本論文は、FIB-CVD 3次元ナノ構造形成のこれまで行われていなかったナノスプリングおよび空中配線形状ナノワイヤーの作製と材料物性、電気的および機械的特性評価およびその応用について述べたものである。

FIB-CVDによるナノスプリングおよび空中配線形成の堆積特性について実験に基づいた解析が詳細に述べられており、これらは任意3次元ナノ構造形成の達成において意義のある研究成果であるといえる。また、電子エネルギー損失分光法を用いてナノワイヤーの局所微細構造解析を行うことにより、フェナントレン原料ガスを用いて形成した材料がDLCであることを示すと共に、ナノワイヤー形成構造体内部にはイオン源由来のGaが混在している事を見出し、ヤング率の高いGaを含むコアの回りをヤング率の低いDLCクラッドが覆っている弾性2重構造を有していることを示した。また、それら組成及び微細構造特性と機械材料特性との関連性についても述べている。機能デバイスを開発するためには、デバイス形成材料の基礎物性が明確である必要があり、本研究成果はFIB-CVDによるナノワイヤーデバイス創出において重要な研究成果であると言える。

更に、本論文では、ナノワイヤーの材料特性評価により得られた知見をもとに、これまでに報告例のないナノスプリングを用いた4端子マルチプローブおよび空中配線を用いた電子線バイプリズムの作製について述べている。これらの研究を通じてFIB-CVDを用いて作成したナノワイヤーが機械・電子デバイス作製に必要とする材料構造物性を有することを示している。上記した研究成果は、独創性が高く、ナノワイヤーを用いたデバイス開発のためのアプローチ手法を提案するものであり、新規3次元ナノ構造デバイス創出において有意義な研究成果であると評価できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成21年1月23日、論文内容およびこれに関連する事項について試問を行った結果、合格と判定した。

主査：松 井 真 二 印

副査：高 木 芳 弘 印

：本 間 健 二 印

：宮 本 岩 男 印

(東京理科大学大学院基礎工学研究科、教授)

：神 田 一 浩 印