

審査の結果の要旨

氏名 李 严波

近年、火災検知、紫外線光源モニタリング、化学・生物学的解析、光通信、紫外線天文学など、紫外線が様々な分野で利用されるにあたり、紫外線センサの研究が盛んになされている。紫外線センサは、光電子増倍管型と半導体型の2種類がある。半導体型紫外線センサは、広吸収波長域、高量子効率、低駆動電圧といった点で光電子増倍管型に比べ優れており、注目されている。

しかし、一般の半導体型紫外線センサはエピタキシャル成長した単結晶膜で形成されており、材料選択の幅が狭いことや、膜成長方法が煩雑なことが課題となっている。これらの課題を解決するために、半導体ナノワイヤが注目されている。半導体ナノワイヤは単結晶膜に比べ、成長の容易さ、表面積の大きさ、結晶性の高さといった点で優れている。

従来の半導体ナノワイヤの作製手順の多くは、トップダウンプロセスで、工程中の汚染や所要時間の面で問題があった。李严波君は上述の方法とは対照的に、ボトムアッププロセスでナノワイヤを利用した紫外線センサを作製する手法を提案した。具体的には化学気相成長 (CVD) 法により、密集したナノワイヤにより構成される「ナノワイヤ厚膜」電極と電極間を架橋するナノワイヤを同時に作製するものである。

ナノワイヤ架橋構造を有する紫外線センサは従来の半導体ナノワイヤ紫外線センサと比べ、以下の3点で非常に有用である。①作製プロセスが簡便で安価であること。②ナノワイヤ作製後のデバイス組込みプロセスが不要なため、ナノワイヤ表面に汚染を生じないこと。③ナノワイヤと基板が非接触であるため、基板によるナノワイヤ表面の物性変化を考慮する必要がないこと。

李严波君は、半導体ナノワイヤの光応答について理解するため、表面空乏効果に注目した。表面空乏効果とは、半導体ナノワイヤ表面にキャリアが捕捉される現象を指す。表面空乏効果の大きさはナノワイヤの直径、ドーパント濃度、表面電荷、誘電特性に依存することが知られている。

先述のナノワイヤ作製手法を用いて2種類の架橋構造の作製を試みた。1つ目は、電極間をナノワイヤが直接架橋する構造である。直接架橋されているため、障壁が存在しないことが特徴である。2つ目は、電極間をナノワイヤが吊り橋状に接触した「Bascule bridge」構造である。電極間に吊り橋状に形成されたナノワイヤ同士の接触部で二重ショットキー障壁が形成されていることが特徴である。

李严波君は、ナノワイヤの表面空乏効果の大きさに応じた架橋構造を用いれば、高い感度、優れた応答性を備えた紫外線センサを作製できると考えた。酸

化亜鉛 (ZnO) および酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) ナノワイヤを用いて2種類の架橋構造を作製し、感度・応答時間・スペクトル応答性を評価した。

まず、酸化亜鉛 (ZnO) のような表面空乏効果が大きなナノワイヤには Bascule bridge 構造が有効であることを明らかにした。作製した ZnO の Bascule bridge 構造を有する紫外線センサが、①高感度 (紫外線照射時の電流値が暗電流値の 10^4 倍以上)、②優れた応答時間 (紫外線照射・非照射切替時の電流値変化に要する時間 $\tau \ll 0.02$ 秒)、③良好なスペクトル応答性 (380 nm 以上の波長には応答しない) を示した。特に応答時間は、直接架橋構造 ($\tau \sim 1$ 秒) およびトップダウンプロセスで作製したもの ($\tau \sim$ 数十秒) と比べて大変優れている。

次に、酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) のような表面空乏効果が小さなナノワイヤは直接架橋構造が有効であることを明らかにした。作製した β -Ga₂O₃ の直接架橋構造を有する紫外線センサが、①高感度 (10^4 倍以上)、②優れた応答時間 ($\tau \ll 0.02$ 秒)、③良好なスペクトル応答性 (275 nm 以上の波長には応答しない) を示した。

先に述べた背景から、紫外線を高感度にセンシングするデバイスをボトムアッププロセスで実現した意義は大きい。また、表面空乏効果に着目し、その物理的意味を明らかにし、半導体ナノワイヤの光応答特性を考察しており、非常に優れた論文となっている。

よって、本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。