

助成対象事業成果報告書(概要版)

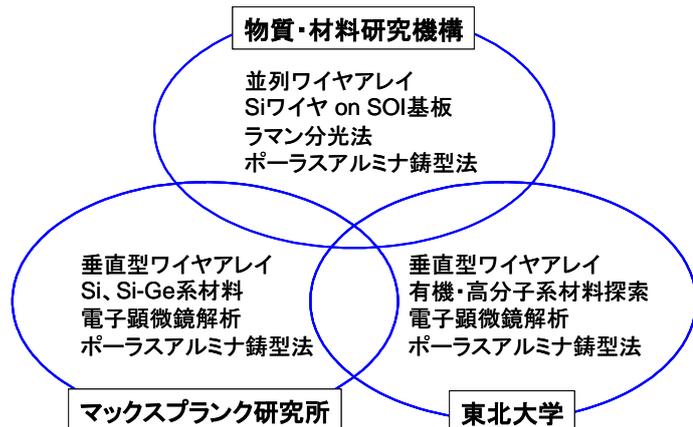
助成対象事業名	ナノワイヤアレイの創製とデバイス応用
助成対象事業者 (研究代表者名)	物質・材料研究機構 (若山 裕)

1 事業の概要

今日の高度情報通信技術を支えてきた重要な構成要素として、Si デバイスを中心とした高密度集積化回路が挙げられる。その集積度はいわゆるムーアの法則に従い年々高度化が進められて来た。しかしひとつのトランジスタサイズが数 10nm のオーダーまで到達した現在、これまでとは異なる開発指針が必要とされている。その一つがトランジスタの素子構成そのものを見直そうというものである。この点、ナノワイヤトランジスタは三次元立体化や高 on-off 比などいくつかの利点を有し、次世代素子の構成要素として注目されている。さらに LSI の消費電力が上昇の一途をたどっている現在、省エネルギー対策としても新素子の開発が急務となっている。この省消費電力の観点からもナノワイヤデバイスには優位性を有する。しかし、Si ナノワイヤの精密な成長制御を実現するためには基礎的な成長機構の理解が不可欠となっている。さらに将来素子として実現するためにはナノワイヤの集積化(すなわちアレイ構造の構築)を進めることが要求される。以上の背景のもと、本プロジェクトでは次世代デバイスの構成要素であるナノワイヤの成長機構の解明とアレイ構造の作製プロセスの確立を実現し、プロトタイプ素子の開発までを目指す。これを日本・ドイツ両研究機関が現有する技術を相互に補完・協力しながら取り組む。具体的には Si ナノワイヤの成長方法として知られる Vapor-Liquid-Solid (VLS) 成長法とナノレベル細孔を応用したポーラスアルミナ鑄型法を組み合わせ、高密度 Si ナノワイヤアレイやマルチナノワイヤ並列接合の構築を目標とする。

2 共同研究体制と分担内容

本プロジェクトでは日独両研究機関の間での共通課題と分担を明確にしている。素子構成ではドイツ側が垂直型ワイヤアレイに特化するのに対し、日本側が並列ワイヤ構造にも取り組む。材料ではドイツ側がSiを中心にSi-Geヘテロ構造に注力するのに対し、日本側ではSiワイヤに加えて有機・高分子系材料の可能性を探索する。このときポーラスアルミナ鑄型法は共通の技術として検討する。また成長機構の解析ではドイツ側が電子顕微鏡技術を駆使した構造解析を担い、日本側がラマン分光法による解析を担当する。これらに関しては互いの技術を相補的に補完しつつナノワイヤ成長機構の解明を進める。またこれまで進めてきた人的交流を重視し、双方の研究者が互いの機関に相互滞在することにより、有効な共同研究を進めている。



3 事業の成果

平成20年8月から平成22年3月まで約一年半の間での研究成果をここで報告する。主な成果としてSiナノワイヤへの不純物ドーピングの技術確立とその電子・電気特性への影響、有機半導体ナノワイヤの成長技術の確立とその電気特性の評価等が挙げられる。従来の研究ではナノワイヤ成長機構の理解などに留まっていたが、ここでは特性制御の基礎技術となり得る成果であり、今後デバイス開発へと展開する手掛かりが得られたと言える。

Siナノワイヤへの不純物ドーピングにおいてはレーザーアブレーション法とイオン注入法の両面から取り組んだ。ラマン分光法による解析では、いずれの場合もボロン(B)、燐(P)、ヒ素(As)などの不純物がSi格子中に取り込まれており、有効なキャリア生成へとつながっていることが明確になった。また、透過型電子顕微鏡による構造解析の結果、不純物注入後のポストアニーリングにより欠陥が減少していることがわかった。単一Siワイヤの導電性を測定したところ不純物の注入により抵抗率の著しい低下が確認されており、上記の解析結果を裏付けるものとなっている。半導体デバイスにおいては以上のようなキャリア制御が素子構築の基礎となっているが、一次元のワイヤ形状においては有効なキャリア制御技術が確立されていないのが現状である。これに対し、本プロジェクトの成果は今後デバイス開発へと発展する上で重要な成果といえる。今後はSiナノワイヤにおけるpn接合の形成と整流特性の確認など、いっそうの応用研究へと進める予定。

本プロジェクトでは Si ナノワイヤに加えて有機半導体や高分子材料でのナノワイヤとそのデバイス応用も重要な課題としている。ここまで有機半導体の典型材料であるフタロシアニンと導電性高分子のワイヤ成長とその導電性評価を実施した。いずれもポーラスアルミナを鋳型としてナノオーダーの細孔中で成長させているため、極めて均一な直径を持ったナノワイヤ成長が可能であることを特長としている。特に本年度では成長中に磁場を印加することによりフタロシアニンナノワイヤ結晶中の分子配向と結晶粒の制御が可能であることが見出された。現在、導電性の評価に取り組んでいるところだが、これらの磁場印加の効果として導電性の向上が確認されつつある。

一方、高分子ワイヤの成長では導電性高分子材料として PEDOT を取り上げている。電解重合法によりナノ細孔中で重合成長させた場合、分子配向が向上し導電性が高くなることが確認されている。従来の高分子材料では分子配向の制御が困難で、導電性向上のボトルネックとされてきたが、この技術では従来にない高導電性の高分子ワイヤが成長できる可能性を示している。またこの技術は様々な高分子材料に応用可能で普遍性が極めて高いことを特長としている。

今後はこの分子ワイヤを用いたトランジスタ動作などデバイスへの展開を試みる予定。