

# 半導体ナノ構造の機能化による新奇デバイス 応用への挑戦



SATテクノロジー・ショーケース2013

## ■ はじめに

半導体であるシリコン(Si)は、現在のトランジスタ材料の代表的な材料である。トランジスタの性能向上に関しては、これまで素子寸法の微細化により推し進められてきたが、従来通りのスケール則に従った微細化による高機能・高集積化には限界が指摘されている。そこで、次世代のデバイス構造として、トランジスタの縦型立体構造化が提案されており、半導体のナノワイヤを縦型立体構造トランジスタのソース、ドレイン、チャネル材料に応用することが考えられている。

また、Siは現在の太陽電池材料の主流でもある。我々は、次世代の太陽電池材料として有望なSiナノ構造体を機能的に複合化し、グリーン・イノベーション推進のためのSi材料の削減による低コスト化および変換効率向上を両立した、これまでに無い新しい次世代Si太陽電池材料の開発とその実用化における基礎・基盤技術を確立する研究も行っている。

更に、リチウムイオン二次電池の負極材料としても、Si関係のナノ構造の利用を考えている。現在は炭素系の材料が主に使用されており、その最大容量は370mAh/g程度である。もし、Si材料を利用することができれば、最大容量を4200mAh/g程度と飛躍的に向上させることができる。

## ■ 活動内容

### 1. 高速・低消費電力トランジスタ材料の開発<sup>1)</sup>

単元素からなるナノワイヤでは、不純物ドーピングによる不純物散乱の影響は避けられず、ナノワイヤの構造を最大限に生かすことができない。そこで、SiとGeのコアシェル構造からなるナノワイヤを形成し、バンドオフセットの構造に基づいてコア或いはシェル層への位置制御ドーピングを行い、不純物のドーピング領域とキャリアの輸送領域を完全に分離した、不純物散乱を徹底的に抑制できる新しい高移動度チャネルの形成を目指している。現在までに、4種類の異なるSi/Ge およびGe/Siコアシェルナノワイヤの形成とコア/シェルそれぞれへの位置制御ドーピングに成功している。<sup>2)</sup>

### 2. 高効率太陽電池材料の開発<sup>3)</sup>

我々の研究グループでは、Si材料の削減と高効率化を両立した安価で環境負荷の小さい、新しいSiナノワイヤからなる高効率太陽電池材料の開発を行っている。

Siナノワイヤを利用した太陽電池の第一の特徴としては、

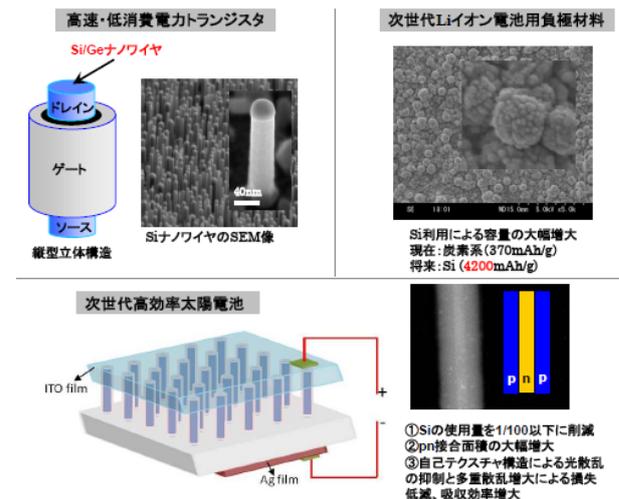
個々のナノワイヤ内部にpn接合を形成することで、一つ一つのナノワイヤが、極微小な太陽電池として働くことが挙げられる。第二に、ナノワイヤを利用した太陽電池材料では、表面がモスアイ構造を呈していることから、表面反射による太陽光の吸収ロスを大幅に軽減することができる。実際に、ナノワイヤを成長した基板は、黒色を示す。第三に、ナノ構造化による光吸収効率の増大と先に述べた反射ロスの軽減から、Siの使用量を理想的には1/100以下まで低減させることができる。現在、広いpn接合面積の利点を生かし、狭い設置面積でも高い発電量を達成できる新しい集光型太陽電池の実現を目指して研究を展開させている。

### 3. 大容量Liイオン電池用負極材料の開発

高い容量と長いサイクル寿命を両立した新しいLiイオン電池用負極材料の開発をSi系の材料を用いて行っている。長い充放電サイクル寿命を実現するためには、体積膨張の影響を如何にして低減させるかがポイントであり、構造と材料の両面から研究開発を行っている。現在までに、Si系のナノ材料を利用して、現行の炭素系材料の2倍の容量を持つ材料を開発できている。

## ■ 関連情報等(特許関係、施設)

- 1) 特許公開2010-153791
- 2) N. Fukata et al., ACS NANO 6, 8887-8895 (2012)
- 3) 特願2010-11377



代表発表者 深田 直樹 (ふかた なおき)  
所属 (独)物質・材料研究機構  
問合せ先 〒305-0044 茨城県つくば市並木 1-1  
TEL: 029-860-4769 FAX: 029-860-4794  
FUKATA.Naoki@nims.go.jp

■キーワード: (1) 半導体  
(2) 太陽電池  
(3) リチウムイオン二次電池