

太陽光による水分解を高効率化するナノコンポジット結晶を開発

ナノスケール物性研究部門 川崎 聖治、高橋 竜太、リップマー ミック

【研究背景】

太陽光は、環境にやさしいエネルギー源の代表ですが、太陽の光のエネルギーをどのようにして燃料という形に変換し蓄えるかが、エネルギー問題を考える上で重要なテーマになっています。変換した燃料の中でも水素ガスは、燃料として使った場合に水のみを排出して二酸化炭素をまったく排出しない、最もクリーンな燃料とされています。水素ガスをクリーンに製造する方法の一つとして、光電極を利用した水分解があります。しかし、この光電気化学反応は、製造コストに対してエネルギー変換効率が低いことがネックになっており、実用化の障害になっています。今回我々は、水分解光電極の効率を向上するためにナノサイズの金属の柱（直径約 5 nm）を酸化半導体内部に埋め込んだ新規な「ナノコンポジット結晶」をデザインし、かつ簡便な手法で作製することに成功しました[1]。

【実験結果】

光電極の高効率化には、光励起で半導体内部に生じる電子(e⁻)とホール(h⁺)をいかに効率よく空間的に分離し、水の電気分解反応に利用するかがとても重要です。そこで、我々は、半導体薄膜内部にナノサイズの金属の柱を埋め込んだ図 1(a)のようなナノコンポジット結晶を考案しました。n 型半導体と仕事関数の大きな金属の組み合わせを選ぶことで、界面にショットキー接合を形成し、電子とホールの分離を効率よく起こそうというアイデアです。しかし、一般にこのような複雑なナノ構造の作製には、リソグラフィなどの高価で複雑なプロセスが必要になります。本研究の大きな成果は、このような複雑なナノ構造を一段階の薄膜堆積プロセスで簡便に作製できたことにあります。我々の実験結果では、ナノサイズの柱に金属イリジウム(Ir)、薄膜の主成分にチタン酸ストロンチウム(SrTiO₃)を用いた光電極において、非常に高い水分解効率を得ました。

試料の作製には、高品質の薄膜作製を可能とするパルスレーザー堆積法という手法を用いました。この手法は、薄膜の原料に強力なパルスレーザーを照射し、原料を蒸発させることで、基板上に様々な材料の薄膜を作製できます。

この薄膜作製時に金属イリジウムと SrTiO₃ を基板上に同時に堆積すると、その結晶化プロセスで相分離が自発的に進行し、ナノサイズの金属 Ir の柱状結晶が SrTiO₃ 薄膜内部に分散した理想的な試料を作製することができました。図 1(b)および(c)は、その薄膜の電子顕微鏡像です。このようなナノ構造の形成は、相分離の起こりやすい様々な材料の組み合わせで起こりうるようになってきています[2]。

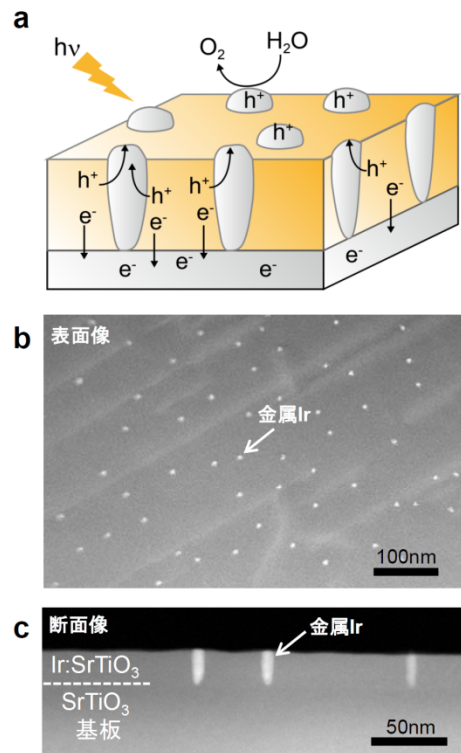


図 1 (a)本研究で作製したナノコンポジット結晶の概念図。試料の(b)表面および(c)断面の電子顕微鏡像。

このナノコンポジット結晶を光電極として、可視光照射下で水分解をする試験をした結果を図 2 に示します。可視光照射下において、試料に 1.0V の電位を印加したあたりから光電流の急峻な立ち上がりが観測されました。この光電流は、光電極表面で水の酸素生成反応（水の電気分解の半反応 $2\text{H}_2\text{O} + 4\text{h}^+ \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ ）が起こった時に流れた電流であり、急峻な光電流の立ち上がりは、光電極の効率が良いことを示唆しています。実際に、量子収率を測定してみたところ、400nm から 600nm の広い可視光領域で

