

### 従来の30倍の変換効率を達成、実用化レベルに近づく

酸化チタンの粉体から多層薄膜の光触媒チップへ 環境調和型触媒プロジェクトの3本柱のひとつである光触媒の研究方針は、中間評価を機に大胆な転換を遂げた。その

後約4年間という短期間に、変換効率を従来の30倍に高めた光触媒チップが完成した。ここでは、この間の経緯を振り返り、実用化への展望を探ってみる。



#### 薄膜積層デバイス

1997年の中間評価以前、プロジェクトの研究目標は、酸化チタンの微粉末光触媒を対象に、その変換効率を1桁でも2桁でも向上させるということにおかれていた。しかし、その壁は高く、ブレイクスルーの見通しも立たない状況が続いていた。

光触媒による水素製造において最も重要なことは、発生する水素と酸素がふたたび反応して水に戻らないよう工夫することである。そのためには、水素と酸素を分離して回収できるように、光触媒を“設計・製作”する必要がある。しかし、酸化チタンの微粉末に、現状でそうした機能を付加することはきわめて困難であり、別の方法論が求められていた。

そこで、光触媒を薄膜にし起電力は別の半導体から供給する“薄膜積層デバイス”というコンセプトが浮上した。こうすれば上記の条件をクリアし、水素と酸素の分離回収が可能なデバイスを設計・製作することができるのである。

この選択にはある意味で苦渋が伴った。酸化チタン光触媒のさまざまなメリットを当面あきらめることになるからである。酸化チタンには“低コスト”を含めさまざまなメリットがある。しかし、“設計”できないことが巨大な壁となって立ちちはだかる。プロジェクトは、一旦この壁を“迂回”することによって、将来酸化チタンに匹敵する低コストの光触媒を開発しようという方針を選択したのだった。(図1)



#### 必要な起電力

水の電気分解には、理論的に最低1.23eVの電圧が必要となる。これは水素発生電極(陰極)の電位をゼロとしたときの酸素発生電極(陽極)の相対的な電位差である。他方、光起電力を持つ半導体には、材料によって異なる固有のバンドギャップ(発電電位差)があり、しかも水の電気分解に最適のバンドギャップを持った半導体は存在しなかった。

加えて、変換効率を高めるためには、可視光領域にも応答する光電半導体を選択しなければならない。こうした条件をクリアするために、プロジェクトは“多層化”というアイデアを採用した。

「まず材料としてはシリコンしかなかった」

と、中間評価以降、水素製造用光触媒の開発を担当した大森隆前研究員(現京都産業大学助教授)は振り返る。

「シリコンの光電半導体を3層重ねると2eV前後の電位差となり、水の電気分解に必要な起電力を確保することができる」のである。

基本的な構想が固まった。あとは、実際にデバイスを製作し、その性能を確認していただく。こうしてプロジェクトは、残りの4年間をかけて多層薄膜光触媒チップの開発に突き進んでいった。(図2)



#### 光触媒チップのしくみ

ではここで、プロジェクトが開発した光触媒チップの構

図1 酸化チタン光触媒の原理

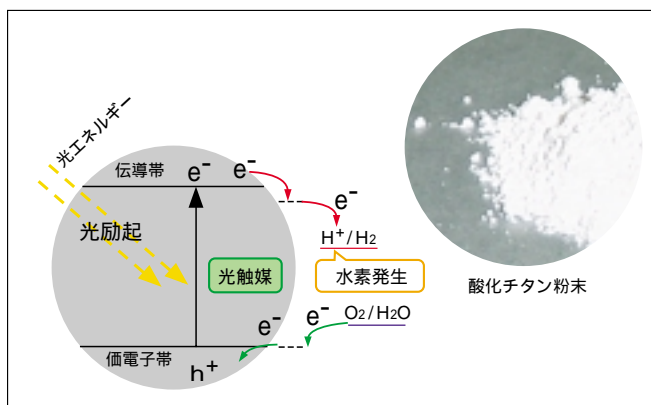
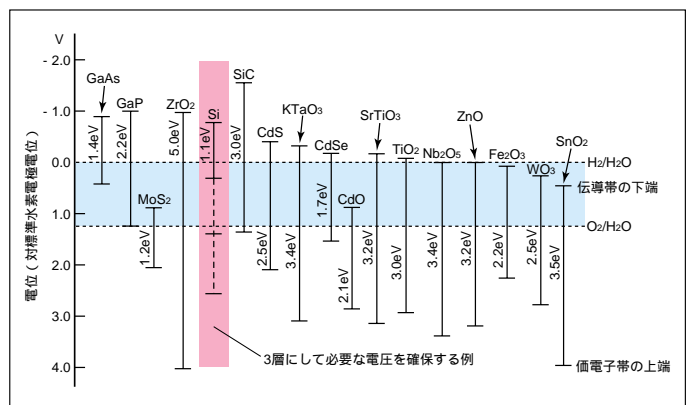


図2 各種半導体のバンドギャップと水の電気分解に必要な電圧



造と動作原理を見ておこう。

3層に多層化された光電半導体は、それぞれP型、i型、N型のアモルファスシリコン半導体でサンドイッチされている。いわゆるPiN構造の太陽電池である。これを3層のスタックに積み重ね、その外側に水素極(陰極)と酸素極(陽極)の触媒膜が配置されている。水素極はコバルトモリブデン(CoMo)、酸素極は鉄ニッケル酸化物(NiFeO)でできている。途中の各種金属層は太陽電池と光触媒をスムーズに接続するためのインタフェース層であり、デバイスの外周はエポキシ樹脂で密閉シールドされている。

下部のガラス基板から入った太陽光は、透明な導電層である酸化スズ(SnO<sub>2</sub>)を突き抜けて3層の太陽電池に到達し、水の電気分解に必要な電圧を発生する。これによって、水素と酸素がそれぞれ別の場所から発生し、分離回収が可能となっているのである。

図で見る限りでは実にシンプルに見えるが、製作は簡単ではなかった。

「実は、この多層構造を作るCVD(化学的蒸着)装置がどこにもあるものではなかったのです」

と、大森助教授は述懐する。そこで、この3層構造だけはおつくばの産総研薄膜シリコン系太陽電池開発研究所の装置を使わせてもらい共同で作成した。電極は、スパッタリング成膜法によってRITEの研究室で作成したという。(図3)

### ● 実用化の条件

完成した光触媒チップは、実に驚くべき性能を発揮した。従来の酸化チタン光触媒が変換効率0.1%以下なのに対して、このチップは約3%の変換効率を達成した。およそ30倍の性能アップである。

とはいえ、この性能向上を喜んでばかりもいられない。「もっと性能を上げることは不可能ではない。しかし、問題はコスト」

と、大森助教授は断言する。たとえば、もっと高性能の電極材料を使ったり、ガリウム砒素(GaAs)など高性能の半

導体を使えば、変換効率を2桁に持っていくことも不可能ではない。しかし、コストは実用化のための第一の条件なのである。

「そのため、半導体もアモルファスタイプにし、電極も低コストの材料を選定した」と、言う。

さらに、変換効率の一層の向上が実用化のためのもう一つの条件となっている。この点については、大森助教授は楽観的だ。

「現状技術の延長上に、変換効率7%くらいまでは見通しが立っている」

現状の太陽電池の平均的な変換効率が10%であることを考えると、論理的にはそのあたりまでの効率向上は不可能ではないと言うのである。

### ● 将来の展望

酸化チタンが光触媒として水を電気分解する「本多・藤嶋効果」は、1972年に発見された。以来30年、太陽光によって水素を製造する“夢の技術”についてさまざまな研究が開発されてきたが、いまだ実用化には至っていない。

世界的に見ても、この分野の研究はそう多くはない。アメリカの国立再生エネルギー研究所(NREL)、ハワイ大学、それにイスラエルの研究機関が取り組んでいる程度だ。その中であって、RITEプロジェクトが達成した成果は、あくまでも実用性をベースとしつつ高い変換効率を達成したという意味で、きわめて重要な成果といえる。

大森助教授は、京都産業大学にあって引き続き水素製造用光触媒チップの研究を推進している。研究室のある建物の屋上に設置された1㎡の光触媒チップが、天気の良い日には1時間当たり10~20リットルの水素を製造し続けている。

「この光水分解装置を家庭用の燃料システムへと発展させることが夢なんです」

燃料電池の実用化が急速に進んでいる今日、この夢が実現する日もそう遠くはないだろう。

図3 多層構造の光触媒チップ構造図

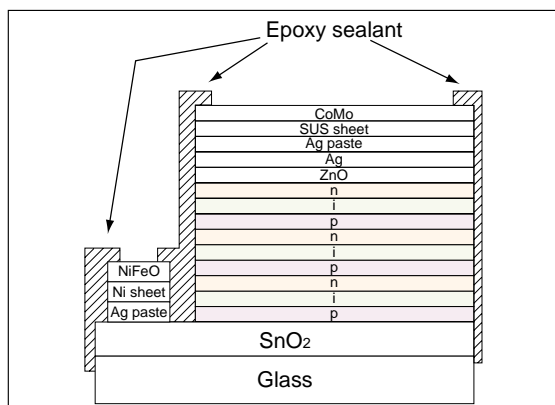
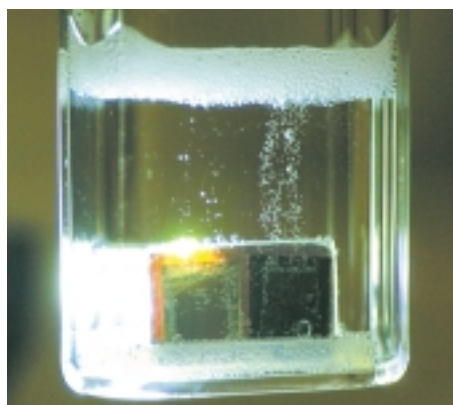


図4 水素と酸素を発生するチップ



京都産業大学理学部  
物理学科 助教授  
(前RITE主任研究員)  
大森 隆