

## 難しい話は別として



研究室紹介

岡本博明\*

Not dwelling on detailed story

Key Words : photovoltaics, clean energy, thin film silicon

### 1. はじめに

「研究室紹介」と題うった稿であるから、まずは、研究室陣容の紹介から始めなければならない。氏名を挙げずに、教職員スタッフを“年齢順”に並べると、プロジェクト特任教授A、特例嘱託技術員B、教授C(筆者)、准教授D、助教E & Fと事務補佐員Gの7名であり、これに、学部および大学院学生を加えると、総勢、約20名と、大阪大学理系では、おそらく中小企業規模程度の研究室であるといえる。

本研究室は、正式に記載すると、大阪大学大学院・基礎工学研究科・システム創成専攻・電子光科学領域・固体電子工学講座に属している。国立大学法人化の頃に与えられた名称であり、覚えにくく、かつ面倒なので「基礎工・電気の岡本研です」と紹介することにしている。では、何をやっている研究室かと問われると、それに対しては「新規薄膜系半導体の製造プロセス開発・物性評価から光電変換デバイス作製・システム構築までの総括的研究を行っている」と、それなりに格好をつけて答えるのが常である。

しかし、実状はこうである。教授C(筆者)は「ランダム系における普遍的物理現象の解明」などと称して世間から遊離した“お楽しみ”に浸っており、准教授Dは、それよりは遙かにマトモで「半導体スピントロニクス基礎理論構築」との未来技術に必

須なテーマに挑んでいる。上記した本研究室の中核となる現実社会対応の研究テーマ推進には、したがって、助教Eを実質的代表者として、助教F、プロジェクト特任教授Aと特例嘱託技術員Bが従事しているのである。いやはや、他に例を見ない面白い研究室であろう。

本研究室で主たる研究対象としている「光電変換デバイス」を具体的に述べると、アモルファス・ナノ結晶薄膜半導体を基盤とした自発光ディスプレイデバイス(特定すると、無機ELデバイス)と薄膜シリコン系光起電力デバイス(平たく言えば、太陽電池)となる。紙面の関係もあり、本稿では、後者関連のお話だけを簡単にさせていただくこととする。

### 2. 何故、3K代表格の太陽電池なんてやるのか?

筆者は、いつも問ってきた。我々人類が生きていくのに何が必須かと。答えは、ごく単純で、だれもが否定できないであろう。「空気と水」そして「食料」である(もちろん、我々に害の無いことが重要である)。これらさえあれば、我々は生存して、すべての生物に課せられた共通の課題である「遺伝子を後世に残す」仕事を成し遂げることができる。しかしながら、人類は、これだけに満足することなく、より便利で“豊かな”文明社会を渴望し、様々な科学技術と関連産業を産み出して来た(芸術・文化活動は別ジャンル)。その結果として、母なる地球が与えてくれた様々な天然資源を枯渇させ、化石燃料を燃やし尽くすことによって、自らの将来発展を閉ざし、かつ、地球同胞の存続を危うくさせる環境破壊への道を突き進んでいるのである。

この危機的状況を打破するなど、偉そうなことを言うつもりは毛頭ない。ただ、無限のエネルギーとの虚構の上に築かれた現代文明を少しでも長く維持するために地球環境に優しい「クリーンエネルギー



\*Hiroaki OKAMOTO

1951年12月生  
大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了(1980年)  
現在、大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻 電子光科学領域固体電子工学講座 教授 工学博士 半導体物性工学

TEL : 06-6850-6315

FAX : 06-6850-6316

E-mail : okamoto@ee.es.osaka-u.ac.jp

一源」獲得の観点から、微力なりとも、貢献したいと思うばかりなのである。「クリーンエネルギー源」には、多種多様な可能性があるが、本研究室では、専門領域である“半導体工学”を基礎として、その範疇にある「太陽電池」開発を通してのアプローチを選択したわけである。

江戸時代の土農工商ではないが(本来、“土”は最後に置かれるべきと考える)「空気・水(地球)」は別格として、産業としては「食料・資源」ときて、次に「エネルギー」との優先順位に、異論を唱える方がおられるであろうか? その他の科学技術・産業は、すべて、上記無くして成り立たないものであるから。現代学生に嫌われる3Kにも怯まず、この大義名分を拠り所として、日夜?、世の中に役に立つ太陽電池“物作り”に勤しんでいる。

### 3. 薄膜系シリコン太陽電池とは?

太陽電池といっても、いろいろなものがある。しかし、環境面や資源量、それに性能の観点からすると、一般用途に限れば、シリコン系材料を使ったもの以外の選択肢はない。シリコン系材料は、基本的には、半導体産業の主流を成す単結晶、少し程度は落ちるが太陽電池材料として最普及している多結晶、そして非晶質である“アモルファス”形態の材料群から構成されている。さらには、多結晶とアモルファスの間の子である“微結晶シリコン”もここに含まれている。“・・・”で記載したシリコン系材料は、低温環境プラズマCVD法などにより薄膜として作製されるため、「薄膜系シリコン」と総称されている。

太陽電池性能からすると「薄膜系シリコン」に勝ち目はないのは、素人が考えてもそうである。しかしながら、太陽光発電で重要な大面積化が容易で、コスト低減に不可欠な量産性などに優れているため、本格的普及時代における主役になり得るであろうと注目を浴びている次第である。製膜プロセス的には、アモルファスシリコンが最も容易であり、ランダム構造に起因した強い光吸収能を有することから、薄膜太陽電池材料として、最有力であるものの「非平衡材料」に特有の不安定性(単純には光劣化)を示すために、結晶系を越えての活躍の場を確立してはいない(筆者は、その機構解明と称して、20年以上、遊ばせていただいた)。そこで、代替材料として、

上記した“微結晶シリコン”の登場である。この材料は、ナノサイズの結晶シリコン粒が若干のアモルファス相を介して融合し、ある程度の優先配向性を有する100nmスケールの巨視的なコラムアーク結晶群を構成していると想像されている。不思議なことに、このようなランダム粒界だらけのスカタンな材料がちゃんと発電するのである。しかも、実用上問題ない程度の光安定性を保っているのだから、笑ってしまう。

### 4. ちょっとだけ、具体的研究紹介

ともかく、物(微結晶シリコン)を作らなければ、話は始まらない。この材料は、光学特性的には、結晶シリコンにほぼ類似なため、太陽電池を構成するには、光閉じ込め技術を駆使(実は、これも重要な研究開発テーマである)しても、大体2 $\mu\text{m}$ ぐらいの厚さが必要とされる。世間一般のプラズマCVD製膜速度は、0.5 nm/s程度であり、所要の厚さを達成するのに1時間以上が必要となる。これでは、量産によるコスト低減にはほど遠いのは言うまでもない。そこで、製膜速度を、この10倍、つまり、5 nm/s以上に高めなければならない。本研究室では、独自開発の超高速製膜プロセスを導入し、しかも、そのような過酷な環境のもとで、太陽電池用材料として優れた光電特性を保つためのプロセス制御開発を行っているのである。もちろん、その過程において、様々な製膜過程診断、膜構造・電子物性評価技術がフィードバック情報獲得のために使われている。

材料が作れて、基礎物性がある程度把握されても、実際に使えるかどうかは、具体的な太陽電池を形成してみなければ判断できない、というのが本研究室のモットーである。一口に「太陽電池を作る」といっても、学生実験の域を遥かに越えるもので、上記した光閉じ込め構造作製、接合形成、透明導電膜形成、金属電極付け、素子分離などなど、かなりの複雑なプロセスを要する。それぞれを、総合的に整合・最適化しなければならないのである。まだまだ、満足するには及ばない結果であるが、最近のトピック的成果を図1に示している。これは、微結晶シリコン薄膜の製膜速度を横軸に、縦軸に太陽電池変換効率をプロットしたもので、プロット点が、右上に位置するほど、望ましいと判断されるものである。本研究室の成果(阪大と表示)は、6 nm/s以上の

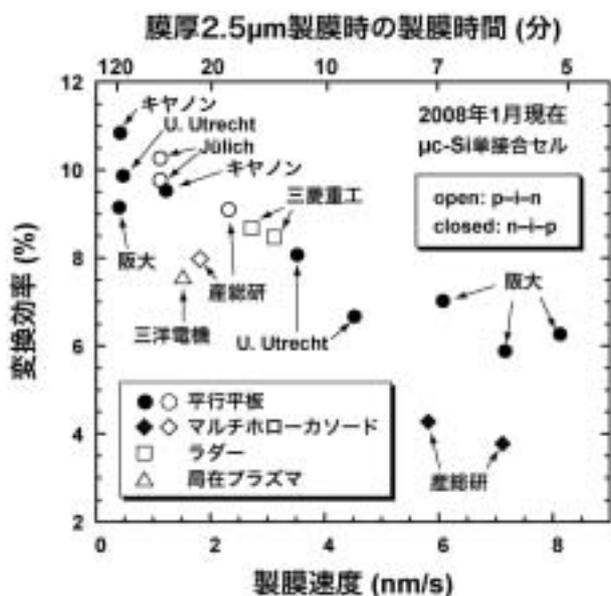


図1 微結晶シリコン太陽電池の製膜速度と変換効率 (外山ら、2008)

超高速製膜環境において、世界記録となっていることが一目瞭然であろう。現在までに達成されている

変換効率を、さらに、低速製膜時のそれら（目標的には、10%）に到達させるのが、現時点での目標となっている。その先は？との問いに答えるには、本稿に許された紙面では不可能なのであるが、単結晶・多結晶系太陽電池と肩の並べる性能（15～20%）を引き出すには、タンデムとかトリプル接合と称される複雑なデバイス構成を採用しなければならないことだけを付記しておく。

5. おわりに

食料を含め、満足な資源も皆無の、自立できない我国が「技術立国」などと浮かれたことを言う立場にはない。ノーベル賞級の頭をもたない我々凡人（失礼、少なくとも筆者自身のことである）は、ともかく、でこちんに汗かいて、手を汚して、物作りの原点である元来の「生産技術」に立ち戻るべきであると強く感じる。本研究室は、3K 代表格である「太陽電池」研究開発を通して、そのことを実体験した学生達を社会に送り出すことができるのを誇りに思っている。いや、単なる負け惜しみではない。

