

## 〔解説〕

# ニューサンシャイン計画と電総研スーパーラボによる産学官共同研究

## Collaborative Research among Industrial Laboratories, National Institutes, and Universities under The New Sunshine Program at Thin Film Silicon Solar Cells Super Lab. in Electrotechnical Laboratory

松田 彰久  
A. MATSUDA

Concentrated research and development has been requested for amorphous silicon and thin film crystalline silicon based materials to actualize the mass introduction of thin film silicon based solar cells. Taking into account the New Sunshine Program under Ministry of International Trade and Industry, Thin Film Silicon Solar Cells Super Lab. has been recently established in the Electrotechnical Laboratory. The background and the purpose of the Super Lab. are explained.

### 薄膜シリコン系太陽電池材料研究開発への展望

#### § 1 はじめに

太陽光発電は、エネルギーと環境の問題を同時に緩和する方法として世界的に注目を浴びている。わが国では、平成6年の暮れに「新エネルギー導入大綱」という、石油等の現行エネルギー源のもつ諸問題を緩和するための政策として、新しいエネルギー源を導入普及させるための政府案が閣議決定された。この中で、太陽光発電においては、西暦2000年までに、40万kWを導入し、さらに、西暦2010年までに、500万kWの導入を行うことが述べられている。

わが国では、電線の普及率が世界一高く、この長所を活かすべく、太陽電池で発電した電力を既存の電線を通して売電することが可能な制度として、逆潮流可能な系統連系制度が認可された。次いで、太陽光発電システムモニター事業も始まり、出力規模3～4kWの住宅用太陽光発電システムが平成6年度分約580戸、平成7年度分約1000戸、平成8年度分約1900戸、平成9年度分約9000戸に設置されつつある。

一方、現在実用化されている電力用太陽電池は、ほとんど単結晶シリコンや多結晶シリコンウエハ(バルク型)を用いた太陽電池であり、しかも、太陽電池の低価格化のために、集積回路用ウエハの規格外品を流用しているのが現

状である。集積回路用シリコンウエハのかなりの部分を太陽電池に流用した場合の(実際は不可能であるが)光発電導入量の伸びでは、西暦2000年における40万kW導入目標でさえ到達不可能であり、ましてや西暦2010年における500万kWの導入など遠く及ばないことになる。目標達成には、薄膜系太陽電池であるアモルファスシリコン系、CdTe系、薄膜多結晶シリコン系、CuInSe<sub>2</sub>系太陽電池のなかで、資源の問題等から、薄膜シリコン系太陽電池(アモルファスシリコン系および薄膜多結晶シリコン系)の開発が急務となっている。しかしながら、これら薄膜シリコン系太陽電池は多くの問題を抱えているのが現状である。

アモルファスシリコンは結晶シリコンにおける間接光学遷移が構造乱れのために直接遷移となることにより、可視域での光学吸収係数が大きく、1μm程度の薄膜でも太陽光を十分に吸収できる長所を持つ反面、光吸収により発生した電子、正孔(キャリア)の移動度が構造乱れのために低く、未結合手欠陥(キャリアの再結合中心となるためキャリアの寿命を短くする)密度も高く、さらには、光照射により欠陥密度がさらに増加する現象(光劣化現象)を示すため、この材料を用いた太陽電池の初期光電変換効率が10%程度と単結晶シリコン太陽電池の効率を下回り、さらに光照射により(飽和はするものの)効率も8%程度まで低下するという問題がある。一方、薄膜多結晶シリコ

**KEY WORDS** : New Sunshine Program, Electrotechnical Laboratory, Thin Film Silicon Solar Cells Super Lab., Amorphous silicon based solar cells, Thin film silicon based solar cells, Materials research

ン系太陽電池は、間接光学遷移であるために、基板や表面に凹凸構造を持たせる等、十分な光閉じ込め構造を持たせ光吸収を増加させる必要があったり、低コスト基板(並板ガラス、高分子薄膜)上への薄膜成長を可能とするために高品質薄膜作製プロセスの低温化が必要であったりと、大きな課題を抱えている。

これらの問題は、作製過程を含めた、材料自体の問題であり、解決のためには、材料科学的な研究のアプローチが必要となる。ここで、サンシャイン計画における指定研究や、特別研究としての、「反応過程制御による材料合成に関する研究」や、「微視的界面制御に関する研究」において取り組んできた「プロセス診断によるプロセス制御」という当所独自の研究アプローチに大きな期待が寄せられたのである。

## § 2 ニューサンシャイン計画における太陽電池研究開発

通産省、工業技術院におけるニューサンシャイン計画では、太陽光発電に関する研究開発に早くから取組み、わが国では初めて「産学官」共同による研究開発体制をとった。民間企業への研究開発委託、大学への再委託、そして国研への研究開発費の配算を行い、太陽光発電の導入促進を図ってきた。その結果、半導体産業の担い手として、材料としての完成度が高い結晶シリコンを用いたバルク型結晶シリコン太陽電池においては、ニューサンシャイン計画における研究開発を平成8年度で完了し、実用化に踏み切ることが可能となった。一方、材料の発見から歴史が浅かったアモルファスシリコンを用いたアモルファスシリコン系太陽電池においても、産学官協力による材料科学の進歩により、低温プロセスを用いた高分子薄膜基板上への太陽電池の形成も可能となってきており、大面積化においても、30cm×40cmサイズの太陽電池(ガラス基板)において、初期効率10.5%が実現されてきた。また、CdTe系、CuInSe<sub>2</sub>系、III-V族化合物系、薄膜結晶シリコン系それぞれの太陽電池についても、研究開発の成果が着実にあがってきている。

しかしながら、次期太陽電池として最も期待されているアモルファスシリコン系太陽電池には、上記のような低効率、光劣化等の多くの本質的な問題が実用化への大きな障壁として立ちだかっている。とにかく、アモルファスシリコン系にせよ、薄膜多結晶シリコン系にせよ、低コスト化、高効率化、高安定化といった薄膜形成プロセスを含めた材料自体の問題を材料科学的なアプローチによって解決することが急務となっている。

ここで、ニューサンシャイン計画推進本部では、平成9年

度からの「研究開発の進め方」のなかで、成熟度の異なる材料からなる太陽電池に対して、それぞれの研究開発段階に対応が可能ないように多様化を基本とした次のような方針を打ち出した。

### (1) 研究開発体制の多様化

目的達成に向けた競争的環境と、研究活動における協力の勧奨

#### 1) 太陽電池の特定課題(アモルファスシリコン系、CdTe系)開発プロジェクト

アモルファスシリコン系太陽電池、CdTe系太陽電池については、一方式、または異なる技術による二方式以内を原則として早期導入を目指した量産化技術を民間主導型で行うと共に、高安定化、高効率化、低コスト化についての必要な技術については共同研究を勧奨する。

#### 2) 太陽電池の競争的課題(次世代薄膜)開発プロジェクト

薄膜結晶シリコン系や、CuInSe<sub>2</sub>系、III-V族化合物系太陽電池については、コスト目標に応えうる若干テーマに絞って研究を行い、同一テーマについては一方式を原則とし、異なる技術も二方式以内を原則として、各課題間の競争的環境を設定し、薄膜系において、アモルファスシリコン系、CdTe太陽電池以外の太陽電池についてはコスト目標に応えうる材料だけを取り上げる。

#### 3) 太陽電池の材料基板研究開発プロジェクト

高品質化に関する若干テーマ(薄膜シリコン系材料基板技術)について研究を行い、産学官共同のもと、プロジェクトリーダをおいた集中研究への参加を勧奨する。

#### 4) システム開発プロジェクト

システム開発については別途項目を設け、異なる技術シーズによる共同研究を勧奨する。

### (2) 大学等における研究との連携促進

各テーマの研究開発推進の観点から大学等における研究活動との有機的連携を図る。

### (3) 国際化

本プロジェクト推進に資する基礎研究分野において、諸外国の研究機関と国際協力を行うための制度を導入し、将来的には、日本側企業との共同研究を目指す。

このように、アモルファスシリコン系太陽電池、CdTe系太陽電池の早期導入に対する研究開発に重点をおくと共に、次世代薄膜系太陽電池についても、研究開発体制を維持していくことが述べられている。さらに、新たに、「太

陽電池の材料基板開発体制」というプロジェクト項目が設けられ、基礎研究と実用化研究との二人三脚、そして、大学や海外研究機関をも巻き込む集中研究開発体制をはじめて導入した一大プログラムとして位置づけた。

### § 3 アモルファス半導体研究コミュニティ

アモルファスシリコンの研究は主としてアモルファス半導体研究コミュニティによって行なわれてきた。この研究コミュニティは、カルコゲナイドガラスやテトラヘドラル系アモルファス半導体の電子現象や光学物性に取り組んできた研究者からなり、今から24年前に年に一度の合宿形式の討論の場を提供するために設立された「アモルファス物質の物性と応用セミナー」に端を発する。このセミナーに参加した当時の若手研究者達が、忌憚のない意見をぶつけあい、激しい議論をする機会を共有することにより、応用物理学会などでも激しい議論がなされることで有名な分科領域が出来上がった。もちろん、激しい議論のなかでも、お互いの意見や実験結果を尊重し、議論の場を離れるとよい仲間として活動するという、当時の日本では特異な研究コミュニティができた。この研究コミュニティはサンシャイン計画発足当初から全面的に支援しあいながら、産学官の共同研究体制を強化しつつ、アモルファスシリコン系太陽電池の研究の進展に大いに貢献し、世界的にも注目を浴びる研究成果を次々と発表してきた。

年とともに、当時の若手研究者たちは歳をとり、産学官それぞれの機関で研究開発の管理運営に重要な任務をはたす立場になり、現在の若手研究者を指導、育成する役割をも担う状況となっている。

### § 4 当所における研究室制からラボ制への移行とスーパーラボ

当所では、平成8年10月から、現行の研究室制からラボ制への移行に対しての試行が始まった。研究活動に柔軟性をもたせ、研究の目的によって、研究者の離合集散を自由に行えるようにすることにより、研究の活性化をもたらし、そうとする試みである。平成9年度からは、研究室が全廃され、目的意識の強い研究目標(ミッションと称する)に向かって研究開発を実行するラボと、研究の芽を模索する領域研究を行うドメイン(現行の研究部が対応する)とからなるラボ制へと完全移行を行った。

これを機に、ニューサンシャイン計画による今後の研究開発の進め方にあるように、アモルファスシリコン系太陽電池と薄膜結晶シリコン系太陽電池の材料基板技術研究開発プロジェクトを集中的に行うために、プロジェクトリー

ダーのもと、産学官の集中共同研究を行う場として当所内に「薄膜シリコン系太陽電池スーパーラボ」(以下、スーパーラボと略)を設立することが提案された。

その後、産学官の有志による「スーパーラボ準備委員会」を数回開催し、研究テーマの設定や、集中研究の際発生するであろう特許問題等についての綿密な打ち合わせが行なわれ、平成8年4月から、当所内にスーパーラボの先行暫定設置を行い、試行を開始した。

ニューサンシャイン計画のもと、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)から薄膜シリコン系太陽電池技術開発の再委託を受ける企業、大学、さらに、海外研究機関や太陽電池産業に意欲を燃やす企業等との集中共同研究の場として、当所スーパーラボは位置づけられる。各企業からは研究者がスーパーラボに派遣され、長期滞在して共同研究活動を行い、大学の教授等スタッフは非常勤で年に数回必要に応じてスーパーラボに滞在して研究を行う。もちろん、博士課程学生が長期滞在して研究を行える連携大学院等の制度も活用してスーパーラボにおける研究活動の活性化を図る。また、海外研究機関からもポストドク制度や研究者派遣招聘制度を活用して研究者がスーパーラボに長期滞在して研究活動を行う、といった、産学官と海外研究機関を取り込んだ集中共同研究体制が確立されたこととなる。

### § 5 スーパーラボにおける研究開発目標と構成

スーパーラボでの研究テーマや人員構成には、柔軟性をもたせ、薄膜シリコン系太陽電池の開発状況に応じてテーマ設定や研究者配置の変更や軌道修正を適宜行うものであるが、平成9年度～平成12年度は、6テーマを設け、テーマごとにラボを構成し、それぞれのラボにラボリーダーをおいての各ラボ内での共同研究体制をとった。ラボリーダーも、産学官から最適な研究者を配置した。それぞれのラボと目標は、

- (1) 高品質膜大面積高速成長ラボ：反応性プラズマからの薄膜成長過程の微視的理解に基づいた、アモルファスシリコン系薄膜の更なる高品質化、高品質膜の高速堆積化を目指す。
- (2) 微結晶薄膜ラボ：微結晶および多結晶シリコン系薄膜の成長機構の解明と、微結晶薄膜特有の物性評価、それらに基づいた膜構造の制御を目指す。
- (3) 膜光劣化解明ラボ：アモルファスシリコン系薄膜に見られる光劣化現象を欠陥生成の挙動解析、欠陥生成以外の光誘起構造変化の探索を通して、現象の本質解明を目指す。

- (4) 膜光劣化制御ラボ：薄膜作製条件を変えて作製された種々の構造を持つアモルファスシリコン系薄膜における光劣化挙動を解析し、特異な挙動を示す膜に特有な構造を見だし、これを制御することにより、光劣化の制御された膜の作製を目指す。
- (5) 膜成長反応診断ラボ：反応性プラズマ中および膜成長表面上での反応を微視的に診断し、アモルファスシリコン系薄膜、微結晶シリコン系薄膜の微視的成長機構の解明を目指す。
- (6) 太陽電池作製評価ラボ：欠陥密度や劣化挙動が制御されたアモルファスシリコン系薄膜や微結晶シリコン系薄膜を用いて実際に太陽電池構造を作り、薄膜物性と太陽電池特性との関係の解明を目指す。

以上である。これらラボのテーマは相互に深い関係があるため、ラボ間の討論も日常行えるような体制をとっている。とにかく、30名規模のスーパーラボなので、各研究スタッフが生き生きと研究活動に没頭できる環境の設定を重視している。

## § 6 おわりに

以上、特別研究「微視的界面制御に関する研究」の終了にあたり、特別研究で育んだ新しい材料科学的研究アプローチである「プロセス診断によるプロセス制御」という概念を用いて、ニューサンシャイン計画のもと薄膜シリコン系太陽電池の材料基板技術の研究開発プロジェクトを集中的に行うための「薄膜シリコン系太陽電池スーパーラボ」の設立の背景を紹介した。この研究開発プロジェクトは、ニューサンシャイン計画はじめ周囲からの大きな期待を受けてスタートを切ったわけで、期待が大きいだけにやりがいも大きいと思っている。また、このスーパーラボの成功が、国家研究プロジェクトのある時期における集中研究方式の成功例となり、国立研究所におけるラボ制の有効性を示す例になればよいと思っている。これからの数年が楽しみなところである。

(1999. 3. 5 受付)