

「新エネルギー技術開発プロジェクト
太陽光発電システム未来技術研究開発」

事業原簿(公開)

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部
-----	--

—目次—

概 要.....	III
「新エネルギー技術研究開発」基本計画.....	VII
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性.....	1
1.1 NEDOが関与することの意義	
1.2 実施の効果	
2. 事業の背景・目的・位置づけ.....	2
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標.....	3
2. 事業の計画内容	
2.1 研究開発の内容.....	3
2.2 研究開発の実施体制.....	21
2.3 研究開発の運営管理.....	25
3. 情勢変化への対応.....	27
III. 研究開発成果について	
1. ロードマップ PV2030 に記載された次世代技術への開発課題と本研究開発の位置づけ.....	29
2. 分野別、課題に対する主要な成果.....	32
3. 個別テーマの成果概要.....	37
4. 成果発表の件数.....	53
IV. 実用化の見通しについて	
1. 実用化の見通し.....	54
2. 波及効果.....	55
3. 今後の展開.....	55

添付資料：論文リスト

概要

		作成日	平成 21 年 11 月 20 日			
制度・施策（プログラム）名	H19fy-H21fy：新エネルギー技術開発プログラム H18fy：太陽光発電システム未来技術研究開発					
事業（プロジェクト）名	新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム未来技術研究開発	プロジェクト番号	P07015 (H18fy：P06006)			
担当推進部	新エネルギー技術開発部					
0. 事業の概要	<p>太陽光発電が将来、エネルギーの一翼を担えるようになるためには、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善を図り、太陽光発電の普及拡大を促進することが必要不可欠である。こうした観点から、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期的視野での技術研究開発を実施する。具体的には下記のテーマを実施する。</p> <p>(1) CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術、軽量基板上への太陽電池の形成プロセス要素技術 (2) 薄膜シリコン太陽電池の高生産性技術、高効率化技術 (3) 色素増感太陽電池の高効率化技術、モジュール化技術・耐久性向上技術 (4) 次世代超薄型シリコン太陽電池の高効率化技術及び関連プロセス技術 (5) 有機薄膜太陽電池の高効率化技術、耐久性向上技術 (6) 太陽光発電システムの大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と考えられる次世代技術の探索</p>					
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>太陽光発電については、エネルギー安定供給と地球環境問題等への対応の観点から、技術の早期実用化および急速な導入普及が求められている。</p> <p>これまでの各種施策効果により、その発電コストは従来よりも大幅に低減されているものの、現時点では家庭用電力料金の約 2 倍、業務用電力料金の約 4 倍と、依然割高である。2004 年に策定した「2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ」においては、2030 年までの期間を太陽光発電システムが主要エネルギー源の一つとなるための認知と信頼獲得の期間と位置づけており、このためには発電コストを汎用電力並にまで低減することが必要であり、そのために変換効率向上、生産性向上、長寿命化のような技術開発を必要としている。</p> <p>このため、電力供給源としての太陽光発電の経済性と信頼性を確立し、太陽光発電の本格的な普及促進に資すべく、低コスト太陽電池の研究開発等を実施し、太陽電池産業・市場の早期自立化に貢献することを目的に本事業を実施する。</p>					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	2020 年における発電コスト 14 円/kWh、2030 年における発電コスト 7 円/kWh を達成するために、本研究開発終了時点における目標は、2020 年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の確立、2030 年における発電コスト目標達成に資する要素技術の選択である。					
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	
	CIS 系薄膜太陽電池	←				→
	薄膜シリコン太陽電池	←				→
	色素増感太陽電池	←				→
	次世代超薄型シリコン太陽電池	←				→
	有機薄膜太陽電池	←				→
	次世代技術の探索	←				→
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	総額
	一般会計	—	—	—	—	
	特別会計(石特高度化勘定)	4,600				
	特別会計(需給勘定)		2,830	1,270	1,080	
	総予算額	4,600	2,830	1,270	1,080	9,780

開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課
	プロジェクトリーダー	当初、近藤道雄（産総研 太陽光発電研究センター長） H20.8月より 山口真史（豊田工業大学大学院工学研究科教授）
	委託先 <>内は中間評価までの委託先	（独）産業技術総合研究所、鹿児島大学、筑波大学、＜昭和シェル石油（株）＞、青山学院大学、三菱重工業（株）、（株）カナカ、＜富士電機アドバンステクノロジー（株）＞、＜三洋電機（株）＞、＜名古屋大学＞、シャープ（株）、九州工業大学、東京理科大学、（株）フジクラ、（株）ケミクレア、新日鐵化学（株）、東洋製罐（株）、岐阜大学、（株）積水樹脂技術研究所、＜（財）電力中央研究所＞、＜大阪大学＞、＜信州大学＞、＜コア（株）＞、＜保土谷化学工業（株）＞、＜関西パイプ工業（株）＞、三菱電機（株）、東北大学、京セラ（株）、＜（株）日平トヤマ＞、＜九州大学＞、＜（株）第一機電＞、＜岡山大学＞、＜トーヨーエイトック（株）＞、＜豊田工業大学＞、＜明治大学＞、京都大学、松下電工（株）、新日本石油（株）、＜小松精練（株）＞、＜金沢大学＞、＜名古屋工業大学＞、＜大同特殊鋼（株）＞、＜大同メタル工業（株）＞、東京大学、龍谷大学、＜ペクセル・テクノロジー（株）＞、＜北陸先端科学技術大学院大学＞、＜藤森工業（株）＞、＜長岡高専＞、＜福井大学＞
情勢変化への対応	<p>本事業は、日本がトップレベルを走っている太陽光発電システム技術について、従来技術とは異なる CIS 系、色素増感型、薄膜系などの新技術の開発を促進するものであるが、ここ 2 年間ほどの間に深刻化するとされた原料シリコン不足問題に対応するとともに、近年の欧米、中国等のライバル企業の投資加速化に対応し、日本の優位性を確保するために不可欠な、次世代技術の探索も含めた。公募に対し、非常に優良な案件が多数提案されてきたことを踏まえ、加速資金を活用することにより、必要な優良案件（37 件）を採択した。</p> <p>H19 には、材料技術、デバイス技術等を基盤的かつ基礎的見地から開発するテーマを「次世代技術の探索」において、追加公募を実施し、2020 年以降のテーマ策定に資する優良案件（2 件）を採択した。</p> <p>また、H19 には、H18 年度採択テーマの中間年度にあたり、ステージゲート方式のテーマの絞り込みを行った。社会情勢は、さらに厳しさを増し、実用化を急ぐ必要から、早期に実用化望める課題については、H20 年度の新規プロジェクトに移行し、本事業の課題から除外した（継続 18 件）。</p> <p>更に H20 には、H19 年度採択テーマの中間年度となり、ステージゲート方式のテーマの絞り込みを行って、最終目標達成に必要な技術レベルに至っていないと判断された課題を除外した（継続 1 件）。</p>	
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>豊田工業大学 大学院工学研究科教授 山口 真史氏をプロジェクトリーダーとし、その下で各研究開発の効率化を図りながら、以下の研究開発を実施した。</p> <p>基本計画の研究項目ごとに設定した課題に対し、平成 21 年度は、平成 18 年度から継続している 18 件、さらに平成 19 年度採択の 2 件のうち中間テーマ評価で残った 1 件の計 19 件の研究開発を実施した。</p> <p>基本計画に基づき、平成 21 年 1 月に、平成 19 年度に追加公募によって採択した 2 件について、中間テーマ評価を行って継続又は中止の判断を行い、平成 21 年度以降の研究体制を見直した。</p> <p>また、太陽電池の種類ごとに研究分科会（後に進捗報告会に名称変更）を設け、プロジェクトリーダー及び実施者間での情報交換等により進捗状況の把握、研究方針のチェックと指導を行った。分野別に、成果概要を以下に示す。</p> <p>(イ) CIS 系薄膜太陽電池</p> <p>CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術及び軽量基板上への太陽電池の形成技術の開発を目的として 2 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中で、「CIGS 太陽電池の高性能化技術の研究開発」（委託先：独立行政法人産業技術総合研究所、国立大学法人鹿児島大学、国立大学法人筑波大学）においては蒸着技術の大面积化、パターンニング技術、透明導電膜の性能向上など集積型サブモジュールのプロセス技術を開発し、10cm 角サブモジュールで世界最高効率 16.8%を達成した。フレキシブル太陽電池では Mo 裏面電極の下に青板ガラスの薄膜をスパッタ法で形成する Na 導入法（AIST 法）を開発し、これと他の技術を併用して、10cm 角集積型サブモジュールで世界最高効率 15.2%を達成した。また、「光励起プロセスを応用した高効率 CIGS 薄膜太陽電池」（委託先：学校法人青山学院大学）においては、レーザーアシスト製膜法の最適化により、軽量チタン箔上の Cd フリー</p>	

	<p>フレキシブルセル (0.5cm²) において、真性変換効率で世界最高レベルの 18.8%を達成した。</p> <p>(d) 薄膜シリコン太陽電池 薄膜シリコン太陽電池について、生産性向上技術又は高効率化技術の開発を目的として 2 件のテーマについて継続して研究開発を行った。「高電圧型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発」(委託先: 株式会社カネカ) においては、超屈折率中間層によりトップ層感度を中間層無しで 29%向上させるなど特性向上に成功した。また安定化効率 15%を達成可能な新規光閉じ込め構造を提案し、新規開発 TCO を用いた実証実験に成功した。「高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発」(委託先: 三菱重工株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所) においては、再委託先成果の適用により目標であるトップセル安定化効率: 10%達成の目処を得た。ミドルセルについては、目標の開放電圧: 560mV を達成した。二接合で効率: 11.6%を達成し、ボトムセルの長波長感度向上対策と併せて目標達成の目処を得た。</p> <p>(h) 色素増感太陽電池 色素増感太陽電池の高効率化技術、耐久性向上技術、モジュール化技術の開発を目的として 5 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「高効率・集積型色素増感太陽電池モジュールの研究開発」(委託先: シャープ株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所) において、効率 11.5%(5mm 角)を達成。V_{oc} と J_{sc} のトレードオフを打開し、効率 15%への指針を示した。また、「高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」(委託先: 学校法人東京理科大学、株式会社フジクラ) においては、30cm 角相当のサブモジュールにおいて変換効率 7.2%を達成した。</p> <p>(i) 次世代超薄型シリコン太陽電池 次世代超薄型シリコン太陽電池の高効率化技術及び関連プロセス技術の開発を目的として 4 件のテーマについて継続して研究開発を行った。平成 21 年度は、高効率化技術開発の最終年度であり、最終目標の厚み 100 μm、15cm 角の多結晶シリコン太陽電池において、変換効率 18%を達成した。この中では、「次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発」(委託先: シャープ株式会社、国立大学法人東北大学) において、多結晶シリコン太陽電池の高効率化に重要な多結晶シリコンインゴットの高品位化について、 dendrite 多結晶の成長メカニズム・高品質化要因を解明した。また、複数のメーカーで dendrite 多結晶基板からセルを試作し、その有効性を確認した。</p> <p>(k) 有機薄膜太陽電池 有機薄膜太陽電池の高効率化技術及び耐久性向上技術の開発を目的として 2 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発」(委託先: パナソニック電工株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所) において、新規ドナーポリマー材料の開発により 5mm 角単セルで変換効率 5.5%、6mm² タンデムセルで変換効率 6.2%が得られ、変換効率 7%達成の目処をつけた。</p> <p>(h) 次世代技術の探索 太陽光発電システムの大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と考えられる次世代技術の探索を目的として 5 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空 CIS 太陽電池の製造技術開発」(委託先: 学校法人龍谷大学、国立大学法人東京工業大学) において CIS 膜組成の改善に取り組み、焼結プロセスを工夫して空孔を殆ど含まない緻密な CIS 薄膜を得ることに成功した。</p>
(特許・論文等について件数を記載)	H18-H21 年度 (10 月まで) において、 特許出願 3 4 7 件、論文 4 4 9 件、学会発表 1 7 1 8 件
IV. 実用化の見通しについて	本事業で確立した要素技術は、漸次 担当企業で実用化されている。また要素技術として確立しても、実用化までもう一段の研究が必要とされるものは 2010 年からの研究につなげ、2015 年以降に実用化を行い、2020 年における発電コスト 14 円/kWh 目標、2030 年における発電コスト 7 円/kWh 目標を目指す。一部の高生産性技術については、本事業途中から、技術開発ステージをアップして 2015 年までに実用化を目指す。

V. 評価に関する 事項	事前評価 平成 17 年度 担当部 新エネルギー技術開発部 中間評価(平成 18 年度採択分) 平成 19 年度 担当部 新エネルギー技術開発部 中間評価(平成 19 年度採択分) 平成 20 年度 担当部 新エネルギー技術開発部 事後評価 平成 21 年度予定 担当部 研究評価部、新エネルギー技術開発部
VI. 基本計画に関 する事項	作成時期 平成 18 年 3 月制定 変更履歴 1 平成 19 年 3 月、6事業を統合して新たに制定 変更履歴 2 平成 20 年 3 月 変更履歴 3 平成 21 年 3 月

根拠法

本事業は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法 15 条第 1 項第 1 号イの規定に基づき実施する。

(エネルギーイノベーションプログラム・環境安心イノベーションプログラム)

「新エネルギー技術研究開発」基本計画

本研究開発は長期的な目標達成及び新規産業創造と産業競争力強化に資するために、再生可能エネルギー分野の中から革新的な技術開発の発掘等を行うことを目的に、実施する。

新エネルギー技術開発部
研究開発推進部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的な発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。

また、資源制約を克服し、環境と調和した持続的な経済・社会の実現と、安全・安心な国民生活を実現するには、革新的な技術の開発等を通じた地球全体での温室効果ガスの排出削減、廃棄物の発生抑制（リデュース）、製品や部品の再使用（リユース）、原材料としての再利用（リサイクル）推進による循環型社会の形成、バイオテクノロジーを活用した環境に優しい製造プロセスや循環型産業システムの創造、化学物質のリスクの総合的な評価及びリスクを適切に管理する社会システムの構築を推進することが重要である。

本研究開発は、2001年3月に閣議決定した「科学技術基本計画」における国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点分野であるエネルギー分野、2001年9月の総合科学技術会議における分野別推進戦略であるエネルギー分野に位置づけられるものであり、エネルギーに関する技術開発を目的とする「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として、さらに環境分野に関する技術開発を目的とする「環境安心イノベーションプログラム」の一環として実施する。

2005年2月に発効した京都議定書及び2005年3月に制定された新エネルギー技術開発プログラム、2008年4月に制定されたエネルギーイノベーションプログラム、環境安心イノベーションプログラムの対応として、環境負荷が少ない石油代替エネルギーの普及に向けた、新たな技術の開発及びコスト低減・性能向上のための戦略的取り組みが要求されている。

このような中で、2010年までに京都議定書の目標達成に貢献すべく取り組むことに加え、2030年度、更には2050年に向けた長期的視野に立ち、国内の知見・技術を結集して、再生可能エネルギー分野における新素材の研究開発、革新的・新規技術の研究開発、開発技術の適用性拡大、コストの低減、性能の向上等を行い、世界における優位性を確保するためにも、従来技術の延長にない技術革新をも目指した継続的な研究・技術開発が必要不可欠である。

本研究開発は長期的な目標達成及び新規産業創造と産業競争力強化に資するために、再生可能エネルギー分野の中から革新的な技術開発の発掘等を行うことを目的に、実施する。

また、2006年に閣議決定された第3期科学技術基本計画、同年11月に定められた国際標準化戦略目標において、研究開発と標準化を一体的に推進することが提言された。経済活動のグローバル化に伴い世界市場が急速に一体化する中で、優れた技術でも国際標準を獲得できなければ市場を獲得できないこともあるので、研究開発の成果が世界的に利用されることで産業競争力

の維持・強化を行う観点から、必要な技術分野については国際標準化等を目指した取り組みを行う。

(2) 研究開発の目標

本研究開発は、2010年度の目標を押さえつつ、2010年度以降の更なる二酸化炭素等の温室効果ガス排出量削減に向けて制定された新エネルギー技術開発プログラム基本計画等の各分野における中期の技術目標を達成するために、新素材の開発、新技術の開発、開発技術の拡大、性能の向上及びコストの削減を図り、2005年3月総合資源エネルギー調査会需給部会の2030年のエネルギー需給展望(答申)にある2030年度目標値の達成に資する。なお、個々の研究開発項目の目標は別紙「研究開発計画」に定める。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

[委託事業]

- ① 新エネルギーベンチャー技術革新事業(制度)
- ② バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発(制度)
- ③ 太陽光発電システム未来技術研究開発
- ④ 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発
- ⑤ 太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業
- ⑦ 革新的太陽光発電技術研究開発(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- ⑧ 単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究
- ⑨ 洋上風力発電等技術研究開発
- ⑩ 次世代風力発電技術研究開発〔共同研究(負担率:1/2)〕
- ⑥ 太陽光発電システム実用化加速技術開発(制度)〔助成事業(助成率:1/2)〕
- ⑪ 太陽光発電システム実用化促進技術開発

(注:以下 太陽光発電システム未来技術研究開発に関する部分のみ表記する。)

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）が、単独ないし複数の原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発において、NEDO技術開発機構が主体となっていくべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①～⑩の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した⑪の事業は助成（助成率1／2）により実施する。

NEDO技術開発機構は、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的な研究開発を図る観点から、委託先決定後に必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名し、その下に効果的な研究を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、外部有識者による技術委員会を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトリーダーを指名しているプロジェクトは四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けることにより把握する。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は研究開発項目ごとに以下のとおりとする。

③太陽光発電システム未来技術研究開発

本研究開発の期間は、平成18年度から平成21年度までの4年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価及び事後評価を実施する。なお、中間評価結果を踏まえ必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。なお、評価の実施時期や方法は、研究開発項目毎に別紙研究開発計画に記載する。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱いについて

① 成果の普及

本研究開発で得られた研究成果についてはNEDO技術開発機構、委託先とも普及に努めるものとする。

② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るためデータベースへの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

本研究開発で得られた研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

③太陽光発電システム未来技術研究開発「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号イ」

(4) その他

本プロジェクトは、平成18年度まで以下の基本計画を定めて実施していたテーマも統合して実施する。

- ・ バイオマスエネルギー高効率転換技術開発
- ・ 太陽光発電システム未来技術研究開発
- ・ 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発
- ・ 太陽エネルギー新利用システム技術研究開発
- ・ 太陽光発電システム実用化加速技術開発

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成19年3月、6事業を統合して新たに制定。
- (2) 平成20年3月、5事業を追加するとともに、バイオマスエネルギー高効率転換技術開発について研究開発の具体的内容、事業期間及び事業名を変更、太陽光発電システム未来技術研究開発について研究開発の具体的内容及び達成目標を一部変更（平成19年度中間テーマ評価結果に基づき、研究開発項目(イ)～(ハ)について見直し）、太陽光発電システム共通基盤技術研究開発について標準化調査研究等の実施を追加して改訂。
- (3) 平成20年4月、次世代風力発電技術研究開発事業（自然環境対応技術等）を統合し、次世代風力発電技術研究開発に係る研究開発計画を追加するとともに、推進部署に研究開

発推進部を追加して改訂。

- (4) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。
- (5) 平成20年8月、革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）について内容の明確化のため表現を変更して改訂。
- (6) 平成20年10月、革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）について、達成目標の詳細について追記して改訂。
- (7) 平成21年3月、次の変更等により改訂。

バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発について一部公募実施年度を変更

太陽光発電システム未来技術研究開発についてP Lの所属を変更

太陽光発電システム共通基盤技術研究開発についてP Lの所属及び標準化事業に関する達成目標を変更

革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）についてグループリーダーの氏名を追記

単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究についてP Lの氏名を追記洋上風力発電技術研究開発について研究開発の具体的内容等を一部変更するとともに事業名を変更

次世代風力発電技術研究開発（基礎・応用技術研究開発）についてP Lの氏名を追記

別紙) 研究開発計画

研究開発項目③「太陽光発電システム未来技術研究開発」

〔目的〕 太陽光発電が将来、エネルギーの一翼を担える発展を可能とするためには、新概念の太陽電池等、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期視野での技術研究開発を実施し、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善を図り、太陽光発電の制約のない普及拡大を促進することが必要不可欠である。また、現在の我が国の太陽光発電産業と関連技術の世界における優位性を堅持するためにも、従来技術の延長にない技術革新を目指した継続的な技術開発が必要不可欠である。

本研究開発は、太陽光発電の汎用エネルギー源と競合できる経済性・適用性の確保及び太陽光発電産業の一層の市場拡大と我が国の世界における優位性堅持に向け、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善と太陽光発電の制約のない普及拡大の促進に資することを目的とする。

〔目標〕 2020年における発電コスト 14円/kWh（モジュール製造コスト換算 75円/W）、2030年における発電コスト 7円/kWh（モジュール製造コスト換算 50円/W）を達成することを目標とする。本研究開発の終了時点（平成21年度末）における目標は、2020年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の確立、2030年における発電コスト目標実現に資する要素技術の選択である。

〔内容〕 上記目標を達成するため、豊田工業大学大学院工学研究科教授 山口 真史氏をプロジェクトリーダーとし、その下で各研究開発の効率化を図りながら、以下の研究開発項目について実施する。

- (イ) CIS系薄膜太陽電池
- (ロ) 薄膜シリコン太陽電池
- (ハ) 色素増感太陽電池
- (ニ) 次世代超薄型シリコン太陽電池
- (ホ) 有機薄膜太陽電池
- (ヘ) 次世代技術の探索

(イ) CIS系薄膜太陽電池

1. 研究開発の必要性

CIS系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池に匹敵する高い変換効率を実現できる可能性があり、また金属・プラスチックなどの軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから多用途化にも適している。また、結晶シリコン太陽電池で問題となっているシリコン原料供給の制約もない。さらに、CIS系薄膜太陽電池では、材料のバンドギャップを広くすることで周囲温度に対する出力の依存性を小さくすることが可能で、結晶シリコン太陽電池に比べ、日射量が大きい夏季の発電量を増やし、年間発電量の増大が期待できる。

しかし、現時点においては、変換効率はモジュールで 13 %であり、この太陽電池に期待されるレベル（結晶シリコン太陽電池並み）に到達しておらず、変換効率の一層の向上が必要となっている。また、軽量基板上での製造要素技術も未整備であり、ガラス基板上に作製した場合に比べ軽量基板上に形成したモジュールの変換効率は低い値に留まっている。

CIS系薄膜太陽電池の効率向上と軽量基板上への製造技術の高度化が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

高効率化を図り、また工場屋根などへの用途拡大に対応可能な軽量基板上への太陽電池の形成プロセス要素技術の開発を実施する。

(1) 高効率化

- ・ CISなどの薄膜系材料においてシリコンにない特徴を活かすために 1.3 eV以上のワイドギャップ材料の高品質化技術（欠陥密度低減等）
- ・ ワイドギャップ材料に対応し、かつカドミウムを含まない新しい界面バッファ層

(2) 軽量基板上への太陽電池の形成プロセス要素技術

- ・ ・ 高温（600 °C）に耐えうる新しい軽量基板材料
- ・ ・ 既存の軽量基板材料に対応する CIS系薄膜の低温化プロセス

3. 達成目標（平成21年度）

- (1) 高効率化：サブモジュール（10 cm角程度）で変換効率 18 %
サブモジュール（30 cm角程度）で変換効率16 %（平成19年度で終了）
- (2) 軽量基板上形成：サブモジュール（10 cm角程度）で変換効率 16 %

4. 評価の時期及び方法

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

個別テーマについては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成19年度後半にNEDO技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき継続又は中止の判断を行う。

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池

1. 研究開発の必要性

厚さ 10 μm 以下の薄膜シリコンで構成される薄膜シリコン太陽電池は、従来の結晶シリコン太陽電池で課題となっていた材料コストの大幅な低減が可能であり、シリコン原料供給の制約もない。また、薄膜シリコン太陽電池は結晶シリコン太陽電池に比べて、周囲温度の上昇に伴う出力低下が低減される特性を有しており、日射量が大きい夏季の発電量増加に有利であるため、年間発電量の増大が期待できる。

しかし、現時点においては、薄膜形成面積や薄膜形成速度、さらに装置内壁に付着したシリコン膜の除去に要する時間が製造時間にかなりの影響を及ぼしており、製造コストの低減には生産性（面積、製膜速度、装置メンテナンス時間）の大幅な改善が必要である。また、薄膜シリコン太陽電池の変換効率は現時点では初期効率で 13%（面積約 3600 cm^2 、2層タンデム型）であり、発電コストの低減のためには一層の高効率化と光劣化の抑制が必要不可欠である。

本研究開発では、薄膜シリコン太陽電池の変換効率と生産性の向上を目指して実施する。

2. 研究開発の具体的内容

薄膜シリコンなどを用いた太陽電池において、高効率化及び生産性向上を図るための研究開発を実施する。

(1) 高効率化技術

① ワイドギャップ材料

- ・高開放電圧かつ低劣化率で量産可能なワイドギャップ材料及びそれを用いたセルにおける界面制御と欠陥低減技術

② ナローギャップ材料

- ・多接合太陽電池に適したバンドギャップ設計と、それに適合する材料の高品質化
- ・微結晶シリコン：開放電圧の制限要因を明確化、界面バッファ層や粒界制御などによる開放電圧向上（多結晶シリコンレベル）
- ・アモルファスシリコンゲルマニウム：光劣化率の抑制
- ・微結晶シリコンゲルマニウムやゲルマニウム系合金：欠陥密度の低減と価電子制御技術

③ セル化・モジュール化技術

- ・上記ワイドギャップ材料、ナローギャップ材料を用いた多接合太陽電池の均適化
- ・セルの高効率化ならびに、モジュール化における集積化ロスの低減技術

(2) 生産性向上技術（平成19年度で終了）

- ・マイクロ波や超高周波等を用いた新しいプラズマ源などの開発により、高品質な微結晶シリコンを高スループットで生産する技術。大面積、高速で製膜する技術、および高速クリーニング技術。

3. 達成目標（平成21年度）

(1) 高効率化：面積 100 cm^2 のモジュールで変換効率16 %（安定化効率）の実現。

面積 1000 cm^2 のモジュールで変換効率15 %（安定化効率）の実現。

（平成19年度で終了）

ただし、微結晶シリコンを用いる場合には、単基板で製膜速度 2.5 nm/s 相当のスループットにおいて実現するものとする。

また、微結晶シリコン以外の材料を使用する提案は別途協議のうえ判断する。

(2) 生産性向上技術：下記の①あるいは②いずれかを目標とする。③については①あるいは②と同時に達成することを条件とする。（項目として平成19年度で終了）

①微結晶シリコン薄膜において大面積 4 m^2 、製膜速度 2.5 nm/s 以上で単接合セル効率 8 % 以上かつ効率分布が製膜領域全域にわたって10 %以下を得るための要素技術確立

② 10 cm 角以上の基板において製膜速度 10 nm/s 以上で微結晶シリコン単接合セルを製膜し、変換効率8 %以上かつ効率分布が製膜領域全域にわたって10 %以下

③ 薄膜シリコンのエッチング速度 20 nm/s 以上

なお、高生産性実現において、製膜速度向上以外の手法でも同等と認められる提案は別途協議のうえ判断する。

4. 評価の時期及び方法

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

個別テーマについては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成19年度後半にNEDO技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき継続又は中止の判断を行う。

(ハ)色素増感太陽電池

1. 研究開発の必要性

色素増感太陽電池は、シリコン材料以外の低コスト材料を用いると共に高真空プロセスなどを使用しない簡便な工程で製造が可能であり、低価格化の可能性が非常に大きい。また、入射角度が大きい（斜め入射の）光でも発電特性を保つ特長があり、朝・夕の時間帯で大きな発電量が期待できる。また、周囲温度に対する出力の依存性が小さいことから、日射量が大きい夏季の発電量を増やすことが可能で、朝・夕の時間帯での発電も合わせて、年間発電量の増大が期待される。

現時点の変換効率はセルで 11 %、モジュールで 6 %と未だ不十分なレベルに留まっており、用いる電解質溶液の揮発に伴い変換効率の低下が生じるなど耐久性に乏しいという課題もある。

以上から、このように、色素増感太陽電池のセル、モジュールについて変換効率の向上と耐久性の向上が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

色素増感太陽電池において、高効率化と耐久性向上を図り、量産型モジュール製造プロセスの研究開発を実施する。

1) 高効率化

- ・長波長応答色素並びに新規色素開発（非ルテニウム系材料等）の開発、高性能半導体電極の改善、タンデム構造色素太陽電池の開発等
- ・セル試作・評価を円滑に行うための体制整備

2) モジュール化技術開発・耐久性向上

- ・対極／電解質等の低コスト化・耐久性向上等
- ・封止構造形成技術等の開発により 30 cm角程度のサブモジュールを開発し、かつ不揮発性電解質の開発などにより、J I S規格における-40℃～+85℃の繰り返し温度サイクルにおいて1000時間以上の性能維持等を実証
- ・半導体電極の低温形成技術、集積構造（集積化ロス低減）等の開発

3. 達成目標（平成21年度）

1) 高効率化

- ・セル変換効率15%以上

2) モジュール化技術開発・耐久性向上

- ・サブモジュール（30 cm角程度）で変換効率 8%、かつ J I S規格 C 8 9 3 8 の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下10%以下を実現する。

4. 評価の時期及び方法

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果

の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

個別テーマについては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成19年度後半にNEDO技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき継続又は中止の判断を行う。

(二)次世代超薄型シリコン太陽電池

1. 研究開発の必要性

結晶シリコン太陽電池は、通常、厚さ 200 μm 以上の結晶シリコンを用いるため、シリコン材料のコストが太陽電池全体のコストに占める割合が大きく、低価格化への障害の1つとなっている。また、近年、結晶シリコン太陽電池の生産規模の急激な拡大に伴い、シリコン原料市場の供給不足が顕在化しており、今後とも、太陽光発電の導入普及への影響が懸念されている。このような問題を解決するための一つの有効なアプローチとしては、使用するシリコン基板の厚さを100 μm レベルまで超薄型化を図ることである。これにより、使用するシリコンの量が低減し、太陽電池の製造コストが低下すると共に、シリコン原料供給の制約も緩和されることになる。ところが、超薄型結晶シリコン太陽電池の製造工程では、割れや反りが生じることが問題となっており、従来技術の延長線上にない革新的なプロセス技術、ハンドリング技術が必要不可欠となっている。

2. 研究開発の具体的内容

結晶シリコン太陽電池において、量産時に適用可能な、シリコン基板の超薄型用スライス技術及び超薄型セル・モジュール製造技術等の研究開発を実施する。

- ・多結晶シリコンのスライシングや太陽電池の変換効率において重要なインゴットの均 適化
- ・厚さ100 μm のスライス技術の選択と均適化（ただし、カーフロス150 μm 以下）
（平成19年度で終了）
- ・スライス後の極薄シリコン基板の量産時に適用可能なハンドリング技術・搬送技術
- ・太陽電池形成プロセス（接合形成、不活性化など）の手法・条件の抜本的な見直し（拡散によらない表面側・及び裏面の接合形成、プロセス温度の低減、等）と新規手法
- ・厚さ100 μm 以下のセルに対して反りが生じない電極形成工程
- ・製造工程におけるシリコン基板及び太陽電池の評価・検査技術

3. 達成目標

研究開発期間3年目（平成20年度）終了時まで以下目標を実現したうえで、モジュール製造工程の課題抽出と対応策の検討を行う。

- ・多結晶シリコン太陽電池：厚さ 100 μm 、面積 15 cm^2 のセルにおいて変換効率 18 %以上
- ・単結晶シリコン太陽電池：厚さ100 μm 、面積12.5 cm^2 のセルにおいて変換効率21 %以上
（平成19年度で終了）

4. 評価の時期及び方法

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

個別テーマについては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成19年度後半にNEDO技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき継続又は中止の判断を行う。

(ホ)有機薄膜太陽電池

1. 研究開発の必要性

有機薄膜太陽電池は原料にシリコンを使用せず、また高真空プロセスなどを使用しない工程で製造が可能であり、色素増感型太陽電池と同様に低価格化の可能性が大きく、また、周囲温度に対する出力の依存性が小さいため、日射量が大きい夏季の発電量を増やすことが可能で、年間発電量の増大が期待される。

しかし、現時点でのセル（面積 1 cm^2 以下）変換効率は5%と他のタイプの太陽電池に比べてまだまだ低く、大気中での性能低下が生じるなど耐久性にも問題がある。

以上から、本研究開発により、有機薄膜太陽電池については、高効率化と耐久性向上が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

高効率化、耐久性向上のため、以下の研究開発を実施する。

1) 高効率化

- ・ p型及び n型材料探査・デバイス構造の検討
- ・ 短絡電流向上のための光電変換部分（p n 接合界面等）の増大・新デバイス構造、積層化技術

2) 耐久性向上

- ・ 大気中における性能劣化の要因を不純物、大気との化学反応（水、酸素等）の両面から検討し明確化

3. 達成目標（平成21年度）

- ・セル（面積 1 cm^2 ）変換効率7%を実現する。
- ・初期変換効率7%のセルにおいて連続光照射下での大気暴露100時間による相対効率低下10%以下。

4. 評価の時期及び方法

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

個別テーマについては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成19年度後半にNEDO技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき継続又は中止の判断を行う。

(ハ)次世代技術の探索

1. 研究開発の必要性

太陽光発電の一層の導入普及を図るためには、（発電）コストに係る大幅な低減、太陽電池の変換効率の大幅な向上、太陽光発電システムの長寿命化などに寄与する可能性がある新概念太陽電池・次世代技術の探索が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

従来概念にとらわれない、新しい材料・構造・製造方法等により大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と期待される、新しい発想の太陽光発電システムに関する探索的研究テーマを公募し、委託により実施する。

公募は平成18年度及び平成19年度に実施する。

課題：

- 1) 高効率化：新概念太陽電池、超高効率太陽電池 等
- 2) 低コスト化：超革新太陽電池用材料、超低価格形成技術 等
- 3) 長寿命化：超耐久材料／構造、新規封止技術 等

3. 達成目標（平成21年度）

- ・2010年以降の太陽光発電研究開発において低価格・高性能・長寿命太陽光発電システム実現可能とする要素技術を開発する。

なお、個別研究開発テーマの開発目標及び実施内容の詳細については、採択テーマ決定後にNEDO技術開発機構と委託先との間で協議の上、別途「研究開発テーマ一覧」に定めることとする。

4. 評価の時期及び方法

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成22年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、適宜見直すものとする。

個別テーマについては、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成19年度後半（平成19年度採択分については平成20年度後半）にNEDO技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき継続又は中止の判断を行う。

I. 事業の位置づけ・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

本事業は、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善に向け、新コンセプトの太陽電池等、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期視野での技術研究開発をNEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、以下「NEDO」という）が実施する事業であるが、平成16年6月に検討委員会を設置して策定した「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)」においても、太陽光発電の制約のない普及拡大の促進を目指した、国による中長期視野での太陽光発電技術研究開発が必要とされ、今後の重要な技術開発への取り組みの1つと位置づけられている。

また、欧米においても、ロードマップの策定とそれに基づく、中長期視野での研究開発プロジェクト策定が行われている。

新コンセプトの太陽電池等、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期視野での技術研究開発を実施する本事業は、上記ロードマップに従った長期にわたり軸のぶれがない取り組みの一環であるが、事業リスクが高く、実施期間も長期にわたることから、企業などが自主的に実施することは困難であり、NEDO 事業として行うことの意義は大きく、必要とされている。

1.2 実施の効果

平成16(2004)年に、2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)が策定された。本ロードマップにおいて、2030年における累積導入量を102GWと想定するとともに、太陽光発電の発電コストを、2010年までに家庭用電力料金並み(23円/kWh程度)、2020年までに業務用電力料金並み(14円/kWh程度)、2030年までに既存汎用電源並み(7円/kWh程度)にまで低減することが求められている。平成21(2009)年6月にこのロードマップの見直し版「太陽光発電ロードマップ PV2030+ (プラス)」が公開されたが、その中で上記2030年の目標達成は5年間前倒しを目指すこととなった。これに対し、現状については、2007年現在における日本の太陽電池の生産量は920MW/年、システム価格は683円/W(住宅用システムの平均値)で、発電コストは、46円/kWh程度と算定され、ロードマップ(PV2030)の2010年目標23円/kWhの2倍程度である。しかし技術面では、本事業を含めた技術開発により2010年代前半には目標コストへ到達出来る見通しが得られていると認識されている。

更にロードマップに示されている2020年までに業務用電力料金並み、2030年までに既存汎用電源並みの発電コストを実現するには、長期にわたる継続的な研究と共に、従来の延長にない技術的ブレークスルーが必要とされているが、本事業「太陽光発電システム未来技術研究開発」はその中核として、主に変換効率の向上を目指した要素技術の研究開発および大幅な低コスト化を可能とする技術シーズの探索の面で、初期の目的を達成したものと考えられる。

NEDOでは、平成22年度から「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」をスタートさせ、太陽光発電の導入を抜本的に加速し、2020年頃に現状の20倍程度まで拡大するために不可欠な技術開発を実施する予定であるが、本事業「太陽光発電システム未来技術研究開発」で開発された革新的な要素技術の中で、次期「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に継続するテーマも数多く予定されている。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

太陽光発電は、競合するエネルギーと比較してコストが高い状況（戸建住宅用太陽光発電システムの発電コスト：48円/kWh、競合エネルギー：（業務用電力単価：14円/kWh、汎用電力：7円/kWh程度））にあり、経済性の面においても汎用のエネルギー源と競合するには、現状技術の延長線上にない新しいブレークスルーによる技術革新が必要である。

本研究開発は、新コンセプトの太陽電池等、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期視野での技術研究開発を実施することで、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善を図るものであり、太陽光発電の制約のない普及拡大を促進するために必要不可欠である。本事業で研究開発を行う低価格・高性能の太陽電池開発、抜本的改革技術の探索は、NEDOが平成16年6月に作成した「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）」においても中心的な研究開発課題として位置づけられている。

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

(1) 研究開発の目的

近年、太陽光発電はエネルギー・資源問題や地球環境問題への対応の観点から非常に重要性が増しており、無尽蔵かつクリーンな太陽光発電システムの普及促進が社会的要請となっている。2005年3月に制定された新エネルギー技術開発プログラムにおいて、太陽光発電は、環境負荷が小さい石油代替エネルギーとして、コスト低減・性能向上のための戦略的取り組みが要求される新エネルギーの一つとして位置づけられている。2004年6月に策定された「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）」においては、2030年の長期的視野で「太陽光発電のエネルギー供給技術としての地位確立」を目指し、その経済性改善と適用性拡大を柱とする技術開発戦略が示された。

これまでNEDOでは数多くの研究開発を行っているが、現状では、例えば、住宅用太陽光発電システムの発電コストは、45円/kWh程度と、家庭用電灯電力料金（23円/kWh程度）等の競合エネルギーと比較して約2倍と高く、更なる技術開発が必要な状況にある。一方で、太陽光発電は我が国ばかりでなく世界的な規模で生産量、導入量とも伸びており、海外においても、米国・ドイツなどを中心に太陽光発電システムの技術開発ならびに導入促進が進められている。

このような状況から、太陽光発電が将来、エネルギーの一翼を担える発展を可能とするためには、新コンセプトの太陽電池等、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期視野での技術研究開発を実施し、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善を図り、太陽光発電の制約のない普及拡大を促進することが必要不可欠である。また、現在の我が国の太陽光発電産業と関連技術の世界における優位性を堅持するためにも、従来技術の延長にない技術革新を目指した継続的な技術開発が必要不可欠である。

本研究開発は、太陽光発電の汎用エネルギー源と競合できる経済性・適用性の確保、および太陽光発電産業の一層の市場拡大と我が国の世界における優位性堅持に向け、太陽光発電の経済性、性能、機能、適用性、利便性等の抜本的な改善と太陽光発電の制約のない普及拡大の促進に資することを目的とする。

(2) 研究開発の目標

2020年における発電コスト14円/kWh（モジュール製造コスト換算75円/W）、2030年における発電コスト7円/kWh（モジュール製造コスト換算50円/W）を達成することを目標とする。本研究開発の終了時点（平成21年度末）における目標は、2020年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の確立、2030年における発電コスト目標実現に資する要素技術の選択である。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.1 研究開発項目分野

上記目標を達成するため、下記開発項目分野について研究開発を実施した。

- ① CIS系薄膜太陽電池
- ② 薄膜シリコン太陽電池
- ③ 色素増感太陽電池
- ④ 次世代超薄型シリコン太陽電池
- ⑤ 有機薄膜太陽電池
- ⑥ 次世代技術の探索

2.1.2 研究開発項目の推移

平成18年度には、公募から選定された37件の研究開発を実施し、さらに平成19年度追

加公募により 2 件の研究開発を追加した。基本計画に基づき、平成 20 年 1 月に平成 18 年度採択分の中間テーマ評価を行って 37 件の内、19 件を残し、平成 21 年 1 月には平成 19 年度採択分の中間テーマ評価を行って 2 件の内、1 件を残して研究開発を実施した。

各年度の開発項目分野毎の開発テーマ数を表 1 に示す。

中間評価

表 1. 研究開発テーマ数の推移

開発項目分野	H 1 8	H 1 9	H 2 0	H 2 1
① CIS 系薄膜太陽電池	← 4 件 →		← 2 件 →	
② 薄膜シリコン太陽電池	← 5 件 →		← 2 件 →	
③ 色素増感太陽電池	← 7 件 →		← 5 件 →	
④ 次世代超薄型シリコン太陽電池	← 6 件 →		← 4 件 →	← 3 件 →
⑤ 有機薄膜太陽電池	← 4 件 →		← 2 件 →	
⑥ 次世代技術の探索	← 11 件 →		← 4 件 →	
		← 2 件 →		← 1 件 →
テーマ数の合計	37	39	21	19

研究開発テーマ毎の開発スケジュールを表 2 に示す。

中間評価

表 2. 研究開発の全体スケジュール

No	研究開発テーマ	H 1 8	H 1 9	H 2 0	H 2 1
① CIS 系薄膜太陽電池					
1	アクティブソースによる CIGS 太陽電池の高効率化技術研究開発	← →			
2	セレン化/硫化法による CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術研究開発	← →			
3	大面積 CIGS 太陽電池の高性能化技術の研究開発 → CIGS 太陽電池の高性能化技術の研究開発	← →			← →
4	光励起プロセスを応用した高効率 CIGS 薄膜太陽電池	← →			← →
② 薄膜シリコン太陽電池					
5	薄膜シリコン太陽電池の高生産性製造技術開発	← →			
6	高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発 → 高電圧型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発	← →			← →
7	大面積/高効率多接合薄膜シリコン太陽電池の高生産製膜技術開発 → 高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発(トップセルおよびミドルセル)	← →			← →
8	高生産性フィルム基板薄膜シリコン太陽電池の研究開発	← →			
9	薄膜シリコン太陽電池の高効率化と高速堆積技術の研究開発 → 高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発(ボトムセル)	← →			← →
③ 色素増感太陽電池					
10	高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発	← →			← →
11	高効率・集積型色素増感太陽電池モジュールの研究開発	← →			← →
12	色素増感太陽電池の高発電量化技術の研究開発	← →			
13	ナノ構造酸化亜鉛電析膜を用いる有機色素増感太陽電池の研究開発	← →			← →

同じテーマとしてカウント

14	立体的多層構造を有するハイブリッド色素増感太陽電池の研究開発	←			→
15	費用効果に秀でた高耐久色素増感太陽電池の研究開発	←			→
16	タンデム構造色素増感太陽電池の研究開発	←	→		
④次世代超薄型シリコン太陽電池					
17	新構造超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発	←			→
18	未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発	←			→
19	超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池の研究開発	←		→	
20	次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発	←			→
21	n型多結晶シリコン製造技術の研究開発	←	→		
22	低コスト原料を使用したロバスト多結晶シリコン製造技術の研究開発	←	→		
⑤有機薄膜太陽電池					
23	タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発	←			→
24	高耐久性を有する大面積有機薄膜太陽電池の研究開発	←	→		
25	ネットワーク構造を有する高性能有機薄膜太陽電池の研究開発	←	→		
26	超階層ナノ構造を有する高効率有機薄膜太陽電池の研究開発	←			→
⑥次世代技術の探索					
27	超高効率多接合型太陽電池の研究開発	←	→		
28	スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空 CIS 太陽電池の製造技術開発	←			→
29	超高効率太陽電池の研究開発（窒化インジウム系）	←	→		
30	同時蒸着法による超高品質 CZTS 光吸収層の研究開発	←	→		
31	革新的光吸収層を有する未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発→未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発	←			→
32	ナノ構造光閉じ込め基板を用いた薄膜シリコン太陽電池の研究開発	←	→		
33	微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合薄膜シリコン系太陽電池の研究開発→微結晶 3C-SiC 薄膜を用いた薄膜シリコン系太陽電池の研究開発	←			→
34	瞬間熱処理法で作製した多結晶シリコン薄膜太陽電池の研究開発	←	→		
35	アモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池の研究開発	←			→
36	高耐久性プラスチック色素増感太陽電池の研究開発	←	→		
37	Si 融液からの LPE 成長法を用いた高効率太陽電池の研究開発	←	→		
38	省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発			←	→
39	触媒反応を利用したシリコンのスライシングおよび表面処理技術の研究開発		←	→	

2.1.3 研究開発予算の推移

年度ごとの研究開発予算（実績）の推移を表3に示す。

表3. 研究開発予算（実績）の推移（単位：億円）

年度	H18	H19	H20	H21	総額
CIS系薄膜太陽電池	8.2	2.4	1.6	1.6	13.7
薄膜シリコン太陽電池	11.9	9.6	1.9	2.0	25.4
色素増感太陽電池	7.1	4.2	3.3	2.7	17.3
次世代超薄型シリコン太陽電池	8.8	6.0	3.0	2.1	19.9
有機薄膜太陽電池	2.8	1.9	1.2	1.1	7.0
次世代技術の探索	7.3	4.2	1.5	1.3	14.3
計 特別会計(石特高度化勘定)	46.0				
特別会計(需給勘定)		28.3	12.7	10.8	97.8

2.1.4 平成18年度公募時の研究開発計画

研究開発項目①「CIS系薄膜太陽電池」

1. 研究開発の必要性

CIS系薄膜太陽電池は、結晶シリコン太陽電池に匹敵する高い変換効率を実現できる可能性があり、また金属・プラスチックなどの軽量基板上への太陽電池形成が可能であることから多用途化に適している。また、結晶シリコン太陽電池で問題となっているシリコン原料供給の制約もない。さらに、CIS系薄膜太陽電池では、材料のバンドギャップを広くすることで周囲温度に対する出力の依存性を小さくすることが可能で、結晶シリコン太陽電池に比べ、日射量が大きい夏季の発電量を増やし、年間発電量の増大が期待できる。

しかし、現時点においては、変換効率はモジュールで13%であり、この太陽電池に期待されるレベル（結晶シリコン太陽電池並み）に到達しておらず、変換効率の一層の向上が必要となっている。また、軽量基板上での製造要素技術も未整備であり、ガラス基板上に作製した場合に比べ軽量基板上に形成したモジュールの変換効率は低い値に留まっている。

本研究開発は、CIS系薄膜太陽電池の効率向上と軽量基板上への製造技術の高度化を目的として実施する。

2. 具体的内容

高効率化を図り、また工場屋根などへの用途拡大に対応可能な軽量太陽電池の形成プロセス要素技術を開発する。

(1) 高効率化

- ・CISなどの薄膜系材料においてシリコンにない特徴を活かすために1.3 eV以上のワイドギャップ材料の高品質化技術（欠陥密度低減等）
- ・ワイドギャップ材料に対応し、かつカドミウムを含まない新しい界面バッファ層

(2) 軽量基板上への太陽電池の形成プロセス要素技術

- ・高温（600℃）に耐えうる新しい軽量基板材料
- ・既存の軽量基板材料に対応するCIS系薄膜の低温化プロセス

3. 目標

- (1) 高効率化：サブモジュール（10 cm角程度）で変換効率18%
あるいは、サブモジュール（30 cm角程度）で変換効率16%
- (2) 軽量基板上形成：サブモジュール（10 cm角程度）で変換効率16%

研究開発項目②「薄膜シリコン太陽電池」

1. 研究開発の必要性

厚さ 10 μm 以下の薄膜シリコンで構成される薄膜シリコン太陽電池は、従来の結晶シリコン太陽電池で課題となっていた材料コストの大幅な低減が可能であり、シリコン原料供給の制約もない。また、薄膜シリコン太陽電池は周囲温度の上昇に伴い出力が増加する特性を有しており、日射量が大きい夏季の発電量増加が大きく、年間発電量の増大が期待できる。安全性に問題のある元素を使用しないことから環境負荷が小さいことも薄膜シリコン太陽電池の特長である。

しかし、現時点においては、薄膜形成面積や薄膜形成速度、さらに装置内壁に付着したシリコン膜の除去に要する時間が製造時間にかなりの影響を及ぼしており、製造コストの低減には生産性（面積、製膜速度、装置メンテナンス時間）の大幅な改善が必要である。また、薄膜シリコン太陽電池の変換効率は現時点では初期効率で 13 %（面積約 3600 cm^2 、2 層タンデム型）であり、発電コストの低減のためには一層の高効率化と光劣化の抑制が必要不可欠である。

本研究開発は、薄膜シリコン太陽電池の生産性と変換効率の向上を目指して実施する。

2. 具体的内容

薄膜シリコンなどを用いた太陽電池において、高生産性・高効率化を図る。

(1) 高生産性のテーマでは以下の事項を開発する。

- ・マイクロ波や超高周波等を用いた新しいプラズマ源などの開発により、高品質な微結晶シリコンを高スループットで生産する技術。大面積、高速で製膜する技術、および高速クリーニング技術。

(2) 高効率化のために以下のような新規材料を開発し、モジュール化を行う。

① ワイドギャップ材料

- ・高開放電圧かつ低劣化率で量産可能なワイドギャップ材料およびそれを用いたセルにおける界面制御と欠陥低減技術

② ナローギャップ材料

- ・多接合太陽電池に適したバンドギャップ設計と、それに適合する材料の高品質化
- ・微結晶シリコン：開放電圧の制限要因を明確化、界面バッファ層や粒界制御などによる開放電圧向上（多結晶シリコンレベル）
- ・アモルファスシリコンゲルマニウム：光劣化率の抑制
- ・微結晶シリコンゲルマニウムやゲルマニウム系合金：欠陥密度の低減と価電子制御技術

③ セル化・モジュール化技術

- ・上記のワイドギャップ材料、ナローギャップ材料を用いた多接合太陽電池の最適化
- ・セルの高効率化ならびに、モジュール化における集積化ロス低減技術

3. 目標

(1) 高生産性：下記の①あるいは②いずれかを目標とする。③については①あるいは②を同時に達成することを条件とする。

① 微結晶シリコン薄膜において大面積 4 m^2 、製膜速度 2.5 nm/s 以上で単接合セル効率 8 % 以上かつ効率分布が製膜領域全域にわたって 10 % 以下を得るための要素技術確立

② 10 cm 角以上の基板において製膜速度 10 nm/s 以上で微結晶シリコン単接合セルを製膜し、変換効率 8 % 以上かつ効率分布が製膜領域全域にわたって 10 % 以下

③ 薄膜シリコンのエッチング速度 20 nm/s 以上

なお、高生産性実現において、製膜速度向上以外の手法でも同等と認められる提案は別途協議のうえ判断する。

(2) 高効率化：面積 1000 cm^2 のモジュールで変換効率 15 %（安定化効率）の実現。

ただし、微結晶シリコンを用いる場合には、単基板で製膜速度 2.5 nm/s 相当のスループットにおいて実現するものとする。

また、微結晶シリコン以外の材料を使用する提案は別途協議のうえ判断する。

研究開発項目③「色素増感太陽電池」

1. 研究開発の必要性

色素増感太陽電池は、シリコン材料以外の低コスト材料を用いると共に高真空プロセスなどを使用しない簡便な工程で製造が可能であり、低価格化の可能性が大きい。また、この太陽電池は入射角度が大きい（斜め入射の）光でも発電特性を保つ特長があり、朝・夕の時間帯で大きな発電量が期待できる。また、周囲温度に対する出力の依存性が小さいため、日射量が大きい夏季の発電量を増やすことが可能で、朝・夕の時間帯での発電も合わせて、年間発電量の増大が期待される。

ところが、現時点の変換効率はセルで 11 %、モジュールで 6 %と不十分なレベルに留まっている。また、用いる電解質溶液の揮発に伴い変換効率の低下が生じるなど耐久性に乏しい。

本研究開発は、色素増感太陽電池のセル、モジュールについて変換効率の向上と耐久性の向上を目指して実施する。

2. 具体的内容

色素増感太陽電池において、高効率化と耐久性向上を図り、量産型モジュール製造プロセスを開発する。なお、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から平成 19 年度末に NEDO 技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき個別の研究テーマ毎に継続又は中止の判断を行う。

(1) 高効率化

- ・新規色素開発（非ルテニウム系材料の開発等）、高性能半導体電極の改善、タンデム構造色素太陽電池の開発、等
- ・セル試作・評価を円滑に行うための体制を整備する

(2) モジュール化技術開発・耐久性向上

- ・対極／電解質等の低コスト化・耐久性向上、等
- ・封止構造形成技術等の開発により 30 cm 角程度のサブモジュールを開発し、かつ不揮発性電解質の開発などにより、J I S 規格の環境試験・耐久性試験で耐久性向上を実証する。
- ・半導体電極の低温形成技術、集積構造（集積化ロスの低減）、等の開発

3. 目標

(1) 高効率化

- ・セル（面積 1 cm²）変換効率 15 %以上

(2) モジュール化技術開発・耐久性向上

- ・サブモジュール（30 cm 角程度）で変換効率 8 %、かつ J I S 規格 C 8 9 3 8 の環境試験・耐久性試験（温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験）において相対効率低下 10 %以下を実現する。

研究開発項目④「次世代超薄型シリコン太陽電池」

1. 研究開発の必要性

結晶シリコン太陽電池は、厚さ 200 μm 以上の結晶シリコンを用いるため、シリコン材料のコストが太陽電池全体のコストに占める割合が大きく、低価格化への障害となっている。また、近年の結晶シリコン太陽電池の生産規模の急激な拡大に伴い、シリコン原料の供給不足が顕在化しており、太陽光発電の導入普及への影響が懸念されている。こうした問題を解決するための一つの有効なアプローチは、使用するシリコン基板の厚さを 100 μm レベルまで超薄型化を図ることである。使用するシリコンの量を低減することで太陽電池の製造コストが低下し、またシリコン原料供給の制約も緩和される。

ところが、超薄型結晶シリコン太陽電池の製造工程では、割れや反りが生じることが問題となっており、従来技術の延長線上にない革新的なプロセス技術、ハンドリング技術が必要不可欠と考えられる。

本研究開発は、超薄型結晶シリコン太陽電池の実現に必要な製造技術の確立を目指して実施する。

2. 具体的内容

結晶シリコン太陽電池において、量産時に適用可能な、シリコン基板スライス技術および超薄型セル・モジュール製造技術を開発する。

- ・ スライシングに適した多結晶シリコンインゴットの最適化
- ・ 厚さ 100 μm のスライス技術の選択と最適化（ただし、カーフロス 150 μm 以下）
- ・ スライス後の極薄シリコン基板のハンドリング技術・搬送技術
- ・ 太陽電池形成プロセス（接合形成、不活性化など）の手法・条件の抜本的な見直し（拡散によらない表面側・および裏面の接合形成、プロセス温度の低減、等）と新規手法
- ・ 電極形成工程（厚さ 100 μm 以下のセルに対して印刷電極で反りが生じないことが必要）
- ・ 超薄型シリコンを用いた太陽電池モジュール製造工程の課題抽出と解決のための要素技術開発
- ・ 製造工程におけるシリコン基板および太陽電池の評価・検査技術

3. 目標

研究開発期間 3 年目（平成 20 年度）終了時まで以下に以下の目標を実現したうえで、モジュール製造工程の課題抽出と対応策の検討を行う。

- ・ 単結晶シリコン太陽電池：厚さ 100 μm 、面積 12.5 cm 角相当のセルにおいて、変換効率 21 %
- ・ 多結晶シリコン太陽電池：厚さ 100 μm 、面積 15 cm 角相当のセルにおいて、変換効率 18 %

研究開発項目⑤「有機薄膜太陽電池」

1. 研究開発の必要性

有機薄膜太陽電池は原料にシリコンを使用せず、また高真空プロセスなどを使用しない工程で製造が可能であり、この点から低価格化の可能性が大きい。また、この太陽電池は周囲温度に対する出力の依存性が小さいため、日射量が大きい夏季の発電量を増やすことが可能で、年間発電量の増大が期待される。

しかし、現時点でのセル（面積 1 cm^2 以下）変換効率は 5 %と他のタイプの太陽電池に比べて低く、また大気中での性能低下が生じるなど耐久性に問題がある。本研究開発は、有機薄膜太陽電池の高効率化と耐久性向上を目指して実施する。

2. 具体的内容

高効率化、耐久性向上のため、以下の研究開発を実施する。なお、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から平成 19 年度末に N E D O 技術開発機構によるヒアリング及び外部有識者を含めた評価等に基づき個別の研究テーマ毎に継続又は中止の判断を行う。

(1) 高効率化

- ・ p 型および n 型材料探査、デバイス構造の検討
- ・ 短絡電流向上のための光電変換部分（p n 接合界面等）の増大・新デバイス構造、積層化技術

(2) 耐久性向上

- ・ 大気中における性能劣化の要因を不純物、大気との化学反応の両面から検討し明確化

3. 目標

- ・ セル（面積 1 cm^2 ）変換効率 7 %を実現する。
- ・ 初期変換効率 7%のセルにおいて連続光照射下での大気暴露 100 時間による相対効率低下 10 %以下。

研究開発⑥「次世代技術の探索」

1. 研究開発の必要性

太陽光発電の一層の導入普及を図るためには、発電コストの大幅な低減、太陽電池の変換効率の大幅な向上、太陽光発電システムの長寿命化に寄与する可能性がある新概念太陽電池・次世代技術の探査が必要である。本研究開発はこうした目的で実施する。

2. 具体的内容

従来の概念にとらわれない、新しい材料・構造・製造方法等により大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と考えられる、新しい発想の太陽光発電システムに関する探索的研究を実施する。

課題：

- (1) 高効率化：新概念太陽電池、超高効率太陽電池 等
- (2) 低コスト化：超革新太陽電池用材料、超低価格形成技術 等
- (3) 長寿命化：超耐久材料／構造、新規封止技術 等

3. 目標

2010年以降の太陽光発電研究開発にむけて低価格・高性能・長寿命太陽光発電システム実現のための要素技術を開発し、有望な技術を選択する。

2.1.5 採択案件の研究開発内容

採択した研究開発テーマ、開発目標、研究内容は以下のとおり。

表.4 研究開発項目(イ)「CIS系薄膜太陽電池」

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	達成目標	その他
1	18～19	アクティブソースによるCIGS太陽電池の高効率化技術研究開発	東京工業大学	アクティブソース(Gaイオン化等)を用いたワイドバンドギャップCIGS薄膜の高品質化およびこの膜に適したn型Zn _{1-x} Mg _x O薄膜の開発によりCIGS太陽電池の高効率化を行う。	サブモジュール変換効率18% (10cm角程度)	
2	18～19	セレン化／硫化法によるCIS系薄膜太陽電池の高効率化技術研究開発	昭和シェル石油(株)	セレン化・硫化法を用いた太陽電池モジュール作製法において、製膜プロセスの最適化、Naドーピング制御技術開発、バッファ層製膜法開発、高移動度透明導電膜の開発等を行うことで、30cm×30cmサブモジュールにおける高効率化を行う。	30cm角サブモジュールで変換効率16%	
3	18～21	大面積CIGS太陽電池の高性能化技術の研究開発→CIGS太陽電池の高性能化技術の研究開発	(独)産業技術総合研究所、筑波大学、鹿児島大学	小面積セルで実証されている高効率CIGS太陽電池プロセスを基にして、それを大面積化する技術を確立する。 光吸収層の電気伝導性の制御技術、界面・表面・粒界の制御技術を開発し、さらなる高効率化の検討も行う。 また、フレキシブルCIGS太陽電池の高効率化技術も併せて開発する。	10cm角の集積型CIGSモジュールで変換効率18%	(中間評価後の目標) 10cm角の集積型CIGSモジュールで変換効率18% フレキシブル基板を用いた10cm角のCIGS太陽電池で変換効率16%
4	18	光励起プロ	青山学院	レーザーを用いた光励起プロ	軽量基板上の	(中間評価後)

	～ 21	セスを応用した高効率 CIGS 薄膜太陽電池	大学	セス等により CIGS 太陽電池の高品質化を兼ね備えた低温化プロセスを開発する。これにより軽量基板を用いた CIGS 太陽電池モジュールを開発する。	CIGS サブモジュール (10cm 角程度) で変換効率 16%	の目標) 軽量基板上の CIGS サブモジュール (4cm 角程度) で変換効率 17%
--	---------	------------------------	----	--	-----------------------------------	---

表.5 研究開発項目(ロ)「薄膜シリコン太陽電池」

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	達成目標	その他
5	18 ～ 19	薄膜シリコン太陽電池の高生産性製造技術開発	三洋電機(株)	高生産性と高効率化の両立を図るため、局在プラズマ CVD 技術を用い、面積対応性、高速製膜、高品質製膜等の特長を実証し、変換効率との相関を見極め、量産技術課題を明らかにする。	変換効率 9%, かつ効率分布 10%。 (60cm 角級基板、製膜速度 3nm/s の微結晶シリコン薄膜にて)	
6	18 ～ 21	高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発→高電圧型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発	(株)カネカ	高効率化を実現するために、3 接合以上の多接合薄膜シリコン太陽電池の開発を行う。ナノ構造制御層形成技術の開発、単位セルの特性向上、多接合薄膜シリコン太陽電池の設計技術開発を通して、ミニモジュールの高効率化を実現する。	安定化効率 16% 以上。 (10cm 角ミニモジュール、製膜速度 2.5nm/s または膜厚を大幅削減した薄膜微結晶シリコンにて)	
7	18 ～ 21	大面積/高効率多接合薄膜シリコン太陽電池の高生産製膜技術開発→高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発(トップセルおよびミドルセル)	三菱重工業(株)	多接合型太陽電池の高効率化として、ボトムセルの長波長吸収特性向上、ミドルセルの高電圧化、光劣化を抑制したトップセルの開発を行う。高生産性として、高速・大面積製膜、装置稼働率向上、電極形状最適化および検証試験を実施し、原理実証を行う。この結果を基に大型プラズマ CVD 装置の設計・製作、製膜試験を実施し、大面積微結晶 Si 製膜技術開発を行う。	安定化効率 15% 以上。 (モジュール面積 1000 cm ² 、製膜速度 2.5nm/s の微結晶薄膜シリコン膜にて) 大面積 4m ² 基板、製膜速度 1.0nm/s 以上、かつ膜厚分布 15% 以内、製膜速度 2.5nm/s 以上の目標。 (微結晶シリコン薄膜にて)	(中間評価後の目標) トップ: a-Si 単接合で安定化効率 10% 以上、ミドル: 微結晶 Si 単接合で V _{oc} 560mV 以上。製膜速度 2.5nm/s の微結晶薄膜シリコンを含む面積 1 cm ² 、の 3 接合セルで安定化効率 15% 以上、且つ面積 1cm ² の微結晶 SiGe 単接合セルで J _{sc} 35mA/cm ² 。
8	18 ～ 19	高生産性フィルム基板薄膜シリコン太陽電池の研究開発	富士電機アドバンステクノロジー(株)	フィルム基板太陽電池に適した高密度プラズマ CVD 法を選定し、フィルム基板上に微結晶シリコン膜を形成する。フィルム基板上に微結晶シリコン太陽電池を製膜するための搬送・加工・評価技術を開発する。	1m 幅のフィルム単接合セル効率 8% 以上かつ効率分布 10 % 以下。 (フィルム基板上で 0.9m 幅の有効領域、製膜速度 2.5nm/s 以上にて)	
9	18 ～ 21	薄膜シリコン太陽電池の高効率化	(独)産業技術総合研究所、	アモルファスシリコントップセル、高安定高電圧ミドルセル、高赤外感度ボトムセルか	安定化効率 16% (1cm ² の 3 接合太陽電池にて)	(中間評価後の目標) トップ: a-Si

		と高速堆積技術の研究開発→高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発（ボトムセル）	名古屋大学	らなる 3 接合太陽電池の高い安定化効率を実現するとともに、チャンバークリーニング技術の原理実証を行う。さらに、マイクロ波プラズマ CVD 法ならびにマルチホローカソードプラズマ CVD 法を用いた微結晶シリコン膜の超大面積・高速堆積技術を開発する。	エッチング速度 20nm/s 以上（フッ素ガスによるチャンバークリーニング時、面積 1000 cm ² 以上） 面積 2m ² で微結晶シリコン堆積速度 2.5 nm/s 以上、膜厚不均一性 10%以下、単接合セル効率 8%以上、多接合セル効率 11%以上、チャンバークリーニング時のエッチング速度 10nm/s 以上（マイクロ波プラズマ CVD 法にて）。 10 cm 角で微結晶シリコン堆積速度 10 nm/s 以上、単接合セル効率 8%以上、効率分布 10%以下（マルチホローカソードプラズマ CVD 法にて）	単接合で安定化効率 10%以上、ミドル：微結晶 Si 単接合で V _{oc} 560mV 以上。製膜速度 2.5nm/s の微結晶薄膜シリコンを含む面積 1 cm ² 、の 3 接合セルで安定化効率 15%以上、且つ面積 1cm ² の微結晶 SiGe 単接合セルで J _{sc} 35mA/cm ² 。
--	--	--	-------	---	--	---

表.6 研究開発項目(ハ)「色素増感太陽電池」

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	達成目標	その他
10	18 ～ 21	高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発	東京理科大学、(株)フジクラ	30cm 角程度まで大型化した色素増感太陽電池で、発電受光部の開口率が高く、印刷法で構築可能なセル、およびモジュール構造を設計する。その際、耐久性低下の主な原因である電解質の飛散、水分の浸入を抑止する封止方法、外装パッケージ形状なども考慮に入れて設計を行う。このような設計のもと、低コストで再現性の高い印刷成膜技術を用いて、変換効率と耐久性の向上を両立したサブモジュールを試作する。	10 cm × 30cm 程度のサイズで変換効率 5%以上のサブモジュールで、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する。	(中間評価後の目標) 電流収集型サブモジュール (30 cm 角程度) で変換効率 8 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10 %以下を実現する。
11	18 ～ 21	高効率・集積型色素増感太陽電池モジュールの研究開発	シャープ(株)、(独)産業技術総合研究所	色素増感太陽電池の要素技術の開発において、高効率化技術、モジュール化技術、信頼性向上技術の研究開発を行い、面積 1cm ² の試作セルで効率 13%を達成する。また、5cm 角の集積型色素増感太陽電池モジュールで変換効率 8%を達成し、同時に、JIS 規	面積 1cm ² の試作セルで効率 13%を達成する。5cm 角の集積型モジュールで変換効率 8%を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を	(中間評価後の目標) 電圧集積型サブモジュール (15 cm 角程度) で変換効率 8 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において

				格 C8938 における耐久性を実証する。	評価する。	相対効率低下 10%以下を実現する。 ・小面積セル (1cm ²) 変換効率 15%以上の指針を得る。
12	18 ～ 19	色素増感太陽電池の高発電量化技術の研究開発	(財)電力中央研究所	色素増感太陽電池の性能特性を活かして、実使用時に高い年間発電電力量を得る設置利用の指針を示すことを目的とする。実使用時における電池環境データの取得・分析、色素増感太陽電池の性能特性の抽出、色素増感太陽電池の性能特性を活かした利用形態の検討の研究を行う。	実使用時に高い年間発電電力量を得ることかできる設置利用形態を明らかにし、幅広く導入・普及が可能となる色素増感太陽電池開発に資する。	
13	18 ～ 21	ナノ構造酸化亜鉛電析膜を用いる有機色素増感太陽電池の研究開発	岐阜大学、(株)ケミクレア、(株)積水樹脂技術研究所	立体電極と二層色素吸着層からなるハイブリッド太陽電池を作製し、広帯域の太陽光を有効に電流に変換することを目的に、従来色素の利用に加え、長波長吸収色素を開発することにより、900nm以下の光を吸収し光電変換する。さらに2種の色素を吸着させるため、吸着状態が制御できる表面改質技術を開発し、目標の5mm角の試作セルで効率12.5%に資する技術開発を行う。	面積1cm ² の試作セルで変換効率10%を達成する。10cm角のプラスチック色素増感太陽電池モジュールで変換効率3%を達成し、同時に、JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験を評価する。	(中間評価後の目標) ・プラスチック(樹脂基材)樹脂基材を用いたサブモジュールで変換効率6%、かつJIS規格C8938の環境試験・耐久性試験において相対効率低下10%以下を実現する。 ・プラスチック(樹脂基材)を用いた小面積セル(1cm ²)変換効率12%以上を目標とする。
14	18 ～ 21	立体的多層構造を有するハイブリッド色素増感太陽電池の研究開発	九州工業大学、新日鐵化学(株)	立体電極と二層色素吸着層からなるハイブリッド太陽電池を作製し、広帯域の太陽光を有効に電流に変換することを目的に、従来色素の利用に加え、長波長吸収色素を開発することにより、900nm以下の光を吸収し光電変換する。さらに2種の色素を吸着させるため、吸着状態が制御できる表面改質技術を開発し、目標の5mm角の試作セルで効率12.5%に資する技術開発を行う。	5mm角の試作セルで効率12.5%を達成する。	(中間評価後の目標) ハイブリッド色素増感太陽電池の小面積セル(1cm ²)で変換効率15%以上を目標とする。
15	18 ～ 21	費用効果に秀でた高耐久色素増感太陽電池の研究開発	大阪大学、東洋製罐(株)、関西パイプ工業(株)	高性能アルミ基材アノード電極の開発として、多孔質酸化チタン薄膜の形成出来る酸化チタンペースト組成や薄膜形成法、耐食性および逆電子防止の性能を併せ持つアルミ表面処理膜を検討し、封止セル(25cm ² 以上)で変換効率4%以上を達成し、JIS規格	面積25cm ² 以上の試作モジュールで変換効率4%以上を達成し、同時に、JIS規格C8938の環境試験・耐久性試験を評価する。	(中間評価後の目標) 金属基材を用いた15cm角程度のサブモジュールで変換効率8%、かつJIS規格C8938の環境試験・耐久

				C8938 における耐久性を実証する。また、高耐久性を目指した透明な固体ホール伝導系の開発等を行う。		性試験において相対効率低下 10%以下を実現する。
16	18 ～ 19	タンデム構造色素増感太陽電池の研究開発	信州大学、コーア(株)、保土谷化学工業(株)	波長約 700nm 以下の太陽光を用いて発電する第 1 電極と波長約 700nm から 900nm までを利用する第 2 電極を用いるタンデム型色素増感太陽電池を開発する。その電氣的接合方式により分けられる 3 種類のタンデムセルと、長波長応答色素を開発する。最終年度には面積 0.25cm ² の試作セルで効率 12.5%を達成する。	面積 0.25cm ² の試作セルで効率 12.5%を達成する。	

表.7 研究開発項目(二)「次世代超薄型シリコン太陽電池」

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	達成目標	その他
17	18 ～ 21	新構造超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発	京セラ(株)	効率 18%を目指した板厚 100 μ m の超薄型多結晶シリコン太陽電池の生産技術を開発する。また受光面積増加のため電極を裏面に形成したバックコンタクト構造のセル化プロセス、裏面再結合速度低減セルの開発、及び超薄型セルを用いたモジュール化技術の課題検討を行う。	厚さ 100 μ m、面積 15cm 角相当の多結晶シリコン太陽電池セルで、平成 20 年度末にセル変換効率 18%の達成、及び平成 21 年度末までに超薄型セルを用いたモジュール化技術の課題把握	
18	18 ～ 21	未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発	三菱電機(株)、東京工業大学	シリコンインゴットのスライス技術として、放電加工による基板厚さ 100 μ m、切り代 150 μ m 以下のスライス技術の開発、及び超薄型多結晶シリコンセルの高効率化として、低反射テクスチャー構造、裏面ポイントコンタクト構造、パッシベーション膜によるセル製造技術の開発を行う。また東京工業大学では、パッシベーション技術(欠陥不活性化)を開発する。	<ul style="list-style-type: none"> 三菱電機 厚さ 100μm、面積 15cm 角相当基板をカーブロス 150μm 以下でスライスして形成する技術の確立、及び東京工業大学が開発するパッシベーション技術と組み合わせて、基板厚さ 100μm、面積 15cm 角相当の多結晶シリコンセルにおいて変換効率 18%の実現 東京工業大学 基板厚さ 100μm、面積 10cm 角相当の多結晶シリコン太陽電池セルで変換効率 18%の達成 	(中間評価後の目標) 基板厚さ 100 μ m、面積 15cm 角相当の多結晶シリコンセルにおいて変換効率 18%を実現し、超薄型セルを用いたモジュール化技術の課題把握する。

19	18 ～ 20	超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池の研究開発	(独)産業技術総合研究所、トーヨーエイテック(株)	プラズマ加工による基板厚さ100 μ m、切り代100 μ m以下のスライス要素技術の開発、a-Si 薄膜などを用いた単結晶ヘテロ接合太陽電池の開発、及び多結晶超薄型太陽電池の高効率化のためのプラズマレスドライプロセスによる表面テクスチャー形成技術、ヘテロ構造導入技術の開発を行う。	①インゴット(単結晶:12.5cm 角,多結晶:15cm 角)をスライス速度10 μ m/s、ウエハ厚さ100 μ m以下、カーブロス100 μ m以下でプラズマスライスする技術の確立 ②n型単結晶シリコン基板(厚さ100 μ m、12.5cm 角)を用いたヘテロ接合型太陽電池において変換効率21%を達成し、本技術のp型基板への適用に関する指針を得る ③多結晶シリコン基板(厚さ100 μ m、15cm 角)を用いた多結晶界面制御型太陽電池において、変換効率18%の達成	
20	18 ～ 19	n型多結晶シリコン製造技術の研究開発	(株)第一機電	高品質n型多結晶シリコンインゴット製造技術の開発、生産用大型炉への適用技術(シミュレーションなど)の開発を行う。また再委託先により、多結晶インゴットの品質評価を行う。	大型凝固炉を用いて製作したn型多結晶シリコン基板で、平均少数キャリア寿命が0.5ms以上	
21	18 ～ 21	次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発	シャープ(株)、東北大学、(株)日平トヤマ、岡山大学、PVTEC	シャープは、超薄型多結晶シリコンセルの高効率化として、基板表面形状・裏面反射層構造の検討、パッシベーション技術、低負荷セルプロセスの開発、超薄型セルのモジュール製造工程の課題検討を行う。東北大学では、デンドライト利用キャスト成長法による高品質・高均質多結晶インゴット作製技術の開発、日平トヤマでは、マルチワイヤーソーによる基板厚さ100 μ m、切り代150 μ m以下のスライス技術の開発、岡山大学では、放電加工による基板厚さ100 μ m、切り代150 μ m以下のスライス技術の開発を行う。	・シャープ(株)基板厚さ100 μ m、サイズ150mm 角の多結晶シリコンセルにおいて変換効率18%の実現、平成21年度までに超薄型セルを用いたモジュール製造工程の課題抽出と対応策の検討 ・東北大学デンドライト利用キャスト方法を用いて作製したシリコンバルク多結晶が、高品質・高均質である原因を解明し、さらに太陽電池特性が通常のキャスト法バルク多結晶に比べて優	(中間評価後の目標) ・シャープ(株)基板厚さ100 μ m、サイズ150mm 角の多結晶シリコンセルにおいて変換効率18%の実現、平成21年度までに超薄型セルを用いたモジュール製造工程の課題抽出と対応策の検討 ・東北大学デンドライト利用キャスト方法を用いて作製したシリコンバルク多結晶が、高品質・高均質である原因を解

					<p>れている原因の把握、及びデンドライト成長機構の基礎的な解明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(株)日平トヤマ 面積 15cm 角相当の多結晶シリコン基板を厚さ 100μm 程度、切り代 150 μm 以下でスライスする技術の実証及びスライス後の基板洗浄における基板割れ対策立案 ・岡山大学 面積 15cm 角相当、比抵抗数 $\Omega \cdot \text{cm}$ の多結晶シリコンインゴットを切り代 100 μm 程度で厚さ 100μm 級の基板にマルチ加工でスライスする技術の確立 	<p>明し、さらに太陽電池特性が通常のキャスト法バルク多結晶に比べて優れている原因の把握、及びデンドライト成長機構の基礎的な解明</p>
22	18 ～ 19	<p>低コスト原料を使用したロバスト多結晶シリコン製造技術の研究開発</p>	<p>豊田工業大学、九州大学、明治大学</p>	<p>豊田工業大学は、不純物が多い低コストシリコン原料を用いて、不純物の偏析により多結晶インゴットの高純度化、及び薄型基板の破損低減のため残留応力緩和を目指したインゴット結晶成長技術の開発を行う。九州大学は、結晶成長時の応力分布の定量的予想が可能なダイナミックシミュレータの開発、明治大学は、インゴット品質評価を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・豊田工業大学 太陽電池級(VLD法等)シリコン原料を用いて平均ライフタイム 100 μ sec 以上、金属級シリコンと太陽電池級(VLD 法等)シリコンの中間程度(金属級シリコン重量分率 30%以上)の原料を用いて平均ライフタイム 30 μ sec 以上となる成長技術の確立 ・九州大学 低品位原料を用いても結晶内の残留応力を低減するインゴット成長プロセスの提案を行う ・明治大学 高ライフタイム結晶成長の指針を得る 	

表.8 研究開発項目(ホ)「有機薄膜太陽電池」

No.	開発期間	テーマ名	委託先	テーマ概要	達成目標	その他
23	18～21	タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発	(独) 産業技術総合研究所、松下電工(株)	有機薄膜太陽電池の高効率化のための研究開発を、低分子系と高分子系とを並行して推進し、面積 1cm ² のセルで変換効率 5% を達成する。また、高効率化のために試作したセルの劣化特性の解析・評価により、劣化をもたらす要因を解明し、大気暴露・連続光照射下での効率低下を抑制する。	初期変換効率 5% の試作セルにおいて、連続光照射下での大気暴露試験を行う。	(中間評価後の目標) 小面積セル (1cm ²) で変換効率 7% を実現し、同時に連続光照射下での大気暴露 100 時間による相対効率低下 10% 以下を実現する。
24	18～19	高耐久性を有する大面積有機薄膜太陽電池の研究開発	金沢大学、小松精練(株)	界面修飾や有機分子の配向制御等の要素技術を開発することで、高効率化を図り、同時に大気暴露・連続光照射下での効率低下を抑制する。また、有機 EL 用密着型封止技術を適用することで、高温恒湿耐久性向上を検討する。	1cm ² の試作セルで変換効率 5% 以上を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露試験を行う。	
25	18～19	ネットワーク構造を有する高性能有機薄膜太陽電池の研究開発	名古屋工業大学	ドナーアクセプターネットワーク構造を有する有機薄膜太陽電池において、誘導体の合成、ネットワーク薄膜の形成、薄膜作製法の開発を行い、制御されたネットワーク構造を有する有機薄膜をデザインし、製造することにより、高効率化を図り、同時に大気暴露・連続光照射下での効率低下を抑制する。	1cm ² の試作セルで変換効率 5% 以上を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露試験を行う。	
26	18～21	超階層ナノ構造を有する高効率有機薄膜太陽電池の研究開発	京都大学、新日本石油(株)	有機薄膜太陽電池のデバイス構造の開発において、短絡電流密度と開放電圧の向上を目的に、電子輸送層 (ETL) 材料、活性層 (LAL) 材料、ホール輸送層 (HTL) 材料の探索を中心に、高分子タンデムセル、低分子タンデムセル、および超階層ナノ構造セルの開発を行う。	0.25cm ² の試作セルで 7% を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露試験を行う。	(中間評価後の目標) 有機薄膜太陽電池の小面積セル (1cm ²) で変換効率 7% を実現し、同時に連続光照射下での大気暴露 100 時間による相対効率低下 10% 以下を実現する。

表.9 研究開発項目(ヘ)「次世代技術の探索」

No.	開発期間	テーマ名	委託先又は助成先	テーマ概要	達成目標	その他
27	18～19	超高効率多接合型太陽電池の研究開発	シャープ(株)、大同特殊鋼(株)、大同メタル工業(株)	化合物半導体を用いた 3 接合最適構造により 1000 倍集光に適した超高効率多接合太陽電池を開発する。また、これと 1000 倍集光に対応したレンズ・モジュールを設計、最適化することで 1000 倍集光モジュールを作製のための基本	効率 45% の超高効率太陽電池、集光効率 85% を達成し、モジュール効率 36% を実現	

				技術を確立する。		
28	18 ～ 21	スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空 CIS 太陽電池の製造技術開発	龍谷大学、東京工業大学	メカノケミカルプロセスで作製した CIGS 光吸収材料を元に、スクリーン印刷/焼結法で超低コストな CIGS 太陽電池作製プロセスの研究開発を行う。	スクリーン印刷/焼結法による超低コスト非真空プロセスにより変換効率 13%	
29	18 ～ 19	超高効率太陽電池の研究開発(窒化インジウム系)	福井大学、筑波大学、豊田工業大学	新規な材料を用いた超高効率な太陽電池の実現に向けた研究開発を行う。窒化インジウム系材料による多接合太陽電池の実現に向けた研究開発、従来の GaAs 系 3 接合超高効率太陽電池の 1eV 帯の改善による更なる高効率化の研究開発、量子構造を利用した次世代超高効率太陽電池の研究開発を行う。	①InGaN 混晶単一接合セルで変換効率 10%(In 組成 0.2～0.5)、3%(InN、In リッチ組成)、② InGaAsN(Sb)単接合セルで変換効率 15%、量子ドット超格子型太陽電池で変換効率 15%、③CBE 成膜 GaAsN 材料を用いた単接合太陽電池で変換効率 15%	
30	18 ～ 19	同時蒸着法による超高品質 CZTS 光吸収層の研究開発	長岡工業高等専門学校	稀少元素であるインジウムや毒性を持つセレンを使用しない材料として CZTS に着目し、太陽電池への実現可能性について見極める。本テーマでは MBE 法により高品質な CZTS 材料の形成を行い、未知部分の多い材料物性を把握していくと同時に高効率化への課題を明らかにする。	変換効率 8%	
31	18 ～ 21	革新的光吸収層を有する未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発→未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発	東京工業大学	PV2030 目標値をトリプル接合シリコン系薄膜太陽電池で達成するため、革新的な光吸収層を開発する。具体的には、ワイドギャップ・プロトクリスタル SiO ₂ 、SiC トップセルの開発と、超薄膜型 GeC ボトムセルの開発、第 3 世代 Si/SiC 系ナノクリスタルの開発を行う。	トップセルで開放電圧 1.1V 以上。GeC ボトムセルで短絡電流 15mA/cm ² 。禁制帯幅 1.1～1.4eV の Si/SiC ナノクリスタル・シングルセルで変換効率 5%以上。	(中間評価後の目標) a-Si あるいは a-SiC トップセルで開放電圧 1.1V 以上。
32	18 ～ 19	ナノ構造光閉じ込め基板を用いた薄膜シリコン太陽電池の研究開発	大阪大学	2020 年における発電コスト達成に必要な大幅な高性能化に関する要素技術の確立として、ナノ構造光閉じ込め基板を開発し、光電流増倍と開放電圧増加を両立させる技術を開発する。	協業企業作製の微結晶シリコン太陽電池単接合セル変換効率が、従来基板上のセルに比して絶対値で+3%となること。	
33	18 ～ 21	微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合薄膜シリコン系太陽電池の研究開発→微結晶 3C-SiC	岐阜大学	2020 年における発電コスト達成に必要な大幅な高性能化に関する要素技術の確立として、高性能な微結晶 3C-SiC 薄膜ヘテロ接合形成要素技術と、タンデムセル用透明中間層等の太陽電池形成技術を開発し、高い開放電圧と高変換効率を達成する。	タンデム型太陽電池変換効率 15%、65% 以上の Fill Factor。白色光照射および分光-近接場顕微鏡の確立とタンデム型特性の改善点を明確化。	(中間評価後の目標) 微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたタンデム型ヘテロ接合太陽電池形成の要素技術の確立。開放電圧 1.54V 以上、短

		C 薄膜を用いた薄膜シリコン系太陽電池の研究開発				絡電流 14mA/cm ² 以上、フィルファクター 0.7 以上(個々に達成)。
34	18 ～ 19	瞬間熱処理法で作製した多結晶シリコン薄膜太陽電池の研究開発	北陸先端科学技術大学院大学	PV2030 セル目標を達成するための要素技術として、Cat-CVD 法による a-Si 膜に、フラッシュ・ランプ瞬間熱処理を施して多結晶シリコン化を行い、高圧水蒸気熱処理を行って薄膜太陽電池用多結晶シリコン膜の高品質化を図る。また、最適な太陽電池構造を決定する。	セル変換効率 15% 以上。	
35	18 ～ 21	アモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池の研究開発	京セラ(株)、東京大学	アモルファスシリコン太陽電池作製技術を用いてアモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池を開発することにより、有機系太陽電池単体での低い変換効率のブレイクスルーを目指す。この構造にすることで短波長の光をアモルファスシリコン太陽電池で吸収させ、色素または有機材料の光劣化を防ぎ耐久性を向上させることが出来る。また封止にセラミックパッケージで使用している無機材料を中心に検討を行い、有機系太陽電池を強力に封止することで、高信頼性モジュールの目標を達成する	アモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池において、1cm 角の試作セルで変換効率 12% 以上を達成する。5cm 角モジュールで変換効率 8% 以上を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する。	(中間評価後の目標) 10cm 角程度のアモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池サブモジュールで変換効率 12%、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10% 以下を実現する。
36	18 ～ 19	高耐久性プラスチック色素増感太陽電池の研究開発	ペクセル・テクノロジーズ(株)、藤森工業(株)	低コストで量産できるフレキシブルなプラスチック色素増感太陽電池を低温成膜法と電極材料の改良等によって高効率化し、変換効率を 8% 以上に高め、JIS 規格 C8938 に準じた耐久性試験によって高温高湿保存等と連続光照射に対する高い耐久性を実証する。	10cm 角のプラスチック色素増感太陽電池モジュールで変換効率 6% 以上を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する。	
37	18 ～ 19	Si 融液からの LPE 成長法を用いた高効率太陽電池の研究開発	東北大学	熱平衡に近い Si 融液からの LPE 成長による高品質な Si 薄膜結晶の成長技術を開発する。Si 薄膜結晶/メタラジカル Si 基板のヘテロ構造を作製し、効率 15% の太陽電池を試作する。	メタラジカル Si などの低品位・低コストの結晶原料を用いて単結晶基板を作製し、上記の技術をベースに高品質 Si 薄膜結晶/メタラジカル Si 基板のヘテロ構造を実現し、低コストで高品質な Si 薄膜結晶を用いた高効率薄膜太陽電池を実現する。(目標変換効率: セル面積 1cm ² で 15% 以	

					上)	
38	19 ～ 21	省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発	(独) 産業技術総合研究所	下記の方法により低コスト・低環境負荷な新しい材料及び太陽電池を開発する。 ①近赤外光の感度を高めたフォトニックシリコン太陽電池を実現する。 ②構造制御ナノロッドを導入してキャリア輸送特性や光吸収特性の向上による有機太陽電池の高効率化・省資源化を実現する。 ③インジウムやモリブデン等の材料使用量を低減する低コスト太陽電池の開発を行う。	フォトニックシリコン薄膜太陽電池で効率 10%を達成する。②新規の有機太陽電池において変換効率 15%を達成する。③インジウム使用量 1/4 以下、モリブデンの使用量 1/3 以下で変換効率 15%以上の CIGS 太陽電池を実現する。④GaPN 単接合太陽電池で少数キャリア拡散長 0.1 μm(変換効率 1.7%)を実現する。	(中間評価後の目標) ①フォトニックシリコン太陽電池の光閉じ込め効果により近赤外域(800nm 以上)感度を 50%向上し、リファレンスセルに対して短絡電流 35%の向上と変換効率 20%の向上を達成する。 ②非 Ru 有機色素の開発に集中し、従来の有機色素 MK-2 に比べてモル吸光係数を 30%以上増大させ、最終的に単一有機色素を用いた太陽電池の光電流値を 20%改善する。同時に従来値 0.7V (MK-2) と同等またはそれ以上の開放電圧を得る。 ③インジウム使用量 1/4 以下、モリブデンの使用量 1/2 以下で変換効率 15%以上の CIGS 太陽電池を実現する。
39	19 ～ 20	触媒反応を利用したシリコンのスライシングおよび表面処理技術の研究開発	大阪大学	触媒反応および電気化学反応を利用した新規なウエットプロセスにより、①低コストの低反射テクスチャ表面の形成技術の研究開発および②シリコンインゴットのカーフロス 80 μm 以下のスライシング技術の研究開発を行う。	① 4 cm ² 程度のセルにおいて、AR コートを施した上で、従来基板(アルカリ処理)と比べて 7%以上の変換効率の向上を実現する。 ② 10 cm ² のインゴットに対し、カーフ幅 80 μm 以下での複数の並列スライシングを切断速度 5 mm/h 以上で実現する。	

2.2 研究開発の実施体制

本研究開発を実施するための基本計画については、平成 17 年 7 月、11 月および平成 18 年 2 月に外部有識者による太陽光発電技術委員会においてその方向性を審議し、平成 18 年 3 月に策定された。

本研究開発は、NEDO が選定する企業、大学、民間研究機関、あるいは独立行政法人等（以下、「委託先」という。）が、NEDO と委託研究契約を締結し実施した。

各年度に実施した公募の状況は以下のとおりである。

(1) 平成 18 年度：「太陽光発電システム未来技術研究開発」に関する公募

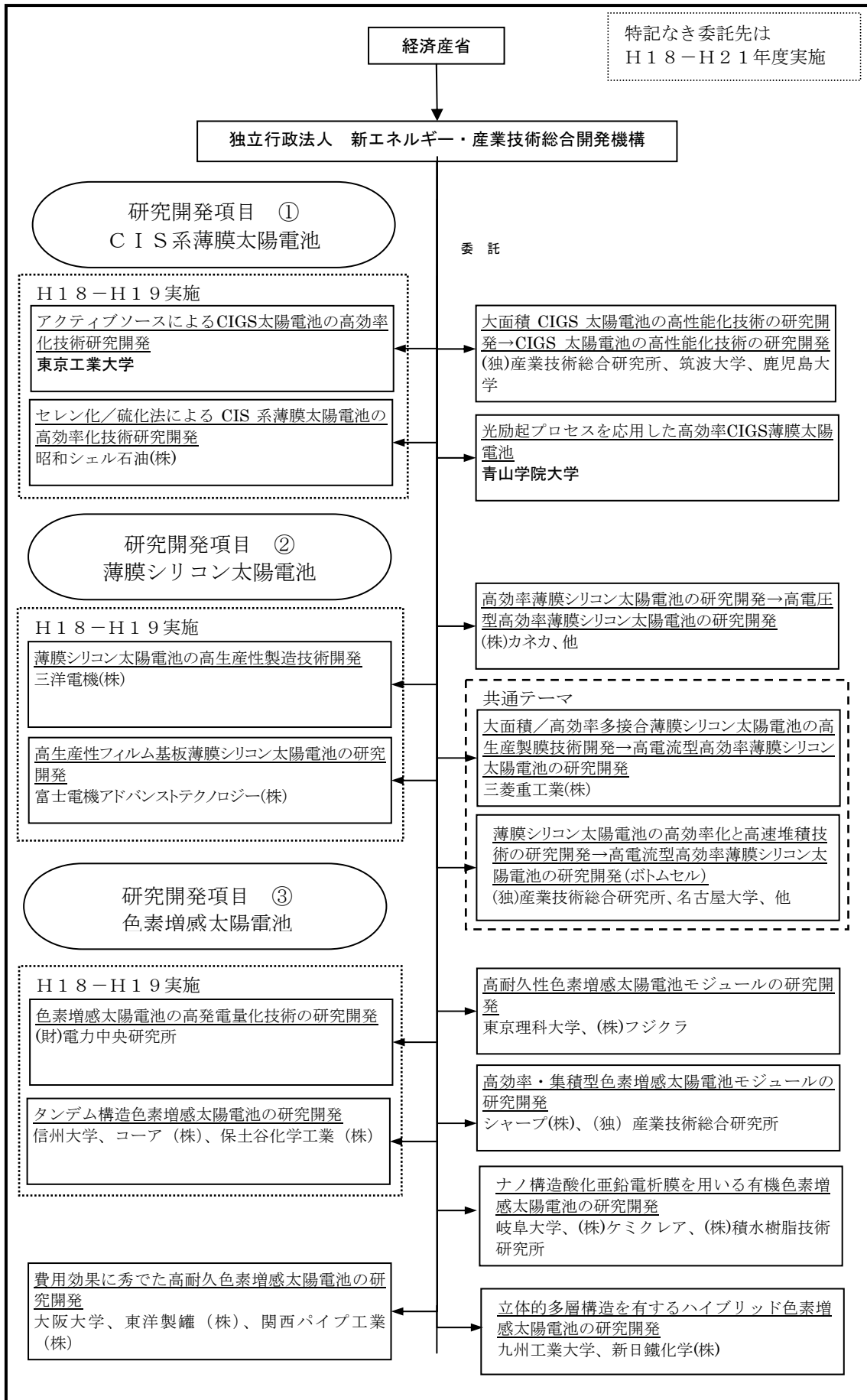
- ・公募期間：平成 18 年 3 月 15 日から 5 月 8 日
- ・審査項目・基準
 - 1) 開発の最終目標は、本事業の目標値に対応して妥当かつ明確であるか。
 - 2) 開発計画は、中間目標・最終目標まで実現可能なスケジュールであるか。また提案の要件を満たす計画となっているか。
 - 3) 開発内容は、技術的に優れたものであるか。また新規性があるか。
 - 4) 開発内容は、実現したときのインパクトが大きいか。
 - 5) 実施体制は、効果的な開発が期待できるか。
- ・審査委員会委員（敬称略）：
高橋 清（東京工大名誉教授）、西野 種夫（神戸大名誉教授）、冬木 隆（奈良先端科学技術大学院大学教授）、松波 弘之（(独)科学技術振興機構研究成果活用プラザ京都館長）
- ・応募件数：55 件
- ・採択件数：37 件

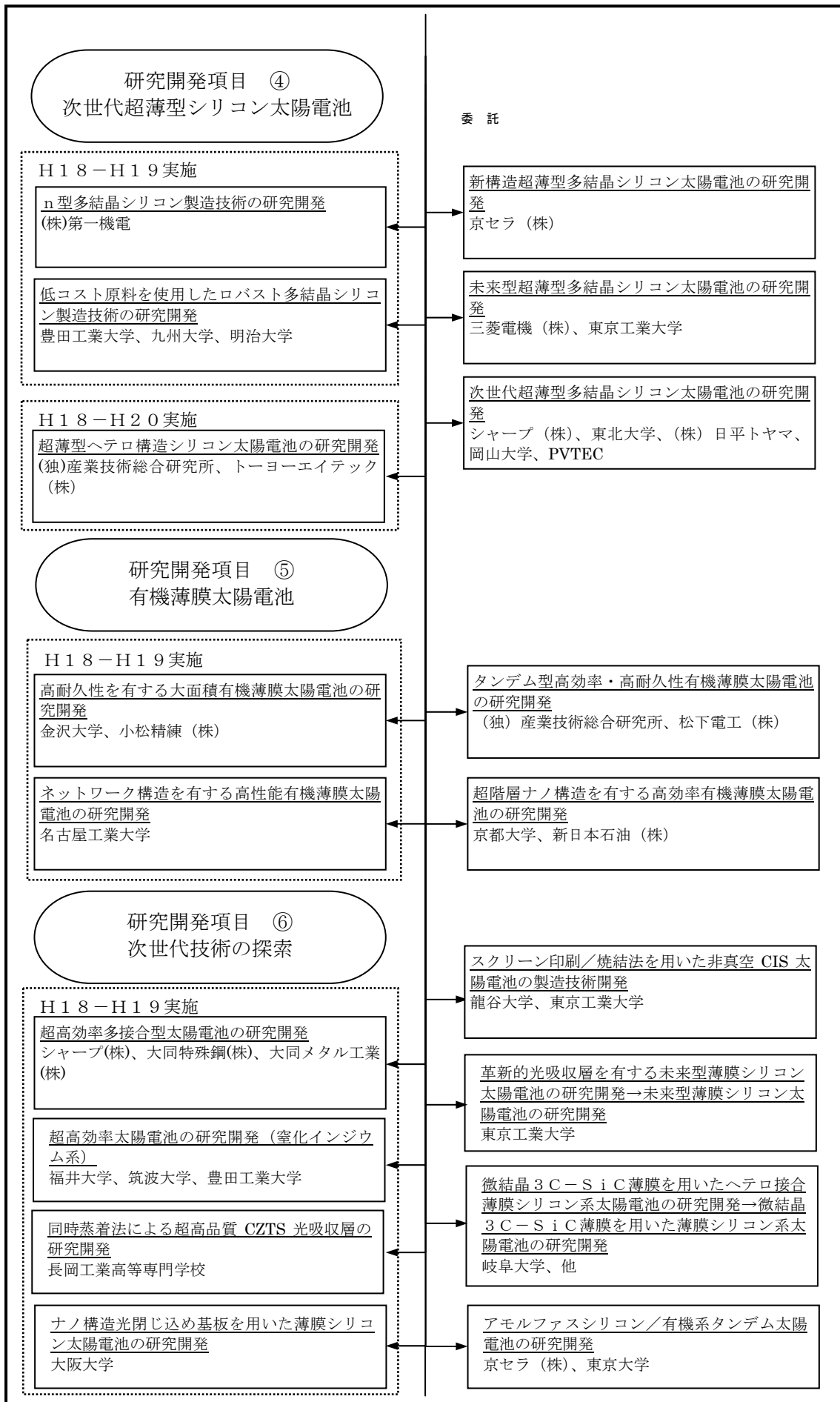
(2) 平成 19 年度：「太陽光発電システム未来技術研究開発」に関する追加公募

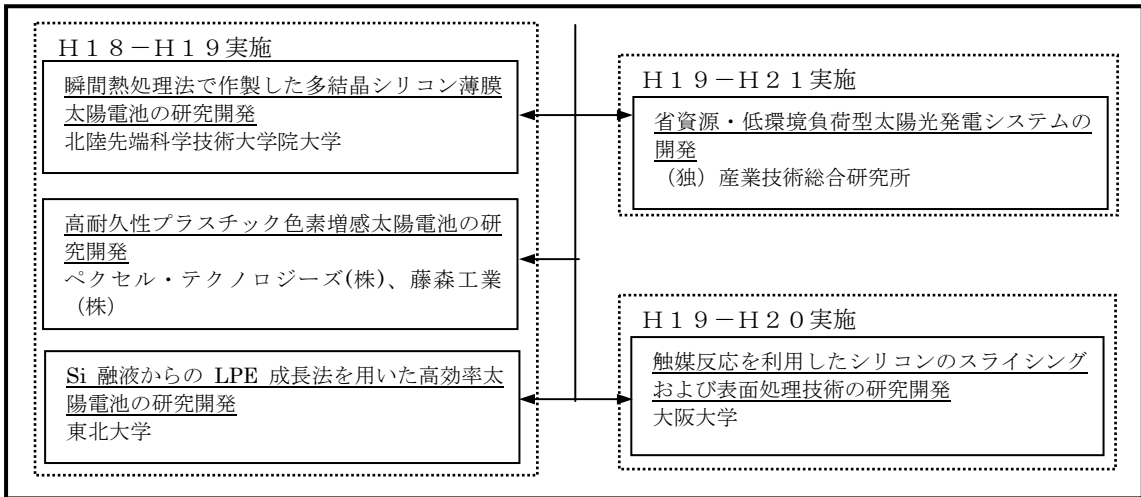
- ・公募期間：平成 19 年 3 月 16 日から 4 月 16 日
- ・審査項目・基準
（実施中のテーマ領域の重複、開発の経済性、経営基盤なども考慮した上で）
 - 1) 提案内容が基本計画の目的、目標に合致しているか。
 - 2) 提案された方法に新規性があり、技術的に優れているか。
 - 3) 提案内容・研究計画は実現可能か（技術的可能性、計画、中間目標の妥当性等）
 - 4) 応募者は本研究開発を遂行するための高い能力を有するか。
 - 5) 応募者が当該研究開発を行うことにより国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか
- ・審査委員会委員（敬称略）：
高橋 清（東京工大名誉教授）、工藤 一浩（千葉大教授）、秀 一郎（エア・ウォーター(株)室長）、藤岡 洋（東京大教授）、益永 茂樹（横浜国大教授）
- ・応募件数：21 件
- ・採択件数：2 件

研究開発の実施体制を図 1 に示す。

図 1. 実施体制







2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権をもつ NEDO は、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。また NEDO 新エネルギー技術開発部で実施する太陽光発電技術開発に関する全事業のあり方やロードマップの策定等について、外部有識者の意見を聴取するために太陽光発電技術研究開発委員会を開催し、運営管理に反映させている。

具体的に本プロジェクトに関しては、平成 17 年 7 月の第 4 回太陽光発電技術委員会から、平成 18 年度以降の技術開発・研究開発の中で取り上げられ、それ以後、技術開発の進め方や公募の開発課題に関する意見を求め、公募要領に反映した。またプロジェクト実施期間中においては、その方向性や実施内容について意見を求め、研究開発の運営に反映した。(表 10.参照)

表 10. 太陽光発電技術委員会の実施状況

実施時期	実施項目	内容
平成 17 年 7 月	第 4 回太陽光発電技術委員会	平成 17 年度の実施方針と平成 18 年度以降の技術開発・研究開発について
平成 17 年 11 月	第 5 回太陽光発電技術委員会	平成 18 年度以降の技術開発の進め方について（来年度新規プロジェクトの方向性）
平成 18 年 2 月	第 6 回太陽光発電技術委員会	平成 18 年度以降の技術開発の進め方について（来年度新規プロジェクトの概要説明及び方向性）
平成 19 年 3 月	第 7 回太陽光発電技術委員会	平成 18 年度の太陽光発電研究開発の報告、平成 19 年度基本計画・実施方針について、その他
平成 19 年 9 月	第 8 回太陽光発電技術委員会	「太陽光発電システム普及加速型技術開発」事後評価について、「太陽光発電システム未来技術研究開発」追加公募結果について、平成 20 年度研究開発体制について
平成 20 年 1 月	第 9 回太陽光発電技術委員会	「太陽光発電システム未来技術研究開発」に関する中間テーマ評価（対象：18 年度採択全テーマ）
平成 20 年 2 月	第 10 回太陽光発電技術委員会	平成 20 年度研究開発体制について、「太陽光発電システム未来技術研究開発」中間評価結果について、各プロジェクト基本計画（案）、実施方針（案）
平成 21 年 1 月	第 11 回太陽光発電技術委員会	「太陽光発電システム未来技術研究開発」に関する中間テーマ評価（対象：19 年度採択全テーマ）
平成 21 年 6 月	第 12 回太陽光発電技術委員会	平成 21 年度の実施方針と平成 22 年度以降の新規プロジェクトについて、PV2030+の公開について、その他

また、研究開発テーマを太陽電池種類別にグループ分けし、CIS 化合物系、薄膜シリコン、結晶シリコン、有機薄膜・色素増感の全 4 グループにおいて PL（プロジェクトリーダー）主催による進捗報告会を年に 3 - 4 回開催した。進捗報告会においては、PL が進捗状況について委託先報告を受け、開発の方向性などを審議し、必要に応じて開発内容を修正することとなっている。（表 11）

表 11. 進捗報告会の実施状況

実施項目	開催時期
薄膜シリコン研究技術分科会→（H20 年度より名称変更）薄膜シリコン太陽電池研究開発進捗状況報告会	平成 18 年 11 月、平成 19 年 3、7、11 月、平成 20 年 3、8、11 月、平成 21 年 3、7 月
CIS 化合物系研究技術分科会→（H20 年度より名称変更）CIS 化合物系薄膜太陽電池研究開発進捗状況報告会	平成 18 年 11 月、平成 19 年 3、7、11 月、平成 20 年 3、8、12 月、平成 21 年 3、7 月
次世代超薄膜シリコン研究技術分科会→	平成 19 年 3、8、11 月、平成 20 年 3、8、11 月、

(H20 年度より名称変更) 次世代超薄膜シリコン太陽電池研究開発進捗状況報告会	平成 21 年 3、7 月
色素増感・有機薄膜研究技術分科会→(H20 年度より名称変更) 色素増感・有機薄膜太陽電池研究開発進捗状況報告会	平成 18 年 12 月、平成 19 年 3、8、11 月、平成 20 年 3、8、12 月、平成 21 年 3、7 月

さらに成果の発信・公表の場として、年度毎の成果報告会を、他の太陽電池関連事業とともに、表 12 のとおり実施した。

表 12. 成果報告会等の実施状況

実施項目	開催時期	場所
平成 18 年度成果報告会	平成 19 年 7 月 13 日	サンピアン川崎 (川崎市立労働会館)
平成 19 年度成果報告会	平成 20 年 9 月 18-19 日	はまぎんホールヴィアマーレ (横浜市みなとみらい)
平成 20 年度成果報告会	平成 21 年 7 月 17 日	はまぎんホールヴィアマーレ (横浜市みなとみらい)

また他の太陽電池関連事業を含めて、ホームページや展示会による広報、事業紹介パンフレットの作成、学会やシンポジウムでの講演、国際学会への参加と発表、雑誌への寄稿などを通じて成果の発信に努めている。

3. 情勢変化への対応

2.3 項表 10 に示した外部有識者による技術委員会において、開発の方向性や内容の修正、開発計画の変更がなされた中間テーマ評価について記述する。

基本計画に基づき、新規かつ重要な課題への挑戦を促進し、早期に将来性を見極める観点から、平成 18 年度採択テーマについては平成 19 年度後半に、19 年度採択テーマについては平成 20 年度後半に、外部有識者による中間テーマ評価が行われ、個別テーマ毎に継続または中止の判断が行われた。

(1) 18 年度採択テーマ テーマ継続判定、中間テーマ評価

1) 実施時期

平成 19 年 10 月から平成 20 年 1 月

平成 19 年 10 月 22 日 委託先へ連絡

平成 19 年 12 月 12 日 中間テーマ評価報告書提出締切

平成 19 年 12 月 14 日 事前書面評価開始

平成 19 年 12 月 25 日 事前書面評価締切

平成 19 年 12 月 27 日 書面評価結果、ヒヤリング委託先の決定

平成 20 年 1 月 08 日 太陽光発電技術委員会 中間テーマ評価 1 日目計 19 テーマ

平成 20 年 1 月 15 日 太陽光発電技術委員会 中間テーマ評価 2 日目計 18 テーマ

平成 20 年 1 月末日 中間テーマ評価結果を基に、テーマ継続判定、委託先に通知

2) 評価手法

- ・外部有識者による外部評価

3) 評価事務局

新エネルギー技術開発部

4) 評価項目・基準

① H19 年度中間目標は達成可能か

② H19 年度中間目標に向けて実施した主要アプローチは技術的に優れているか

③ 実施内容と成果と合わせて、費用対効果（効果÷費用）は大きいか

④ H21 年度中間目標は達成可能か（研究計画、アプローチ、再委託先・共同研究先等を含めた実施体制等）

⑤ 委託先が継続して研究開発を行うことにより研究開発の終了時点（平成 21 年度末）で、本事業全体の目標（*）達成に資するか。（または企業の場合、成果の実用化が見込まれるか）（*2020 年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の確立、2030 年における発電コスト目標実現に資する要素技術の選択）

5) 評価委員（敬称略）

高橋 清（東京工大名誉教授） 半那 純一（東京工大教授） 藤岡 洋（東京大学教授）

6) 評価結果および継続判定

各研究開発項目毎の評価結果を以下に示す。

表 19.

研究開発項目	評価対象	継続	継続なし	継続なし理由
	数字はテーマ数（）内は契約数			
(イ) CIS 系薄膜太陽電池	4 (6)	2 (4)	2 (2)	1 件は実用化、1 件は他と重複
(ロ) 薄膜シリコン太陽電池	5 (6)	3 (3)	3 (3)	2 件は実用化、1 件はレベル未達
(ハ) 色素増感太陽電池	7 (16)	5 (10)	3 (6)	1 件はスキーム外、2 件はレベル未達
(ニ) 次世代超薄型	6 (13)	4 (5)	5 (8)	2 件は実用化、3 件はレベル未達

シリコン太陽電池				
(ホ) 有機薄膜太陽電池	4 (7)	2 (4)	2 (3)	2件ともレベル未達
(ヘ) 次世代技術の探索	11 (18)	4 (6)	7 (12)	2件は超長期、5件はレベル未達
計	37 (66)	20 (32)	21 (34)	

(2) 19年度採択テーマ テーマ継続判定、中間テーマ評価

1) 実施時期

平成20年11月から平成21年1月

平成20年11月13日 委託先へ連絡

平成20年12月11日 中間テーマ評価報告書提出締切

平成20年12月13日 事前書面評価開始

平成20年12月24日 事前書面評価締切

平成20年12月26日 書面評価結果、ヒヤリング先へ質問事項の連絡

平成21年1月07日 太陽光発電技術委員会 中間テーマ評価 全5テーマ

平成21年1月末日 中間テーマ評価結果を基に、テーマ継続判定、委託先に通知

2) 評価手法

- ・外部有識者による外部評価

3) 評価事務局

新エネルギー技術開発部

4) 評価項目・基準

① H20年度中間目標は達成可能か

② H20年度中間目標に向けて実施した主要アプローチは技術的に優れているか

③ 実施内容と成果と合わせて、費用対効果（効果÷費用）は大きいか

④ H21年度中間目標は達成可能か（研究計画、アプローチ）

⑤ 委託先が継続して研究開発を行うことにより研究開発の終了時点（平成21年度末）で、本事業全体の目標（*）達成に資するか。（または企業の場合、成果の実用化が見込まれるか）（*2030年における発電コスト目標実現に資する要素技術の選択）

5) 評価委員（敬称略）

高橋 清（東京工大名誉教授） 工藤 一浩（千葉大教授） 冬木 隆（奈良先端科学技術大学院大学教授）

6) 評価結果および継続判定

評価の対象となった2テーマの内、大阪大学のテーマは継続せず、残りの産総研のテーマ「省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発」は4つのサブテーマがあり、その内3件は継続、1件は継続せずとなった。

Ⅲ. 研究開発成果について

本事業の研究開発は、太陽光発電の経済性、性能・機能、適用性、利便性等の抜本的な改善を図り、太陽光発電の普及拡大を促進するため、現状技術の延長にない技術革新を目指した中・長期的視野でテーマを募集し、その中から優れた提案を採択し実施した。目標設定が挑戦的で、高い目標を掲げたテーマが多いこともあり、当初の目論見どおりの成果が得られないテーマもある。その場合でも、いろいろな材料・構造・製造方法等のアプローチの中で、実施したアプローチが、うまくいかなかった理由、目標達成への道筋が明確にできれば、後進の研究開発への有用な情報となり、研究を行った意義があると考えられる。

また開発した技術が、本研究開発の目標である業務用電力料金、汎用電源に匹敵する発電コストを実現するための要素技術となりえるかどうかについては、他の多くの要素技術開発、企業参加による実用化研究、生産規模など、条件が複合的であるため、現段階での推測は困難である。しかしながらロードマップ PV2030 で示された 2020 年における開発目標を達成するためのコア技術を、実用化まで発展させ、大量生産できるようになれば、業務用電力料金並みの発電コストの実現が見えてくると考えられる。

1. ロードマップ PV2030 に記載された次世代技術への開発課題と本研究開発の位置づけ

実施した研究テーマは、分野別に、CIS 系薄膜太陽電池 4 テーマ、薄膜シリコン太陽電池 5 テーマ、色素増感太陽電池 7 テーマ、次世代超薄型シリコン太陽電池 6 テーマ、有機薄膜太陽電池 4 テーマ、次世代技術の探索 1 3 テーマである。分野別に、ロードマップ PV2030 に記載された次世代技術への開発課題と本研究開発の位置づけを記述する。

1-1. CIS 系薄膜太陽電池

CIS 系薄膜太陽電池の中期の課題は、モジュールの効率向上、省資源対策及び利用拡大のためのフレキシブル化であり、長期の課題は、低コスト化、多接合などの更なる変換効率向上、新材料系の探索である。表 21 に、これらの課題と本研究開発の開発項目との関係を示す。

表 21. CIS 系薄膜太陽電池の課題と開発項目

課題	開発項目	研究テーマ略称
高効率化	小面積（10cm 角サブモジュール）での高効率化	1) アクティブソースによる CIGS 太陽電池 3) 大面積 CIGS 太陽電池の高性能化 4) 光励起プロセスを応用した高効率 CIGS 太陽電池
	大面積（30cm 角サブモジュール）での高効率化	2) セレン化／硫化法による CIS 系薄膜太陽電池
	軽量基板太陽電池の高効率化	3) 大面積 CIGS 太陽電池の高性能化 4) 光励起プロセスを応用した高効率 CIGS 太陽電池
資源対策	In 使用量削減、Mo 使用量削減	次世代技術の探索 38) 省資源・低環境負荷型太陽光発電システム
低コスト化	非真空プロセス	次世代技術の探索 28) スクリーン印刷／焼結法を用いた非真空製造技術
集光多接合	窒化インジウム系材料による多接合太陽電池 1000 倍集光、化合物半導体を用いた 3 接合太陽電池	次世代技術の探索 29) 超高効率太陽電池 (III-V-N 系 CBE 法、窒化インジウム系) 次世代技術の探索 27) 超高効率多接合型太陽電池
新材料系の探索	III-V-N 系、窒化インジウム系 G a P N 系	次世代技術の探索 29) 超高効率太陽電池 (III-V-N 系 CBE 法、窒化インジウム系) 次世代技術の探索 38) 省資源・低環境負荷型太陽光発電システム

	C Z T S	次世代技術の探索 30) 同時蒸着法による超高品質 C Z T S 光吸収層の開発
--	---------	---

1-2. 薄膜シリコン太陽電池

薄膜シリコン太陽電池の中・長期的な開発課題は、高効率化（透明導電膜の改善、ワイドギャップ材料の開発、中間層材料の開発、微結晶 Si 膜の高本質化、裏面反射材料の開発と導入）、多接合高効率太陽電池及び高生産性製造技術の開発である。また光劣化の抑制技術開発は長期展望にたった重要課題である。表 22 に、これらの課題と本研究開発の開発項目との関係を示す。

表 22. 薄膜シリコン太陽電池の課題と開発項目

課題	開発項目	研究テーマ略称
高効率化	多接合型太陽電池 ・トップセル（低光劣化等） ・ミドルセル（高電圧化等） ・ボトムセル（長波長吸収特性向上等） タンデム型太陽電池	6) 高電圧型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発 7) 高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発（トップセルおよびミドルセル） 9) 高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発（ボトムセル）
	ナノ構造光閉じ込め基板 フォトリソシリコン太陽電池の光閉じ込め効果	次世代技術の探索 31) 未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発 次世代技術の探索 33) 微結晶 3 C - S i C 薄膜を用いた薄膜シリコン系太陽電池の研究開発 次世代技術の探索 39) 省資源・低環境負荷型太陽光発電システム
	製膜の高品質化（a-Si 膜の瞬間熱処理法による多結晶シリコン化）	次世代技術の探索 34) 瞬間熱処理法で作成した多結晶シリコン薄膜太陽電池
高生産性	局在プラズマ CVD 高速・大面積製膜、電極形状最適化 高密度プラズマ CVD	5) 薄膜シリコン太陽電池の高生産性製造技術開発 7) 高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発（トップセルおよびミドルセル） 8) 高生産性フィルム基板薄膜シリコン太陽電池の研究開発

1-3. 色素増感太陽電池

色素増感太陽電池の中・長期的な開発課題は変換効率と耐久性の向上である。このためには新規な近赤外吸収材料が重要である。表 23 に、課題と本研究開発の開発項目との関係を示す。

表 23. 色素増感太陽電池の課題と開発項目

課題	開発項目	研究テーマ略称
高効率化	高性能光電極（チタニア）、 新色素、電解質材料、 セル構造	11) 高効率・集積型色素増感太陽電池モジュール 12) 色素増感太陽電池の高発電量化技術 13) ナノ構造酸化亜鉛電析膜を用いる有機色素増感太陽電池 14) 立体的多層構造を有するハイブリッド色素増感太陽電池 16) タンデム構造色素増感太陽電池 次世代技術の探索 35) アモルファスシリ

		コン／有機系タンデム太陽電池
耐久性向上	耐久性 耐食性	10) 高耐久性色素増感太陽電池モジュール 15) 費用効果に秀でた高耐久色素増感太陽電池 次世代技術の探索 36) 高耐久性プラスチック色素増感太陽電池

1-4. 結晶シリコン太陽電池

結晶シリコン太陽電池の課題は、シリコン使用量低減による低コスト化及び、高効率化であり、当面、超薄型基板製造技術、高品質インゴット製造技術、超薄型基板でも高効率を得るためのセル構造、及び製造プロセスの開発が必要である。表 24 に、課題と本研究開発の開発項目との関係を示す。

表 24. 結晶シリコン太陽電池の課題と開発項目

課題	開発項目	研究テーマ略称
シリコン使用量低減	超薄型多結晶シリコン太陽電池生産技術 放電加工による基板スライス技術 プラズマ加工による基板スライス技術 リヤースライス、放電加工スライス 触媒反応を利用したシリコンのスライシング*	17) 新構造超薄型多結晶シリコン太陽電池 18) 未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池 19) 超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池 20) 次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池 次世代技術の探索 38) 触媒反応を利用したシリコンのスライシング*
インゴット製造コスト低減	デンドライト利用キャスト成長法による多結晶インゴット作成技術 高品質 n 型多結晶シリコンインゴット製造技術 低コストシリコン原料の高純度化	20) 次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池 21) n 型多結晶シリコン製造技術 22) 低コスト原料を使用したロハスト多結晶シリコン製造技術
高効率化	基板表面形状・裏面反射層構造の検討、パッシベーション技術等 高品質 Si 薄膜結晶成長技術	19) 超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池 20) 次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池 次世代技術の探索 37) Si 融液からの LPE 成長法を用いた高効率太陽電池

1-5. 有機薄膜太陽電池

有機薄膜太陽電池は、2020 年には変換効率 15%達成を目指し、更なる高効率化と耐久性向上など基本特性改善に向けた研究が必要な段階である。また、未だに未解明の部分が多い太陽電池動作原理や性能劣化機構の解明、新規な素材や構造の探索なども実施する必要がある。表 25 に、課題と本研究開発の開発項目との関係を示す。

表 25. 有機薄膜太陽電池の課題と開発項目

課題	開発項目	研究テーマ略称
高効率化	セル構造 界面制御 高性能有機材料	24) 高耐久性を有する大面積有機薄膜太陽電池 25) ネットワーク構造を有する高性能有機薄膜太陽電池 26) 超階層ナノ構造を有する高効率有機薄膜太陽電池 28) タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池

		次世代技術の探索 38) 省資源・低環境負荷型太陽光発電システム
耐久性向上	セル構造 材料 界面制御	24) 高耐久性を有する大面積有機薄膜太陽電池 25) ネットワーク構造を有する高性能有機薄膜太陽電池 28) タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池

1-6. 次世代技術の探索

次世代技術の探索は、長期的視野でのシーズ探索研究であるが、その課題や研究内容は各太陽電池の種類毎に、上記 1-1. ～1-5. に含めた。

2. 分野別、課題に対する主要な成果

2-1. CIS 系薄膜太陽電池

CIS 系薄膜太陽電池の主要な成果、わかったことを表 26 に示す。

表 26. CIS 系薄膜太陽電池の主要な成果

課題	開発項目	(テーマ番号) 主要な成果、わかったこと
高効率化	小面積 (10cm 角サブモジュール) での高効率化	1) 原料 Ga, Se をアクティブな状態で基板表面に供給する技術を開発、0.18cm ² で変換効率 15.4% を達成した。(H19 末まで) 3) 各プロセスの最適化、透明導電膜の性能向上等で 10cm 角サブモジュールで 16.8% (世界最高値) を達成した。 4) レーザーアシスト(LAD)法が欠陥低減とセル特性の改善に有効であることを実証した。
	大面積 (30cm 角サブモジュール) での高効率化	2) セレン化温度と硫化温度の温度差の見直し等で Voc を、透明導電膜の膜厚制御等により Jsc を向上、これらにより H19 末 30cm 角で変換効率 15.22% (世界最高値) を達成した。
	軽量基板太陽電池の高効率化	3) Na 導入法を開発、他の技術と併用し、10cm 角サブモジュールで 15.2% (世界最高値) を達成した。 4) LAD 法により軽量チタン箔上の Cd フリーフレキシブル小面積セル (0.15cm ²) で 18.8% (世界最高値) を達成した。
資源対策	In 使用量削減、Mo 使用量削減 (次世代技術の探索)	39) Mo 膜厚の低減、CIGS 膜厚の低減と反射膜の光閉じ込め等により、In の使用量を従来の 1/4 以下、Mo 使用量を従来の 1/2 以下で変換効率 15% (最終目標値) を達成
低コスト化	非真空プロセス (次世代技術の探索)	28) 印刷/焼結法で作成した CIGS 薄膜は内部に空孔が生じ緻密な薄膜を作成するのが困難であったが、今回これらを克服するプロセスを開発した。現在のところ変換効率は 10% の見込み。
集光多接合	1000 倍集光、化合物半導体を用いた 3 接合太陽電池 (次世代技術の探索)	27) 逆エピ構造セル化プロセスを確立、集光時セル変換効率 40% を達成した。(H19 末まで)
新材料系の探索	III-V-N 系、窒化インジウム系 GaPN 系 CZTS	29) 窒化インジウム系では、In _{0.23} Ga _{0.77} N 膜を用いて太陽電池を作成し光起電力特性を確認した。III-V-N 系では、中間層に GaNAs 希釈窒化化合物を用い量子ドット構造を多重積層する方法を開発した。(H19 末まで)

	(次世代技術の探索)	30) CZTS については蒸着法による製膜でのセルプロセス等へのアプローチが見いだせなかった。(H19 末まで)
--	-------------------	--

2-2. 薄膜シリコン太陽電池

薄膜シリコン太陽電池の主要な成果、わかったことを表 27 に示す。

表 27. 薄膜シリコン太陽電池の主要な成果

課題	開発項目	(テーマ番号) 主要な成果、わかったこと
高効率化	多接合型太陽電池 ・トップセル（低光劣化等） ・ミドルセル（高電圧化等） ・ボトムセル（長波長吸収特性向上等） タンデム型太陽電池	6) 超屈折率中間層によりトップ層感度などの特性向上に成功した。また安定化効率 15%を達成可能な新規光閉じ込め構造を提案し、光学シミュレーションによる最適化に成功した。 7) 安定化効率目標：製膜条件最適化により目標 10%達成の目処を得た。開放電圧については、目標の 560mV を達成した。効率 11.6%を実証し、ボトムセルの長波長感度向上対策と併せて、目標達成の目処を得た。 9) 微結晶 SiGe ボトムセルの開発に於いて、Ge 濃度 10%で短絡電流 28.5mA/cm ² を達成し、Ge 濃度 20~30%で目標達成の目処を得た。アモルファス、微結晶いずれの太陽電池でも、フッ素を用いたプラズマクリーニングの影響が無いことを確認した。
	ナノ構造光閉じ込め基板 フォトニックシリコン太陽電池の光閉じ込め効果 (次世代技術の探索)	31) アモルファス SiO とアモルファス SiC トップセルで開放電圧 1.04V を達成した。トリプルセルのシミュレータを完成し、有用性を実証した。 33) プラズマ CVD 法を用いた微結晶 SiC をドーピング層に用いたアモルファスシリコン太陽電池と微結晶シリコン太陽電池を実現し、太陽電池としての動作を確認した。 39) フォトニックシリコン作製プロセスとして、薄膜への部材粒子埋め込みと構造制御技術を確立した。また光閉じ込め原理を検証し、最適構造と近赤外域の量子効率向上(50%以上)について明確化した。
	製膜の高品質化（a-Si 膜の瞬間熱処理法による多結晶シリコン化） (次世代技術の探索)	34) FLA によりガラス基板上に高品質厚膜 poly-Si 薄膜を形成する技術を世界で初めて確立し、太陽電池化が可能であることを見出したが、太陽電池特性の向上は難しいと判断された。(H19 末まで)
高生産性	局在プラズマ CVD 高速・大面積製膜、電極形状最適化 高密度プラズマ CVD	5) 局在プラズマ CVD 技術を用いた新規の高生産性薄膜形成装置を導入して H19 末までに製膜速度 2.7nm/s、膜厚分布±2.4%を達成した。これにより早期に実用化開発段階に移行となった。(H19 末まで) 7) 1.4m 長の面積基板で製膜速度 2.6nm/s、膜厚分布±9%を達成した。大気搬送試験装置に於いて 80 秒以内での基板搬送を検証し、搬送系構造を確立した。 8) 製膜圧力の上昇や新規ロール-ロール製膜装置の製作、1m 幅フィルム基板の搬送技術の開発により早期に実用化開発段階に移行となった。(H19 末まで)

2-3. 色素増感太陽電池

色素増感太陽電池の主要な成果、わかったことを表 28 に示す。

表 28. 色素増感太陽電池の主要な成果

課題	開発項目	(テーマ番号) 主要な成果、わかったこと
高効率化	高性能光電極 (TiO ₂)、 新色素、電解質材料、 セル構造料	<p><u>高性能光電極 (TiO₂)</u> (11) プラスイオンまたは中性分子による TiO₂ パッシベーション技術及び新規色素導入により 0.5mm 角のシングルセルで変換効率 11.5%を達成。</p> <p><u>タンデム構造</u> (11) トップセルで可視光を、ボトムセルで近赤外光を変換するタンデム構造で、変換効率 11.0%を実現。</p> <p><u>高性能光電極</u> (13) TiO₂ に替わる酸化亜鉛電析膜の作製技術を確立。電析なのでプラスチック上に光電極を形成することが可能。変換効率 6.34%を達成。プラスチック基材を用いた 10cm 角モジュールの試作に成功、変換効率 4.8%を得た。ガラス基材を用いることなく、フレキシブルなセルが構成可能。</p> <p><u>アルミニウム基材</u> (15) アルミニウム基材を用いた逆照射系 5mm 角のセルで変換効率 8.3%を達成。またアルミニウム/ガラスのレーザ封止技術、白金触媒層形成技術等を確立。その結果、すべての工程をスクリーン印刷でおこなうことが可能となり、低コストな製造設備を構築できる。</p> <p><u>色素</u> (14) ステンレスメッシュ上には TiO₂、SnO₂ 電極を形成し、抵抗を低減することに成功。これによりセルの面積化が可能となる。TiO₂ 電極で可視光、SnO₂ 電極で遠赤外、赤外を吸収するタンデム構造を提案。</p>
耐久性向上	耐久性試験 耐食性	<p><u>耐久試験</u> (10) 封止構造を改良して湿気進入を抑制して耐久性を向上させることに成功。5mm 角セルで JIS C8989 耐久試験（温度サイクル試験、光照射試験、耐湿性試験）をクリア。</p> <p>(13) プラスチック基材を用いた 10cm 角モジュールで温湿度サイクル試験をクリア。光照射試験、耐湿度試験は実施中</p> <p><u>耐食性</u> (15) アルミニウム基材の表面処理及び Ti ゴルゲル膜形成により、逆電子防止・耐食性を確保。</p>

2-4. 結晶シリコン太陽電池

結晶シリコン太陽電池の主要な成果、わかったことを表 29 に示す。

表 29. 結晶シリコン太陽電池の主要な成果

課題	開発項目	(テーマ番号) 主要な成果、わかったこと
シリコン 使用量低 減	<p>超薄型多結晶シリコン太陽電池生産技術 放電加工による基板スライス技術 プラズマ加工による基板スライス技術 ワイヤースライス、放電加工スライス 触媒反応を利用したシリコンのスライシング</p>	<p><u>超薄型セル生産技術</u> (17) 厚さ 100 μm の超薄型セルで生じる反りとタブ付けによるクラック発生に対して、応力緩和による回避手法を開発。 (18) 厚さ 100 μm セルへのタブ付け技術を開発。タブ付け応力の低減が課題で、はんだの冷却速度の制御で対応できる。</p> <p><u>放電加工スライス</u> (18) 放電スライスにより 15cm 角基板のスタイシングでカーフロス 145 μm を達成 (20) マルチ電源供給装置を細線ワイヤー走行系と放電パルス供給システムと組み合わせ、カーフロス 150 μm (8cm 角) 達成</p> <p><u>プラズマ加工スライス</u> (19) 複数の電極でスライスし、カーフロス 100~200 μm、ウェハ厚さ 130~300 μm</p> <p><u>触媒反応利用スライス</u> (38) φ50 μm の白金線を使い多結晶シリコンウェハに、最高速度：4.5mm/h、カーフ幅：約 55mm の溝を形成。同白金線を使って、1×1×2cm³の多結晶 Si ブロックからスライスに成功</p>
インゴット製造コスト低減	<p>デンドライト利用キャスト成長法による多結晶インゴット作成技術 高品質 n 型多結晶シリコンインゴット製造技術 低コストシリコン原料の高純度化</p>	<p><u>デンドライト利用インゴット</u> (20) 品質低下の原因となる亜粒界がランダム粒界から発生することを解明した。デンドライト結晶の配列・長さを等を制御することで結晶欠陥を低減した。φ15cm および φ30cm のデンドライト結晶を利用した多結晶 Si インゴットを製作した。</p> <p><u>高品質 n 型多結晶 Si</u> (21) 凝固育成過程の温度分が結晶品質に影響することを解明し、キャリア寿命 0.31ms を達成。固液界面の位置と温度の測定から、固化開始位置と時間を解明し、凝固育成条件を改善。</p> <p><u>低コスト Si 原料の高純度化</u> (22) 半導体用オフグレード原料を使用したインゴットで、as grown の平均ライフタイム 72 μsec、ゲッタリング後の平均ライフタイム 109 μsec を達成。ソーラーグレード原料を使用したインゴットでは、それぞれ 26 μsec、59 μsec を達成した。</p>
高効率化	<p>基板表面形状・裏面反射層構造の検討、パッシベーション技術等 高品質 Si 薄膜結晶成長技術</p>	<p><u>バックコンタクト</u> (17) バックコンタクトセルの基本構造を決定した。</p> <p><u>テクスチャー形成</u> (18) 高速レーザーパターニングによるハニカムテクスチャー形成を実現した。また、ポイントコンタクト（裏面反射）構造の実現等の成果と合せ、厚さ 100 μm、15cm 角で目標の変換効率 18% を達成。</p> <p><u>パッシベーション技術</u> (20) SiN 膜による裏面パッシベーション構造、30 μm 幅の微細電極形成等を実現し、厚さ 100 μm、10cm 角で 18.2% を達成。</p> <p><u>高品質 Si 薄膜結晶成長</u> (37) 簡易太陽電池プロセス（単結晶太陽電池：14.7%）を用いて、エピタキシャル Si 結晶 / Si 単結晶基板へのヘテロ構造を用いた太陽電池を製作し、変換効率 11.4%（セル面積：1cm²）を得た。</p>

2-5. 有機薄膜太陽電池

有機薄膜太陽電池の主要な成果、わかったことを表 30 に示す。

表 30. 有機薄膜太陽電池の主要な成果

課題	開発項目	(テーマ番号) 主要な成果、わかったこと
高効率化	セル構造	<u>高効率化</u> (23) ポリマー-フラーレン電池で、2.5mm 角のタンデムセルで効率 6.2%を達成。
	界面制御	<u>界面制御</u> (26) マイクロ波アニーリングにより活性層のモルフォロジーを改善。
	高性能有機材料	<u>セル構造</u> 超階層ナノ構造素子の構成要素材料（アクセプター、ドナー、電子輸送層、ホール輸送層）を開発。
耐久性向上	セル構造	<u>界面制御</u> (23)セルの劣化はデバイス内部でキャリアトラップが要因であること解明。バッファ層導入により劣化を抑制。
	材料	<u>材料</u> (26) 活性層材料（ドナー、アクセプター）の高純度化がセルの耐久性向上に有効であることを実証。
	界面制御	<u>セル構造</u> (35)a-Si/DSC タンデム構造セルでは、紫外光を a-Si で吸収することにより DSC の耐光性が向上することを確認。

3. 個別テーマの成果概要

3-1. CIS系薄膜太陽電池

1) アクティブソースによる CIS 太陽電池の高効率化技術研究開発 (東工大)

<H21 最終目標：サブモジュール変換効率 18% (10cm 角程度)> <研究期間 H18-H19>

○アクティブ・ソースを用いたワイドバンドギャップ CIS 薄膜作製技術の開発

Ga イオン化及び Se クラッキングセルを真空蒸着装置に導入し、原料をアクティブな状態で基板表面に供給する技術を開発した。この技術で作製した CIS 薄膜において、通常の Se を用いた膜と比較して、高効率化にとって有効な正孔濃度の 3 倍程度の増大を確認した。また得られた膜を太陽電池に応用したところ、変換効率は 15.4% ($V_{oc}=0.627V$, $J_{sc}=34.4mA/cm^2$, $FF=0.72$, 面積=0.18cm²) が達成された。また、Ga イオン化技術においては、新たに同時蒸着法を開発、Ga イオン化と同時蒸着法を組み合わせ、変換効率 14.9% が達成された。

○ワイドバンドギャップ用 n 形 Zn_{1-x}Mg_xO 薄膜作製技術の開発

Zn_{1-x}Mg_xO (ZMO) 膜を、有機金属気相成長 (MOCVD) 法により作製した。またバッファ層応用上重要なウルツ鉱構造を有する ZMO は、比較的高い基板温度において作製可能なことを明らかにした。これにより、ドーピングしない ZMO バッファ層を用いて変換効率 10.2% を達成した。

さらなる変換効率達成のためには、ZMO への n 形ドーピングが必要である。このため、気相中に B₂H₆ を導入し、ZMO への B ドーピングを行った。その結果、抵抗率の 1 桁以上の減少が認められ、ZMO への気相での B ドーピングが可能であることを始めて実証した。得られた B ドープ n 形 ZMO を CIS 太陽電池バッファ層へ適用した結果、開放電圧 0.69V が得られ、本研究開発の目標である ZMO 薄膜作製技術が達成された。

→<中間テーマ評価の結果> 評価結果は良好であったが、他機関でも類似のテーマがあったことから本研究は継続しないことになった。

<成果発表件数> 原著論文：2、学会発表：8、プレス発表：0、特許出願：0

2) セレン化/硫化法による CIS 系薄膜太陽電池の高効率化技術研究開発 (昭和シェル石油(株))

<開発目標：30cm 角サブモジュールで変換効率 16%> <研究期間 H18-H19>

○開放電圧 (V_{oc}) 向上技術の開発

セレン化/硫化法による、禁制帯幅の広い Cu(InGa)(SeS)₂ 五元系光吸収層の製膜技術開発を行った。セレン化温度と硫化温度の温度差 ($\Delta T_{sul-sel}$) の最適化および硫化工程 (硫化度合 = 硫化温度 × 保持時間) を調整することによって、光吸収層を高品質化すると共に禁制帯幅を 1.1eV 以上まで広げ、640mV/cell を超える V_{oc} を達成した。

○曲線因子 (FF) 向上技術の開発

CBD 法により製膜した Zn(O,S,OH)_x (ZnO, ZnS, Zn(OH)₂ の混晶化合物) と MOCVD 法により製膜した intrinsic-ZnO 膜の比較から、FF 向上には光吸収層とバッファ層間の pn ヘテロ接合界面での漏れ電流発生を低減することが鍵であることを確認した。同時に、この接合界面特性の制御には Zn(O,S,OH)_x 層の膜厚および膜質の制御 (すなわち、製膜反応条件の調整) が重要であることを確認した。

○短絡電流密度 (J_{sc}) 向上技術の開発

MOCVD 法による ZnO:B (BZO) 透明導電膜窓層の膜厚を制御することにより、BZO 膜の抵抗を低下させ、同時に、ドーピング量を制御することで太陽光スペクトルの長波長側の感度を向上させ、J_{sc} を向上させた。

以上の 3 項目: 開放電圧 (V_{oc})、曲線因子 (FF)、短絡電流密度 (J_{sc}) 向上技術の開発により、ラミネーションした 30cm × 30cm サイズ (開口部面積 = 855cm²) のモジュールで、H19 年度中間目標 (30cm 角程度のサブモジュールで変換効率 15%) を上回る世界最高効率 15.22% (V_{oc} = 601mV/セル、J_{sc} = 36.18mA/cm², FF = 0.700、標準測定条件 (STC) での自社測定) を達成した。

→<中間テーマ評価の結果> 評価結果は良好であったが、本事業目標よりも早期に実用化開発段階に移行すべきと判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数> 論文：0、学会発表：11、プレス発表：0、特許出願：5 (うち外国出願：2)

3) 大面積 CIGS 太陽電池の高性能化技術の研究開発 (産総研、筑波大、鹿児島大)

<H21 最終目標：10cm 角の集積型モジュールで変換効率 18%、フレキシブル基板 (10cm 角) で 16%> <研究期間 H18-H21>

○大面積高品質製膜技術の開発

蒸着技術の大面積化、パターンニング技術、各プロセスの最適化、透明導電膜の性能向上など集積型サブモジュールのプロセス技術を開発し、10cm 角サブモジュールで世界最高効率 16.8%を達成した。また Se 分子をプラズマ中で Se 原子に分解して CIGS 製膜に用いることにより、セレン原料の利用効率を従来の 10 倍以上に向上させ、メンテナンス頻度を 1/10 に低減させて大幅なコストダウンに結びつく技術を開発した。

○ 高効率化技術の開発

伝導帯バンドオフセットの Ga 濃度依存性を解明し、バッファ層/CIGS 光吸収層及び粒界の評価技術を確立した。これにより「なぜ禁制帯幅が 1.3eV 以上で変換効率が低下するか」その理由が解明された。またアドミッタンス法、光容量法、PL寿命測定などの欠陥検出技術を開発し、世界初となる欠陥準位の配位座標モデルを提案した。

○ フレキシブル太陽電池の開発

Mo 裏面電極の下に実績のある青板ガラスの薄膜をスパッタ法で形成する Na 導入法(AIST 法)を開発し、これと蒸着技術の大面積化、パターンニング技術、基板の歪み・そりの制御を併用することにより、10cm 角集積型サブモジュールで世界最高効率 15.2%を達成した。

<成果発表件数>原著論文：47、学会発表：106、プレス発表：8、特許出願：2

4) 光励起プロセスを応用した高効率 CIGS 薄膜太陽電池 (青山学院大)

<H21 最終目標：軽量基板上のサブモジュール (10cm 角程度) で変換効率 16%→ (中間評価後の目標) (4cm 角程度) で変換効率 17%> <研究期間 H18-H21>

○レーザーアシスト製膜(LAD)法による CIGS 製膜の高品質・低温製膜技術の開発

CIGS製膜時にレーザー光を基板上に照射して製膜高品質化を図るLAD法が、欠陥低減とセル特性の改善に有効であり、製膜温度を約 100℃低下出来ることを実証した。

○ 軽量基板上への太陽電池形成技術の開発

軽量チタン箔上の Cd フリーフレキシブル小面積セル(0.5cm²)において、真性変換効率で世界最高レベルの 18.8%を達成、同じくポリイミド上小面積セル(0.5cm²)で世界最高レベルの 16.4%を達成した。4cm 角のサブモジュールでは変換効率は 16%となる。

<成果発表件数>原著論文：41、学会発表：57、プレス発表：5、特許出願：1

3-2. 薄膜シリコン太陽電池

5) 薄膜シリコン太陽電池の高生産性製造技術 (三洋電機(株))

<H21 最終目標：変換効率9%かつ効率分布 10% (60cm 角級基板、製膜速度 3nm/s の微結晶シリコン薄膜にて) > <研究期間 H18-H19>

○高生産性微結晶シリコン薄膜製造技術の開発

独自に開発した局在プラズマCVD技術を60cm角級の面積基板対応技術として高度化するため、局在プラズマCVD技術を導入した新規の高生産性微結晶シリコン薄膜形成装置を導入して膜質と製膜速度のトレードオフ関係を解消し、高品質微結晶シリコン薄膜の超高速形成実現に取り組んだ結果、通常の製膜装置で用いる圧力よりも数倍高い1300 Paの条件で、製膜速度2.7nm/s、膜厚の均一性±2.4%を得た。

○高生産性微結晶シリコン薄膜製造技術の開発

微結晶シリコンを用いた太陽電池の高性能化に向けて、ドーパ層の開発、微結晶自体の高品質化を目指した成長初期層や微結晶構造の開発、パッシベート技術開発等を実施した。この中で、平成17年度に導入した局在プラズマCVD装置を用いて水素パッシベート技術の開発を行い、約20cm角の基板を用いて法従来法の約3倍の高速製膜条件1.5nm/sで変換効率7.6%を得た。さらに、これら技術を平成18年度に導入した高生産性微結晶シリコン薄膜形成装置に導入し、同装置で開発した技術と融合することで60cm角級の基板において変換効率6.1%、面内分布10%を得た。しかしながらこれら値は製膜速度1.8nm/sの条件であり、更なる高速化・高効率化が必要である。

→<中間テーマ評価の結果>評価結果は良好であったが、本事業目標よりも早期に実用化開発段階に移行すべきと判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：0、学会発表：12、プレス発表：2、特許出願：1（うち外国出願：0）

6) 高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発→高電圧型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発 (株)カネカ)

<H21 最終目標：安定化効率 16%以上（10cm 角ミニモジュール、製膜速度 2.5nm/s または膜厚を大幅削減した薄膜微結晶シリコンにて）> <研究期間 H18-H21>

・高度デバイス構造の開発：超屈折率中間層によりトップ層の感度を中間層無しで 29%、従来中間層で 21%、ミドル層感度を 13%、ボトム層感度を 27%それぞれ向上させた。また短絡電流を 10%、開放電圧を 11.6%向上させた。

・単位セル特性向上要素技術の開発：安定化効率 15%を達成可能な ASLT(Advanced Super Light Trapping)構造を提案した。また新規開発 TCO により、SnO₂ に対し約 1/2 の膜厚でほぼ同等の電流値を達成した。

・多接合薄膜シリコン太陽電池の評価・設計技術開発：光学シミュレーションにより、感度特性が大幅に向上する最適な中間層特性と TCO 形状を明らかにし、IV 特性のスペクトル依存性を評価しミドルセルへの光閉じ込めの重要性を明確にした。

<成果発表件数>原著論文：0、学会発表：20、プレス発表：3、特許出願：28

<開発費用>571.4 百万円

7) 大面積／高効率多接合薄膜シリコン太陽電池の高生産製膜技術開発→高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発（トップセルおよびミドルセル）（三菱重工業(株)）

<H21 最終目標：安定化効率 15%以上（モジュール面積 1000 cm²、製膜速度 2.5nm/s の微結晶薄膜シリコン膜にて）大面積 4m² 基板、製膜速度 1.0nm/s 以上、かつ膜厚分布 15%以内、製膜速度 2.5nm/s 以上の目処。（微結晶シリコン薄膜にて）→（中間評価後の目標）トップ：a-Si 単接合で安定化効率 10%以上、ミドル：微結晶 Si 単接合で V_{oc}560mV 以上。製膜速度 2.5nm/s の微結晶薄膜シリコンを含む面積 1 cm² の 3 接合セルで安定化効率 15%以上、且つ面積 1cm² の微結晶 SiGe 単接合セルで J_{sc}35mA/cm²> <研究期間 H18-H21>

・薄膜シリコン太陽電池の高効率化技術開発：安定化効率目標 10%に対して 9.0%を達成した。再委託先成果適用にて、10%達成を見込んでいる。開放電圧については、目標の 560mV を達成した。

・多接合太陽電池の高効率化技術開発：11.6%を実証し、13%までの技術の目処を付けた。目標効率の実験的検証は未達なもの、ボトムセルの長波長感度向上対策と併れば、目標を達成出来る見通しとなった。

・4m² 基板における大面積高速製膜技術の開発：1.4m 長の基板で製膜速度 2.6nm/s、膜厚分布±9%を達成した。大気搬送試験装置にて 80 秒以内での 4m² 基板の搬送を検証し、装置構造を確立した。

<成果発表件数>原著論文：7、学会発表：31、プレス発表：0、特許出願：32

8) 高生産性フィルム基板薄膜シリコン太陽電池の研究開発（富士電機アドバンステクノロジー(株)）

<H21 最終目標：1m 幅のフィルム単接合セル効率 8%以上かつ効率分布 10 %以下。（フィルム基板上で 0.9m 幅の有効領域、製膜速度 2.5nm/s 以上にて）> <研究期間 H18-H19>

○ 微結晶シリコン高速製膜法の研究

製膜圧力の上昇により、2.5nm/s 程度の製膜速度における効率低下を抑制できた。

○ フィルム基板上微結晶シリコン膜高速製膜技術開発

新規に小面積ロールツーロール方式製膜装置を製作し、面内分布を膜厚分布で±4%、効率分布を±4%に改善した。今後はこうした技術の 1m幅フィルム基板製膜装置への適用を検討する。

○ 微結晶シリコンフィルム太陽電池の搬送、製膜、加工、評価技術の開発

1m 幅フィルム基板を搬送する技術として、搬送時の基板幅方向の位置を±2%以内に制御することが可能となった。今後はフィルム基板上微結晶シリコン膜高速製膜技術開発とあわせ、1m 幅の基板への微結晶太陽電池の製膜技術開発及び、フィルム基板上の微結晶太陽電池のパターニング技術開発を進める。

→<中間テーマ評価の結果>評価結果は良好であったが、本事業目標よりも早期に実用化開発段階に

移行すべきと判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：0、学会発表：3、プレス発表：0、特許出願：1（うち外国出願：0）

9) 薄膜シリコン太陽電池の高効率化と高速堆積技術の研究開発→高電流型高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発（ボトムセル）（産総研、名古屋大学）

<H21 最終目標：安定化効率 16%（1cm² の 3 接合太陽電池にて）エッチング速度 20nm/s 以上（フッ素ガスによるチャンバークリーニング時、面積 1000 cm² 以上）面積 2m² で微結晶シリコン堆積速度 2.5 nm/s 以上、膜厚不均一性 10%以下、単接合セル効率 8%以上、多接合セル効率 11%以上、チャンバークリーニング時のエッチング速度 10nm/s 以上（マイクロ波プラズマ CVD 法にて）

10 cm 角で微結晶シリコン堆積速度 10 nm/s 以上、単接合セル効率 8%以上、効率分布 10%以下（マルチホローカソードプラズマ CVD 法にて）→（中間評価後の目標）トップ：a-Si 単接合で安定化効率 10%以上、ミドル：微結晶 Si 単接合で V_{oc}560mV 以上。製膜速度 2.5nm/s の微結晶薄膜シリコンを含む面積 1 cm²、の 3 接合セルで安定化効率 15%以上、且つ面積 1cm² の微結晶 SiGe 単接合セルで J_{sc}35mA/cm²。> <研究期間 H18-H21>

・微結晶 SiGe ボトムセルの開発：Ge 濃度 10%で短絡電流 28.5mA/cm²（逆バイアス印加時で 31mA/cm²）を達成した。カウンタードープ技術の採用により高 Ge 濃度で電荷収集特性を大きく改善させた。Ge 濃度 20~30%で目標達成の見込み。

・フッ素を用いたプラズマクリーニング技術の開発：シリコン膜エッチング速度 43 nm/s を得た。アモルファス、微結晶いずれの太陽電池でもクリーニングの影響が無いことを確認した。

・マイクロ波プラズマによる微結晶シリコン膜の超大面積堆積技術の開発：最高堆積速度 3.8 nm/s、堆積速度 2.4 nm/s で膜厚不均一性 10%以下を達成した。

・マルチホローカソードプラズマによる微結晶シリコン膜高速堆積技術の開発：赤外分光スペクトルが微結晶シリコンの膜質の指標となることを解明した。

<成果発表件数>原著論文：12、学会発表：40、プレス発表：0、特許出願：4

3-3. 色素増感太陽電池

10) 高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発（東京理科大学、(株)フジクラ）

<H21 最終目標：10cm×30cm 程度のサイズで変換効率 5%以上のサブモジュールで、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する。→（中間評価後の目標）電流収集型サブモジュール（30 cm 角程度）で変換効率 8 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10 %以下を実現する。> <研究期間 H18-H21>

変換効率に関しては、10 cm角モジュールで 8.4%（公的機関測定値）を達成した。モジュールの高耐久化に関しては、複層封止構造（一次封止は電解液漏洩防止、二次封止は湿気進入防止）を採用し、5 cm角セルで JIS C8983 耐久試験（温度サイクル試験、温湿度サイクル試験、光照射試験、耐湿性試験）をクリア。さらに光硬化性封止剤、電解質溶媒を導入して 10 cm角セルを試作し耐久試験を実施中。モジュール作製技術については、基材や刷版の伸縮を検討して印刷精度を上げ、集電配線開口率を 10%up。

<成果発表件数>原著論文：10、学会発表：124、プレス発表：6、特許出願：15（うち外国出願：0）

11) 高効率・集積型色素増感太陽電池モジュールの研究開発（シャープ(株)、産総研）

<H21 最終目標：面積 1cm² の試作セルで効率 13%を達成する。5cm 角の集積型モジュールで変換効率 8%を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する。→（中間評価後の目標）・電圧集積型サブモジュール（15 cm 角程度）で変換効率 8 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10 %以下を実現する。・小面積セル（1cm²）変換効率 15 %以上の指針を得る。> <研究期間 H18-H21>

TiO₂ 膜の均一化により変換効率 8%以上の単位セルを安定して作製する技術を確認。5 cm角モジュールで変換効率 8.4%（公的機関測定値）、15 cm角モジュールで 7.5%（を達成。JIS C8983 耐久試験に対しては、光照射試験、温湿度サイクル試験をクリア。また、プラスイオンまたは中性

分子による TiO₂ パッシベーション技術、及び新規開発色素を導入することにより 0.5 cm角セルで変換効率 10.4%を達成した。またタンデム型セルではセル構成条件を最適化して、変換効率 11.0%を実現した。

<成果発表件数>原著論文：17、学会発表：57、プレス発表：11、特許出願：6

12) 色素増感太陽電池の高発電量化技術の研究開発（(財)電力中央研究所）

<H21 最終目標：実使用時に高い年間発電電力量を得ることかできる設置利用形態を明らかにし、幅広に導入・普及が可能となる色素増感太陽電池開発に資する。> <研究期間 H18-H19>

○ 太陽光発電システム設置環境データの取得・分析

準気象・日射データ METPV 等、長期に亘り信頼性のある観測結果が存在する日射量から、散乱光の分光放射照度を概算推定できる経験的数式モデルを開発した。分光放射照度の理論モデルは NREL の SMARTS 等が既存であるが、散乱光には充分に対応しておらず、日本のように快晴がそれほど多くない気象条件における発電量推定に道を拓いた。

○ 色素増感太陽電池の性能特性の抽出

自主製作セル及びメーカ試作セル・モジュールの発電特性の詳細測定から、色素増感太陽電池の発電特性のシミュレーション評価モデルを開発した。この評価モデルなどを用いた屋内外での実測結果の詳細分析から、色素増感太陽電池の特長は、「分光感度が散乱光に適していること」であることを示した。さらに、屋内シミュレータ評価・単結晶シリコン太陽電池と比較して、屋外で 10～20%程度出力が増加することがあることを実証した。

○ 色素増感太陽電池の性能特性を活かした利用形態の検討

標準気象・日射データ METPV を用いて、太陽電池の年間発電量を概算推定するモデルを開発した。実測による検証も行った色素増感太陽電池の屋外発電量推定モデルの開発は初めてであり、色素増感太陽電池の屋外発電量の推定を可能にした。さらに、代表例の概算で、屋内評価よりも 1 割程度以上高い発電量効率（入射エネルギー量に対する発電量の割合）が得られることを明らかにし、設置形態の工夫等により、高い発電量効率が得られうることを示した。

→<中間テーマ評価の結果> 基本研究としての成果は十分に得られたが、未来技術テーマ中においては今後は効率、耐久性向上を主とするため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>原著論文：0、学会発表：1、プレス発表：0、特許出願：0

13) ナノ構造酸化亜鉛電析膜を用いる有機色素増感太陽電池の研究開発（岐阜大、(株)ケミクレア、(株)積水樹脂技術研究所）

<H21 最終目標：面積 1 cm² の試作セルで変換効率 10%を達成する。10cm 角のプラスチック色素増感太陽電池モジュールで変換効率 3%を達成し、同時に、J I S 規格 C 8 9 3 8 の環境試験・耐久性試験を評価する。→（中間評価後の目標）・プラスチック（樹脂基材）樹脂基材を用いたサブモジュールで変換効率 6 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10 %以下を実現する。・プラスチック（樹脂基材）を用いた小面積セル（1cm²）変換効率 12 %以上を目標とする。> <研究期間 H18-H21>

色素増感太陽電池に適した酸化亜鉛電析膜の作製技術を確立。電析なのでプラスチック上に膜を形成することが可能。さらに酸化亜鉛電析膜に適した色素開発、色素使用環境の最適化、色素感度広帯域化し変換効率 6.43%を達成した。10 cm角のプラスチック基材を用いたサブモジュールは変換効率 4.8%。温湿度サイクル試験をクリア。その他の耐久試験は実施中（35mm 角セルでは光照射試験、耐湿性試験をクリア）。

<成果発表件数>原著論文：30、学会発表：132、プレス発表：8、特許出願：5

14) 立体的多層構造を有するハイブリッド色素増感太陽電池の研究開発（九州工大、新日鐵化学(株)）

<H21 最終目標：5mm 角の試作セルで効率 12.5%を達成する。→（中間評価後の目標）ハイブリッド色素増感太陽電池の小面積セル（1cm²）で変換効率 15 %以上を目標とする> <研究期間 H18-H21>

TiO₂ ポーラス電極内に吸着する色素を二重構造にして色素増感太陽電池をハイブリッド化することを検討。加圧二酸化炭素雰囲気中で吸着することにより二層色素構造を実現。この色素層をポーラスな Ti 電極で覆いハイブリッド化を実現、変換効率 7.97%を達成。また色素増感層を

ステンレスメッシュ電極上に形成したモデルセルを試作（変換効率は 5.56%）。この電極をタンデム構造の一つの電極に採用することを提案し、電池として動作できることを実証した。トップ電極（可視光吸収）に TiO₂、ボトム電極（赤外光吸収）に SnO₂ を用い、ボトム電極はステンレスメッシュ上に形成するタンデム構造を提案。

<成果発表件数>原著論文：17、学会発表：163、プレス発表：3、特許出願：10（うち外国出願：0）

15) 費用効果に秀でた高耐久色素増感太陽電池の研究開発（阪大、東洋製罐（株）、関西パイプ工業（株））

<H21 最終目標：面積 25cm² 以上の試作モジュールで変換効率 4%以上を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する。→（中間評価後の目標）金属基材を用いた 15cm 角程度のサブモジュールで変換効率 8 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10 %以下を実現する。> <研究期間 H18-H21>

アルミニウム基材の表面処理及びチタンゾルゲル膜中間層形成により、電解質に対するアルミニウム基材の耐食性を確保した。熱膨張の異なるアルミニウム-ガラス間の封止にはエラストマーを分散した封止剤を用いて応力を吸収した。スクリーン印刷で Pt 触媒層を形成する技術を開発し、全行程スクリーン印刷でおこなうことが可能となる。また電解質充填、色素吸着等の製造プロセスも確立し、5cm 角セルにおいて変換効率 5.1%を達成。耐久試験は光照射試験をクリア。

<成果発表件数>原著論文：8、学会発表：4、プレス発表：0、特許出願：24（うち外国出願：1）

16) タンデム構造色素増感太陽電池の研究開発（信州大、コア（株）、保土谷化学工業（株））

<H21 最終目標：面積 0.25cm² の試作セルで効率 12.5%を達成する。> <研究期間 H18-H19>

○ n/n 直列タンデムセルに適した構造の開発と第二極用半導体の探索

開発した内部直列構造タンデムセルはロードマップ 2030 年におけるタンデムセルの標準型となる可能性が十分にあると考えている。

○ n/n 並列タンデムセルに適した構造の開発

開発したサンドイッチ型並列タンデムセルは、既知の最適条件（材料等の）と当開発で明らかにした最適化をすべて組み合わせることで、表裏開放状態で使用すれば効率 12.5%の通常の太陽電池と同発電量を達成する可能性が高い。よって、目標をほぼ達成したといえる。

○ n/p タンデム型の開発

p 型色素増感太陽電池の開発段階は、n 型と比べて大幅に遅れている。当研究開発で基礎的な解明は進んだが、適当な p 型半導体の候補が未定であり、今後も 10 年以上の研究が必要と思われる。

○ 長波長色素開発

目標を大幅に上回る数の色素を合成、評価できたが、十分な性能を有する長波長色素の開発には至らなかった。しかし、その過程で今後の開発に向けた色素設計指針が十分に得られた。

→<中間テーマ評価の結果>タンデム化に積極的に取り組んでいる点は評価出来るが、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：3、学会発表：15、プレス発表：0、特許出願：1（うち外国出願：0）

3-4. 結晶シリコン太陽電池

17) 新構造超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発（京セラ（株））

<H21 最終目標：厚さ 100μm、面積 15cm 角相当の多結晶シリコン太陽電池セルで、平成 20 年度末にセル変換効率 18%の達成、及び平成 21 年度末までに超薄型セルを用いたモジュール化技術の課題把握> <研究期間 H18-H21>

○ バックコンタクトセルの基本構造開発

バックコンタクトセルの基本構造を決定した。今後は、下記の高効率化技術を適用して特性を確認する。

○ 高効率化技術開発

受光面側ではエミッタの最適化で、 V_{oc} 、 J_{sc} を各 2% 以上改善し、変換効率で 6% 以上の向上が図れた。裏面側では Local BSF 化で V_{oc} の 1% 向上を実現し、裏面電極の高反射率化で長波長域の感度を向上させた。これらの技術を適用することで、従来の変換効率 17.1% (厚さ $100\mu\text{m}$, 15cm 角) に対し、最終目標の 18% 達成が見込める。

○ 超薄型太陽電池生産プロセスの検討

厚さ $100\mu\text{m}$ の超薄型セルで生じる反りとタブ付けによるクラック発生に対し、応力緩和によって回避する手法を開発した。この手法によるセルでモジュールを試作した結果、モジュール化による特性変化率は従来の厚さ $180\mu\text{m}$ の基板と同等であることを確認した。また、モジュール化によってクラックが発生しないことを確認した。

<成果発表件数> 原著論文：1、学会発表：4、プレス発表：41、特許出願：19

18) 未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発 (三菱電機 (株)、東工大)

<H21 最終目標：・三菱電機 厚さ $100\mu\text{m}$ 、面積 15cm 角相当基板をカーフロス $150\mu\text{m}$ 以下でスライスして形成する技術の確立、及び東京工業大学が開発するパッシベーション技術と組み合わせ、基板厚さ $100\mu\text{m}$ 、面積 15cm 角相当の多結晶シリコンセルにおいて変換効率 18% の実現
・東京工業大学 基板厚さ $100\mu\text{m}$ 、面積 10cm 角相当の多結晶シリコン太陽電池セルで変換効率 18% の達成 → (中間評価後の目標) 基板厚さ $100\mu\text{m}$ 、面積 15cm 角相当の多結晶シリコンセルにおいて変換効率 18% を実現し、超薄型セルを用いたモジュール化技術の課題把握する。> <研究期間 H18-H21>

○ 多結晶シリコンの超薄型放電スライシング技術の開発

放電スライスにより 15cm 角基板のスライシングでカーフロス $145\mu\text{m}$ を達成した。非接触でのカットのため (ワイヤーと基板間は放電空間)、超薄型基板のスライスに有利であり、従来のマルチワイヤソーと比較して砥粒スラリー等廃棄物の排出がなく、環境負荷が小さい。

○ 超薄型多結晶シリコンセル製造技術の開発

高速レーザパターニングによるハニカムテクスチャー構造、およびポイントコンタクト構造 (裏面反射構造) による多結晶シリコンセルの高効率化技術を開発し、厚さ $100\mu\text{m}$ 、 15cm 角で目標の変換効率 18% を達成した。

○ モジュール化技術の課題把握

厚さ $100\mu\text{m}$ セルへのタブ付け技術を開発して 4 枚セルモジュールを試作し、実用サイズのモジュール化 (50~60 セル) にあたってタブ付け応力の低減が課題であることを把握した。その対策として、配線接続用はんだの冷却速度の制御で対応できることを確認した。

○ デンドライト多結晶シリコン基板の評価

通常が多結晶シリコン基板よりもインゴット位置依存性が良好 (インゴット端部での特性低下が小さい) であることを確認した。量産用のインゴットに適用した場合、平均効率の向上 (高ランク品率の向上) が期待できる。

<成果発表件数> 原著論文：0、学会発表：36、プレス発表：45、特許出願：36

19) 超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池の研究開発 (産総研、トーヨーエイテック (株))

<H21 最終目標：①インゴット (単結晶： 12.5cm 角、多結晶： 15cm 角) をスライス速度 $10\mu\text{m/s}$ 、ウエハ厚さ $100\mu\text{m}$ 以下、カーフロス $100\mu\text{m}$ 以下でプラズマスライスする技術の確立 ②n 型単結晶シリコン基板 (厚さ $100\mu\text{m}$ 、 12.5cm 角) を用いたヘテロ接合型太陽電池において変換効率 21% を達成し、本技術の p 型基板への適用に関する指針を得る ③多結晶シリコン基板 (厚さ $100\mu\text{m}$ 、 15cm 角) を用いた多結晶界面制御型太陽電池において、変換効率 18% の達成> <研究期間 H18-H20>

○ プラズマ加工スライス

複数の電極でスライスした結果、カーフロス $100\sim 200\mu\text{m}$ 、ウエハ厚さ $130\sim 300\mu\text{m}$ であった。各電極に個別の抵抗で印加電圧を制御することでカーフロスを制御できることが分かった。

○ XeF₂ を用いたプラズマレスガスエッチングによるテクスチャ形成

多結晶シリコン表面へのテクスチャ形成を行い、反射防止膜 (SiN 膜) との組み合わせで、3% 以下の反射率を実現した。

○ 低温形成 BSF (Back-Surface-Field) 技術

多結晶シリコン基板で p 型 a-Si:H を BSF 層として使用し、1000cm/s 以下の裏面再結合速度を実現した。

○ 薄型結晶シリコン太陽電池の要素技術検討

厚さ 100 μ m, 2cm 角の p 型単結晶シリコン基板で変換効率 17.3%を得た。厚さ 100 μ m の多結晶シリコン基板への低温形成 BSF の適用は有効であることを確認したが、高品質な SiN 膜を得ることができず、厚さ 100 μ m, 2cm 角で変換効率は 14.3%に止まった。

<成果発表件数>原著論文：3、学会発表：11、プレス発表：4、特許出願：3

20) 次世代超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発 (シャープ (株)、東北大、(株)日平トヤマ、岡山大学、PVTEC)

<H21 最終目標：・シャープ(株)基板厚さ 100 μ m、サイズ 150mm 角の多結晶シリコンセルにおいて変換効率 18%の実現、平成 21 年度までに超薄型セルを用いたモジュール製造工程の課題抽出と対応策の検討 ・東北大 デンドライト利用キャスト方法を用いて作製したシリコンバルク多結晶が、高品質・高均質である原因を解明し、さらに太陽電池特性が通常のキャスト法バルク多結晶に比べて優れている原因の把握、及びデンドライト成長機構の基礎的な解明

・(株)日平トヤマ 面積 15cm 角相当の多結晶シリコン基板を厚さ 100 μ m 程度、切り代 150 μ m 以下でスライスする技術の実証及びスライス後の基板洗浄における基板割れ対策立案

・岡山大学 面積 15cm 角相当、比抵抗数 $\Omega \cdot \text{cm}$ の多結晶シリコンインゴットを切り代 100 μ m 程度で厚さ 100 μ m 級の基板にマルチ加工でスライスする技術の確立→ (中間評価後の目標) >

<研究期間 H18-H21>

○ 超薄型セル高効率化技術の開発

SiN 膜による裏面パッシベーション構造、30 μ m 幅の微細電極形成等により厚さ 100 μ m、10cm 角の薄型多結晶基板により変換効率 18.2%を達成した。15cm 角での変換効率 18%達成に向けて開発を進めている。

○ 超薄型セル製造プロセスの開発、モジュール製造工程の検討

30 μ m 幅の表電極細線化と裏面ポイントコンタクト化により、薄型化によるセルの反りを防止した。また、反りを防止できたことで、モジュール製造のストリングス行程、ラミネート行程での位置ずれを防止でき、従来厚さと同等の生産性を維持できることを確認した。

○ デンドライト利用キャスト法により作製したシリコンバルク多結晶の高品質化要因の解明

品質低下の原因となる亜粒界がランダム粒界から発生することを解明した。デンドライト結晶の配列、長さ等の初期結晶組織を制御することでランダム粒界の密度と整合性を制御でき、亜粒界・転位などの結晶欠陥を低減できることを確認した。また、結晶成長メカニズムについては、デンドライト結晶に含まれる平行双晶の形成メカニズム、および平行双晶を利用してデンドライト結晶が成長するメカニズムを解明した。φ15cm に加えてφ30cm のデンドライト結晶を利用した多結晶シリコンインゴットを製作した。

○ デンドライト結晶を利用した多結晶シリコン基板の評価

φ15cm インゴットから切り出した基板で 10cm 角のセルを試作して評価した結果、インゴット高さ方向の広い範囲で変換効率 18%前後が得られた (最高効率 18.2%)。インゴット端部の特性低下が小さく、従来の多結晶シリコンインゴットに比べてインゴットの位置依存性が小さい。

○ カーフロス低減技術の開発

スラリ方式では径 100 μ m のワイヤーと細ピッチ溝ローラを使用して、カーフロス 140 μ m、厚さ 100 μ m の基板スライスに成功した。ダイヤモンドワイヤー方式では最適なダイヤ粒径を決定して、カーフロス 140 μ m、厚さ 150 μ m の基板スライスを達成した。

○ 放電加工スライス技術の開発

比抵抗数 $\Omega \cdot \text{cm}$ の材料を安定に加工することを目的に、放電の開始と加工を個別に担う特殊マルチ放電電源装置を開発し、細線ワイヤー走行系と放電パルス供給システムと組み合わせ、8cm 角の多結晶シリコンをカーフロス 150 μ m でのスライスを達成した。

<成果発表件数>原著論文：17、学会発表：61、プレス発表：9、特許出願：4 (うち外国出願：0)

21) n型多結晶シリコン製造技術の研究開発 ((株)第一機電)

<H21 最終目標：大型凝固炉を用いて製作した n 型多結晶シリコン基板で、平均少数キャリア寿命が 0.5 ms 以上> <研究期間 H18-H19>

○ 高品質 n 型多結晶シリコン製造技術の研究開発

凝固育成過程の温度分布が結晶の品質に影響することを解明し、凝固育成条件の改善を行い凝固育成後のライフタイム 0.31ms が得る事が出来、目標の 0.2ms 以上を達成した。

固液界面位置と温度の測定から凝固育成過程の固化開始位置と時間を正確に突き止め、凝固育成条件の改善を行った。また生産用大型炉を利用して□440×360mmH(90kg 挿入)の n 型多結晶シリコンインゴットの製造を行ったところ、特性は小型凝固炉で試作したインゴットより安定することが分かった。□840 ルツボを標準仕様とする大型炉で□440 ルツボのインゴットを製造するのに、シミュレーションによるレシピ設定がおおいに役だった。

○ 試作インゴットの品質評価および品質改善

試作したインゴットの拡散長およびライフタイムを直ちに測定することによって、次に試作するインゴットの凝固育成条件を変更する際の、速やかなフィードバックが出来た。

リングゲッターリングによってライフタイムを 0.5ms まで改善出来、部分的には目標の最高少数キャリア寿命 1ms を達成することが出来た。

○ 結晶欠陥分布評価

溶液浸 PL イメージング法による結晶欠陥の測定結果は、凝固育成条件の改善に反映させることが出来た。また低温 PL 法による不純物濃度分析から使用するルツボの違いで、出来たインゴットの不純物濃度も変わり特性に大きな影響を及ぼすことが判明した。

→<中間テーマ評価の結果>本テーマは先見性があり、意欲的な課題であり、最終目標も達成していることから、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>原著論文：1、学会発表：5、プレス発表：0、特許出願：0

22) 低コスト原料を使用したロバスト多結晶シリコン製造技術の研究開発 (豊田工大、九大、明治大)

<開発目標：・豊田工大 太陽電池級(VLD 法等)シリコン原料を用いて平均ライフタイム 100 μ sec 以上、金属級シリコンと太陽電池級(VLD 法等)シリコンの中間程度(金属級シリコン重量分率 30%以上)の原料を用いて平均ライフタイム 30 μ sec 以上となる成長技術の確立

・九州大学 低品位原料を用いても結晶内の残留応力を低減するインゴット成長プロセスの提案を行う ・明治大学 高ライフタイム結晶成長の指針を得る> <研究期間 H18-H19>

○ 低品位原料を用いた多結晶シリコン成長技術の開発(豊田工大)

現状の半導体用原料のオフグレード品および太陽電池級(SOG)原料を用いて結晶成長及び評価を、従来から存在する定速坩堝回転法、ACRT 法、及び豊田工大が開発した凝固・融解サイクル成長(SRS)法により行った。SOG 原料はドーパントと成り得る不純物を多量に含むため、作製したインゴットは、途中から伝導型が変化したり、抵抗率が予想よりも大きく変動する。そこでドーパントを複数種入れることで伝導型及び抵抗率の制御を行った。また、スラグ発生を抑制するために、結晶成長中の雰囲気ガス圧力・流量などの検討を行った。

以上を行った結果、坩堝無回転の場合よりも回転を与えた方がインゴット品質の向上が確認出来たが、回転数をあまり高くするとむしろ品質を低下させることを明らかにした。また、豊田工大開発の SRS 法は不純物の高効率除去や不純物の析出を抑制に極めて有効であることを実証した。SRS 法に伝導型・抵抗率制御及びスラグ・ボイド対策を施した結果、SOG 原料を使用したインゴットでは目標値を上回り、オフグレード原料の場合でもほぼ目標値を達成した。(オフグレード原料を使用したインゴットでは、as grown の平均ライフタイム 72 μ sec に達し、H19 末目標値 60 μ sec を超えた。ゲッターリング後の平均ライフタイムは 109 μ sec に達し、H19 末目標値 120 μ sec をほぼ達成した。SOG 原料を使用したインゴットでは、as grown の平均ライフタイム 26 μ sec、ゲッターリング後の平均ライフタイム 59 μ sec で、どちらも H19 末での目標値を超える結果が得られた。)

○ 結晶成長時のプロセスシミュレータの開発(九大)

結晶成長時の不純物挙動を定量化するダイナミックシミュレータを開発し、実際の凝固実験による不純物濃度分布との定量的比較等の検証を行った。実際に ACRT 法で育成した多結晶シリコン中の不純物濃度分布を測定した結果、数値解析により示されたとおり、各種不純物の濃度分布を均一にすることが可能となったことを確認した。

○ インゴット・基板特性の評価(明治大)

微小 pn ダイオードアレイを多結晶シリコン上に作製し、電気特性の分布を測定した。これと対応して、PL や TEM による結晶欠陥の評価、および TEM/EDS を用いた不純物評価、ラマン分光による応力集中の分析を行った。以上の分析により、電気特性に悪影響を与え、かつ金属不純物を集める、欠陥や結晶粒・粒界には大きな圧縮応力の集中が見られた。応力集中は成長時の過冷却が原因と考えられ、熱平衡に近い成長が効果的である。このことから、SRS 法の効果は大きいと考えられる。

→<中間テーマ評価の結果>低コスト原料で質の高い結晶を得ようとする点は意欲的課題と評価出来るが、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>原著論文：13、学会発表：66、プレス発表：0、特許出願：0

3-5. 有機薄膜太陽電池

23) タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発 (産総研、パナソニック 電工 (株))

<H21 最終目標：初期変換効率 5% の試作セルにおいて、連続光照射下での大気暴露試験を行う。→ (中間評価後の目標) 小面積セル (1 cm²) で変換効率 7% を実現し、同時に連続光照射下での大気暴露 100 時間による相対効率低下 10% 以下を実現する。> <研究期間 H18-H21>

ポリマー-フラーレン電池について、新規のドナーポリマー材料を開発し、5mm 角シングルセルで効率 5.5% を実現。さらに低・電圧ロス中間層の導入により 2.5mm 角のタンデムセルで効率 6.2% を達成。現在、タンデムセル電流シミュレーションにより構造を最適化して効率 7% を達成する見込み。熱刺激電流により、セルの劣化はデバイス内部でキャリアトラップが要因であることをつきとめ、バッファ層導入によりキャリアトラップを低減、劣化を抑制することに成功。

<成果発表件数>原著論文：13、学会発表：42、プレス発表：7、特許出願：15 (うち外国出願：0)

24) 高耐久性を有する大面積有機薄膜太陽電池の研究開発 (金沢大学、小松精練 (株))

<H21 最終目標：1 cm² の試作セルで変換効率 5% 以上を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露試験を行う> <研究期間 H18-H19>

○ 酸化チタン膜挿入逆型有機薄膜太陽電池 (素子面積 1.0cm²) を開発し、エネルギー変換効率が 2.5%、未封止での大気曝露下の連続光照射下 20 時間による相対効率低下 5% 以下を達成し、封止処理により連続光照射下 120 時間による相対効率低下 5% 以下を達成した。

○ 密着型ガラス板封止技術による有機薄膜太陽電池を試作し、60°C90%Rh×1000h 保管後でも相対効率低下 10% 以内を達成した。有機薄膜太陽電池の大型化に伴い密着型充填ガラス板封止が重要な封止技術になると考える。

以上のように、現時点では変換効率は 2.5% と目標値の半分程度と小さいながらも、封止した状態であれば世界最高レベルの耐久性を有する素子を開発することに成功した。

→<中間テーマ評価の結果>封止技術としては注目に値するが、効率の出るセルで検討をすべきと判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：1、学会発表：13、プレス発表：0、特許出願：2 (うち外国出願：0)

25) ネットワーク構造を有する高性能有機薄膜太陽電池の研究開発 (名工大)

<H21 最終目標：1 cm² の試作セルで変換効率 5% 以上を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露試験を行う> <研究期間 H18-H19>

有機化合物は多様性があり且つ精製が容易また資源の枯渇は考えなくても良いという有利な特徴を持っている。これまでの開発により、有効なアクセプターとしてのフラーレン誘導体開発の道を示すことができた。今回、新規有機薄膜としてポリマーのドナーおよびアクセプターを用いて、相互作用する面積の拡大をはかり、従来のPCBMを用いたヘテロ接合型を凌駕する次世代型有機薄膜太陽電池の構築をはかる。今回の研究により、PCBMとほぼ同等な光電変換効率を示す可溶性フラーレン誘導体を見だし、

新規な高性能アクセプター開発の道を示した。また、フタロシアニン二量体が置換基によりまたリンカーにより分子内及び分子間相互作用に大きな影響をもたらすことを明らかにし、フタロシアニンの分子レベルでの制御の可能性を示した。フタロシアニン、フラーレンポリマーが引く印柄も光電変換効率を示すことがわかり、今後の薄膜様ポリマー分子のデザインに情報を与えることができた。さらに、フタロシアニンのポリマーブラシを世界に先駆けて精製することに成功した。太陽電池としての性能は出ていないが、ポリマーブラシ法は有望な有機薄膜製造法として大きな価値があると考えられる。

→<中間テーマ評価の結果>有機合成の知見は得られているが、目標に対しての高効率化が必須である点などにより、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：1、学会発表：2、プレス発表：0、特許出願：2（うち外国出願：0）

26) 超階層ナノ構造を有する高効率有機薄膜太陽電池の研究開発（京大、新日本石油（株））

<H21 最終目標：0.25cm²の試作セルで7%を達成し、同時に、連続光照射下での大気暴露試験を行う→（中間評価後の目標）有機薄膜太陽電池の小面積セル（1cm²）で変換効率7%を実現し、同時に連続光照射下での大気暴露100時間による相対効率低下10%以下を実現する> <研究期間 H18-H21>

TiO₂電子輸送層及びマイクロ波アニーリングにより均一性を向上させ、1cm角セルの変換効率4.1%を達成。材料の高純度化がセルの耐久性向上に有効であることを見だし、連続光照射下での大気暴露100時間による相対効率低下6%以下を実現した。超階層ナノ構造素子については構成要素材料の基礎的検討を実施し、既存材料を凌ぐアクセプター、ドナー、電子輸送層、ホール輸送層の各材料を新たに開発。素子構造の構築に目処をつけた。

<成果発表件数>原著論文：101、学会発表：368、プレス発表：15、特許出願：11

3-6. 次世代技術の探索

27) 超高効率多接合型太陽電池の研究開発（シャープ(株)、大同特殊鋼(株)、大同メタル工業(株)）

<H21 最終目標：効率45%の超高効率太陽電池、集光効率85%を達成し、モジュール効率36%を実現> <研究期間 H18-H19>

○3接合型太陽電池

逆エピ構造セルの薄膜セル化プロセスを確立、逆エピInGaAs(1eV)単一セルで良好な表面モフォロジーを得、集光時セル変換効率40%を達成した。但し、非集光時の変換効率は30.3%の達成に留まり、目標としていた32%には及ばなかった。InGaAs単一セルとは異なり、ミドルセル上のInGaAsセルではVocが低下していることがわかっている。成長条件の見直しが課題である。

○1,000倍集光モジュール技術の研究開発

幾何学的な集光倍率で1,340倍集光を行う集光光学系の目処をたてるとともに、高性能放熱技術、高耐久性実装技術の開発を行い、モジュール化の目処を立てた。

○集光用フレネルレンズの開発

金型表面仕上げ加工技術の向上を図り、2段集光用フレネルレンズを開発した。幾何集光倍率1,340倍の仕様のもとで、光学集光倍率1,000倍の実現に見通しを得た。集光レンズ表面評価装置を開発し、レンズ検査技術の確立を行った。

→<中間テーマ評価の結果>評価結果は良好であったが、本事業目標よりも更に長期的開発分野に属すると判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：0、学会発表：7、プレス発表：1、特許出願：2（うち外国出願：0）

28) スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空CIS太陽電池の製造技術開発（龍谷大、東工大）

<H21 最終目標：スクリーン印刷/焼結法による超低コスト非真空プロセスにより変換効率13%> <研究期間 H18-H21>

現在、従来の方法と異なり真空を用いない超低コストなCIGS薄膜の製造プロセスとして印刷/焼結法が開発されてきている。しかし印刷/焼結法で作成したCIGS薄膜は内部に空孔が生じ

緻密な薄膜を再現性良く作成することは困難であった。本技術開発では、これらを克服し、表面が平滑で空孔を殆ど含まない緻密な CIGS 薄膜を得る新焼結プロセスを開発した。また CIS の禁制帯幅を広げるために Ga を固溶させると焼結しにくくなるが、Ga を固溶した系および CuSe 系焼結助剤を添加しない系での CIS 系焼結膜の作成を可能とする新材料プロセスを開発した。これらにより得られたセルの変換効率は今のところ 10% (見込み) である。また印刷/焼結法による CIGS 薄膜の光学および電気物性評価を可能とし、この成果は太陽電池用の新化合物半導体の探索に応用できる。

29) 超高効率太陽電池の研究開発 (福井大、筑波大、豊田工大)

<H21 最終目標 : ①InGaN 混晶単一接合セルで変換効率 10% (In 組成 0.2~0.5)、3%(InN、In リッチ組成)、②InGaAsN(Sb)単接合セルで変換効率 15%、量子ドット超格子型太陽電池で変換効率 15%、③CBE 成膜 GaAsN 材料を用いた単接合太陽電池で変換効率 15% > <研究期間 H18-H19 >

○ 窒化インジウム系 (福井大)

MOVPE 法を用いて相分離、金属 In 析出のない InGaN の成長技術について検討し、In 組成 0~0.37 の InGaN 膜成長技術を確立した。続いて、Cp2Mg を原料として、それら InGaN 膜への Mg ドーピングについて検討し、In 組成 0~0.37 の InGaN 膜において、キャリアの補償効果を確認した。さらに、In 組成 0.23 までの InGaN において p 型化を確認した。In_{0.23}Ga_{0.77}N 膜を用いて、n⁺-p 接合構造の太陽電池を製作し光起電力特性を確認した。AM1.5, 100 mW/cm² の光照射下での開放端電圧、短絡電流密度、変換効率は、それぞれ、1.5 V、0.5 mA/cm²、0.2% であった。

また、XAFS 測定により、Mg が InN 中で In サイトを占めており、従って、アクセプタとして機能している可能性が極めて大きいことが明らかになった。次に、Mg ドープ InN 膜のキャリア濃度、抵抗率について検討し、In_{0.2}Ga_{0.8}N が p 型反転した Cp₂Mg/III 族元素モル比 5% 付近においてキャリア濃度の極小値、抵抗率の極大値が存在することを見出した。このようなキャリア濃度の極小値、抵抗率の極大値の出現は Mg による残留キャリアの補償効果を表している可能性が大きい。

○ III-V-N 系 MBE 法/量子構造 (筑波大)

GaInNAs(Sb) 薄膜、及び太陽電池作製における Sb 照射の効果を調べた。薄膜試料では、Sb 照射により 100 nm 程度の長波長化の効果が得られ、77 K において 1200 nm での発光を達成し、また最適な Sb 照射量が存在することが分かった。Sb 照射により吸収端波長の長波長化と量子効率の改善を同時に達成した。また、圧縮歪みが存在する系では Sb のサーファクタント効果がより得られやすい可能性が考えられ、GaInNAs 系材料の高品質化が期待される。

一方の量子ドット構造を利用した高効率太陽電池の研究開発において、中間層として GaAs 基板よりも格子定数が小さい GaNAs 希釈窒化物化合物を用い、基板に対して InAs 量子ドットとは逆向きの引張り歪みを発生させることで、1 周期毎に格子歪みを一旦ゼロにリセットして歪みフリーな状態を保つことを原理とした歪み補償成長法が大変有望であることを明らかにした。原理的には 100 層以上の多層化も十分可能であり、本研究開発でも 30~50 層まで多重積層化量子ドット群の作製に成功した。

○ III-V-N 系 CBE 法 (豊田工大)

GaAsN 材料の高品質化に重点を置いて研究開発を行い、流量変調法を提案して、残留不純物濃度の低減をはかった。その結果、不純物濃度低減の効果により、残留キャリア濃度の低減、移動度の向上がはかられた。残留 H 濃度は目標値に達していないが、不純物濃度低減の効果が大きく得られた。n 型ドーピングによりキャリア濃度を制御し、単接合セルを試作した。GaAsN ホモ接合セル(窒素濃度約 0.5%)で効率 1.9%を得た。

超高効率 4 接合セルの実用化に向けては、本研究で取り組んだ 1eV 帯新材料 InGaAsN の高品質化が必要であり、本研究では InGaAsN 材料高品質化で重要な成果を上げることができた。

本研究でキャリア移動度についての改善が進んだが、セルの変換効率の向上のためには、今後、窒素起因の欠陥を明らかにして欠陥制御を行い、少数キャリア寿命の改善をはかっていく必要がある。

→<中間テーマ評価の結果>評価結果は可であったが、本事業目標よりも更に長期的開発分野に属すると判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>原著論文 : 10、学会発表 : 28、プレス発表 : 0、特許出願 : 0

30) 同時蒸着法による超高品質 CZTS 光吸収層の研究開発 (長岡工業高専)

<H21 最終目標: 変換効率 8%> <研究期間 H18-H19>

本研究では、汎用原料のみで構成できる $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ を光吸収層に用いた薄膜太陽電池の研究開発を行った。

○ 各種ウェハ(Si, GaP, GaAs, InP 等)を用い、超高品質 CZTS 薄膜を作製し、XRD, RHEED などの結晶学的な評価を行う。

Si 基板上においては、高品質な配向 CZTS 薄膜の作製に成功した。基板温度をパラメータとした XRD 測定結果より、基板温度の上昇に伴って CZTS の自然配向面である 112 回折ピークが消失していくことおよび c 軸配向を示唆する 002, 006 回折ピークが出現することを明らかにした。また、これらの変化に伴ってラマンスペクトルの半値幅が変化することを明らかにした。さらに、詳細な RHEED の解析結果より、c 軸配向, 2 種類の a 軸配向, 4 種類の双晶の 7 種類の配向が存在することが示された。

○ PL により光学的評価を行い、欠陥準位の起源を明らかにする。

CZTS 同時蒸着膜をフォトルミネッセンス測定したところ、3 つの発光を観測した。1 つ目に 1.45 eV 付近に見られた発光は励起光強度依存性が見られたので、D-A ペアによる発光と考えられる。2 つ目は 1.31 eV 付近の発光である。発光強度が弱い、発光エネルギーから Tanaka 等が報告しているものに対応すると思われる。3 つ目は、1.19 eV 付近の発光である。励起光強度依存性から D-A ペアによる発光であると考えられるが、発光がブロードであり、更に詳しい測定が必要である。

○ 詳細な組成制御を行い、禁制帯幅の組成による制御の可能性を見極める。

CZTS より禁制帯幅が大きな GaP 基板上で、配向した高品質な薄膜を作製することができなかった。そのため、配向膜の透過率測定が実施できなかったことから、禁制帯幅の組成による制御の可能性についてはコメントできない状態である。

→ <中間テーマ評価の結果> 蒸着法による製膜でのセルプロセスやスパッタ法にフィードバックするためのアプローチが見いだせておらず、本事業で実施すべき技術レベルに達していないものと判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数> 原著論文: 0、学会発表: 4、プレス発表: 0、特許出願: 0

31) 革新的光吸収層を有する未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発 → 未来型薄膜シリコン太陽電池の研究開発 (東京工業大)

<H21 最終目標: トップセルで開放電圧 1.1V 以上。GeC ボトムセルで短絡電流 $15\text{mA}/\text{cm}^2$ 。禁制帯幅 1.1~1.4 eV の Si/SiC ナノクリスタル・シングルセルで変換効率 5% 以上 → (中間評価後の目標) a-Si あるいは a-SiC トップセルで開放電圧 1.1V 以上> <研究期間 H18-H21>

・ワイドギャップ・プロトクリスタル SiO₂, SiC トップセルの開発: a-SiO₂ と a-SiC トップセルで開放電圧 1.04V を達成した。トリプルセルのシミュレータを完成し、有用性を実証した。

・超薄膜型 GeC ボトムセルの開発: 欠陥密度: $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下 (CPM による推定) を達成した。

・第 3 世代 Si/SiC 系ナノクリスタルの開発: 禁制帯幅制御により $E_g = 1.1 \sim 1.6\text{eV}$ 、欠陥密度: $1.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下 (ESR 測定) を達成した。

<成果発表件数> 原著論文: 18、学会発表: 61、プレス発表: 10、特許出願: 0

32) ナノ構造光閉じ込め基板を用いた薄膜シリコン太陽電池の研究開発 (阪大)

<H21 最終目標: 協業企業作製の微結晶シリコン太陽電池単接合セル変換効率が、従来基板のセルに比して絶対値で +3% となること> <研究期間 H18-H19>

○ エッチングにより、ガラス基板表面上におけるナノ構造の rms ラフネスを 13~90nm の範囲にて制御可能であることを実証した。同時に、光散乱機能を十分に有することを実験的に検証した。

○ 光閉じ込め基板において、堆積後の透明電極表面における rms ラフネス 13nm 以下を達成した。一方シート抵抗 $12\ \Omega/\square$ を達成した。

○ 微結晶シリコン太陽電池単接合セルにおいて従来構造のセルに対して、 J_{sc} が約 1.3 倍増加し、 V_{oc} も増加した。この結果、変換効率 5.87% を達成 (7 nm/s 高速製膜条件) した。これは従来基板の最適化セルに比して絶対値で 1.8% の変換効率の上昇に相当する。

以上の結果から、新規ナノ構造光閉じ込め基板の有用性を実証し、本開発目標である +3% の向上が十分可能であることを示した。

→<中間テーマ評価の結果>現実的な目標設定と取組は評価出来るが、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>原著論文：14、学会発表：26、プレス発表：0、特許出願：0

33) 微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合薄膜シリコン系太陽電池の研究開発→微結晶 3C-SiC 薄膜を用いた薄膜シリコン系太陽電池の研究開発 (岐阜大)

<H21 最終目標：タンデム型太陽電池変換効率 15%、65%以上の Fill Factor。白色光照射および分光-近接場顕微鏡の確立とタンデム型特性の改善点を明確化→(中間評価後の目標) 微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたタンデム型ヘテロ接合太陽電池形成の要素技術の確立。開放電圧 1.54V 以上、短絡電流 14mA/cm² 以上、フィルファクター 0.7 以上(個々に達成)> <研究期間 H18-H21>

・プラズマ CVD 法を用いた微結晶 3C-SiC 薄膜の開発：P ドープした微結晶 SiC 薄膜にて 3×10^{-2} S/cm、ホットワイヤーCVD 法では 9.7×10^{-2} S/cm を得た。

・微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合薄膜 Si 系太陽電池の開発：微結晶 3C-SiC をドーピング層に用いたアモルファスシリコン太陽電池と微結晶シリコン太陽電池を実現した。アモルファスシリコン系太陽電池では変換効率 1.46%、微結晶シリコン太陽電池では変換効率 0.55% を得た。

・ナノ領域接合特性評価に関する研究開発：ナノ領域接合特性評価装置にて形状像は空間分解能 10 nm に達し、且つ近接場光像では実効的な空間分解能 10 nm の実現可能性を示した。

<成果発表件数>原著論文：8、学会発表：32、プレス発表：0、特許出願：0

34) 瞬間熱処理法で作製した多結晶シリコン薄膜太陽電池の研究開発 (北陸先端科学技術大学院大)

<H21 最終目標：セル変換効率 15%以上> <研究期間 H18-H19>

○ 3.5 μm 以上の poly-Si 膜形成

ガラス基板と a-Si 膜の間に、密着性の向上を図るための Cr 層を挿入することで、4.5 μm 以上の poly-Si 膜の形成に成功した。

○ 光吸収係数 10^3 cm^{-1} (1.5 eV)、 10^4 cm^{-1} (2.5 eV) 以上

$2 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ (1.5 eV)、 $2 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ (2.5 eV) 以上で目標を達成した。

○ 少数キャリア寿命 10 μs 以上

4.5 μm 厚 i 型層/200 nm 厚 Cr 金属層/ガラス基板構造で 12 μs を実現し、目標を達成した。

○ 少数キャリア拡散長 10 μm(太陽電池特性からの算定)-25 μm(LBIC 測定による)

太陽電池形成プロセス等が最適化されていない初期段階の試料の LBIC 測定により、少数キャリア拡散長 4-5 μm、簡易型太陽電池の分光感度特性からは、2.5-4 μm を得ている。また、その値は、従来の微結晶シリコン(μc-Si)の少数キャリア拡散長の数倍であり、想定している太陽電池の電極間隔程度であるので、太陽電池形成のための最低条件は達成している。また、ホール効果移動度と少数キャリア寿命から近似的に求まる少数キャリア拡散長としては 27 μm が得られていることから、今後、太陽電池プロセスに加え、HPWVA 条件、FLA 条件を再検討することで、さらなる改善が可能であると考えている。

○ 本手法による最適太陽電池構造の決定

p-i-n a-Si 積層膜/Cr 金属層/ガラス基板構造を一括して FLA 処理することで、p 層不純物、n 層不純物の大きな拡散もなく p-i-n poly-Si 積層膜/Cr 金属膜/ガラス基板構造の poly-Si 薄膜太陽電池が瞬時に形成できることを見出した。

以上のように、本研究における一連の検討の結果、FLA によりガラス基板上に高品質厚膜 poly-Si 薄膜を形成する技術を世界で初めて確立し、また、太陽電池化が可能であることを見出したことから、本プロジェクトは一定の成功を収めたと言える。

→<中間テーマ評価の結果>アイデアは興味深いが、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>原著論文：8、学会発表：16、プレス発表：0、特許出願：0

35) アモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池の研究開発 (京セラ(株)、東大)

<H21 最終目標：アモルファスシリコン/有機系タンデム太陽電池において、1cm 角の試作セルで変換効率 12%以上を達成する。5cm 角モジュールで変換効率 8%以上を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する→(中間評価後の目標) 10cm 角程度のアモル

ファスシリコン／有機系タンデム太陽電池サブモジュールで変換効率 12 %、かつ JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験において相対効率低下 10 %以下を実現する＞ <研究期間 H18-H21>

アモルファスシリコン／有機系タンデム太陽電池の a-Si/DSC 間に新規中間層を導入し、1cm 角セルで変換効率 10.46 %を、25cm²サブモジュールで変換効率 4.45%を達成。光照射試験に対しては紫外光を a-Si で吸収させることで耐光性が向上することを実証。また、新規封入法により DSC 部の温度サイクル試験、耐湿試験に対する耐性が向上することを確認。

<成果発表件数>原著論文：19、学会発表：80、プレス発表：6、特許出願：40（うち外国出願：0）

36) 高耐久性プラスチック色素増感太陽電池の研究開発（ペクセル・テクノロジーズ(株)、藤森工業(株)）

<H21 最終目標：10cm 角のプラスチック色素増感太陽電池モジュールで変換効率 6%以上を達成し、同時に、JIS 規格 C8938 の環境試験・耐久性試験を評価する> <研究期間 H18-H19>

○ モジュール変換効率

現状のモジュール効率は 4%であり目標に届いていないが、小型単セルの変換効率(最大 6.5)を大面積化において反映させるために、今後、低抵抗のマイクロメッシュ電極基板を用いた単セルの大サイズ化、FF の向上と開口率の向上を試み、モジュール効率を目標レベルに高めることにつなげる。

○ DSC 用の低抵抗透明導電プラスチック電極(ITO 代替基板)の開発

シート抵抗 0.3Ω/□、光透過率 75%のプラスチック電極を作製し、電解液中 85°Cで 1000 時間の耐久性を確保。64 cm² の大面積の単セル(FF 約 0.5)が駆動することを検証した。今後は、光透過率を 80%以上に高め、表面に整流性を高めるための構造を付加することによって大面積化における FF を向上させ、モジュール効率を高める電極技術として応用する。

○ JIS-C8938 に基づく耐久性試験

200 時間光照射は効率劣化 15%以下、500 時間で劣化 50%以下、目標をクリアした。ヒートサイクル試験では、-10°C~55°Cにおいて耐久性 20 サイクルを確保した。55°C95%条件では 250 時間の耐久性に届いた。85°C85%の条件では、対極の Pt/Ti 合金の剥離、封止材から電解液の漏出によって目標耐久性に届いていない。今後は、熱膨張係数の低いプラスチック基材の採用と、水分の浸入をブロックするバリア膜の改善によって、高温高湿下の耐久性を強化する。

以上の研究成果にもとづけば、プラスチック基板の加工技術と、低温成膜工程、印刷式の透明導電膜を使った方法によって、DSC 製造のトータルコストを大幅に低減することが可能となる。

→<中間テーマ評価の結果>プラスチック色素セル開発における独自性は評価出来る。本事業目標よりも早期に実用化開発段階に移行すべきと判断されたため、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：6、学会発表：38、プレス発表：12、特許出願：2（うち外国出願：0）

37) Si 融液からの LPE 成長法を用いた高効率太陽電池の研究開発（東北大）

<H21 最終目標：メタラジカル Si などの低品位・低コストの結晶原料を用いて単結晶基板を作製し、上記の技術をベースに高品質 Si 薄膜結晶/メタラジカル Si 基板のヘテロ構造を実現し、低コストで高品質な Si 薄膜結晶を用いた高効率薄膜太陽電池を実現する。(目標変換効率：セル面積 1cm²で 15%以上)> <研究期間 H18-H19>

○ Si 融液からの LPE 成長法の開発

Si 基板上に高品質 Si 薄膜結晶を成長できる LPE 成長法として、ディッピング法および滴下法の Si 融液からの LPE 成長法を提案した。LPE 成長法によって従来の Si 薄膜成長法に比較して極めて速い、100μm/min を超える結晶成長速度を達成した。また、表面平坦性に対しては Si 融液温度および基板表面状態が重要であること、結晶品質の低下は Si 基板と融液間の温度差に起因する転位および結晶に取り込まれる不純物によることを明らかにした。

○ Si 薄膜結晶/メタラジカル Si 基板のヘテロ構造を用いた太陽電池の開発

簡易太陽電池プロセス（単結晶太陽電池：14.7%）を用いて、エピタキシャル Si 結晶/Si 単結晶基板のヘテロ構造を用いた太陽電池を製作し、変換効率 11.4%（セル面積：1cm²）を得た。

→<中間テーマ評価の結果>結晶成長学の見地からは興味深いアイデアではあるが、本事業での継続は行わないことになった。

<成果発表件数>論文：0、学会発表：5、プレス発表：0、特許出願：4（うち外国出願：2）

38) 省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発（産総研）

<H21 最終目標：①フォトニックシリコン薄膜太陽電池で効率 10%を達成する。②新規の有機太陽電池において変換効率 15%を達成する。③インジウム使用量 1/4 以下、モリブデンの使用量 1/3 以下で変換効率 15%以上の CIGS 太陽電池を実現する。④GaPN 単接合太陽電池で少数キャリア拡散長 0.1 μm (変換効率 1.7%)を実現する→（中間評価後の目標）①フォトニックシリコン太陽電池の光閉じ込め効果により近赤外域(800nm 以上)感度を 50%向上し、リファレンスセルに対して短絡電流 35%の向上と変換効率 20%の向上を達成する。②非 Ru 有機色素の開発に集中し、従来の有機色素 MK-2 に比べてモル吸光係数を 30%以上増大させ、最終的に単一有機色素を用いた太陽電池の光電流値を 20%改善する。同時に従来値 0.7V (MK-2) と同等またはそれ以上の開放電圧を得る。③インジウム使用量 1/4 以下、モリブデンの使用量 1/2 以下で変換効率 15%以上の CIGS 太陽電池を実現する> <研究期間 H19-H21>

① フォトニックシリコン太陽電池の研究開発

■ フォトニックシリコン作成プロセスの開発

薄膜への部材粒子埋め込み・構造制御技術、ウェットプロセスを用いた簡便な部材粒子分散法を確立、フォトニックシリコン太陽電池作成プロセスを開発した。

■ フォトニック構造の最適化設計（シミュレーション）

近赤外光の光閉じ込め原理を検証し、光閉じ込め構造の最適化指針を得た。部材粒子の最適値を求め、近赤外域の光吸収量 120%増加を検証した。

■ 光閉じ込め効果有用性の実証

世界初となるフォトニックシリコン太陽電池を作成、フラット基板上同膜厚のリファレンスセルに対し、近赤外感度にて 50%以上の向上、短絡電流にて 24%の増加、変換効率にて 5%の改善が図られた。

② 構造制御ナノロッドによる省資源型有機太陽電池

■ 高度光吸収有機色素の開発

従来の色素 MK-2 に対し、吸収波長の長波長化ならびに太陽電池における電子寿命の改善による開放電圧の向上を目指して新規の有機色素を分子設計、合成した。光吸収係数は従来値から 30%以上増大（ $\sim 54600\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ）、 J_{sc} 値は最高 15mAcm^{-2} で 変換効率は最大 8.3%を得た。

■ 他要素技術の開発

高度光吸収有機色素の特性を活かし目標を達成するための他要素技術として、Ru を含まない有機色素で高性能を示す電解質を見出して効率を 8%向上させ、 TiO_2 電極表面の SiO_2 コートにより J_{sc} 値を 13%改善した。

③ 省資源型 CIGS 太陽電池の開発

■ Mo 使用量低減技術

Mo 電極の製膜条件の最適化、水蒸気照射による Na 拡散と欠陥の制御等により、Mo 膜厚が通常の 1/4 の 200nm で効率 16.9%、1/10 以下の 70nm でも効率 16.0%の太陽電池を実現させた。

■ In 使用量低減技術

CIGS 光吸収層の膜厚をどんどん薄くしてゆくと短絡電流、効率が低下する。これは薄膜化による量子効率の低下により太陽光を十分に吸収できなくなるため、この対策には新しい太陽電池構造が必要であることが判明した。この対策として裏面電極を 2 層構造とし、CIGS 側に反射層を形成して光閉じ込めを行った。これらにより In 使用量を従来の 1/4 以下、モリブデンの使用量 1/2 以下で変換効率 15%以上の CIGS 太陽電池が実現する見込み。

<成果発表件数>原著論文：8、学会発表：13、プレス発表：0、特許出願：3

<開発費用>197.4 百万円

39) 触媒反応を利用したシリコンのスライシングおよび表面処理技術の研究開発（阪大）

<H21 最終目標：① 4 cm^2 程度のセルにおいて、AR コートを施した上で、従来基板(アルカリ処理)と比べて 7%以上の変換効率の向上を実現する。② 10 cm^2 のインゴットに対し、カーフ幅 80 μm 以下での複数の並列スライシングを切断速度 5 mm/h 以上で実現する> <研究期間 H19-H20>

○金属触媒を利用したテクスチャ表面形成技術の開発

小面積の範囲（約0.5 cm²）への規則的逆ピラミッド構造技術を開発した。ただし、量産性には問題がある。また4 cm² サイズSi ウエハへのポリマービーズの簡便な配列技術を開発し、配列ビーズとAg 触媒によりテクスチャ化処理が行えることを実証した。

○触媒ワイヤを利用したスライシング技術の開発

化学的酸化剤と電気化学法を比較し、電気化学法が有利であることを明らかにし、電気化学処理による、処理条件の最適化を行った。さらに次のスライシング（溝形成）を実施した。

① 多結晶Si ウエハへの溝形成（2本の溝の並列処理）

触媒ワイヤ：直径50 μm の白金、最高速度：4.5 mm/h、カーフ幅：約55 μm

② Si ブロックへの並列スライシング

ワイヤの上下運動機構付き装置により、1×1 ×2 cm³ の多結晶シリコンブロックからのウエハスライシングに成功した。

→＜中間テーマ評価の結果＞重要な研究テーマであり、スライシングのカーフ巾、速度に研究開発の成果は評価出来るが、本字業での継続は行わないことになった。

＜成果発表件数＞原著論文：3、学会発表：7、プレス発表：0、特許出願：0

4. 成果発表の件数

各研究開発項目毎の成果発表件数を表. 31 に示す。

表 31. 成果発表の件数 平成 21 年 10 月現在

研究開発項目	論文 (査読付)	学会 発表	プレス 発表	特許出願		計
				国内	外国	
(1) CIS 系薄膜太陽電池	90	182	13	8	0	293
(2) 薄膜シリコン太陽電池	18	106	5	65	42	236
(3) 色素増感太陽電池	85	486	28	62	11	672
(4) 次世代超薄型シリコン太陽電池	35	183	99	62	18	397
(5) 有機薄膜太陽電池	114	410	22	26	0	572
(6) 次世代技術の探索	107	351	31	53	0	542
計	449	1718	198	276	71	2712

なお、平成 21 年度委託先の論文リストを添付資料に示す。

IV. 実用化の見通しについて

1. 実用化の見通し

本事業の研究開発終了時点における目標は、2020年における発電コスト目標達成に必要な要素技術の開発である。「次世代技術探索」は、2030年における発電コスト目標達成に資する要素技術の選択であり、実用化の見通しについては言及しない。

従って本事業での研究開発は、一般には実用化までにもう一段、即ち次段階の実用化研究（量産化技術開発、スケールアップ研究開発、企業との共同研究など）に引き継がれる必要がある。

一方、一部の研究開発においては平成19年度末の中間評価の時点で次段階の実用化研究に移行する段階に来ていると判断され、平成20年度からの実用化促進技術開発プログラムに移行した。これに該当するのは薄膜シリコン太陽電池とCIS系薄膜太陽電池の分野で、現在結晶シリコン太陽電池に続く次世代の太陽電池として世界的に熾烈な開発競争の中にあり、一刻も早く成果を実用化したい分野である。

各太陽電池分野における本研究開発の実用化について表32にまとめる。

表32 各太陽電池分野における実用化の状況・見通し

開発項目分野	実用化の状況・見通し
(1)CIS系薄膜太陽電池	中間評価で昭和シェルが実用化促進に移行してから研究機関（産総研他、青山学院大）のみで研究開発を進めた。要素技術としては確立し、来年度からの新規プロジェクトと共に企業を伴って参加し工業化を進める見込み
(2)薄膜シリコン太陽電池	中間評価で三洋電機と富士電機が実用化促進に移行した。その後の研究開発は薄膜シリコン太陽電池の製造メーカーが中心（カネカ、三菱重工業、一部産総研）となって行われ、研究成果は漸次それぞれの製品等に反映される。
(3)色素増感太陽電池	色素増感太陽電池はコストパフォーマンスの高い次世代太陽電池として研究開発段階にある。既に色素増感太陽電池に進出表明した企業はいくつかあるが製品化しているものは殆どない。そんな中で、今回の委託先である新日鐵化学が、今回の成果を基にサンプル出荷するのは、実用化への一歩と評価される。
(4)次世代超薄型シリコン太陽電池	結晶シリコン太陽電池は現在の太陽電池の主力であり競争も激しい。このため優れた研究成果はすぐに実用化が必要とされるが、今回の研究体制はシリコンゴットの研究（東北大）を除けば、企業が中心であり、京セラ（バックコンタクトセル）、三菱電機（ヘテロ接合型セル）、シャープ（多結晶Si太陽電池の漸次薄型化）など漸次研究成果が実用化されている。
(5)有機薄膜太陽電池	有機薄膜太陽電池は色素増感太陽電池と同様で、研究開発段階にある。研究体制は企業と研究機関とが協力しあう（パナソニック電工&産総研、新日本石油&京大）ものとなっており、実用化の場合の主体は確保されている。今回の研究開発では、実用化への可能性を示す高いレベルにあり次の研究につながる。

本事業で、平成21年度まで継続した研究14件（「次世代技術の探索」5件を除く）の内、委託先が「太陽光発電システム次世代高性能技術開発プロジェクト（平成22年度要求）に継続を希望するものは12件（推定・検討中）ある。なお、これらについて今後の研究が行われるか否かは現時点では未定である。（H22年春の公募後、審査によって決まると考えられる。）

2. 波及効果

本事業は開発分野として、現在主流となっている結晶シリコン太陽電池から その次を目指す CIS 系薄膜太陽電池、薄膜シリコン太陽電池、さらにその次の世代となる色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池まで殆ど全ての太陽電池の種類を含み、それぞれの分野での人材育成に大きく寄与している。また ある太陽電池の研究が 種類の違う太陽電池研究に刺激を与えることもあり、例えばタンデム化やパッシベーション技術、光閉じ込め技術や各種計測技術は、太陽電池の種類毎に独自のものもあるが、共通課題となっている部分も多い。

本事業の太陽電池以外への波及効果として、「CIGS 太陽電池の高性能化技術の研究開発」(産総研・鹿児島大・筑波大) では その成果がイメージセンサの開発に応用され、感度の良いイメージセンサが高電圧かつ、冷却機能不要で実現している。

また CIS 系薄膜太陽電池で取り上げた軽量基板太陽電池の高効率化や色素増感太陽電池・有機薄膜太陽電池の耐久性向上のテーマは、太陽電池の用途開発につながり、ひいては新市場の創出に至る。例えば「ナノ構造酸化亜鉛電析膜を用いる有機色素増感太陽電池」(岐阜大、(株)ケミクレア、(株)積水樹脂技術研究所) では、道路分野への進出に言及している。

3. 今後の展開

本事業の実施内容を発展させ、平成 22 年度からスタートする次世代高性能技術の開発に繋げるテーマは、数多くある。今後、更なる高効率化、実用化を目指した研究開発を推進することにより、太陽光発電システムの大量導入に貢献するものと考えられる。

「新エネルギー技術開発プロジェクト
太陽光発電システム未来技術研究開発」
事業原簿の添付資料(公開)

論文リスト

① CIS系薄膜太陽電池	.....	1 ページ
② 薄膜シリコン太陽電池	.....	6
③ 色素増感太陽電池	.....	7
④ 次世代超薄型シリコン太陽電池	.....	10
⑤ 有機薄膜太陽電池	.....	11
⑥ 次世代技術の探索	.....	15

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
①CIS系薄膜太陽電池						
産総研						
3	Solar Energy Materials and Solar Cells	90	2006	.3377-3384	Structural Changes of CIGS During Deposition Investigated by Spectroscopic Light Scattering: a Study on Ga Concentration and Se Pressure	櫻井 啓一郎、仁木 栄、山田 昭政、松原 浩司、Fons James Paul、馬場 智之、木村 泰之、中西久幸(東京理科大学)、石塚 尚吾、中村 聡史、ローランド・シアー(独・ハーンマイトナー研究所)、クリスチャン・カウフマン(独・ハーンマイトナー研究所)、アクセル・ナイサー(独・ハーンマイトナー研究所)
3	PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS	203-11	2006	.2609-2614	Effects of water vapor introduction during Cu(In _{1-x} Ga _x)Se ₂ deposition on thin film properties and solar cell performance	石塚 尚吾、櫻井 啓一郎、山田 昭政、松原 浩司、柴田 肇、米村 実、中村 聡史、中西久幸(東京理科大学)、小島 猛、仁木 栄
3	PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS	203-11	2006	2639-2643	Crystallographic Growth Orientation of Cu(InGa)Se ₂ Films in Relation to Substrate Material Nature	山田 昭政、松原 浩司、中村 聡史、石塚 尚吾、櫻井 啓一郎、反保 衆志、柴田 肇、中西久幸(東京理科大学)、仁木 栄
3	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	100	2006	.096106-1-096106-3	Control of the thin film properties of Cu(In,Ga)Se ₂ using water vapor introduction during growth	石塚 尚吾、柴田 肇、山田 昭政、Fons James Paul、櫻井 啓一郎、松原 浩司、仁木 栄、米村 実、中西久幸(東京理科大学)
3	Proceedings of the The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment		2006	185-187	Research and Progress of CIGS Solar Cells at AIST	仁木 栄、松原 浩司、櫻井 啓一郎、石塚 尚吾、反保 衆志、山田 昭政、中西久幸(東京理科大学)、寺田 教男(鹿児島大学)
3	Proceedings of the IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion		2006	571-574	Cd-free wide gap CuIn _{1-x} Ga _x Se ₂ solar cells using Zn _{1-y} Mg _y O deposited by pulsed laser deposition	松原 浩司、山田 昭政、石塚 尚吾、櫻井 啓一郎、反保 衆志、米村 実、中村 聡史(東京理科大学)、中西久幸(東京理科大学)、仁木 栄
3	応用物理学会 多元系機能材料研究会 2006年度講演会 Proceedings		2006	13	裏面電極に透明導電膜を用いたCIGS太陽電池(II)	米村 実、石塚 尚吾、櫻井 啓一郎、岩田 拓也、松原 浩司、山田 昭政、倉部 靖之、仁木 栄、杉山 睦(東京理科大学)、中西久幸(東京理科大学)
3	Appl. Phys. Lett.	88	2006	141901	Defects in Cu ₂ O studied by deep level transient spectroscopy	G. K. Paul, Y. Nawa, H. Sato, T. Sakurai, and K. Akimoto
3	Solar Energy,	80	2006	715-722	Thin film deposition of Cu ₂ O and application for solar cells	K. Akimoto, S. Ishizuka, M. Yanagita, Y. Nawa, G. K. Paul, T. Sakurai
3	phys. stat. sol. (c)	3	2006	2576-2580	Study on electrical properties of Al/Cu(In,Ga)Se ₂ Schottky junction and ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se ₂ heterojunction using admittance spectroscopy	T. Sakurai, N. Ishida, S. Ishizuka, K. Matsubara, K. Sakurai, A. Yamada, G. K. Paul, K. Akimoto, and S. Niki,
3	Proc. 4th WOPEC		2006	495-498	Study of changes of electronic and structural nature of CBD-CdS/CIGS interface with Ga concentration	H. Kashiwabara, Y. Hayase, K. Takeshita, T. Okuda, S. Niki, K. Matsubara, K. Sakurai, A. Yamada, S. Ishizuka, N. Terada
3	Mat. Res. Soc.	865	2006	283-288	Band alignment at CdS/wide-band-gap Cu(In,Ga)Se ₂ hetero-junction by using PES/IPES	S. H. Kong, H. Kashiwabara, K. Ohki, K. Itoh, T. Okuda, S. Niki, K. Sakurai, A. Yamada, S. Ishizuka, N. Terada
3	J. Magn. Mag. Mat.	310	2006	890-892	Magnetic, Transport, and Thermoelectric Properties of Delafossite Oxides CuCr _{1-x} (Mg, Ca) _x O ₂ (0 ≤ x ≤ 0.04)	T. Okuda, T. Onoe, Y. Beppu, N. Terada, T. Doi, S. Miyasaka, Y. Tokura
3	THIN SOLID FILMS	515-	2007	6222-6225	Characteristics of scattered laser light signals from Cu(In,Ga)Se ₂ films	櫻井 啓一郎、T Neumann(独ハーンマイトナー研究所)、R Hesse(独ハーンマイトナー研究所)、D Abou-Ras(独ハーンマイトナー研究所)、P Jablonski(独ハーンマイトナー研究所)、A Neisser(独ハーンマイトナー研究所)、CA Kaufmann(独ハーンマイトナー研究所)、仁木 栄、ローランド・シアー(独・ハーンマイトナー研究所)、HW Schock
3	THIN SOLID FILMS	515-15	2007	.6112-6118	Junction formation of CuInSe ₂ with CdS: A comparative study of "dry" and "wet" interfaces	ラルフ・フンガー(独・ダルムシュタット工科大学)、M.V.Lebedev(ロシア科学アカデミー)、櫻井 啓一郎、トーマス・シュルマイヤー(独・ダルムシュタット工科大学)、Th.Mayer(独ダルムシュタット工科大学)、アンドレアス・クライン(独・ダルムシュタット工科大学)、仁木 栄、ウルフラム・イエーガーマン(ダルムシュタット)
3	APPLIED PHYSICS LETTERS	91-4	2007	041902-1-041902-3	Growth of Polycrystalline Cu(In,Ga)Se ₂ thin films using a RF-cracked Se-radical beam source and application for photovoltaic devices	石塚 尚吾、柴田 肇、山田 昭政、Fons James Paul、櫻井 啓一郎、松原 浩司、仁木 栄
3	太陽エネルギー	33-3	2007	11-15	ワイドギャップCIGS太陽電池の高効率化技術	仁木 栄、櫻井 啓一郎、石塚 尚吾、松原 浩司、山田 昭政、山田 昭政

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
3	Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference		2007	.1867-1869	CIGS SOLAR CELLS USING ZNO BACK CONTACT LAYERS	櫻井 啓一郎、米村 実、石塚 尚吾、松原 浩司、山田 昭政、仁木 栄、杉山 睦(東京理科大)、中西久幸(東京理科大)
3	Material Research Society Symposium Proceedings	1012-	2007	.3-8	Preparation of Cu(In _{1-x} Ga _x)Se ₂ thin films and solar cells using a Se-radical beam source	石塚 尚吾、山田 昭政、柴田 肇、櫻井 啓一郎、Fons James Paul、松原 浩司、仁木 栄
3	Thin Solid Films	515	2007	6208-6211	Investigation of relation between Ga concentration and defect levels of Al/Cu(In,Ga)Se ₂ Schottky junctions using admittance spectroscopy	T. Sakurai, N. Ishida, S. Ishizuka, K. Matsubara, K. Sakurai, A. Yamada, G. K. Paul, K. Akimoto, and S. Niki,
3	Extended Abstracts of the 3rd Asia Pacific Workshop on Wide Gap Semiconductor,		2007	417-422	Optimization of ZnO:Al film thickness in window layer of Cu(In _{0.64} Ga _{0.36})Se ₂ thin film solar cell	M.M.Islam, S.Ishizuka, A.Yamada, K.Matsubara, S.Niki, T.Sakurai, K.Akimoto
3	Mat. Res. Soc. Symp. Proc.	1201	2007	145-150	Study of Band Alignment at CBD-CdS/Cu(In _{1-x} Ga _x)Se ₂ (x = 0.2 ~ 1.0) Interfaces by Photoemission and Inverse Photoemission Spectroscopy	S. Teshima, H. Kashiwabara, K. Masamoto, K. Kikunaga, K. Takeshita, T. Okuda, K. Sakurai, S. Ishizuka, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki, N.
3	Mat. Res. Soc. Symp. Proc.	1201	2007	277-282	Study of Band Alignment at the Interface between CBD-CdS and CIGS Grown by H ₂ O-introduced co-evaporation	N. Terada, H. Kashiwabara, K. Kikunaga, S. Teshima, T. Okuda, S. Niki, K. Sakurai, A. Yamada, K. Matsubara, S.
3	Mat. Res. Soc. Symp. Proc.	1201	2007	89-94	In-situ Characterization of As-grown Surface of CIGS Films	H. Kashiwabara, S. Teshima, K. Kikunaga, K. Takeshita, T. Okuda, K. Obara, K. Sakurai, S. Ishizuka, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki, N.
3	Supercond.Sci. Technol.	20	2007	S445-S450	Characterization of electronic structure of (Cu, C)-Ba-O films by in-situ photoemission spectroscopy	K. Kikunaga, K. Takeshita, T. Yamamoto, T. Okuda, Y. Tanaka, N. Kikuchi, K. Tokiwa, T. Watanabe, A. Sundaresan, N. Terada
3	Tech. Digest PVSEC-17		2007	205-208	STUDY OF BAND ALIGNMENT AT CBD-Zn(S,O,OH)/CIGS INTERFACE BY PES/IPES	N. Terada, H. Kashiwabara, S. Teshima, T. Okuda, K. Obara, T. Yagioka, T. Nakada
3	Tech. Digest PVSEC-17		2007	217-218	Characterization of Electronic Structure of Grain. Boundary in CBD-CdS/CIGS by UHV-KPFM	K. Masamoto, Y. Watanabe, H. Kashiwabara, T. Okuda, K. Sakurai, A. Yamada, S. Ishizuka, K. Matsubara, S. Niki, S. Nakamura, Y. Yoshimura, N. Terada
3	Applied Physics Express	1-	2008	092303-1-092303-3	Efficiency Enhancement of Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells Fabricated on Flexible Polyimide Substrates using Alkali-Silicate Glass Thin Layers	石塚 尚吾、本元博行(帝人株式会社)、城戸伸明(帝人株式会社)、橋本 公一、山田 昭政、仁木 栄
3	APPLIED PHYSICS LETTERS	93-12	2008	124105-1-124105-3	Alkali incorporation control in Cu(In,Ga)Se ₂ thin films using silicate thin layers and applications in enhancing flexible solar cell efficiency	石塚 尚吾、山田 昭政、松原 浩司、Fons James Paul、櫻井 啓一郎、仁木 栄
3	Journal of Renewable and Sustainable Energy	1-1	2008	013102-1-013102-8	Flexible Cu(In,Ga)Se ₂ solar cells fabricated using alkali-silicate glass thin layers as an alkali source material	石塚 尚吾、山田 昭政、Fons James Paul、仁木 栄
3	Chemical Physics Lett.	463	2008	117-120	Deep level transient spectroscopy of cyanide treated polycrystalline p-Cu ₂ O/n-ZnO solar cell,	G. K. Paul, R. Ghosh, S. K. Bera, S. Bandyopadhyay, T. Sakurai, and K. Akimoto
3	Thin Solid Films	516	2008	7036-7040	Effects of annealing under various atmospheres on electrical properties of Cu(In,Ga)Se ₂ films and CdS/Cu(In,Ga)Se ₂ heterostructures	T.Sakurai, N.Ishida, S.Ishizuka, M.D.Islam, A.Kasai, K.Matsubara, K.Sakurai, A.Yamada, K.Akimoto, and S.Niki,
3	The 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, May 12-16, San Diego, CA,		2008	15	Study on Deep Defects in Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells by Photocapacitance Spectroscopy	T.Sakurai, H.Uehigashi, M.M.Islam, T.Miyazaki, S.Ishizuka, K.Sakurai, A.Yamada, K.Matsubara, S.Niki, K.Akimoto
3	Physica C	468	2008	1281-1286	AC-Susceptibility study on vortex-molecule lattice in supermultilayer cuprate	D.D. Shivagana, P.M. Shiragea, A. Crisanb, Y. Tanaka, A. Iyo, K. Tokiwa, T. Watanabe, N. Terada
3	IEEE Laser Electro-Opt. Soc.		2008	95-96	Progress in CIGS solar cell technologies	S. Niki, S. Ishizuka, K. Matsubara, K. Tampo, H. Komaki, Y. Kamikawa-Shimizu, K. Maejima, T. Yoshiyama, K. Mizukoshi, A. Yamada, H. Nakanishi, N.
3	THIN SOLID FILMS	517-1	2008	2392-2394	High sensitivity and wide bandwidth Image Sensor using CuIn _{1-x} Ga _x Se ₂ thin films	宮崎 憲一、櫻井 啓一郎、松島 理、Moriwake、高須 秀視、石塚 尚吾、山田 昭政、仁木 栄
3	応用物理	May-77	2008	500-507	ZnO系エピタキシャル薄膜の高品質化とヘテロ接合	仁木 栄、反保 衆志、柴田 肇
3	23rd EU-PVSEC Proceedings		2008		Fabrication of High-Performance CIGS Minimodules	仁木 栄、吉山孝志、水越 一路、小牧弘典、櫻井啓一郎、石塚尚吾、柴田 肇、山田昭政、金子亮佑、中西久幸

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
3	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	106	2009	034908-1-034908-6	Na-induced variations in the structural, optical, and electrical properties of Cu(In,Ga)Se ₂ thin films	石塚 尚吾,山田 昭政, Islam Monirul Muhammad, 柴田 肇, Fons James Paul, 櫻井 丘暁, 秋本 克洋, 仁木 栄
3	PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS	206	2009	1072-1075	CIGS solar cell with CdS buffer layer deposited by ammonia-free process	小牧 弘典, 山田 昭政, 櫻井 啓一郎, 石塚 尚吾, 上川 由紀子, 松原 浩司, 柴田 肇, 仁木 栄
3	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	93	2009	792-796	LARGE GRAIN Cu(In,Ga)Se ₂ THIN FILM GROWTH USING A Se-RADICAL BEAM SOURCE	石塚 尚吾, 山田 昭政, 柴田 肇, Fons James Paul, 櫻井 啓一郎, 松原 浩司, 仁木 栄
3	World Renewable Energy Congress 2009-Asia Proceedings		2009		High-Efficiency CIGS Solar Cells and Modules	仁木 栄, 石塚 尚吾, 小牧 弘典, 上川 由紀子, 柴田 肇, 山田 昭政, 寺田 教男, 中西 久幸
3	J. Cryst. Growth	311	2009	1102-1105	Growth of Cu ₂ O thin films with high hole mobility by introducing a low-temperature buffer layer.	B. S. Li, K. Akimoto, and A. Shen
3	J. Cryst. Growth	311	2009	2212-2214	Effect of Se/(Ga plus In) ratio on MBE grown Cu(In,Ga)Se ₂ thin film solar cell,	M. Islam, T. Sakurai, S. Ishizuka, A. Yamada, H. Shibata, K. Sakurai, K. Matsubara, S. Niki, K. Akimoto,
3	Thin Solid Films	517	2009	2403-2406	Temperature dependence of photocapacitance spectrum of CIGS thin-film solar cell,	T. Sakurai, H. Uehigashi, M. M. Islam, T. Miyazaki, S. Ishizuka, K. Sakurai, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki, K. Akimoto
3	Sol. Energy Mater. Sol. Cells	93	2009	970-972	CIGS solar cell with MBE-grown ZnS buffer layer	M. M. Islam, S. Ishizuka, A. Yamada, K. Sakurai, S. Niki, and K. Akimoto
3	J. Appl. Phys.	106	2009	34908	Na-induced variations in the structural, optical, and electrical properties of Cu(In,Ga)Se ₂ thin films	S. Ishizuka, A. Yamada, M. M. Islam, H. Shibata, P. Fons, T. Sakurai, K. Akimoto, and S. Niki
青山学院大						
4	Solar Energy Materials and Solar Cells	93	2009	988-992	Effects of CdS Buffer Layers on Photoluminescence Properties of Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells	S. Shirakata et al.
4	Physica Status Solidi	C6	2009	1059-1062	Photoluminescence and Time-Resolved Photoluminescence in Cu(In,Ga)Se ₂ Thin Films and Solar Cells	S. Shirakata et al.
4	Appl. Phys. Express	12	2009	072201-1~3	Cd-free flexible Cu(In,Ga)Se ₂ thin film solar cells with ZnS(O,OH) buffer layers on Ti	T. Yagioka et al.
4	Progress in Photovoltaics	17	2009	265-272	Development of nano-TiO ₂ dye sensitised solar cells on high mobility transparent conducting oxide thin films	J. W. Bowers et al.
4	Solar Energy Materials & Solar Cells	93	2009	1000-1003	Microstructural properties of (In,Ga) ₂ Se ₃ precursor layers for efficient CIGS thin-film solar cells	T. Mise et al.
4	Prog. in Photovolt: Res. Appl.	17	2009	265-272	Development of Nano-TiO ₂ dye sensitised solar cells on high mobility transparent conducting oxide thin films	J. W. Bowers et al.
4	ECS Transactions	25	2009	199-206	Photoluminescence Properties of Polar and Non-polar ZnO Films Grown by Atmospheric-pressure CVD Using Zn and H ₂ O as Source Materials	T. Terasako et al.
4	Journal of Vacuum Science and Technology B	27	2009	1646-1651	Growth of ZnO films on R-plane sapphire substrates by atmospheric-pressure chemical vapor deposition using Zn powder and H ₂ O as source materials	T. Terasako et al.
4	Journal of Vacuum Science and Technology B	27	2009	1609-1614	Comparative study on structural and optical properties of ZnO films grown by metalorganic molecular beam deposition and metalorganic chemical vapor deposition	T. Terasako et al.
4	MRS Spring Meeting		2009	M2.1.	Impact of Laser Assisted Deposition Process on CIGS Thin Films and Solar Cells	T. Nakada et al.
4	24th European Photovoltaic Solar Energy Conf.		2009	3DO.4.3.	CIGS Thin Film Solar Cells on Flexible Foils	T. Nakada et al.
4	19th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2009	CIG2-0-3	Near-band-edge photoluminescence in Cu(In,Ga)Se ₂ solar cells" Proc. 19th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.	S. Shirakata et al.
4	19th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2009	CIG-P3-57	CIGS Thin Film Solar Cells Fabricated on Polyimide Foils	T. Kuraishi et al.
4	19th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2009	CIG-P6-56	Improved Open-Circuit-Voltage by Addition of Non-Doped ZnMgO Layers for Cd-Free CIGS Solar Cells	K. Horiguchi et al.
4	Appl. Phys. Express	1	2008	075002-1~3	High-Temperature Degradation Mechanism of Cu(In,Ga)Se ₂ -Based Thin Film Solar	S. Kijima et al.

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
4	e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	7	2009	78-83	Possibility of Shape Control of ZnO Nanostructures Grown by Atmospheric-pressure CVD Utilizing Catalytic Materials	T. Terasako et al.
4	33rd IEEE Photovoltaic		2008	138	Impacts of LAD Process on CIGS Thin Films and Solar Cells	T. Nakada et al.
4	23rd European Photovoltaic Solar Energy Conf.		2008	2175	Cd-Free Flexible CIGS Thin Film Solar Cells	T. Nakada et al.
4	23rd European Photovoltaic Solar Energy Conf.		2008	748	Dye Sensitised Solar Cells Using High Mobility, Transparent Conducting Oxides for Tandem Solar Cell Applications	J. W. Bowers et al.
4	Thin Solid Films	515	2007	6151-6154	Time-Resolved Photoluminescence in Cu(In,Ga)Se ₂ Thin Films and Solar Cells” Thin Solid Films	S. Shirakata et al.
4	Applied Physics Express	1	2008	015002-1~3	High Mobility Titanium-Doped In ₂ O ₃ Thin Films Prepared by Sputtering/Post-Annealing Technique	R. Hashimoto et al.
4	Thin Solid Films	516	2007	159-164	Optical properties of ZnO films grown by atmospheric-pressure chemical vapor deposition using Zn and H ₂ O as source materials	T. Terasako et al.
4	Surface & Coatings Technology	201	2007	8924-8930	Growth of zinc oxide films and nanowires by atmospheric-pressure chemical vapor deposition using zinc powder and water as source materials	T. Terasako et al.
4	Proc. Material Research Society Symposium	1012	2007	235-239	Study of Recombination in Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells by Time-Resolved Photoluminescence	S. Shirakata et al.
4	22nd European Photovoltaic Solar Energy Conf.		2007	1870-1872	Impact of High-Mobility TCO Back Contacts on the Cell Performance of Bifacial CIGS Thin Film Solar Cells	T. Nakada et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	197-198	High Efficiency CIGS Thin Film Solar Cells by Laser Assisted Deposition Technique	Y. Ishii et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	225-226	Effects of the Morphology of Mo Back Contact on the Cell Performance of CIGS Devices	T. Morimoto et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	782-783	Microstructural Properties of (In,Ga) ₂ Se ₃ Precursor Layers for Efficient CIGS Thin Film Solar Cells	T. Mise et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	806-807	Bifacial CIGS Thin Film Solar Cells Using High Mobility Ti-Doped In ₂ O ₃ Back Contacts	T. Miyano et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	843-844	High-Mobility Ti-Doped In ₂ O ₃ (ITiO) Thin Films Deposited by Sputtering/Post-Annealing Technique	R. Hashimoto et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	205-208	Study of Band Alignment at CBD-Zn(S, O, OH)/CIGS Interface by PES/IPES	N. Terada et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	215-216	Effects of CdS Buffer Layers on Photoluminescence Properties of Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells	S. Shirakata et al.
4	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conf.		2007	786-787	Influence of Pulsed-Laser Irradiation on CIGS Thin Films and Solar Cells	Y. Uchida et al.
4	22nd European Photovoltaic Solar Energy Conf. & Exhibition		2007	1870-1872	Impact of High-Mobility ITiO Back Contacts on the Cell Performance of Bifacial CIGS Thin Film Solar Cells	T. Nakada et al.
4	Solar Energy Materials and Solar Cells	90	2006	3130-3135	Ultrasonic Chemical Bath Deposition of ZnS(O,OH) Buffer Layers and Its Application to CIGS Thin Film Solar Cells	A. Ichiboshi et al.
4	Jpn. J. Appl. Phys.	45	2006	L1179-L1182	Effects of Post-annealing on Electrical Properties of Mo-doped Indium Oxide (IMO) Thin Films Deposited by RF Magnetron Cosputtering	N. Yamada et al.
4	Journal of Crystal Growth	298	2007	481-485	Properties of ZnO epitaxial layers and polycrystalline films prepared by metalorganic molecular beam epitaxial apparatus using diethylzinc and water as	S. Shirakata et al.
4	Physica Status Solidi (c)	3	2006	2677-2680	Structural and optical properties of polycrystalline Mg _x Zn _{1-x} O and ZnO:Mn films prepared by chemical spray pyrolysis	T. Terasako et al.
4	Physica Status Solidi (c)	203	2006	2897-2903	Optical characterization of CuInSe ₂ single crystals prepared by travelling heater	S. Shirakata et al.
4	Physica Status Solidi (c)	3	2006	2588-2591	Structural, optical and electrical properties of CuInS ₂ thin films prepared by chemical spray pyrolysis	T. Terasako et al.

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
4	4th World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion		2006	400-403	Chalcopyrite Thin Film Tandem Solar Cells With 1.5 V Open-Circuit-Voltage	T. Nakada et al.
4	European Material Research Society Spring Conf. Symposium		2006	O/III.3	Time-Resolved Photoluminescence in Cu(In,Ga)Se ₂ Thin Films and Solar Cells	S. Shirakata et al.

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
②薄膜シリコン太陽電池						
三菱重工						
7	Japanese Journal of Applied Physics	46	H18年度	199	High-Rate Deposition of Microcrystalline Silicon Photovoltaic Active Layers by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition at Kilo-Pascal Pressures	Yasushi Sobajima et al.
7	Journal of Applied Physics	101	H19年度	103537	X-ray pole figure analysis on columnar-structured microcrystalline silicon: Growth-induced crystallographic axial alignment in solid phase	Yasushi Sobajima et al.
7	Journal of Materials Science: Materials in Electronics	18	H19年度	159	Enhanced Light-Trapping Effects Based on Textured ZnO:Al/Glass Structure for Improving Photocurrent of a-Si Solar Cells	Yasushi Sobajima et al.
7	Japanese Journal of Applied Physics	46	H19年度	5125	Lateral Size Evolution of Coalescent Grains on Microcrystalline Silicon Surface	Toshihiko Toyama et al.
7	Faraday Discussions	137	H20年度	127	Rapid transport of nano-particles having a fractional elemental charge on average in capacitively coupled rf discharges by amplitude modulating discharge voltage	Masaharu Shiratani et al.
7	Physics Plasma	15	H20年度	80703	Nanoparticle coagulation in fractionally charged and charge fluctuating dusty	Shota Nunomura et al.
7	Journal of plasma and Fusion Research Series	8	H20年度	700	Detection of nano-particles formed in cvd plasmas using a two-dimensional photon-counting laser-light-scattering method	Masaharu Shiratani et al.
産総研						
9	Thin Solid Films	515	2007	4869-4873	Plasma parameters in the vicinity of the quartz window of a low pressure surface wave discharge produced in O ₂	Sachiko Nakao, E. Stamate, Hideo Sugai
9	Applied Physics Letters	91	2007	102111-1-3	Effect of illumination-induced space charge on photocarrier transport in hydrogenated microcrystalline Si _{1-x} Ge _x p-i-n solar cells	Takuya Matsui, Chia-Wen Chang, Michio Kondo, Keisuke Ogata, Masao Isomura
9	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	L1039-L1041	Multi-hollow plasma production along dielectric plate in microwave discharge	Sachiko Nakao, Hideo Sugai
9	Applied Physics Letters	92	2008	033506-1-3	Infrared analysis of the bulk silicon-hydrogen bonds as an optimization tool for high-rate deposition of microcrystalline silicon solar cells	Arno H. M. Smets, Takuya Matsui, Michio Kondo
9	Applied Physics Express	1	2008	031501-1-3	Microcrystalline Si _{1-x} Ge _x solar cells exhibiting enhanced infrared response with reduced absorber thickness	Takuya Matsui, Chia-Wen Chang, Tomoyuki Takada, Masao Isomura, Hiroyuki Fujiwara, Michio Kondo
9	Journal of Non-Crystalline Solids	354	2008	2365-2368	Electron spin resonance study of hydrogenated microcrystalline silicon-germanium alloy thin films	Chia-Wen Chang, Takuya Matsui, Michio Kondo,
9	Journal of Non-Crystalline Solids	354	2008	2468-2471	Carrier collection characteristics of microcrystalline silicon-germanium p-i-n junction solar cells	Takuya. Matsui, Keisuke Ogata, Chia-Wen Chang, Masao Isomura, Michio Kondo
9	Journal of Applied Physics	104	2008	34508-1-11	High-rate deposition of microcrystalline silicon p-i-n solar cells in the high pressure depletion regime	Arno H. M. Smets, Takuya Matsui, Michio Kondo
9	Applied Physics Letters	93	2008	143501-1-3	Enhancement of light trapping in thin-film hydrogenated microcrystalline Si solar cells using back reflectors with self-ordered dimple pattern	Hitoshi Sai, Hiroyuki Fujiwara, Michio Kondo, Yoshiaki Kanamori
9	Journal of Applied Physics	105	2009	094511-1-8	Effect of self-orderly textured back reflectors on light trapping in thin-film microcrystalline silicon solar cells	Hitoshi Sai, Michio Kondo
9	Solar Energy Materials and Solar Cells	93	2009	1100-1102	Thin film solar cells based on microcrystalline silicon-germanium narrow-gap absorbers	Takuya Matsui, Chia-Wen Chang, Tomoyuki Takada, Masao Isomura, Hiroyuki Fujiwara, Michio Kondo

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
③色素増感太陽電池						
東京理科大学(株)フジクラ						
10	Solar Energy Materials & Solar	93	2009	1110	Thermal stability of dye-sensitized solar cells with current collecting grid	H Matsui, K. Okada, T. Kitamura and N. Tanabe
10	Solar Energy Materials & Solar cells	93	2009	733	Series-connected tandem dye-sensitized solar cell for improving efficiency more than 10%	T.yamaguchi, Y.Uchida, S.Agatsuma, H.Arakawa
10	Solar Energy Materials & Solar	93	2009	831	Study on dye-sensitized solar cell using novel infrared dye	T.Ono, T.yamaguchi, H.Arakawa
10	Proc. of Renewable Energy 2008		2008	IN-PV-014	Efficient dye-sensitized solar cell sub-modules	H.Arakawa, T.Yamaguchi, Y.Koishi, T.Sutou, N.Tobe, D.Matsumoto, T.Nagai
10	Proc. of 23rd EU-PVSEC		2008	207	Study on a highly efficient 10cmx10cm dye-sensitized solar cell	H.Arakawa, T.Yamaguchi, iS.Agatsuma, T.Sutou, Y.Koishi
10	Proc. of SPIE "Organic Photovoltaics VIII"	6656	2007	665609	Development of new efficient Ru dyes having β -diketonate and terpyridine ligands for solar cells	T.yamaguchi, N.Shibayama, M.Nakade, Y.Abe, H.Arakawa
10	Chemical Communications		2007	4767	Highly efficient plastic substrate dye-sensitized solar cell using a compression method for preparation of TiO ₂ photoelectrode	T.Yamaguchi, N.Tobe, D.matsumoto, H.Arakawa
10	Journal of Materials Science	42	2007	529	Synthesis and characterization of nonosheet-shaped titanium dioxide	M.Weil, Y.Konishi, H.Arakawa
10	2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	1	2006	36	Efficiency improvement of dye-sensitized solar cell by light confined effect	H.Arakawa, T.Yamaguchi, A.Takeuchi, S.Agatsuma
10	Inorganic Chemistry	45	2006	5684	Synthesis of tubular titanate via self-assembly and self-removal process	M.Weil, H.Zhou, Y.Konishi, M.Ichihara, H.Sugihara, H.Arakawa
10	Journal of Electrochemical Society	153	2006	A1232	Utilization of titania nanotubes as an electrode material in dye-sensitized solar cells	M.Weil, H.Zhou, Y.Konishi, H.Sugihara, H.Arakawa
産業技術総合研究所						
11	JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY A-	187	2007	233-241	Theoretical studies of charge-transfer complexes of I2 with pyrazoles, and implications on the dye-sensitized solar cell performance	H.Kusama, H.Sugihara
11	JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY A-	189	2007	100-104	Improved performance of Black-dye-sensitized solar cells with nanocrystalline anatase TiO ₂ photoelectrodes prepared from TiCl ₄ and ammonium carbonate	H.Kusama, M.Kurashige, K.Sayama, M.Yanagida, H.Sugihara
11	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	92	2008	84-87	DFT investigation of the TiO ₂ band shift by nitrogen-containing heterocycle adsorption and implications on dye-sensitized solar cell performance	H.Kusama, H.Orita, H.Sugihara
11	LANGMUIR	24	2008	4411-4419	TiO ₂ band shift by nitrogen-containing heterocycles in dye-sensitized solar cells: a periodic DFT study	H.Kusama, H.Orita, H.Sugihara
11	CHEMISTRY LETTERS	38	2009	62-63	Efficient Panchromatic Sensitization of Nanocrystalline TiO ₂ -based Solar Cells Using 2-Pyridinecarboxylate-substituted Ruthenium(II) Complexes	T.Funaki, M.Yanagida, N.Onozawa, K.Kasuga, Y.Kawanishi, H.Sugihara
11	INORGANICA CHIMICA ACTA	362	2009	2519-2522	A 2-quinolinecarboxylate-substituted ruthenium(II) complex as a new type of sensitizer for dye-sensitized solar cells	T.Funaki, M.Yanagida, N.Onozawa, K.Kasuga, Y.Kawanishi, H.Sugihara
11	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	93	2009	729-732	Ruthenium (II) complexes with π expanded ligand having phenylene-ethynylene moiety as sensitizers for dye-sensitized solar cells	T.Funaki, M.Yanagida, N.Onozawa, K.Kasuga, Y.Kawanishi, H.Sugihara
11	SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS		2009	印刷中	Optimization of tandem-structured dye-sensitized solar cell	M.Yanagida, N.Onozawa, M.Kurashige, K.Sayama, H.Sugihara
11	Inorganic Chemistry Communications	12	2009	1212-1215	Near-IR sensitization of nanocrystalline TiO ₂ with a new ruthenium complex having a 2,6-bis(4-carboxyquinolin-2-yl)pyridine	N.Onozawa, M.Yanagida, T.Funaki, K.Kasuga, K.Sayama, H.Sugihara
11	Inorganic Chemistry Communications	12	2009	842-845	Synthesis of a new class of cyclometallated ruthenium(II) complexes and their application to dye-sensitized solar cells	T.Funaki, M.Yanagida, N.Onozawa, K.Kasuga, Y.Kawanishi, M.Kurashige, K.Sayama, H.Sugihara
11	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY C	113	2009	20764-20771	Nitrogen-Containing Heterocycles' Interaction with Ru Dye in Dye-Sensitized Solar Cells	H.Kusama, H.Sugihara, K.Sayama
九州工業大学						
14	Organic Electronics		2009	accepted	Influence of nature of surface dipoles on observed photovoltage in dye-sensitized solar cells as probed by surface potential measurement	Shyam S. Pandey, Shohei Sakaguchi, Yoshihiro Yamaguchi, and Shuji Hayase,
14	APEX (Applied Physics Express)	2	2009	62203	Tandem dye-sensitized solar cells fabricated on glass rod without transparent conductive layers	J. Usagawa, S. S. Pandey, S. Hayase, M. Kono, and Y. Yamaguchi,

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
14	Jpn. J. Appl. Phys.	48	2009	20213	Preparation of double dye-layer structure of dye-sensitized solar cells from cocktail solutions for harvesting light in wide range of wavelengths.	Yusuke Noma, Keita Iizuka, Yuhei Ogomi, Shyam S. Pandey, and Shuzi Hayase
14	Appl. Phys. Lett.,	94	2009	93301	Transparent conductive oxide layer-less dye-sensitized solar cells consisting of floating electrode with gradient TiOx blocking layer.	Yoshikazu Yoshida, Shyam S. Pandey, Kenshiro Uzaki, Shuzi Hayase, Mitsuru Kono, and Yoshihiro Yamaguchi,
14	Jpn. J. Appl. Phys.	48	2009	61504	TCO-less 3D-dye sensitized solar cells, - Fabrication of ionic path in 3D-Ti electrode-	Takayuki Beppu, Yohei Kashiwa, Shuzi Hayase, Mitsuru Kono, and Yoshihiro Yamaguchi,
14	APEX (Applied Physics Express)	1	2008	105001	Probing TiO2/Dye interface in dye sensitized solar cells using surface potential measurement,	Shohei Sakaguchi, Shyam S. Pandey, Keisuke Okada, Yoshihiro Yamaguchi, and Shuji Hayase,
14	Appl. Phys. Lett.,	92	2008	93304	Dye sensitized solar cells consisting of dye-bilayer-structure stained with two dyes for harvesting light of wide range of	Fumi Inakazu, Yusuke Noma, Yuhei Ogomi, and Shuzi Hayase,
14	Jpn. J. Appl. Phys.	47	2008	6484	I2-durable TiOx/Ag collector fabricated by Arc-plasma deposition for dye sensitized solar cells,	Yorikazu Yoshida, Yusuke Noma Yohei Kashiwa, Shinichi Kojima, Takehito Katoh, and Shuzi Hayase,
14	Sol. Energ. Mater. Sol. Cell,	92	2008	646	Increase in photovoltaic performances of dye sensitized solar cells-, Modification of interface between TiO2 nano-porous layers and F doped SnO2 layers-	Y. Yoshida, S. Tokashiki, K. Kubota, R. Shiratuchi, Y. Yamaguchi, M. Kono, and S. Hayase,
14	Molecular catalysts for energy conversion	251-262	2008	111	Fabrication of charge carrier paths for high efficiency cells,	K. Kogo, M. Ogomi, T. Ogomi, and S. Hayase,
14	Sol. Energ. Mater. Sol. Cell, 93	93	2009	1009	Photovoltaic performance of dye sensitized solar cells stained with black dye under pressurized condition and mechanism for the high efficiency,	Y. Ogomi, Y. Kashiwa, Y. Noma, Y. Fujita, S. Kojima, M. Kono, Y. Yamaguchi, and S. Hayase,
14	Appl. Phys. Lett.	92	2008	33308	All-metal-electrode-type dye sensitized solar cells (TCO-less DSC) consisting of thick and porous Ti electrode with straight	Yohei Kashiwa, Yorikazu Yoshida, and Shuzi Hayase,
14	Jpn. J. Appl. Phys.	46	2007	4307	Improvement of heat resistant properties for TiO2 nano-wires and application to dye sensitized solar cells,	T. Beppu, S. Yamaguchi, and S. Hayase
14	Jpn. J. Appl. Phys., 47(1), 505-508 (2008).	47	2008	505	Surface state passivation effect for nanoporous TiO2 electrode evaluated by thermally stimulated current and the application to all-solid state dye sensitized	Y. Noma, T. Kado, D. Ogata, Y. Hara, and S. Hayase,
14	J. Electrochem. Soc.	153	2006	A2294	Swift Ru dye uptake under pressurized CO2 atmosphere and improvement of photovoltaic performances for dye sensitized solar cells,	Yuhei Ogomi, Shohei Sakaguchi, Takashi Kado, Mitsuru Kono, Yoshihiro Yamaguchi, and Shuzi Hayase,
14	Journal of Solar Energy Engineering		2009	In press	Dye-sensitized solar cells consisting of 3D-electrodes - a review -Aiming at high efficiency from the view point of light harvesting and charge collection-	Kenshiro Uzaki, Terumi Nishimura, Jun Usagaw1, Shuzi Hayase, Mitsuru Kono, Yoshihiro Yamaguchi
14	電気学会論文誌A	130	2010	印刷中	フッ素ドーパ酸化スズ透明立体電極を用いた色素増感太陽電池における電子収集の	牟禮泰一、黒田佑一、大久保末廣、村中武彦、石丸智士、白土竜一
東洋製罐						
15	J. Mater. Chem.	17	2007	2845	The Influence of Doping Ions on Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) as Counter Electrode of Dye-Sensitized Solar Cell	J. Xia et al.
15	J. Am. Chem. Soc.	130	2008	1258	Influence of Doped Anions on Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) as Hole Conductors for Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells	J. Xia et al.
15	J. Photochem. Photobio. A,	193	2008	77	The Influence of Doping Ions on Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) as Counter Electrode of Dye-Sensitized Solar Cell	Y. Kim et al.
シャープ株式会社						
11	Journal of Materials Chemistry	17	2007	3190-3196	Photoinduced electron injection process in black-dye sensitized nanocrystalline TiO2 films	R.Kato, A.Furube, M.Kasuya, N.Fuke, N.Koide, and L.Han
11	J. Phys. Chem. C	112	2008	6961-6967	Work Function on Dye-adsorbed TiO2 Surfaces Measured by Using a Kelvin Probe Force Microscope	A.Sasahara, M.Ikeda, H.Oonishi, N.Koide, and L.Han
11	Langmuir	24	2008	8056-8060	Scanning Tunneling Microscopy Study of Black Dye and Deoxycholic Acid Adsorbed on a Rutile TiO2(110)	M.Ikeda, N.Koide, L.Han, A.Sasahara, H.Onishi
11	Japanese Journal of Applied Physics	47	2008	6149-6152	Kelvin Probe Force Microscope Observation of Chlorine-Adsorbed	K.Hiehata, A.Sasahara, H.Onishi
11	Solar Energy Materials and Solar Cells.	93	2009	698-706	Quantitative study of solvent effects on electron injection efficiency for black-dye-sensitized nanocrystalline TiO2 films	R.Katoh, M.Kasuya, A.Furube, N.Fuke, N.Koide, L.Han

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
11	Journal of Photochemistry and Photobiology A	202	2009	185-190	Lateral Distribution of N3 Dye Molecules on TiO ₂ (110) Surface	M.Ikeda, N.Koide, L.Han, C.L.Pang, A.Sasahara,H.Onishi
11	Appl. Phys. Lett.	94	2009	13305	Integrated Modules of Dye-sensitized Solar Cells with conversion efficiency of 8.2%	L.Han, A.Fukui, Y.Chiba, A.Islam, R.Komiya, N.Fuke, N.Koide, R.Yamanaka, and M.Shimizu
11	Chemical Physics Letters	471	2009	280-282	Recombination rate between dye cations and electrons in N719-sensitized nanocrystalline TiO ₂ films under substantially weak excitation conditions	R.Katoh, M.Kasuya, A.Furube, N.Fuke, N.Koide, L.Han
11	Applied Physics Express	Exp.2	2009	82202	Dye-Sensitized Photovoltaic Module with Conversion Efficiency of 8.4%	A.Fukui, N.Fuke, R.Komiya, N.Koide, R.Yamanaka, H.Katayama, L.Han
11	Journal of Physical Chemistry C	113	2009	20738-20744	Effects of 4-tert-Butylpyridine and Li Ions on Photoinduced Electron Injection Efficiency in Black-Dye-Sensitized Nanocrystalline TiO ₂ Films	Ryuzi Katoh, Motohiro Kasuya, Satoshi Kodate, Akihiro Furube, Nobuhiro Fuke, and Naoki Koide

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
④次世代超薄膜シリコン太陽電池						
京セラ						
17	17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference		2007	PVSEC-17(60-M5-01) P401-403	HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTALLINE SILICON BACK-CONTACT SOLAR CELLS	Norikazu Nakatani, Tomonari Sakamoto, Kenji Fukui and Katsuhiko Shirasawa
東北大						
20	Phys. Rev. B.		in press		Formation mechanism of the faceted interface: in-situ observation of the Si (100) crystal-melt interface during	M. Tokairin, K. Fujiwara, K. Kutsukake, N. Usami, and K. Nakajima
20	J. Cryst. Growth		in press		Growth Behavior of Faceted Si Crystals at Grain Boundary Formation	K. Fujiwara, S. Tsumura, M. Tokairin, K. Kutsukake, N. Usami, S. Uda, and K. Nakajima
20	J. Appl. Phys.		accepted		Relationship between grain boundary structures in Si multicrystals and generation of dislocations during crystal	N. Usami, R. Yokoyama, I. Takahashi, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. Nakajima
20	Jpn. J. Appl. Phys.		accepted		A computational investigation of relationship between shear stress and multicrystalline structure in silicon	I. Takahashi, N. Usami, K. Kutsukake, K. Morishita, and K. Nakajima
20	Acta Mater.	57	2009	3268	Microstructures of Si multicrystals and their impact on minority carrier diffusion	H.Y. Wang, N. Usami, K. Fujiwara, K. Kutsukake, K. Nakajima
20	J. Appl. Phys.	105	2009	44909	Quantitative analysis of sub-grain boundaries in Si multicrystals and their impact on electrical properties and solar cell performance	K. Kutsukake, N. Usami, T. Ohtaniuchi, K. Fujiwara, and K. Nakajima
20	Jpn. J. Appl. Phys.	47	2008	8790	Impact of defect density in Si bulk multicrystals on gettering effect of impurities	I. Takahashi, N. Usami, R. Yokoyama, Y. Nose, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. Nakajima
20	Appl. Phys. Express	1	2008	75001	Structural origin of a cluster of bright spots in reverse bias electroluminescence image of solar cells based on Si multicrystals	N. Usami, K. Kutsukake, K. Fujiwara, I. Yonenaga, and K. Nakajima
20	Phys. Rev. Lett.	101	2008	55503	Growth mechanism of Si-faceted dendrites	K. Fujiwara, K. Maeda, N. Usami, and K. Nakajima
20	Acta Mater.	56	2008	2663	In situ observation of Si faceted dendrite growth from low-degree-of-undercooling melts	K. Fujiwara, K. Maeda, N. Usami, G. Sazaki, Y. Nose, A. Nomura, T. Shishido, and K. Nakajima
20	J. Appl. Phys.	102	2007	103504	Modification of local structures in multicrystals revealed by spatially resolved x-ray rocking curve analysis	N. Usami, K. Kutsukake, K. Fujiwara, and K. Nakajima
20	J. Appl. Phys.	101	2007	63509	Influence of structural imperfection of $\Sigma 5$ grain boundaries in bulk multicrystalline Si on their electrical activities	K. Kutsukake, N. Usami, K. Fujiwara, Y. Nose, and K. Nakajima
20	Scr. Mater.	57	2007	81	Formation mechanism of parallel twins related to Si-faceted dendrite growth	K. Fujiwara, K. Maeda, N. Usami, G. Sazaki, Y. Nose, and K. Nakajima
20	Mater. Trans.	48	2007	143	Structure and its influence on electrical activity of a near [310] S5 grain boundary in bulk silicon	K. Kutsukake, N. Usami, K. Fujiwara, Y. Nose, and K. Nakajima
20	Jpn. J. Appl. Phys.	45	2006	1734	Realization of Bulk Multicrystalline Silicon with Controlled Grain Boundaries by Utilizing Spontaneous Modification of Grain Boundary Configuration	N. Usami, K. Kutsukake, T. Sugawara, K. Fujiwara, W. Pan, Y. Nose, T. Shishido and K. Nakajima
20	J. Cryst. Growth	292	2006	282	Directional growth method to obtain high quality polycrystalline silicon from its melt	K. Fujiwara, W. Pan, K. Sawada, M. Tokairin, N. Usami, Y. Nose, A. Nomura, T. Shishido and K. Nakajima
20	Acta Mater.	54	2006	3191	Growth of structure-controlled polycrystalline silicon ingot by casting for solar cells	K. Fujiwara, W. Pan, N. Usami, K. Sawada, M. Tokairin, Y. Nose, A. Nomura, T. Shishido and K. Nakajima
20	まてりあ	45	2006	720	多結晶シリコン太陽電池の高効率化に向けた材料科学的アプローチ シリコンバルク多結晶の粒界制御に向けて	宇佐美徳隆、沓掛健太郎、藤原航三、野瀬嘉太郎、中嶋一雄

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
⑤有機薄膜太陽電池						
事業者名: 京都大学、新日本石油 (分子科学研究所、大阪市立工業研究所)						
26	Adv. Mater.	18 (19)	2006	2549-2552	Ordered Supramolecular Assembly of Porphyrin-Fullerene Composites on Nanostructured SnO ₂ Electrodes	S. Kang, T. Umeyama, M. Ueda, Y. Matano, H. Hotta, K. Yoshida, S. Isoda, M. Shiro, and H. Imahori
26	Appl. Phys. Lett.	88	2006	83511	Very Thin Molecular Crystal Based Electroluminescent Device	K. W. Yee, M. Yokoyama, M. Hiramoto
26	Appl. Phys. Lett.	88	2006	213105	Design of Nanostructure for Photo-electric Conversion by Organic Vertical Superlattice	M. Hiramoto, T. Yamaga, M. Danno, K. Suemori, Y. Matsumura, and M. Yokoyama
26	Ceram. Int.	32 (7)	2006	819-824	Preparation of Mesoporous Titania Nanocrystals Using Alkylamine Surfactant Templates	N. Koshitani, S. Sakulhaemaruehai, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa
26	Chem. Eur. J.	12	2006	8123-8135	Efficient Charge Injection from S ₂ Photoexcited State of "Special Pair"-Mimic Porphyrin Assemblies Anchored on Sol-Gel Modified ITO Anode	M. Morisue, N. Haruta, D. Kalita, and Y. Kobuke
26	Compo. Sci. Tech.	66 (10)	2006	1259-1265	Structural and Photovoltaic Properties of Binary TiO ₂ -ZrO ₂ Oxides System Prepared by Sol-Gel Method	A. Kitiyanan, S. Sakulhaemaruehai, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa
26	Funtai oyobi Funmatsu Yakin	53	2006	943	Effect of HCl Acid Treatment on the Microstructure of Titanate Nanotubes	R. Yoshida, Y. Suzuki and S. Yoshikawa
26	J. Appl. Phys.	99	2006	36109	Electrical Shorting of Organic Photovoltaic Films Resulting from Metal Migration	K. Surmori, M. Yokoyama, M. Hiramoto
26	J. Colloid Interface Sci.	300 (1)	2006	219-224	A Simple Route Utilizing Surfactant-Assisted Templating Sol-Gel Process for Synthesis of Mesoporous Dy ₂ O ₃	T. Sreethawong, S. Chavadej, S. Ngamsinlapasathian and S. Yoshikawa
26	Jpn. J. Appl. Phys.	45 (17)	2006	L472-L474	Large Area Organic Solar Cells with Thick and Transparent Protection Layers	K. Suemori, Y. Matsumura, M. Yokoyama, M. Hiramoto
26	Langmuir	22 (26)	2006	11405-11411	Comparison of Electrode Structures and Photovoltaic Properties of Porphyrin-Sensitized Solar Cells with TiO ₂ and Nb, Ge, Zr-added TiO ₂ Composite Electrodes	H. Imahori, S. Hayashi, T. Umeyama, S. Eu, A. Oguro, S. Kang, Y. Matano, T. Shishido, S. Ngamsinlapasathian, and S. Yoshikawa
26	Langmuir	22 (12)	2006	5497-5503	Structure and Photoelectrochemical Properties of Phthalocyanine and Perylene Diimide Composite Clusters Deposited Electrophoretically on Nanostructured SnO ₂ Electrodes	A. Kira, T. Umeyama, Y. Matano, K. Yoshida, S. Isoda, M. Isosomppi, N. V. Tkachenko, H. Lemmetyinen, H. Imahori
26	Macromolecular Symposia	237	2006	28-38	Self-Assembled Nanofibrillar Aggregates with Amphiphilic and Lipophilic Molecules	T. Sagawa, S. Chowdhury, M. Takafuji, H. Ihara
26	Mol. Cryst. Liq. Cryst.	455	2006	267-275	P-I-N Junction Organic Solar Cells	M. Hiramoto
26	Mol. Cryst. Liq. Cryst.	455	2006	333-338	Formation of Ohmic Contacts to Organic Semiconductor Films	M. Hiramoto, Y. K. Wei, K. I. Suemori, M. Yokoyama
26	高分子論文集	63 (10)	2006	670-674	直立格子による有機ELナノ構造設計	平本昌宏、團野まり、横山正明
26	Appl. Phys. Lett.	90 (16)	2007	163517/1-3	High performance polythiophene/fullerene bulk-heterojunction solar cell with a TiO _x hole blocking layer	A. Hayakawa, O. Yoshikawa, T. Fujieda, K. Uehara, S. Yoshikawa
26	Bull. Chem. Soc. Jpn. (Award Accounts)	80	2007	621-636	Creation of Fullerene-Based Artificial Photosynthetic Systems	H. Imahori
26	Central European Journal of Chemistry	5 (2)	2007	605-619	Addition of TiO ₂ nanowires in different polymorphs for dye-sensitized solar cells	K. Asagoe, S. Ngamsinlapasathian, Y. Suzuki, S. Yoshikawa
26	Chem. Commun.	20	2007	2069-2071	Novel Unsymmetrical π -Elongated Porphyrins for Dye-Sensitized Solar Cells	M. Tanaka, S. Hayashi, S. Eu, T. Umeyama, Y. Matano, and H. Imahori
26	Chem. Commun.	23	2007	2348-2350	Fine-Tuning of a Ferrocene/Porphyrin/ITO Redox Cascade for Efficient Sequential Electron Transfer Commenced by an S ₂ Photoexcited Special-Pair Mimic	M. Morisue, D. Kalita, N. Haruta, and Y. Kobuke
26	Chem. Eur. J.	14	2007	2827	Light-Harvesting Supramolecular Porphyrin Macroring Accommodating a Fullerene-Tripodal Ligand	Y. Kuramochi, A. Satake, M. Itou, K. Ogawa, Y. Araki, O. Ito, and Y. Kobuke
26	Chem. Eur. J.	13	2007	10182-10193	Effects of Porphyrin Substituents on Film Structure and Photoelectrochemical Properties of Porphyrin/Fullerene Composite Clusters Electrophoretically Deposited on Nanostructured SnO ₂	H. Imahori, M. Ueda, S. Kang, H. Hayashi, H. Kaji, S. Seki, A. Saeki, S. Tagawa, T. Umeyama, Y. Matano, K. Yoshida, S. Isoda, M. Shiro, N. V. Tkachenko, H. Lemmetyinen
26	Chem. Lett.	36	2007	680-681	Selective Preparation of Zinc Oxide Nanostructures by Electrodeposition on the Templates of Surface-functionalized Polymer Particles	M. Watanabe, H. Aritomo, I. Yamaguchi, T. Shinagawa, T. Tamai, A. Tasaka, M. Izaki
26	Chemistry Letters	36 (12)	2007	1508-1509	Hydrothermal Production of SrTiO ₃ Nanotube Arrays	J. Jitputti, P. Charoensirithavorn, and S. Yoshikawa
26	Funtai oyobi Funmatsu Yakin	54 (3)	2007	202-208	Nanowire/Nanoparticle Composite Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells	Y. Suzuki, S. Ngamsinlapasathian, K. Asagoe and S. Yoshikawa
26	J. Mater. Chem. (Feature Article)	17	2007	31-41	Electrophoretic Deposition of Donor-Acceptor Nanostructures on Electrodes for Molecular Photovoltaics	H. Imahori

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
26	J. Phys: Conf. Ser.	61 (1)	2007	1112-1116	TiO ₂ -Anatase Nanowire Dispersed Composite Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells,	K Asagoe, Y Suzuki, S Ngamsinlapasathian and S Yoshikawa
26	J. Phys. Chem. C	111	2007	11484-11493	Electrophoretic Deposition of Single-Walled Carbon Nanotubes Covalently Modified with Bulky Porphyrins on Nanostructured SnO ₂ Electrodes for Photoelectrochemical	T. Umeyama, M. Fujita, N. Tezuka, N. Kadota, Y. Matano, and H. Imahori
26	J. Phys. Chem. C	111	2007	13618-13626	Hydrogen Bonding Effects on Film Structure and Photoelectrochemical Properties of Nanostructured TiO ₂ Electrodes Modified with Porphyrin and	A. Kira, M. Tanaka, T. Umeyama, Y. Matano, G. Li, S. Ye, M. Isosomppi, N. V. Tkachenko, H. Lemmetyinen, and H. Imahori
26	J. Phys. Chem. C	111 (6)	2007	2777-2786	Dendritic Effects on Structure and Photophysical and Photoelectrochemical Properties of Fullerene Dendrimers and Their Nanoclusters	K. Hosomizu, H. Imahori, U. Hahn, J.-F. Nierengarten, A. Listorti, N. Armaroli, T. Nemoto, and S. Isoda
26	J. Phys. Chem. C	111 (8)	2007	3528-3537	Effects of 5-Membered Heteroaromatic Spacers on Structures of Porphyrin Films and Photovoltaic Properties of Porphyrin-Sensitized TiO ₂ Cells	S. Eu, S. Hayashi, T. Umeyama, A. Oguro, M. Kawasaki, N. Kadota, Y. Matano, and H. Imahori
26	Journal of Solid State Chemistry	180	2007	1743-1749	Synthesis and photocatalytic activity for water-splitting reaction of nanocrystalline mesoporous titania prepared by hydrothermal method	J. Jitputti, S. Pavasupree, Y. Suzuki, and S. Yoshikawa,
26	Materials Letters	61 (14-15)	2007	2973-2977	Preparation and characterization of high surface area nanosheet titania with mesoporous structure	S. Pavasupree, S. Ngamsinlapasathian, Y. Suzuki, S. Yoshikawa
26	Mol. Cryst. Liq. Cryst.	462	2007	45-50	Formation of Ohmic Contacts to Naphthalene Tetracarboxylic Anhydride Films	K. W. Yee, K. Suemori, M. Yokoyama, M. Hiramoto
26	Org. Biomol. Chem.	5	2007	1679	Artificial Photosynthetic Systems: Assemblies of Slipped Cofacial Porphyrins and Phthalocyanines Showing Strong Electronic Coupling	A. Satake and Y. Kobuke
26	Org. Lett.	9	2007	1971-1974	Electron-Donating Perylene Tetracarboxylic Acid for Dye-Sensitized	Y. Shibano, T. Umeyama, Y. Matano, and H. Imahori
26	Physica Status Solidia	204 (6)	2007	1757-1761	Direct synthesis of an anatase-TiO ₂ nanofiber/nanoparticle composite powder from natural rutile	Y. Suzuki, S. Pavasupree, S. Yoshikawa, R. Kawahata
26	Solar Energy Materials & Solar	91 (13)	2007	1176-1181	The superiority of Ti plate as the substrate of dye-sensitized solar cells	K. Onoda, S. Ngamsinlapasathian, T. Fujieda, S. Yoshikawa
26	Surface Review and Letters	14 (4)	2007	539-542	Long-term operation tests of organic solid-state solar cells	H. Shiokawa, M. Yokoyama, M. Hiramoto
26	Appl. Phys. Lett.	93 (3)	2008	033310/1-3	Efficient Dye-Sensitized Solar Cells Using Electrospun TiO ₂ Nanofibers as a Light Harvesting Layer	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Beil. J. Org. Chem.		2008	4:33	Synthesis of thienyl analogues of PCBM and investigation of morphology of mixtures in P3HT	F. Matsumoto, K. Moriwaki, Y. Takao, T. Ohno
26	Ceramics International	34 (6)	2008	1453-1457	Effect of Pre-Nitridation Treatment on the Formation of Anatase TiO ₂ Films by Anodization	K. Onoda, S. Yoshikawa
26	Chem. Eur. J.	14 (16)	2008	4875-4885	Clusterization, Electrophoretic Deposition, and Photoelectrochemical Properties of Fullerene-Functionalized Carbon Nanotube Composites	T. Umeyama, N. Tezuka, M. Fujita, S. Hayashi, N. Kadota, Y. Matano, H. Imahori
26	Chem. Eur. J.	49 (38)	2008	4993-5000	Tandem Cofacial Stacks of Porphyrin-Phthalocyanine Dyad through Complementary Coordination	M. Morisue and Y. Kobuke
26	Chem. Lett.	37	2008	846-847	Fused Five-Membered Porphyrin for Dye-Sensitized Solar Cells	S. Hayashi, Y. Matsubara, S. Eu, H. Hayashi, T. Umeyama, Y. Matano, H. Imahori
26	Crystal Growth & Design	8 (4)	2008	1418-1421	Zinc Oxide Nano-Cauliflower Array with Room Temperature Ultraviolet Light Emission	M. Izaki, M. Watanabe, H. Aritomo, I. Yamaguchi, S. Asahina, T. Shinagawa, M. Chigane, M. Inaba, A. Tasaka
26	Dalton Trans.		2008	5476-5483	Synthesis of Sterically Hindered Phthalocyanines and Their Applications to Dye-Sensitized Solar Cells	S. Eu, T. Katoh, T. Umeyama, Y. Matano, H. Imahori
26	ECS Transactions	16 (33)	2008	21-26	Fine-Tuning of TiO ₂ Nanofibers-Mixed Nanoparticles-Photoelectrode for High Efficient Dye-Sensitized Solar Cells	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	ECS Transactions	16 (33)	2008	pp. 11-15	Hybrid Bulk Heterojunction Solar Cells with Anatase Titanium Dioxide Nanotubes Arrays from Liquid Phase Deposition Using ZnO Template	T. Rattanavoravipa, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Energy Environ. Sci. (Perspective)	1	2008	120-133	Carbon Nanotube-Modified Electrodes for Solar Energy Conversion	T. Umeyama, H. Imahori
26	J. Am. Chem. Soc.	130 (51)	2008	17212-17213	Synthesis and Two-Photon Absorption Enhancement of Porphyrin Macrocycles	J. E. Raymond, A. Bhaskar, T. Goodson, N. Makiuchi, K. Ogawa and Y. Kobuke

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
26	J. Am. Chem. Soc.	130 (14)	2008	4588-4589	Regioselective β -Metallation of meso-Phosphanylporphyrins. Structure and Optical Properties of Porphyrin Dimers Linked by Peripherally Fused	Y. Matano, K. Matsumoto, Y. Nakao, H. Uno, S. Sakaki, H. Imahori
26	J. Phys. Chem. C	112	2008	15576-15585	Naphthyl-Fused π -Elongated Porphyrins for Dye-Sensitized TiO ₂ Cells	S. Hayashi, M. Tanaka, H. Hayashi, S. Eu, T. Uemeyama, Y. Matano, Y. Araki, H. Imahori
26	J. Phys. Chem. C	112	2008	4396-4405	Carboxyquinoxaline-Fused Porphyrins for Dye-Sensitized Solar Cells	S. Eu, S. Hayashi, T. Uemeyama, Y. Matano, Y. Araki, and H. Imahori
26	Jpn. J. Appl. Phys.	47 (1-2)	2008	787-793	Fabrication and optical properties of electrospun conductive polymer nanofibers from blended polymer solution	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Jpn. J. Appl. Phys.	47 (11)	2008	8456-8460	Optical Properties of the Carbon-modified TiO ₂ Prepared by Microwave Carbonization Process	T. Sonobe, J. Jitputti, K. Hachiya, T. Mitani, N. Shinohara, S. Yoshikawa
26	Macromolecular Symposia	264 (1)	2008	80-89	Ultrafine electrospun conducting polymer fibers of polyphenylenevinylene and polyvinylpyrrolidone and their photoluminescent properties	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.		2008	1049E	Fiber-Based Bulk-Heterojunction Organic Photovoltaic Cells	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.		2008	1091E	Fabrication and Optical Properties of Electrospun Organic Semiconductor Nanofibers from Blended Polymer Solution	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.		2008	1091E	New Physical and Chemical Treatments to Improve the Quantum Efficiency in Polymer Solar Cells	O. Yoshikawa, T. Sonobe, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.		2008	1091E	Porphyrin Assembly with Fullerenes for Photovoltaic Applications	T. Sagawa, O. Yoshikawa, H. Jintoku, M. Takafuji, H. Ihara
26	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.		2008		TiO ₂ Nanotube Arrays by Using ZnO Nanorod Template through Liquid Phase Deposition for Organic-Inorganic Hybrid Photovoltaic Cells	T. Rattanaavoravipa, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Materials Research Bulletin	43 (1)	2008	149-157	Hydrothermal Synthesis, Characterization, Photocatalytic Activity and Dye-Sensitized Solar Cell Performance of Mesoporous Anatase TiO ₂ Nanopowders	S. Pavasupree, J. Jitputti, S. Ngamsinlapasathian, S. Yoshikawa
26	Microporous and Mesoporous Materials	109 (1-3)	2008	84-90	On the Formation of Nanocrystalline Bimodal Mesoporous In ₂ O ₃ Prepared by Surfactant-Assisted Templating Sol-Gel	T. Sreethawong, S. Chavadej, S. Ngamsinlapasathian, S. Yoshikawa
26	Mol. Cryst. Liq. Cryst.	491	2008	277-283	Nanostructure control by interlaminated fullerene/phthalocyanine ultrathin films in p-i-n organic solar cells	H. Shiokawa, M. Hiramoto
26	Mol. Cryst. Liq. Cryst.	491	2008	284-289	Efficient organic p-i-n solar cells having very thick codeposited i-layer consisting of highly purified organic semiconductors	K. Sakai, M. Hiramoto
26	Proceedings of SPIE	Vol. 7052, Organic photovoltaics IX	2008	70520H-1-6	Efficient organic p-i-n solar cells having very thick codeposited i-layer composed of highly purified organic semiconductors	M. Hiramoto
26	Sol. Energy Mater. & Sol. Cells	92 (11)	2008	1445-1449	Photovoltaic performance of hybrid solar cell with TiO ₂ nanotubes arrays fabricated through liquid deposition using ZnO	T. Rattanaavoravipa, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Solid State Science	10 (1)	2008	20-25	Sol-Gel Synthesis of Mesoporous Assembly of Nd ₂ O ₃ Nanocrystals with the Aid of Structure-Directing Surfactant	T. Sreethawong, S. Chavadej, S. Ngamsinlapasathian, S. Yoshikawa
26	Tetrahedron Lett.	49 (25)	2008	3987-3990	Molecular Organogel-Forming Porphyrin Derivative with Hydrophobic L-Glutamide	H. Jintoku, T. Sagawa, T. Sawada, M. Takafuji, H. Hachisako, H. Ihara
26	Tetrahedron Lett.	49 (38)	2008	5484-5487	Stable Supramolecular Complex of Porphyrin Macroring with Pyridyl and	Z. Uyar, A. Satake, Y. Kobuke, and S. Hirota
26	Thin Solid Films	516 (21)	2008	7802-7806	Enhanced Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell Using Double-Layered	S. Ngamsinlapasathian, T. Sreethawong, S. Yoshikawa
26	Acc. Chem. Res.	42 (11)	2009	1809-1818	Large π -Aromatic Molecules as Potential Sensitizers for Highly Efficient Dye-Sensitized Solar Cells	H. Imahori, T. Umehara, and S. Ito
26	ACS Appl. Mater. Interfaces	1 (?)	2009	1070-1075	Preparation of Core/Shell and Hollow Nanostructures of Cerium Oxide by Electrodeposition on a Polystyrene Sphere Template	I. Yamaguchi, M. Watanabe, T. Shinagawa, M. Chigane, M. Inaba, A. Tasaka, M. Izaki
26	ACS Appl. Mater. Interfaces	1 (5)	2009	1140-1143	Photocatalytic Activity for Hydrogen Evolution of Electrospun TiO ₂ Nanofibers	S. Chuangchote, J. Jitputti, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	ACS Symp. Ser.	1023	2009	159-168	Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP) with Alcohol	A. Goto, N. Hirai, T. Wakada, K. Nagasawa, Y. Tsujii, T. Fukuda
26	Appl. Phys. Lett.	94 (8)	2009	083301/1-3	Single mode microwave irradiation to improve the efficiency of polymer solar cell based on poly(3-hexylthiophene) and fullerene derivative	O. Yoshikawa, T. Sonobe, T. Sagawa, S. Yoshikawa

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
26	Bull. Chem. Soc. Jpn.	82	2009	574-581	Electrochemical Oxidation Properties of Tetrakis(tert-butyl)phthalocyaninatozinc(II) in Non-aqueous Media: A Reinvestigation into the Effects of Stacking, Axial Coordination, and Solvent	M. Morisue, K. Kameyama, and Y. Kobuke
26	Catalysis Commun.	10 (4)	2009	378-382	Low Temperature Hydrothermal Synthesis of Monodispersed Flower-Like Titanate Nanosheet	J. Jitputti, T. Rattanavoravipa, S. Chuangchote, S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa
26	Chem. Commun.	10	2009	1231-1233	Single Supramolecular Porphyrin Wires Bridging Gold Nanoparticles	A. Satake, M. Fujita, Y. Kurimoto, and Y. Kobuke
26	Chem. Eur. J.	15 (10)	2009	2317-2327	Energy Transfer Followed by Electron Transfer in a Porphyrin Macrocyclic and Central Acceptor Ligand: A Model for a Photosynthetic Composite of the Light-Harvesting Complex and Reaction Center	Y. Kuramochi, A. S. D. Sandanayaka, A. Satake, Y. Araki, K. Ogawa, O. Ito, Y. Kobuke
26	Chem. Lett.	38 (7)	2009	742-743	Electrochemiluminescence Devices Consisting of ZnO Nanorods Vertically Grown on Substrate	T. Tanaka, H. Takishita, T. Sagawa, S. Yoshikawa, S. Hayase
26	Electrochem. Solid State Lett.	12	2009	E5	Preparation of Hollow Titanium Dioxide Shell Thin Films by Electrophoresis and Electrolysis for Dye-Sensitized Solar Cells	M. Chigane, M. Watanabe, M. Izaki, I. Yamaguchi, and T. Shinagawa
26	Eur. Polym. J.	45	2009	2788-2796	Synthesis of monodisperse zinc sulfide particles grafted with concentrated polystyrene brush by surface-initiated nitroxide-mediated polymerization	V. Ladmiral, T. Morinaga, K. Ohno, T. Fukuda, Y. Tsujii
26	J. Am. Chem. Soc.	131 (1)	2009	10-11	Energy Transfer among Light-Harvesting Macrorings Incorporated into a Bilayer Membrane	N. Nagata, Y. Kuramochi and Y. Kobuke
26	J. Am. Chem. Soc.	131	2009	3198-3200	Supramolecular Donor-Acceptor Heterojunctions by Vectorial Stepwise Assembly of Porphyrins and Coordination-Bonded Fullerene Arrays for Photocurrent Generation	A. Kira, T. Umeyama, Y. Matano, K. Yoshida, S. Isoda, J.-K. Park, D. Kim, H. Imahori
26	J. Appl. Polym. Sci.	114 (5)	2009	2777-2791	Electrospinning of Poly(vinyl pyrrolidone): Solvent Effects on Electrospinnability for Fabrication of Poly(p-phenylene vinylene) and TiO ₂ Nanofibers	S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	J. Crystal Growth	311	2009	757-759	A Facile Route to TiO ₂ Nanotube Arrays for Dye-sensitized Solar Cells	P. Charoensirithavorn, Y. Ogomi, T. Sagawa, S. Hayase, S. Yoshikawa
26	J. Electrochem. Soc.	156 (11)	2009	H803-H807	Effect of Heat-Treatment on Electron Transport Process in TiO ₂ Nanotube Arrays Prepared Through Liquid Phase Deposition for Dye-Sensitized Solar Cells	P. Charoensirithavorn, Y. Ogomi, T. Sagawa, S. Hayase, S. Yoshikawa
26	J. Phys. Conf. Ser.	159	2009	no. 012016	Self-Assembling Fullerene Derivatives for Energy Transfer in Molecular Gel System	N. Watanabe, H. Jintoku, T. Sagawa, M. Takafuji, T. Sawada, H. Ihara
26	J. Phys. Conf. Ser.	184	2009	no. 012031	AFM studies on microtribology of concentrated polymer brushes in solvents	Y. Tsujii, A. Nomura, K. Okayasu, W. Gao, K. Ohno, T. Fukuda
26	J. Phys. Chem. C	113	2009	10798-10806	Synthesis and Photophysical and Photovoltaic Properties of Porphyrin-Furan and -Thiophene Alternating	T. Umeyama, T. Takamatsu, N. Tezuka, Y. Yamamoto, Y. Araki, O. Yoshikawa, T. Sagawa, S. Yoshikawa, and H.
26	J. Phys. Chem. C	113	2009	10819-10828	Effects of Electrode Structures on Photoelectrochemical Properties of ZnO Electrodes Modified with Porphyrin-Fullerene Composite Layers with Intervening Fullerene Monolayer	H. Hayashi, A. Kira, T. Umeyama, Y. Matano, P. Charoensirithavorn, T. Sagawa, S. Yoshikawa, N. V. Tkachenko, H. Lemmetyinen, H. Imahori
26	J. Phys. Chem. C	113	2009	15454-15466	Organic Thin-Film Solar Cell Using Electron-Donating Perylene Tetracarboxylic Acid Derivatives	Y. Shibano, H. Imahori, and C. Adachi
26	J. Phys. Chem. C	113 (42)	2009	18406-18413	Effects of Porphyrin Substituents and Adsorption Conditions on Photovoltaic Properties of Porphyrin-Sensitized TiO ₂ Cells	H. Imahori, S. Hayashi, H. Hayashi, A. Oguro, S. Eu, T. Umeyama, and Y. Matano
26	J. Phys. Chem. C (Feature Article)	113	2009	9029-9039	Donor-Acceptor Nanoarchitecture on Semiconducting Electrodes for Solar Energy Conversion	H. Imahori, T. Umeyama
26	J. Porphyrins Phthalocyanines	13	2009	1063-1068	Porphyrin-Modified Electrodes for Solar Energy Conversion	H. Imahori, T. Umeyama
26	Org. Biomol. Chem.	7 (11)	2009	2430-2434	Chirally Self-Assembled Porphyrin Nanowires Assisted by L-Glutamide-Derived Lipid for Excitation Energy Transfer	H. Jintoku, T. Sagawa, M. Takafuji, H. Ihara
26	Org. Biomol. Chem. (Perspective)	7	2009	1258	Design and Synthesis of Phosphole-Based π Systems for Novel Organic Materials	Y. Matano and H. Imahori
26	Solid-State Electronics	53	2009	176-180	Efficient electron transfers in ZnO nanorod arrays with N719 dye for hybrid solar cells	T. Rattanavoravipa, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Adv. Mater.		in press		Selective Formation and Efficient Photocurrent Generation of [70]Fullerene-Single-Walled Carbon Nanotube Composites	T. Umeyama, N. Tezuka, S. Seki, Y. Matano, M. Nishi, K. Hirao, H. Lehtivuori, N. V. Tkachenko, H. Lemmetyinen, Y. Nakao, S. Sakaki, H.
26	ASME J. Solar Energy Engineering		in press		One-Dimensional Nanostructure Arrays for Dye-Sensitized Solar Cell	P. Charoensirithavorn, T. Sagawa, S. Hayase, S. Yoshikawa

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
26	J. Nanosci. Nanotech.		in press		TiO ₂ Rutile Nanorod Arrays Grown on FTO Substrate Using Amino Acid at a Low Temperature	Y. Hayami, Y. Suzuki, T. Sagawa, S. Yoshikawa
26	Macromol. React. Eng.		in press		Use of Alcohol as Initiator for Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP)	J. Kim, A. Nomura, T. Fukuda, A. Goto, Y. Tsujii

⑥次世代技術の探索

龍谷大・東工大						
28	phys. stat. sol.	(a) 203	2006	2593-2597	Fabrication of Cu(In,Ga)Se ₂ thin films by a combination of mechanochemical and screen printing/sintering processes	T. Wada, Y. Matsuo, S. Nomura, Y. Nakamura, A. Miyamura, Y. Chiba, A. Yamada and M. Konagai
28	phys. stat. sol.	(a) 203	2006	2634-2638	Systematic studies on electronic structures of CuInSe ₂ and the related chalcopyrite compounds by first principles	T. Maeda, T. Takeichi and T. Wada
28	Thin Solid Films	511-512	2006	430-433	Three stage evaporation of Cu(In,Ga)S ₂ solar cell absorber films without KCN treatment and Na control	R. Kaigawa, T. Wada, S. Bakehe and R. Klenk
28	phys. stat. sol.	(c) 3	2006	2592-2596	Film quality improvement of CIGS thin film grown by mechanochemical process	Y. Chiba, M. Fanying, T. Tsukagoshi, H. Miyazaki, A. Yamada, T. Wada and M. Konagai
28	Thin Solid Films	515	2007	6260-6264	Electrical properties of homogeneous Cu(In,Ga)S ₂ films with varied gallium	R. Kaigawa, A. Ohyama, T. Wada, and R. Klenk
28	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.	1012	2007	1012-Y03-15	Fabrication of (Cu,Ag)InSe ₂ thin films by a combination of mechanochemical and screen printing/sintering processes	S. Nomura, Y. Matsuo and T. Wada
28	Jpn. J. Appl. Phys.	47	2008	694-696	Photoluminescence properties of Cu(In,Ga)Se ₂ thin films prepared by mechanochemical process	Y. Chiba, A. Yamada, M. Konagai, Y. Matsuo, and T. Wada
28	Thin Solid Films	516	2008	7046-7050	The microstructure of Cu(In,Ga)S ₂ solar cell absorber films prepared using three-stage and two-stage evaporation	R. Kaigawa, T. Wada and R. Klenk
28	phys. stat. sol.	(c) 6	2009	1312-1316	Characteristics of chemical bond and vacancy formation in chalcopyrite-type CuInSe ₂ and the related compounds	T. Maeda and T. Wada
28	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.	1165	2009	1165-M05-13	Fabrication of Cu(In,Ga)Se ₂ films by a combination of mechanochemical synthesis, wet bead milling, and screen-printing/sintering process	J. Kubo, Y. Matsuo, T. Wada, A. Yamada, and M. Konagai
東工大						
31	Japanese Journal of Applied Physics	45	2006	L432-L434	Low-Temperature Deposition of Highly Conductive n-Type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic SiC Films for Solar Cell Applications	Shinsuke Miyajima, Keisuke Haga, Akira Yamada and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	45	2006	5671-5674	Effect of the structural change of hydrogenated microcrystalline silicon thin films prepared by hot wire chemical vapor deposition technique	Shuichi Hiza, Wataru Matsuda, Akira Yamada and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	45	2006	L1064-L1066	Preparation of Nanocrystalline Silicon in Amorphous Silicon Carbide Matrix	Yasuyoshi Kurokawa, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	L1152-L1154	Theoretical Analysis of Amorphous Silicon Alloy Based Triple Junction Solar Cells	Ihsanul Afdi Yunaz, A. Yamada and M. Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	2865-2868	Preparation of Microcrystalline Germanium Carbon Thin Films by Hot-Wire Chemical Vapor Deposition Using Dimethylgermane	Yasutoshi Yashiki, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	L833-L835	Photoluminescence from Silicon Quantum Dots in Si Quantum Dots/Amorphous SiC Superlattice	Yasuyoshi Kurokawa, Shigeki Tomita, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	L693-L695	Effects of Hydrogen Dilution Ratio on Properties of Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide Films Deposited by Very High-Frequency Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	Shinsuke Miyajima, Makoto Sawamura, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	1427-1431	Low-temperature Deposition of Hydrogenated Microcrystalline Silicon Thin Films by Photochemical Vapor Deposition Technique and Their Application to Thin Film Solar Cells	Shuichi Hiza, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	1415-1426	Characterization of Undoped, N- and P-Type Hydrogenated Nanocrystalline Silicon Carbide Films Deposited by Hot-Wire Chemical Vapor Deposition at Low	Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	1398-1403	Effects of Temperature and Spectral Irradiance on Performance of Silicon-Based Thin Film Multijunction Solar Cells	Ihsanul Afdi Yunaz, Kobsak Sriprapha, Shuichi Hiza, Akira Yamada, and Makoto Konagai

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
31	Journal of Non-Crystalline Solids	354	2008	2350-2354	Properties of N-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide Films Deposited by VHFPECVD at a Low Substrate Temperature	Shinsuke Miyajima, Makoto Sawamura, Akira Yamada, Makoto Konagai
31	Journal of Non-Crystalline Solids	354	2008	2355-2358	Influence of plasma power and substrate temperature on structure of nanocrystalline germanium carbon thin films by VHF plasma CVD	Yasutoshi Yashiki, Seiichi Kouketsu, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, Makoto Konagai
31	Thin Solid Films	516	2008	490-495	Deposition of new microcrystalline materials, μ c-SiC, μ c-GeC by HWCVD and solar cell applications	Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	47	2008	3368-3371	Effect of Plasma Power on Structure of Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide Films Deposited by Very High Frequency Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition at a Low Substrate	Shinsuke Miyajima, Makoto Sawamura, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Thin Solid Films	516	2008	670-673	Properties of nanocrystalline SiC:Ge:H alloy deposited by hot-wire chemical vapor deposition using Organosilane and Organogermane	Shinsuke Miyajima, Yasutoshi Yashiki, Akira Yamada and Makoto Konagai
31	Japanese Journal of Applied Physics	47	2008	6222-6227	Characterization of Defects-Location in Hydrogenated Microcrystalline Silicon Thin Films and Its Influence on Solar Cell Performance	Shuichi Hiza, Akira Yamada, and Makoto Konagai
31	Solar Energy Materials & Solar Cells	92	2008	639-645	Silicon-based thin-film solar cells fabricated near the phase boundary by VHF PECVD technique	Seung Yeop Myong, Kobsak Sriprapha, Yasutoshi Yashiki, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, Makoto Konagai
31	Solar Energy Materials & Solar Cells	93	2009	1056-1061	Fabrication of amorphous silicon carbide films using VHF-PECVD for triple junction thin-film solar cell applications	Ihsanul Afidi Yunaz, Kenji Hashizume, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, Makoto Konagai
	岐阜大					
33	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	518-522	Heterojunction amorphous silicon solar cell with n-type microcrystalline cubic silicon carbide as a window layer	Shunsuke Ogawa, Norimitsu Yoshida, Takashi Itoh, Shuichi Nonomura
33	Japanese Journal of Applied Physics	46	2007	2858-2864	Study of Nano-Scale Electrical Properties of Hydrogenated Microcrystalline Silicon Solar Cells by Conductive Atomic Force Microscope	Z. Shen, T. Gotoh, M. Eguchi, N. Yoshida, T. Itoh, S. Nonomura
33	Thin Solid Films	516	2008	588-592	Localized oxidation influence of Conductive Atomic Force Microscope measurements on nano-scale I-V characterization of silicon thin film solar cells	Zhenhua Shen, Mototaka Eguchi, Tamihiro Gotoh, Norimitsu Yoshida, Takashi Itoh and Shuichi Nonomura
33	Thin Solid Films	516	2008	641-643	Properties of hetero-structured SiC _x films deposited by hot-wire CVD using SiH ₃ CH ₃ as carbon source	T. Itoh, T. Kawasaki, Y. Takai, N. Yoshida and S. Nonomura
33	Thin Solid Films	516	2008	740-742	Application of microcrystalline hydrogenated cubic silicon carbide for amorphous silicon thin film solar cells	Shunsuke Ogawa, Masaaki Okabe, Yuusuke Ikeda, Takashi Itoh, Norimitsu Yoshida and Shuichi Nonomura
33	Thin Solid Films	516	2008	758-760	Amorphous Si _{1-x} C _x H films prepared by Hot-wire CVD method using SiH ₃ CH ₃ and SiH ₄ mixture gas and its application to window layer for silicon thin film solar cells	Shunsuke Ogawa, Masaaki Okabe, Takashi Itoh, Norimitsu Yoshida and Shuichi Nonomura
33	Thin Solid Films	516	2008	807-809	TiO ₂ thin films using organic liquid materials prepared by Hot-Wire CVD method	Tamio Iida, Yasuhiko Takamido, Takao Kunii, Shunsuke Ogawa, Tomoki Narita, Norimitsu Yoshida, Takashi Itoh and Shuichi Nonomura
33	Japanese Journal of Applied Physics	48	2009	091202-1-091202-4	Nanoscale Characterization of microcrystalline Silicon Solar Cells by Scanning Near-Field Optical Microscopy	Tamihiro Gotoh, Yoshiki Yamamoto, Zhenhua Shen, Shunsuke Ogawa, Norimitsu Yoshida, Takashi Itoh, and Shuichi Nonomura
	産総研：省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発 フォトニックシリコン太陽電池の研究開発					
38	JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS	42	2009	18520	Precursor flux-dependent microstructure of thin-film silicon prepared by hydrogen diluted silane discharge plasmas	Numomura S, Kondo M
38	APPLIED PHYSICS LETTERS	94	2009	71502	Time-dependent gas phase kinetics in a hydrogen diluted silane plasma	Numomura S, Yoshida I, Kondo M
38	APPLIED PHYSICS LETTERS	93	2008	231502	Positive ion polymerization in hydrogen diluted silane plasmas	Numomura S, Kondo M
38	PHYSICS OF PLASMAS	15	2008	80703	Nanoparticle coagulation in fractionally charged and charge fluctuating dusty	Numomura S, Shiratani M, Koga K, et al.
38	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	102	2007	93306	Characterization of high-pressure capacitively coupled hydrogen plasmas	Numomura S, Kondo M
	産総研：省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発 構造制御ナノロッドによる省資源型有機太陽電池					

テーマ番号	誌名	vol.	年	ページ	タイトル	著者名
38	Journal of Material Chemistry	19	2009	4829-4836	Substituted carbazole dyes for efficient molecular photovoltaics: long electron lifetime and high open circuit voltage performance	N. Koumura, Z.-S. Wang, M. Miyashita, Y. Uemura, H. Sekiguchi, Y. Cui, A. Mori, S. Mori, K. Hara
38	Journal of Physical Chemistry	113	2009	13409-13415	Organic Sensitizers Based on Hexylthiophene-Functionalized Indolo[3,2-b]carbazole for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells	X.-H. Zhang, Z.-S. Wang, Y. Cui, N. Koumura, A. Furuge, K. Hara
産総研：省資源・低環境負荷型太陽光発電システムの開発 省資源型CIGS太陽電池の開発						
38	PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS	206-5	2009	1063	Effects of Mo back contact thickness on the properties of CIGS solar cells	上川 由紀子, 嶋田 修平, 渡辺 学, 山田 昭政, 櫻井 啓一郎, 石塚 尚吾, 小牧 弘典, 松原 浩司, 柴田 肇, 反保 衆志, 前島 圭剛, 仁木 栄
38	Proceedings of 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2009	3BV.5.92	Fabrication of CIGS solar cells with thinner absorber layers	Y. Kamikawa-Shimizu, S. Furue, A. Yamada, S. Ishizuka, H. Komaki, K. Martsubara, H. Shibata, S. Niki
38	Proceedings of 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition		2009	3BV.5.93	Study on alternative Mo back contact materials for CIGS solar cells	Y. Kamikawa-Shimizu, S. Furue, A. Yamada, S. Ishizuka, H. Komaki, K. Martsubara, H. Shibata, H. Nakanishi, S. Niki