

第2回 太陽光発電研究センター 成果報告会

平成18年7月31日



独立行政法人
産業技術総合研究所

第2回太陽光発電研究センター成果報告会

日時：平成18年7月31日(月) 10時半～17時
場所：日本科学未来館

10:30～12:00 座長 増田 淳 産業化戦略チーム長

開会の辞	副研究センター長	仁木 栄
ご挨拶	日本科学未来館 館長	毛利 衛
来賓挨拶	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 部長	福田 秀樹
センターの概要と運営について	センター長	近藤 道雄

シリコン系太陽電池

アモルファス／結晶シリコンヘテロ接合太陽電池	藤原 裕之	1
結晶シリコン太陽電池における表面パッシベーション	高遠 秀尚	7
シーディング法で作製した球状シリコン太陽電池	劉 正新	11
薄膜シリコン多接合太陽電池	松井 卓矢	19

13:00～14:30 座長 仁木 栄 副研究センター長

酸化物、化合物半導体太陽電池

高透過高移動度導電性酸化物の探索	鯉田 崇	25
ZnMgO 新型バッファ層を用いた CIGS 太陽電池	松原 浩司	31
水蒸気導入による高品質ワイドギャップ CIGS 太陽電池	石塚 尚吾	37

有機太陽電池

有機色素を用いた色素増感型太陽電池	原 浩二郎	47
低分子系有機薄膜太陽電池	當摩 哲也	55
ポリマー系有機薄膜太陽電池	山成 敏広	59

15:00～17:15 座長 齊藤 和裕 有機薄膜チーム長

評価システム技術

産総研における一次基準セル校正	猪狩 真一	63
新型太陽電池の評価技術	菱川 善博	71
太陽電池システムの屋外発電量評価	大谷 謙仁	77
太陽電池モジュールのリサイクル技術	土井 卓也	87
結晶シリコンモジュールにおける複合加速劣化	土井 卓也	93

産学連携

産総研における産学官連携コンソーシアム	増田 淳	99
---------------------	------	----

特別講演

未来に広がる太陽光発電産業 (株)資源総合システム	一木 修	109
---------------------------	------	-----

太陽光発電研究センターの概要と運営について

センター長 近藤 道雄

(独)産業技術総合研究所が2001年4月に生まれた後、3年遅れて当センターは2004年4月に設立されました。当センターは薄膜シリコン系太陽電池研究ラボとエネルギー技術研究部門の太陽光関係グループが統合されて生まれ、その後、有機薄膜チームが光技術研究部門から移動、新たに産業化戦略チームを加えて今年で3年目を迎えることとなりました。現在、常勤職員数26名に加え、非常勤職員等併せて総勢80名を超えるスタッフで太陽光発電に対して材料からシステムにいたるまで包括的に取り組んでいます。このような研究組織は日本では唯一で、世界的に見ても、アメリカ NREL、ドイツ フランホーファー研究所、オランダ ECN、フランス CNRS と数えるほどしかありません。

当センターの成果報告会は昨年度に続いて今年で2回目ですが、昨年度は100名を越える方にご参加いただいたのを記憶しております。今年はさらに300名の定員を超える方にお申し込みを頂き、太陽光発電への関心の高さを実感すると同時に当センターへの期待の重さに身が引き締まる思いがいたします。

今年の成果報告会ではセンターを代表する成果を選びすぎて、実際に担当している現場の研究者からの生の声をお伝えしたいと考えています。

当センターでは国際水準に照らしてトップレベルの学術的研究成果を得ることは当然のこととして、それを広く普及させるための広報活動、民間企業との共同研究、技術移転、コンサルティング活動にも力を入れ、産学官連携コンソーシアムや、大学を含めた民間企業との共同研究を通じて新しい産業を創出することに貢献していく所存です。また、産業界の基盤となる基準セルの供給、さまざまな中立評価、調査もまた研究成果の普及活動の一環として位置づけています。さらに一般社会への普及啓蒙活動も重視するとともに、将来の太陽光発電の発展を支える人材の育成にも努めています。近年、アジアにおける日本のリーダーシップということが叫ばれるようになってきており、国際交流と国際的な人材育成にも今後、注力したいと考えています。

太陽光発電産業は今急速な伸びを示していますが、エネルギー源として考えるとまだまだ微々たる物であり、更なるコストダウンのための技術開発を継続しなければ、これまでの努力が水泡に帰する危険性もあります。一方、国際的な開発競争はますます激化していくことが予想されますが、日本としては今の技術的優位性をいかに確保するかが国家戦略として重要と考えます。当センターがそのために何ができるかということを常に考えたいと存じます。

最後に、当センターの活動に対し日頃御支援頂いている経済産業省、NEDO および国内外の大学、研究所、民間企業等関係各位に厚く御礼申し上げると共に、一層の御指導、御鞭撻を賜りますよう心からお願い申し上げます。

シリコン系太陽電池

アモルファス/結晶シリコンヘテロ接合太陽電池

シリコン新材料チーム

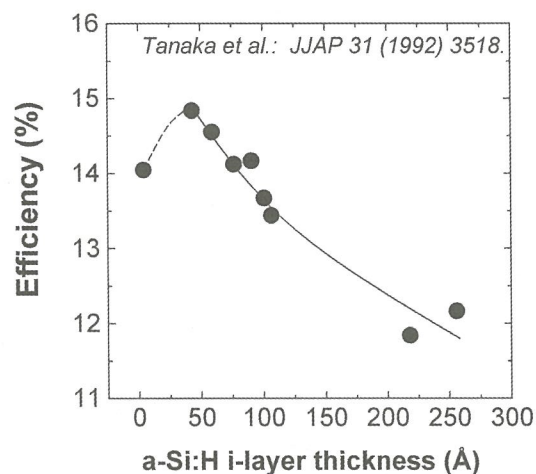
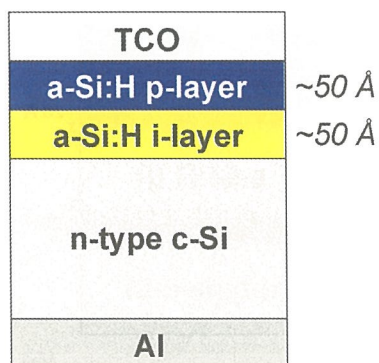
藤原 裕之

概略

- 1) 研究背景
- 2) a-Si:H/c-Si太陽電池の界面構造
- 3) 太陽電池におけるa-Si:H層の膜厚効果
- 4) 太陽電池におけるa-Si:H層の成長温度の効果
- 5) まとめ

研究背景

a-Si:H/c-Si heterojunction solar cell (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer; HIT)



本研究では、a-Si:Hの膜厚制御を分光エリプソメトリーの実時間観測から行い、さらにヘテロ界面構造を全反射赤外分光から評価

実時間観測用プラズマCVD装置

JAP 91 (2002) 4181.

分光エリプソメトリー(SE)

薄膜構造:
表面ラフネス層、バルク層の厚さ

全反射赤外分光(ATR)

膜中の SiH_n 結合濃度

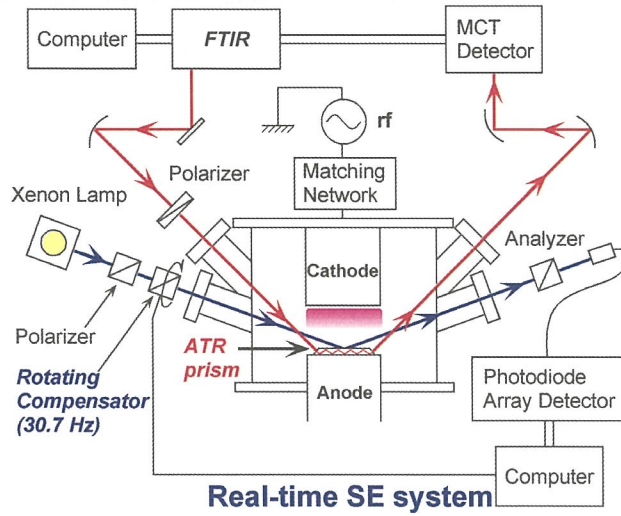
ATR測定

ノドープSi基板

太陽電池

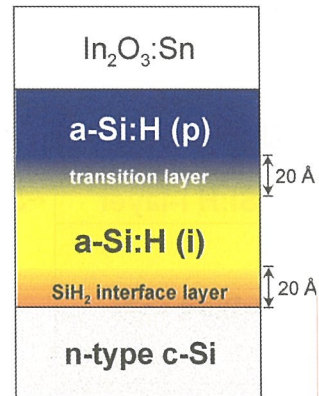
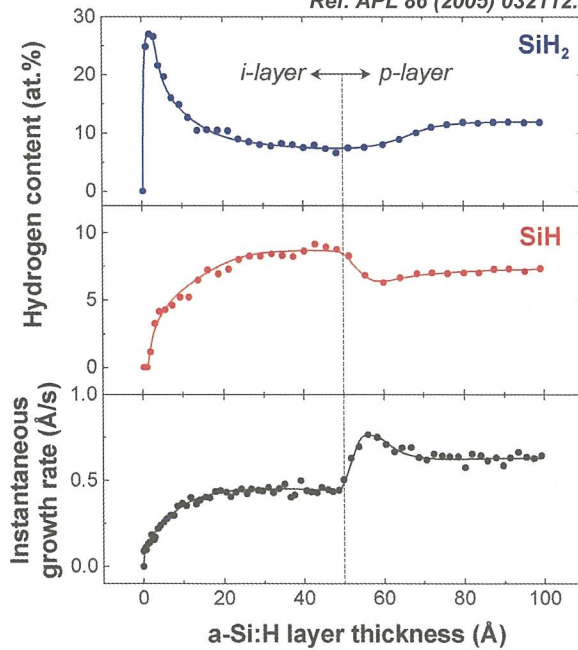
n型Si基板 ($0.5 \Omega \text{ cm}$)

Real-time ATR system



a-Si:H/c-Si太陽電池の界面構造

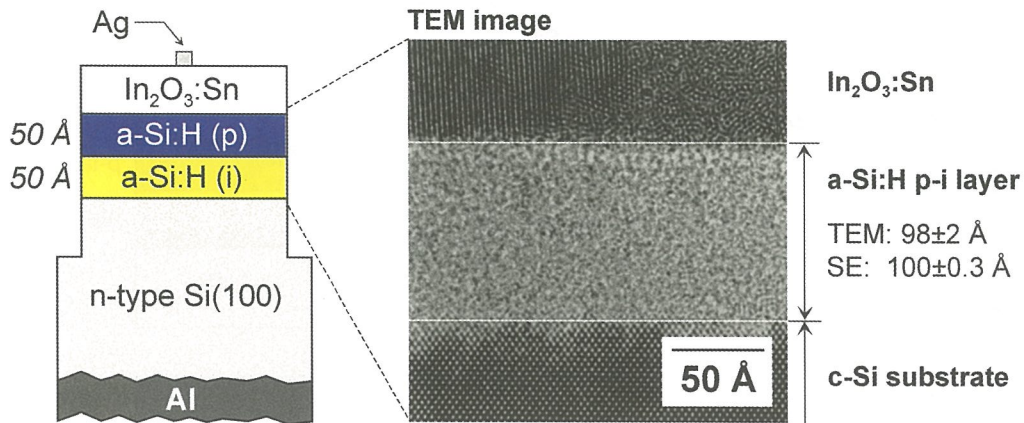
Ref. APL 86 (2005) 032112.



SiH₂界面層および遷移層の影響を明らかにするため p/i層の膜厚を変化

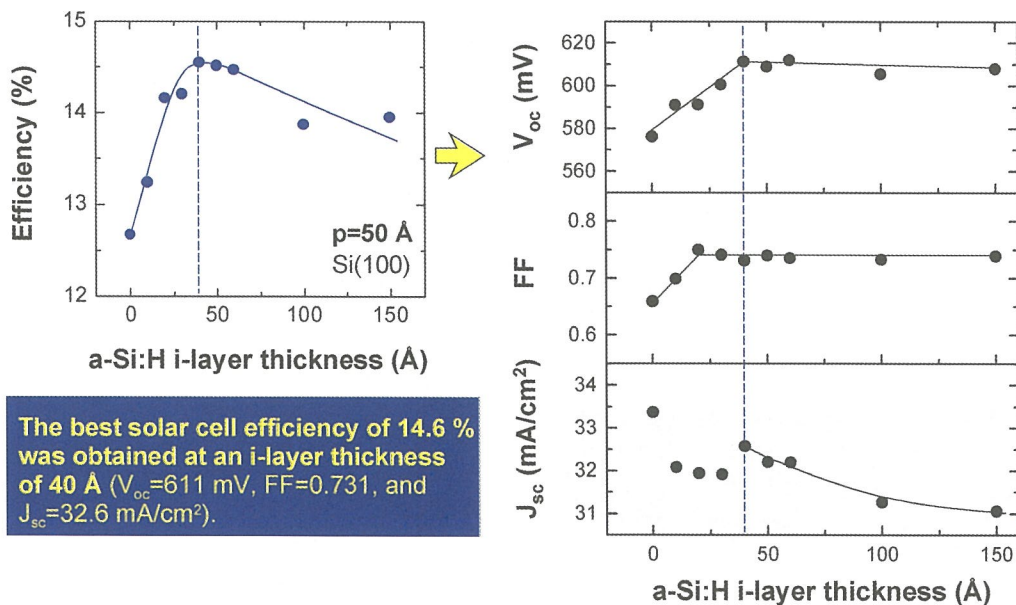
分光エリプソメトリーによる実時間プロセス制御

a-Si:H/c-Si solar cell

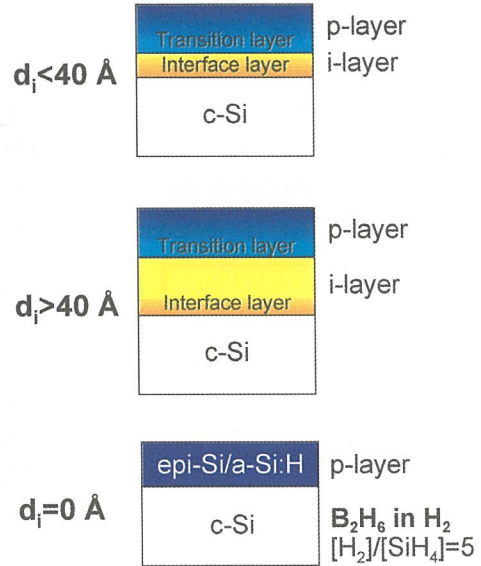
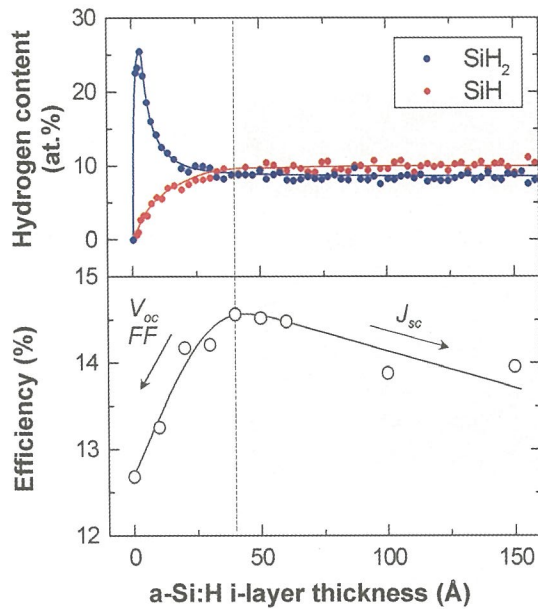


ヘテロ接合型太陽電池の実時間構造制御を分光エリプソメトリーから行い、膜厚制御を非常に高い精度で行えることを実証した。

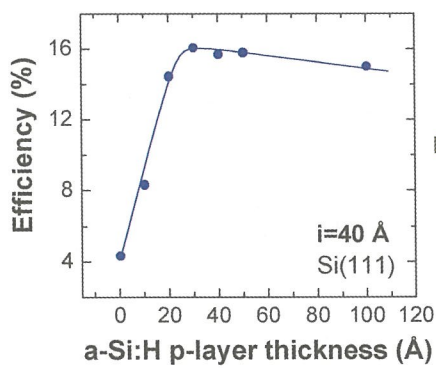
a-Si:H i層の膜厚に対する太陽電池特性の変化



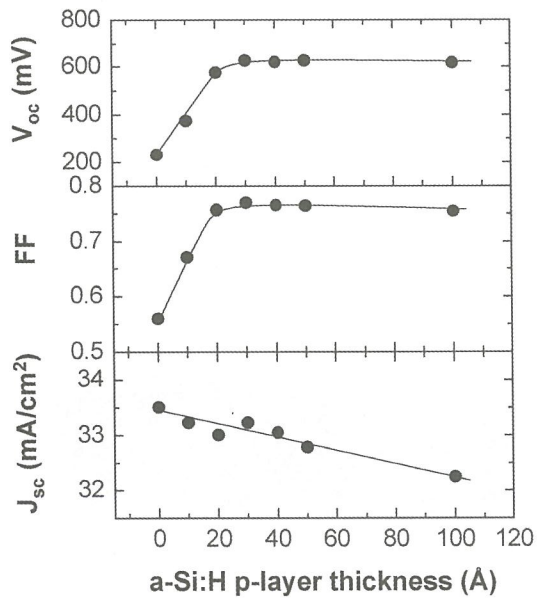
a-Si:H界面構造と太陽電池特性



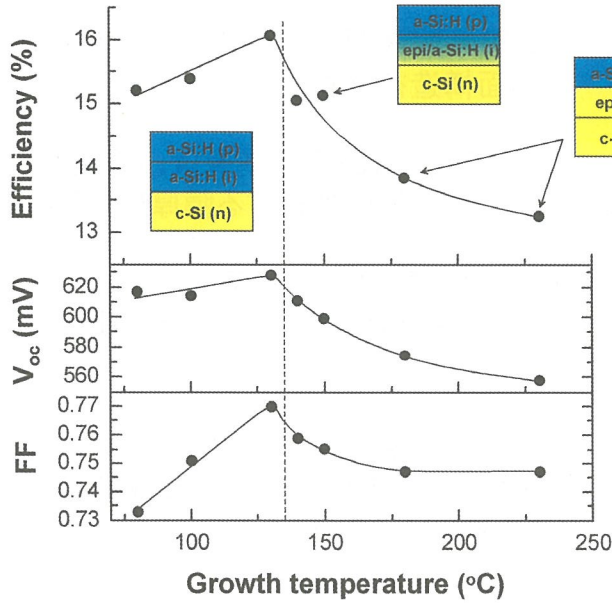
a-Si:H p層の膜厚に対する太陽電池特性の変化



The best solar cell efficiency of 16.1 % was obtained at i/p layer thicknesses of 40/30 Å ($V_{oc}=628 \text{ mV}$, $FF=0.77$, $J_{sc}=33.23 \text{ mA/cm}^2$).



a-Si:H層の成長温度に対する太陽電池特性の変化



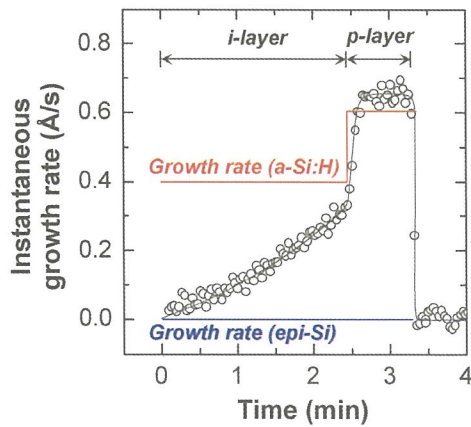
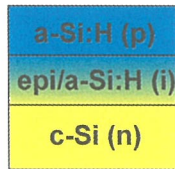
p-i層は同じ温度で成長

基板温度140 °C以上で成長層のエピタキシャル成長が起こり、太陽電池効率は低下

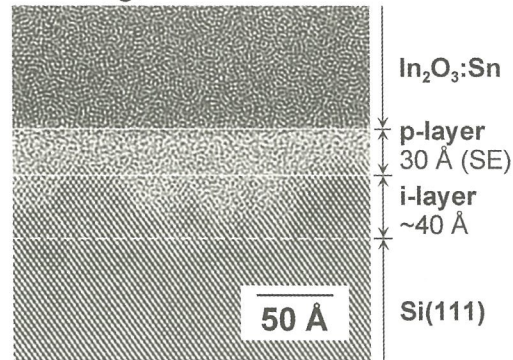
Si層の最適成長温度は、エピタキシャル成長が起こらない最高温度

150°Cで成長した太陽電池の界面構造

エリプソメリー解析から150°Cでi層は部分的にエピタキシャル

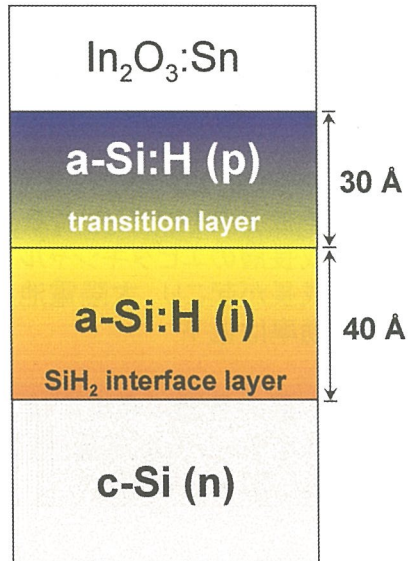


TEM image



断面TEM像は分光エリプソメリーから決定した構造と良い一致を示した。

まとめ



1)実時間観測によりa-Si:H/c-Siの界面構造を評価.

2)a-Si:H i層の最適膜厚は、i層成長が定常状態に到達する膜厚に一致.

3)a-Si:H層の最適成長温度は、アモルファス/エピタキシャル成長の境界に存在.

4)最適膜厚($i/p=40/30 \text{ \AA}$)において、表面テクスチャーおよびBSF構造を用いないで16.1%を達成.

結晶シリコン太陽電池における表面パッシベーション

結晶シリコン基板評価法の確立および、
薄型結晶シリコン太陽電池作成に向けて

結晶シリコンチーム

高遠秀尚

背景と研究内容

表面パッシベーション技術

1. 結晶シリコン太陽電池高効率化のキーテクノロジー
2. 単結晶、多結晶シリコン基板のライフタイム評価に不可欠の技術

研究内容

溶液法(ヨウ素/エタノール法など)によるシリコン基板のパッシベーションは、従来より広く用いられてきたにもかかわらず、なぜ、表面再結合が低減されるのかは十分明らかにされてこなかった。

1. 我々が提案している、キンヒドロン/メタノール溶液による表面パッシベーション方法のメカニズムを明らかにし、基板の評価法として確立する。
2. 高効率セル作製のための表面パッシベーション膜の開発を行う。
(今回は、PECVD法によるSiN膜を形成)

シリコン基板の表面パッシベーション方法

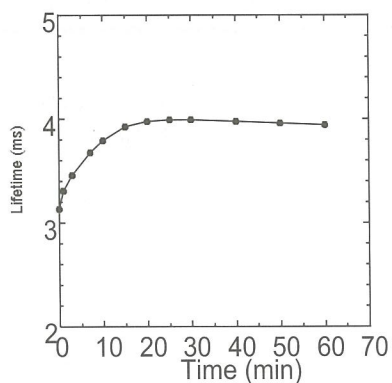
1. 溶液による表面パッシベーション (QMパッシベーション)

QMパッシベーション手順

1. シリコン基板洗浄
2. 5%フッ酸溶液に浸す。
3. 0.01M キンヒドロソル/メタノール (QM) 溶液に浸す。
4. 暗状態で、30分〜1時間程度保管
5. 溶液に基板を浸したままでライフタイム測定

2. SiN膜による表面パッシベーション

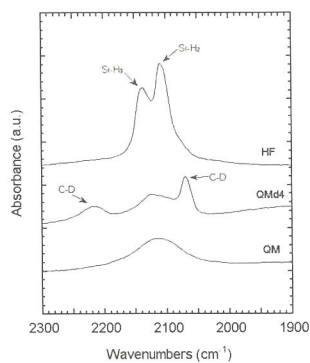
PECVD法により作製。
ライフタイム測定には、基板の両面に堆積した。



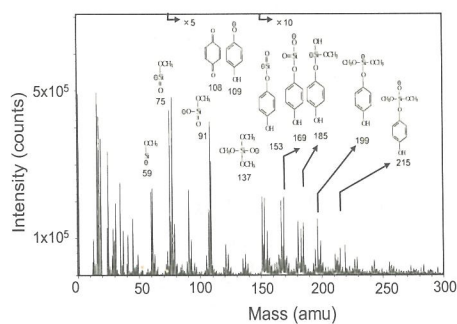
溶液に浸してからの測定ライフタイムの変化

→ 一定時間後には、安定したライフタイム値が得られる。

QMパッシベーションによるシリコン表面構造の検討



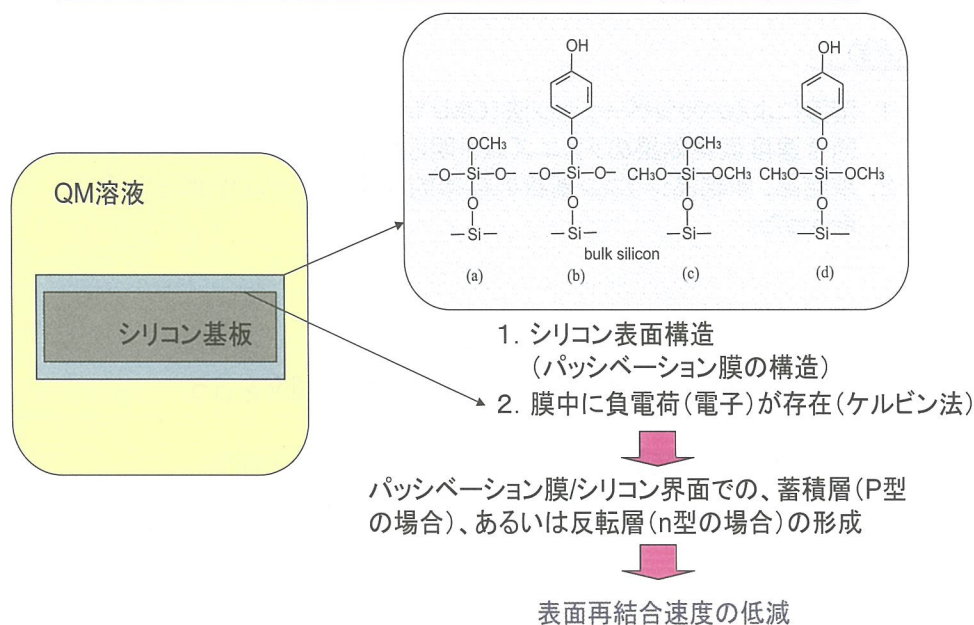
ATR-FTIR測定結果



ToF-SIMS測定結果

→ 水素終端されたSi表面のHが、 $-OCH_3$ 、 $-O-C_6H_4OH$ に置き換わっていく。

QMパッシベーションのメカニズム



SiN膜による表面パッシベーション

QMパッシベーションとSiN膜によるパッシベーションとは相補的な関係

	QMパッシベーション	SiN膜によるパッシベーション
ライフタイム測定結果例 (p型、10 Ω cm 5cm角単結晶)		
膜中電荷	負電荷が存在	正電荷が存在 (上図では、固定電荷密度 $2.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$)
界面(p型基板)	蓄積層を形成	反転層を形成
界面(n型基板)	反転層を形成	蓄積層を形成

まとめと今後の予定

まとめ

1. 溶液によるパッシベーション法(QMパッシベーション法)の表面再結合速度低減効果のメカニズムを明らかにした。
2. 単結晶、多結晶シリコン基板の標準的なライフタイム評価法の確立を行った。

今後の予定

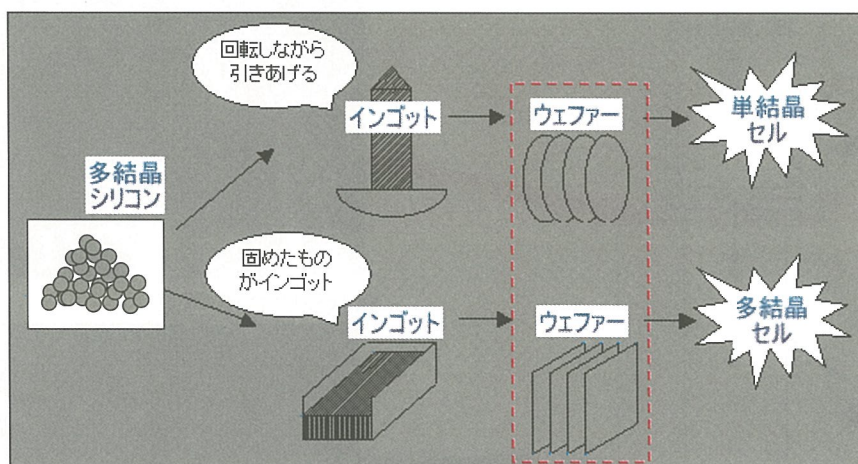
1. 高効率セル作製のためのパッシベーション膜の開発を行う。
2. 薄型基板対応の結晶シリコンセルプロセスの構築を行う。
(⇒ 現在、各要素技術の検討を行っている。)

シーディング法で作製した球状シリコン太陽電池 Spherical silicon solar cell formed by seeding method

産業化戦略チーム

劉 正新

結晶シリコン作製工程及び問題点



問題点:

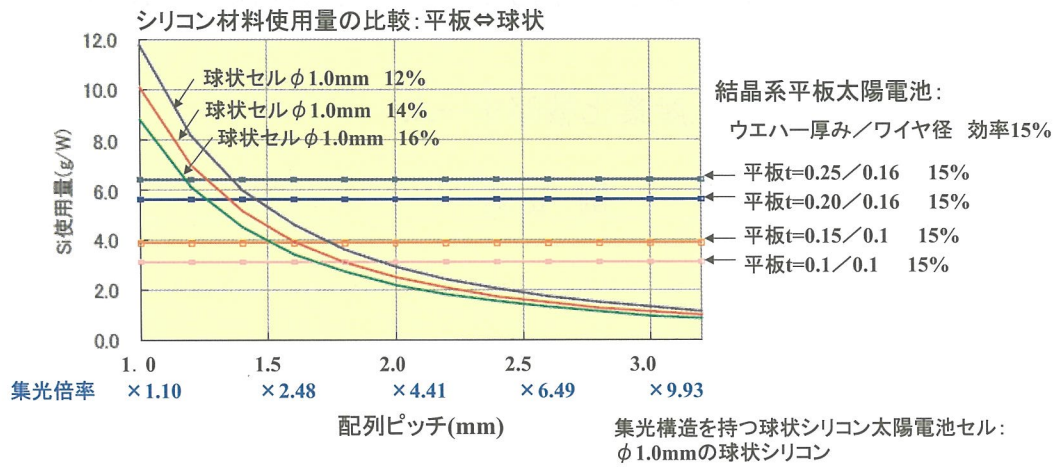
- ・ コストの増大
- ・ シリコン使用量が大きく供給の不足

ウェハー厚み: 0.2mm
切削クズ: 0.2mm

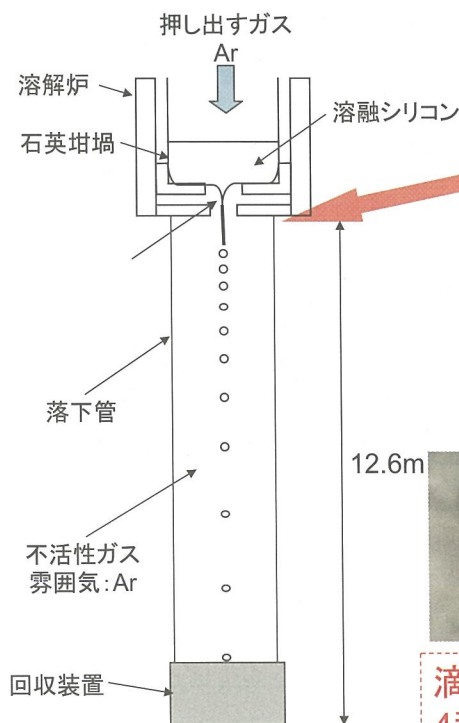
- ・ 新しい技術の開発
- ・ 薄膜太陽電池
- ・ 球状シリコン太陽電池

球状シリコンの特徴

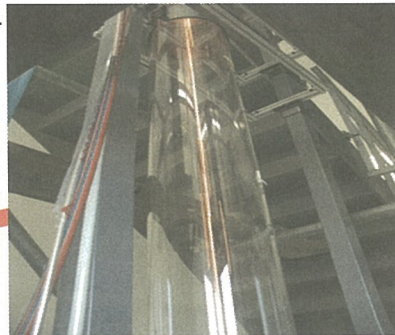
1. **材料使用量の低減**: ワットあたりのシリコン使用量が少ない。
2. **材料の節約**: 融液から吐出によって直接作製されるため、切削クズが発生しない。
3. **製造工程の簡便化、コストの削減**: 切削、研磨工程が不要になる。
4. **集光モジュール**: 球状であるため、集光構造を実現できる。
5. **高い発電効率**: 球面であるため、受光に対する指向性が低くなる。



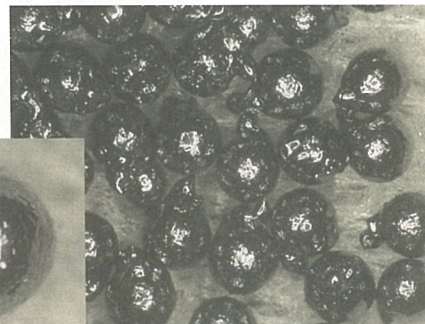
実験装置



落下の様子



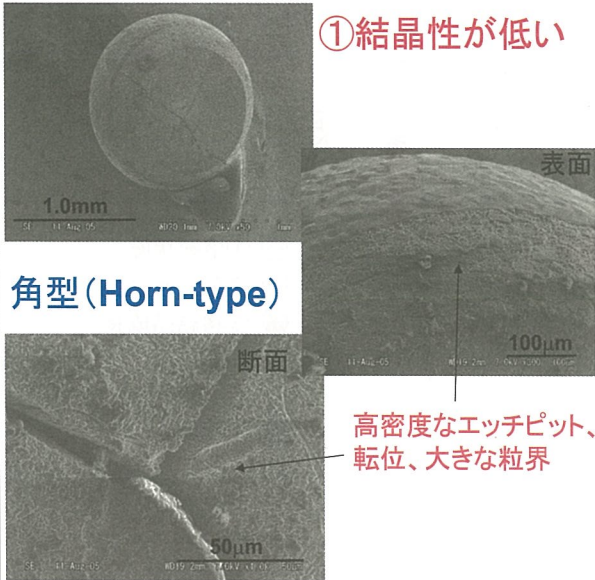
球状シリコンの写真



滴下速度: 500球/秒
4秒間: 2000球 → 1W

高生産性

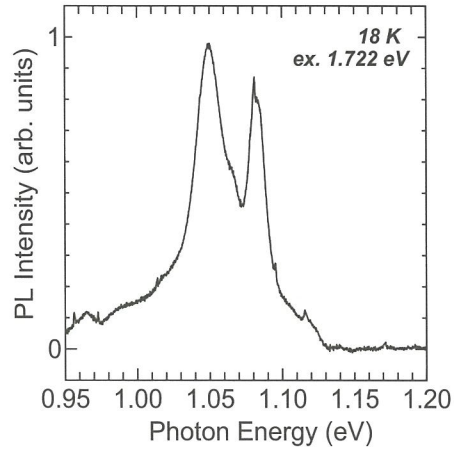
作製した球状シリコンの問題点



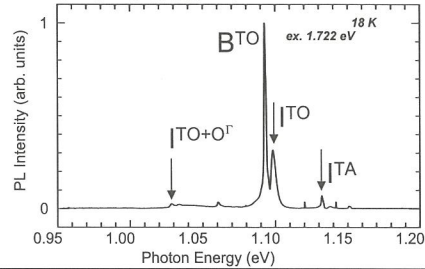
角型 (Horn-type)

②平均キャリアライフタイムが
0.1µs以下と非常に低い

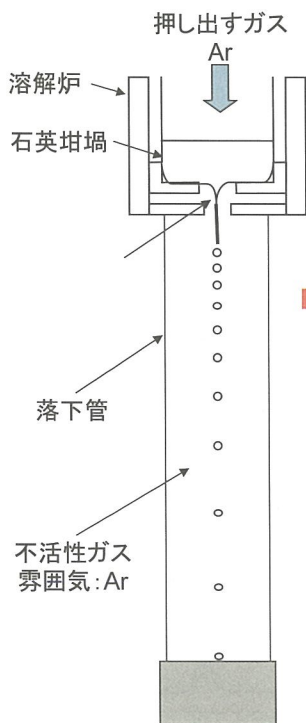
フォトルミネセンス測定結果



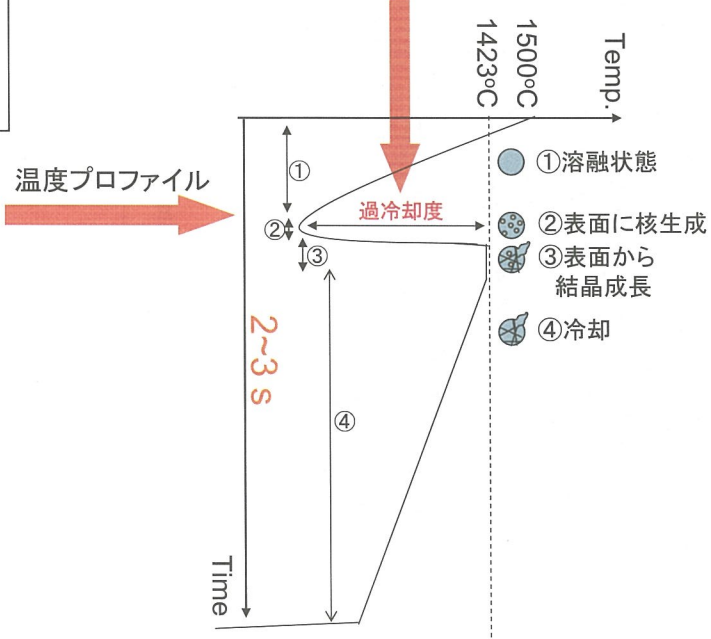
参考: 単結晶シリコン



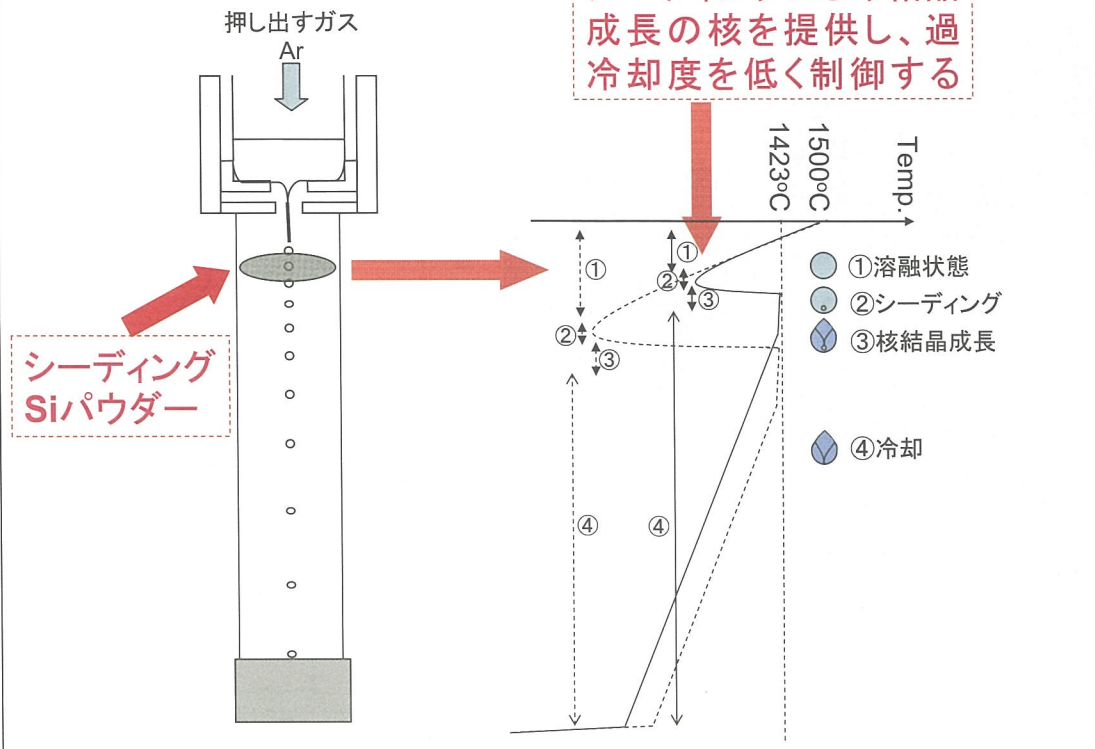
考察



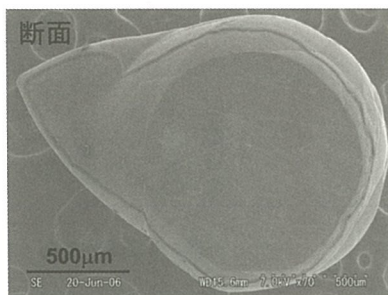
結晶核がないため、過冷却度が大きくなってしまふ



本研究のアプローチ



結晶性評価

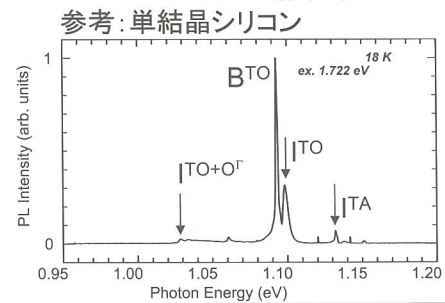
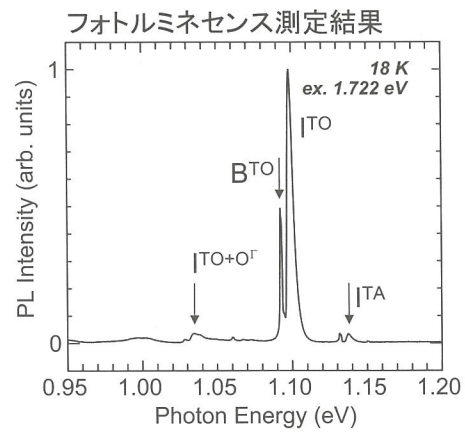


涙型 (Tear-type)



② 平均キャリアライフタイムは
1.0μs以上で大きくなった

① 結晶性が高い



過冷却度によるキャリアライフタイムへの影響

ライフタイム測定結果

球状シリコン サイズ (mm)	過冷却度	キャリアライフタイム (μs)
$\phi 1.0-1.2$	大	0.28 ± 0.09
	小	0.51 ± 0.12



過冷却度が大きくなるにつれて、
キャリアライフタイムが低くなる。

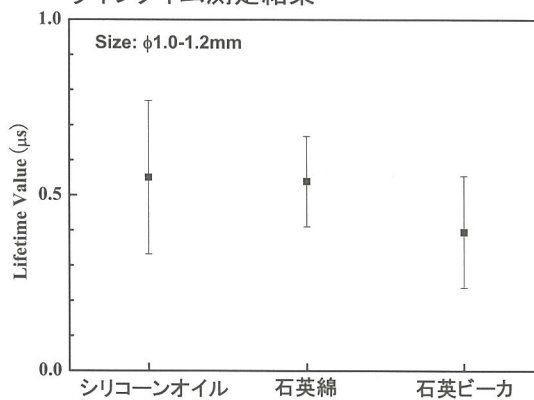
回収用材料の検討

同一の落下実験でシリコンオイル、
石英綿、石英ビーカを使用して、回
収した試料の平均ライフタイム及び
SEMで観察した結晶構造を比較した。

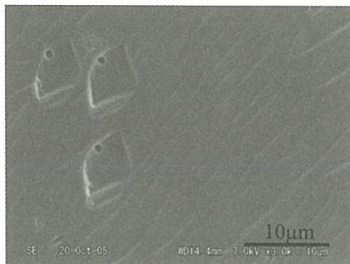


シリコンオイル、石英綿は着地
時の衝撃を吸収し、回収用材料
に適する。

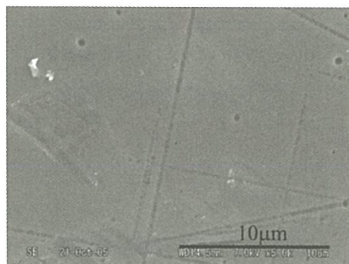
ライフタイム測定結果



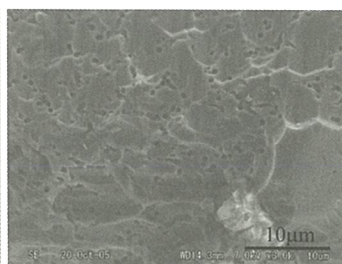
断面SEM写真



シリコンオイル



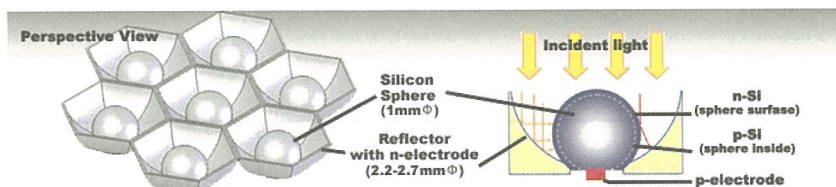
石英綿



石英ビーカ

モジュール化の検討

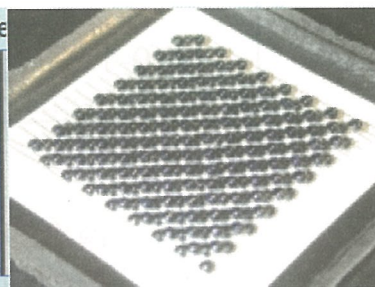
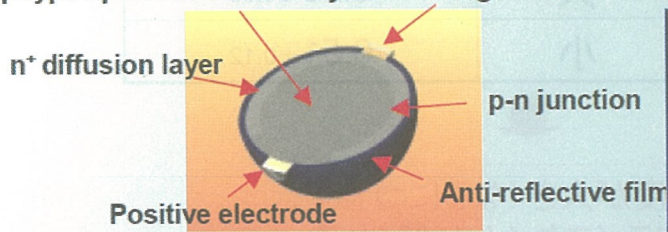
反射、集光式 (横)クリーンベンチャー二十一)



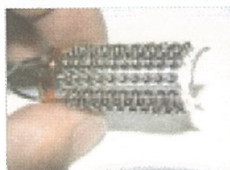
球状シリコンを真球に研磨して、反射鏡に入れる。

スフェラー(Sphelar)^(京セミ株)

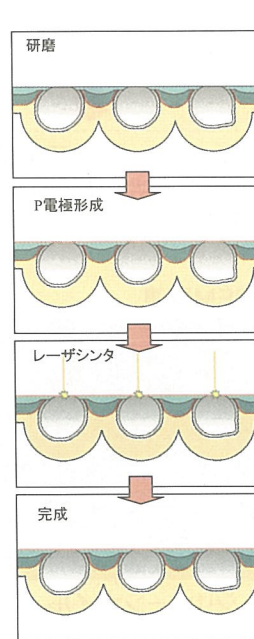
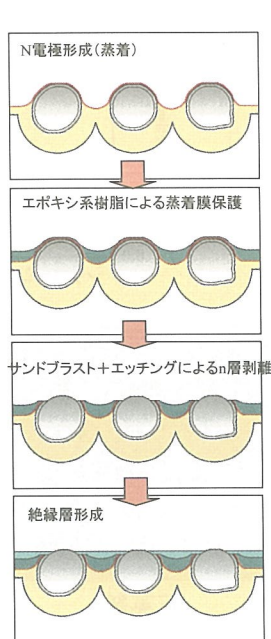
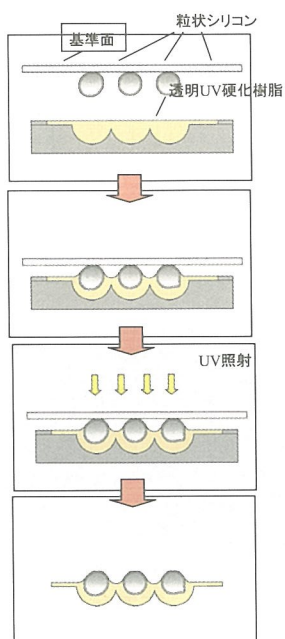
p type spherical silicon crystal Negative electrode



- ・球状シリコンを真球に研磨する
- ・集光構造なし
- ・立体型で高採光性

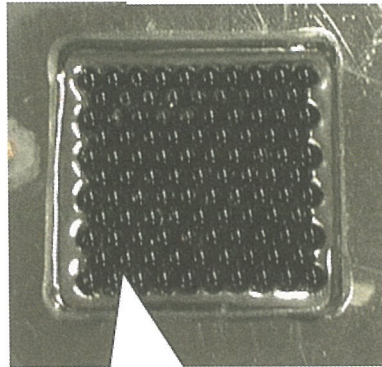
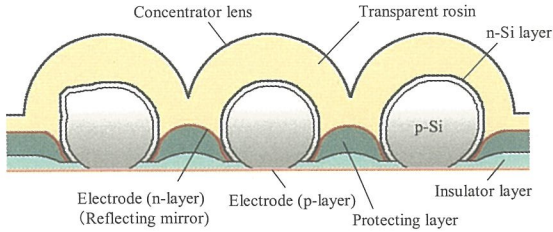


モジュールプロセスの概略

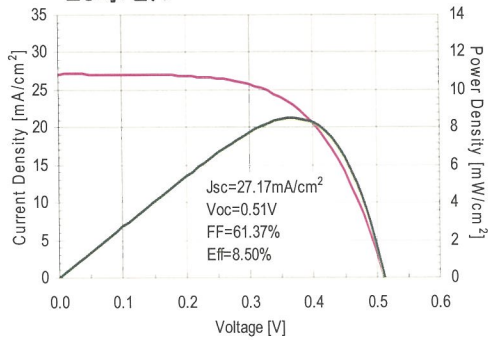


太陽電池特性

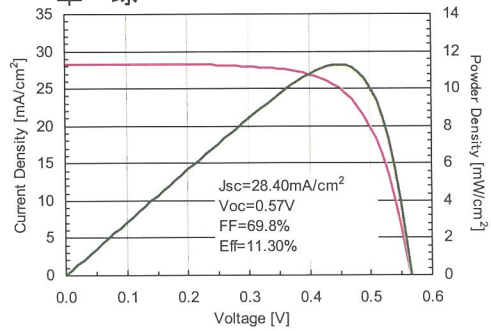
完成したモジュール



23球セル



単一球



まとめ

シーディング法が結晶性の高い球状シリコンの作製に有効であることが分かった。

今後の計画

1. シーディングの最適化により、結晶性の高い球状シリコン収率を向上させる。
2. モジュール工程の改善により、高効率化を図る。

薄膜シリコン多接合太陽電池

— 高赤外感度微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ボトムセルの開発 —

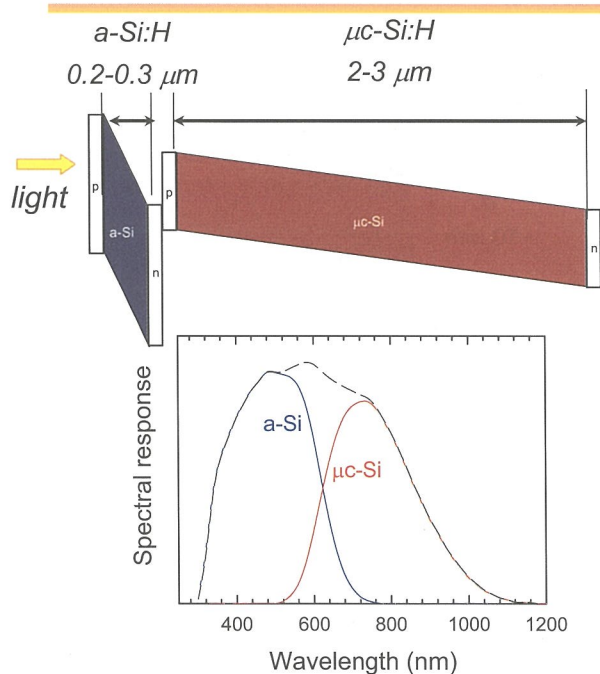
シリコン新材料チーム

松井 卓矢

— outline —

- I. 2接合から3接合へ
- II. 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ の製膜と膜特性
- III. 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 太陽電池の特性
- IV. まとめ

I-1. 2接合から3接合へ —これまでの2接合セル要素技術開発—



シングル $\eta=9\text{-}10\%$ → タンデム $\eta=12\text{-}13\%$

$a\text{-Si:H}$ トップセル要素技術

厚さ $0.3\ \mu\text{m}$ の $a\text{-Si}$ 太陽電池では光照射により特性が15-20%劣化する

↓
トライオードプラズマCVD法を提案し
高安定高効率化を実現

劣化率: 15-20% → 5-10%

安定化変換効率: 9.3%

$\mu\text{c-Si:H}$ ボトムセル要素技術

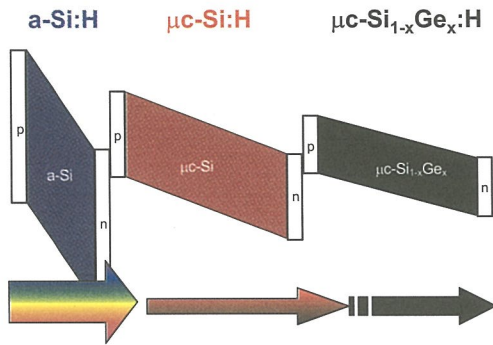
光電流の整合を得るためには $a\text{-Si}$ に比べて10倍以上の膜厚が必要

↓
高圧枯渇プラズマCVD法を提案し
発電特性を低下することなく約一桁
製膜速度を向上

製膜速度: $0.2\text{-}0.3\ \text{nm/s}$ → $2\text{-}3\ \text{nm/s}$

変換効率: 9.1% (2.3nm/s)

I-2. 2接合から3接合へ —微結晶Si_{1-x}Ge_xボトムセルの開発—



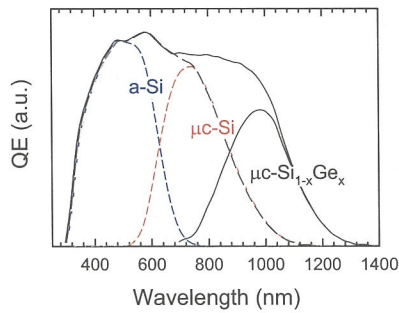
アモルファスSi、微結晶Si

赤外域の光吸収が小さく赤外光の透過損失が大きい



微結晶Si_{1-x}Ge_x

組成によりバンドギャップ制御が可能でより高い赤外感度を得ることを目指す。



タンデム $\eta=12-13\% \rightarrow$ トリプル $\eta=15-16\%$

微結晶Si_{1-x}Ge_xシングルセル

$J_{sc} \sim 36 \text{ mA/cm}^2$

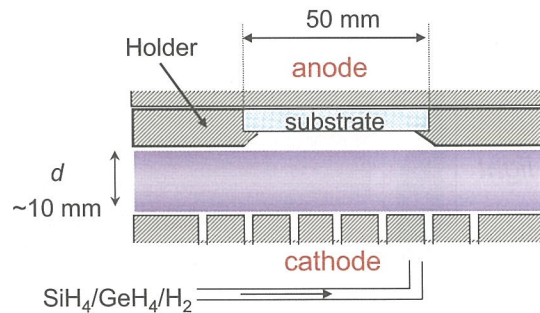
→最適組成・膜厚

→赤外感度の改善

II-1. 微結晶Si_{1-x}Ge_xの製膜と膜特性 —製膜条件—

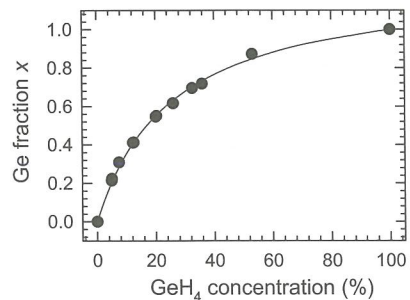
製膜条件

製膜装置	CCP UHV-PECVD
励起周波数	100 MHz
基板温度	200° C
SiH ₄ 流量	0 - 5.4 sccm
GeH ₄ 流量	0.28 sccm
H ₂ 流量	480 sccm
製膜圧力	1.5 Torr
放電電力	30 W

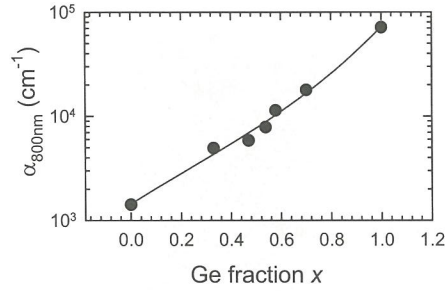
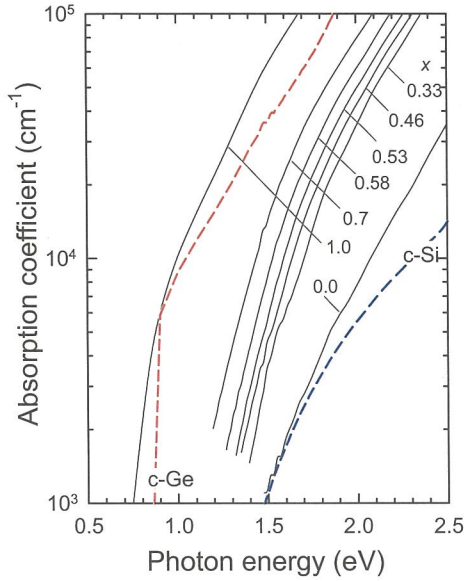


評価法

組成	EDX、SIMS
結晶性	Raman、XRD
光学特性	透過反射スペクトル
電気特性	伝導度測定、Hall測定

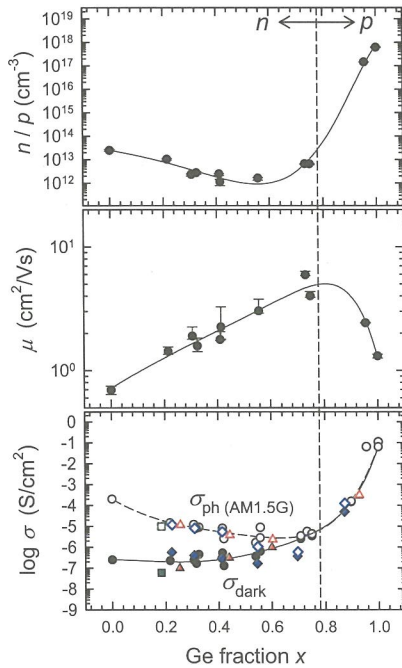


II-2. 微結晶Si_{1-x}Ge_xの製膜と膜特性 - 光学特性 -



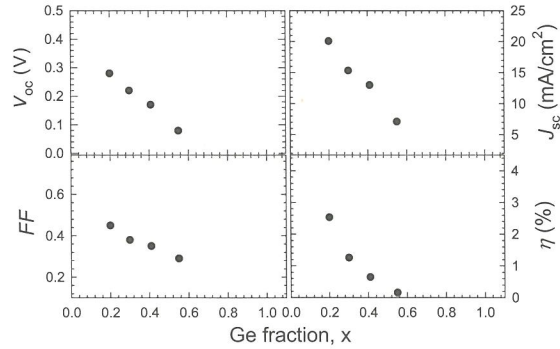
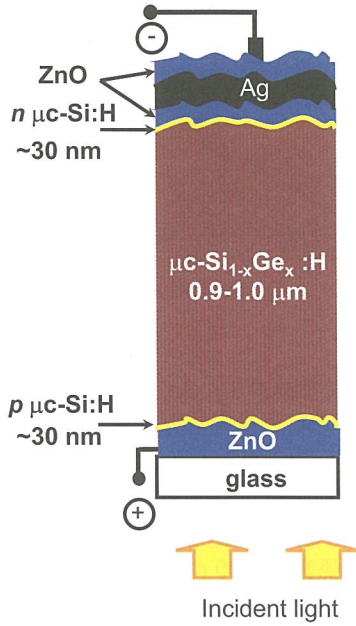
1. 全組成領域で微結晶Si_{1-x}Ge_xが得られ、Ge組成の増加とともに光吸収係数スペクトルは単調に低エネルギーシフトする。
2. 組成比により赤外の光吸収係数を自由に制御でき、約50%の組成比で微結晶Siより一桁高い光吸収係数(@800 nm)が得られる。

II-3. 微結晶Si_{1-x}Ge_xの製膜と膜特性 - 電気特性 -



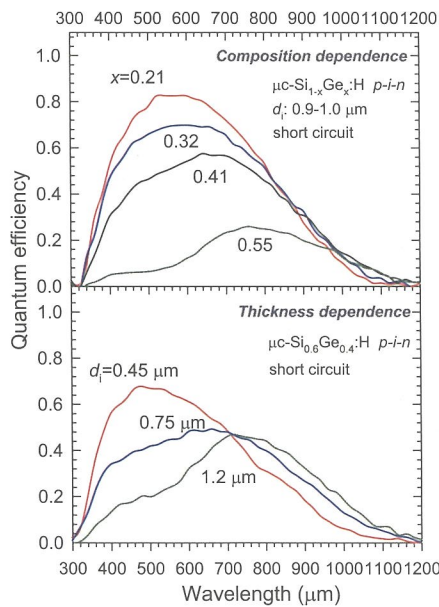
1. 高Ge組成領域では強いp型伝導を示し、 $x > 0.75$ で正孔濃度は5桁以上の増加を示す。
2. n型伝導領域で移動度はGe組成とともに増加し、 $n \rightarrow p$ 遷移で減少に転ずる。
3. Ge添加より光吸収が増加するのに対し、光伝導度はGe組成とともに減少することから、Ge添加によるキャリアライフタイムの低下が示唆された。

III-1. 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 太陽電池の特性 —電流電圧特性—

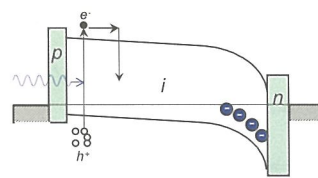


1. Ge組成増加により、 J - V 特性における光電流の電圧 (i 層電界) 依存性が顕著になる。
→ J_{sc} 、 FF の低下
2. バンドギャップの縮小効果では説明できない V_{oc} の強いGe組成依存性が認められた。

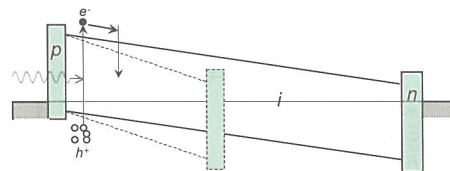
III-2. 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 太陽電池の特性 —分光感度特性(短絡状態)—



分光感度スペクトルから推定されるバンドダイアグラム



イオン化したアクセプタ準位により p/i 界面の電界が減少し短波長感度が低下する。

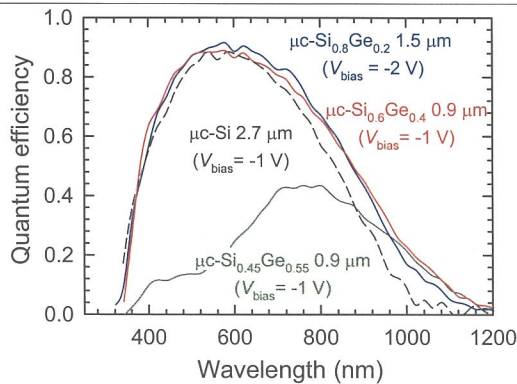


i 層の厚膜化により、 p/i 界面で生成した電子が対向電極まで輸送されなくなる。

i 層のGe組成および膜厚の増加にしたがって、短波長感度が著しく低下する。

III-3. 微結晶Si_{1-x}Ge_x太陽電池の特性 —分光感度特性(逆バイアス印加)—

Ge content	$J_{ph}(V_{bias})$ (mA/cm ²)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
55% (0.9 μ m)	11.6	8.0	111	0.35	0.3
40% (0.9 μ m)	27.4	18.8	195	0.37	1.3
20% (1.5 μ m)	27.3	22.2	345	0.45	3.4



■ 高Ge組成(55%)光吸収層を用いた太陽電池では逆バイアス電圧による分光感度の改善は殆ど認められない。

■ Ge組成比40%、0.9 μ m厚の太陽電池において、膜厚3倍の微結晶Si太陽電池を上回る赤外感度を得た。

■ 低Ge組成(20%)光吸収層を用いた太陽電池でも、 i 層厚膜化(1.5 μ m)により高い赤外感度が得られ、高Ge組成材料に比べて高い V_{oc} 、 FF が得られた。

III-4. 微結晶Si_{1-x}Ge_x太陽電池の特性 —特性改善への課題—

1. 最適製膜条件の探索

キャリア輸送特性(光伝導度)の改善

2. i 層電界分布の均一化

p型準位の不活性化(水素化強化)

構造緻密化による粒界の酸化防止

3. デバイス構造の最適化

界面の組成傾斜による電界強化・界面再結合の抑制

4. 赤外光閉じ込め強化

赤外高透過性TCOの開発

IV. まとめ

- ・ プラズマCVDにより広い組成範囲で微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を作製し、キャリア輸送特性および太陽電池特性の組成比依存性について調査した。
- ・ Ge添加による赤外吸収の増加が得られたが、高Ge組成領域におけるp型準位の発生とキャリア寿命の著しい低下が認められた。
- ・ p-i-nセルにおいて、i層のGe添加による電界分布の不均一化およびキャリア再結合の増大が示唆された。
- ・ 微結晶 $\text{Si}_{0.6}\text{Ge}_{0.4}$ 太陽電池において、膜厚3倍の微結晶Si太陽電池を上回る赤外感度を実証した。低Ge組成(20%)吸収層を用いた太陽電池でも、厚膜化(1.5 μm)により高い赤外感度が得られるとともに、高Ge組成材料に比べて高い V_{oc} 、 FF が得られた。
- ・ 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ は高い赤外感度を実現するポテンシャルを示し、3接合太陽電池のボトムセル材料への適用が期待できる。

謝辞

本研究はNEDOの委託により行われた。関係各位に感謝致します。

酸化物、化合物半導体太陽電池

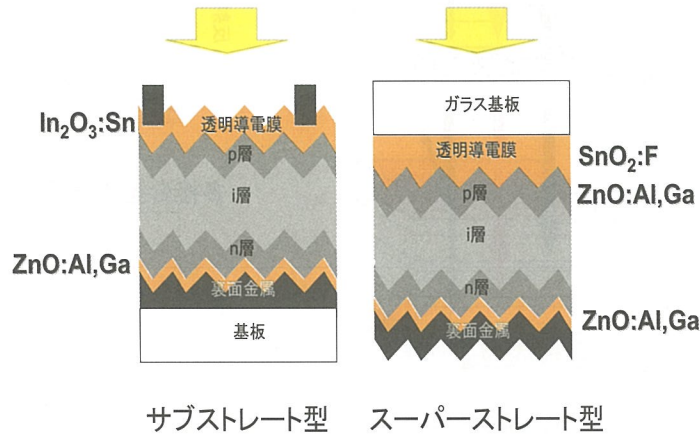
高透過高移動度導電性酸化物の探索

シリコン新材料チーム 鯉田崇

発表内容

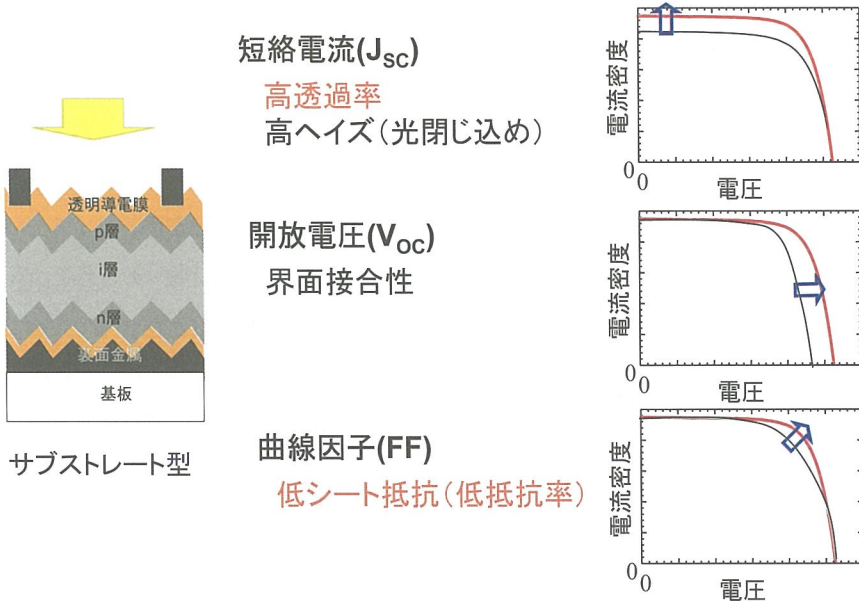
- ・はじめに
- ・なぜTCO探索？
- ・近年の高移動度TCO研究
- ・本研究の狙い
- ・高移動度TCO開発
Ti,Zrドープ
酸化インジウム
- ・まとめ

Si系薄膜太陽電池の構造

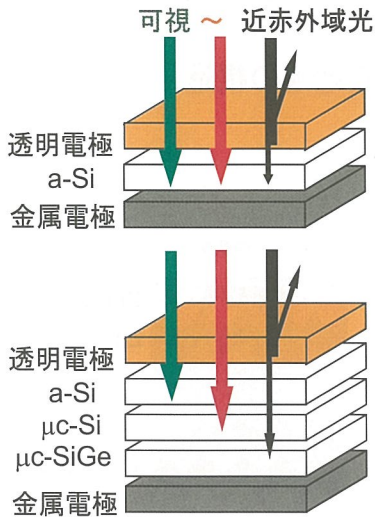


透明電極が薄膜太陽電池へ与える影響

$$\text{変換効率}(\eta) = \text{短絡電流}(J_{\text{sc}}) \times \text{開放電圧}(V_{\text{oc}}) \times \text{曲線因子}(FF)$$

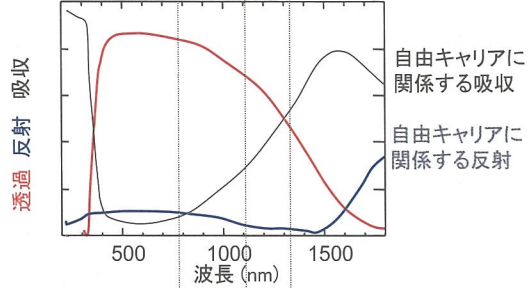


なぜ今高透過高移動度透明導電膜の開発？

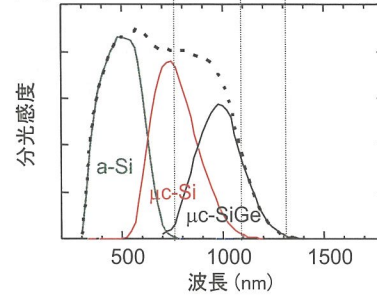


多接合型 \rightarrow TCOの自由キャリア吸収による光学的損失

ガラス基板上TCOの光学特性



多接合型太陽電池の分光感度特性



透明導電膜の電気・光学特性の関係

電気特性

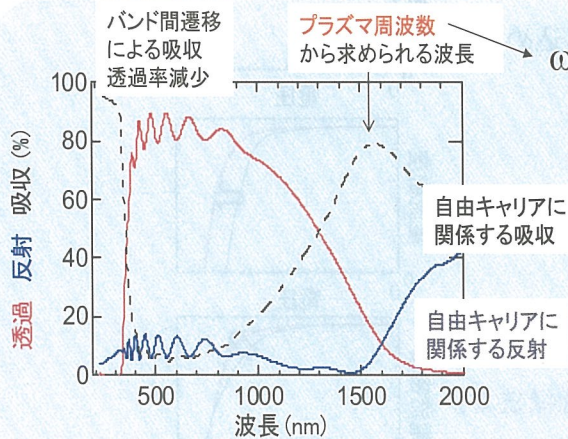
$$\sigma = 1/\rho = Ne\mu$$

σ : 電気伝導率、 ρ : 抵抗率

N : キャリア濃度、 e : 電子の電荷量、 μ : 移動度

金属	$N > 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
TCO	$N \sim 10^{20} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$

光学特性



$$\omega_p = \text{sqrt}(Ne^2/m^*\epsilon)$$

$N = 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のとき、

$$\omega_p = 5.18 \times 10^{14} \text{ Hz} \rightarrow 3.64 \mu\text{m}$$

$N = 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のとき、

$$\omega_p = 8.97 \times 10^{14} \text{ Hz} \rightarrow 2.10 \mu\text{m}$$

$N = 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ のとき、

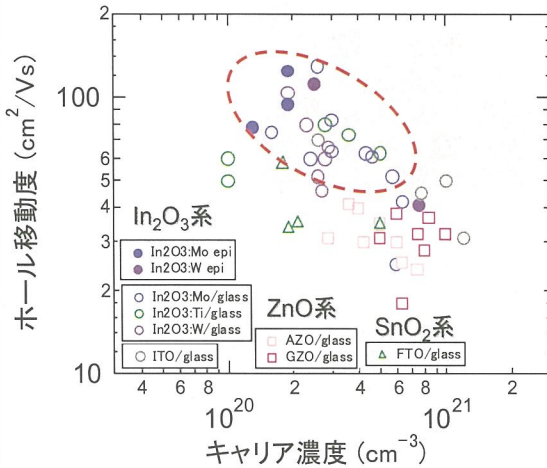
$$\omega_p = 1.16 \times 10^{15} \text{ Hz} \rightarrow 1.63 \mu\text{m}$$

(ここで $m^* = 0.3m_0$, $\epsilon = 4\epsilon_0$ を用いた)

ZnO:Al(75nm)/ガラス

$\rho = 3.9 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$, $N = 6.3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $\mu = 25 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

近年の高移動度TCO研究



In₂O₃:Mo/glass
Meng, TSF 394, 219 (2001). evaporation
Yoshida, APL 84, 2097 (2004). sputtering
Perkins, Proc.19th E-PVSEC, sputtering

In₂O₃:Ti/glass
Perkins, Proc.19th E-PVSEC, sputtering

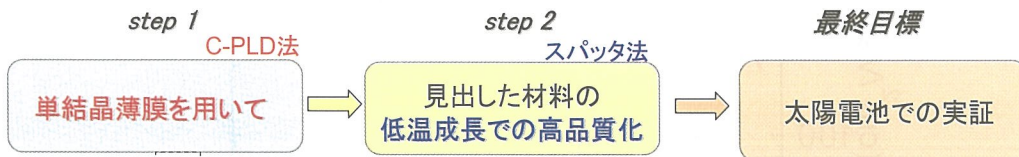
In₂O₃:W/glass
Newhouse, APL 87, 112108 (2005). PLD

In₂O₃:Mo epilayer
Warm Singh, JAP 95, 3831 (2004). PLD

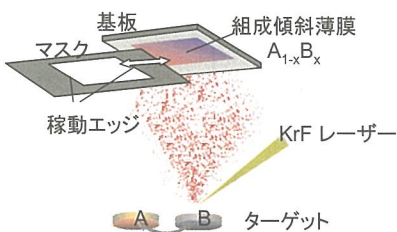
In₂O₃:W epilayer
Newhouse, APL 87, 112108 (2005). PLD

Mo, Ti, Wドーピング酸化インジウム:高い移動度
キャリア濃度:2~3 x 10²⁰ cm⁻³、ホール移動度:80~130 cm²/Vs

高移動度TCO材料探索方法



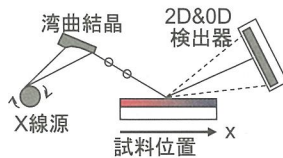
コンビナトリアルパルスレーザー堆積法



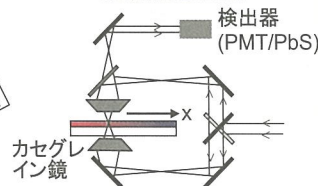
単結晶薄膜で評価するメリット

材料スクリーニング・比較が可能
(成長条件に余り依存しない)
高移動度メカニズムの考察
→技術指針の明確化

構造評価



光学特性評価

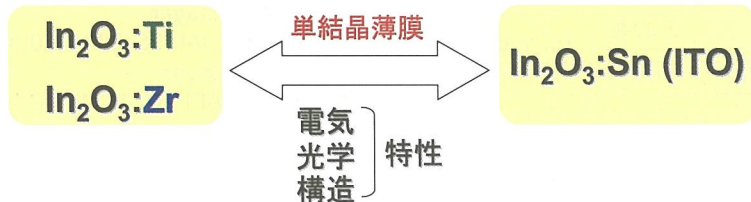


電気特性評価

ホール測定

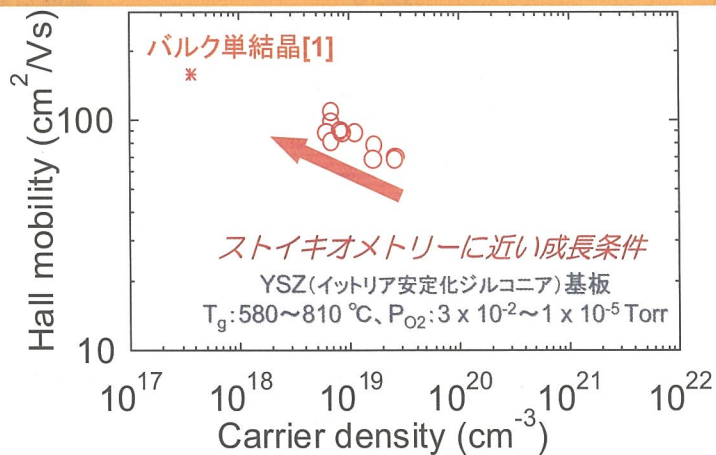
In₂O₃系高透過高移動度TCOの検討

In³⁺(80.0pm)>Zr⁴⁺(72.0pm)>Sn⁴⁺(69.0pm)>Ti⁴⁺(60.5pm)



Ti、Zrドーピングが電気・光学・構造特性に与える効果
ITOとの比較

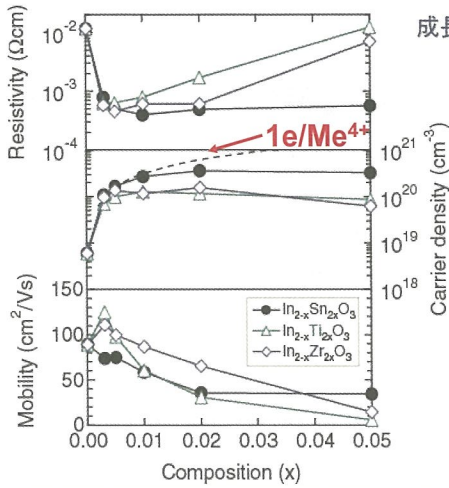
ノドープIn₂O₃薄膜の高品質化



残留キャリア濃度を比較的抑えた
高品質酸化インジウムエピタキシャル薄膜の作製

[1] Weiher, JAP 33, 2834 (1962).

In₂O₃:Ti, Zr 薄膜の電気特性



成長条件: $T_g=650\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $P_{O_2}=3 \times 10^{-2}\text{ Torr}$ 、膜厚: 約250 nm

$x \leq 0.005$

Zr, Ti: 良いドナーとして機能

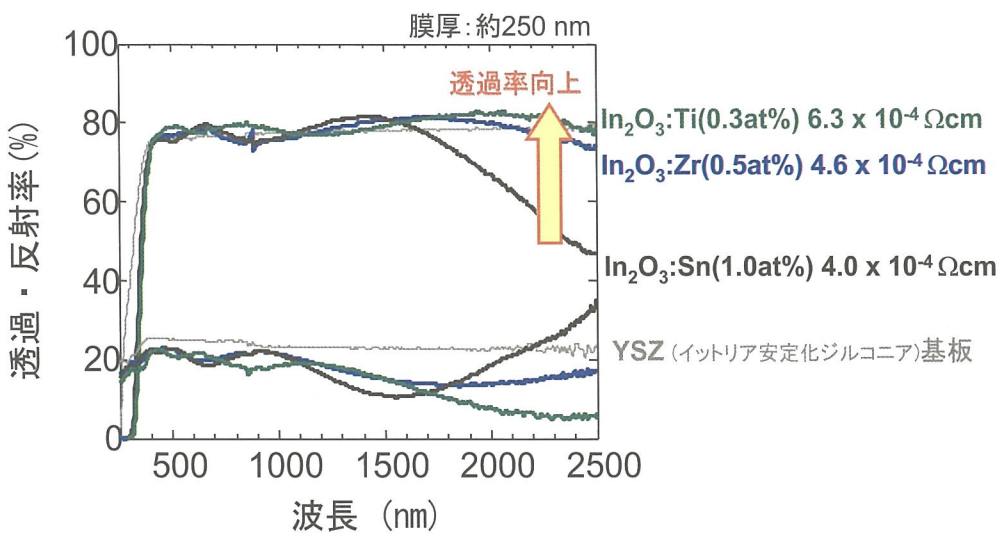
Me⁴⁺ がIn³⁺サイトに置換

ITOより高移動度($\geq 100\text{ cm}^2/\text{Vs}$)

ITOより低キャリア濃度で
同等の抵抗率

	In _{2-2x} Sn _{2x} O ₃ (x=0.01)	In _{2-2x} Ti _{2x} O ₃ (x=0.003)	In _{2-2x} Zr _{2x} O ₃ (x=0.005)
ρ (Ωcm)	3.96×10^{-4}	6.33×10^{-4}	4.56×10^{-4}
N (cm^{-3})	2.70×10^{20}	7.01×10^{19}	1.37×10^{20}
μ (cm^2/Vs)	58.4	124	99.7

In₂O₃:Ti, Zr 薄膜の光学特性



ITOより近赤外域の吸収減少

まとめ

Ti, Zr ドープ In_2O_3 は、キャリア濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 付近において ITO より近赤外域の透明性および移動度の点で優れている。
 $\geq 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Ti, Zr ドープにより、酸素空孔によるイオン化不純物散乱あるいは中性不純物散乱が抑制され、高移動度化していると思われる。

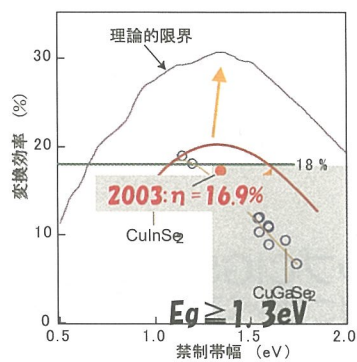
ZnMgO新型バッファ層を用いた CIGS太陽電池

化合物薄膜チーム
松原浩司

CIS系太陽電池の高効率化技術開発の重要性

2030年に向けたロードマップ(目標効率)

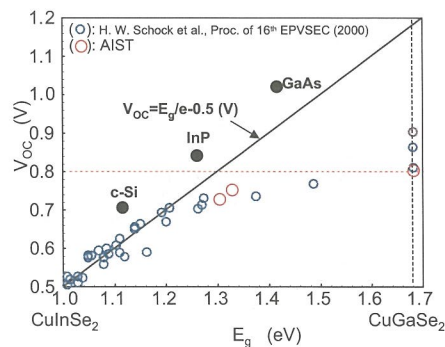
2020 セル: 25%、モジュール: 18% 2030 セル: 25%、モジュール: 22%



ワイドギャップ太陽電池の
高効率化が不可欠

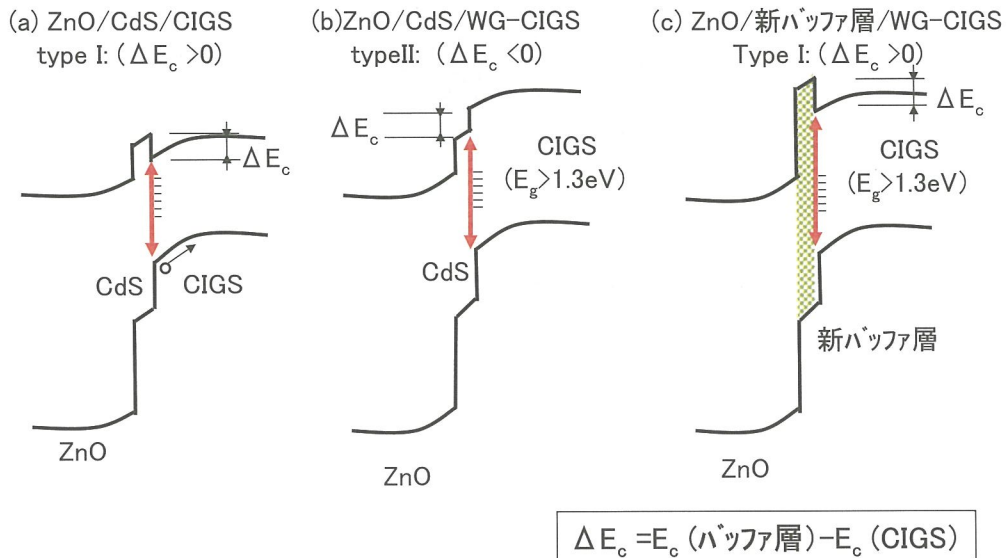
単接合・タンデム型セルに
共通する技術

開放電圧と禁制帯幅



CIGS系太陽電池の高効率化には
開放電圧の向上が不可欠

CIGS太陽電池バンドダイヤグラム



経緯

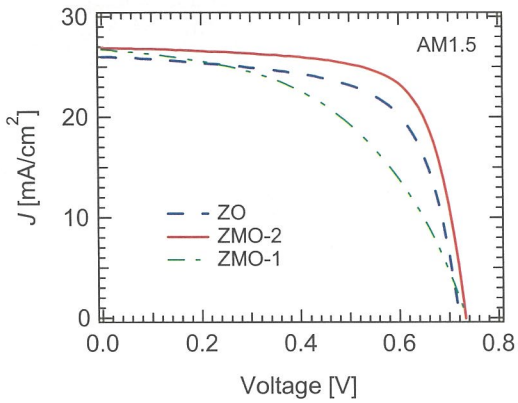
- バンドギャップ制御可能な透明導電膜としてAZMOをPLDで作製。(2003-2004)

- 抵抗率 $10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 以下でバンドギャップ 3.94 eV を実現

- ZMO/AZMOを用いたワイドギャップCIGS太陽電池(CdSバッファ使用)で、ZnO/AZOに比べ高い変換効率を実現。(2004-2005)

(H16成果)

J-V 特性 (EQ0063: $E_g \sim 1.38\text{eV}$)



ZO

$\eta = 12.30 \%$, $J_{sc} = 26.0 \text{ mA/cm}^2$

$V_{oc} = 0.720 \text{ V}$, $FF = 0.72$

ZMO-2 ($\gamma = 0.04$)

$\eta = 14.05 \%$, $J_{sc} = 26.9 \text{ mA/cm}^2$

$V_{oc} = 0.734 \text{ V}$, $FF = 0.71$

ZMO-1 ($\gamma = 0.10$)

$\eta = 9.68 \%$, $J_{sc} = 26.8 \text{ mA/cm}^2$

$V_{oc} = 0.734 \text{ V}$, $FF = 0.49$

H17年度

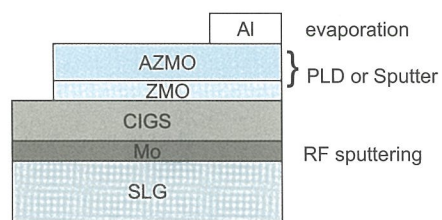
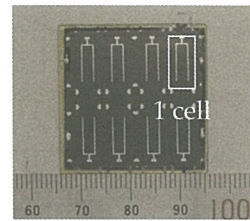
•CdSバッファ層などのCd処理を用いないCdフリーワイドギャップCIGS太陽電池を作製し、高いVocを目指した。

Cell preparation

1. Mo成膜 (RFスパッタリング)
2. CIGS成膜 (3段階法; MBE)
- ~~3. CdS成膜 (CBD)~~
4. ZMO, AZMO成膜 (PLD or RFスパッタ)
5. Alグリッド (抵抗加熱蒸着)
6. ARコート無し
7. セル切り分け

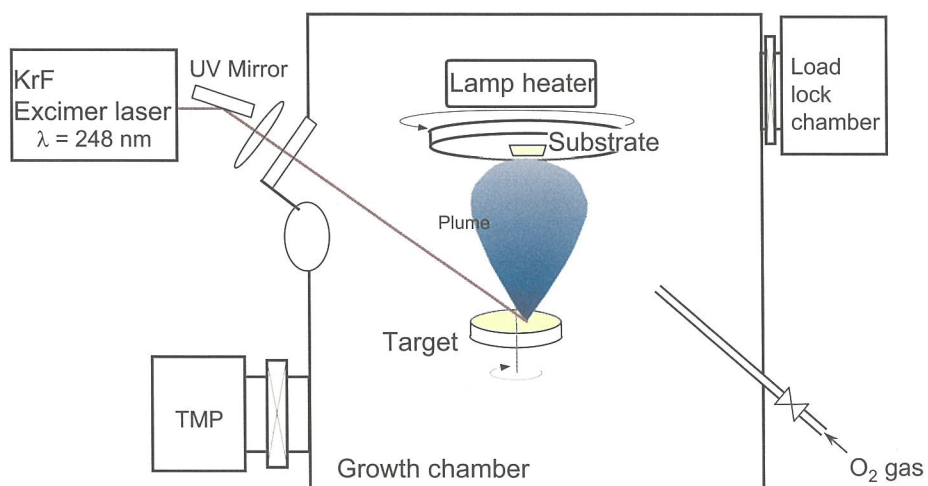
(30mm角SLG基板の上に8セル)

area: total ~ 0.5 cm²; active ~ 0.47 cm²



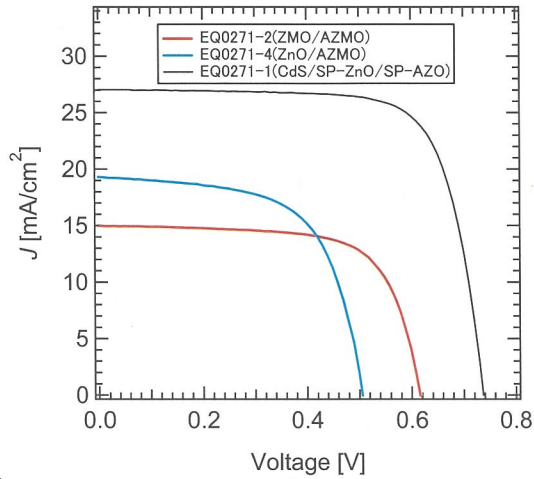
セル構造

パルスレーザー堆積法 (PLD)



窓層の効果

ZnMgO と ZnO

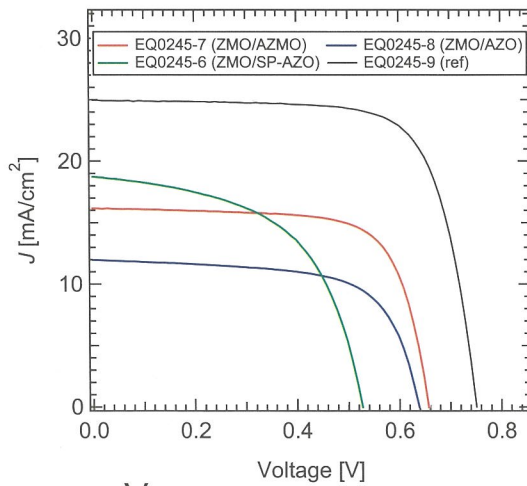


Voc

PLD-ZMO > PLD-ZnO (>> SP-ZnO)
0.619 V 0.507 V

透明導電膜の効果

AZMO と AZO



EQ0245-7
 $\eta = 7.63 \%$, $J_{sc} = 16.1 \text{ mA/cm}^2$
 $V_{oc} = 0.659 \text{ V}$, $FF = 0.72$

Voc

PLD-AZMO > PLD-AZO > SP-AZO
0.659 V 0.640 V 0.529 V

結果

- PLD-ZnMgO/ZnMgO:Alを用い、Cdフリーワイドギャップ CIGS太陽電池の作製に成功した。Cdフリーワイドギャップ CIGS太陽電池としては高い効率7.6%が得られた。
- ZMO窓層を用いた場合ZnOを用いる場合よりも高いVocが得られた。
- 透明導電膜としてAZMOを用いたほうが、AZOを用いた場合よりも高いVocが得られた。
- 効率、開放電圧ともにCdSバッファを用いたセルに比べて低かった。

課題

- ZnMgOとCIGSのバンド不連続の決定が重要。
- ZnMgOやZnMgO:Alのバンドギャップ(Mg組成)の最適化。

水蒸気導入による高品質ワイド ギャップCIGS太陽電池

化合物薄膜チーム 石塚尚吾

CIGS太陽電池

- 薄膜系で最も変換効率が高い(小面積で19%以上)
- 経年劣化に強い(光照射効果)
- ラボベース研究開発 → 商業生産の段階へ

2007年 昭和シェル石油 20 MW*

本田技研工業 27.5 MW**

Würth Solar (独) 15 MW***

*http://www.showa-shell.co.jp/press_release/pr2005/0810.html

**<http://www.honda.co.jp/news/2005/c051219.html>

***<http://www.wuerth-solar.de/>

CIGS太陽電池

NEDO目標(PV2030)

セル 25%, モジュール 22% (¥7/kWh)

太陽電池モジュール変換効率目標 (%)

太陽電池の種類	2010年	2020年	2030年
多結晶シリコン太陽電池	16 (20)	19 (25)	22 (25)
薄膜シリコン太陽電池	12 (15)	14 (18)	18 (20)
CIS系太陽電池	13 (19)	18 (25)	22 (25)
超高効率太陽電池	28 (40)	35 (45)	40 (50)
色素増感太陽電池	6 (10)	10 (15)	15 (18)

(カッコ内は太陽電池セルの変換効率目標)

NEDO 2030年に向けた太陽光発電ロードマップ
検討委員会資料より

CIGSの研究開発

セル高効率化技術
(材料、物性制御、
基本性能の向上)

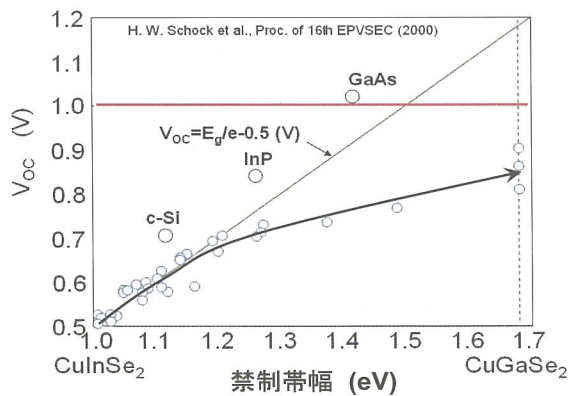
大面積モジュール化技術
(製造技術、歩留まり向上)

どちらも必要不可欠

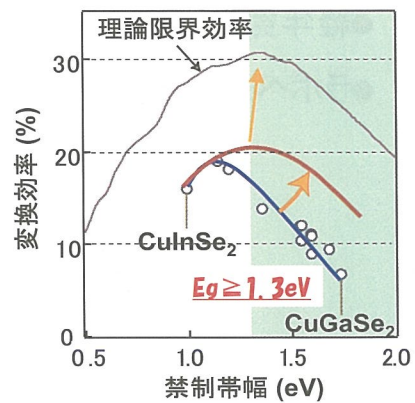
水蒸気導入製膜
⇒セル高効率化技術

CIGS太陽電池

ワイドギャップCIGS太陽電池の高効率化



CIGS系太陽電池の開放電圧と禁制帯幅



変換効率と禁制帯幅

本研究におけるCIGS製膜手法

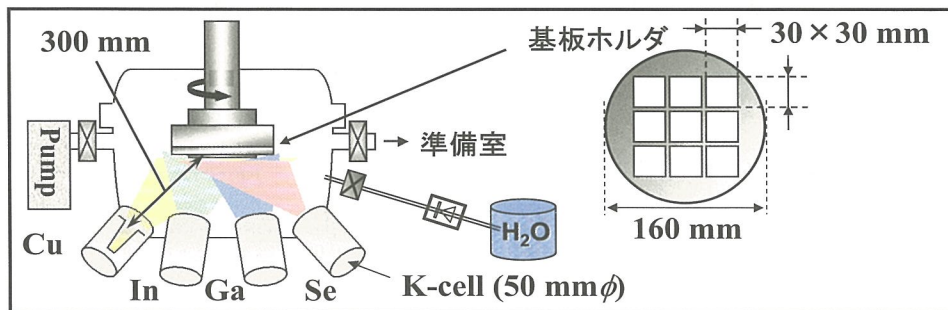
MBE装置を利用した多元蒸着(3段階法)

製膜温度: 第1段階350°C、第2、第3段階550°C

水蒸気導入: 製膜開始から終了まで

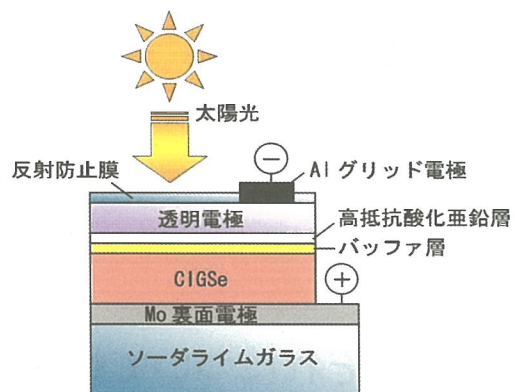
CIGS膜厚: 約1.8 μm

製膜室圧力: ベース $\sim 10^{-6}$ Pa、水蒸気分圧 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ Pa

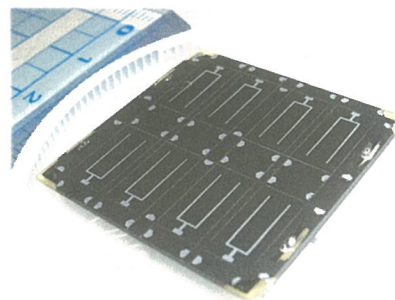


製膜装置の概略図

構造・外観



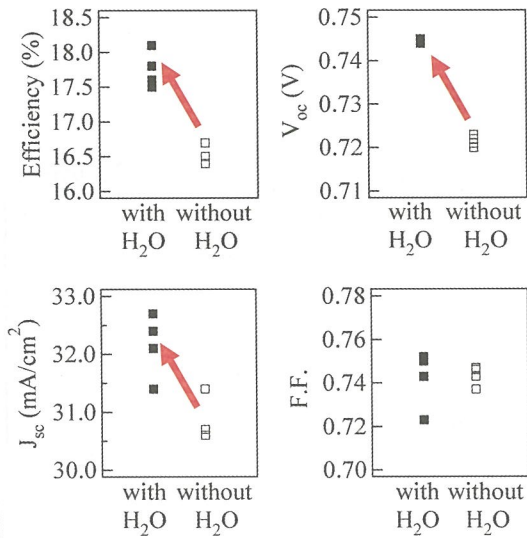
CIGS太陽電池の構造



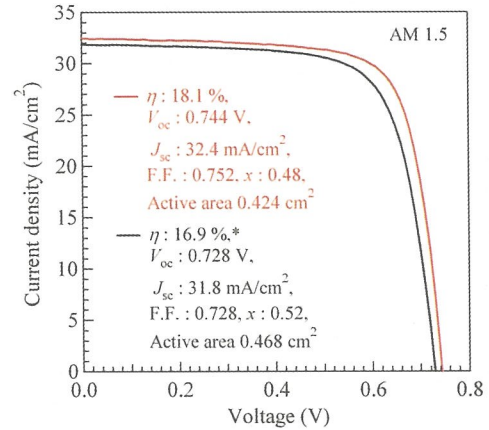
セルの外観

水蒸気導入製膜による高効率化

太陽電池特性



電流・電圧曲線

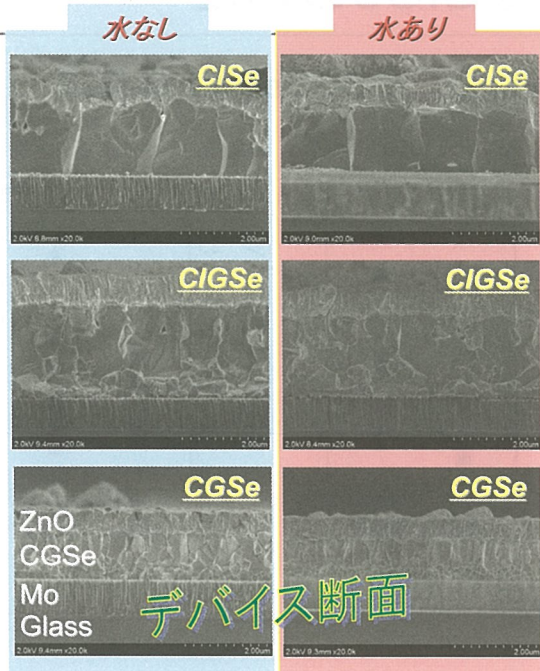


水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

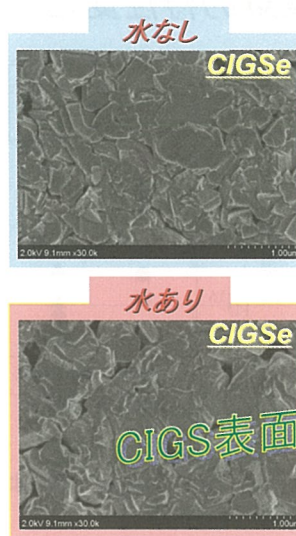
- 従来のCIGS薄膜との物性比較
構造的、電氣的、光学的各性質
- 高効率化のメカニズム

CIS, CIGS, CGSそれぞれについて検証

水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

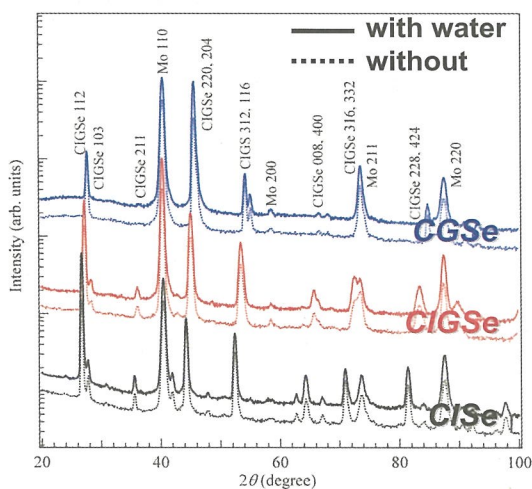


粒径、表面 (SEM)



水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

結晶成長配向 (XRD)

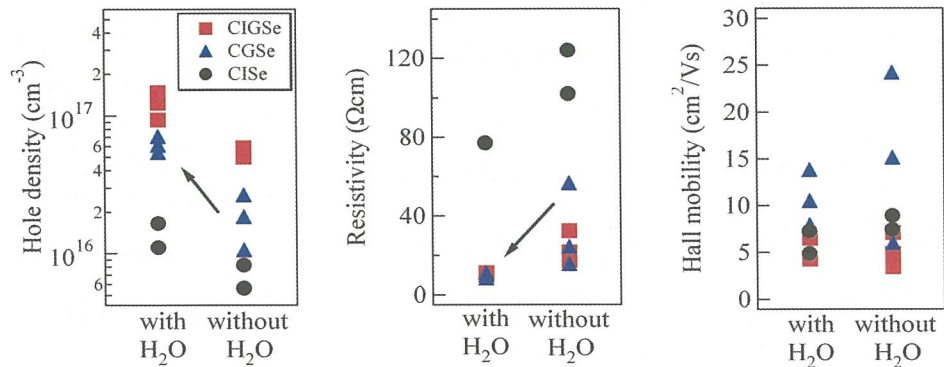


Sample	FWHM (arcsec) (112)	(220, 204)
CGSe with water	1423	1665
CGSe ref.	1458	1693
CIGSe with water	1493	2172
CIGSe ref.	1608	2378
CISe with water	1238	1667
CISe ref.	1255	1675

◆ 薄膜モホロジー、粒径、成長配向に大きな変化なし

水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

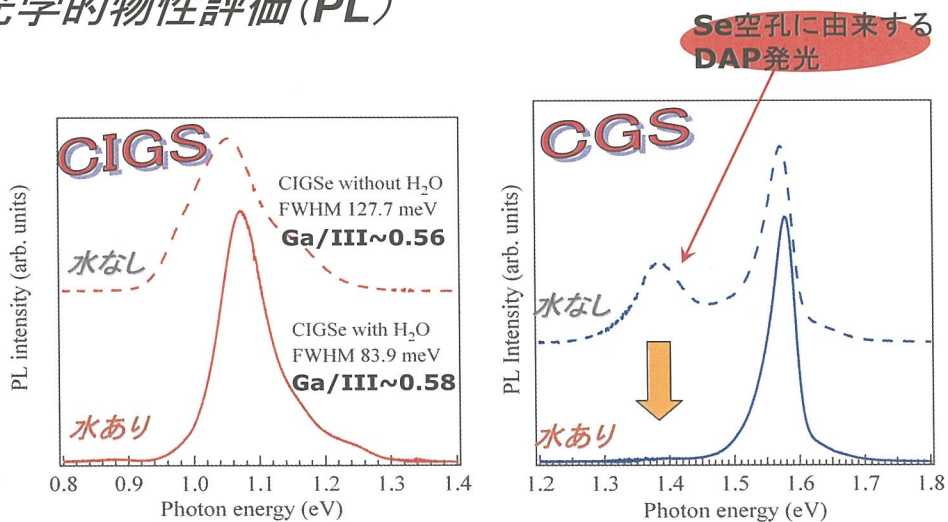
CIGSe (●), CIGSe (Ga/III~0.5, ■), CGSe (▲) 薄膜の電気的特性変化



※van der Pauw 法による室温測定
 ※III: [In]+[Ga]

水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

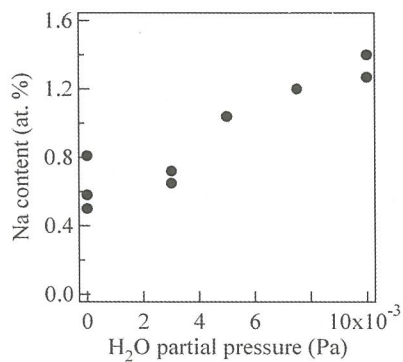
光学的物性評価(PL)



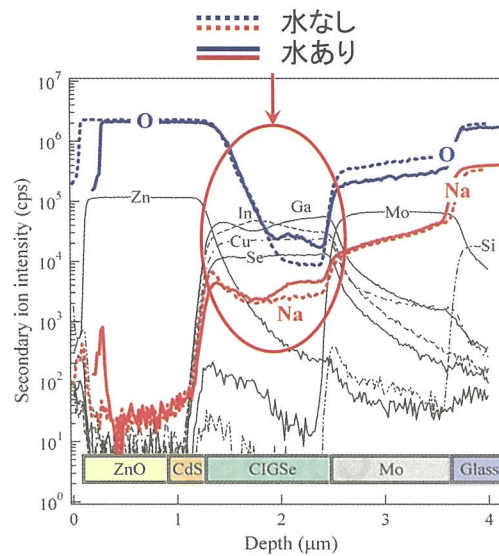
※III: [In]+[Ga]

水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

CIGS中のNa濃度変化



CIGSe薄膜中の平均Na濃度



SIMS 深さ方向組成分析

水蒸気導入製膜によるCIGSの物性

効率向上のメカニズム

1. ドナ性欠陥(Se空孔)抑制によるp型伝導性の向上

2. Na効果*の促進

- p型伝導性、ホールキャリア密度の増加
- 浅いアクセプタ準位(~75 meV)の形成
- (112)結晶成長配向 & 大粒径化の促進
- 高効率が得られるCu/III領域の拡大

*e.g. L. Kronik, D. Cahen, and H. W. Schock, Adv. Mater. **10**, 31 (1998).

C. Heske, F. Karg, et al., Appl. Phys. Lett. **68**, 3431 (1996).

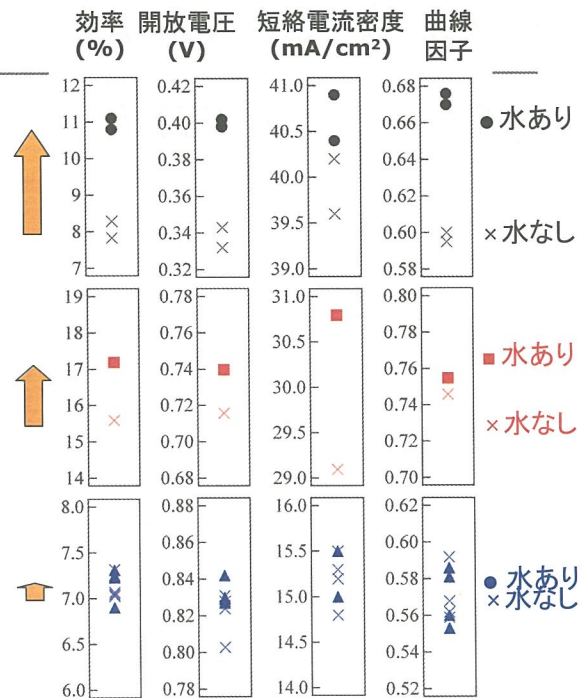
U. Rau, F. Karg, et al., Proc. 25th IEEE PVSC (1996) p.1005.

太陽電池特性変化

CuInSe₂
 Seビームフラックス: 6×10^{-3} Pa
 H₂O分圧: 9×10^{-3} Pa

Cu(In_{0.5}Ga_{0.5})Se₂
 Seビームフラックス: 8×10^{-3} Pa
 H₂O分圧: 9×10^{-3} Pa

CuGaSe₂
 Seビームフラックス: 3×10^{-3} Pa
 H₂O分圧: 9×10^{-3} Pa



太陽電池特性変化

今のところCGSでは水蒸気導入の効果が小さい

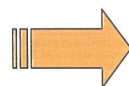
CISEとCGSeの違いを考慮する必要性

(In-O、Ga-O化学結合、CGS表面及び界面、粒径効果等)

電気特性、その他薄膜の物性はCIS、CIGSと同様の変化

CGS太陽電池作製プロセスの最適化がまだ不十分

(水蒸気導入分圧、導入タイミング、表面処理etc.)



よりワイドギャップなCIGS、CGSの更なる
高性能、高効率化へ

まとめ

水蒸気導入製膜の効果

✿ CIS、CIGS、CGSでp型伝導性向上

✿ CIGS薄膜中のNa濃度制御

✿ 太陽電池性能の向上

(Ga/III比によって効果の程度に差)

→ CISとCGSの表面状態や物性の違いを考慮する必要

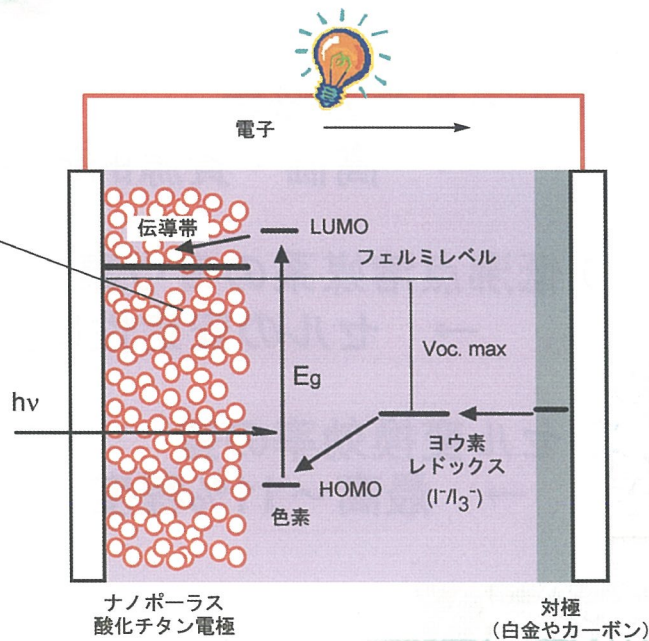
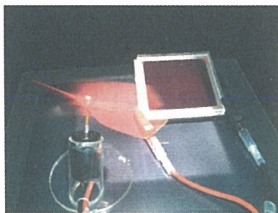
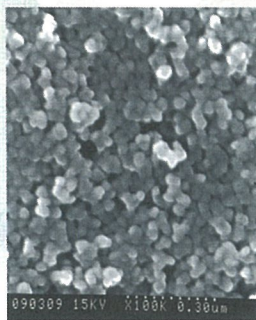
今後の課題 ⇒ 酸素、水素各単体での詳細効果検証
モジュールレベルでの効果検証

有機太陽電池

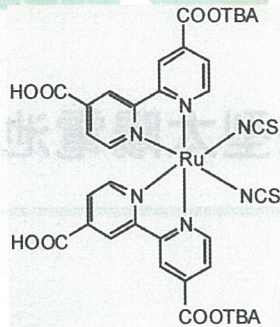
有機色素を用いた色素増感型太陽電池

有機薄膜チーム
原 浩二郎

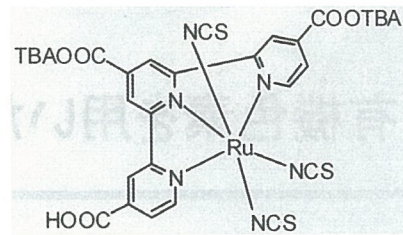
色素増感太陽電池 Dye-Sensitized Solar Cell



Ru錯体を用いた色素増感太陽電池



N719 dye
(Red dye)



N749 (Black dye)

最高変換効率 → **11.1% (SHARP)**

Black dye, AM 1.5G条件下 (AISTで評価)

Chiba et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, L638 (2006)

色素増感太陽電池・実用化への問題点

- ルテニウム錯体
→ 高価・資源的制約
- 低沸点溶媒系のヨウ素レドックス電解液
→ セルの安定性に問題
- セル変換効率の壁
→ 最高～11%程度 (AM1.5G条件下)

本研究

高性能の有機色素増感太陽電池の開発

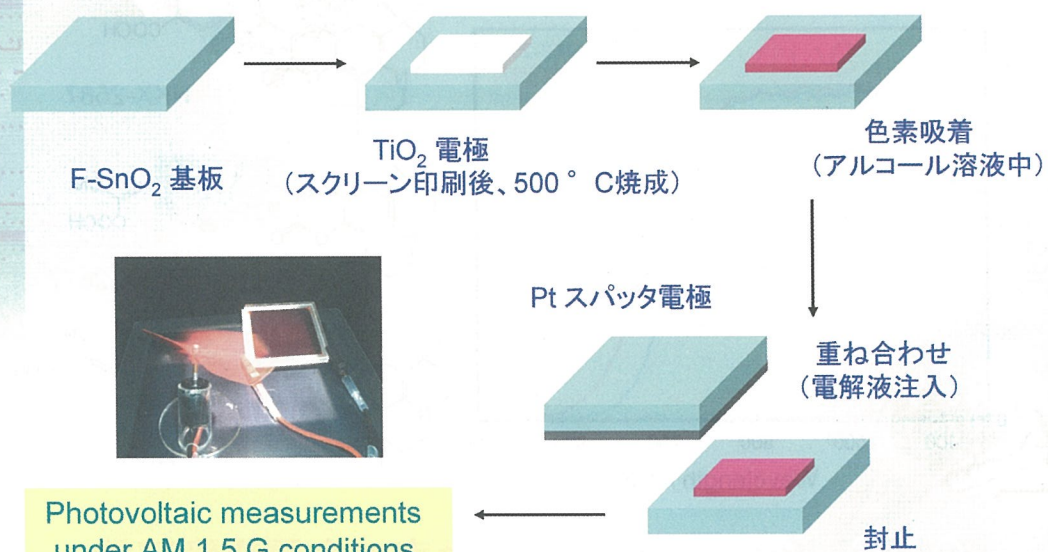
高性能の新規有機色素（非Ru）の開発
新規のイオン性液体ゲル電解質の開発
電子移動メカニズムの評価



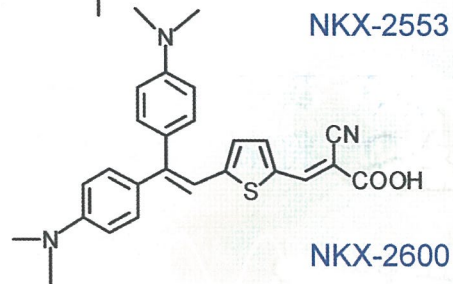
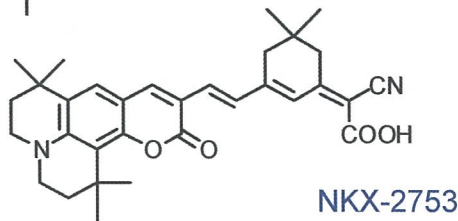
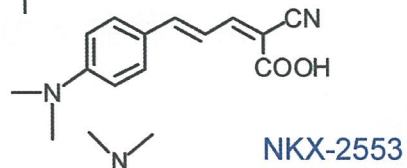
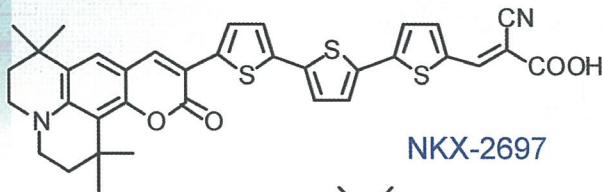
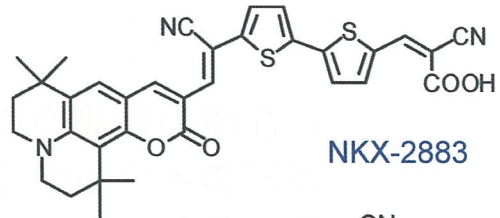
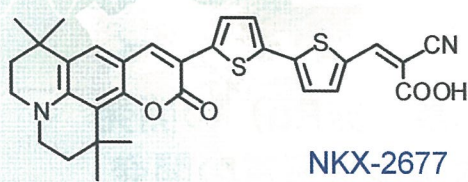
- 現状の色素増感太陽電池の問題点の解決
- 将来の高効率化への基礎技術の蓄積

屋内用途などでの早期実用化の実現

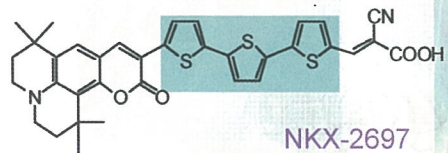
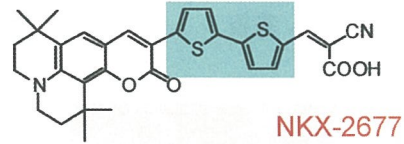
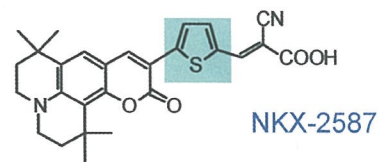
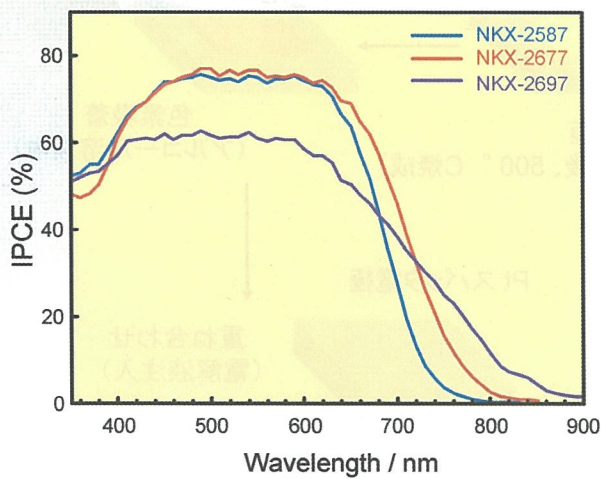
色素増感太陽電池の作製法



高性能有機色素 (林原生物化学研究所と共同開発)

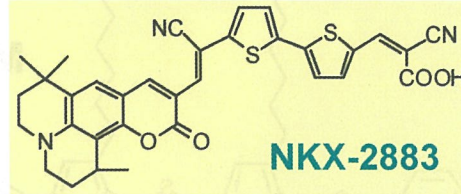
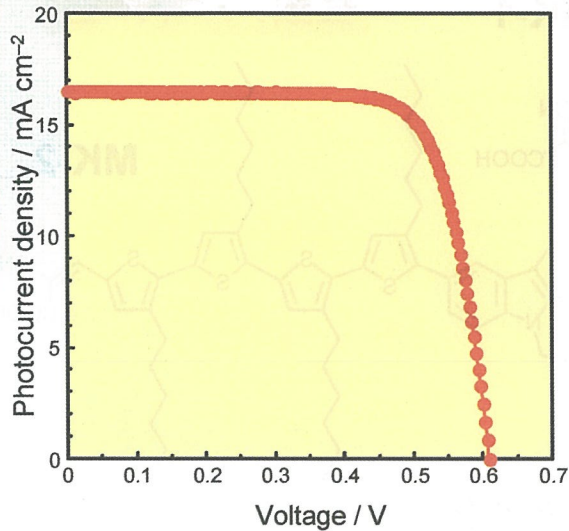


クマリン色素増感太陽電池のIPCEスペクトル



紫外から近赤外領域まで高効率で光電変換可能

光電変換特性 (NKX-2883)



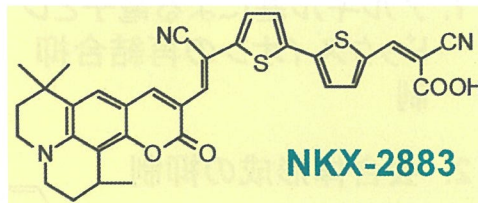
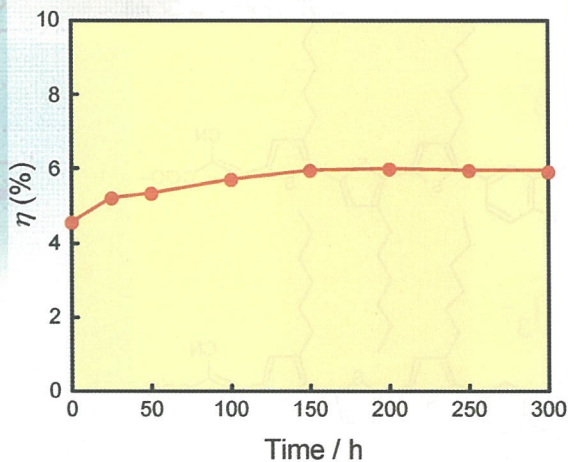
$$\eta = 7.6\%$$

$$J_{sc} = 16.5 \text{ mA cm}^{-2}$$

$$V_{oc} = 0.61, FF = 0.76$$

AM 1.5 G (100 mW cm⁻²)
with a mask, no AR film

セル特性の安定性 (NKX-2883)



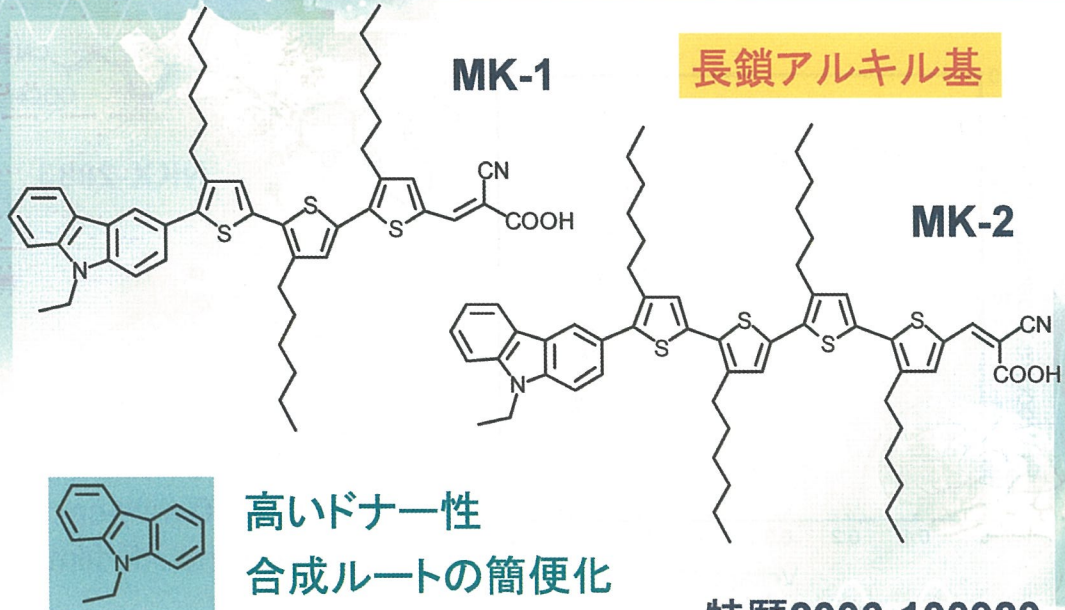
Dye NKX-2883

80 mW cm⁻² (UV cut off)

50 ° C, open-circuit

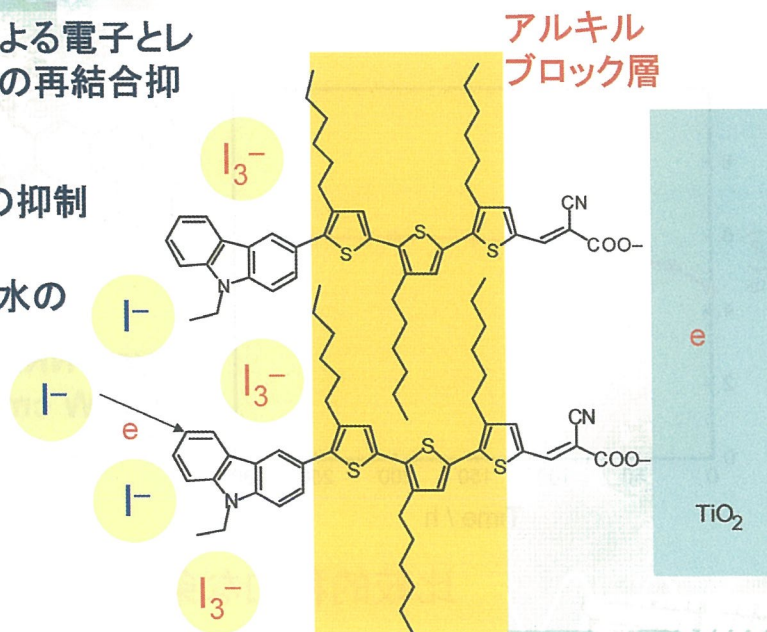
比較的穏和な条件下では十分に安定

新規有機色素の構造

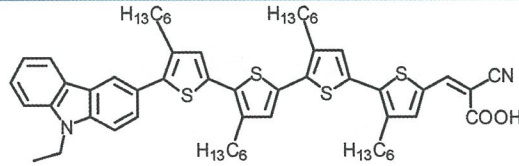
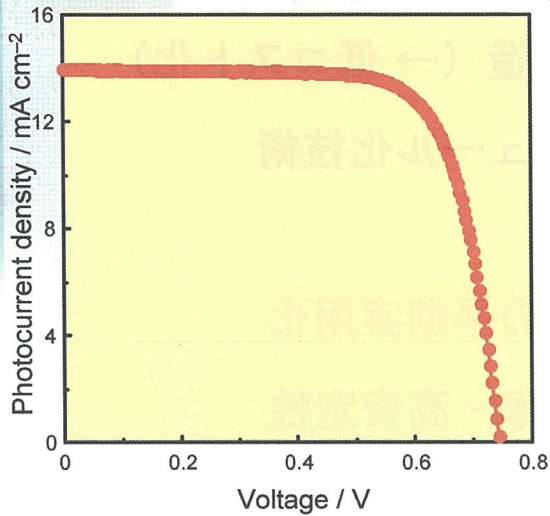


有機色素分子の設計戦略 (分子レベルでのナノ界面構造制御)

1. アルキル基による電子とレドックスイオンの再結合抑制
2. 会合体形成の抑制
3. 疎水性による水の影響の低減や低溶解性



光電変換特性(MK-2色素)



MK-2

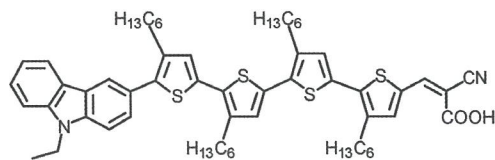
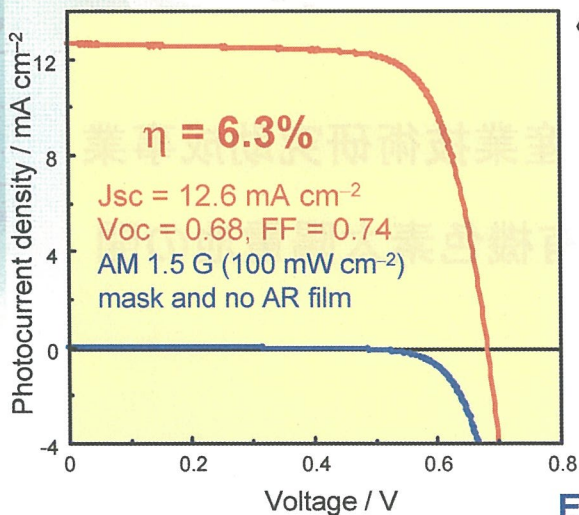
$\eta = 7.7\%$

$J_{sc} = 14.0 \text{ mA cm}^{-2}$
 $V_{oc} = 0.74, FF = 0.74$

AM 1.5 G (100 mW cm^{-2})
with a mask, no AR film

従来型色素に
比べて V_{oc} が向上

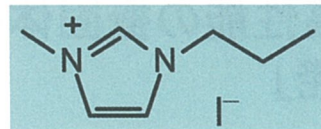
光電変換特性(イオン性液体電解液)



MK-2

$\eta = 6.3\%$

$J_{sc} = 12.6 \text{ mA cm}^{-2}$
 $V_{oc} = 0.68, FF = 0.74$
AM 1.5 G (100 mW cm^{-2})
mask and no AR film



MPImI

Electrolyte

MPImI + 0.04 M LiI + 0.4 M I₂

今後の方針と目標

- 高効率化技術（新規色素など）
- 新規のデバイス構造（→ 低コスト化）
- 耐久性評価、モジュール化技術



屋内用途などでの早期実用化

低コスト・高効率・高安定性
有機（無機）太陽電池の実現

謝辞

平成17年度 NEDO・産業技術研究助成事業
「高性能の擬固体型有機色素太陽電池の開
発」

低分子系有機薄膜太陽電池

有機薄膜チーム
當摩哲也

高性能化へのアプローチ

デバイス構造制御

有機層膜厚、膜均一性、
配向、結晶性等

不純物制御

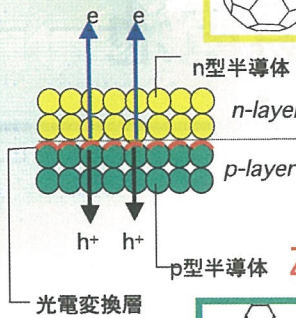
外部からの不純物混入
有機材料純度

半導体材料

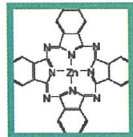
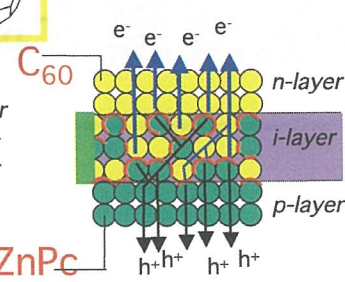
吸光度、吸収波長帯
キャリア拡散長、キャリア移動度等

高性能有機薄膜太陽電池

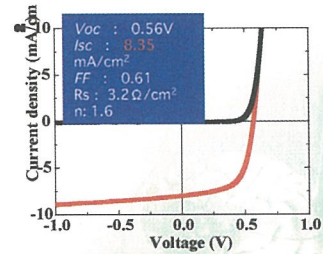
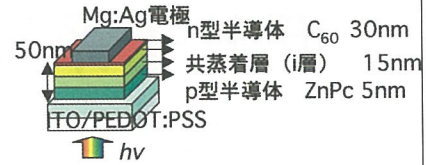
従来p-n 接合



本研究のナノ構造p-n



膜厚の最適化と測定環境の制御

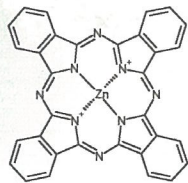


共蒸着層 (i層) の導入により電流値が40%上昇

世界最高レベルの変換効率約4%を達成

精製を行う有機半導体材料

P型半導体 (不溶性)



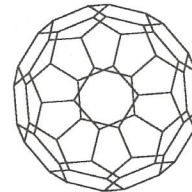
zinc-phthalocyanine (ZnPc)

97%未精製材料



精製の必要あり

n型半導体 (不溶性)

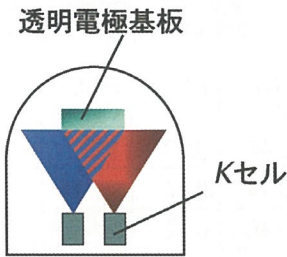
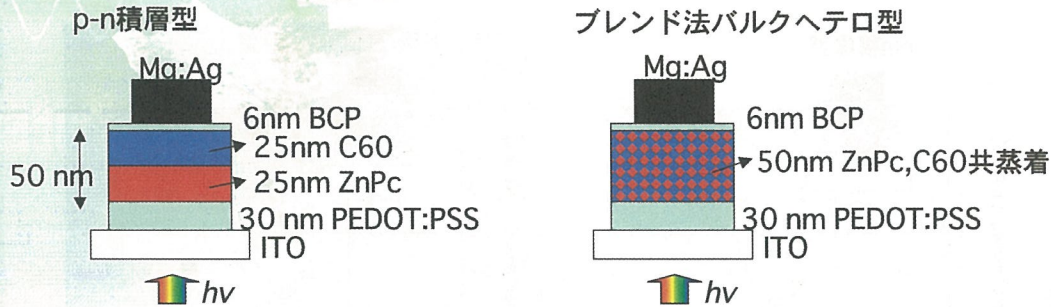


C60

昇華精製済C60購入

有機半導体純度の太陽電池性能への影響を検討

評価に用いたデバイス構造と作製法

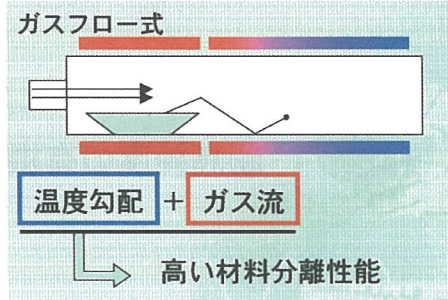
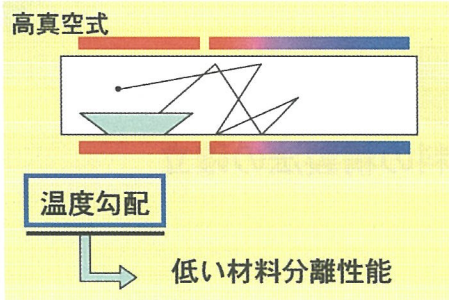


作製条件
ZnPc, C60: 0.05nm/s
BCP:0.1 nm/s
Mg:Ag:0.3 nm/s
測定条件
AM 1.5G 100mW/cm² (基準セル校正)
(真空中測定)

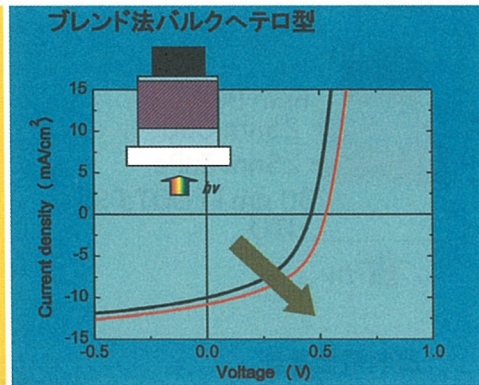
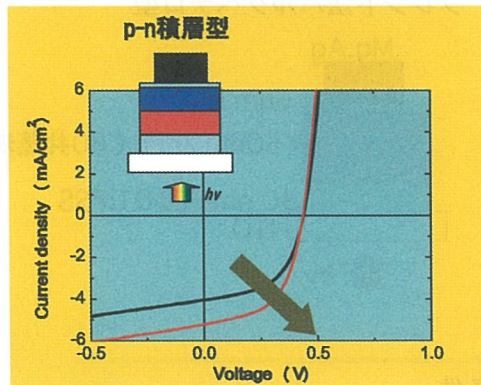
高真空式とガスフロー式の比較

	I_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	PCE (%)	Purification speed
高真空式 p-n積層型	5.3	0.43	0.40	0.9	Bad
高真空式 共蒸着バルクヘテロ型	7.9	0.41	0.34	1.1	Bad
ガスフロー式 p-n積層型	4.1	0.44	0.53	1.0	Good
ガスフロー式 共蒸着バルクヘテロ型	10.0	0.46	0.45	2.1	Good

ガスフロー式では V_{oc} 、FFが向上



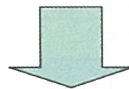
新規開発したガスフロー用るつぼの効果



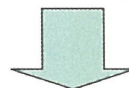
	Isc (mA/cm ²)	Voc (V)	FF	PCE (%)	
従来法3回精製 p-n積層型	4.1	0.44	0.53	1.0	
新手法3回精製 p-n積層型	5.2	0.44	0.54	1.2	
従来法3回精製 ブレンドバルクヘテロ型	10.0	0.46	0.45	2.1	
新手法3回精製 ブレンドバルクヘテロ型	10.8	0.53	0.47	2.7	30%UP

昨年度成果のまとめ

材料純度の太陽電池性能への影響を解明



ガスフロー式+新規に開発した材料るつぼ

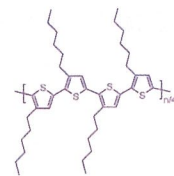
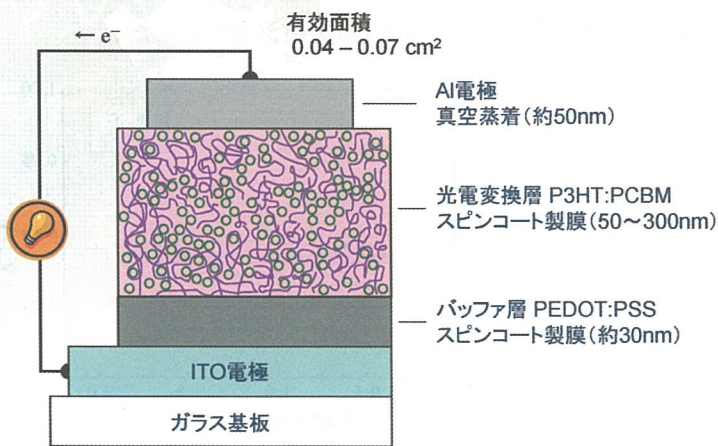


超高純度の有機材料の精製法の確立

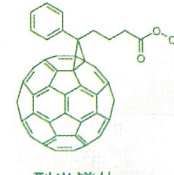
ポリマー系有機薄膜太陽電池

有機薄膜チーム
山成敏広

ポリマー系有機薄膜太陽電池



p 型半導体
P3HT(regioregular)



n 型半導体
PCBM



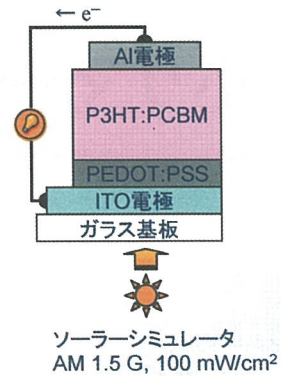
ソーラーシミュレータ
AM 1.5 G, 100 mW/cm²

P3HT:PCBMブレンド有機太陽電池は
ここ数年で飛躍的に性能を向上させて
おり、非常に注目されている。

実験方法

デバイス作成法

- 基板 ITO電極(オゾン洗浄)
- バッファ層PEDOT:PSS
 - スピコート後、加熱乾燥(膜厚 約30nm)
- 光電変換層 P3HT : PCBM
 - スピコート製膜(グローブボックス中)
 - 溶媒 1,2-ジクロロベンゼン、あるいはクロロベンゼン
 - P3HT濃度
 - P3HTとPCBM混合比(重量比)
- アノード電極 Al (約50nm, 真空蒸着)



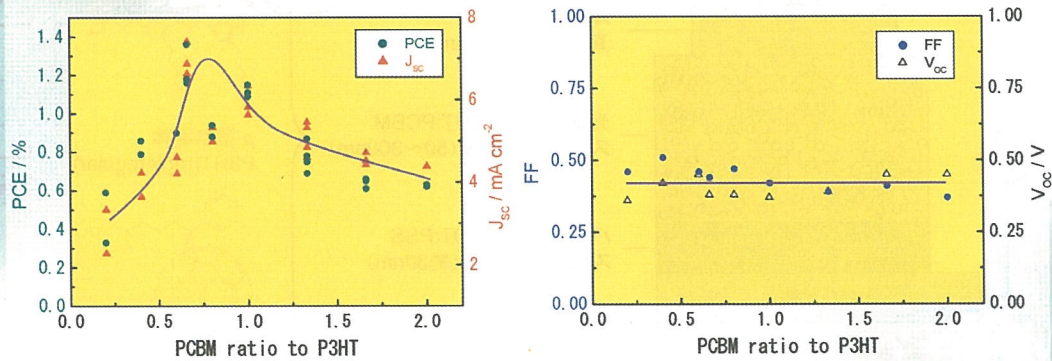
性能評価

- ◆AM1.5G ソーラーシミュレータ(JISクラスA)
 - 基準セルで100mW/cm²に校正
 - ◆分光感度(IPCE)測定装置
- ※いずれも窒素ガス雰囲気中

- ◆P3HTとPCBM混合比
 - ◆熱処理の効果
- に注目して、最適条件を検討した。

I-V特性: P3HTとPCBMの混合比

p型半導体 P3HTとn型半導体 PCBMの混合比を変えて、デバイスを作製した。



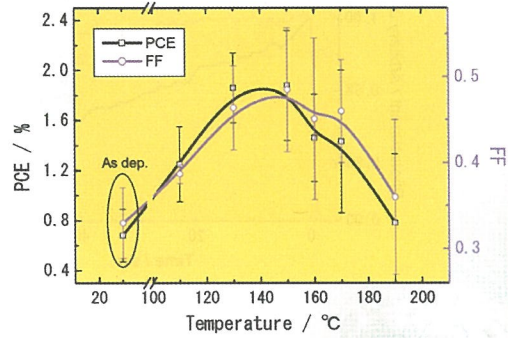
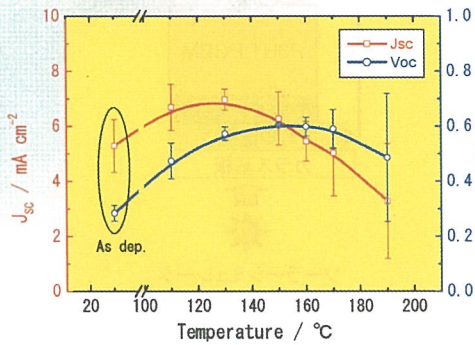
P3HTとPCBMの混合比は、 J_{sc} に大きな影響を及ぼした。

☆混合比の最適化は必須である。

→光電変換層中の分子レベルの構造(キャリア輸送ネットワーク)が重要である。

熱処理による性能の向上： 熱処理温度依存性

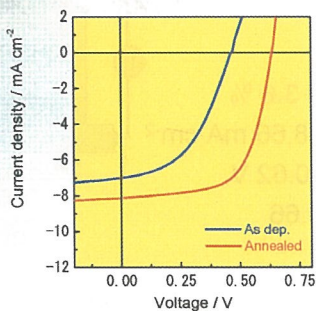
デバイス作成後に熱処理を行った。



熱処理の温度によって各太陽電池特性が劇的に変化した。
変換効率は130~150°Cで最大値を示した。
☆熱処理温度の最適化は必須である。

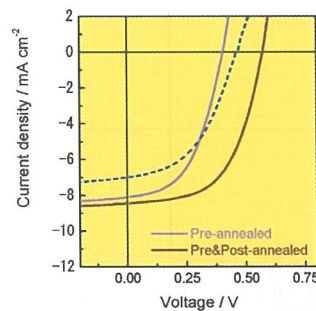
熱処理による性能の向上： Al電極蒸着前・後の熱処理

Al電極蒸着後(デバイス作成後)
に熱処理



J_{SC} 7.0 → 8.1 (+1.1) mA cm⁻²
 V_{OC} 0.46 → 0.63 (+0.17) V

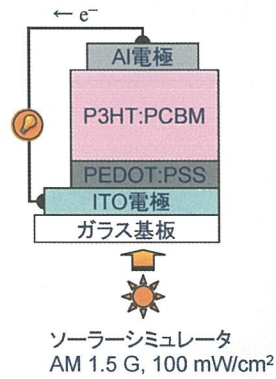
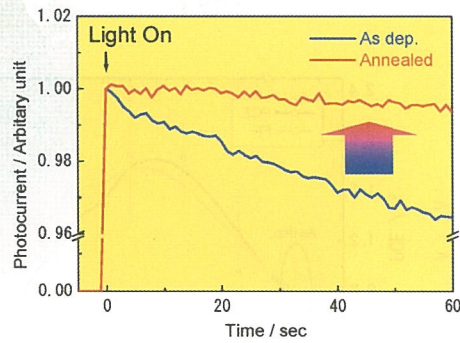
Al電極蒸着前に熱処理したデバイスを
Al電極蒸着後に再度、熱処理



J_{SC} 8.1 → 8.5 (+0.4) mA cm⁻²
 V_{OC} 0.40 → 0.57 (+0.17) V

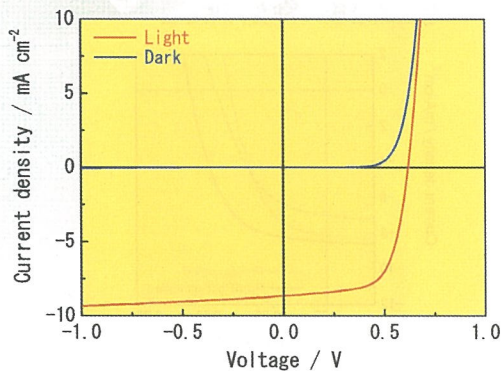
Al蒸着前後に関係なく熱処理を行うと J_{SC} が向上しており、熱処理には光電変換層中の分子レベルの構造(キャリア輸送ネットワーク)最適化の効果があると考えられる。
 V_{OC} の向上はAlを蒸着した後の熱処理でのみ観測された。したがって、熱処理により光電変換層とAl電極の界面でなんらかの変化が起こっていると予想される。

熱処理による性能の向上： 耐久性

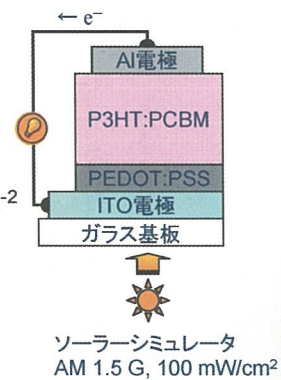


熱処理により連続照射による光電流の低下が抑えられた。
→キャリア輸送がより効率化され、光電変換層に蓄積される
ホール、電子が減少したためと考えられる。

I-V特性：最高性能



PCE = 3.6 %
J_{SC} = 8.66 mA cm⁻²
V_{OC} = 0.62 V
FF = 0.66



デバイス作成条件の最適化(P3HT:PCBMの混合比、熱処理)により、
世界最高水準の変換効率 **3.6%** を達成した。

評価システム技術

産総研における 一次基準太陽電池セルの校正

品質保証及び性能データの
信頼性の根幹技術

評価・システムチーム 猪狩真一

トレーサビリティとは

「起源をたどれる」ことを意味し、

- ① 製品実現の履歴を検証する手段
- ② 科学技術データの信頼性を裏付ける有効な手段

として、その確保が重要視されている

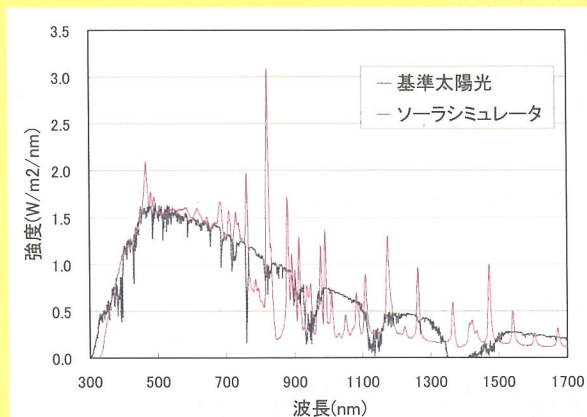
米国の宇宙船開発に係る計測の信頼性確保に
端を発し、近年はBSE対策など食の安全性確保を
目的として導入され、一般にも知られてきた

研究課題と目標

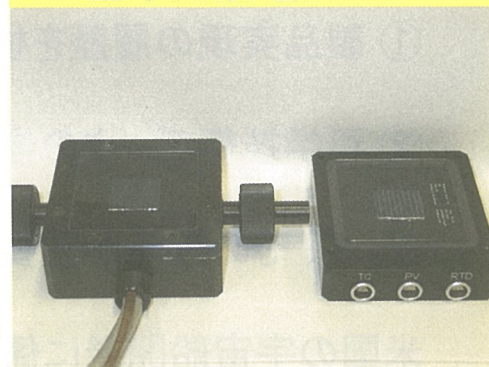
- ・ **PVトレーサビリティの構築・維持・発展**
 - ・ 基準太陽電池の範囲拡大・供給堅持
 - ・ 不確かさの低減
- ・ **国際整合 (WPVS等)**
 - ・ 各国校正機関との技能比較
- ・ **標準化**
 - ・ IEC / JIS 規格の作成・普及・促進

基準太陽電池

～ PVトレーサビリティの仲介標準 ～



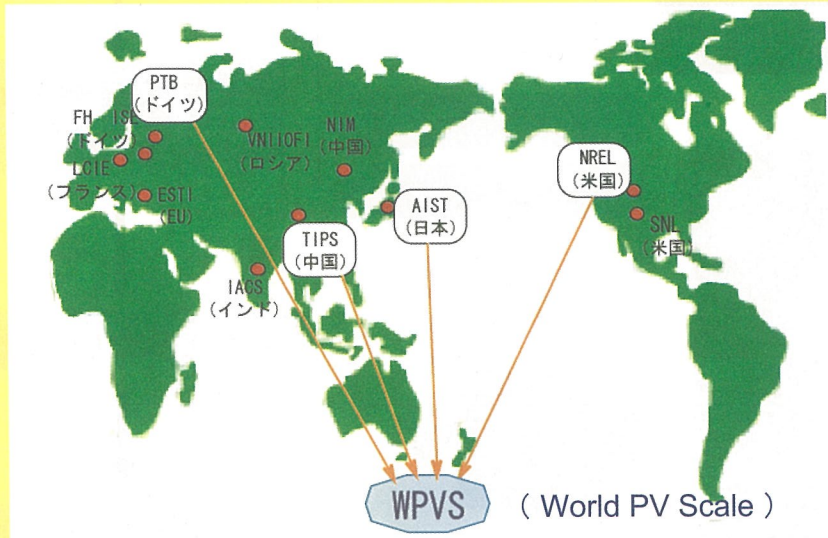
基準太陽電池セル



基準光と照射光の分光放射照度分布の不一致を補正

国際ラウンドロビン(WPVS)

～ 主な参加研究所・機関 ～

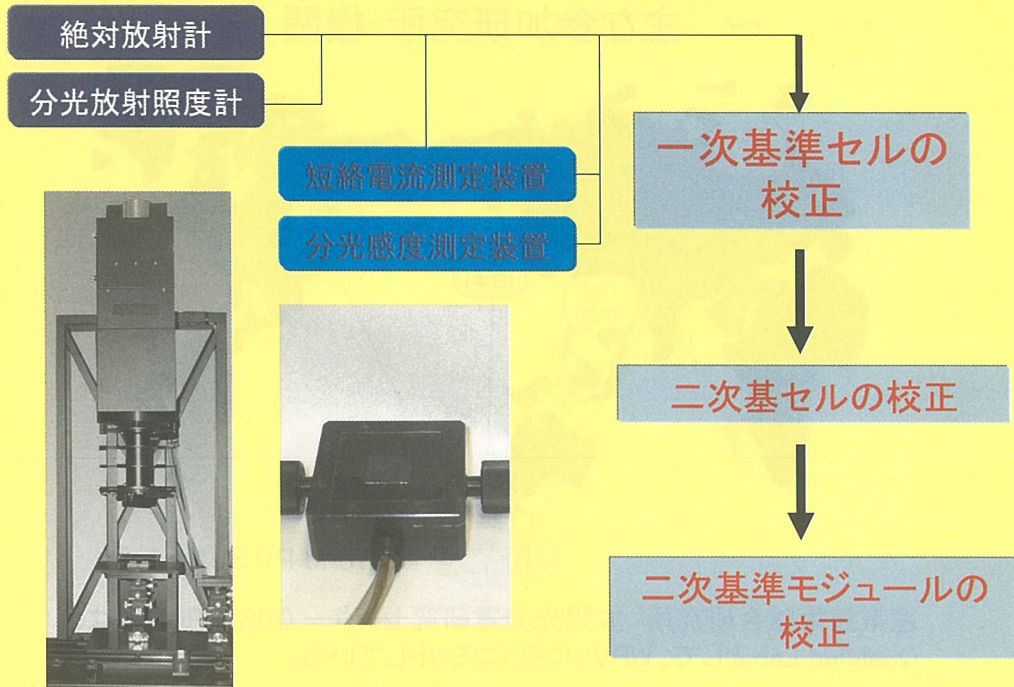


産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター (AIST-RCPV)は、Qualified Lab.として、WPVSに強くコミットしている。

各国の校正方法と特徴

国名	機関名	校正方法	特徴	ISO/IEC17025 Lab認定
日本	AIST	屋内, ソーラシミュレータ法 JIS C 8910 IEC 60904-4 ISO 15387(宇宙用)	再現性・再生産性に優れる 多様な太陽電池に対応可 校正処理能力が高い	取得予定 (ASNITE)
アメリカ	NREL	屋外, 直達太陽光法 IEC 60904-4	基準光近似の太陽光を利用 可能日が少なく他国では困難	既取得 (A2LA)
ドイツ	PTB	絶対分光感度法 IEC 60904-4 ISO 15387	特定の太陽電池には高精度 新型太陽電池には適用困難	自己適合宣言
中国	TIPS	絶対分光感度法	ドイツと同じ	

太陽電池校正のトレーサビリティ体系



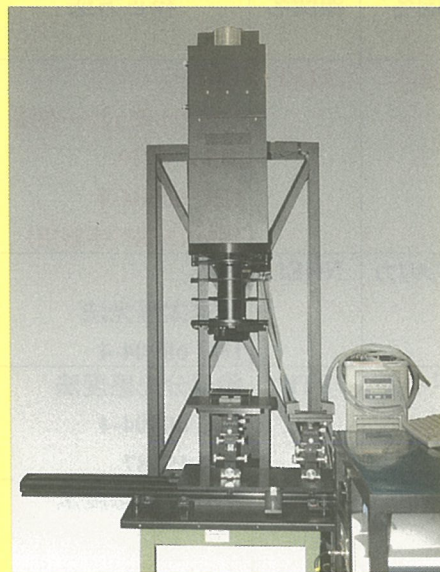
高精度・高安定校正システムの開発

～ 高平行度ソーラシミュレータ～

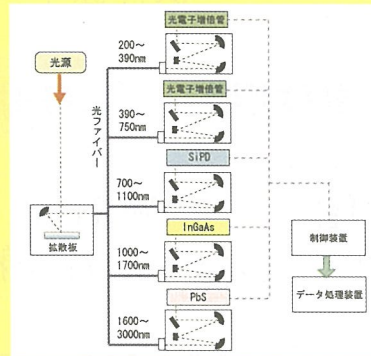
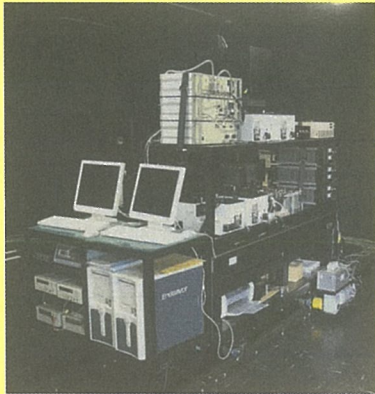
光線平行度: 約 $\pm 1^\circ$
視野角: 5° (A.C.R.に適合)

世界で初めて

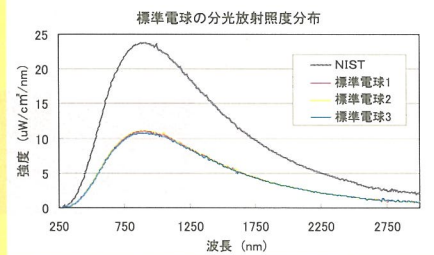
- ・絶対放射計(A.C.R.)による直接測定に適合
- ・WRRにダイレクト・トレースな屋内校正が実現



広帯域・高速 絶対分光放射計の開発

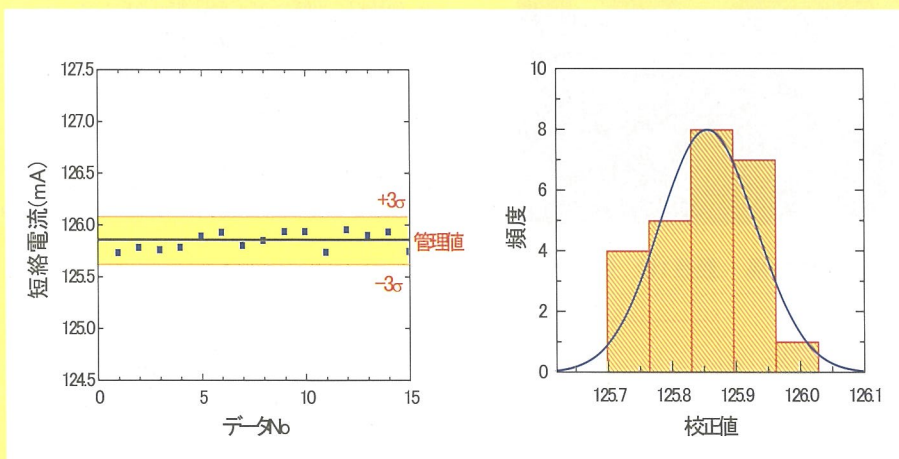


- ・測定波長範囲拡大 (200nm~3000nm)
- ・測定時間の大幅な短縮 (最短1分)
- ・SI単位系と性能比較が可能
- ・標準電球の群管理が可能



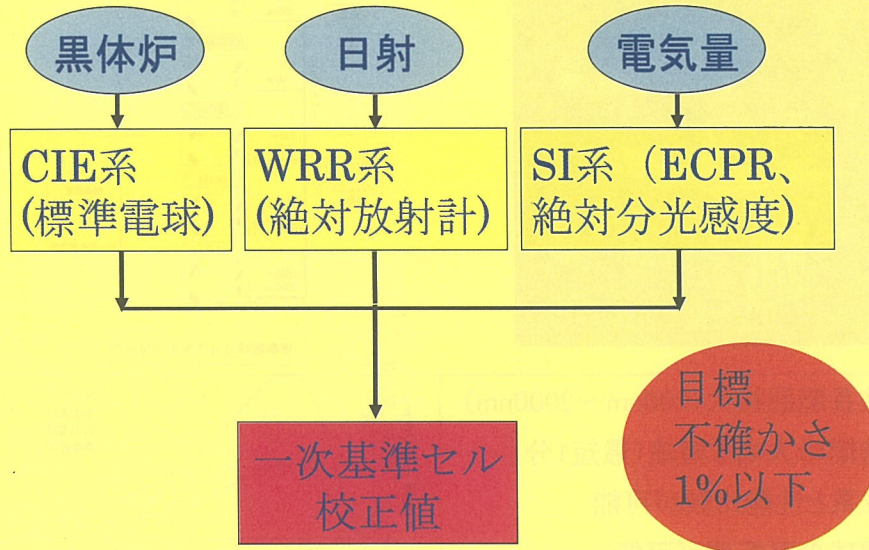
一次基準セル校正値の管理状態

ランダム誤差: (3σ , 0.3%)



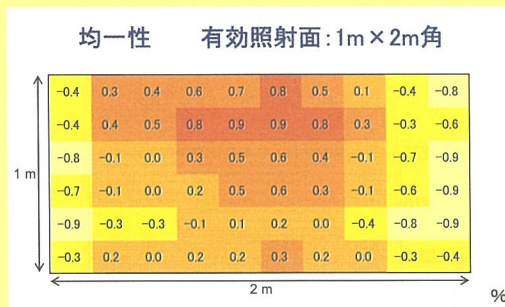
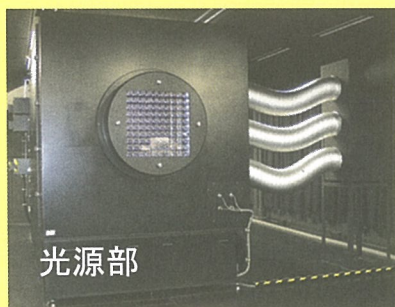
一次基準太陽電池セル校正技術の高度化

根幹標準の比較・総合評価

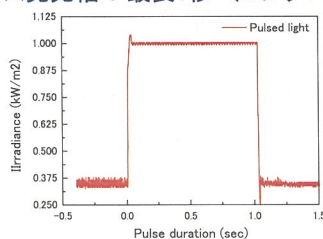


仲介標準の大型化(基準モジュール)

～ モジュール校正用ソーラシミュレータの開発 ～



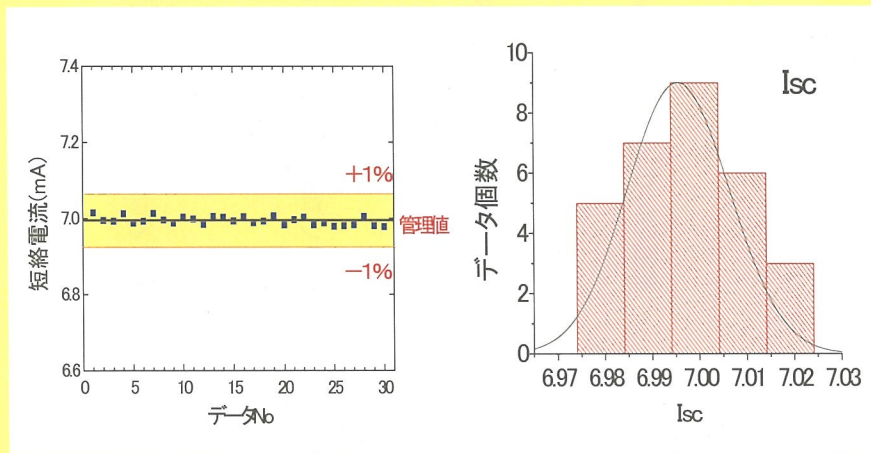
パルス発光幅: 最長1秒 (ロングパルス)



世界初
ロングパルス・大照射面で
均一性±1%以内を達成

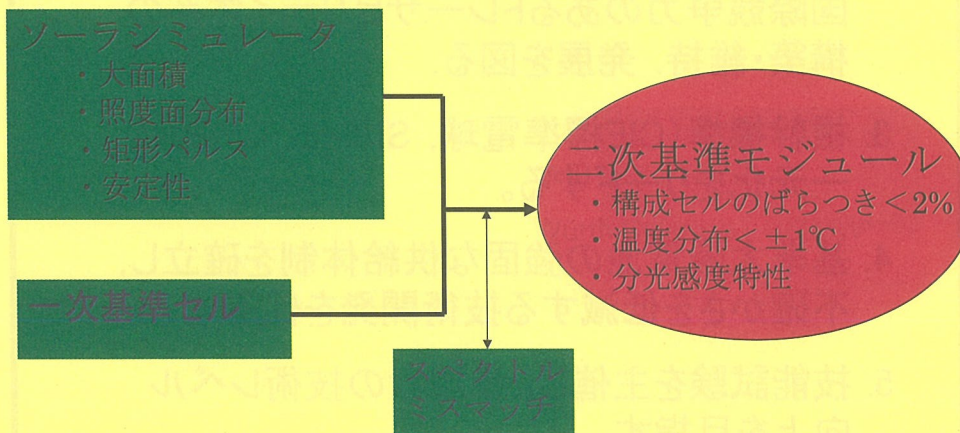
二次基準モジュール校正値の管理状態

Iscの再現性: ±1%以内

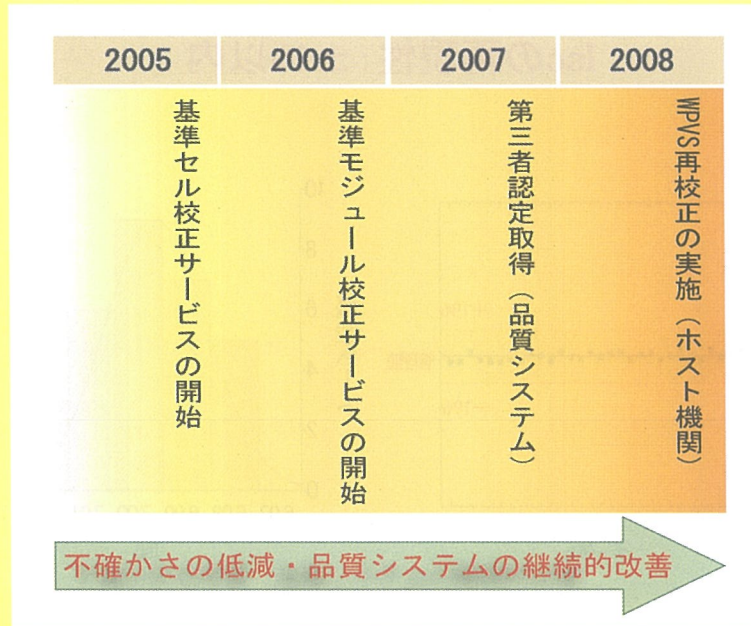


二次基準モジュール校正技術の高度化

目標：
繰返し再現性
0.5%以内



課題とスケジュール



むすび

1. 太陽電池標準の国際協力(WPVS, IECなど) 継続的な維持管理に努める。
2. 世界の太陽光発電をリードするに相応しい、国際競争力のあるトレーサビリティ体系の構築・維持・発展を図る。
3. 根幹標準(CIE標準電球, SI単位, WRR)の一元化をリードする。
4. 基準太陽電池の強固な供給体制を確立し、不確かさを低減する技術開発を促進する。
5. 技能試験を主催し、参加者の技術レベル向上を目指す。

新型太陽電池の性能評価技術

評価・システムチーム

菱川善博

背景

太陽電池の高精度な評価技術確立の必要性

- ・性能数値の重要性
- ・高精度化
- ・新型太陽電池への対応
- ・中立な評価
- ・国際的整合性

概要

・各種太陽電池に特有な性質を考慮した、最適な性能評価技術の開発

昨年度まで: 結晶Si, 多接合, CIGS, 色素増感etc.

今年度: 多接合(分光感度), 高効率Si, CIGS(光照射)

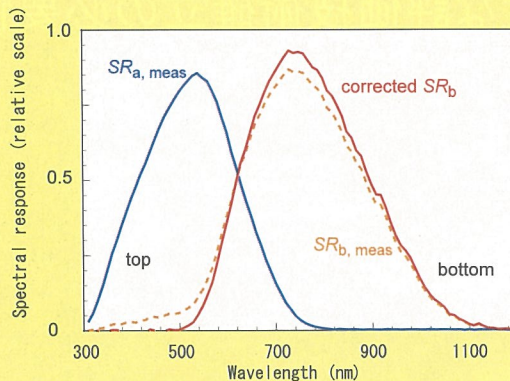
・実性能評価技術開発

温度依存性, 照度依存性

・外部サンプル評価, 国際比較

多接合: 各要素セルの分光感度を, ”真の“値に補正可能
→ JISへの採用を審議中

材料・構造に関わらず各種太陽電池に適用可能



$$SR_{meas} = \frac{\sum_{i=1}^n SR_i \frac{dV_i}{dI_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{dV_i}{dI_i}}$$

(Example)

$$= 0.07 SR_{top} + 0.93 SR_{bot}$$

$$\approx SR_{bot}$$

$$= (SR_{meas} - 0.07 SR_{top}) / 0.93$$

多接合太陽電池の分光感度測定・補正

高効率結晶Si太陽電池の性能評価

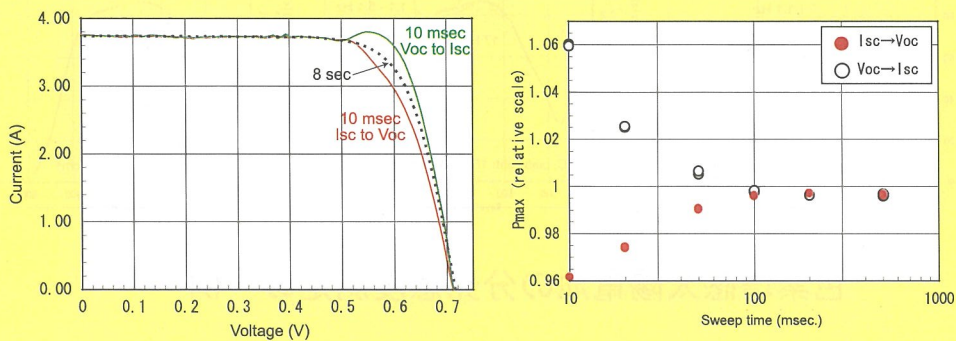
比較的確立されてはいる。とはいえ...

IVスイープ時間がミリ秒オーダーでは、拡散容量による誤差あり。

⇒最近の高効率セルで、スイープ時間が~0.1秒でも差が現れる

デバイス・モジュール構造により差がある可能性あり

→スイープ方向によるPmax, FF等の差を要確認



高効率結晶Si太陽電池(HIT構造)のIV特性の一例

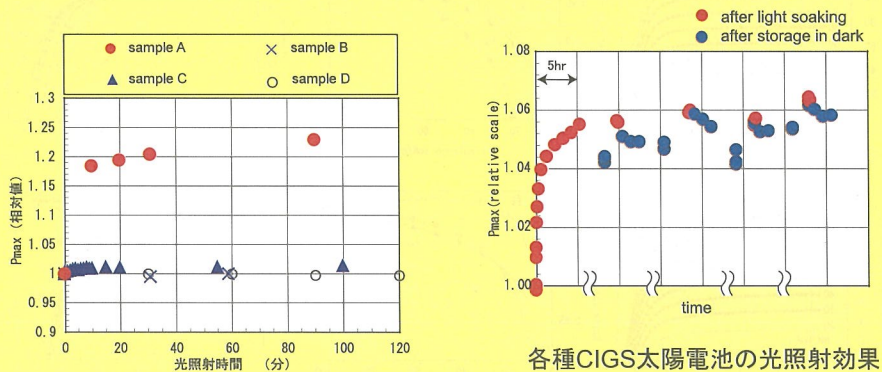
CIGS太陽電池の光照射効果

デバイスの材料・構造により傾向が異なる

1sun, 30分の光照射が目安

光照射／暗状態繰り返しによる蓄積効果

現状では、デバイス構造毎の検証が必要

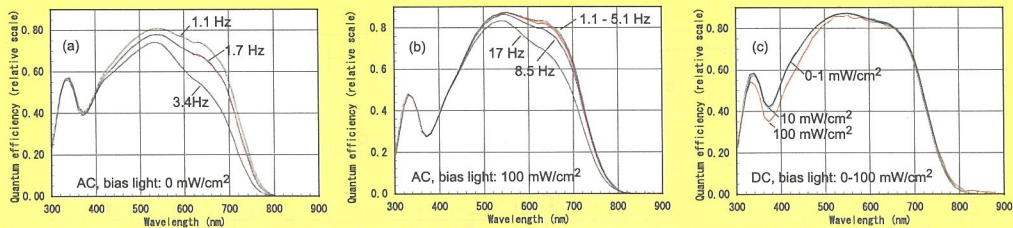


各種CIGS太陽電池の光照射効果

CIGS太陽電池の光照射と暗所保存による特性変化の一例

色素増感太陽電池の分光感度評価

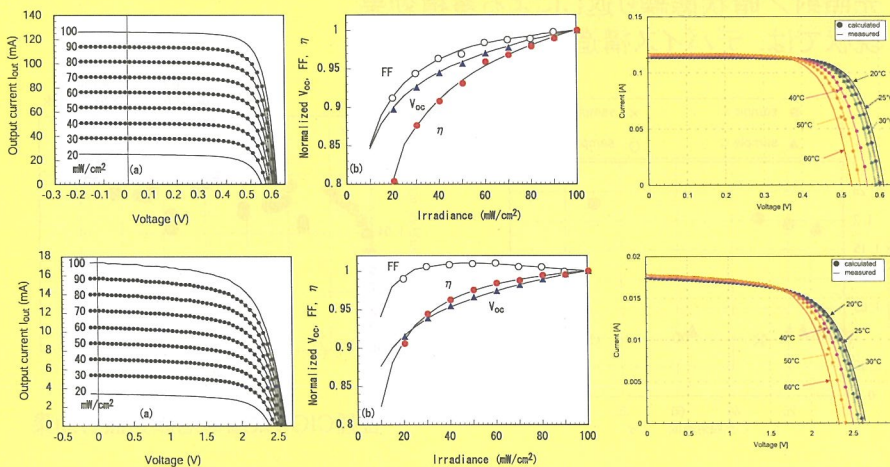
時定数が、従来の太陽電池よりも桁違いに長い
 チョップ周波数数Hz以下(暗状態では1Hz以下)
 正確な性能評価のために、検討すべき課題が多い
 (バイアス光依存, バイアス電圧依存, 時定数の波長依存)



色素増感太陽電池の分光感度測定の一例

温度依存性・照度依存性

PVの世界的普及と共に、重要性を増す。
 温度依存性・照度依存性共に、IV特性の直線補間で正確に記述する
 手法を開発。(JISで採用審議中。IECに日本案として提案・審議中)



各種太陽電池のIV特性における温度依存性, 照度依存性

直線補間法による, 温度依存性・照度依存性

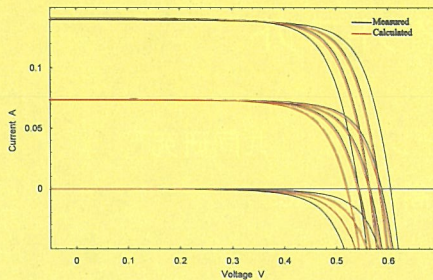
現行のJIS, IEC等に規定される補正式よりも, 簡便かつ高精度に, 太陽電池のIV特性を補正可能。

$$(1) \quad I_3(V) = I_1(V) + \frac{E_3 - E_1}{E_2 - E_1} \cdot (I_2(V) - I_1(V))$$

$$(2) \quad V_3(I) = V_1(I) + \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1} \cdot (V_2(I) - V_1(I))$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{kT}\right) - 1 \right)$$

$$I_0 = A \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right)$$



結晶Si太陽電池のIV特性における温度・照度依存性の一例。

外部サンプル測定

新型太陽電池, 高効率太陽電池等の高精度な性能評価を実施。

・25件約50サンプル(H17年度)

結晶Si, 多接合, CIGS, 色素増感, 有機薄膜 etc.

国際比較

太陽電池性能評価における国際的整合性を確認した。

・WPVS (World Photovoltaic Scale)

2003～(最終レポート作成待)

2nd recalibration ～一次基準太陽電池校正国際比較

・モジュール比較測定(c-Si, 薄膜Si, 多接合, CIGS)

2005～2007

4カ国+EU, 9機関

H18以降の予定・課題

1. 新型太陽電池性能評価法開発

高性能／各種新型太陽電池の性能評価技術の開発
モジュール分光感度評価技術，大型モジュール評価技術

2. 可変条件性能評価技術

STC以外の条件における，高精度な屋内性能評価技術

3. 研究成果の有効なアウトプット

標準化・規格化(JIS, IEC)
国際比較(性能評価ラウンドロビン, etc.)，共同研究
外部サンプル性能評価(新型, 高性能, etc.)

太陽光発電の屋外発電量評価

評価・システムチーム
大谷 謙仁

発電量(エネルギー)定格の必要性

- 購入者(個人・団体)のニーズ
 - 経済性と環境貢献度の見通しを明確化
- 多種多様な太陽光発電技術の先導役
- 欧米主導の規格策定の危惧→IEC 61853
 - 国内に一部データの不足(特に分光放射データ)
 - 試験法・換算式の検証
 - データ表の提供
 - 日本未関与による不利益 → 貿易、技術への制約
- 産総研の役割
 - 中立的な立場
 - 一次基準太陽電池を校正する唯一の国内機関
 - 国内最大級の太陽光発電設備を保有・分析

屋内測定および屋外測定と比較

屋内測定法

- ソーラシミュレータによる
- ソーラシミュレータの照度調節および分光放射強度の近似度が肝心
- 再現性が良好 ◎
- わが国のソーラシミュレータ開発における優れた技術蓄積 ◎
- 大面積化が困難 ×
- エネルギー定格法にあたっては、分光放射強度の可変技術 △

屋外測定法

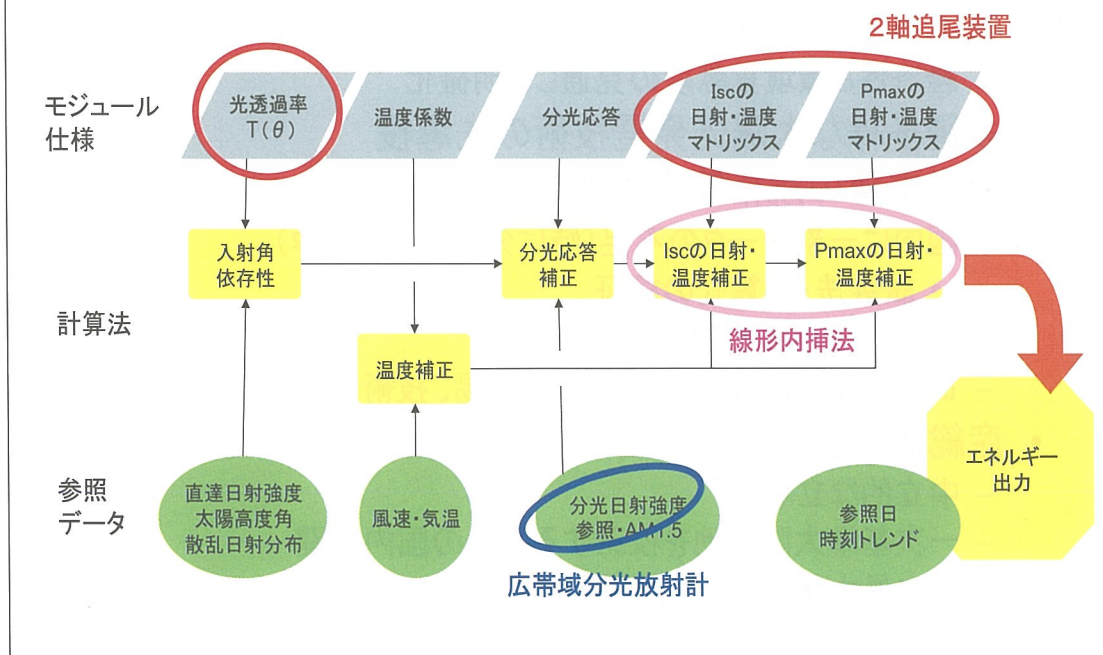
- 太陽光による
- 幅広い日照・温度環境に対応するIV特性の換算式(モデル)
- 再現性の確保が困難 ×
- わが国においては屋外測定のチャンスに恵まれない △
- 大面積化が容易 ◎
- エネルギー定格法にあたっては、分光放射強度の継続的観測(データベース化)

■ 線形内挿法の開発

■ 2軸太陽追尾装置の導入

■ 広帯域分光放射計の導入

発電量定格(表示)のアルゴリズム



開発項目

- 日射・温度の同時分布に基づく換算法
 - 屋外の幅広い気候条件から得られたI-V特性観測値を基に、任意の引き渡し条件(STC等)における発電出力を推定するモデル開発
 - 分光日射データに基づく地域特性反映法
 - 基準スペクトルAM1.5(STC)との対比により、気温・湿度(水蒸気量)等の気候因子を反映した発電出力の推定モデルを開発
 - 地域日射・気候データに基づくエネルギー定格法
 - STCを補完する多モード設定による発電量の推定モデルを開発
- IEC61853「太陽電池モジュールの性能試験及びエネルギー定格(Photovoltaic Module Performance Testing and Energy Rating)」
 - IEC 60891「結晶シリコン系太陽電池のI-V特性計測値の温度および照度補正方法(Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices)」
 - IEC 60904-7 Part 7「太陽電池試験における分光ミスマッチの計算(Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device)」
 - IEC 61829「結晶シリコン系太陽電池のオンサイトアレイ測定法(Crystalline silicon photovoltaic (PV) array-on-site measurements of I-V characteristics)」

Isc, Pmax換算アルゴリズム

仮定1：短絡電流一定の下で、I-V 特性の一定電流値における電圧値は、温度に対し直線的に変化する。

$$V_3(I) = V_1(I) + \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1} \cdot (V_2(I) - V_1(I))$$

仮定2：温度一定の下で、I-V 特性は日射強度(または短絡電流)に比例した光電流の和で表される。

$$I_3(V) = I_1(V) + \frac{I_{sc3} - I_{sc1}}{I_{sc2} - I_{sc1}} \cdot (I_2(V) - I_1(V))$$

ここで、

$I(V)$: I-V 特性

$V(I)$: $I(V)$ の逆関数

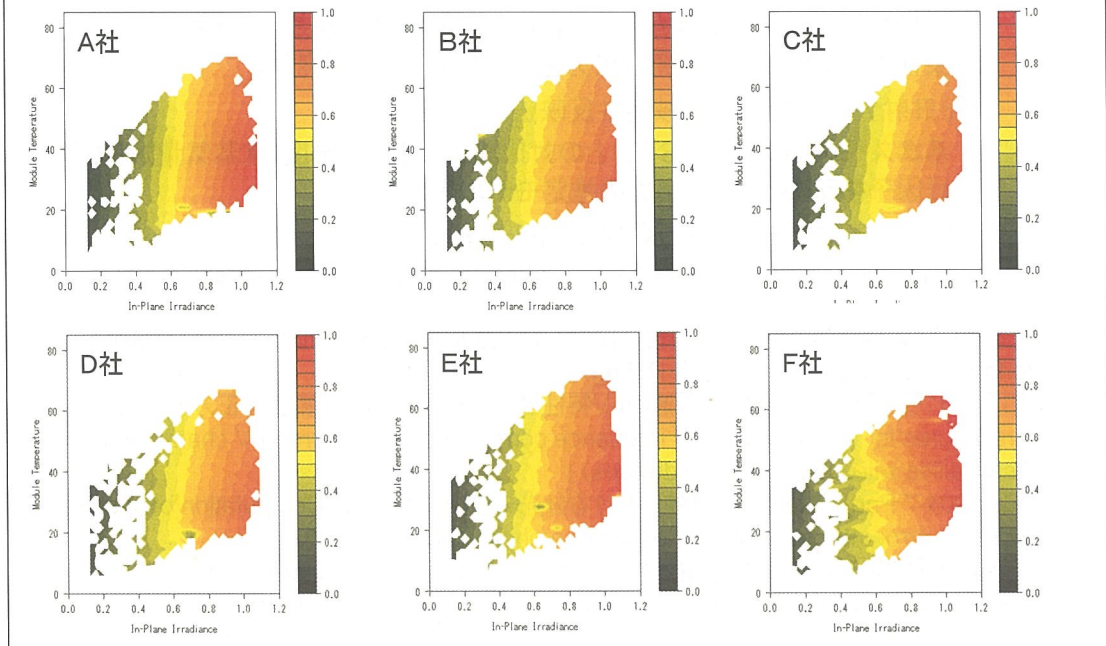
I_{sc} : 短絡電流(または放射照度)

T : 温度

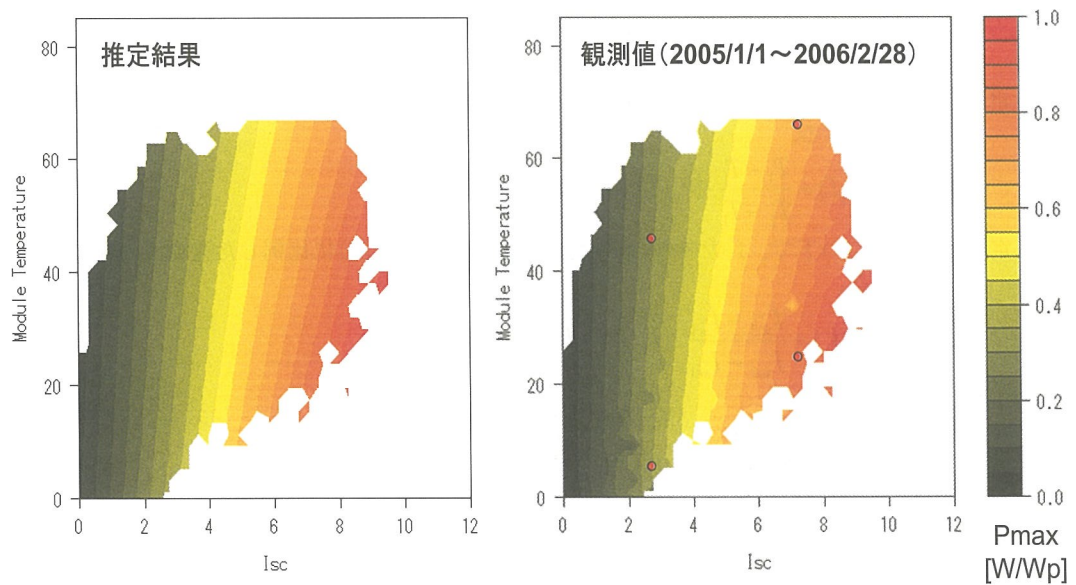
添字 1、2 : 測定値の意

添字 3 : 換算値の意

日射・温度の同時分布によるPmaxの観測値
2004/10/1～2006/2/28（10分間の変動5%以上は除去）

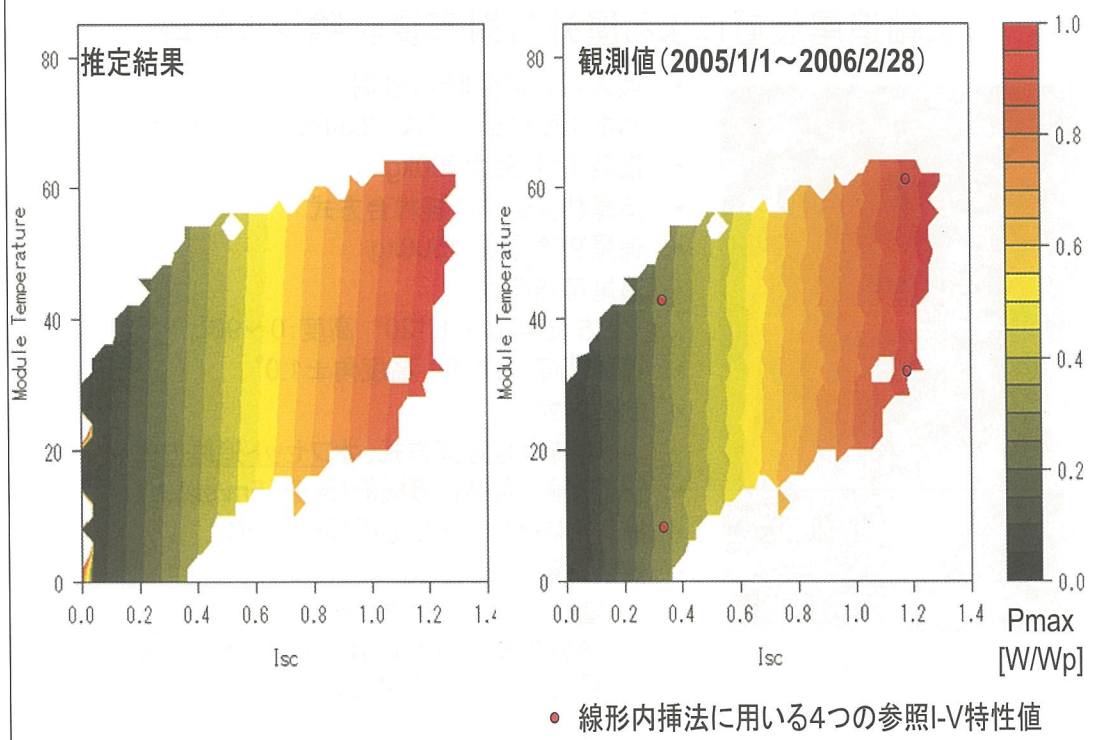


線形内挿法による P_{max} 分布推定結果(多結晶シリコン)

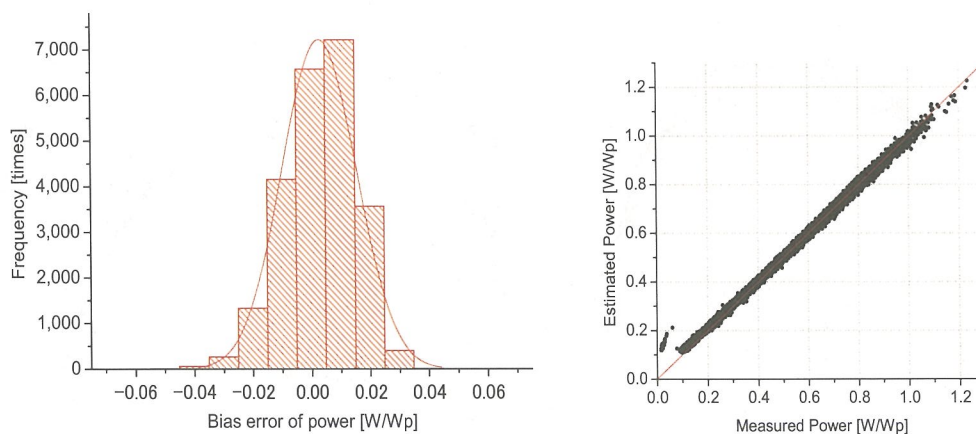


● 線形内挿法に用いる4つの参照I-V特性値

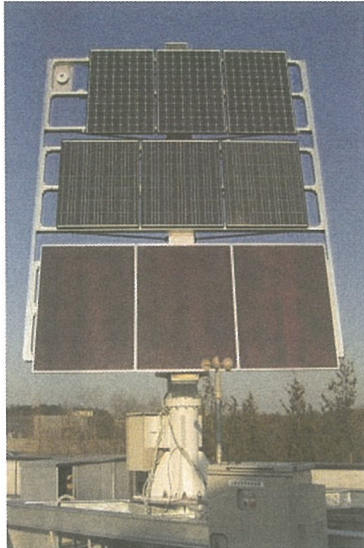
線形内挿法による P_{max} 分布推定結果(アモルファスシリコン)



線形内挿法による P_{max} 分布推定の誤差(アモルファスシリコン)



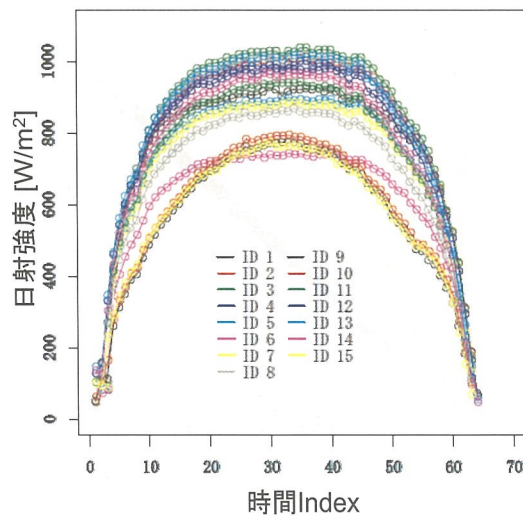
2軸追尾装置による屋外日射可変試験システム



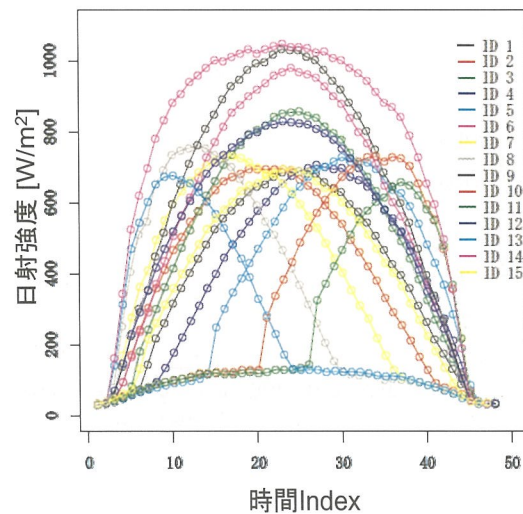
- 最大12枚の同時I-V計測
- パネル取付部サイズ: 3.34m x 3.95m
- 搭載重量: 最大300kg
- 追尾装置タイプ: 経緯台方式
- 追尾装置重量: 1500kg
- 追尾可能範囲:
 - 方位角: 0~±120° 高度: 0~90°
- 追尾精度: 方位角、高度角±1.0°
- 制御方式:
 - 常時太陽追尾方式、オフセット追尾方式
- 安全装置: 自動待機機能(風速15m/s以上)
- 操作: 制御盤および遠隔操作用PC
- 解決可能となったこと
 - 高日射強度条件の機会向上
 - 傾斜角度調整による日射強度変化を用いたIsc可変・Voc一定条件でのI-V計測

屋外日射可変試験システムの追尾動作検証

相対オフセット動作

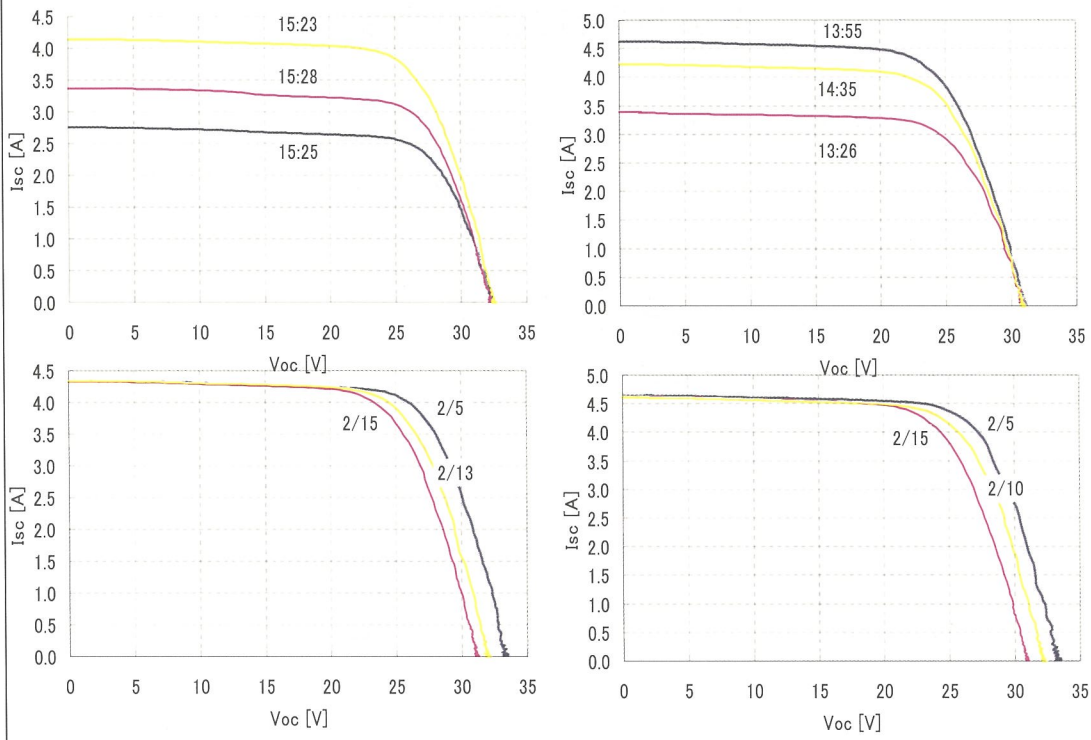


絶対オフセット動作



10~15分を1サイクルとして15モードの方角設定が可能

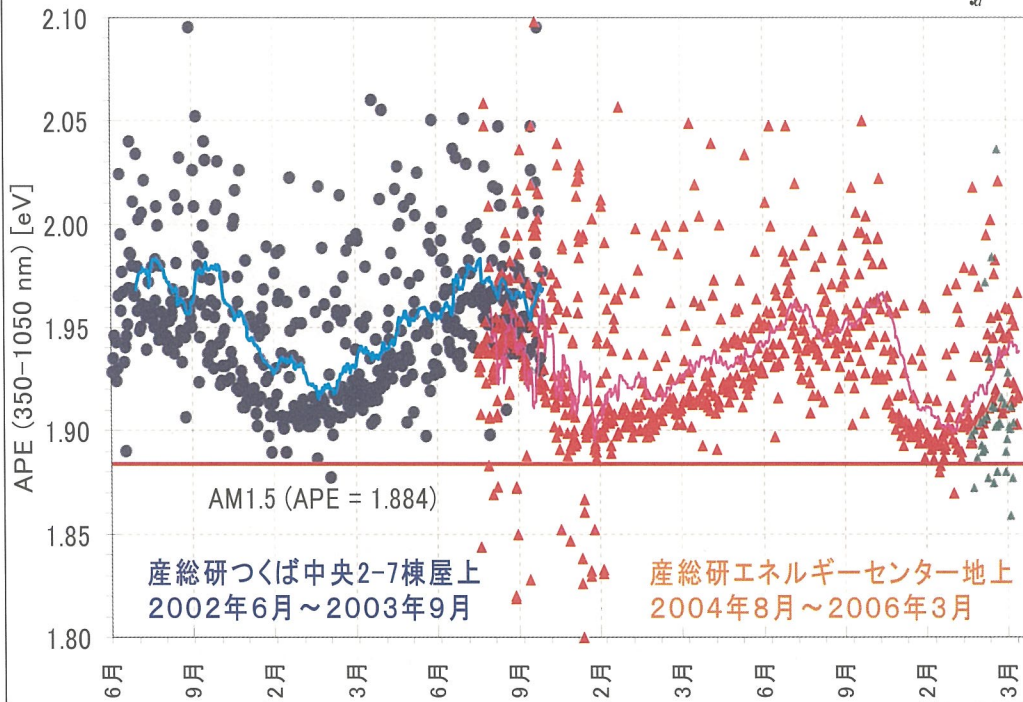
日射強度変化を用いたI-V計測



分光日射観測データの例

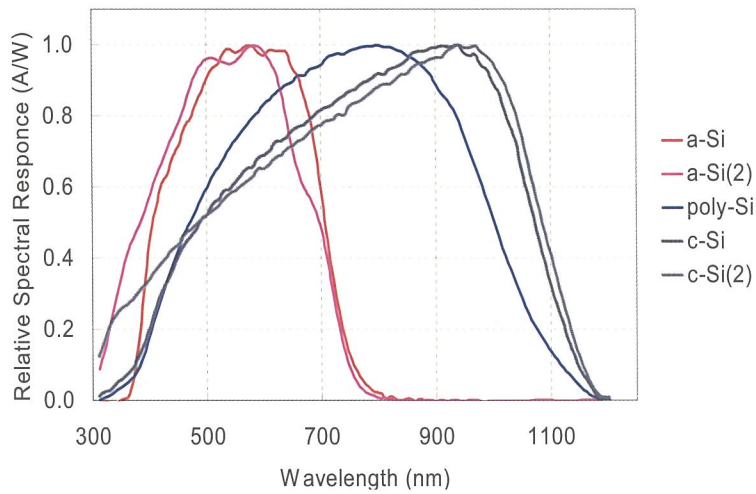
Average Photon Energy

$$APE = \frac{\int_{\lambda} E_i(\lambda) d\lambda}{q_e \cdot \int_{\lambda} \Phi_i(\lambda) d\lambda}$$

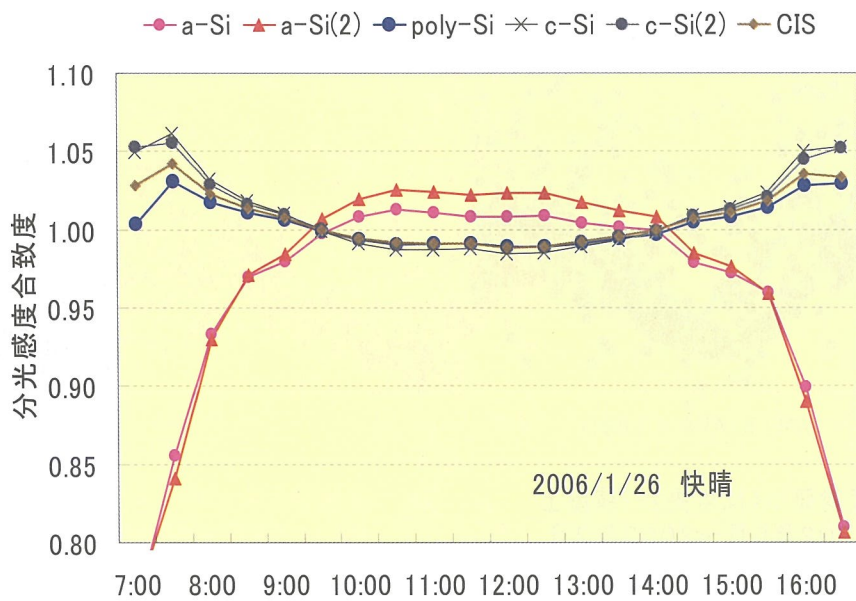


分光日射合致度の定義

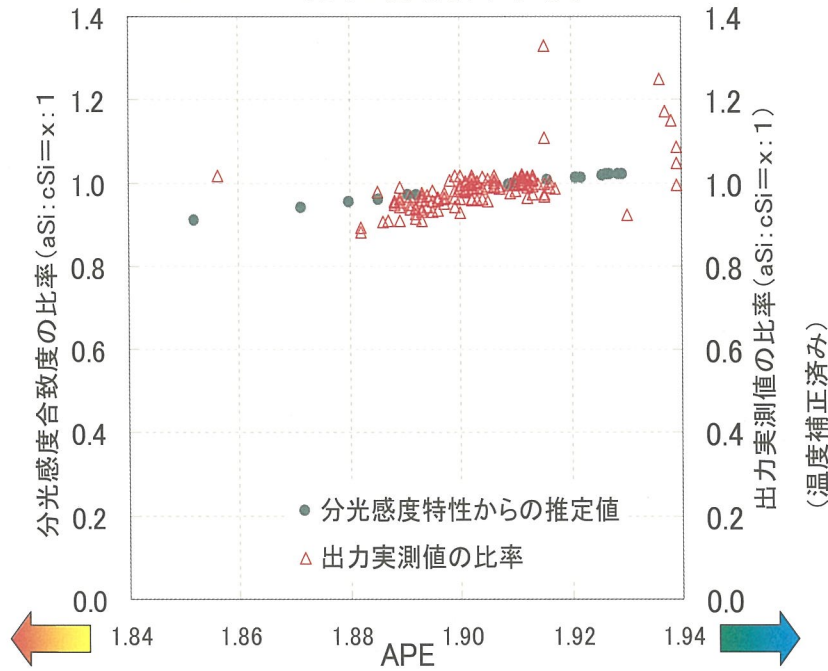
$$\frac{\int SR(T_{\text{mod}}, \lambda) E(j, \lambda) d\lambda}{\int E(j, \lambda) d\lambda} \quad \frac{\int AM1.5(\lambda) d\lambda}{\int SR(T_{\text{mod}}, \lambda) AM1.5(\lambda) d\lambda}$$



各種太陽電池の分光感度合致度



c-Siとa-Siの分光感度合致度の差とAPE



まとめ

- 発電量定格法を確立し、国際標準委員会 (IEC TC82 WG2) に提案するための、アルゴリズム開発、基礎データ取得、計測方式を開発
- I-V特性換算方式として線形内挿法は、屋外計測データにおいても有効な手段
- 分光感度補正は、分光日射強度に基づく変換値 (APE) から推定可能な見通し

太陽電池モジュールのリサイクル技術

評価・システムチーム
土井卓也

背景と最終目標

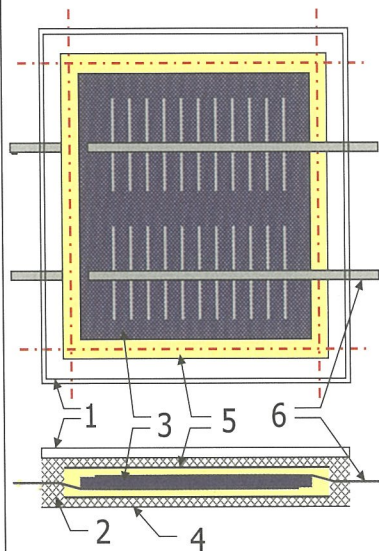
クリーンに廃棄／再利用したい

セルの状態での回収できればコスト的にも有利

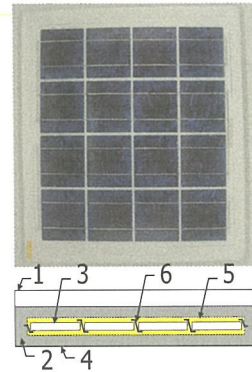
結晶系Siセルの回収

★最終目標： 90%以上の回収率達成、実用規模モジュールへの適用可能性の実証。

二重封止型モジュールの構成



- 1: 表面ガラス
- 2: 封止材=EVA
- 3: 太陽電池セル
- 4: 裏面材
- 5: 非接着シート
- 6: インタコネクタ



Double Encapsulation
Module (DEM)

太陽電池セルの両側に非接着シート

製造時の工程増はわずか

回収時は裏面側から切り代を切削
→非接着シート間のセルを回収可

主な課題と取り組み

1. 効率低下: 追加フィルムにより反射成分の増加
樹脂塗布による効率向上を図る
2. 信頼性: 追加フィルムの影響が懸念
耐候性試験で確認
3. LCA評価のベースとなる基礎データの取得と
計算手順の作成を行う。

どうやって効率を改善するか

セルーフイルム間の光学的なマッチングを改善する。

[1] イマージョンオイル

光学顕微鏡の分野でよく知られているイマージョンオイルを利用。

セル表面にイマージョンオイルを均一に塗布し、組立・モジュール化

[2] 樹脂剤の塗布

フッ素樹脂系ほかのスプレー剤をセル表面に塗布し、組立・モジュール化。



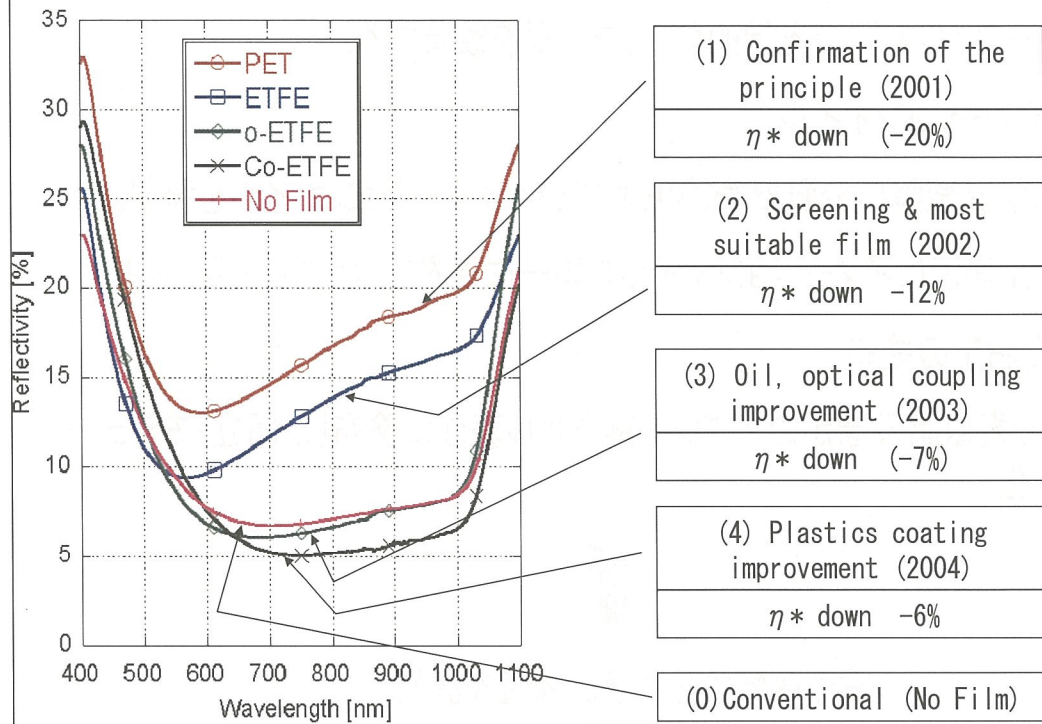
電気的特性と光学的特性を評価

樹脂塗布型 電気的特性

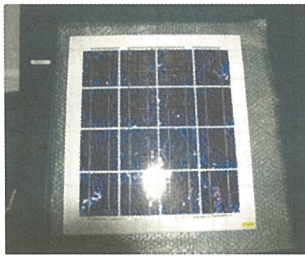
#	Film material	abbrevi- ation	Cell				Module				η^* [%]	ratio [-]
			Isc [mA]	Voc [mV]	F.F. [-]	η in [%]	Isc [mA]	Voc [mV]	F.F. [-]	η in [%]		
1	No Film	No Film	2860	593	0.70	11.8	3048	596	0.70	12.6	12.64	1.000
2	Ethylene	ETFE-3	2884	596	0.70	12.1	2650	596	0.71	11.2	10.95	0.866
3	tetrafluoroethylene	ETFE-1	2868	594	0.69	11.8	2636	595	0.69	10.9	10.88	0.861
4	Fluorinated ethylene propylene copolymer	FEP	2892	590	0.71	12.1	2672	592	0.72	11.3	11.02	0.872
5	Tetrafluoroethylene perfluoroalkoxy vinyl ether copolymer	PFA	2873	591	0.71	12.0	2669	592	0.71	11.3	11.09	0.877
6	COAT + Ethylene tetrafluoroethylene copolymer palastics	COAT 02	2810	583	0.74	12.2	2921	576	0.71	11.9	11.52	0.912
7		COAT 06	2780	581	0.75	12.1	2962	575	0.71	12.1	11.83	0.936
8		COAT 07	2807	584	0.75	12.3	2991	577	0.71	12.3	11.73	0.928
9		COAT 09	2801	583	0.74	12.1	2981	577	0.70	12.1	11.77	0.931

光学的接触条件の改良により、効率向上を図ることができた。対従来型比効率88%→94%。

樹脂塗布型 光学的特性



モジュールの解体手順

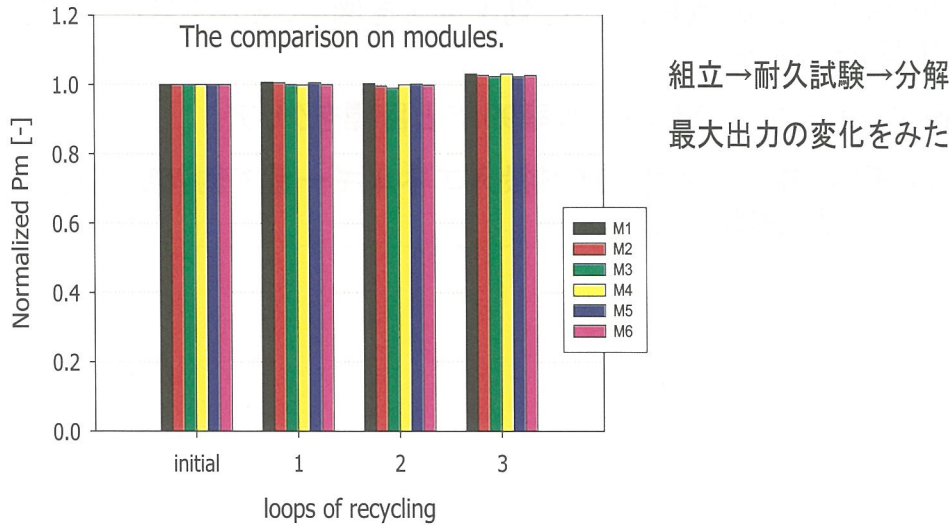


表側からカット位置を決める。裏からカット。



溶着部を離し、セル下に紙を入れ分離を確認。

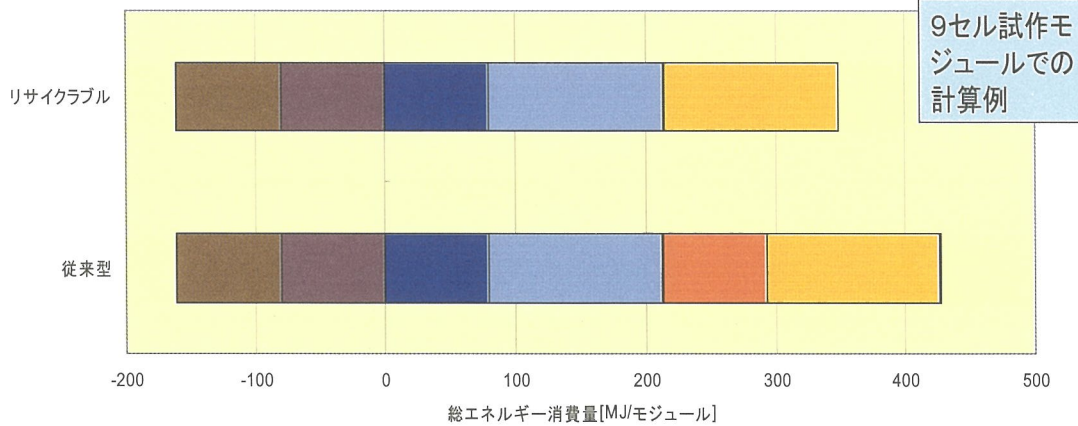
くり返しリサイクルの結果



規格化した最大出力がほぼ 1 → 良い耐候性

LCA評価 結果

投入エネルギー量の分析結果 (リサイクル工程の投入量(マイナス)を負の値にて表記)



リサイクラブルモジュールのライフサイクルにおける投入エネルギー量は、従来型結晶Siモジュールの約70%と小さく、多結晶Siセルの再利用による効果が大きい。

まとめ

- ・光学的接触条件の改良により、効率向上を図ることができた。対従来型比効率88%→94%。
- ・16直モジュールでのセル回収率99.7%と目標をクリア。
- ・LCA評価を実施。従来型に比べ投入エネルギー量で約70%(試作モジュール)と効果を確認した。

結晶シリコンモジュールにおける複合加速劣化

評価・システムチーム
土井卓也

目的・目標

目的
結晶系太陽電池モジュールの長期的な信頼性評価を行う。

最終目標(平成17年度末)
太陽電池モジュールの長期信頼性に関する実用的な評価手法を開発する。
100倍以上の加速係数を実現する複合加速劣化試験方法を開発する。

プロジェクトの成果

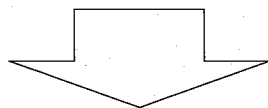
★複合劣化試験を行うための装置を作った。

★加速係数190倍を達成した。

背景

・寿命は何年？ 10年？ 20年？ 30年？

・長寿命 → 長時間の試験



加速試験

複合加速

・光

・温度

・湿度etc.

複合劣化試験装置の仕様

項目	仕様・性能
試験温度範囲(光照射なし)	-40~+90°C
試験温度範囲(光照射3SUN以下)	+50~+90°C
試験槽内湿度(光照射なし, 室温以上)	最大RH 85±5%
最大光照射強度	3sun
光照射強度の時間むら	10%以下
光照射強度の場所むら	±15%以内
最大試料寸法	1218H×445W 3枚
注水機能	あり
サイクル試験1	JIS C8917 対応
サイクル試験2	IEC 61215対応

複合加速劣化試験装置



劣化試験の加速係数

(光照射ストレス 及び温度ストレスが加わる加速係数 α_T)

複合加速係数

$$\alpha_T = L_n/L = (P/P_n)^{K_h} \exp\left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)\right] - \textcircled{1}$$

温度ストレス

$$E_a/k = [\ln(L_2) - \ln(L_1)] / \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right] - \textcircled{2}$$

光照射ストレス

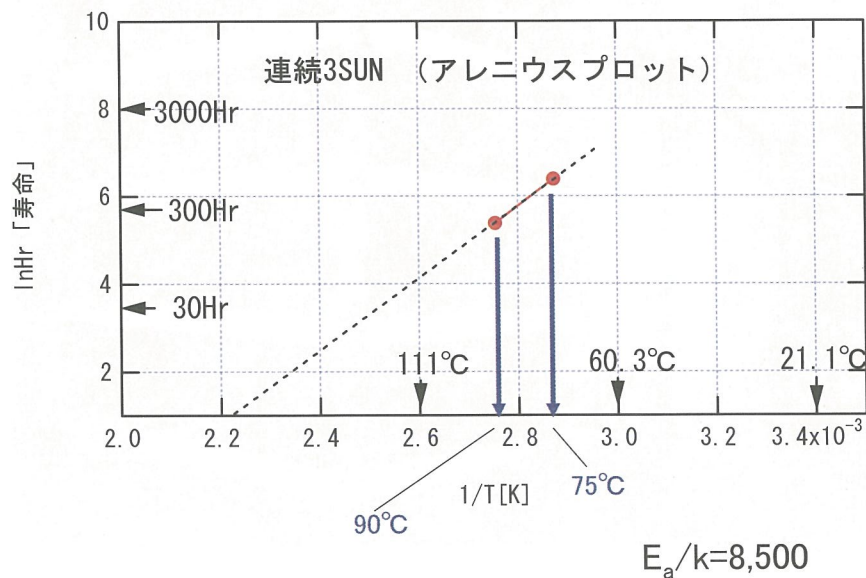
$$K_h = \ln(H_n/H) / \ln[(P/P_n)] - \textcircled{3}$$

E_a : 活性化エネルギー (eV)、 k : ボルツマン定数、 T : 絶対温度 (K)、
 H : 時間

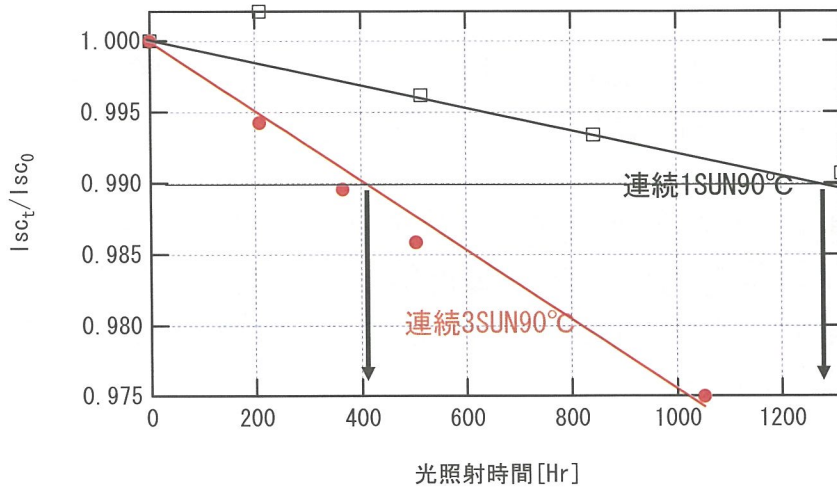
EIAJ EDR-4704 半導体デバイスの加速寿命試験運用ガイドライン

劣化試験の加速係数

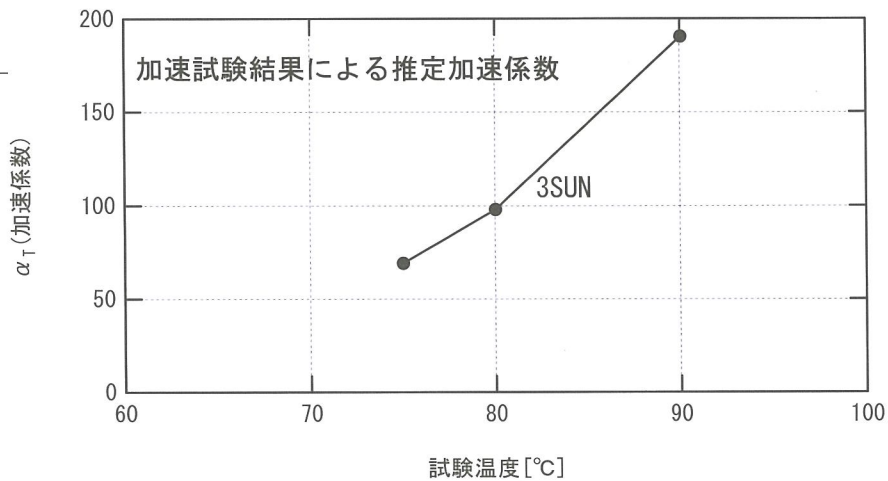
(活性化エネルギー②の算出)



連続光照射の劣化試験 (照射強度と劣化特性:③の算出)



劣化試験の加速係数 (加速係数の推定)



計算例 (3SUN90°C加速の場合)

・東京の(日)平均積算日射量とその平均温度: $3.6 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} / \text{日}$ 、 60°C

・3SUN加速試験の(日)照射量: $3.0 \times 24 \text{ kWhm}^{-2} / \text{日} = 72 \text{ kWhm}^{-2} / \text{日}$

$\alpha_T = 190.3$ (光劣化: 22.8、温度劣化: 8.33)

ま と め

1. 複合劣化試験装置の試作を行い、加速試験法の研究に利用可能な装置として完成した。
2. 放射照度依存性(2値)と温度条件依存性(2値)の加速試験を行い、その解析結果から放射照度3SUN、温度90°Cの加速試験条件で大凡200倍の加速係数を割り出した。

産学連携

産総研における 産学官連携コンソーシアム

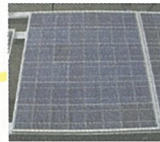
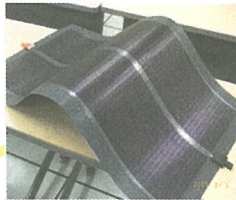
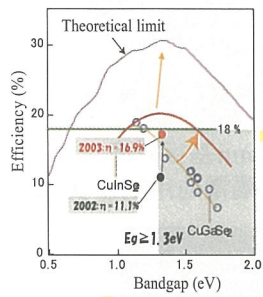
産業化戦略チーム 増田 淳

太陽光発電研究センターの組織

シリコン新材料チーム 結晶シリコンチーム

ニーズ

化合物薄膜チーム



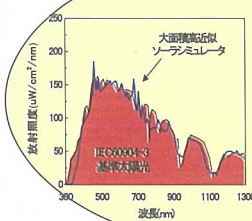
産業化戦略
チーム

有機薄膜チーム



ニーズ

評価・システムチーム



基盤技術



産業化戦略チームのミッション

各種太陽電池に関する試作ラインを構築し、
産学官連携体制で、新規要素技術の実用化
可能性を検証する。

産学官連携体制→コンソーシアム共同研究

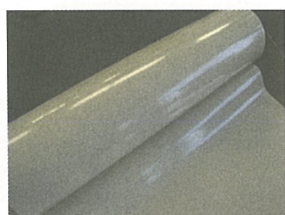
平成16～17年度 太陽光発電研究センターに試作ラインを構築



150 mm角結晶シリコン
太陽電池用試作ライン



300 mm × 400 mm基板対応
薄膜シリコン太陽電池用試作ライン



フレキシブル基板利用技術

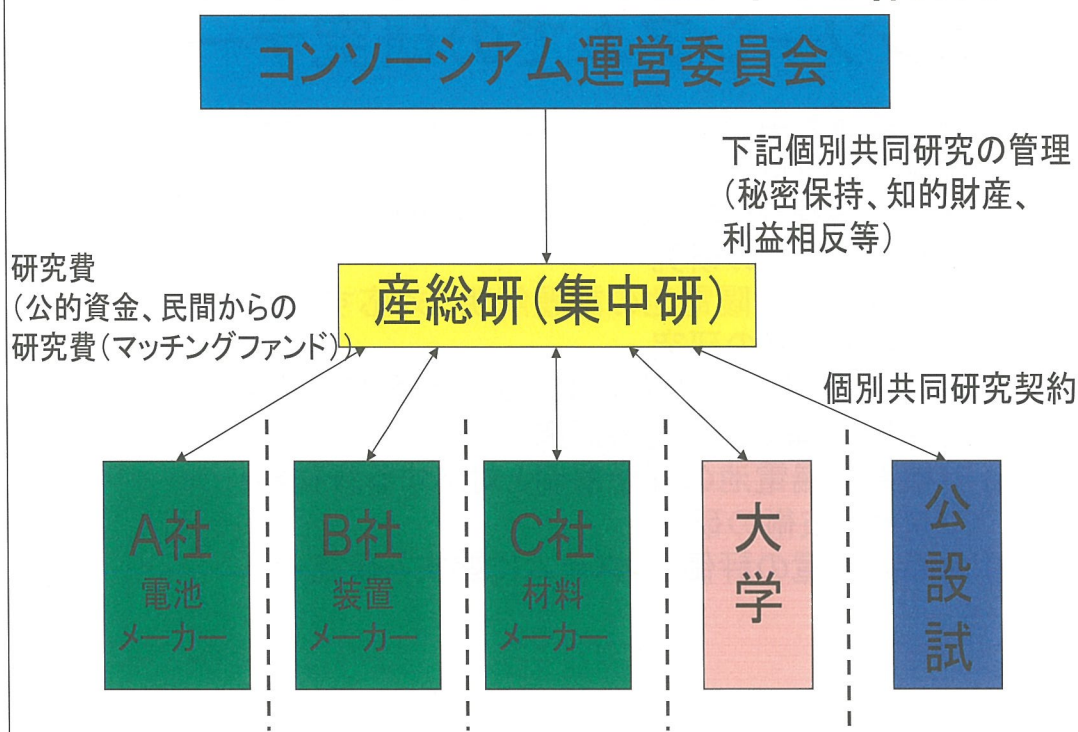


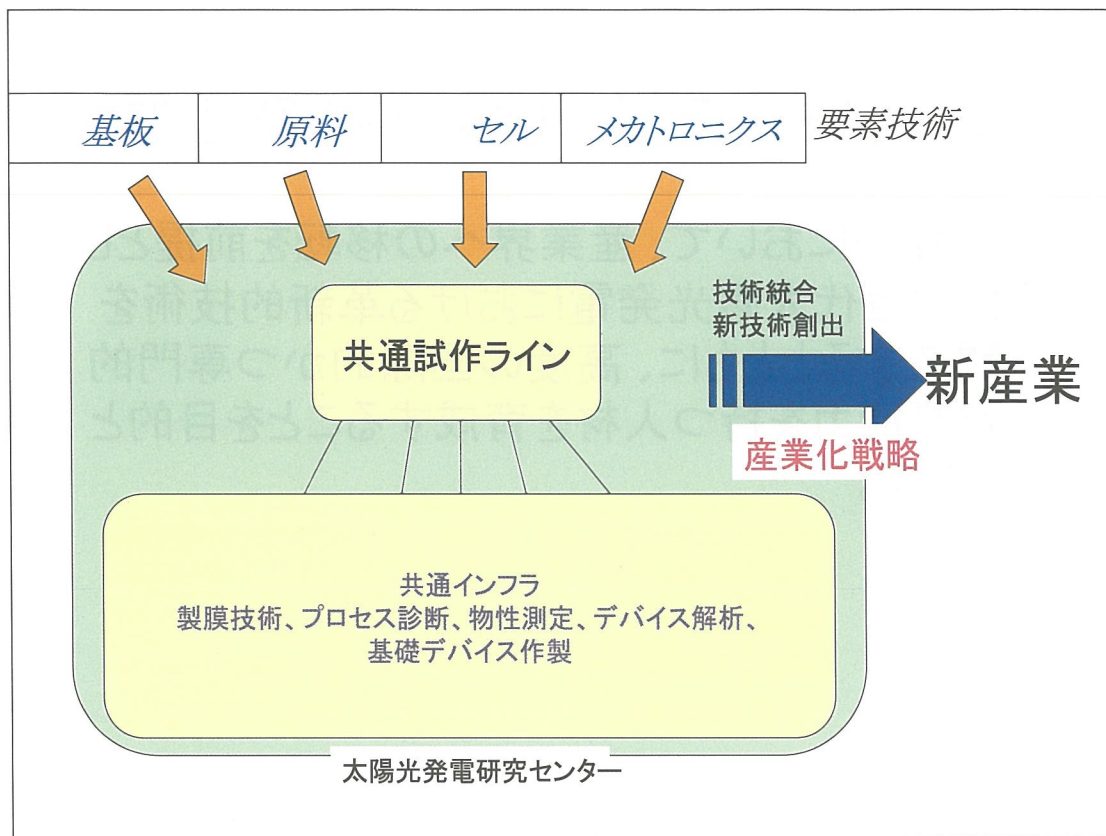
薄膜シリコン高速大面積製膜技術
2 mサイズ長尺プラズマCVD装置

コンソーシアム共同研究の目的

産総研において、産業界への移転を前提とした次世代太陽光発電における革新的技術を開発するとともに、高度の国際的かつ専門的職業能力を持つ人材を育成することを目的とします。

コンソーシアムの基本的構成



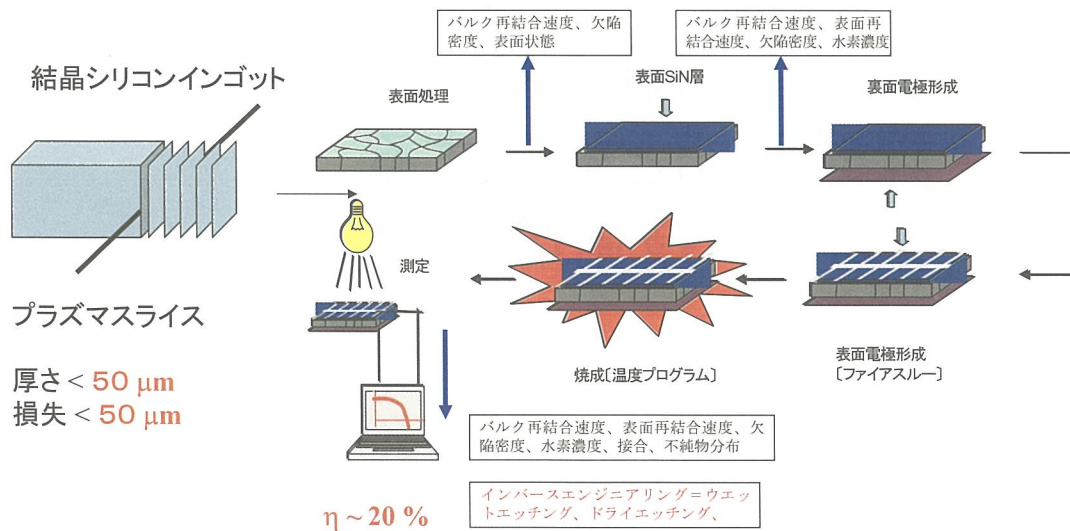


コンソーシアムでの研究テーマ

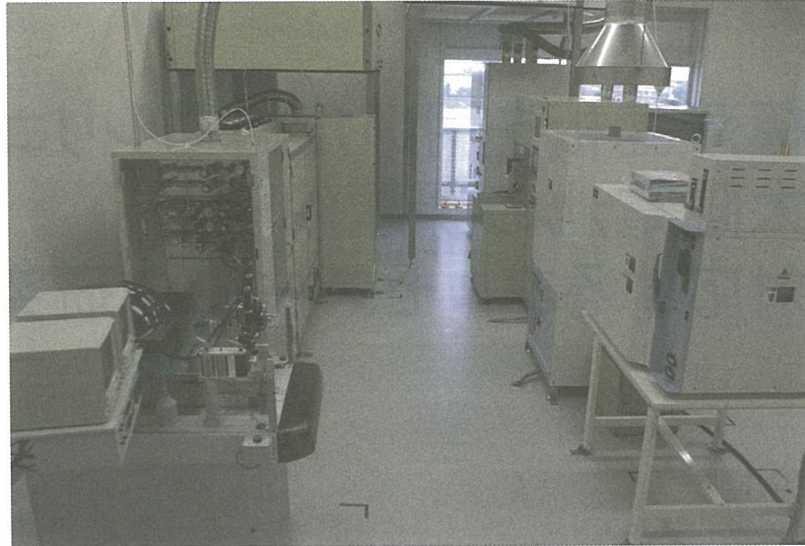
- 1) 極薄基板を用いた結晶シリコン太陽電池の課題解明と対応するプロセス技術の研究
- 2) 多接合薄膜シリコン太陽電池の課題解明と対応するプロセス技術の研究
- 3) 化合物薄膜太陽電池の課題解明と対応する新材料・プロセス技術の研究
- 4) 高効率フレキシブル太陽電池の課題解明と対応する新材料・プロセス技術の研究
- 5) 有機系太陽電池の課題解明と対応する新材料・プロセス技術の研究
- 6) 太陽光発電の評価、システムに関する研究

1) 極薄基板を用いた結晶シリコン太陽電池の課題解明と対応するプロセス技術の研究

低コスト・高効率結晶シリコン太陽電池製造プロセス

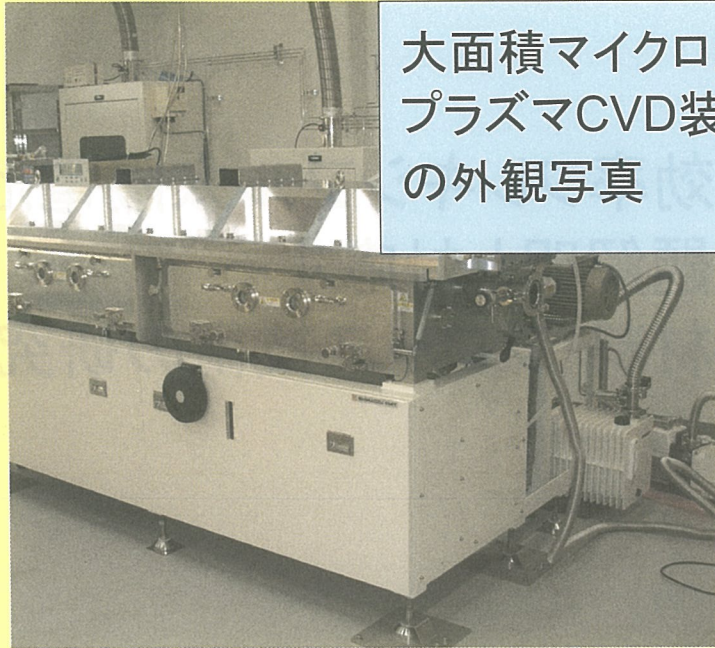


結晶シリコン太陽電池用試作ライン



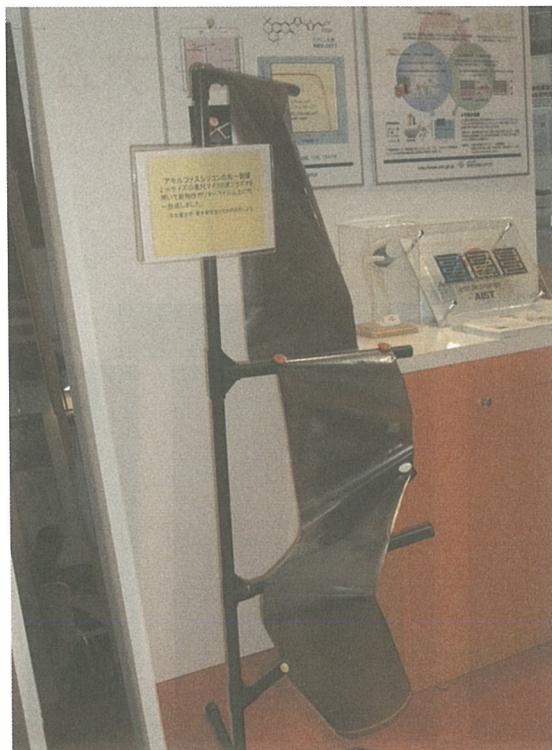
POCl₃ 縦型拡散炉、横型ウエット酸化炉、SiN_xプラズマ CVD装置、スクリーン印刷装置、電極焼成用ランプ炉

2) 多接合薄膜シリコン太陽電池の 課題解明と対応する プロセス技術の研究



大面積マイクロ波
プラズマCVD装置
の外観写真

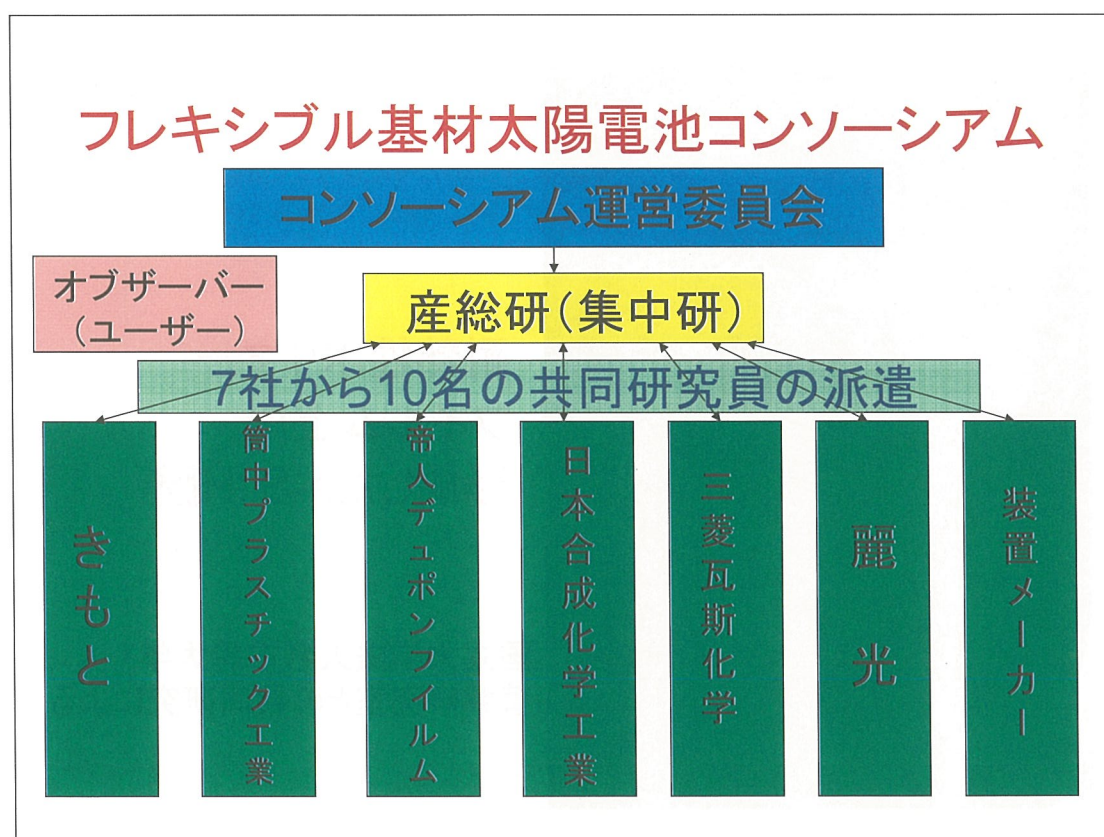
国立大学法人名古屋大学・菅井研究室との共同研究による



耐熱性ポリマー
フィルム上に
形成したa-Si:H膜

国立大学法人名古屋大学・
菅井研究室との共同研究による

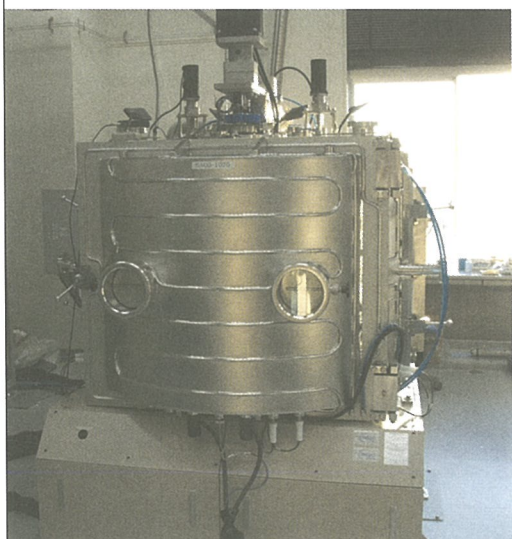
3) 高効率フレキシブル太陽電池の 課題解明と対応する 新材料・プロセス技術の研究



コンソーシアムの目的と研究内容

フレキシブル太陽電池用基材を開発することを目的に、ポリマーフィルム上に、高品質の酸化物透明導電膜、水蒸気バリア膜を低温形成するための研究開発を実施。

酸化物透明電極材料の形成



スパッタ装置(高周波ならびに直流)
4元ターゲット
30cm×40cm基板まで対応
基板回転機構

まとめ

- 産業技術総合研究所・太陽光発電研究センターにおける、産学官連携共同研究ならびに試作ラインに関して紹介した。
- 本年6月1日に、民間企業7社とともに、「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」を設立した。

特別講演

未来に広がる太陽光発電産業

株式会社資源総合システム

代表取締役 一木 修

TEL : 03-3551-6345

FAX : 03-3553-8954

E-mail : ikki@rts-pv.com

太陽光発電システム導入拡大の動きは日独米を核にして、全世界に広まり始めている。2005年をめぐると太陽光発電マーケットは、太陽電池世界生産量で1GWを突破した2004年をそのまま受け継ぎ、2GW目前のところまでできている。その結果、深刻な太陽電池用シリコン原料不足も引き起こしているが、薄膜太陽電池の生産も本格化し、世界の太陽光発電マーケットは、各国政府や地方自治体による積極的な普及施策及び普及支援体制の継続・強化と太陽光発電産業界によるたゆまぬコストダウンへの努力とマーケット開拓の相乗効果により、記録的な成長が続いている。

日本では、住宅用太陽光発電システムの普及施策が施行されてから12年が経過し、この事業による住宅への累積導入件数は25万件、累積導入発電能力で95万kWとなった。住宅用太陽光発電システムマーケットは日本の太陽光発電システム需要拡大の原動力となってきたが、今後は自立への道を歩むことになる。一方、太陽光発電新技術等フィールドテスト事業においては、普及施策の軸足を住宅から、公共・産業施設用の太陽光発電システムに移したことから、導入件数は、2005年度は574件、計23,960kWとなり、大幅な伸びとなった。日本の太陽電池メーカーは、生産能力の増強、コストダウン、性能向上、商品の品揃え、海外進出を積極的に進めており、日本は世界における太陽光発電システム普及の中心的役割を担い、太陽光発電マーケットを牽引している。

世界においては、欧米各国政府が太陽光発電システムに関する普及施策を打ち出している。特に、ドイツにおける再生可能エネルギー法（EEG）の改定に伴う太陽光発電システムからの電力購入価格（フィードイン・タリフ）の引き上げは、ドイツ国内に爆発的な導入拡大をもたらし、日本の年間導入量をしのぐ大型普及促進制度として大きなインパクトを与えている。この制度は、スペイン、ポルトガル、イタリアなど、その他のヨーロッパ諸国にも波及し始めており、さらなる広がりが期待されている。アメリカでは、ブッシュ大統領主導による「先端エネルギー計画」の一環として、太陽光発電産業の活性化を図る「ソーラー・アメリカ計画」が始動している。途上国においても太陽光発電システムの導入を国家計画として打ち出す国も相次いでおり、途上国での太陽電池生産も活発化している。

このような状況下で、日本は2030年という長期的視野に立って、エネルギーに関する重要な国家戦略となる「新・国家エネルギー戦略」を発表している。この新戦略には、新エネルギーイノベーション計画が柱の一つとして含まれており、太陽光発電産業の発展を後押しするものとなっている。京都議定書の発効と原油価格の高騰も“追い風”となり太陽光発電システムの導入拡大は新たな段階を迎えている。

本講演では、太陽光発電産業に焦点を当て、太陽光発電産業の現状と将来を展望する。