

# ポスターセッション



2007年 産総研・太陽光発電研究センター 成果報告会

内部光電子放出法による太陽電池用ヘテロ接合評価

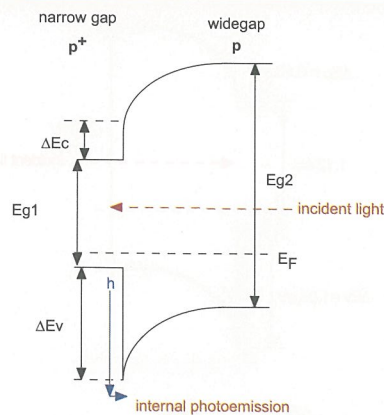
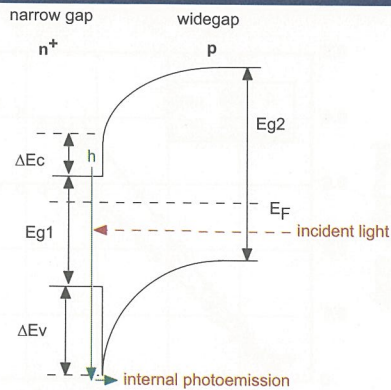
産総研・太陽光発電研究センター・結晶シリコンチーム 坂田 功

ヘテロ接合のバンド不連続

- ・基礎的な物性パラメータ
- ・太陽電池設計上でも重要:  
開放電圧、界面再結合速度(ヘテロエミッタ、BSF)  
キャリア増倍による光電流向上

内部光電子放出 (internal photoemission:IPE) 法による評価

- ・実際のデバイスに近い試料構造
- ・測定系が単純(大気中、多くの場合は室温)で、解析における仮定も少ない
- ・エネルギー分解能が高い(0.01eV)
- ・CV法、IV法に比べ界面欠陥の影響を受けにくい



IPE:internal photoemission

Kane:1962, Forrest and Kim:1981

ヘテロ界面近傍のnarrowgap側で励起された  
キャリアがwidegap側に放出され収集される  
↓  
光電流スペクトルの解析からバンド不連続を決定

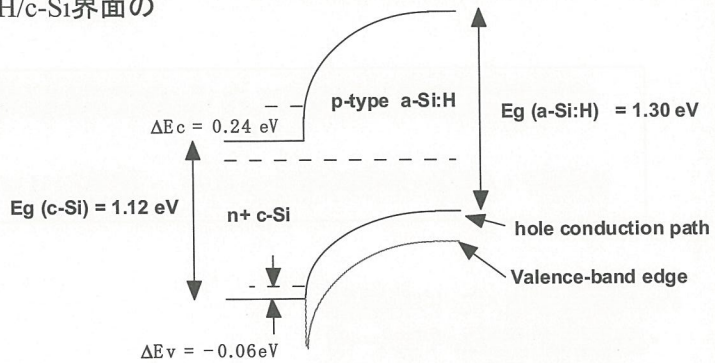
二通りのキャリア励起(上図)

界面でのトンネル現象の寄与  
↓  
IPEの閾値は印加バイアス依  
存性で確認  
↓  
順バイアス印加で対応

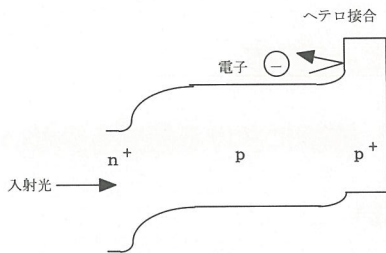


IPEで決定したボロドーパa-Si:H/c-Si界面のバンド不連続

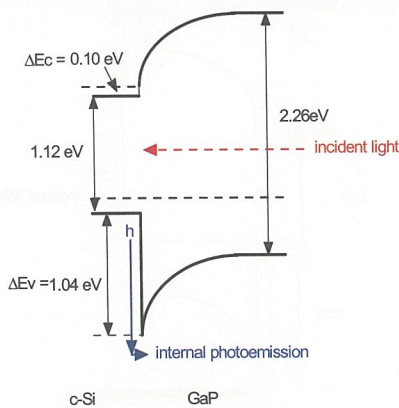
価電子帯側のバンド不連続 $\Delta E_v$ がきわめて小さいことが判明



n+ (c-Si) / p (c-Si) / p+ (a-Si:H) 太陽電池



n+ 結晶シリコン / p型結晶シリコン/ボロドーパp型シリコン太陽電池で確認されている、裏面p型層をa-Si:Hにしたときの裏面再結合速度の低減の1つの理由は、ヘテロ接合での電子のブロッキング

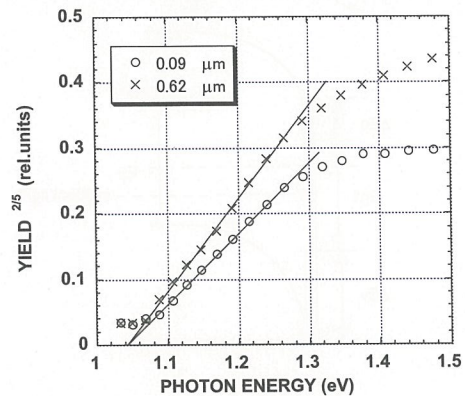


IPEの閾値は1.04eV: 価電子帯側のバンド不連続 $\Delta E_v$ に相当 (p型GaP/p型Si接合なので)

従来の報告との比較

$\Delta E_c = 0.34\text{eV}$ ,  $\Delta E_v = 0.80\text{eV}$ ,  
Perfetti et al., 1984

GaP基板にSi 極薄膜(4nm以下)を電子ビーム蒸着で形成、XPSで測定



GaPの膜厚によらない→ GaP/Siヘテロ接合の $\Delta E_v$ は、GaP膜中の歪みには依存しない (0.09 $\mu\text{m}$ では歪みあり←XRD)



太陽光発電研究センター 2007 成果報告会

「GaPNの窒素組成制御」

産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター

結晶シリコンチーム 川浪 仁志

報告内容

1. なぜGaPN?
2. 窒素組成の求め方
3. MBE成長GaP<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>膜の窒素組成の基板温度依存性

GaPN

- ・Siに格子整合する、ワイドバンドギャップ半導体(図1)。
- ・結晶Si太陽電池と化合物ワイドギャップ太陽電池の2層タンデム型太陽電池で超高効率太陽電池(図2)

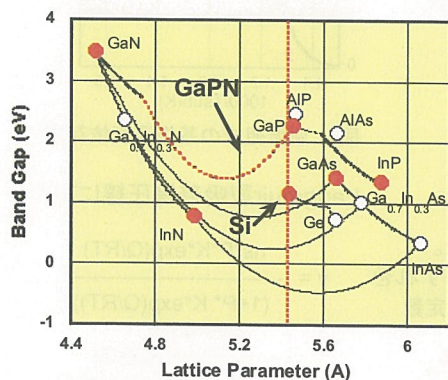


図1 III-V-N系半導体の格子定数とバンドギャップ

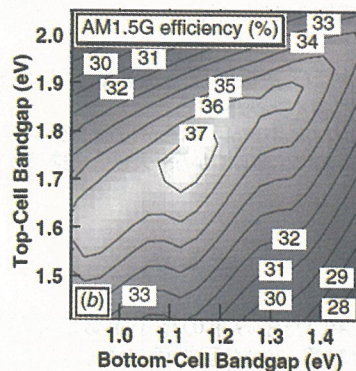


図2 2接合太陽電池の二つの接合のバンドギャップの組合わせと理論最高効率。GaPN(バンドギャップ1.9eV)とSi(バンドギャップ1.1eV)の組み合わせでも30%以上の効率が期待できる。



## GaPNの窒素組成の評価法

### GaPN膜の窒素組成

- ・XRDロッキングカーブで膜の格子定数から評価。
- ・膜は歪んで変形しているので、基板と膜の回折面が平行とは限らない(図1)。
- ・{115}回折面の $\omega$ -2 $\theta/\omega$ マップの $\delta(\phi)$ から膜の歪みが、 $\delta(2\theta)$ から膜の格子定数が算出できる(図2)。

### GaP/Siで検証

- ・GaP(0.09, 0.6 $\mu$ m)/Siで膜の格子変形を評価した。
- ・{115}回折面の $\omega$ -2 $\theta/\omega$ マップ評価(▲)と、{004}シングルスキャン+{115}マップの組み合わせ(●)を比較した。
- ・{115}マップだけから評価(▲)した方がばらつきが少ない。
- ・薄い(0.09 $\mu$ m)膜は大きく歪んでいるが、厚い(0.6 $\mu$ m)膜はほぼリラクセスしている(図3)。

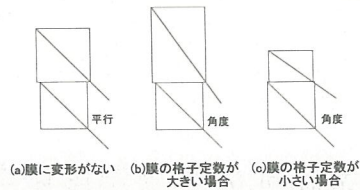


図1 膜が歪むと基板と膜の回折面が平行にならない

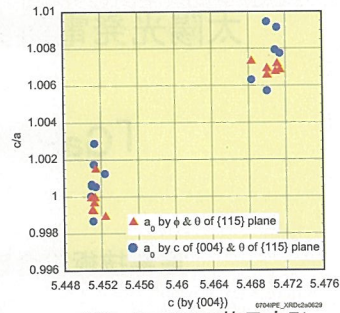


図3 GaP/Siの格子変形

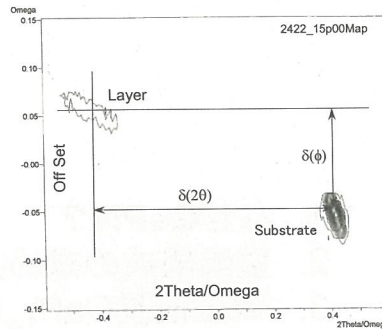


図2 {115}回折面の $\omega$ -2 $\theta/\omega$ マップ例

## GaPN/GaPの窒素組成の基板温度依存性

- ・GaPN/GaPの窒素組成の基板温度依存性を調べた

MBE; RF-200W, N2-0.1sccm

- ・窒素組成は{115}回折面の $\omega$ -2 $\theta/\omega$ マップで評価した。

### 結果

- ・組成値はほぼ基板温度で決まり、ラングミュア型吸着等圧線に良くフィットする。
- ・吸着熱の92 (kcal $\cdot$ mol $^{-1}$ )はGaNのエンタルピー-33.04 (kcal $\cdot$ mol $^{-1}$ )に比較してかなり大きく、検討が必要。

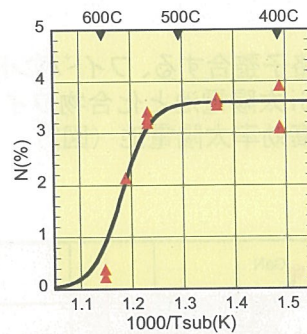


図1 窒素組成の基板温度依存性

### まとめ

- ・XRDを用いた歪み系の格子定数決定法を検討した。その結果、{004}回折面スキャンで膜と基板の軸ずれを決定し、{115}回折面の $\omega$ -2 $\theta/\omega$ マップから、膜の格子定数を決定する方法を用いることとした。
- ・GaPN/GaPの窒素組成の基板温度依存性を調べた。基板温度で決まりラングミュア型 吸着等圧線に良くフィットするが、吸着熱など検討が必要である。

### Langmuir型吸着等圧線にフィット

$$v = \frac{ns \cdot P \cdot K \cdot \exp(Q/RT)}{(1 + P \cdot K \cdot \exp(Q/RT))}$$

$ns = 3.74$   
 $P \cdot K = 1.36E-24$   
 $Q = 92 \text{ (kcal} \cdot \text{mol}^{-1})$



## 結晶シリコン太陽電池試作プロセスの現状

結晶シリコンチーム

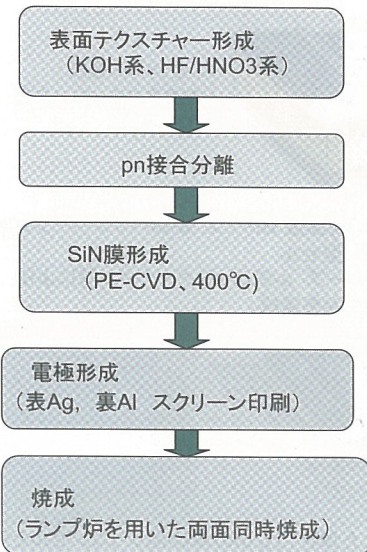
高遠秀尚

### 概要

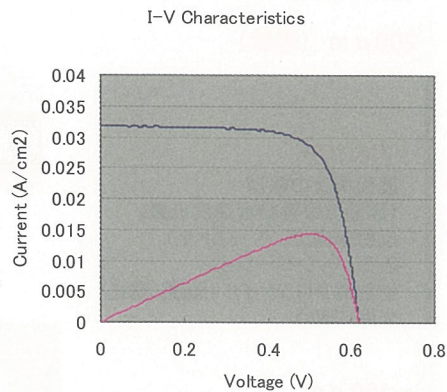
- 1) 結晶シリコン太陽電池試作の現状
- 2) 新しいプロセスへの取り組み
- 3) 薄型化に向けた新しいセル構造作製への取り組み

## 結晶シリコン太陽電池試作の現状

### 標準的なセル試作工程



### 試作セルの特性例



Voc 0.617 V	面積 5.52 cm <sup>2</sup>
Jsc 31.8 mA/cm <sup>2</sup>	厚さ 200 μm
FF 0.73	表面テクスチャーなし
Eff 14.4%	

## 新しいプロセスへの取り組み

### プラズマレスドライエッチングの検討

エッチングガス:  $\text{XeF}_2$ ,  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{Cl}_2$

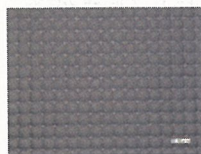
- ・等性エッチング  
 $\text{Si} + 2\text{XeF}_2 \rightarrow 2\text{Xe} + \text{SiF}_4$
- ・低ダメージ
- ・面方位に依存しないエッチング (多結晶シリコン基板に適用)

#### 1) 表面テクスチャー形成

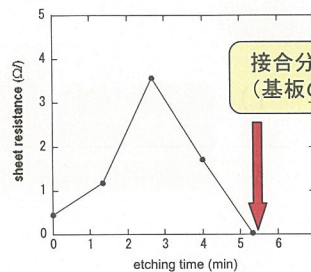
ランダムテクスチャー (単結晶)



$\text{XeF}_2$ +mask による形状制御された表面テクスチャー構造の形成 (単結晶)



#### 2) PN接合分離



接合分離に適用可能 (基板の比抵抗)

基板裏面側のシート抵抗の変化

## 薄型化に向けた新しいセル構造作製への取り組み

### 基板の厚さ

200 μm (現状)

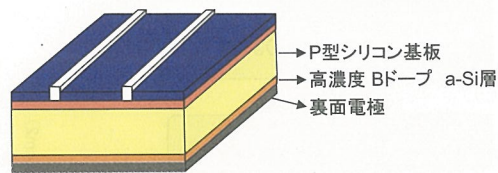
~150 μm

裏面構造の検討 (裏面での再結合速度低減、反射率向上、ペースト?)  
 表面パッシベーション  
 拡散層プロファイル(濃度、深さ)  
 光閉じ込め

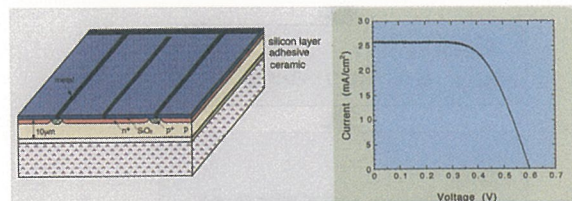
~100 μm

シリコン基板+支持基板  
 構造のセルの検討

### 開発中のセル構造



- ・裏面側に、高濃度 Bドーブ a-Siパッシベーション層を有する薄型セル
- ・高濃度 Bドーブ a-Siパッシベーション層により、 $S < 100 \text{ cm}^2/\text{s}$ を達成。



当チームで試作した厚さ10 μmの単結晶シリコンセルとその特性支持基板として、高拡散反射率セラミック基板を使用。

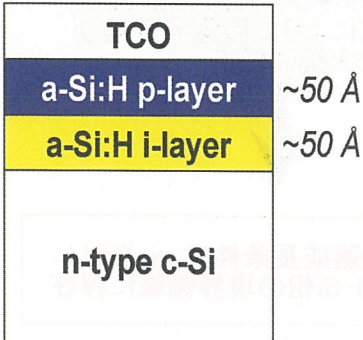


# a-Si:H/c-Siヘテロ接合型太陽電池の界面構造と太陽電池特性

シリコン新材料チーム 藤原裕之

## 研究背景

a-Si:H/c-Siヘテロ接合



a-Si:H/c-Siヘテロ接合型太陽電池

a-Si:H層によりp-i-n構造

- 1) 高変換効率
- 2) 低プロセス温度
- 3) 低い温度係数

ヘテロ構造およびヘテロ界面特性は不明

a-Si:Hヘテロ構造→実時間プロセス観察

原子レベルでのデバイス構造の解明による高効率化

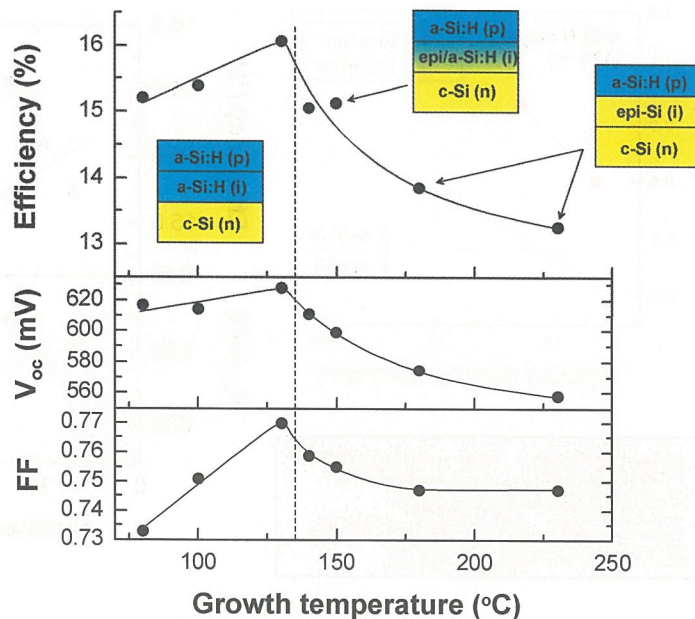
## 実時間観測によるプロセス評価

分光エリプソメトリーにより界面構造を評価

高プロセス温度でエピタキシャル成長が起こることを発見

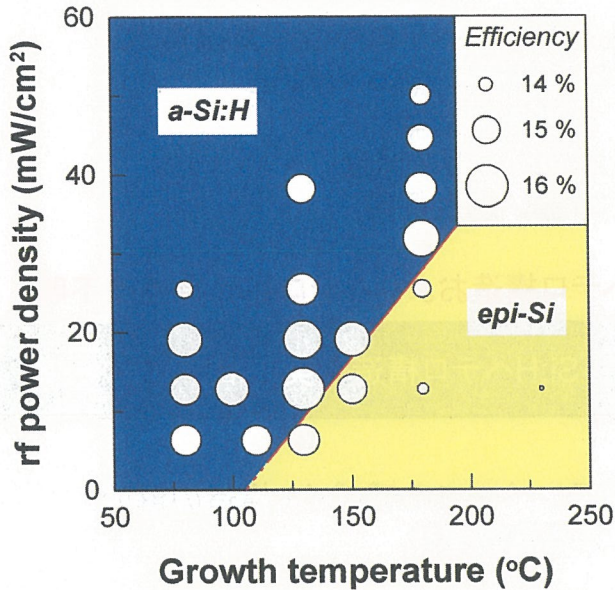
変換効率は、界面構造に極めて敏感

温度130°Cにおいて、変換効率16.1%を達成 (裏面BSF, テクスチャーなし)



### 結晶Si基板上でのエピタキシャル層形成条件

太陽電池構造: Ag/ITO/a-Si:H(p-i)/c-Si(n)/Al



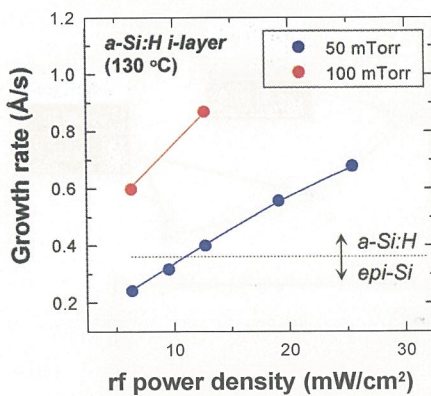
高温および低rf出力において  
エピタキシャル成長が起こる  
ことを初めて確認.

エピタキシャル層 (epi-Si) の  
形成により太陽電池変換効  
率は大幅に低下

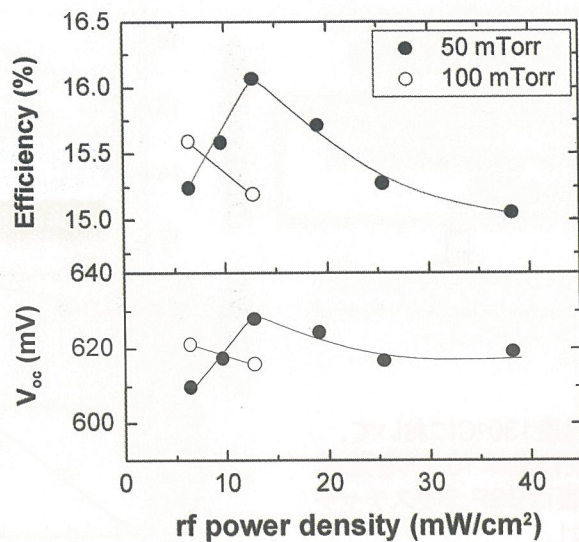


最適成長条件は、a-Si:H/  
epi-Si相の境界領域に存在

### i層の成長圧力の効果



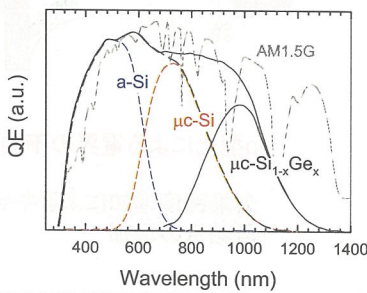
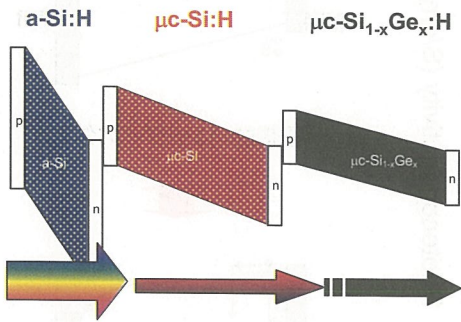
・高圧力域では、高い成長速度  
によりエピ層成長を抑制。  
・エピ成長は、成長温度、rf出力、  
圧力により系統的に変化。





# 微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>太陽電池の開発

シリコン新材料チーム 松井 卓矢



アモルファスSi、微結晶Si

赤外領域の光吸収が小さく  
赤外光の透過損失が大きい。



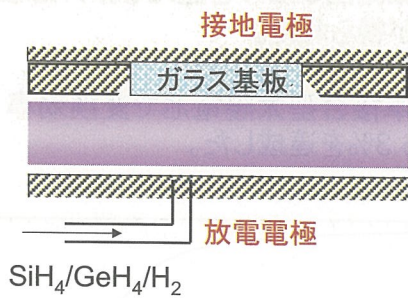
微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>

ナローギャップ化により、高い赤外  
感度を得ることを目指す。

タンデム η=12-13% → トリプル η= 16%

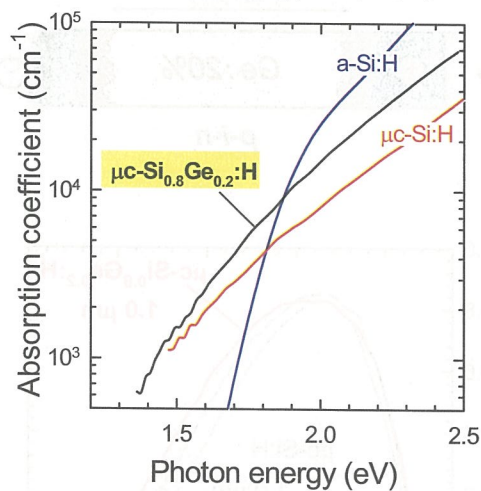
$J_{sc}(SiGe) \gg 30 \text{ mA/cm}^2$

## <微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>の製膜>



SiH<sub>4</sub>、GeH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>混合ガスのプラズマCVD  
により低温(約200 °C)で微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>  
が得られる。

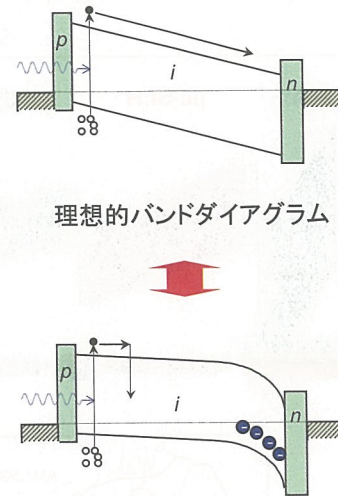
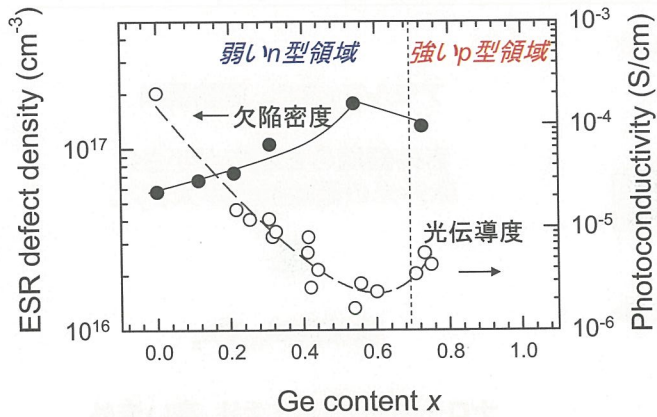
## <光吸収係数スペクトル>



従来の微結晶Siよりも高い赤外吸収感度

Ge組成20%でα~1.5倍 (@1.7eV:720nm)

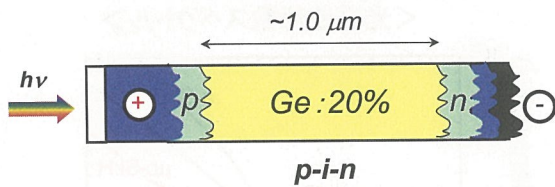
<欠陥密度と光伝導度>



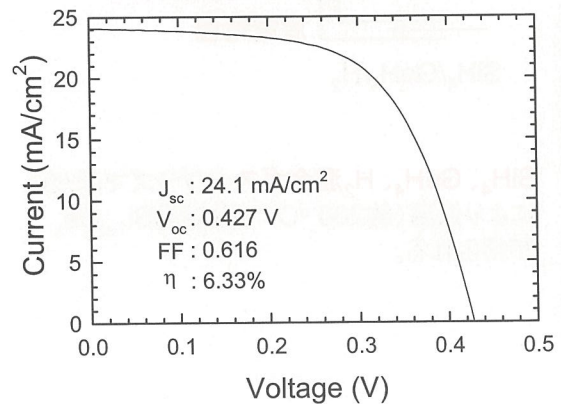
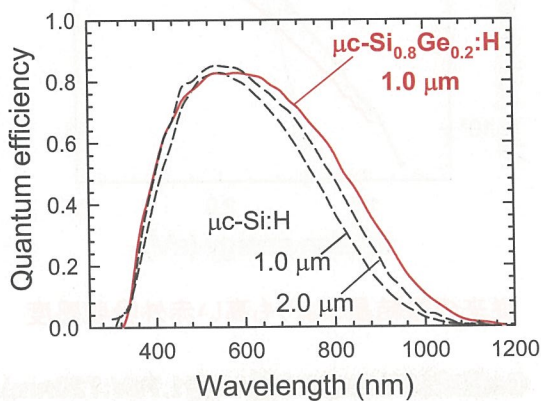
高Ge組成領域で微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>はp型伝導  
→p型化の抑制が重要

p型化による電界の不均一化  
欠陥密度増加によるキャリア再結合の増加

<微結晶Si<sub>0.8</sub>Ge<sub>0.2</sub>単接合型太陽電池>



- ・ 20 at.%のGe添加で膜厚2倍の微結晶Siセルを越える赤外感度を得られた。
- ・ 単接合型太陽電池で変換効率6.3%を達成した。

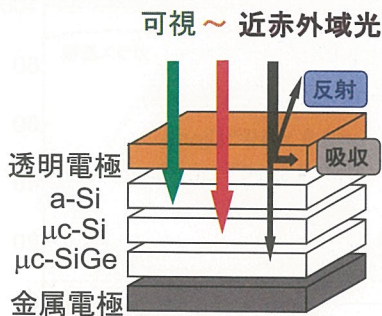




# 低赤外吸収・高移動度透明導電膜の開発

シリコン新材料チーム 鯉田 崇

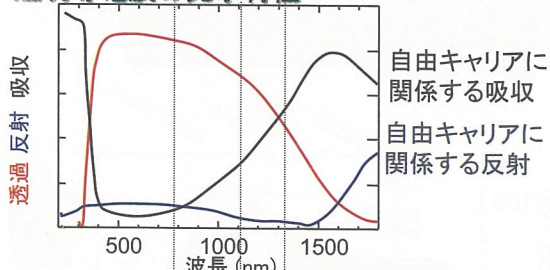
## なぜ透明導電膜の開発？



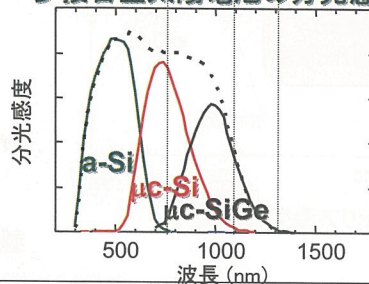
多接合型 → TCOの自由キャリア吸収による光学的損失

低赤外吸収透明導電膜の開発が必要

## 透明導電膜の光学特性



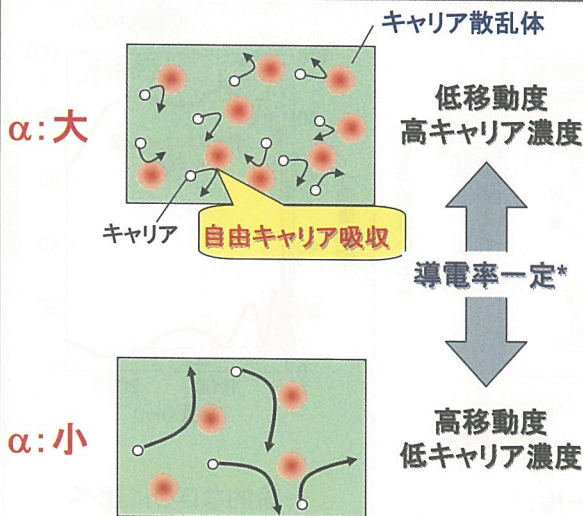
## 多接合型太陽電池の分光感度特性



独立行政法人 産業技術総合研究所

# 透明導電膜の自由キャリア吸収と電気特性の関係

## 自由キャリア吸収(α)と電気特性



## キャリア散乱体の抑制

- イオン化不純物 (ドーパント・酸素空孔)
- 中性不純物
- 結晶粒界
- 格子振動

高移動度化

低自由キャリア吸収

\*導電率 = 素電荷(e)・移動度(μ)・キャリア濃度(N)

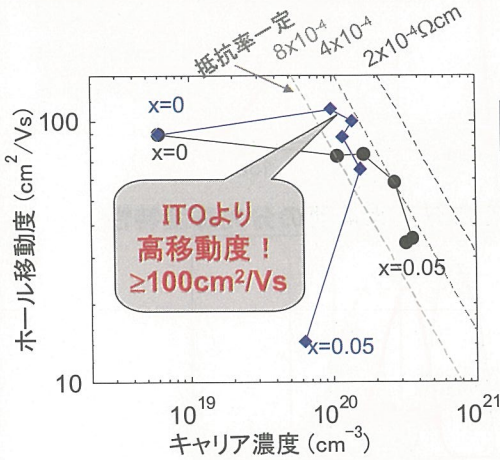
独立行政法人 産業技術総合研究所



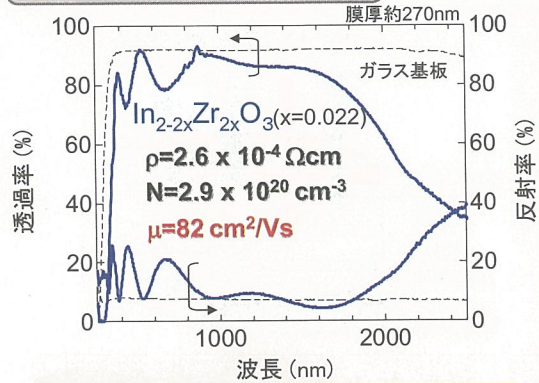
## Zrドーパントによる不純物散乱抑制 ～高温成長エピタキシャル薄膜からのアプローチ～

### エピタキシャル薄膜 比較

$\text{In}_{2-2x}\text{Sn}_{2x}\text{O}_3$  (ITO) vs  $\text{In}_{2-2x}\text{Zr}_{2x}\text{O}_3$



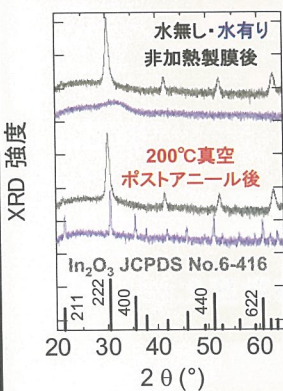
### ガラス基板上スパッタ薄膜



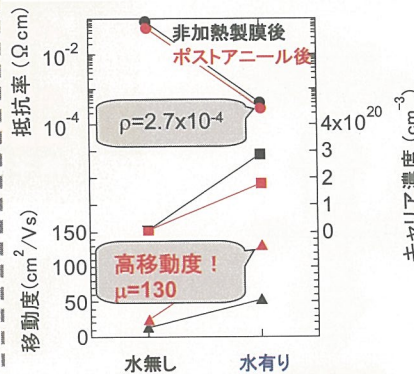
Zr添加⇒不純物散乱(酸素空孔など)抑制  
高移動度 & 低自由キャリア吸収  
製膜温度に課題 (400℃以上において高移動度)

## Hドーパントと固相成長による不純物・粒界散乱抑制 ～低温成長アモルファス薄膜からのアプローチ～

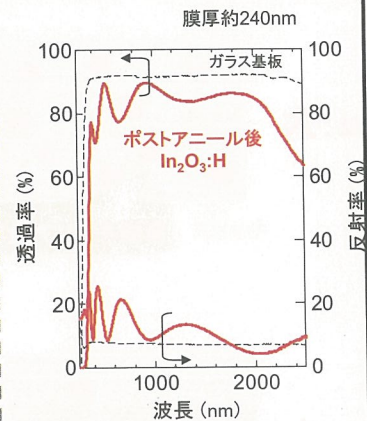
### スパッタ雰囲気中水蒸気導入



水導入: アモルファス化  
200℃ポストアニール:  
固相成長(結晶粒径増大)



水導入: N, μ 増大  
200℃ポストアニール:  
不純物散乱(酸素空孔など)抑制  
更なる高移動度化



一般的なITOに比べ  
著しく近赤外領域の  
透明性改善

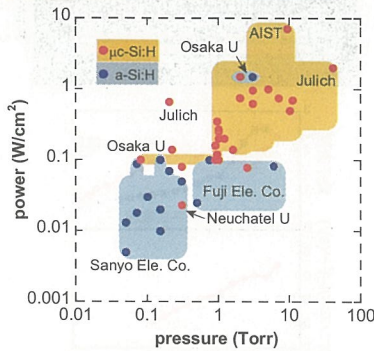


# 製膜用プラズマプロセスの診断

シリコン新材料チーム 布村正太

目的： 薄膜シリコン系太陽電池作製に用いられるプラズマCVDプロセスの診断を行い、安価で高品質な太陽電池の作製プロセスを開発する。

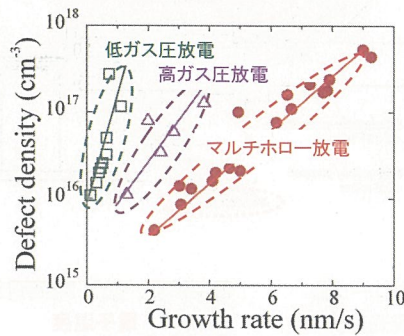
## ○ $\mu\text{c-Si:H}$ 、 $\text{a-Si:H}$ の製膜用放電条件



微結晶シリコン製膜に求められるプラズマ条件

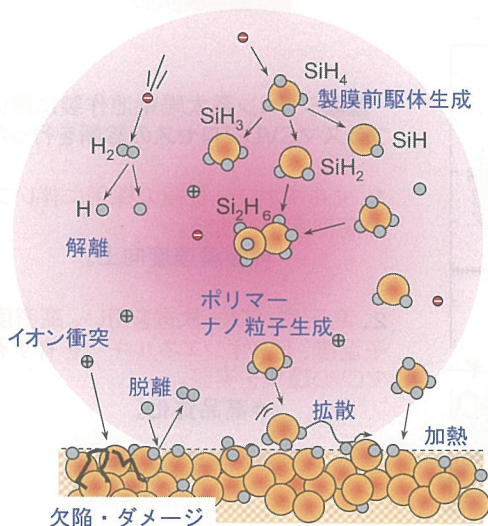
- 1、高プラズマ密度  $\rightarrow$  高速製膜  $\rightarrow$  高生産性
  - 2、低電子温度  $\rightarrow$  製膜前駆体の効率的生成
  - 3、低イオンエネルギー  $\rightarrow$  ダメージ抑制
- } 高品質化

## ○ 欠陥密度と製膜速度の相関



高ガス圧化、マルチホロー電極化  
↓  
製膜速度の向上 & 低欠陥化

## ○ シリコン系プラズマCVDの製膜過程



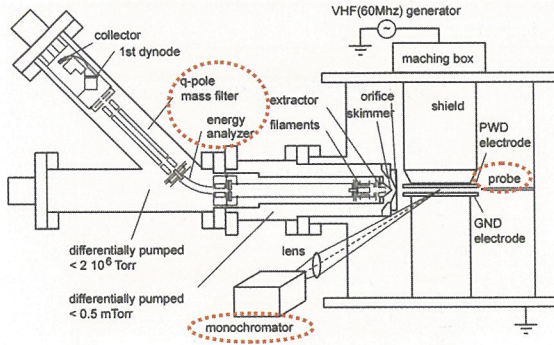
- ・ シリコン系薄膜の形成には、プラズマCVD法が広く採用されている。
- ・ 膜形成過程及び膜品質はプラズマ状態に密接に関連している。

例えば、

- ・ **電子温度**
  - $\rightarrow$  解離、ラジカル、パウダー生成
- ・ **イオン衝撃**
  - $\rightarrow$  欠陥・ダメージ
- ・ **電子密度**
  - $\rightarrow$  製膜速度
- ・ **水素原子**
  - $\rightarrow$  膜構造  $\text{a-Si}$ 、 $\mu\text{c-Si}$
- ・ **基板温度**
  - $\rightarrow$  膜中水素含有量

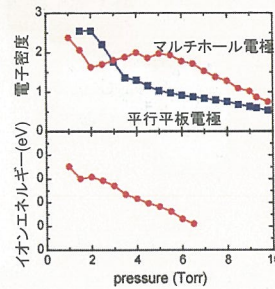
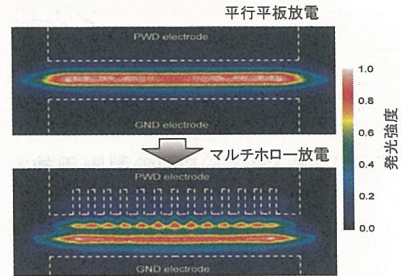
・ 高品質な膜作製には、製膜の素過程を理解し制御することが必須！

○プラズマ診断実験装置



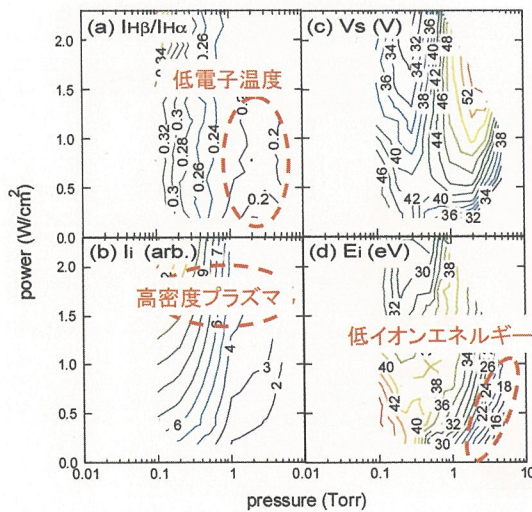
- プローブ法 : 電子温度、密度、空間電位
- 発光分光法 :  $I_{H\beta}/I_{H\alpha} \Rightarrow$  電子温度
- :  $I_{H\alpha} \Rightarrow$  電子密度
- 質量分析法 : イオン種、ラジカル種

○MH電極による高密度化



- 電極のマルチホロー化
- ▷ 高密度プラズマスポットの形成 ▷ 高速製膜化

○プラズマ診断結果



高ガス圧高パワー放電時に  
高密度、低電子温度、低イオンエネルギーを有するプラズマCVD環境

○まとめ

薄膜シリコン系太陽電池作製に用いられる  
プラズマCVDプロセスの診断を行った。

- 1、マルチホロー電極の採用に伴いプラズマ  
の高密度化を検証。  
⇒ 製膜速度向上。
- 2、高圧高パワー放電を用い、高密度、低電  
子温度、低イオンエネルギーを有するプラズ  
マCVD環境を実証。  
⇒ 高品質化。

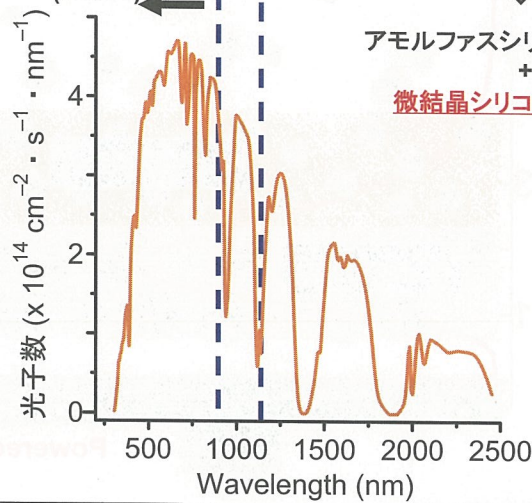


キャビティリングダウン分光法を用いたラジカル計測

評価システムチーム 永井 武彦

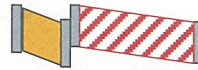
微結晶シリコン( $\mu\text{c-Si:H}$ )

アモルファスシリコン (a-Si:H)



太陽光の光を有効利用

アモルファスシリコン太陽電池  
+  
微結晶シリコン太陽電池



厚膜が必要

高速製膜

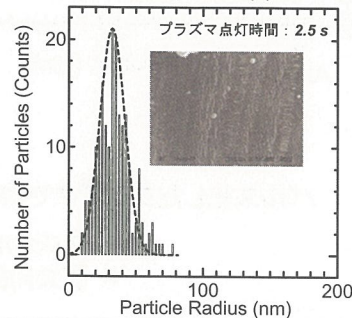
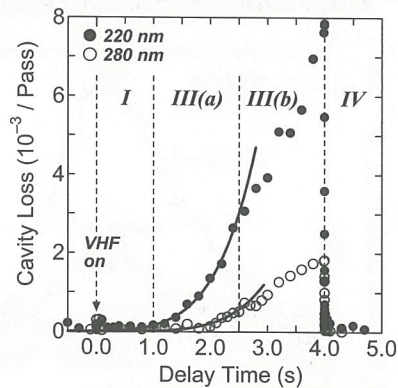
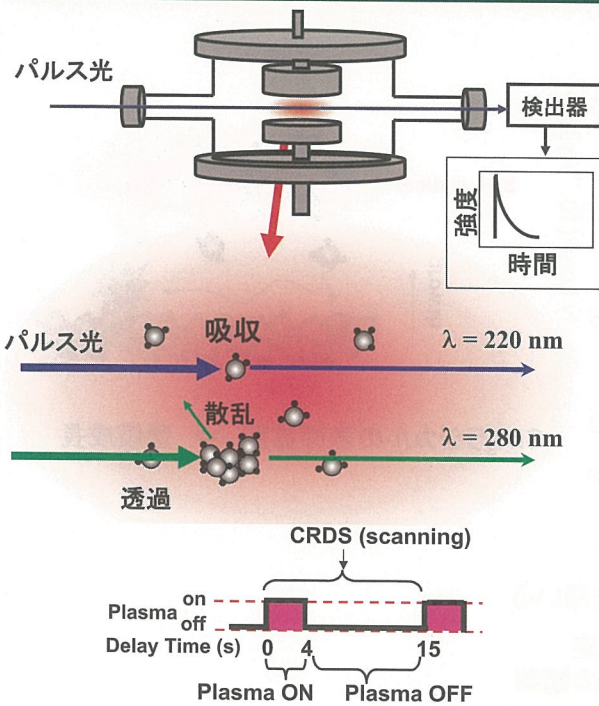
ラジカル濃度が重要

現状

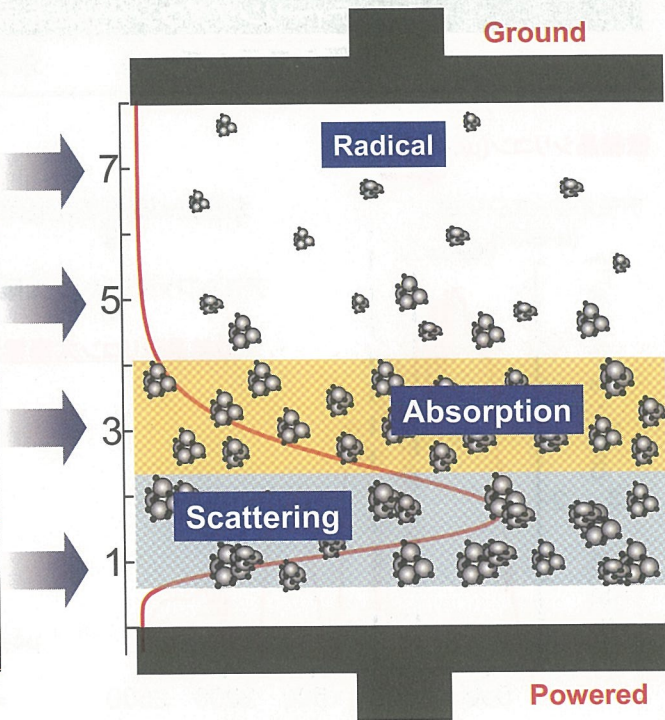
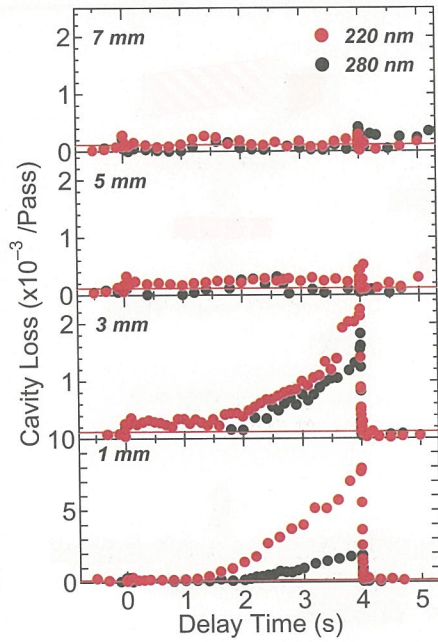
- ・ラジカル濃度??
- ・製膜メカニズム??

$\mu\text{c-Si:H}$ 製膜時のラジカル濃度定量検出  
⇒ 製膜メカニズムの解明  
⇒ 高速製膜

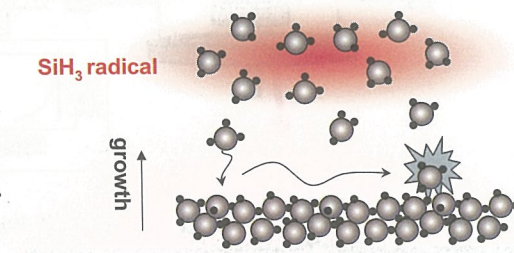
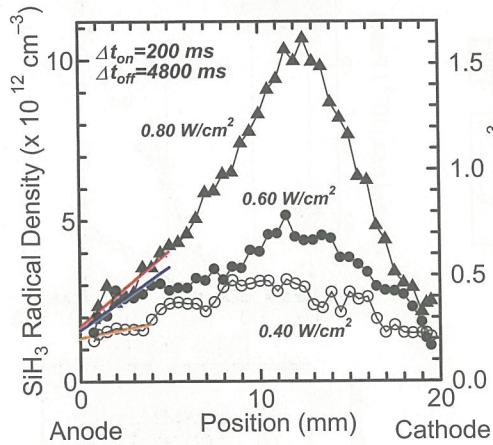
実験結果と考察



電極間の各位置における  
Cavity Lossの空間分布



SiH<sub>3</sub>ラジカルの電極間における空間分布



SiH<sub>3</sub>ラジカルの表面拡散 ⇒ 薄膜成長

パルス化したプラズマでCRDS法を用いる

- ・ ラジカル濃度測定
- ・ ダスト成長過程の観測

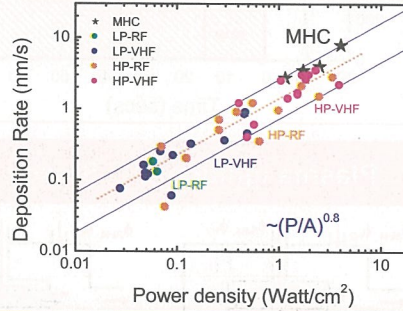
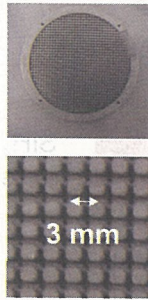
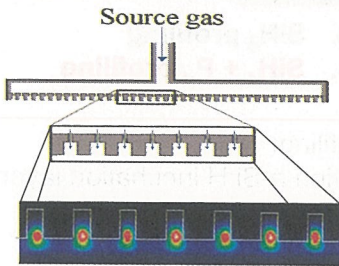


# High rate deposition of $\mu\text{c-Si:H}$ using the MHC-VHF deposition technique

Arno Smets, Takuya Matsui, and Michio Kondo

Odaiba, July 18th 2007

## MHC-VHF technique:



Large Area:

Size plasma spot  $\ll \lambda_{\text{VHF}}$

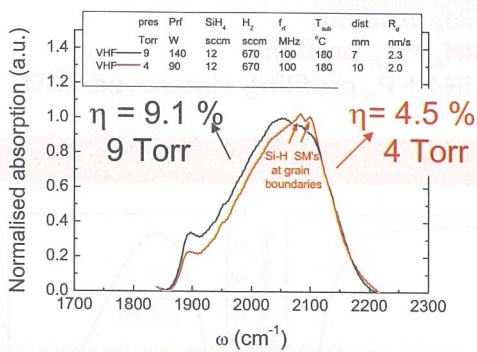
High  $R_d$ :

HPD regime/ efficient gas dissociation in plasma spots

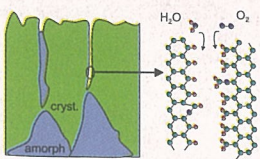
## Strategy for optimization $\mu\text{c-Si:H}$

### 1) IR stretching mode signature

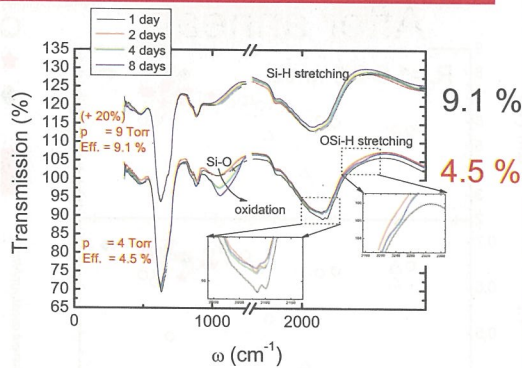
Reference mat. VHF @ 2.3 nm/s :  $\eta = 9.1\%$  T. Matsui et al., Sol. En. Mat. & Sol. Cells 90, 3199 (2006)



Reduction: **ELSM, LSM, MSM**  
No appearance **NHSM**



possibly reflects the a-Si:H passivation at crystalline grain boundaries in the pores



9 Torr → 9.1 % efficiency

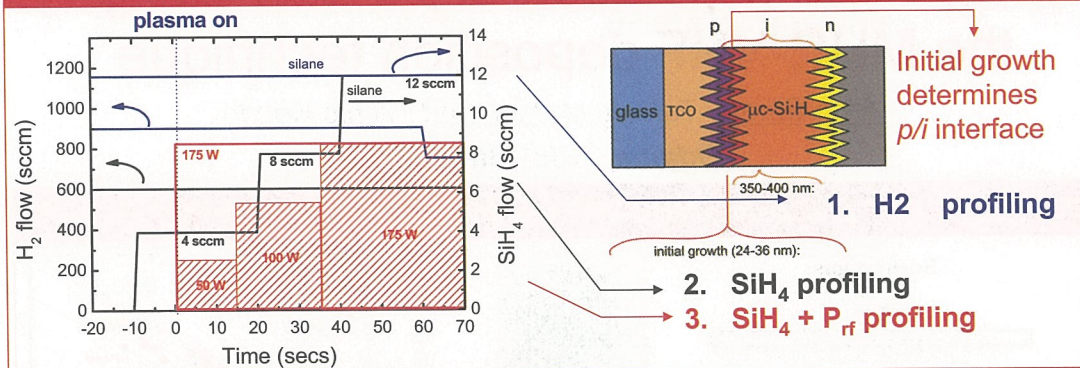
**No oxidation observed**

4 Torr → 4.5 % efficiency

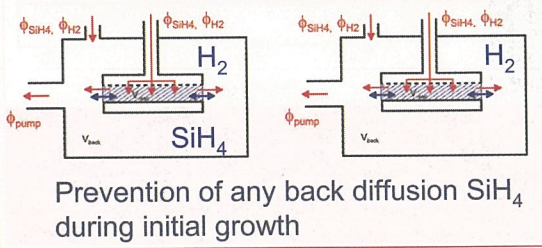
**Oxidation at grain Boundaries observed**



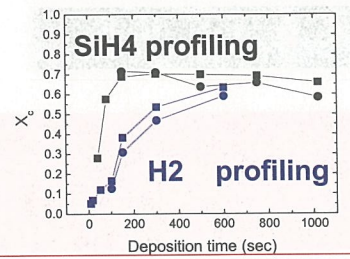
Strategy for optimization  $\mu\text{c-Si:H}$  2) Initial growth: Raman



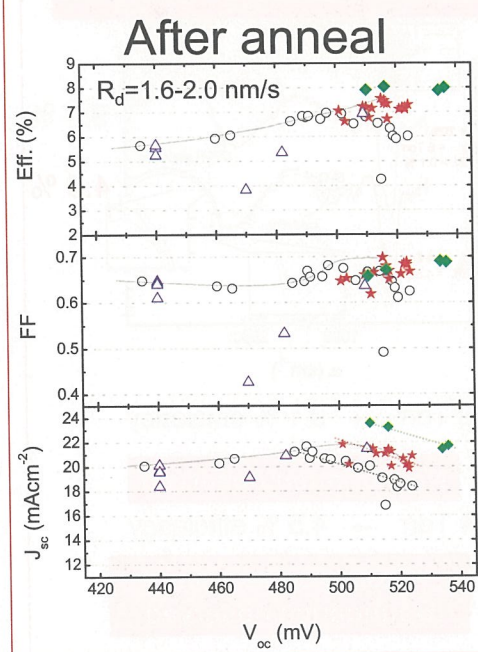
Plasma ignition: Steady state:



SiH<sub>4</sub> profiling: reduction a-Si:H incubation layer

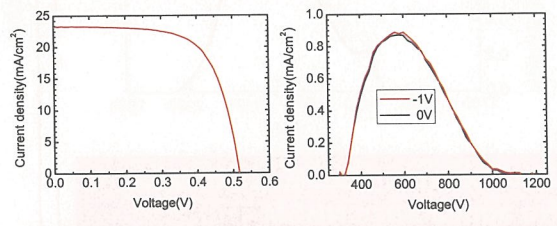


Integration High Rate  $\mu\text{c-Si:H}$  in to *pin* devices: performance of the cells



- $\Delta$  H<sub>2</sub> profiling
- $\circ$  SiH<sub>4</sub> profiling
- $\star$  SiH<sub>4</sub> + P<sub>rf</sub> profiling
- $\blacklozenge$  SiH<sub>4</sub> + P<sub>rf</sub> profiling + improved TCO

Best cell performance:



$R_d = 1.8 \text{ nm/s}$

$V_{oc} = 516 \text{ mV}$

$J_{sc} = 23.2 \text{ mAcm}^{-1}$

$FF = 0.671$

$\eta = 8.04 \%$



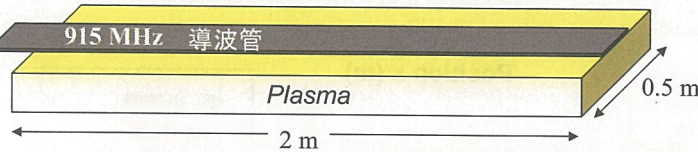
# マイクロ波プラズマCVD法による 大面積・微結晶シリコン薄膜形成

高西雄大、遠藤広考、林 孝信、中尾禎子、石島達夫、豊田浩孝 (名大)、菅井秀郎 (中部大)  
増田 淳、近藤道雄 (産総研)

## 915MHzの高密度・表面波プラズマ用いた大面積 $\mu\text{-Si:H}$ 膜の高速堆積技術の開発

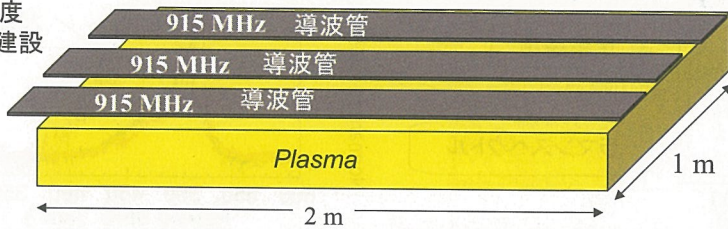
### 長尺マイクロ波プラズマCVD装置

H17年度  
1号機建設



H18年度  
実験

H18年度  
2号機建設



#### 目標

面積 > 1 m<sup>2</sup>  
製膜速度 > 2.5 nm/s

#### 実験条件

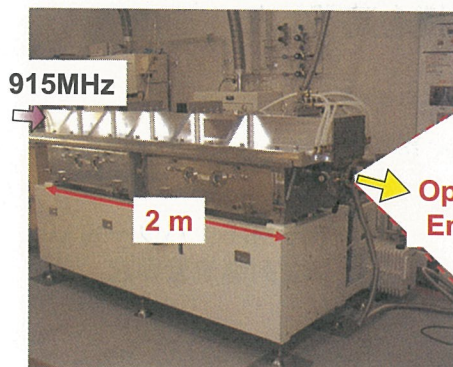
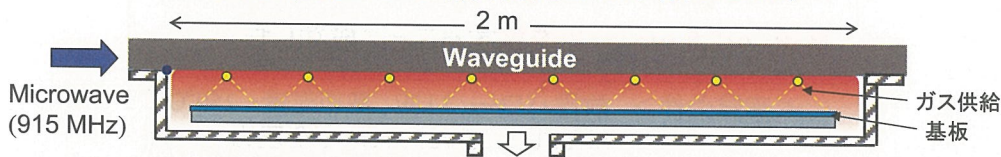
マイクロ波: 915 MHz  
電子密度:  $\sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$   
圧力: 1-100 Pa,  
ガス: H<sub>2</sub>, SiH<sub>4</sub>

独立行政法人 産業技術総合研究所

放電周波数: なぜ 915 MHz か? 2.45 GHz と比べた利点

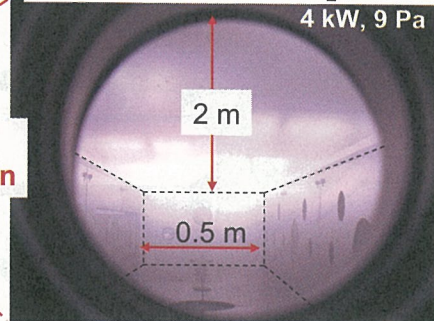
- 波長が3倍 → 少ないスロット数で大面積化可能
- 最低動作密度 (表面波共鳴密度) が1/10 → 低密度からプラズマ密度制御可能

### 実験装置 1号機 (長さ2 m、幅0.5 m)



### Optical emission of H<sub>2</sub> plasma

4 kW, 9 Pa



独立行政法人 産業技術総合研究所

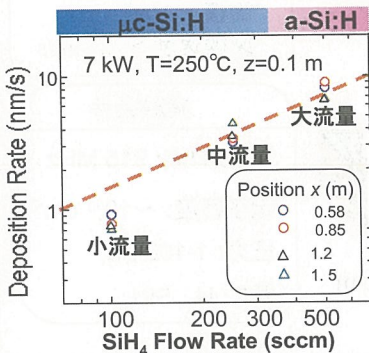
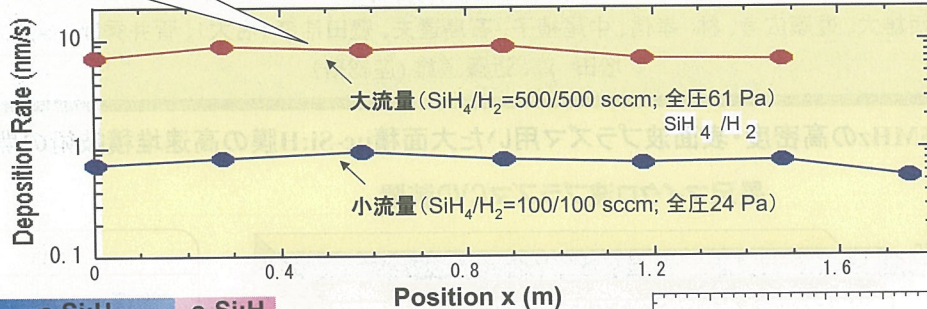


# メートル級 長尺 Si 膜形成

約2mにわたり ほぼ均一

## 製膜速度の分布

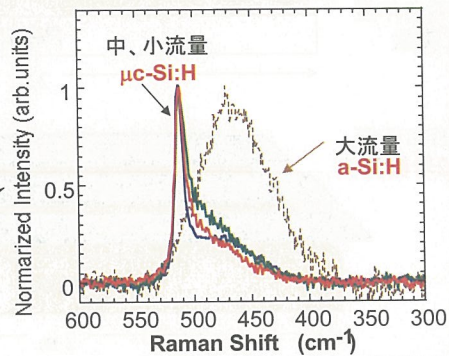
Power: 7 kW, T=250°C, z=0.1 m



## SiH<sub>4</sub> 流量 依存性

堆積速度

ラマンスペクトル



独立行政法人 産業技術総合研究所

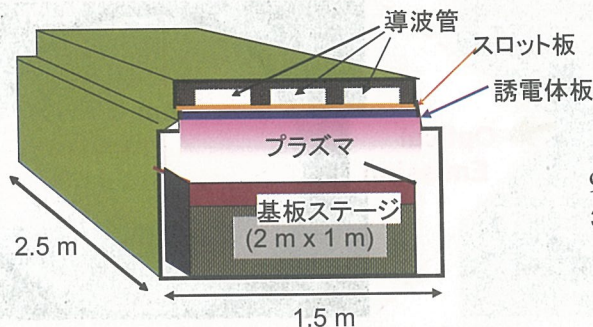
## まとめ

### 1. 長尺マイクロ波CVD装置の1号機において

1.8 m にわたってほぼ均一な微結晶シリコン薄膜を  
高速 (~2.5 nm/s) で堆積することに成功した。

<実験条件> 放電パワー: 7 kW、基板温度: 250°C、  
SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>=250/250 sccm、全圧力: 40 Pa

### 2. 長尺マイクロ波CVD装置の2号機を建設した。



915 MHz, パワー30 kW,  
3並列導波管励起

独立行政法人 産業技術総合研究所



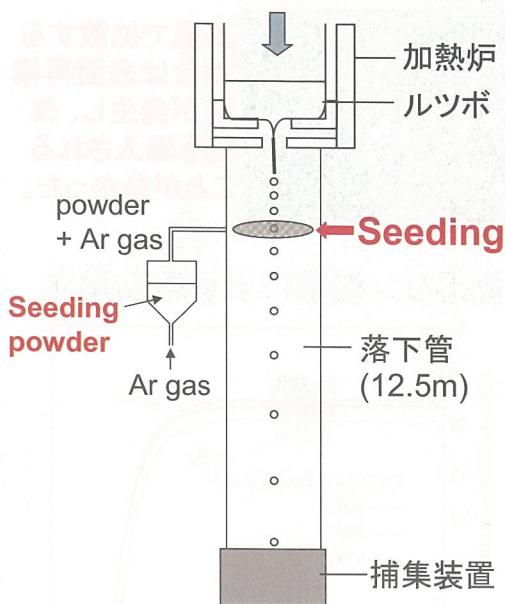
# シーディング技術の最適化による 球状シリコン生産性の向上 及び球状シリコン太陽電池の高性能化

産業化戦略チーム 劉 正新

## アウトライン

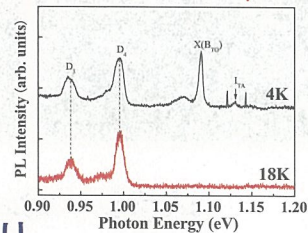
1. シーディング技術による球状シリコンの作製
2. 材料の選択によるシーディングの最適化
3. 球状シリコン太陽電池の高効率化

## 落下法による球状シリコンの作製 シーディングなし

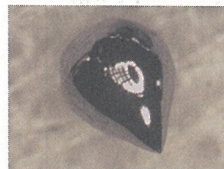


### 角型(Horn-type)

転位密度が高い  
平均ライフタイム:  $\tau < 0.5 \mu\text{s}$

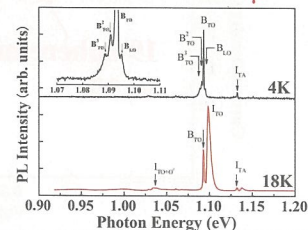


## シーディングあり



### 涙型(Tear-type)

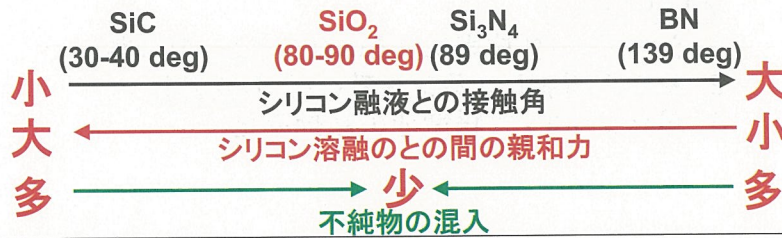
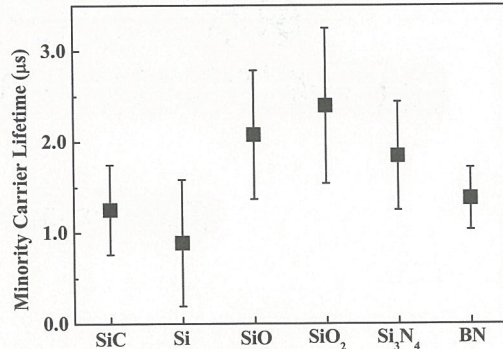
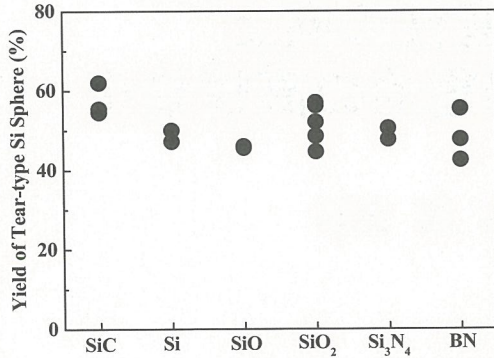
転位密度が低い  
平均ライフタイム:  $\tau \sim 2.0 \mu\text{s}$



# パウダー材料の選択によるシーディングの最適化

## 涙型の少数キャリア ライフタイム

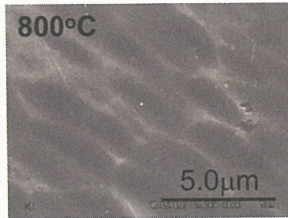
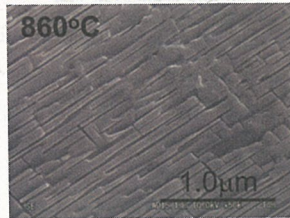
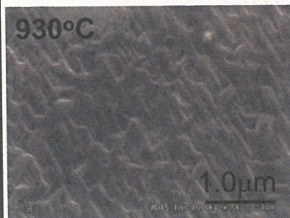
## 涙型の収率



独立行政法人 産業技術総合研究所

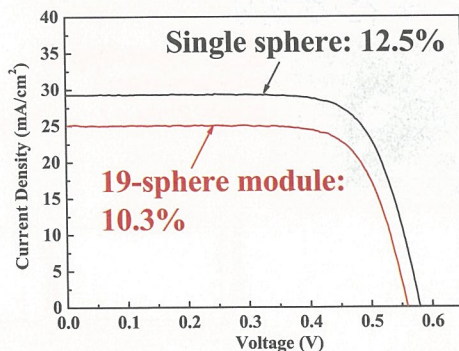
# 球状シリコン太陽電池の高効率化

## リン拡散による表面構造の変化

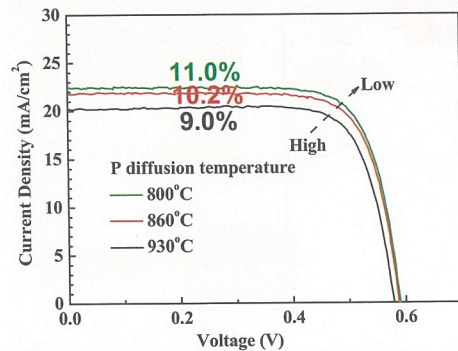


高温で拡散する場合は表面再構造が発生し、欠陥も導入されることが分かった。

## 球状シリコン太陽電池



## 低温リン拡散による高効率化



独立行政法人 産業技術総合研究所



# プラズマエッチングによる シリコンスライス技術の開発

産総研<sup>1</sup>, トーヨーエイトック<sup>2</sup> 山口 充孝<sup>1,2</sup>, 増田 淳<sup>1</sup>, 近藤 道雄<sup>1</sup>, 阿部 義紀<sup>2</sup>, 木邑 達男<sup>2</sup>

## プラズマスライスの概要

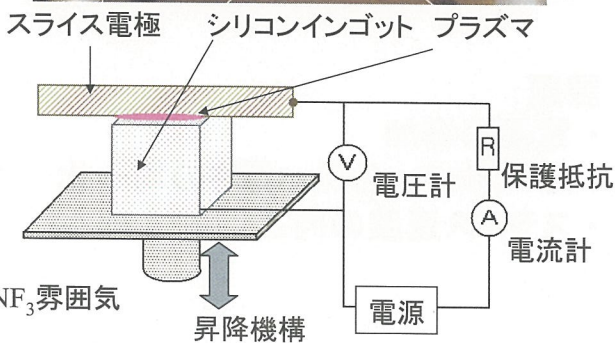
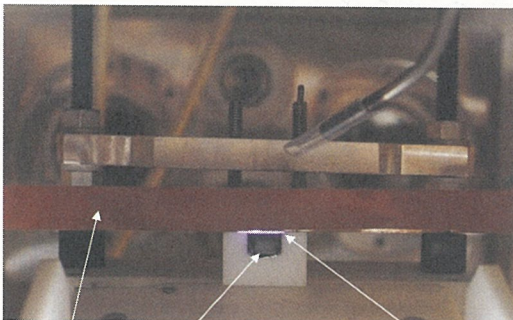
ワイヤーソーによる既存技術では  
カーフロス100  $\mu\text{m}$ 以下は困難  $\Rightarrow$  プラズマスライス

### プラズマスライスの特徴:

非接触	$\Rightarrow$ ソーダメージなし	} シリコン材料の高効率利用
極薄スライス電極	$\Rightarrow$ カーフロス低減	

独立行政法人 産業技術総合研究所

## プラズマスライス装置



### スライス電極

幅15mm厚さ80  $\mu\text{m}$ のシート  
銅シートの両面に絶縁物を圧着

### 電源

シリコンインゴット-スライス電極  
間に高電圧を印加

### 保護抵抗

回路に流れる電流値を制限

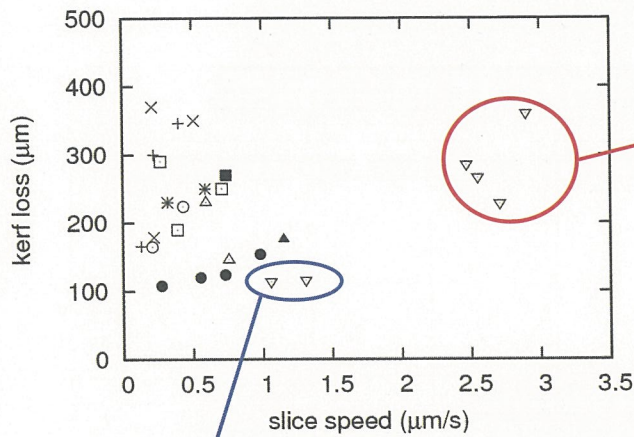
### 昇降機構

シリコンインゴットとスライス電極と  
の距離を調整

シリコン-スライス電極間に  
高電圧を印加  
 $\rightarrow$  プラズマ発生  $\rightarrow$  フッ素の生成  
 $\rightarrow$  シリコンと反応しエッチングが進行

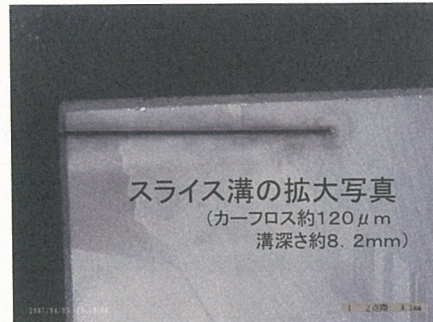
独立行政法人 産業技術総合研究所

## スライス速度およびカーフロス

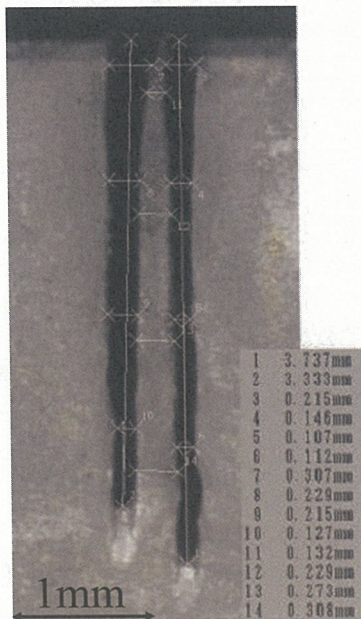


印加電圧、ガス圧など、  
諸条件の最適化により  
カーフロス200~400 $\mu\text{m}$   
において  
スライス速度  
約2.5~3 $\mu\text{m}/\text{s}$ を達成  
(インゴット幅5mmでの値)

スライス速度は低下するが  
カーフロス 100 $\mu\text{m}$  程度のスライスも可能  
(インゴット幅5mmでの値)



## マルチスライス



2枚電極での同時スライスに成功

カーフロス: 100~200  $\mu\text{m}$   
ウエハ厚さ: 100~300  $\mu\text{m}$

課題:

- ・ 電極の増加
- ・ カーフロス、ウエハ厚さの均一化
- ・ スライス速度の向上



# 基板・テクスチャー体型 プラスチック基板 薄膜シリコン太陽電池

日本合成化学工業(株)<sup>1</sup>、産業技術総合研究所<sup>2</sup>  
 勝間勝彦<sup>1</sup>、早川誠一郎<sup>1</sup>、松井卓矢<sup>2</sup>、増田淳<sup>2</sup>、近藤道雄<sup>2</sup>

## 【研究の背景】

太陽電池のガラス基板をプラスチックに変えると、

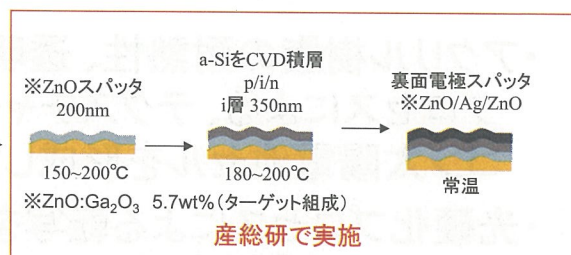
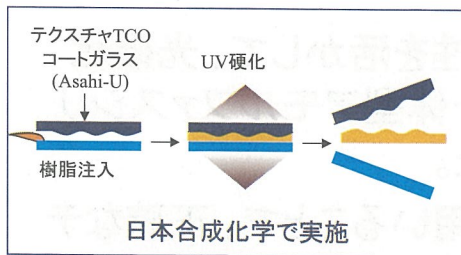
- ・軽い ・割れにくい ・ロール化の可能性 ・曲がる という特徴がある。

光電変換効率向上のため、表面テクスチャは必須だが、プラスチックに適用可能な低温でテクスチャを有する透明導電膜を形成することは難しく、さらにプラスチックそのものに精度よくテクスチャを形成することも難しい。

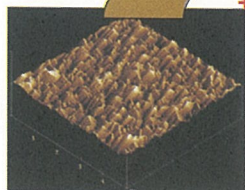


光硬化性アクリル樹脂及び光硬化プロセスを用いて、基板・テクスチャー体型セル形成を行った。

# 基板・テクスチャー体型セル形成

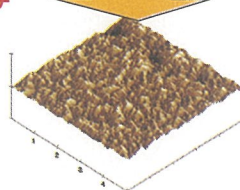


AFM像



Asahi-U  
テクスチャTCOコートガラス  
表面粗さRMS = 39nm

転写



日本合成化学  
テクスチャ転写基板  
表面粗さRMS = 28nm

光硬化性アクリル樹脂 及び 光硬化プロセスを用いることで、従来行われていた、熱によるエンボス加工と比べて、精度良くテクスチャが転写できた。  
 →テクスチャを基材側に持たせることでTCOの製膜条件の制約を緩和できる。

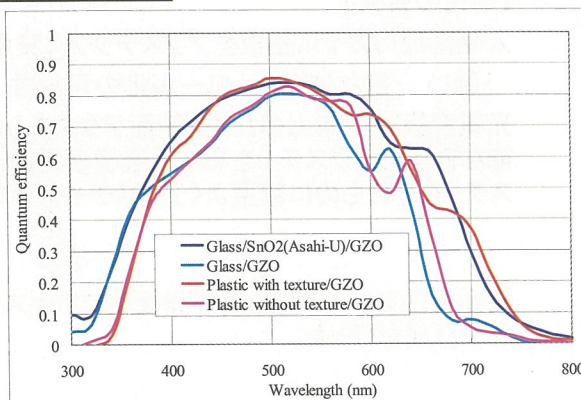
# 光電変換効率と分光感度

基板	開放電圧 (V)	短絡電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	曲線因子	効率 (%)
Glass/SnO <sub>2</sub> (Asahi-U)/GZO	0.92	14.2	0.72	9.4
Glass/GZO	0.94	11.6	0.66	7.1
Plastic with texture/GZO	0.84	14.2	0.67	8.0
Plastic without texture/GZO	0.91	11.7	0.58	6.2

5cm角、1mm厚基板での評価、a-Si単接合  
スパッタ温度150°C、CVD(p,i,n層)温度180~200°C

テクスチャ付与によって、短絡電流密度が向上し、光電変換効率が6.2%から8.0%へ上昇。

プラスチック基板を使用しても、テクスチャを形成することで、a-Si単接合セルで8.0%という高効率を達成した。



独立行政法人 産業技術総合研究所

## 結論

- ・アクリル樹脂の耐熱性、透明性を活かして、光硬化プロセスによる、テクスチャー体型アモルファスシリコン太陽電池セルを形成した。
- ・光硬化プロセスによる転写を用いることで、正確なテクスチャ形成が可能になり、効率のアップが確認できた。

独立行政法人 産業技術総合研究所







# 裏面電極に透明導電膜を用いたCIGS太陽電池

～両面受光型や多接合型の要素技術として～

化合物薄膜チーム \*櫻井啓一郎、石塚尚吾、松原浩司、山田昭政、仁木栄  
東京理科大学 米村実、杉山睦、中西久幸

Powered by:



世界で開発が加速、量産も開始

CIGS太陽電池の利点

- 省資源
  - 量産しやすくコスト的に有利
  - フレキシブルや宇宙用など用途が広い
- 変換効率が高い  
(小面積: > 19%、モジュール: > 13%)

- 米国: Global Solar, NanoSolarなど
- 欧州: Wuertz Solarなど
- 日本: 昭和シェル、ホンダ

太陽光発電の将来性

- 世界市場: 1兆円
- 2030年頃には2000億ユーロ?
- 今世紀後半には電力市場で最大のシェアに

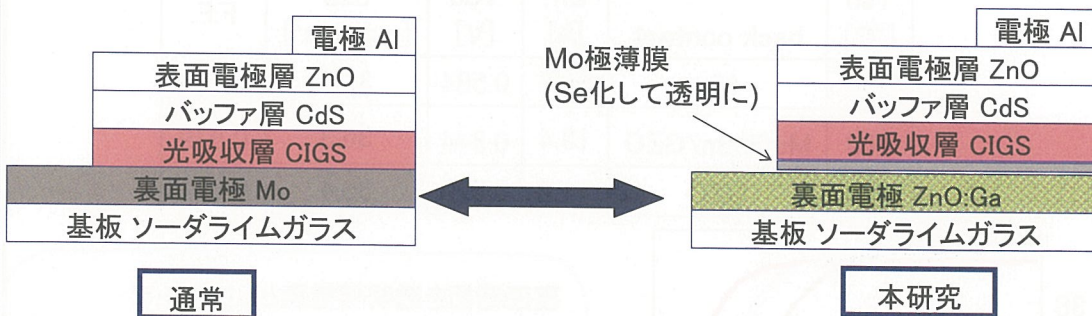
■価格競争力の強化が必要

→ 透明裏面電極による両面受光、多接合化が有効

ZnO:Alを用いた先行研究があるがまだ効率向上の余地あり(13.4%)、原因解析と抑制が求められる

(P.J.Rostan et al., TSF 480-481 (2005) 67)

## 構造、実験目的



通常

本研究

CIGS: three-stage法 (最高製膜温度: 400~550°C)

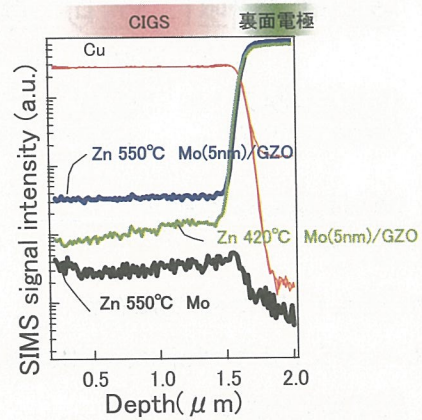
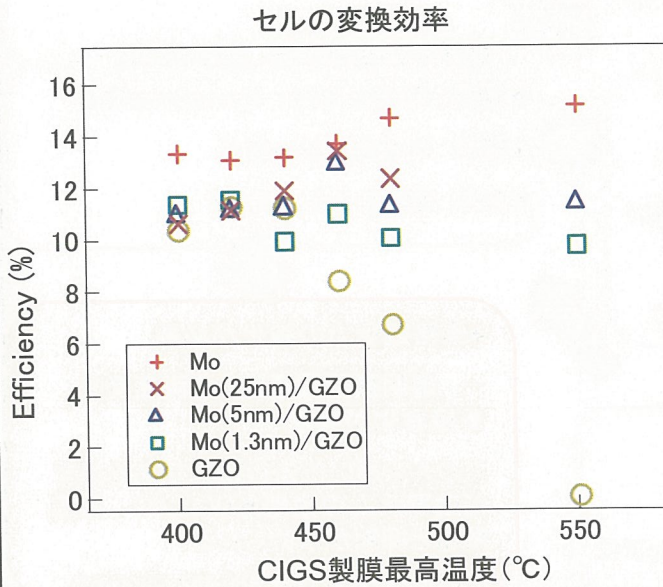
Mo, ZnO:Ga (GZO): RFスパッタ法

目的

裏面電極にZnO:Gaを用いた場合の損失要因の解析  
→ 効率向上、低価格化の方策を示す



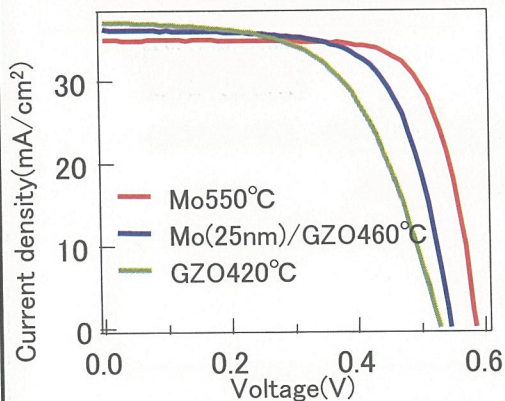
## 影響要因と対策



CIGS膜へZnが拡散して性能が低下  
性能改善には、  
■Mo極薄膜(数nm)の挿入が有効である。この効果はCIGSの製膜温度が高いほど顕著になる。  
■CIGS層低温成膜(450°C程度)が有効である。その分Mo極薄膜の厚みが薄く済む。

## 対策結果

Tsb [°C]	back contact	Eff. [%]	Voc [V]	Jsc [mA/cm <sup>2</sup> ]	F.F.
550	Mo	15.2	0.584	35.0	0.743
460	Mo25nm/GZO	13.4	0.544	36.3	0.679
420	GZO	11.2	0.520	36.4	0.591



裏面電極を透明導電膜としたセルでリファレンス(Mo裏面電極上)に近い性能が得られた。今後、リファレンスの性能が高い装置で追試することで、さらに性能が上がると期待される。この知見は、今後の両面受光型や多接合型の作製に貢献するものである。



# CIGS系太陽電池の省資源化製法技術

化合物薄膜チーム 石塚尚吾

高効率太陽電池が実現できる多元蒸着法によるCIGS製膜を産業規模のライン生産でも活用したい。

## 代表的なCIGS製膜方法

### セレン化・硫化法:

大面積・ライン生産に適した製法だが、多元蒸着法ほどの高い太陽電池効率が得られない。

### 多元蒸着法:

三段階法に代表されるこの製膜法によって、小面積セルでは最高効率が達成されている。しかし、大面積・ライン生産には不向きな製法とされる。

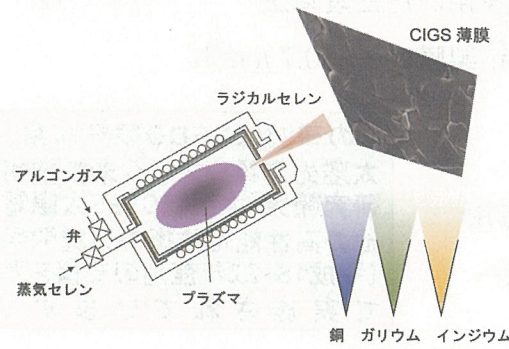
**多元蒸着法の課題** …… **Se原料の利用効率と制御性が低い**

**頻繁なメンテナンスの必要性、原料消費量大**

→ **低生産効率、コスト高**

独立行政法人 産業技術総合研究所

## セレン原料の利用効率と制御性向上を目指し、ラジカルセレンをセレン源としてCIGS製膜に応用



### ラジカルセレン製膜の特長

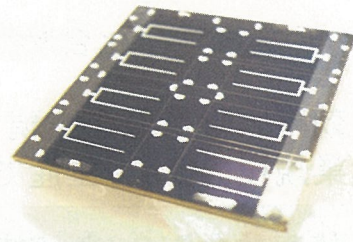
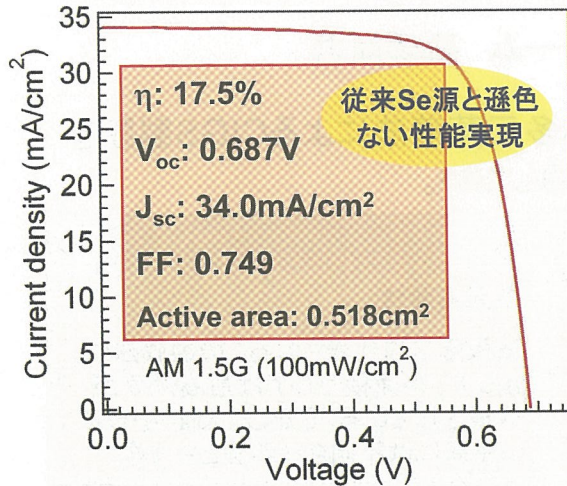
- ・ラジカル源の高い反応性により、少量の原料で製膜が可能
- ・バルブドクラッキング機構で原料供給の制御が容易

← 図 ラジカルセレンを用いたCIGS製膜の模式図

独立行政法人 産業技術総合研究所

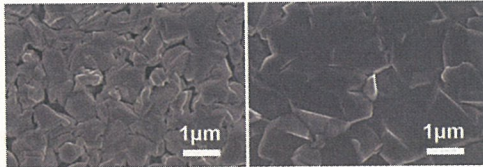


## ラジカルセレンで作製したCIGS太陽電池性能



・CIGS層をラジカルセレンを用いた三段階法により作製。

・太陽電池(図↑)構造:  
MgF<sub>2</sub>/ZnO/CdS/CIGS/Mo/glass基板



## ラジカルセレン利用で大粒径化も

←図 従来の蒸気セレンにより作製したCIGS薄膜表面(左)とラジカルセレンを用いて作製した薄膜表面(右)のSEM写真。  
([Ga]/[In+Ga]比は0.45)

独立行政法人 産業技術総合研究所

## セレン原料消費量を10分の1以下に削減\*

\*製膜1サイクルあたりの平均Se原料消費量(実測値)

ラジカルセレン源: 約5g、従来るつぼ加熱蒸発セレン源: 約60g

利用効率算出条件

- ・有効製膜面積10×10cmのMBE装置を用いた三段階法
- ・Se源-基板距離: 30cm、膜厚: 1.8 μm、製膜レート: 0.7 μm/h

## 今後の展開

- ・大面積モジュール用CIGS製膜への応用
- ・更なる高効率化や低温製膜技術開発への応用

この研究はNEDO委託事業、太陽光発電システム未来技術研究開発「大面積CIGS太陽電池の高性能化技術の研究開発(平成18~22年度)」の支援を得て実施されています。

独立行政法人 産業技術総合研究所



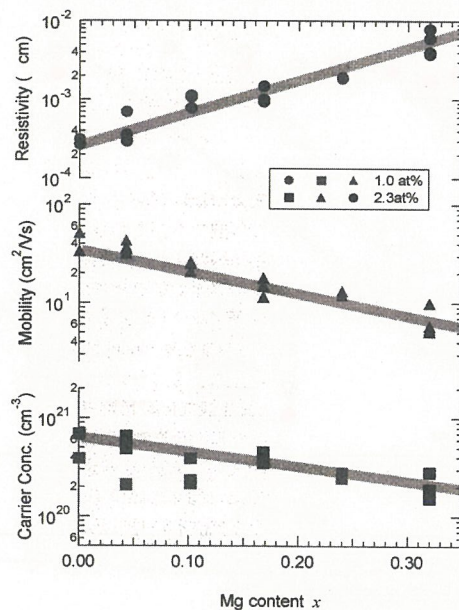
# ZnMgOの電気特性及び光学特性

化合物薄膜チーム 反保衆志

- 透明導電膜としてのZnMgO  
バンドギャップ及びオフセット調整機能
- ZnMgO/ZnOヘテロ構造  
界面に高濃度の2次元電子ガスを形成
- 発光材料としてのZnMgO  
ZnO以上に発光効率が高い

独立行政法人 産業技術総合研究所

## ZnMgO透明導電膜の電気特性



Mg content  $x$

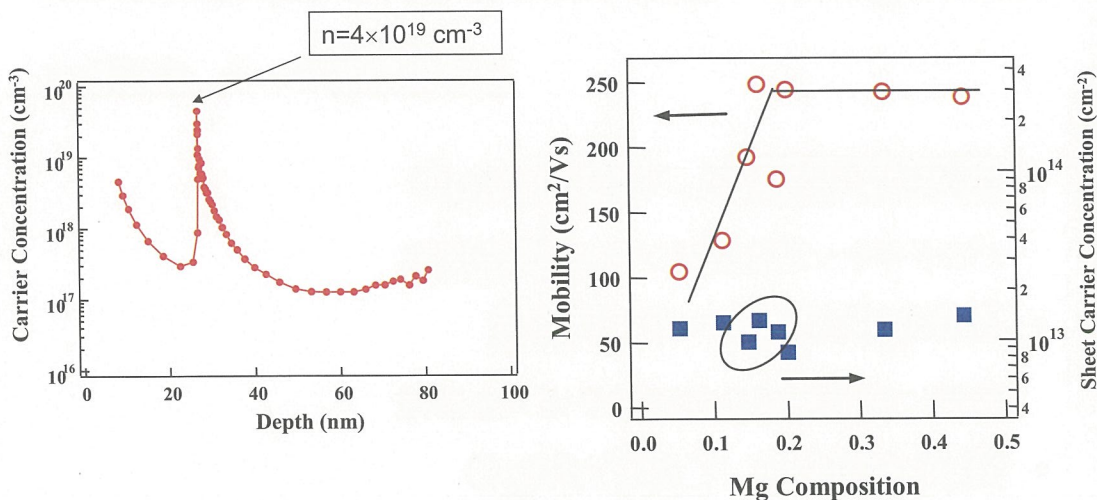
仁木栄, 他, Journal of the Vacuum Society of Japan(真空) 50, 114 (2007)

Matsubara *et al.*, Applied Physics Letters 85, 1374 (2004)

独立行政法人 産業技術総合研究所



# ZnMgO/ZnOヘテロ構造の電気特性

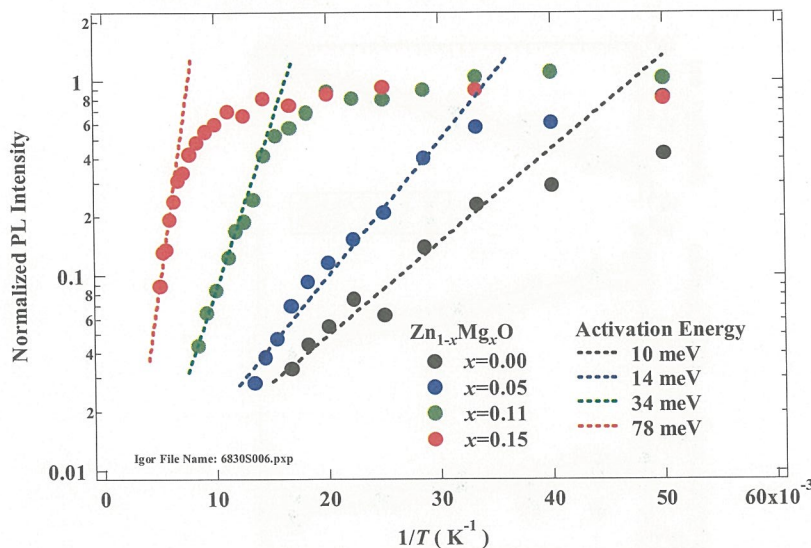


ZnMgO/ZnO界面に非常に高濃度の2次元電子ガスを形成  
→移動度が2.5倍化

H. Tampo *et al.*, Applied Physics Letters 89, 132113 (2006)

独立行政法人 産業技術総合研究所

# ZnMgOの発光特性



Mg組成が大きくなるに従い温度消光の活性化エネルギーが大きくなる  
→ZnMgOはZnO以上に発光効率が高い

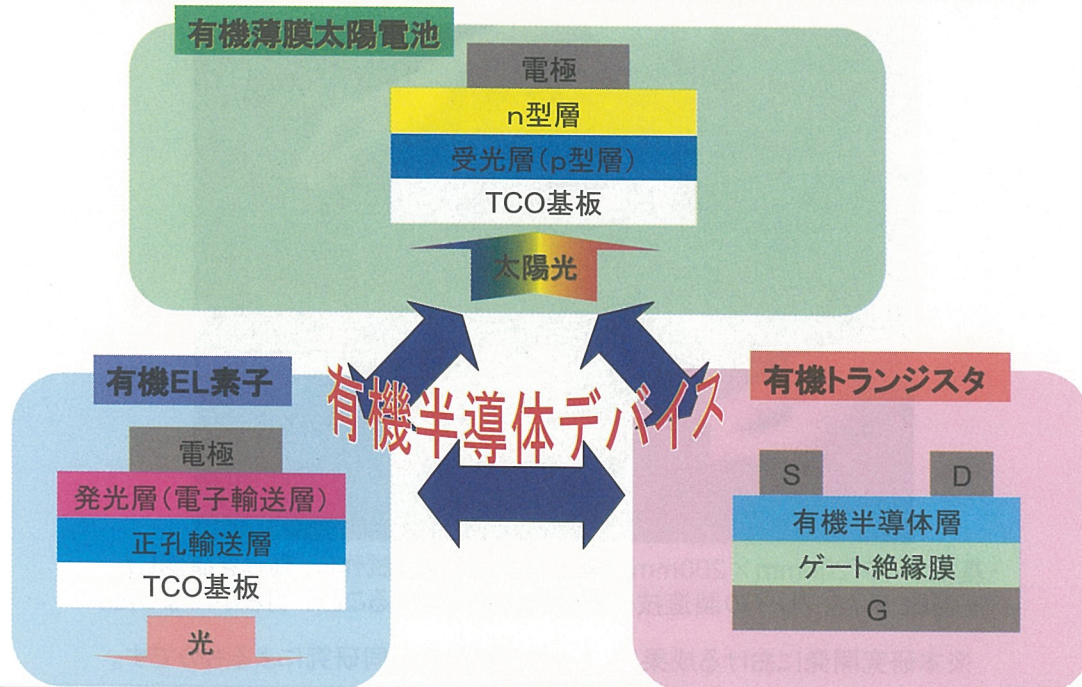
H. Shibata *et al.*, Applied Physics Letters 90, 124104 (2007)

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 有機薄膜太陽電池の製造技術 に関する研究

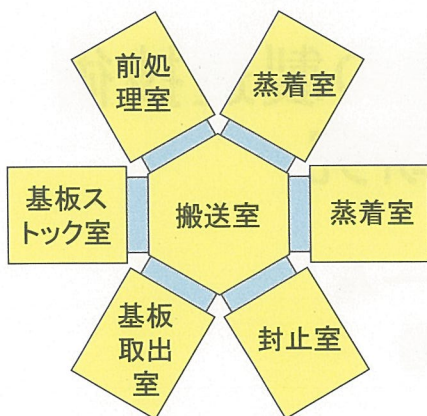
有機薄膜チーム  
齊藤 和裕

## 有機デバイス間で共用可能な基盤技術の活用





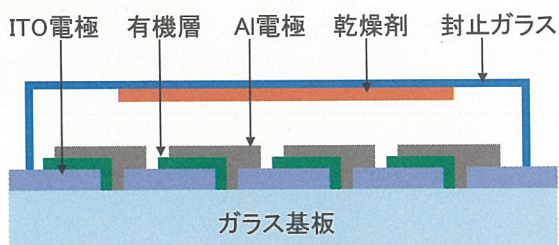
# 有機ELディスプレイ製造技術を 有機薄膜太陽電池に応用



クラスター型  
有機デバイス製造装置の構成例

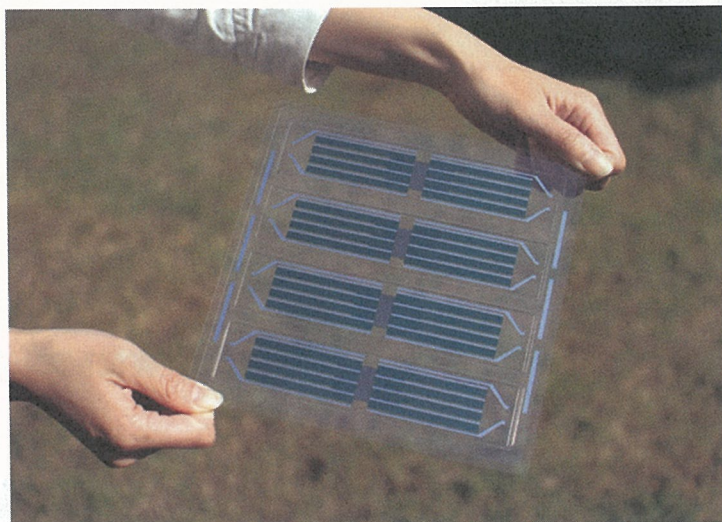


セルの基本構造 (p-nヘテロ接合型)



モジュール構造

# 有機薄膜太陽電池サブモジュールの試作



- ・基板サイズ200mm×200mmのサブモジュールを試作し、動作を確認した。
- ・有機ELディスプレイの製造技術を容易に転用できることが明らかになった。

※本研究開発における成果は、トッキ(株)との共同研究によるものです。

# 低分子系有機薄膜太陽電池の 高光開放電圧の発現

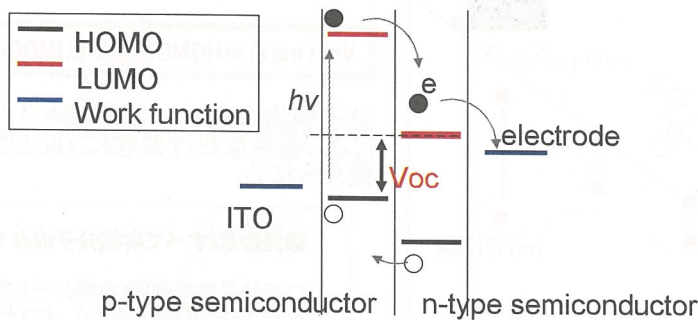
有機薄膜チーム 當摩哲也



有機薄膜太陽電池はカラフル、フレキシブルかつ低コスト太陽電池として研究が行われている。有機薄膜太陽電池は100nm程度の極薄膜できており、原料使用量が少ない軽量の太陽電池である。現在、実験室レベルで5%ほどの性能が報告されており、ナノレベルの制御により高性能化が達成されている。このように“太陽電池もナノの時代”であり、高性能化のための新規ナノ技術やメカニズムの解明がさらなる高性能化をもたらすと期待されている。

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 有機薄膜太陽電池のVoc



$$V_{oc}(\max) = \text{HOMO}(p\text{-type}) - \text{LUMO}(n\text{-type})$$

有機薄膜太陽電池のさらなる高性能化にはVoc(光開放電圧)の向上が必要である。有機薄膜太陽電池のVocは、HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital)とLUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital)のエネルギー差で表わされると言われているが、実験的に検証した例はない\*。今回、Vocのメカニズム解明と大きなVocの発現を試みた。

\*V. Dyakonov: *Physica E* 14 (2002) 53.

独立行政法人 産業技術総合研究所



# 結果

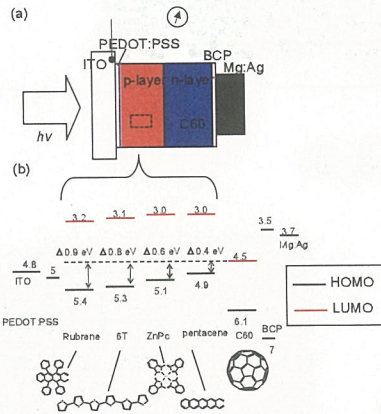


図1 p-n接合デバイスのデバイス構造 (a)と各材料のHOMO-LUMO準位と電極の仕事関数 (b)

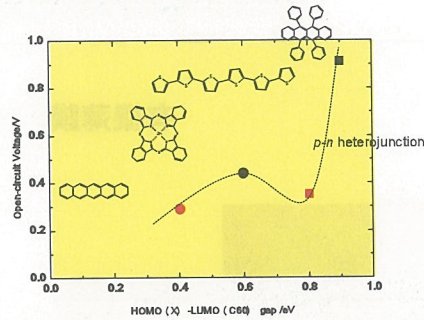
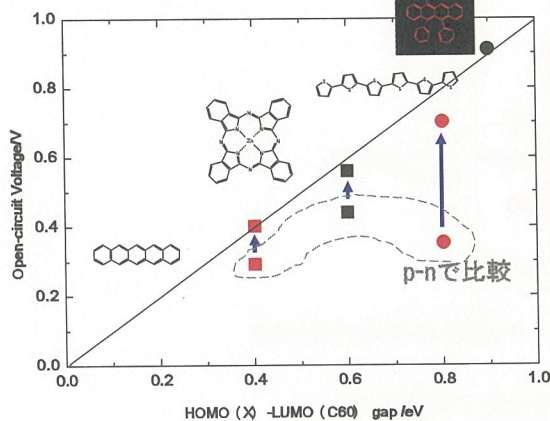


図2 p-n接合デバイスでのHOMO-LUMOギャップ差と実際のVocの相関

同一のp-n接合デバイスの場合、各材料のHOMO-LUMOギャップと実際のVocには相関がない。

# Vocの起源は？

ルブリンで世界最高レベル0.91VのVoc発現



● Voc = 1.0 V, 1.1 eV K.Leo et.al. Advanced Materials, 18, 2872(2006)

**Voc(max) = HOMO(p型) - LUMO(n型) を実証**

分子構造(HOMO-LUMO準位)を変えることにより好きなだけ自在にVocと吸収波長を変えられる

◎ 光合成(すべて有機分子のみで形成)

○ 低分子有機薄膜(有機分子と有機分子)  
Voc = HOMO(p) - LUMO(n) オフセットなし

分子レベルの接合がKycポイント

今後の展開  
指針に基づいた最適HOMO-LUMO準位を有する有機分子の開発

謝辞 本研究は、経済産業省のもと、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO技術開発機構)から委託され実施したもので、関係各位に感謝する。

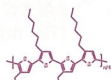
# 新規フラレン誘導体の導入による 高分子系有機薄膜太陽電池の高性能化

有機薄膜チーム 山成敏広

# 高分子系バルクヘテロ接合型 有機薄膜太陽電池

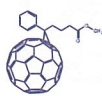
## 光電変換層

p型有機半導体  
共役系高分子

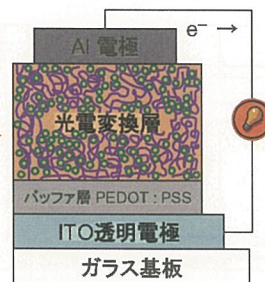
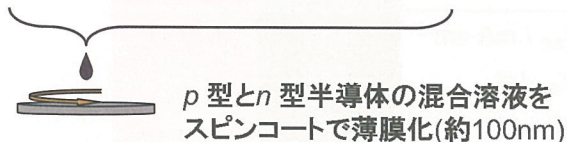


P3HT

n型有機半導体  
可溶性フラレン誘導体



[60]PCBM

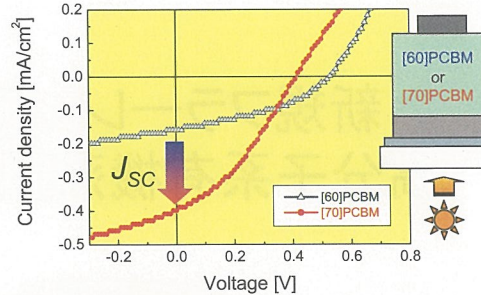
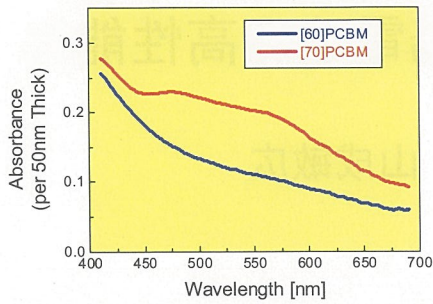
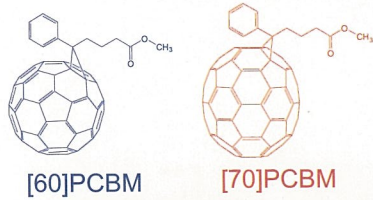


## 特長

- ☆塗るだけで作製できる
- ☆低コスト・低環境負荷
- ※課題は高性能(高効率)化



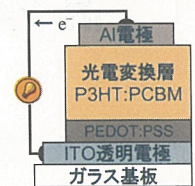
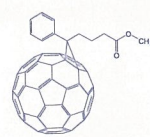
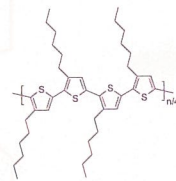
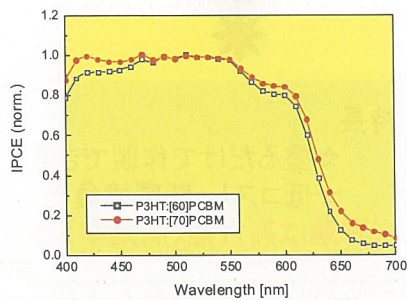
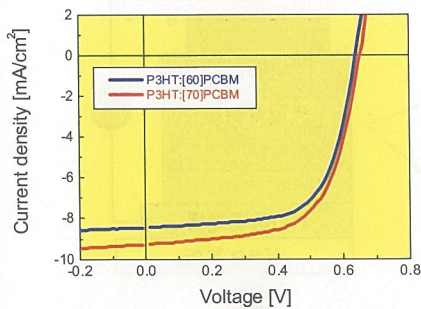
# 新規n型材料[70]PCBM



ショットキー型セルでは、[70]PCBMは[60]PCBMの2倍以上の $J_{SC}$ が得られる。

[70]PCBMは[60]PCBMより可視光領域の吸収が大きい。  
→ 光電変換に利用できる光が増えて $J_{SC}$ が向上すると期待できる。

# 新規n型材料[70]PCBMで 変換効率の向上に成功



AM 1.5 G  
(100 mW/cm<sup>2</sup>)

	[60]PCBM	[70]PCBM
$J_{SC}$ / mA cm <sup>-2</sup>	8.46	9.31 ↑
$V_{OC}$ / V	0.64	0.65
FF	0.66	0.63
Efficiency / %	3.6	3.8 ↑

→  $J_{SC}$ と分光感度(IPCE)が向上して  
変換効率**3.8%**を達成!

# ペンタセン- C60 超格子バルクヘテロ接合 有機薄膜太陽電池

太陽光発電研究センター 有機薄膜チーム

阪井 淳 (松下電工), 當摩 哲也, 齊藤 和裕

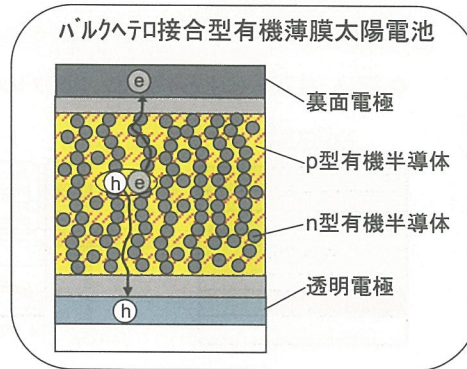
## 背景

- ◆ 現状 p型有機半導体とn型有機半導体をナノスケールでブレンド  
作製法: 共蒸着法、ブレンド溶液塗布法

↓  
活性層全体で高い電荷分離効率  
ランダムなブレンド構造

- ◆ さらなる高効率化に向けたアプローチ

	光吸収向上	キャリア輸送性向上
材料	低Eg材料	高移動度材料
デバイス構造 (新材料に対応)	高光吸収構造 (タンDEM構造)	高電荷分離構造 高キャリア輸送構造



独立行政法人 産業技術総合研究所

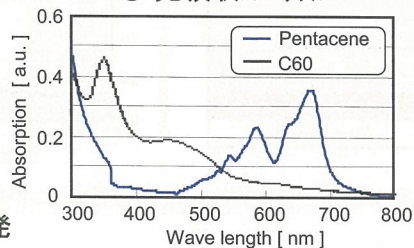
## 目的

- ◆ 高い移動度と可視光吸収特性を特徴とするペンタセンのバルクヘテロ接合型有機薄膜太陽電池への応用可能性検証

### ○ 移動度 (FET移動度)

- ・金属フタロシアン: 0.02 cm<sup>2</sup>/Vs
- ・ペンタセン: 1 cm<sup>2</sup>/Vs

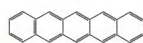
### ○ 光吸収スペクトル



- ◆ ペンタセンを応用した高効率デバイス構造の開発

## 実験条件

- ・有機半導体材料 — p型: ペンタセン、n型: フラーレン (C60)



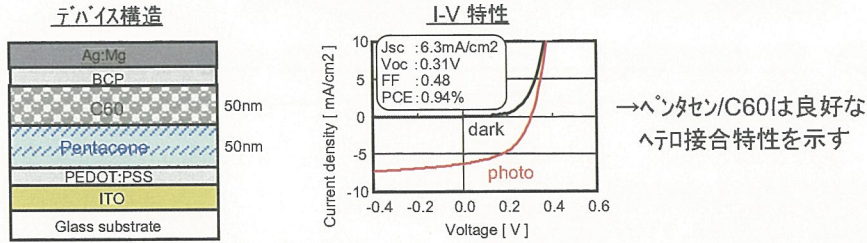
- ・デバイス作製 — 真空蒸着法
- ・太陽電池特性評価 — AM1.5G 100mW/cm<sup>2</sup>光照射、真空中で測定

独立行政法人 産業技術総合研究所



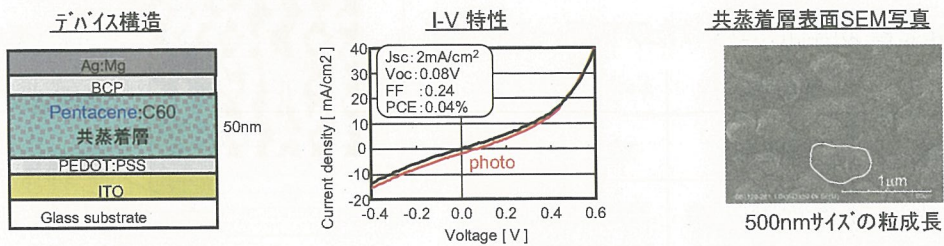
## ■ 検討結果

### (1) ペンタセン/C60 pn接合型太陽電池の試作・評価



### (2) C60との共蒸着によるバルクヘテロ接合化検討

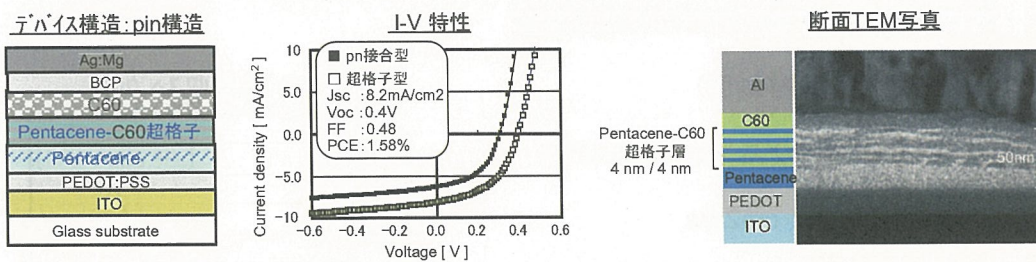
◆ 狙い: 共蒸着によるペンタセン:C60ブレンド層形成→電荷分離効率向上



◎ ペンタセンの凝集力が強く、C60とブレンドされず優先的に粒成長する→電荷分離効率低下

### (3) 交互積層法によるペンタセン-C60 超格子層を導入したバルクヘテロ接合型太陽電池の検討

◆ 狙い: 超格子層による高電荷分離構造の形成→凝集力が強くブレンドしにくい材料のバルクヘテロ化



◎ 超格子層を含むpin構造の導入により、Jsc、Vocともに増大

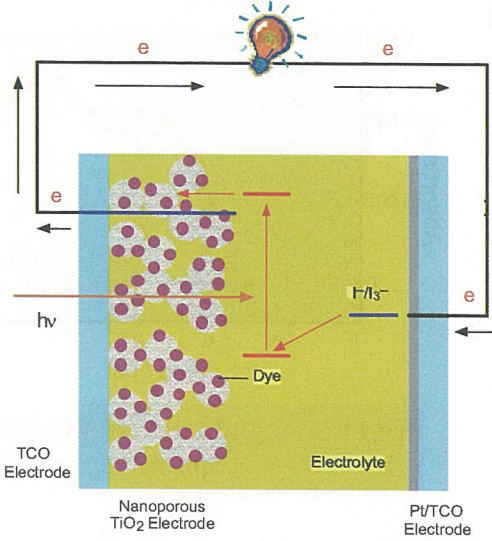
## ■ まとめ

- ・ペンタセンのような直線性分子は、凝集/配向力が強く、共蒸着で均一なブレンド層を形成するのは困難。
- ・直線性分子であっても、超格子層の導入により、ブレンド構造と同様の高い電荷分離効率を得られた。
- ・超格子層中で電荷分離された正孔、電子は、pin構造によって形成された内蔵電界によって電極まで輸送される。
- ・超格子を形成する各層は、10nm以下と薄いため、キャリアはトンネル効果により、ポテンシャルバリアを透過していくものと考えられる。

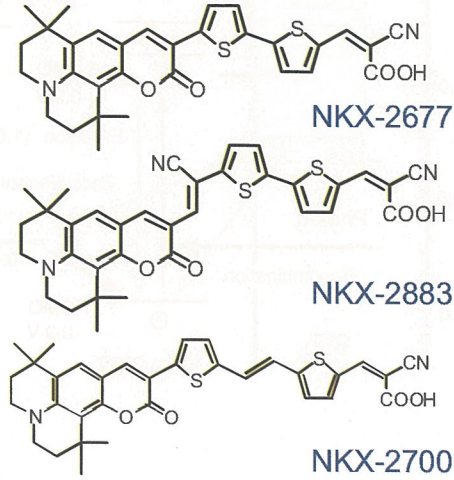


# クマリン色素を用いた高性能有機色素太陽電池 有機薄膜チーム Zhong-Sheng Wang

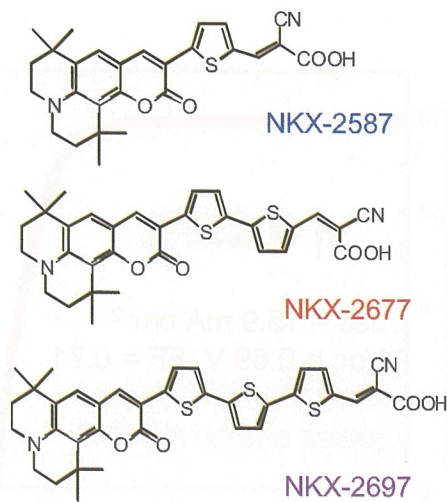
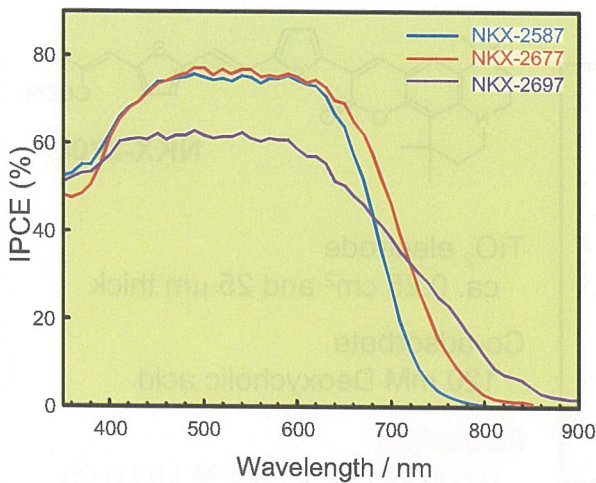
## Dye-Sensitized Solar Cell



## Coumarin dyes



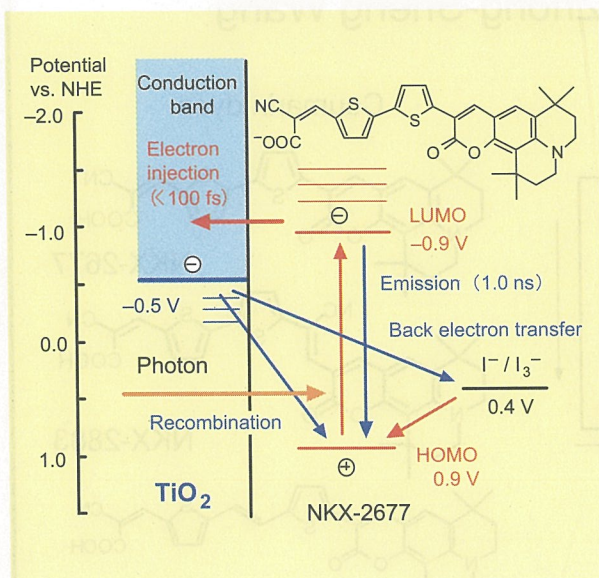
## IPCE spectra of DSSCs based on coumarin dyes



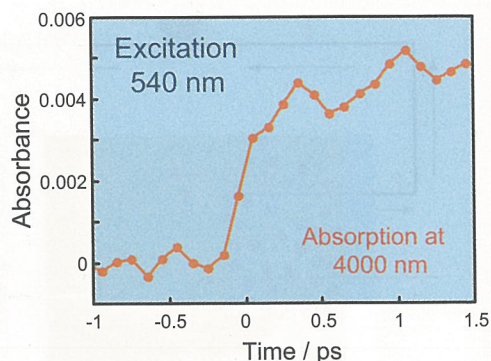
Good photo-response from UV to near-IR region



## Electron transfer processes (NKX-2677)

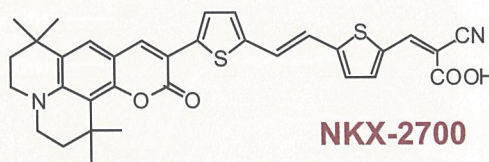
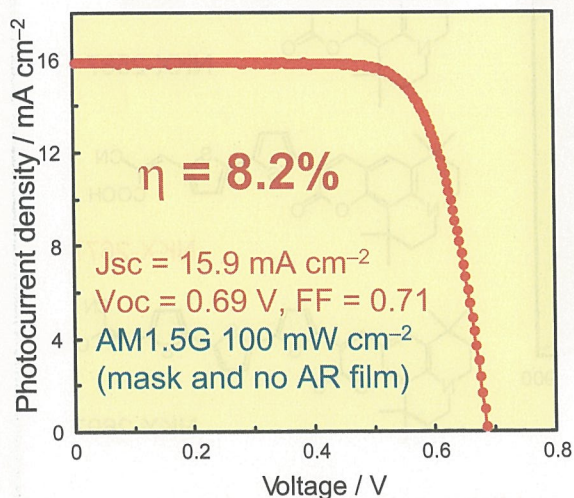


### Transient absorption of electrons (4000 nm)



Electron injection from the dye  
→ <math>< 100 \text{ fs}</math>

## The best performance (NKX-2700)



TiO<sub>2</sub> electrode  
ca. 0.25 cm<sup>2</sup> and 25 μm thick

Co-adsorbate  
120 mM Deoxycholic acid

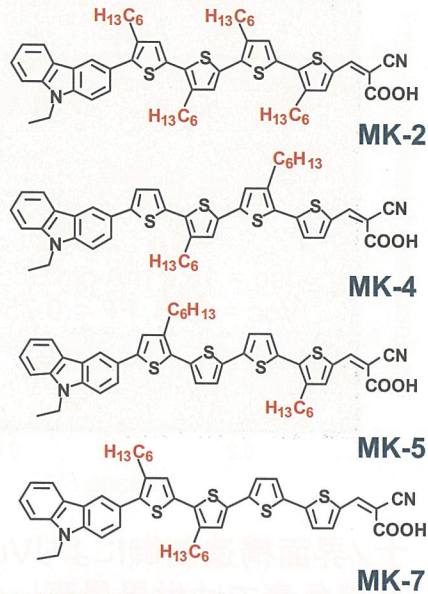
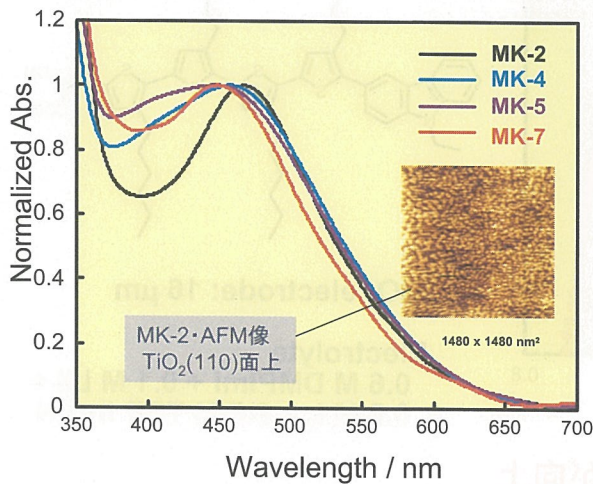
Electrolyte  
0.6 M DMPImI / 0.1 M LiI / 0.05 M I<sub>2</sub> / 0.7 M TBP / acetonitrile

Z.-S. Wang et al., *J. Phys. Chem. C* 2007, 111, 7224.



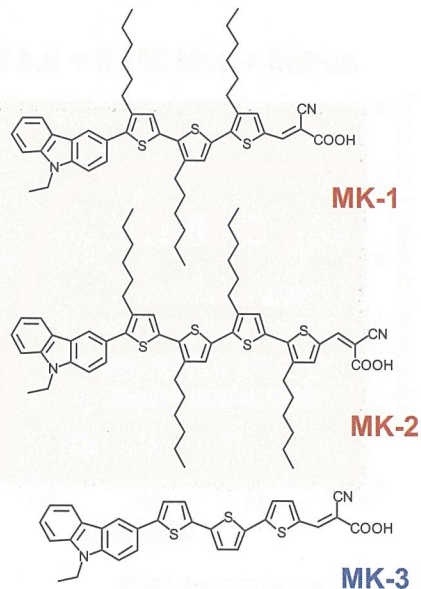
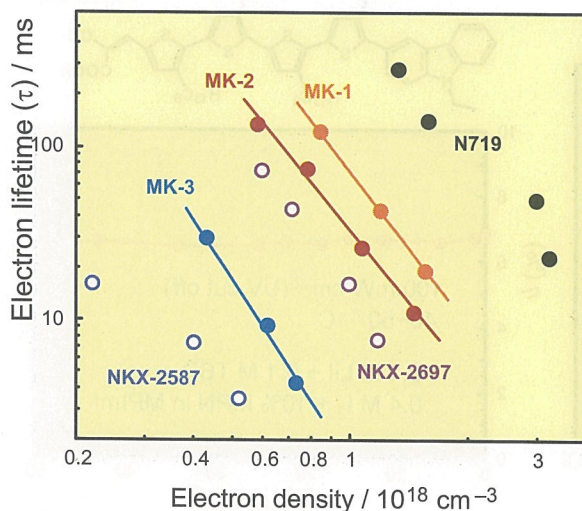
## ナノ・ヘテロ界面構造の制御による有機色素太陽電池の 高効率化 有機薄膜チーム 原 浩二郎

色素の吸収スペクトル (TiO<sub>2</sub>薄膜上)



アルキル鎖の減少 → 色素間相互作用(吸着状態)が変化

## 色素分子構造による電子寿命の変化

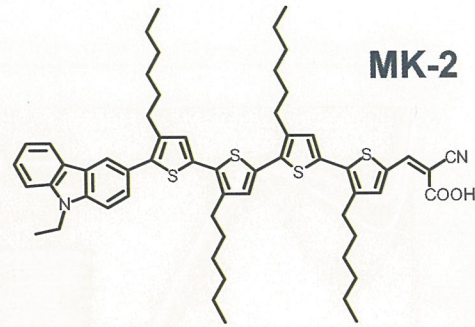
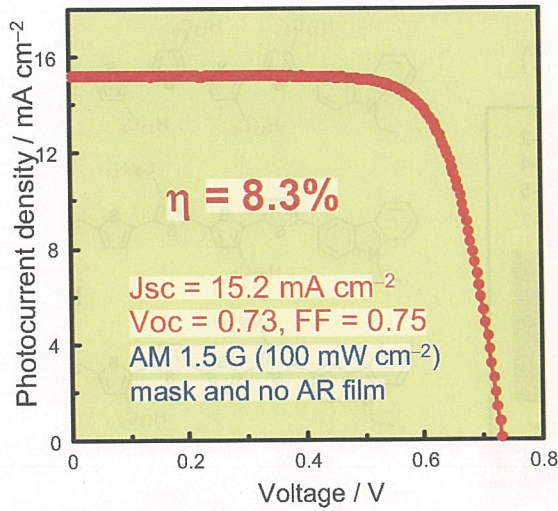


アルキル鎖が電子寿命を向上  
(Vocが向上)

N. Koumura et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 14256.



### 最高変換効率 (MK-2)



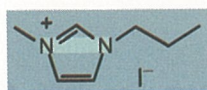
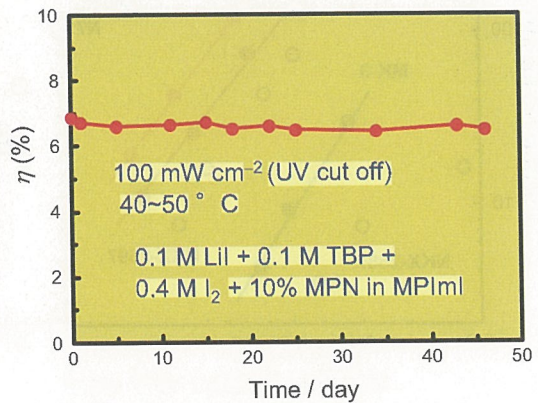
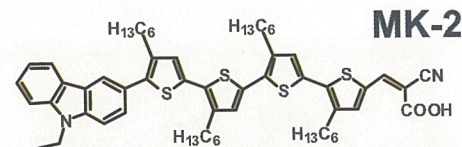
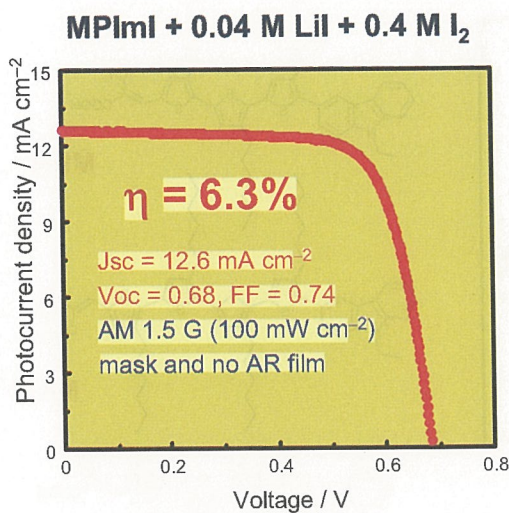
TiO<sub>2</sub> electrode: 16 μm

**Electrolyte**  
 0.6 M DMPIml + 0.1 M Lil +  
 0.2 M I<sub>2</sub> + 0.5 M TBP in AN

ナノ界面構造制御によりVocが向上  
 (有機色素では世界最高レベルの性能)

Z.-S. Wang et al. Submitted.

### イオン性液体電解液 (MK-2)



**MPIml**

**イオン性液体**  
 → 高性能・高安定性を達成



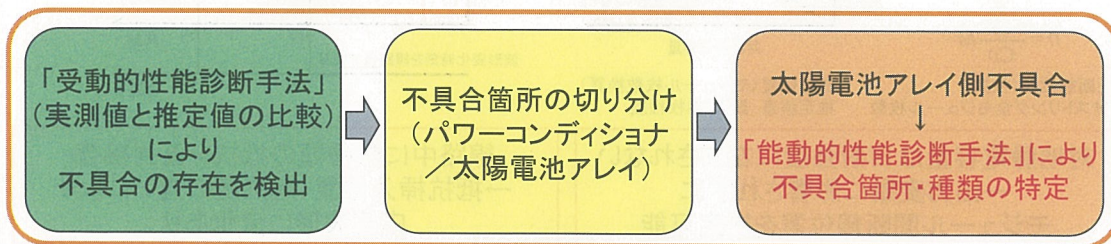
# PVシステムの故障診断技術

評価・システムチーム 高島 工

## 背景と目的

- ・PVシステムの生涯発電量を最大化するため、システムの不具合を早期に検出し、出力低下を最低限に抑える必要あり。
- ・従来技術(I-V特性計測, 開放電圧測定)では太陽電池アレイの不具合の存在は確認できるが、不具合箇所の特定は難しい。
- ・**太陽電池アレイの不具合箇所特定技術を開発し、性能診断システムに統合**

## 性能診断システム(故障診断システム)

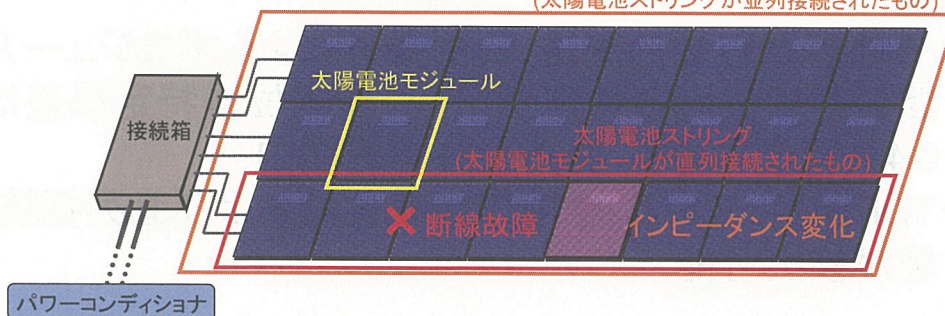


独立行政法人 産業技術総合研究所

## 能動的性能診断手法

対象: PVモジュールストリング

太陽電池アレイ  
(太陽電池ストリングが並列接続されたもの)



### 1. モジュール間の断線位置の検出

- 対地静電容量計測法<特願2006-273917>
- 竣工時検査, 事故時点検

### 2. ストリング中のインピーダンス変化位置の検出

- 信号印加による応答波形解析
- 定期点検(劣化診断)

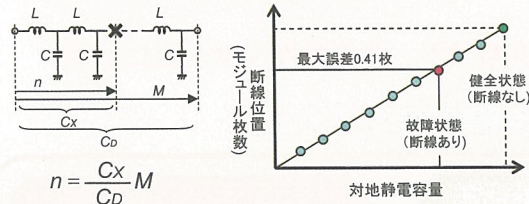
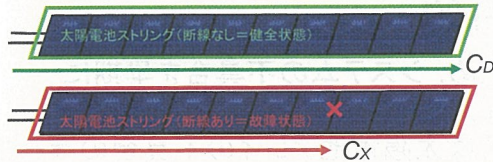
独立行政法人 産業技術総合研究所



# 性能診断実験

## 1. モジュール間断線位置の検出

対地静電容量の比較による断線位置推定



$$n = \frac{C_x}{C_D} M$$

n:断線位置 (枚数)

M:ストリング全モジュール枚数

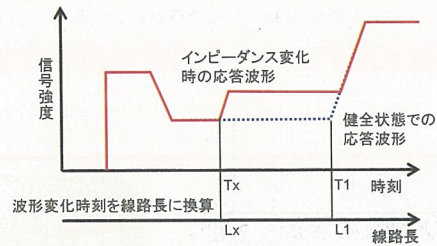
断線位置 (モジュール枚数換算)  
推定誤差: 最大0.4枚程度

対地静電容量は日射強度に左右されない  
→出力変動に影響されずに  
モジュール間断線位置を推定可能

## 2. インピーダンス変化位置の検出

ストリングに信号を印加し、応答波形からインピーダンス変化位置(劣化等)を検出  
(TDR: Time Domain Reflectometry)

太陽電池ストリング(インピーダンス変化あり=故障状態)



線路中に数種類の抵抗を直列接続  
→抵抗挿入位置・抵抗値の違いにより  
応答波形に変化あり

# 結論と今後の課題

### ●結論

- 対地静電容量計測法: 日射条件によらずモジュール間の断線位置の特定が可能. 断線位置特定誤差は0.4枚程度であり, 実用上許容範囲内.
- TDR測定: ストリング中の断線位置および直列抵抗増が検出可能.

### ●今後の課題

- 対地静電容量計測法: 各種モジュール(異形モジュール)・断線以外の故障への適用可能性の検討.
- TDR測定: 応答波形の更なる解析.
- 性能診断システムとして統合.



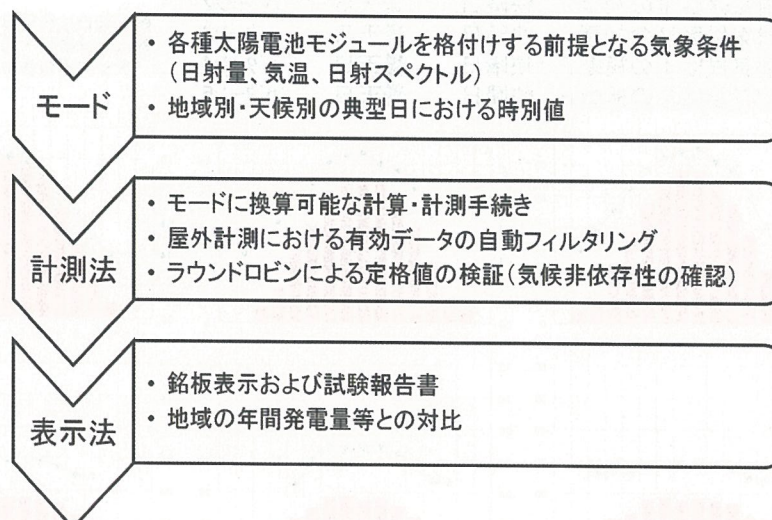
## 発電量評価技術

評価・システムチーム 大谷謙仁

### 発電量定格とは

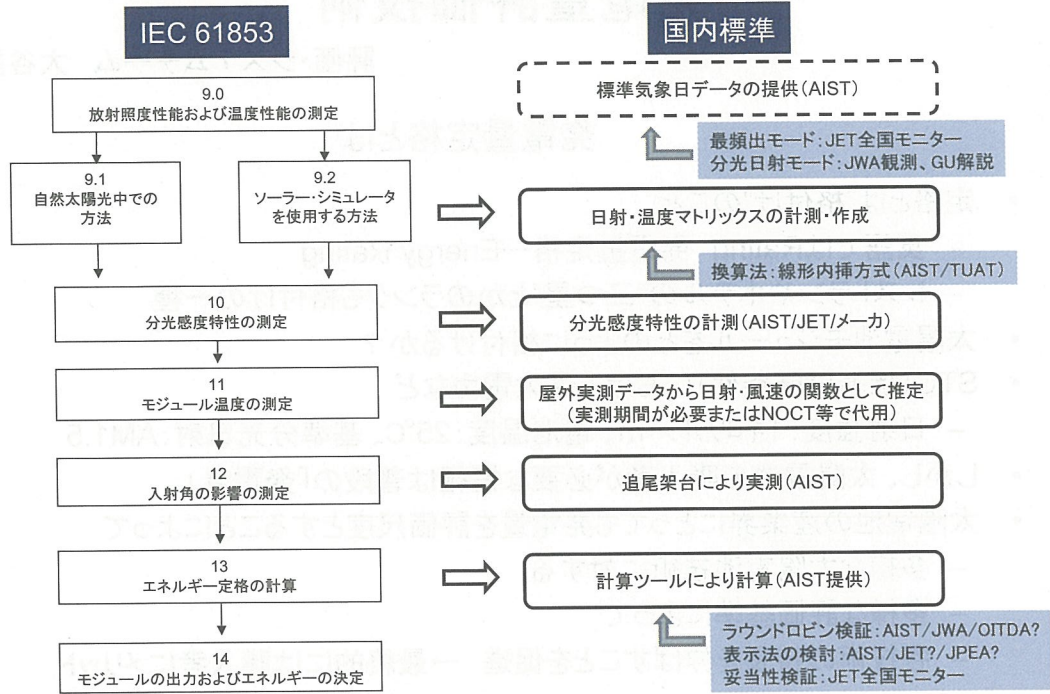
- 定格とは”格付け”のこと
  - 英語ではRating 発電量定格→Energy Rating
  - レストランやホテルの”三つ星”とかのランクも格付けの一種
- 太陽電池モジュールをどのように格付けるか？
- STC(標準試験条件)における最大電力など
  - 日射強度:1キロワット/m<sup>2</sup>、電池温度:25°C、基準分光日射:AM1.5
- しかし、太陽電池の購入者が必要な情報は普段の「発電量」
- 太陽電池の産業界にとっても発電量を評価尺度とすることによって
  - 多様な太陽電池技術に対する
  - 多様な評価基準によって
  - 各技術の特長を伸ばすことを促進 →最終的には購入者にメリット

## 発電量定格技術の構成と課題





## IEC61853および発電量定格の試算手順

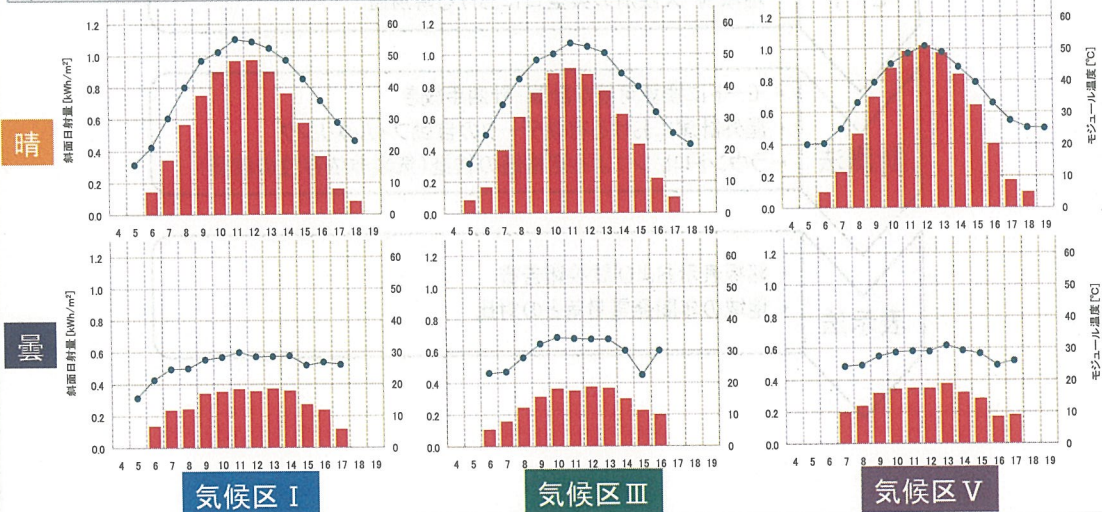


独立行政法人 産業技術総合研究所

## わが国の典型気象モードの例 (10モード/6モード?)

モードNo.	名称※	天気1	天気2	分光日射
1, 2	日射気候区Ⅰの初夏	快晴日	曇天日	パターン1
3, 4	日射気候区Ⅲの初夏	快晴日	曇天日	パターン2
5, 6	日射気候区Ⅴの初夏	快晴日	曇天日	パターン3
7, 8	日射気候区Ⅰの極寒日	快晴日	曇天日	パターン4
9, 10	日射気候区Ⅴの極暑日	快晴日	曇天日	パターン5

◆曇天日は快晴日の4割程度の日射量  
◆7と8は欧州・北東アジア、9,10は東南アジアを包含する



独立行政法人 産業技術総合研究所

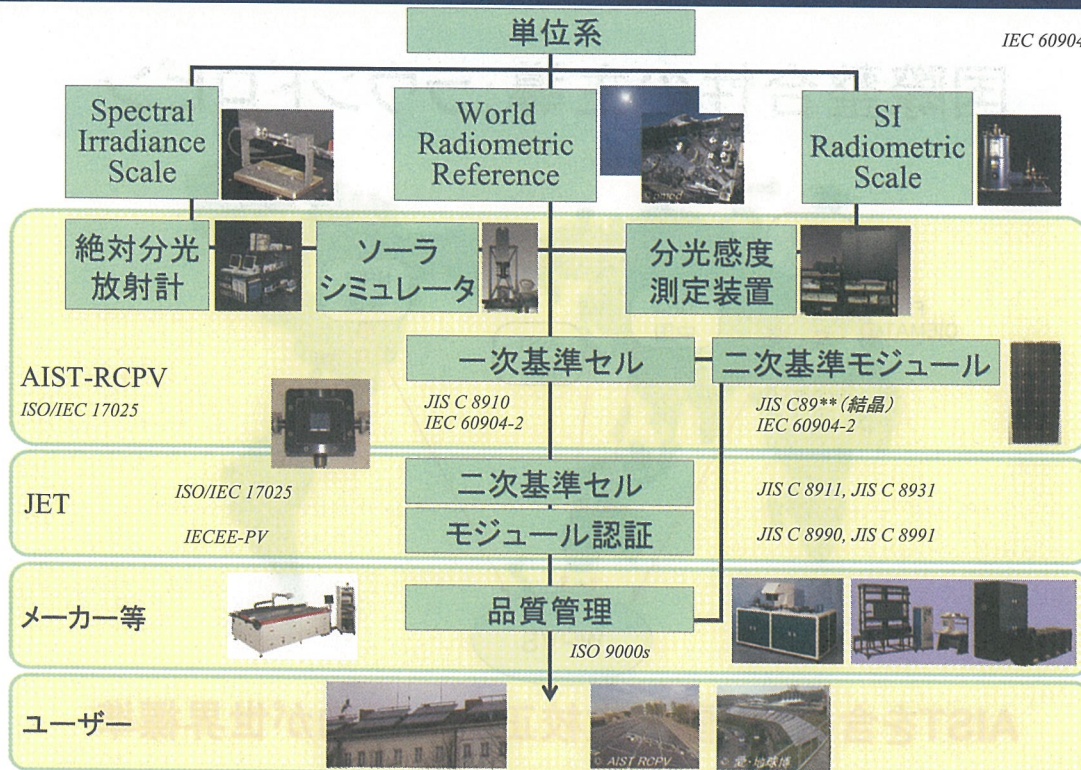


# 基準太陽電池セル・モジュール 校正技術(トレーサビリティ)

- ・ 太陽電池評価装置の国家・国際標準に対する遡及可能性の確保
- ・ 性能表示の信頼性保証に不可欠

評価・システムチーム 猪狩真一

IEC 60904-4



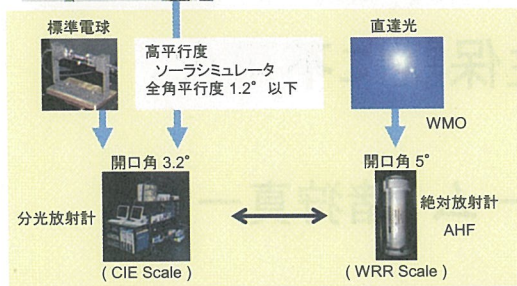


## 高平行度ソーラシミュレータ

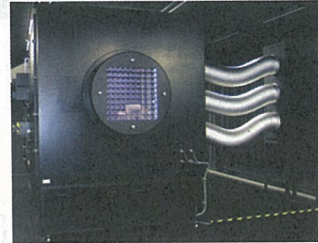


### World's First

- ・平行度： $< \pm 1.2^\circ$  :全角  
(従来技術では $> 3^\circ$  :全角)
- ・視野角： $5^\circ$
- ・絶対放射計(ACR)で放射照度を校正可能
- ・WRRダイレクトレース
- ・校正精度を飛躍的向上

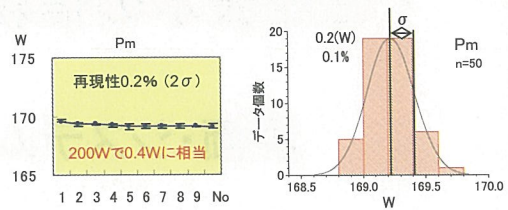


## 基準モジュール校正用ソーラシミュレータ

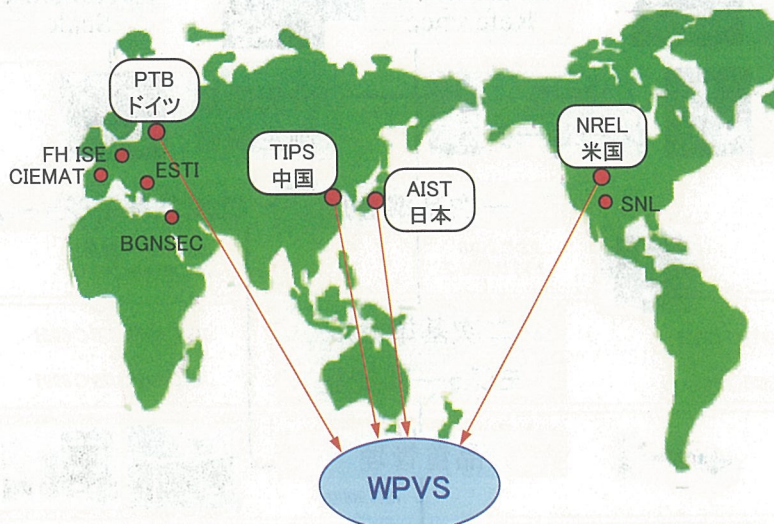


### World's First

- ・IEC60904-9 ClassA+照度むら  $\pm 1\%$  以下
- ・有効照射面積： $1.1\text{m} \times 1.9\text{m}$
- ・パルス幅：最長 1秒，新型モジュールにも適合



## 国際整合性の主導:ラウンドロビン

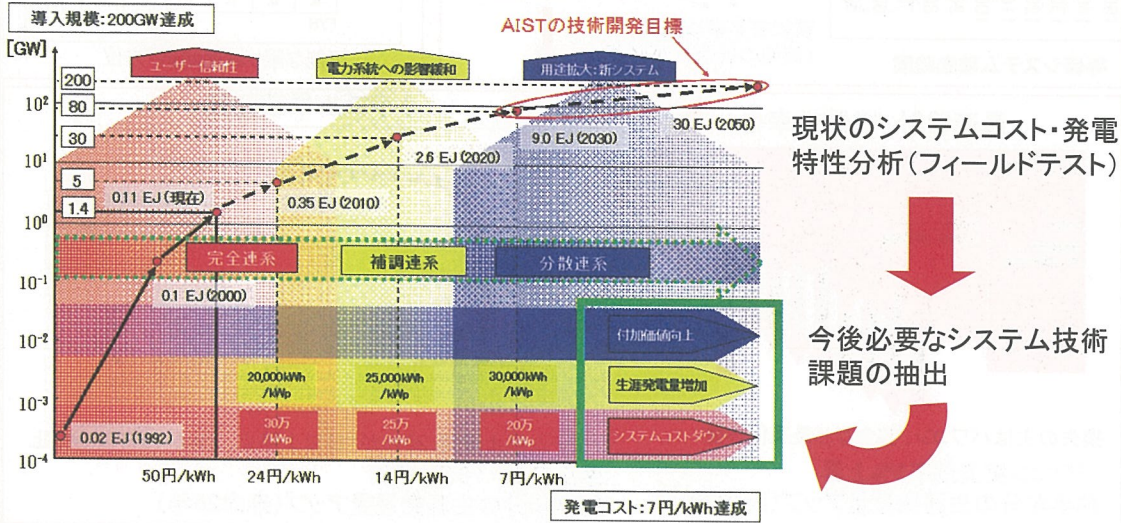


**AISTを含む4機関一次校正値の平均が世界標準**

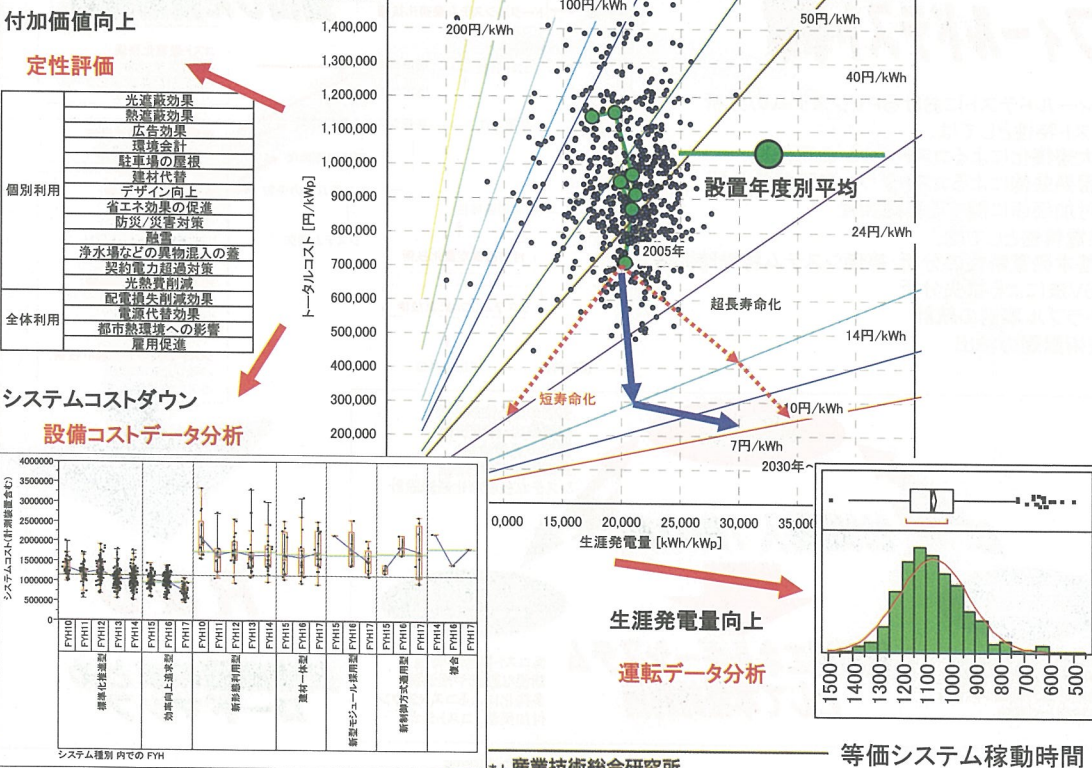


# 太陽光発電フィールドテスト事業を用いた 太陽光発電システム特性分析評価

評価・システムチーム 大関 崇

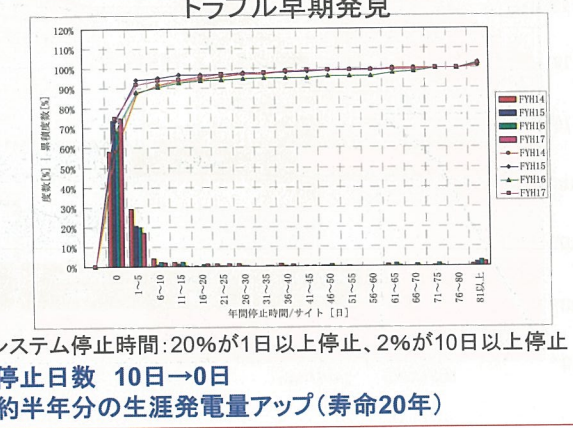
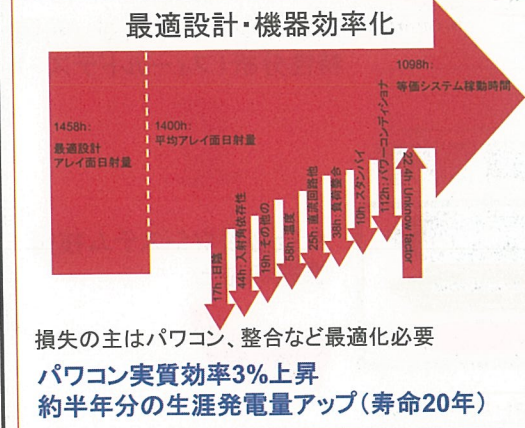
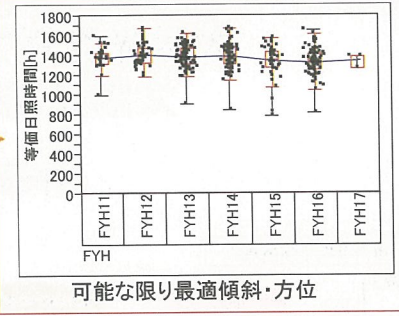
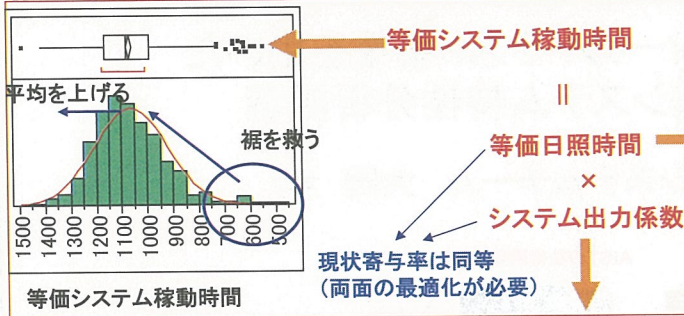


独立行政法人 産業技術総合研究所



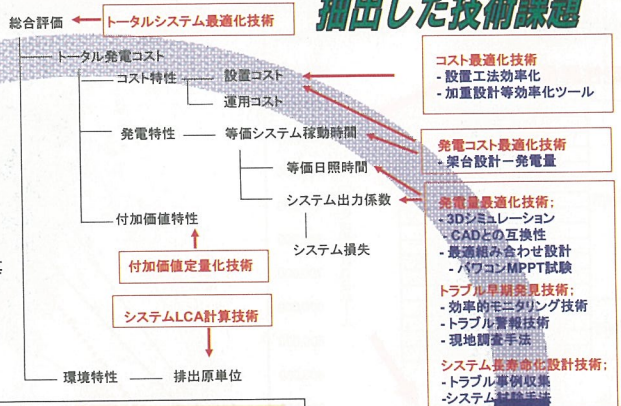
独立行政法人 産業技術総合研究所





# フィールドテスト事業

- ・フィールドテストにおけるPVシステムの分析
- ・コスト特性としては、
  - 大規模化によるコストダウンの可能性
  - 習熟曲線によるコストダウンの可能性分析
  - 付加価値に関する基礎調査
- ・発電特性としては、
  - 基本発電特性の分析: 等価システム稼働時間等
  - SV法による損失分析
  - トラブル事例の統計
- ・技術課題の抽出



R & D

技術課題のまとめ  
ロードマップ



# 国際共同研究と国際協力

主幹研究員 作田宏一

- MOUに基づく共同研究
- NEDO開発支援研究協力事業
- その他の国際協力

# MOUに基づく共同研究

- 韓国 KIER (Korea Inst. of Energy Research)
  - 標準化技術の供与
  - 基準セル供給
  - 研究者に基準セル校正技術を指導
- 台湾 ITRI (Industrial Technology Research Inst.)
  - 研究者1名を受け入れ (微結晶SiGeの基礎的研究)
  - 標準化・評価技術の技術指導と技術供与
  - システム研究についても研究者受入予定
- モンゴル モンゴル国立大学
  - ゴビ砂漠域における太陽電池の屋外試験評価



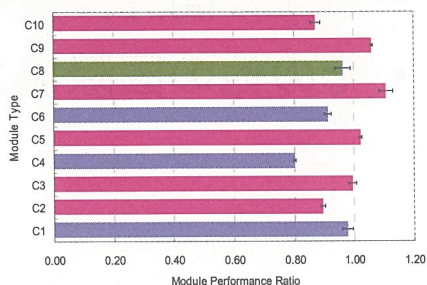


## NEDO開発支援研究協力事業

- 相手先：  
タイ NSTDA(科学技術開発庁)
- 研究課題：  
「低緯度帯における太陽電池評価の標準化のための研究開発」
- 研究期間：平成17～18年度
- 目的・内容：
  - 屋内評価技術を供与し、太陽電池評価に関する国際標準手法普及を図る。
  - 低緯度帯における屋外暴露データ、太陽光スペクトルを含む気象データを計測し、屋内試験による太陽電池評価を開発する。



10種類の太陽電池モジュール  
(日本製7種類、タイ製3種類)



モジュール性能の比較

## その他の国際協力

- IEC/TC82
  - 太陽電池・システムの規格化・標準化
  - トレーサビリティ、基準デバイス、エネルギー定格、IV測定・補正、等
- IEA/PVPS
  - 太陽光発電システムの諸課題に関する調査・協力
  - Task2 システム性能・信頼性分析調査
  - Task8 砂漠等大規模太陽光発電の可能性調査
  - Task10 都市規模系統連系システムの応用



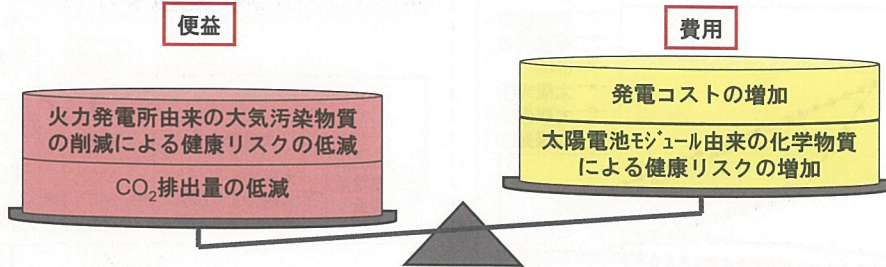
# 火力発電の代替としての太陽光発電導入の費用便益分析

荒川千夏子、酒井めぐ美、吉田喜久雄

(独) 産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター

## 目的

太陽光発電の需要は今後、急速に増大することが見込まれている。そこで、3つの導入シナリオを設定し、増加した太陽光発電による電力を火力発電の代替電力として導入する場合の費用便益分析を行った。



## 太陽光発電導入シナリオ

太陽光①...2030年度の新エネルギーのシェアが約10%

太陽光②...現行から新規施策が追加されない

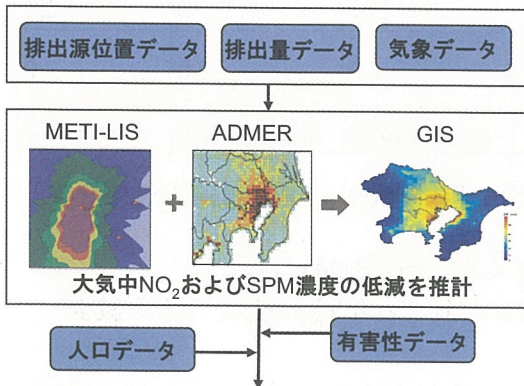
太陽光③...今後の導入伸び率が2005年度までの実績伸び率に等しい

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 導入便益

### ◆火力発電所由来の大気汚染物質の削減による健康リスクの低減

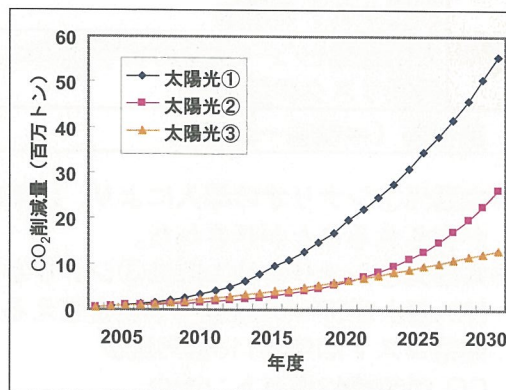
大気汚染物質としてNO<sub>2</sub>およびSPMを対象とした。NO<sub>2</sub>の健康影響リスクとして呼吸器疾患による入院および通院、SPMの健康影響リスクとして全死因死亡を評価した。



健康影響リスクを被る人口の削減と医療費の削減の推定

### ◆CO<sub>2</sub>排出量の削減

電源別CO<sub>2</sub>排出量や電力構成の推移から、太陽光発電導入より削減されるCO<sub>2</sub>排出量を推計した。便益はIPCCで報告されたCO<sub>2</sub> 1トン排出削減費用 (20~80\$/CO<sub>2</sub>-トン) で評価した。



シナリオ別CO<sub>2</sub>削減量

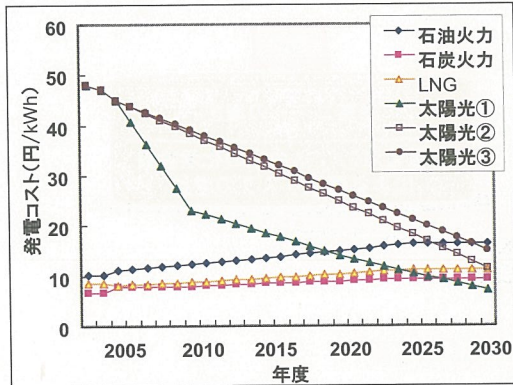
独立行政法人 産業技術総合研究所



## 導入費用

### ◆発電コストの増加

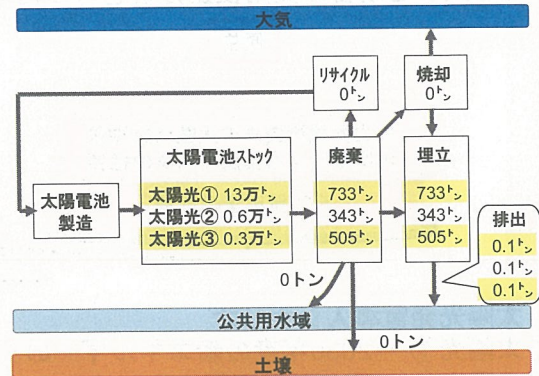
実績値などから予測した電源別発電コストの推移と電力構成の推移から、太陽光発電導入により増加する発電コストを推計した。



各電源別発電コスト

### ◆太陽電池モジュール由来の化学物質による健康リスクの増加

鉛はんだをリスク対象物質とした。太陽電池モジュール由来の鉛に関するマテリアルフロー解析を行い、環境排出量の推計およびリスク解析を行った。費用は増加した医療費で評価した。



太陽電池由来の鉛のマテリアルフロー(2030年度)

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 費用便益分析の結果 (2030年度)

(単位：億円)

		導入シナリオ		
		太陽光①	太陽光②	太陽光③
便益	火力発電所由来の大気汚染物質の削減による健康リスクの低減	25	0.3	-0.5
	CO <sub>2</sub> 削減費用	600~2,400	284~1,136	142~576
費用	発電コストの増加	-137	9	21
	太陽電池モジュール由来の化学物質による健康リスクの増加	0	0	0
純便益 (=便益-費用)		762~2,562	276~1,128	120~545

◆太陽光①シナリオの導入により、2030年度には年間800~2,600億円の代替便益が得られることが示された。

◆太陽光①シナリオは太陽光③シナリオと比べて、2030年度には、NO<sub>2</sub>およびSPMの環境基準値を超える人口がそれぞれ年間15万人、7万人減少  
 発電コストは年間116億円減少  
 CO<sub>2</sub>が年間42百万トン減少  
 太陽電池由来の鉛の廃棄量は年間228トン減少する。

独立行政法人 産業技術総合研究所