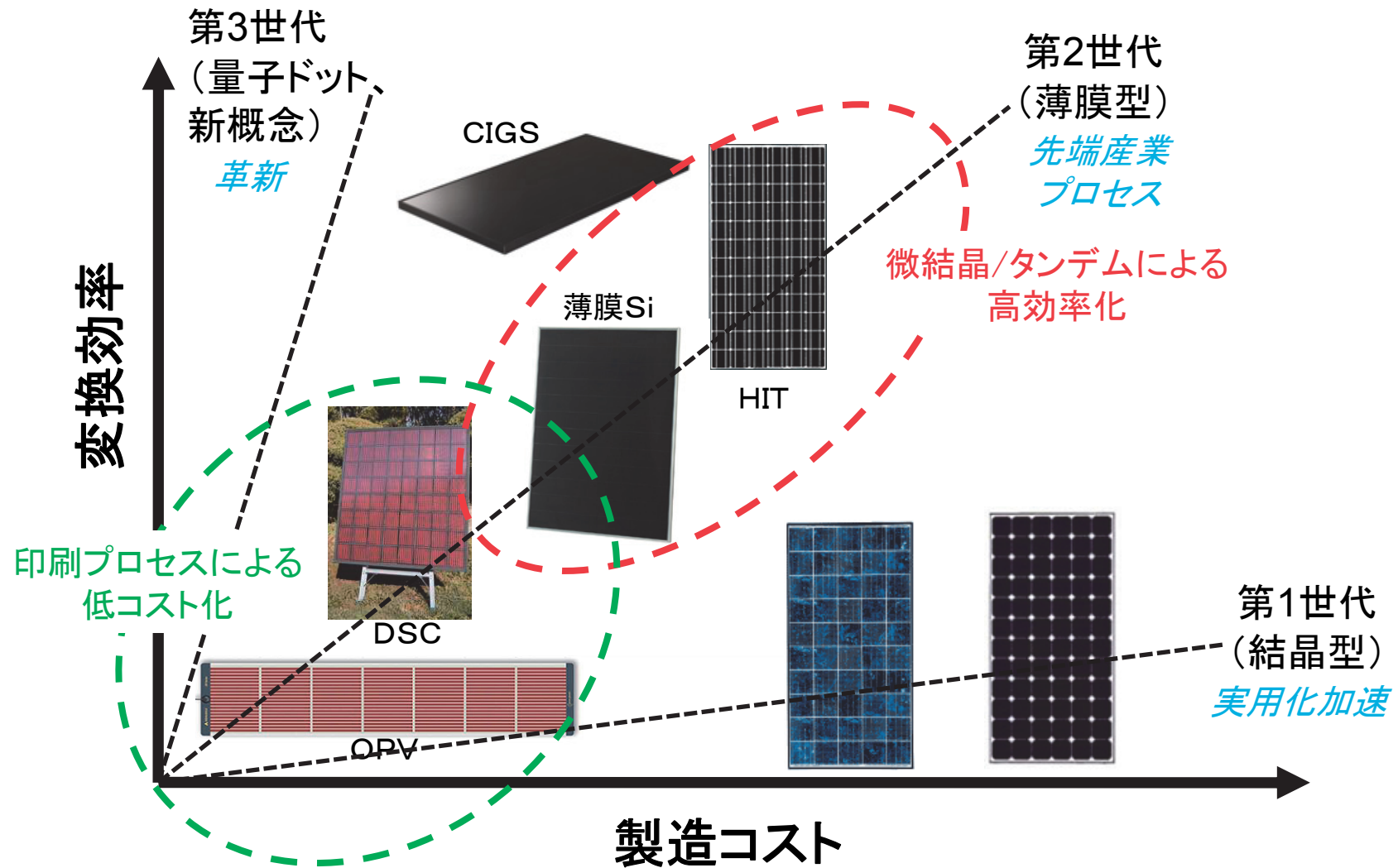


先端産業プロセス・低コスト化チーム の概要

研究チーム長
吉田 郵司

太陽電池の開発戦略：製造コストの低減



先端産業プロセス・低コスト化チームのミッション

次世代太陽電池の開発において、先端産業育成に資する低コスト化材料・プロセス技術の開発。

→ 太陽電池の製造コストの低減、変換効率の向上。

・シリコン薄膜をベースとした太陽電池の高効率化。

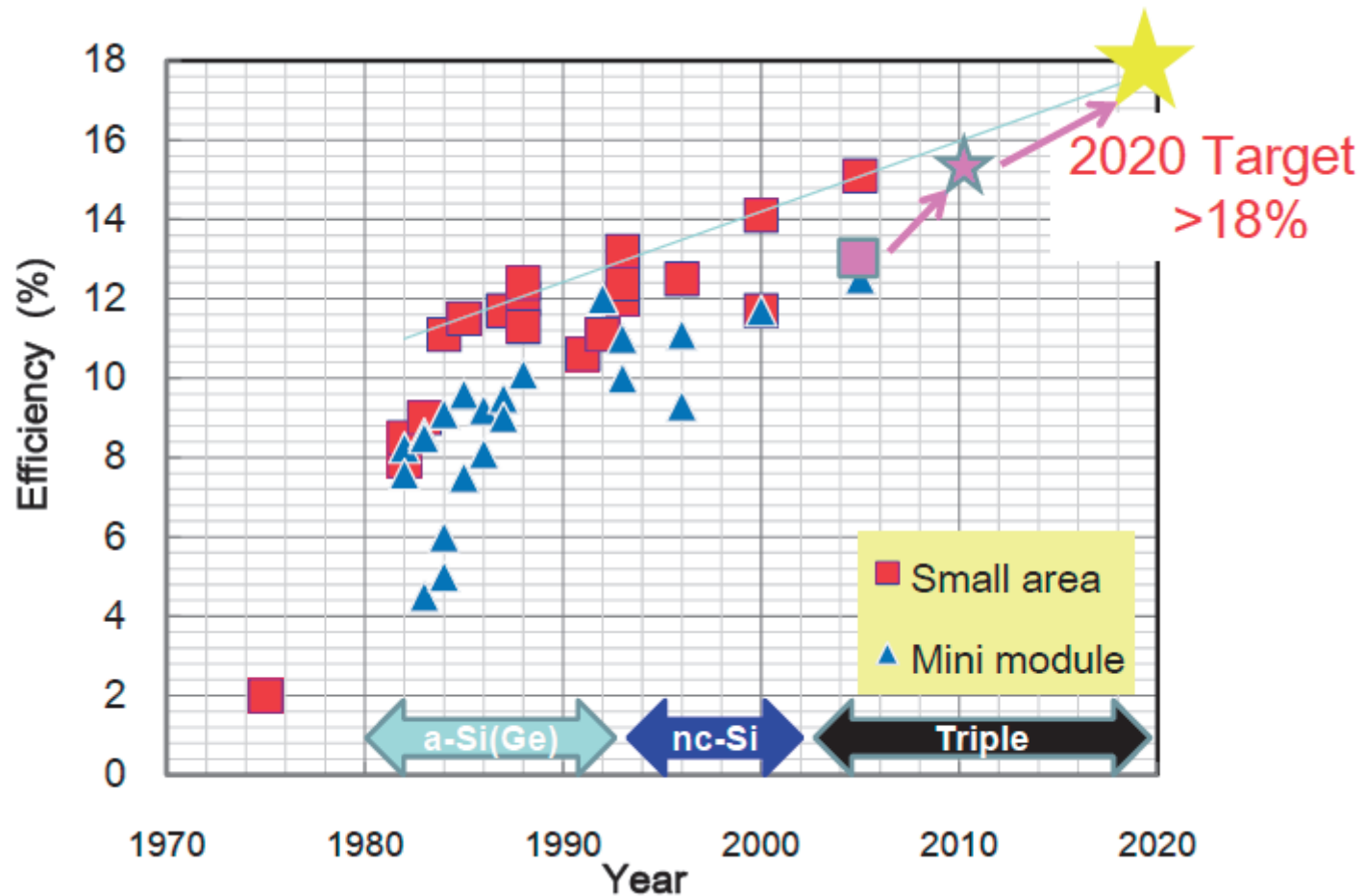
→ 高安定トップセル、高速高品質微結晶材料(Si, SiGe)、光閉じ込め技術、多接合技術、など

・有機分子による太陽電池の実用化。

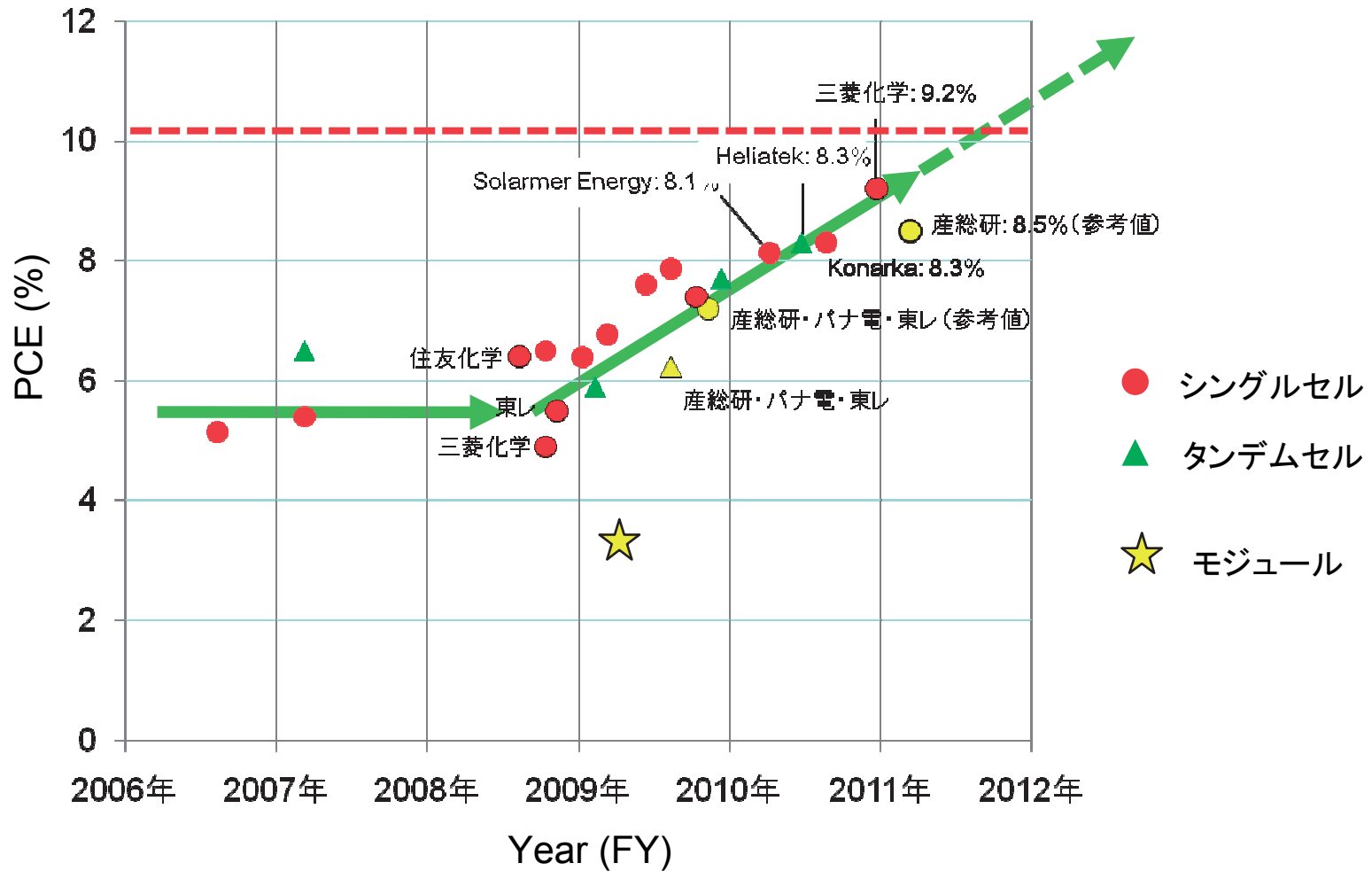
→ 有機色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池の高効率化、高耐久化およびモジュール化、など

・オールジャパン体制で太陽電池技術の向上に資する。

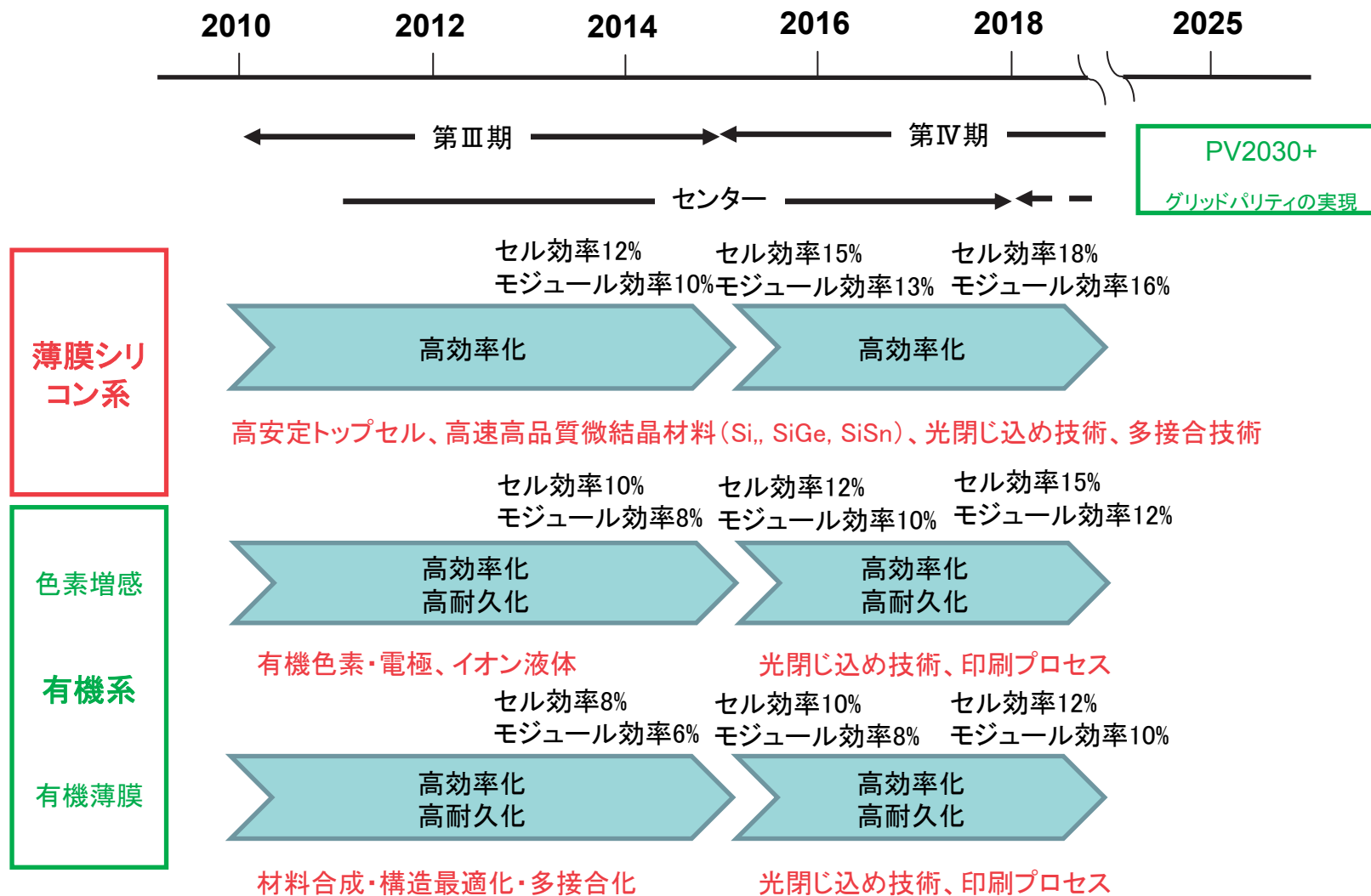
薄膜シリコンの高効率化ロードマップ



有機薄膜の高効率化ロードマップ



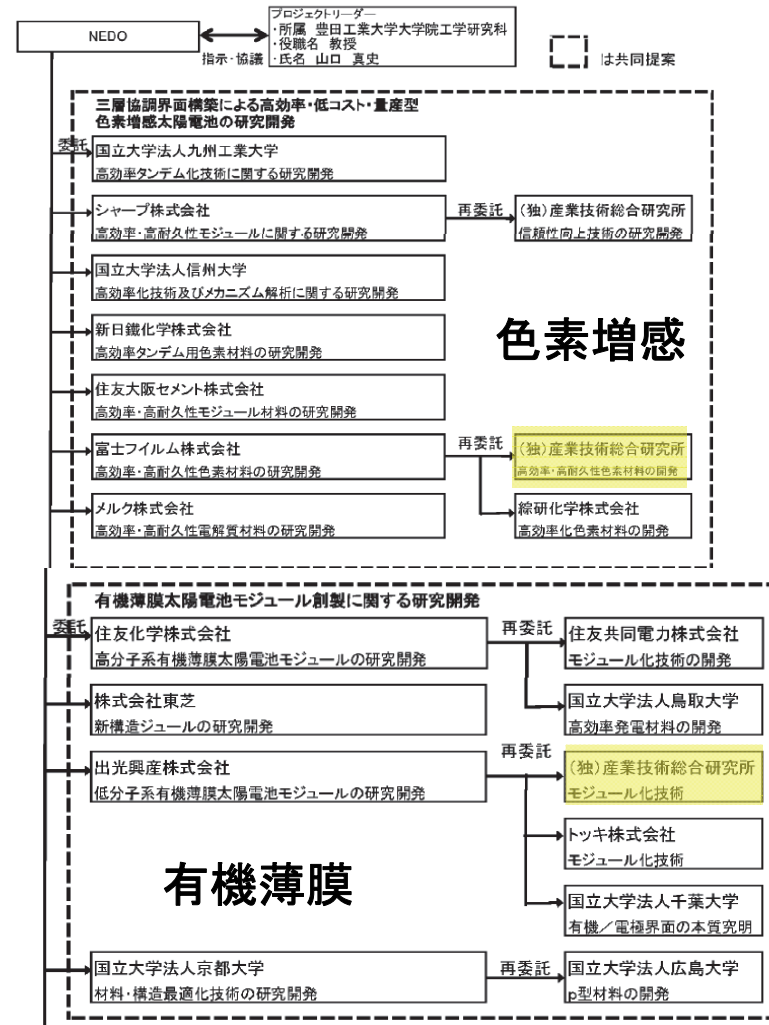
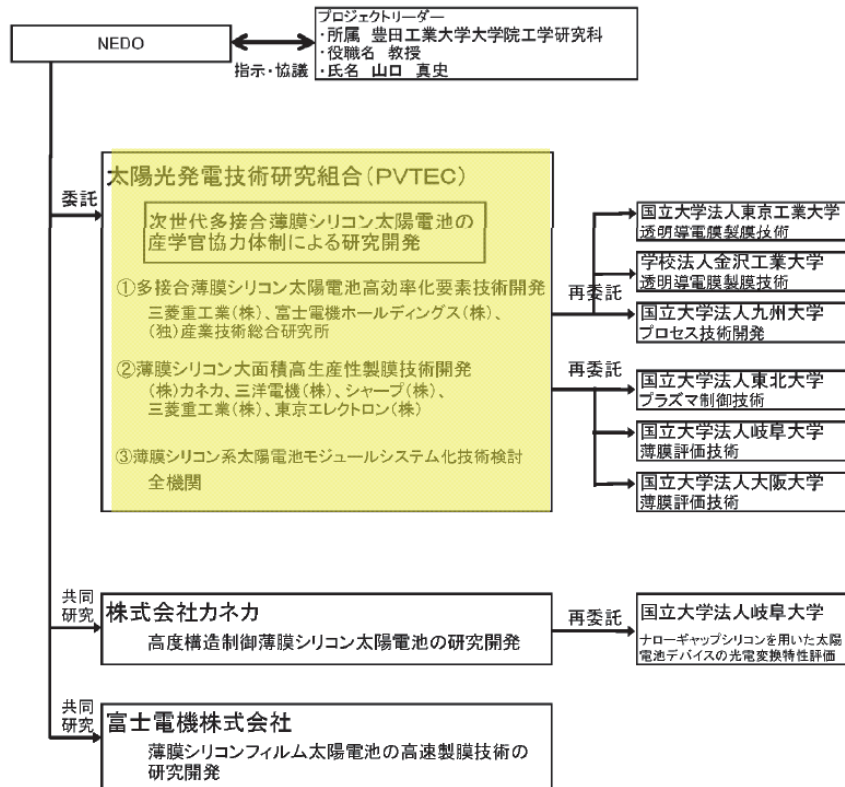
チームの開発ロードマップ



オールジャパン体制による技術開発

: NEDO太陽光発電システム次世代高性能技術の開発

薄膜シリコン



先端産業プロセス・低コスト化チームの体制

職員: 8名 (Si: 4名、有機: 4名)

ポスドク: 5名 (Si: 2名、有機: 3名)

テクニカルスタッフ: 4名 (Si: 0名、有機: 4名)

企業派遣: 4名 (Si: 2名、有機: 2名)

研修学生: 13名 (Si: 3名、有機: 10名)



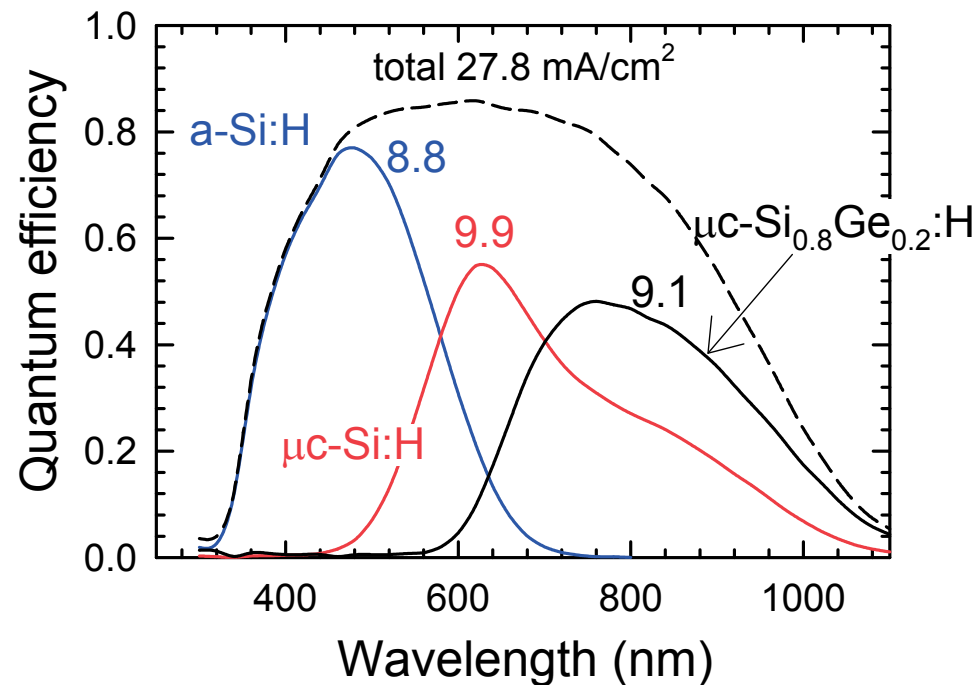
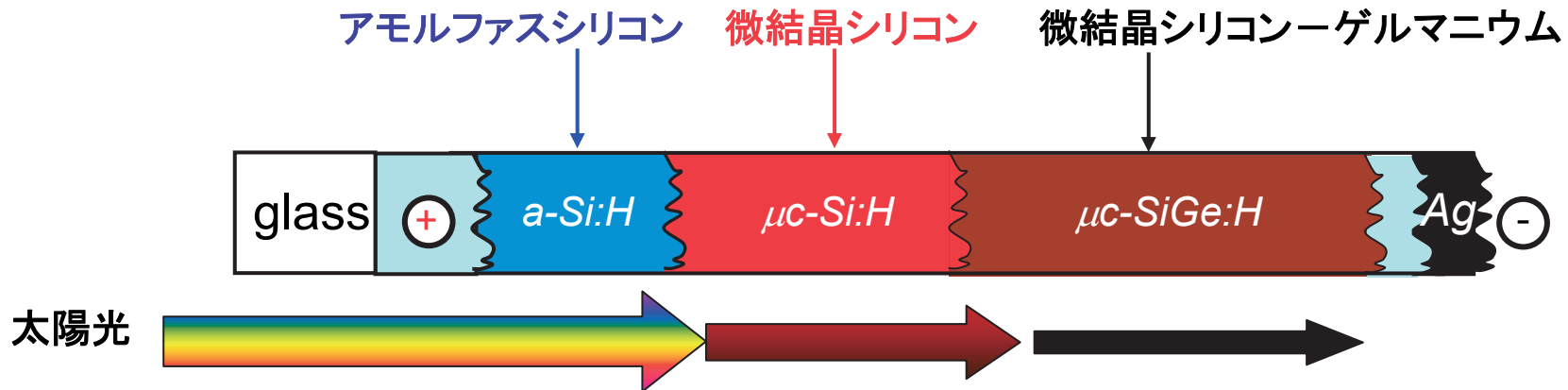
第2事業所: 特殊ガス設備を完備した
薄膜シリコン系太陽電池の開発拠点



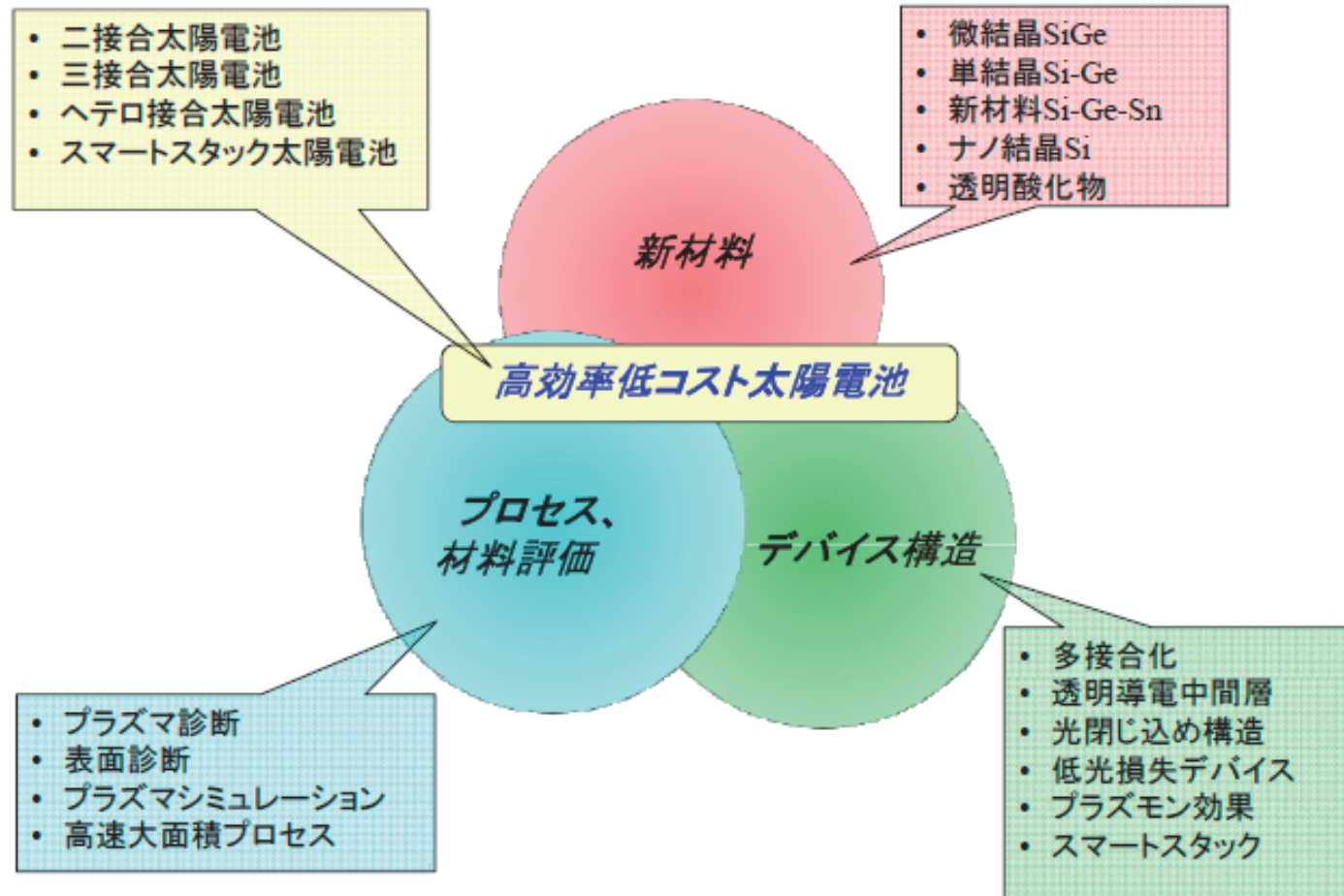
第5事業所: 化学設備を完備した
有機系太陽電池の開発拠点

薄膜シリコン太陽電池の開発状況

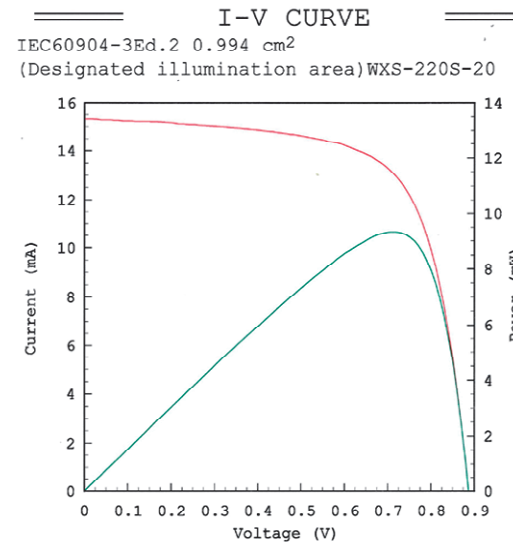
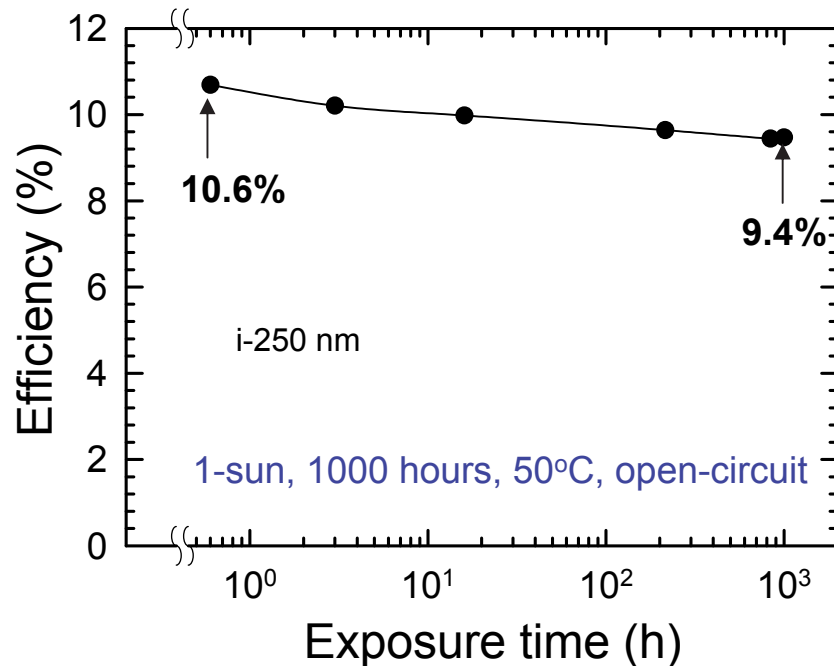
高効率化に向けた薄膜シリコン多接合太陽電池の開発



薄膜シリコン太陽電池の開発項目



アモルファスSi p-i-n型太陽電池 膜厚 250 nm



Date : 02 Jun 2009
 Data No : T0203-3-01
 Sample No : T0203-3
 Repeat Times : 9

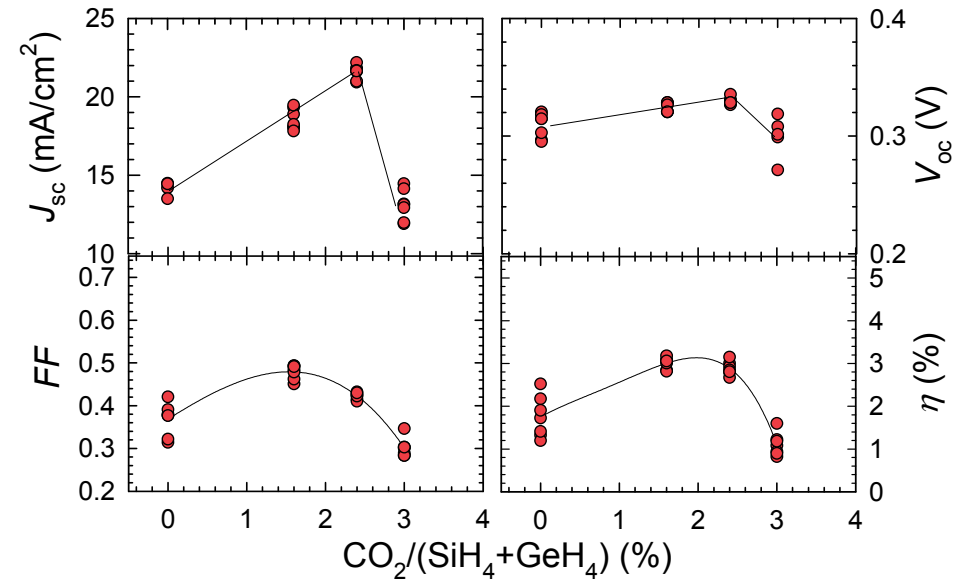
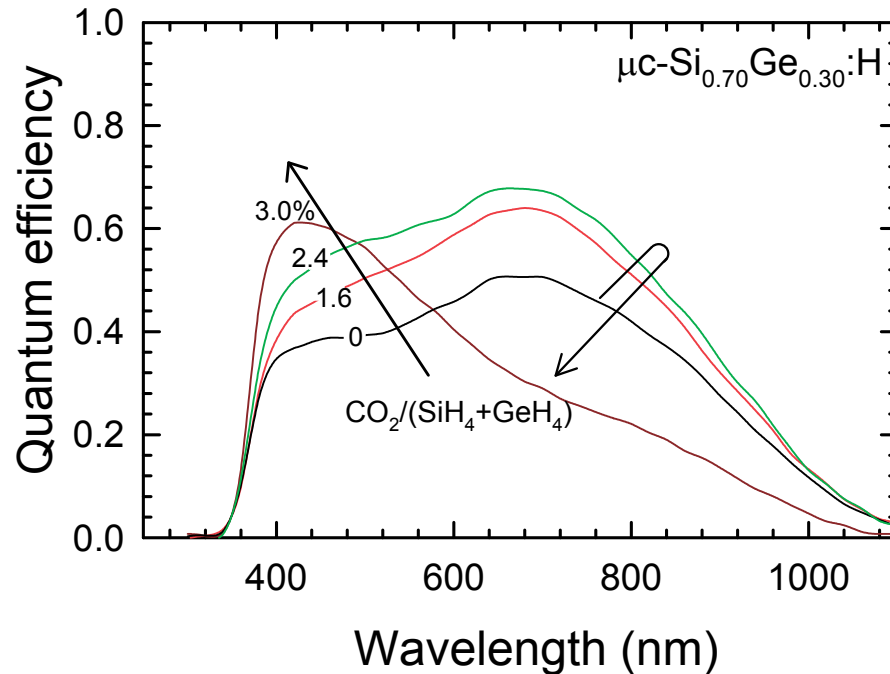
Isc 15.33 mA
 Voc 0.887 V
 Pmax 9.33 mW
 Ipmax 13.10 mA
 Vpmax 0.712 V
 F.F. 68.6 %
 Eff(D) 9.4 %
 DTemp. 25.0 °C
 MTemp. 25.0 °C
 DIrr. 100.0 mW/cm²
 MIrr. 100.3 mW/cm²

Ref. Device No TOP17
 Cal. Val. of Ref. 53.47 [mA at 100mW/cm²]
 Scan Mode Voc to Isc



J_{sc} : 15.4 mA/cm², V_{oc} =0.887 V, FF=68.6%, η =9.4%

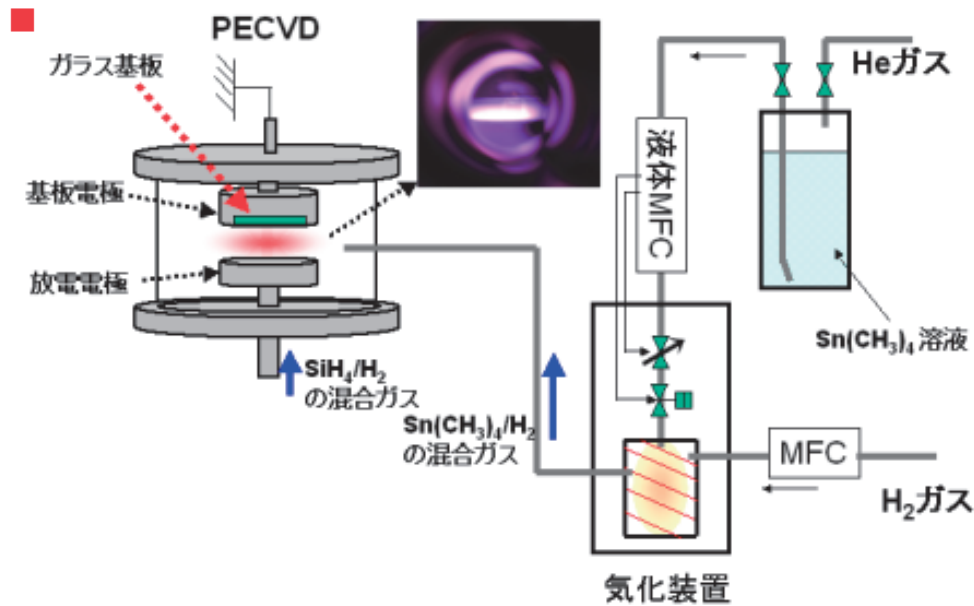
- i層をトライオードプラズマCVDで製膜 ⇒ 安定化効率9.4%
- 光劣化率~11% (recordセルに比べて約4%低い劣化率)
- 光学設計の改善によるさらなる高電流化(約2 mA/cm²)が必要

微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ p-i-n型太陽電池 Ge濃度 30%, 膜厚1 μm 

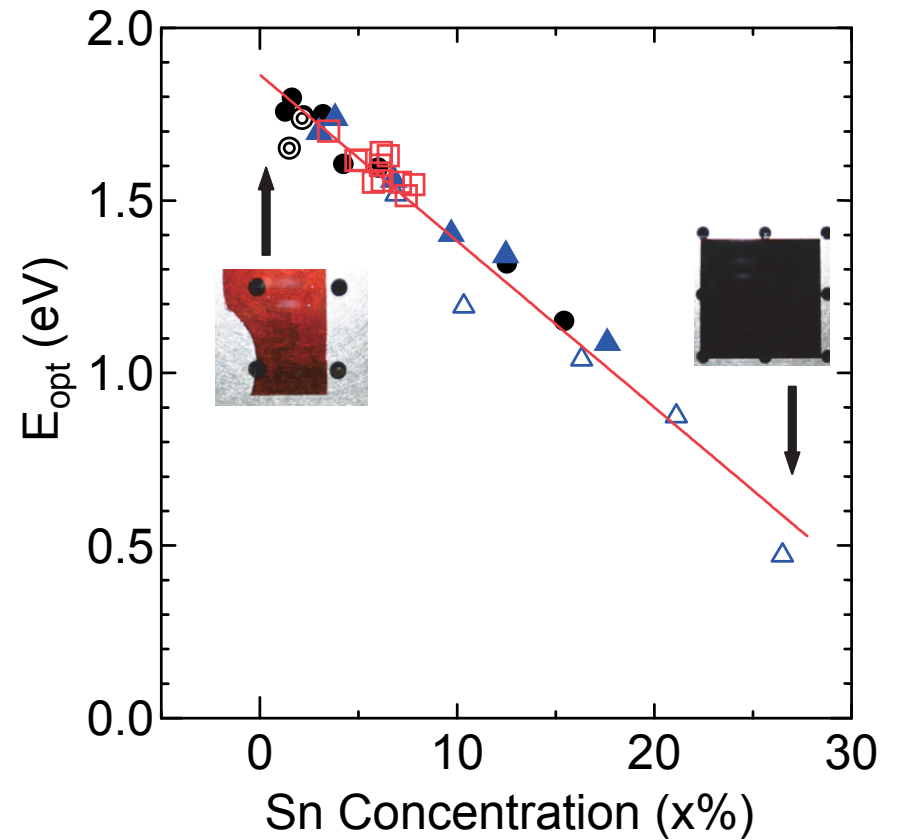
- CO_2 添加にしたがって分光感度特性が全波長領域で改善された
- CO_2 濃度=2.4% (酸素濃度 $\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)で J_{sc} は約8 mA/cm²増加した
- CO_2 添加により V_{oc} 、FFも微増した
- 過度の CO_2 添加では長波長感度が低下し、太陽電池特性が低下する

目的: 3接合型太陽電池のボトムセルにシリコンスズ(SiSn)薄膜を用い、高効率太陽電池の開発を行うことを目的とする。

プラズマCVD法によるSiSn薄膜の作製



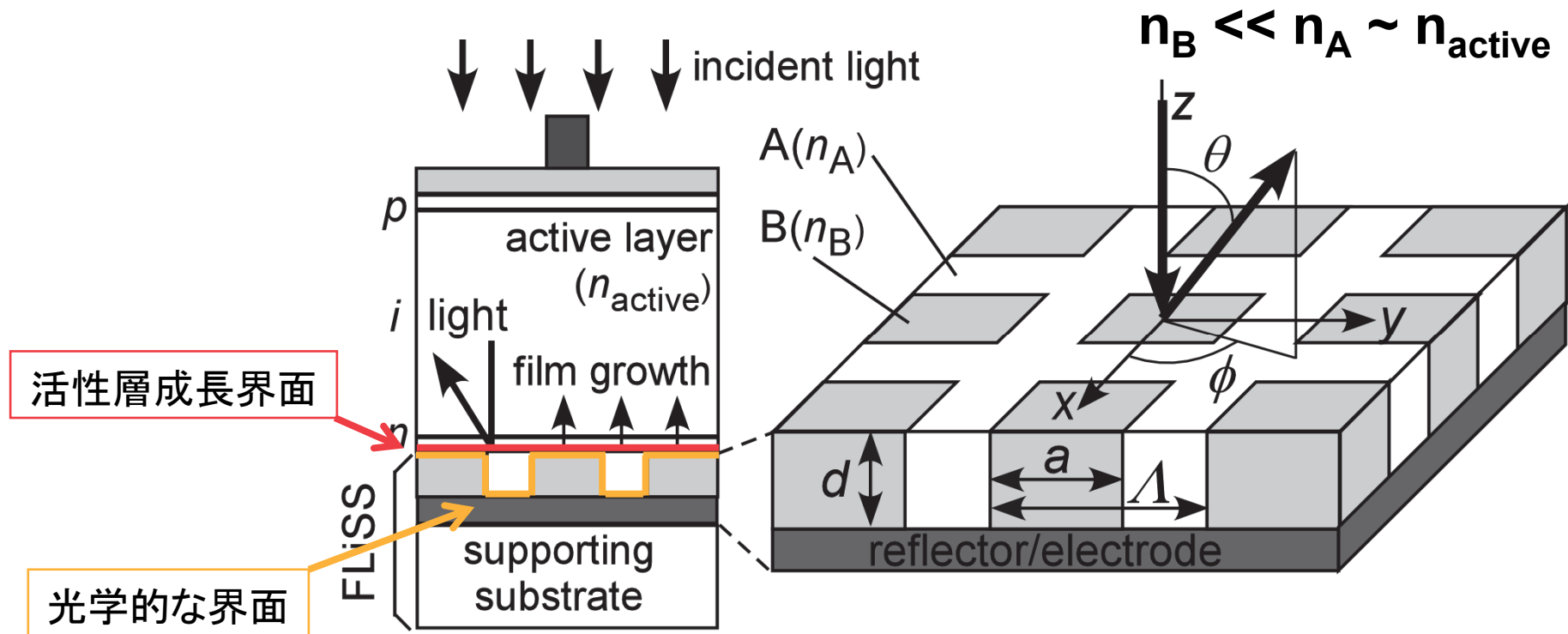
T-R測定をタウツ-プロットし求めたE_{opt}



平坦化光散乱基板

Flattened Light Scattering Substrate (FLiSS)

「**構造的には平坦**」だが「**光学的にはテクスチャ**を有する」構造



大きな屈折率差 Δn を持つ異種材料が適切に分散した複合材料 \rightarrow 膜成長界面と光学界面を分離

平坦化光散乱基板の作製

	材料	n	$E_g(\text{eV})$
活性層	$\mu\text{c-Si:H}$	3.7	1.1
A	“dead” (n)a-Si:H	3.7	1.7
B	ZnO:Ga	2.1	3.5

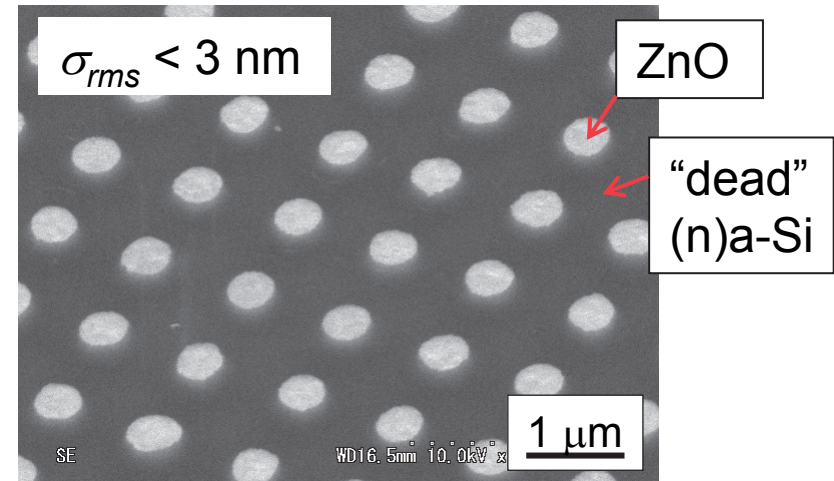
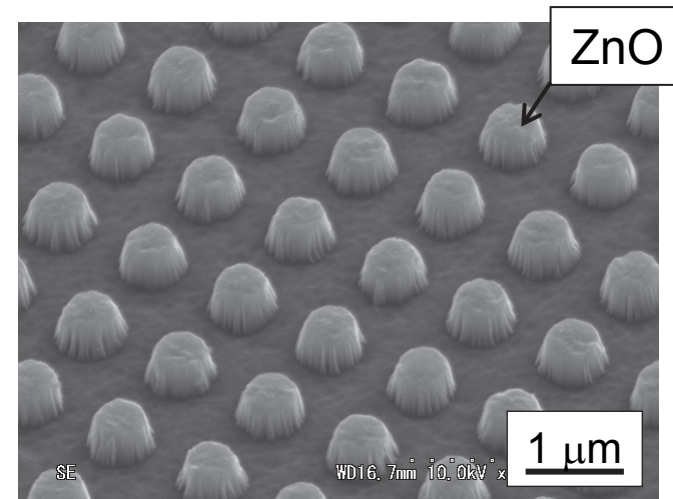
(1) Patterning of material B



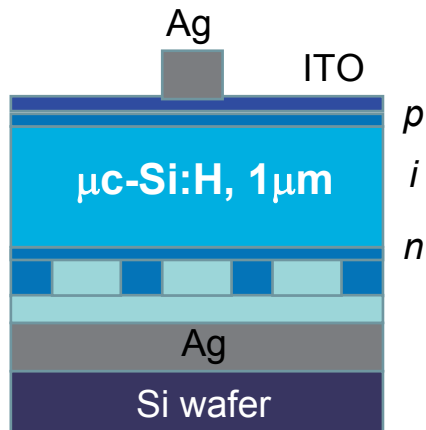
(2) Deposition of material A



(3) Flattening by CMP

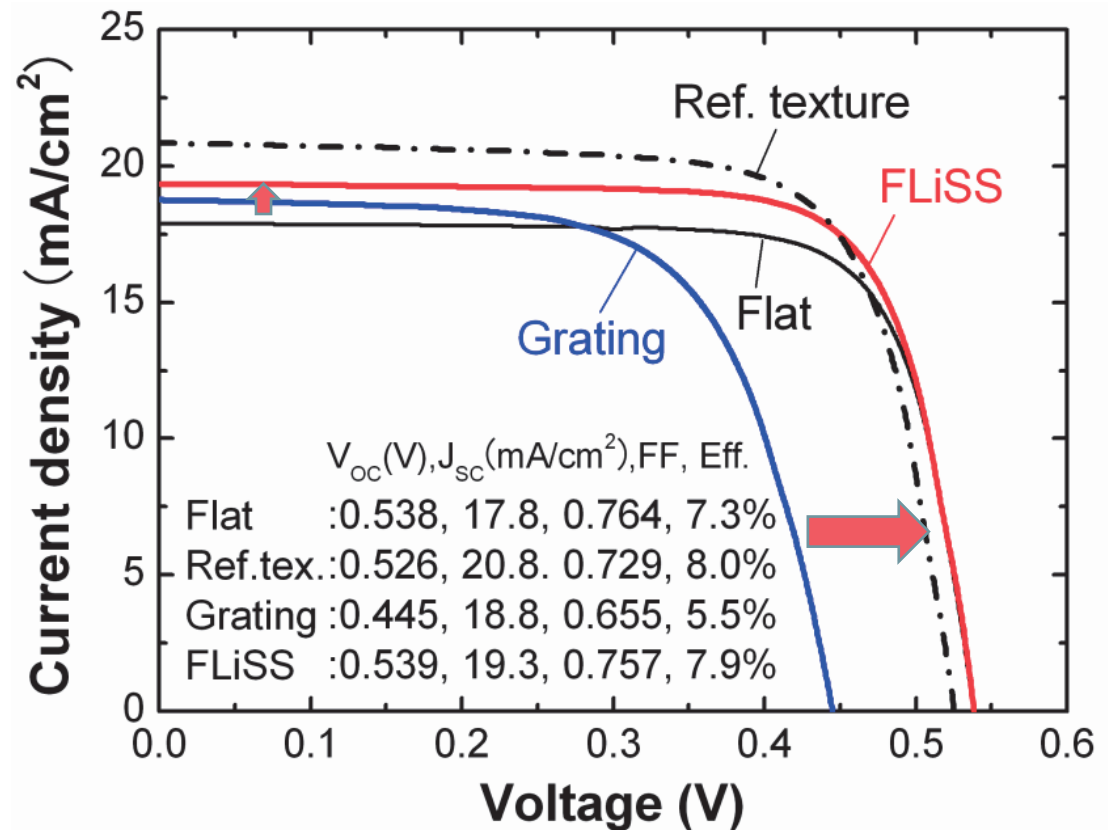


μc-Si:H太陽電池



基板	σ_{rms} (nm)
Flat	< 10
Grating (w/o flattening)	100
FLiSS	< 3
Ref. texture	35

V_{OC}, FF : 平坦基板と同等
 J_{SC} : 明瞭な増加



Sai et al., APL 98 (2011)113502.

光散乱体内包薄膜シリコン太陽電池の研究開発

●ねらい

電池内部への近赤外光の閉じ込めを増強し、**光電流の向上**を図る。

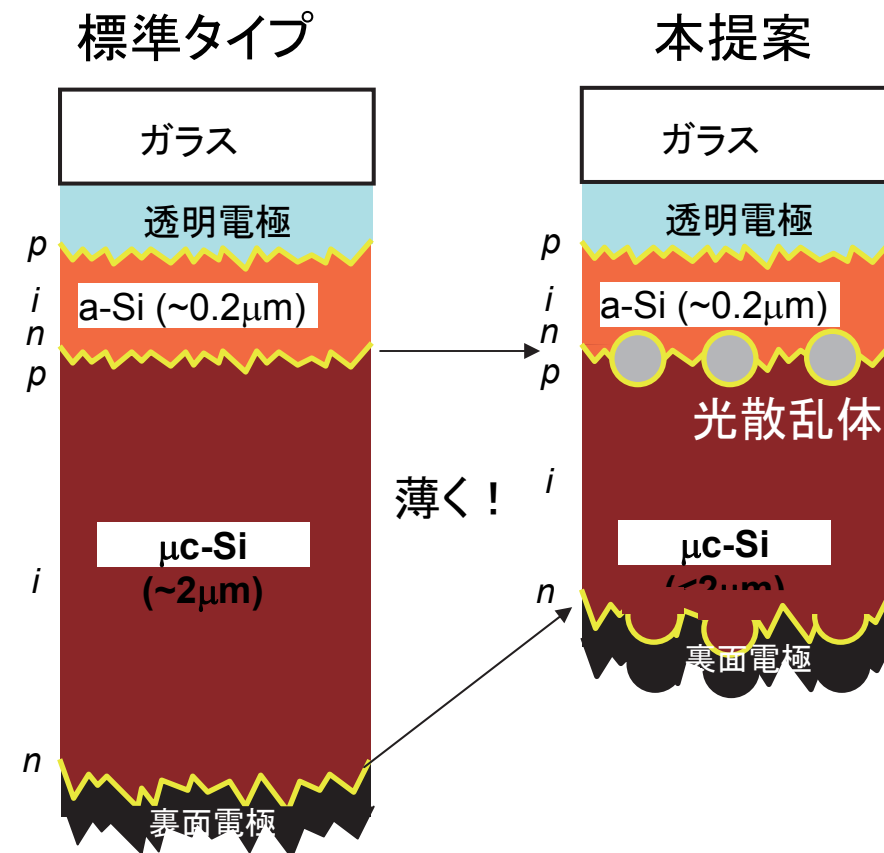
●ポイント1

光散乱体と基板テクスチャの併用により、タンデムデバイス用の**ダブルテクスチャー**が形成可能。

●ポイント2

サブミクロンサイズの光散乱体が近赤外光の閉じ込めに効果。

●電池構造

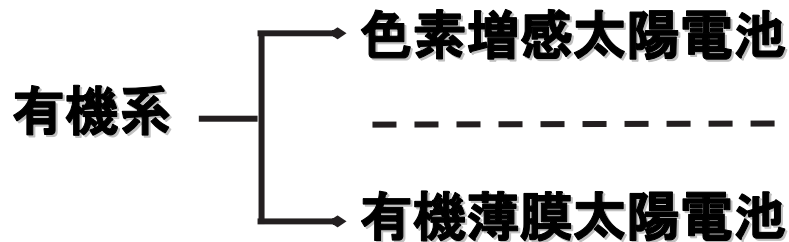
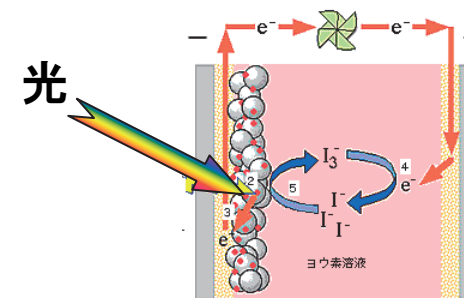


有機系太陽電池の開発状況

有機系太陽電池：色素増感と有機薄膜の比較

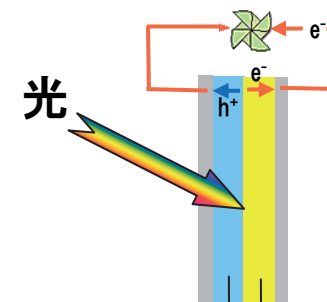
- 光化学反応により発電
- 溶液中のイオンがエネルギーを輸送
- バッテリー同様に液漏れ対策必要
- 厚さ $> 10 \mu m$

TiO₂を色素で増感した湿式太陽電池



有機分子の半導体性に基づく太陽電池

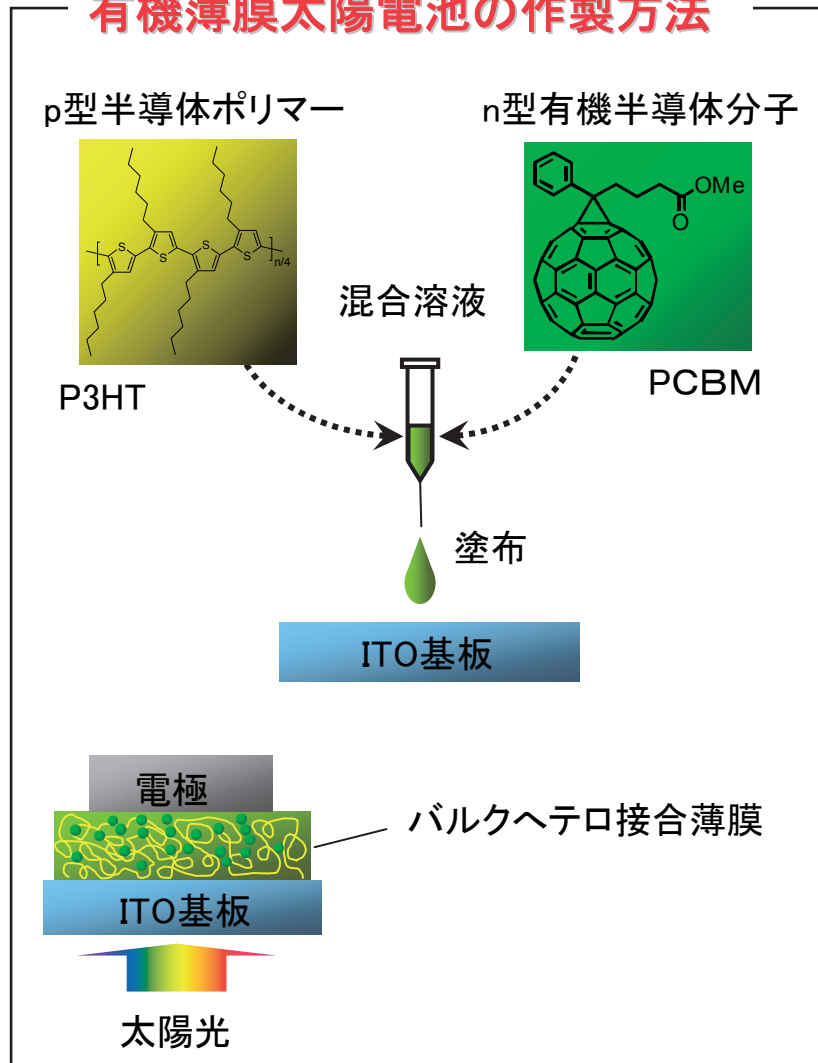
- シリコンと同様に半導体p-n接合が発電
- 固体中の電子がエネルギーを輸送
- 有機EL素子と類似した有機半導体デバイスの一種
- 厚さ $\approx 100nm$ の固体薄膜太陽電池



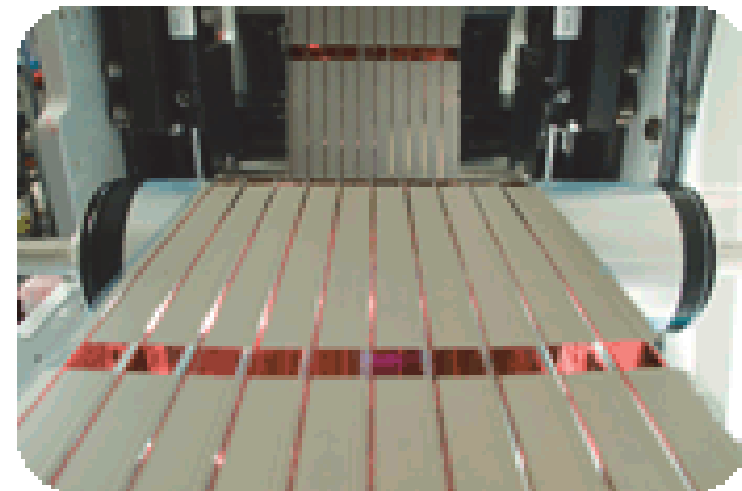
p型有機半導体薄膜 n型有機半導体薄膜

有機薄膜太陽電池の概要

有機薄膜太陽電池の作製方法

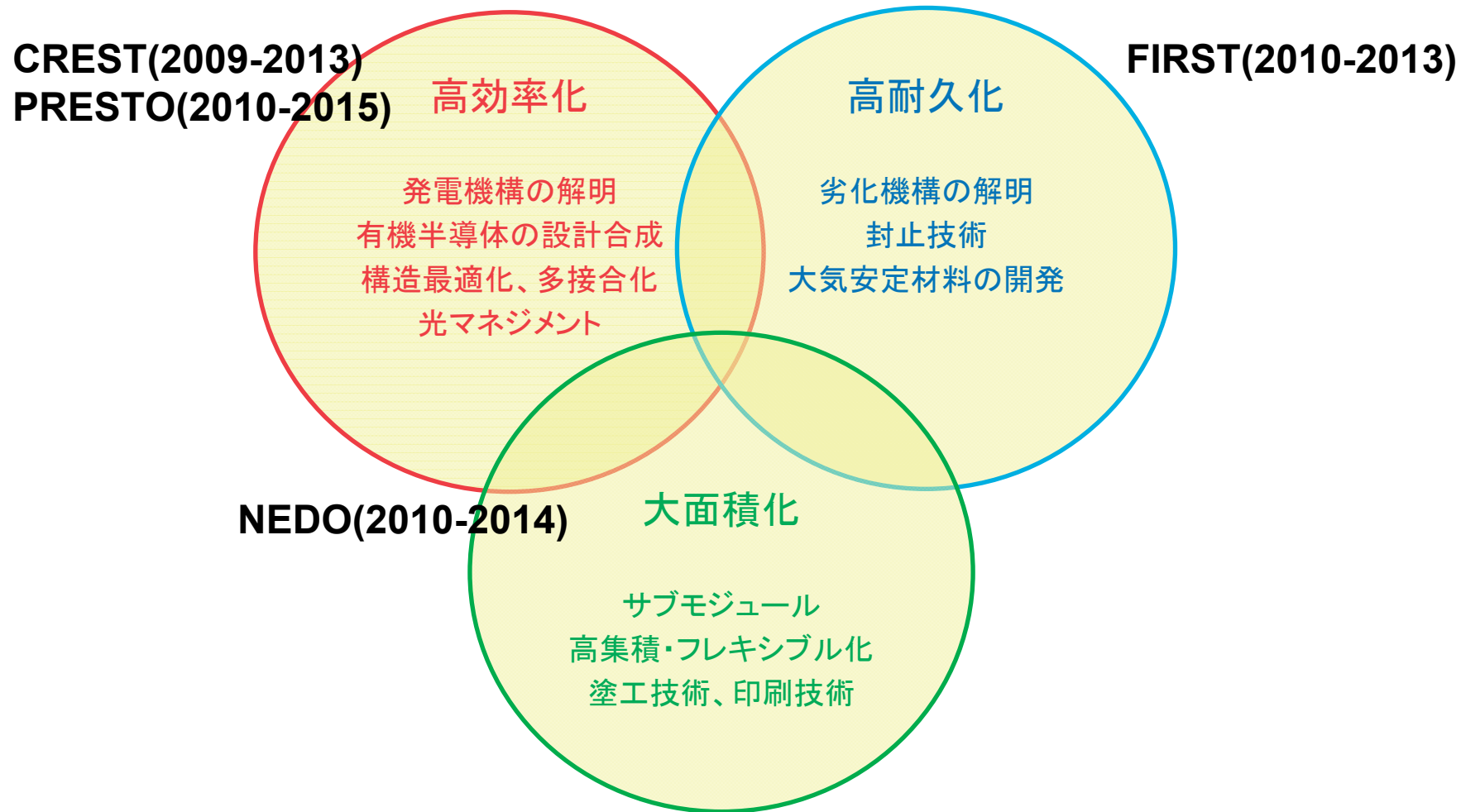


- ・印刷プロセスにより低コスト化が可能。
- ・軽量、フレキシブル、高いデザイン性を利用した新たな利用形態、用途開発に期待。



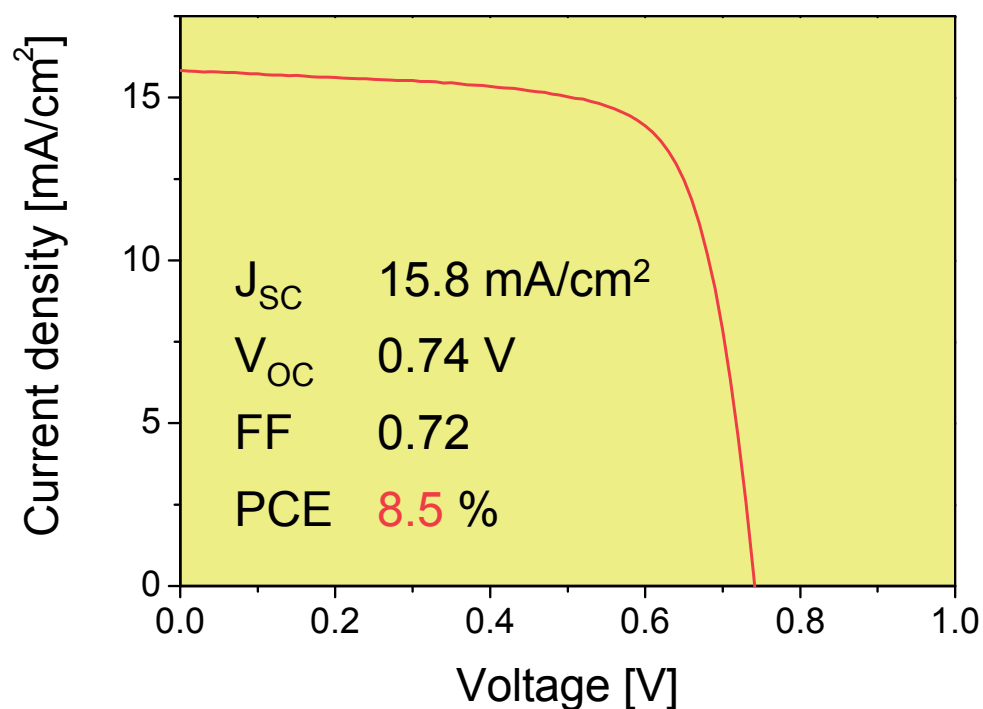
印刷による有機薄膜太陽電池の製造
(Konarka社のHPより)

有機薄膜太陽電池の研究戦略と体制



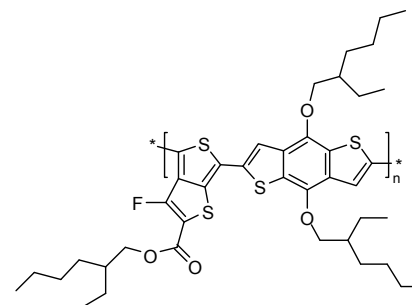
企業との共同研究

新規高分子材料の導入 PTB7:[70]PCBMセル

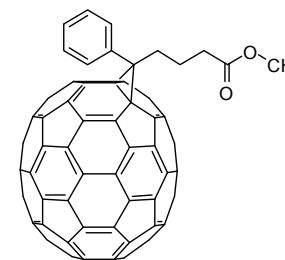


セル作製技術は世界レベル！

PTB7 (Solamer社開発高分子)

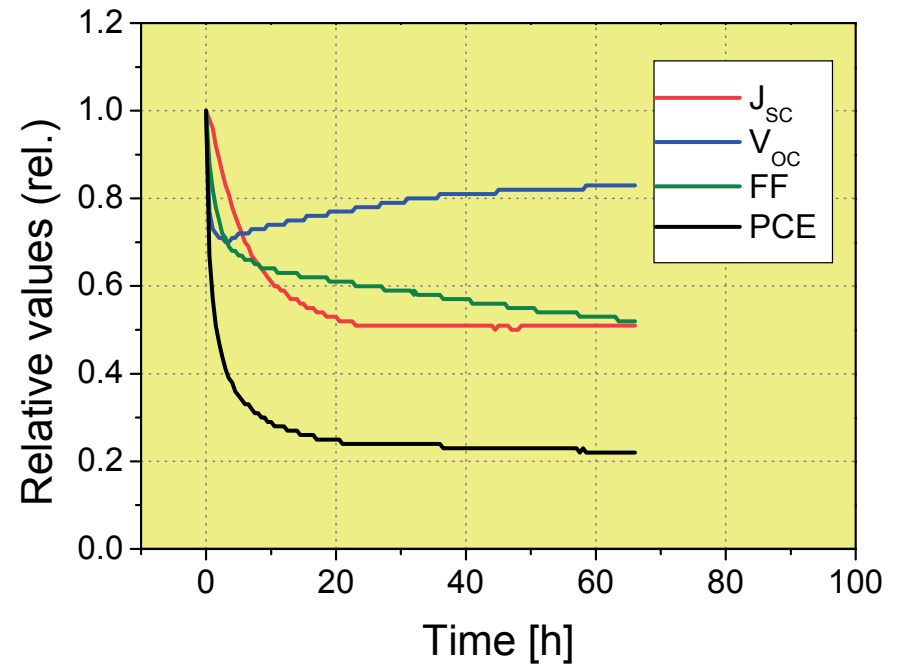
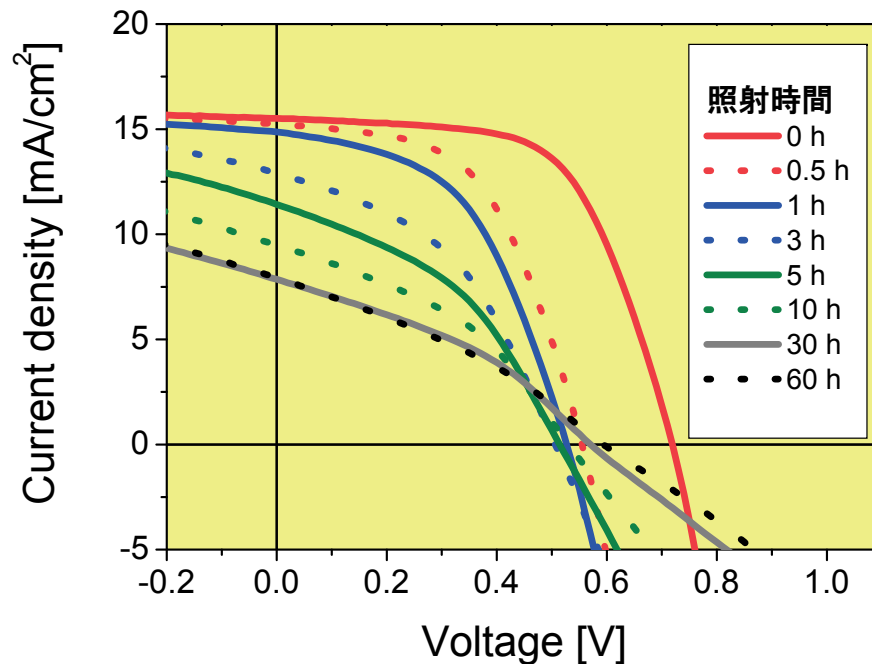


[70]PCBM



PTB7:[70]PCBMセル 光安定性

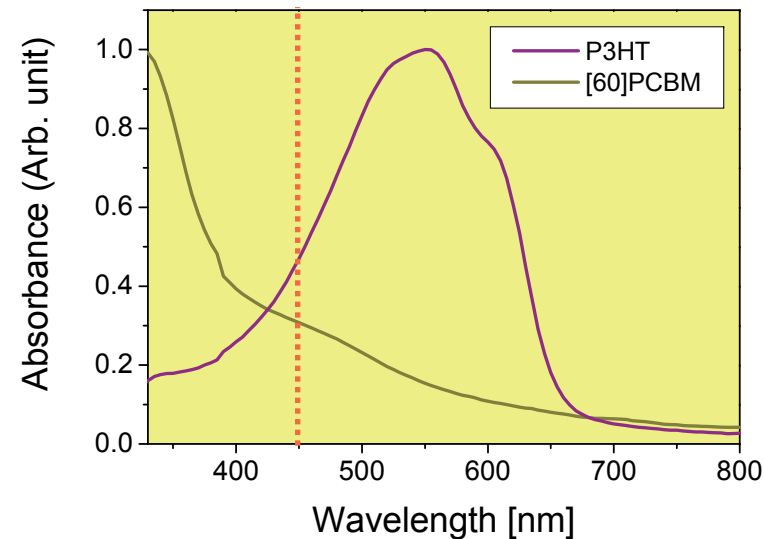
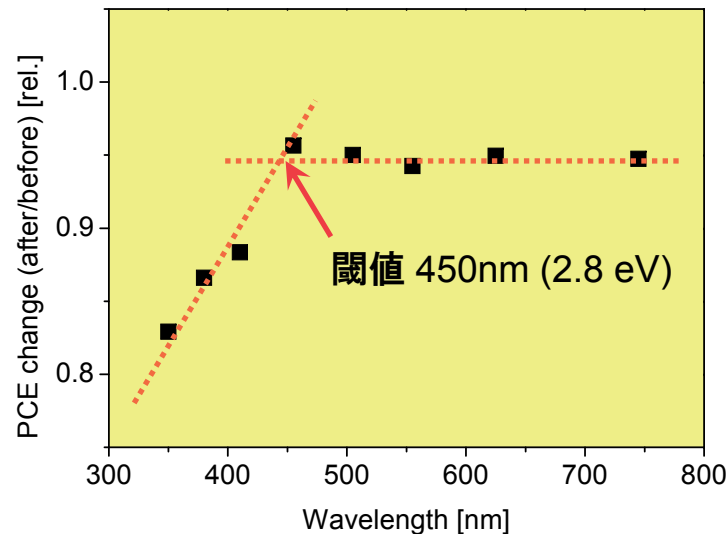
高効率ではあるが、安定性は低い。 → 実用化には課題が残っている。



疑似太陽光照射30時間で初期の20%にまで変換効率が低下。

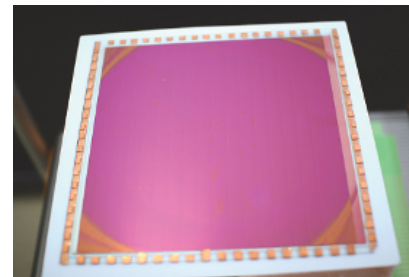
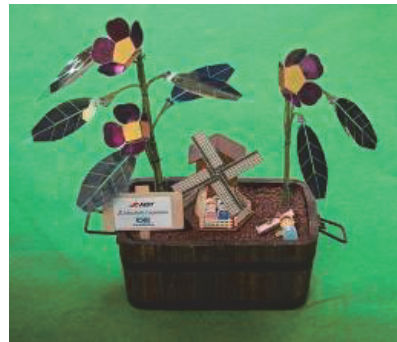
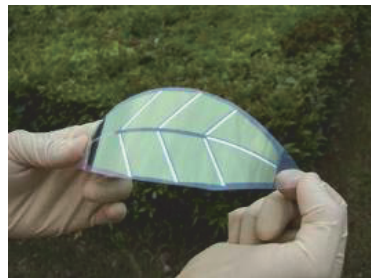
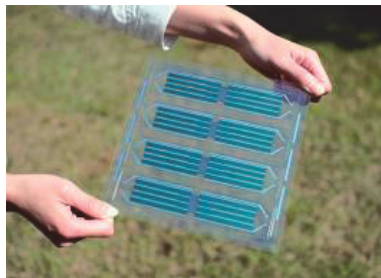
単色光照射によるセルの特性低下 (P3HT:PCBM太陽電池の結果より)

変換効率PCEの低下率



- フラーレン誘導体[60]PCBMの吸収が強い領域の光を照射することによって、特性低下が起こっている可能性がある。
 - 紫外光照射によって[60]PCBMに化学変化が起こり、トラップサイトとなっている可能性。
 - 特性低下が起こる閾値の材料依存性(PTB7など)の評価が必要。

用途開発を目指した有機薄膜太陽電池モジュールの試作 (トッキ、三菱商事との共同研究)。



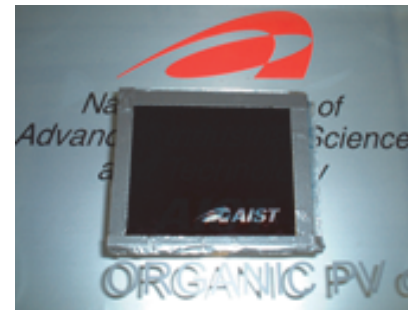
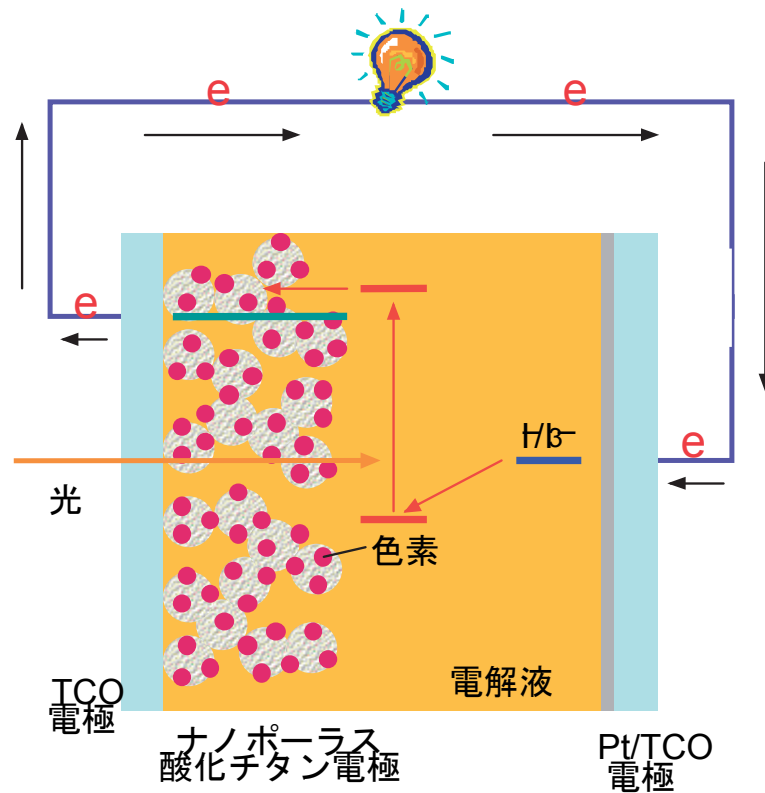
意匠性に優れた観葉植物型モジュール

レーザースクライブによる
モジュール作製

フレキシブルガラスモジュール

色素増感太陽電池の概要

- 印刷など簡易な製造により低コスト化可能
- 屋内など弱光量下でも、高い変換効率
- 軽量、フレキシブル、高いデザイン性による新規用途

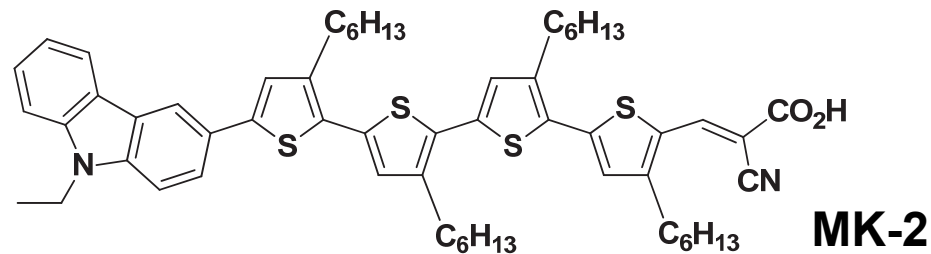
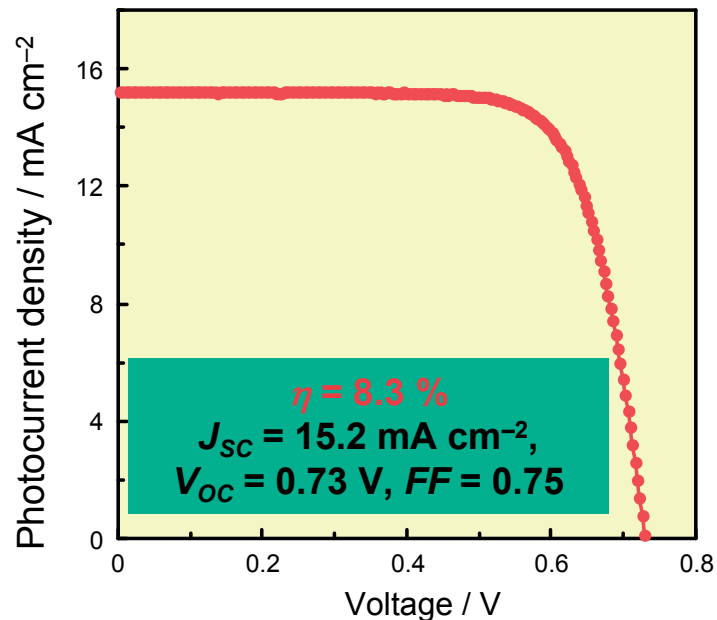


ガラス基板型



プラスチック基板型

エネルギー変換効率
セル: 11.4% (NIMS)
モジュール: 9.9% (SONY)



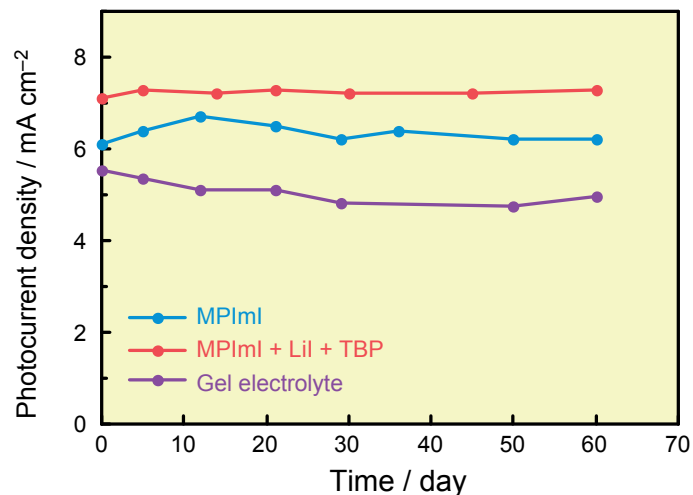
照射光 : AM 1.5 (100 mW cm⁻²)

光電極 : 酸化チタン(膜厚 16 μm、面積 0.25 cm²)

電解液 : I₂ (0.2 M), DMPIm-I (0.6 M), Lil (0.1 M), TBP (0.5 M) in AN

マスク有り、ARフィルム無し、共吸着体無し

Z.-S. Wang et al, *Chem. Mater.*, **2008**, 20, 3993.



**イオン液体電解質を用いた太陽電池セルにて、
2000時間以上のセル耐久性**

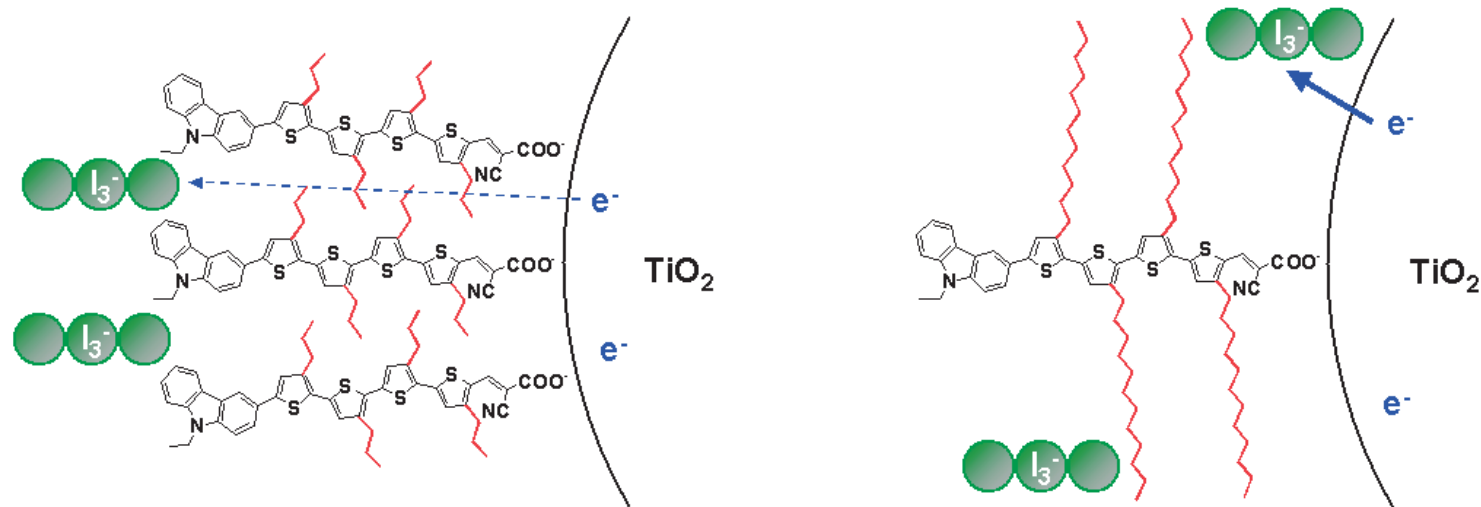
光照射条件

100 mW cm⁻² (UV cut off)

温度 ~55 ° C

Z.-S. Wang et al, *Chem. Mater.*, **2009**, 21, 2810

酸化チタン電極表面の色素の吸着密度



Absorbed dye density on TiO_2 surface MK-24 (*n*-propyl) > MK-2 (*n*-hexyl) > MK-25 (*n*-dodecyl)

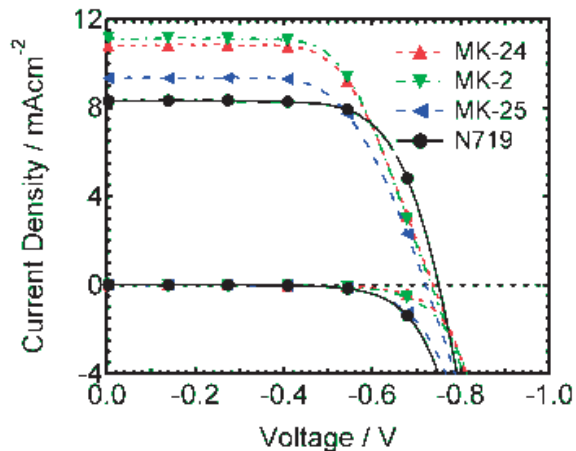
アルキル基が短い ⇒ 分子間スペースが小さい

↓

ヨウ素レドックスより大きなレドックスに適する

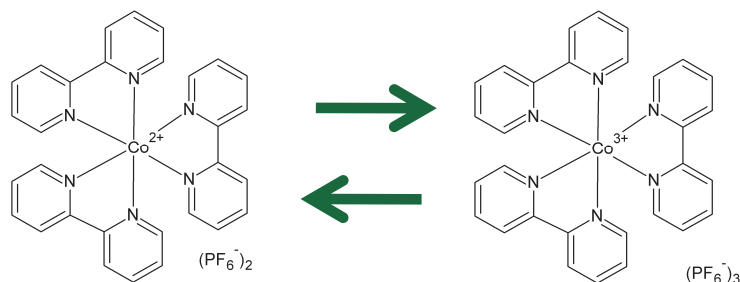
アルキル基の長短で酸化チタン表面の吸着密度を制御
(短いほど吸着密度が高い)

アルキル基がないと開放電圧は低い (MK-3; 0.63V)



Y. Uemura et al., *Chem. Lett.*, 2011, 872

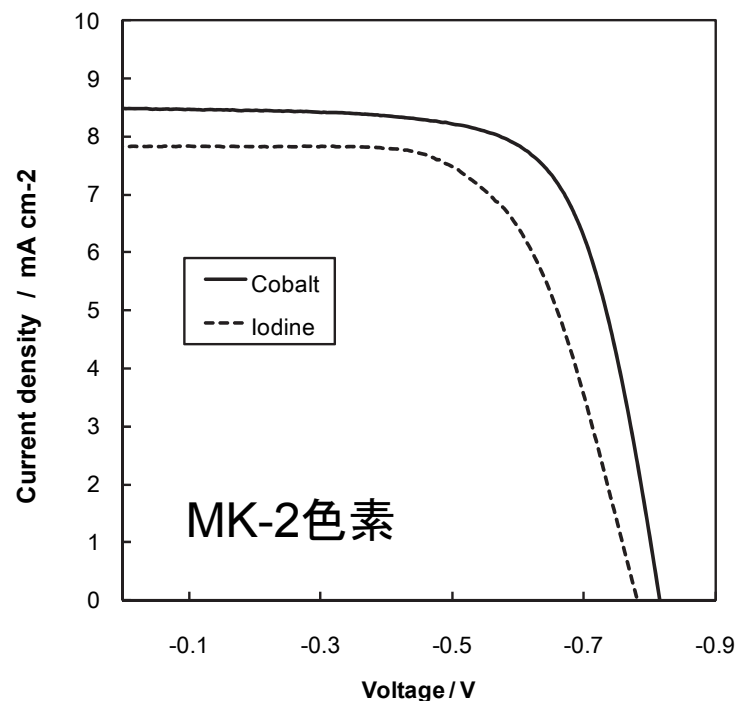
I⁻/I₃⁻系の酸化還元剤の問題点:
 ・金属腐食による電極材料の制約。
 ・ヨウ素の可視光吸収により電流損失。



ヨウ素代替酸化還元剤: コバルトトリスビピリジル錯体

.M.Feldt, E.A.Gibson, E.Gabrielsson, L.Sun, G.Beschloo, A.Hagfeldt,
J. Am. Chem. Soc., 132, 16714 (2010)

コバルト電解液と独自有機色素の組み合わせで高効率化を目指す。



	J_{sc} / mA	V_{oc} / mV	FF	PCE / %
Cobalt	8.49	814	69.4	4.79
Iodine	7.81	782	65.3	3.99