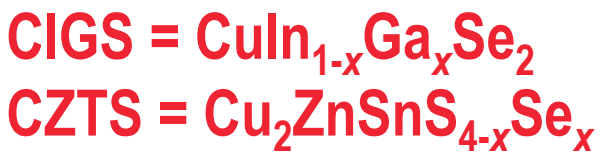
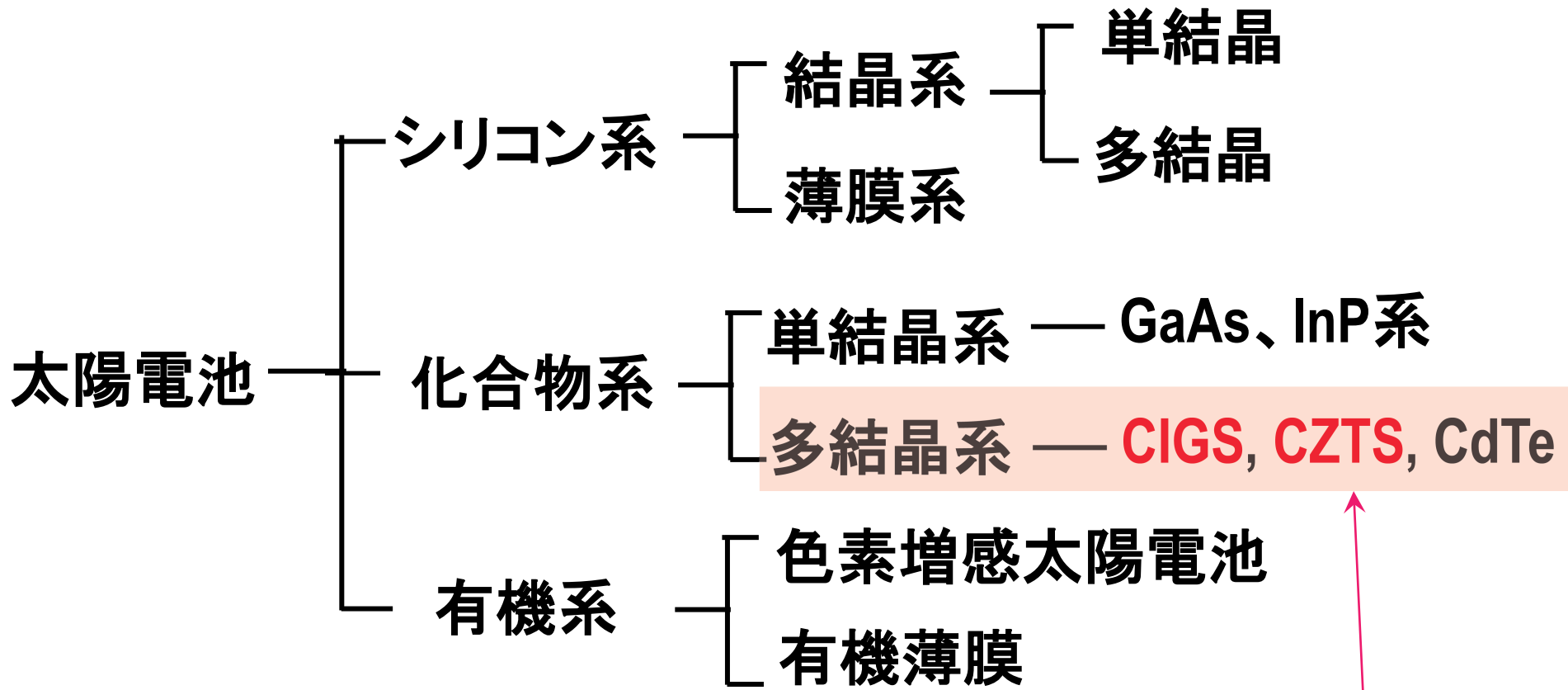


# 研究分野紹介

# 化合物薄膜太陽電池

太陽光発電研究センター  
化合物薄膜チーム  
柴田 肇

# 太陽電池の分類



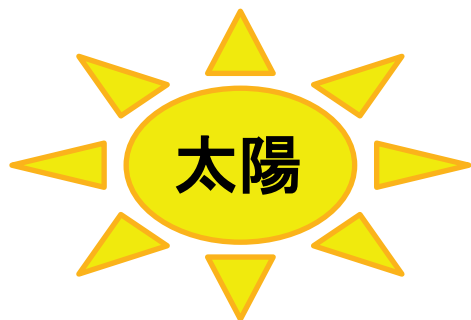
化合物薄膜太陽電池



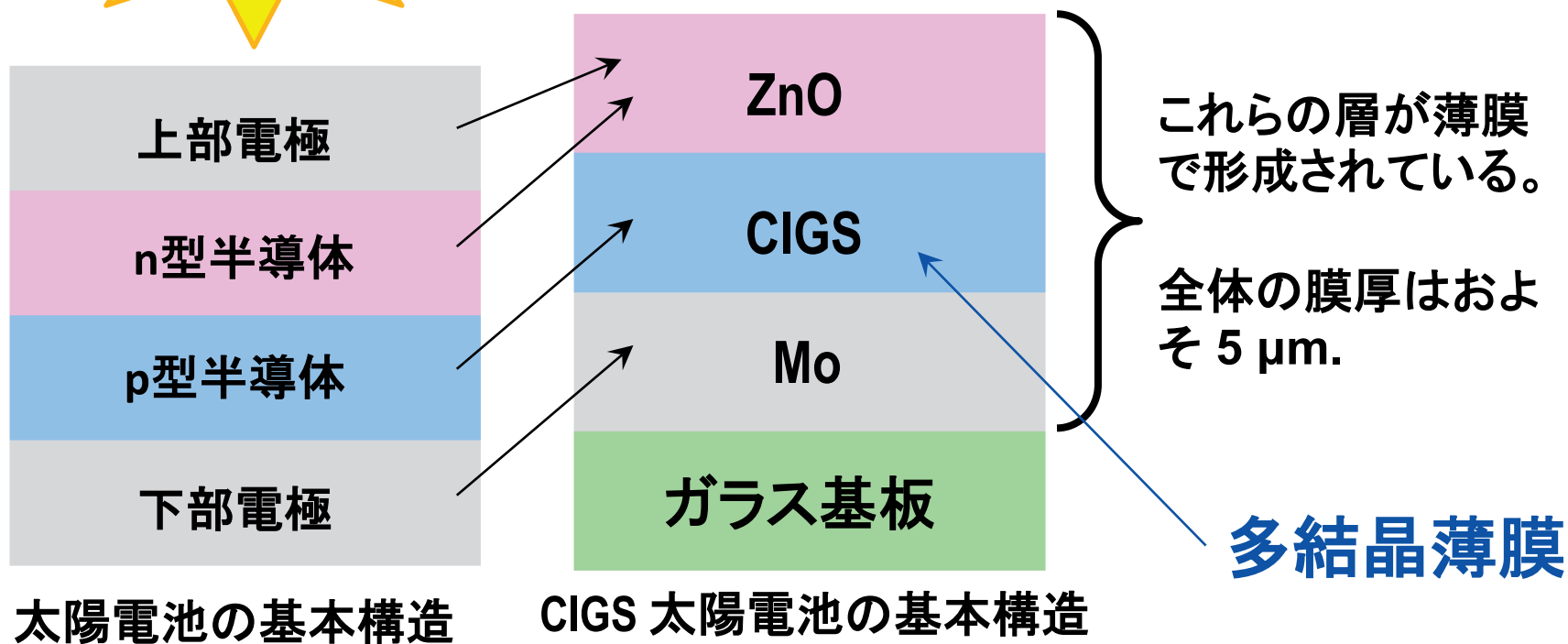
# 化合物薄膜太陽電池とは何か？

ガラス基板の上に(下に)、半導体薄膜を蒸着して作る太陽電池

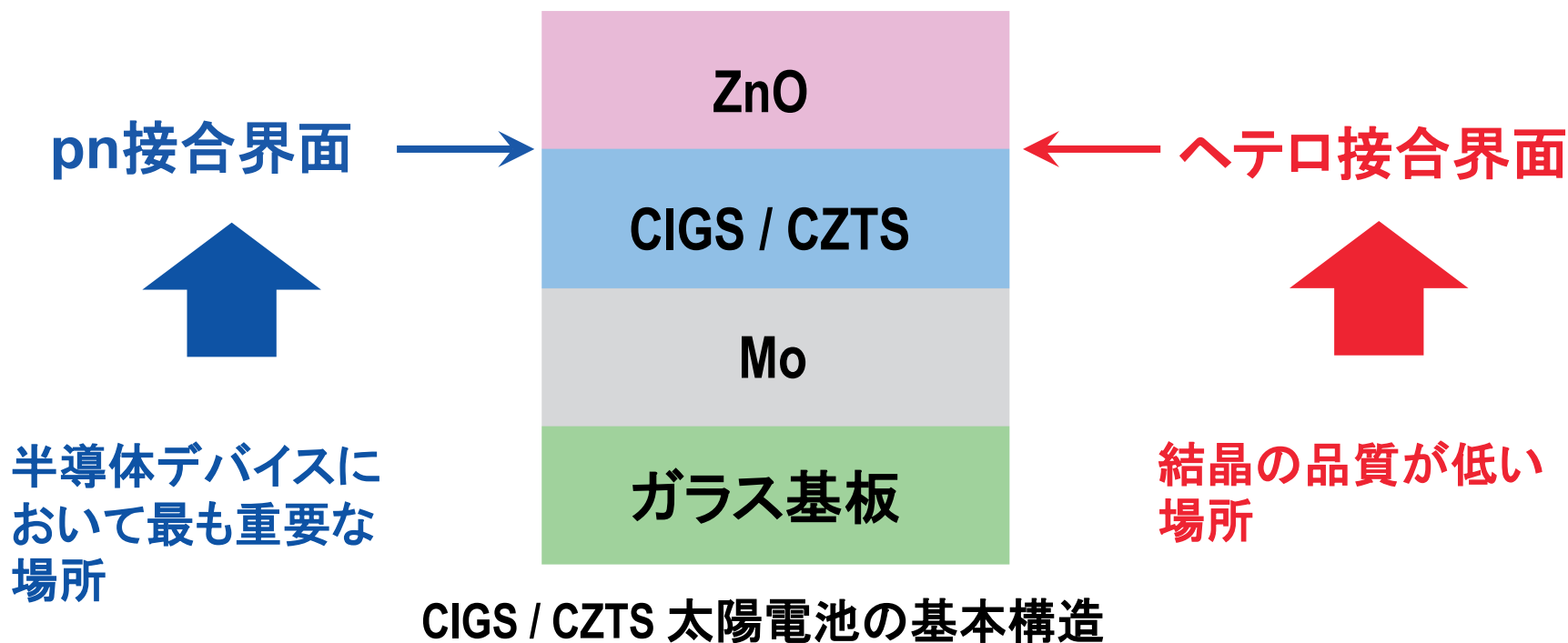
例: CdTe, CIGS, CZTS, etc.



## 薄膜太陽電池の基本構造 (CIGSの例)

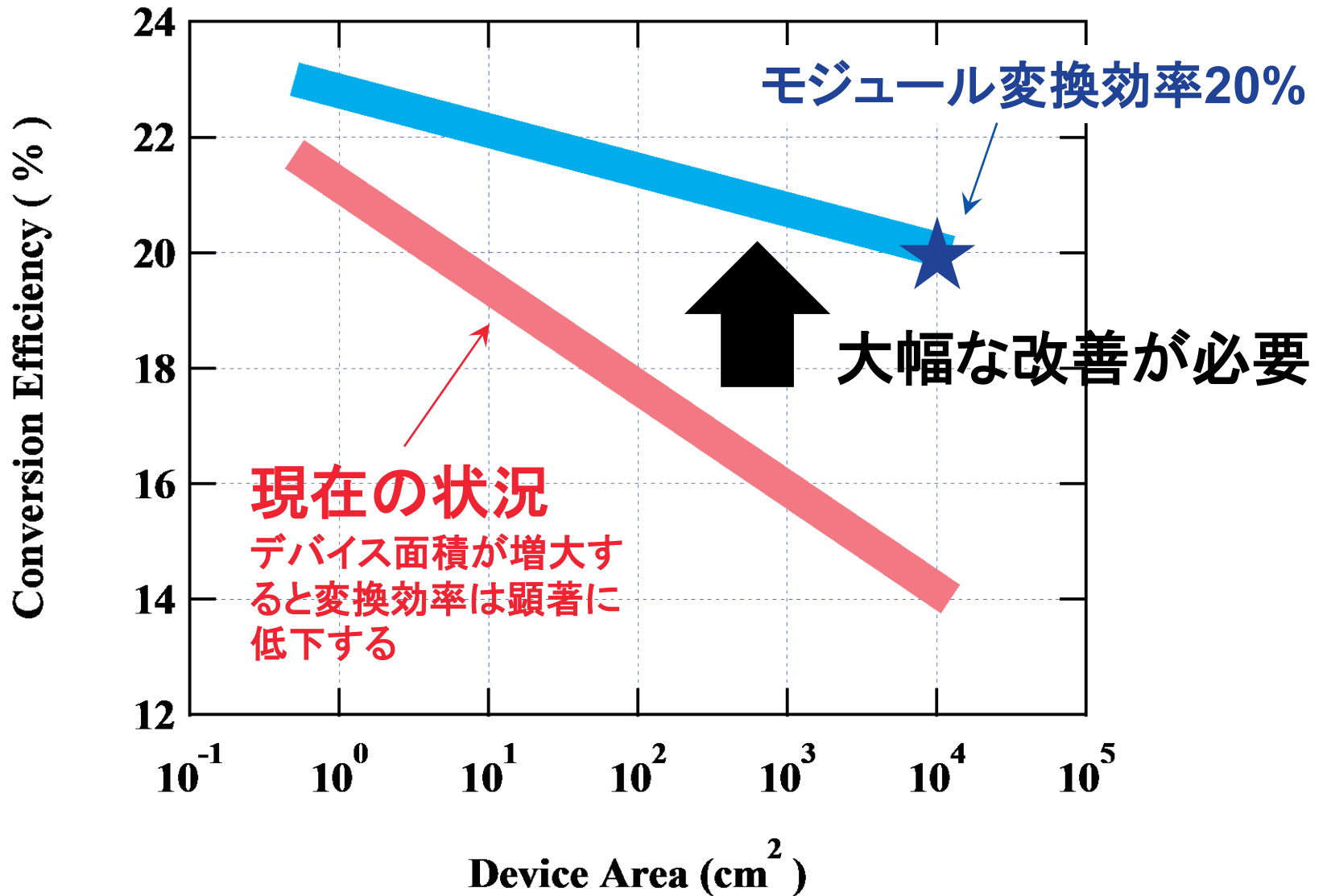


# 化合物薄膜太陽電池に固有の技術課題



- pn接合界面とヘテロ接合界面が一致している。
- デバイスで最も重要な場所の結晶品質が低い
  - キャリアの再結合が顕著となる

# デバイス面積と変換効率の関係



# 各種太陽電池の性能比較

	変換効率	製造コスト	耐久性	将来性
単結晶シリコン	★★★★	高	★★★★	成熟に近い
多結晶シリコン	★★★★	高	★★★★	成熟に近い
薄膜シリコン	★★	低	★★★	課題がある
化合物薄膜	★★★★	低	★★★★	非常に有望
有機系	★	低	★	課題がある

現状の変換効率は、まだ将来的な向上の余地が大きい

# 化合物薄膜太陽電池の利点

太陽電池開発目標の例

西暦		2015年	2020年	2030年
発電コスト(円/kWh)		23	14	7
モジュール原価(円/W)		60	50	30
CIGS	モジュール変換効率(%)	14	16	20
	モジュール1枚あたりの製造費用(相対値)	1.0	0.87	0.71
単結晶Si	モジュール変換効率(%)	20	22	25
	モジュール1枚あたりの製造費用(相対値)	1.0	0.87	0.63

- (1) 低コストである。← モジュール変換効率14%程度でも、60円/W程度を実現可能。  
 (2) 変換効率向上の余地が大きい。← モジュール変換効率20%までは現実的

# 化合物薄膜太陽電池関連企業の状況

化合物	CIGS	CdTe	CZTS
先行企業	ソーラーフロンティア (日本) Hanergy (中国) ・Solibro ・MiaSole ・Global Solar Avancis / CNBM (中国) TSMC / Stion (台湾) Ascent Solar (米国)	First Solar (米国) Calyxo (ドイツ)	—
中堅企業	Stion (米国) Dow Chemical (米国) Helio Volt (米国) Sunchine (台湾)	Apollo Solar (中国)	—
研究開発	ZSW (ドイツ) Flisom (スイス)		IBM (米国) ソーラーフロンティア (日本)



# 化合物薄膜太陽電池の技術動向

— 現時点における世界最高変換効率 —

## 1. CIGS太陽電池

- ① セレン化法の進展 ( $\eta = 20.9\%$ ) ソーラーフロンティア
- ② フレキシブル化の進展 ( $\eta = 20.4\%$ ) EMPA
- ③ ホモ接合技術 ( $\eta = 20.7\%$ ) 東芝
- ④ **カリウム** 添加効果 ( $\eta = 21.7\%$ ) EMPA → ZSW

## 2. CZTS太陽電池

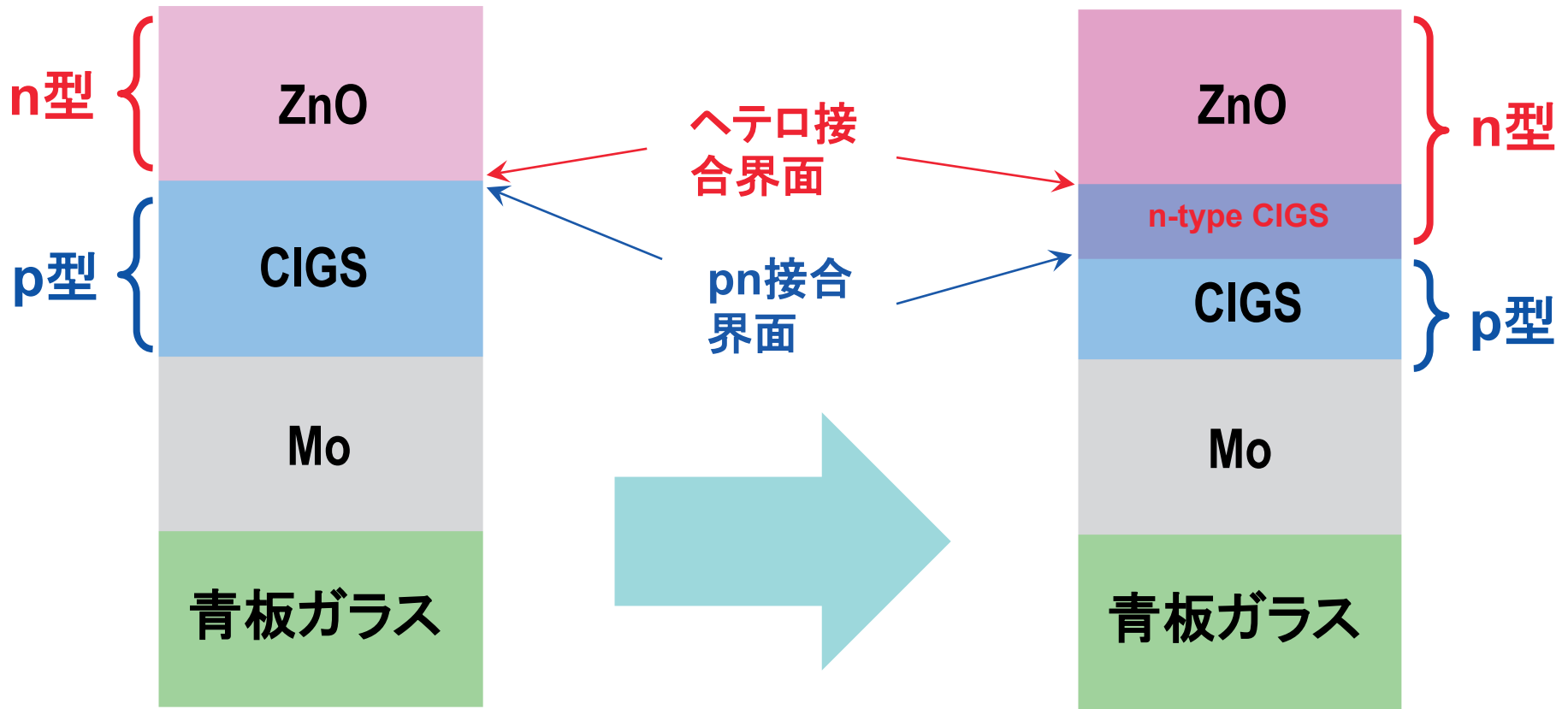
- ① 着実に進展 ( $\eta = 12.6\%$ ) IBM

## 3. CdTe太陽電池

- ① CIGSに追いつく勢い ( $\eta = 21.0\%$ ) First Solar

# CIGS太陽電池の高効率化の指針

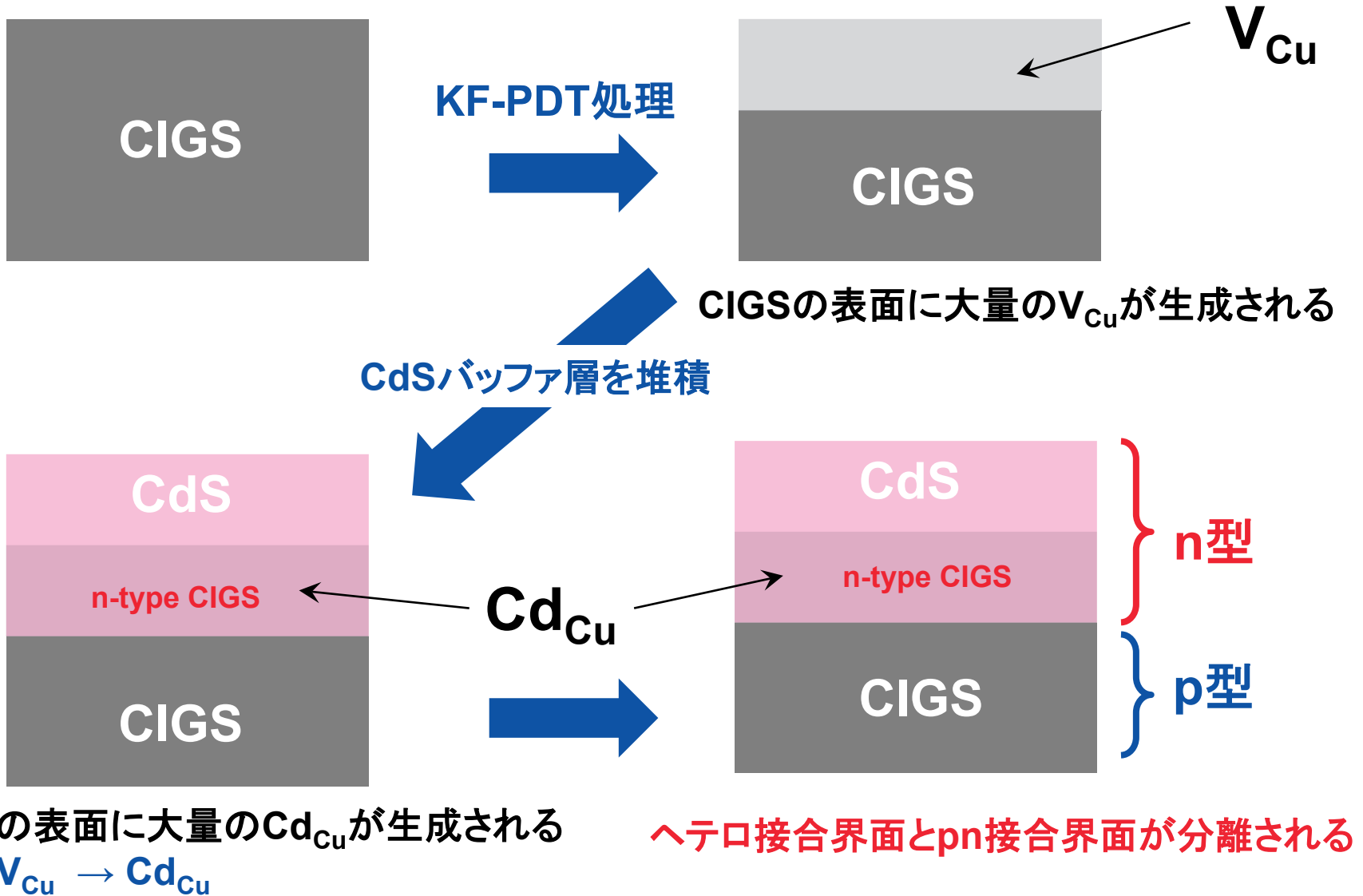
CIGS層の表面近傍をn型化する → ヘテロ接合界面とpn接合界面を分離する



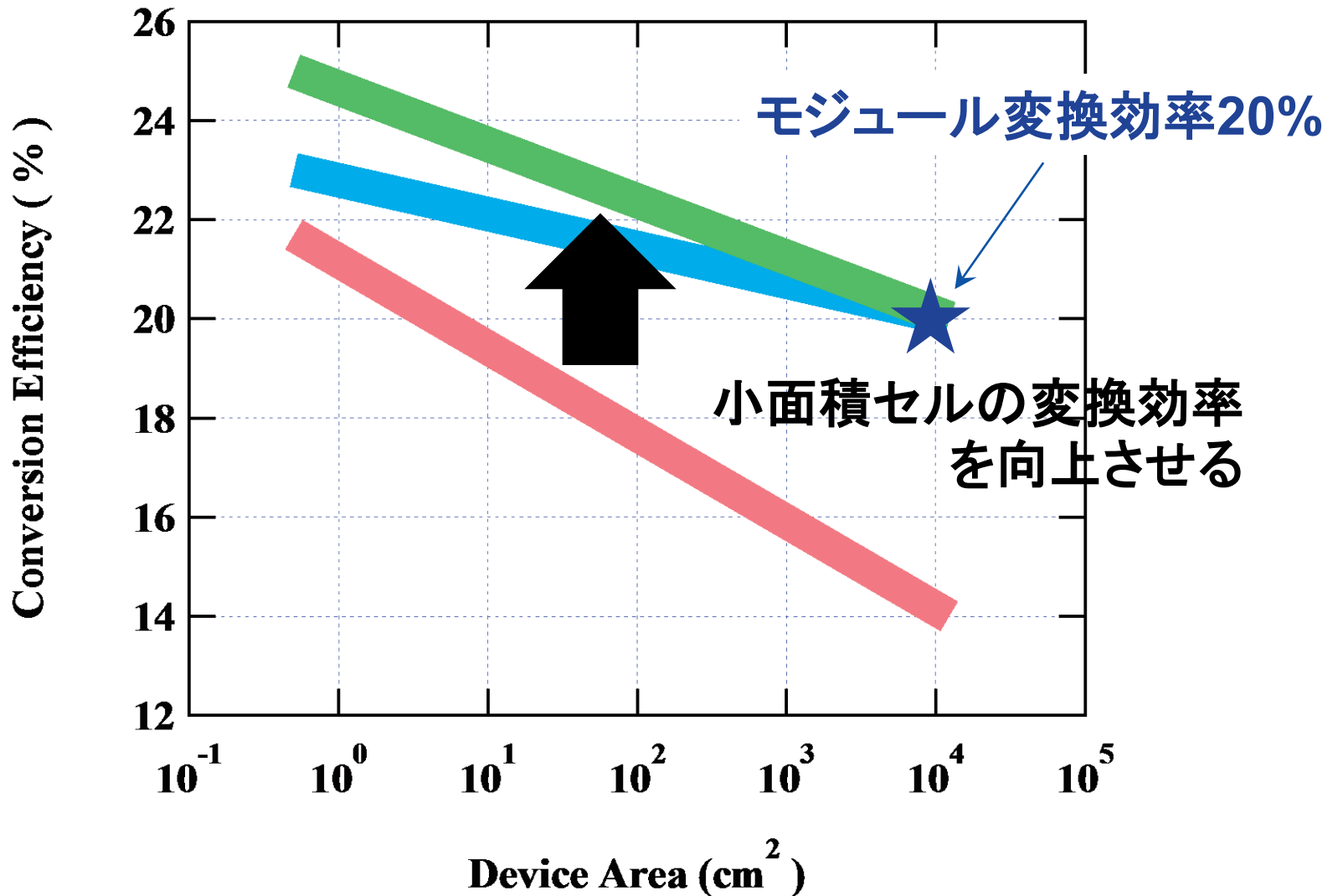
pn接合界面 = ヘテロ接合界面

pn接合界面 ≠ ヘテロ接合界面

# K添加効果が高効率を生み出すメカニズム



# CIGSモジュールの高効率化の戦略



# 化合物薄膜太陽電池の魅力

- (1) 潜在能力が高く、開発の余地が大きい。  
⇒ モジュール変換効率20% (小面積セル25%) まではOK
- (2) 夢の新材料を発見できる余地さえある。
- (3) 結晶シリコン系よりも、製造コストを大幅に削減可能である。
- (4) CZTSは原料供給限界や環境負荷の問題を持たない (CIGSも当分の間は原料供給限界の問題は無い)。
- (5) 耐久性に優れている。
- (6) フレキシブル化にも対応可能。

# 化合物薄膜太陽電池の技術課題

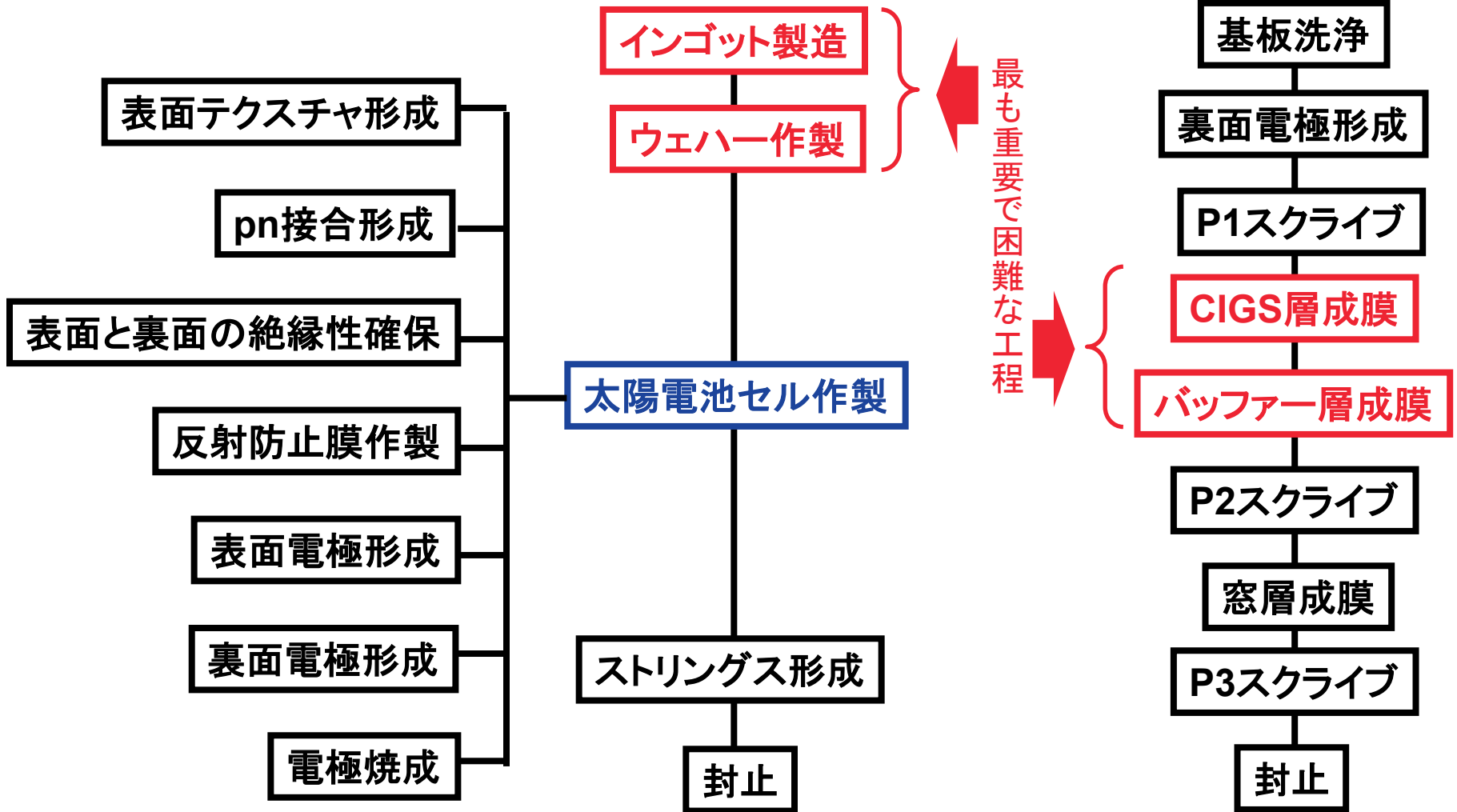
- (1) 変換効率向上の指針が明白ではない。  
← 過去の開発が、主に**経験と試行錯誤**に基づいて行われてきた。
- (2) 新材料探索の指針が明白ではない。
- (3) 現状で変換効率の高い材料は、なぜか**希少金属**もしくは**環境負荷の高い元素**を必要とする。
- (4) モジュール製造工程を**分業化**できない。
- (5) セルやモジュール製造工程が、**ノウハウの塊**になっている。



全ての技術を自力で開発する覚悟のあるメーカーだけが新規参入できる。

## 結晶Si太陽電池製造工程

## CIGS太陽電池製造工程



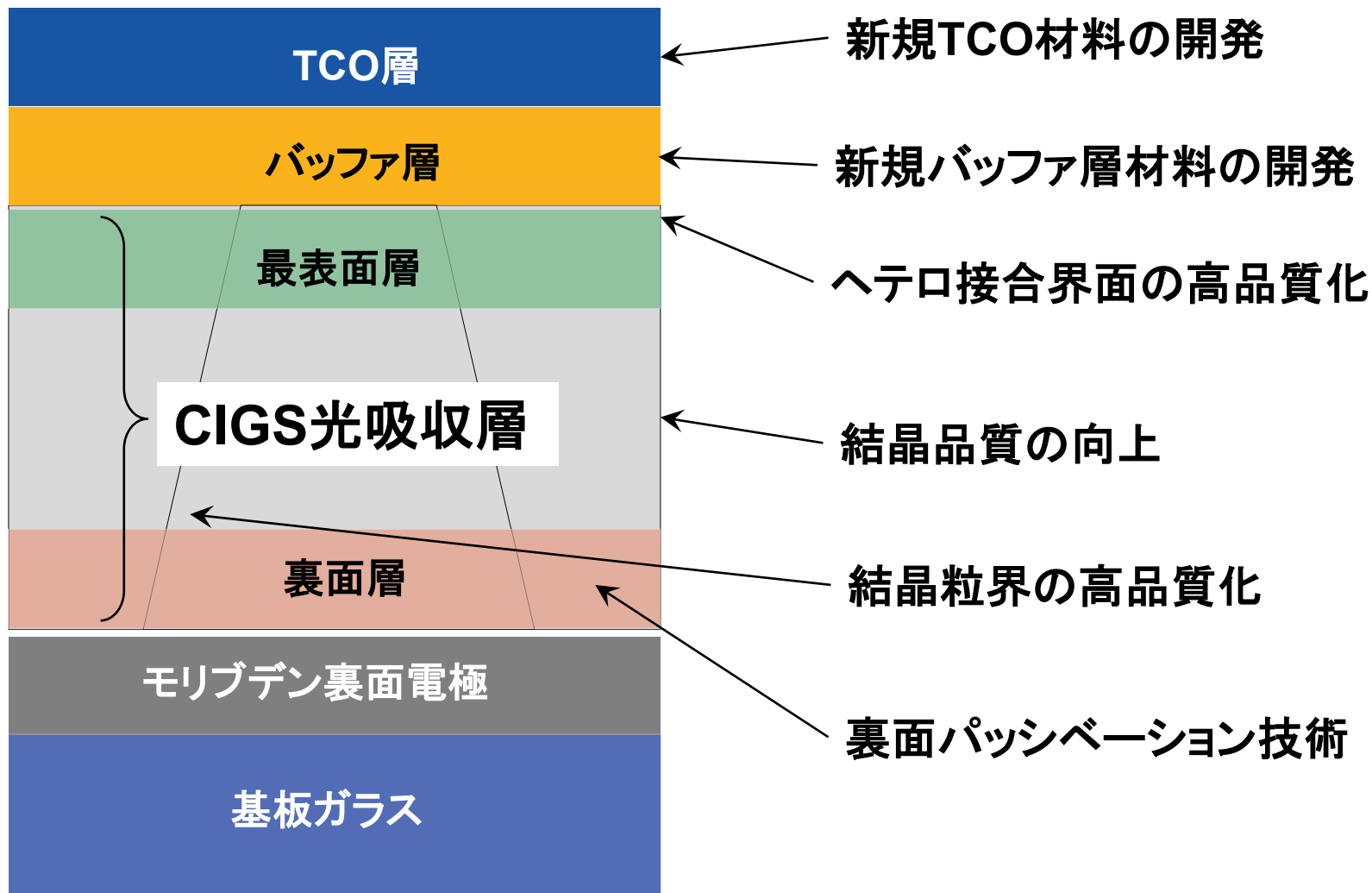
# CIGS太陽電池とCZTS太陽電池の技術開発課題

変換効率  $\propto$  開放電圧  $\times$  短絡電流  $\times$  形状因子

	CIGS太陽電池	CZTS太陽電池
開放電圧	★★★	★★
短絡電流	★★★★★	★★
形状因子	★★★★☆	★★
問題点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 光吸収層/バッファ層ヘテロ接合界面でのキャリア再結合</li> <li>2. pn接合の拡散電位が小さい</li> <li>3. 光吸収層/モリブデン界面のキャリア再結合</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CZTS内部におけるキャリアの再結合</li> <li>2. 光吸収層/バッファ層ヘテロ接合界面でのキャリア再結合</li> <li>3. pn接合の拡散電位が小さい</li> <li>4. 光吸収層/モリブデン界面のキャリア再結合</li> </ol>
解決手段	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ヘテロ接合界面の高品質化 光吸収層結晶の高品質化</li> <li>2. 新規ドーピング材料の開発 新規TCO材料の開発</li> <li>3. 光吸収層/モリブデン界面の不活性化</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CZTS結晶の高品質化</li> <li>2. ヘテロ接合界面の高品質化</li> <li>3. 新規ドーピング材料の開発 新規TCO材料の開発</li> <li>4. 光吸収層/モリブデン界面の不活性化</li> </ol>



# CIGS / CZTS太陽電池の研究課題



# 産総研の研究指針

- (1) CIGS (CZTS) 太陽電池で、**モジュール変換効率20%** (小面積セル25%) を実現するために不可欠な、**高効率化技術**を開発する。
- (2) CIGS (CZTS) 太陽電池で、**モジュール原価30円/W**あるいは**発電コスト7円/kWh**を実現するために必要な、**低コスト化技術**を開発する。
- (3) 獲得した知見を国内メーカーに普及させ、**国内産業の創出に貢献**する。
- (4) 年産テラワット時代にも対応可能な、**新しい化合物半導体材料**を開発する。

## 高効率化技術

- ① 高品質結晶 ⇒ 大きなキャリア拡散長
  - ② 高品質ヘテロ接合界面
  - ③ ホモ接合技術
  - ④ 高いp/n接合界面制御技術
  - ⑤ 高性能な透明導電膜の開発
- } ヘテロ接合界面での  
キャリア再結合を抑制

## 低コスト化技術

- ① CIGSの高速製膜技術
- ② CIGS膜厚を低減させる技術
- ③ レーザースクライブ技術
- ④ 原料利用効率の向上

## 新しい化合物半導体材料の開発

- ① 金属カルコゲナイド

# まとめ

- (1) 化合物薄膜太陽電池の将来性は明るい
- (2) 現時点での潜在能力は
  - ① **モジュール変換効率**: 20% (小面積セル25%)
  - ② **モジュール原価**: 30円/W
  - ③ **発電コスト**: 7円/kWh
- (3) 新材料の開発により
  - ① 潜在能力を更に向上することが可能
  - ② **資源制約と環境負荷**の問題を解決
- (4) テラワットPV時代の到来にも適応可能
- (5) 技術の体系化と普及が課題