

化合物薄膜太陽電池の 研究開発

先端産業プロセス・高効率化チーム
柴田 肇

太陽電池の模式図



太陽電池の基本構造

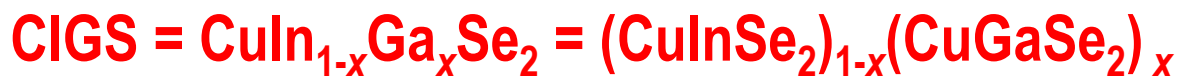
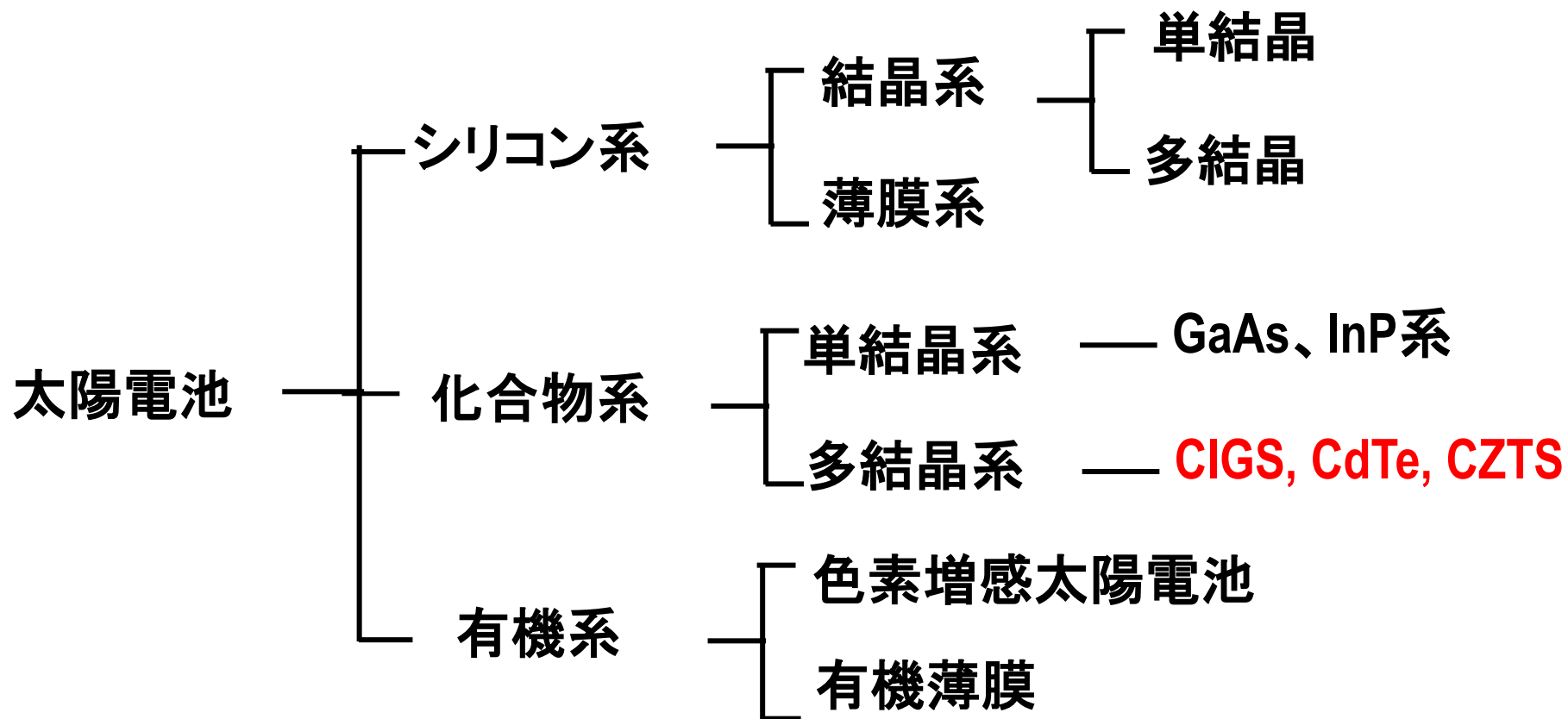


CIGS太陽電池の模式図

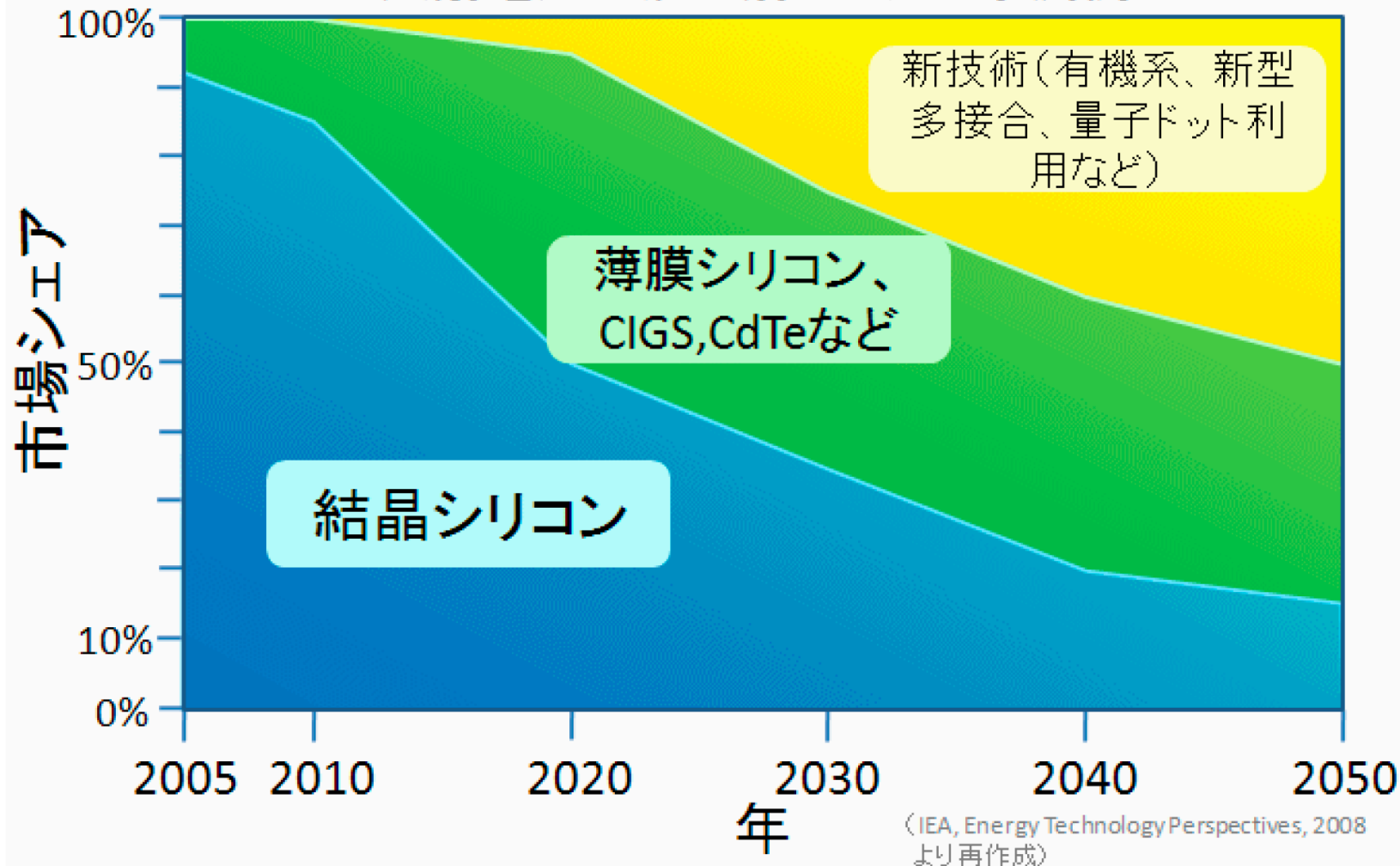
この部分が
薄膜で構成
されている。

合計膜厚は
5ミクロン程
度。

化合物薄膜太陽電池



太陽電池の形式別シェアの予測例



出典：http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/types/groups.html
 産業技術総合研究所・太陽光発電工学研究センターHP

化合物薄膜太陽電池の特徴 – 結晶シリコン太陽電池と比較して–

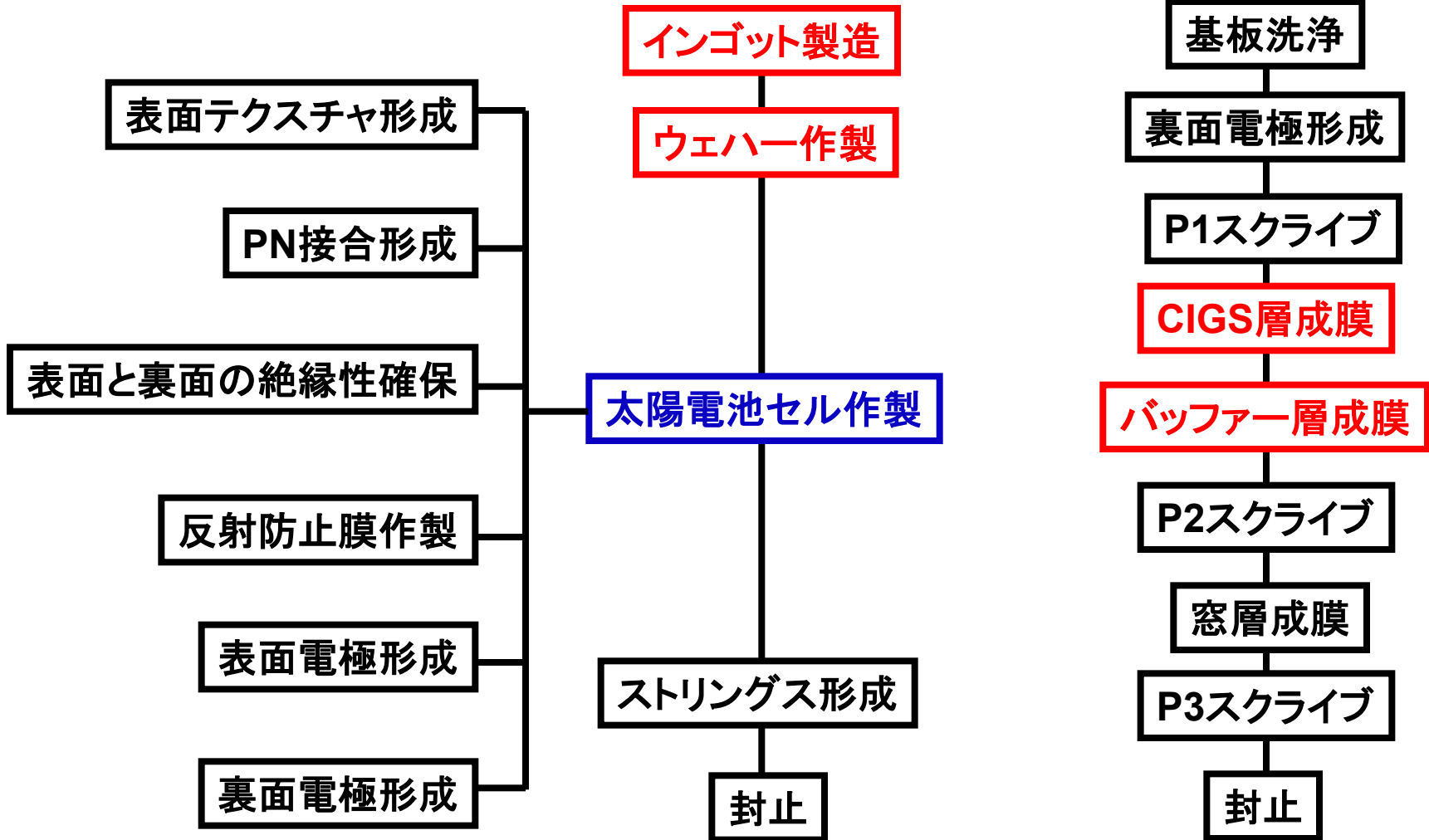
1. 製造工程が少ない
 2. 大面積化が容易
 3. 原料が少量で済む
 4. 多結晶薄膜で良い
 5. 低コスト化に好適
- 次頁図を参照
- } 薄膜の特徴

CIGS太陽電池の特徴

1. 変換効率が**高い**(小面積セルで $\eta = 20.4\%$)
2. 光吸収係数が大きく薄膜化可能
3. 光劣化がなく長期信頼性に優れる
4. 超高純度材料は必要ではない
5. 低コスト基板を使用可能
6. フレキシブル基板を利用可能

結晶Si太陽電池製造工程

CIGS太陽電池製造工程

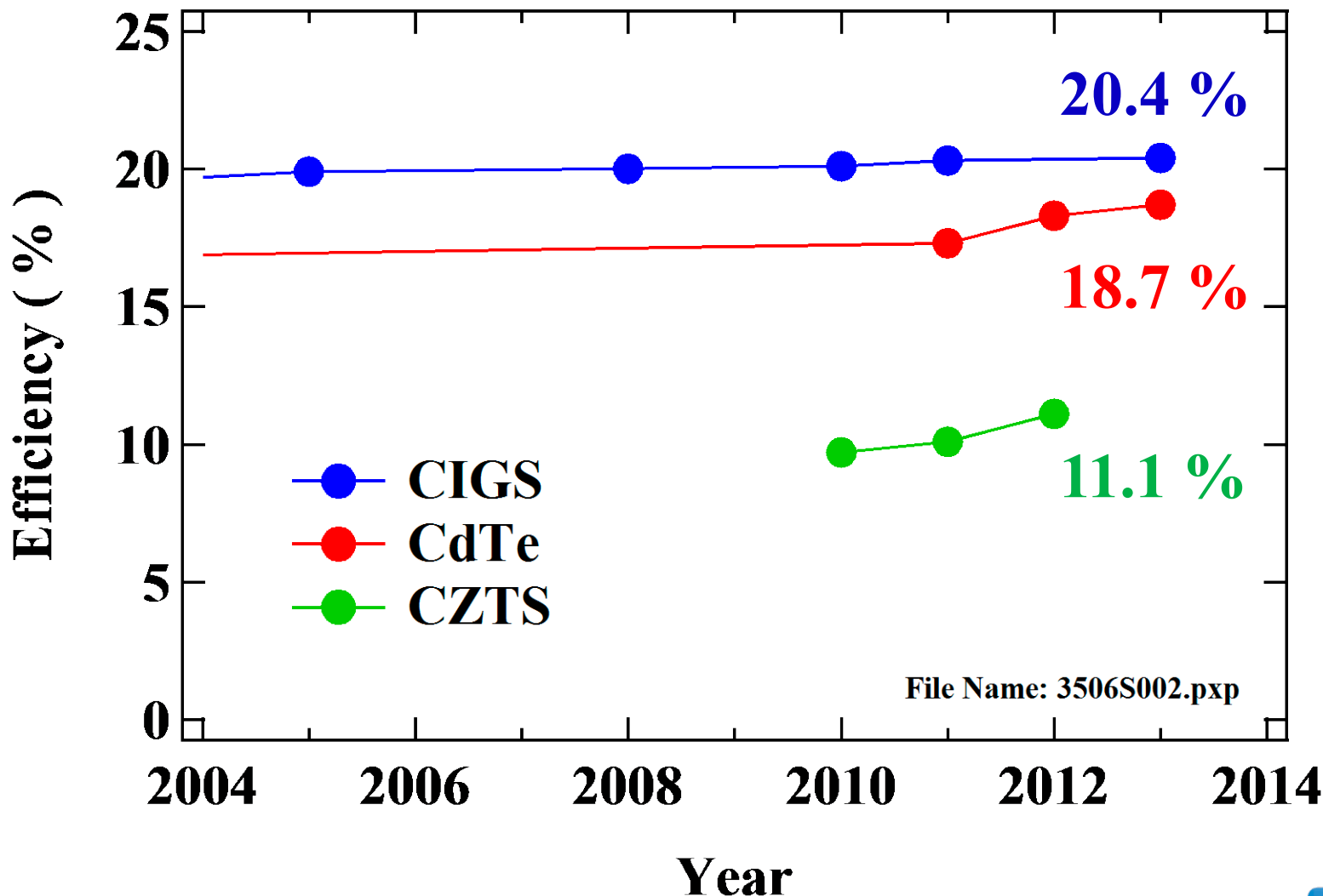


化合物薄膜太陽電池の最近の技術動向 — CIGS太陽電池を中心として —

- 変換効率の向上は順調に推移(特に小面積セル) → 次頁図を参照
- 変換効率向上の主要因は**光吸収層の改善** → **技術の本流**
→ **変換効率向上の余地**が大きく残されている
→ **基礎研究**が重要な意義を持つフェーズにある
- モジュールの変換効率も追従して向上を開始
($\eta = 17.8\%$ 30cm × 30cm) ⇔ **セレン化法**の進展
- **フレキシブル基板**でも変換効率 $\eta = 20.4\%$ (**世界最高効率**)
が達成された
- **ターンキー技術**の進展は顕著ではない → ベンチャー企業を含めて、新規メーカーの参入は必ずしも顕著ではない

化合物薄膜太陽電池の光電変換効率

—小面積セルの世界最高効率の推移—



技術面から見た化合物薄膜太陽電池の特徴

－結晶シリコン太陽電池と比較して－

(1) 製造工程を分割して企業化することが難しい

- ・基板材料の洗浄からモジュール完成までを、1つの社が**一気通貫**で行う必要がある。

(2) 最も重要な工程の開発を自力で行う必要がある

- ・太陽電池の性能を最も強く支配する要因は、**光吸収層**の作製技術である(全ての太陽電池に共通)
- ・化合物薄膜では、その作製技術は歴史が浅く、まだ**確立されていない**(シリコンとの大きな相違点)
- ・最も重要な技術要素は、**光吸収層とバッファ層**の作製技術(単純なPN接合では整流性さえ得られない → **バッファ層の重要性**)
- メーカーは光吸収層とバッファ層の作製技術を**自力で開発**する覚悟が必要

(3) PN接合界面とヘテロ接合 (CdS/CIGS) 界面が一致している

(4) 成膜条件の小さな変化が、変換効率の大きな変化をもたらす

(5) 多数のパラメータが複雑に絡み合っ変換効率が決まる

→ 変換効率を支配している要因が見えにくい

- ・光吸収層の組成比: Cu/(In+Ga)、Ga/(In+Ga)、Na濃度

- ・多層膜構造であること

TCO/i-ZnO/CdS/OVC/Ga-rich/In-rich/Ga-rich/MoSe_x/Mo/SLG


 CIGS層だけでも4層くらいあると考えるべき

- ・多結晶体であること

→ 結晶粒のサイズ、結晶粒内部の結晶性、結晶配向性、結晶粒界の性質(活性、不活性、不純物の偏析、etc.)

 **メーカーの寡占化を生みやすい背景を持つ**

世界の技術の潮流

- セレン化法の進展 ($\eta = 17.8\%$ 30cm × 30cm)
 - CZTS系太陽電池でも高い有効性
- フレキシブル太陽電池の進展 ($\eta = 20.4\%$)
- Ga濃度の制御
 - Ga濃度の深さ方向プロファイルの最適化
 - 高いGa濃度 ($E_g = 1.4 \text{ eV}$) \Leftrightarrow 高い成膜温度
- Na導入・制御技術の進展 \Leftrightarrow フレキシブル基板
- 非Cd系バッファ材料の開発
 - Zn系材料 ($\eta = 19.7\%$ 0.5cm²)、In系材料
- 新しいプロセス技術の開発
 - 非真空系プロセス技術
 - 真空一貫オール・ドライ・プロセス技術

産総研の研究指針

• 概論

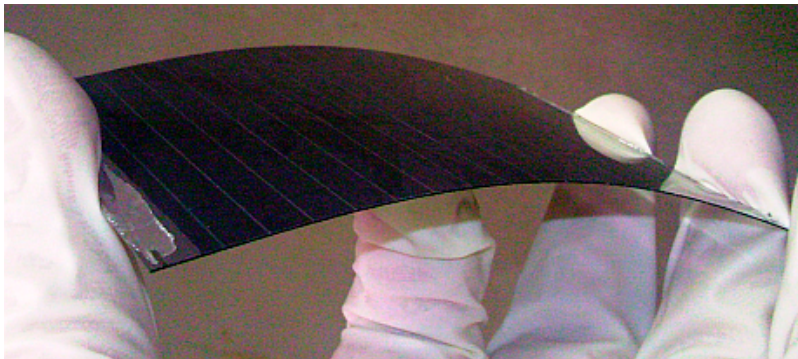
- 高い変換効率を実現するために必要な、**光吸収層とバッファ層の作製技術**を確立する。 → **メーカーの寡占化**を生みやすい背景を緩和する。
- そのために、**小面積セルとサブモジュール**の両方の研究を等しく重要であると考えて、同時並行に進める。
- 小面積セルの研究では、高効率化に必要な**基本原理**の解明を行う。
→ 地道な**基礎研究**と全く**新しい発想**が必要。
- サブモジュールの研究では、**インライン・プロセス技術**の開発に重点を置き、現場の生産技術に直結した技術の開発を行う。

• 各論

- 高品質光吸収層の成膜技術 / **Ga濃度の制御と最適化**
- **Na制御技術**の開発
- 高品質**ヘテロ接合界面**の形成技術と**非Cd系バッファ層材料**の開発
- **フレキシブル基板**技術の開発 (高性能・軽量・低コスト)
- **新規プロセス**技術の開発

産総研の最近の研究成果

- **CIGS小面積セル**で変換効率**19.8%**(in-house測定値)を達成(2012年)
- **CIGSサブモジュール**で変換効率**17.6%**(in-house測定値)を達成(2013年)
- **CIGSフレキシブル・サブモジュール**で変換効率**16.2%**(in-house測定値)を達成(2013年)
- **スパッタ法**による**非Cd系バッファ層**形成プロセス技術を開発(キヤノンアネルバ株式会社との共同研究)



変換効率**16.2%**(in-house測定値)
が得られた**CIGSフレキシブル・サブモジュール**

まとめ

- 更なる変換効率向上の余地が、大きく残されている。
- 技術の本流が、開発の中心的位置を占めている。
- 低コスト化の余地も大きい(高効率化による低コスト化が可能)。
- 軽量化とフレキシブル化を、同時に進行できる。
- 新規事業者が挑戦する価値のある、高い潜在能力と将来性を持つ。
- 開発すべき要素技術
 - (1)光吸収層
 - 最適Gaプロファイルの解明、高Ga濃度への挑戦 ⇔ 高い成膜温度の必要性
 - Na導入・制御技術の開発
 - (2)バッファ層
 - 高品質なヘテロ接合界面の形成、非Cd系バッファ材料の開発
 - (3)基板材料
 - フレキシブル化・低コスト化・軽量化
 - (4)新しいプロセス技術
 - レーザー・スクライブ技術、真空一貫オール・ドライ・プロセス技術、封止技術