

■事業の目的・目標

2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画を受け、再生可能エネルギーの主力電源化に向け、従来の太陽光パネルに匹敵する発電性能を有し、軽量かつ屋根の形状に適合して設置可能なCIS太陽電池の開発を目的とする。

**中間目標：**小面積セルの外部発光量子効率(ERE) 0.3%、FF 0.82の達成を目指すとともに、それらの技術の体現として小面積セル22%、または10cm角程度のミニモジュールで19%程度の光電変換効率を可能にする多様な基板上で応用可能な要素技術を開発する。

**最終目標：**小面積セルでERE 0.5%、FF 0.83の達成を目指すとともに、10cm角程度の超軽量ミニモジュールで変換効率22%以上の達成、または達成見通しを得るための要素技術を確立する。

- 加速試験による屋外15年相当で、94%以上の初期出力保持率を維持する。
- 軽量基板上に、ボトムセル用として好適な性能( $E_g$  1.0 eV、 $V_{oc}$ : 0.63 V、 $J_{sc}$ : 39 mA/cm<sup>2</sup>、FF: 0.77、変換効率19%)を有する狭禁制帯幅CIS系太陽電池を実現し、ペロブスカイト/CISタンデム太陽電池で効率25%達成の指針を明確にする。

■本事業の主な研究成果

- 10cm角程度集積構造型軽量CIS系ミニモジュールで**変換効率18.7%**を達成した(図1)。また、同型ミニモジュールで架台を含めた**モジュール重量2.77 kg/m<sup>2</sup>**相当を達成し、**最終目標である3 kg/m<sup>2</sup>以下を達成した**。
- 高温高湿試験(85℃、85RH%)を実施、1500h経過後の効率は初期に対して**94%以上を維持しており最終目標値を達成した**(電圧印加有無に寄らず) (図2)。
- CIS系太陽電池のタンデム太陽電池応用に向けて、禁制帯幅1.0 eVのナローギャップCIGS太陽電池(ポリイミド基板)で**変換効率21.2%を達成**( $V_{oc}$  0.68 V、 $J_{sc}$  39.8 mA/cm<sup>2</sup>、FF 0.78)、**最終目標である変換効率19%を大きく上回り達成した(図3)**。
- ペロブスカイト/CIS構造の2接合タンデム太陽電池を作製し、変換効率22.3%を達成**、トンネル接合部(再結合層)の材料設計が重要との指針を明確にした(図4)。
- 熱光照射(HLS)処理によるERE向上により、**ERE値0.69%を得て最終目標を達成した**。また、 $V_{oc}$ とEREの相関指標を得た。
- エッチングによる小面積セル分離技術を確立し、小面積セルにおいて**FF83.1%**を得て、**FFの最終目標値を達成した**。

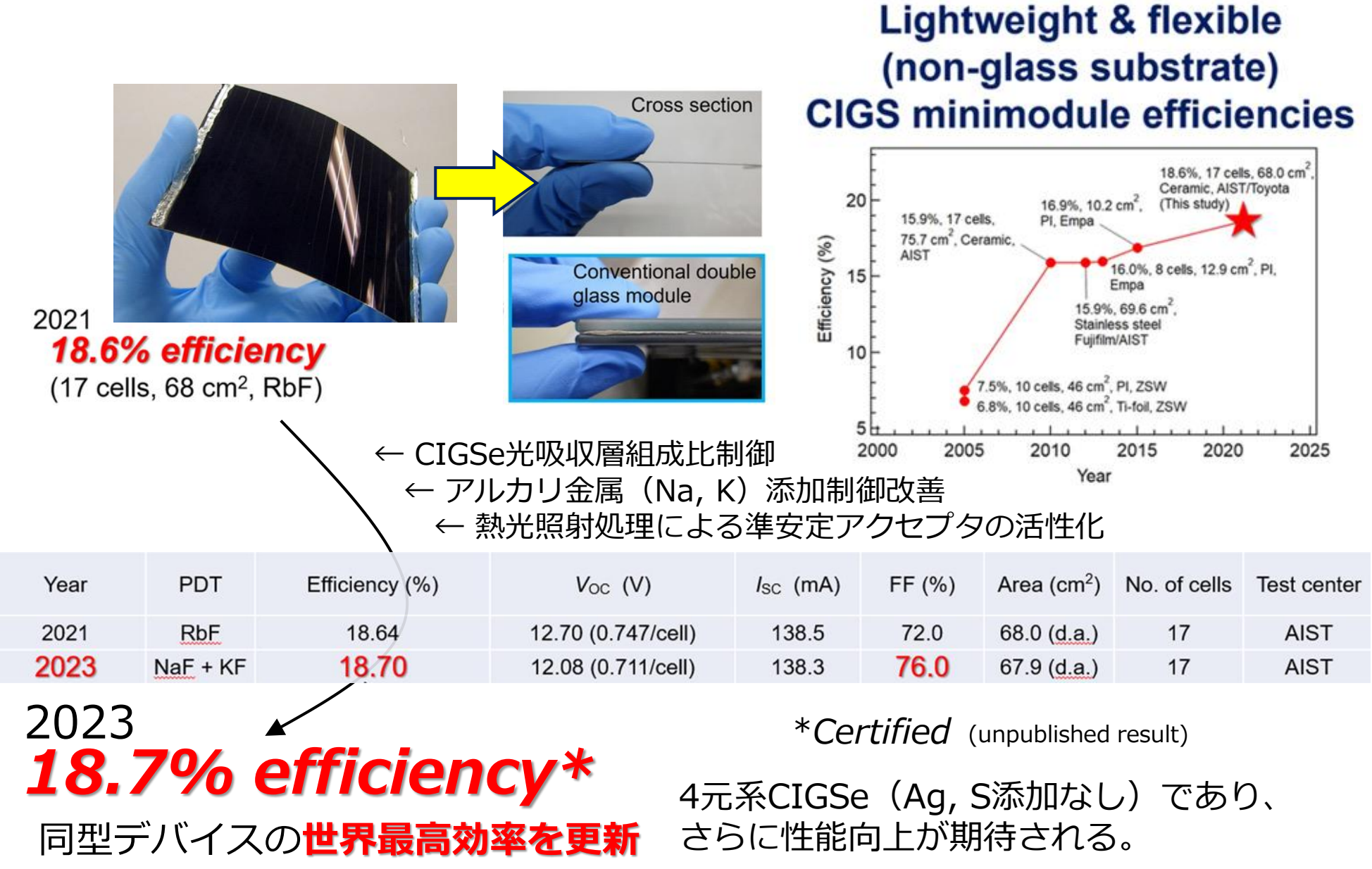


図1. 10cm角CIS系ミニモジュールの開発

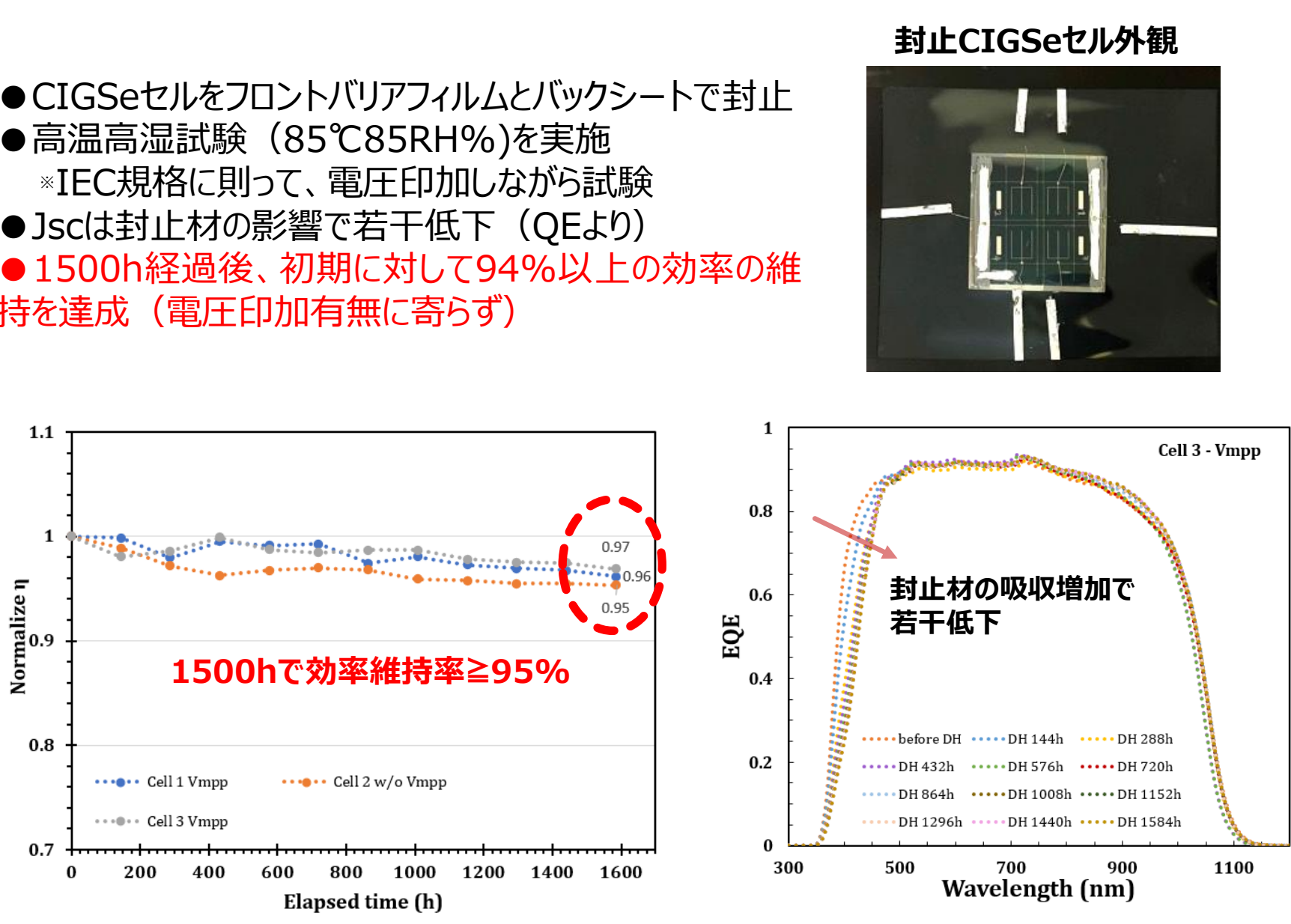


図2. CIS太陽電池の高温高湿試験

$E_g \sim 1.0$  eVのCIGS (ポリイミド基板) で**効率21.2%を達成**  
超軽量・フレキシブル・低温製膜

|              | Eff. (%) | $V_{oc}$ (V) | $J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) | FF    |
|--------------|----------|--------------|--------------------------------|-------|
| Forward scan | 21.2*    | 0.6834       | 39.78                          | 0.778 |
| Reverse scan | 21.2*    | 0.6836       | 39.76                          | 0.782 |

\*第三者機関 (JET) 測定値

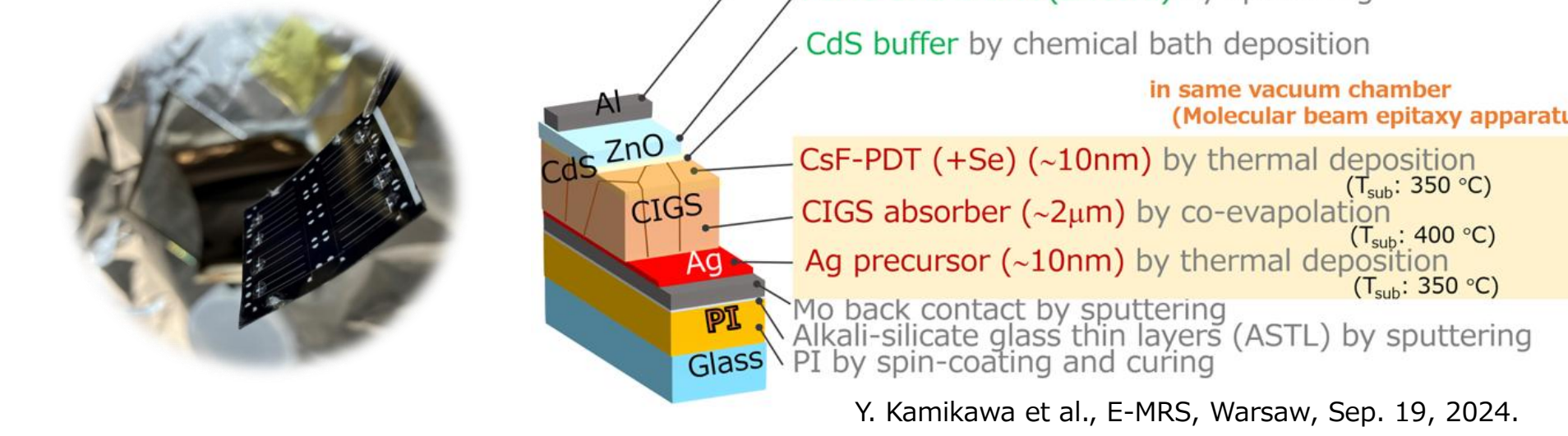


図3. 禁制帯幅1.0 eVナローギャップCIS太陽電池(ポリイミド上)の開発

再結合層をALD-SnO<sub>2</sub>からALD-TiO<sub>2</sub>に改善することで**変換効率22.3%(1cm<sup>2</sup>)**を達成

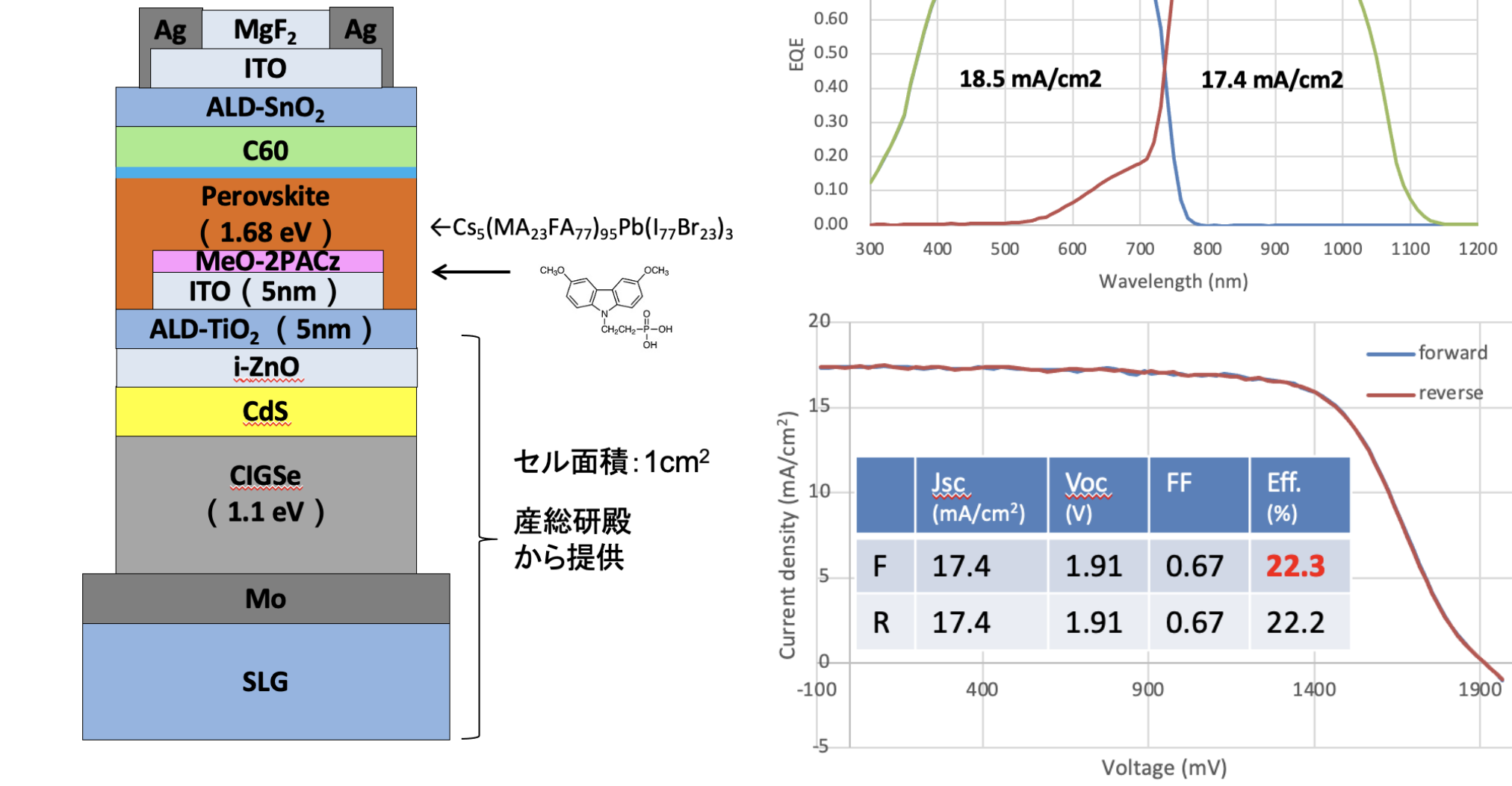
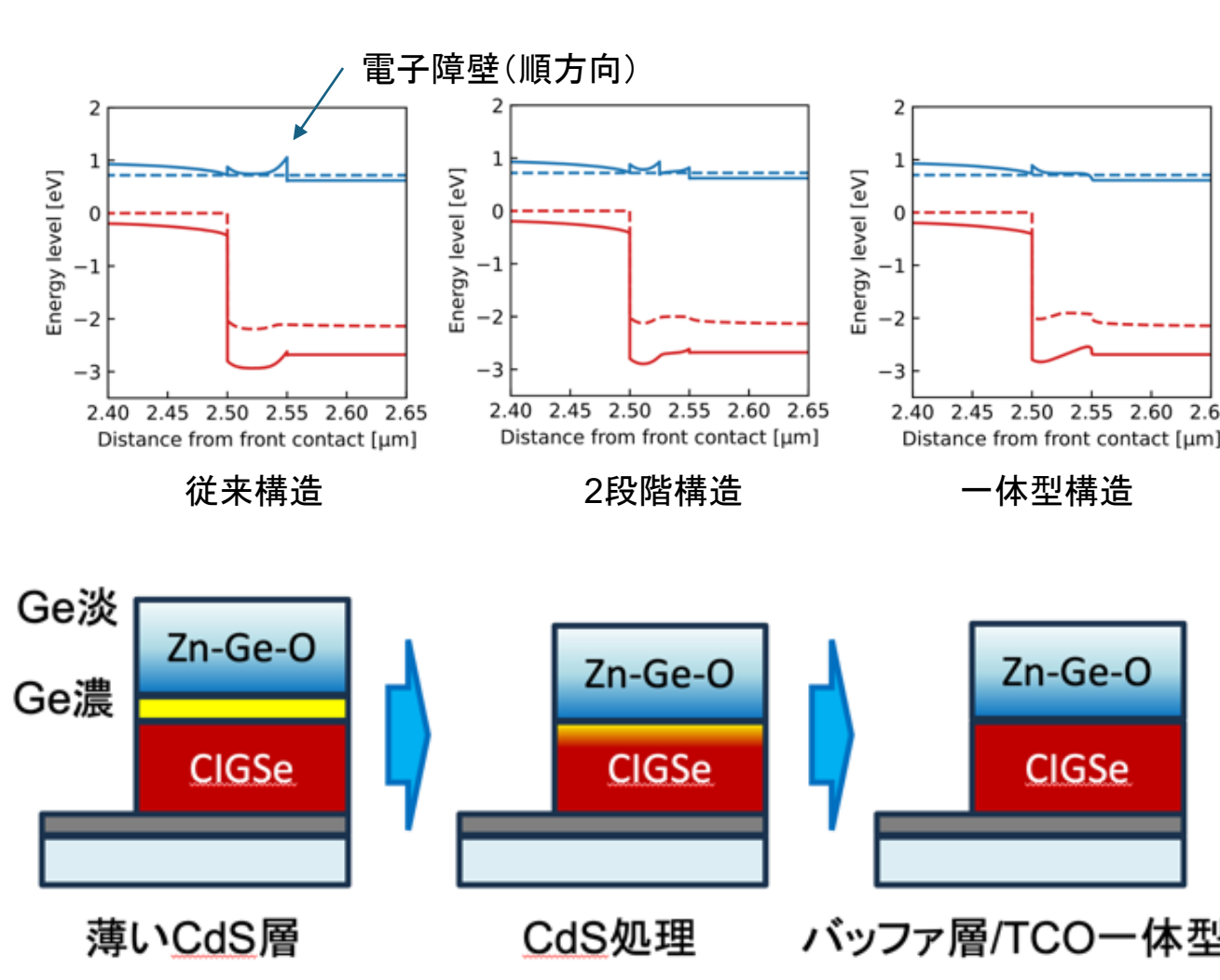
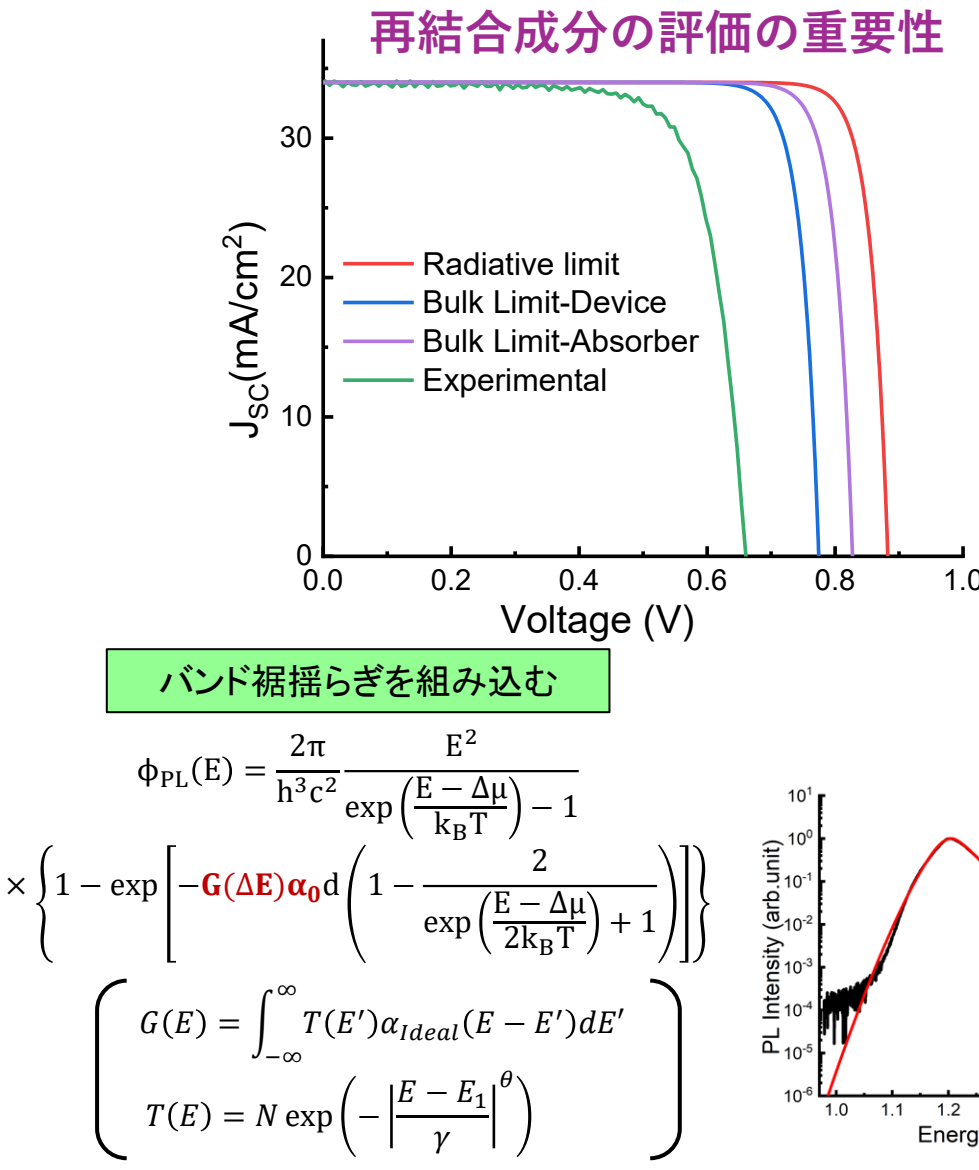


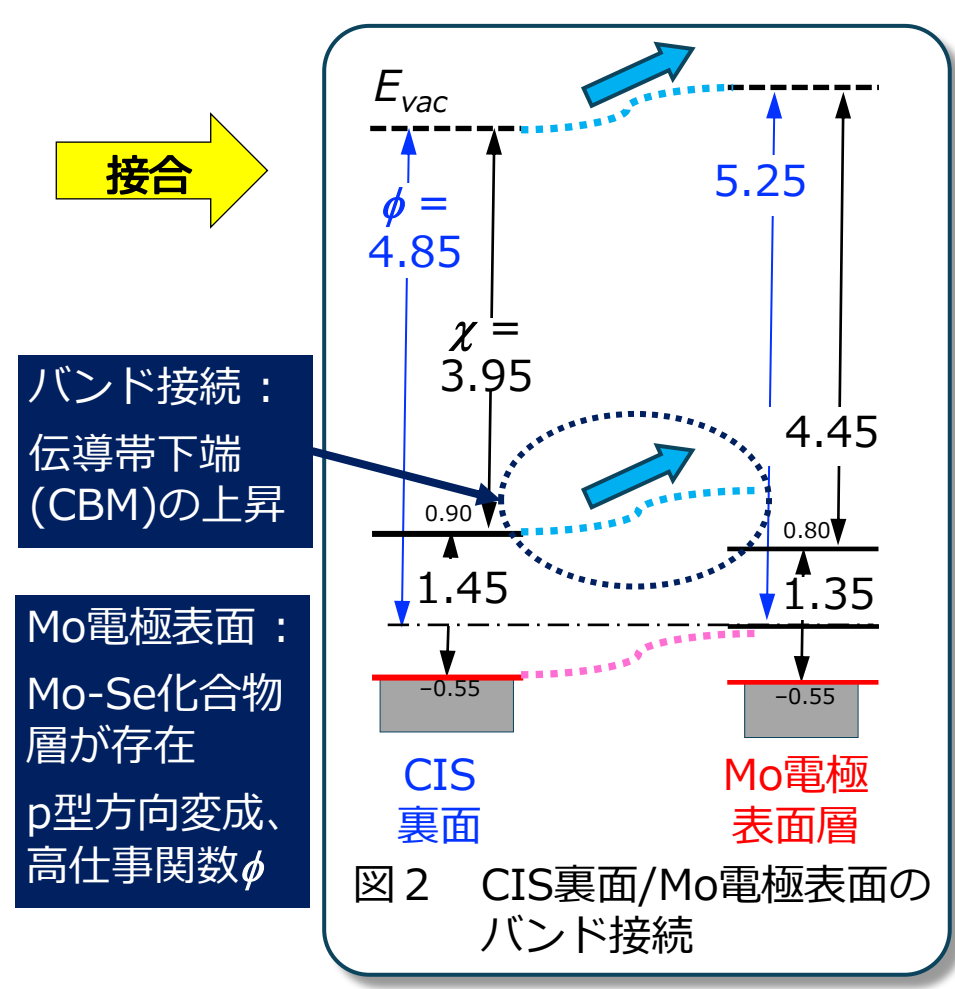
図4. ペロブスカイト/CIS 2端子タンデム太陽電池の開発



(a) n層一体型ZnGeOの開発



(b) 開放電圧( $V_{oc}$ )損失解析 (バンド裾振らぎの影響)



(c) CIS裏面/Mo界面のバンド構造評価

図5. 高効率CIS太陽電池の要素技術

■課題と今後の取り組み

1. 軽量ミニモジュールの効率改善

- 小面積セルの研究開発で得られたFF及び効率改善の知見を産総研の軽量ミニモジュール開発に集約するとともに、輻射性再結合メカニズムなど基礎物性理解を深めて $V_{oc}$ の改善を図る。また、Ag等の元素添加効果の最適化検討や、熱光照射効果最適化の検討を進め、軽量ミニモジュールの高効率化に取り組む。
- 集積モジュール作製時のスクライビング工程などがFF制限要因であるため、TCO開発を含めたモジュール構造の検討を行う。今回、エッチングによるセル分離技術によりFF 83.1%が達成され、メカニカル・スクライビングがFF低下の要因であることが明確になった。

2. ペロブスカイト/CISタンデム太陽電池の効率改善

- ペロブスカイト/CIS接合部のトンネル接合(再結合層)の重要性並びに構造の知見を産総研が開発した表面平坦化ナローギャップボトムセルに適用し、さらなる変換効率の向上に取り組む。

■実用化・事業化の見通し

- 本事業ではCIS薄膜太陽電池の高効率化に資する技術開発を行うとともに、ペロブスカイト/CISタンデム太陽電池を開発、いずれも今後の次世代型太陽電池の研究開発において重要となる基盤技術が開発された。現在、国内CIS太陽電池メーカーとCIS太陽電池の量産化等に関して継続的な技術検討を行なっている。
- ペロブスカイト/CISタンデム太陽電池の構成においてCIS系は有望なボトムセルとして期待されている。本事業で得られた狭禁制帯幅CIS太陽電池の成果を応用、発展させることによりタンデム太陽電池の実用化を目指した研究開発を継続する。
- ペロブスカイト/CISタンデム太陽電池においては安定性が課題である。高耐久性を有する電子親和力可変な無機半導体材料など、本事業で得られた知見を元にペロブスカイトの高耐久化に資する研究を継続して行う。
- 本事業では従来のガラスではなくフィルムによる封止技術を開発し、フィルム封止されたCIS太陽電池の加速試験による耐久性の実証を行った。さらに、ペロブスカイトの分解を促進しないCIS太陽電池の透明電極の開発も行った。本事業で開発したフィルム封止技術は、タンデム太陽電池において有効活用可能であると考えている。