

スマートスタック実用化にむけて -GaAs/Si多接合太陽電池の開発-

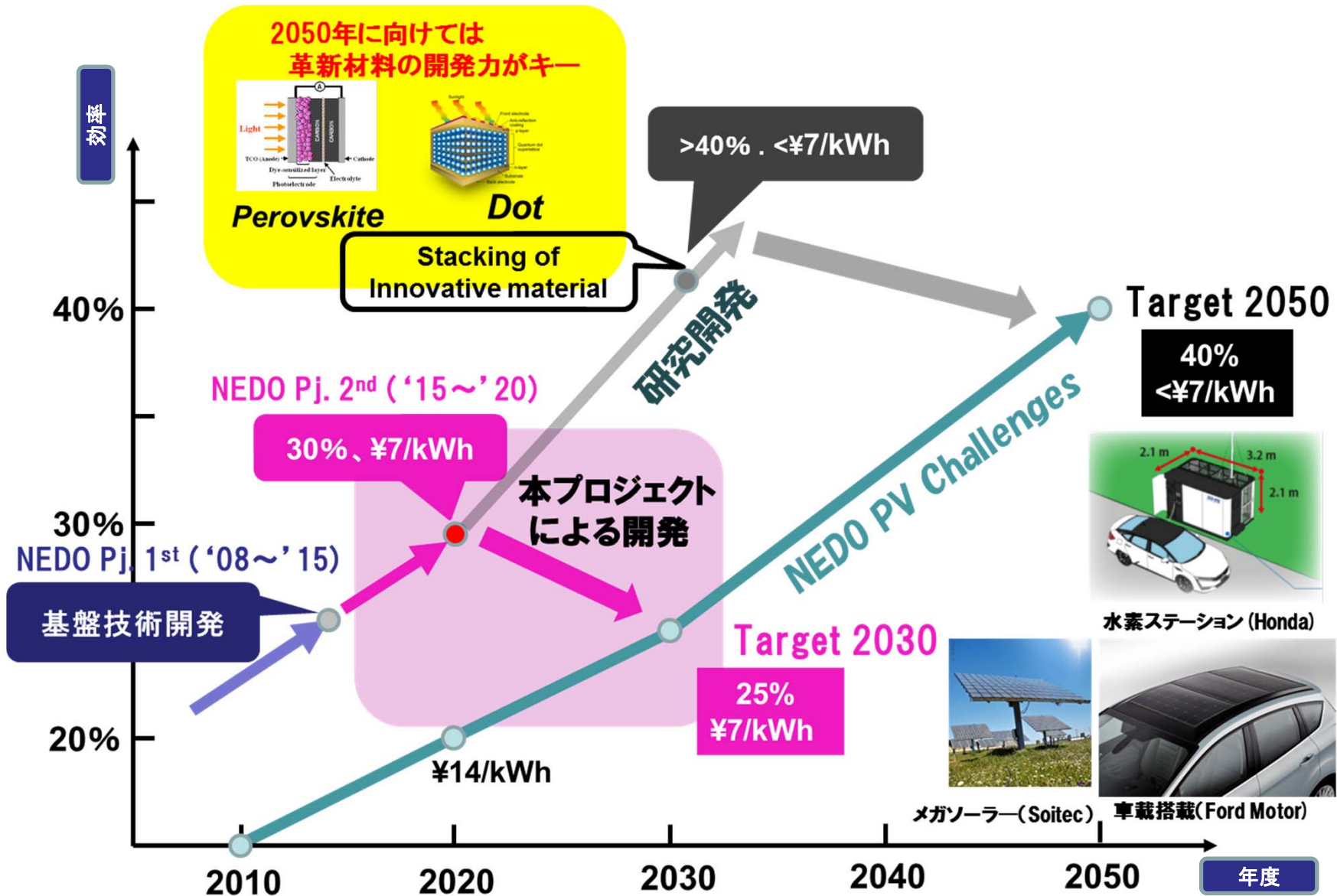
○牧田紀久夫, 水野英範*, 高遠秀尚*, 菅谷武芳

産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム

*再生可能エネルギー研究センター 太陽光チーム

- 背景
- GaAs//Si 多接合太陽電池の特性進捗
- 信頼性試験法の提案と初期検証
- 実装/モジュール技術の実証
- 総括

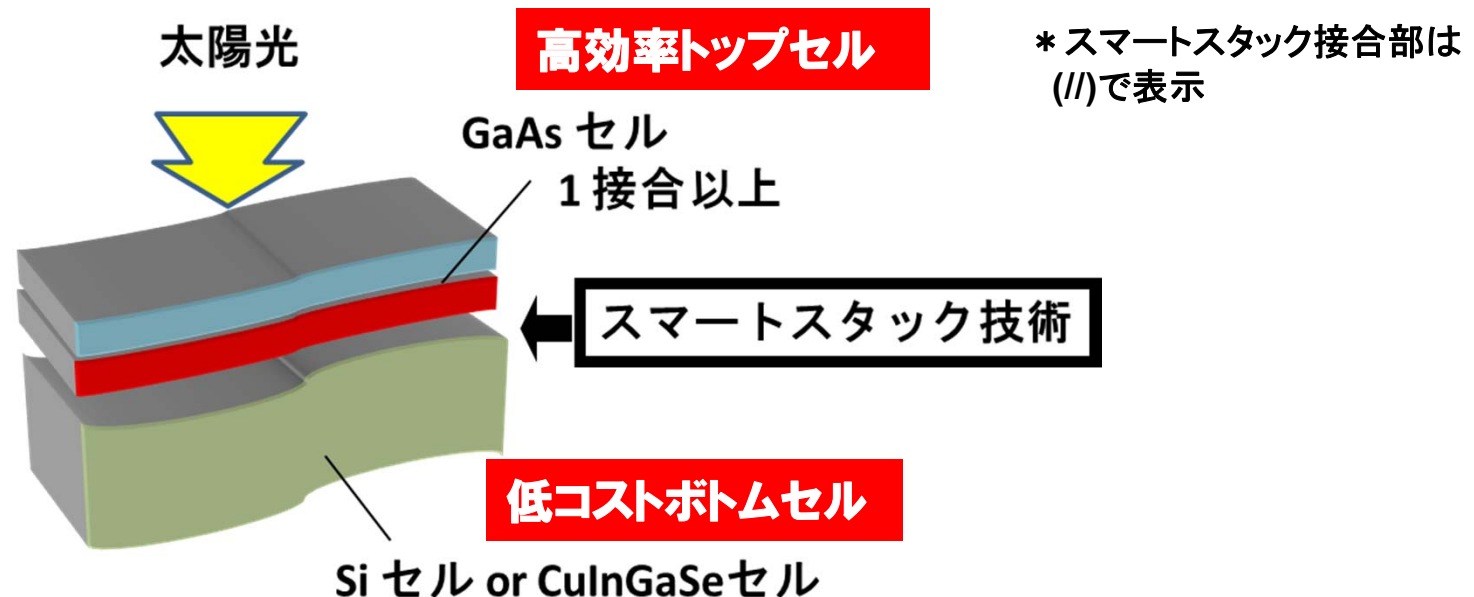
NEDO PV Challengesに向けての開発ロードマップ



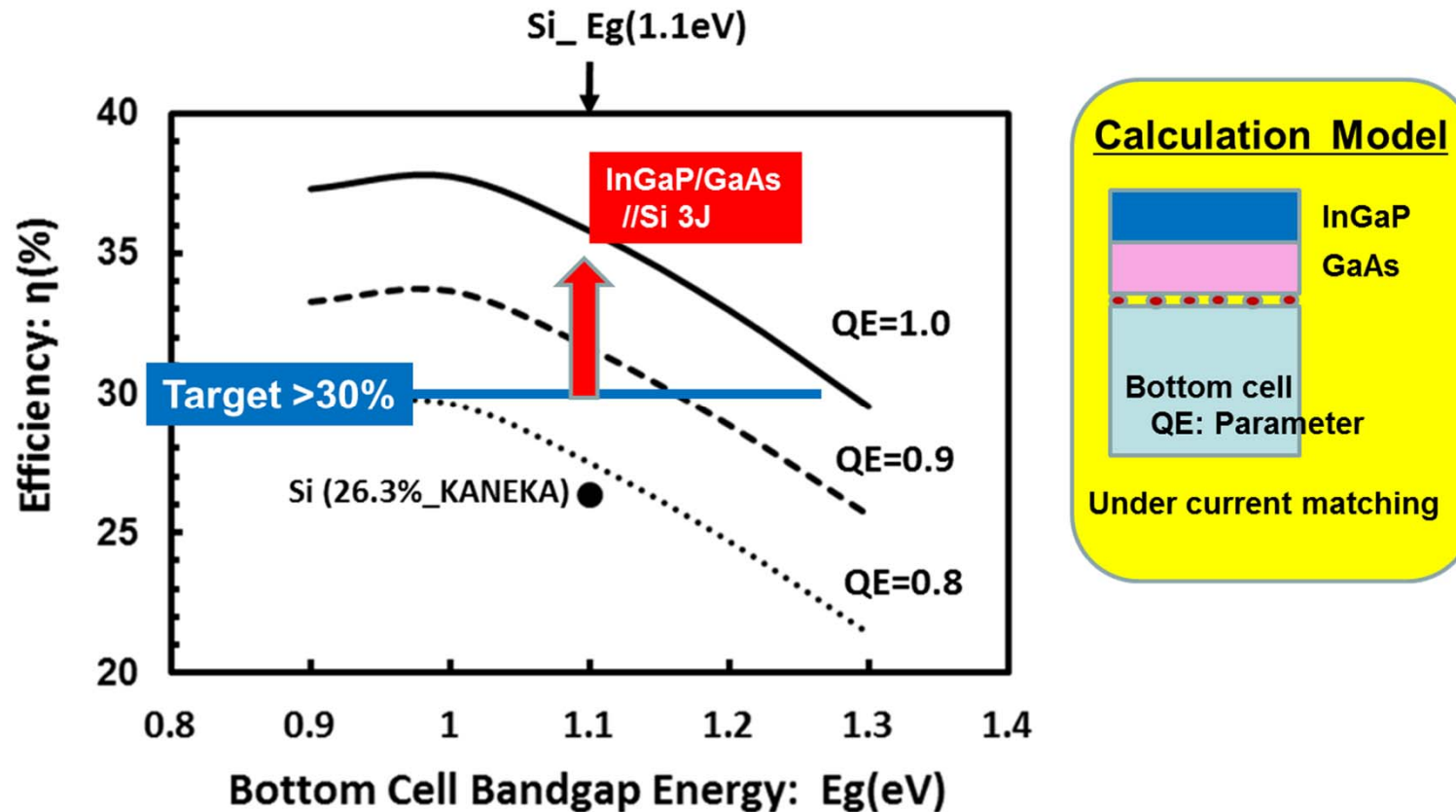
産総研における開発目標および開発戦略

目標: **モジュール効率30%以上、発電コスト7円/kWh**を有する
革新的太陽電池を実現する

- 戦略:
- **GaAs//Si**あるいは**GaAs//CuInGaSe**多接合型太陽電池の開発
産総研オリジナルの**スマートスタック技術**を適用
 - **GaAsセルの低コスト化技術**の開発
ハイドライド(H-VPE)技術の適用
 - **非集光**あるいは**低倍集光(<10倍)**によるセルコストの低減

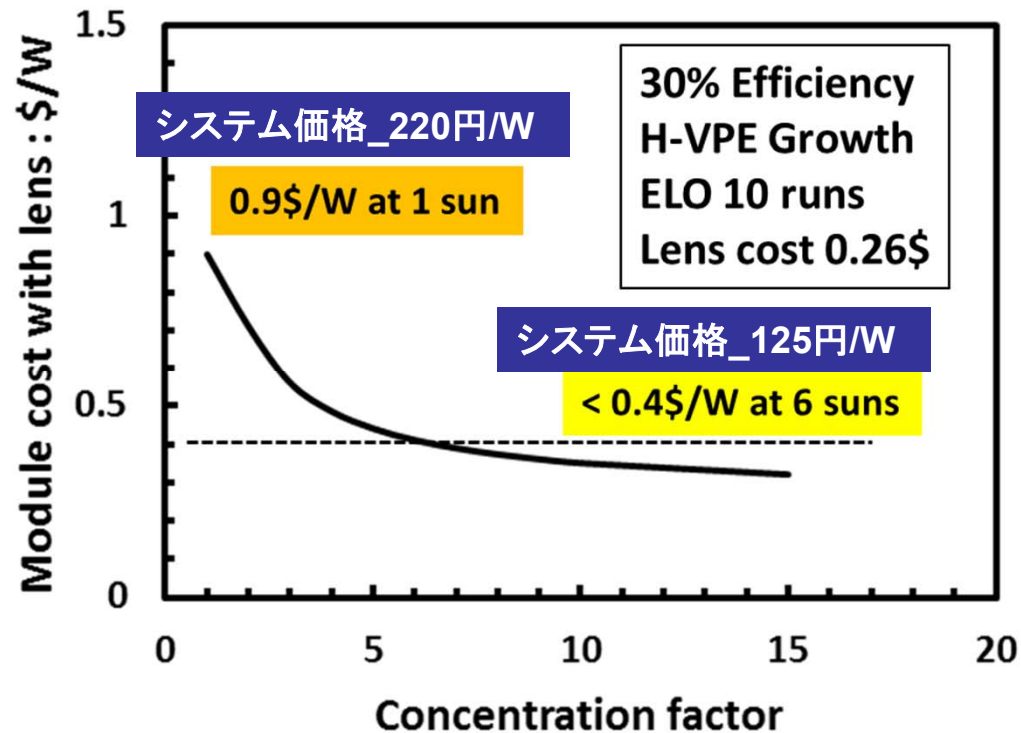


GaAs//Si 3接合型太陽電池の効率予測



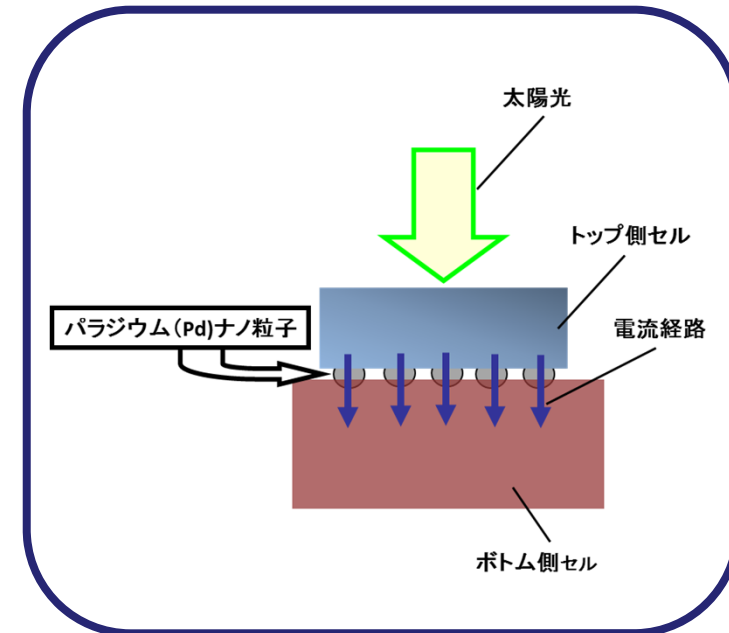
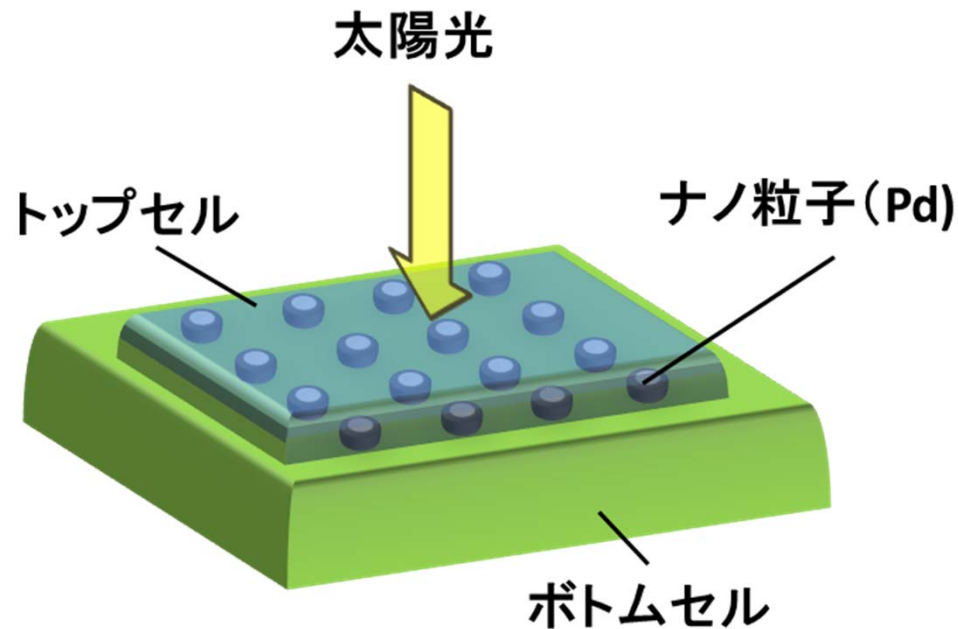
- InGaP/GaAs//Si 3接合セルで発電効率30%以上が可能
- SiボトムセルのQE効率向上が鍵
- 将来的には高効率セル(PERC, HIT等)の適用により性能向上

GaAs//Si 3接合型太陽電池のコスト予測



- ・モジュールモデル: **InGaP/GaAs//Si (スマートスタック技術)**
モジュール効率 **30%**、GaAs成膜法 **H-VPE**、GaAs基板再利用 **10回**
- ・1sunモジュールコスト: **0.9\$/W**
- ・低倍集光導入時のモジュールコスト: **<0.4\$/W at 6suns**

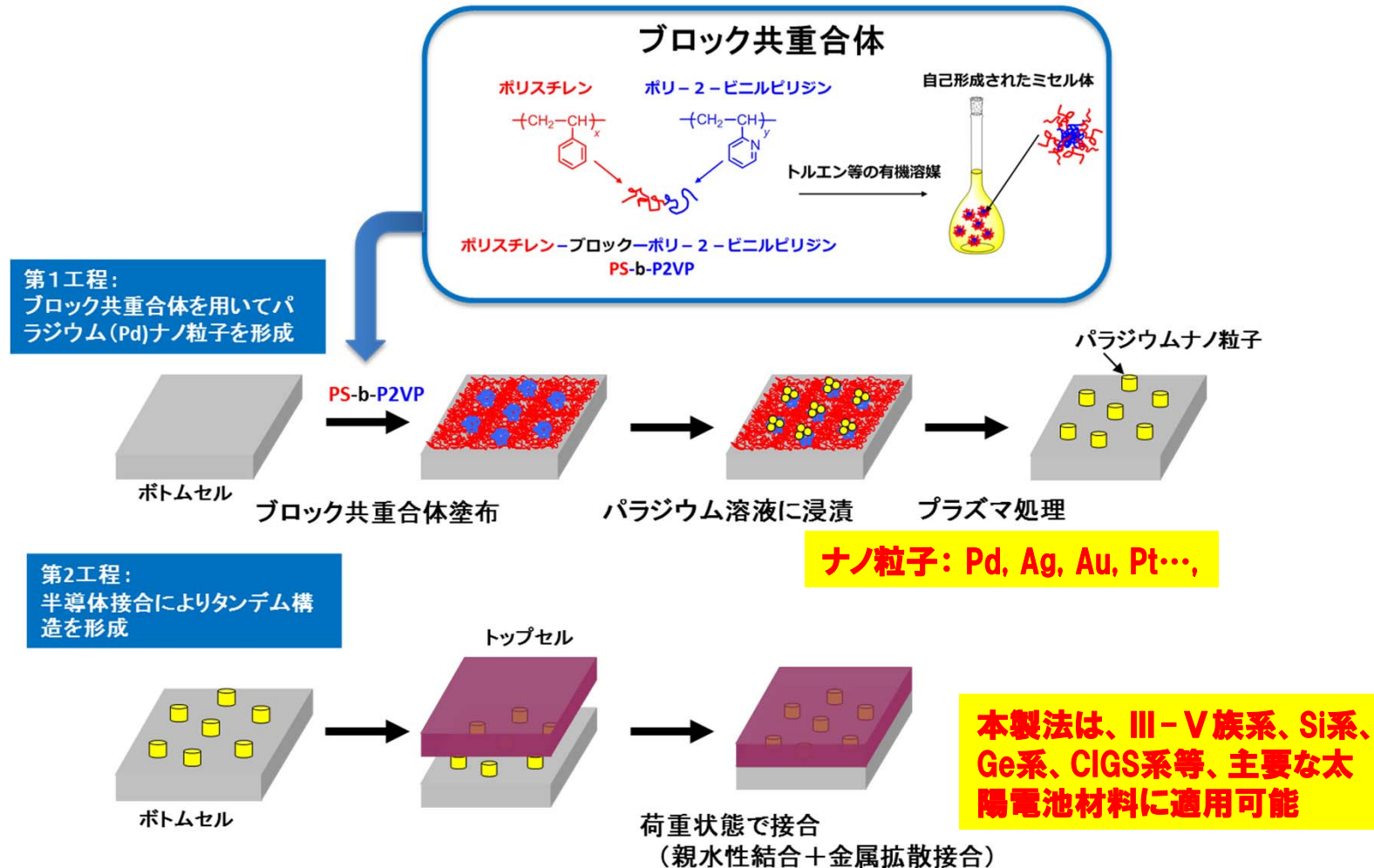
スマートスタック技術(概念)



電気特性：オーミック接触による低接合抵抗
 光学特性：極小サイズによる低光損失

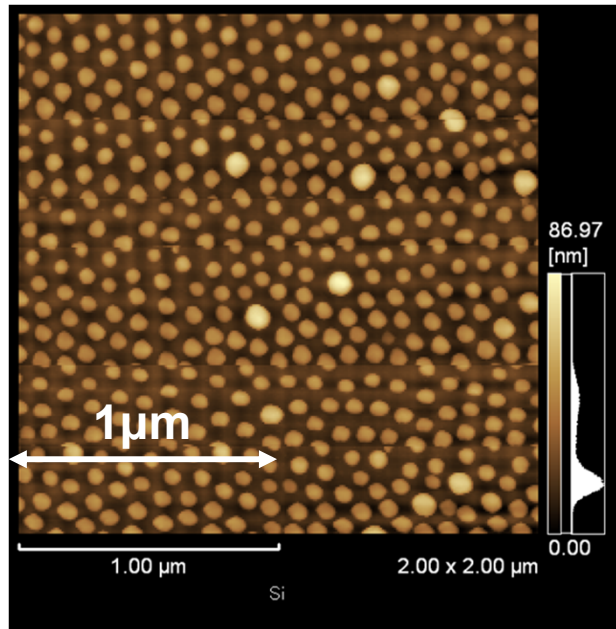
- ・パラジウムナノ粒子を接合界面に配した接合化技術
- ・多接合太陽電池に適う接合品質実現(接合抵抗 $\sim 1 \Omega\text{cm}^2$ 、光損失 $\sim 2\%$)

スマートスタック技術(製法)

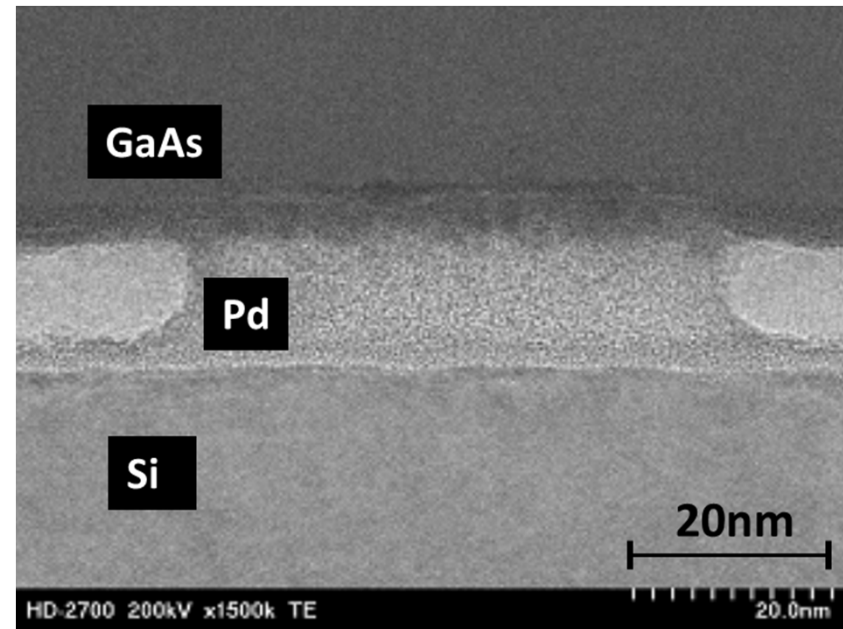


- ・ブロック共重合体をテンプレートとしてパラジウムナノ粒子を配列
- ・量産性に優位な簡便な製法技術

スマートスタック技術(接合界面)



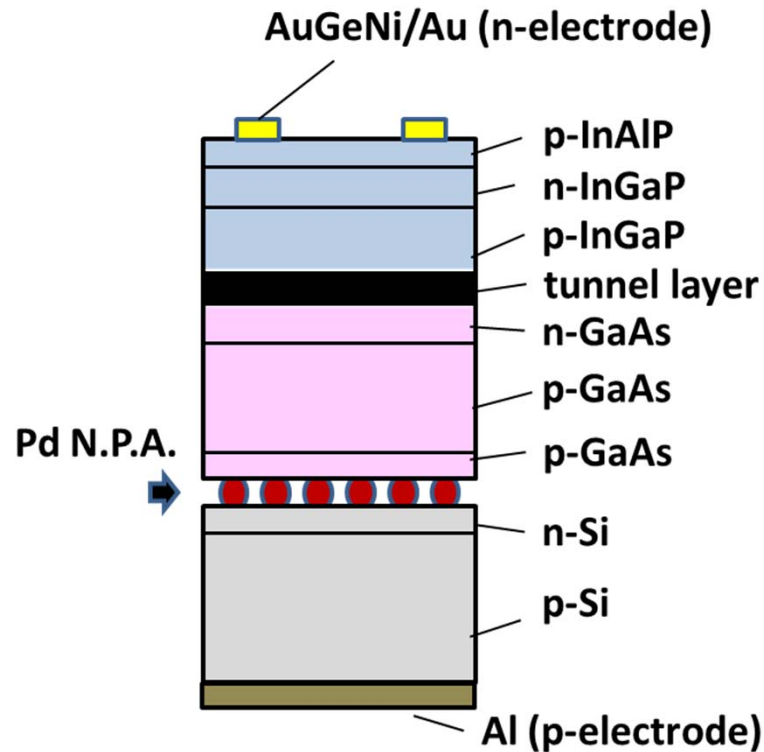
Siボトムセル上のPd配列



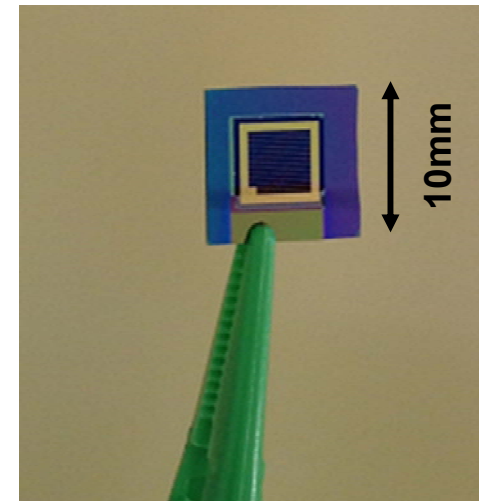
GaAs/Pd/Si接合界面

- ・パラジウムナノ粒子ドメインの直径～50 nm、接合ギャップ～10-50 nm
- ・ドメイン密度～ $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 、被覆率～12%

GaAs//Si多接合太陽電池の特性進捗

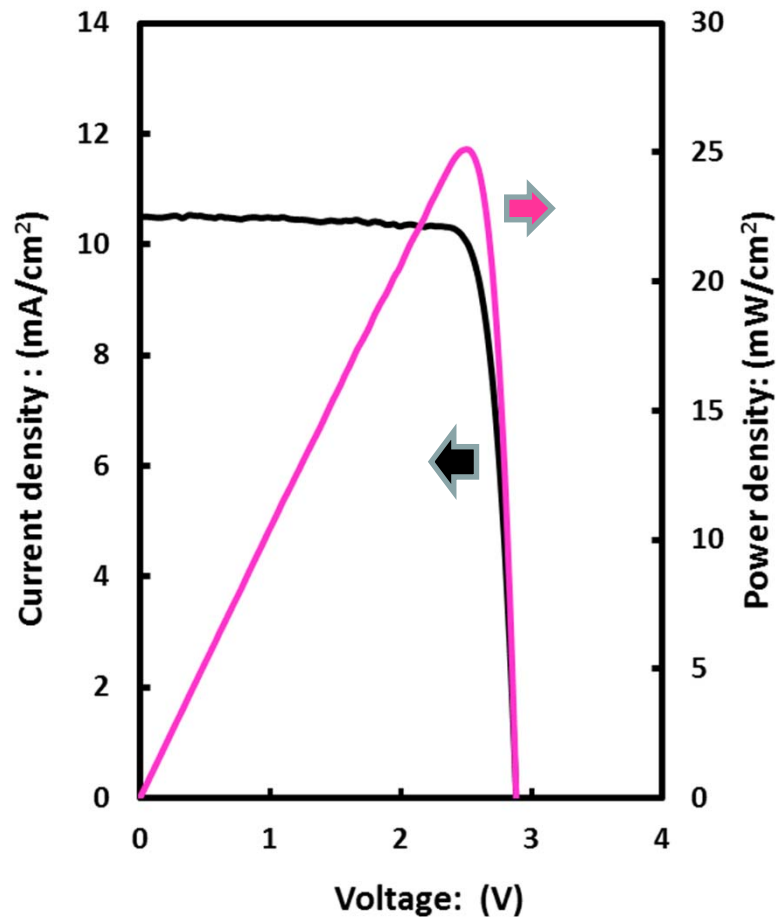


N. P. A.- Nanoparticle Alignment



・InGaP/GaAs//Si 3接合構造をスマートスタック技術により試作

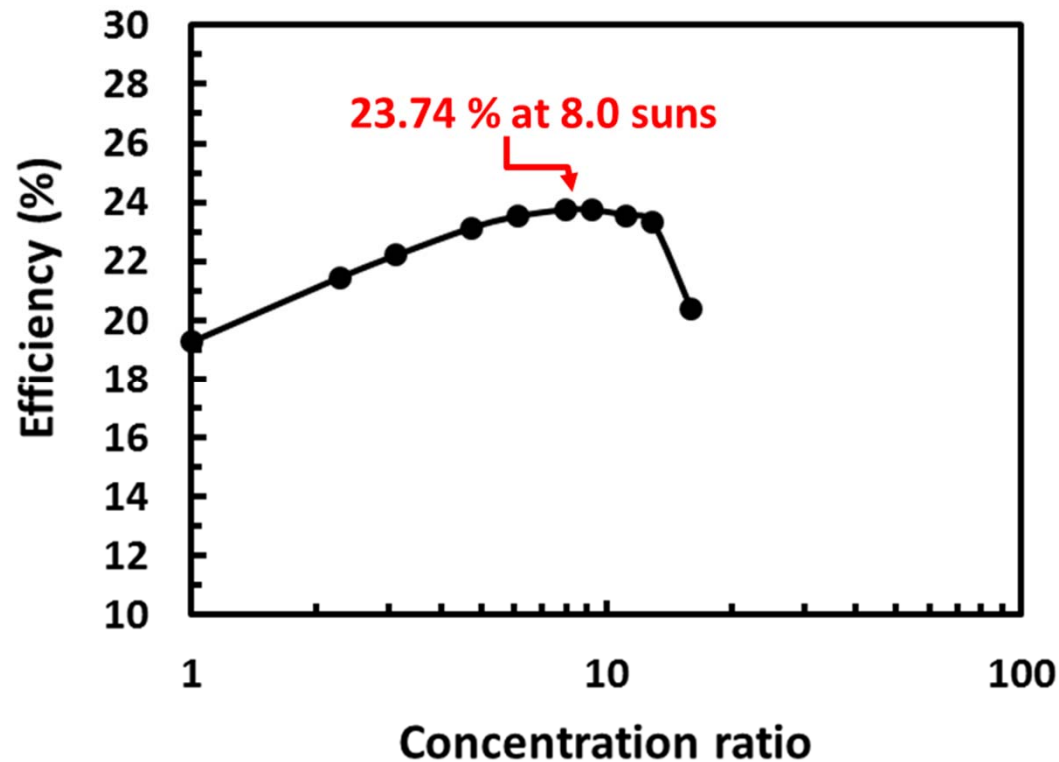
GaAs//Si多接合太陽電池の特性進捗 (1sun)



η (%)	25.12
Voc (V)	2.88
Jsc (mA/cm ²)	10.51
FF	0.83

- 1sunでの発電効率～**25.12%** (昨年度～23.08%)
- 電流整合の調整および開放電圧改善により性能向上はかる

GaAs//Si多接合太陽電池の特性進捗(低倍集光)



	1 sun	8.0 suns
η (%)	19.26	23.74
Voc (V)	2.59	2.94
Jsc (mA/cm ²)	11.59	92.25
FF	0.64	0.70

- ・8sun集光で発電効率～**23.74%**
- ・低倍集光の機能実証、今後は高効率セル適用により性能改善

信頼性試験法の提案と初期検証

高温通電試験

3温度水準: 120/135/150°C
通電: 1sun / 低倍集光相当

温度サイクル試験

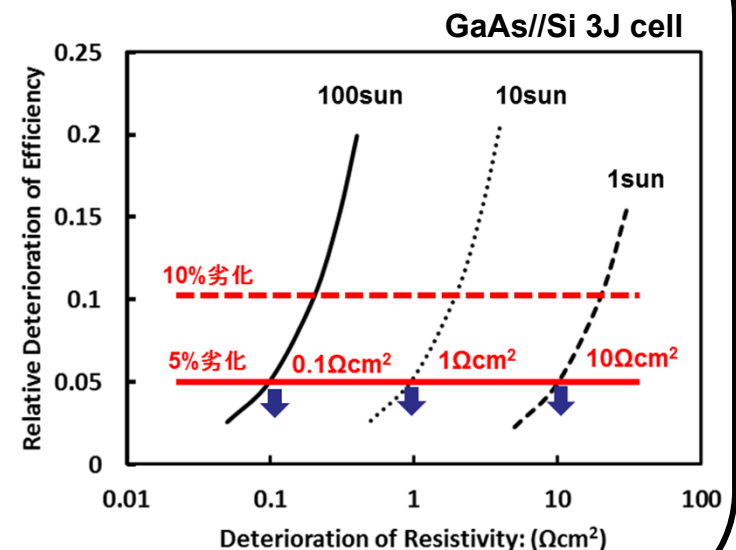
-40°C~+85°C
200サイクル

劣化判定

- ・IV特性による素子抵抗追跡
- ・試験前後の発電特性比較

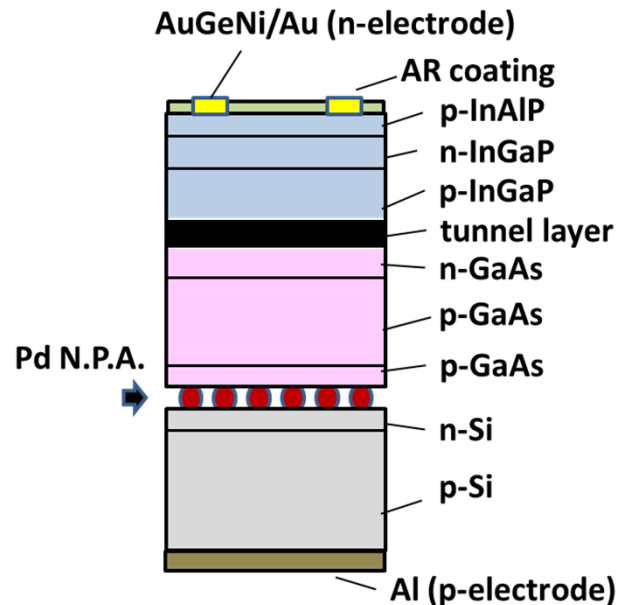
- ・高温通電試験により素子寿命推測
- ・温度サイクル試験により素子耐久性推測

抵抗劣化と効率劣化の関係



- ・信頼性試験法として高温通電試験、温度サイクル試験を提案
- ・非集光および低倍集光を想定した試験法

信頼性試験法の提案と初期検証



N. P. A.- Nanoparticle Alignment

投入素子: InGaP/GaAs//Si接合素子
ARC__ TiO₂/SiO₂スパッタ膜

高温通電試験

- ・ストレス条件
 加速温度: 150°C /100 h
 電流: 10 mA ⇔ 105 mA/cm²
 (10sun相当)

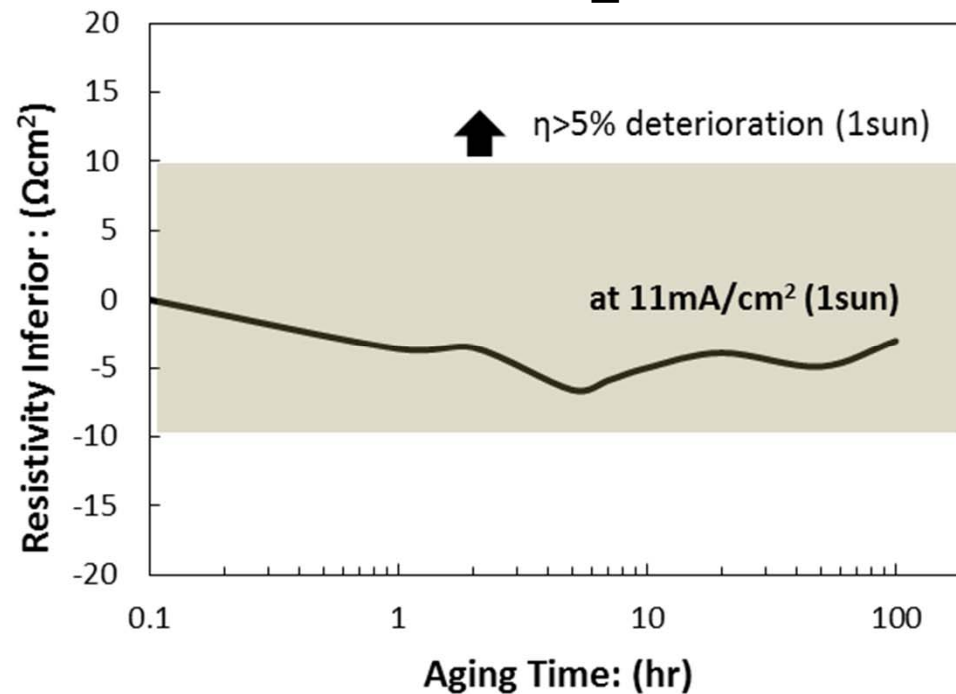
温度サイクル試験

- ・ストレス条件
 温度サイクル: -40°C⇔85°C
 サイクル数: 200 cycles

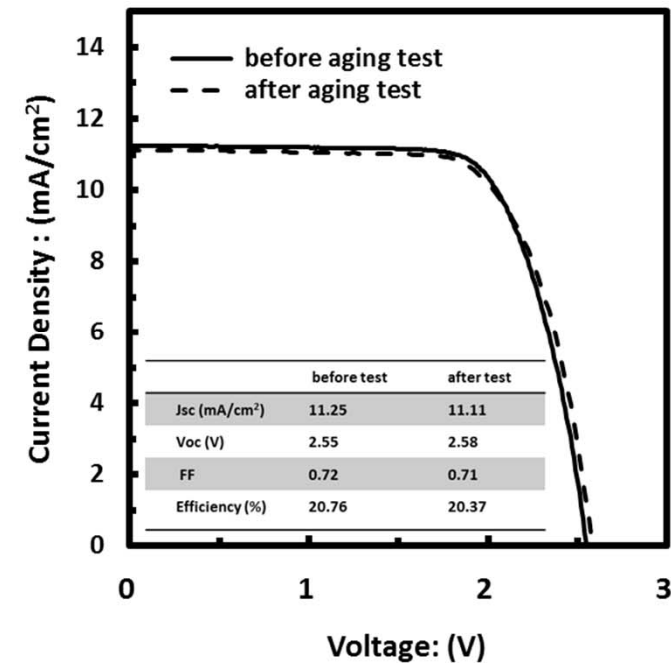
信頼性試験法の提案と初期検証

高温通電試験

素子抵抗追跡_1sun



試験前後の1sun発電特性比較

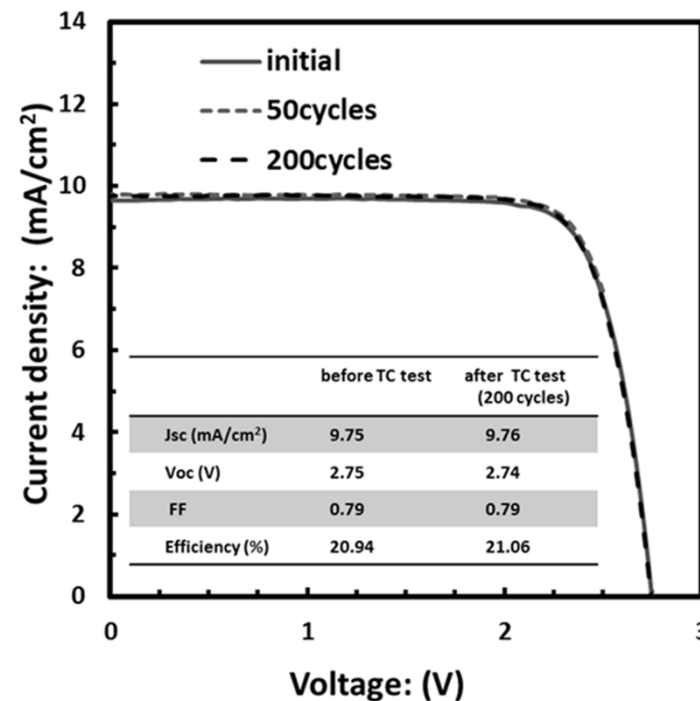


- ・素子抵抗は150°C/100時間経過後も効率相対劣化5%内で推移
- ・試験前後の発電特性劣化無し
- ・Ea-1eVと仮定すると 15×10^4 h at 60°Cの寿命(1sun_30年稼働相当)

信頼性試験法の提案と初期検証

温度サイクル試験

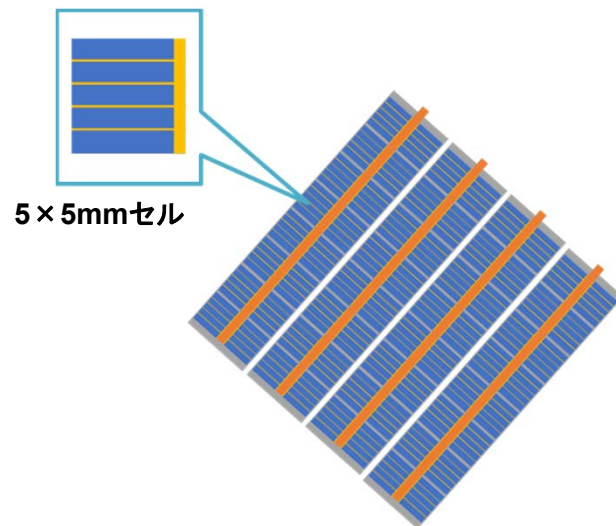
試験前後の1sun発電特性比較



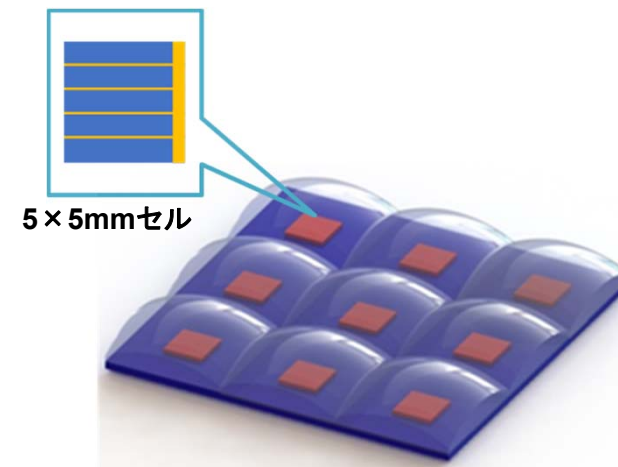
- ・200サイクル後、発電特性および素子剥離等の劣化無し
- ・実用レベルの耐久性を確認

実装/モジュール技術の実証

非集光モジュール(1sun)



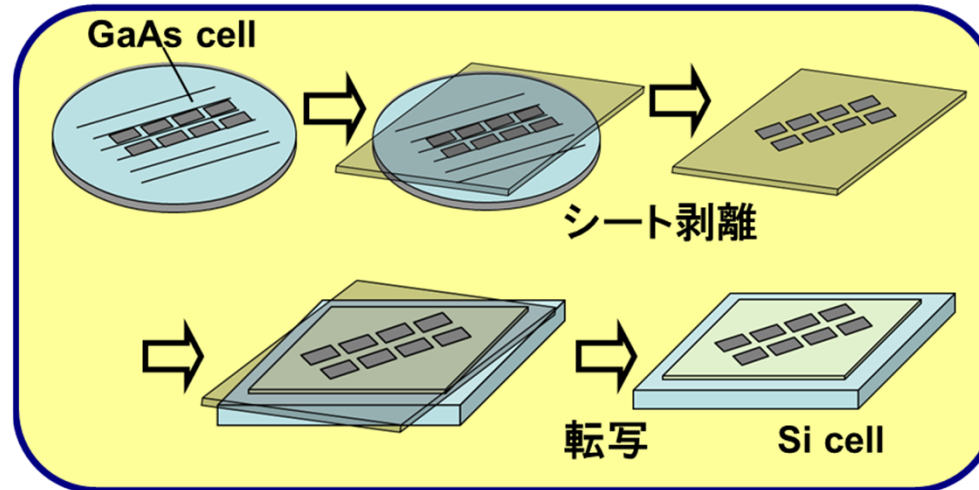
低倍集光モジュール(<10sun)



- ・ **モジュール性能目標** ~30% (車載搭載可能な1 kW/3.3 m³相当)
- ・ **非集光**および**低倍集光**の2種モジュール形態を開発
- ・ 非集光モジュールはSi技術を踏襲した形態
- ・ 低倍集光モジュールはトラッキングフリーな樹脂レンズ搭載
- ・ モジュール技術に整合した量産実装技術として、**転写法**および**搬送法**を開発開始

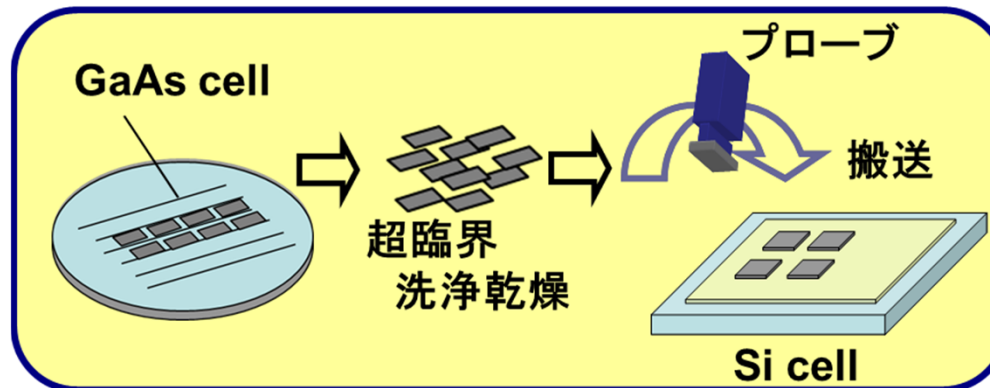
実装/モジュール技術の実証

一括転写法

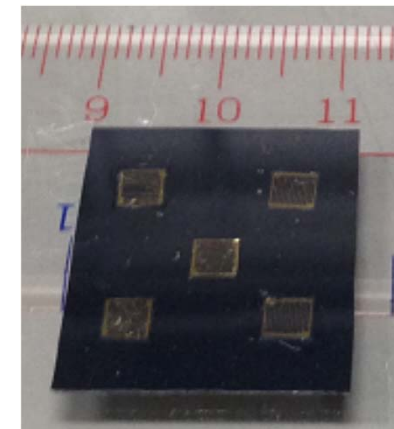


PDMSシートを用いた一括転写

搬送法



CO₂超臨界洗浄乾燥による剥離、搬送



作製したGaAs/Siアレイセル

・モジュールを実現するための量産実装技術として転写法および搬送法を開発中

総括

- ・次世代の高効率、低コストGaAs//Si系多接合太陽電池を開発
- ・InGaP/GaAs//Si 3接合素子で非集光効率25.12%まで進捗
- ・InGaP/GaAs//Si 3接合素子で低倍集光効率23.74% (at 8suns) まで進捗
- ・GaAs//Si系多接合太陽電池の信頼性手法提案
 - 高温通電試験、温度サイクル試験 —
- ・上記手法にもとづきInGaP/GaAs//Si 3接合素子で信頼性初期検証を行い
相応の信頼性を確認
- ・スマートスタックモジュールについて、非集光および低倍集光モジュールの
2形態を提案
- ・上記モジュール形態を想定のもと、実装技術として転写法および搬送法
の技術検討開始

supported by



New Energy and Industrial Technology
Development Organization