

スマートスタック技術（総括と今後の技術展開）

牧田紀久夫・水野英範*・大島隆治・斎均・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

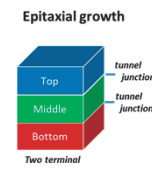
多接合太陽電池 (Multi-junction (MJ) solar cells)
・太陽光スペクトルの有効活用により発電効率40%以上が可能
・基本構造はGeあるいはGaAs等の基板上的複雑な層構造からなる

- 製法:
- ① 成長技術による一括形成 (Monolithic stacking)
 - ② 半導体接合技術による貼り合わせ形成 (Mechanical stacking)

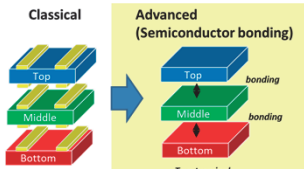
目標: メカニカルスタック技術により高効率 (> 40%) かつ低コスト (0.1\$/kWh) な多接合太陽電池を実現

成果: 導電性ナノ粒子を用いたメカニカルスタック技術を開発 (スマートスタック技術) III/V 族系、異種接合系多接合太陽電池で基本実証

Monolithic stacking



Mechanical stacking



Smart Stacking Technology

現状の製法 (>30%実証製法)
結晶成長による一括形成
材料自在性に課題

接合によるスタック化
材料自在性に優れる
低コスト化、多機能性に優位

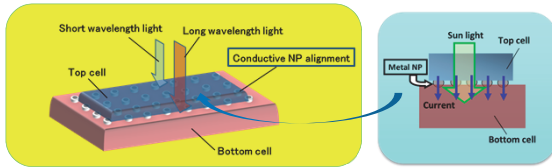
多接合太陽電池の製法

スマート・スタック技術とは？

基本概念

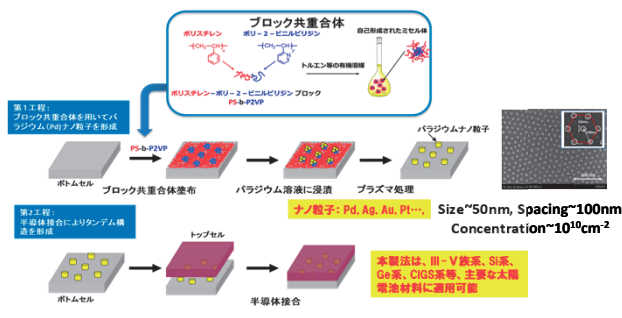
導電性ナノ粒子配列を接合界面に導入

電気特性: オーミック接触による電流経路および均一電流分散
→ 低接合抵抗 ($1\Omega\text{cm}^2$ 以下) および集光耐性に優位
光学特性: 極小サイズによる回折効果で高い透明性
→ 低光損失 (2%以下)



製法

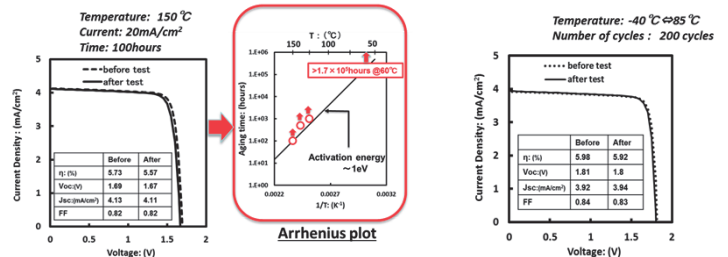
ブロック共重合体の相分離現象を利用したナノ粒子配列
・Van der Waals接合による直接接合



信頼性検証

- ・加速劣化試験 (三温度水準) および温度サイクル試験を行い、劣化無いことを観測
- ・アレニウスプロット法により推定素子寿命 ~ 17万時間以上 @ 60°C を検証

* 実験サンプル: AlGaAs (1.8eV) / InGaAsP (1.15eV) 2接合素子

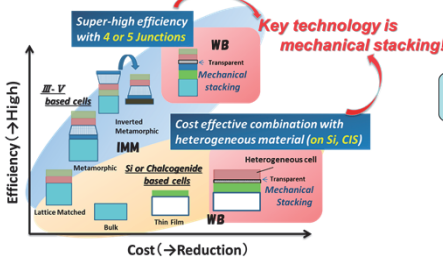
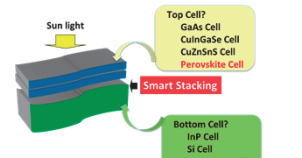


加速劣化試験

温度サイクル試験

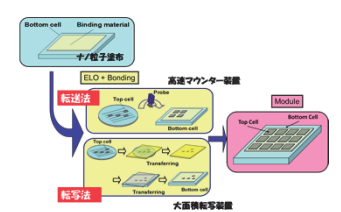
今後の技術展開

- ・多接合太陽電池への期待
 - ① 超高効率化 (40%以上): 4~5接合構造
 - ② 低コスト/多機能化: 異種接合
- ・メカニカルスタック法が最も現実的手法
- ・スマートスタック法は、より材料自在性に優位
- ・今後は、7円/kWhを視野に入れた量産技術に注視



多接合太陽電池ロードマップ

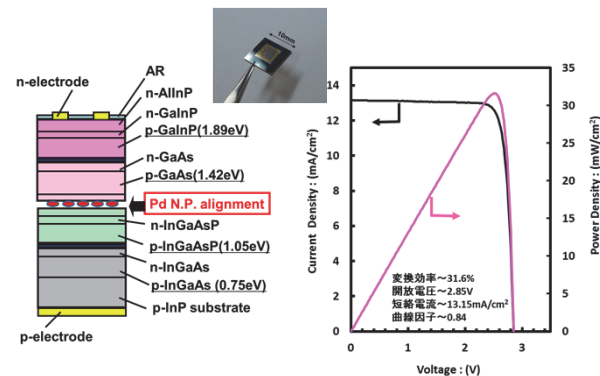
セル組み合わせの可能性



量産への可能性

デバイス検証

- ・スマートスタック技術によりGaAs/InP系4接合構造を試作
- ・発電効率 ~ 31.6% を実現、個別セルの性能改善により効率向上が期待
- ・GaAs/CuInGaSe系異種接合構造においても ~ 24.2% 達成 (最高性能)



GaAs/InP 4接合太陽電池

結論

1. 導電性ナノ粒子配列を用いたスマートスタック技術を開発。接合抵抗 $< 1\Omega\text{cm}^2$ 、光損失 $< 2\%$ の良好な接合品質を実現。
2. GaAs/InP系4接合太陽電池にて発電効率 ~ 31.6% を実現。
3. 異種材料セルの組み合わせとしてGaAs/CuInGaSe系3接合構造にて発電効率 ~ 24.2% (最高記録) 実現。
4. 信頼性試験 (加速劣化試験、温度サイクル試験) を行い、実用上有用な信頼性を確認。
5. スマートスタック技術は、次世代太陽電池のキーテクノロジーとして重要であることを確認。

(謝辞) 本研究は、NEDO「新エネルギー技術開発革新的太陽光発電技術の研究開発」の委託を受けて行われました。

(Ref.) H. Mizuno, et al., Appl. Phys. Lett., 101, 191111 (2012). K. Makita, et al., 2013 MRS Spring Meeting, FF2.08 (2013). K. Makita, et al., 40th IEEE PVSC, 161-F16 (2014). K. Makita, et al., 29th EU PVSEC 2014, 3A0.4.1 (2014).