

# 結晶シリコン太陽電池の研究開発

実用化加速チーム チーム長 坂田 功

## ・実用化加速チームのミッション:

結晶シリコン系太陽電池関連技術について、

- (1) 産総研で開発した技術の産業界への移転
- (2) 産業界との共同研究による新技術の創出
- (3) 基盤技術の研究開発

を行い、産業界の競争力強化に資するとともに、結晶シリコン系太陽電池の高効率化・低コスト化を実現する。

## 結晶シリコン太陽電池の最近の状況

- ・2012年の太陽電池全体の市場は前年並み～微増。結晶シリコン太陽電池が8割以上(9割近く)。
- ・結晶シリコン太陽電池の生産企業は昨年と大きな変化はないが、欧州企業の撤退が相次ぐ。全体では大過剰な生産能力を保有。
- ・モジュール価格は大幅に低下し、1ドル/Wを切る水準。主因は原料シリコンと基板の価格低下。これ以上の低コスト化には高効率化(>20%)が不可欠。
- ・基板価格の低下と高効率化の継続で、セル製造コストも低下。
- ・高性能化では、新しいアイデアよりも現在の技術の実用化への取り組みが主流。
- ・信頼性についてPIDが注目され、セルとモジュールの製造においても重要な課題。

# 結晶シリコン太陽電池の課題と産総研の研究開発の位置づけ

## ・課題:

- ・一層の高効率化(ただし低コスト化と両立させながら)
- ・一層の低コスト化
- ・日本企業の競争力低下
  - 海外企業との差別化をいかに図るか？

## ・産総研の研究開発の位置づけ:

- ・開発した技術の産業界への移転、産業界との共同研究による新技術の創出、基盤技術の研究開発を行い、産業界の競争力強化に資するとともに、結晶シリコン太陽電池の高効率化・低コスト化を実現
- ・ハブ機関として研究開発プラットフォームを提供

## 今回紹介する最近の研究内容

- ・結晶Si太陽電池用銅メッキ技術
  - 高効率を実現するための新構造を低コストで実現  
大学、民間企業との共同研究
- ・次世代結晶シリコン太陽電池コンソーシアム
  - 高効率、低コスト、高歩留まり、ハブ機関としての役割
- ・結晶SiGe薄膜太陽電池
  - 高効率、基盤研究、NEDOプロジェクト

# 結晶Si太陽電池用銅メッキ技術

有機材料の結晶Si太陽電池への適用に向けた  
低温電極形成技術

# 有機材料の結晶Si太陽電池への適用

高効率化のためには、工程数の増加が避けられない。



従来に比べ複雑な構造のセルを画期的に低コストで作製する必要がある。



CVD装置やレーザ装置を用いた高コストプロセスからの脱却



印刷のみのプロセスでセルを作製



太陽電池応用に必要な機能を有する新規有機材料

高効率化の指針	従来	他の機関の改善方法	課題
光閉じ込め 裏面反射率の向上	焼成Al電極 (70%)	CVD SiN膜+金属 (>90%)	印刷 有機絶縁膜のみ (有機絶縁膜+金属) > 90%
表面パッシベーション 絶縁膜形成 (表面・裏面)	CVD SiN膜 (反射防止膜)	CVD SiN膜 ALD Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 膜 その組み合わせ	印刷 有機絶縁膜

# 開発目標

---

## 1. 太陽電池用機能性ポリイミドインキの開発

- ・高絶縁性・耐熱性からスクリーン印刷可能なポリイミドインキを選択。  
絶縁膜の形成とパターニングが同時にできる。

## 2. ポリイミド/シリコン界面特性の改善と評価技術の開発

- ・界面でのキャリア再結合の低減(表面パッシベーション)
- ・界面特性の評価技術(ライフタイム測定など)

## 3. 低温での電極形成方法の開発

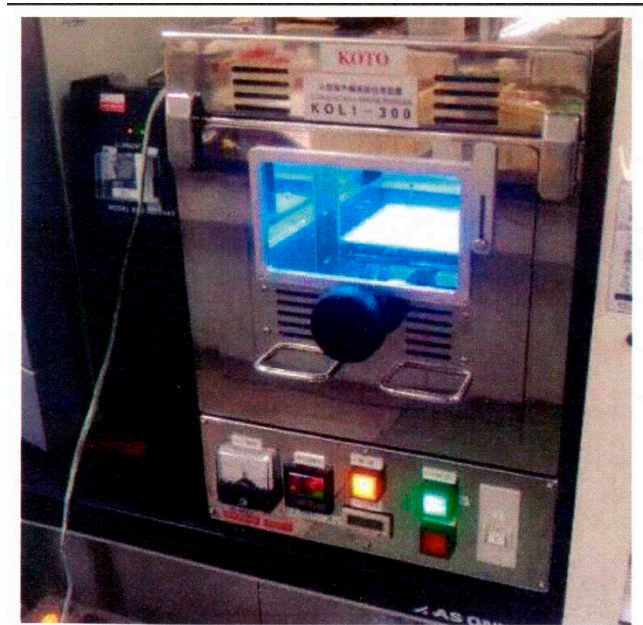
- ・メッキ技術を用いた電極形成技術。
- ・無電解Niメッキ+電界Cuメッキ 方法の検討。

メッキ可能なPIの開発——PI技研  
メッキ方法の開発——関東学院大学  
セルの作製——産総研

# Cuメッキ方法の開発

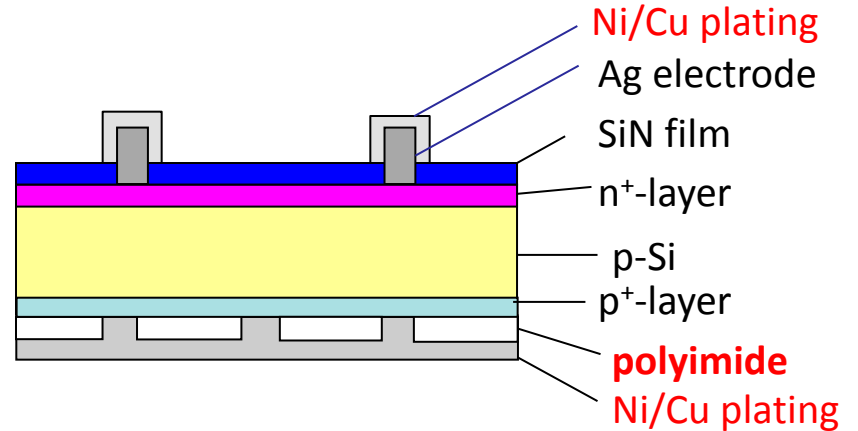
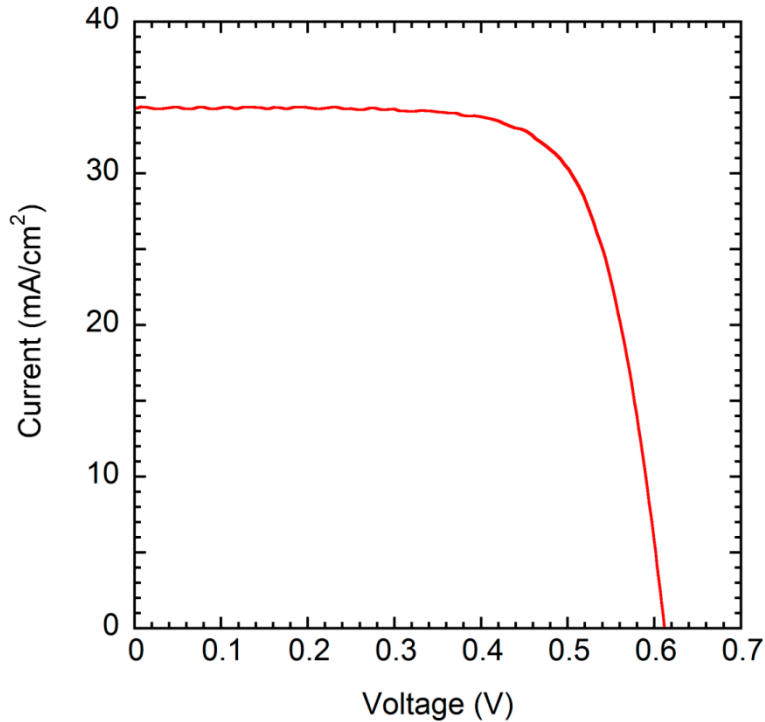
Si基板と、PI上に同時にメッキを行うために、SIウエハの前処理を検討

1. めっき前処理
  - 1) 基板前処理工程
    - ・アルカリ処理など
  - 2) UV処理工程
    - ・紫外線を用いて樹脂表面を改質
  - 3) キュア工程を追加
    - ・密着性の強化
2. 無電解Niめっき
3. 電気Cuめっき





# 試作したセル構造とセル特性の一例



I-V Curve

TRI-10-4

200°C 30min N<sub>2</sub>anneal

**Voc 0.612 V**

**Isc 34.3 mA/cm<sup>2</sup>**

**FF 0.723**

**Eff 15.2%**

# 次世代結晶シリコン太陽電池開発 コンソーシアム

## 概要と現状

# 背景

- 2011年度の所内予算で計画していた
- 震災以降のエネルギー政策の転換
- 再生可能エネルギーによる福島復興  
補正予算→ 予算的には当初の10倍以上の規模
  
- 太陽光発電への期待
- 国際競争の激化(日本の市場シェアの低下)
- 国内産業の空洞化
- 空洞化しない国内産業としての太陽光発電の可能性？

# 次世代結晶シリコン太陽電池開発コンソーシアムの概要

- 国内唯一の最先端結晶シリコン太陽電池量産試作ラインを備えた研究拠点。
- 世界トップクラスの性能と低コストを両立出来る次世代結晶シリコン太陽電池の量産型試作ラインと、これをバックアップする研究体制を構築し、産業界との共同研究あるいは試作ラインを企業の技術開発に開放することで、結晶シリコン太陽電池技術の高度化と材料など周辺産業も含めた太陽電池産業の育成・競争力の強化を実現。
  - ✓ 高効率、低コスト薄型結晶シリコンPV開発・試作プラットフォーム構築
    - 要素技術の研究開発とともに、量産を目指した一貫製造プロセスの開発
    - 超薄型単結晶ウエハの製造、ウエハ加工、ウエハハンドリング、セル化プロセス(ウェット・ドライプロセス、印刷プロセス)、モジュール化プロセスまでを一貫して開発し、信頼性試験、屋外曝露試験までを行う。
  - ✓ 次世代結晶シリコン太陽電池PVモジュールの高付加価値コンセプト開発
  - ✓ 次世代結晶シリコン太陽電池PV製造装置・部材・検査機器の開発支援
- 結晶シリコンPV技術情報と人材の集約及び人材の育成

## 2013年4月現在の開発テーマ 参加企業:20社

1. ウェハ加工技術  
スライス、洗浄、ウェットエッチング
2. セル化技術  
接合形成(拡散)、パッシベーション、電極形成
3. モジュール化技術  
新構造、配線、封止材
4. モジュール信頼性  
試験技術開発、新構造モジュール信頼性

コンソーシアム実施時期:2012年度～2014年度

# 福島再生可能エネルギー研究開発拠点



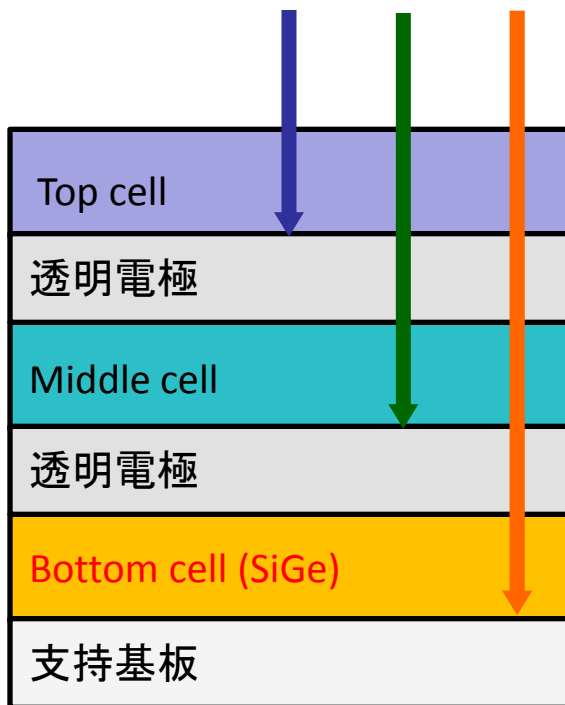
- 実験棟（手前左側低層）：2013年度10月末完成予定
- 本館（手前右側4階建て）：2013年12月末完成予定
- つくばからの移転：2014年3月末までに終了予定
- 拠点開所式：2014年4月

# 結晶系ナローギャップ材料SiGe太陽電池の研究

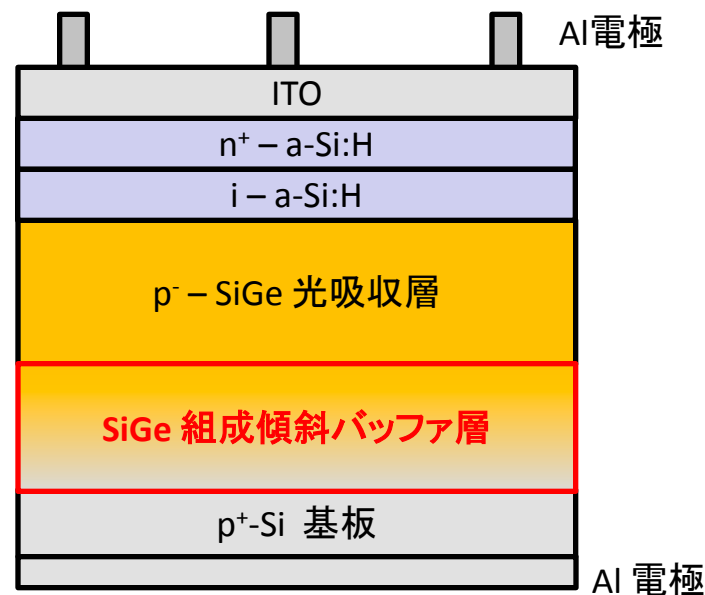
# 結晶系ナローギャップ材料SiGe太陽電池の研究

- メカニカル多接合太陽電池に向けたボトムセル(~ 0.9eV)開発
- 組成傾斜バッファ層を導入した高品質SiGe単結晶のMBE成長技術

## メカニカル多接合太陽電池



## 単結晶SiGeへテロ接合太陽電池

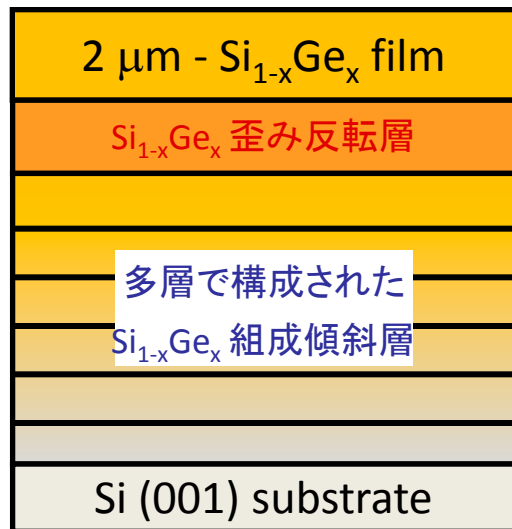


Si基板とSiGe光吸収層の格子定数差 >3%

➡ 転位の制御技術が課題

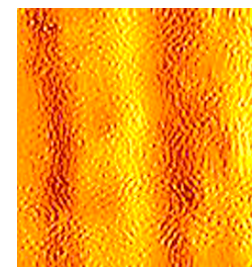
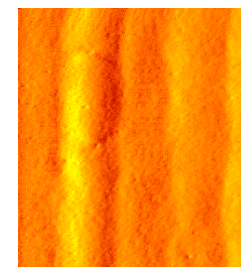
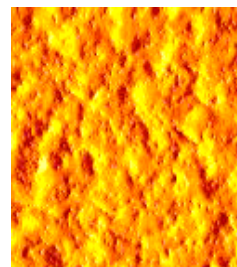


# Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> 組成傾斜バッファ層構造の検討



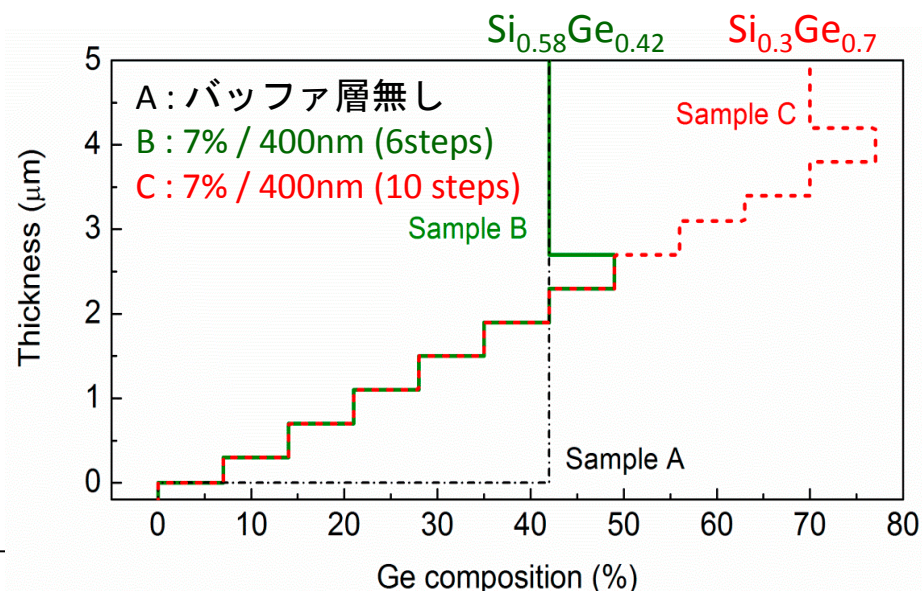
	Sample A	Sample B	Sample C
RMS ラフネス (nm)	6.507	0.903	1.409
転位密度 (cm <sup>-2</sup> )	3.0 × 10 <sup>9</sup>	< 10 <sup>5</sup> cm <sup>2</sup>	< 10 <sup>5</sup> cm <sup>2</sup>

AFM像  
5μm × 5μm

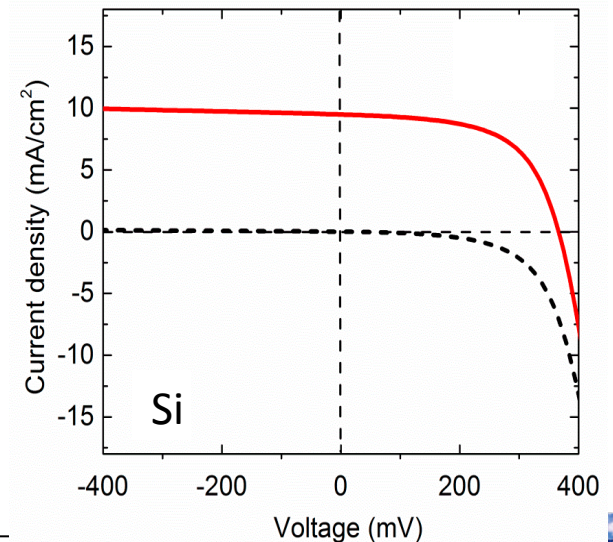
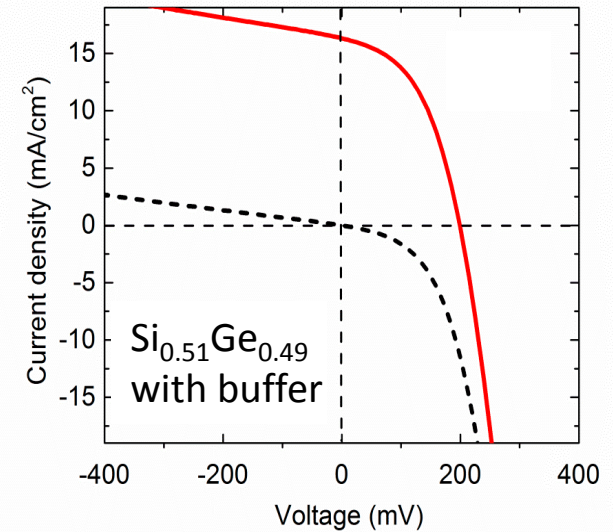
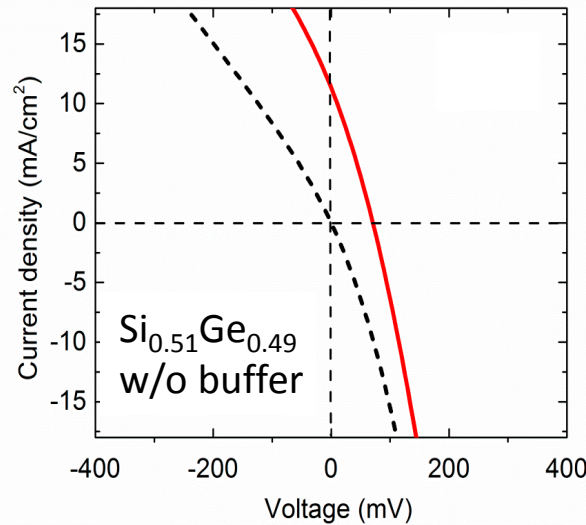
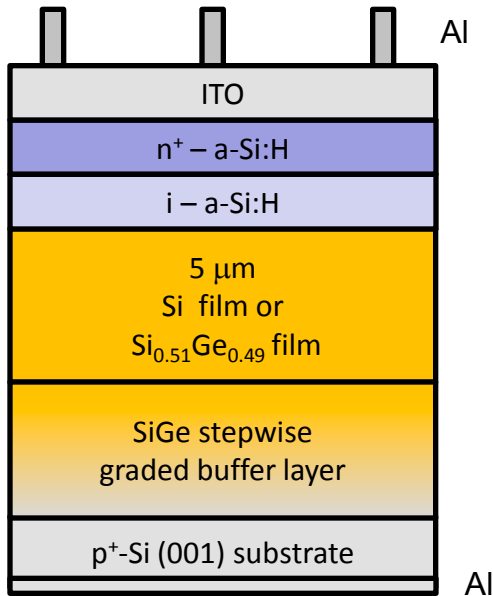


高品質なSiGe薄膜が形成

- バッファ層を導入しない場合、3次元成長が支配的
- 組成傾斜層を導入することにより低転位密度かつ優れた表面平坦性



# SiGeヘテロ接合太陽電池の出力特性



Active layer	$\eta$ (%)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (mV)	FF
5 $\mu\text{m}$ - $\text{Si}_{0.51}\text{Ge}_{0.49}$ Without buffer layer	0.22	11.33	71	0.279
5 $\mu\text{m}$ - $\text{Si}_{0.51}\text{Ge}_{0.49}$ With buffer layer	1.51	16.33	200	0.466
5 $\mu\text{m}$ - Si	2.20	9.48	374	0.612

# まとめ

1. 結晶Si太陽電池用銅メッキ技術
  - ・有機材料の結晶Si太陽電池への適用に向けた低温電極形成技術
  - ・ポリイミドとSiに同時にメッキ
  - ・実際にセルを作製し、太陽電池に適用できることを確認
2. 次世代結晶シリコン太陽電池開発コンソーシアム
  - ・高効率、低コスト、高歩留まり薄型結晶シリコン太陽電池技術の研究開発
  - ・民間企業20社が参加して実施中
  - ・2014年度からは福島新拠点で実施
3. 結晶系ナローギャップ材料SiGe太陽電池の研究
  - ・高品質結晶SiGe薄膜形成技術：組成傾斜バッファ層による貫通転位密度低減
  - ・低温ヘテロ接合形成技術との組み合わせでセル特性向上