

## 実用化加速チームの概要

### Outline and Recent activities of Innovative Technology Transfer team

坂田 功 Isao Sakata

#### ・ミッション (Mission of our team) :

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。

Transfer of crystalline silicon solar cell technologies developed in AIST to industries  
R&D of basic technologies of crystalline silicon based solar cells

#### ・今回紹介する最近の研究内容 (Recent research subjects):

・固定砥粒方式でスライスした多結晶シリコン基板の表面テクスチャー形成技術

・ポリイミドを裏面絶縁膜に用いた結晶シリコン太陽電池

・結晶SiGe薄膜太陽電池

Texture formation technology for poly-Si substrates sliced with fixed abrasive wires

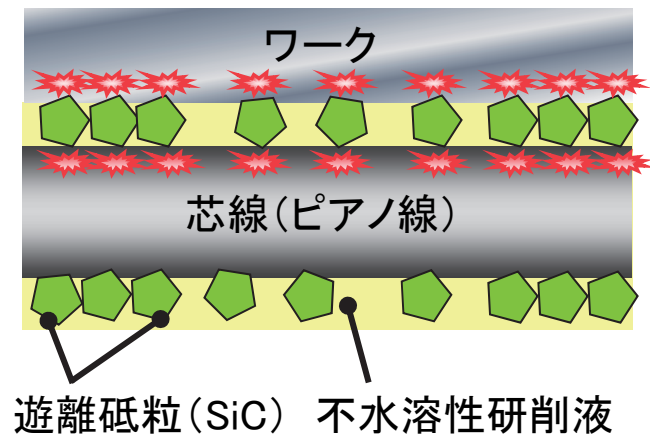
Crystalline Si cells with polyimide back-side layers

Crystalline SiGe thin-film solar cells

## シリコンインゴットスライス: 遊離砥粒ワイヤーと固定砥粒ワイヤー

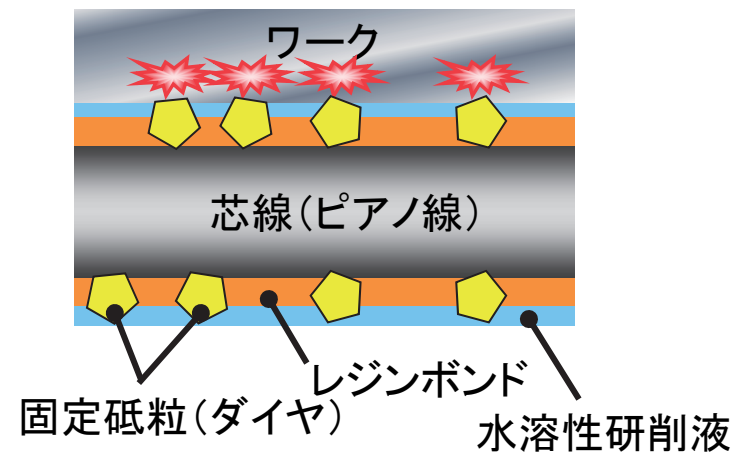
### 遊離砥粒ワイヤーソー

Loose abrasive wire saw



### 固定砥粒ワイヤーソー

Fixed abrasive wire saw



	遊離砥粒ワイヤー	固定砥粒ワイヤー
砥粒運動	芯線-ワーク間で回転	芯線と共に水平移動
砥粒分布	芯線出入口が密	均一
芯線磨耗	あり	なし

## 固定砥粒によるシリコンインゴットスライス

### 利点:

- ・スライス速度が高い
- ・環境負荷が小さい
- ・ウエハに導入されるダメージ層が薄い

近い将来、遊離砥粒方式に入れ代わることが期待されている

### 課題:

- ・固定砥粒方式でスライスした多結晶シリコン基板は、テクスチャー形成が困難

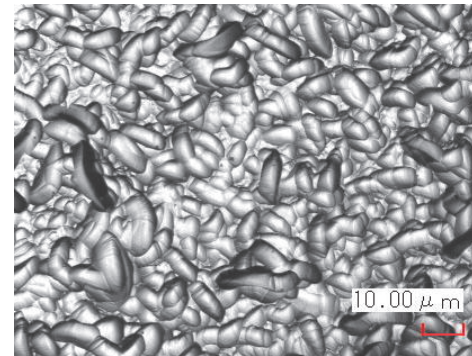
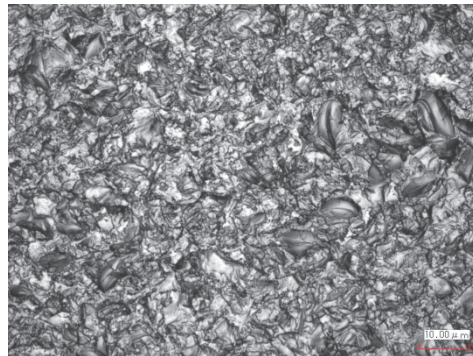
### 新しい表面テクスチャー形成技術の提案

(ノリタケ、不二製作所、和光純薬との共同研究)

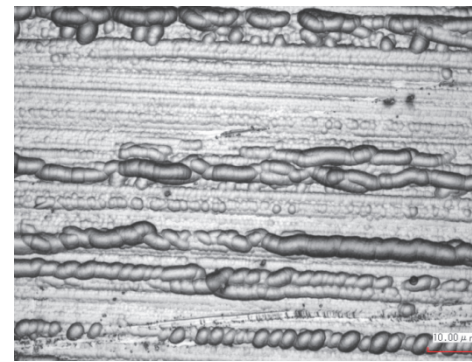
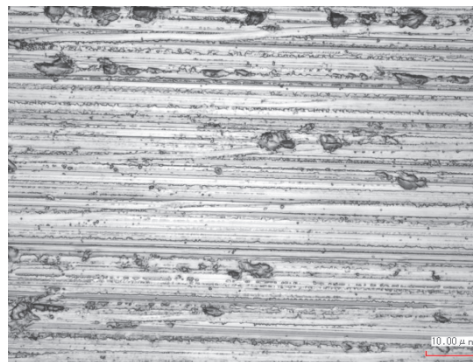
**New texture formation technology for poly-Si substrates sliced with fixed abrasive wires**

## 多結晶シリコン基板のテクスチャー化技術

遊離砥粒方式



固定砥粒方式



アズスライス

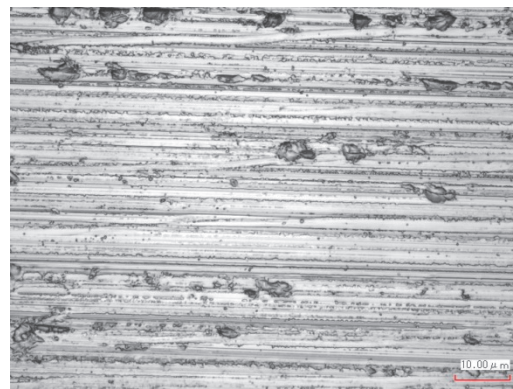
同じ溶液でのテクスチャーエッチング

固定砥粒方式でスライスした多結晶シリコン基板は、テクスチャー形成が困難

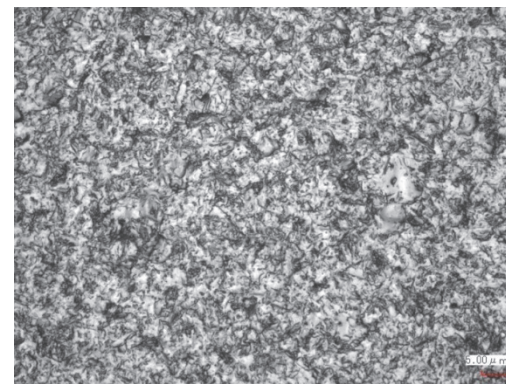
## サンドブラスト処理の導入

### 固定砥粒方式によるスライス＋サンドブラスト処理

- ・サンドブラスト処理を導入することで、基板表面を均質に粗面化
- ・サンドブラスト処理の条件により、ダメージ層の深さ・形状を制御できる。
- ・非真空、高速処理、低コストプロセス



アズスライス基板

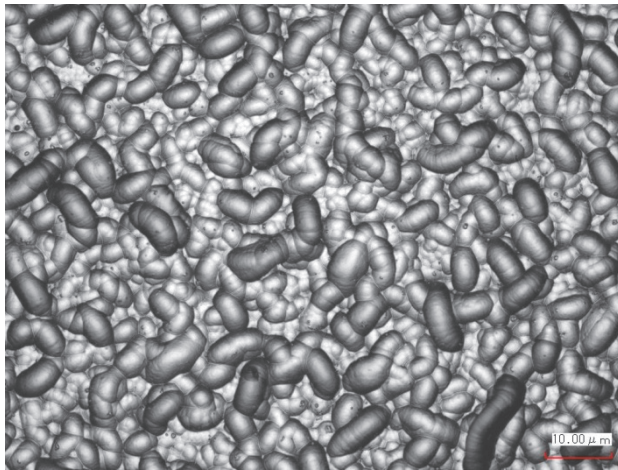


サンドブラスト処理後

Control of surface conditions of as-sliced substrates by sand blast treatment

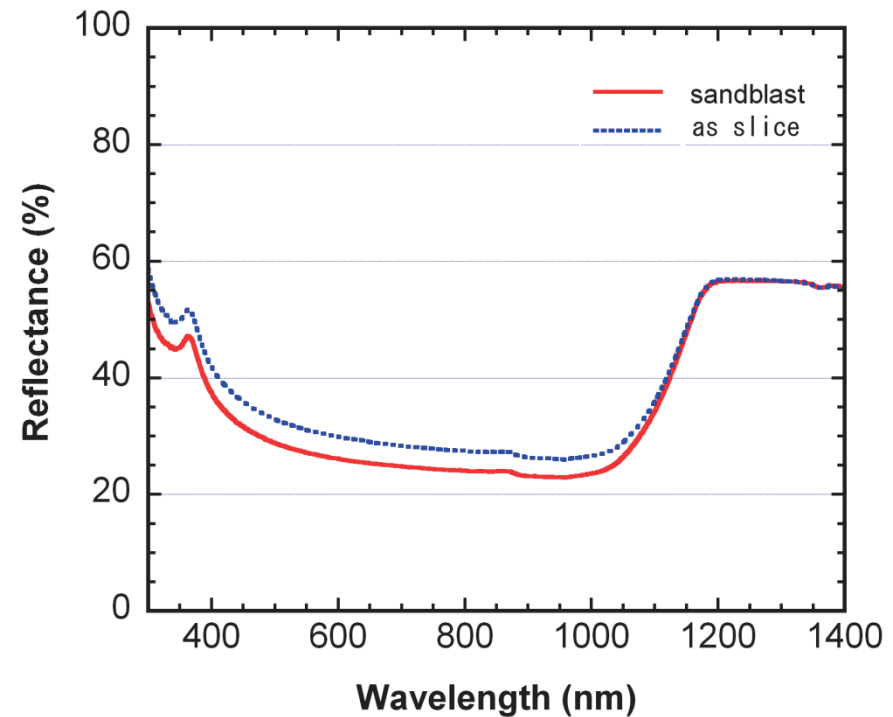


# サンドブラスト処理＋酸エッチングによる表面テクスチャー形成



テクスチャー構造

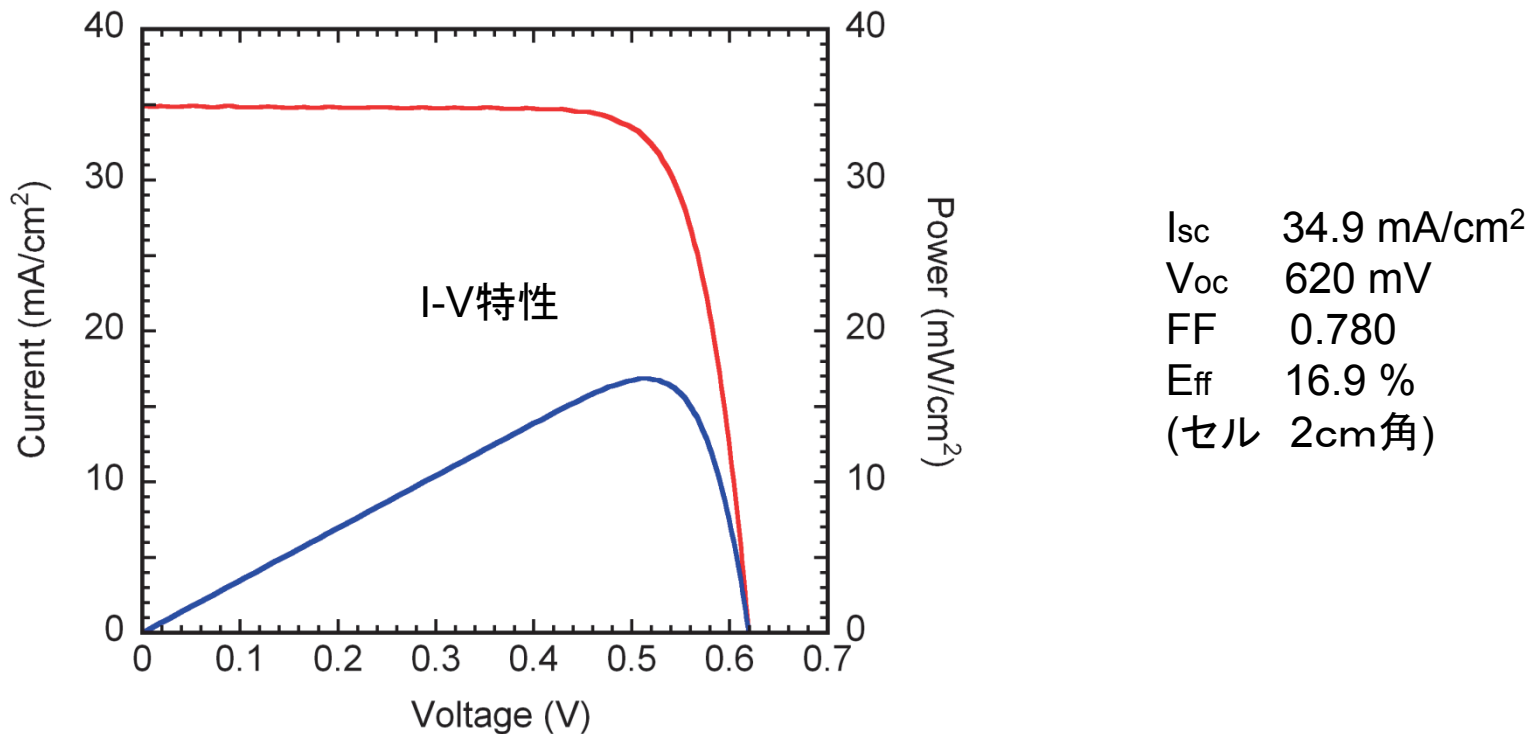
(サンドブラスト＋酸エッチング)



分光反射率

固定砥粒方式によるスライス＋サンドブラスト処理＋酸エッチングによるテクスチャーにより、低反射率テクスチャー構造が得られた  
**Textured surface with low reflectance obtained by sand blast treatment and acid etching**

## 作製したセルのIV特性



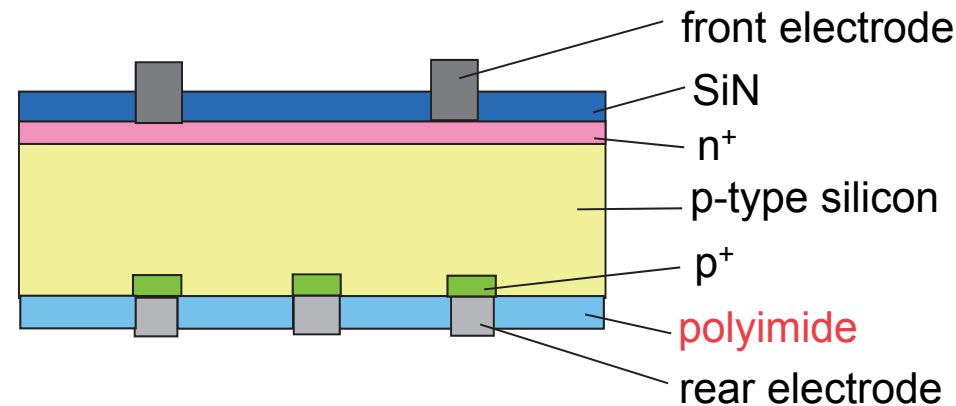
固定砥粒スライス＋サンドブラスト処理＋酸エッチングによるテクスチャーにより、良好な電気特性が得られた。

**Sand blast in combination with acid etching effective for texture formation on poly-Si substrates sliced with fixed abrasive wires**

# ポリイミドを裏面絶縁膜に用いた結晶シリコン太陽電池

## c-Si cells with polyimide back-side layers

( (株)ピーアイ技術研究所との共同研究)



目標とするセル構造

- ・低コストで裏面ポイントコンタクト構造を実現
- ・裏面絶縁膜として、印刷可能なポリイミド使用
- ・スクリーン印刷のみによる裏面構造の形成が可能
- ・従来裏面のパッシベーション膜として、CVD法で作製したSiN膜やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜が検討されてきた。

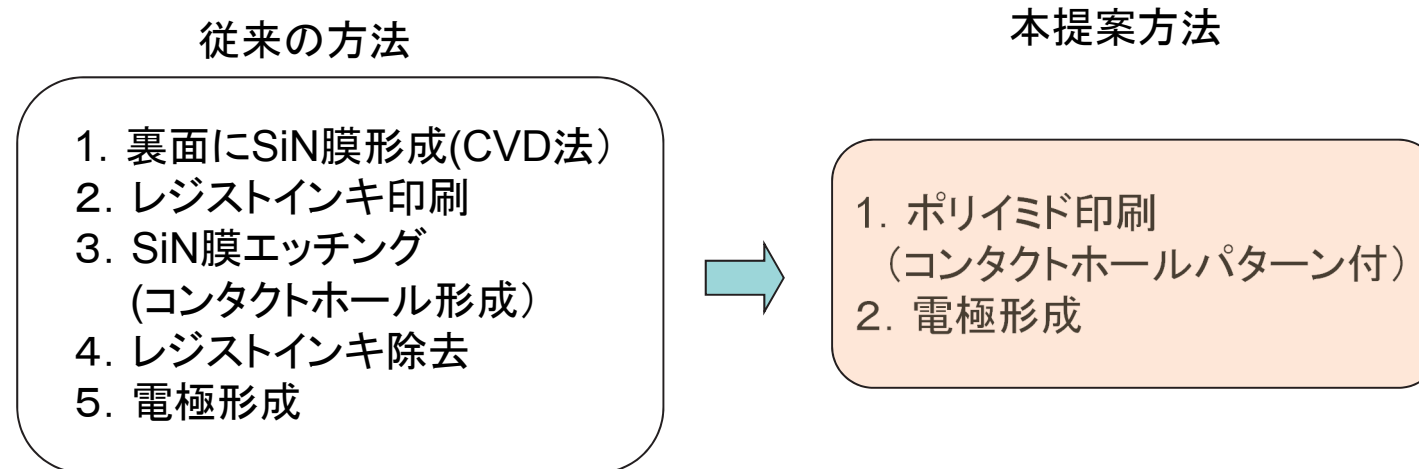
Screen-printed polyimide layers for back-surface reflection and passivation



## ポリイミドを裏面絶縁膜に用いることの利点

- ・ポリイミドを絶縁膜として使用することで、プロセス工程を削減できる。  
(スクリーン印刷のみで裏面構造を作製)

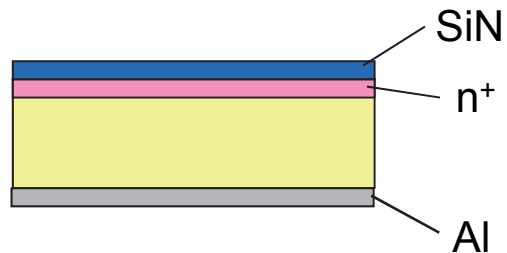
Reduction in the fabrication steps by using polyimide back-side layers



### 課題

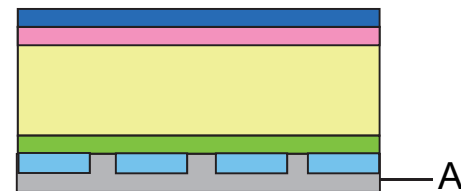
1. シリコン/ポリイミド膜の界面特性(表面パッシベーション)
2. 裏面反射率の向上

# セル作製方法(スクリーン印刷のみで裏面構造を形成)



(a)

- ・テクスチャ形成
- ・リン拡散(n<sup>+</sup>層)
- ・Alペースト印刷



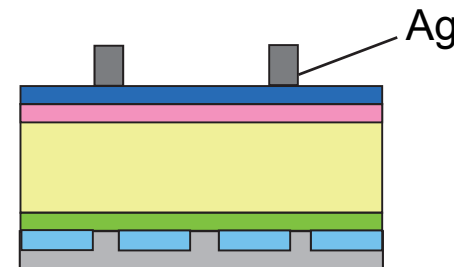
(d)

- ・Alペースト印刷



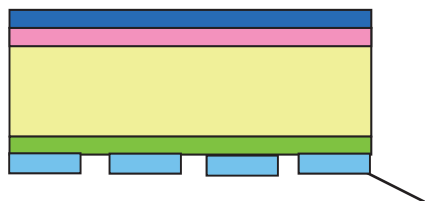
(b)

- ・Alペースト焼成
- ・Al層除去



(e)

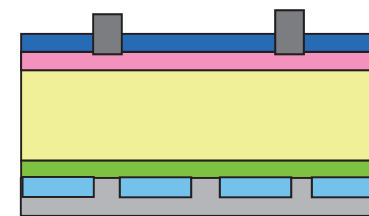
- ・Agペースト印刷



(c)

- ・ポリイミド層印刷

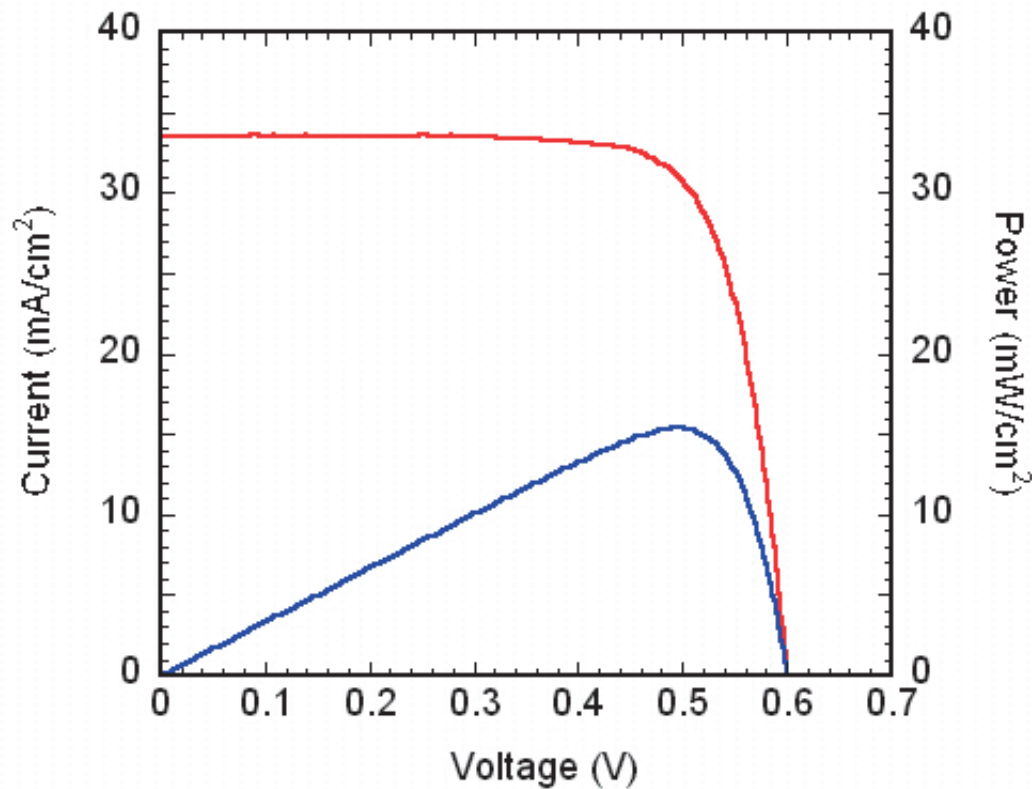
polyimide



(f)

- ・焼成

## 作製した多結晶シリコンセルの特性



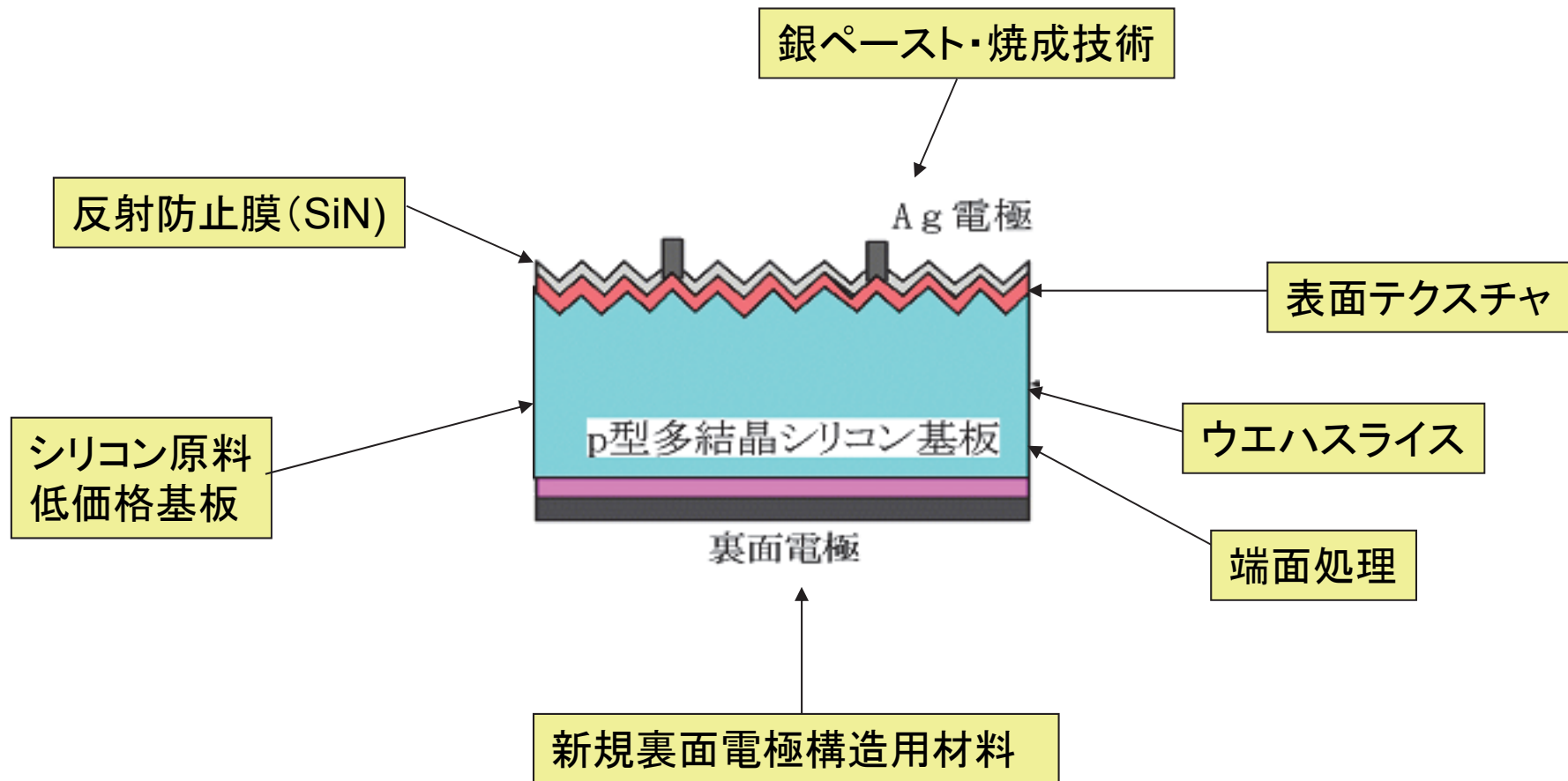
$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	Eff (%)
<b>33.5</b>	<b>0.600</b>	<b>0.766</b>	<b>15.4</b>

(セル面積 4cm<sup>2</sup>)



ポリイミド形成後に電極ペーストの印刷・焼成を行えることを明らかにした  
Screen printing and firing process of Ag and Al paste achieved  
after the formation of polyimide layers

企業との共同研究で研究開発を行っている要素技術：  
ほとんどの要素技術をカバーしている



Most technologies in c-Si solar cell fabrication being studied in cooperative R&D with private companies

# 結晶SiGe薄膜太陽電池

## Crystalline SiGe thin-film solar cells

高効率多接合太陽電池用ナローギャップ太陽電池に必要な要素技術

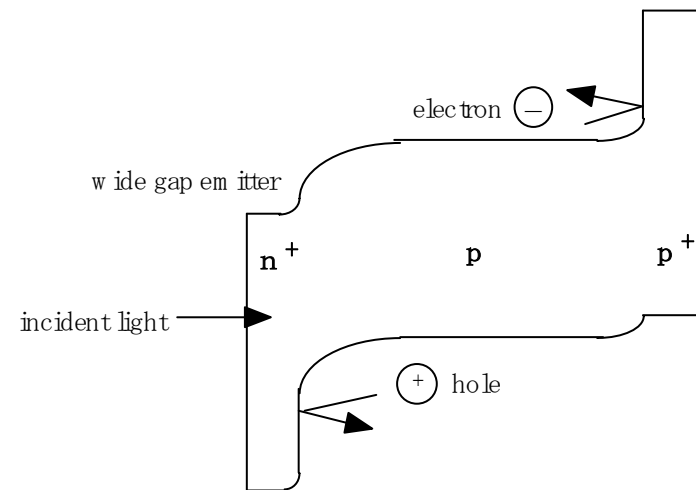
- ・高品質ナローギャップ材料 → 単結晶系材料の採用
- ・界面再結合速度が小さい接合の形成

精密制御結晶系ヘテロ接合太陽電池(右下図に一例を示す)

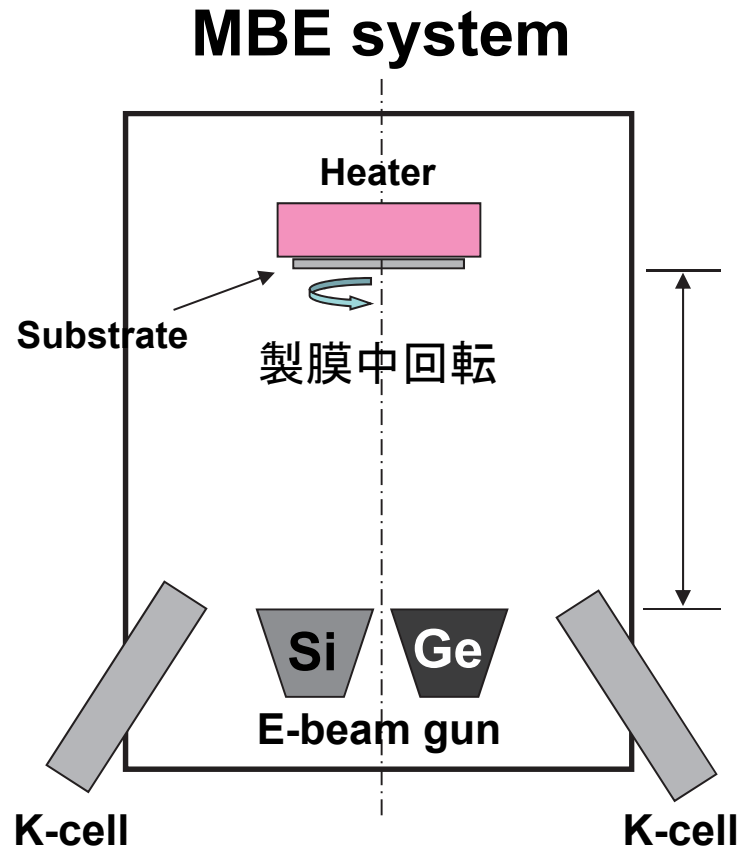
- ・意外にも単結晶Ge太陽電池では従来ほとんど検討例がない
- ・分子線ビームエピタキシー(MBE) → 組成、歪制御によるヘテロ接合の形成、バンドプロファイルの高精度変調 → 設計自由度が大きい
- ・ナローギャップ材料としてはシリコンゲルマニウム(SiGe)を中心に検討  
バンドギャップ: 0.75~0.9eV

期待される効果:

- ・界面再結合速度の低減  
→ 開放電圧向上
- ・温度特性の改善
- ・新しい光起電力過程の可能性検討



# Experimental



## Sources

Si: e-beam gun

Ge: e-beam gun

## Doping

Ga: K-cell (p-type)

Sb: K-cell (n-type)

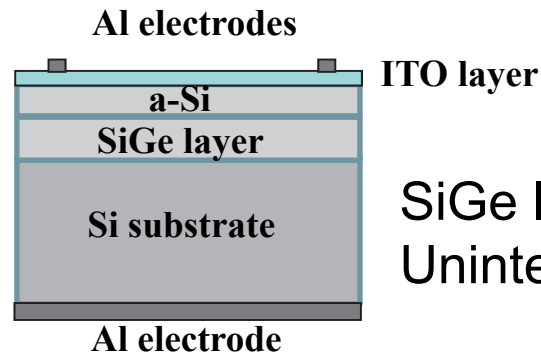
真空度:  $\sim 6 \times 10^{-10}$  Torr

製膜中:  $\sim 5 \times 10^{-8}$  Torr

RHEED in-situ観察可能



# SiGe-based solar cells



簡易構造のテストセル

・ITO / n-type a-Si:H / SiGe / Si基板

SiGe layers:  
Unintentionally B-doped

SiGe膜成長:

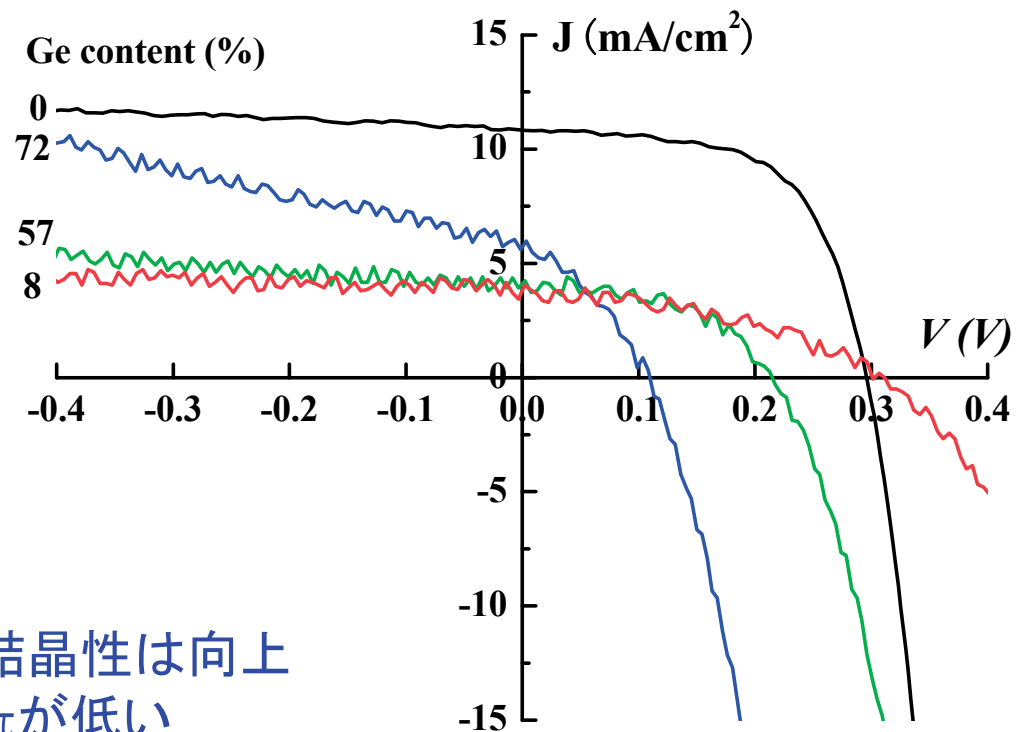
- ・PBN 坩堝使用
- ・傾斜バツファ

セル特性:

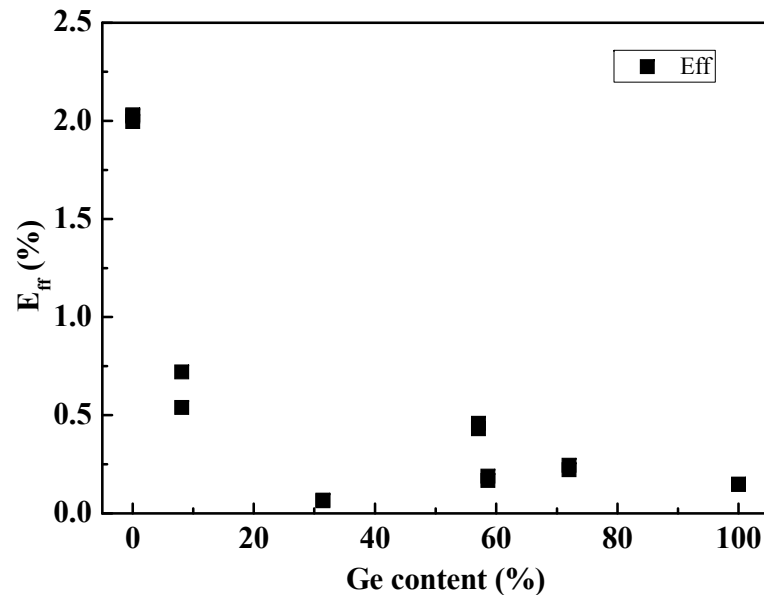
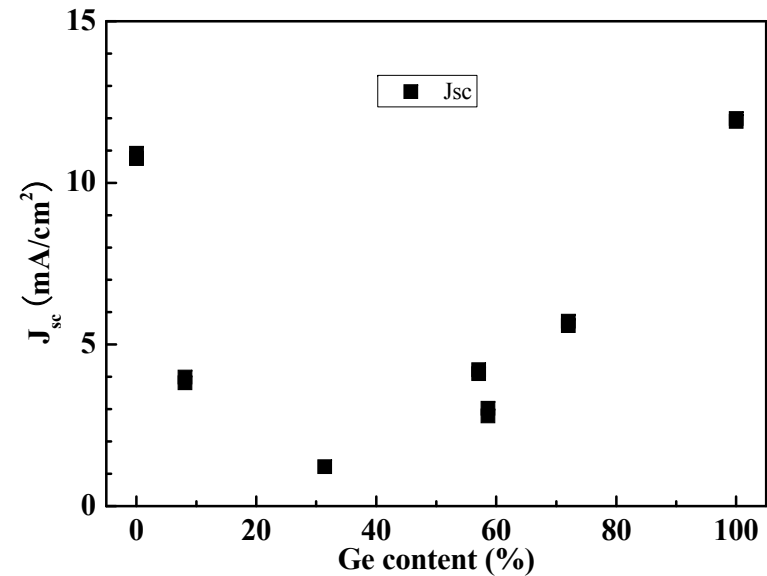
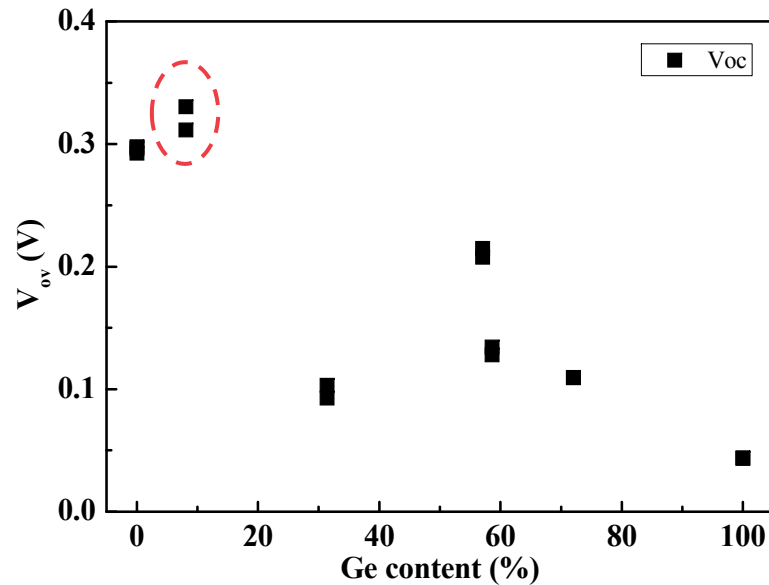
- ・開放電圧は比較的高い
- ・シャント抵抗は比較的小さい



接合特性はかなり良好: 膜の結晶性は向上  
膜中の正孔密度が高いため、 $\tau$ が低い

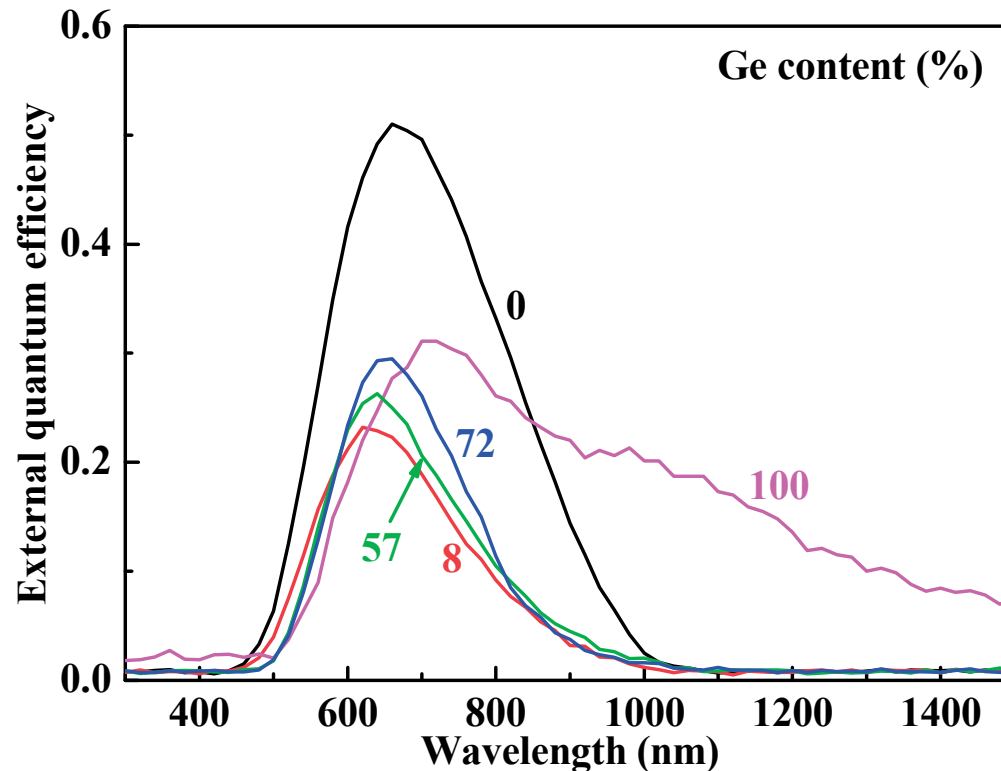


# Summary of solar cell parameters



Ge濃度の増加  
 Voc: 低下  
 Jsc: 低下→増加  
 Eff: 低下

## SiGe薄膜太陽電池の外部量子効率

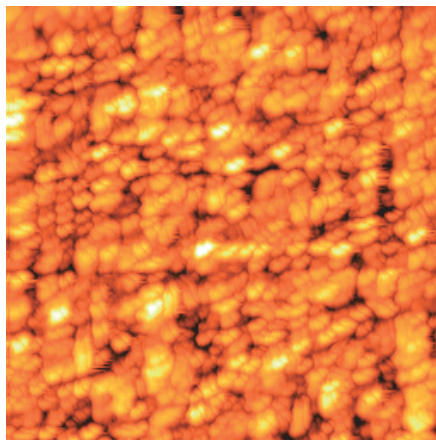


Ge濃度の増加に伴い、長波長の感度が増加するが、短波長側の感度が  
 Pure-Siセルよりも低下⇒ 膜中の転位密度の低減が課題 ⇒ バッファ層改善  
 Reduction in the density of dislocations in Ge-rich layers necessary  
 for improving solar cell performance

## 低温バッファ層：SiまたはGe基板上へのSiGe膜（格子不整合系） 成長にとって不可欠

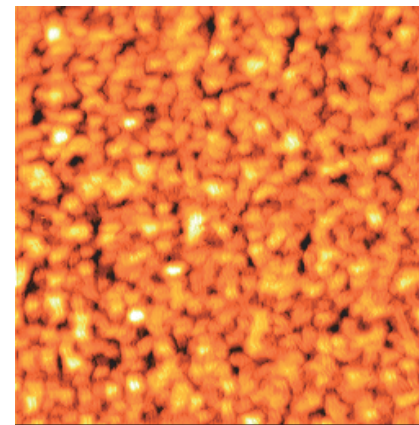
- ・Si基板上に傾斜バッファ層（厚さ：約200nm）を低温（400°C）で成長
  - ・400°Cは結晶性を保つ最低の温度
  - ・その後、600°CでSiGe膜を成長
  - ・膜成長時の歪み緩和を期待
- ・膜表面の平坦性向上（Ge組成57%、AFM観察）

傾斜バッファ



RMS=9.0 nm

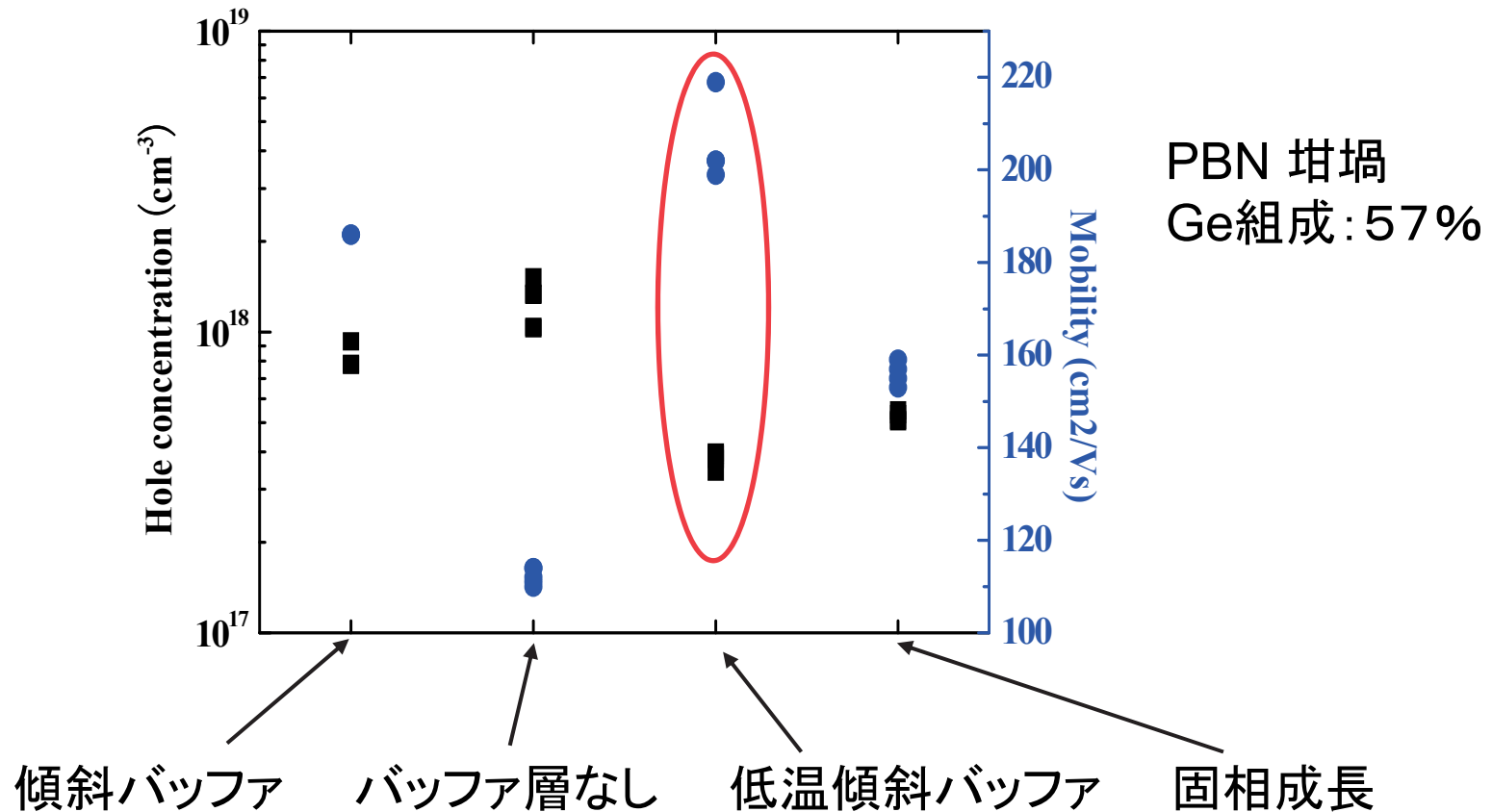
低温（傾斜）バッファ



RMS=6.4 nm

20x20μm

## SiGe膜成長法の比較(膜の電気的特性)



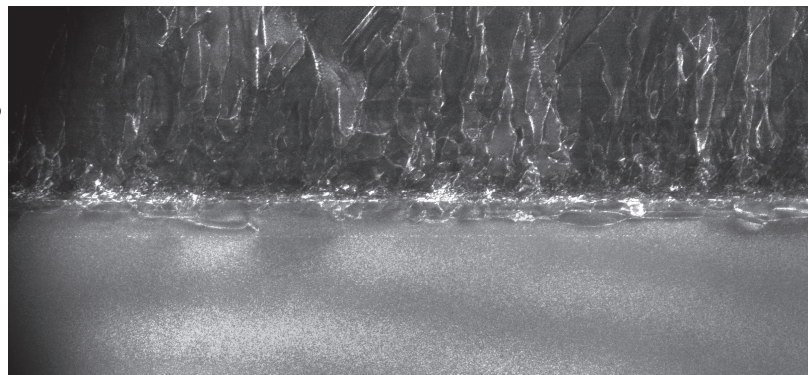
- ・低温傾斜バッファ: キャリア密度が最も低く、移動度が最も高い  
→ 太陽電池作成に有利な手法
- Low-temperature gradient buffer suited for solar cell fabrication

# SiGeの断面TEM: バッファ層の比較

Dislocation density

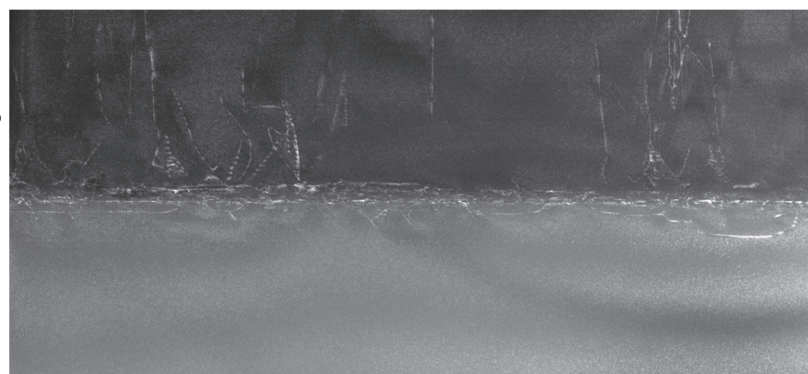
Ge: 60%

$5.67 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$



Gradient buffer

$2.24 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$



Low-temperature  
Gradient buffer

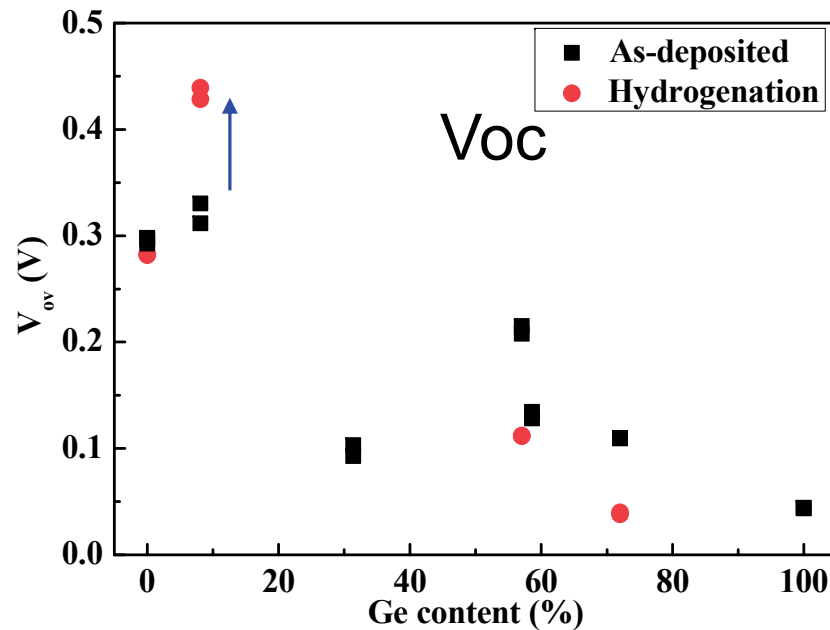
— 400 nm



# Hydrogenation of SiGe layers

処理条件:

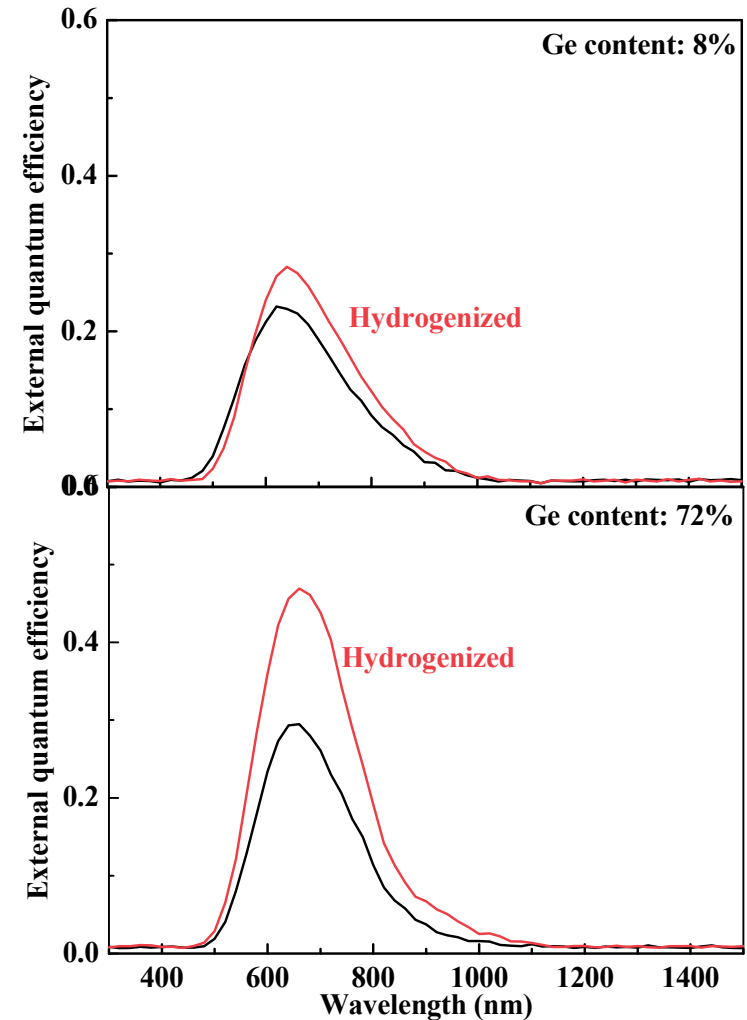
- ・200°C / 30min
- ・平行平板型RFシステム



水素プラズマ処理:

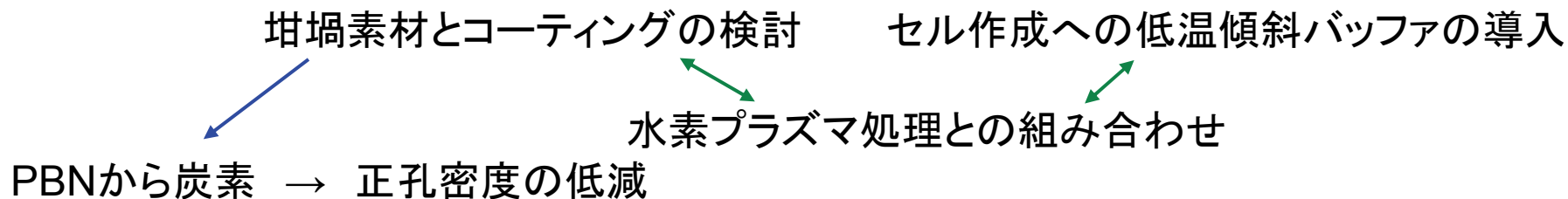
- ・SiGe薄膜の品質向上の可能性があり  
開放電圧の大幅な向上
- ・今後、処理条件の探索、最適化が必要

## 水素プラズマ処理によるEQEの変化



## セル特性のまとめと今後の方針 セル構造: ITO/a-Si/SiGe/Si-substrate

Ge組成 (%)	Voc(mV)	η (%)	坩堝	バッファ	水素プラズマ処理
0	~300	~ 2.0	PBN	傾斜	なし
8	~ 320	~ (0.75)	PBN	傾斜	なし
8	~ 430	~(1.5)	PBN	傾斜	あり
57	~ 200	~0.5	PBN	傾斜	なし



## まとめ Summary

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

### 2. 結晶シリコン太陽電池要素技術

- ・固定砥粒でスライスした多結晶シリコンウエハの新規テクスチャ形成技術

New surface texture formation on poly-Si substrates sliced with fixed abrasive wires

- ・ポリイミドを裏面絶縁層に用いた新構造太陽電池

Screen-printed polyimide layers for back-surface reflection and passivation

### 3. 結晶SiGe薄膜太陽電池

Crystalline thin-film SiGe solar cells for high-efficiency stacked cells

- ・低温傾斜バッファ層と水素プラズマ処理による膜質向上

low temperature buffer and hydrogenation for improving film quality

- ・セル特性向上における課題: 膜中の転位密度の低減

Reduction in the density of dislocations necessary for improving solar cell performance