

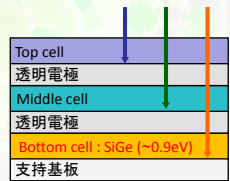
# 単結晶SiGeへテロ接合太陽電池の開発

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター  
大島 隆治<sup>1</sup>、山中 光之<sup>2</sup>、川浪 仁志<sup>2</sup>、高遠 秀尚<sup>2</sup>、松原 浩司<sup>1</sup>、坂田 功<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 革新デバイスチーム <sup>2</sup> 実用化加速チーム

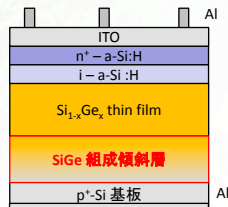
## 研究の目的

### スマートスタック太陽電池

複数の異なる材料をメカニカルに積層[1]  
→太陽光スペクトルとの整合性の向上

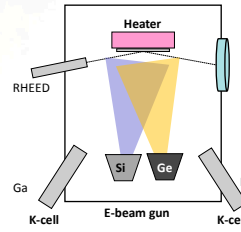


### 単結晶SiGeへテロ接合太陽電池



- 単結晶SiGeへテロ接合太陽電池を用いたボトムセル開発
- バッファ層技術によるSiGe薄膜の高品質化 [2], [3]

## 実験



- 超高真空 (<math>10^{-10}</math> Torr) 下での結晶成長
- 反射高速電子回折 (RHEED) によるその場観察
- 固体原料を用いた結晶成長 (Si, Geは電子銃加熱)  
→成長モード、不純物の制御性

Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>薄膜の成長条件:

- RCA洗浄 (p<sup>+</sup>-Si (001) 基板)
- 熱クリーニング780°C, 10分
- 成膜温度 575°C
- 堆積速度 2.8Å/sec (~1μm/h)

小面積  
SiGeへテロ接合太陽電池  
面積6mm×6mm

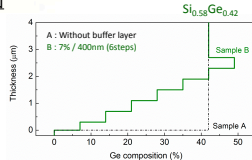
## 構造評価

### 組成傾斜バッファ層を導入したSi基板上SiGe薄膜の構造図

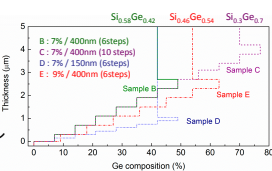


- 階段状の組成傾斜層
- 各層形成後に780°C, 1min30secのフラッシュアニール

### 組成傾斜層の導入

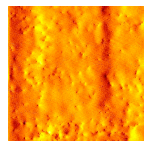
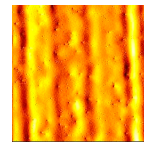
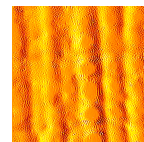
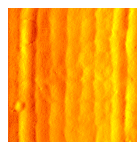
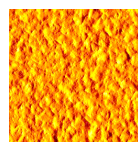


### 組成傾斜構造の検討

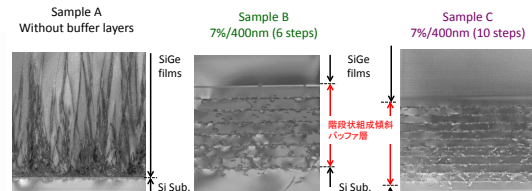


### 表面AFM像

Sample A: RMS: 6.507 nm, Dislocation density:  $3.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$   
Sample B: RMS: 0.903 nm, Dislocation density:  $< 10^5 \text{ cm}^{-2}$   
Sample C: RMS: 1.409 nm, Dislocation density:  $< 10^5 \text{ cm}^{-2}$   
Sample D: RMS: 2.680 nm, Dislocation density:  $2.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$   
Sample E: RMS: 2.484 nm, Dislocation density:  $4.9 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$



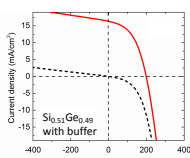
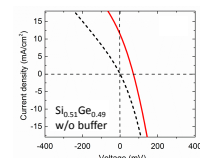
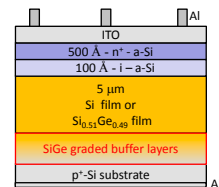
### 断面TEM像



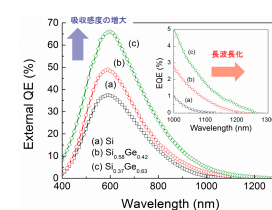
- 階段状の組成傾斜バッファ層を導入することにより、バッファ層内に転位が閉じ込められ、転位の伝搬の抑制に効果的である。
- 適したGe組成勾配があることが示唆される結果が得られた。
- 本構造を用いることにより、ステップ数の増減の制御のみで任意のGe組成のSiGe薄膜に適応が可能である。

## 太陽電池特性

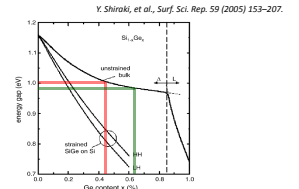
### 太陽電池出力特性



### 外部量子効率スペクトル



### SiGeバルクのバンドギャップ(Eg)とGe組成の関係図[4]



- 組成傾斜層を導入することにより、ダイオード特性が顕著に改善した。
- SiGeへテロ接合型太陽電池において、Siへテロ接合型太陽電池と比較して高いJ<sub>SC</sub>が得られた。
- SiGe吸収層のGe組成の増大に伴い、光吸収感度が増大した。また、光吸収端が長波長化し、バルク物性値と矛盾しないことが分かった。

## 結論

- ボトムセル材料開発を目的として、MBE法を用いてSi基板上に組成傾斜層を導入した高品質SiGe単結晶成長技術の開発を行った。
- 階段状の組成傾斜バッファ層は転位の伝搬の抑制に効果的であり、そのステップ数の制御のみで任意のGe組成のSiGe光吸収層に適応が可能である。
- バッファ層構造を導入したSiGeへテロ接合型太陽電池は、ダイオード特性が顕著に改善することを示し、Ge組成の増大に伴い、吸収感度の増大、光吸収端の長波長化を観測した。

## 参考文献

- [1] H. Mizuno et al., Appl. Phys. Lett. 101 (2012) 191111.
- [2] P.I. Gaiduk, et al., Thin Solid Films 367 (2000) 120.
- [3] T.-S. Yoon, et al., Appl. Phys. Lett. 87 (2005) 012104.
- [4] Y. Shiraki, et al., Surf. Sci. Rep. 59 (2005) 153.

## 謝辞

本研究は、NEDOからの委託研究「革新的太陽光発電技術研究開発」を受けて実施された。

