

Si基板上高品質 SiGe単結晶太陽電池の開発

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¹、山中 光之²、川浪 仁志²、高遠 秀尚²、
松原 浩司¹、坂田 功²

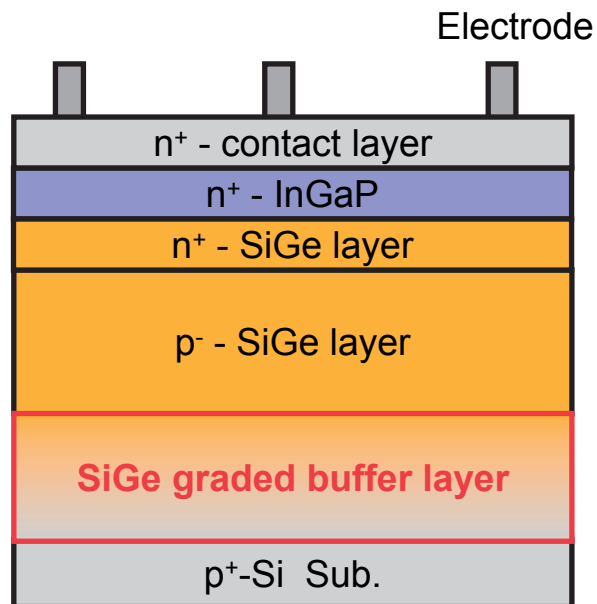
¹ 革新デバイスチーム ² 実用化加速チーム

結晶系ナローギャップ材料SiGe太陽電池の研究

NEDO「革新的太陽光発電技術研究開発」

- スマートスタック太陽電池に向けたボトムセル(0.9eV以下)開発
- 高品質なSiGe単結晶のMBE成長 →組成傾斜バッファ層技術の開発

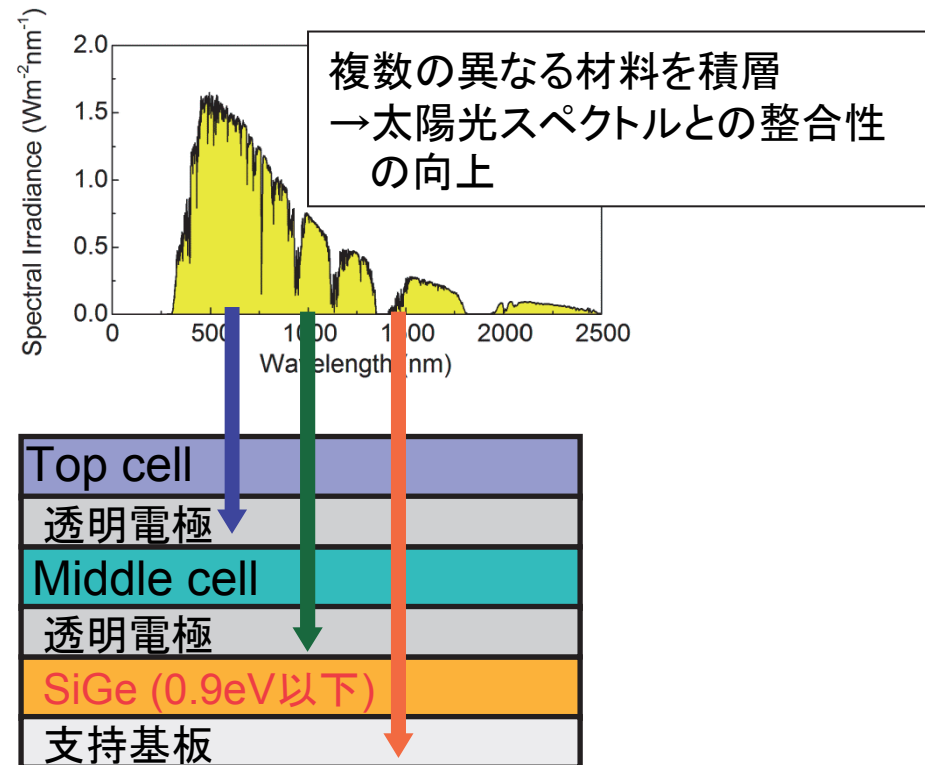
単結晶SiGeヘテロ接合太陽電池



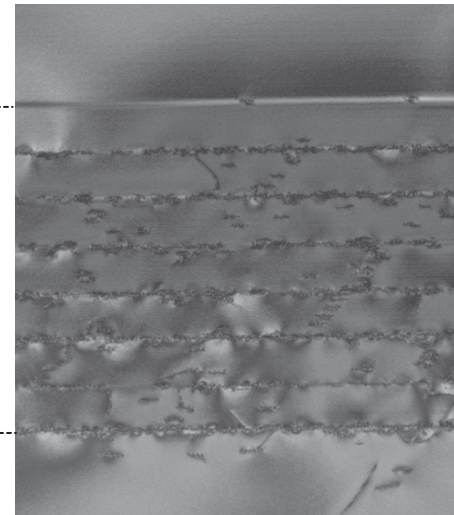
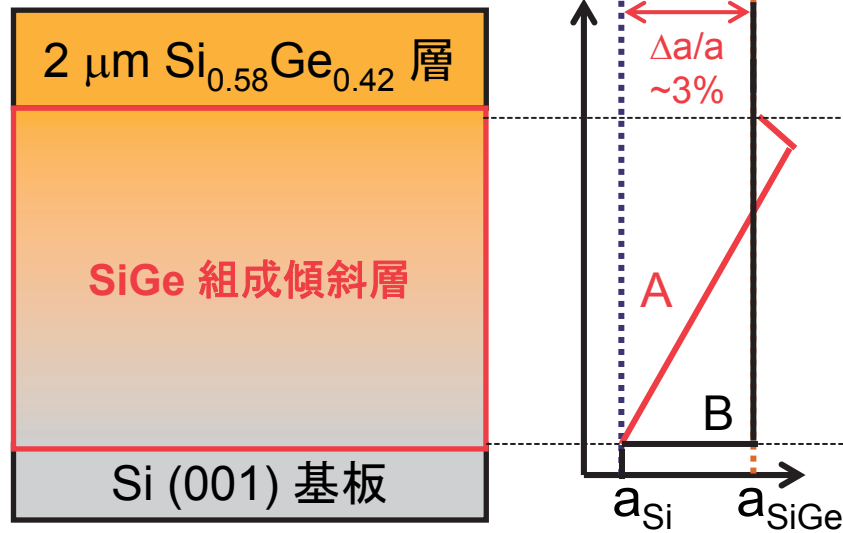
SiとSiGeの格子定数差 >3%

➡ 転位の制御技術

スマートスタック太陽電池



組成傾斜バッファ層技術を用いたSiGe単結晶成長



A: 組成傾斜層導入

貫通転位密度

: $<1.0 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$

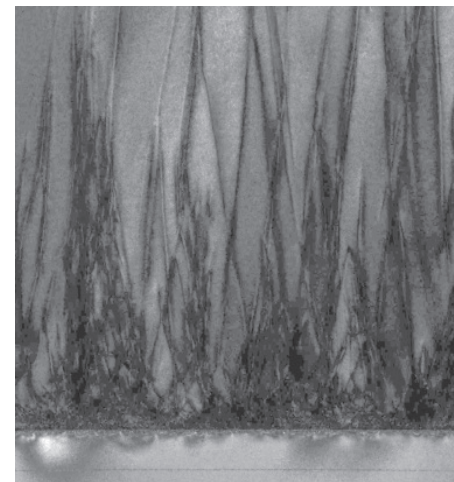
表面粗さ平均 (RMS)

: 0.904nm

組成傾斜層を導入することにより、効果的に層内に転位が閉じ込められ、上層への転位の伝搬は生じていない。



Si基板上に低転位密度かつ平坦性に優れたSiGe単結晶の成長技術開発に成功



B: バッファ層なし

貫通転位密度

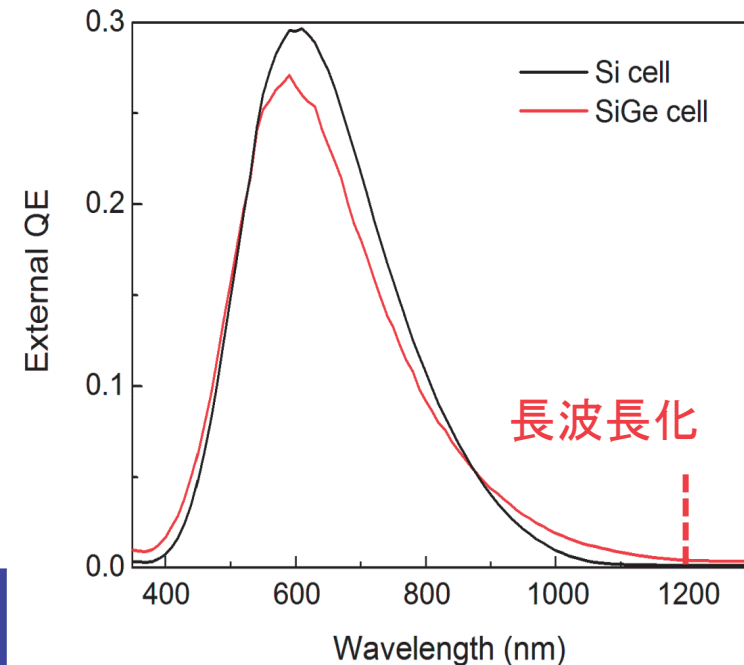
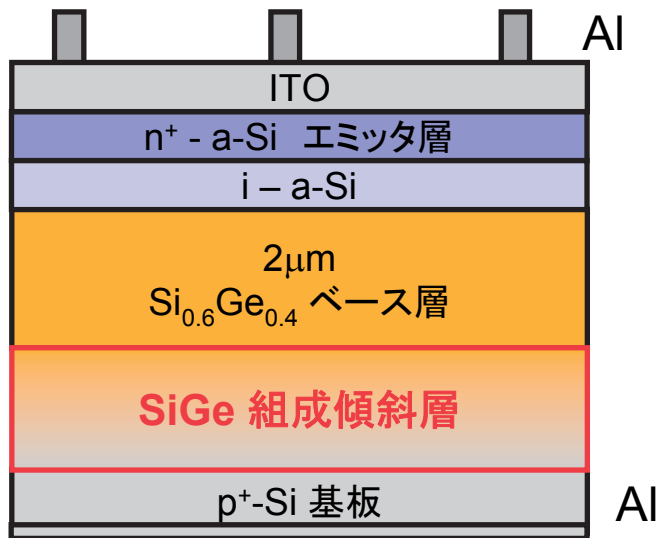
: $3.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$

表面粗さ平均 (RMS)

: 6.507nm

単結晶SiGeへテロ接合太陽電池

- SiGe太陽電池において吸収端の長波長化(1200nm)を確認。
- 良好な出力特性が得られており、SiGe結晶の諸特性の解明を行い、太陽電池構造の最適化による高効率化を図る。



	η (%)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF
Si	2.479	10.155	458	0.533
SiGe	0.980	8.251	233	0.509

Si基板上高品質SiGe単結晶太陽電池の開発

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

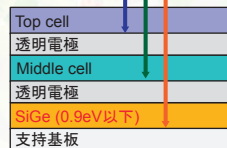
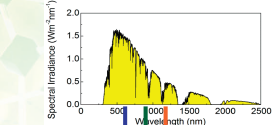
大島 隆治¹、山中 光之²、川浪 仁志²、高遠 秀尚²、松原 浩司¹、坂田 功²

¹ 革新デバイスチーム ² 実用化加速チーム

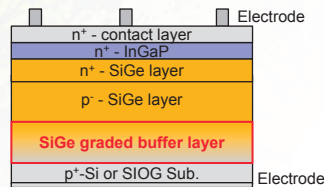
研究の目的

スマートスタック太陽電池

複数の異なる材料を積層
→太陽光スペクトルとの整合性の向上

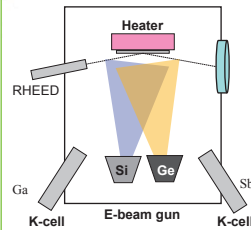


単結晶SiGeヘテロ接合太陽電池



- スマートスタック太陽電池に向けたボトムセル開発 [1]
- 高品質なSiGe単結晶が成膜可能なバッファ層の開発 [2], [3]
- III-V族ワイドギャップ半導体のエピタキシャル成長による表面パッシベーション技術開発

分子線エピタキシー法



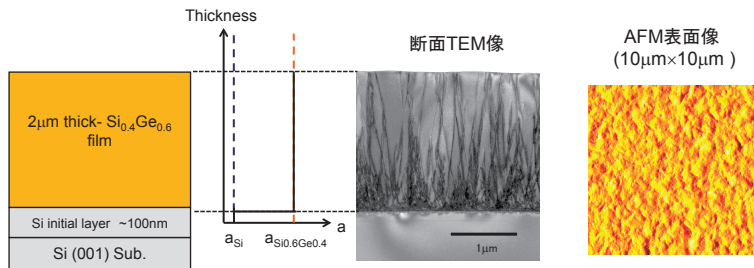
- 超高真空 (10^{-10} Torr) 下での結晶成長
- 反射高速電子回折 (RHEED) によるその場観察
- 固体原料を用いており、成長モード、不純物の制御性に優れている (Si, Geは電子銃加熱)

Si_{1-x}Ge_x薄膜の成長条件:

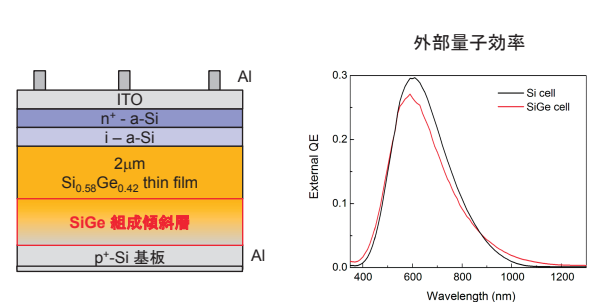
- RCA洗浄 (Si基板)
- 熱クリーニング 1000°C, 10分
- 成長温度 550°C
- 成長速度 ~1μm/h

結果

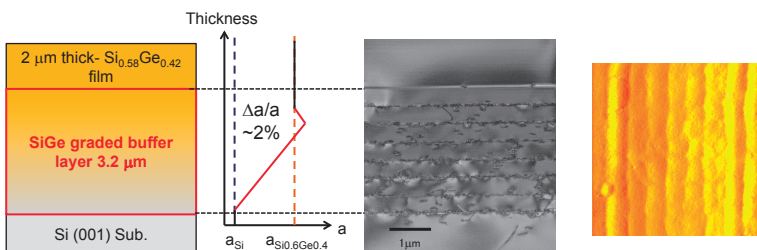
単結晶SiGe薄膜成長 (バッファ層なし)



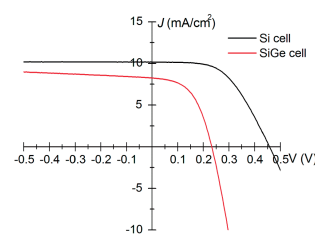
高品質SiGe単結晶を吸収層としたヘテロ接合太陽電池



組成傾斜層を導入した単結晶SiGe薄膜成長



太陽電池出力特性



- SiGe太陽電池の吸収端は約1200nmであり、Si太陽電池(1100nm)に比べて長波長化。
- 良好な整流性が得られており、キャリア寿命の評価に基づいた構造改善による高効率化を図る。

	表面粗さ平均 RMS (nm)	真通転位密度 (/cm ²)
x = 0 μm	6.507	>3.0 × 10 ⁹
x = 3.2 μm	0.904	<1.0 × 10 ⁶

- 組成傾斜層を導入していない場合、Si/SiGe界面で集中的に転位が発生し、最表面まで転位が伝搬した。
- 組成傾斜層を導入することにより、効果的に層内に転位が閉じ込められ、上層への転位の伝搬は生じていない。

	η (%)	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (mV)	FF
Si cell	2.479	10.155	458	0.533
SiGe cell	0.980	8.251	233	0.509

Si基板上に低転位密度かつ平坦性に優れたSiGe単結晶の成長技術開発に成功

結論

- MBE法を用いて高効率SiGe太陽電池の実現に向けた組成傾斜層構造の開発を行った。
- 組成傾斜構造を導入することによって、高品質なSiGe単結晶の結晶成長技術の開発に成功した。
- SiGe太陽電池において吸収端の長波長化(~1200nm)を確認した。今後、SiGe薄膜の諸特性を明らかにし、構造の最適化を図る。

参考文献

- H. Kawanami et al., 5A-10-02, 21st PVSEC (2011), (Fukuoka, Japan).
- P.I. Gaiduk, et al., Thin Solid Films 367 (2000) 120-125.
- T.-S. Yoon, et al., Appl. Phys. Lett. 87 (2005) 012104.

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。

