

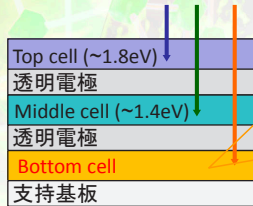
SiGeヘテロ接合型太陽電池の開発

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、山中光之、川浪仁志、高遠秀尚、坂田功、松原浩司、菅谷武芳

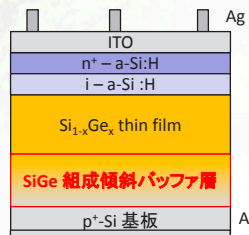
研究目的

スマートスタック太陽電池

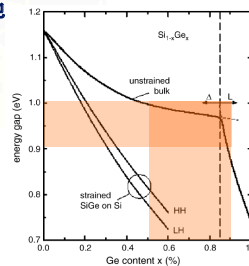
複数の異なる材料をメカニカルに積層し^[1]、太陽光スペクトルとの整合性を向上



ボトムセル(0.9~1.0eV)開発 →単結晶SiGeヘテロ接合太陽電池



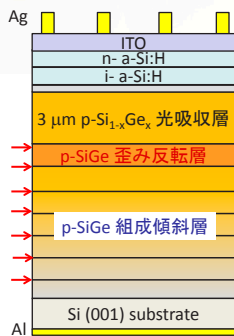
E_g とGe組成の関係^[2]



0.9 ~ 1.0 eV 帯SiGeボトムセル
→ Ge組成のターゲット: 50 ~ 90%
高効率化へのキーテクノロジー

- バッファ層技術(転位閉じ込め技術)によるSiGe薄膜の高品質化^[3]
⇒ これまでに60%以上のGe組成のSiGe薄膜太陽電池の報告は殆どない。
- ヘテロ接合化技術^[4]
⇒ a-Si:H, III-V族半導体などを用いたヘテロ接合の形成

作製手法



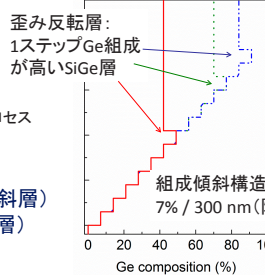
PECVD法

成膜温度: 200 °C
2 nm Si 層: Siと同じ表面処理プロセスを行う為のキャップ層

固体ソースMBE法
成膜温度: 520 °C(組成傾斜層)
500 °C(光吸収層)

成膜速度: 2.8 Å/s

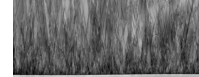
→ アニール処理部
(800 °C, 1min, 30s)



Ge組成 (x)	0.49	0.70	0.84
ステップ数	8	11	13
バッファ層厚	2.4 μm	3.3 μm	3.9 μm

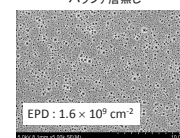
Cross-sectional TEM

Si_{0.16}Ge_{0.84} 薄膜
(組成傾斜バッファ層なし)



Plane-view SEM

HF: HNO₃: CH₃COOH 系
Dashエッチング語
(エッチング速度: ~1μm/min)



EPD: 1.6 × 10⁹ cm⁻²

バッファ層無し

Si_{0.16}Ge_{0.84} 薄膜

バッファ層導入

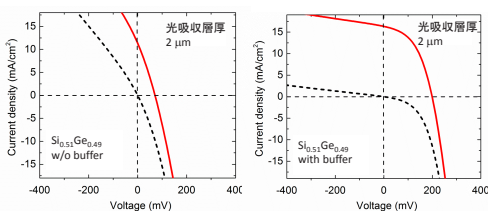
EPD: 4.0 × 10⁸ cm⁻²

Si_{0.30}Ge_{0.70} 薄膜 (バッファ層, 13steps)

Si_{0.30}Ge_{0.70} 薄膜 (バッファ層, 11steps)

太陽電池特性

組成傾斜バッファ層を導入したSi_{0.51}Ge_{0.49}太陽電池

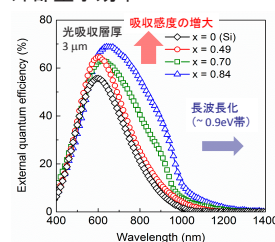


組成傾斜バッファ層構造	η (%)	J _{SC} (mA/cm ²)	V _{OC} (mV)	FF
なし	0.22	11.33	71	0.279
導入	1.51	16.33	200	0.466

⇒ 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

Si_{1-x}Ge_x太陽電池のGe組成依存性

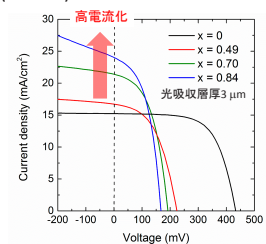
外部量子効率



光吸収層のGe組成 (x)	光吸収端 (nm) (eV)
x = 0 (Si)	1100 (1.13 eV)
x = 0.49	1220 (1.01 eV)
x = 0.70	1260 (0.98 eV)
x = 0.84	1350 (0.91 eV)

- 光吸収端はバルク物性値と矛盾しない^[2]
- ⇒ 0.9eV~1.0eV帯の高Ge組成のSiGe薄膜を用いたヘテロ接合太陽電池の作製に初めて成功
- SiGe太陽電池は長波長領域の吸収感度が増大し、Ge組成を増大させるに従ってJ_{SC}が単調に増大

I-V (AM1.5)



Active layer	η (%)	J _{SC} (mA/cm ²)	V _{OC} (mV)	FF
Si _{0.51} Ge _{0.49}	1.83	16.72	224	0.487
Si _{0.30} Ge _{0.70}	2.03	21.41	192	0.495
Si _{0.16} Ge _{0.84}	1.97	24.02	167	0.491
Si	4.30	15.23	430	0.652

結論

- MBE法を用いて、Si基板上に0.9 ~ 1.0 eV帯のSiGe薄膜の高品質化と太陽電池の作製と評価を行った。
- Si_{1-x}Ge_x光吸収層の転位密度は10⁴ cm⁻²台であり、組成傾斜層内に転位が効果的に閉じ込められていることが分かった。
- SiGe太陽電池はSi太陽電池に比べて、長波長領域の吸収感度が増大、光が長波長化することが分かり、J_{SC}=15.2mA/cm² (Si) から24.0mA/cm² (Si_{0.16}Ge_{0.84})に向上した。
- 結晶成長技術の向上、ヘテロ接合プロセスの検討・改善による出力特性の向上が今後の検討課題である。

参考文献

- [1] H. Mizuno, et al., Appl. Phys. Lett. 101 (2012) 191111.
- [2] Y. Shiraki, et al., Surf. Sci. Rep. 59 (2005) 153.
- [3] P.I. Gaiduk, et al., Thin Solid Films 367 (2000) 120.
- [4] S.A. Hadi, et al., Solar Energy 103 (2014) 154.

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。

