

微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を用いた 多接合太陽電池の開発

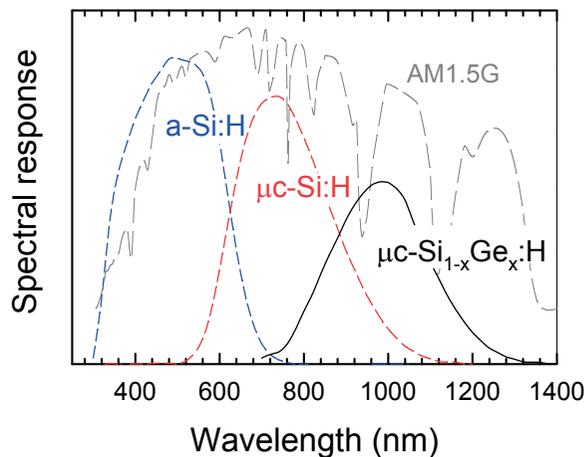
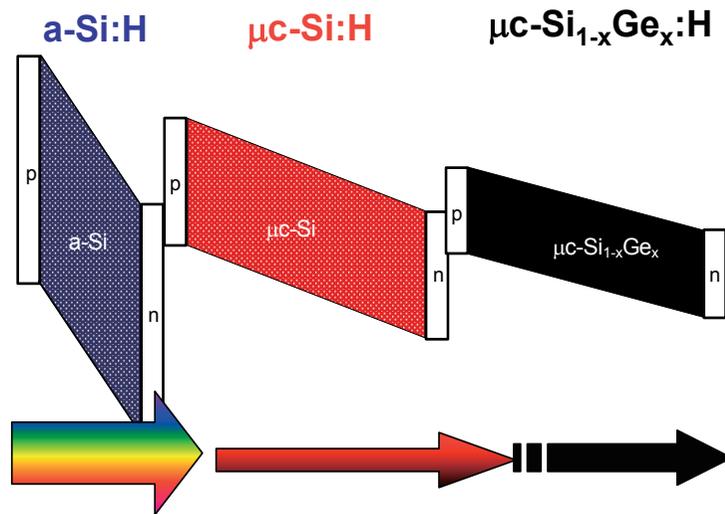
シリコン新材料チーム 松井 卓矢

概略

1. 研究背景
2. 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ の製膜と単接合太陽電池
3. 表面TCOの改良
4. 三接合太陽電池の特性
5. まとめ

微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を用いた多接合太陽電池

3接合(triple junction)



a-Si:H μc-Si:H

赤外光の透過損失が大きく
変換効率を律則

$\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$

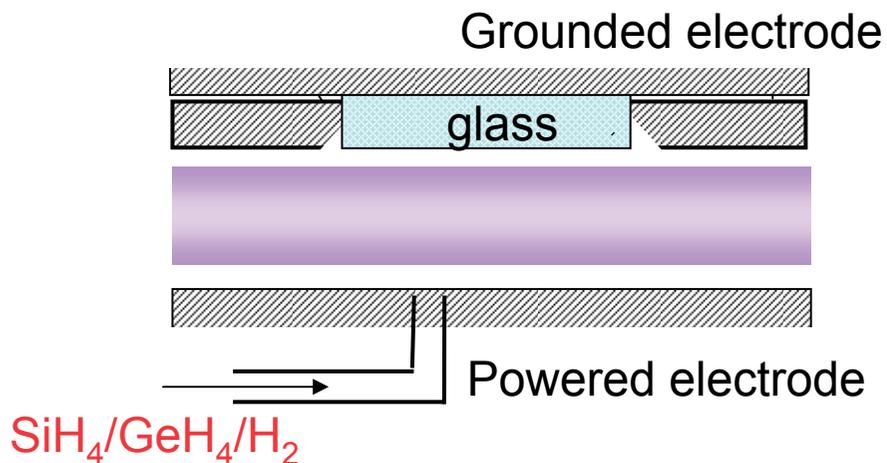
G. Ganguly et al. APL (1996)

ナローギャップボトムセルを用いた
3接合セル

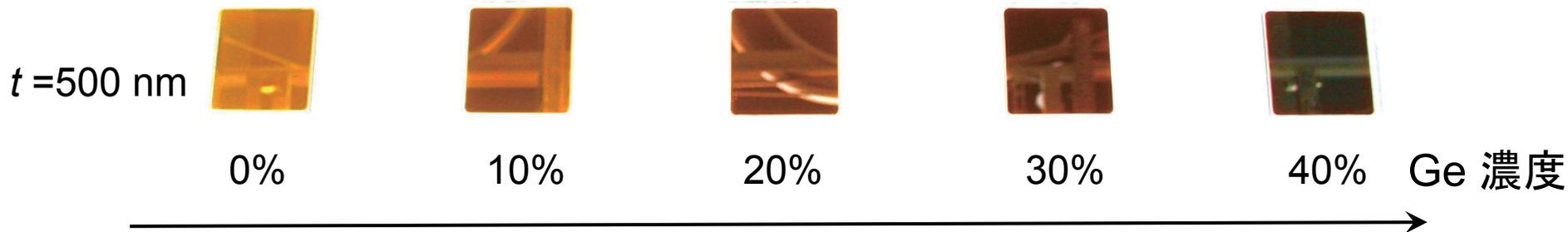
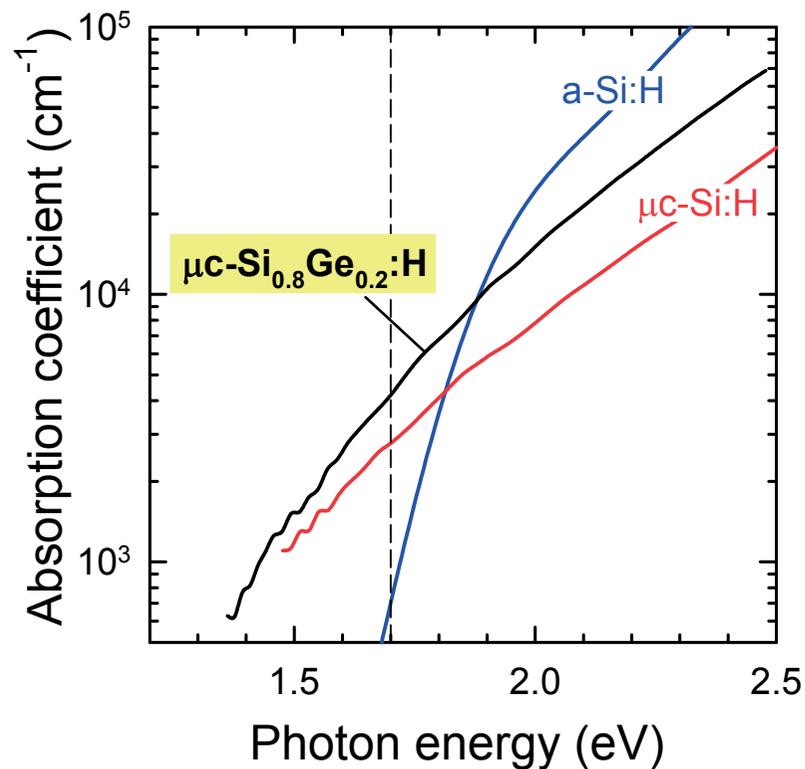


スペクトル感度広帯域化による
高効率化

微結晶Si_{1-x}Ge_xの製膜と光学特性



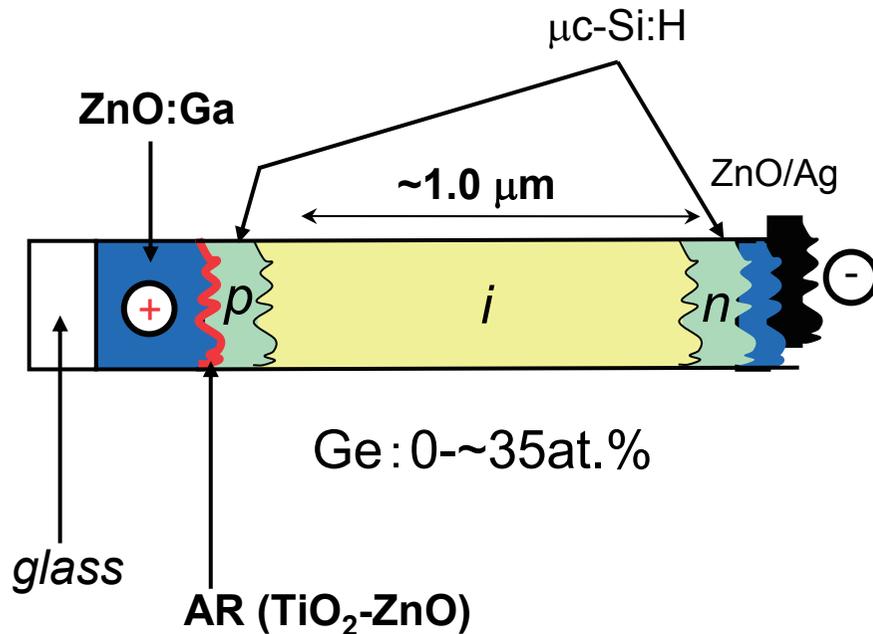
| | |
|-----------------|-----------------------|
| System | PECVD (100 MHz) |
| Substrate temp. | 200 °C |
| Discharge power | 22 mW/cm ² |
| Pressure | 1.5 Torr |
| Deposition rate | ~0.3 nm/s |



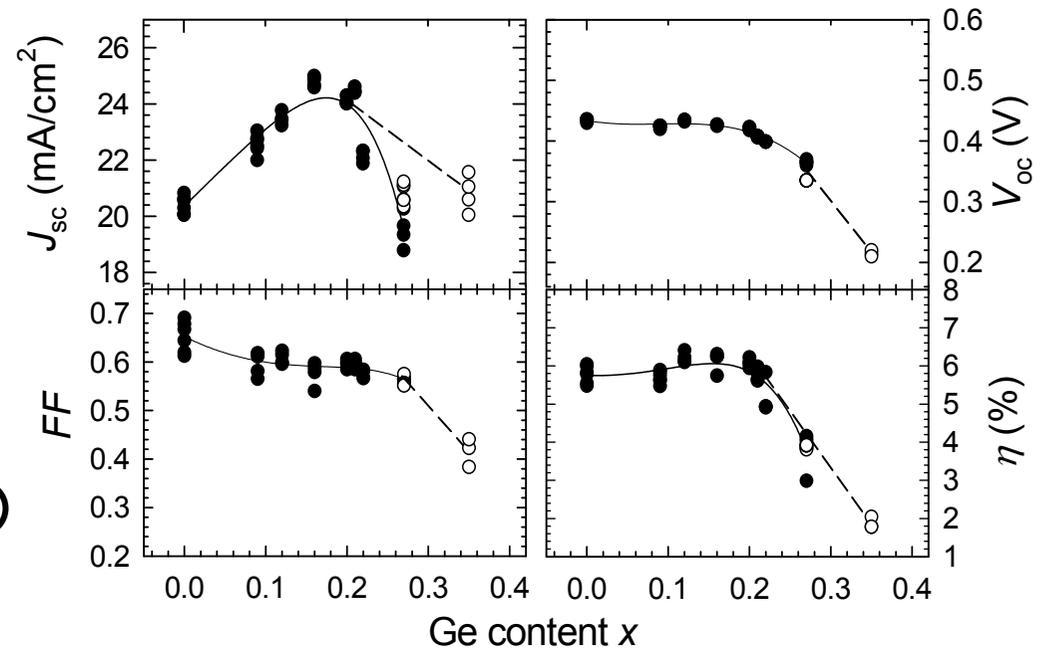
微結晶Si_{1-x}Ge_xシングルセルの特性

Cell area : 1.04 cm²

Designated illumination area : 1.0 cm²



T. Fujibayashi et al. APL (2006)



- J_{sc}の最大値はx~0.15-0.2で得られた

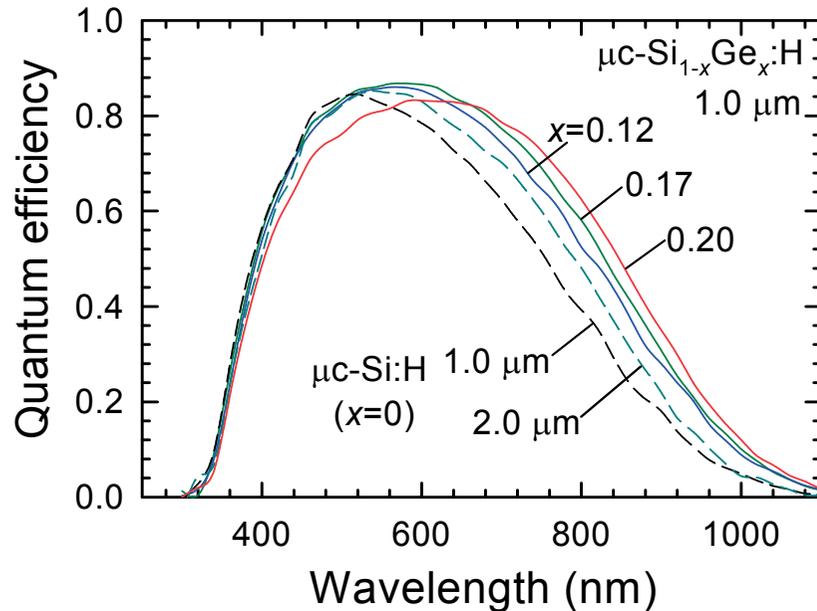
J_{sc} gain: ~5 mA/cm²

- x>0.2における急激な特性低下の主要因として荷電Geダングリングボンドの増加が考えられる

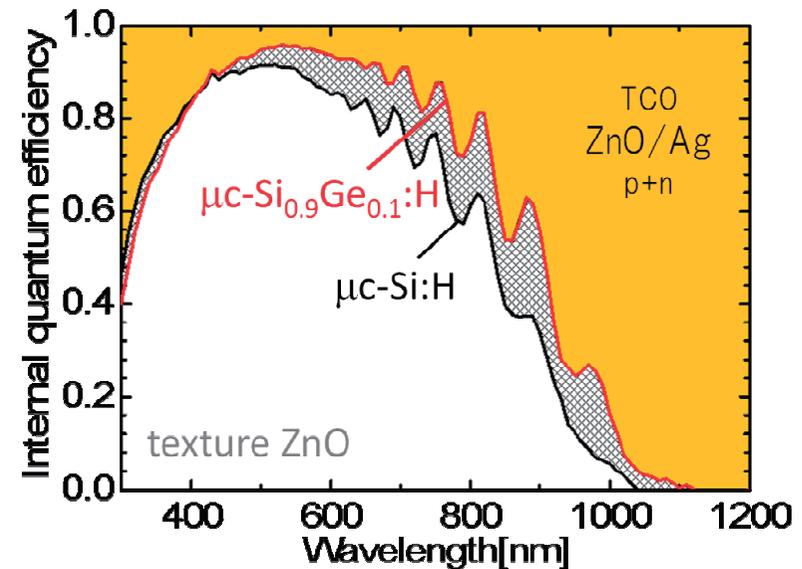
Matsui et al., APL (2007)

微結晶Si_{1-x}Ge_xシングルセルの特性

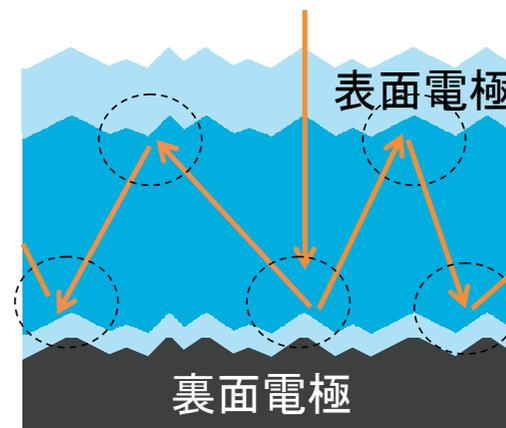
外部量子効率



内部量子効率

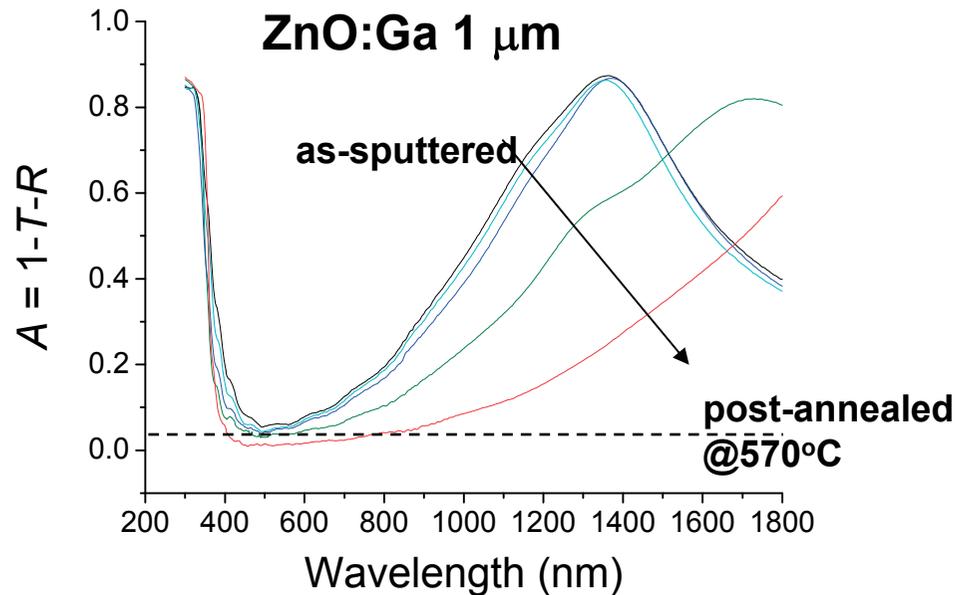


- Ge添加(10~20原子%)により長波長感度を効果的に増加させることができる。
- 微結晶Siセルに比べて高い内部量子効率を実現できる。(寄生吸収口の低減効果)



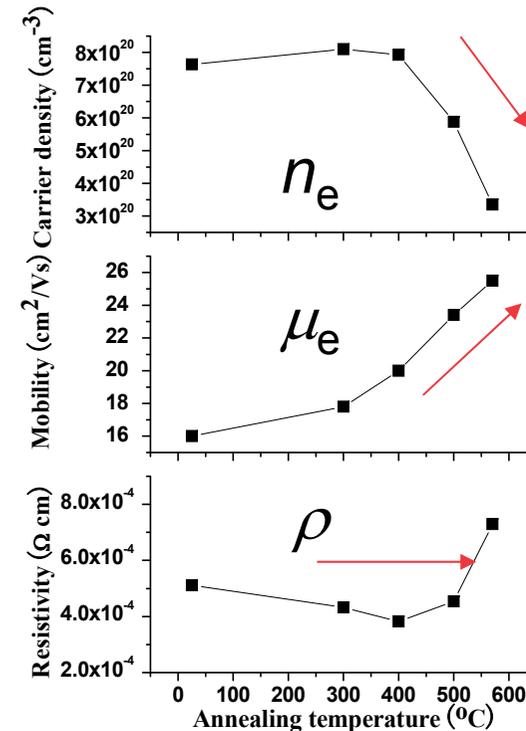
ポストアニールによるTCO (ZnO:Ga)の光吸収ロスの低減

<吸収スペクトルのアニール温度依存性>



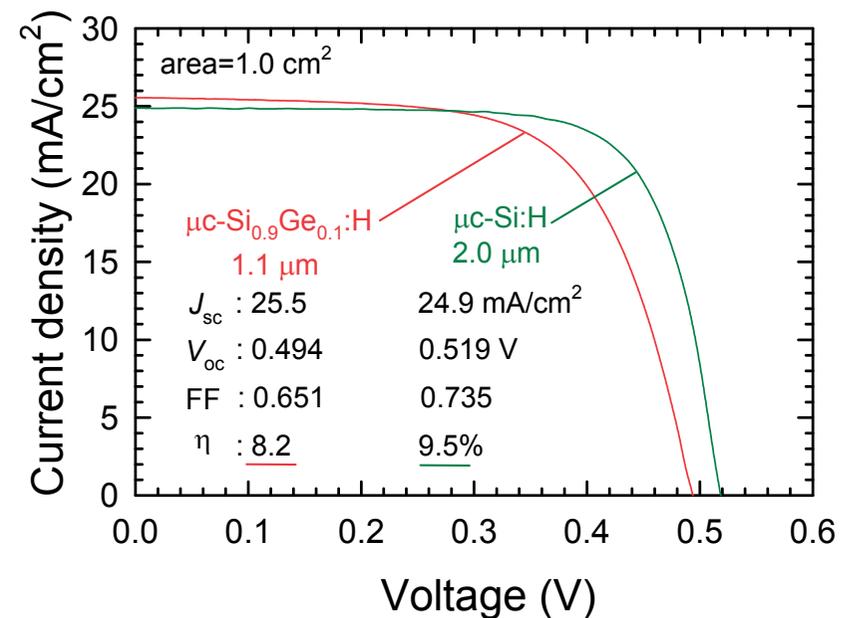
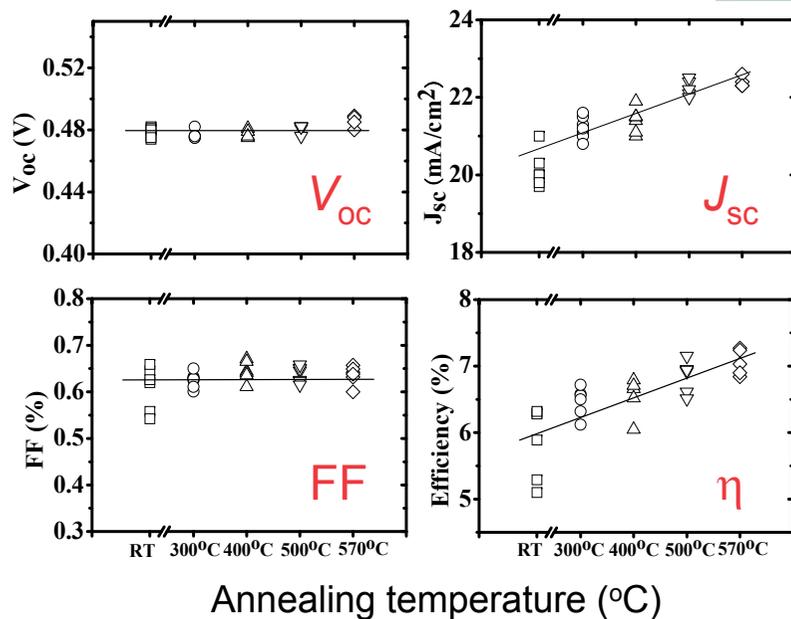
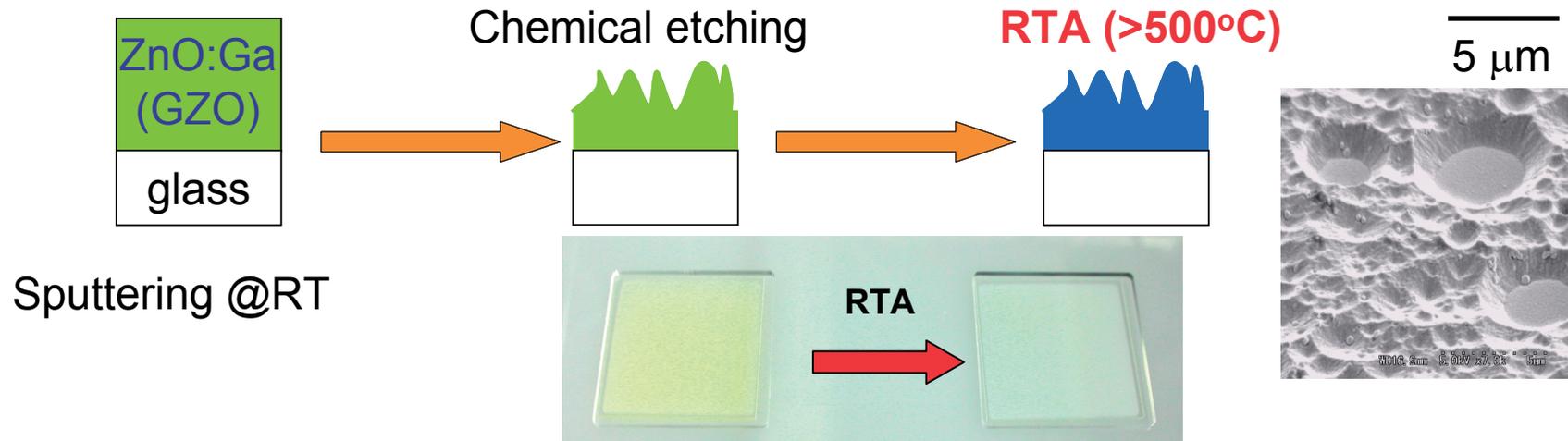
Lee (Helmholtz) et al., APL (2007)
Jia (AIST) et al., 34th IEEE-PVSC (2009)

<電気特性のアニール温度依存性>



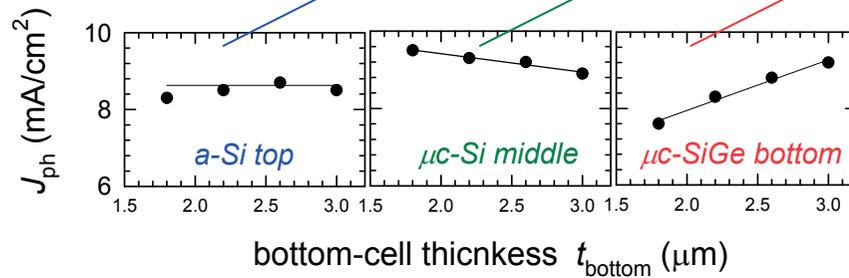
- ポストアニール (>500 °C)によるキャリア濃度の低減とキャリア移動度の増大
- 赤外領域のフリーキャリア吸収を大幅に低減
- 抵抗率 $\sim 10^{-4} \Omega\text{cm}$ オーダー

高透明ZnO:Gaテクスチャー基板の作製

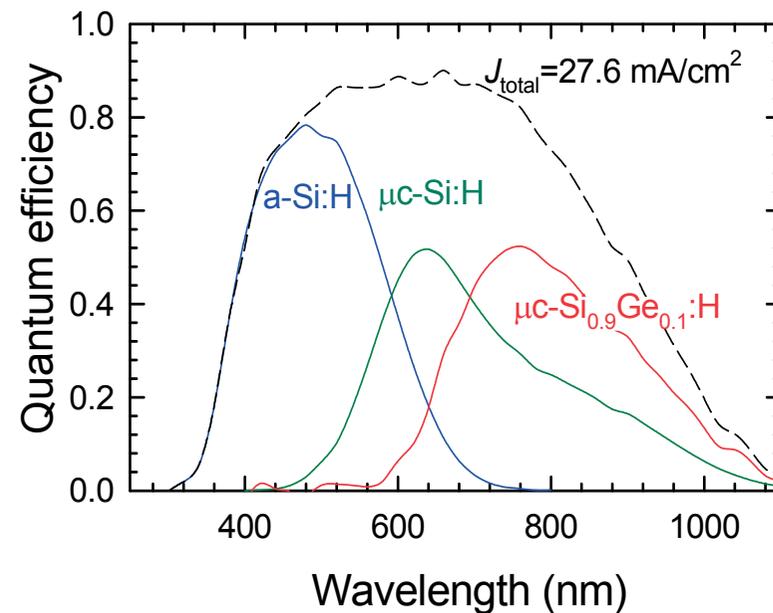
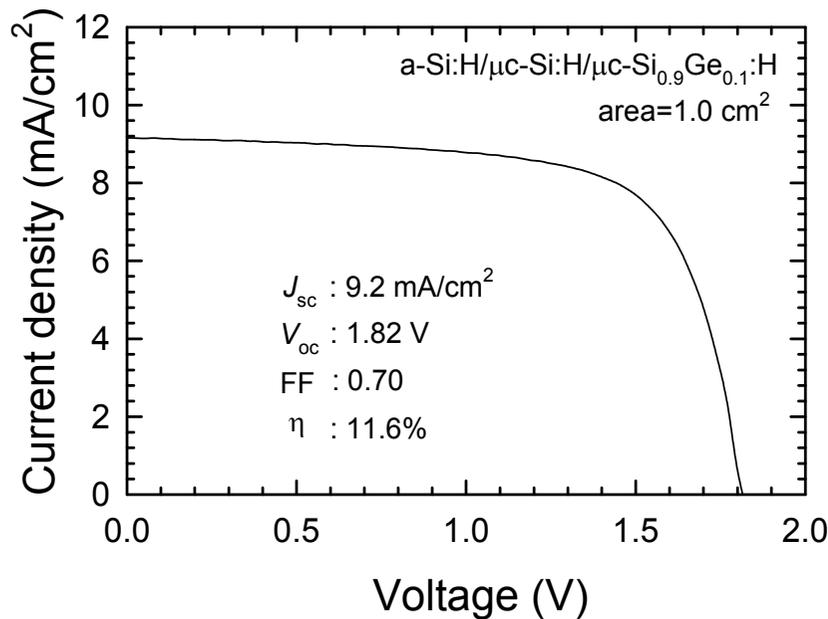


三接合型太陽電池の特性

※三菱重工業株式会社との共同実施



- ミドルセル電流もボトムセル膜厚に依存
- ボトムセル膜厚~2.2 μmのとき、 $J_{ph} \sim 9$ mA/cm²で電流整合し、初期変換効率11.6%を得た

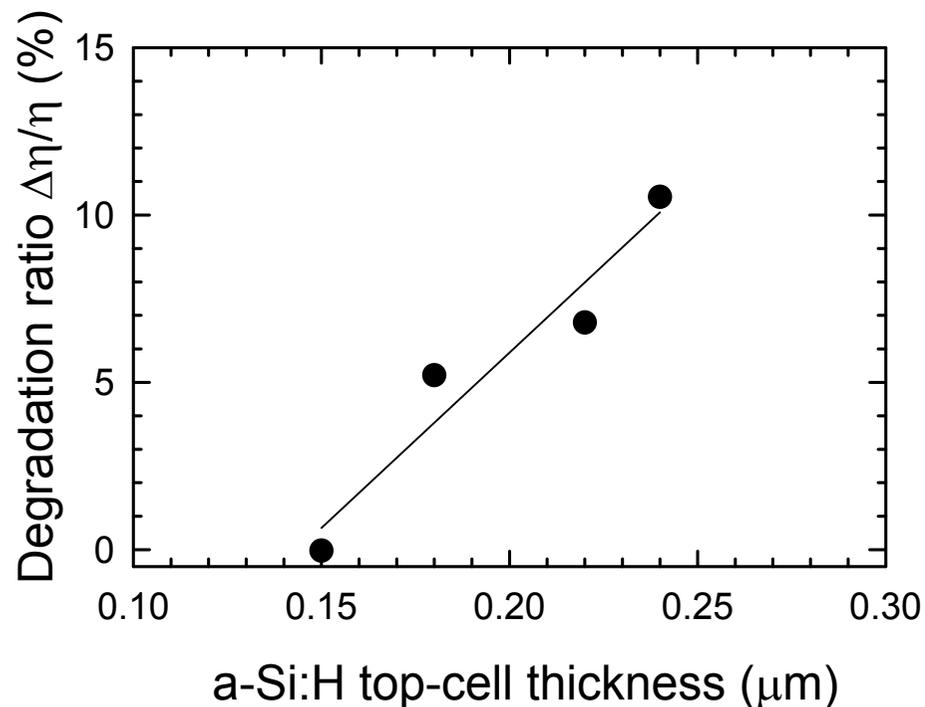


三接合太陽電池の光劣化特性

※三菱重工業株式会社との共同実施

AM1.5, 125 mW/cm², 310 hours, 48 °C, open-circuit

S. Igari et al., *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* (1994)



- a-Si:Hトップセル膜厚の異なる太陽電池を光劣化試験
- $t_{\text{top}} \sim 0.2 \mu\text{m}$ で劣化率約5%
- a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ 二接合セルに比べて低い劣化率

まとめ

- 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ シングルセルにおいて、Ge濃度~10-20 at.%で微結晶Siセルより3-5 mA/cm^2 高い短絡電流密度を得た。
- Ge添加による光吸収係数の増加は、i層以外の寄生吸収ロスを低減する効果もあり、赤外感度を効果的に増大できることを示した。
- ポストアニール(>500 °C)により赤外透過率を改善したテクスチャZnO基板を太陽電池に適用し、微結晶Siセルで9.5% ($t_i=2.0 \mu\text{m}$)、微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ セルで8.2% ($t_i=1.1 \mu\text{m}$)の変換効率を得た。
- a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}\text{:H}$ 三接合太陽電池で初期変換効率11.6%を得た。
- 三接合太陽電池の光劣化率はアモルファスSiトップセルの膜厚が0.2 μm 以下の場合、 $\Delta\eta/\eta\sim 5\%$ 程度である。