

CIGS系太陽電池の バンドギャップ制御技術の開発

先端産業プロセス・高効率化チーム
小牧弘典

背景

バンドギャップ(E_g)が1.1-1.2 eVのCuInGaSe₂(CIGS)薄膜から高変換効率(WR20.3%)太陽電池が作製されている。理論的予測では、 $E_g=1.4-1.5\text{eV}$ で最高効率を実現できるといわれている。

材料	バンドギャップ
CuInSe ₂	1.01 eV
CuGaSe ₂	1.68 eV
CuInS ₂	1.53 eV
CuGaS ₂	2.43 eV

高効率化へのアプローチ

高品質CuInGaSSe製膜技術開発
バンドプロファイリング制御

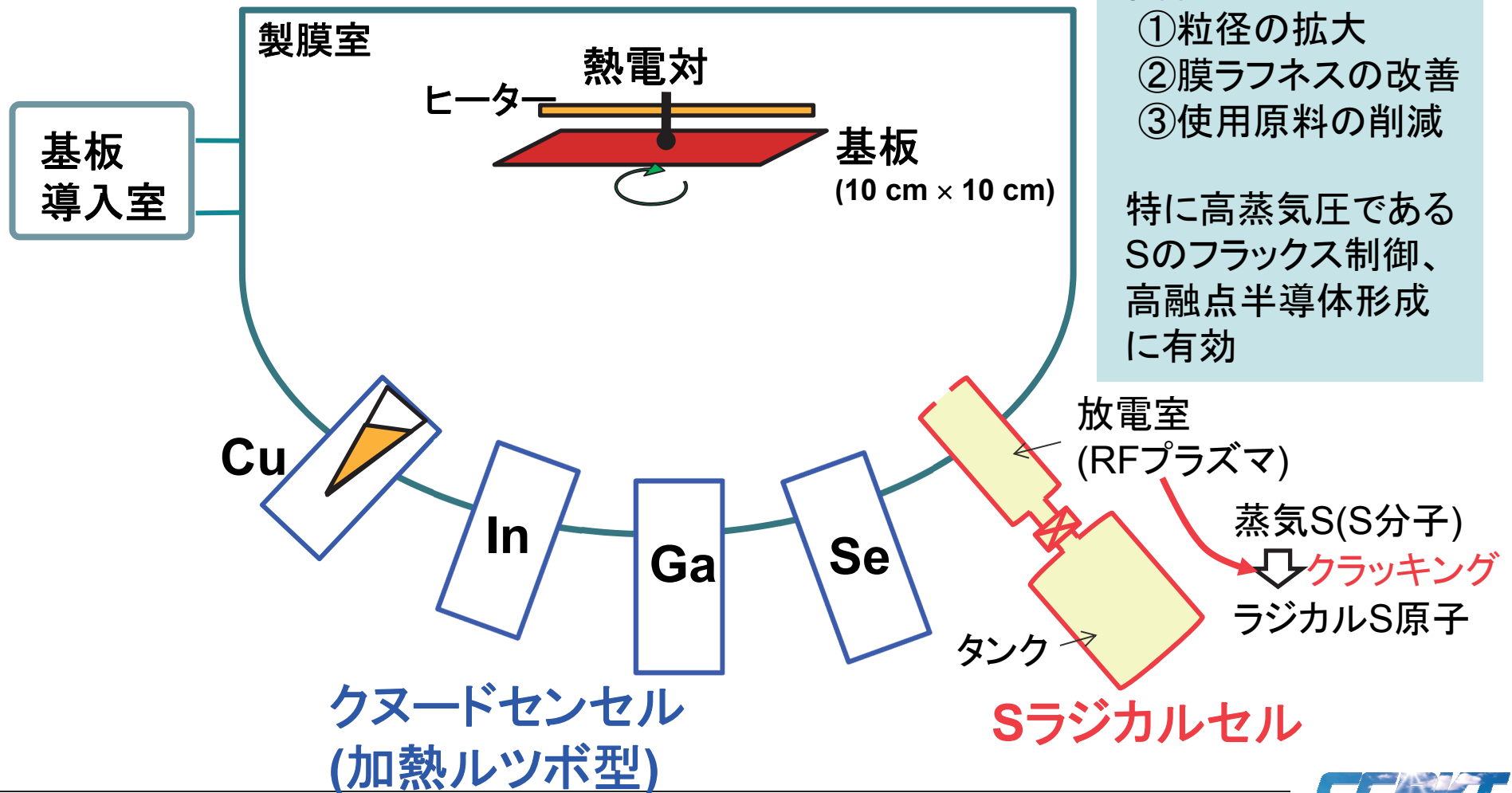
課題

多元蒸着法において、蒸気圧の高いS原料の制御が難しい

本研究:ラジカルSセルを用いてS原料の制御性向上とCIGSSe膜の高品質化を目指し、高効率CIGSSe太陽電池の開発を行う。

CIGSSe製膜装置とSの導入方法

分子線エピタキシー装置



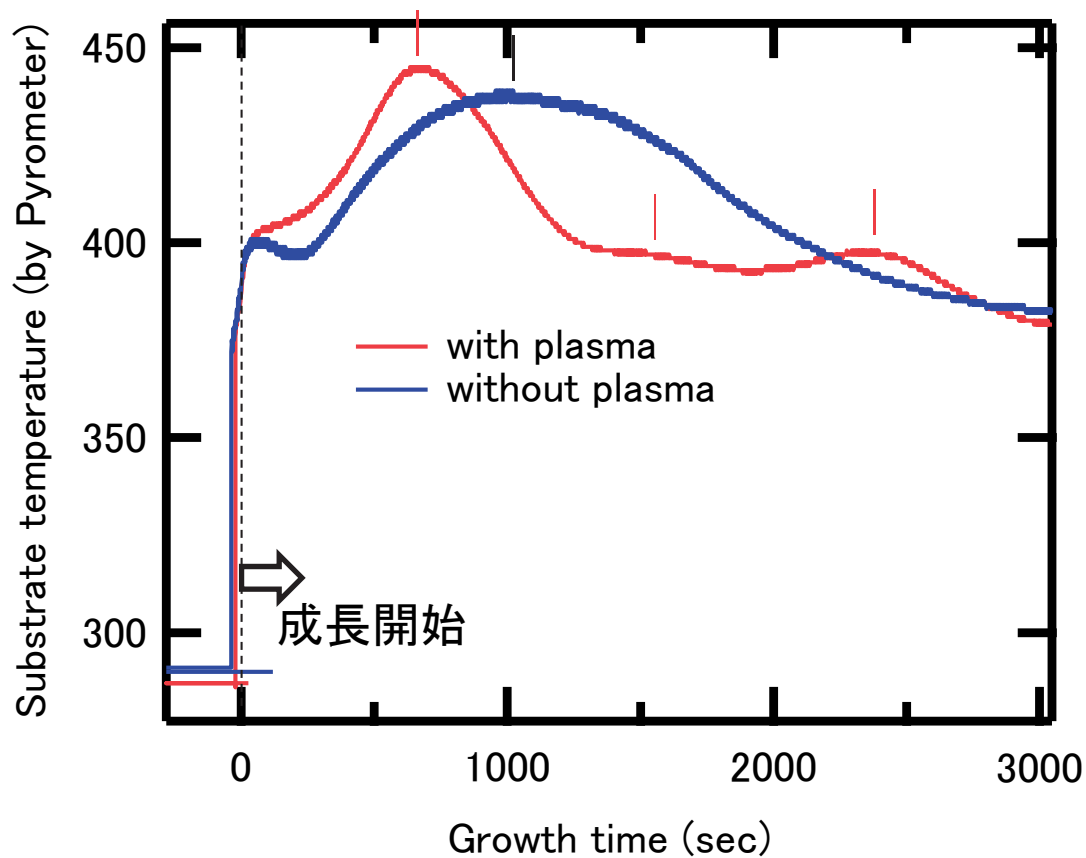
ラジカルセル利点
原料の反応性向上

- ①粒径の拡大
- ②膜ラフネスの改善
- ③使用原料の削減

特に高蒸気圧である
Sのフラックス制御、
高融点半導体形成
に有効

Sラジカルセルの効果

温度400°CのMo/SLG基板にInとSを照射し成長レートをプラズマありなしで比較
膜厚変動によるピロメータ読み値の変動(干渉)から判断

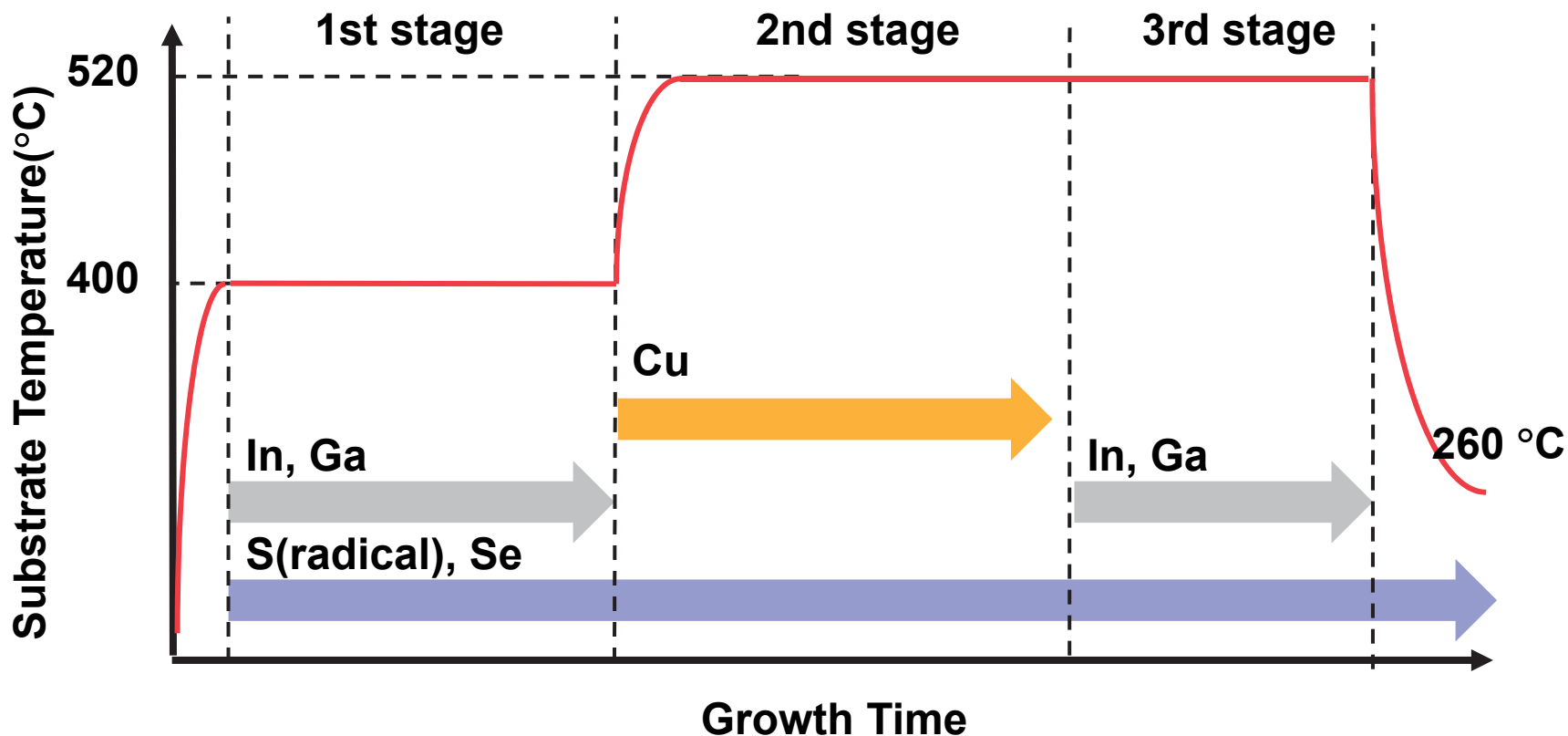


InSの成長レート
プラズマあり > プラズマなし

RFプラズマにより蒸気Sがクラッキングされていることを確認

CIGSSe成長シーケンス：三段階法

CIGSSeとCIGSeを作製し評価



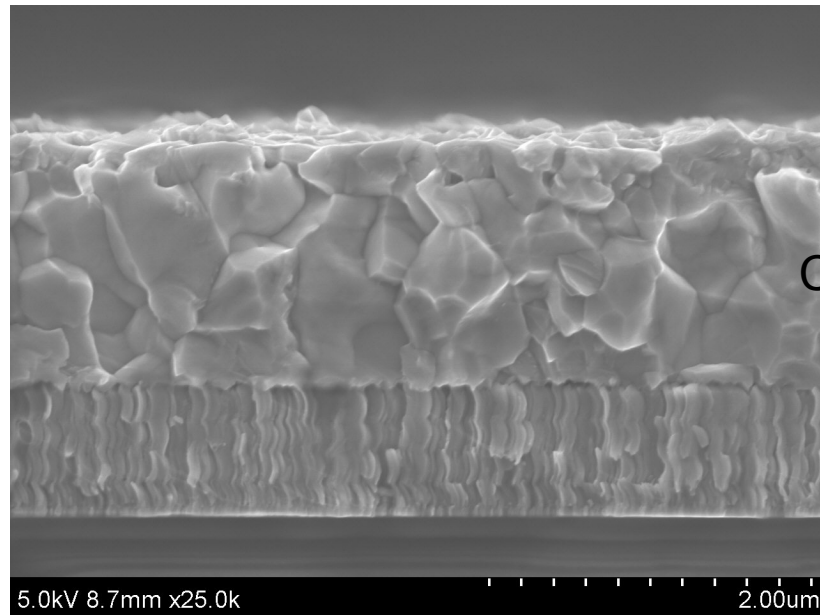
二段階目：Cu-rich組成・CIGSSe、 $\text{Cu}_2(\text{S}, \text{Se})$ 層の形成

三段階目：Cu-poor組成

CIGS作製法と同じ

CIGSeとCIGSSeの断面SEM像と組成

CIGSe



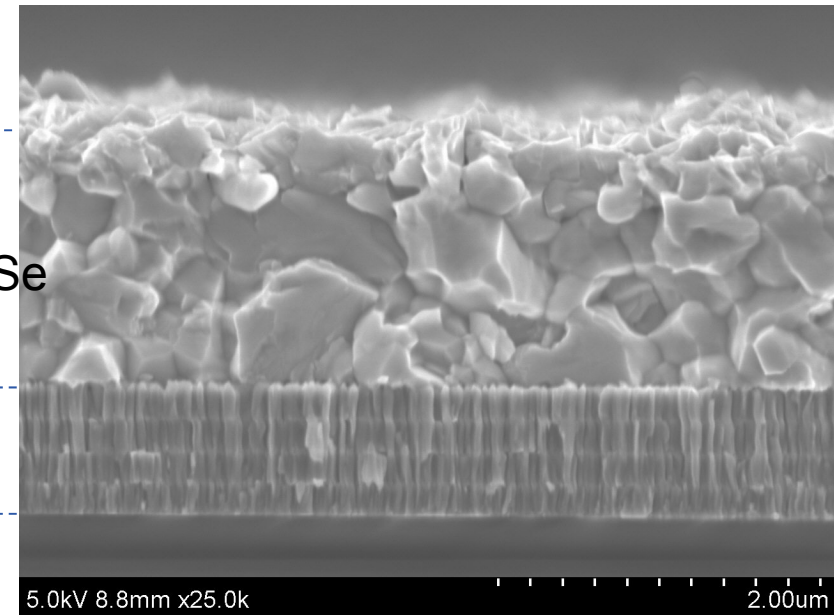
CIG(S)Se

Mo

SLG

$Ga/(In+Ga)=0.19$
 $S/(S+Se)=0.03$
 $(E_g=1.13eV)$

CIGSSe



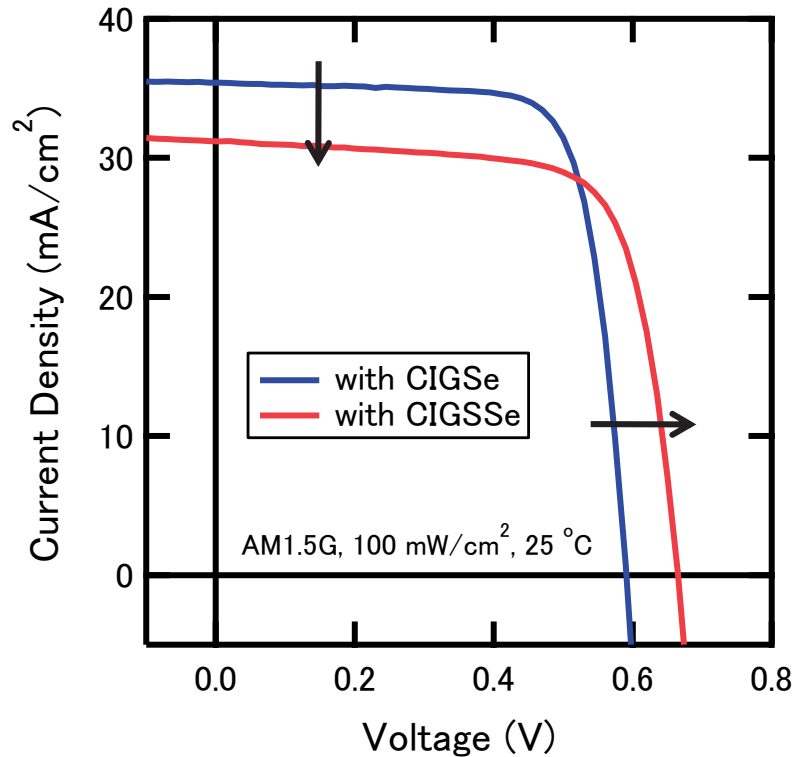
$Ga/(In+Ga)=0.24$
 $S/(S+Se)=0.43$
 $(E_g=1.39eV)$

粒径・表面ラフネスに違い ← 融点 $Cu_2Se: 523\text{ }^\circ C, Cu_2S: 813\text{ }^\circ C$

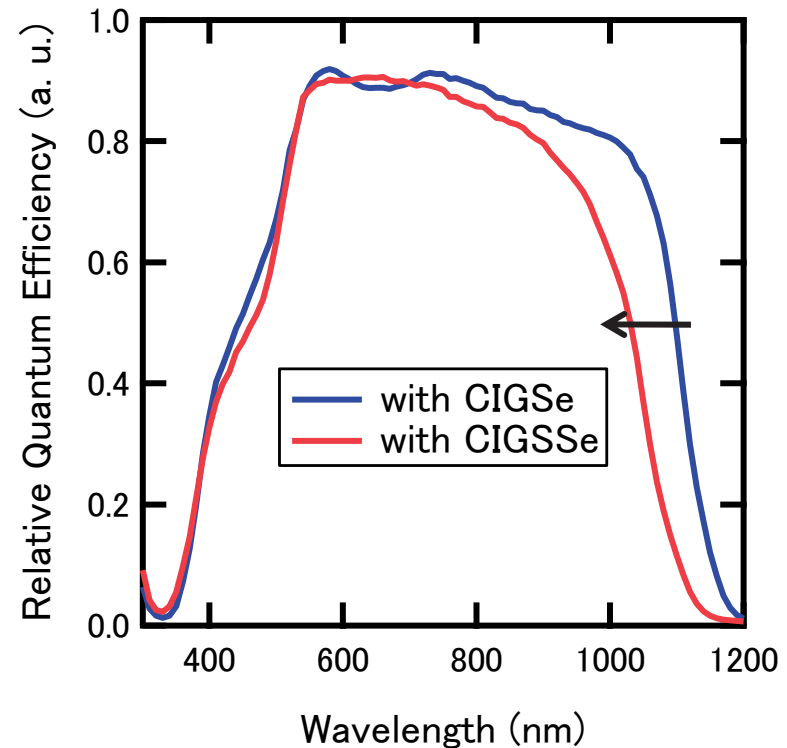
CIGSe・CIGSSe太陽電池特性

構成: n-ZnO/i-ZnO/CdS/CIG(S)Se/Mo/SLG(0.516cm²)

J-Vカーブ



外部量子効率



	Eff (%)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF	S/VI ratio	Ga/III ratio
CIGSe	15.8	0.59	35.4	0.76	0.03	0.19
CIGSSe	15.0	0.67	31.2	0.72	0.43	0.24

Sを加えることで
Voc↑, Jsc↓, Eg↑

まとめ

- Sの供給方法としてラジカルSセルを開発
- プラズマクラッキングによりSの反応性が向上
- CIGSSe膜を三段階法で作製
- Sの混入により若干粒径減少・表面ラフネス悪化
- Sの混入によりワイドギャップ化