

# CuGaSeS系太陽電池の開発

太陽光発電工学研究センター 先端産業プロセス・高効率化チーム

小牧弘典

komaki-hironori@aist.go.jp

## はじめに

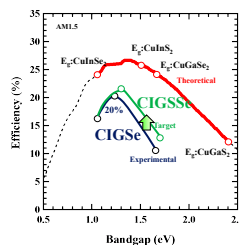
### CuInGaSSe(CIGSSe)とは

- ・高い吸収係数 ( $> 10^4 \text{ cm}^{-1}$ )
- ・太陽電池に適したバンドギャップ (CuInSe<sub>2</sub>:1.0eV, CuGaSe<sub>2</sub>:1.7eV, CuInS<sub>2</sub>:1.5eV, CuGaS<sub>2</sub>:2.4eV)
- ・組成制御によりCBMとVBM両方が制御可能

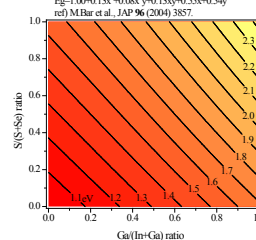
### 目的

- ・タンデム型セル用トップセルとしてのワイドギャップCGSSe太陽電池の開発と高効率化

### バンドギャップと変換効率

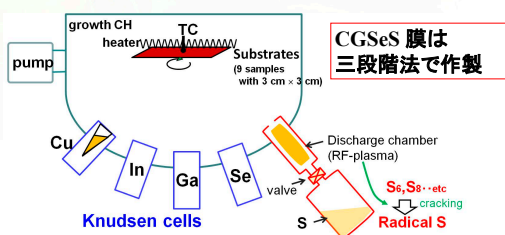


### バンドギャップマッピング



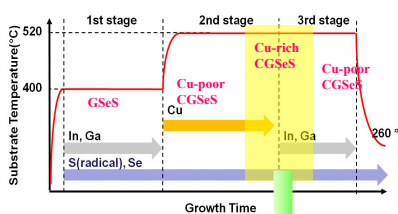
## CGSeS薄膜の作製と小面積セル作製プロセス

### MBE 装置

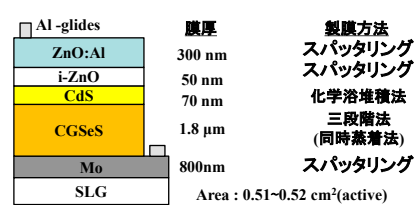


CGSeS 膜は三段階法で作製

### 成長シーケンス



### デバイス構造とプロセス



### 作製したCIGSeS膜の組成

Cu/III=0.9, Ga/III=1  
S/VI= 0.01 ~ 0.36

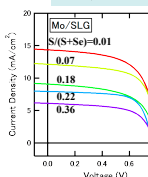
Sラジカルセルの開発  
蒸気硫黄(S<sub>6</sub>, S<sub>8</sub>, etc)はプラズマによりラジカルSにクラッキング

Sラジカルセルの利点  
・反応性と制御性の向上  
・使用原料の削減

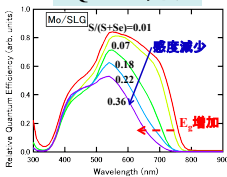
Cu<sub>2-x</sub>SeSの形成  
・高品質化  
・大粒径化

## 結果と考察 CuGaSeS膜特性と太陽電池特性 Ga/III=1, S/VI=0-0.36

### J-Vカーブ



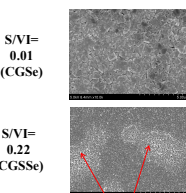
### EQEスペクトル



### 特性パラメータ

S/VI	η (%)	V <sub>oc</sub> (V)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF
0.01	7.32	0.814	14.35	0.63
0.07	6.57	0.813	12.11	0.67
0.18	4.32	0.802	9.07	0.59
0.22	4.20	0.768	7.93	0.69
0.36	3.00	0.783	6.11	0.63

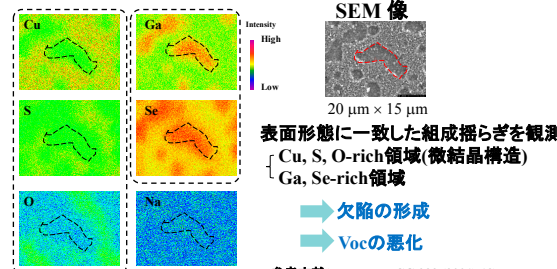
### CGSeS膜表面の形態



微結晶がCuGaSeS膜に点在

V<sub>oc</sub>が組成に依存しない  
長波長側感度に損失がある

### 各構成原子のマッピング(CGSeS 膜表面)

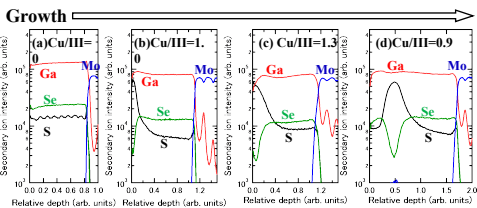


### まとめ

- ◆CGSeS膜及び太陽電池をSLG上に作製した。
- ◆V<sub>oc</sub>について  
◆S/VI比の増加と共にCGSeS膜のE<sub>g</sub>が増加した。しかしV<sub>oc</sub>は変化せず依存しなかった。
- ◆CGSeS膜の表面に組成揺らぎがみられた。(Cu, S, O-rich領域とGa, Se-rich領域に分離)
- ◆組成揺らぎが再結合要因になる欠陥を生じさせている可能性がある。
- ◆J<sub>sc</sub>について  
◆S/VI比の増加と共にJ<sub>sc</sub>が著しく低下した。(長波長側の感度が減少)
- ◆SとSeの深さ方向の組成分布がキャリアの流れを阻害し再結合を増加させている。

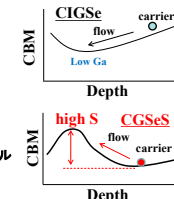
### SとSeの深さ方向組成分布形成過程

三段階法成長の各段階での組成分布をSIMSにより評価



- 一段階目: SとSeは均一に分布
- 二段階目: 高S/Se比の膜が表面に形成  
⇒Cu供給時はSeよりSが膜に取り込まれやすい
- 三段階目: 表面のS/Se比が低下  
⇒二段階目で形成された高S/Se比の領域が膜中に残存

### バンドプロファイル



S/Se比の高い領域はキャリアの流れを阻害  
長波長光で生じたキャリアの再結合の増加  
電流の低下