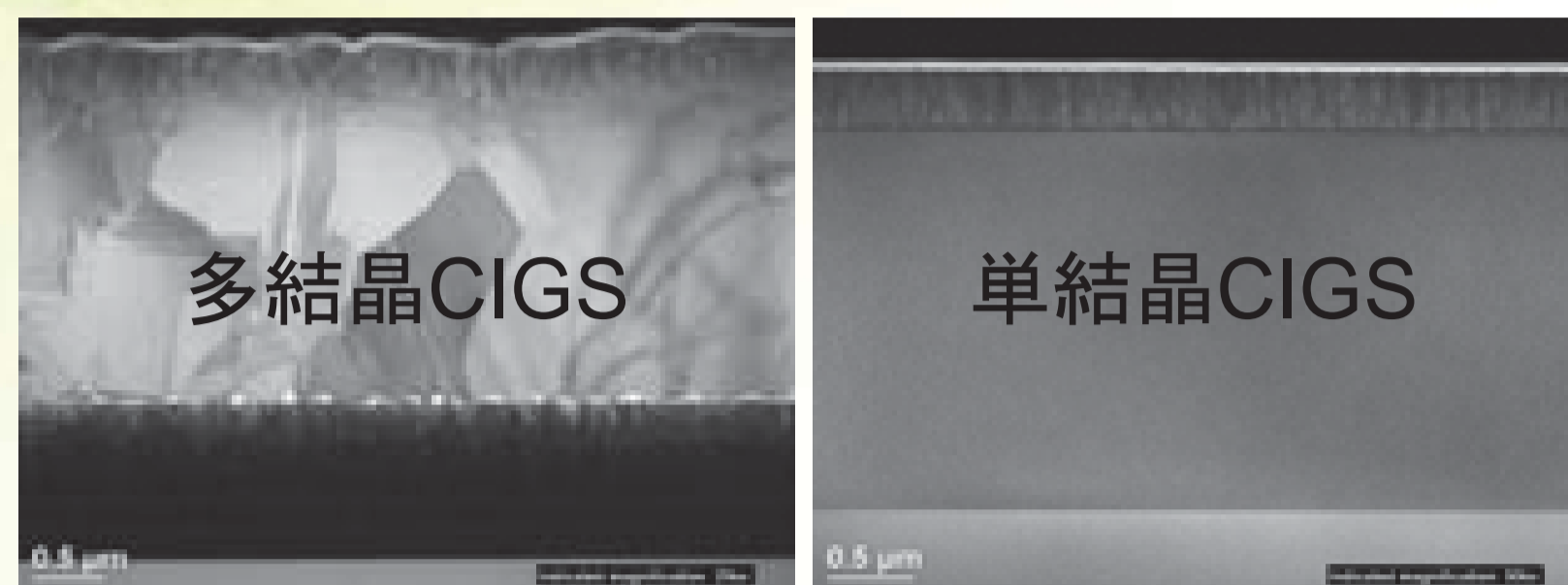
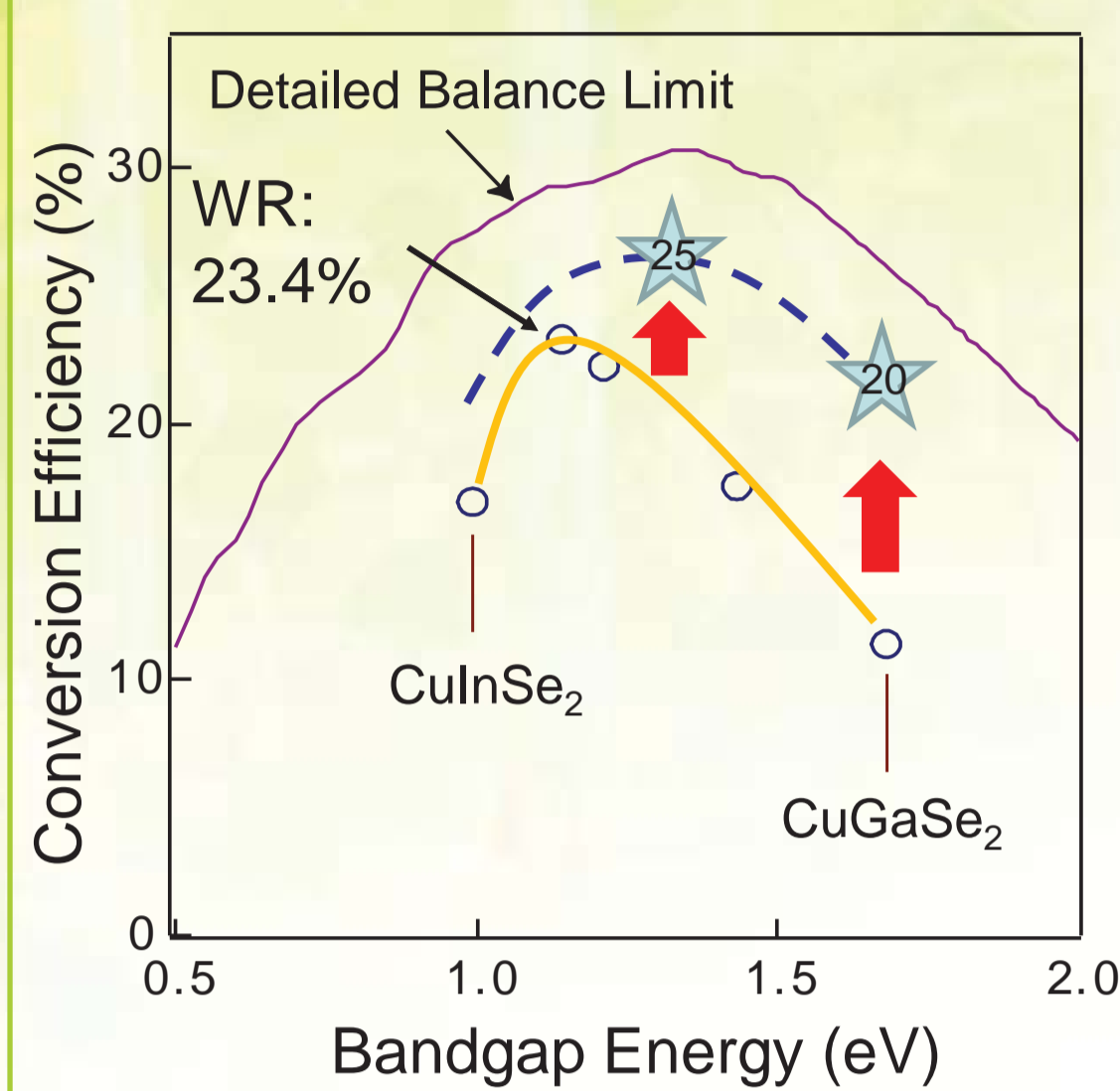


単結晶Cu(In,Ga)Se₂太陽電池のアルカリ金属添加効果

西永慈郎、石塚尚吾
産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門

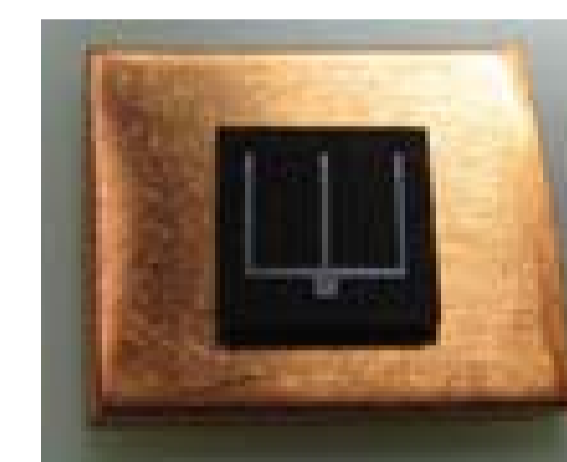
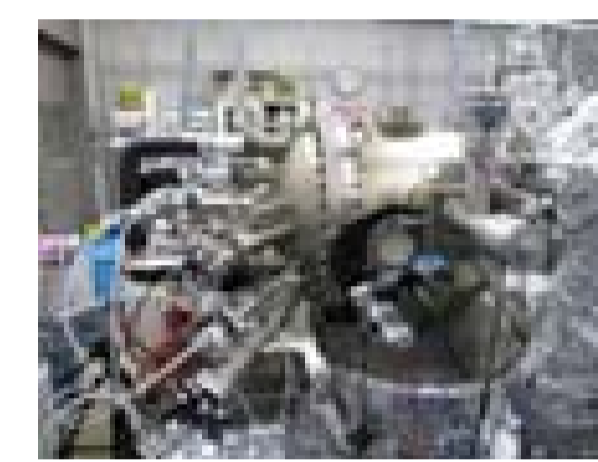
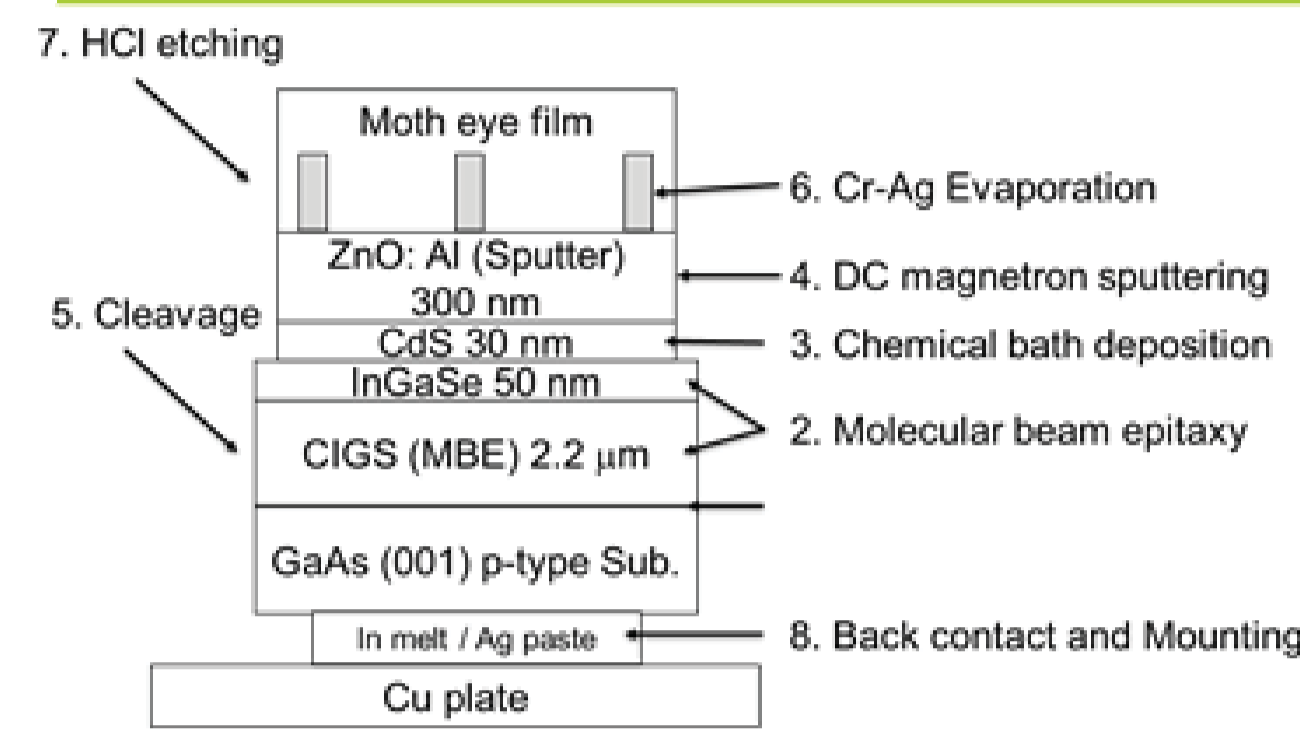
研究の目的



多結晶CIGS太陽電池と単結晶CIGS太陽電池を比較し、CIGS太陽電池の基礎的物性を理解する

アルカリ金属添加効果を検証

実験方法



CIGS solar cells

- 分子線エピタキシー(MBE)法による成膜 (Co-evaporation: Cu, In, Ga, Se)
- Ga濃度: 0.3, 0.7、Cu濃度: 0.85 - 1.0
- CIGS成膜中にNaF添加 (NaF doping)
- CIGS成膜後にKF処理 (KF-PDT)
- CdS/AZO/Al grid (Area: 0.25 cm²)

Measurements

- Ion gauge, STEM, TRPL
- J-V curves and C-V

結果 (Ion gauge, STEM)

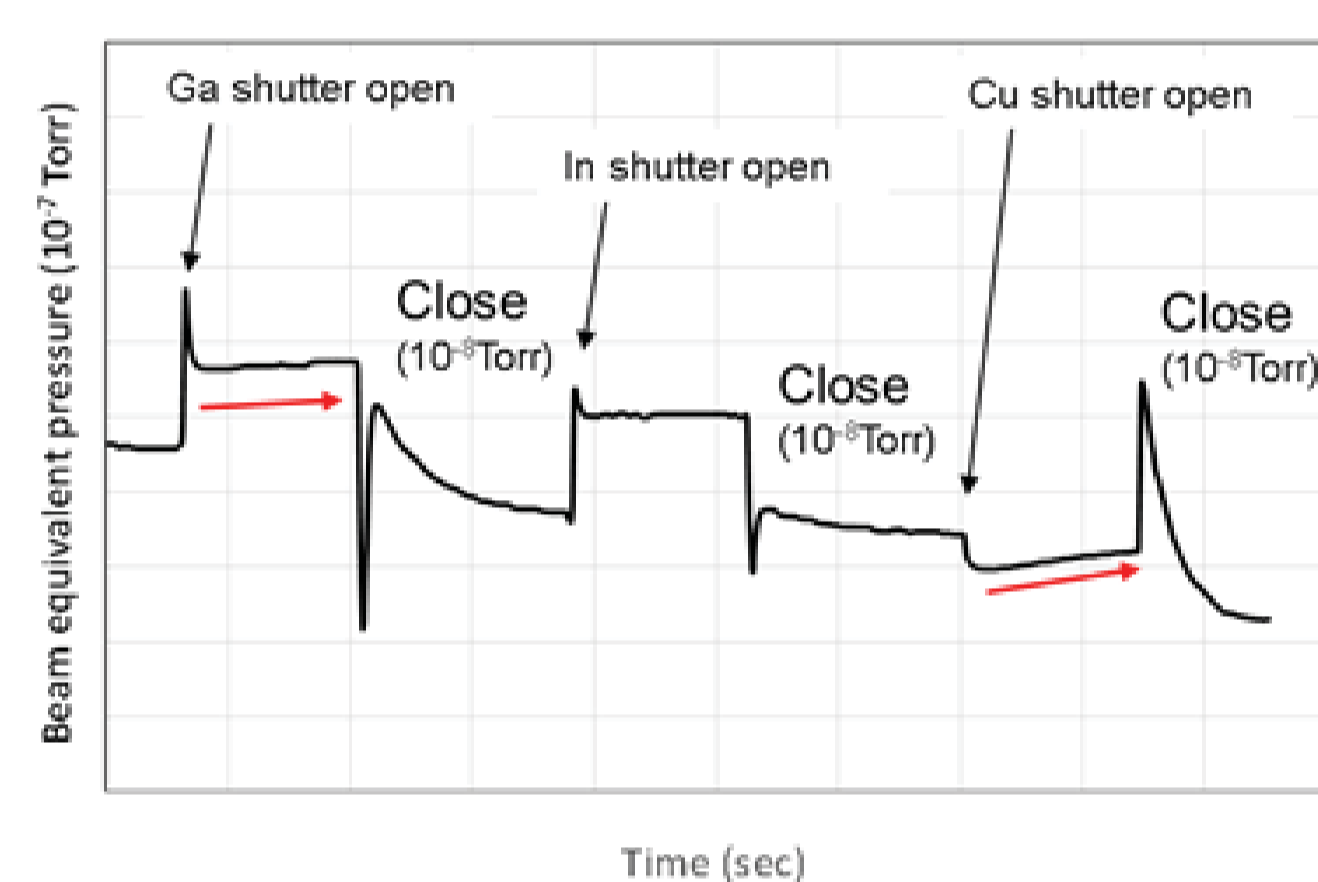
MBE法による組成制御

$$\frac{J_i}{J_{Ga}} = \frac{P_i \eta_{Ga}}{P_{Ga} \eta_i} \sqrt{\frac{T_i M_{Ga}}{T_{Ga} M_i}}$$

$$\frac{\eta_i}{\eta_{N_2}} = \left(\frac{0.6 Z_i}{14} + 0.4 \right)$$

P_i : Beam equivalent pressure
 M_i : Relative molecular mass
 T_i : Absolute cell temperature

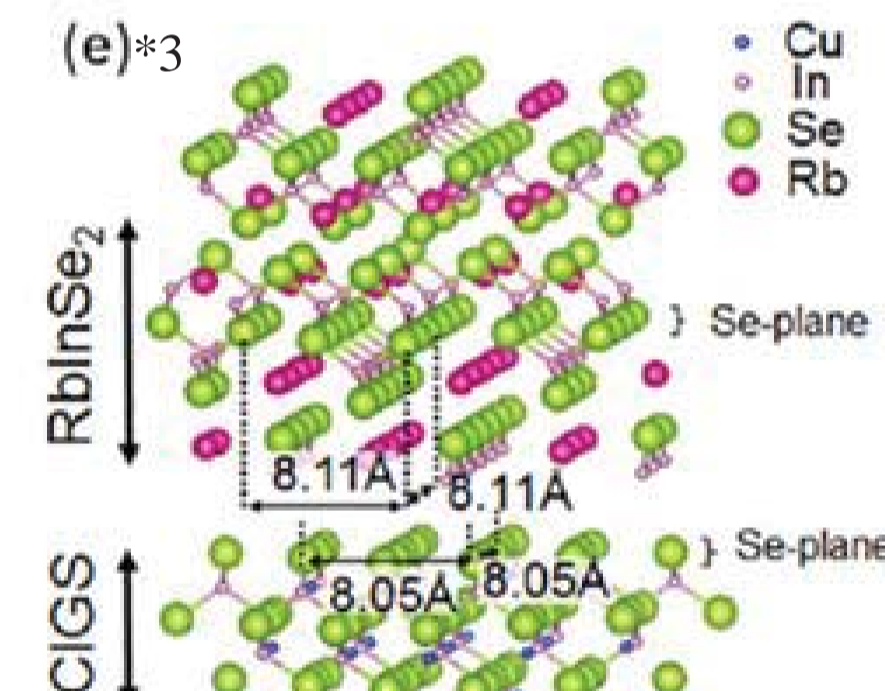
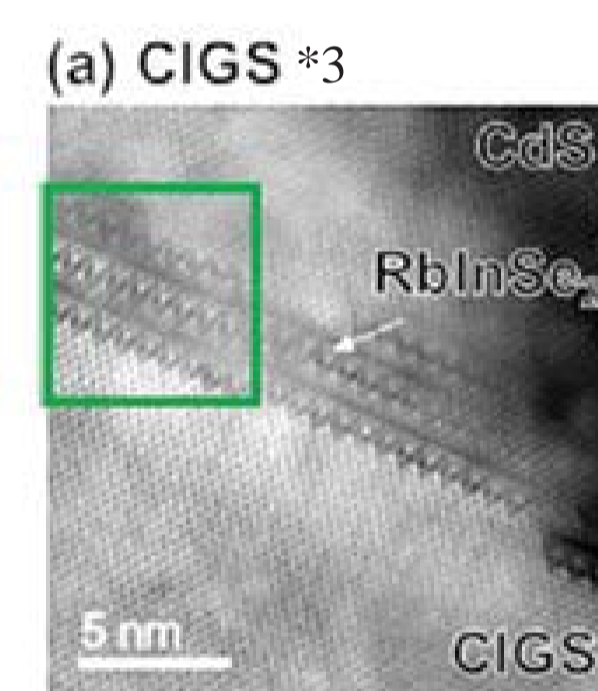
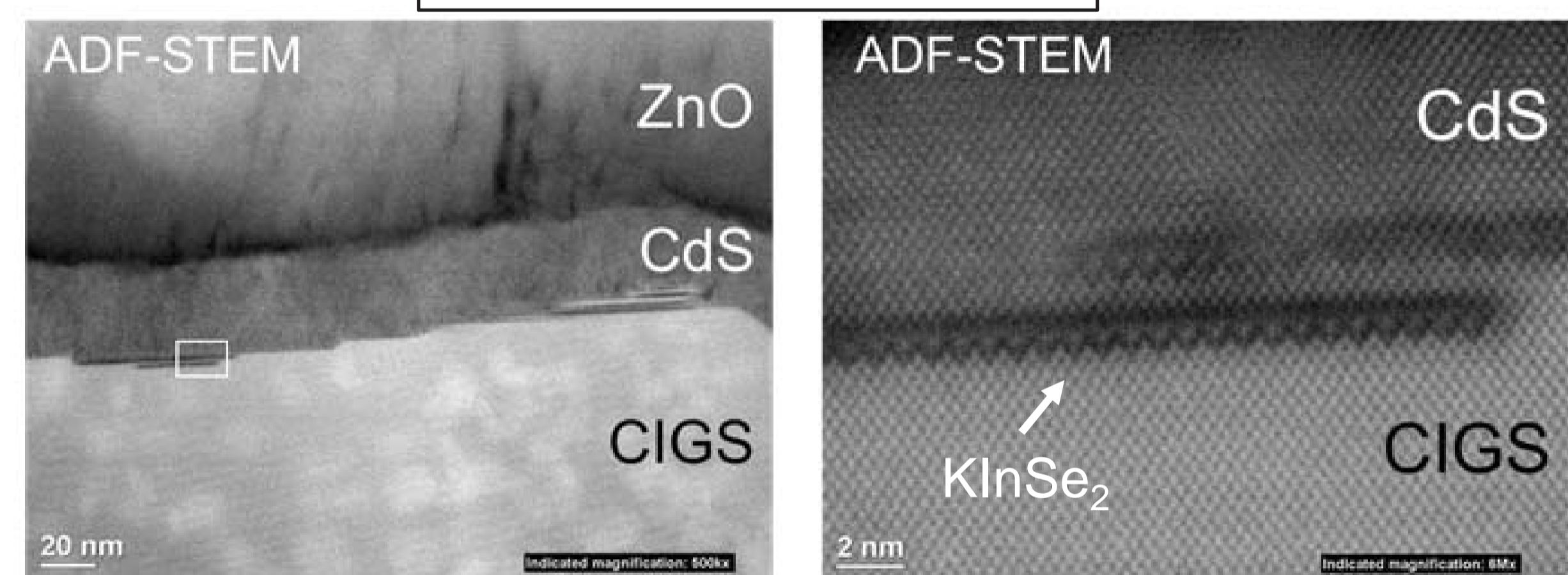
η_i : ionization efficiency
 Z_i : number of electrons



$$BEP = BEP_{open} - BEP_{close} - BEP_{extra}$$

- $T_{Ga} = 902^\circ\text{C}$, $P_{Ga} = 1.2 \times 10^{-7}$ Torr
 - $T_{In} = 778^\circ\text{C}$, $P_{In} = 5.4 \times 10^{-7}$ Torr
 - $T_{Cu} = 1180^\circ\text{C}$, $P_{Cu} = 1.33 \times 10^{-7}$ Torr
- $GGI_{flux} = 0.3$ } $CGI = 0.95$

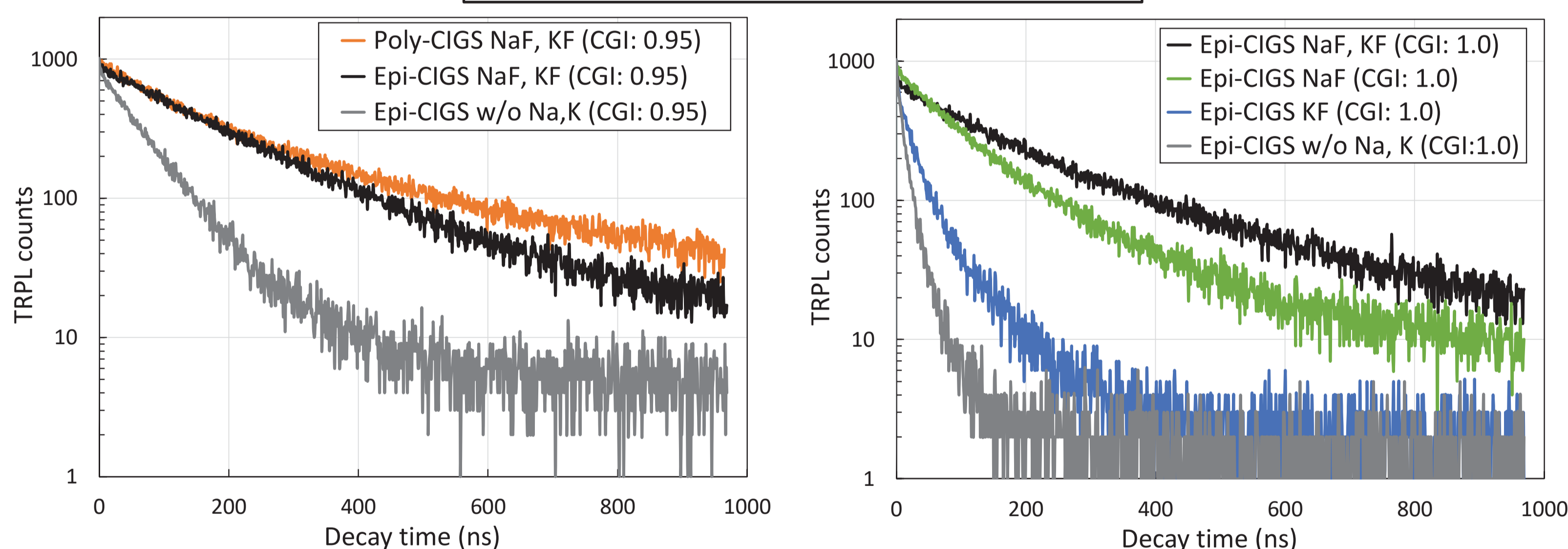
CdS/CIGS heterointerface



- 単結晶CIGSにも、KF-PDTによる高効率化は有効
- CdS/CIGS界面にK由来の化合物が形成されている (KInSe₂と考えられる)

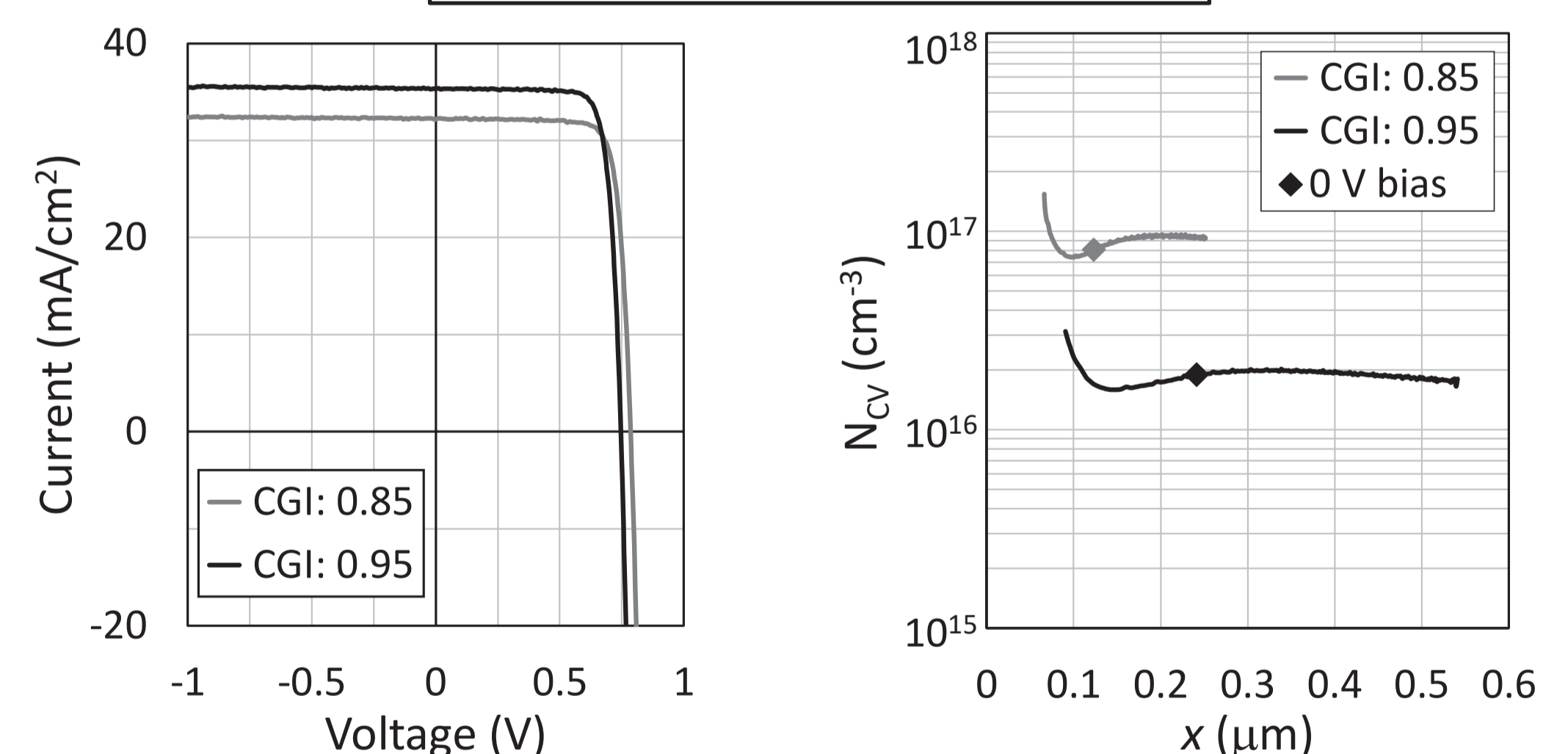
結果 (TRPL, J-V curves)

Time-resolved Photoluminescence



- NaF doping, KF処理によって高効率Poly-CIGS(変換効率22%)と同程度の発光寿命
- Cuスティキオメトリ単結晶CIGSであっても、アルカリ金属フリーでは発光寿命が短い

J-V curves and C-V curves



	Eff. (%)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF	E _g (eV)	V _{oc, deficit} (V)	R _{sh, dark} (Ωcm ²)	R _{ser, dark} (Ωcm ²)	N _{cv, 0V} (cm ⁻³)	J _{0, dark} (mA/cm ²)	n _{dark}
CGI: 0.85	20.6	0.785	32.3	0.813	1.23	0.445	1 × 10 ⁵	0.3	1 × 10 ¹⁷	9 × 10 ⁻¹⁰	1.3
CGI: 0.95	21.3	0.747	35.3	0.809	1.15	0.403	8 × 10 ⁴	0.2	2 × 10 ¹⁶	1 × 10 ⁻⁸	1.3

結論

➤ CIGSエピタキシャル成長

- ・ MBE法により、粒界のないCIGS層の成膜に成功
- ・ KF処理によって、CdS/CIGS界面にKInSe₂を確認

➤ 単結晶CIGSのアルカリ金属添加効果

- ・ NaF doping, KF処理による発光寿命の増大を確認
- ・ アルカリ金属添加によって変換効率21.3%を達成
- ・ 多結晶CIGSのアルカリ金属添加効果とほぼ同じ

参考文献

1. S. Niki, H. Shibata, P. J. Fons, A. Yamada, A. Obara, Y. Makita, T. Kurafuji, S. Chichibu, H. Nakanishi, Appl. Phys. Lett. **67**, 1289 (1995).
2. M. Fujita, A. Kawaharazuka, Y. Horikoshi, J. Cryst. Growth **378**, 154 (2013).
3. N. Taguchi, S. Tanaka, S. Ishizuka, Appl. Phys. Lett. **113**, 113903 (2018).
4. S. Siebentritt, N. Papathanasiou, J. Albert, and M. Ch. Lux-Steiner, Appl. Phys. Lett. **88**, 151919 (2006).
5. J. Nishinaga, T. Nagai, T. Sugaya, H. Shibata, S. Niki, Appl. Phys. Express **11**, 082302 (2018).
6. J. Nishinaga, T. Koida, S. Ishizuka, Y. Kamikawa, H. Takahashi, M. Iioka, H. Higuchi, Y. Ueno, H. Shibata, S. Niki, Appl. Phys. Express **10**, 092301 (2017).