

CIGS太陽電池の高効率化に 関する研究

太陽光発電研究センター
化合物薄膜チーム
上川 由紀子

近年のCIGS太陽電池の変換効率

Efficiency	Institute	成膜法	KF-PDT	Ref.
21.7	ZSW	蒸着法	有	[1]
21.0	Solibro	蒸着法	有	[2]
20.9	Solar Frontier	セレン化/硫化法	無	[3]
20.8	ZSW	蒸着法	有	[4]
20.7	NREL	蒸着法	有	[5]
20.4	EMPA	蒸着法	有	[6]

[1] ZSW press release, 22nd Sep 2014.

[2] D. Hermann et al., 40th PVSC IEEE (June 2014).

[3] M. Nakamura et al., 40th PVSC IEEE (June 2014).

[4] P. Jackson et al., Phys. Stat. Sol. PRL, **8**, 219 (2013).

[5] http://www.nrel.gov/ncpv/imges/efficiency_chart.jpg

[6] A. Chirilă et al., Nat. Mater, **12**, 1107 (2013).

CIGS高効率化とKF表面処理 (KF-PDT)

近年、CIGS太陽電池の変換効率の向上が加速し、変換効率20%以上の高効率CIGSの達成が多数報告されている¹。この背景には、スイス連邦材料試験研究所(EMPA)の研究チームにより提案されたKの添加制御によるブレークスルーがある^{2,3}。

KF-Post Deposition Treatment

CIGS表面にCu欠乏層が形成される³。

Cdの拡散が促進される^{3,4}。

→ *pn*接合の品質が向上する



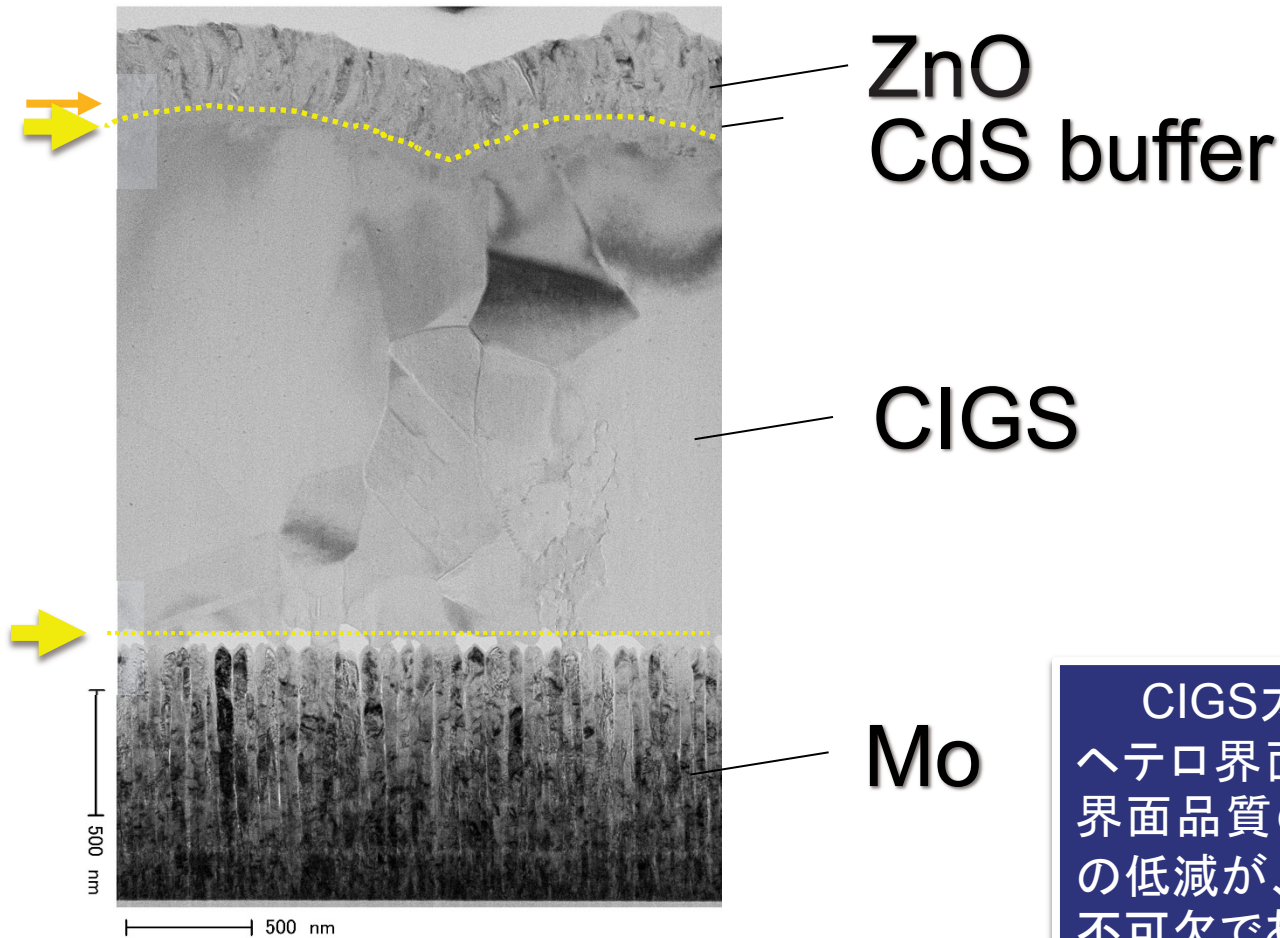
[1] Best research cell efficiencies; http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg

[2] EMPA press release, 2013/01/18.

[3] A. Chirilă *et al.*, Nature material, **12**, 1107 (2013).

[4] F. Pianezzi *et al.*, Phys. Chem. Chem. Phys. **16**, 8843 (2014).

CIGS太陽電池におけるヘテロ界面



CIGS太陽電池中には、複数のヘテロ界面が存在する。これらの界面品質の改善 and / or 影響の低減が、太陽電池の性能向上に不可欠である。

研究背景

CIGS系太陽電池、サブモジュールの高効率化

目標:25%

CIGS系太陽電池の高効率化

界面の高品質化

(a) ホモ接合の形成

(b) 界面欠陥の低減

結晶構造、バンドアライメントの不整合の低減

粒界の高品質化

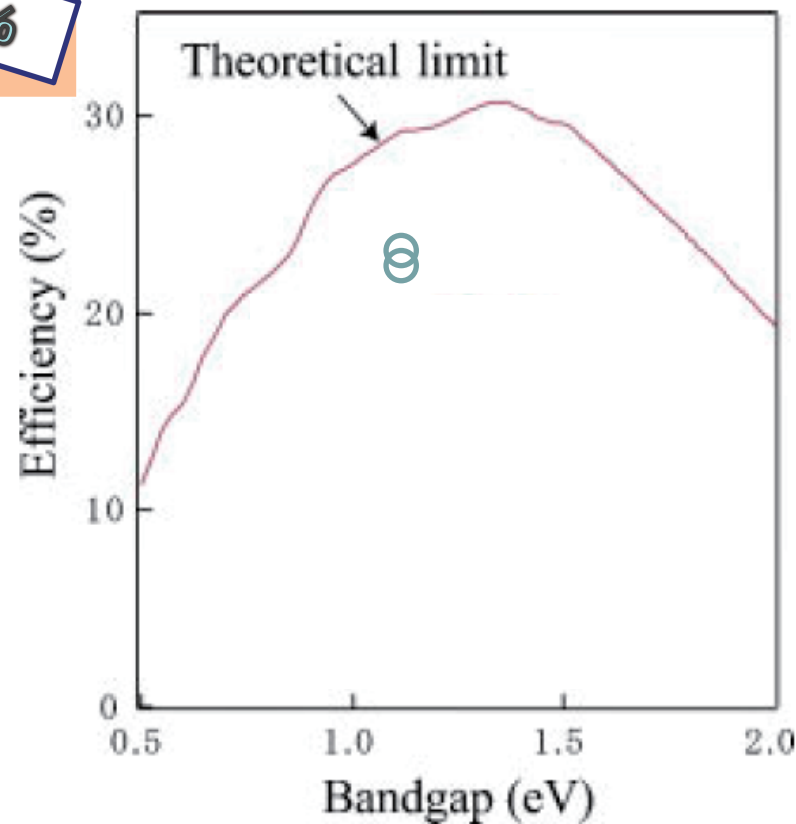
粒界不活性化、リーク源の低減

キャリア濃度の制御

真性欠陥の制御

混晶化過程の制御による欠陥形成の抑制、

欠陥の不活性化 and/or 低減

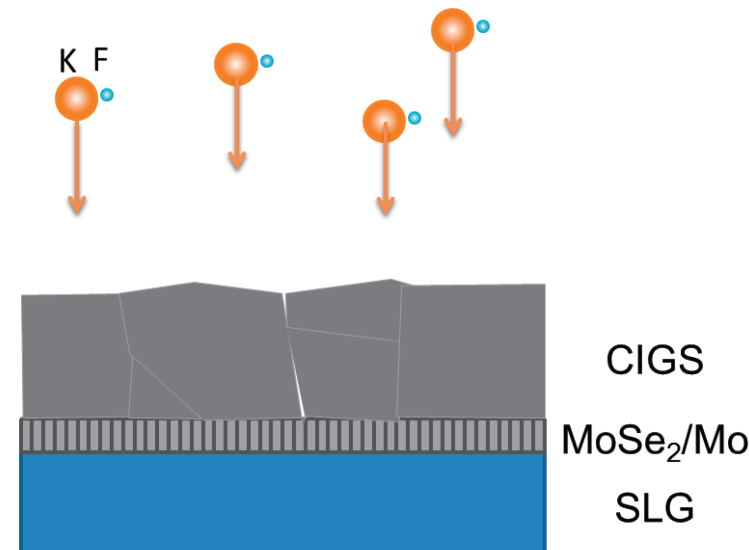


研究目的

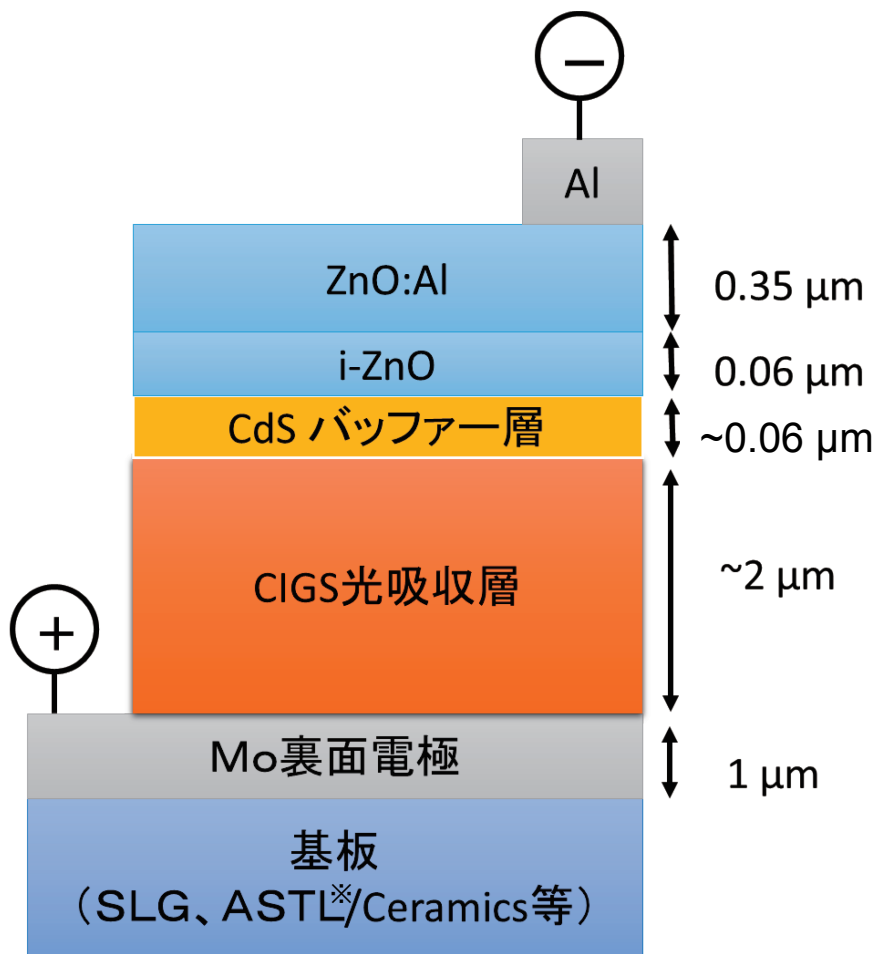
- 本研究では、特にCdS/CIGSのヘテロ界面品質向上を目指し、CIGS成膜後にKF表面処理(KF-PDT: KF-post deposition treatment)を行った。

研究内容

KF-PDT導入3段階法による
CIGS太陽電池の高効率化



太陽電池構造と成膜方法



成膜方法

インライン型 ミラートロンスパッタ法

インライン型 ミラートロンスパッタ法

化学溶液堆積法 (CBD)

同時蒸着法 (3段階法)

インライン型 DCスパッタ法

CIGS太陽電池の構造概略図

([※]ASTL: Alkali-silicate glass thin layer)

CIGS成膜条件: 3段階法

1段階: In, Ga, Se照射

2段階: Cu, Se照射

3段階: In, Ga, Se照射

KF-PDT: KF, Se照射

Growth condition

$P_{[Se]}/P_{([Ga]+[In])}$: 7~15

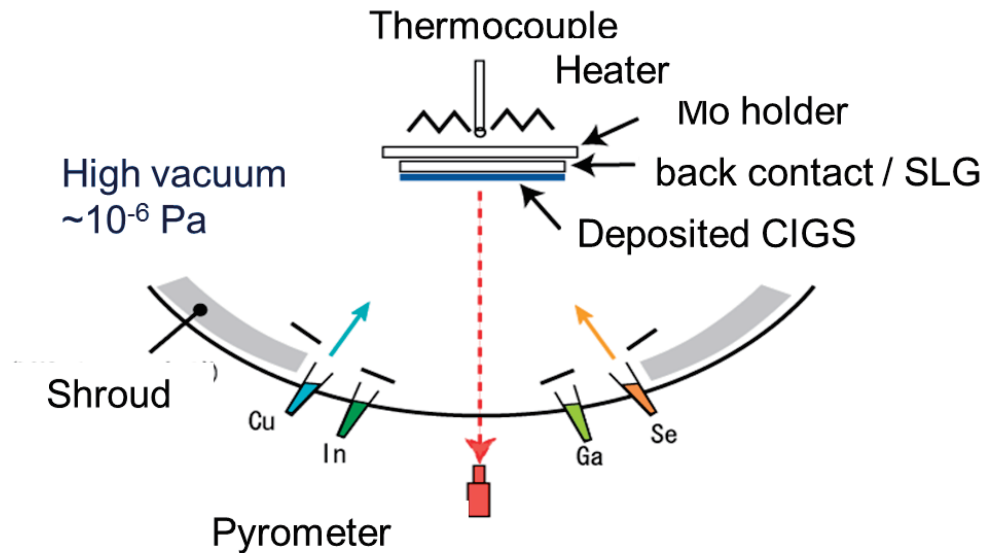
T_{SUB} : 350/550°C

Composition of the absorber layer

Ga/III ratio: 0.37~0.42*

Cu/III ratio: 0.85~0.95*

*MPMA (V_{acc} : 15kV)



KF-PDTとCIGS表面状態

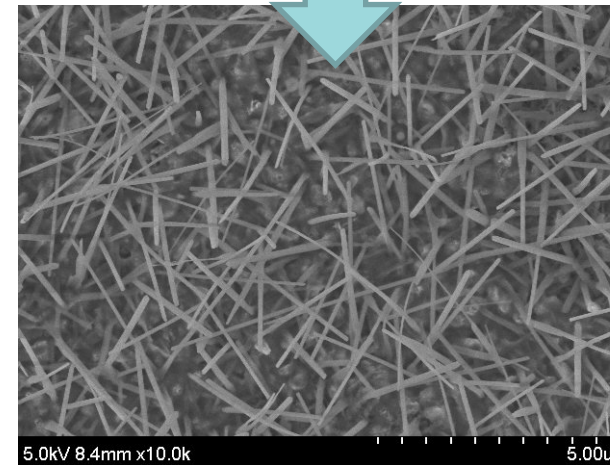
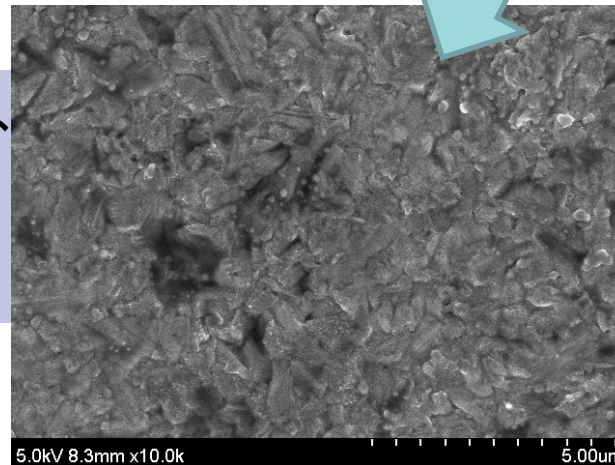
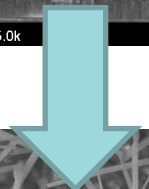
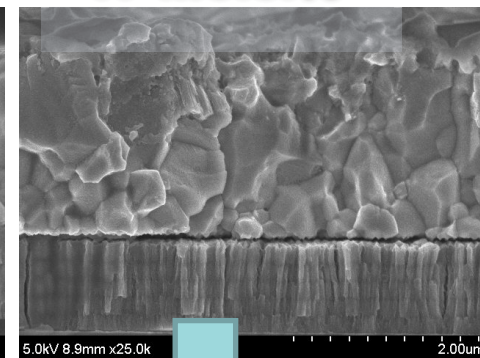
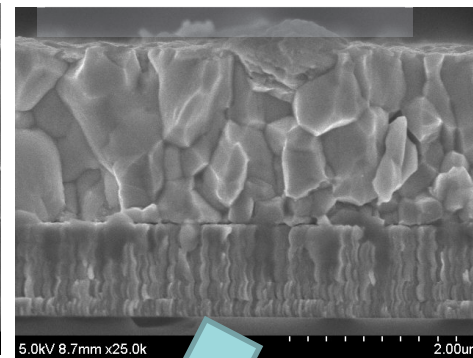
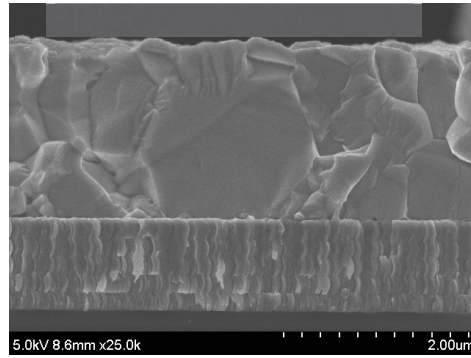
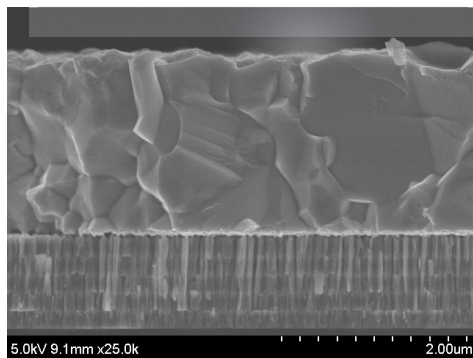
※EPMA(15kV)

K: 0.4 Mole.%

0.6 Mole.%

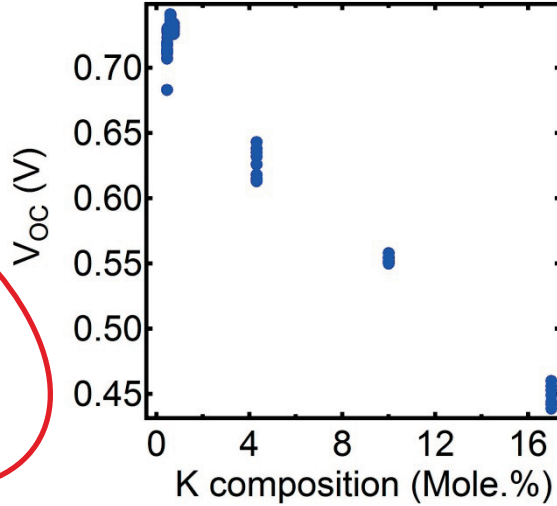
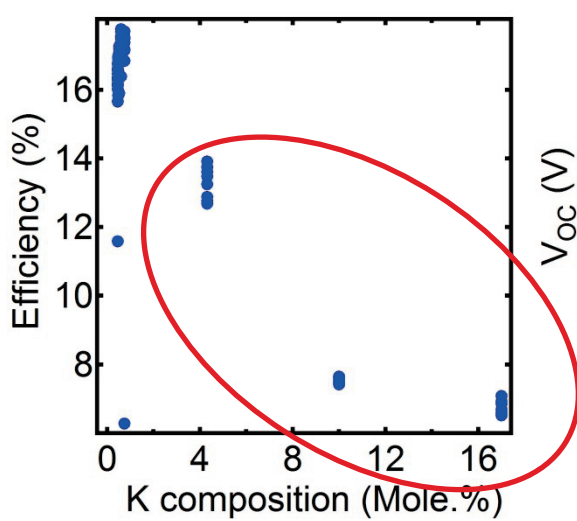
4.3 Mole.%

17 Mole.%

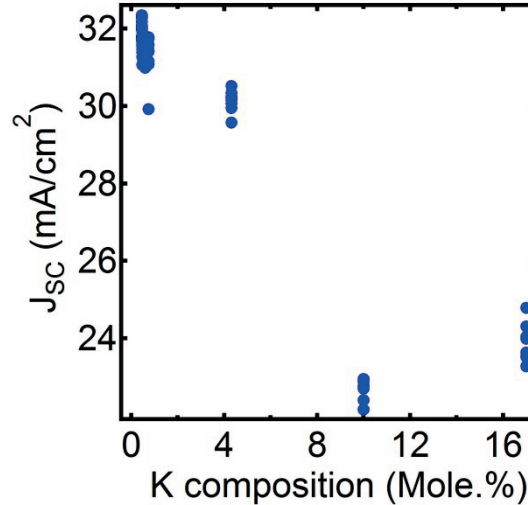
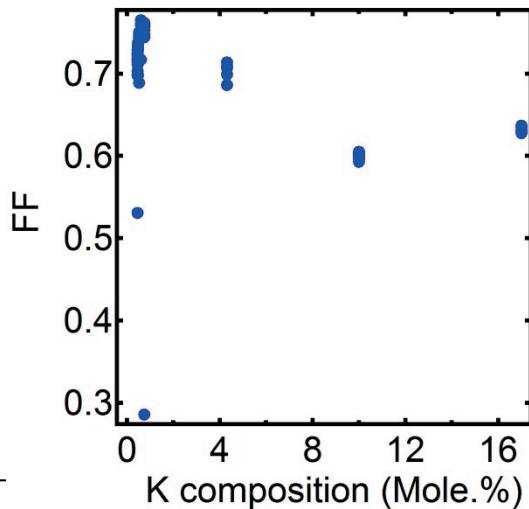
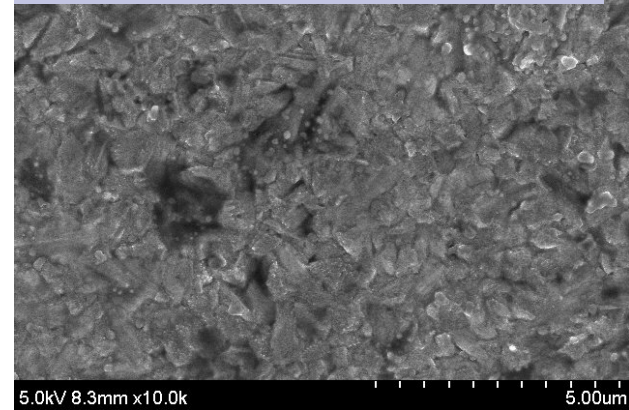


KF-PDT添加量が過剰な場合、ウィスカー成長や、腐食が見られるなど、CIGSの表面状態の劣化が見られた。

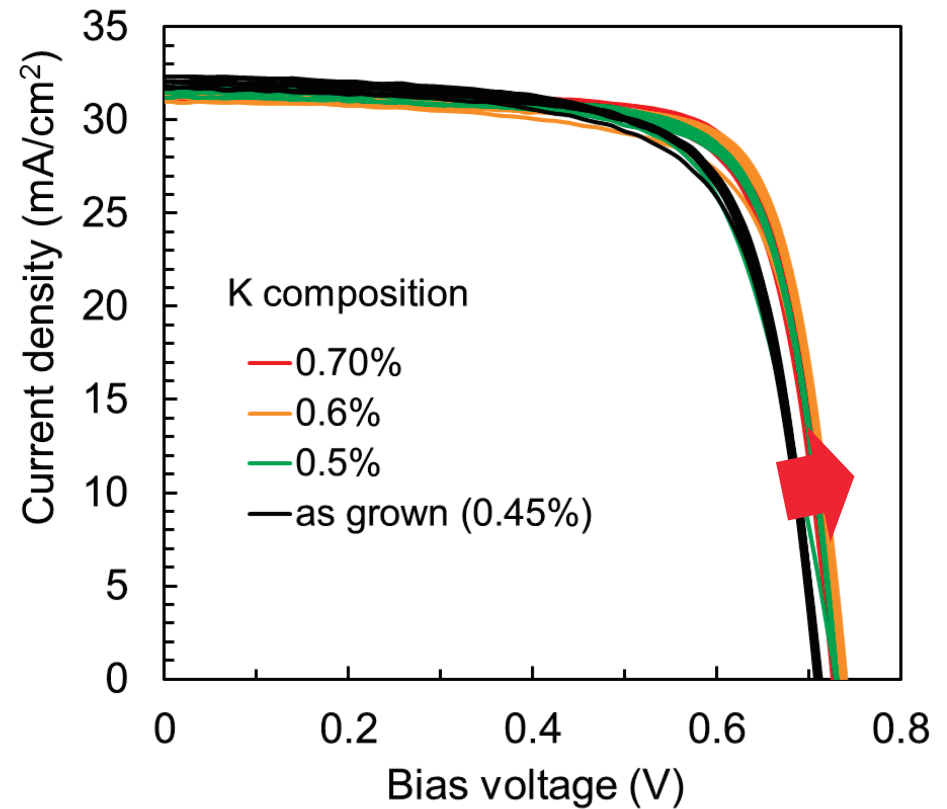
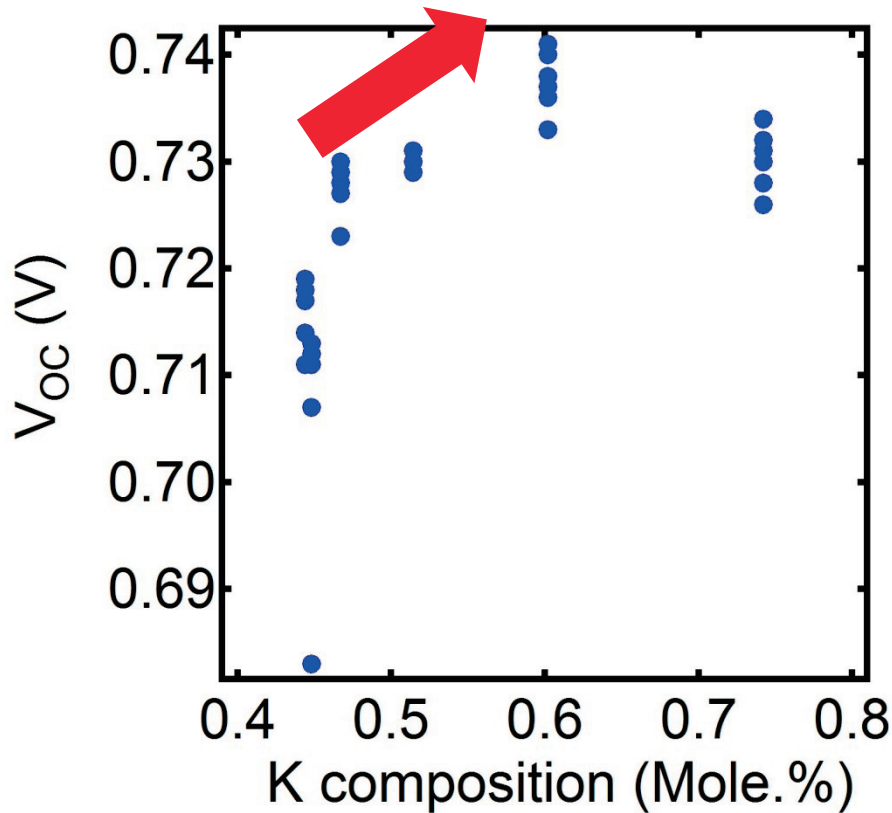
KF供給過剰の場合



K供給が過剰な場合
表面腐食やウィスカー成長
により、界面品質が低下。

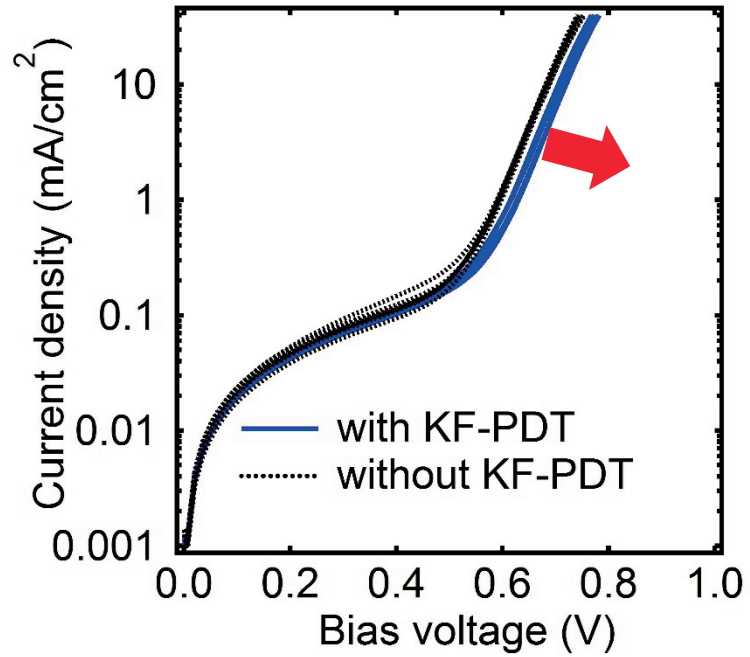


KF-PDT(最適条件付近)と 太陽電池特性



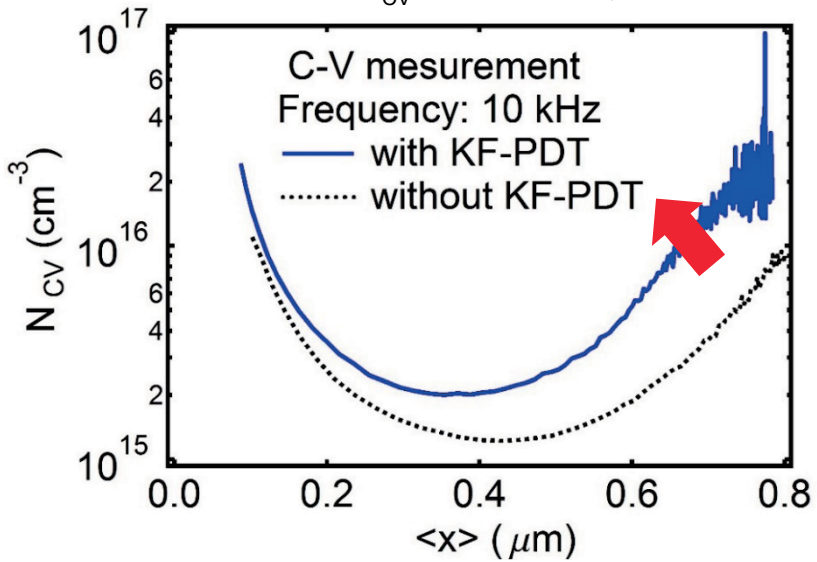
最適条件KF-PDTにより、開放電圧(V_{OC})の改善が見られた。

KF-PDTと太陽電池の特性



最適条件でのKF-PDTにより逆方向飽和電流密度(J_0)の改善、 N_{CV}^* の増加が見られた。

※ N_{CV} : CV法により算出される空間電荷密度



Without AR, in house

KF-PDT	Eff (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF
○	19.9	0.75	34.0	0.78
×	18.5	0.72	33.6	0.76
KF-PDT	Rsh (kOhm.cm ²)	Rs (Ohm.cm ²)	n	J_0 (mA/cm ²)
○	6.17	0.34	1.4	1.6E-08
×	6.10	0.44	1.4	5.8E-08

まとめ

KF表面処理(KF-PDT: KF-post deposition treatment)におけるKF添加量の最適化を行った。

【供給過剰な場合】

供給量が過剰な場合には、CIGS表面にウィスカー成長や表面腐食等が見られた。また、 pn 接合品質は劣化し、太陽電池特性は顕著に低下した。

【最適供給条件】

逆方向飽和電流密度(J_0)が改善した。(pn接合品質が向上)
CV測定により算出されるキャリア濃度(N_{CV})が増加した。

→ 開放電圧(V_{OC})が改善した。
