

カルコゲナイド薄膜材料と太陽電池 –Cu(In,Ga)Se₂ 系を中心に–

Chalcogenide Thin-Film Materials and Solar Cells –With a Focus on Cu(In,Ga)Se₂–

産総研 ○石塚 尚吾

AIST ○Shogo Ishizuka

E-mail: shogo-ishizuka@aist.go.jp

近年、Cu(In,Ga)Se₂ や CdTe に代表されるカルコゲナイド薄膜太陽電池の存在感が増している。特に、Cu(In,Ga)Se₂ 太陽電池の小面積セルのエネルギー変換効率は多結晶シリコン太陽電池を超えるまでになり [1]、今後益々高効率・低コスト化に向けて研究開発の進展に期待は高まる。Cu(In,Ga)Se₂ だけでなく、多様な材料設計が可能なカルコゲナイドは多くの派生材料の創生と応用可能性を提案することができ、将来さらに有望な新材料の出現も期待できる。一方で、広範囲なバンドギャップ制御が可能な材料群でありながら、理論値に見合った高い開放電圧の実現が困難であるなど、課題も残されている。表 1 に示されるように、この材料系では GaAs や GaInP のように 1 V を超える大きな開放電圧と高い変換効率とを両立する太陽電池はまだ得られていない。また、最も成功している材料の一つである Cu(In,Ga)Se₂ であっても、アルカリ効果や粒界・界面欠陥の解明など、基礎研究における一層の成熟が必要とされている。ここでは、カルコゲナイドの中でも、特に Cu(In,Ga)Se₂ 系材料に焦点を当て、さらなる発展に向けた現在の主な研究課題と派生材料を含めた今後の展望を議論する。

表 1：主なカルコゲナイド系太陽電池の小面積セルの性能

Material	η (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	Area (cm ²)	Institute	Test center	Ref.
Cu(In,Ga)Se ₂	20.8	0.7574	34.77	79.2	0.5005	ZSW	FhG-ISE	[1]
CuInSe ₂	15.0	0.491	40.58	75.15	0.403	NREL	NREL	[2]
CuGaSe ₂	10.98	0.901	17.09	71.3	0.499	AIST	AIST	[3]
Cu(In,Ga)(S,Se) ₂	19.7	0.683	37.06	77.8	0.496	Solar Frontier	AIST	[4]
Cu(In,Ga)S ₂	12.9	0.835	21.2	73	0.54?	HZB	FhG-ISE	[5]
Cu(In,Al)Se ₂	16.9	0.621	36.0	75.5	-	U. Delaware	NREL	[6]
Ag(In,Ga)Se ₂	10.7	0.976	19.2	57.2	0.185	Tokyo Tech	-	[7]
Cu ₂ ZnSnS ₄	8.5	0.708	16.83	70.9	0.2382	Toyota C. R&D Lab.	AIST	[8]
Cu ₂ ZnSnSe ₄	9.42	0.367	37.5	68.5	-	NREL	NREL	[9]
Cu ₂ ZnSn(S,Se) ₄	12.6	0.5134	35.2	69.8	-	IBM	Newport	[10]
SnS	2.04	0.244	19.42	42.97	0.71	Harvard U.	NREL	[11]
Cu ₂ SnS ₃	2.84	0.249	29.3	39	-	Nagaoka NCT	-	[12]
Cu ₂ (Sn,Ge)S ₃	6.01	0.355	30.5	55.6	0.17?	Toyota C. R&D Lab.	-	[13]
CdTe	19.6	0.8573	28.59	80.0	1.0055	GE	Newport	[8]
Cu ₂ O	3.83	0.69	10.1	55	-	Kanazawa Inst. Tech.	-	[14]
Cu ₂ S	9.15*	0.516*	21.8*	71.4*	0.884	U. Delaware	-	[15]

*Measured under 87.9 mW/cm² illumination.

[1] ZSW press release Oct. 24 (2013). [2] Conf. record 31st IEEE PVSC (2005) pp. 299. [3] APL **103** (2013) 143903. [4] Solar Frontier press release Jan. 8 (2013). [5] PIP **21** (2013) 88. [6] APL **81** (2002) 1350. [7] JJAP **52** (2013) 055801. [8] PIP **22** (2014) 1. [9] JAP **114** (2013) 084507. [10] Adv. Energy Mater. DOI: 10.1002/aenm.201301465. [11] APL **102** (2013) 053901. [12] JJAP **51** (2012) 10NC34. [13] APEX **6** (2013) 045501. [14] APEX **4** (2011) 062301. [15] TSF **63** (1979) 203.