

3 페로브스카이트 태양전지의 상용화를 위한 대면적 코팅 및 신뢰성 연구 동향

글_이수용 석사과정 | 고려대학교 미세소자협동과정

송상우 선임연구원 | 코텍에너지 연구소

1. 서론

산업혁명 이후에 인류는 화석연료를 주요 에너지원으로 사용해 왔으며, 이로 인하여 인류의 삶의 질은 향상되었다. 하지만, 화석연료의 고갈과 환경오염의 문제로 인하여 새로운 친환경적인 에너지원을 필요로 하고 있다. 기존의 화석연료를 대체하기 위하여 태양광, 풍력, 조력, 연료전지 등의 신재생에너지에 대한 연구가 많이 수행되고 있으며, 무한한 에너지원인 태양을 기반으로 한 태양광에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

태양전지는 기존의 성숙한 반도체기술을 기반으로 만들어진 실리콘태양전지가 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 실리콘태양전지가 이론적 한계 효율에 가까워져 원가절감 요인이 줄어들고 있어 새로운 태양전지에 대한 연구가 필요로 하고 있다. 이에 따라 유기태양전지, 염료감응 태양전지와 같은 차세대 태양전지에 대한 연구가 진행되었으나, 실리콘 태양전지나

박막 태양전지와 비교하여 아주 낮은 10% 초반의 효율에 그치는 한계가 있다 [1].

페로브스카이트 격자구조는 ABX_3 의 분자식을 보이며, 사용되는 재료에 따라 열전자, 압전, 반도체 및 초전도체 등의 다양한 특성을 나타낸다. 페로브스카이트는 광생성-전자분리, 낮은 결합에너지 및 캐리어확산 길이와 같은 광전자 소자 적용에 적합한 특성을 갖고 있기 때문에, 태양전지 적용을 위한 연구가 많이 수행되고 있다 [2,3].

페로브스카이트 태양전지는 염료감응 태양전지와 유사한 형태로 연구가 시작되었다. 페로브스카이트 물질은 태양전지에서 광흡수를 담당하고 있으며, $CH_3NH_3PbX_3$ ($X=Cl, Br, I$) 같은 ABX_3 의 분자식에서 A는 유기 양이온, B는 금속 양이온, X는 할로젠 음이온으로 구성된다. 태양전지에 적용된 페로브스카이트 구조는 다음과 같은 특성을 가지고 있어 높은 광전 변환 효율을 보이고 있다 [4,5].

- (i) 전자, 정공의 이동도, 확산 길이 향상
- (ii) 표면에서 낮은 재결합률
- (iii) 높은 광 흡수율
- (iv) 구조적 결함에 대한 높은 내성

따라서, 지난 2009년 3.81%의 효율을 기록한 이후, 매우 빠르게 증가하여 10년 만에 23.3% 효율을 달성하였다 [1,6].

그림 1은 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 를 적용한 페로브스카이트 태양전지의 제작 개념도를 보여주고 있다. 페로브스카이트 태양전지의 장점으로서는 진공이 필요 없고, 저온에서 용액공정이 가능하고, 유연기판을 이용한 롤투롤(roll-to-roll) 공정이 가능하다는 것이다.

효율 측면만 보면 페로브스카이트 태양전지는 현재 상용화가 진행되고 있는 CIGS(22.6%), CdTe(22.1%)를 넘어섰지만, 아직 대면적 모듈 제작이나 안정성 확보 등에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 글에서는 페로브스카이트 태양전지를 상용화하기 위해 현시점에 가장 필요한

요소인 대면적 코팅기술과 신뢰성 향상 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 페로브스카이트 태양전지의 대면적 코팅

2.1 대면적 코팅의 중요성

현재 연구되고 있는 페로브스카이트 태양전지는 광전환 효율은 높음에도 불구하고, 작은 액티브 면적으로 인해 일반적으로 사용되고 있는 휴대폰이나 LED Light 정도의 전자기기에 도 직접 사용이 어렵다. 따라서 페로브스카이트의 상용화를 위해 대면적 모듈화가 필수적이나, 태양전지의 면적이 증가함에 따라 박막에 편향 등의 결함이 발생하여 효율이 급격하게 감소하는 문제점이 발생하였다. 이를 해결하기 위해서 태양전지의 효율을 유지하면서 대면적화 시키는 기술이 중요하다.

기존에는 스핀코팅을 이용하여 페로브스카이트 태양전지의 제작이 주로 이루어졌다. 하지만 스핀코팅은 패터닝이 불가능하고, 재료 낭비가 심하며, 인라인 형태의 양산공정에 적합하지 않기 때문에 다른 대면적 코팅기술이 필요하다.

대면적 코팅의 개념은 도장 및 인쇄산업에서 고도로 발달되어 왔으며, 다양한 코팅기술 중 에어브러쉬, 초음파, 닥터블레이드, 슬롯다이, 잉크젯 등의 방법이 페로브스카이트 태양전지의 대면적 코팅을 위하여 연구되고 있다. 표 1에서는 앞에서 언급한 방법들로 제작된 페

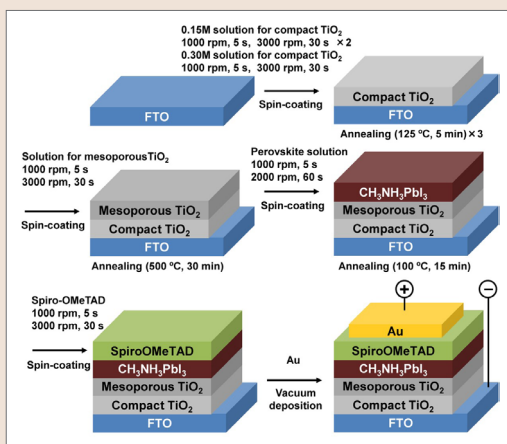


그림 1 ▶ Schematic illustration of the fabrication of photovoltaic cells using $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ and TiO_2 .

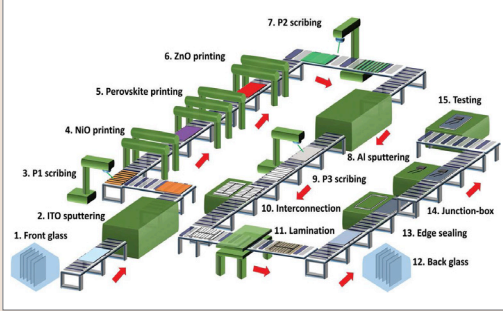


그림 2 ▶ Flow diagram of manufacturing process for perovskite solar modules.

표 1 ▶ Champion cell efficiencies reported according to fabrication method. All sample size under 1cm^2 .

Method	PCE(%)	Ref.
Doctor blade	15.1	[8]
Slot-die	14.7	[9]
Airbrush	18.3	[10]
Ultrasonic	16.0	[11]

로브스카이트 태양전지의 효율을 보여주고 있다. 또한 그림 2는 페로브스카이트 태양전지의 상용화를 위한 인라인 제작 공정의 개념도를 보여주고 있다 [7].

2.2 슬롯-다이 방식을 이용한 대면적 코팅

슬롯-다이 코팅은 기능성 박막을 코팅하는데 널리 사용되고 있는 방법이다. 블레이드 코팅과 기계적으로 유사하지만, 패터닝이 가능하고 구조가 간단하다는 장점이 있다. 또한 기판에 코팅되기 전까지 대기 중에 노출되는 시간이 짧다는 것이 페로브스카이트 태양전지에 적용할 때 큰 장점이 된다.

그림 3은 슬롯-다이 코팅의 개념도를 보여주고 있다. 일반적으로 필름의 두께는 공급되는 잉크의 양에 따라 결정되나, 잉크는 펌프에 의

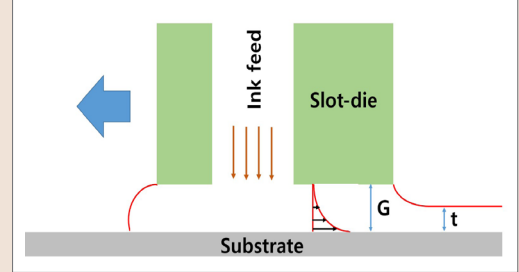


그림 3 ▶ Schematic cross section sketch of a slot-die coating process. Velocity profiles for fully developed flow are indicated by black arrows.

해 유량이 조절되고 있어서, 코팅되는 폭과 이동속도에 의해 필름의 두께가 결정된다 [12]. 박두진 박사 등 많은 연구팀에서 슬롯-다이를 이용하여 페로브스카이트 태양전지에 대한 연구를 수행하고 있다 [9, 13-16].

2.3 스프레이 방식을 이용한 대면적 코팅

스프레이 방식을 이용한 코팅은 대면적에 용액을 고르게 분포할 수 있는 일반적인 방법이다. 슬롯-다이 코팅과 비교하여 스프레이의 가장 큰 장점은 곡면을 코팅할 수 있다는 점이다. 단점으로는 분무된 잉크가 기관에 도달하기까지 많은 거리를 이동해야 하며, 막이 드랍릿(droplet)에 의해 형성되기 때문에 막의 평형 시간이 오래 걸릴 수 있다. 스프레이 코팅에는 에어브러쉬, 초음파 방식 등이 있으며, 페로브스카이트 태양전지를 제작하기 위해서는 다양한 변수를 최적화 시켜야 한다.

에어브러쉬 코팅은 액상의 잉크가 노즐을 통하여 미세한 드랍릿의 형태로 분무되고, 고압의 가스에 의해 기관으로 이동하게 된다. 페로브스카이트 막의 품질을 향상시키기 위해서는 잉크가 노즐을 통해 미세분무가 되어야 하

며, 이를 위해서는 고압의 가스가 필요하다. 따라서, 노즐과 기판사이의 거리가 너무 짧으면, 막이 건조되기 전에 가스의 영향을 받게 된다. 또한 가스의 유량이 많으면 잉크가 코팅영역의 바깥쪽으로 과도하게 산란될 수 있다. Chu 연구팀 등은 에어브러쉬 코팅 방식을 적용하여 페로브스카이트 태양전지 연구를 수행하고 있다 [10, 17-19].

초음파 코팅은 에어브러쉬 코팅과 비슷한 원리로 동작하지만, 프로세스에 차이가 있다. 잉크가 주파수에 따라 진동하는 표면과 접촉하게 되고, 잉크에 충분한 힘이 가해지면 드랍릿을 형성하게 된다. 드랍릿의 크기는 주파수와 잉크의 특성에 따라 크게 변하게 된다. 에어브러쉬 코팅에 비하여 다양한 조건의 코팅이 가능하며, 높은 품질의 코팅이 요구되는 경우에 더 적합하다. Das 연구팀 등에서 초음파 코팅을 이용하여 페로브스카이트 태양전지를 연구하고 있다 [11, 20-23].

2.4 프린팅 방식을 이용한 대면적 인쇄

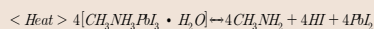
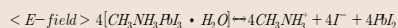
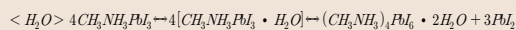
프린팅 방식으로는 스크린프린팅, 잉크젯 방식이 있으며, 이들이 블레이드나 스프레이를 이용한 코팅방법과 구별되는 특징은 정밀한 패턴 인쇄가 가능하다는 점이다. 이러한 장점은 페로브스카이트 태양전지 제작에 유용하게 적용될 수 있다 [24-26].

프린팅의 가장 큰 장점은 패턴링 능력이다. 이는 박막 태양전지 용으로 개발된 저가의 레이저 기반의 패턴링 기능이 페로브스카이트 태양전지의 패턴링에도 쉽게 적용 가능할 것으로 판단되기 때문이다.

3. 페로브스카이트 태양전지의 신뢰성

3.1 페로브스카이트 태양전지의 열화 메커니즘

페로브스카이트 태양전지는 수분, 전기장, 열 등의 외부 요인으로 인하여 열화되며, 아래 식은 페로브스카이트의 분해 매커니즘을 보여주고 있다 [27].



따라서 페로브스카이트 태양전지의 안정성을 향상시키기 위하여 재료 및 구조를 변경시키는 다양한 연구가 진행되고 있다. 먼저 ABX_3 인 페로브스카이트 구조 중, A 또는 X를 치환하여 자체적으로 안정성을 높이는 방법으로 현재 결합에너지를 높이기 위해 할라이드계 이온인 I를 더 작은 이온반경을 가지는 Br으로 치환시키는 연구가 발표되었다 [28]. 표 2는 다양한 이온들의 이온반경을 보여주고 있다 [29].

다른 방법으로는 페로브스카이트 구조를 인버티드로 변환시켜 레귤러 형의 구조적인 문제로 발생하는 히스테리시스 현상을 감소시키는

표 2 ▶ Effective ionic radii has been considered for coordination number of 6.

rPb ^a	X ^a	r _A for t = 0.8	r _A for t = 1.0
Pb ²⁺ (1.19 Å)	Cl (r _{Cl} = 1.81 Å)	1.58 Å	2.43 Å
	Br (r _{Br} = 1.96 Å)	1.60 Å	2.50 Å
	I (r _I = 2.20 Å)	1.64 Å	2.59 Å

방법이 있다. 인버티드구조의 페로브스카이트 태양전지는 HTL(Hole Transport Layer)에 사용되는 PEDOT:PSS를 흡습성이 좋은 NiO 박막으로 대체하여 안정성을 높이는 연구가 발표되었다 [30].

3.2 수분에 대한 안정성 향상 연구

물속과 대기 중에서의 열화 시험을 진행한 결과, 수분 노출 시 5초, 대기 중 30일 후 열화 현상 발생을 확인할 수 있었다 [31]. 이는 HTL의 친수성과 흡습성으로 인한 현상으로 볼 수 있다.

이와 같은 수분에 의한 열화를 방지하기 위해 페로브스카이트 태양전지 내부, 외부에 차단층을 도입한다. 차단층은 외부에서 침투하는 수분을 직접적으로 억제시키는 역할을 한다. 대표적인 방법으로 HTL와 페로브스카이트 사이에 Al_2O_3 초박막을 두어, 수분의 침투를 방지하는 방법과 HTL을 소수성 물질로 대체하는 방법이 연구되고 있다 [32,33]. 또한 HTL을 carbon 전극으로 대체한 후 표면을 Ag ink, epoxy로 처리하여 소수성 표면을 만드는 연구가 발표되었다 [34].

그림 4는 glass edge sealing 기술을 이용한

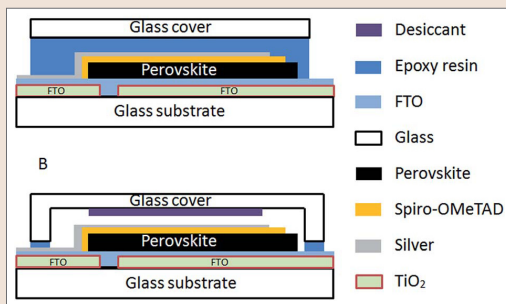


그림 4 ▶ Schematic cross-section of the perovskite solar cells sealed according to A(top) and B(bottom).

방법을 보여주고 있다. Glass 내부에 페로브스카이트 셀을 위치시킨 후 edge부분을 epoxy resin으로 경화시켜 수분의 침투를 방지하는 연구가 발표되었다 [35].

3.3 열에 대한 안정성 향상 연구

페로브스카이트 태양전지의 상용화를 위해 IEC61646의 안정성 시험이 요구된다 [35]. Snaith 연구팀에서는 $85^{\circ}C$ 환경에서 48시간 노출 시 $CH_3NH_3PbI_3$ 가 PbI_3 로 변환됨을 발견하였고, 이는 전도성 향상의 목적으로 Spiro-OMeTAD에 도핑 되는 Li-TFSI의 높은 흡습성이 원인임을 밝혀내었다 [36].

열적 열화 방지를 위한 방법으로 현재 Spiro-OMeTAD를 소수성 물질인 P3HT/SWNT-PMMA로 치환하는 방법이 있다 [37]. 또한 페로브스카이트 표면에 ALD(atomic layer deposition) 증착법을 이용한 ETL(electron transport layer)을 적용하여 고밀도 막질을 형성시켜 고온 및 수분 안정성을 향상시키는 방법이 있다. ALD-ETL 방법을 적용한 소자는 대기 중에서 500시간동안 안정성 시험을 진행한 결과 초기 대비 99.5%의 효율의 결과를 나타내었다 [38].

3.4 UV에 대한 안정성 향상 연구

Snaith 연구팀은 UV light로 인한 열화 현상에 대한 연구를 발표하였다 [34]. UV light에 의한 열화는 ETL을 구성하는 TiO_2 의 광 촉매 현상으로 인한 $CH_3NH_3PbI_3$ 의 분해로 보고되고 있다 [34,39,40]. 이를 해결하기 위해 TiO_2 를 대체하거나 TiO_2 와 페로브스카이트 사이에 Al_2O_3 박막을 적용하여 UV light 침투를 저하시킨다.

4. 맺음말

최근 연구에 따르면 페로브스카이트 단위셀의 효율은 상용화된 박막 태양전지의 효율수준 이상으로 올라섰다. 따라서 향후 상용화를 위한 페로브스카이트 태양전지 연구는 대면적 모듈을 기반으로 하는 양산공정과 신뢰성 확보에 집중해야 할 것으로 생각된다. 본문에서

살펴봤듯이, 대면적 코팅을 위한 스프레이, 블레이드, 프린팅 방법을 적용하여 대면적 모듈 효율 향상 및 양산공정을 확립하고, 외부의 열화 요인에 대한 메커니즘을 규명하고 대안을 찾는 노력을 지속한다면 페로브스카이트 태양전지의 상용화 시기는 앞당겨질 것으로 생각된다. ☺

참 / 고 / 문 / 헌

- [1] NREL, Best research-cell efficiencies, <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart-20180716.jpg> (2018)
- [2] H. J. Snaith, *J. Phys. Chem. Lett.*, 4, 3623, (2013). doi:10.1021/jz4020162.
- [3] S. Sien, Y. Ming, S. Gautam, and T. Chien, *Science (80-)*, 342, 344 (2013). doi:10.1126/science.1243167.
- [4] Q. Chen, N. D. Marco, Y. Yang, T. B. Song, C. C. Chen, H. Zhao, Z. Hong, H. Zhou, and Y. Yang, *Nano Today* 10, 355 (2015). doi:10.1016/j.nantod.2015.04.009.
- [5] W. J. Yin, T. Shi, and Y. Yan, *Adv. Mater.* 26, 4653 (2014). doi:10.1002/adma.201306281.
- [6] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai and T. Miyasaka, *J Am Chem Soc* 131, 6050 (2009). doi:10.1021/ja809598r.
- [7] Z. Song, C. L. McElvany, A. B. Phillips, I. Celik, P. W. Krantz, S. C. Watthage, G. K. Liyanage, D. Apul and M. J. Heben, *Energy Environ. Sci.* 10, 1297 (2017). doi:10.1039/c7ee00757d.
- [8] Y. Deng, E. Peng, Y. Shao, Z. Xiao, Q. Dong, and J. Huang, *Energy Environ. Sci.* 8, 1544 (2015). doi:10.1039/C4EE03907F.
- [9] T. Qin, W. Huang, J. E. Kim, D. Vak, C. Forsyth, C. R. McNeill and Y. B. Cheng, *Nano Energy* 31, 210 (2017). doi:10.1016/j.nanoen.2016.11.022.
- [10] J. H. Heo, M. H. Lee, M. H. Jang, and S. H. Im, *J. Mater. Chem. A* 4, 17636 (2016). doi:10.1039/C6TA06718B.
- [11] H. Huang, J. Shi, L. Zhu, D. Li, Y. Luo, and Q. Meng, *Nano Energy* 27, 352 (2016). doi:10.1016/j.nanoen.2016.07.026.
- [12] L. Wengeler, M. Schmitt, K. Peters, P. Scharfer, and W. Schabel, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 68, 38 (2013). doi:10.1016/j.cep.2012.03.004.
- [13] G. Cotella, J. Baker, D. Worsley, F. D. Rossi, C. Pleydell-Pearce, M. Camie, and T. Watson, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 159, 362 (2017). doi:10.1016/j.solmat.2016.09.013.

- [14] T. M. Schmidt, T. T. Larsen-Olsen, J. E. Carlé, D. Angmo, and F. C. Krebs, *Adv. Energy Mater.* 5, 1500569 (2015).
doi:10.1002/aenm.201500569.
- [15] K. Hwang, Y. S. Jung, Y. J. Heo, F. H. Scholes, S. E. Watkins, J. Subbiah, D. J. Jones, D. Y. Kim, and D. Vak, *Adv. Mater.* 27, 1241 (2015).
doi:10.1002/adma.201404598.
- [16] Z. Gu, L. Zuo, T. T. Larsen-Olsen, T. Ye, G. Wu, F. C. Krebs, and H. Chen, *J. Mater. Chem. A* 3, 24254 (2015).
doi:10.1039/C5TA07008B.
- [17] K. M. Boopathi, M. Ramesh, P. Perumal, Y. C. Huang, C. S. Tsao, Y. F. Chen, C. H. Lee, and C. W. Chu, *J. Mater. Chem. A* 3, 9257 (2015).
doi:10.1039/C4TA06392A.
- [18] S. Gamliel, A. Dymshits, S. Aharon, E. Terkieltaub, and L. Etgar, *J. Phys. Chem. C* 119, 19722 (2015).
doi:10.1021/acs.jpcc.5b07554.
- [19] Z. Bi, Z. Liang, X. Xu, Z. Chai, H. Jin, D. Xu, J. Li, M. Li, and G. Xu, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 162, 13 (2017).
doi:10.1016/j.solmat.2016.12.032.
- [20] M. Remeika, S. R. Raga, S. Zhang, and Y. Qi, *J. Mater. Chem. A* 5, 5709 (2017).
doi:10.1039/C6TA09922J.
- [21] S. Das, B. Yang, G. Gu, P. C. Joshi, I. N. Ivanov, C. M. Rouleau, T. Aytug, D. B. Geohegan, and K. Xiao, *ACS Photonics* 2, 680 (2015).
doi:10.1021/acsphotonics.5b00119.
- [22] D. K. Mohamad, J. Griffin, C. Bracher, A. T. Barrows, and D. G. Lidzey, *Adv. Energy Mater.* 6, 1600994 (2016).
doi:10.1002/aenm.201600994.
- [23] W. C. Chang, D. H. Lan, K. M. Lee, X. F. Wang, and C. L. Liu, *ChemSusChem* 10, 1405 (2017).
doi:10.1002/cssc.201601711
- [24] S. G. Li, K. J. Jiang, M. J. Su, X. P. Cui, J. H. Huang, Q. Q. Zhang, X. Q. Zhou, L. M. Yang, and Y. L. Song, *Optoelectron. Adv. Mater. Rapid Commun.* 4, 1166 (2010).
doi:10.1039/b000000x.
- [25] Z. Wei, H. Chen, K. Yan, and S. Yang, *Angew. Chemie - Int. Ed.* 53, 13239 (2014).
doi:10.1002/anie.201408638.
- [26] M. Bag, Z. Jiang, L. A. Renna, S. P. Jeong, V. M. Rotello, and D. Venkataraman, *Mater. Lett.* 164, 472 (2016).
doi:10.1016/j.matlet.2015.11.058.
- [27] T. Leijtens, G. E. Eperon, N. K. Noel, S. N. Habisreutinger, A. Petrozza, and H. J. Snaith, *Adv. Energy Mater.* 5, 1 (2015).
doi:10.1002/aenm.201500963.
- [28] J. H. Noh, S. H. Im, J. H. Heo, T. N. Mandal, and S. Il Seok, *Nano Lett.* 13, 1764 (2013).
doi:dx.doi.org/10.1021/nl400349b.
- [29] N. G. Park, *Mater. Today* 18, 65 (2015).
doi:10.1016/j.mattod.2014.07.007.
- [30] S. Seo, I. J. Park, M. Kim, S. Lee, C. Bae, H. S. Jung, N. G. Park, J. Y. Kim and H. Shin, *Nanoscale* 8, 11403 (2016).
doi:10.1039/c6nr01601d.
- [31] I. Hwang, I. Jeong, J. Lee, M. J. Ko, and K. Yong, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 7, 17330 (2015).
doi:10.1021/acsami.5b04490.
- [32] A. I. Abdulagatov, Y. Yan, J. R. Cooper, Y. Zhang, Z. M. Gibbs, A. S. Cavanagh, R. G. Yang, Y. C. Lee, and S. M. George, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 3, 4593 (2011).
doi:10.1021/am2009579.
- [33] A. Mei, X. Li, L. Liu, Z. Ku, T. Liu, Y. Rong, M. Xu, M. Hu, J. Chen, Y. Yang, M. Grätzel, and H. Han, *Science (80-)*. 345, 295 (2014).
doi:10.1126/science.1254763.

- [34] X. Li, M. Tschumi, H. Han, S. S. Babkair, R. A. Alzubaydi, A. A. Ansari, S. S. Habib, M. K. Nazeeruddin, S. M. Zakeeruddin, and M. Grätzel, *Energy Technol.* 3, 551 (2015). doi:10.1002/ente.201500045.
- [35] M.I. Asghar, J. Zhang, H. Wang, P.D. Lund, *Reviews, S. E.*, 77 (2017). doi:10.1016/j.rser.2017.04.003.
- [36] Habisreutinger, S.N., et al. *Nano Lett.*, 2014, 14, 5561 (2014). doi: 10.1021/nl501982b.
- [37] S. N. Habisreutinger, T. Leijtens, G. E. Eperon, S. D. Stranks, R. J. Nicholas, and H. J. Snaith, *Nano Lett.* 14, 5561 (2014). doi:10.1021/nl501982b.
- [38] S. Seo, S. Jeong, C. Bae, N. G. Park, and H. Shin, *Adv. Mater.* 30, 1 (2018). doi:10.1002/adma.201801010.
- [39] T. Leijtens, G. E. Eperon, S. Pathak, A. Abate, M. M. Lee, and H. J. Snaith, *Nat. Commun.* 4, 1 (2013). doi:10.1038/ncomms3885.
- [40] S. Ito, S. Tanaka, K. Manabe, and H. Nishino, *J. Phys. Chem. C* 118, 16995 (2014). doi:10.1021/jp500449z.

저/자/약/력



성명	이수용	
학력	2017년 2018년	수원대학교 전자재료공학과 공학사 고려대학교 미세소자협동과정 공학석사과정
경력	2017년 ~ 2018년	전자부품연구원 연구원



성명	송상우	
학력	2006년 2009년 2018년	세종대학교 전자공학과 공학사 고려대학교 미세소자협동과정 공학석사 고려대학교 전기전자전파공학과 공학박사
경력	2009년 - 2015년 2018년 - 현재	다이솔티모 선임연구원 코텍에너지 선임연구원