

Supplementary

Review of module designs for organic and perovskite solar cells

Jae Won Kim^{†a}, You-Hyun Seo^{†a}, Hee Jeong Jeong^{a,b}, Eun Chong Chae^{a,c}, Helen Hejin Park^{a,d}, Bong Joo Kang^a, Kyungsik Kim^e, Jinho Lee^{*e}, Soonil Hong^{*a}, and Nam Joong Jeon^{*a}

^a*Division of Advanced Materials, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), 141 Gajeong-ro, Daejeon 34114, Republic of Korea*

^b*Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University, 145 Anam-ro, Seoul 02841, Republic of Korea*

^c*Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Seoul 08826, Republic of Korea*

^d*Department of Chemical and Biological Engineering, Hanbat National University, 125 Dongseo-daero, Daejeon 34158, Republic of Korea*

^e*Department of Physics, Department of Intelligent Semiconductor Engineering, Incheon National University, 119 Academy-ro, Incheon 22012, Republic of Korea*

[†]Jae Won Kim and You-Hyun Seo contributed equally to this work.

* Corresponding author

E-mail address: jlee@inu.ac.kr. sihong@kRICT.re.kr. njjeon@kRICT.re.kr

Table S1. Laser wavelengths used for the laser scribing processes listed in Tables 1 and 2.

Laser wavelengths for OSC modules				Laser wavelengths for PSC modules			
Reference	P1	P2	P3	Reference	P1	P2	P3
S1	-	-	-	S63	-	-	-
S2	-	-	-	S64	532 nm	532 nm	-
S3	520 nm	520 nm	520 nm	S65	-	CO ₂ laser	CO ₂ laser, 532 nm
S4	520 nm	520 nm	520 nm	S66	Not specified	-	-
S5	520 nm	520 nm	520 nm	S67	-	-	-
S6	520 nm	520 nm	520 nm	S68	-	-	-
S7	-	-	-	S69	1064 nm	-	-
S8	1064 nm	1064 nm	1064 nm	S70	Not	-	-

					specified		
S9	-	532 nm	-	S71	Not specified	532 nm	532 nm
S10	520 nm	520 nm	520 nm	S72	532 nm	-	-
S11	1064 nm	1064 nm	-	S73	Not specified	Not specified	Not specified
S12	-	-	-	S74	355 nm	355 nm	355 nm
S13	1030 nm	1030 nm	1030 nm	S75	355 nm	-	-
S14	Not specified	Not specified	Not specified	S76	-	-	-
S15	Not specified	-	-	S77	1064 nm	1064 nm	-
S16	-	-	-	S78	-	CO ₂ laser	-
S17	520 nm	520 nm	520 nm	S79	CO ₂ laser	CO ₂ laser	CO ₂ laser
S18	1064 nm	1064 nm	1064 nm	S80	-	-	-
S19	-	-	-	S81	-	-	-
S20	-	-	-	S82	Not specified	Not specified	Not specified
S21	-	-	-	S83	1064 nm	532 nm	532 nm
S22	-	-	-	S84	Not specified	Not specified	Not specified
S23	-	-	-	S85	-	-	-
S24	-	-	-	S86	532 nm	532 nm	532 nm
S25	-	-	-	S87	-	Not specified	Not specified
S26	-	-	-	S88	1064 nm	532 nm	532 nm
S27	1064 nm	1064 nm	1064 nm	S89	355 nm	355 nm	355 nm
S28	532 nm	532 nm	532 nm	S90	1064 nm	CO ₂ laser	-
S29	-	-	-	S91	1064 nm	1064 nm	-
S30	-	-	-	S92	-	Not specified	Not specified
S31	Not specified	Not specified	Not specified	S93	532 nm	532 nm	532 nm
S32	Not specified	Not specified	Not specified	S94	355 nm	355 nm	355 nm
S33	1064 nm	532 nm	532 nm	S95	1064 nm	1064 nm	-

S34	-	1064 nm	-	S96	CO ₂ laser	CO ₂ laser	-
S35	-	Not specified	Not specified	S97	355 nm	532 nm	532 nm
S36	-	-	-	S98	-	CO ₂ laser	-
S37	-	-	-	S99	532 nm	-	-
S38	Not specified	-	-	S100	Not specified	Not specified	Not specified
S39	Not specified	-	-	S101	355 nm	355 nm	355 nm
S40	-	-	-	S102	Not specified	Not specified	Not specified
S41	532 nm	532 nm	532 nm	S103	Not specified	Not specified	Not specified
S42	Not specified	Not specified	Not specified	S104	1064 nm	532 nm	532 nm
S43	-	-	-	S105	532 nm	532 nm	532 nm
S44	-	-	-	S106	-	Not specified	Not specified
S45	1064 nm	1064 nm	1064 nm	S107	532 nm	532 nm	532 nm
S46	-	-	-	S108	355 nm	355 nm	355 nm
S47	1030 nm	1030 nm	1030 nm	S109	-	355 nm	355 nm
S48	Not specified	Not specified	Not specified	S110	1064 nm	1064 nm	1064 nm
S49	1064 nm	532 nm	532 nm	S111	355 nm	355 nm	355 nm
S50	520 nm	520 nm	532 nm	S112	1064 nm	355 nm	355 nm
S51	532 nm	532 nm	532 nm	S113	532 nm	532 nm	532 nm
S52	355 nm	355 nm	355 nm	S114	-	-	-
S53	-	Not specified	-	S115	532 nm	532 nm	532 nm
S54	Not specified	Not specified	Not specified	S116	532 nm	532 nm	532 nm
S55	Not specified	Not specified	Not specified	S117	1064 nm	532 nm	532 nm
S56	Not specified	Not specified	Not specified	S118	1064 nm	1064 nm	1064 nm
S57	Not specified	-	-	S119	1064 nm	1064 nm	1064 nm
S58	355 nm	355 nm	355 nm	S120	Not	Not	Not

					specified	specified	specified
S59	1064 nm	532 nm	532 nm	S121	1064 nm	1064 nm	1064 nm
S60	1064 nm	532 nm	532 nm	S122	Not specified	Not specified	Not specified
S61	-	-	-	S123	1064 nm	1064 nm	1064 nm
S62	1030 nm	1030 nm	1030 nm	S124	-	-	-
				S125	532 nm	532 nm	532 nm
				S126	Not specified	Not specified	Not specified
				S127	Not specified	Not specified	Not specified
				S128	Not specified	-	-
				S129	Not specified	-	-

References for Tables 1 and 2

- S1. F. C. Krebs, T. Tromholt and M. Jorgensen, *Nanoscale*, 2010, **2**, 873–886.
- S2. B. Zimmermann, H. F. Schleiermacher, M. Niggemann and U. Würfel, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2011, **95**, 1587–1589.
- S3. N. Li, P. Kubis, K. Forberich, T. Ameri, F. C. Krebs and C. J. Brabec, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2014, **120**, 701–708.
- S4. G. D. Spyropoulos, P. Kubis, N. Li, D. Baran, L. Lucera, M. Salvador, T. Ameri, M. M. Voigt, F. C. Krebs and C. J. Brabec, *Energy Environ. Sci.*, 2014, **7**, 3284–3290.
- S5. P. Kubis, N. Li, T. Stubhan, F. Machui, G. J. Matt, M. M. Voigt and C. J. Brabec, *Prog. Photovoltaics*, 2013, **23**, 238–246.
- S6. F. Guo, P. Kubis, T. Przybilla, E. Spiecker, A. Hollmann, S. Langner, K. Forberich and C. J. Brabec, *Adv. Energy Mater.*, 2015, **5**, 1401779.
- S7. P.-T. Tsai, K.-C. Yu, C.-J. Chang, S.-F. Horng and H.-F. Meng, *Org. Electron.*, 2015, **22**, 166–172.
- S8. F. Ye, Z. Chen, X. Zhao, J. Chen and X. Yang, *Adv. Funct. Mater.*, 2015, **25**, 4453–4461.
- S9. Y. Galagan, H. Fledderus, H. Gorter, H. H. t Mannelje, S. Shanmugam, R. Mandamparambil, J. Bosman, J. E. J. M. Rubingh, J. P. Teunissen, A. Salem, I. G. de Vries, R. Andriessen and W. A. Groen, *Energy Technol.*, 2015, **3**, 834–842.
- S10. G. D. Spyropoulos, C. O. Ramirez Quiroz, M. Salvador, Y. Hou, N. Gasparini, P. Schweizer, J. Adams, P. Kubis, N. Li, E. Spiecker, T. Ameri, H.-J. Egelhaaf and C. J. Brabec, *Energy Environ. Sci.*, 2016, **9**, 2302–2313.
- S11. J. Hanisch, T. Wahl, C. D. Wessendorf and E. Ahlswede, *J. Mater. Chem. A*, 2016, **4**, 4771–4775.
- S12. S. Hong, H. Kang, G. Kim, S. Lee, S. Kim, J. H. Lee, J. Lee, M. Yi, J. Kim, H. Back, J. R. Kim and K. Lee, *Nat. Commun.*, 2016, **7**, 10279.
- S13. S. Röttinger, B. Schwarz, S. Schäfer, R. Gauch, B. Zimmermann and U. Würfel, *Sol.*

- Energy Mater. Sol. Cells*, 2016, **154**, 35–41.
- S14. N. Gasparini, L. Lucera, M. Salvador, M. Prosa, G. D. Spyropoulos, P. Kubis, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec and T. Ameri, *Energy Environ. Sci.*, 2017, **10**, 885–892.
- S15. L. Mao, B. Luo, L. Sun, S. Xiong, J. Fan, F. Qin, L. Hu, Y. Jiang, Z. Li and Y. Zhou, *Mater. Horizons*, 2018, **5**, 123–130.
- S16. K. Glaser, P. Beu, D. Bahro, C. Sprau, A. Pütz and A. Colmann, *J. Mater. Chem. A*, 2018, **6**, 9257–9263.
- S17. S. Strohm, F. Machui, S. Langner, P. Kubis, N. Gasparini, M. Salvador, I. McCulloch, H. J. Egelhaaf and C. J. Brabec, *Energy Environ. Sci.*, 2018, **11**, 2225–2234.
- S18. T. Zhang, G. Zeng, F. Ye, X. Zhao and X. Yang, *Adv. Energy Mater.*, 2018, **8**, 1801387.
- S19. S. Dong, K. Zhang, X. Liu, Q. Yin, H.-L. Yip, F. Huang and Y. Cao, *Sci. China Chem.*, 2018, **62**, 67–73.
- S20. X. Meng, L. Zhang, Y. Xie, X. Hu, Z. Xing, Z. Huang, C. Liu, L. Tan, W. Zhou, Y. Sun, W. Ma and Y. Chen, *Adv. Mater.*, 2019, **31**, 1903649.
- S21. O. A. Ibraikulov, J. Wang, N. Kamatham, B. Heinrich, S. Méry, M. Kohlstädt, U. Würfel, S. Ferry, N. Leclerc, T. Heiser and P. Lévêque, *Sol. RRL*, 2019, **3**, 1900273.
- S22. Y. W. Han, S. J. Jeon, H. S. Lee, H. Park, K. S. Kim, H. W. Lee and D. K. Moon, *Adv. Energy Mater.*, 2019, **9**, 1902065.
- S23. R. Sun, Q. Wu, J. Guo, T. Wang, Y. Wu, B. Qiu, Z. Luo, W. Yang, Z. Hu, J. Guo, M. Shi, C. Yang, F. Huang, Y. Li and J. Min, *Joule*, 2020, **4**, 407–419.
- S24. S. Jeong, B. Park, S. Hong, S. Kim, J. Kim, S. Kwon, J. H. Lee, M. S. Lee, J. C. Park, H. Kang and K. Lee, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2020, **12**, 41877–41885.
- S25. S. Dong, T. Jia, K. Zhang, J. Jing and F. Huang, *Joule*, 2020, **4**, 2004–2016.
- S26. G. Wang, J. Zhang, C. Yang, Y. Wang, Y. Xing, M. A. Adil, Y. Yang, L. Tian, M. Su, W. Shang, K. Lu, Z. Shuai and Z. Wei, *Adv. Mater.*, 2020, **32**, 2005153.
- S27. C.-Y. Liao, Y.-T. Hsiao, K.-W. Tsai, N.-W. Teng, W.-L. Li, J.-L. Wu, J.-C. Kao, C.-C. Lee, C.-M. Yang, H.-S. Tan, K.-H. Chung and Y.-M. Chang, *Sol. RRL*, 2021, **5**, 2000749.
- S28. Z. Jia, Z. Chen, X. Chen, J. Yao, B. Yan, R. Sheng, H. Zhu and Y. Yang, *Photonics Res.*, 2021, **9**, 324–330.
- S29. Y. W. Han, H. S. Lee and D. K. Moon, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2021, **13**, 19085–19098.
- S30. F. Qin, L. Sun, H. Chen, Y. Liu, X. Lu, W. Wang, T. Liu, X. Dong, P. Jiang, Y. Jiang, L. Wang and Y. Zhou, *Adv. Mater.*, 2021, **33**, e2103017.
- S31. X. Dong, Y. Jiang, L. Sun, F. Qin, X. Zhou, X. Lu, W. Wang and Y. Zhou, *Adv. Funct. Mater.*, 2021, **32**, 2110209.
- S32. D. Wang, Y. Li, G. Zhou, E. Gu, R. Xia, B. Yan, J. Yao, H. Zhu, X. Lu, H.-L. Yip, H. Chen and C.-Z. Li, *Energy Environ. Sci.*, 2022, **15**, 2629–2637.
- S33. J. Y. Fan, Z. X. Liu, J. Rao, K. Yan, Z. Chen, Y. Ran, B. Yan, J. Yao, G. Lu, H. Zhu, C. Z. Li and H. Chen, *Adv. Mater.*, 2022, **34**, e2110569.
- S34. S. Yoon, S. Park, S. H. Park, S. Nah, S. Lee, J.-W. Lee, H. Ahn, H. Yu, E.-Y. Shin, B. J. Kim, B. K. Min, J. H. Noh and H. J. Son, *Joule*, 2022, **6**, 2406–2422.
- S35. C. Xie, Y. Liu, W. Wei and Y. Zhou, *Adv. Funct. Mater.*, 2022, **33**, 2210675.
- S36. R. Sun, T. Wang, X. Yang, Y. Wu, Y. Wang, Q. Wu, M. Zhang, C. J. Brabec, Y. Li and J. Min, *Nat. Energy*, 2022, **7**, 1087–1099.
- S37. Y. F. Shen, H. Zhang, J. Zhang, C. Tian, Y. Shi, D. Qiu, Z. Zhang, K. Lu and Z. Wei, *Adv. Mater.*, 2023, **35**, e2209030.
- S38. J. Wang, Y. Wang, P. Bi, Z. Chen, J. Qiao, J. Li, W. Wang, Z. Zheng, S. Zhang, X. Hao and J. Hou, *Adv. Mater.*, 2023, **35**, e2301583.

- S39. J. Wang, P. Bi, Y. Wang, Z. Zheng, Z. Chen, J. Qiao, W. Wang, J. Li, C. An, S. Zhang, X. Hao and J. Hou, *CCS Chem.*, 2024, **6**, 218–229.
- S40. S. Hong, B. Park, C. Balamurugan, J. Lee and S. Kwon, *Heliyon*, 2023, **9**, e18209.
- S41. X. Kong, L. Zhan, S. Li, S. Yin, H. Qiu, Y. Fu, X. Lu, Z. Chen, H. Zhu, W. Fu and H. Chen, *Chem. Eng. J.*, 2023, **473**, 145201.
- S42. Y. Li, J. Wu, X. Yi, Z. Liu, H. Liu, Y. Fu, J. Liu and Z. Xie, *J. Mater. Chem. C*, 2023, **11**, 13263–13273.
- S43. J. Wang, Y. Wang, J. Li, Y. Yu, P. Bi, J. Qiao, Z. Chen, C. Wang, W. Wang, J. Dai, X. Hao, S. Zhang and J. Hou, *Angew. Chem. Int. Edit.*, 2023, **62**, e202314362.
- S44. J. Wang, Y. Wang, K. Xian, J. Qiao, Z. Chen, P. Bi, T. Zhang, Z. Zheng, X. Hao, L. Ye, S. Zhang and J. Hou, *Adv. Mater.*, 2024, **36**, e2305424.
- S45. T. Chen, X. Zheng, D. Wang, Y. Zhu, Y. Ouyang, J. Xue, M. Wang, S. Wang, W. Ma, C. Zhang, Z. Ma, S. Li, L. Zuo and H. Chen, *Adv. Mater.*, 2024, **36**, e2308061.
- S46. J. Wang, Y. Wang, M. Du, Y. Yu, C. Wang, W. Wang, Q. Guo, Y. Cui, S. Zhang and J. Hou, *Energy Environ. Sci.*, 2024, **17**, 8368–8378.
- S47. L. Xie, Z. Chen, D. Yang, X. Yu, X. Tong, J. Ge, W. Song, S. Yang, J. Zhu, P. Ding, G. Lu, X. Li, M. Long, J. Li, B. Zou, T. Liu, Q. Liu and Z. Ge, *Energy Environ. Sci.*, 2024, **17**, 7838–7849.
- S48. B. Kim, Y. S. Lee, D. Um, W. Jeong, S. Lee, K. Kim, G. Nam, H. Hwang, S. Kim, T. Kim, K. Lee, H. Kang and B. Kim, *Adv. Funct. Mater.*, 2024, **34**, 2407403.
- S49. H. Gu, J. Zhu, H. Chen, G. Zeng, X. Chen, X. Tang, J. Xia, T. Zhang, B. Zhang, J. Zhang, J. Ding, Y. Li and Y. Li, *Giant*, 2024, **18**, 100286.
- S50. R. Basu, F. Gumpert, J. Lohbreier, P.-O. Morin, V. Vohra, Y. Liu, Y. Zhou, C. J. Brabec, H.-J. Egelhaaf and A. Distler, *Joule*, 2024, **8**, 970–978.
- S51. Z. Jia, J. Pan, X. Chen, Y. Li, T. Liu, H. Zhu, J. Yao, B. Yan and Y. Yang, *Energy Environ. Sci.*, 2024, **17**, 3908–3916.
- S52. E. Feng, C. Zhang, J. Chang, Y. Han, H. Li, Q. Luo, C.-Q. Ma, H.-L. Yip, L. Ding and J. Yang, *Cell Rep. Phys. Sci.*, 2024, **5**, 101883.
- S53. X. Lu, C. Xie, Y. Liu, H. Zheng, K. Feng, Z. Xiong, W. Wei and Y. Zhou, *Nat. Energy*, 2024, **9**, 793–802.
- S54. Y. Li, Z. Jia, P. Huang, T. Liu, D. Hu, Y. Li, H. Liu, X. Lu, S. Lu, X. Yin and Y. Yang, *Adv. Energy Mater.*, 2024, **14**, 2304000.
- S55. B. Zhang, W. Chen, H. Chen, G. Zeng, R. Zhang, H. Li, Y. Wang, X. Gu, W. Sun, H. Gu, F. Gao, Y. Li and Y. Li, *Energy Environ. Sci.*, 2024, **17**, 2935–2944.
- S56. Z. Liu, Y. Fu, J. Wu, X. Yi, M. Zhao, M. Huang, J. Liu and Z. Xie, *Adv. Funct. Mater.*, 2024, **35**, 2401558.
- S57. Y. Yu, J. Wang, Y. Cui, Z. Chen, T. Zhang, Y. Xiao, W. Wang, J. Wang, X. T. Hao and J. Hou, *J. Am. Chem. Soc.*, 2024, **146**, 8697–8705.
- S58. E. Feng, C. Zhang, J. Chang, F. Zhao, B. Hu, Y. Han, M. Sha, H. Li, X. J. Du, C. Long, Y. Ding, Z. J. Yang, H. Yin, Q. Luo, C. Q. Ma, G. Lu, Z. Ma, X. T. Hao and J. Yang, *ACS Nano*, 2024, **18**, 28026–28037.
- S59. J. Y. Fan, Z. X. Liu, H. Chen and C. Z. Li, *Adv. Mater.*, 2025, **37**, e2419525.
- S60. R. Zeng, F. Han, W. Zhong, M. Zhang, S. Tan, Y. Lin, J. Deng, G. Zhou, L. Kan, L. Zhu, X. Gao, J. Zhu, W. Zhao, S. Xu, X. Xue, B. Hao, Z. Zhou, X. Wu, C. Wang, Z. Fink, Z. Tang, H. Jing, T. P. Russell, Y. Zhang and F. Liu, *Adv. Mater.*, 2025, **37**, e2501812.
- S61. L. Li, Y. Wang, Z. Suo, W. Feng, W. Zhao, G. Li, Z. Yao, G. Long, X. Wan and Y. Chen, *Adv. Funct. Mater.*, 2025, **35**, 2505192.
- S62. Z. Jin, C. Shen, H. Hu, C. Han, Y. Bai, M. Yang, Q. Liu and Z. Ge, *Energy Environ.*

- Sci.*, 2025, **18**, 5552–5563.
- S63. F. Matteocci, S. Razza, F. Di Giacomo, S. Casaluci, G. Mincuzzi, T. M. Brown, A. D'Epifanio, S. Licoccia and A. Di Carlo, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2014, **16**, 3918–3923.
- S64. F. Matteocci, L. Cinà, F. Di Giacomo, S. Razza, A. L. Palma, A. Guidobaldi, A. D'Epifanio, S. Licoccia, T. M. Brown, A. Reale and A. Di Carlo, *Prog. Photovoltaics*, 2014, **24**, 436–445.
- S65. S. Razza, F. Di Giacomo, F. Matteocci, L. Cinà, A. L. Palma, S. Casaluci, P. Cameron, A. D'Epifanio, S. Licoccia, A. Reale, T. M. Brown and A. Di Carlo, *J. Power Sources*, 2015, **277**, 286–291.
- S66. W. Qiu, T. Merckx, M. Jaysankar, C. Masse de la Huerta, L. Rakocevic, W. Zhang, U. W. Paetzold, R. Gehlhaar, L. Froyen, J. Poortmans, D. Cheyins, H. J. Snaith and P. Heremans, *Energy Environ. Sci.*, 2016, **9**, 484–489.
- S67. A. Priyadarshi, L. J. Haur, P. Murray, D. Fu, S. Kulkarni, G. Xing, T. C. Sum, N. Mathews and S. G. Mhaisalkar, *Energy Environ. Sci.*, 2016, **9**, 3687–3692.
- S68. M. Yang, Z. Li, M. O. Reese, O. G. Reid, D. H. Kim, S. Siol, T. R. Klein, Y. Yan, J. J. Berry, M. F. A. M. van Hest and K. Zhu, *Nat. Energy*, 2017, **2**, 17038.
- S69. A. Agresti, S. Pescetelli, A. L. Palma, A. E. Del Rio Castillo, D. Konios, G. Kakavelakis, S. Razza, L. Cinà, E. Kymakis, F. Bonaccorso and A. Di Carlo, *ACS Energy Lett.*, 2017, **2**, 279–287.
- S70. Y. Hu, S. Si, A. Mei, Y. Rong, H. Liu, X. Li and H. Han, *Sol. RRL*, 2017, **1**, 1600019.
- S71. A. Walter, S.-J. Moon, B. A. Kamino, L. Lofgren, D. Sacchetto, F. Matteocci, B. Taheri, J. Bailat, A. Di Carlo, C. Ballif and S. Nicolay, *IEEE J. Photovolt.*, 2018, **8**, 151–155.
- S72. M. Yang, D. H. Kim, T. R. Klein, Z. Li, M. O. Reese, B. J. Tremolet de Villers, J. J. Berry, M. F. A. M. van Hest and K. Zhu, *ACS Energy Lett.*, 2018, **3**, 322–328.
- S73. Y. Deng, X. Zheng, Y. Bai, Q. Wang, J. Zhao and J. Huang, *Nat. Energy*, 2018, **3**, 560–566.
- S74. F. Di Giacomo, S. Shanmugam, H. Fledderus, B. J. Bruijnaers, W. J. H. Verhees, M. S. Dorenkamper, S. C. Veenstra, W. Qiu, R. Gehlhaar, T. Merckx, T. Aernouts, R. Andriessen and Y. Galagan, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2018, **181**, 53–59.
- S75. H. Higuchi and T. Negami, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2018, **57**, 08RE11.
- S76. S. Hong, J. Lee, H. Kang, G. Kim, S. Kee, J.-H. Lee, S. Jung, B. Park, S. Kim, H. Back, K. Yu and K. Lee, *Sci. Adv.*, 2018, **4**, eaat3604.
- S77. G. S. Han, J. Kim, S. Bae, S. Han, Y. J. Kim, O. Y. Gong, P. Lee, M. J. Ko and H. S. Jung, *ACS Energy Lett.*, 2019, **4**, 1845–1851.
- S78. L. Qiu, S. He, Y. Jiang, D.-Y. Son, L. K. Ono, Z. Liu, T. Kim, T. Bouloumis, S. Kazaoui and Y. Qi, *J. Mater. Chem. A*, 2019, **7**, 6920–6929.
- S79. E. H. Jung, N. J. Jeon, E. Y. Park, C. S. Moon, T. J. Shin, T. Y. Yang, J. H. Noh and J. Seo, *Nature*, 2019, **567**, 511–515.
- S80. Y. Jiang, M. Remeika, Z. Hu, E. J. Juarez-Perez, L. Qiu, Z. Liu, T. Kim, L. K. Ono, D. Y. Son, Z. Hawash, M. R. Leyden, Z. Wu, L. Meng, J. Hu and Y. Qi, *Adv. Energy Mater.*, 2019, **9**, 1803047.
- S81. M. Ozaki, A. Shimazaki, M. Jung, Y. Nakaike, N. Maruyama, S. Yakumaru, A. I. Rafieh, T. Sasamori, N. Tokitoh, P. Ekanayake, Y. Murata, R. Murdey and A. Wakamiya, *Angew. Chem. Int. Edit.*, 2019, **58**, 9389–9393.
- S82. F. Matteocci, L. Vesce, F. U. Kosasih, L. A. Castriotta, S. Cacovich, A. L. Palma, G. Divitini, C. Ducati and A. Di Carlo, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2019, **11**, 25195–25204.
- S83. A. Agresti, S. Pescetelli, A. L. Palma, B. Martín-García, L. Najafi, S. Bellani, I. Moreels,

- M. Prato, F. Bonaccorso and A. Di Carlo, *ACS Energy Lett.*, 2019, **4**, 1862–1871.
- S84. C. Liu, Y. Yang, C. Zhang, S. Wu, L. Wei, F. Guo, G. M. Arumugam, J. Hu, X. Liu, J. Lin, R. E. I. Schropp and Y. Mai, *Adv. Mater.*, 2020, **32**, e1907361.
- S85. Z. Ouyang, M. Yang, J. B. Whitaker, D. Li and M. F. A. M. van Hest, *ACS Appl. Energy Mater.*, 2020, **3**, 3714–3720.
- S86. A. Ren, H. Lai, X. Hao, Z. Tang, H. Xu, B. M. F. Yu Jeco, K. Watanabe, L. Wu, J. Zhang, M. Sugiyama, J. Wu and D. Zhao, *Joule*, 2020, **4**, 1263–1277.
- S87. Y. Deng, Z. Ni, A. F. Palmstrom, J. Zhao, S. Xu, C. H. Van Brackle, X. Xiao, K. Zhu and J. Huang, *Joule*, 2020, **4**, 1949–1960.
- S88. M. Du, X. Zhu, L. Wang, H. Wang, J. Feng, X. Jiang, Y. Cao, Y. Sun, L. Duan, Y. Jiao, K. Wang, X. Ren, Z. Yan, S. Pang and S. F. Liu, *Adv. Mater.*, 2020, **32**, e2004979.
- S89. J. Chung, S. S. Shin, K. Hwang, G. Kim, K. W. Kim, D. S. Lee, W. Kim, B. S. Ma, Y.-K. Kim, T.-S. Kim and J. Seo, *Energy Environ. Sci.*, 2020, **13**, 4854–4861.
- S90. N. Rolston, W. J. Scheideler, A. C. Flick, J. P. Chen, H. Elmaraghi, A. Sleugh, O. Zhao, M. Woodhouse and R. H. Dauskardt, *Joule*, 2020, **4**, 2675–2692.
- S91. L. A. Castriotta, F. Matteocci, L. Vesce, L. Cina, A. Agresti, S. Pescetelli, A. Ronconi, M. Löffler, M. M. Stylianakis, F. Di Giacomo, P. Mariani, M. Stefanelli, E. M. Speller, A. Alfano, B. Paci, A. Generosi, F. Di Fonzo, A. Petrozza, B. Rellinghaus, E. Kymakis and A. Di Carlo, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2021, **13**, 11741–11754.
- S92. Y. Deng, S. Xu, S. Chen, X. Xiao, J. Zhao and J. Huang, *Nat. Energy*, 2021, **6**, 633–641.
- S93. J. W. Yoo, J. Jang, U. Kim, Y. Lee, S.-G. Ji, E. Noh, S. Hong, M. Choi and S. I. Seok, *Joule*, 2021, **5**, 2420–2436.
- S94. S. Chen, X. Dai, S. Xu, H. Jiao, L. Zhao and J. Huang, *Science*, 2021, **373**, 902–907.
- S95. Z. Yang, W. Zhang, S. Wu, H. Zhu, Z. Liu, Z. Liu, Z. Jiang, R. Chen, J. Zhou, Q. Lu, Z. Xiao, L. Shi, H. Chen, L. K. Ono, S. Zhang, Y. Zhang, Y. Qi, L. Han and W. Chen, *Sci. Adv.*, 2021, **7**, eabg3749.
- S96. G. Tong, D. Y. Son, L. K. Ono, Y. Liu, Y. Hu, H. Zhang, A. Jamshaid, L. Qiu, Z. Liu and Y. Qi, *Adv. Energy Mater.*, 2021, **11**, 2003712.
- S97. I. Zimmermann, M. Al Atem, O. Fournier, S. Bernard, S. Juttau, L. Lombez and J. Rousset, *Adv. Mater. Interfaces*, 2021, **8**, 2100743.
- S98. G. Tong, L. K. Ono, Y. Liu, H. Zhang, T. Bu and Y. Qi, *Nano-Micro Lett.*, 2021, **13**, 155.
- S99. C. Worsley, D. Raptis, S. M. P. Meroni, R. Patidar, A. Pockett, T. Dunlop, S. J. Potts, R. Bolton, C. M. E. Charbonneau, M. Carnie, E. Jewell and T. Watson, *Mater. Adv.*, 2022, **3**, 1125–1138.
- S100. R. Chen, H. Shen, Q. Chang, Z. Tang, S. Nie, B. Chen, T. Ping, B. Wu, J. Yin, J. Li and N. Zheng, *Adv. Sci.*, 2022, **9**, e2204017.
- S101. L. A. Castriotta, M. Zendehdel, N. Yaghoobi Nia, E. Leonardi, M. Löffler, B. Paci, A. Generosi, B. Rellinghaus and A. Di Carlo, *Adv. Energy Mater.*, 2022, **12**, 2103420.
- S102. X. Liu, Y. Zhang, M. Chen, C. Xiao, K. G. Brooks, J. Xia, X. X. Gao, H. Kanda, S. Kinge, A. M. Asiri, J. M. Luther, Y. Feng, P. J. Dyson and M. K. Nazeeruddin, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2022, **14**, 23297–23306.
- S103. M. Kim, J. Jeong, H. Lu, T. K. Lee, F. T. Eickemeyer, Y. Liu, I. W. Choi, S. J. Choi, Y. Jo, H.-B. Kim, S.-I. Mo, Y.-K. Kim, H. Lee, N. G. An, S. Cho, W. R. Tress, S. M. Zakeeruddin, A. Hagfeldt, J. Y. Kim, M. Grätzel and D. S. Kim, *Science*, 2022, **375**, 302–306.
- S104. M. Du, S. Zhao, L. Duan, Y. Cao, H. Wang, Y. Sun, L. Wang, X. Zhu, J. Feng, L. Liu, X. Jiang, Q. Dong, Y. Shi, K. Wang and S. Liu, *Joule*, 2022, **6**, 1931–1943.
- S105. T. Bu, L. K. Ono, J. Li, J. Su, G. Tong, W. Zhang, Y. Liu, J. Zhang, J. Chang, S.

- Kazaoui, F. Huang, Y.-B. Cheng and Y. Qi, *Nat. Energy*, 2022, **7**, 528–536.
- S106. X. Dai, S. Chen, H. Jiao, L. Zhao, K. Wang, Z. Ni, Z. Yu, B. Chen, Y. Gao and J. Huang, *Nat. Energy*, 2022, **7**, 923–931.
- S107. J. Chung, S. W. Kim, Y. Li, T. Mariam, X. Wang, M. Rajakaruna, M. M. Saeed, A. Abudulimu, S. S. Shin, K. N. Guye, Z. Huang, R. J. E. Westbrook, E. Miller, B. Subedi, N. J. Podraza, M. J. Heben, R. J. Ellingson, D. S. Ginger, Z. Song and Y. Yan, *Adv. Energy Mater.*, 2023, **13**, 2300595.
- S108. L. Vesce, M. Stefanelli, F. Rossi, L. A. Castriotta, R. Basosi, M. L. Parisi, A. Sinicropi and A. Di Carlo, *Prog. Photovoltaics*, 2023, **32**, 115–129.
- S109. C. Fei, N. Li, M. Wang, X. Wang, H. Gu, B. Chen, Z. Zhang, Z. Ni, H. Jiao, W. Xu, Z. Shi, Y. Yan and J. Huang, *Science*, 2023, **380**, 823–829.
- S110. P. Shi, Y. Ding, B. Ding, Q. Xing, T. Kodalle, C. M. Sutter-Fella, I. Yavuz, C. Yao, W. Fan, J. Xu, Y. Tian, D. Gu, K. Zhao, S. Tan, X. Zhang, L. Yao, P. J. Dyson, J. L. Slack, D. Yang, J. Xue, M. K. Nazeeruddin, Y. Yang and R. Wang, *Nature*, 2023, **620**, 323–327.
- S111. Y. Kim, G. Kim, E. Y. Park, C. S. Moon, S. J. Lee, J. J. Yoo, S. Nam, J. Im, S. S. Shin, N. J. Jeon and J. Seo, *Energy Environ. Sci.*, 2023, **16**, 2226–2238.
- S112. X. Zhang, W. Qiu, S. Aperi, S. Singh, P. Marchezi, W. Song, C. Sternemann, K. Elkhoully, D. Zhang, A. Aguirre, T. Merckx, A. Krishna, Y. Shi, A. Bracesco, C. van Helvoirt, F. Bens, V. Zardetto, J. D’Haen, A. Yu, G. Brocks, T. Aernouts, E. Moons, S. Tao, Y. Zhan, Y. Kuang and J. Poortmans, *ACS Energy Lett.*, 2023, **8**, 2532–2542.
- S113. Y. Xu, F. Fei, X. Dong, L. Li, Y. Li, N. Yuan and J. Ding, *Sol. RRL*, 2023, **7**, 2300283.
- S114. H. C. Weerasinghe, N. Macadam, J. E. Kim, L. J. Sutherland, D. Angmo, L. W. T. Ng, A. D. Scully, F. Glenn, R. Chantler, N. L. Chang, M. Dehghanimadvar, L. Shi, A. W. Y. Ho-Baillie, R. Egan, A. S. R. Chesman, M. Gao, J. J. Jasieniak, T. Hasan and D. Vak, *Nat. Commun.*, 2024, **15**, 1656.
- S115. S. Liu, J. Li, W. Xiao, R. Chen, Z. Sun, Y. Zhang, X. Lei, S. Hu, M. Kober-Czerny, J. Wang, F. Ren, Q. Zhou, H. Raza, Y. Gao, Y. Ji, S. Li, H. Li, L. Qiu, W. Huang, Y. Zhao, B. Xu, Z. Liu, H. J. Snaith, N. G. Park and W. Chen, *Nature*, 2024, **632**, 536–542.
- S116. H. Zhou, K. Cai, S. Yu, Z. Wang, Z. Xiong, Z. Chu, X. Chu, Q. Jiang and J. You, *Nat. Commun.*, 2024, **15**, 6679.
- S117. Y. Yang, C. Liu, Y. Ding, B. Ding, J. Xu, A. Liu, J. Yu, L. Grater, H. Zhu, S. S. Hadke, V. K. Sangwan, A. S. R. Bati, X. Hu, J. Li, S. M. Park, M. C. Hersam, B. Chen, M. K. Nazeeruddin, M. G. Kanatzidis and E. H. Sargent, *Nat. Energy*, 2024, **9**, 316–323.
- S118. Y. Ding, B. Ding, P. Shi, J. Romano-deGea, Y. Li, R. C. Turnell-Ritson, O. A. Syzgantseva, I. Yavuz, M. Xia, R. Yu, M. A. Syzgantseva, J.-N. Audinot, X. Miao, X. Liao, J. Li, P. Dörflinger, V. Dyakonov, C. Liu, Y. Yang, L. Tao, K. G. Brooks, A. Slonopas, J. Pan, L. Zhang, Q. An, Y. Rong, J. Peng, L. Ding, E. Shi, L. Mai, S. Dai, K. Zhao, J. Sheng, R. Wang, P. J. Dyson and M. K. Nazeeruddin, *Science*, 2024, **386**, 531–538.
- S119. B. Ding, Y. Ding, J. Peng, J. Romano-deGea, L. E. K. Frederiksen, H. Kanda, O. A. Syzgantseva, M. A. Syzgantseva, J. N. Audinot, J. Bour, S. Zhang, T. Wirtz, Z. Fei, P. Dörflinger, N. Shibayama, Y. Niu, S. Hu, S. Zhang, F. F. Tirani, Y. Liu, G. J. Yang, K. Brooks, L. Hu, S. Kinge, V. Dyakonov, X. Zhang, S. Dai, P. J. Dyson and M. K. Nazeeruddin, *Nature*, 2024, **628**, 299–305.
- S120. J. Wang, L. Bi, X. Huang, Q. Feng, M. Liu, M. Chen, Y. An, W. Jiang, F. R. Lin, Q. Fu and A. K. Y. Jen, *eScience*, 2024, **4**, 100308.
- S121. Y. Liu, B. Ding, G. Zhang, X. Ma, Y. Wang, X. Zhang, L. Zeng, M. K. Nazeeruddin,

- G. Yang and B. Chen, *Adv. Sci.*, 2024, **11**, e2309111.
- S122. Y. Xu, C. Zhou, X. Li, K. Du, Y. Li, X. Dong, N. Yuan, L. Li and J. Ding, *Small Methods*, 2024, **8**, e2400428.
- S123. L. Tao, Y. Huang, B. Ding, H. Wang, J. Tang, S. Zhang, J. Zhang, M. K. Nazeeruddin and H. Wang, *Mater. Today Energy*, 2024, **44**, 101611.
- S124. H. B. Lee, A. Mohamed, N. Kumar, N. H. Zain Karimy, V. V. Satale, B. Tyagi, D. H. Kim and J. W. Kang, *Small Methods*, 2025, **9**, e2400850.
- S125. X. Zhu, D. Yu, X. Zhou, N. Wang, H. Liu, Z. Liang, C. Wu, K. Wang, D. Jin, S. Liu and D. Yang, *Joule*, 2025, **9**, 101919.
- S126. Y. S. Shin, J. W. Song, D. G. Lee, J. Lee, J. Seo, J. Roe, G. Y. Shin, D. Kim, J. Yeop, D. Lee, M. Kim, Y. Jo, H. Jang, J. G. Son, W. Lee, J. Son, S. Park, S. Cho, T. J. Shin, G.-H. Kim, J. Y. Kim, T. K. Lee, M. Grätzel and D. S. Kim, *Joule*, 2025, **9**, 101779.
- S127. X. Gao, X. Jia, L. Yang, Y. Mo, C. Wang, T. Bu, J. Li, Q. Li, Y.-B. Cheng and F. Huang, *Nano Energy*, 2025, **145**, 111419.
- S128. Y. Zou, T. Wang, Y. Ma, R. Wang, Y. Gao, H. Liu, M. Zhang, Y. Hou, Z. Hu and Y. Liu, *Angew. Chem. Int. Edit.*, 2025, **64**, e202515623.
- S129. C. Zuo, F. Hao, H. Dong, J. Chang, K. Yan, Y. Ding, Z. Xiao and L. Ding, *Energy Environ. Sci.*, 2025, **18**, 10125–10134.