

日本学士院賞 受賞者 宮坂 力



専攻学科学目 光電気化学・エネルギー変換の化学

略 歴	生 年 月	略 歴
	昭和二十八年 九月	早稲田大学理工学部応用化学科卒業
	昭和五十一年 三月	東京大学大学院工学系研究科博士課程修了
	同 五十六年 三月	工学博士（東京大学）
	同 五十六年 三月	富士写真フイルム（株）（現富士フイルム（株）） 足柄研究所研究員
	同 五十六年 四月	富士写真フイルム（株）（現富士フイルム（株）） 足柄研究所研究員
	平成 四年 七月	富士写真フイルム（株） 足柄研究所主任研究員
	同 一三年一二月	桐蔭横浜大学大学院工学研究科教授
	同 一七年 四月	東京大学大学院総合文化研究科客員教授（平成二十二年三月まで）
	同 一八年 四月	桐蔭横浜大学大学院工学研究科客員教授（平成二十二年三月まで）
	同 二九年 四月	桐蔭横浜大学医工学部特任教授（現在に至る）
	同 二九年一〇月	東京大学先端科学技術研究センターフェロー（現在に至る）
	令和 二年 四月	早稲田大学大学院先進理工学研究科客員教授（令和五年三月まで）

工学博士宮坂 力氏の「感光性ペロブスカイト結晶を用いる有機無機ハイブリッド太陽電池の創成」に対する授賞審査要旨

宮坂 力氏はシリコン結晶太陽電池のエネルギー変換効率の最高値と並ぶ高い変換効率を達成したペロブスカイト太陽電池の発電材料（ハロゲン化鉛化合物）を桐蔭横浜大学において発見し、当該電池の新材料開発に貢献している。

ペロブスカイト太陽電池に使われるペロブスカイト型結晶は、一般に知られる金属酸化物ではなく、金属のハロゲン化物であり、有機無機複合化合物の ABX_3 の組成からなる。代表的な組成は $CH_3NH_3PbX_3$ ($Pb=鉛, X=I, Br$) であり、溶媒に可溶性イオン結晶であるために、その薄膜は原料溶液を基板上に塗布（印刷）し、晶析反応と乾燥によって容易に製膜できる利点がある。

このペロブスカイトを用いる光電変換の最初の実験を二〇〇九年の論文（Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells, *J. Am. Chem. Soc.*）（論文目録番号 42）で報告し、続く第二報の論文（*Science*, 2012）（39）ではペロブスカイトを用い

る薄膜固体太陽電池が一〇%以上のエネルギー変換効率に届くことを示したことで、研究が世界中に広がった結果、効率が急速に向上した。宮坂氏は、二〇一七年にはこれらの論文の最多被引用回数に對してクラリベイトアナリティクス（調査会社、旧トムソンロイター）が選抜引用栄誉賞を授与され、二〇二二年には英国の Rank 賞を受賞している。

ハロゲン化ペロブスカイトは優れた光物性を持つ半導体であり、内部の欠陥による電荷再結合が大きく抑制される物性（欠陥寛容性）によって発電の出力電圧が高い（バンドギャップからのエネルギー損失が小さい）特長が明らかとなっている。同氏はこの光物性に由来する現象としてペロブスカイト結晶薄膜が高効率の発光特性をもつことを二〇一二年に日本化学会の論文に報告している（40）。ペロブスカイト半導体を用いる太陽電池のエネルギー変換率は、二〇一八年初めには実用化する $CH_3NH_3PbI_2$ と $CH_3NH_3PbBr_2$ 等の化合物半導体太陽電池を追い越し、現在では、産業をリードする結晶シリコンの最高効率と同等の二六・〇%を超える効率に達している。

宮坂氏の主たる研究成果を述べると…
I. ペロブスカイトの発電層（多結晶薄膜）を作る化学晶析反応において、結晶の形状と質を高める晶析条件を検討し、湿度のある大気中において成膜を行うことによっても変換効率を二〇%以上

- に高める方法を示した。(15)
- II. 界面の欠陥の影響を保護するパッシベーションの技術では有機分子の自己組織化膜を界面に形成する方法で二三%近い高効率に加えて理論限界に近い電圧出力を得ることを示した。(3)
- III. 耐熱性の高い全無機組成のペロブスカイトを高効率化することに注力し、 CsPbI_3Br を用いる光電変換では、界面の改質技術によって電圧特性を1.4V以上に高めるとともに、可視光に吸収特性をもつこの材料では屋内の低照度の光に対して効率が三四%以上に高まることを示した。(8)
- IV. ペロブスカイト太陽電池の宇宙応用に向けた研究もJAXAとの連携を進めた。成果として、ペロブスカイトが宇宙の高エネルギー放射線(電子線、陽子線)に対して高い耐久性をもつことを見出し(16)、海外の多くの研究機関がこの報告を追試して再現性を証明している。
- V. 二〇一二年にペロブスカイト太陽電池の効率が10%を越えた段階で、宮坂氏が代表を務める大学ベンチャー(ペクセル・テクノロジーズ社、二〇〇四年設立)から世界に先駆けて特許を二件出願し、その出願のほとんどが権利化されている。
- ペロブスカイト型結晶は既存のシリコン等の太陽電池用半導体に

- 対して、効率が高い点のみならず、下記の多くの点で産業実装に優位であり、すでに国内海外の多くの企業が事業化に乗りだしている。
- (1) 成膜に使う溶液塗布(印刷)法は安価であり高速の生産を可能にする。また、合成原料(Pb 、ヨウ素)も安価で、国内ですべて調達ができ、とくにヨウ素はわが国が世界第二位の生産量を誇っている。ペロブスカイト半導体膜のコストは、200円/m²程度と、シリコンウエハーの120程度である。
- (2) 高温を必要としない工程(200℃以下)のために、薄いプラスチックフィルム基板上に成膜ができるため、軽量でフレキシブルな素子を作製できる。
- (3) 高い光吸収係数(10⁴/cm)によって、発電層は1μm以下の薄さであり(シリコンの発電層の110~1100)、薄くフレキシブルな素子を作製できる。
- (4) ペロブスカイトは、ハロゲン組成を置き換えることで自在にバンドギャップ(感光波長)をチューニングできる。これによって波長調節の必要な高効率タンデムセル(効率三四%以上)の作製が可能となる。
- (5) ペロブスカイト層が光学的に透明なために、半透明な太陽電池を作ることができ、これによって両面からの光吸収を使う発電素子を作製できる。

(6) 発電能力においては、微弱な光に対しても高い変換効率(高い出力電圧)を示すことが特筆すべき点である。これにより、発電は屋外の晴天だけでなく曇天、雨天も可能となり、屋内の照明光も使うことができる。

同氏の研究において、太陽電池の高効率化の重要な部分が、ペロブスカイト結晶膜を高品質化する化学工程であり、物理欠陥(ピンホール等)がなく、緻密で平坦な結晶膜を、結晶粒子サイズを大きく制御して作ることで、構造欠陥を減らして高効率化につながる)とが示されており、わが国の産業はこの化学工程に高い技術力を持つと考えられる。したがってペロブスカイト太陽電池の研究開発は今後、カーボンニュートラル社会の実現に大きな役割を果たすことが期待され、日本学士院賞に値するものと判断した。

論文目録

【学術論文】

- (1) "Halide perovskite for indoor photovoltaics: The next possibility", Z. Guo, A. K. Jena, and T. Miyasaka. *ACS Energy Lett.*, 8, 90–95 (2023).
- (2) "A semitransparent silver-bismuth iodide solar cell with Voc above 0.8 V for indoor photovoltaics", N. B. C. Guerrero, Z. Guo, N. Shibayama, A. K. Jena, and T. Miyasaka. *ACS Appl. Energy Mater.*, 6, 10274–10284 (2023).
- (3) "Phenethylamine-based interfacial dipole engineering for high Voc triple-cat-

- ion perovskite solar cells", G. M. Kim, H. Sato, Y. Ohkura, A. Ishii, and T. Miyasaka. *Adv. Energy Mat.*, 12, 2102856 (2022).
- (4) "FAPbBr₃ perovskite solar cells with VOC over 1.5 V by controlled crystal growth using a tetramethylenesulfoxide", Y. Numata, N. Shibayama, and T. Miyasaka. *J. Mater. Chem. A*, 10, 672–681 (2022).
- (5) "The high open-circuit voltage of perovskite solar cells: a review", Z. Guo, A. K. Jena, G. M. Kim, and T. Miyasaka. *Energy Environ. Sci.*, 15, 3171–3222 (2022).
- (6) "Dopant-free polymer HTM-based CsPbI₂Br solar cells with efficiency over 17% in sunlight and 34% in indoor light", Z. Guo, A. K. Jena, I. Takei, M. Ikegami, A. Ishii, Y. Numata, N. Shibayama, and T. Miyasaka. *Adv. Functional Mat.*, 31, 2103614 (2021).
- (7) "Artemisinin-passivated mixed-cation perovskite films for durable flexible perovskite solar cells with over 21% efficiency", L. Yang, Q. Xiong, Y. Li, P. Gao, B. Xu, H. Lin, X. Li and T. Miyasaka. *J. Mater. Chem. A*, 9, 1574–1582 (2021).
- (8) "VOC over 1.4 V for amorphous tin-oxide-based dopant-free CsPbI₂Br perovskite solar cells", Z. Guo, A. K. Jena, I. Takei, G. M. Kim, M. A. Kamardin, Y. Sanehira, A. Ishii, Y. Numata, S. Hayase, and T. Miyasaka. *J. Am. Chem. Soc.*, 142, 9725–9734 (2020).
- (9) "MAQ-assisted Ge doping of Pb-Hybrid perovskite: A universal route to stabilize high perovskite solar cells", G. M. Kim, A. Ishii, and T. Miyasaka. *Adv. Energy Mat.*, 1903299 (2020).
- (10) "Lead(II) propionate additive and a dopant-free polymer hole transport material for CsPbI₂Br perovskite solar cells", S. Oez, A. K. Jena, A. Kulikani, K. Mour, T. Yokoyama, I. Takei, F. Uentue, S. Mathur, and T. Miyasaka. *ACS Energy Lett.*, 5, 1292–1299 (2020).
- (11) "Femto- to microsecond dynamics of excited electrons in a quadruple cation

- perovskite”, E. Jung, K. Budzinauskas, S. Oez, F. Uentue, H. Kuhn, J. Wäger, D. Grabowski, B. Klingebiel, M. Chermasse, J. Dong, P. Aversa, P. Vivo, T. Kirchartz, and T. Miyasaka, P. H. M. van Loosdrecht, L. Pertetti, and S. Mathur. *ACS Energy Lett.*, 5, 785–792 (2020).
- (12) “Halide perovskite photovoltaics: background, status, and future prospects”, A. K. Jena, A. Kulkarni, and T. Miyasaka. *Chem. Rev.*, 119, 3036–3103 (2019).
- (13) “Perovskite solar cells: Can we go organic-free, lead-free, and dopant-free?”, T. Miyasaka, A. Kulkarni, G. M. Kim, S. Oez, and A. K. Jena. *Adv. Energy Mater.*, 1902500 (2019).
- (14) “Performance enhancement of AgBi₂I₇ solar cells by modulating a solvent-mediated adduct and tuning remnant BiI₃ in one-step crystallization”, A. Kulkarni, A. K. Jena, M. Ikegami, T. and Miyasaka. *Chem. Comm.*, 55, 4031–4034 (2019).
- (15) “Stabilizing the efficiency beyond 20% with a mixed cation perovskite solar cell fabricated in ambient air under controlled humidity”, T. Singh, and T. Miyasaka. *Adv. Energy Mater.*, 8, 1700677 (2018).
- (16) “Tolerance of perovskite solar cell to high-energy particle irradiations in space environment”, Y. Miyazawa, M. Ikegami, H.-W. Chen, T. Ohshima, M. Imazumi, K. Hirose, and T. Miyasaka. *iScience*, 2, 148–155 (2018).
- (17) “Ambient fabrication of 126 μm thick complete perovskite photovoltaic device for high flexibility and performance”, T. Singh, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *ACS Appl. Energy Mater.*, 1, 6741–6747 (2018).
- (18) “Microstructural analysis and optical properties of the halide double perovskite CsBiAgBr₆ single crystals”, O. A. Lozhkina, A. A. Murashkina, M. S. Elizarov, V. V. Shilovskikh, A. A. Zolotarev, Yu. V. Kapitonov, R. Kevorkyants, A. V. Emeline, and T. Miyasaka. *Chem. Phys. Lett.*, 18–22 (2018).
- (19) “Sulfate-assisted interfacial engineering for high yield and efficiency of triple cation perovskite solar cells with alkali-doped TiO₂ electron-transporting layers”, T. Singh, S. Oz, A. Sasinska, R. Frohnhoven, S. Mathur, and T. Miyasaka. *Adv. Funct. Mater.*, 1706287 (2018).
- (20) “Highly efficient and stable low-temperature processed ZnO solar cells with triple cation perovskite absorber”, J. Song, L. Liu, X.-F. Wang, G. Chen, W. Tian, and T. Miyasaka. *J. Mater. Chem. A*, 5, 13439–13447 (2017).
- (21) “Controlled crystal grain growth in mixed cation-halide perovskite by evaporated solvent vapor recycling method for high efficiency solar cells”, Y. Numata, A. Kogo, Y. Udagawa, H. Kunnugita, K. Ema, Y. Samehira, and T. Miyasaka. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9, 18739–18747 (2017).
- (22) “Poly(4-Vinylpyridine)-based interfacial passivation to enhance voltage and moisture stability of lead halide perovskite solar cells”, B. Chaudhary, A. Kulkarni, A. K. Jena, M. Ikegami, Y. Udagawa, H. Kunnugita, K. Ema, and T. Miyasaka. *ChemSusChem*, 10, 2473–2479 (2017).
- (23) “Towards stable and commercially available perovskite solar cells”, N. G. Park, M. Grätzel, T. Miyasaka, K. Zhu, and K. Emery. *Nature Energy*, 1, 16152 (2016).
- (24) “Effect of electron transporting layer on bismuth-based lead-free perovskite (CH₃NH₃)₂BiI₆ for Photovoltaic Applications”, T. Singh, A. Kulkarni, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 8, 14542–14547 (2016).
- (25) “Low-temperature-processed ZnO-SnO₂ nanocomposite for efficient planar perovskite solar cells”, J. Song, E. Zheng, X.-F. Wang, W. Tian, and T. Miyasaka. *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 144, 623–630 (2016).
- (26) “High performance perovskite solar cell via multi-cycle low temperature processing of lead acetate precursor solutions”, T. Singh, and T. Miyasaka. *Chem. Commun.*, 52, 4784–4787 (2016).
- (27) “Steady state performance, photo-induced performance degradation and their relation to transient hysteresis in perovskite solar cells”, A. K. Jena, A.

- Kulkarni, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *J. Power Sources*, 309, 1–10 (2016).
- (28) "Low-temperature SnO₂-based electron selective contact for efficient and stable perovskite solar cells", J. Song, E. Zheng, J. Bian, X. F. Wang, W. Tian, Y. Sanehira, and T. Miyasaka. *J. Mater. Chem. A*, 3, 10837–10844 (2015).
- (29) "Perovskite photovoltaics: Rare functions of organo lead halide in solar cells and optoelectronic devices", T. Miyasaka. *Chem. Lett.*, 44, 720–729 (2015).
- (30) "The interface between FTO and the TiO₂ compact layer can be one of the origins to hysteresis in planar heterojunction perovskite solar cells", A. K. Jena, H.-W. Chen, A. Kogo, Y. Sanehira, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7, 9817–9823 (2015).
- (31) "Excitonic feature in hybrid perovskite CH₃NH₃PbBr₃ single crystals", H. Kungita, T. Hashimoto, Y. Kiyota, Y. Udagawa, Y. Takeoka, Y. Nakamura, J. Sano, T. Matsushita, T. Kondo, and T. Miyasaka, *K. Ema. Chem. Lett.*, 44, 852–854 (2015).
- (32) "Efficient perovskite solar cell fabricated using an aqueous lead nitrate precursor", T.-Yu Hsieh, T. C. Wei, K.-L. Wu, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *Chem. Commun.*, 51, 13294–13297 (2015).
- (33) "Efficient and environmentally stable perovskite solar cells based on ZnO electron collection layer", J. Song, J. Bian, E. Zheng, X.-F. Wang, W. Tian, and T. Miyasaka. *Chem. Lett.*, 44, 610–612 (2015).
- (34) "A switchable high-sensitivity photodetecting and photovoltaic device with perovskite absorber", H.-W. Chen, N. Sakai, A. K. Jena, Y. Sanehira, M. Ikegami, K.-C. Ho, and T. Miyasaka. *J. Phys. Chem. Lett.*, 6, 1773–1779 (2015).
- (35) "Emergence of hysteresis and transient ferroelectric response in organo-lead halide perovskite solar cells", H. W. Chen, N. Sakai, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *J. Physical Chem. Lett.*, 6, 164–169 (2014).
- (36) "Fully crystalline perovskite-ethylene hybrid photovoltaic cell capable of 1.2 V output with a minimized voltage loss", A. Ishii, A. K. Jena, and T. Miyasaka. *APL Materials*, 2, 091102 (2014).
- (37) "Quantum conversion enhancement with TiOx compact layer for TIO plastic film-based low-temperature-processed dye-sensitized photoelectrode", S. Morita, M. Ikegami, T.-C. Wei, and T. Miyasaka. *Chem. Phys. Chem.*, 15, 1140–1193 (2014).
- (38) "Tri-functional Nb₂O₅ nano-islands coated on an indium tin oxide layer for a highly efficient dye-sensitized plastic photanode", S. Morita, T.-C. Wei, M. Ikegami, and T. Miyasaka. *J. Power Sources*, 240, 753–758 (2013).
- (39) "Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites", M. M. Lee, J. Teuscher, T. Miyasaka, T. N. Murakami, and H. J. Snaith. *Science*, 338, 643–647 (2012).
- (40) "Highly luminescent lead bromide perovskite nanoparticles synthesized with porous alumina media", A. Kojima, M. Ikegami, K. Teshima, and T. Miyasaka. *Chem. Lett.*, 41, 397–399 (2012).
- (41) "A high voltage organic-inorganic hybrid photovoltaic cell sensitized with metal-ligand interfacial complexes", A. Ishii, and T. Miyasaka. *Chem. Commun.*, 48, 9900–9902 (2012).
- (42) "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells" A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, and T. Miyasaka. *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 6050–6051 (2009).
- (43) "Low-temperature fabrication of dye-sensitized plastic electrodes by electro-photonic preparation of mesoporous TiO₂ layers", T. Miyasaka, and Y. Kijitori. *J. Electrochem. Soc.*, 151, A1767–A1773 (2004).
- (44) "The photocapacitor: An efficient self-charging capacitor for direct storage of solar energy" T. Miyasaka and T. N. Murakami. *Appl. Phys. Lett.*, 85, 3932–3934 (2004).
- (45) "Tin-based amorphous oxide. A high-capacity lithium storage material", Y. Idota, T. Kubota, A. Matsufuji, Y. Maekawa, and T. Miyasaka. *Science*, 276,

【主な書籍、解説書（抜粋）】

- (1) 宮坂 力、ペロブスカイト太陽電池：光発電の特徴と産業応用（化学の要点シリーズ）、日本化学会（編集）、二〇二四年。
- (2) T. Miyasaka (ed.) Perovskite photovoltaics and optoelectronics — From fundamentals to advanced applications —, Wiley-VCH, Weinheim, 2021.
- (3) T. Miyasaka (ed.) Trends in advanced sensitized and organic solar cells, CMC Publishing Co., Ltd, Tokyo, 2012.
- (4) 宮坂 力、ペロブスカイト太陽電池の発見の背景と学際研究の推進、応用物理、八八、四三三―四三六（二〇一九）。
- (5) 宮坂 力、ペロブスカイト太陽電池とエネルギーハーベスティングへの応用、ケミカルエンジニアリング、六三、七―一三（二〇一八）。
- (6) 宮坂 力、高効率ペロブスカイト太陽電池の開発と実用化の展望、太陽エネルギー、四三、四三―四八（二〇一七）。
- (7) 宮坂 力、高効率で進化する有機無機ペロブスカイト太陽電池、応用物理、八三、九二―九七（二〇一四）。
- (8) 宮坂 力、瀬川浩司、ペロブスカイト薄膜太陽電池の開発と最新技術、技術教育出版、二〇一四年。
- (9) 宮坂 力、プリンタブル、フレキシブル色素増感太陽電池の開発動向、ロールtoロール技術の最新動向―プロセス最適化への課題と解決策、監修 杉山征人、CMC 出版、二〇一一年。
- (10) 宮坂 力監修、新コンセプト太陽電池と製造プロセス、CMC 出版、二〇〇九年。