

大気中かつ室温での太陽電池の作製を実現

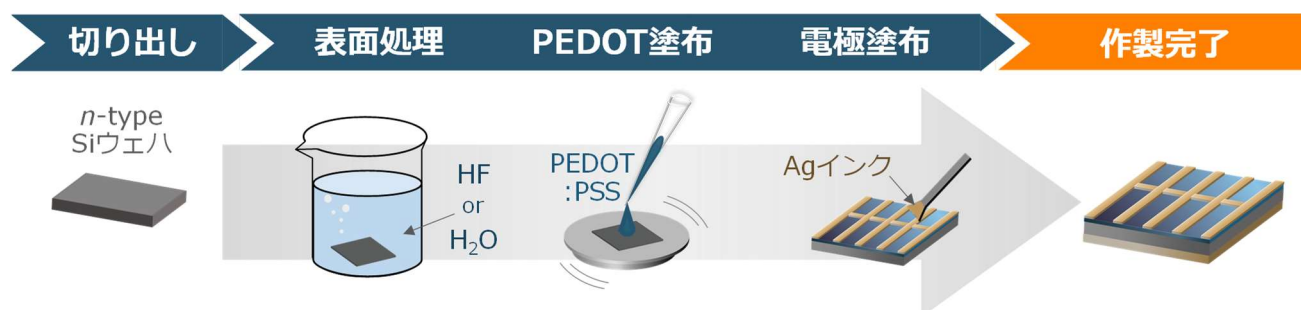
—低コストで簡便に太陽電池の製造が可能に—

概要

太陽光発電の十分な普及には、太陽電池の生産コストの低減が大きな課題です。現状、太陽電池は、真空あるいは還元雰囲気中にて高温の工程を多用して製造されており、このことは、コストのかさむ要因となっています。

京都大学大学院工学研究科 田辺克明 准教授、岡本和也 同修士課程学生、藤田裕 同修士課程学生、西ヶ谷 紘佑 同修士課程学生（研究当時）の研究グループは、素材の Si ウェハから大気中かつ室温の工程のみで太陽電池を作製することに成功し、10%を超える発電効率を得ました。作製した太陽電池は、PEDOT:PSS^{*1}/Si ヘテロ接合太陽電池^{*2}であり、この有機-無機ハイブリッド太陽電池では、従来の Si 太陽電池と異なり、不純物濃度の高い Si ウェハを用いても発電が可能であることを見出しました。それによって、電極の実装条件を大幅に緩和することができた点が要因です。この手法は、簡便で低コストかつ高生産速度な太陽電池の作製を可能とし、開発途上国や教育現場などを含む幅広い用途に活用できるものと期待されます。

本成果は、2023 年 3 月 14 日（現地時刻 10:00）に米国の国際学術誌「*PNAS Nexus*」にオンライン掲載されました。



今回の太陽電池の作製工程のイメージ

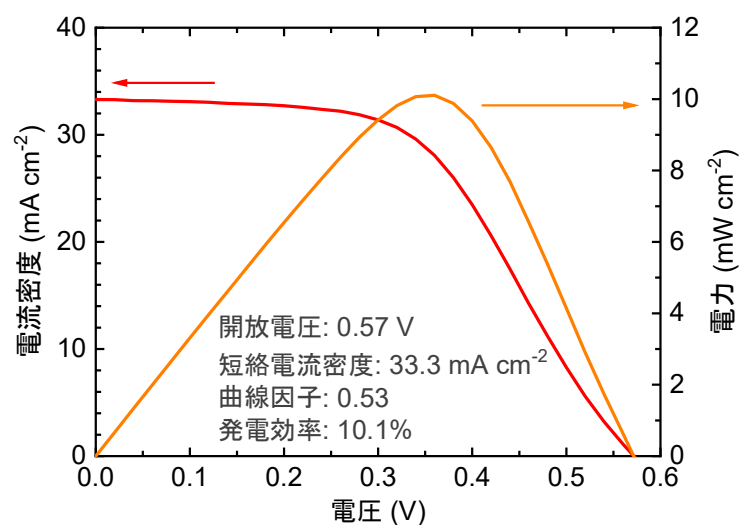
1. 背景

太陽電池は、エネルギー資源枯渇問題と地球環境問題の同時解決につながるデバイスとして期待されています。しかしながら、価格の高さや生産速度の低さにより、これまでのところ主要な代替電力源となるための充分な大規模普及には至っていません。この要因として、太陽電池素子が一連の真空（また調整ガス雰囲気^{※3}）および高温プロセスを経て製造されていること、そしてそれらが高価な大型機器や長大なプロセス時間を要していることが挙げられます。太陽電池の構造形成の要である不純物ドーピング^{※4}や電極形成にこのような工程が必要であるためです。さらに悪いことに、導電性の高い半導体上への良導性の電極形成は比較的容易なのですが、太陽電池では通常、比較的導電性の低い半導体ウェハを使わなければ発電性能を得られないという問題があります。このジレンマにより、十分に良導性の金属/半導体界面を形成するために、電極金属の成膜の後に追加のアニール（焼成）工程まで行わなければならないという状況にあります。

2. 研究手法・成果

本研究では、PEDOT:PSS/Si ヘテロ接合太陽電池という有機材料－無機材料ハイブリッド型の太陽電池が、従来の Si 太陽電池のような接合形成のための高温での不純物拡散工程^{※5}が不要であるため、簡便な作製が可能となることに着目しました。また、不純物濃度が比較的高く、高導電性の Si ウェハであっても PEDOT:PSS/Si ヘテロ接合が充分な発電性能を示すことを見出すとともに、この特性により電極形成のために要求される工程の条件を大幅に緩和できるのではとの着想を得ました。これらを基に、上記の課題の解決に貢献するため、素材の Si ウェハから、大気中かつ室温のみの条件にて太陽電池を作製するという、前例のないことに挑戦しました。

太陽電池の電極形成方法としては、これまで無電解メッキや真空蒸着、スクリーン印刷が一般的でした。しかし、これらの方法では、加熱や真空引きといった工程が必要であり、エネルギーや時間、コストがどうしてもかさんでしまいます。今回、導電性の Ag インク剤を用いて、半導体材料に塗布するだけで、太陽電池の電極を形成することに成功しました。これにより、極めてシンプルな発電材料の組み合わせと金属材料の塗布法により、市販されている通常の Si ウェハから、大気中かつ室温下の工程のみで太陽電池を作製することに初めて成功しました。そして個々の工程の条件、また、それらの順序の最適化を通し、10%を超える発電効率を得ました（下図）。



図：作製した太陽電池の出力特性

3. 波及効果、今後の予定

本研究より創出された技術は、現状において太陽電池の生産コストや生産速度面のネックとなっている、(クリーンルームや大型製造・加工機器といった) 高温加熱、真空(調整ガス) 雰囲気中での製造工程を省略することができるようになります。これにより、高速・簡便に、低コストにて太陽電池を生産することが可能となり、太陽光発電の大規模普及につながります。さらに、過疎地域や開発途上国、あるいは、教育現場などを含む幅広い用途に活用できるものと期待されます。今後は、不純物や添加物濃度の詳細な最適化、また、光閉じ込め構造の導入などにより、更なる性能の向上を目指していく予定です。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 18H01475、岩谷科学技術研究助成の支援を受けて行われました。

<用語解説>

※1 PEDOT:PSS : poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) (ポリエチレンジオキシチオフエン-ポリスチレンスルホン酸ナトリウム) という導電性有機材料。

※2 ヘテロ接合太陽電池 : 異なる二種類の材料を合わせることで作られる太陽電池。これに対し、従来の Si 太陽電池などは、単一の材料に二種類の不純物添加が行われるホモ接合太陽電池である。

※3 調整ガス雰囲気 : 従来の太陽電池の作製においては、材料の酸化や、不純物の付着・混入を防ぐために、真空や、酸素を全く含まないガスや、水素を含むガス(還元雰囲気)の中にて行われる工程が多々ある。

※4 不純物ドーピング : 太陽電池では、電気の流れ(電流)を生むために、材料の中に電気にとっての"坂道"を設けてやる必要があるが、Si 太陽電池などのホモ接合太陽電池ではそれを不純物の導入(ドーピング)によりもたらしめている。

※5 不純物拡散工程 : Si 太陽電池などのホモ接合太陽電池においては、上記の電気にとっての"坂道"を、特定の不純物の片面からの拡散によってその不純物の濃度差によりもたらしめている。これに対し、今回のようなヘテロ接合太陽電池では、使用されている二種類の材料の間に自然とその"坂道"が生じるため、不純物の拡散工程は不要である。

<研究者のコメント>

人智を尽くせば、装置無しですぐに太陽電池を作ることができるか、また、その性能はどこまで上げることができるか? という問いに答えてみたいと思いました。新しい太陽光発電材料やそれらの組み合わせの開発が進む中、今後、更なる性能の向上が期待されます。(田辺克明)

<論文タイトルと著者>

タイトル : An all ambient, room-temperature processed solar cell from a bare silicon wafer (素のシリコンウェハから大気中、室温で作製された太陽電池)

著 者 : Kazuya Okamoto, Yutaka Fujita, Kosuke Nishigaya, and Katsuaki Tanabe

掲 載 誌 : *PNAS Nexus* DOI : <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad067>

PNAS Nexus : Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS、米国科学アカデミー紀要) の姉妹誌であり、National Academy of Sciences (NAS、米国科学アカデミー)、National Academy of Engineering (NAE、米国技術アカデミー)、National Academy of Medicine (NAM、米国医学アカデミー) の会員により編集される、科学分野全般を扱う新しい国際学術論文誌。"Nexus" = 繋がり、連合。