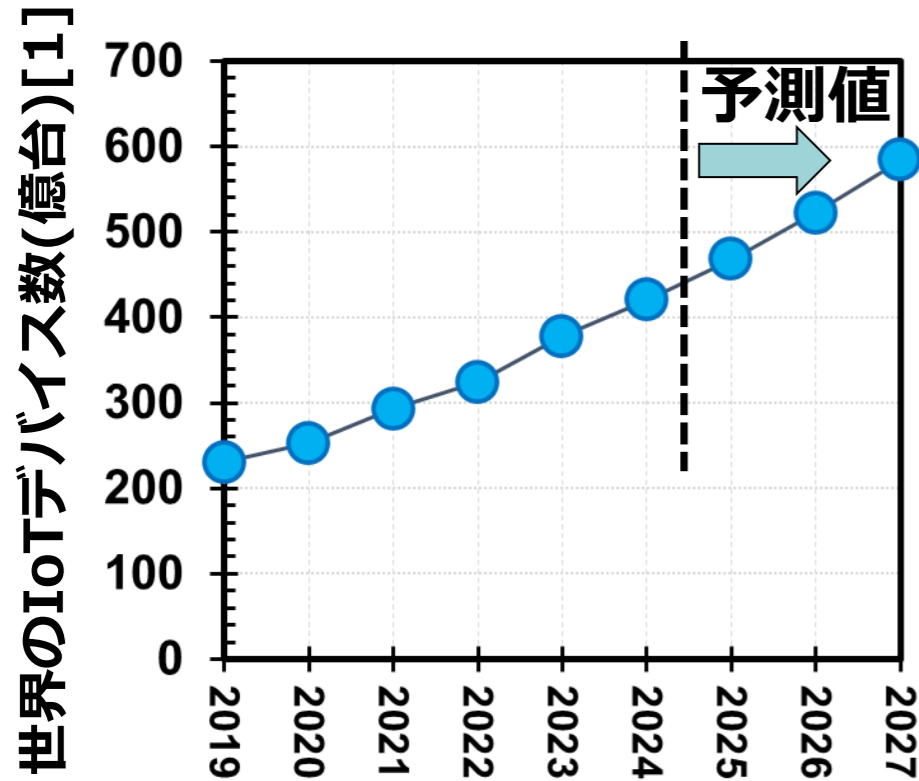


墨汁をつかって室温で 簡単に太陽電池を作製

国立高等専門学校機構
長岡工業高等専門学校 電気電子システム工学科
教授 島宗 洋介

2025年10月14日(火)

研究分野の背景



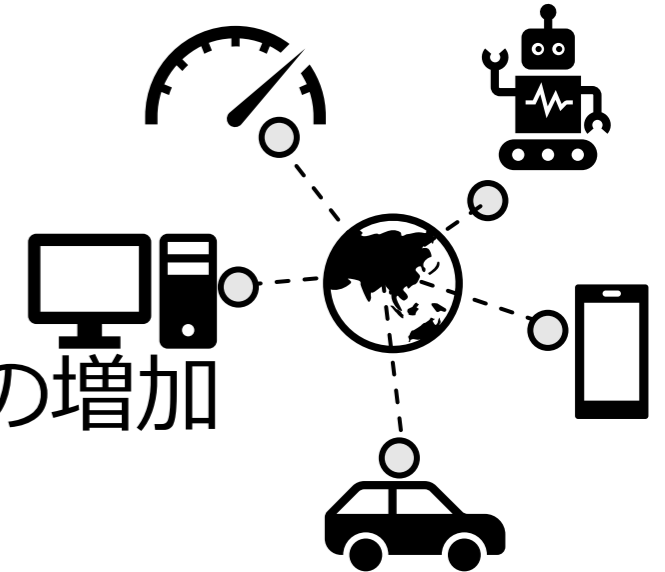
世界のIoTデバイス

2025年 486億台見込み

その後も年間50億台以上の増加ペースが予測されている。

実装される分野：コンシューマ、産業、通信、医療、自動車、宇宙航空等

有線給電困難な場所への設置も想定

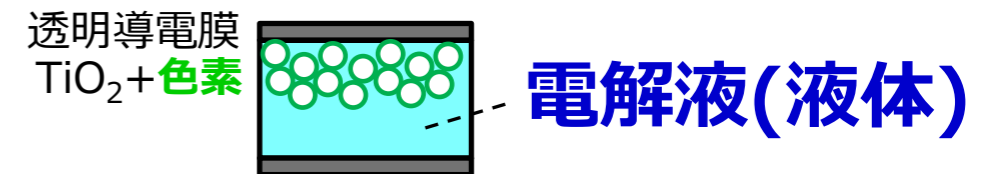
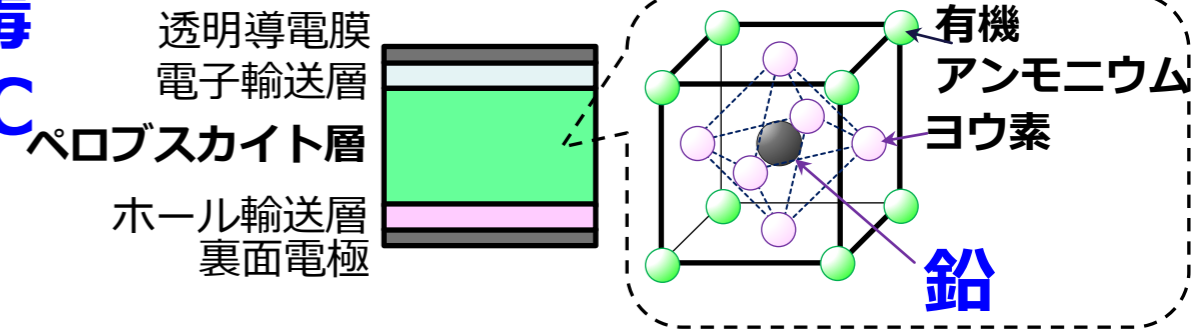
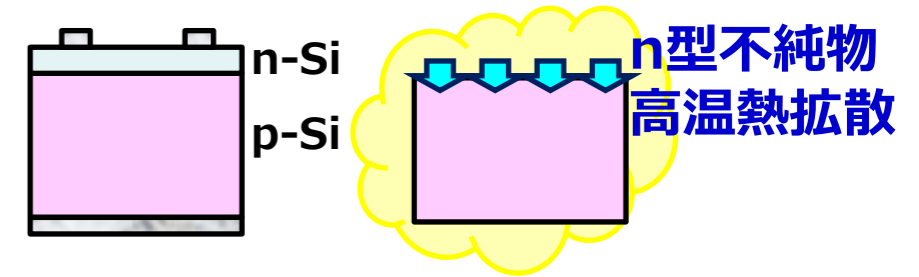


IoTデバイスへの給電技術として、メンテナンスフリーの環境発電デバイス～太陽電池が重要となる

[1]総務省 令和7年度版 情報通信白書 データ集 “世界のIoTデバイス数の推移及び予測”

従来技術とその問題点

- Si太陽電池では、不純物を拡散・活性化させるために**800°C程度以上の高温長時間の熱処理**が必要で、熱処理炉のように特殊な装置が必要となります。
- ペロブスカイト太陽電池ではヨウ化鉛等の**毒性**のある物質が用いられており、また**100°C程度**の熱処理温度が必要です。
- 色素増感太陽電池は透明電極、酸化チタン、色素に加え、**液体である電解質を含む複雑な構造**が必要となります。



めざしているもの

➤ 汎用材料を用いて簡単に作成できる新型太陽電池の実現

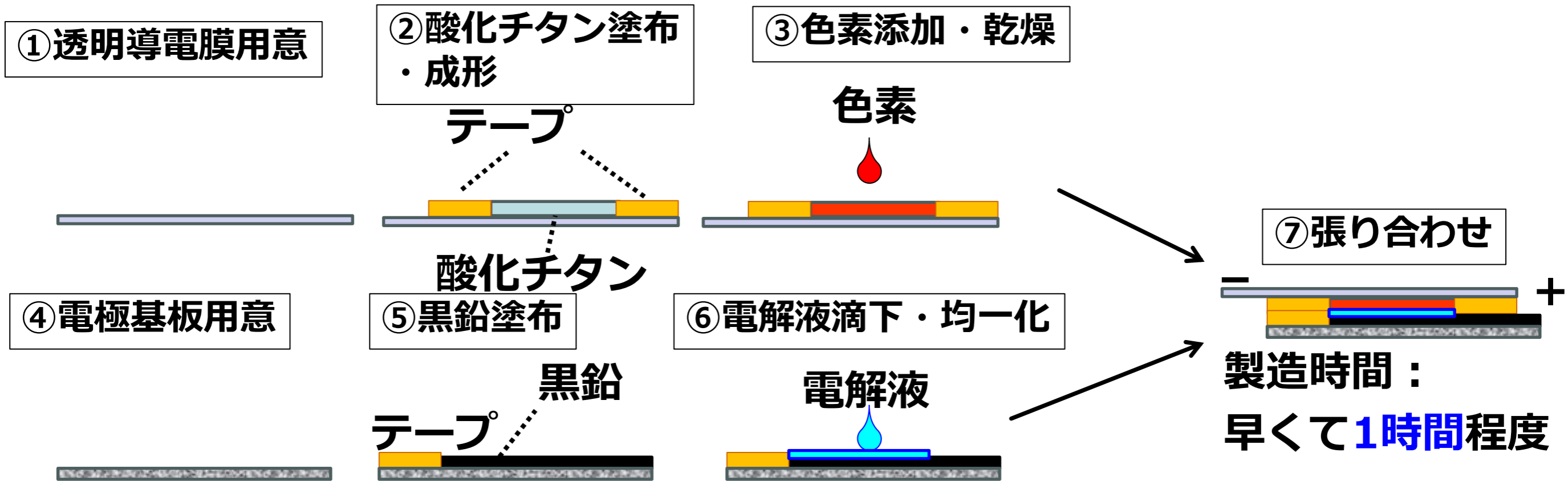
- 使用原料：**汎用材料**(希少元素や毒性元素を含まない)
- 製造方法：**室温、常圧**で製造可能
- 性能(セル当たり出力):**サブmWレベル**
 - 高性能(高エネルギー変換効率)でなくとも、
簡単な製造工程で製造できることに焦点を絞る。

IoT向け低消費電力マイコン駆動用電源への応用を目指す

新技術の特徴・従来技術との比較

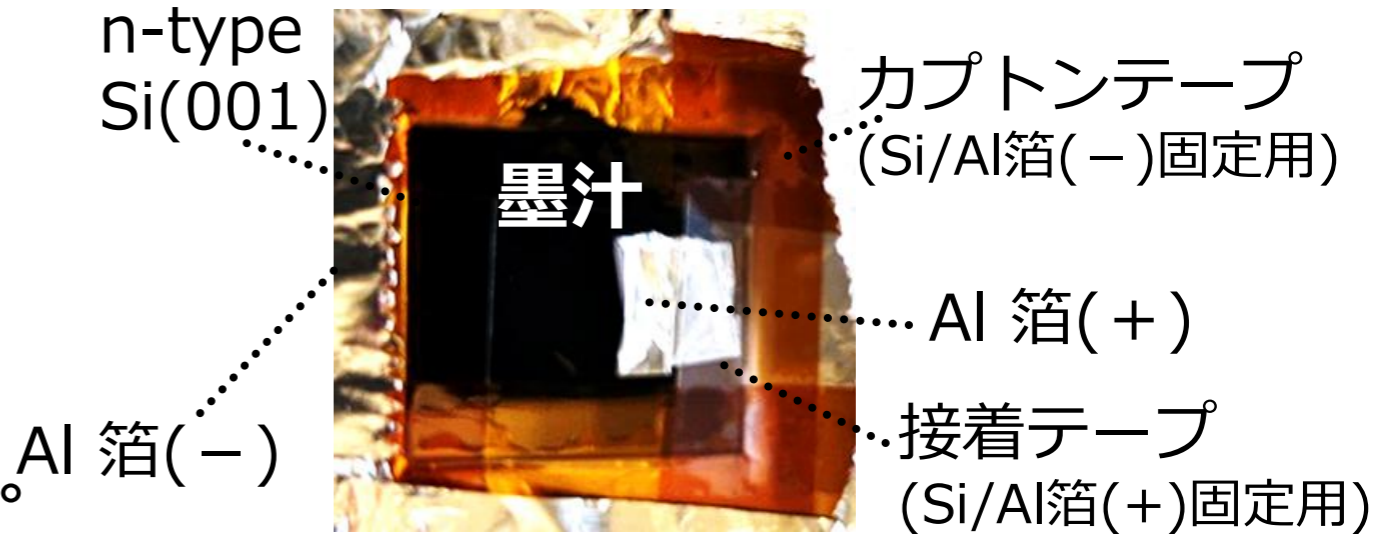
- 従来技術の例 色素増感太陽電池(室温製造可能)の製造方法

[課題]酸化チタン、色素、黒鉛、電解液、テープと**構成材料が多く、工程が複雑**。
また液体を用いているため、液漏れを起こしたり、電極同士が短絡しやすい。



新技術の特徴・従来技術との比較

- 新技術の特徴：Si基板、墨汁、Al箔、テープと**構成材料が少なく、工程が簡単です**。墨汁は十数分間程度の室温乾燥で固着します。乾燥墨汁は剥離が容易であるため、簡単に作り直しができます。**短時間で失敗しにくい製法です**。

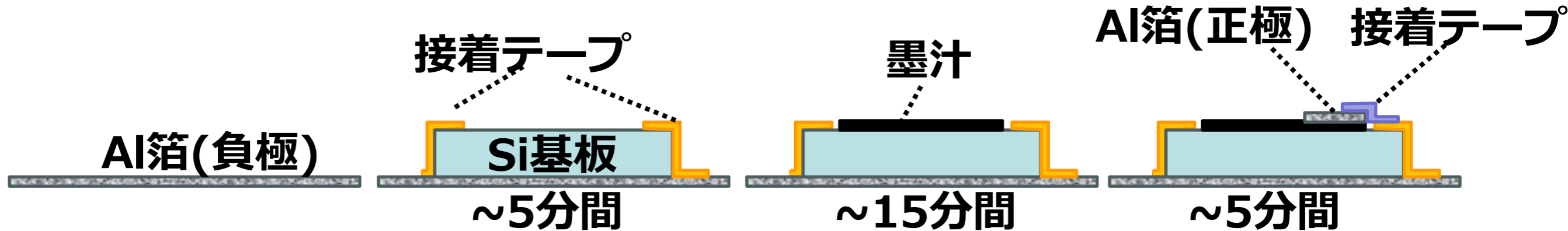


① Al箔(電極)用意

② Si基板を固定

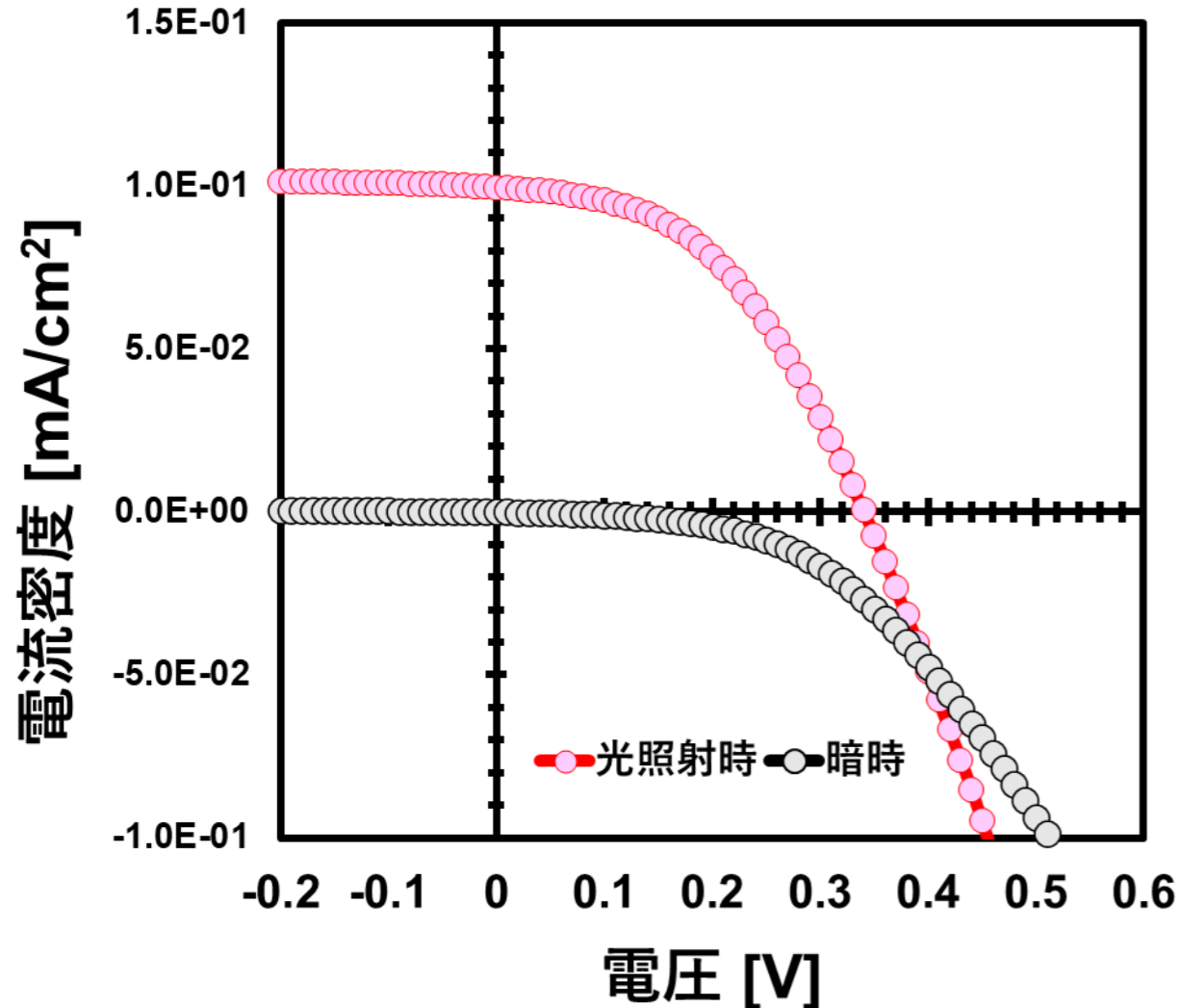
③ 墨汁を塗布乾燥

④ Al箔を固定



典型プロセスでは**20分間程度**で製造可能

新技術によって製造した太陽電池の特性



- ・ 製造時間 : 20分間
 - ・ エネルギー変換効率 0.016%
 - ・ 開放電圧 : 0.341V
 - ・ 短絡電流 : 0.1mA /cm²
- (照射光 : 100mW/cm², 温度 : 25°C)

・ 現時点ではLEDを光らす、モータを回す、ICを駆動する・・・等には性能不足です。特に電流の改善が必要です。

性能改善開発方針

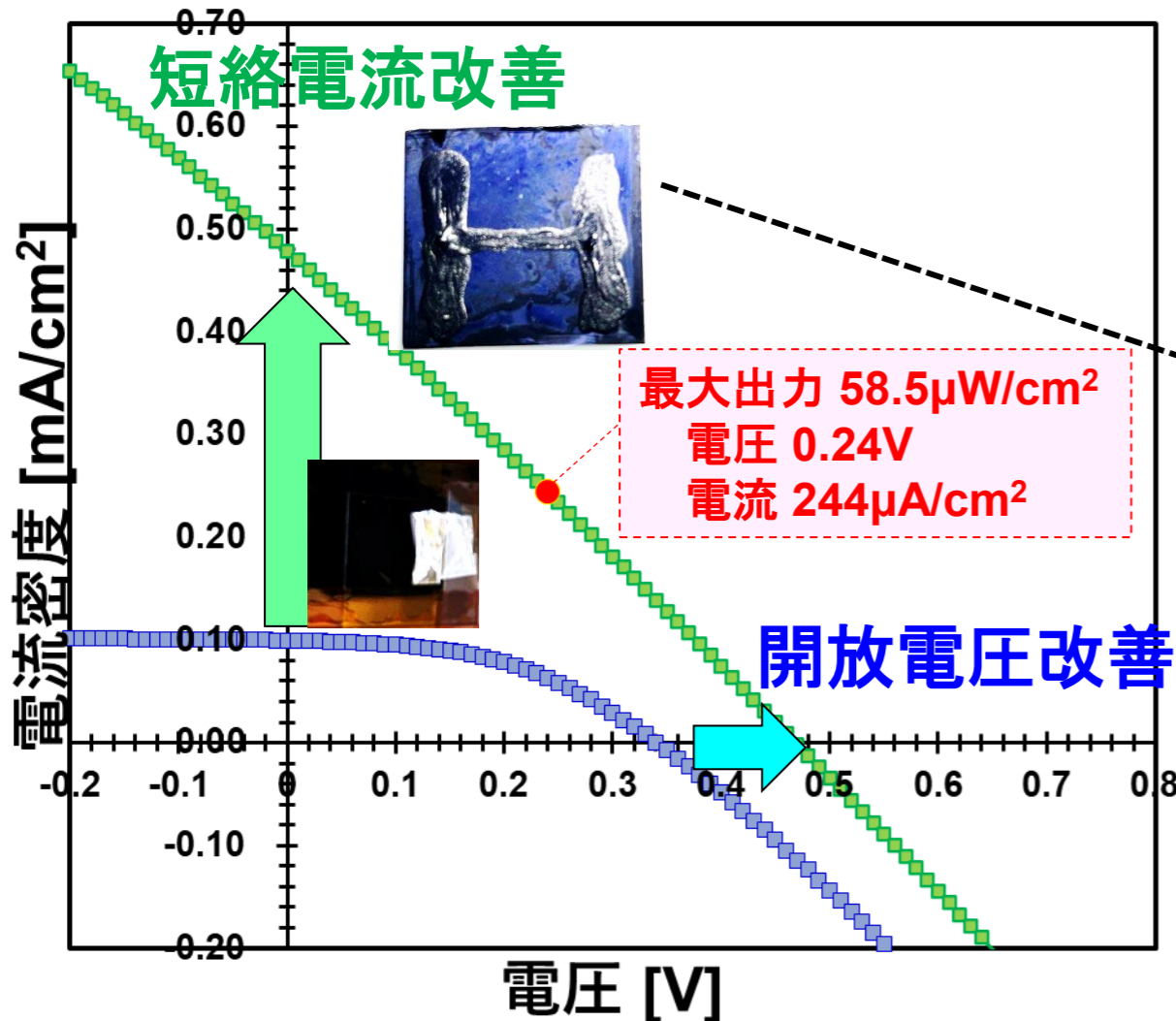
上部電極：低抵抗、速乾性の材料、構造
(Ex. 墨汁ベースで金属添加)

墨汁層：300nm程度以下に薄く、均一に塗布可能なプロセス。

下部電極/Si接合界面：接触抵抗低減技術

できる限り簡単で安全な材料のみで実現可能な製造プロセスを目指します

性能改善実験状況



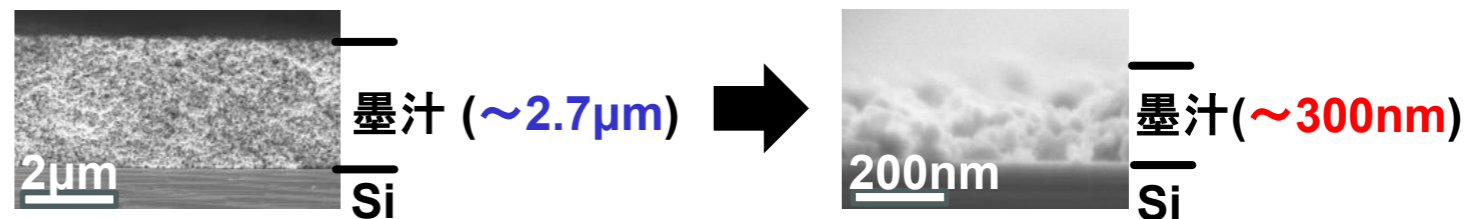
	エネルギー変換効率[%]	開放電圧 [V]	短絡電流 [mA/cm ²]
初期試作	0.016	0.341	0.100
改善版	0.059	0.468	0.479

短絡電流改善

- ・Si基板裏面にAlをスパッタリングで成膜
- ・上部電極として墨汁にAl粉末を添加したものをパターニング

開放電圧改善

- ・墨汁を μm オーダー \rightarrow $\sim 300\text{nm}$ 程度へ薄膜化



想定される用途

低消費電力デバイス駆動用電源の利用

- ・ IoTデバイスは、コンシューマ向け、産業用途、通信、医療、自動車・宇宙航空など様々な場面で社会実装されるため、有線給電が困難な場所に設置される場合、駆動用電源として独立したメンテナンスフリーの環境発電デバイスが重要です。
- ・ 現在、出力 $58\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (0.24V , $240\mu\text{A}/\text{cm}^2$)まで実現しており、該当出力相当で動作するデバイスがあれば、本太陽電池で駆動可能です(右図)。
- ・ さらなる性能改善で、サブmWレベルの出力が可能な太陽電池を実現し、より高機能のIoTデバイス(マイコン)の駆動を目指します。



本太陽電池による低消費電力デバイスの駆動例：
自然光により、CLEAN-Boost (ABLIC社)を駆動し、ビーコン信号を無線送信し、スマートホンで信号受信している様子

想定される用途

任意の図柄のデザイン性に優れた太陽電池

本技術では、カーボンブラックを含有した墨汁を筆をつかってシリコン表面に塗布することができるため、任意の図柄の太陽電池が簡単に作成できます。

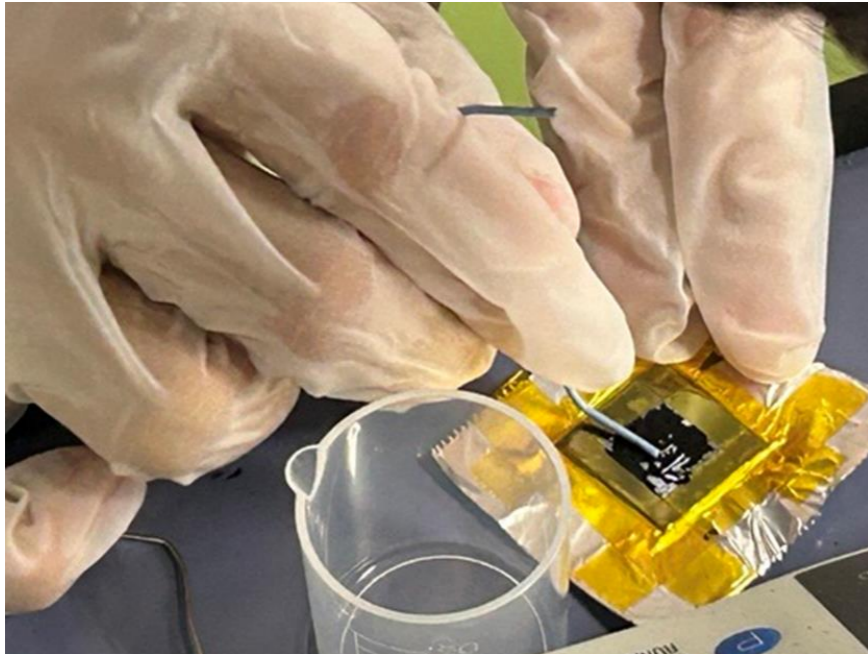


- ・電流を増大するためには、墨汁塗布領域がすべてつながっている必要があります。
- ・開放電圧は、墨汁塗布面積に依存しません。

想定される用途

理科教材

- 本技術は、数十分以内で汎用材料で太陽電池の製造が可能です。本特徴を生かすことで、教育機関での授業時間内(50~90分間)で製造+評価が可能です。



例：中学生向け(50分間)

0:00~0:10

太陽電池の原理の説明

0:10~0:40

試作

0:40~0:50

評価

宿題(考察)

どうすれば出力があがるだろう？

半導体デバイスの構造・製造方法次第で

大きく性能が変わることを体験し、

プロセス開発の面白さを味わう。

想定される用途

”煤(カーボンブラックの一種)”の利用可能性有

- ・カーボンブラック単体をシリコン基板へ塗布することで光起電力(開放電圧)が生成させることを確認しています。
- ・ろうそく(原料パラフィン)の炎の”煤”を直接シリコン基板に堆積させても同様に光起電力の生成を確認しています。

→有機物を燃焼させた際に生じる”煤”に太陽電池の原料となる可能性があります。
裏付けのためにはさらなる研究が必要です。



実用化に向けた課題

- 墨汁/シリコン接合界面のバンドアライメントやキャリア輸送機構が明らかになっていません。
- 電流制限原因として電極形成に課題があると考えており、今後、出力電流改善のための電極製造プロセス開発を行っていきます。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組み
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> ・墨汁/シリコン自然酸化膜/シリコン接合構造におけるバンドアライメントとキャリア輸送機構の解明 	
現在	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミ/墨汁/シリコン/アルミ積層構造による簡易太陽電池を実現 	<ul style="list-style-type: none"> ・理科教材パッケージ ・μWオーダー低消費電力デバイスの各用途に提案可能
4年後	<ul style="list-style-type: none"> ・バンドアライメントとキャリア輸送機構解明の進展 ・キャリア輸送を改善できる構造の検討。(カーボンブラック含有率、絶縁性樹脂、シリコン表面制御) 	
7年後	<ul style="list-style-type: none"> ・出力電流を当初比100倍を実現 	<p>低消費向けIoTデバイス駆動用電源として実装可能</p>
10年後	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール化技術開発、直並列化技術 ・墨汁剥離技術確立。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般向けマイコン駆動用電源として実装可能 ・シリコン再生技術を実現

企業への期待

【実用化を目指した共同研究】

- 現行性能(例: $54\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 0.24V , $240\mu\text{A}/\text{cm}^2$)程度の微小電力で駆動可能なセンサやマイコンを持つ企業

【さらなる高性能化を目指した共同研究】

- カーボンブラックの性質制御技術を持つ企業
- 粘性材料を厚さ数百nmオーダーで塗布可能な技術あるいはそれに応用可能な技術を持つ企業

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、汎用材料を用いて簡単に製造できる太陽電池に関するものです。数十 μ Wの低消費電力向けのセンサやマイコン等の駆動用としてお使いいただけます。導入に向けた共同研究を希望しています。
- さらなる出力増大のための研究開発を進めています。改良についての共同研究を希望しています。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 太陽電池およびその製造方法
- 出願番号 : 特願2024-212160
- 出願人 : 独立行政法人国立高等専門学校機構
- 発明者 : 島宗洋介、神保和夫、
酒井健志、斎藤希望

産学連携の経歴

- 2019年-2024年 長岡工業高等専門学校 地域創生教育研究推進室
オープンソリューションセンター長 (技術相談対応)

本研究テーマに関わる競争的研究費の採択実績

- 令和6年度 一般財団法人 佐々木環境技術振興財団
("カーボン系塗料/半導体接合型太陽電池の開発")
- 令和7年度 公益財団法人 山口育英奨学会
("炭素系塗料/汎用半導体積層構造からなる光電変換デバイスの製造
プロセス技術開発")

お問い合わせ先

国立高等専門学校機構
長岡工業高等専門学校
総務課地域連携係

T E L 0258-34-9312

e-mail chiiki@nagaoka-ct-.ac.jp