

高感度近赤外検出可能な 印刷プロセス厚膜有機光センサ

大阪大学 大学院工学研究科
電気電子情報通信工学専攻

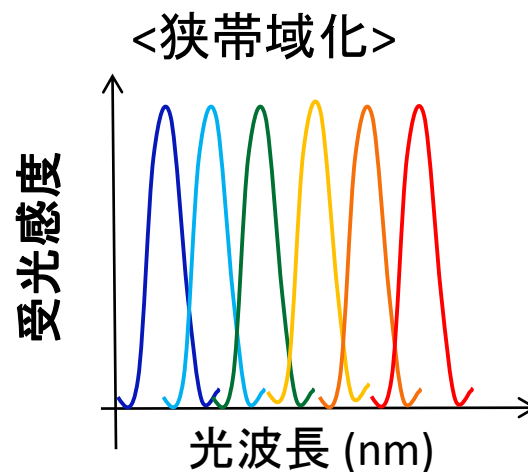
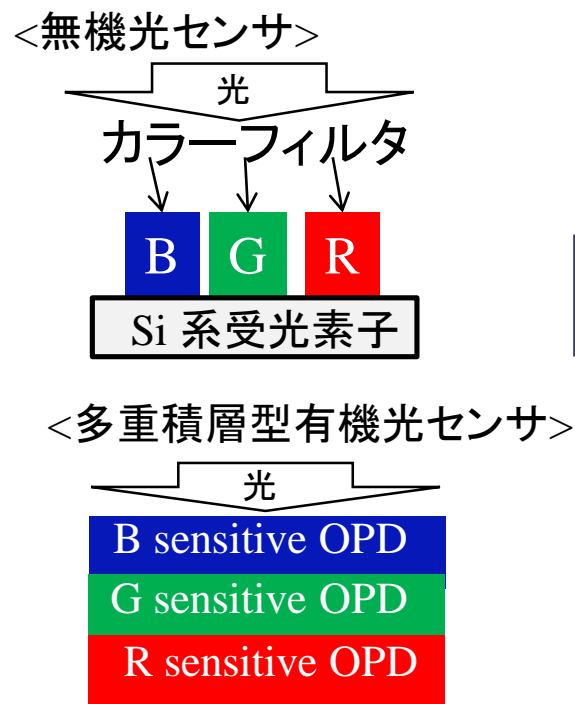
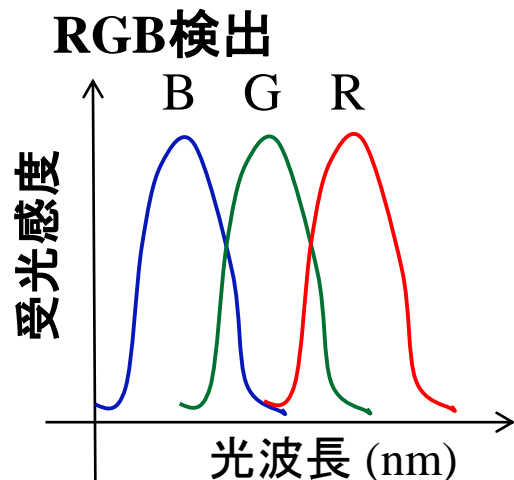
准教授 梶井 博武

2022年2月3日

背景：狭帯域検出

IoT (Internet of Things) への関心が高まっており, 1兆個規模のセンサーを活用する時代に向けた印刷プロセスによるセンサー製造技術に関する研究開発が活発化

多波長検出

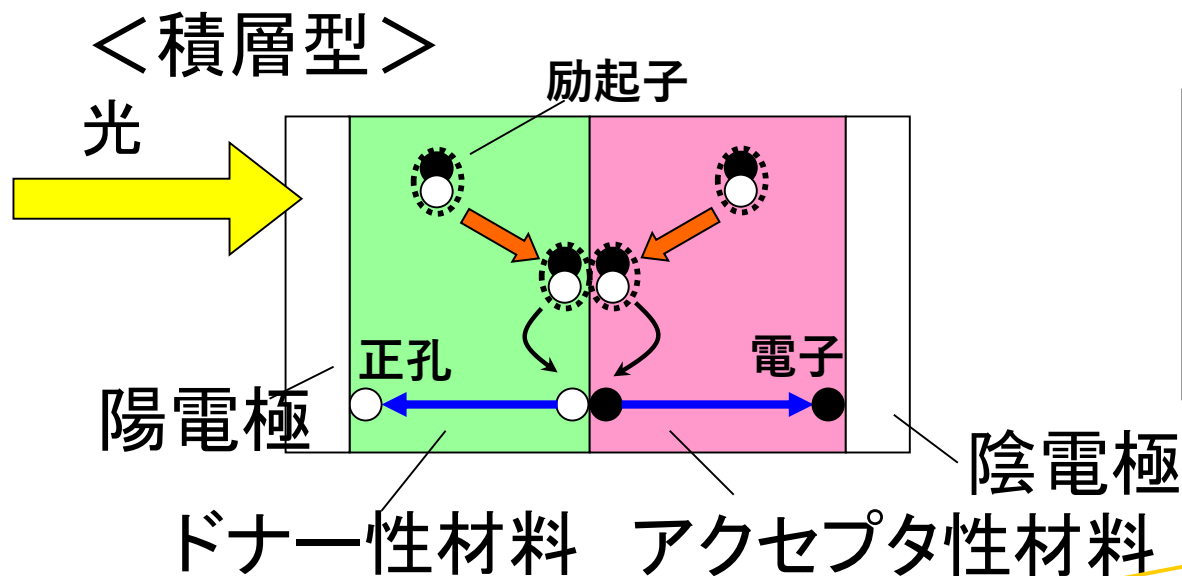


用途：
バイオ・農業用
マシーンビジョン

有機光電変換素子の動作原理

光電流の発生過程

1. 光の入射
2. 励起子形成
3. 励起子拡散
4. ヘテロ界面で励起子が解離
5. 電極への電荷の取り出し



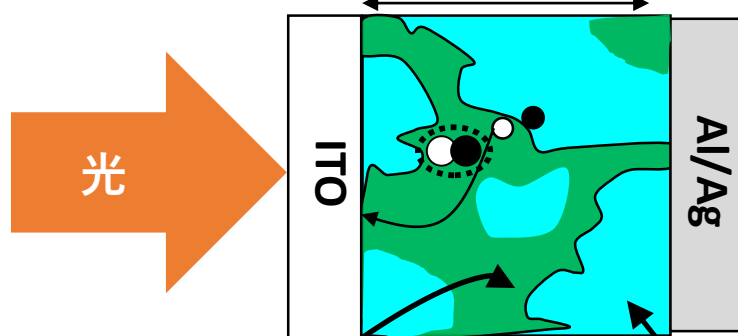
電荷の取り出し効率が重要

塗布プロセスによる活性層の作製

大面積化が容易

<バルクヘテロ接合型>

活性層膜厚: $0.2\mu\text{m}$



通常の有機太陽電池・受光素子 (PD)

・ 吸収係数が高い: $10^5 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$

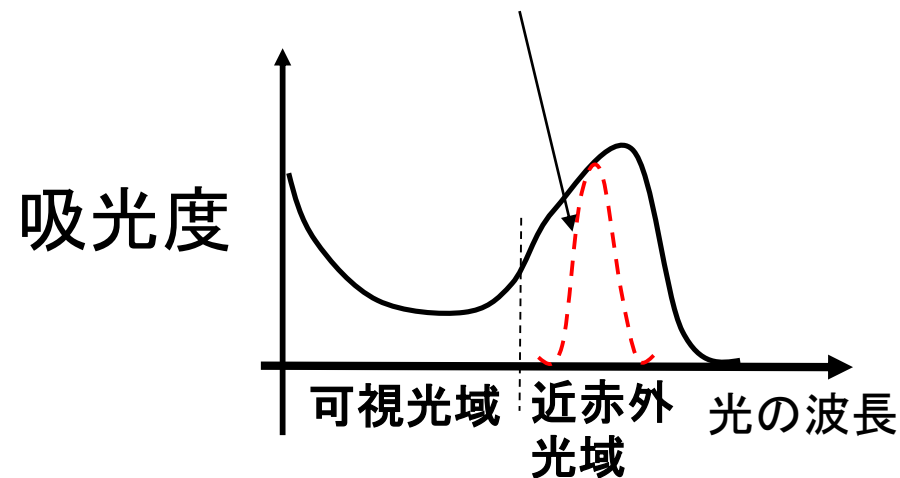
⇒ 光吸収 $\sim 0.2\mu\text{m}$ の活性層膜厚で OK

従来技術とその問題点

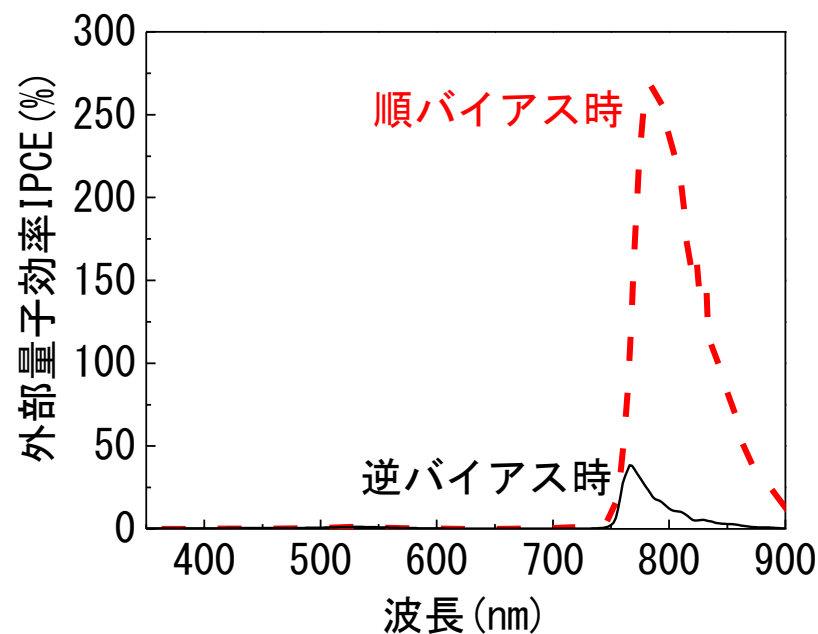
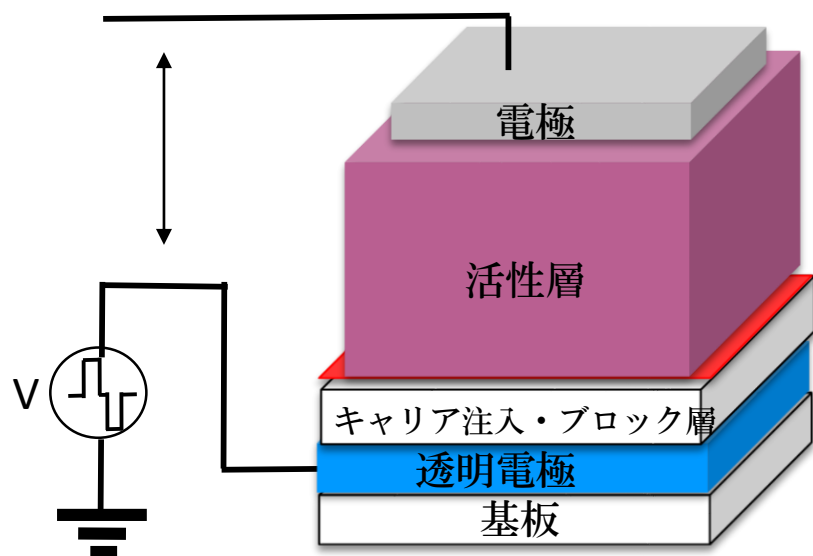
近赤外検出するためには、新規材料を合成
(材料固有の吸収を利用)

+

カラーフィルター



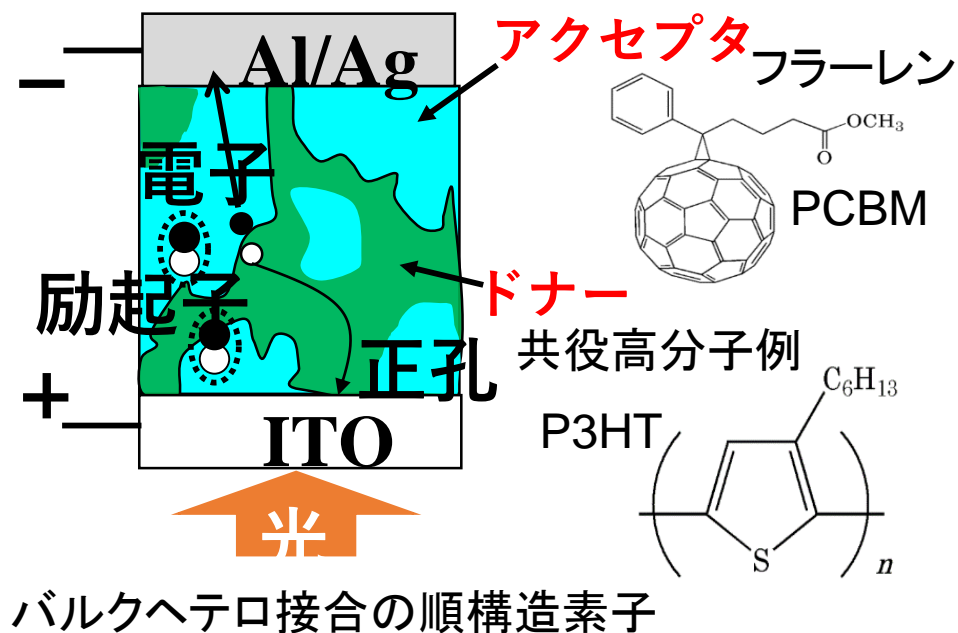
新技術の特徴・従来技術との比較



既知の有機太陽電池用に開発された有機半導体材料を用いて、デバイス構造の設計とバイアス電圧印加の工夫

- **順バイアス時**に外部量子効率が100%を超える近赤外領域での高い検出感度を実現
- 逆バイアス時に通常の写真ダイオードとして機能
- カラーフィルタなしで狭帯域化を実現

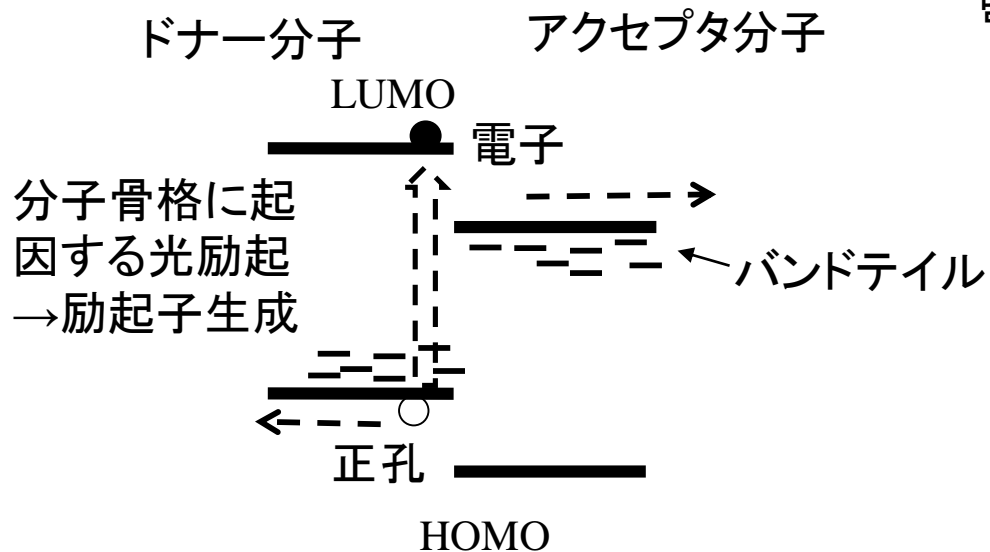
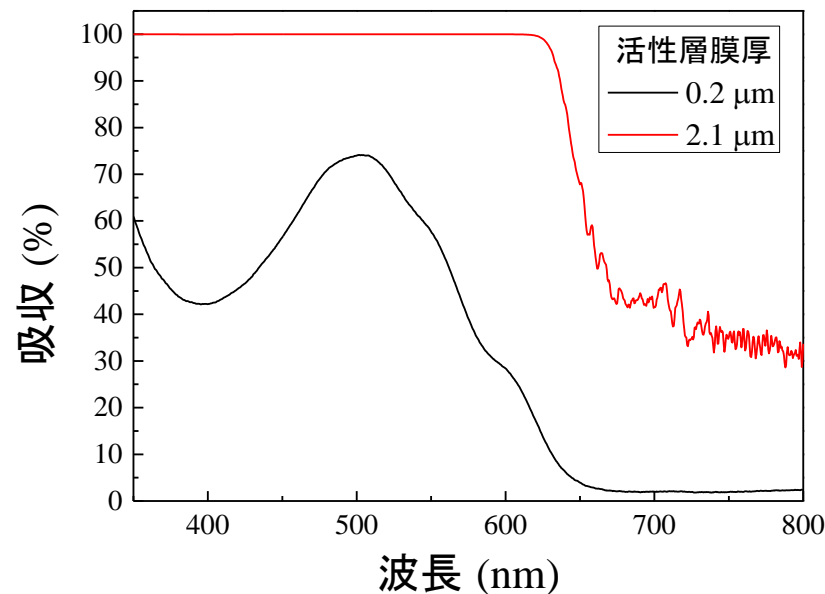
従来型の順構造型の有機光電変換デバイス



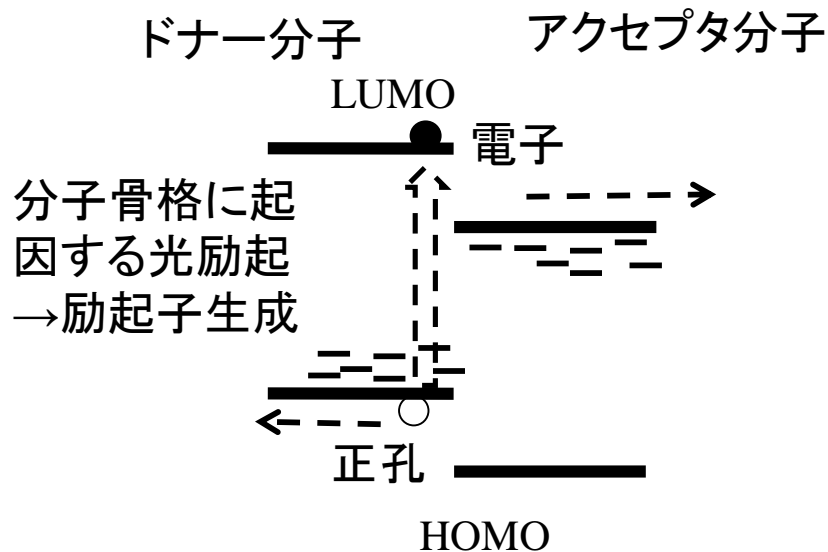
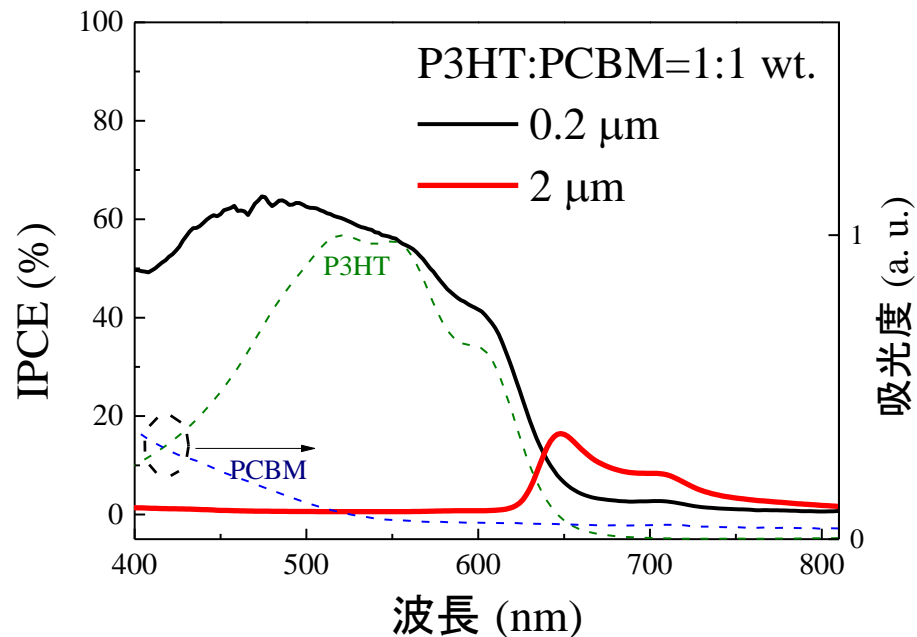
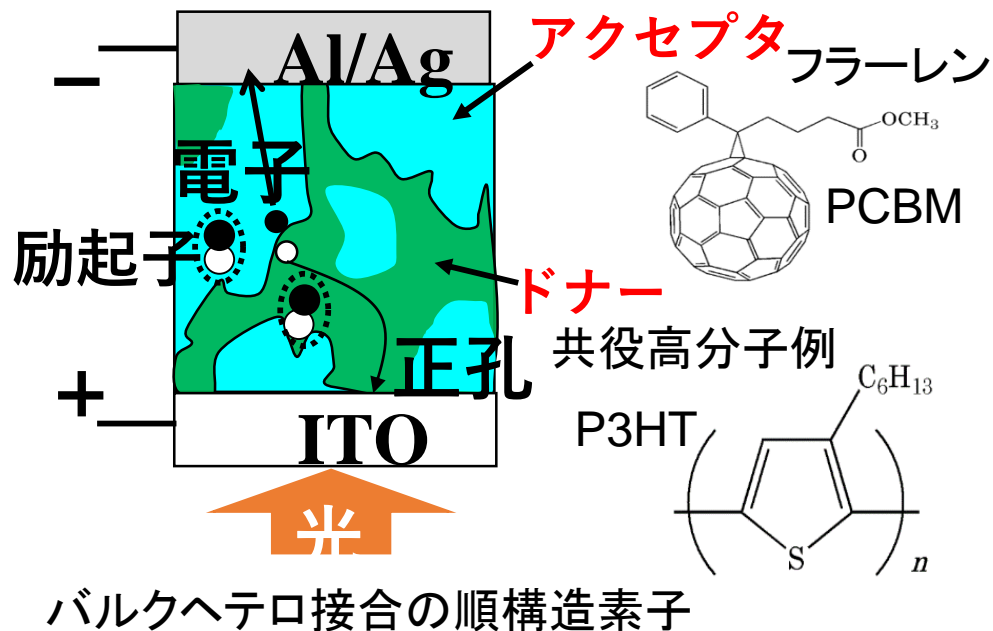
通常の有機薄膜太陽電池・受光素子

- 吸収係数大きい: 10^5 (cm^{-1})

⇒光吸収 0.2 μm 程度の膜厚でOK



従来型の順構造型の有機光電変換デバイス



外部量子効率

$$IPCE = \frac{\text{出力電子数}}{\text{入射光子数}}$$

$$= \eta_A \cdot \eta_{ED} \cdot \eta_{CT} \cdot \eta_{CC}$$

η_A : 活性層の光吸収

η_{ED} : 励起子の界面への拡散

η_{CT} : 界面でのキャリア生成

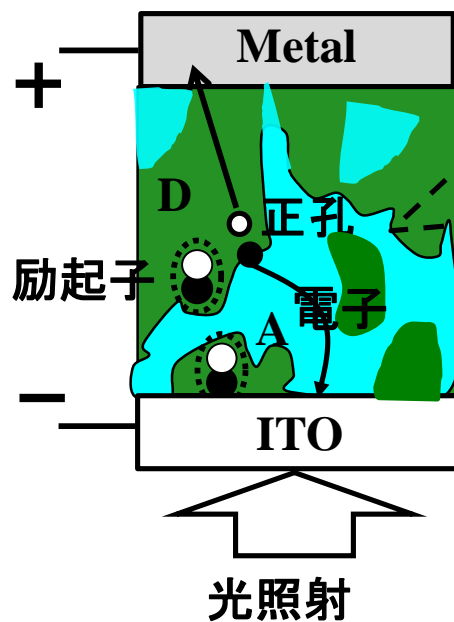
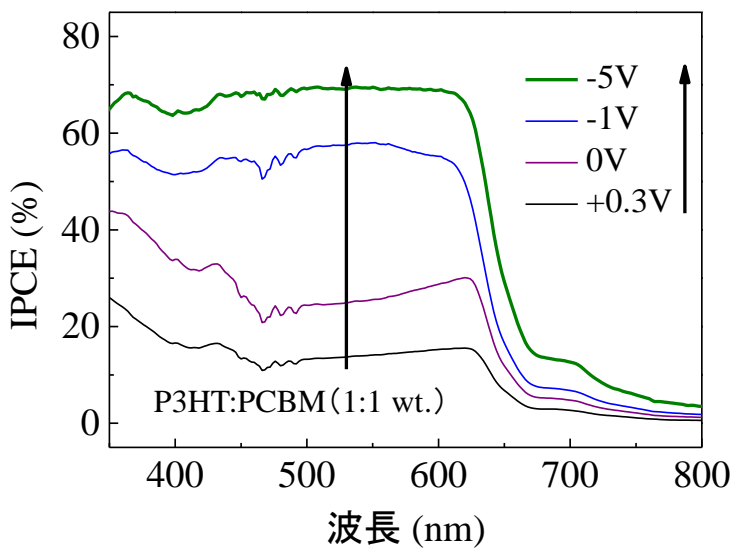
η_{CC} : 電極へのキャリア取出し

η_{CC} の制御で狭帯域化が可能

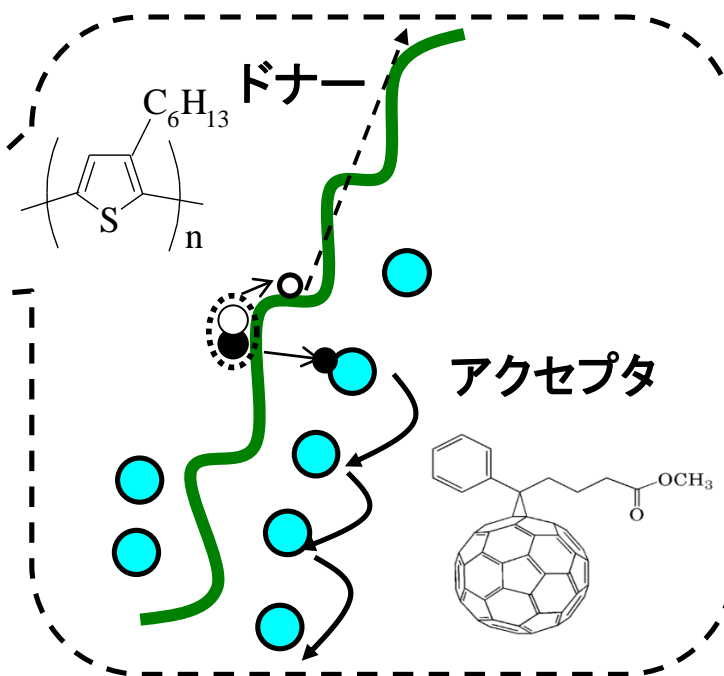
逆構造型の有機厚膜光電変換デバイス

P3HT:PCBM逆構造素子:

順構造と同じ2 μm の膜厚素子では狭帯域検出ができない



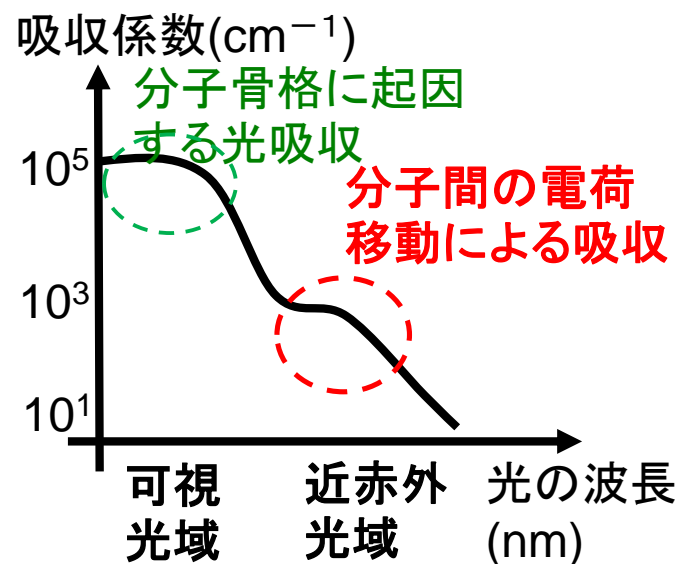
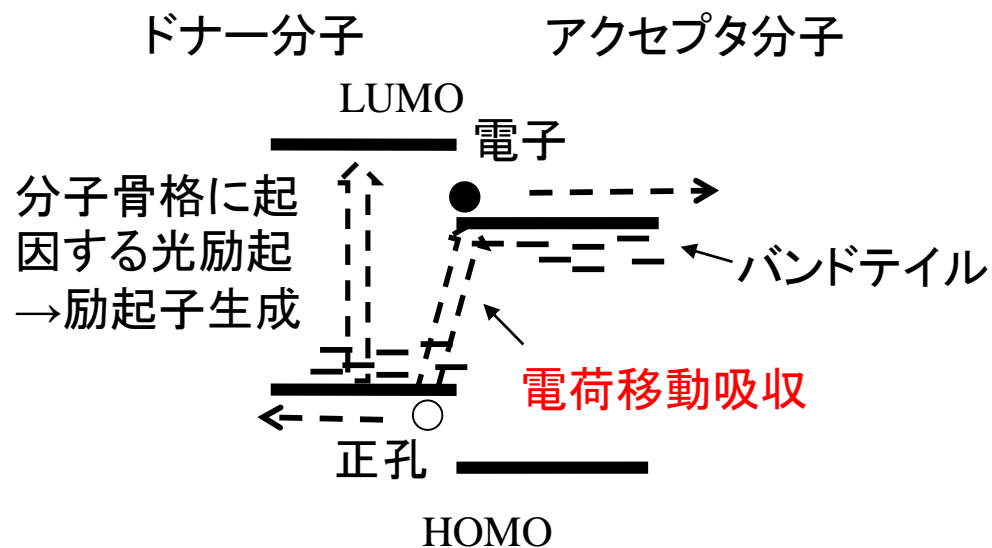
逆構造素子



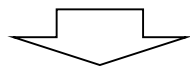
狭帯域検出はできず

→キャリア輸送方向が逆で
ドナー性材料の主鎖が長い
ため、**正孔が捕集**

新技術の特徴



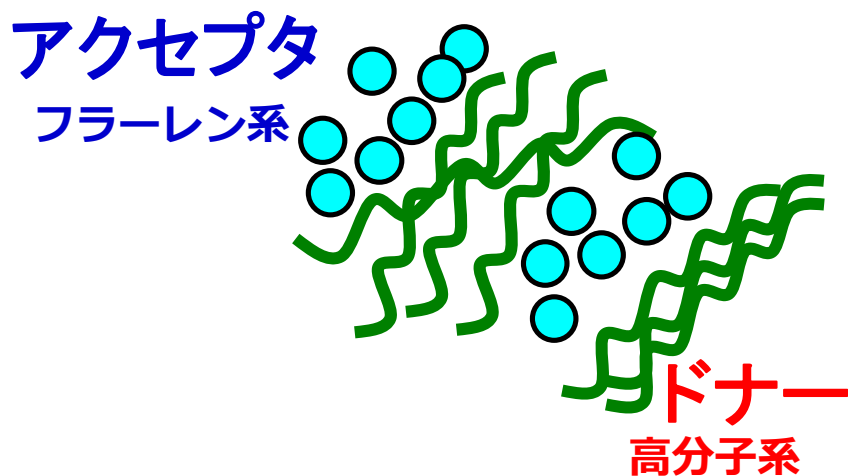
ドナー・アクセプタ分子からなる自己組織的に秩序を有する部分と不秩序な部分が混在した、バルクヘテロ構造と称される特異な構造



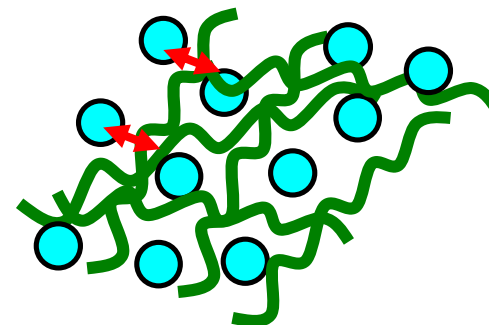
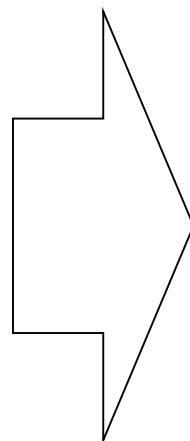
既知の材料によるドナー・アクセプタ分子間の電荷移動による弱い吸収を利用して、従来より数十倍以上の活性層膜厚の厚い素子設計

→近赤外感度の増強

活性層のバルクヘテロ構造設計

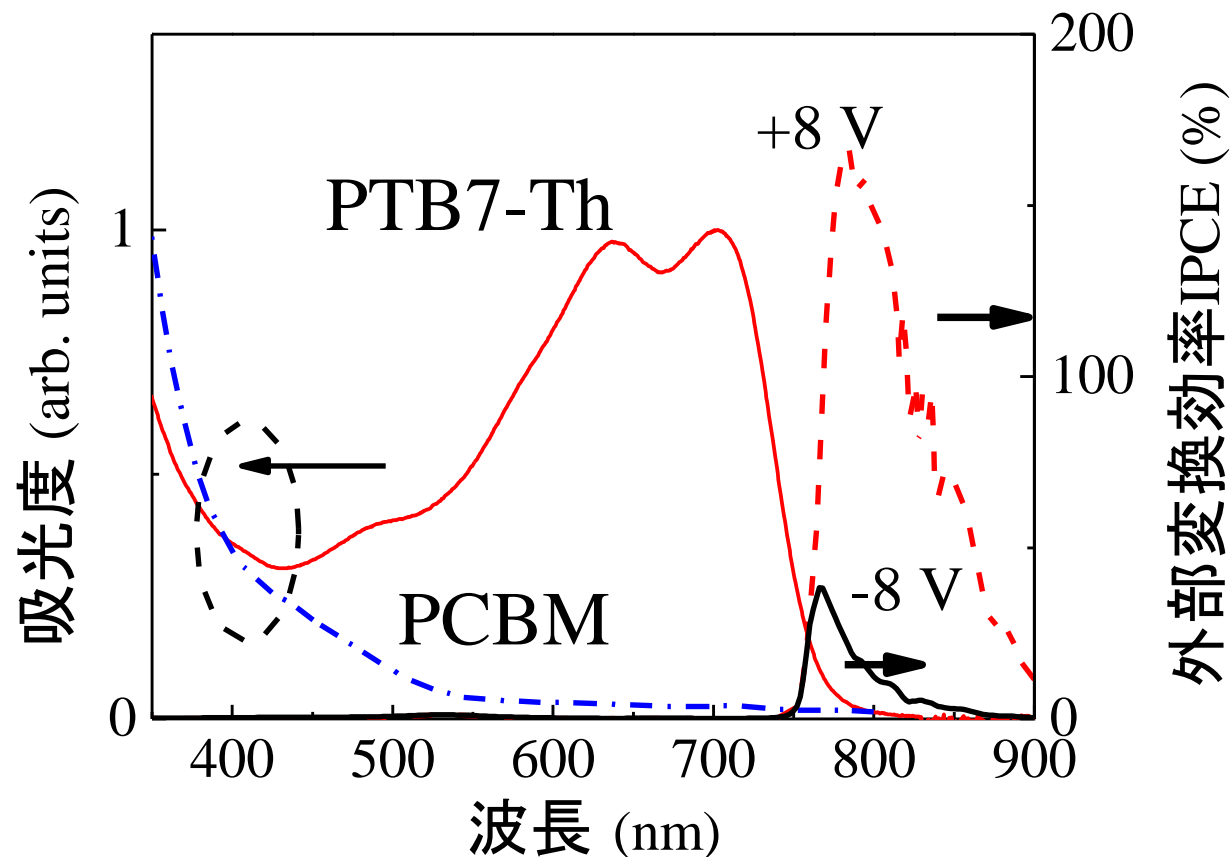
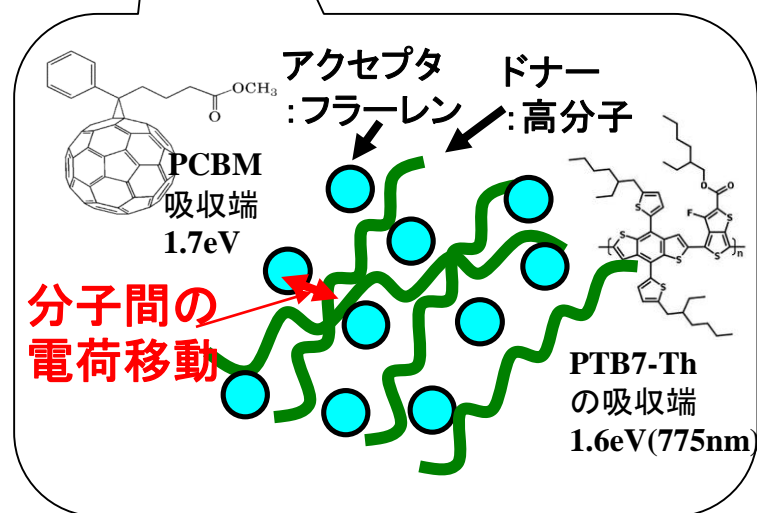
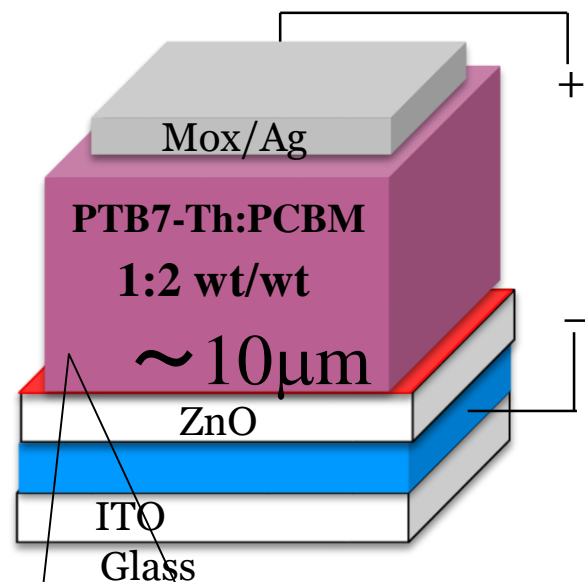


相分離型界面形成



相互浸透型界面形成

近赤外狭帯域検出に向けた 逆構造の超厚膜有機光電変換素子のデバイス設計



性能比較

	一般的なSi系PD	本研究
作製の簡便	○ 真空プロセス	◎ 塗布型
大面積化	△	○
フレキシブル性	×	○
狭帯域受光	○ (カラーフィルタあり)	○
比検出能 D^*	◎ >10 ¹³ Jones	○ >10 ¹² Jones
効率 IPCE	○ <100%	○ or ◎ - 電圧 <100% + 電圧 >100%

比検出能 D^*
: 1Wの光入力があった時に,
検出素子の交流的なS/Nがど
れだけあるか示すもの

外部量子効率
 $IPCE = \frac{\text{出力電子数}}{\text{入射光子数}}$

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、印刷製造を適用することで、大面積・アレイ化の光電変換デバイスへのメリットが大きいと考えられる。
- 大面積赤外検出センサ・光学式タッチパネル・マシーンビジョン等。
- 巻物型・折り畳み型のフレキシブルデバイス分野や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、900 nmまでの近赤外検出可能なところまで検討済み。より長波長まで吸収がある有機機能性材料にて1 μ m以上の近赤外領域の検出の確認.
- 暗電流の更なる低減による検出能の向上.
- 実用化に向けてフレキシブル素子のアレイ化技術の確立.

企業への期待

- 塗布型デバイスの素子製作技術をもつ光センサの開発中の企業と共同研究を希望.
- 塗布型光センサを開発中の企業へのライセンス提供が可能.
- 近赤外に吸収を有する有機機能性材料を開発している企業と共同研究を希望.

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 有機光センサ
- 出願番号 : 特願2021-109538
- 出願人 : 大阪大学
- 発明者 : 梶井博武、近藤正彦

産学連携の経歴

- 2005年-2012年 民間企業と有機トランジスタに関して
共同研究、実務担当
- 2011年-2014年 民間企業と有機ELに関して
共同研究、実務担当
- 2014年-2015年 民間企業と有機ELに関して
共同研究、実務担当
- 2020年-現在 民間企業と発光素子に関して
共同研究、実務担当

お問い合わせ先

大阪大学

共創機構 イノベーション戦略部門 知的財産室

<TEL> 06-6879-4861

<e-mail> tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp