見学方法： 見学予約フォームより予約を行ってください
予約フォーム：https://forms.gle/H7Ue51K5mZTaUhsd9

沈研究室

場所： 東6号館 506, 508, 509, 510, 517号室

HP ： http://www.shen.es.uec.ac.jp/index.htm

Qing Shen (沈 青) - Google Scholar

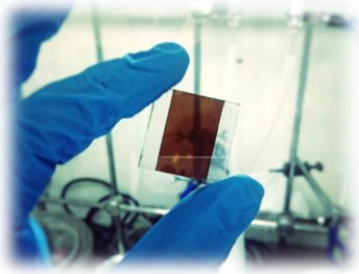


Email: shen@pc.uec.ac.jp

低コスト・高効率な次世代太陽電池と発光デバイスの実現を目指して

- 半導体ナノ構造の設計・創製とその太陽電池・発光デバイス（LED）への応用
- 半導体量子ドットを用いた「次世代太陽電池」および「発光デバイス（LED）」の作製、その性能評価と高効率化のメカニズムの解明
- 半導体ナノ材料における「光エネルギー変換の基礎過程」の評価
- ペロブスカイト太陽電池の作製・評価と高効率化のメカニズムの解明
- 有機太陽電池の作製・評価と高効率化のメカニズムの解明

太陽電池



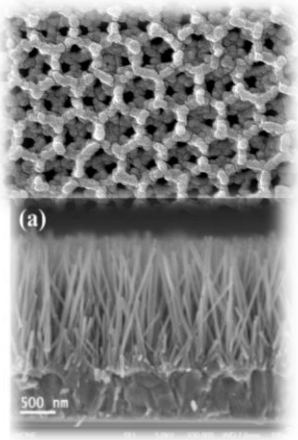
高速レーザー分光



量子ドット
(約100%の発光量子収率)



ナノ構造





LED





構成

教授 沈 青
名誉教授 豊田 太郎
研究員６名 、博士６名, 修士５名, 卒研生５名

半導体ナノ材料と次世代太陽電池および発光デバイス

電気通信大学　基盤理工学専攻　光工学プログラム

沈　青　研究室

Qing Shen (沈 青) - Google Scholar

今後50年間の人類のトップ10の問題

Prof. Richard Errett Smalley（1996年ノーベル化学賞受賞 ）
リチャード・エレット・スモーリー教授：

1. **Energy（エネルギー）**
2. Water
3. Food
4. **Environment（環境）**
5. Poverty
6. Terrorism and War
7. Racism
8. Disease
9. Education
10. Population



2021 ~ 7.9 Billion People (79億)
2050 ~ 9 Billion People (90億)

Source: *R. E. Smalley. Future Global Energy Prosperity: The Terawatt Challenge. MRS Bulletin. June 30th, **2005**, 412–417.*

今後50年間の人類のトップ10の問題

Prof. Richard Errett Smalley（1996年ノーベル化学賞受賞 ）
リチャード・エレット・スモーリー教授：

1. **Energy（エネルギー）** ➡ 再生エネルギー
2. Water
3. Food
4. **Environment（環境）** ➡ クリーンエネルギー

→ **太陽電池**

5. Poverty
6. Terrorism and War
7. Racism
8. Disease
9. Education
10. Population



2021 ~ 7.9 Billion People (79億)
2050 ~ 9 Billion People (90億)

Source: *R. E. Smalley. Future Global Energy Prosperity: The Terawatt Challenge. MRS Bulletin. June 30th, **2005**, 412–417.*

太陽電池について

結晶シリコン系太陽電池　（第1世代）
- 高純度・単結晶原材料
- 製造プロセス（高温）
- シリコン原料の不足

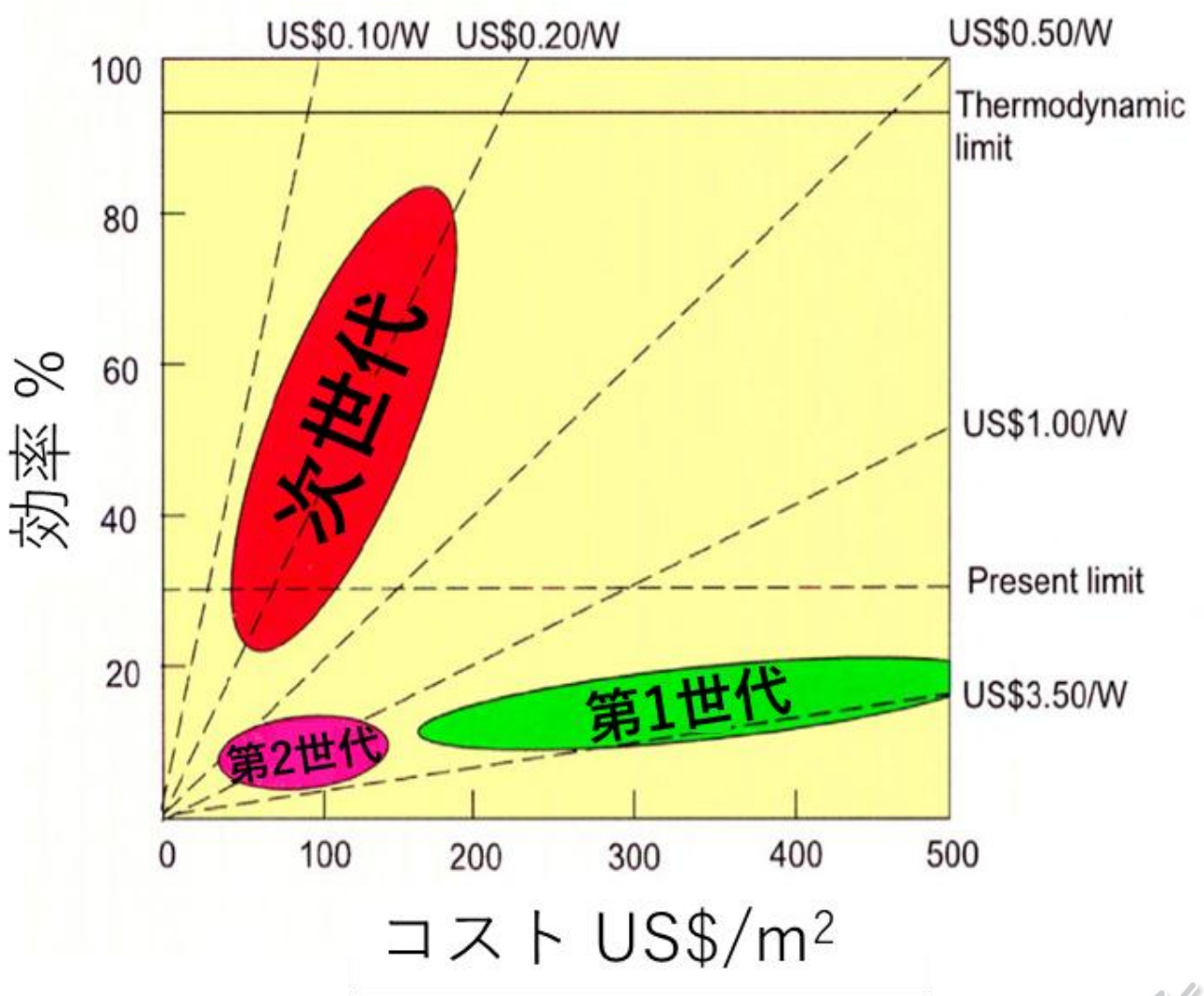
⇩ 半導体材料の低減－安価な太陽電池へ

薄膜系太陽電池（第２世代）
（Cu(In,Ga)Se_2、CdTe 、薄膜Si）
- レアメタル（インジウム(In)、テルリウム(Te)）
- 高真空プロセス

⇩ 安価かつ効率の向上へ

次世代太陽電池
1.量子ドット（ナノ結晶）太陽電池
2.ペロブスカイト太陽電池
3.ハイブリット型太陽電池

低コスト化、高効率化



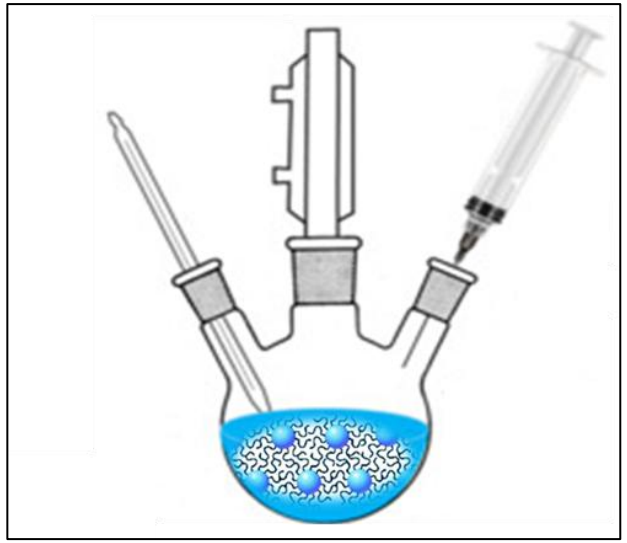
1.Green, M.A. Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion. Springer-Verlag, Berlin, Germany: 2003.
2.https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart-20180716.jpg

量子ドット(QD)　半導体ナノ結晶

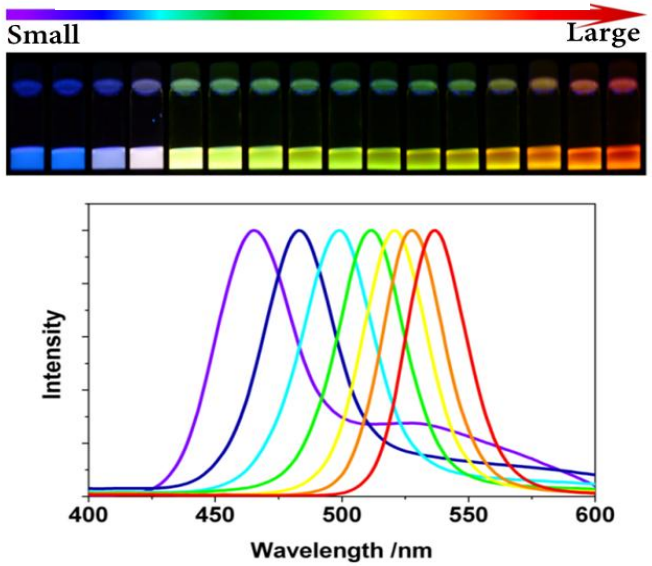
- 溶液法で簡単に作製可能(コロイド量子ドット) ➡ 低コスト
- サイズが数～数10 nmの半導体結晶 (1 nm: 10^{-9} m = 10億分の1メートル)
- サイズの変化によって、光吸収と発光領域が制御できる(量子サイズ効果)
- 1個の光子の吸収によって多数の電子が励起される可能性
  (多重励起子生成:MEG) ➡ バルク材料の太陽電池よりエネルギー
  変換効率増大可能(最大理論効率:44%)[1] ➡ 高効率

[1]Nozik A. J., et al., *J. Appl. Phys*. 2006, **100**, 074510

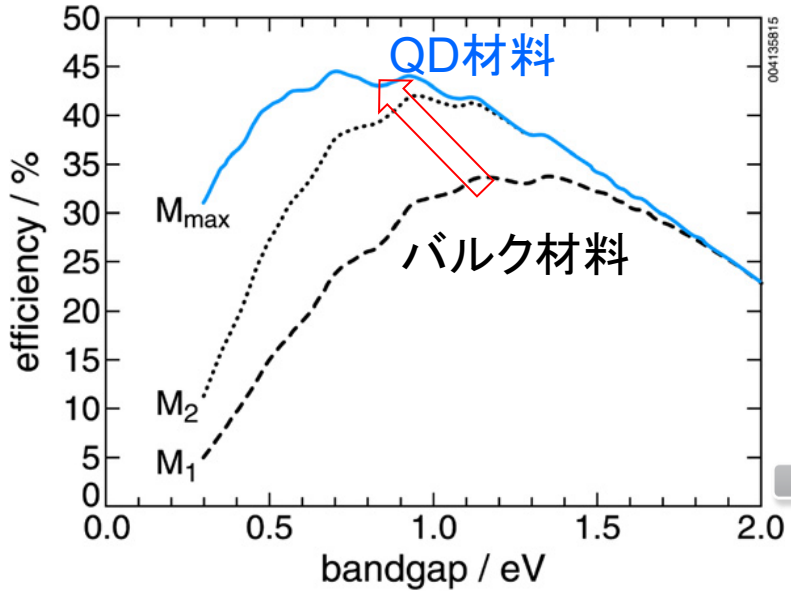
簡便に作製可能



QDのサイズによる吸収と発光領域の変化



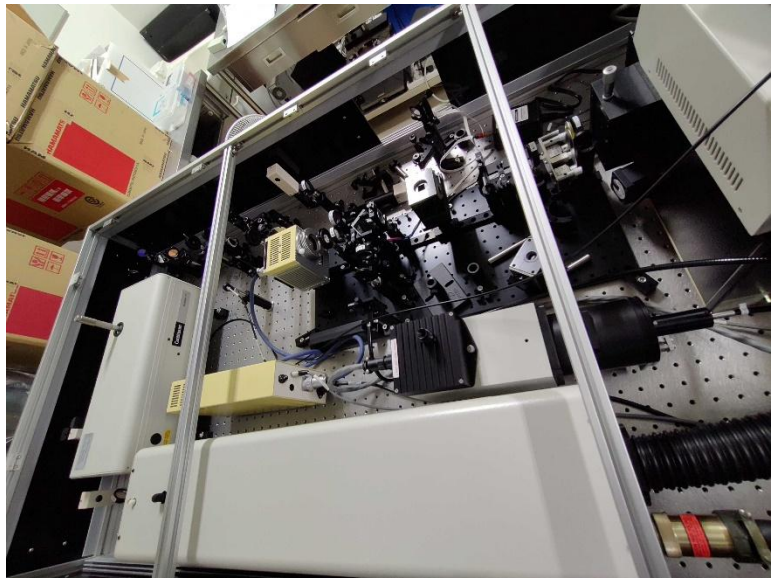
太陽電池の理論変換効率[1]



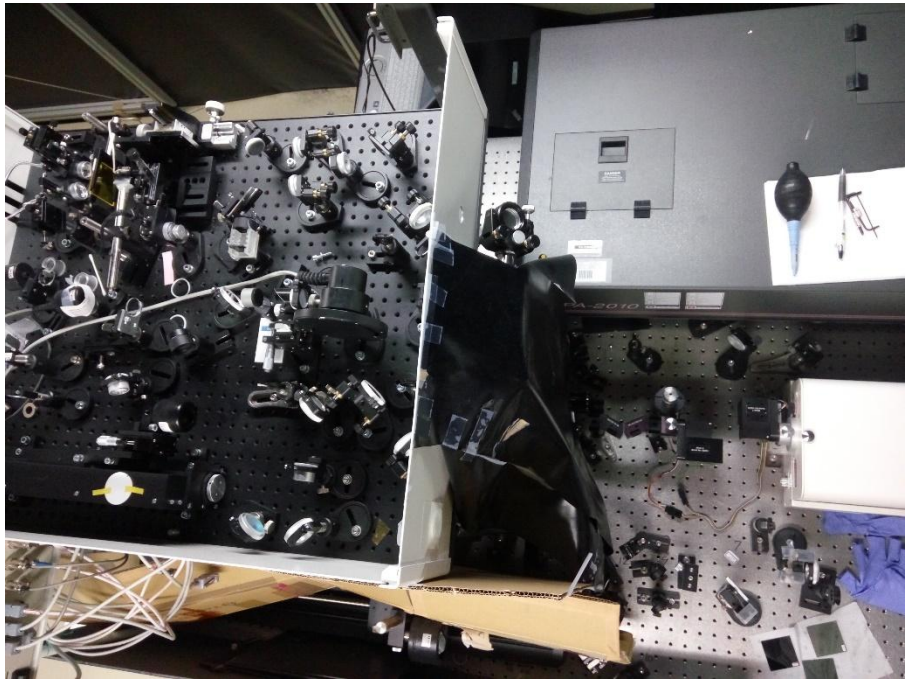
様々なレーザー分光装置



Nanosecond



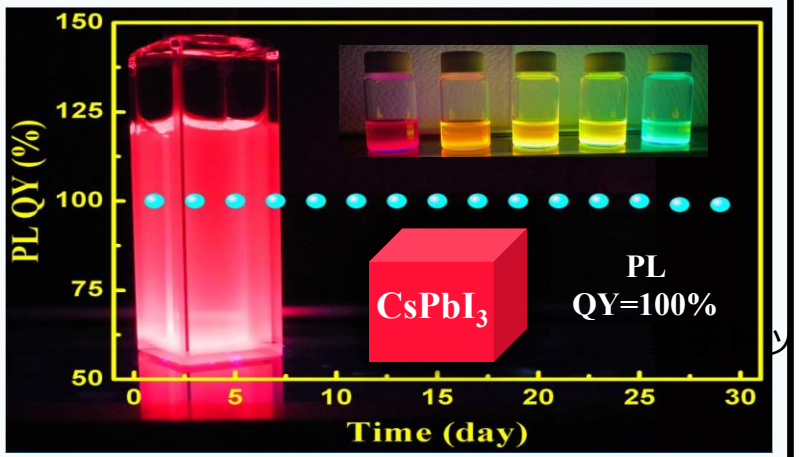
Picosecond

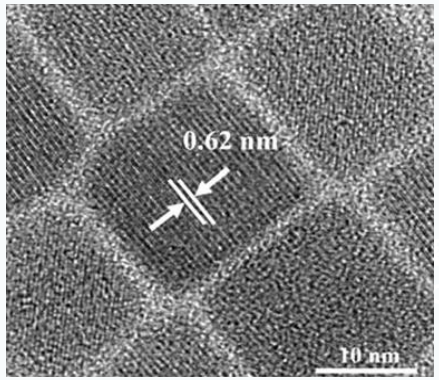


沈研究室の研究成果

★新しいＱＤ材料と膜の開発：

世界最高レベルの低欠陥・高品質コロイド量子ドットの作製法を開発し、発光量子収率約100%の量子ドットの作製に初めて実現

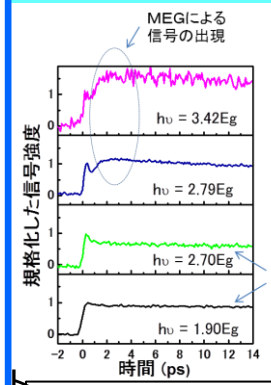




(1) 特願2017-137392
(2) *ACS Nano*, 2017, 11, 10373（引用回数: 1093）
(3) *J. Am. Chem. Soc.*, 2017, 139, 16708
（引用回数: 428）

★鍵となるメカニズムの解明：

独自のレーザー分光法により、量子ドットの多重励起子生成(MEG)過程の観察に初めて成功



Chem. Phys. Lett., **Vol. 542**, pp. 89-93, 2012

平成２４年６月２６日
科学技術振興機構（ＪＳＴ）
Tel：03-5214-8404（広報課）
電気通信大学
Tel：042-443-5019（総務課）

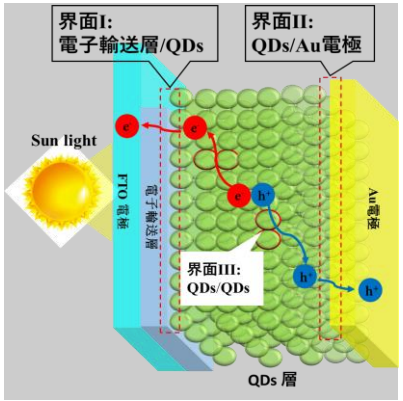
１つの光子が複数の励起子を生成する過程を解明
― 量子ドットＭＥＧ型太陽電池の実現に期待 ―

JSTと電通大共同でのプレスリリース

【2012年6月27日 日刊工業新聞】
【Laser Focus World Japan 2012年7月号、p. 10】
【2012年6月27日 朝日新聞デジタル】
【2012年7月2日 日経産業新聞】
【2012年7月6日 科学新聞】

MEG型量子ドット太陽電池(効率44%以上)を実現するための重要な基礎データ！

系統的な光励起キャリアダイナミックの評価に関する基礎研究より、量子ドット太陽電池の変換効率向上のボトルネックを解明した。

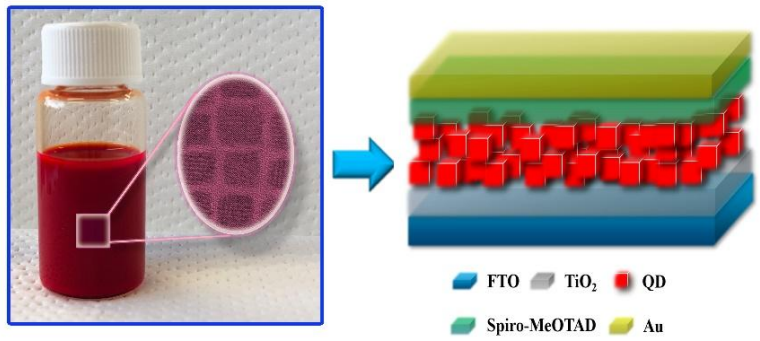


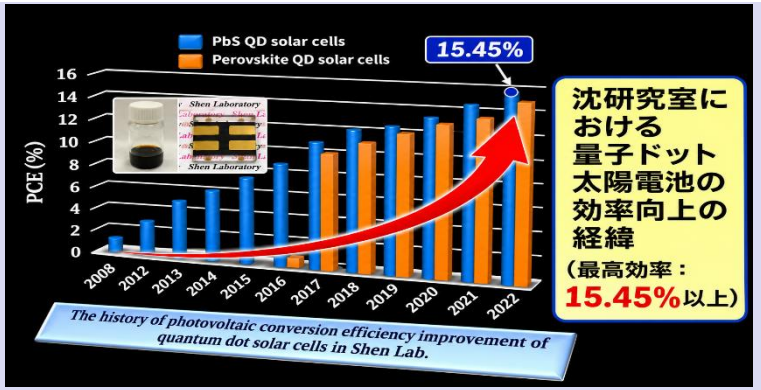
(1) *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 91, 023116
(2) *Nanoscale*, 2015, 7, 5446
(3) *J. Energy Chem.*, 2015, 24, 712
(4) *J. Mater. Chem. A*, 2015, 3, 9308
(5) *PCCP.*, 2017, 17, 6358
(6) *J. Phys. Chem. Lett.*, 2018, 9, 294
(7) *J. Phys. Chem. Lett.*, 2018, 9, 3598

QD/QD界面での再結合は一番のボトルネック！

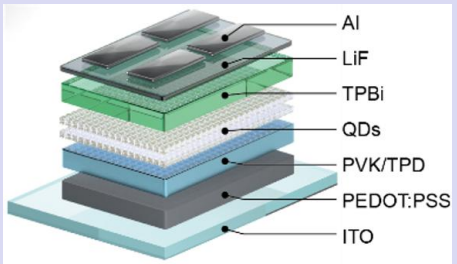
★太陽電池とLEDデバイスの開発：

コロイド量子ドット太陽電池デバイスの作製には、世界トップレベルの実績





沈研究室における量子ドット太陽電池の効率向上の経緯
（最高効率：15.45%以上）





White emission-LED *Adv. Mater. 2025, e10643*

共同研究の実績

１．産学連携

2014年～　京セラ（株）会社と共同研究
2015年～　日東電工（株）会社に技術指導
2016年～　ＬＧイノテック株式会社に技術指導
2017年～　トヨタ自動車株式会社と共同研究
2020年～　花王株式会社と共同研究

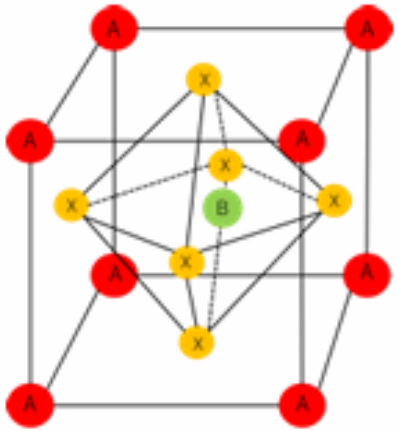
２．国際連携実績

以下の大学と共同研究を行っている。すでに多数の共著学術論文を発表した。

1. スペインの Jaume I大学 Juan Bisquet教授
2. 中国のEast China University of Science and Technology　Zhong Xinhua教授
3. 香港のCity University of Hong Kong Andrey Rogach 教授
4. フランスFonctions Optiques pour les Technologies de l’information Jacky Even 教授
5. オーストラリア Queensland University of Technology Wang Hongxia 教授

$FAPbI_3$ペロブスカイト量子ドット(PQD)インクの光物性評価と太陽電池への応用

研究背景

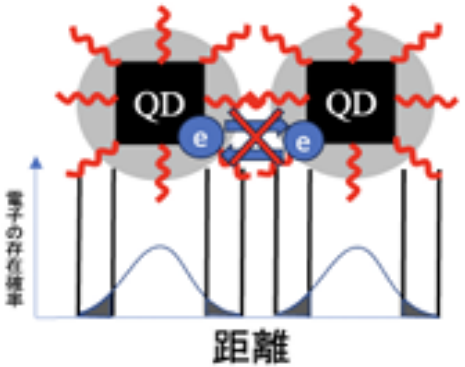


ペロブスカイト構造:ABX3

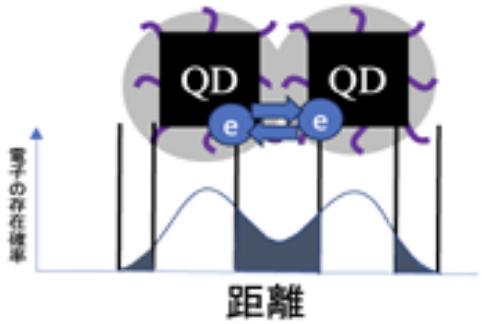
PQD太陽電池の特徴

利点
・シリコン系太陽電池より低コストでの製造が可能
・多重励起子生成により理論変換効率44%[1]

課題点
・変換効率が他の太陽電池と比較して低い(19.1%)
→特に電流値が低い



長鎖リガンドの場合

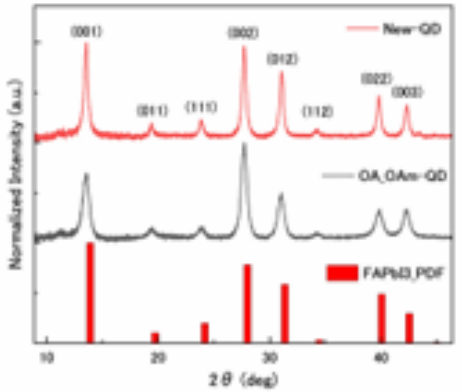


短鎖リガンドの場合

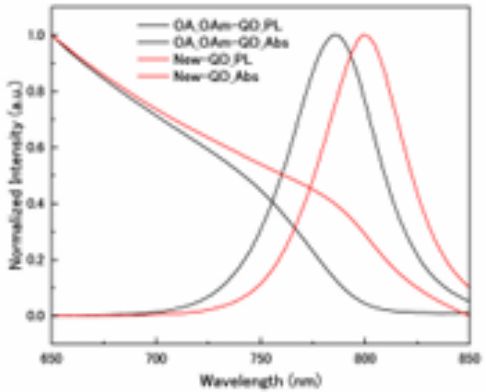
太陽電池として活用するためには長いリガンドから短いリガンドへと交換する必要がある

研究結果

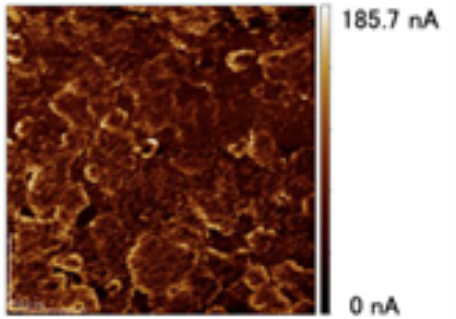
XRD(粉末X線回折法)



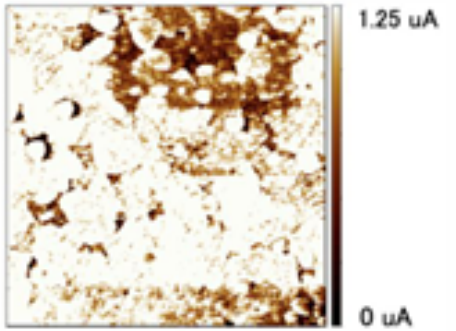
発光・吸収スペクトル



c-AFM(導電性AFM)



OA_OAm-QD
長鎖リガンドの場合



New-QD
短鎖リガンドの場合

短いリガンドに置換することで10倍以上導電性が向上

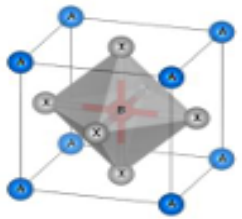
$CsPbBr_3$ペロブスカイト量子ドットの超低温合成と青色LEDデバイスへの応用

電気通信大学大学院　安井 慶人
指導教員　沈　青

量子ドットと呼ばれる半導体ナノ構造を応用したLEDデバイスは、優れた発光特性や簡易な合成方法により世界的な注目を集めている。私はその中でも、「ペロブスカイト構造」を持つ材料から合成される量子ドットに焦点を当てて研究を進めている。

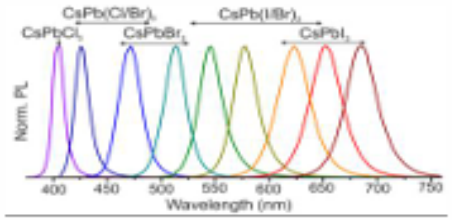
1．背景

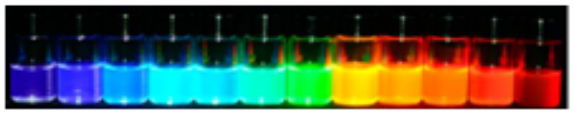
ハロゲン化鉛ペロブスカイトとは



- $APbX_3$（X=I, Br, Cl）の結晶構造を持つ（右図）
- ハロゲン比の調整による発光特性の制御が可能
- 溶液プロセスによる合成・デバイス作製が可能

→次世代ディスプレイへの応用などが期待





◀▲$CsPbX_3$の発光スペクトルと発光写真[1]

LEDデバイスの課題と従来の解決策

赤、緑に比べ、青色LEDの光電変換効率は著しく低い。[2]

従来の解決策→**CsPb(Cl/Br)**の組成制御

- 2元素の偏りによる**相分離**
- 2元素の極性差による**イオン移動**

→ ＜欠陥の原因＞ **X＝単元素で改善可能**

量子ドットの特性を利用した新しい解決アプローチ

量子ドット…数nm～10nm程度の半導体ナノ結晶

- **量子サイズ効果**による発光特性の制御が可能
- 狭い量子井戸構造による鋭く高効率な発光特性
- コロイドの自己成長による簡便な合成方法

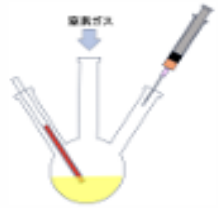
→$CsPbBr_3$量子ドットを低温環境で合成し、青色発光（455～460nm）発光を達成した論文はほぼない

2．目的

小さな量子ドットの合成には結晶成長を遅らせる必要がある

HOT INJECTION法

温度	高
歴史	従来型
結晶	大



本実験での合成法[3]

温度	低
歴史	新規法
結晶	小

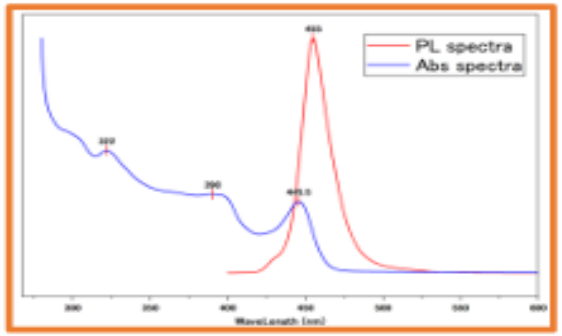


液体窒素を用いて460nm発光の$CsPbBr_3$量子ドットを合成・発光特性評価をし、LEDデバイスへの応用を目指す

4．結果と考察

吸収・発光スペクトル

液体窒素環境下で合成した試料は、**455 nm付近に鋭い青色発光**を示し、目的としていた青色発光を持つ**$CsPbBr_3$量子ドットの合成に成功した**。また、合成条件の最適化により、絶対PL量子収率は**最大96 %**を記録



▲$CsPbBr_3$の発光・吸収スペクトル

5．まとめ・今後の展望

量子ドットの更なる改良

製膜後の材料変化や光学特性の長期的な維持が課題となっているため、量子ドットの周りに結合させる**不活性配位子（リガンド）や合成・精製・製膜工程の最適化**を検討していきたい。

量子ドットのLEDデバイス化

実際に**デバイス化**することでLEDとしての効率を検証し、実用化への指針をより具体的に示していきたいと考えている。

[1] L. Protesescu, et al., Nano Lett., 15, 3692–3696 (2015).
[2] K.B. Lin, et al., Nature, 562, 245 (2018).
[3] J. Cao, et al., Adv. Optical Mater., 9, 2100300 (2021).
[4] G. Almeida, et al., ACS Nano, 12, 1704–1711 (2018).

PbS量子ドットを導入した有機太陽電池

背景　有機太陽電池

有機半導体材料を利用して光を電気に変換するデバイスであり現在の最高効率は20.1%を達成[1]

◎主な利点

- 軽量　➡屋根の重量制限を考慮しなくてよい
- 柔軟性　➡様々な形状に対応出来る
- 低コスト➡安価で大規模生産が可能

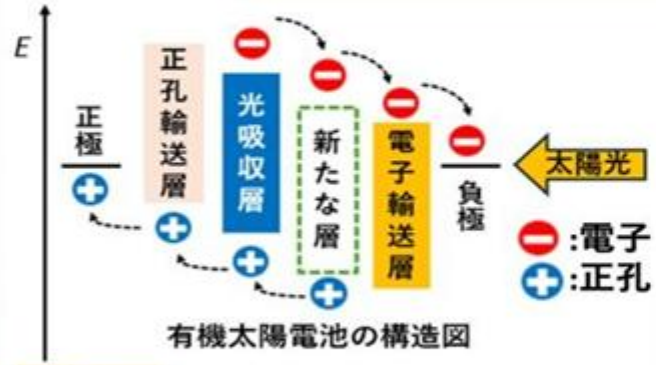
△主な課題

- 効率　➡シリコン系の太陽電池(26.1%)に比べて低い
- 耐久性　➡時間とともに劣化しやすい

実用化に向けて…

さらなる効率及び安定性の向上が必要不可欠である

効率及び安定性向上のための指針



有機太陽電池の構造図

◎光吸収量の増大

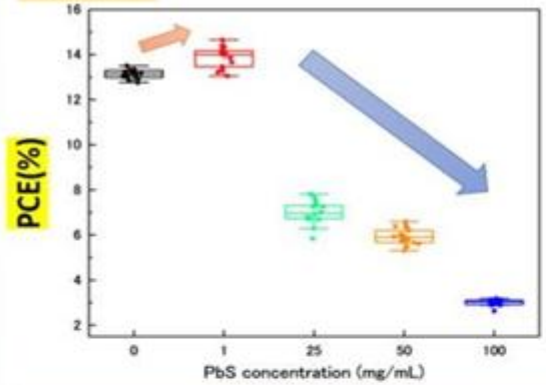
➡効率の向上

◎エネルギー準位を調整することが出来る

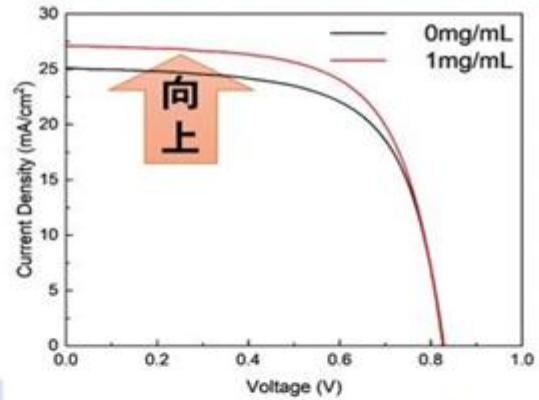
これらの効果を期待して…

PbS量子ドットを新たな層として導入

結果



PbS量子ドットの濃度とエネルギー変換効率の関係



電流電圧特性

濃度を1mg/mLとしたデバイスはPCEが1%以上向上 ➡ 適切な膜厚のPbS量子ドットはデバイスの性能を向上させる可能性が示唆された

今後の課題＆予定

- 光に対する安定性への影響について検証
- 他の有機材料を用いてデバイスを作製

[1] https://www.jsap.or.jp/columns/gx/e1-7

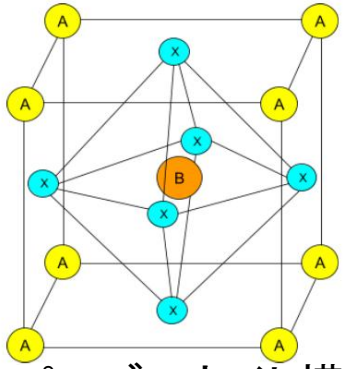
スズ系ペロブスカイト量子ドット

UEC Shen laboratory

有毒である鉛の代替、ペロブスカイト構造による薄膜化、量子ドット化による結晶安定性の増加
実用化できれば地球温暖化に大きく貢献できる**理想の太陽電池**

	シリコン太陽電池	鉛系 ペロブスカイト 太陽電池	スズ系 ペロブスカイト 太陽電池	スズ系 ペロブスカイト 量子ドット太陽電池
メリット	・**安定性の高さ** ・量産体制の確立 ・資源の豊富さ	・高い光電変換効率 ・**軽量で柔軟** ・低コスト、省エネでの製造が可能	・人体や環境への**毒性が低い**スズを使用 ・高い光電変換効率 ・軽量で柔軟 ・低コスト、省エネでの製造が可能	・人体や環境への毒性が低いスズを使用 ・バンドギャップの制御が可能 ・軽量で柔軟 ・低コスト、省エネでの製造が可能 ・**結晶安定性の向上**
デメリット	・重くて硬い →**設置場所に制限** ・製造時のエネルギー負荷が大きい (**高温高圧**)	・**鉛の有毒性** ・結晶安定性が低い	・非常に**酸化しやすい** ・**結晶安定性が低い** ・製造環境の制約が大きい	・非常に酸化しやすい ・製造環境の制約が大きい ・キャリア輸送の阻害

スズ鉛混晶量子ドット($CsSn_xPb_{1-x}Br_3QD$)の作製と太陽電池へ向けた評価



ペロブスカイト構造 … ABX_3の組成

Aサイト：有機物($FA(CH(NH_2)_2)$など), Csなど

Bサイト：金属(Pb, Snなど)

Xサイト：ハロゲン(I, Brなど)[1]

各サイトで物質を選ぶことにより、
バンドギャップを調節できる[2]

金属ハロゲン化ペロブスカイト量子ドットは高い吸収係数を持ち、
光電変換効率が期待される⇒より発電できる太陽電池が作れる
最高効率は19.1%[4]

Bサイトに使う金属

鉛 Pb

ペロブスカイト量子ドット太陽電池は、
現状鉛(Pb)を用いることで高効率を目指せる
しかし鉛は人体や環境に有害である[3]

錫 Sn

スズ(Sn)は低毒で結晶構造に歪みが少ない
単接合太陽電池の理論変換効率は33.7 %[5]
しかし容易に酸化される⇒使えない
現状太陽電池としての応用はほぼない[3]

$CsPbBr_3$量子ドットの鉛をスズに交換して鉛の使用を減らすのを目指す



$CsPbBr_3QD$



紫外線に当てた様子

[1] https://enecoat.com エネコートテクノロジーズ　ペロブスカイト 太陽電池の構造と発電メカニズム

[2]AI 予測最適化技術による超高効率 量子ドット/ペロブスカイト太陽電池の 逆設計およびデバイスの作製と評価 斯波 廣大

[3] Thomas J. “Engineering Stable Lead-Free Tin Halide Perovskite Solar Cells: Lessons from Materials Chemistry” Advanced Materials, vol. 35, no. 25, pp. 2206684, 2022

[4] National Laboratory of the Rockies Best Research-Cell Efficiency Chart https://www.nlr.gov/pv/cell-efficiency

[5] “Hot carrier solar cells and the potential of perovskites for breaking the Shockley–Queisser limit”

研究内容

有機太陽電池とは

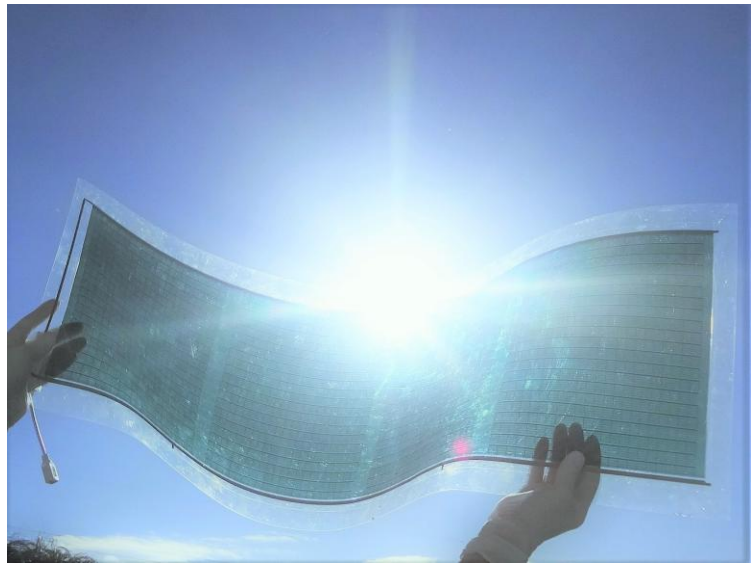
有機太陽電池とは有機半導体を用いて光を電気に変換するデバイス
現在の最高効率は20.84%

有機太陽電池の利点

- 軽量で薄く柔らかいため、従来のシリコン型太陽電池では設置の難しかった場所での発電が可能
- 作製に高温高圧プロセスがないため比較的安価に作成可能

有機太陽電池の課題

- 変換効率がシリコン系に比べて低い
- 水分、酸素、紫外線に弱く劣化しやすい



⟹ 変換効率と耐久性の向上が必要

研究内容

量子ドットを導入して太陽電池中の酸素欠陥を埋め、劣化の原因となるラジカルの発生を抑えると同時に光吸収可能な波長範囲を広げることで変換効率低下の向上を目指す。

1.有機薄膜太陽電池の特徴,Designsolar, https://www.design-solar.jp/products ,(2026/11/17)

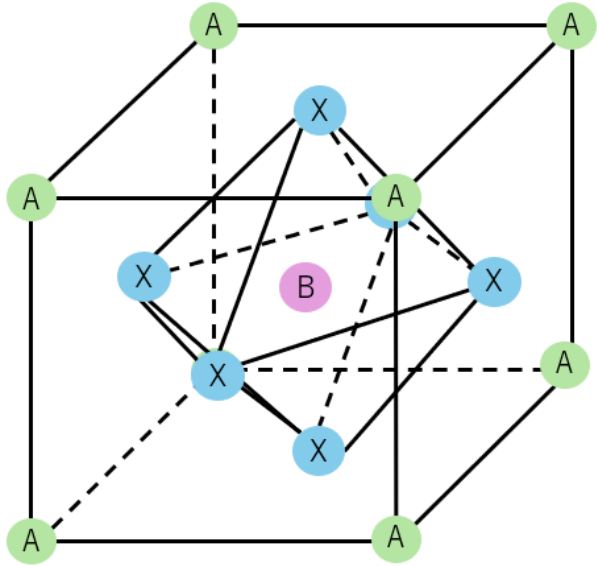
$FAPbI_3$量子ドットの作製と特性評価

①研究背景

太陽電池への応用が期待されるペロブスカイト（$FAPbI_3$）量子ドットの特性改善を目指す

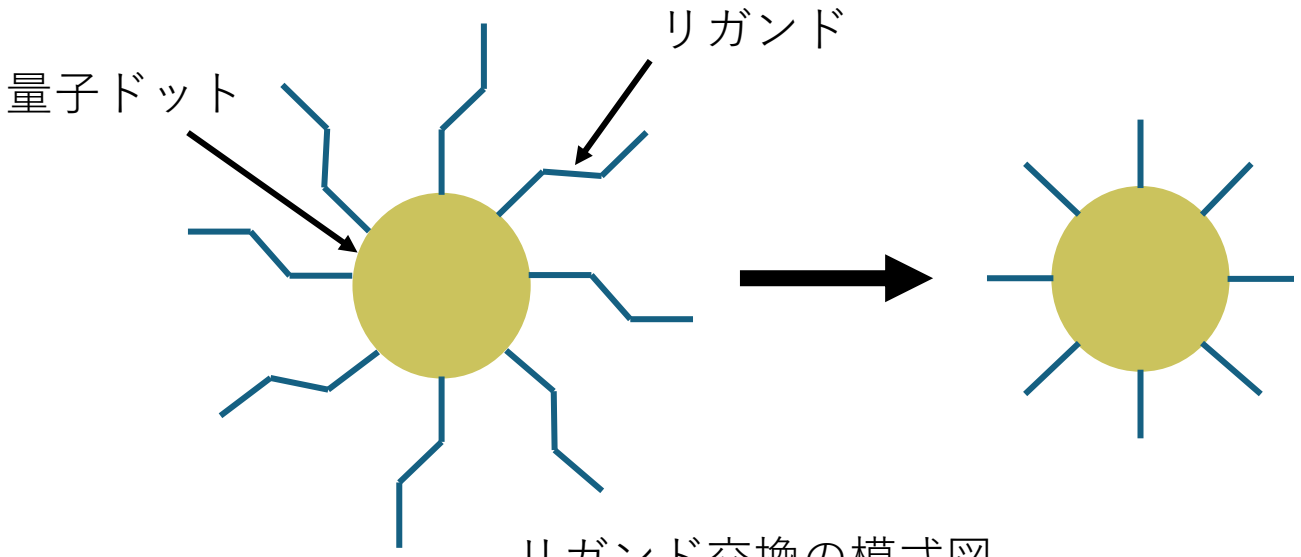
②研究内容

- ホットインジェクション法により$FAPbI_3$量子ドットを作製
- 量子ドット表面に結合しているリガンドを交換することにより，特性改善を目指す
- 作製した量子ドットの特性を評価
- 現在はキラル分子をリガンドとして導入することを検討中



$FAPbI_3$の構造図

Aサイト：FA^+
Bサイト：Pb^{2+}
Xサイト：I^-



リガンド交換の模式図

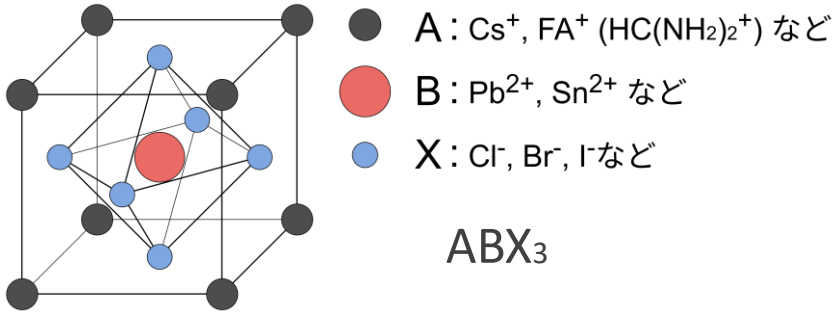
$CsSnI_3$ペロブスカイト量子ドットの合成と光学特性

ペロブスカイト量子ドット太陽電池

シリコン太陽電池に代わる次世代の太陽電池

利点
- 作製コストが低い
- 柔軟性が高い
- バンドギャップ制御が可能

欠点
- 製品寿命が短い



ペロブスカイト構造

$CsSnI_3$ペロブスカイト量子ドット

環境負荷の低いペロブスカイト量子ドット

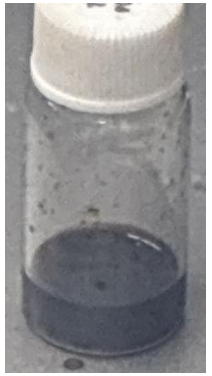
鉛(Pb)系:優れた光吸収特性･電荷輸送特性、
Pbの毒性による実用化への懸念

錫(Sn)系: Pbフリー材料として期待、安定性が低い
→ Sn系材料の特性･安定性向上が重要

研究内容

従来とは異なる新たな合成手法を検討

- 合成条件の最適化
- 粒径･光学特性の評価
- 結晶構造の解析
- 安定性の向上･評価



従来の合成方法で
合成した$CsSnI_3$

研究内容

グリーンな赤外CQD(Colloidal Quantum Dot)材料
InSb(アンチモン化インジウム) CQDの合成及びデバイス作製・評価

短波長赤外(SWIR)検出技術の背景と従来の課題

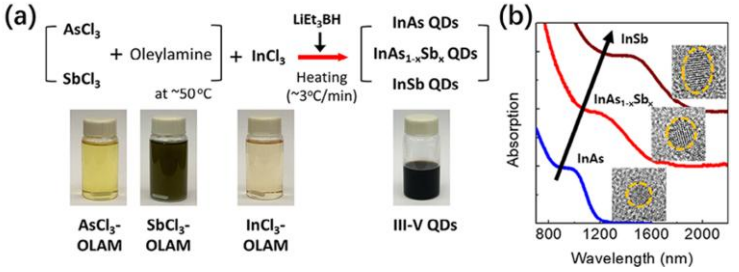
応用分野→光通信，分光法，バイオセンシング，自動運転，マシンビジョン

従来の半導体材料と製造法→バルクのInSb, InGaAsの分子線エピタキシー(MBE)による結晶成長による製造

ボトルネック→優れた性能を持つ一方，高コストかつ低産出量であるため利用は主に国防・航空宇宙・先端研究のみ

研究の焦点→民生分野で膨大な需要に対応するべく高性能かつ低コストなSWIR検出器が求められている.

[1]



安価で安定なハロゲン化塩前駆体(In/Sb源)を用いた**安全・高品質・低温**合成方法の確立
及びその受光器(Photodetector)への応用を目指して研究しています！

[1]Kagan et al., General Synthetic Route to High-Quality Colloidal Ⅲ-V Semiconductor Quantum Dots Based on Pnictogen Chlorides, JACS, 2019/09/7

硫化鉛量子ドット(PbS QDs)

半導体量子ドット(Quantum Dots: QDs)
★2023年度ノーベル化学賞受賞分野
粒径が数～数十nmの半導体ナノ結晶
- 粒径によりバンドギャップE_gの制御可能(量子閉じ込め効果)
- 多重励起子生成(MEG)を起こし得る

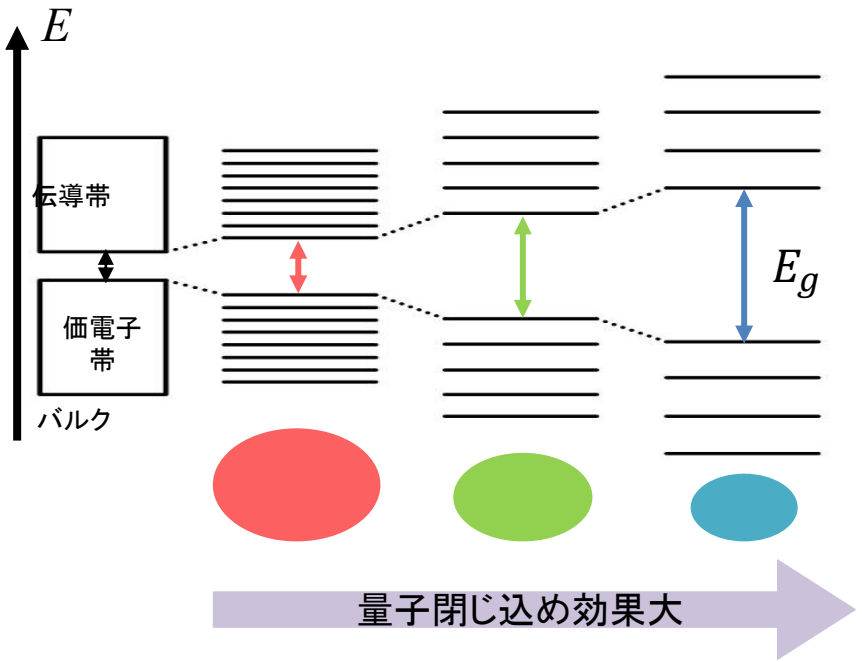
⇒QDs太陽電池の理論光電変換効率44%(cv. シリコン太陽電池…29.4%)
- 表面処理(リガンド交換)によるp型, n型の制御が容易

硫化鉛量子ドット(PbS QDs)

- ボーア半径が大きい(18 nm), バルクのE_gが狭い(0.41 eV)

→幅広い粒径の制御で可視～近赤外での光吸収
- 多重励起子生成の発生
- 光電変換効率(PCE)15.45%を達成

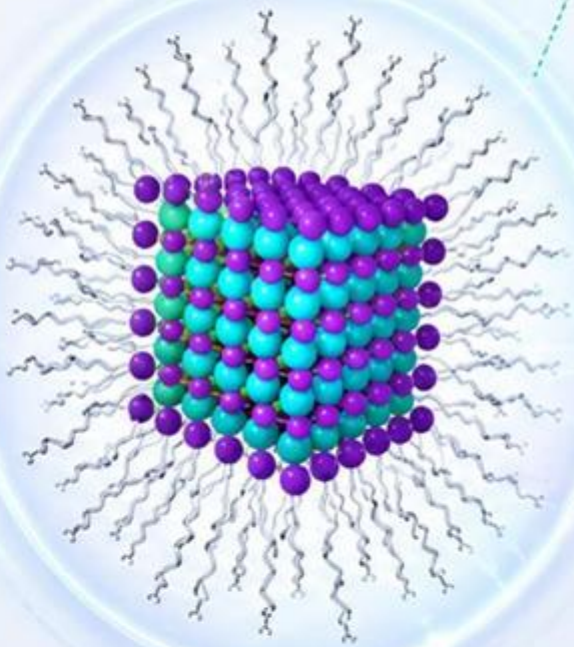
・室温下での合成が可能
・粒径を調整することで光の波長を選択的に吸収することが可能
⇒太陽電池を始めとした各種デバイスへの応用が期待



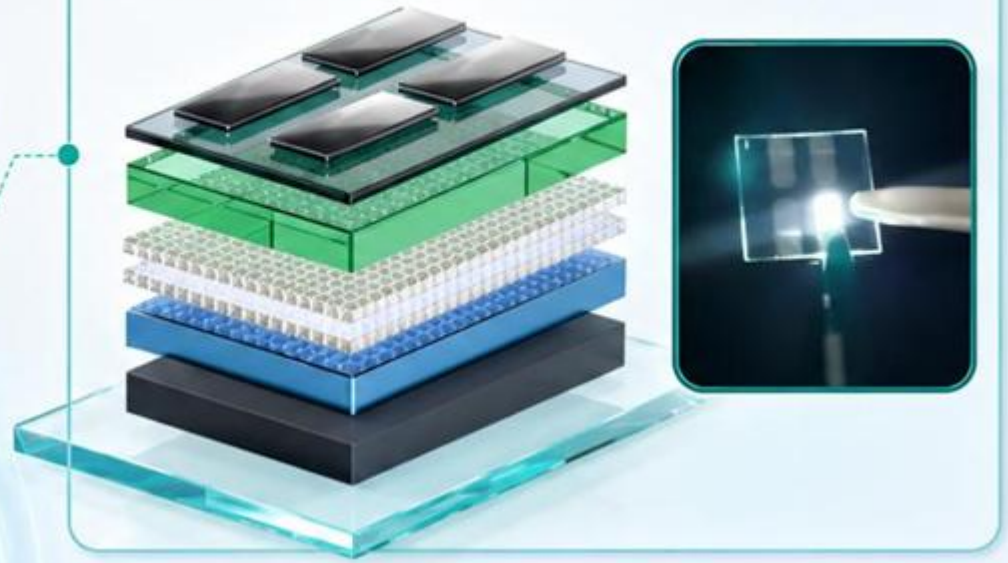
Synthesis and Applications of Perovskite Quantum Dots

Quantum Dot Synthesis

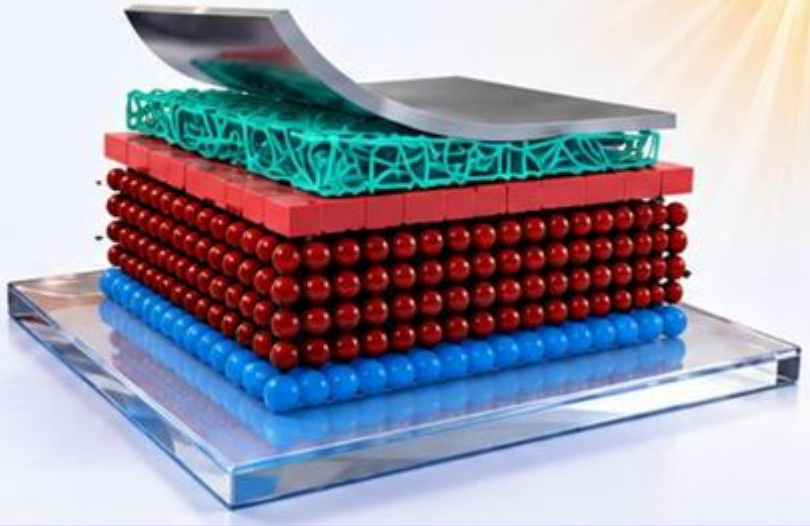




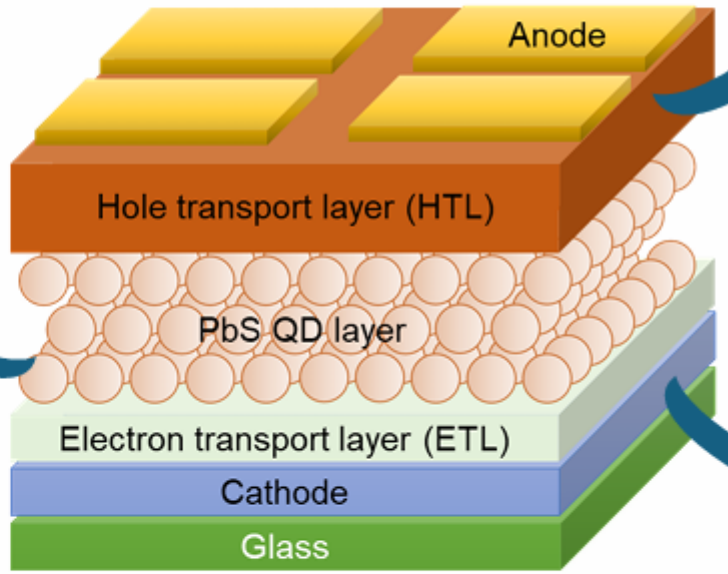
LED Applications

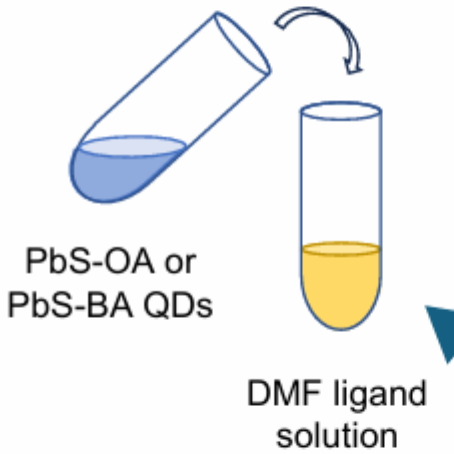


Solar Cell Applications

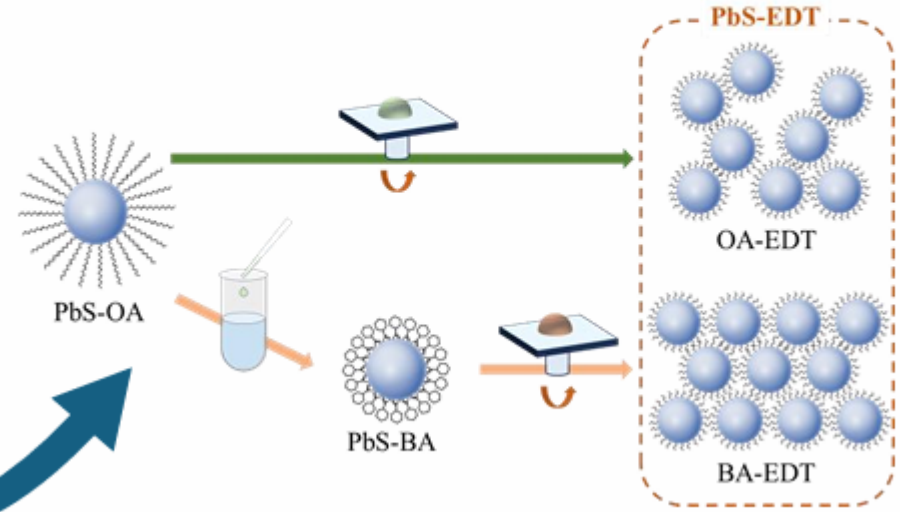


Improve the charge collection by interface control and understand the mechanism of efficiency enhancement

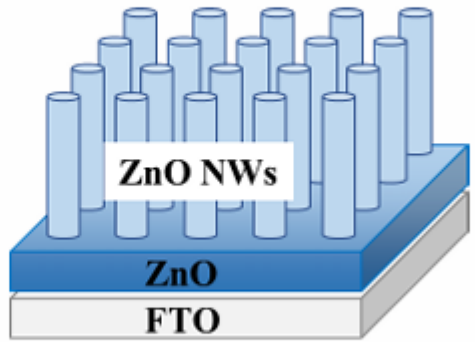




New fabrication method for PbS QD layer based on solution-phase ligand exchange using BA as intermediate ligands



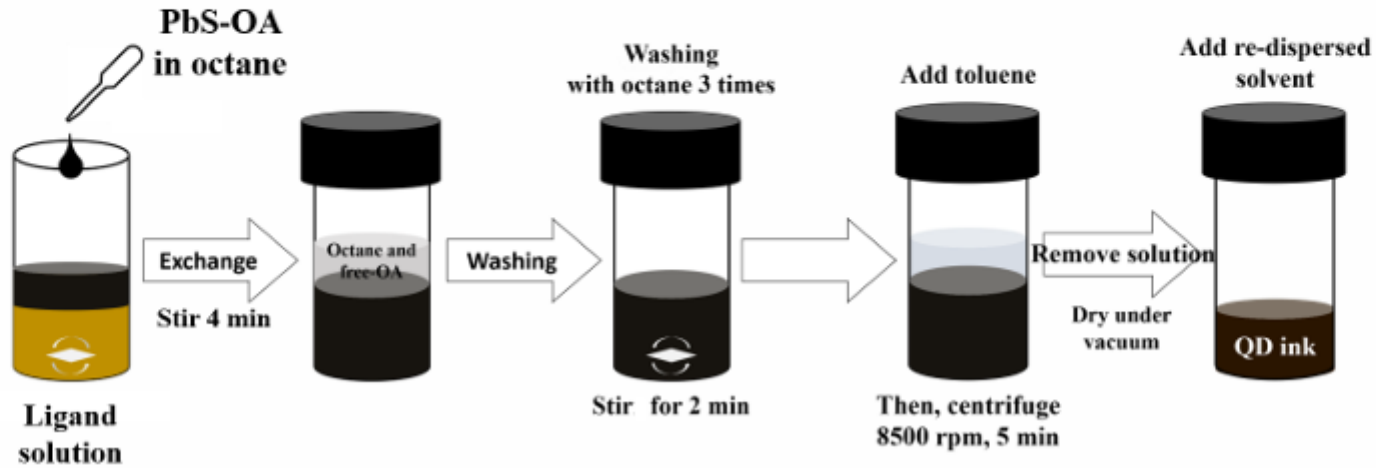
New fabrication method for HTL using benzoic acid (BA) as intermediate ligands



Passivation on ZnO NWs ETL

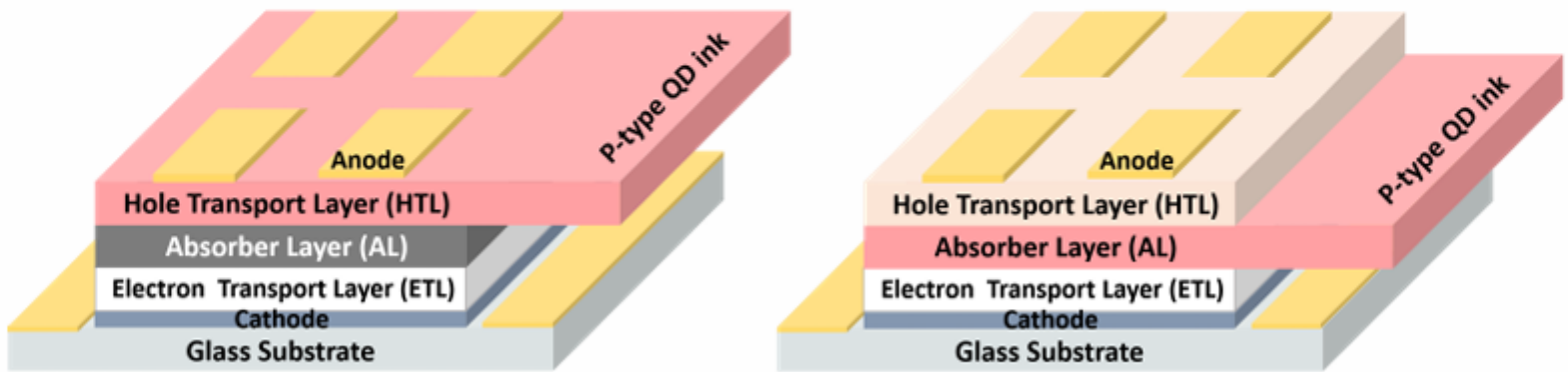
Synthesis P-type PbS Quantum Dots for Solar Cell Applications

Exchange long-ligand (OA) to short-ligand (mixing halide ligand; PbI_2/SnI_2) by a solution-phase ligand exchange method



Purposes

- To turning n-PbS CQDs to p-PbS CQDs by mixing tin (II) iodide (SnI_2) into lead halide ligand solution
- Apply p-type QD ink to active layer and hole transport layer for quantum dot solar cells

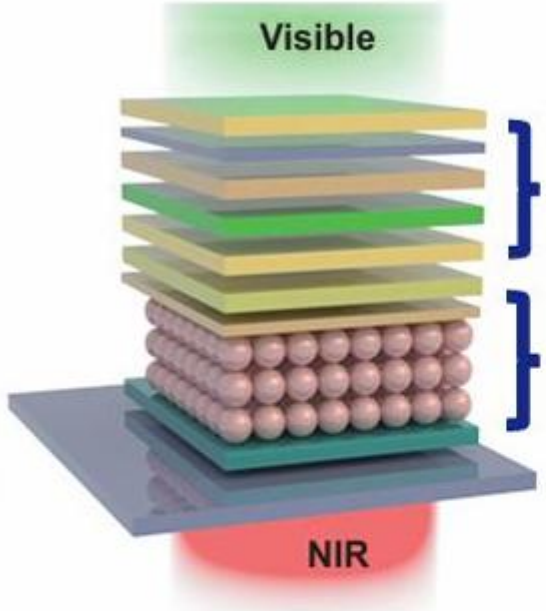


国立大学法人
電気通信大学
The University of Electro-Communications

沈 研究室
Shen laboratory

Research Focus of LIU YUNLONG
Upconversion Photodetector

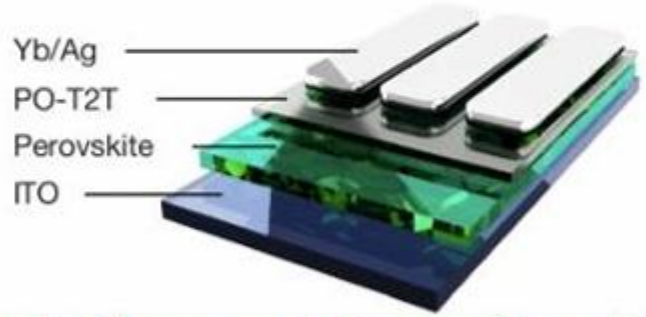
Achieved:
- Champion Efficiency
- Champion Working Area
- Champion Resolution
- Champion Pixel Count



Upconversion Device Architecture

Visible LED

Infrared Detector



Hole-Transport-Layer-Free LED

Achieved: First Applied to Red LEDs

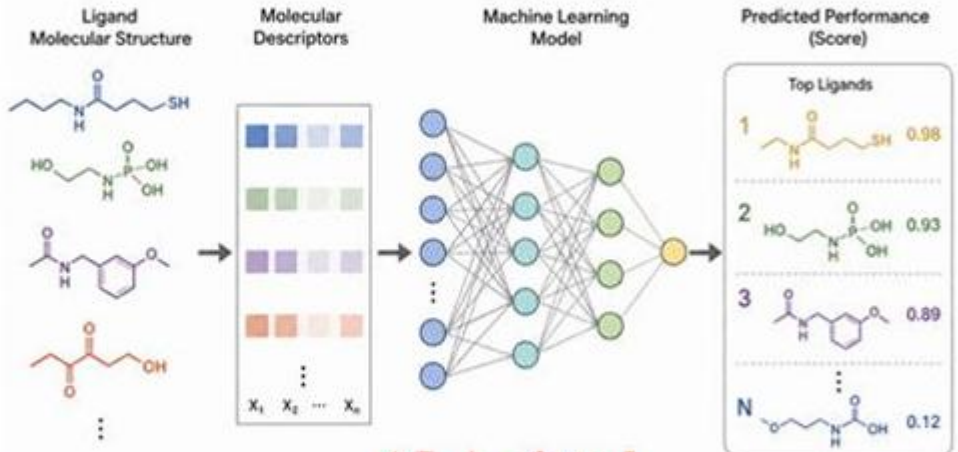


Synthesis of High-Quality $AgBiS_2$ Quantum Dots

Achieved: Champion PL Lifetime



Ultrathin & High-Efficiency $AgBiS_2$ Devices



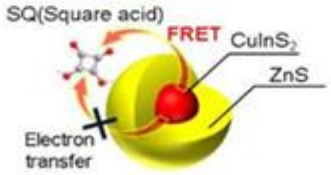
AI-Assisted Ligand Screening

Synthesis and Photo-Physics of Quantum Dots

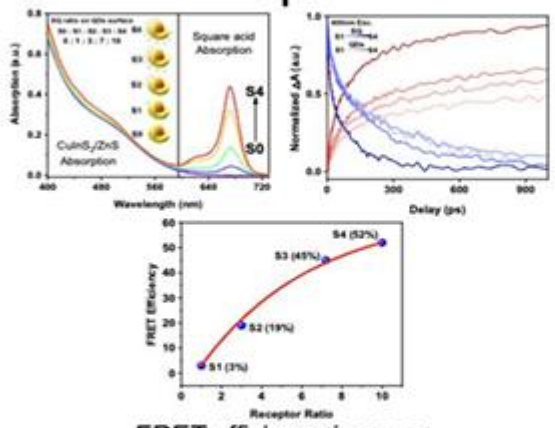
Photo-physics

Non-radiative transfer

Förster

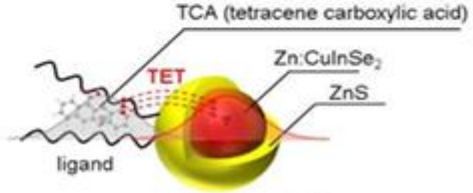


FRET Model
(Förster resonance energy transfer (FRET))

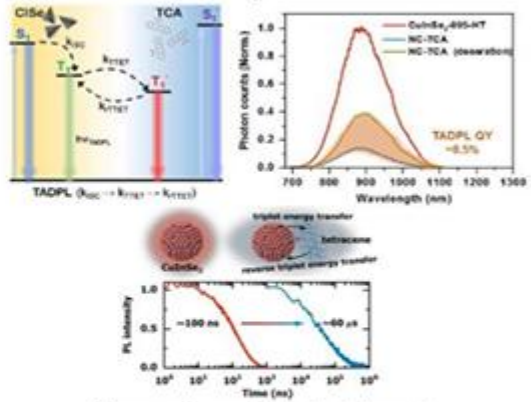


FRET efficiency increase

Dexter



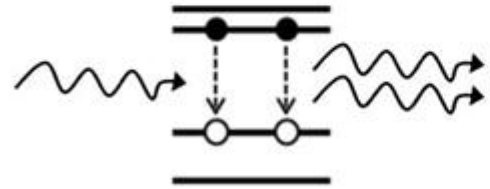
Dexter Model
(Triplet Energy Transfer (TET))



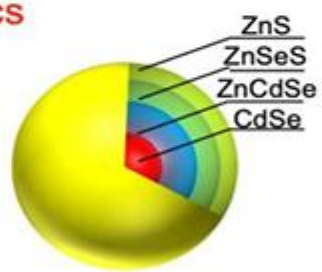
Thermally activated delayed photoluminescence

Quantum Dots lasing

Bi-exciton dynamics

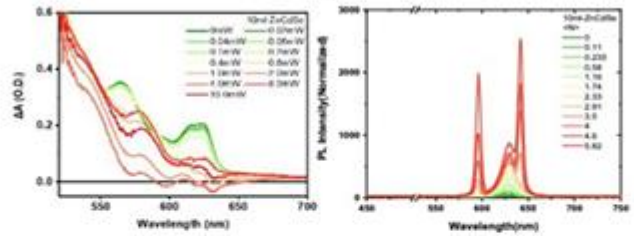


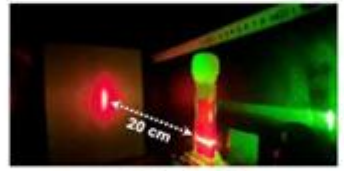
Amplified Spontaneous Emission (ASE)



Component gradient quantum dots (cg-QD)

Using cg-QD to study the ASE process





QDs-lasing

Chiral $CsPbI_3$ Nanoplatelets for Red Circularly Polarized LEDs

Hot-injection synthesis, ultrasonic post-treatment ligand exchange, surface coordination, and red circularly polarized electroluminescence

① SYNTHESIS

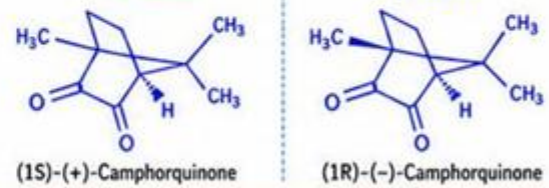
Materials

Cs source	Pb source	I source	OA / OAm / ODE
Cs_2CO_3	$Pb(OAc)_2 \cdot 3H_2O$	ZnI_2	(liquids)
Cesium carbonate	Lead acetate trihydrate	Zinc ioidide	

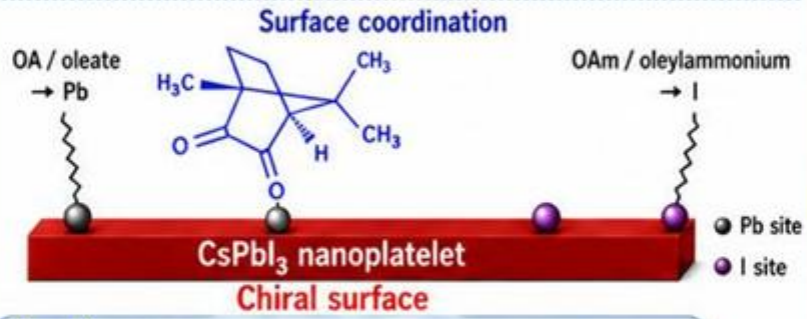


② CHIRAL LIGAND INTRODUCTION AND ULTRASONIC LIGAND EXCHANGE

Chiral CAM ligand (R-/S-CAM)

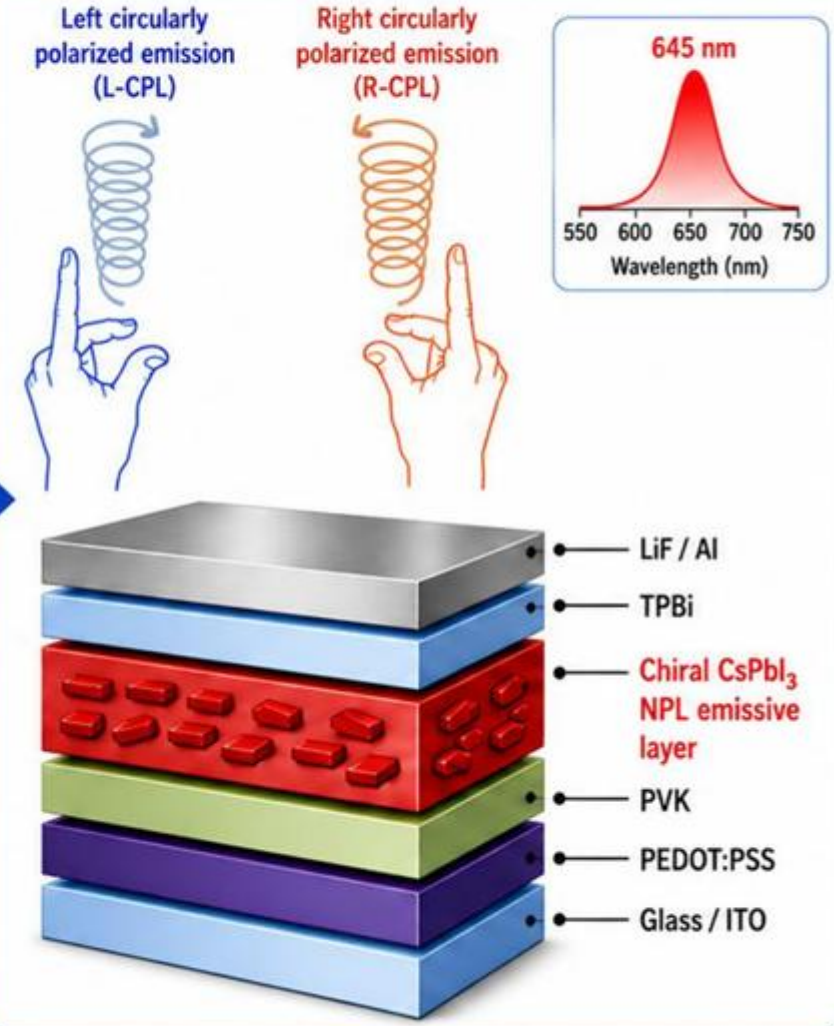






Ultrasonic post-treatment promotes ligand exchange and surface coordination.

③ RED CIRCULARLY POLARIZED LED



Hot-injection synthesis and ultrasonic chiral ligand exchange enable surface coordination and red circularly polarized electroluminescence from chiral $CsPbI_3$ nanoplatelets.

Research Topic: $AgBiS_2$ Quantum Dots

Research purpose:

To understand the optical properties and carrier recombination processes in $AgBiS_2$ QDs.



Hot-injection method

100 ℃

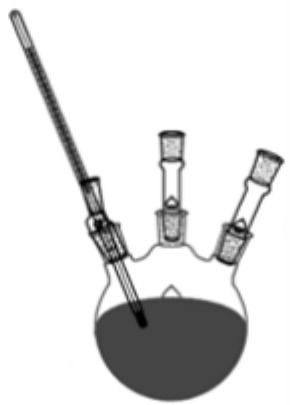


0.8 mmolAg(OAc)

1.0 mmol $Bi(OAc)_3$

1-Octadecene

Oleic acid



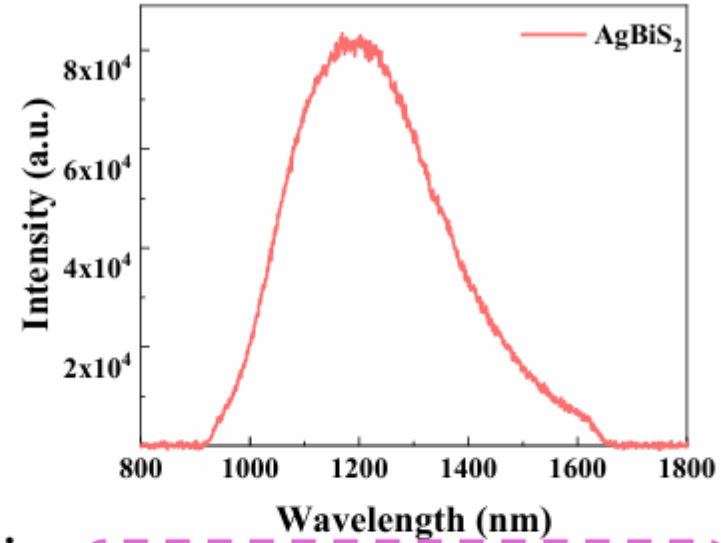
Hexamethyldisilathiane

1-Octadecene

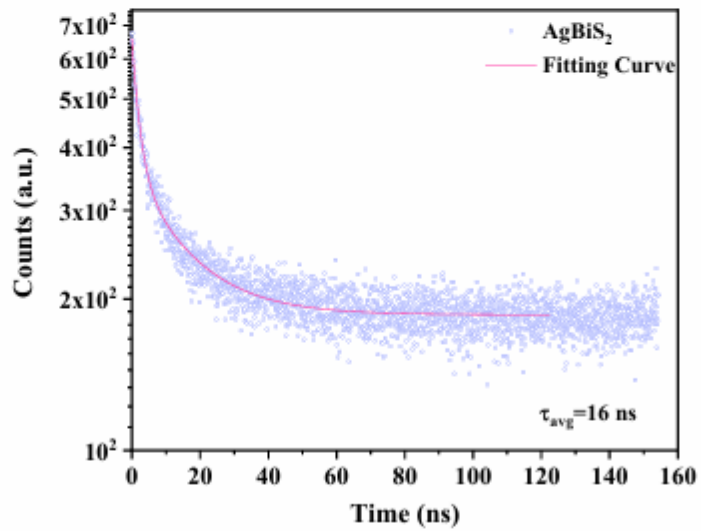
$AgBiS_2$

Synthesis process

Characterization



Photoluminescence spectrum



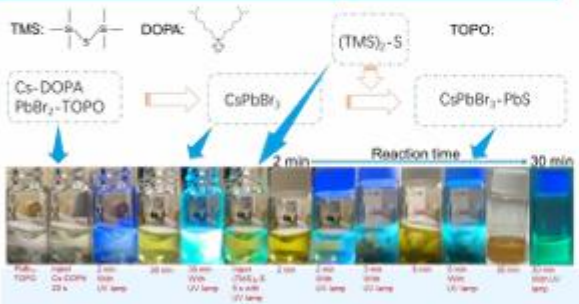
Time-Resolved Photoluminescence

Interface-Engineered $CsPbBr_3$ Nanocrystal Heterojunctions

Room-temperature synthesis • atomic-scale verification • directional charge and energy transfer

Synthesis Route

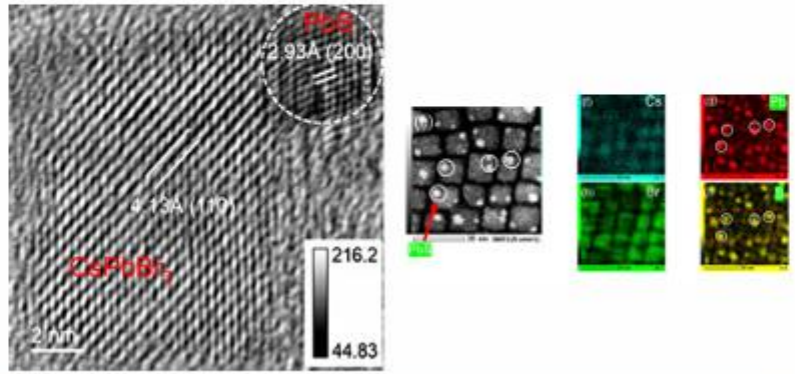
0D–0D $CsPbBr_3$–PbS



Cs–DOPA + $PbBr_2$–TOPO → $CsPbBr_3$ +$(TMS)_2S$, 30 min → $CsPbBr_3$–PbS

Sequential room-temperature construction

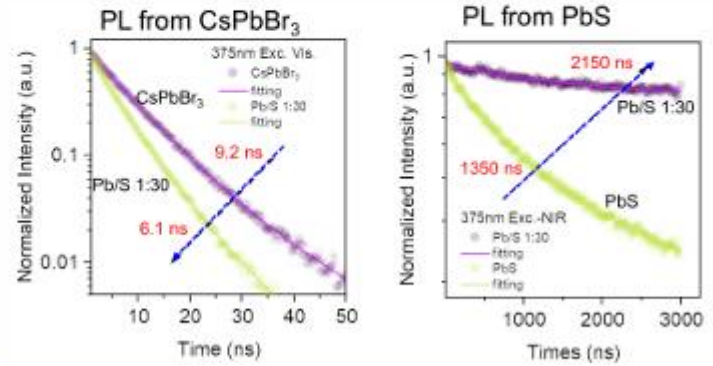
Atomic-Scale Evidence



HRTEM: 0.413 nm $CsPbBr_3$ (110) and 0.293 nm PbS (200)

EDS shows localized S-rich PbS domains on the $CsPbBr_3$ nanocrystal framework

Photophysical Function



$CsPbBr_3$: 9.2 → 6.1 ns | PbS: 1350 → 2150 ns

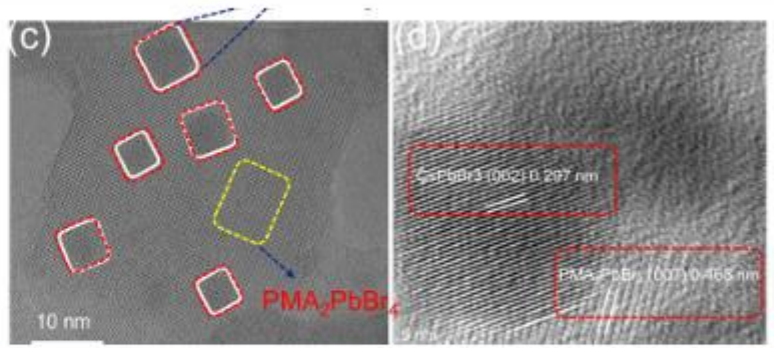
Carrier transfer from visible $CsPbBr_3$ states into neighboring NIR PbS domains.

2D–3D PMA_2PbBr_4–$CsPbBr_3$



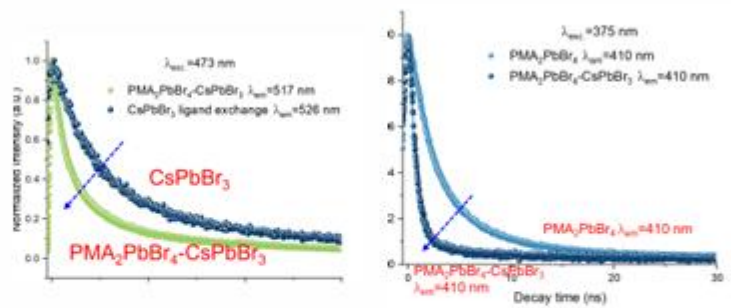
DMF/DMSO precursor injected into bromobenzene antisolvent under stirring

In-situ formation of horizontal 2D–3D heterojunctions



0.297 nm $CsPbBr_3$ (002) | 0.468 nm PMA_2PbBr_4 (007)

$CsPbBr_3$ nanocrystals embedded laterally within the PMA_2PbBr_4 matrix

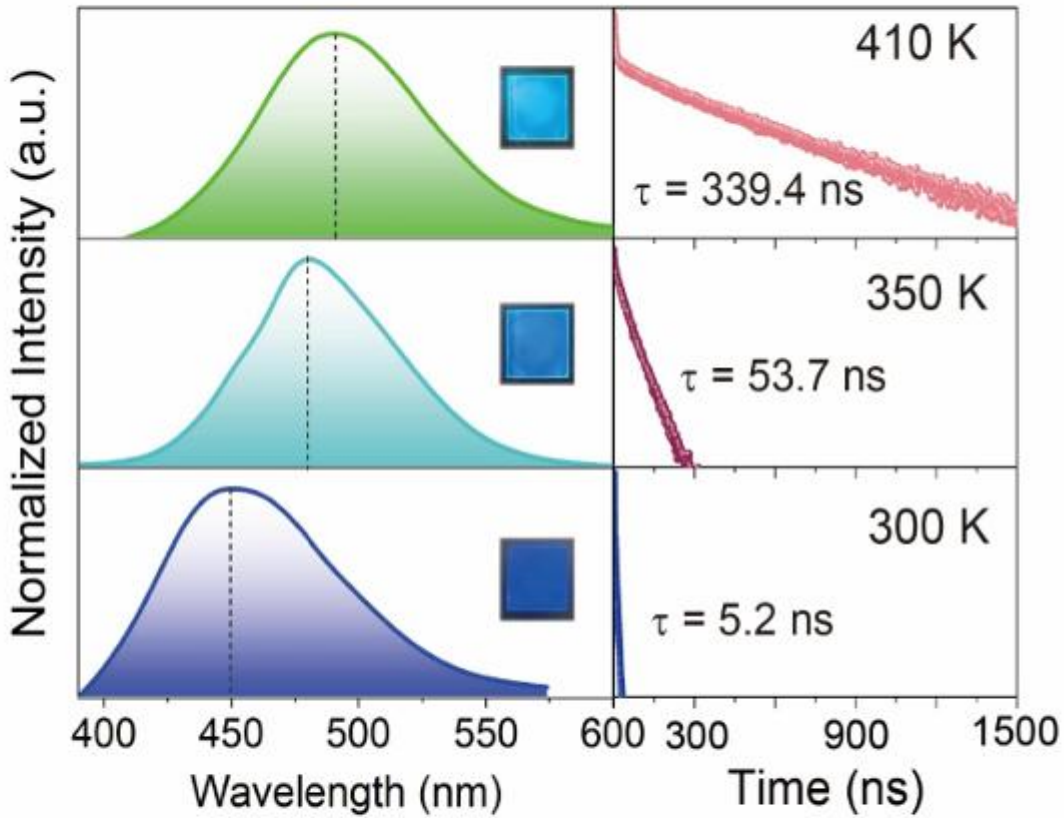


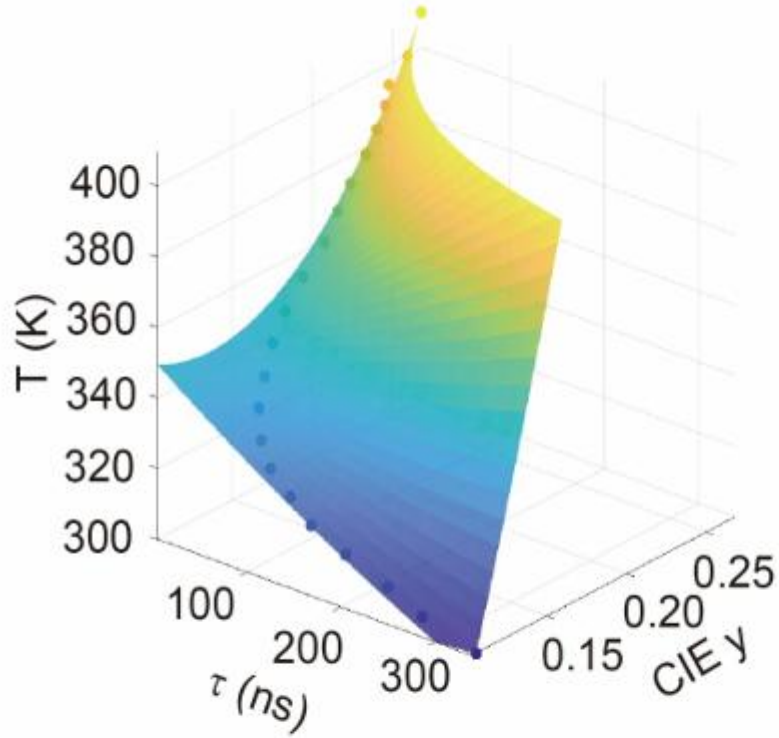
473 nm: hole transfer | 375 nm: energy/electron transfer

Excitation-selective coupling regulates charge separation and sensitized emission.

Research message: Solution-phase heterojunction engineering turns $CsPbBr_3$ nanocrystals from isolated emitters into interface-active platforms for NIR coupling and 2D–3D charge/energy transfer.

Surface and Excited-State Engineering of Tin-Based Perovskite Nanocrystals





Multi-Strategy Engineering of Temperature-Responsive Self-Trapped Excitons in Tin-Based Double Perovskite Nanocrystals Enables High-Sensitivity Fluorescence Thermometry