


シリコン量子ドット前駆体、シリコン量子ドット、シリコン量子ドットLEDの製造

広島大学 自然科学研究支援開発センター 研究開発部門
大学院先進理工系科学研究科（化学プログラム）
理学部 化学科

教授 齋藤 健一

2024年2月15日

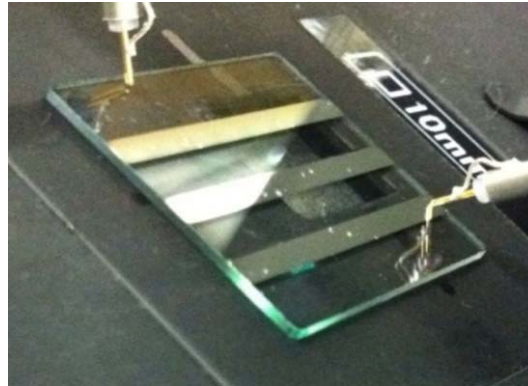


- 齋藤 健一（さいとう けんいち）
- 2004年10月 広島大学に着任（准教授）
- 2011年 4月～ 教授 先進理工系科学研究科（化学P）
理学部化学科（併任）
自然科学研究支援開発センター（専任）
- 研究室：齋藤研究室（光機能化学研究室） 
- 広島大学に来る前：千葉大学，大阪大学，学習院大学，
スタンフォード大学，分子科学研究所など
- 住んだ場所：千葉，東京，岡崎，大阪，カリフォルニア，広島
- 学会：日本化学会，応用物理学会，米国材料学会，欧州材料学会，
分子科学会等，ナノ学会

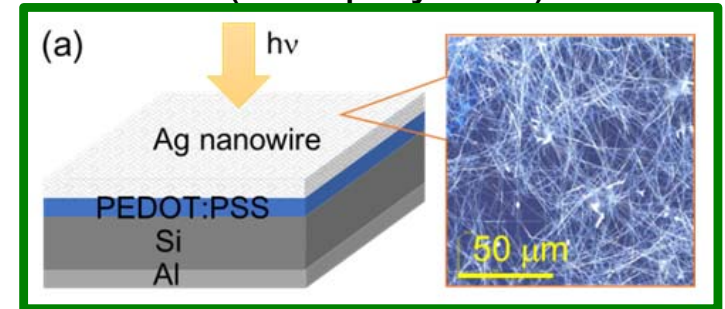
Si量子ドットの合成



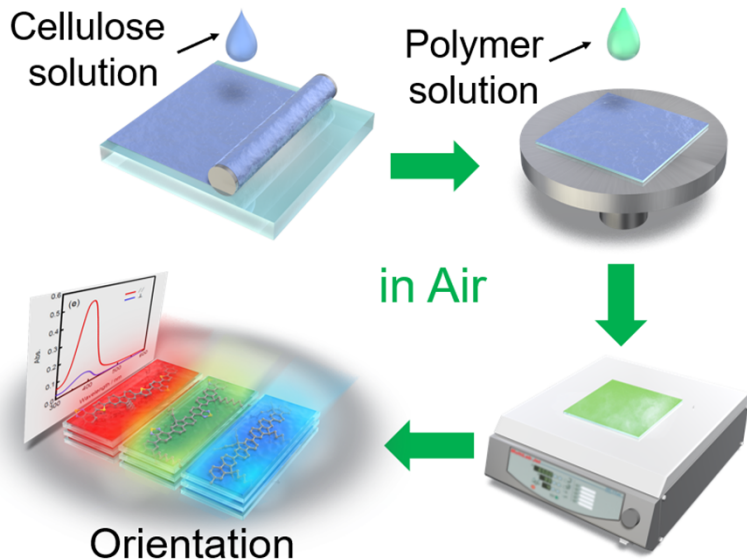
Si量子ドット LED



塗布型の次世代太陽電池 (Si & polymer)

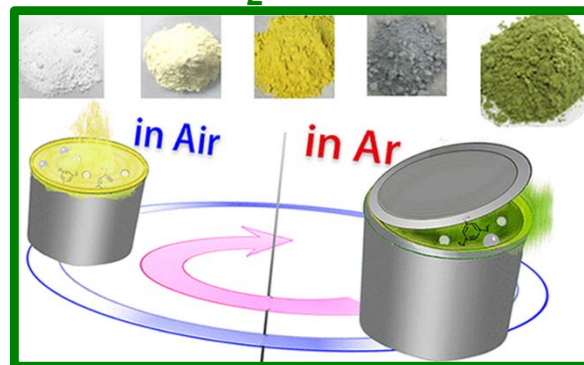


高分子の配向膜作製 (セルロース, 高い耐久性, SOFT法と命名)



nanomaterials

TiO₂光触媒



光増強効果

(TiO₂, MoS₂, 2D TMD, Si)

プラズモニクスから
ミートロニクスへ

新しい水素製造法 (CO₂ゼロエミッション)

「量子ドットの発見と合成」

- 米マサチューセッツ工科大学のムンジ・バウエンディ教授
- 米コロンビア大学のルイス・ブルース 教授
- 旧ソビエト出身のアレクセイ・エキモフ氏

3氏に贈られた

参考記事：ノーベル財団 <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2023/press-release/>

参考記事：NHK https://www3.nhk.or.jp/news/special/nobelprize/2023/chemistry/article_28.html

参考記事：日経サイエンス <https://www.nikkei-science.com/?p=71018>
(齋藤も記事で紹介)

選考委員会の意見：

- ✓ 「量子ドットは人類に最大の恩恵をもたらしつつある」と総括。
- ✓ 量子ドットはTVをはじめ、様々な分野で役割を果たし始めている。
- ✓ 今後も、極小なセンサーや太陽電池，医療分野などで期待。

参考記事：ノーベル財団 <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2023/press-release/>

参考記事：NHK https://www3.nhk.or.jp/news/special/nobelprize/2023/chemistry/article_28.html

参考記事：日経サイエンス <https://www.nikkei-science.com/?p=71018>
(齋藤も記事で紹介)

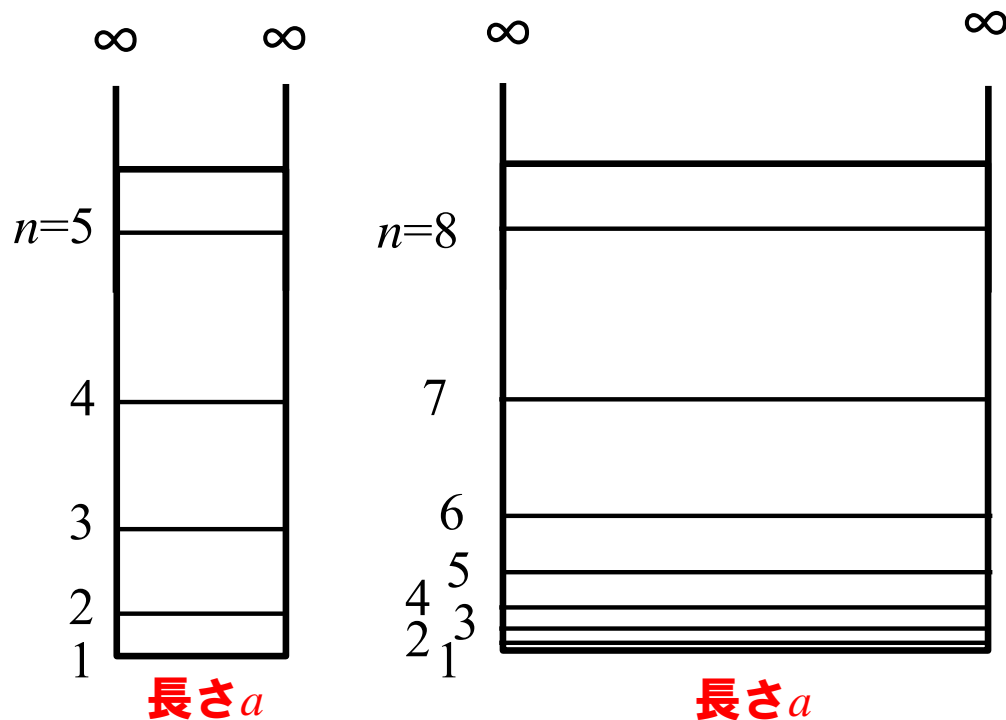
量子閉じ込め効果の復習:

理工系学生は、量子力学の講義で聴講



1次元に閉じ込めた電子
(箱の中の粒子の問題)

極めて細い針金
(ナノワイヤ)



$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{P^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{h^2 n^2 \pi^2}{2ma^2}$$

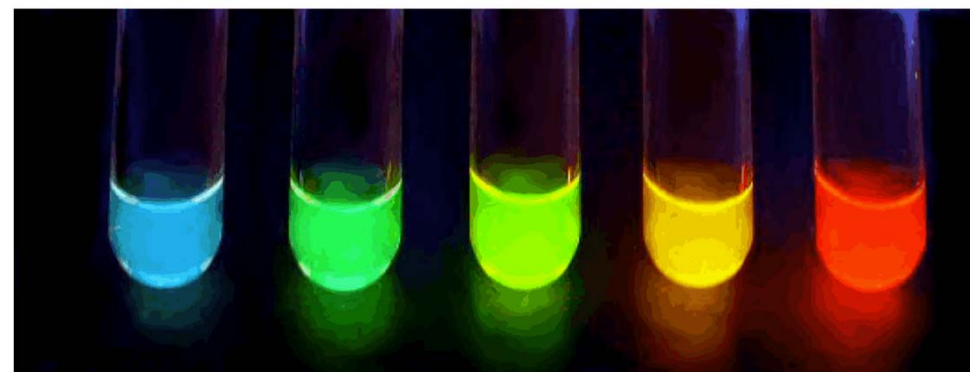
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, a = \frac{\lambda}{2}n$$

粒子のサイズで発光色に変化!
物質は一種類で!



CdSe量子ドット

UV irradiation (365 nm)



2.0 nm 2.8 nm 3.8 nm 4.5 nm 7.9 nm

高エネルギー ←

→ 低エネルギー

2022年後半から、沢山現れた量子ドットTV（家電量販店等）

（ブラビア、レグザ、アクオスなど）但し、量子ドットLEDではない

原理：

- ✓ 背面から光（青色LED）、いわゆるバックライトに青色LED
- ✓ 量子ドットフィルムを用いて、青→緑と赤に波長変換しフルカラー化
- ✓ 今後、量子ドットLEDへの発展が期待

巨大な量子ドット市場：

- ✓ 年平均成長率は2024～2029年で18%
- ✓ 2024年の市場は123億ドル（約2兆円）
（米国の調査会社 Mordor Intelligenceによる試算）

- ✓ **環境低負荷の量子ドットが欲しい！**

理由:量子ドットの研究・実用化は、重金属，希少金属，環境負荷の高い物質が中心であった（Cd系，ペロブスカイト系，In系など）

- ✓ **シリコンは原料が豊富，重金属でもない。しかし，発光体に向いていない。**

理由1:発光が近赤外領域（蛍光体に不向き）

理由2:シリコンは発光しにくい（間接遷移型）

発光量子収率は0.01%程

しかし，ナノシリコンはフルカラー発光，発光量子収率80%

コロイダルシリコン量子ドット(SiQD)の合成法

製造法	工程	真空プロセス	必要な装置	製造量	発光量子収率	当研究室での実績
陽極酸化法	湿式		電気化学装置 ドラフトチャンバー	やや少ない	~10%	
レーザー熱分解法	乾式 & 湿式	要	CO ₂ レーザー 真空チャンバー ドラフトチャンバー	やや少ない	~30%	
液中レーザーアブレーション法	湿式		ナノ秒レーザー フェムト秒レーザー	少ない	~10%	○
ボールミル法	湿式		ボールミル装置	少ない	~10%	○
プラズマ法	乾式 & 湿式	要	プラズマ発生装置 真空チャンバー ドラフトチャンバー	サブグラム スケール	~70%	
→ HSQ法	乾式 & 湿式		電気炉 ドラフトチャンバー	サブグラム スケール	~80%	○
液相還元法	湿式		ドラフトチャンバー	サブグラム スケール	~80%	○

課題：高コスト(設備, 装置の維持費, 原材料費), 生成量, 性能

→ 実用化に, 低コスト & 簡便な工程 & 高性能は重要!

HSQ法の長所と短所

HSQ(水素シルセスキオキサン)

長所:

- ✓ 高性能SiQD (発光量子収率 最大80%)
- ✓ サブグラムスケールで簡便に製造(実験室レベル)
- ✓ 真空フリー, 電気炉とドラフトを使用

短所:

- ✓ SiQDの原料(前駆体, HSQ)が高価
(更に, 数年前にメーカーが製造中止)
- ✓ 別の会社(海外ベンチャー)が製造を開始
それが, 更に高価(1g 10~15万円)

- ✓ **高効率SiQDの製造(発光量子収率80%)**
- ✓ **SiQDの前駆体となるHSQポリマーを製造**
- ✓ **高性能の前駆体の構造決定, 製造法の開発**
- ✓ **従来技術の1/380のコストでの製造**

特願2020-154517

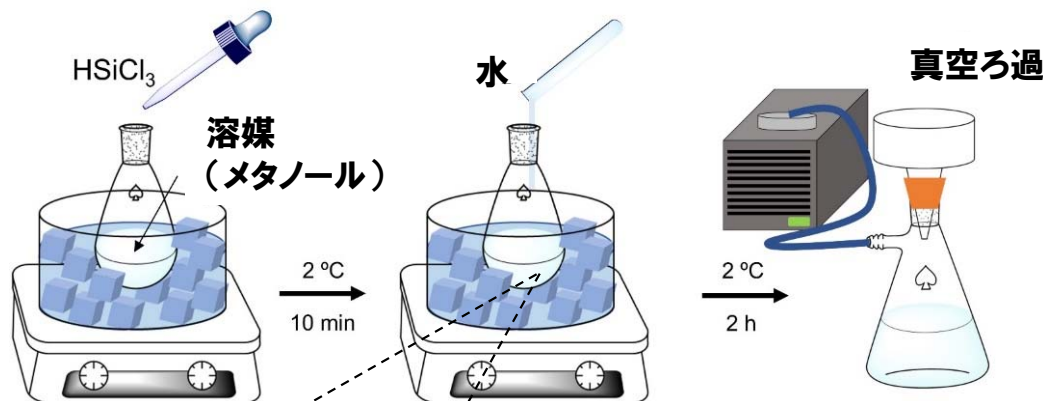
- ✓ **その後の研究で, 更なる高性能 & コストダウン化
(1/3600のコストダウン)**

特願2023-077374

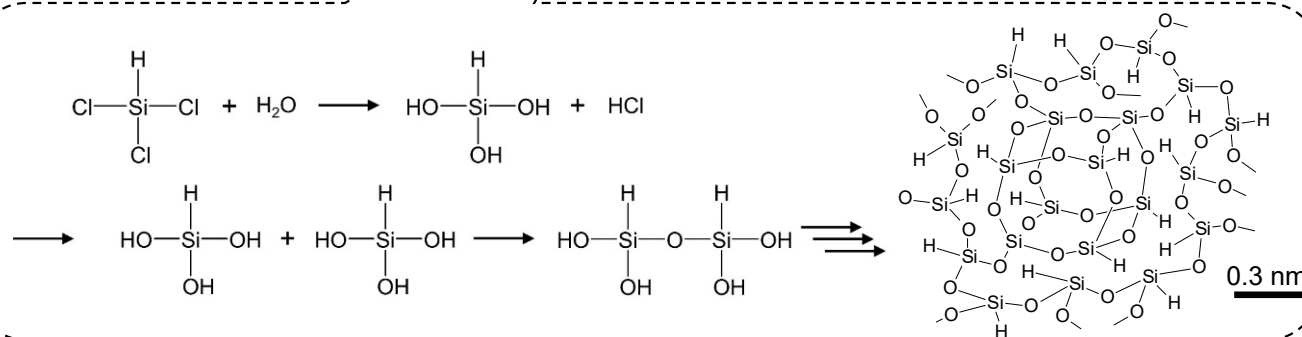
ここから新技術の紹介

シリコン量子ドット前駆体、シリコン量子ドット、
シリコン量子ドットLEDの製造

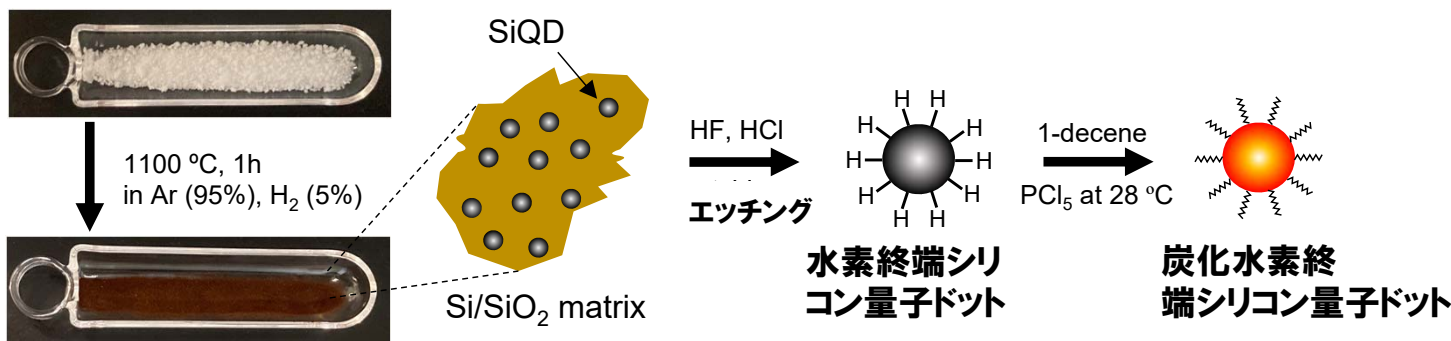
本技術: SiQD前駆体とSiQDの合成



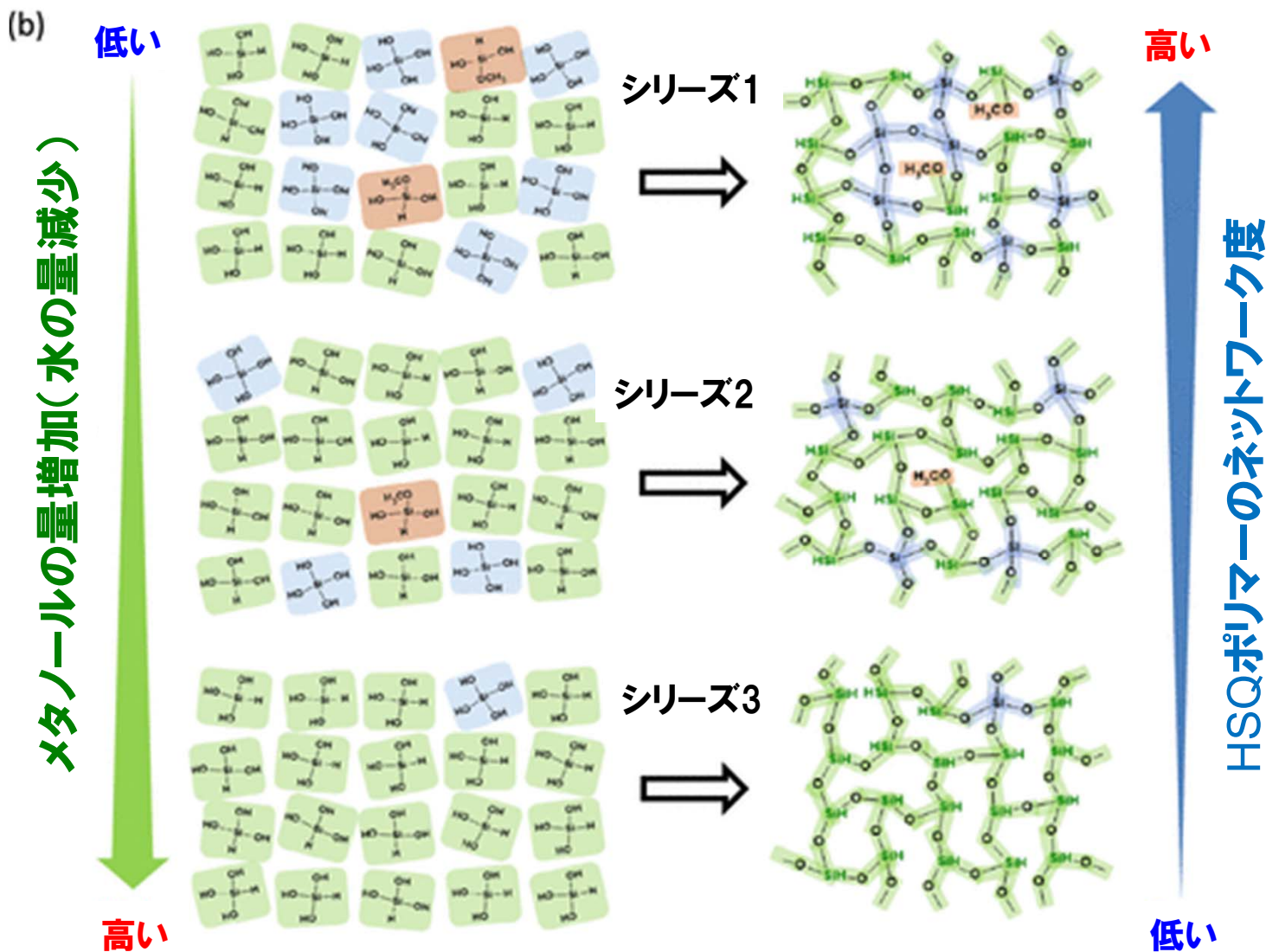
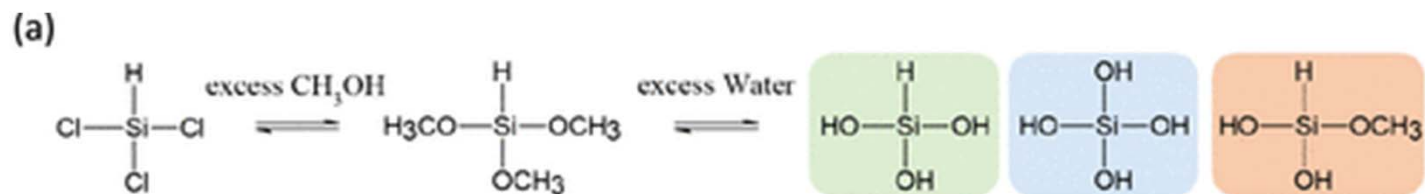
HSQポリマーの合成 (SiQDの前駆体)



HSQポリマーの焼成とシリコン量子ドットの合成

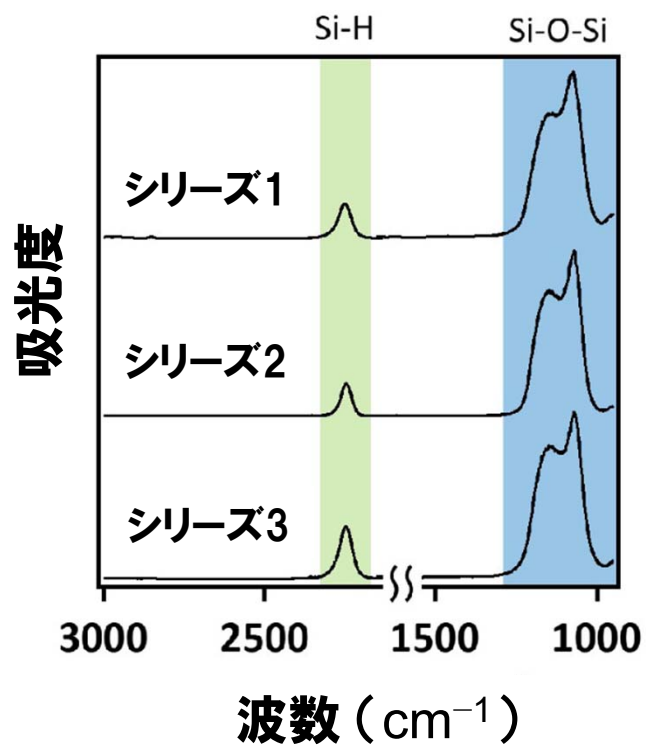
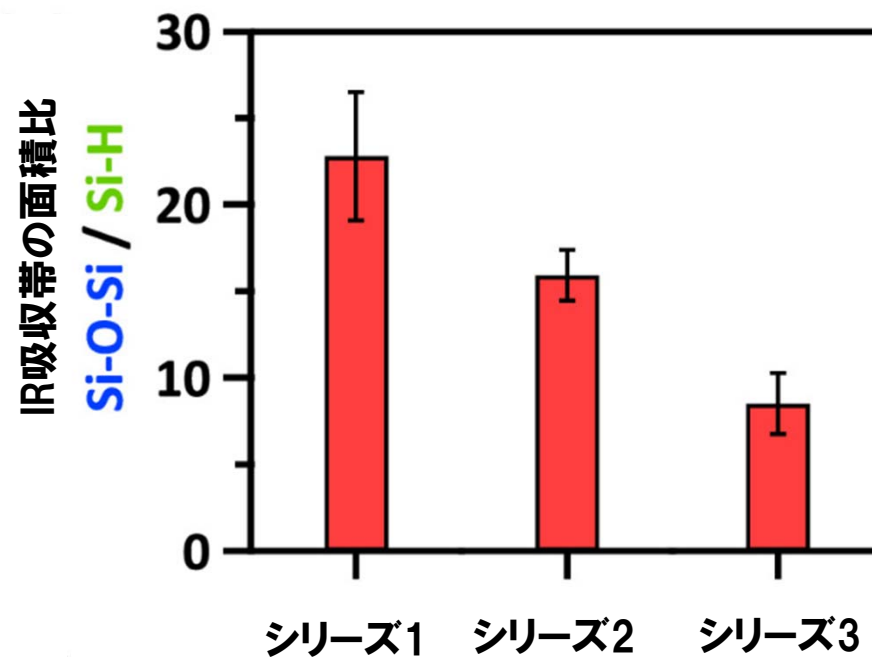


本技術:メタノールの量を変える (HSQポリマーの生成)

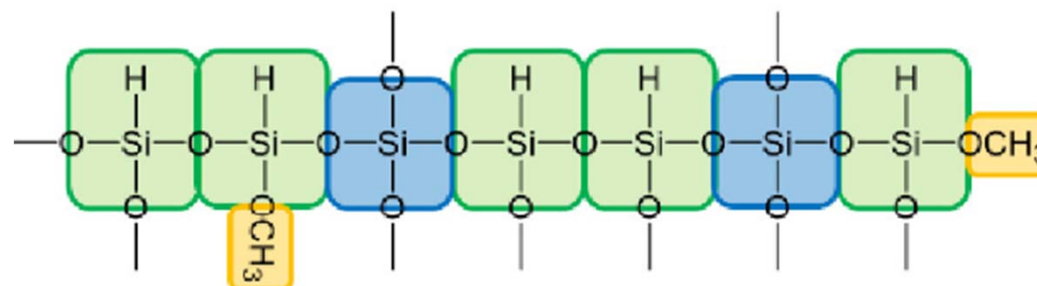




シリーズ1 シリーズ2 シリーズ3



HSQポリマーの部分構造



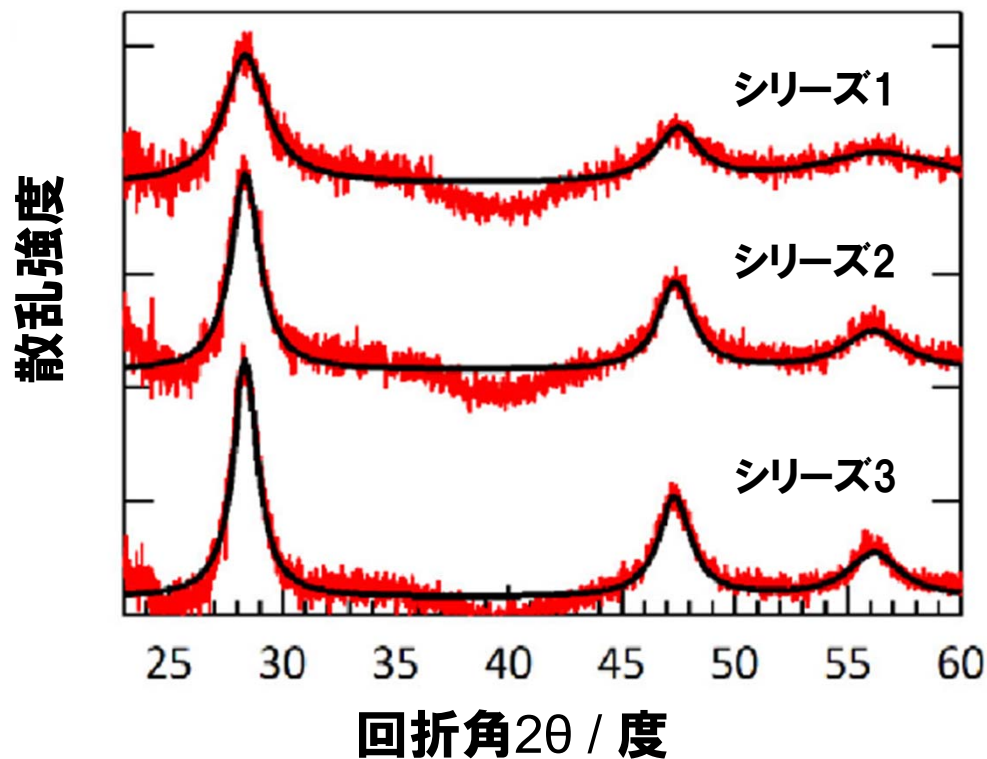


シリーズ1

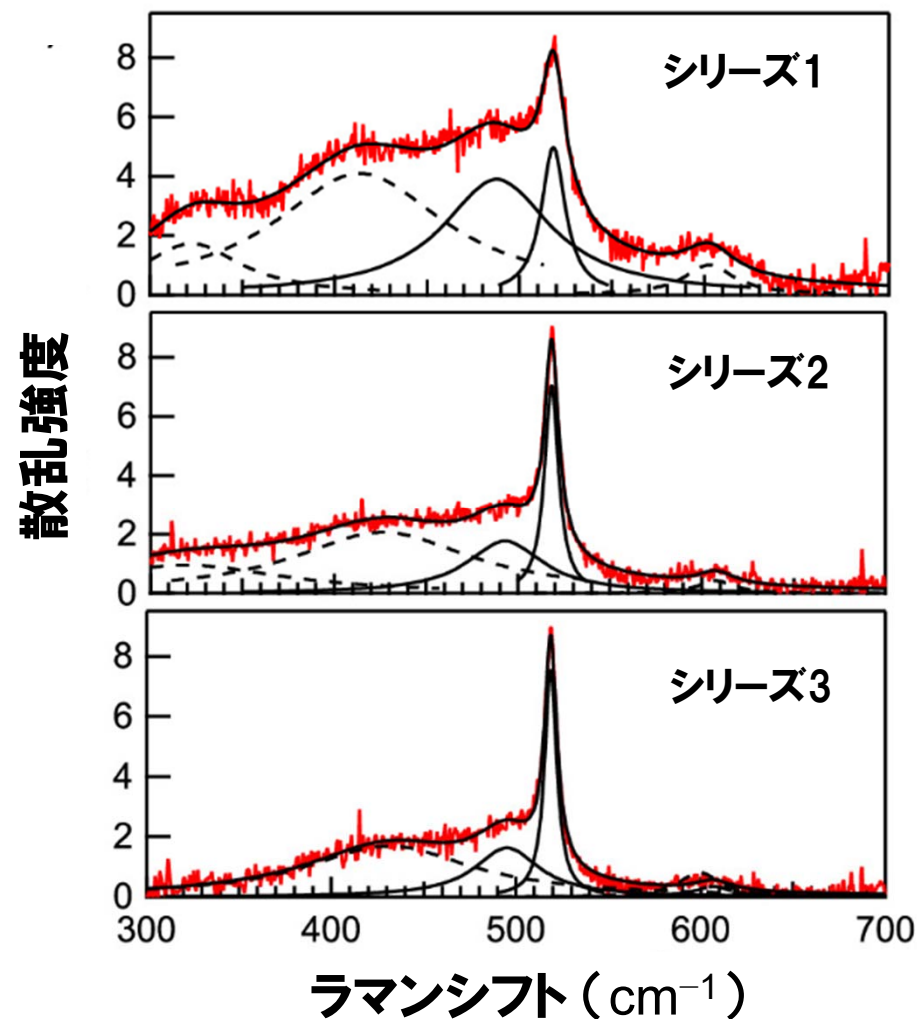
シリーズ2

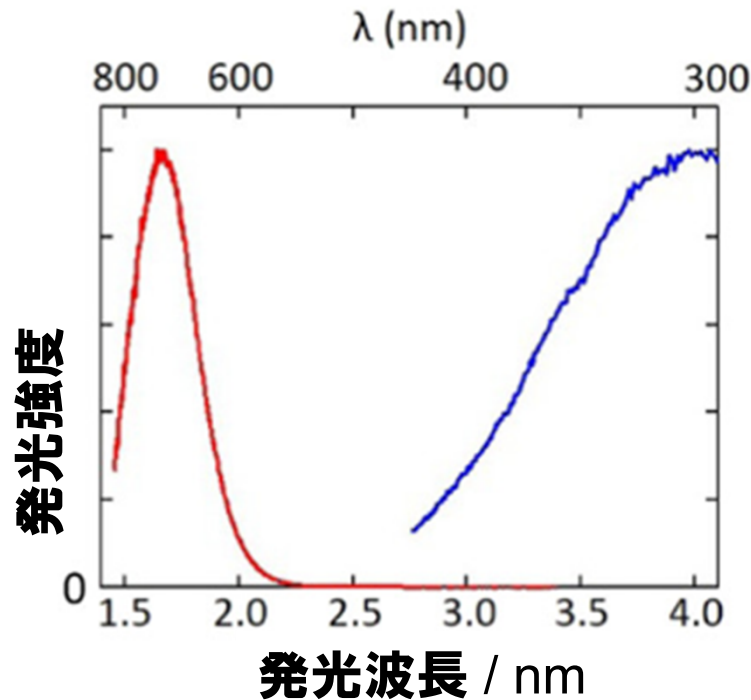
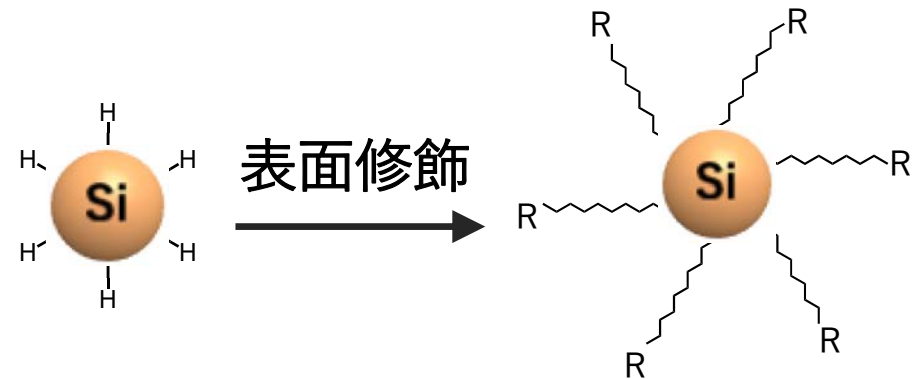
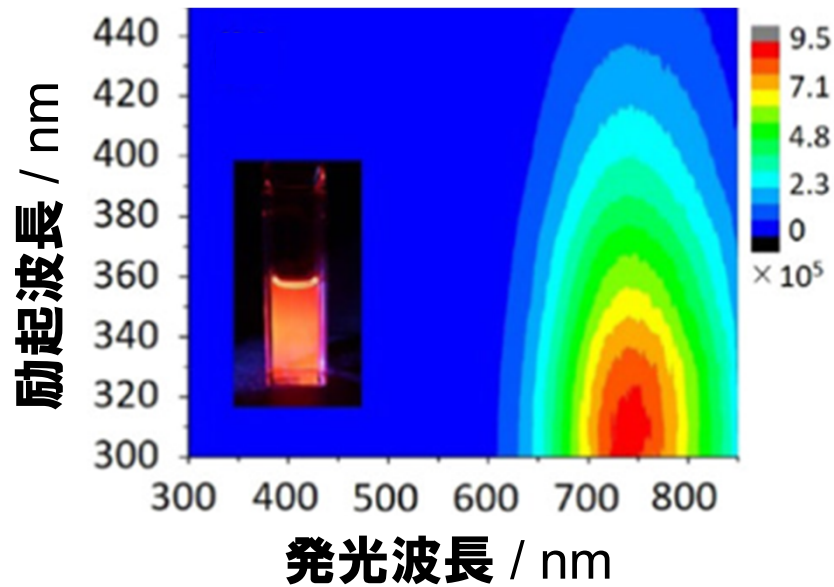
シリーズ3

X線回折像

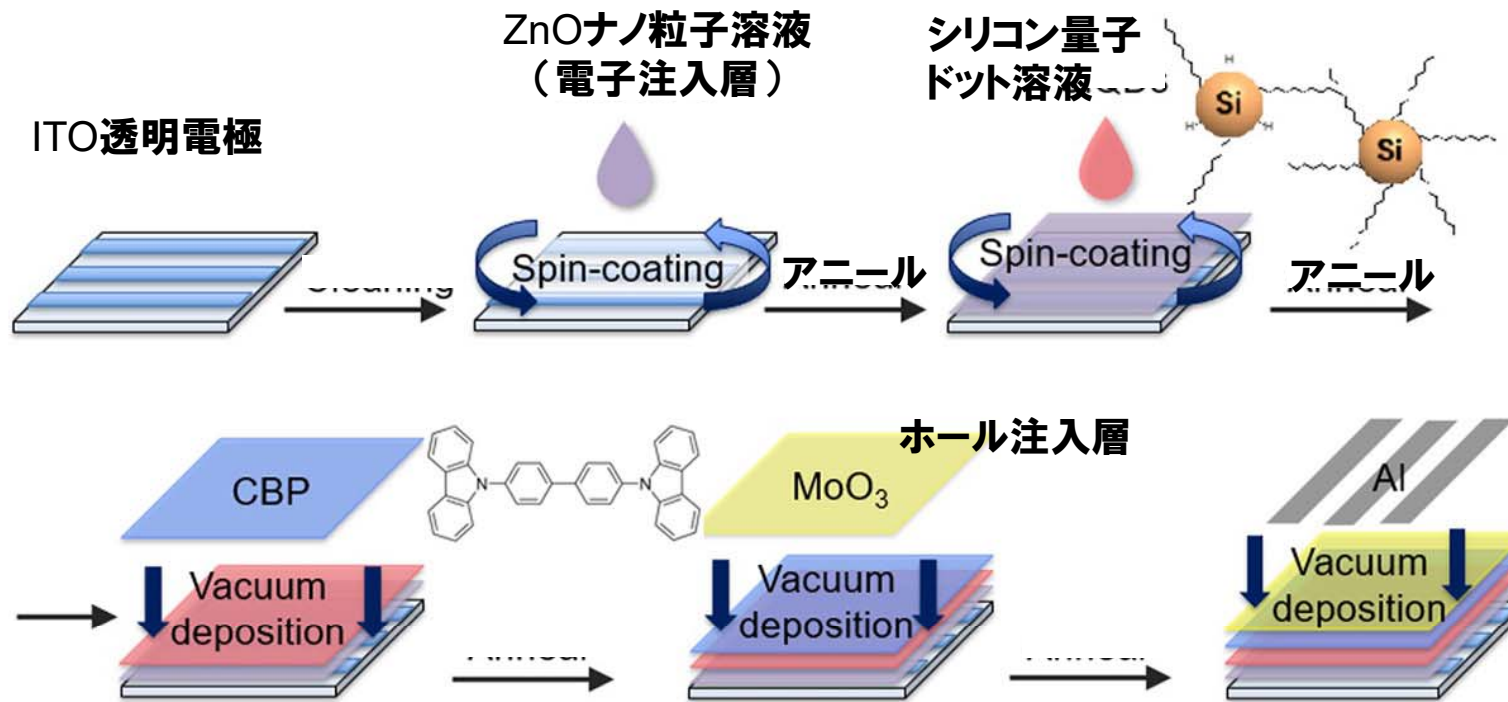


ラマンスペクトル





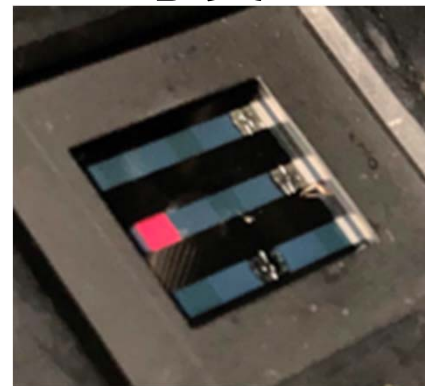
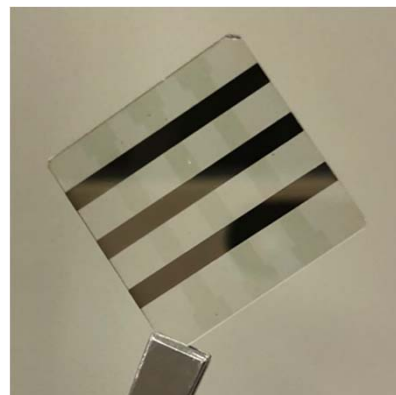
**発光量子収率
最大で80%
(世界トップレベル)
(演示実験の予定)**



SiQD LEDの外部量子効率, 最大で10%(世界トップレベル)

SiQD LEDの写真

10 mm



LED発光部の拡大



2 mm

想定される用途

- ✓ 重金属フリーのコロイダル量子ドット
- ✓ 蛍光体材料(量子ドット溶液, 量子ドットフィルム, LEDなど)
- ✓ 重金属フリーのバイオマーカー
- ✓ 太陽電池
- ✓ 再生医療
- ✓ ドラッグデリバリー

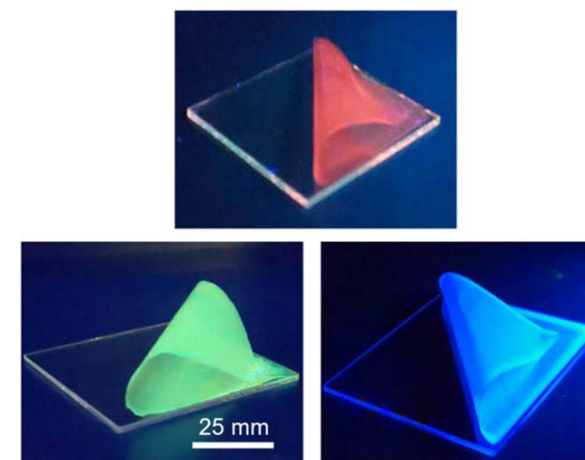
巨大な量子ドット市場:

- ✓ 年平均成長率は2024~2029年で18%
- ✓ 2024年の市場は123億ドル(約2兆円)

(米国の調査会社 Mordor Intelligenceによる試算)

- ✓ より大きなスケールでの製造
- ✓ 実用化をふまえた検証(耐久性, 安定性, 塗布性, 耐湿性等) → 取組中(1週間の太陽光照射, 熱水安定性は確認済み)
- ✓ 発光スペクトルのシャープ化 → 実験条件を変え, 取組中
- ✓ 他の色のSiQD
→ 青, 緑発光も実績あり

RGB発光するSiQDフィルム



- ✓ **量子ドットを開発中の企業，重金属フリーの量子ドット分野への展開を考えている企業には，本技術の導入は有効と考えられる。**
- ✓ **SiQD分散液，SiQDフィルム，重金属フリーバイオマーカー，SiQD LED等への展開を考えている企業との共同研究。**
- ✓ **実験室レベルと比べ，より大きいスケールでの製造技術を持つ企業との共同研究。**

- ✓ シリコン量子ドット前駆体となるHSQポリマーの合成
- ✓ 高効率発光のHSQポリマーの構造決定，製造法の開発
- ✓ 従来技術の1/380でのコストでの製造
(更に，1/3600のコストで製造)
- ✓ 赤色発光するシリコン量子ドット
(最大の発光量子収率80%)
- ✓ RGB発光するシリコン量子ドット，量子ドットフィルム
- ✓ 高効率シリコン量子ドットLEDの製造
- ✓ もみ殻からシリコン量子ドットとLEDの製造

発明の名称： シリコン量子ドット前駆体、シリコン量子ドット、シリコン量子ドット前駆体の製造方法及びシリコン量子ドットの製造方法

出願番号： 特願2020-154517

出願人： 広島大学

発明者： 齋藤健一

発明の名称： シリコン量子ドット前駆体、シリコン量子ドット、及びシリコン量子ドットを用いたLED装置、並びに、シリコン量子ドット前駆体の製造方法、シリコン量子ドットの製造方法、及びシリコン量子ドットを用いたLED装置の製造方法

出願番号： 特願2023-077374

出願人： 広島大学

発明者： 齋藤健一， 植田朋乃可

【特許権, 6918342】 電場増強基板

【特許権, 5649060】 酸化チタン粒子およびその製造方法

- 2005年-2008年 JST戦略的創造研究推進事業
(さきがけ, 構造制御と機能)に採択
- 2007年-2011年 太陽誘電株式会社と共同研究実施
- 2009年-2010年 JST地域イノベーション創出総合支援事業
シーズ発掘試験A:発掘型に採択
- 2009年-2010年 パナソニック株式会社と共同研究実施
- 2018年-2019年 セイコーエプソン株式会社と共同研究実施
- 2017年-2020年 信越化学工業株式会社と共同研究実施
- 2023年 三菱マテリアル株式会社と共同研究実施

広島大学

産学連携部 産学連携部門

TEL 082-424-4302

FAX 082-424-6189

e-mail techrd@hiroshima-u.ac.jp