

S2-19



心豊かな未来を拓く
科学技術

ナノシリコンの室温での 大量合成技術とデバイス応用

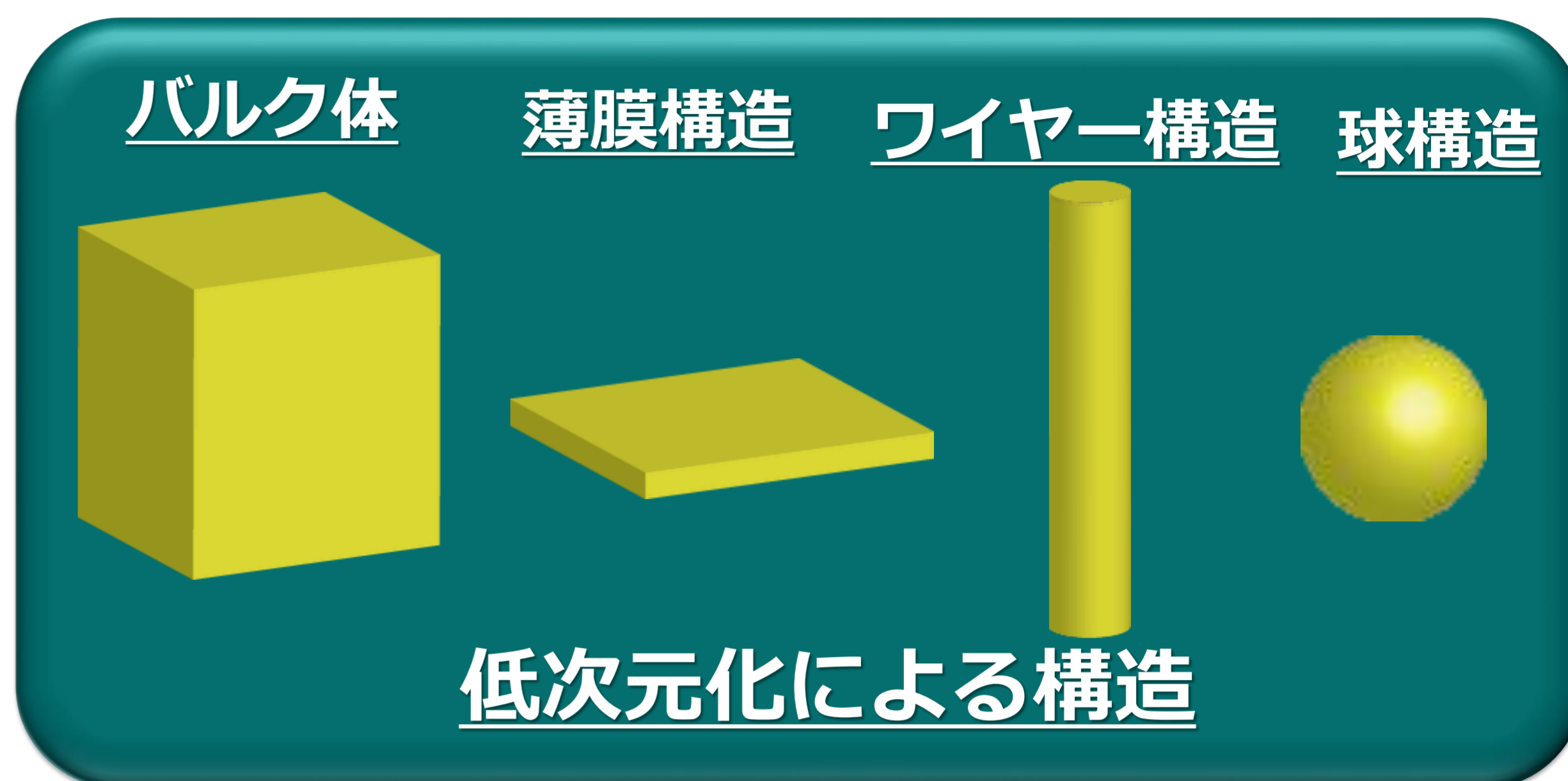
電気・機械工学専攻 助教 加藤 慎也

概要

ナノ構造がつくる新たなシリコンデバイス

シリコンは元素の中で2番目に多く存在し、バルク材料は安定で特性も良いため多くのデバイスに用いられ実用化されてきた。しかし、理論限界に近づき特性向上が困難になってきている。

シリコンナノ構造はバルクシリコンでは不可能であった新たな物性を出現させることができる。ナノシリコン構造の作製からデバイス構造の作製までを研究している。



特長

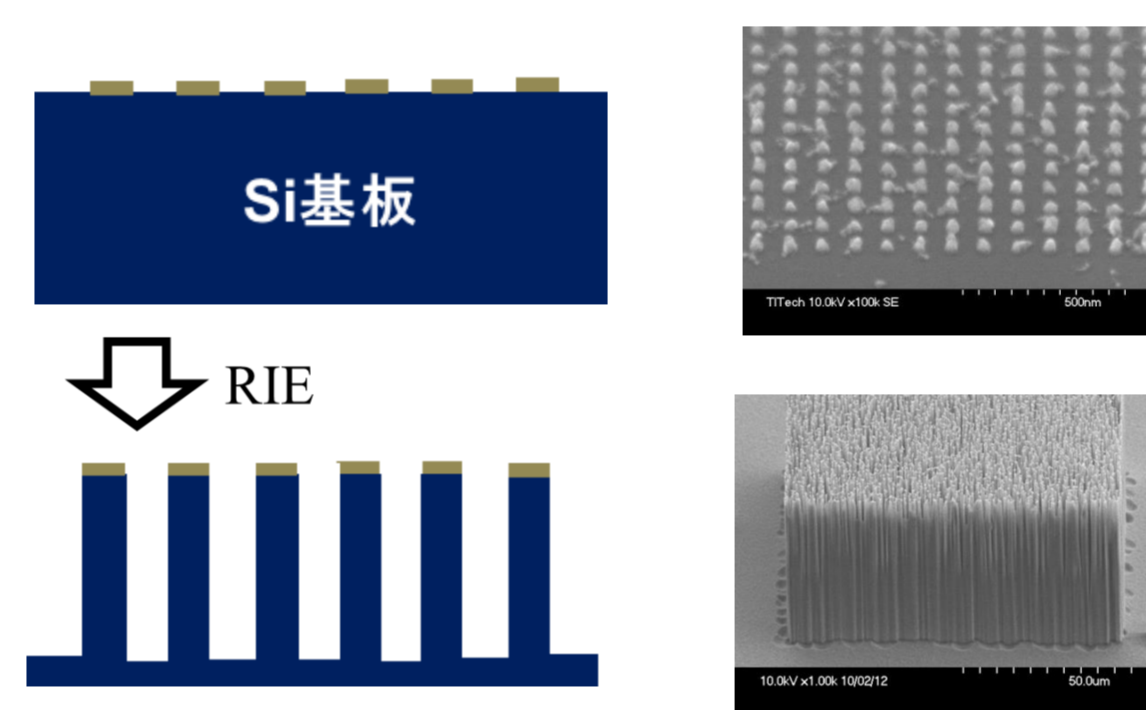
従来技術の課題：真空装置や高温プロセスが必要
→ 作製コストの増加やデバイス化に制限

低温で作製できる新たな技術が必要

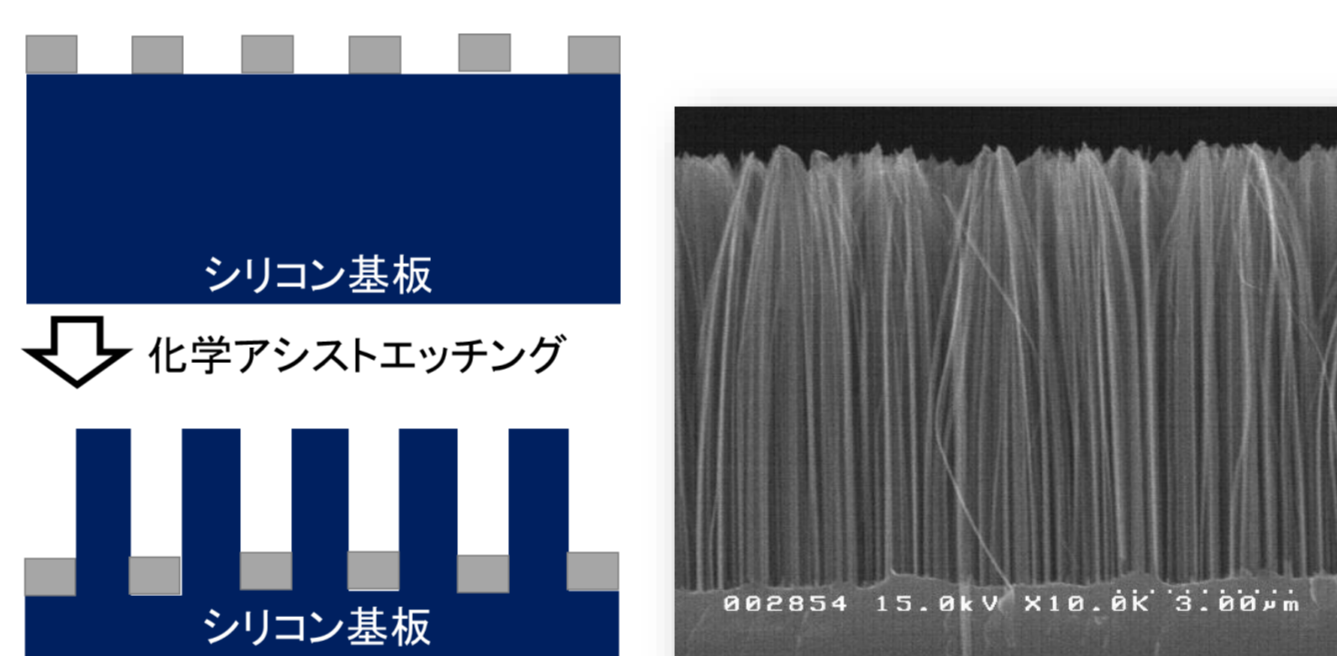
本研究では溶液法によってシリコンナノ構造を作製

	利点	欠点
本技術	低コスト デバイス化 大面積化	直径制御
従来技術	直径制御	高コスト 基板制限

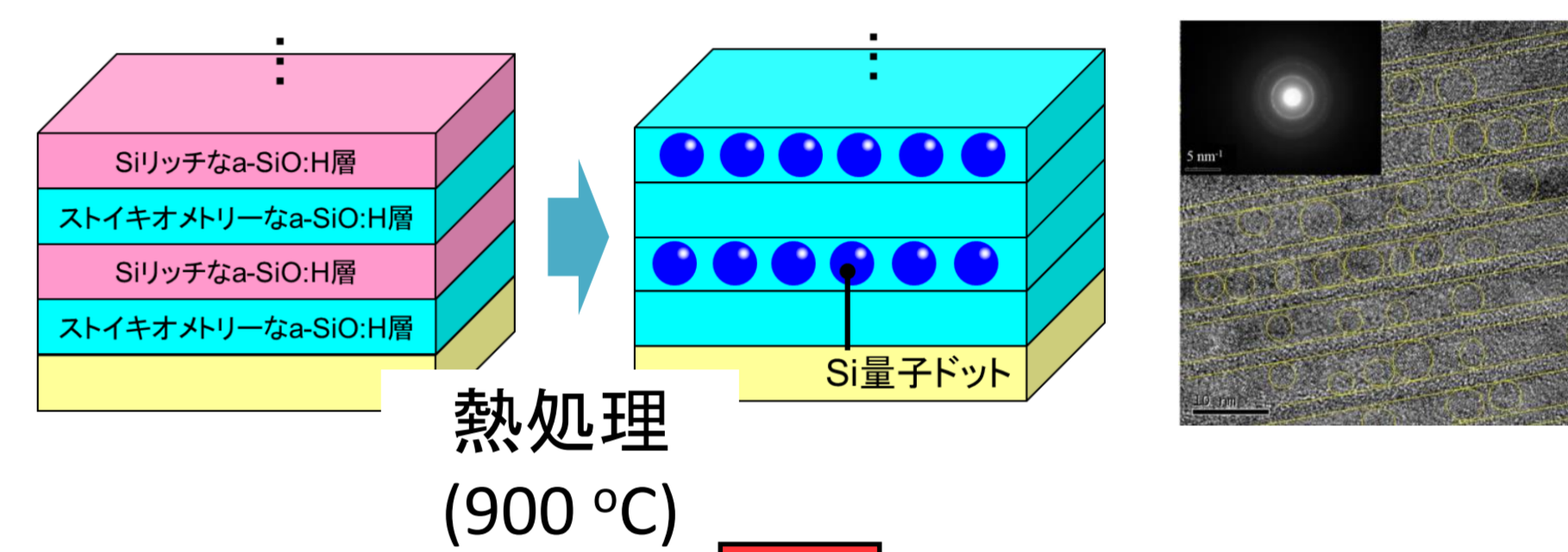
シリコンナノワイヤの従来の作製方法
フォトリソ+RIE



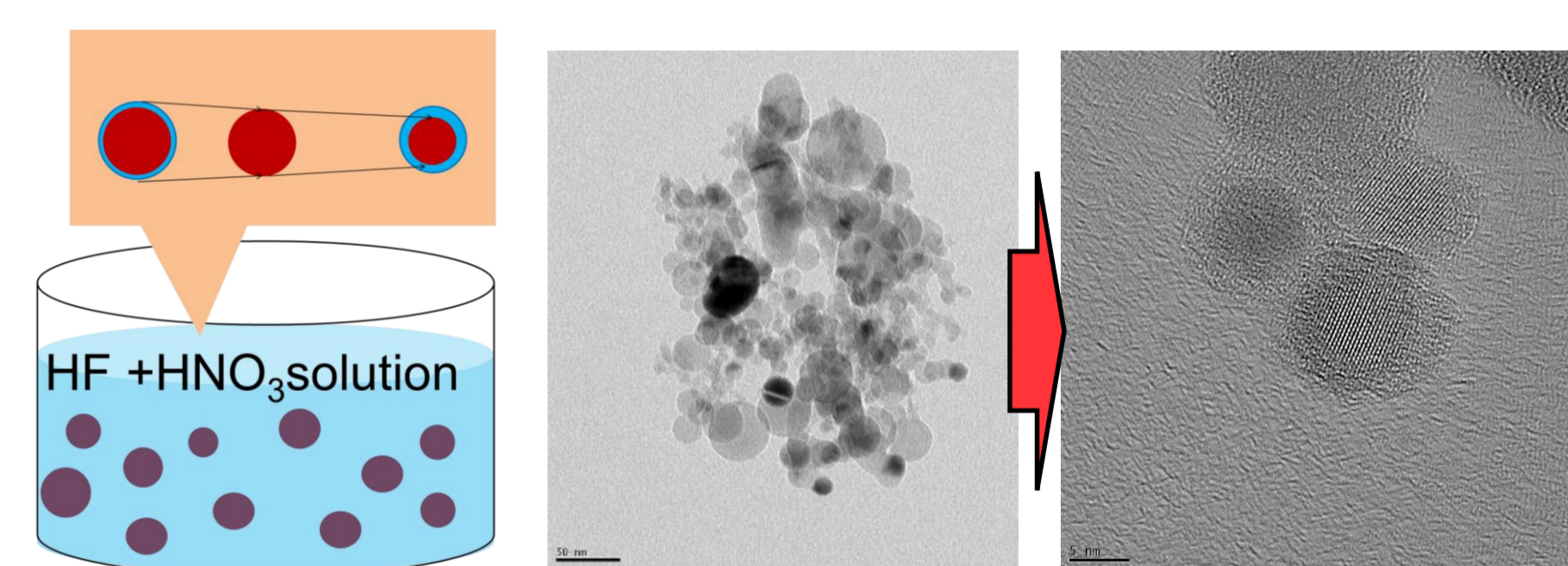
シリコンナノワイヤの作製方法
金属とシリコンの触媒反応を利用



シリコンナノ粒子の従来の作製方法
PECVD + 高温アニール



シリコンナノ粒子の作製方法
フッ酸と硝酸によるエッチング



本技術が拓く心豊かな未来社会の姿

応用が考えられるデバイス

- 超高効率太陽電池・発光素子・水分解素子
 - 蓄熱・熱電素子
 - 2次電池の負極材料
- など様々

今後の課題

- デバイスへの実装
- デバイスによって求められるナノ構造特性が異なる
→ それぞれにカスタマイズが必要

求める連携先とメッセージ

【求める連携先】

- ナノシリコン材料に興味がある方
- ナノシリコン材料を用いたデバイスに興味がある方

【メッセージ】

結晶シリコンのナノ構造からデバイス応用まで研究しています。ワイヤー構造であれば、アモルファスシリコンワイヤーも作製できます。

光学分野

- レーザー
- LED
- 光ファイバ

エネルギー分野

- 超高効率太陽電池
- 熱電・蓄熱
- 2次電池負極材料

通信分野

- 量子通信

シリコン
ナノ構造

医療分野

- 蛍光マーカー

エレクトロニクス分野

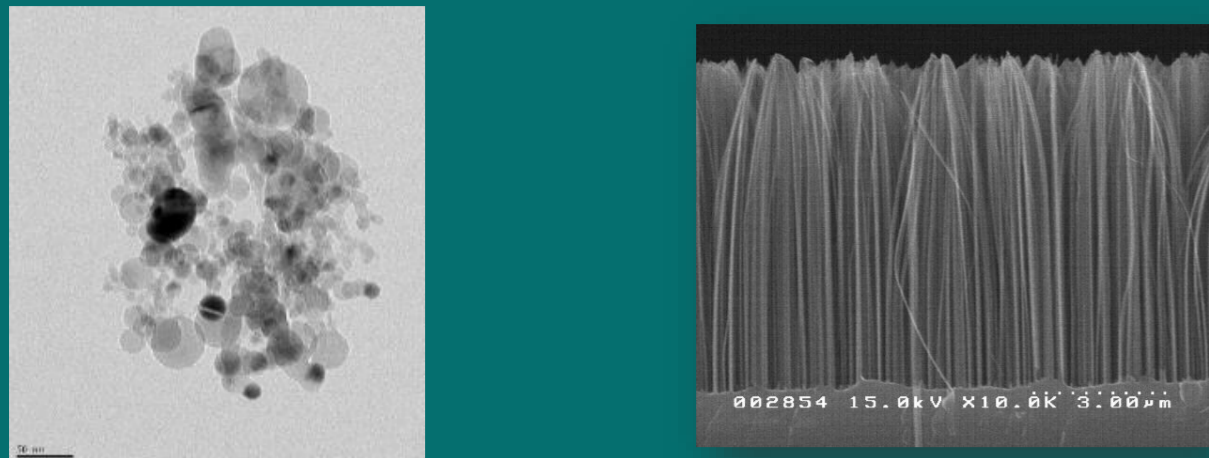
- 単電子トランジスタ
- 量子コンピューター



特長が発揮される仕組み

シリコンナノ材料の作製技術

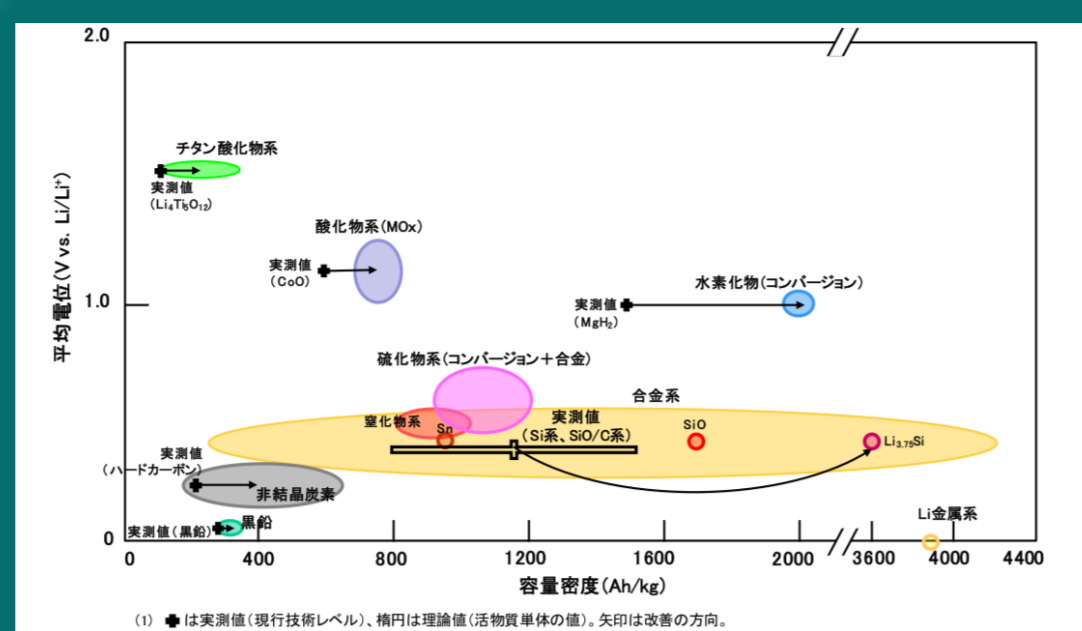
シリコンナノ粒子 シリコンナノワイヤー



2次電池負極材料

利点

- 重量当たりの容量密度
 - 黒鉛: 372 mAhg⁻¹
 - Si: ~3600 mAhg⁻¹ (Li_{3.75}Si)
 - Si: ~4200 mAhg⁻¹ (Li_{4.4}Si)
 - 約10倍
- ナノシリコンによる改善
- 表面積の増大
 - 剥離の影響低減



NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 [2]

欠点: 合金化による剥離

光学素子

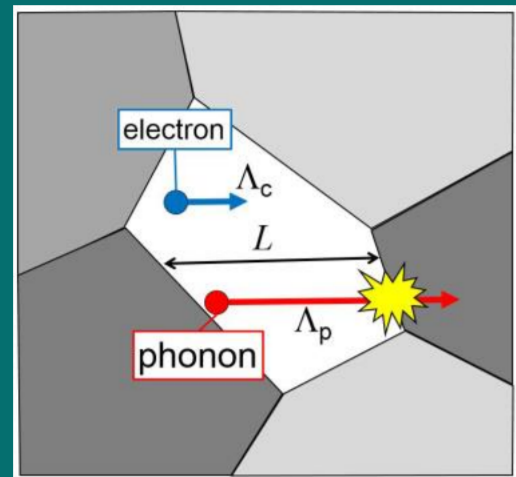
光散乱
→ 光吸収の増加

屈折率制御
→ シリコンと空気の比を変えることで屈折率を制御



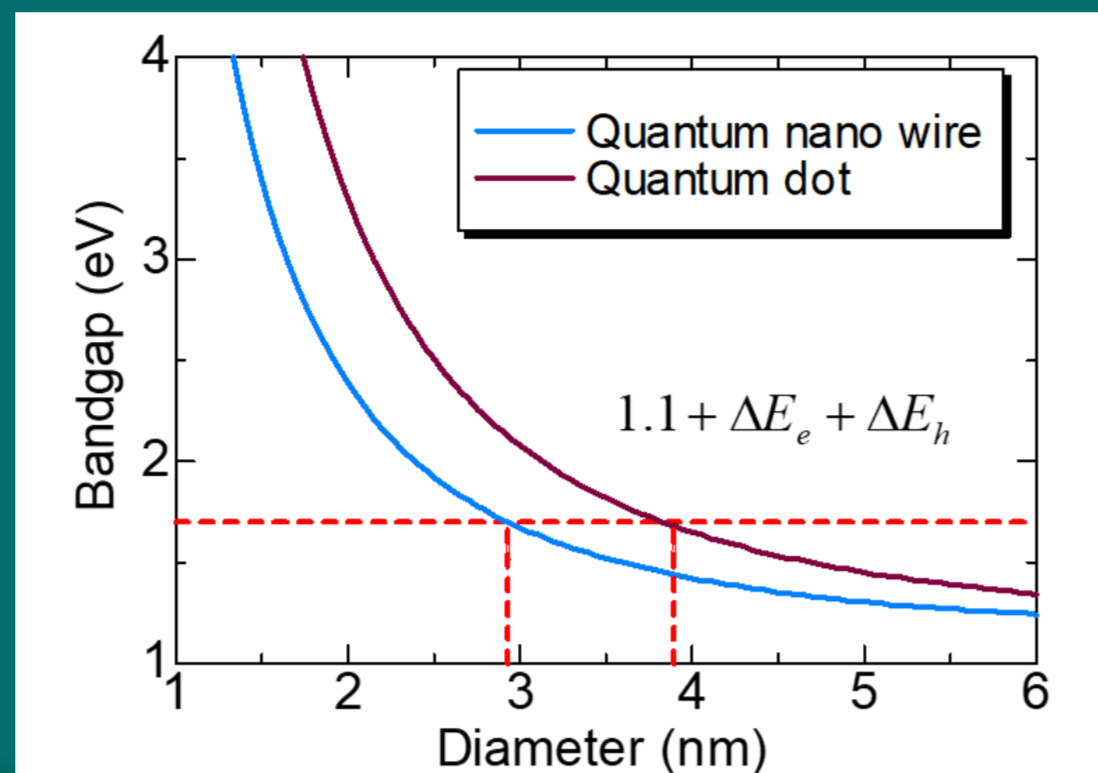
フォノンエンジニアリング

結晶シリコン
→ 熱伝導が良い
ナノ化
→ 熱伝導率が減少



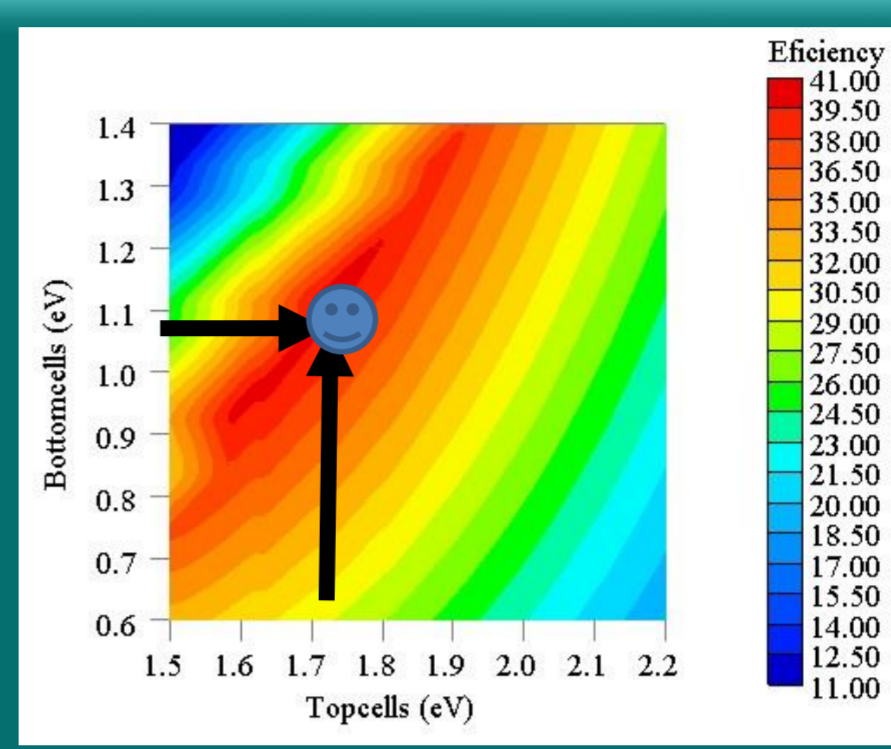
ナノ構造におけるキャリアとフォノンの動き[1]

太陽電池



ナノ化によるバンドギャップの制御

これまで不可能であった結晶シリコンでの多接合太陽電池が実現可能に

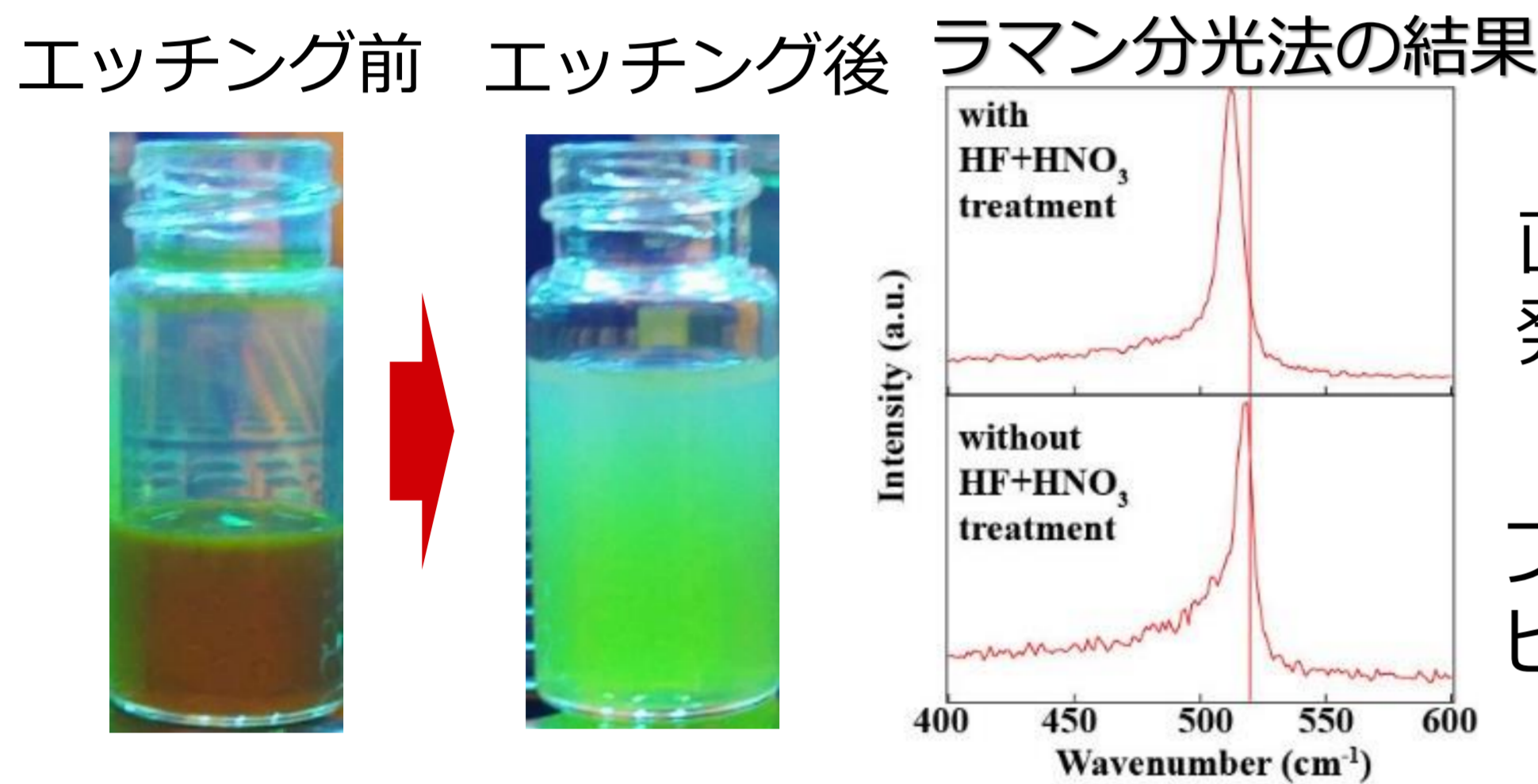


理論的に40%可能

参考文献 [1] 塩見淳一郎. ナノスケールにおける半導体のフォノン熱伝導. 伝熱 50, 21-28 (2011).
[2] NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013

技術の特長の根拠となる実験データ等

シリコンナノ粒子 量子化によるバンドギャップ制御

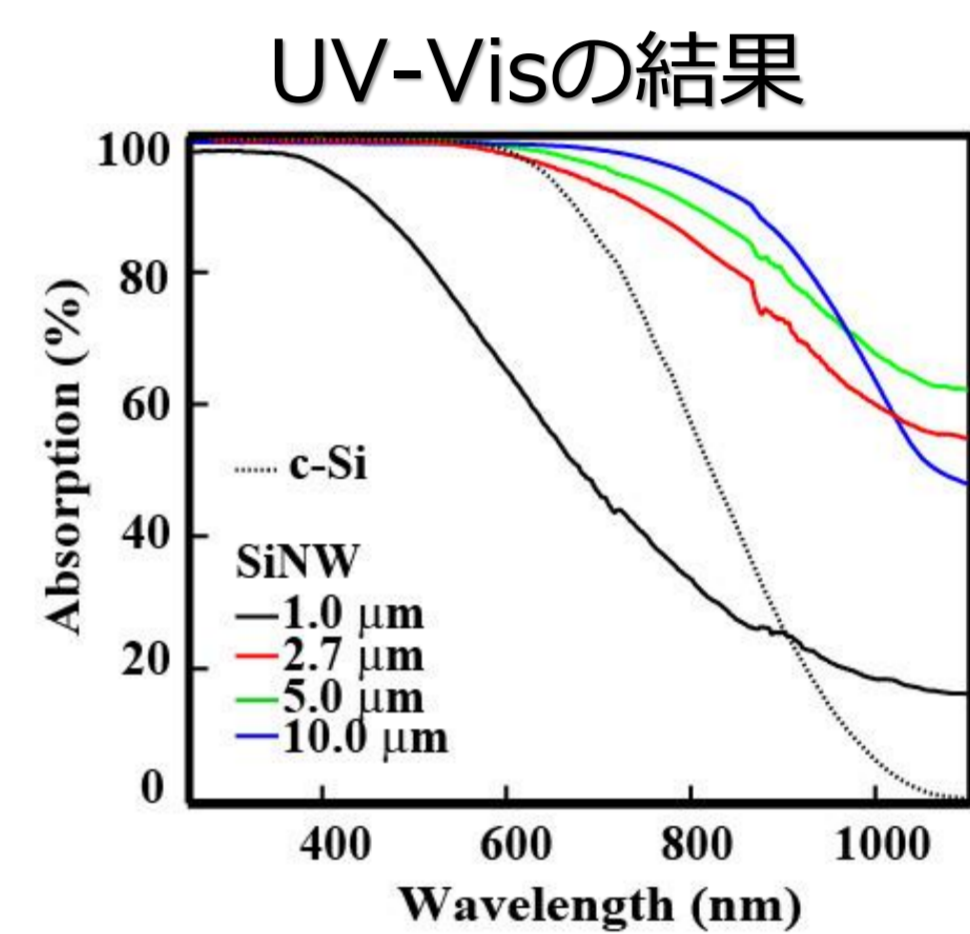


直径が減少することで、発光が確認

フォノンが閉じ込められ、ピークがシフト

シリコンナノワイヤー 光閉じ込め効果

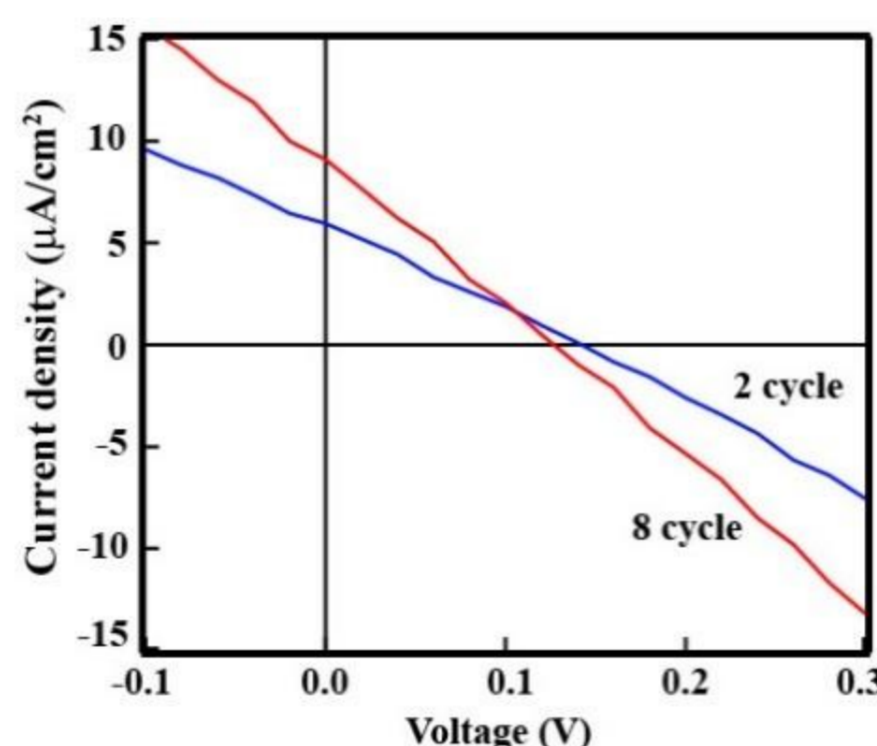
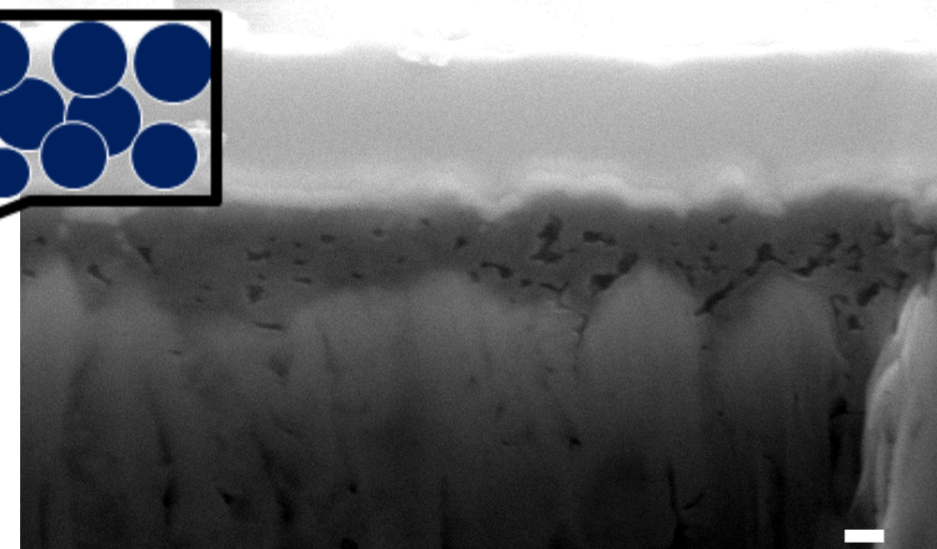
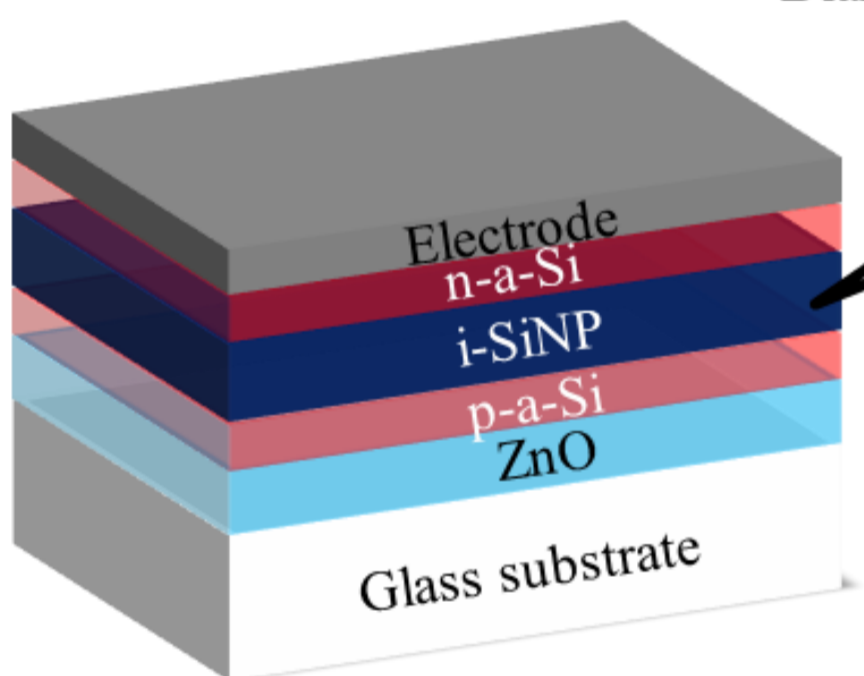
PDMS内にシリコンナノワイヤーを埋め込み



光吸収が増加
→ 長さ10μmで十分吸収可能

シリコンナノ粒子太陽電池

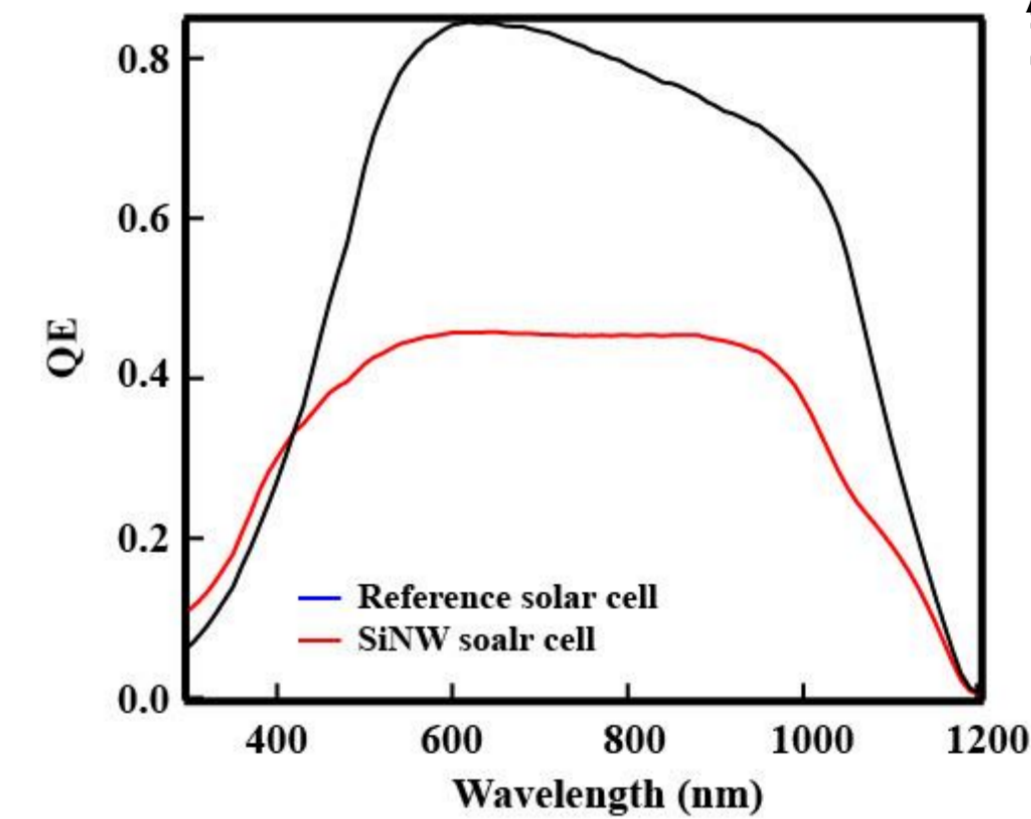
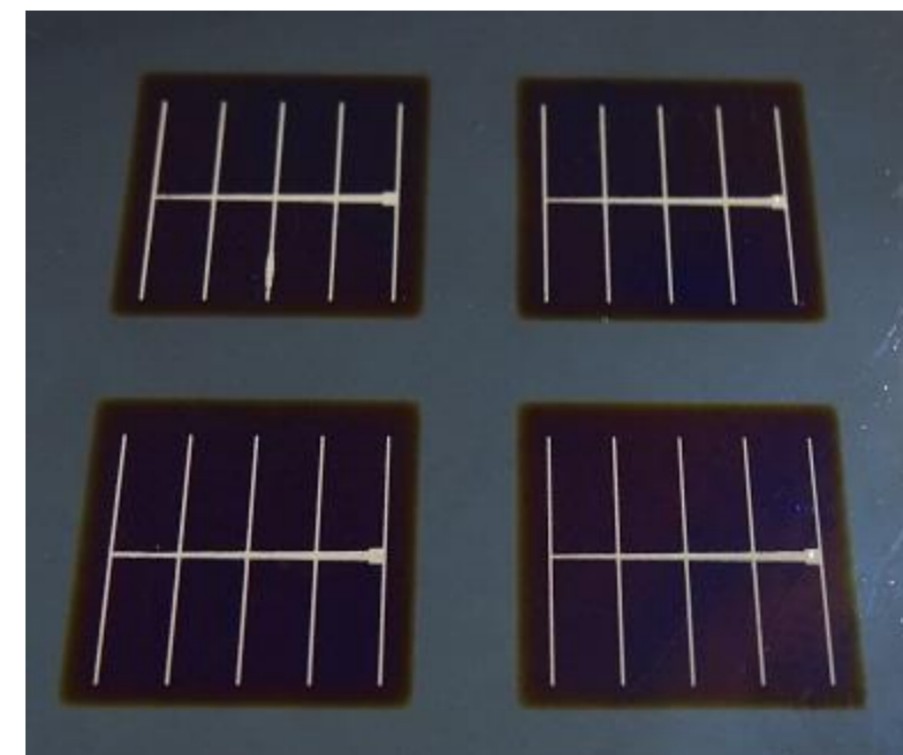
Diameter: 20 ~ 50 nm



シリコン粒子を発電層として初めて光起電力を確認

シリコンナノワイヤー太陽電池

外部量子効率の結果



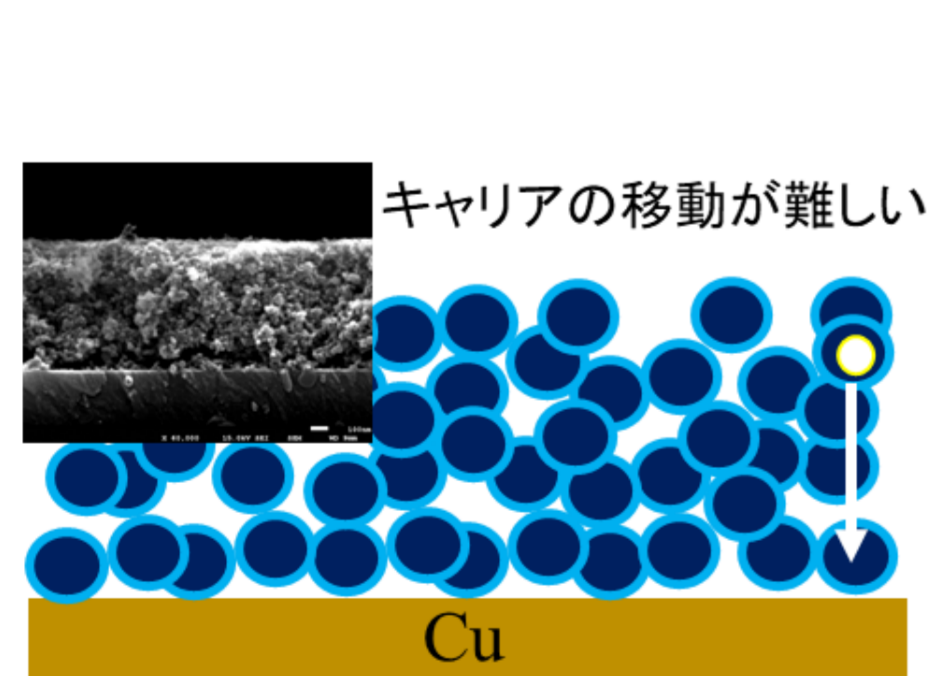
短波長側で光吸収が増大

シリコンナノワイヤーによって特性改善

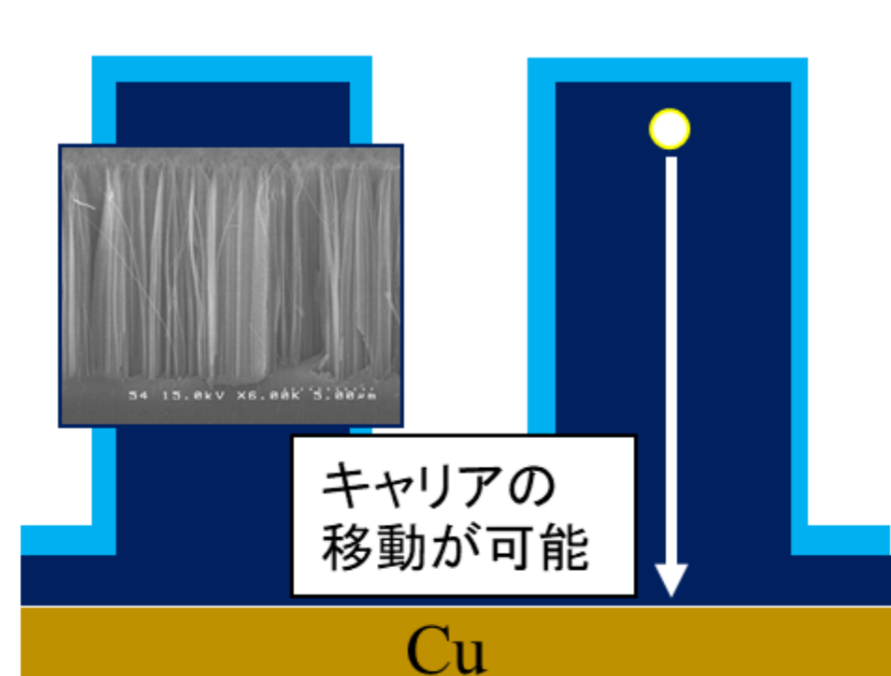
長波長側は再結合により減少

ナノ粒子とシリコンナノワイヤーを組み合わせた新たな構造

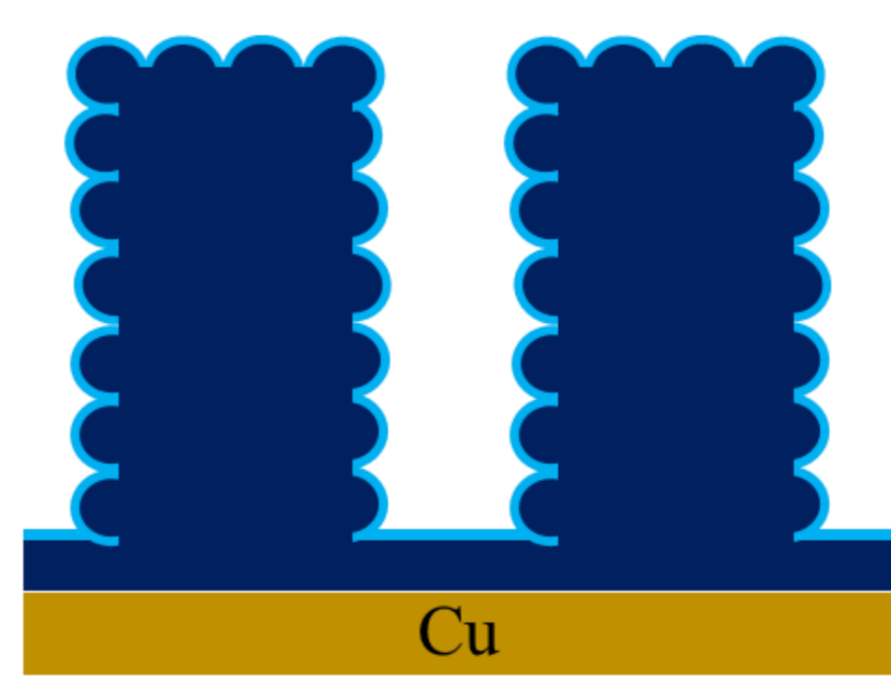
ナノ粒子/ポラス構造



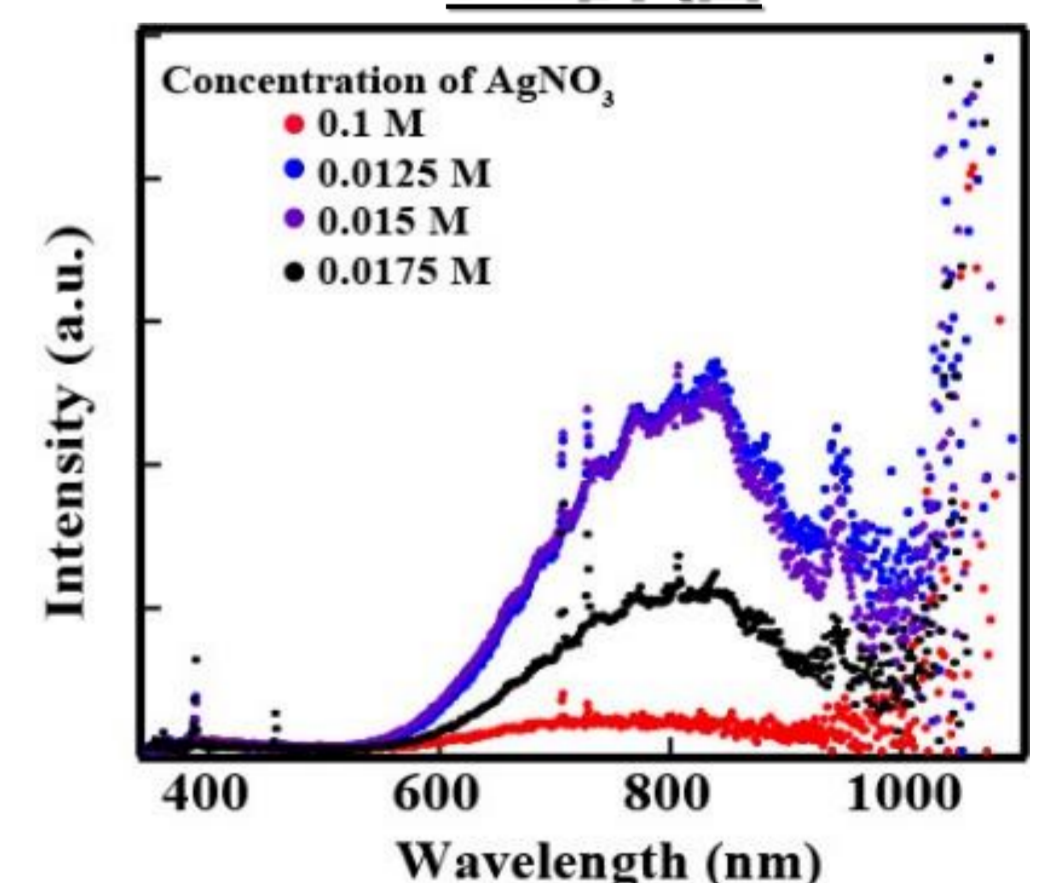
ナノワイヤー構造



ポラス+ナノワイヤー複合構造



PL評価



発光させることも可能

文献の情報

- S. Kato, et. al, "Optical assessment of silicon nanowire fabricated by metal assisted chemical etching", Nanoscale Research Letters, 8, 216 (2013)
- S. Kato, et. al, "Influence of Fabrication Processes and Annealing Treatment on the Minority Carrier Lifetime of Silicon Nanowire Films", Nanoscale Research Letters, 12, 242 (2017)

【お問合せ】 名古屋工業大学 産学官金連携機構

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町字木市29番

TEL:052-735-5627 FAX:052-735-5542

E-mail: nitfair@adm.nitech.ac.jp URL: https://technofair.web.nitech.ac.jp/