

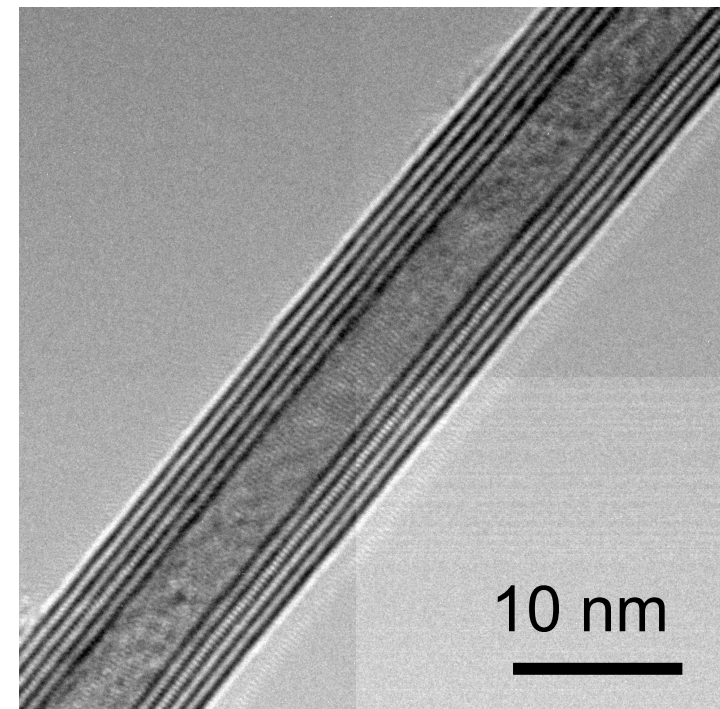
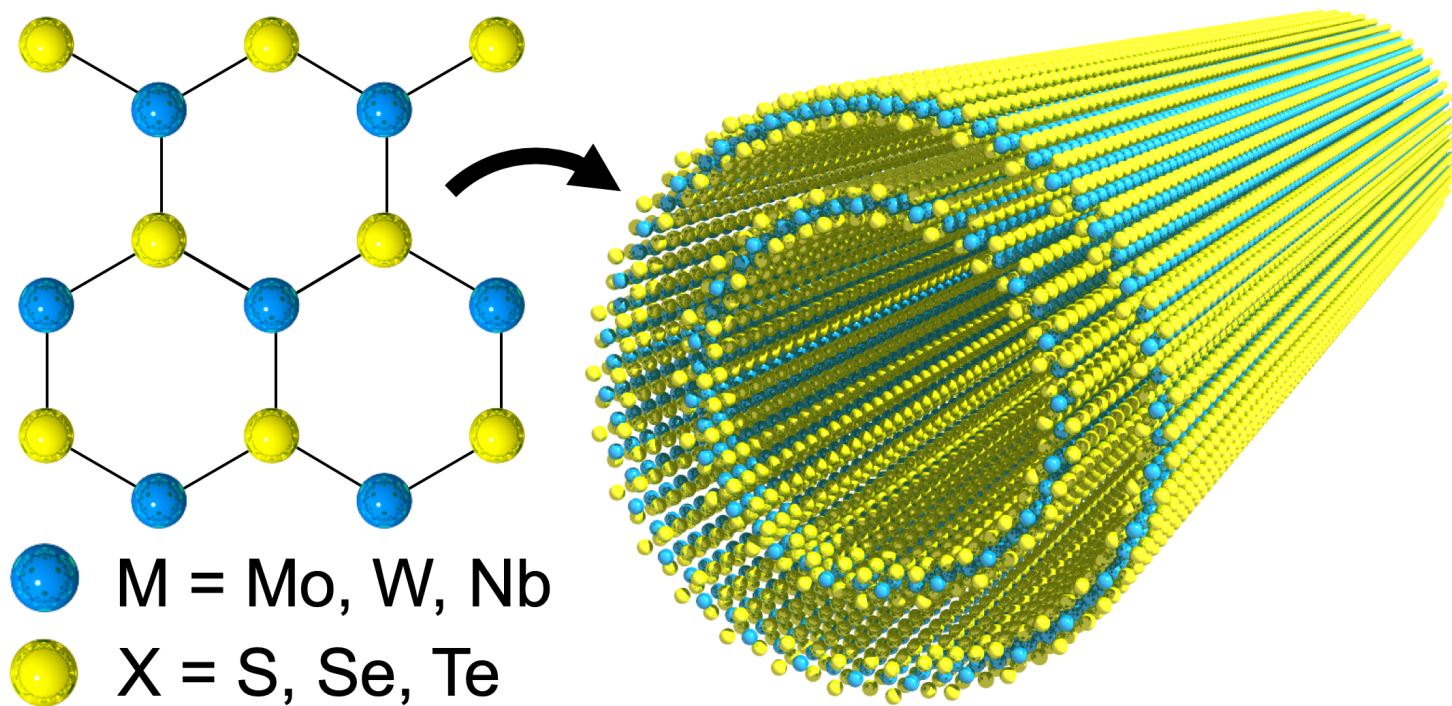
遷移金属カルコゲナイドナノチューブ の新規製造法

東京都立大学 理学部 物理学科
助教 蓬田陽平

2021年6月22日

無機ナノチューブとは

遷移金属カルコゲナイドシート

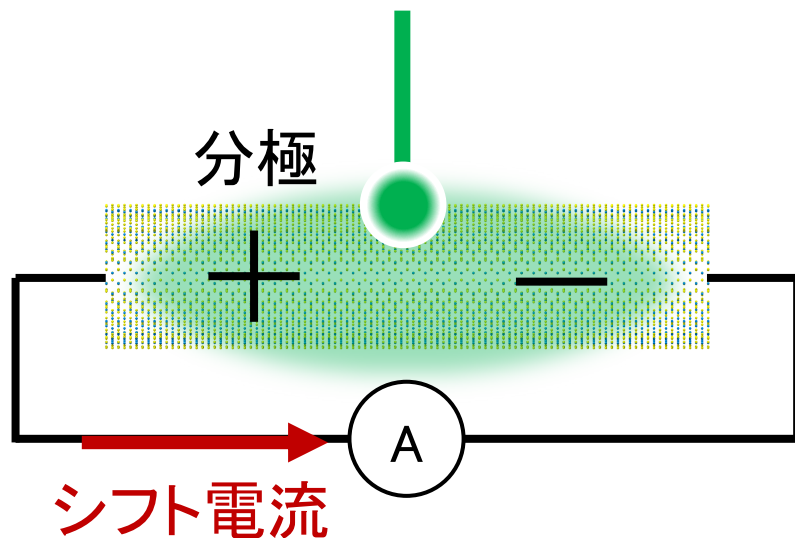


Y. Yomogida et al, *Appl. Phys. Lett.*, 2020

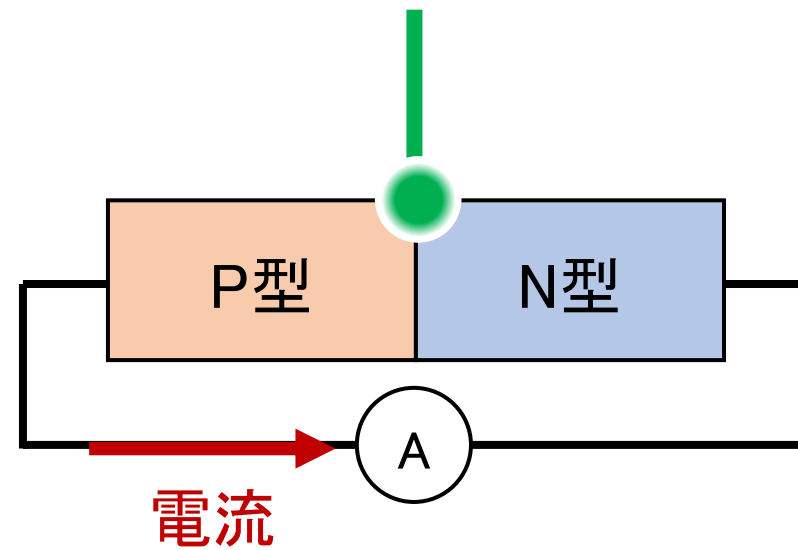
- ・どのように巻いても半導体型 ⇒ 半導体デバイス
- ・ユニークな光電変換 ⇒ バルク光起電力効果

無機ナノチューブのバルク光起電力効果

バルク光起電力



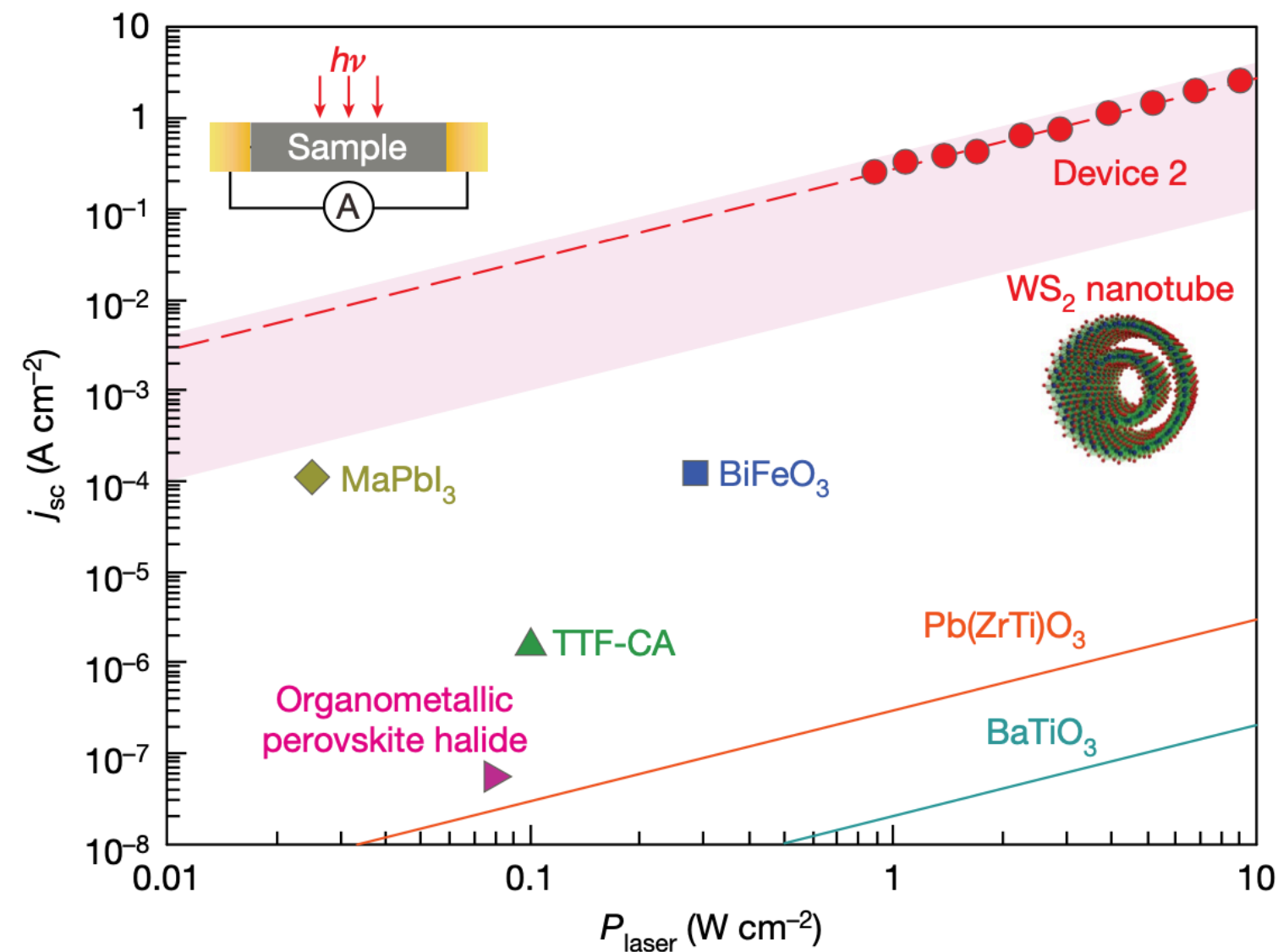
一般的な太陽電池



- 効率の理論限界29%を超える
- 特性がキャリア易動度に依存しない
- PN接合いらずで素子作製が容易

⇒ 高効率材料探索の必要性

無機ナノチューブのバルク光起電力効果



Y. J. Zhang et al, Nature, 570 (2019) 349

無機ナノチューブは
高効率材料として有望

さらなる効率化に向けて

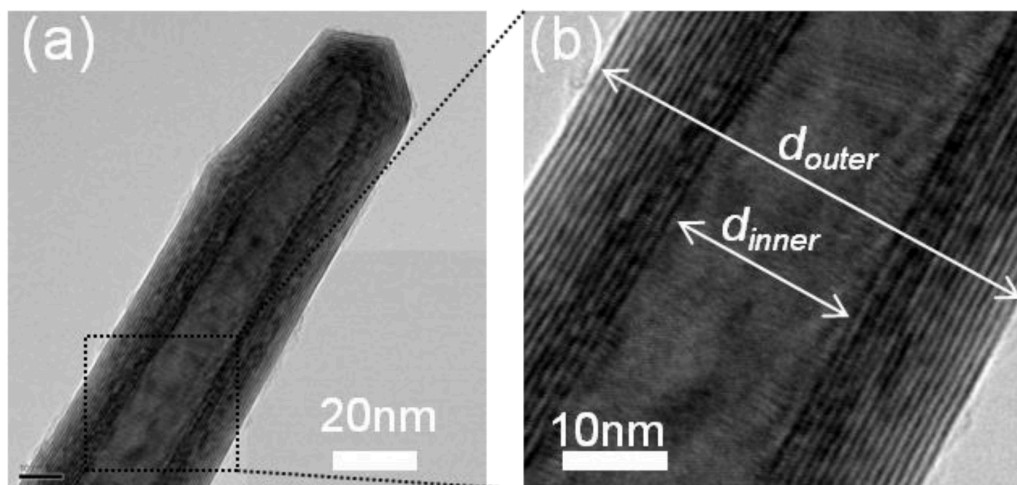
- 小直径(低次元)
- 狭バンドギャップ

が有望

しかし、物質開発がボトル
ネックに...

無機ナノチューブの物質開発の歴史

1992年: WS₂ナノチューブ発見
2009年: WS₂ナノチューブ大量合成
⇒市販試料(NanoMaterials Ltd.)



H. Kawai et al, Appl. Phys. Express, 2017

- 多層、不均一
- 大直径(～100 nm)
- 元素が限定(WS₂)

市販試料(NanoMaterials Ltd.)
を使った研究

2013年: 一本トランジスタ
2016年: 薄膜トランジスタ
2016年: 超伝導の観察
2017年: 熱電変換
2018年: 直径分離技術
2019年: 光電変換

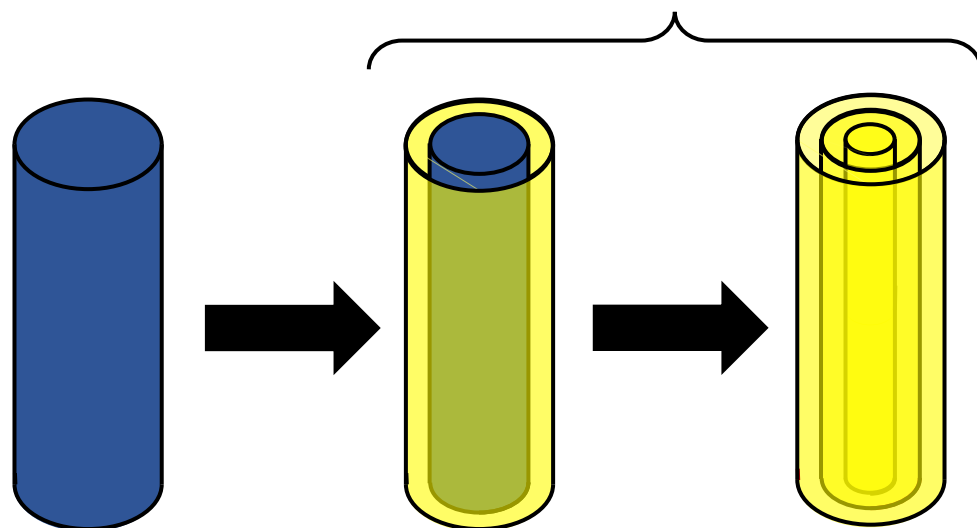
特性は直径や構成元素に依存

直径や構成元素の異なる無機ナノ
チューブ合成の需要

無機ナノチューブの合成法

前駆体合成

カルコゲン化



ナノワイヤ

ナノチューブ

無機ナノチューブ合成＝
前駆体合成＋カルコゲン化

2つの前駆体合成法

① 液相法

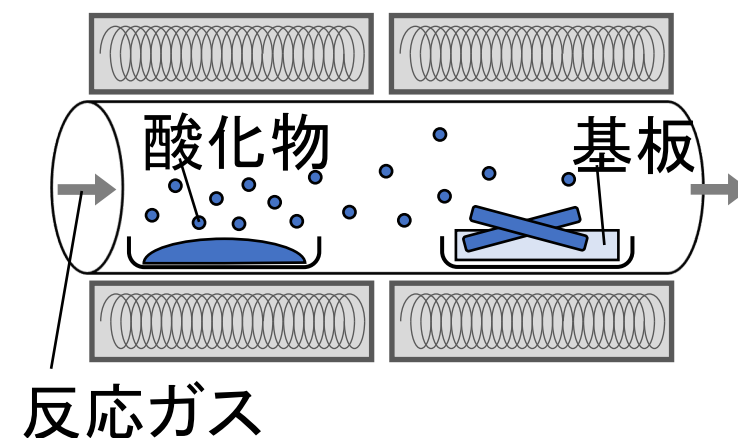
均一性○
結晶性×
生産性×



Y. Yomogida et al, Appl. Phys. Express, 2019
Y. Yomogida et al, Appl. Phys. Lett, 2020

② 気相法

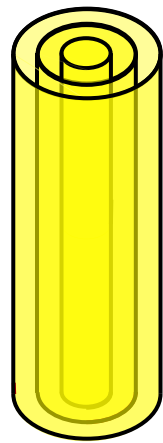
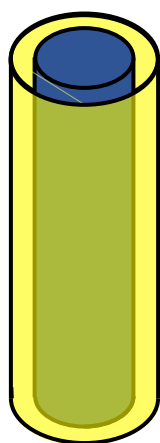
結晶性○
生産性○



無機ナノチューブの合成法

前駆体合成

カルコゲン化



ナノワイヤ

ナノチューブ

無機ナノチューブ合成＝
前駆体合成＋カルコゲン化

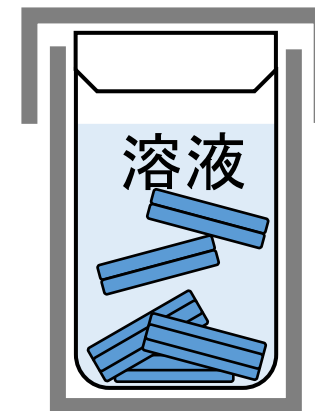
2つの前駆体合成法

① 液相法

均一性○

結晶性×

生産性×



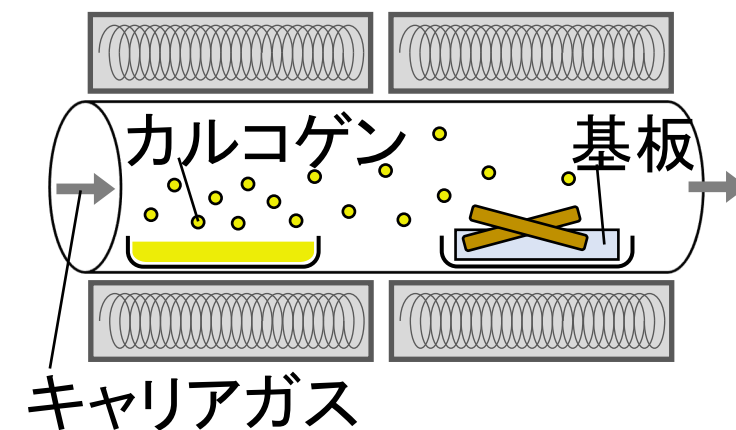
Y. Yomogida et al, Appl. Phys. Express, 2019

Y. Yomogida et al, Appl. Phys. Lett, 2020

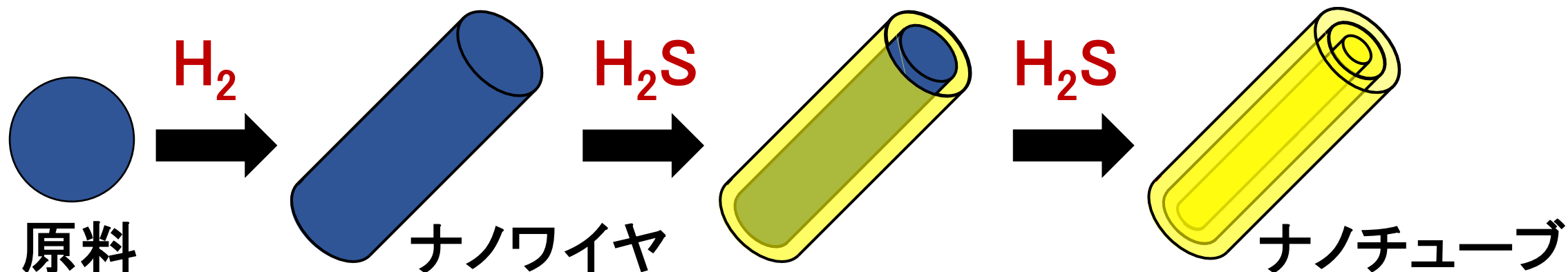
② 気相法

結晶性○

生産性○



従来技術とその問題点



P. Chithaiah et al, ACS Nano, 2020

従来法(気相合成ナノワイヤ)で可能なこと:

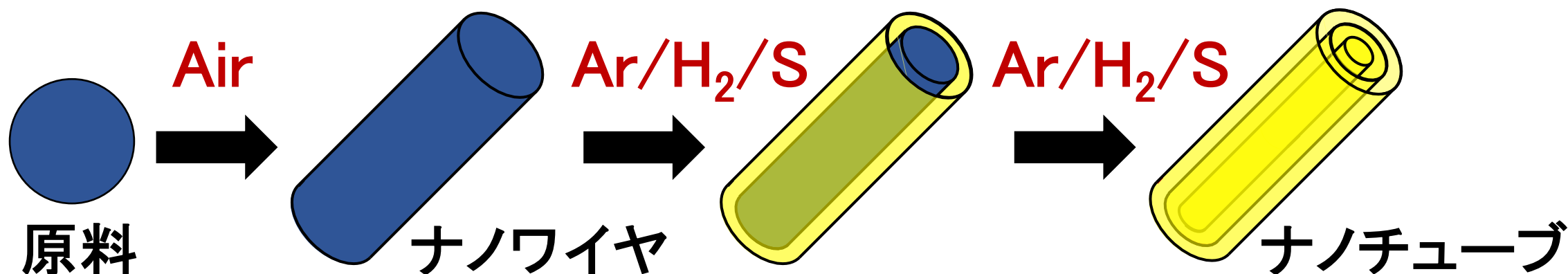
- $MoO_x \cdot WO_x$ ナノワイヤの合成
- $MoS_2 \cdot WS_2$ ナノチューブの合成

問題: 従来法では、**危険性ガス(H_2S)**・**爆発性ガス(H_2)**が用いられ、除外装置や防爆対応等の安全上の対策が必要

爆発性ガス: 爆発下限界以上の濃度の可燃性ガス

新技術の特徴、従来技術との比較

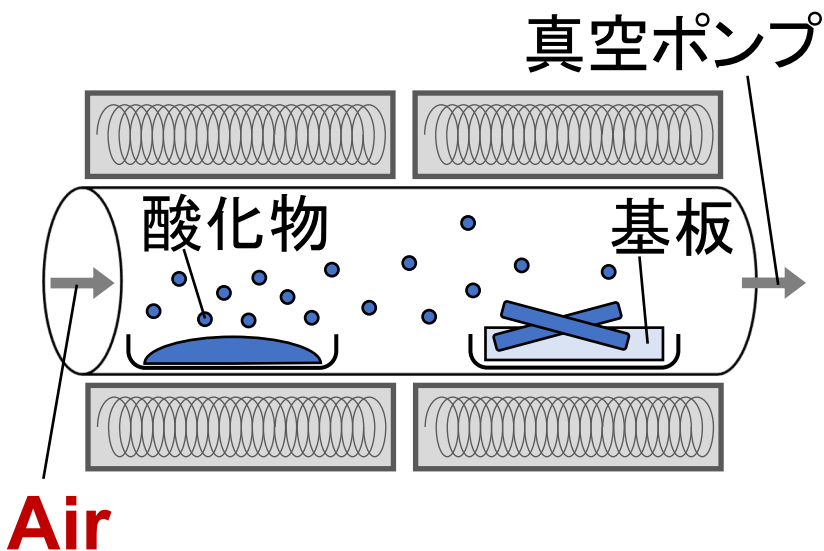
特徴: 危険性・爆発性ガスを使用しない合成法



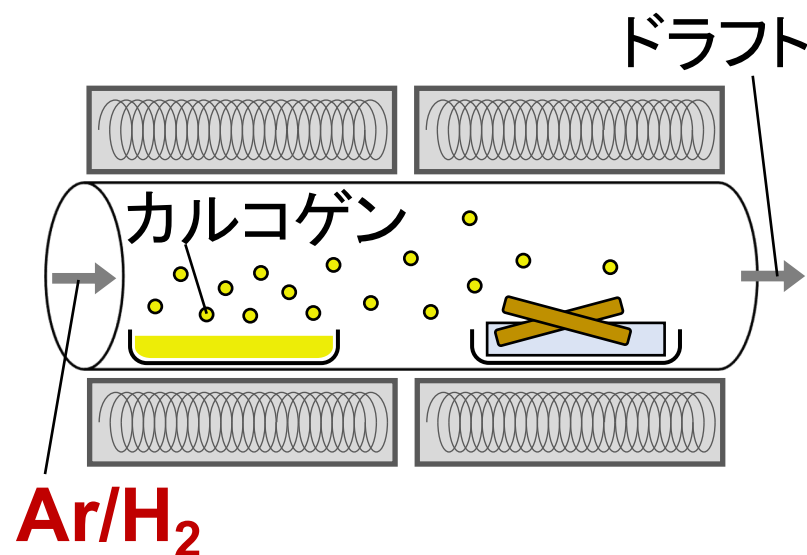
- 従来技術で必要となる安全上の対策が必要なく、開発・製造コストを低減できる
- 従来技術のMoS₂・WS₂以外にも、MoSe₂・WSe₂等の狭バンドギャップの無機ナノチューブの合成が可能

新技術：3ステップ法と役割

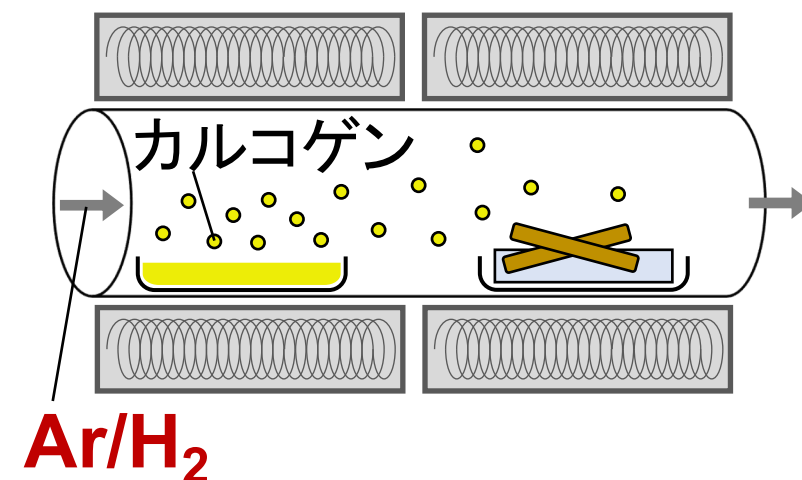
①ナノワイヤ合成



②低温カルコゲン化



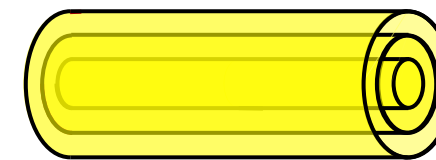
③高温カルコゲン化



ナノワイヤ



中間体



ナノチューブ

想定される用途

① 無機ナノチューブの大量生産・製品化

- カーボンナノチューブ

複数社 (*NanoIntegris, Meijo Nano, Nanocyl, Zeon, ..*)

- 遷移金属カルコゲナイド

複数社 (*2D semiconductors, HQ Graphene, Ossila, ..*)

- 無機ナノチューブ

1社独占、直径・組成が限定 (*NanoMaterials Ltd. (Israel)*)

日本発の技術でナノ材料研究の発展に貢献

② 光電変換デバイスの活性層

③ 半導体デバイスの活性層

実用化に向けた課題

- 実用化に向けて、大量合成を進める必要がある
 - ✓ 温度均一な合成炉、大型炉への移行
 - ✓ 反応ガスの最適化
 - ✓ 実用化に適した基板、基材上への合成
- デモに向けて、試料の物性評価を進める必要がある
(電気伝導・光電変換性能)

企業への期待

- 大量合成の課題については、合成炉、合成基板・基材、反応ガス等の変更により克服できると考えている
- ナノ材料の気相合成や合成炉の大型化に関する技術を有する企業との共同研究を希望
- ナノ物質の製品化を考えている企業には、本技術の導入が有効
- 物性評価を進める予定、微小試料に電極を形成する微細加工技術を有する企業と相談を希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 遷移金属カルコゲナイドナノチューブの製造方法
- 出願番号 : 特願2021-025512
- 出願人 : 東京都公立大学法人
- 発明者 : 蓬田陽平、柳和宏、田中涼雅

お問い合わせ先

東京都公立大学法人
産学公連携センター URAライン

TEL 042-677-2829

FAX 042-677-5640

e-mail ragroup@jmj.tmu.ac.jp