

錯体構造制御で 水溶液ミストから 窒化物 Cu_3N 薄膜をつくる

工学院大学 先進工学部 応用物理学科
教授 山口 智広

2026年7月9日

新技術の概要

- 水溶液ミストを用いるミスト化学気相堆積（Mist CVD）法は、酸化膜成長を得意とするが、当研究室では窒化膜成長にも成功していた。
- 本新技術では、錯体制御により、銅粉末とアンモニア水にHacacを加える簡便・低コストな前駆体を開発し、窒化膜（Cu₃N）薄膜の形成を実現した。
- Mist CVD法は、低温・低コストで大面積成膜が可能であり、様々な発展性が期待できる。

結晶成長研究室(山口研)の研究内容

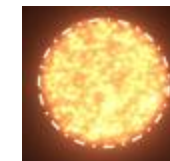
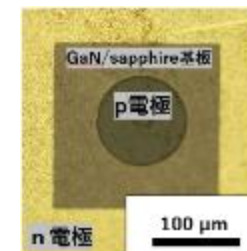
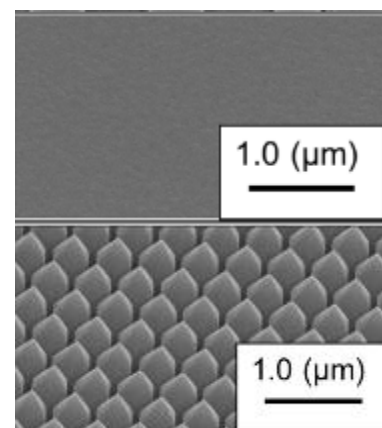
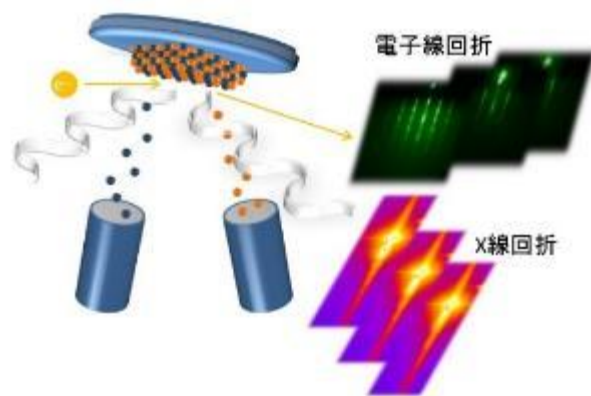
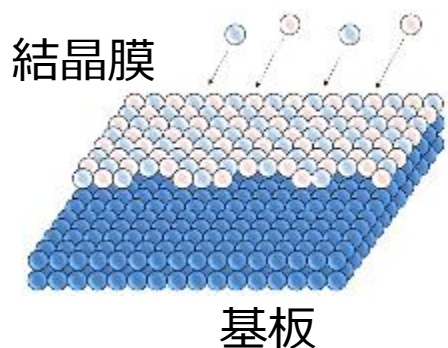
① 分子線エピタキシー(MBE)法を用いた窒化物半導体成長

- μ -LED応用高効率赤色LED

結晶成長その場観察

構造制御（ナノ構造）

デバイス製作



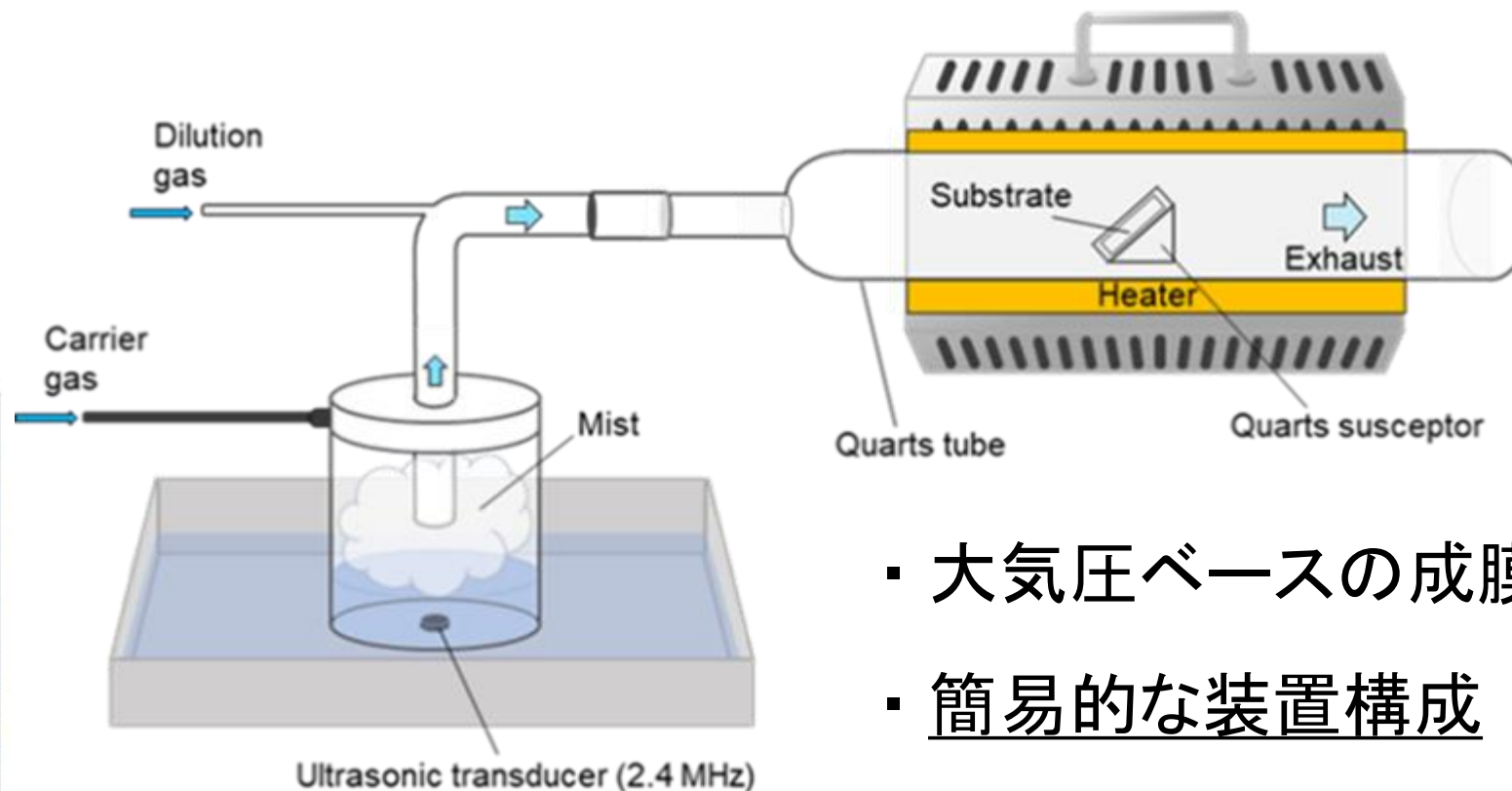
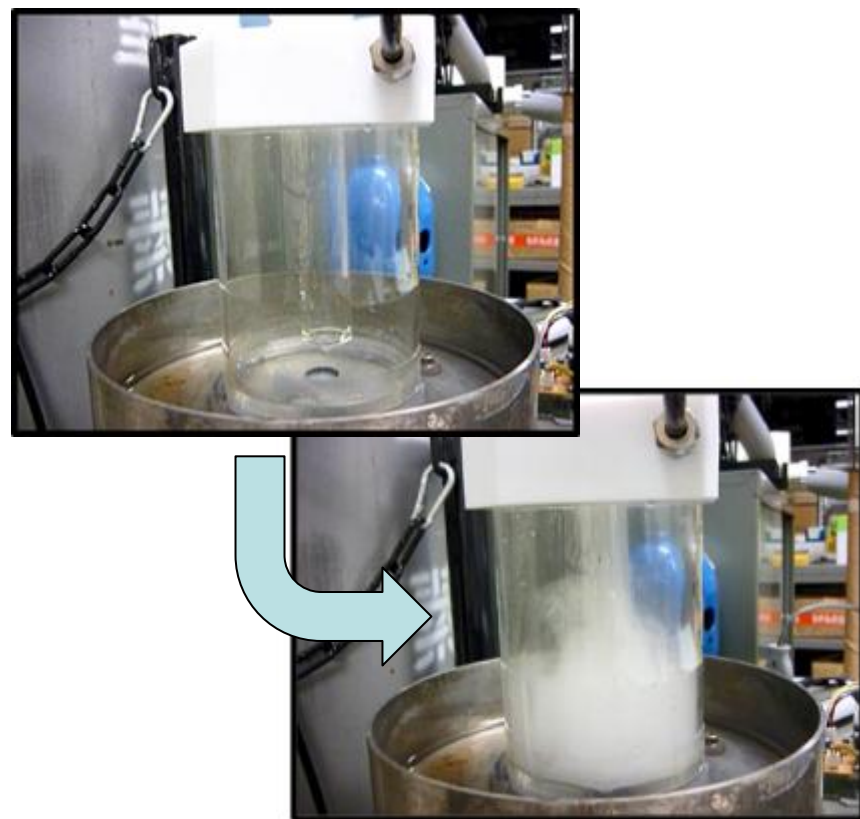
共同研究：量子科学技術研究開発機構

共同研究：上智大学

② ミスト化学気相成長(Mist CVD)法を用いた酸化物・窒化物半導体成長

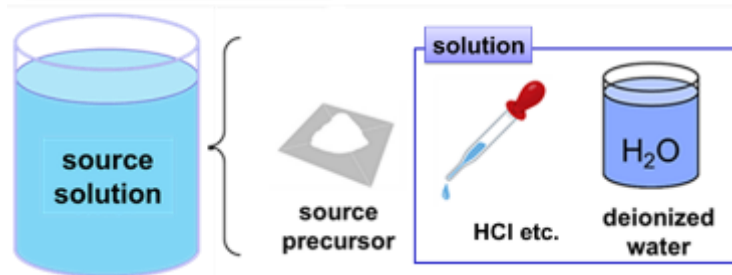
- 簡易成膜法の開拓
- 新材料の開拓

ミスト化学気相堆積(Mist CVD)法

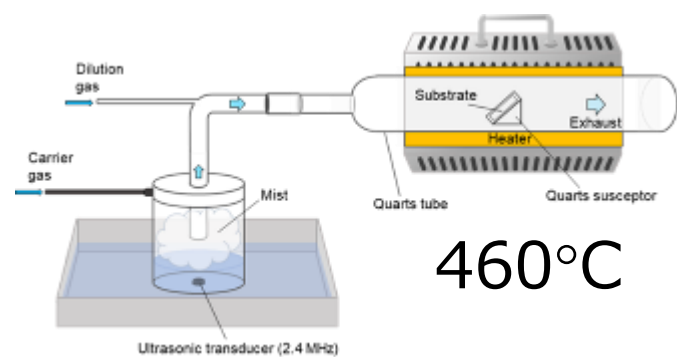


- 大気圧ベースの成膜手法
- 簡易的な装置構成
- 水溶液ミストを用い高品質酸化膜が実現できる
- **成長機構／成長制御？
(更なる発展性)**

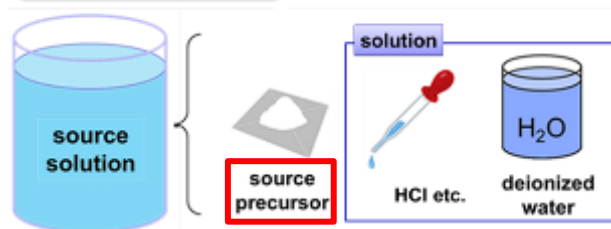
原料溶液.



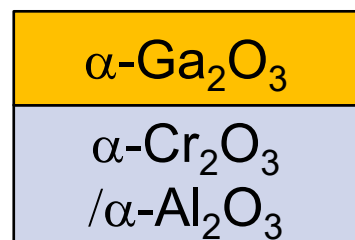
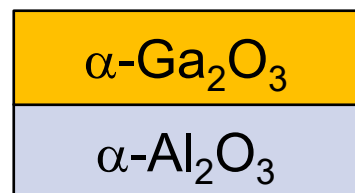
Mist CVD法を用いた高品質酸化膜製作例 ～低転位 α - Ga_2O_3 エピタキシャル結晶～



原料溶液.



$\text{Ga}(\text{acac})_3$, GaCl_3 ,
Ga metal, Ga_2O_3

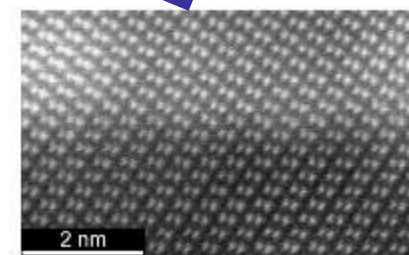
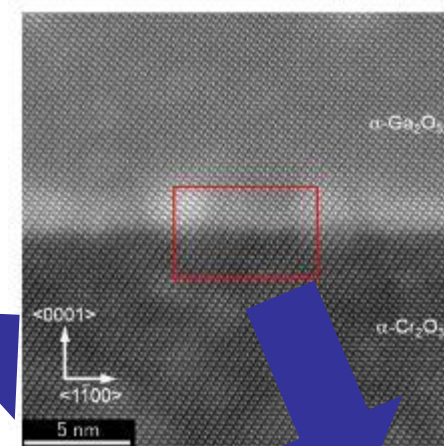


成長した α - Ga_2O_3 膜の
明視野TEM像



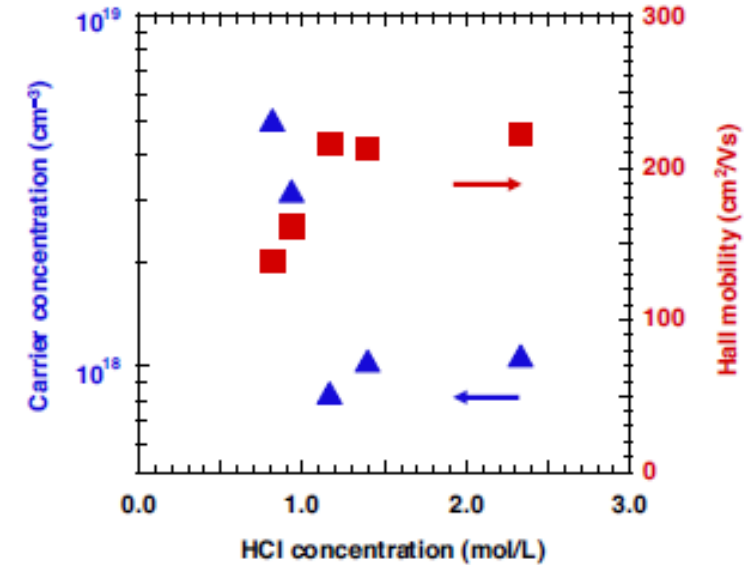
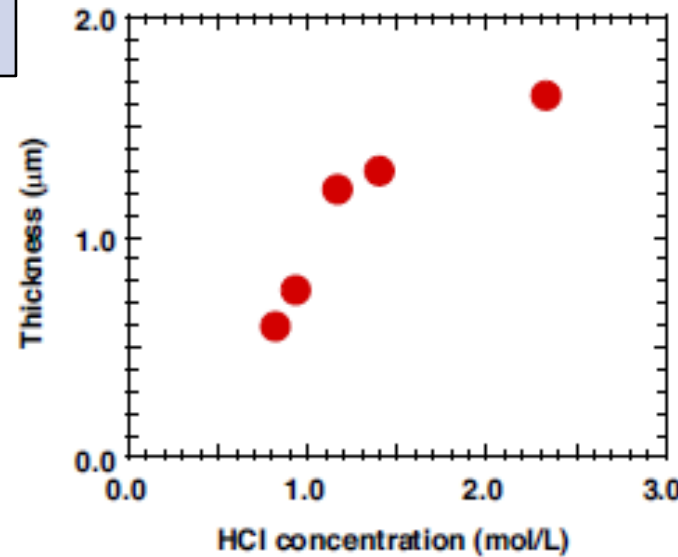
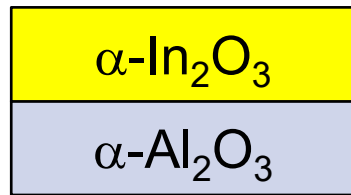
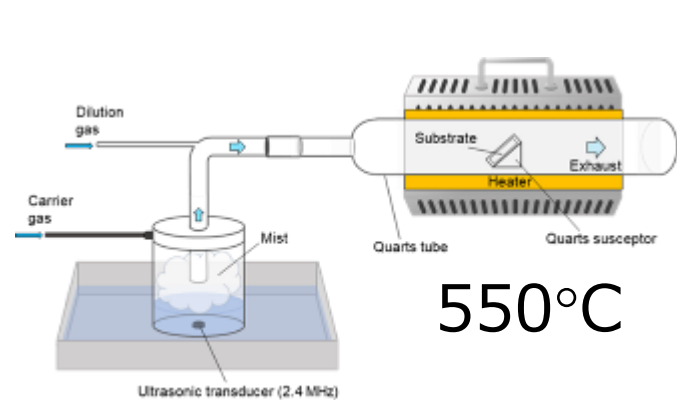
共同研究：NGK株式会社

α - Ga_2O_3 / α - Cr_2O_3 界面の
HAADF-TEM像



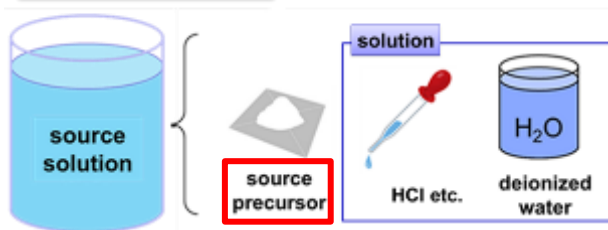
簡易的な装置で
低転位 α - Ga_2O_3 膜を実現

Mist CVD法を用いた高品質酸化膜製作例 ～高移動度 α - In_2O_3 エピタキシャル結晶～



簡易的な装置で
高移動度 α - In_2O_3 膜を実現

原料溶液.

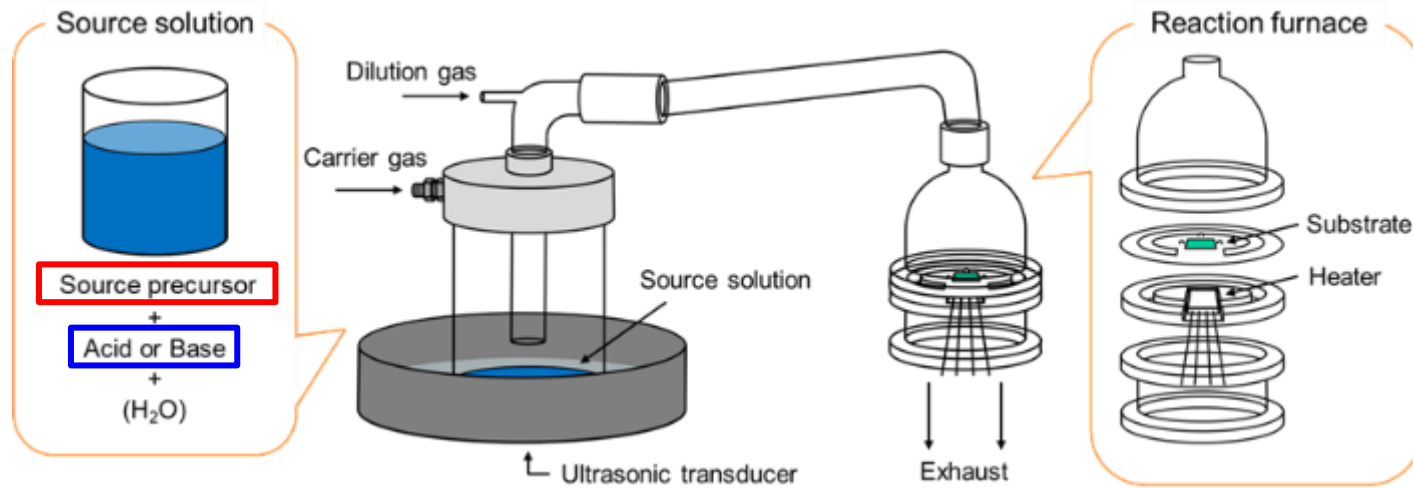


$\text{In}(\text{acac})_3$, InCl_3 ,
 In metal, In_2O_3

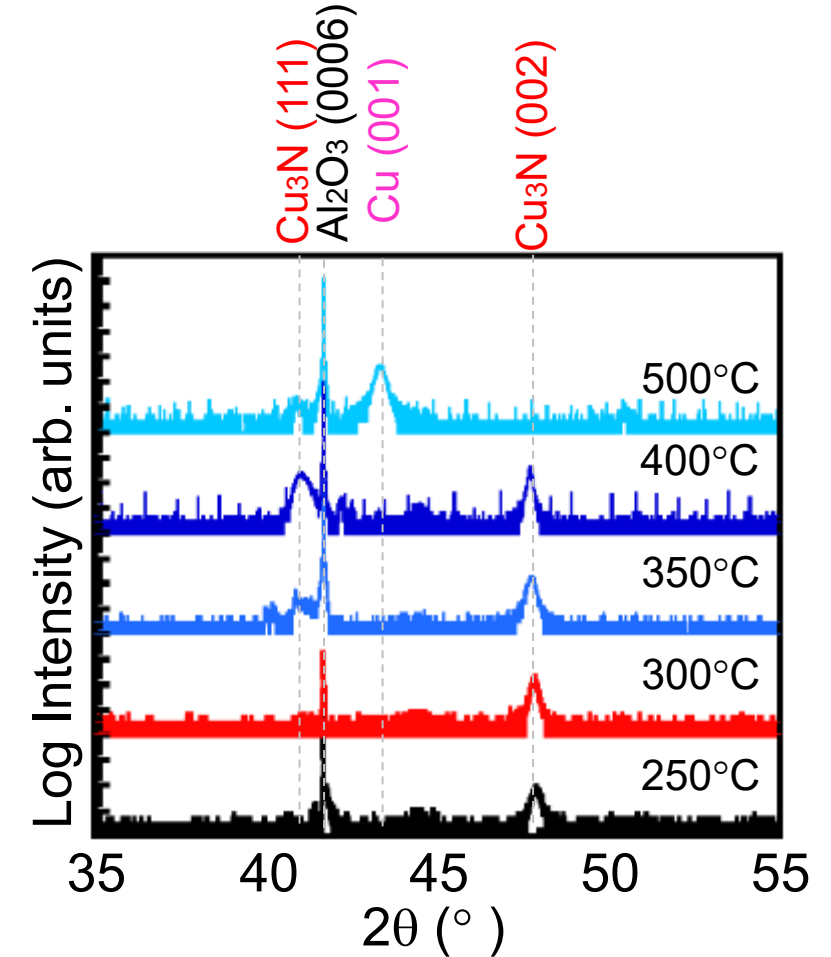
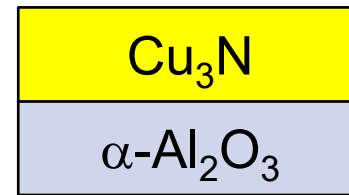
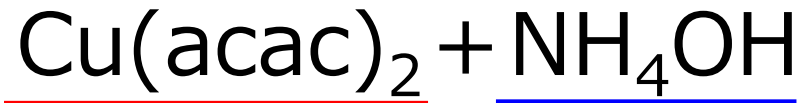
A. Taguchi, ... , T. Yamaguchi, Phys. Status Solidi 259, 2100414 (2022).

A. Taguchi, ... , T. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 62, SF1023 (2023).

窒化膜製作におけるこれまでの知見

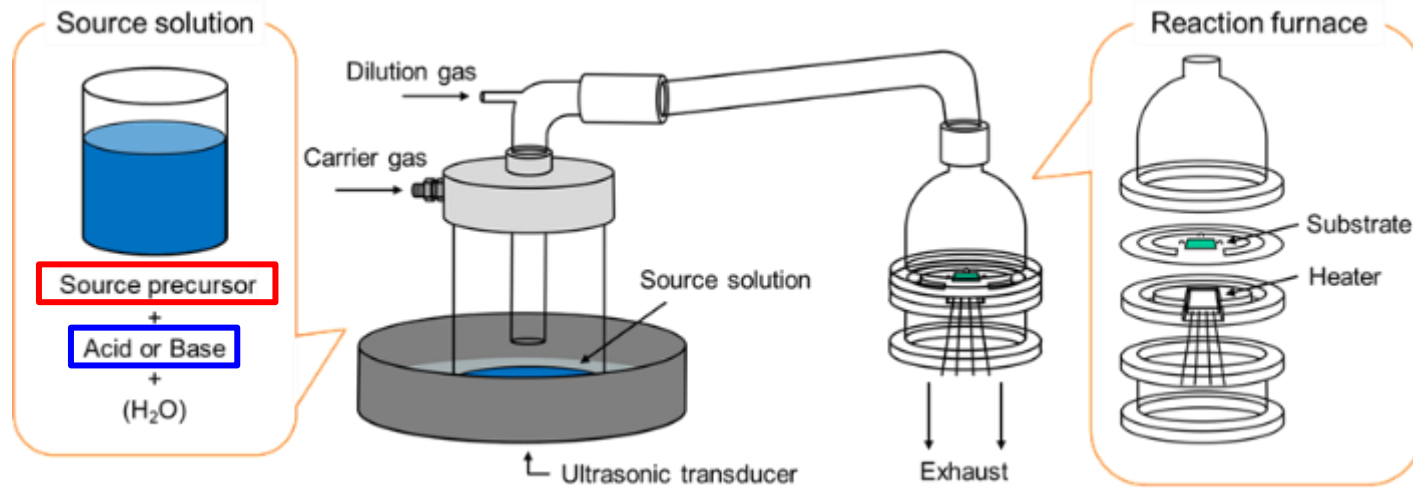


<原料>

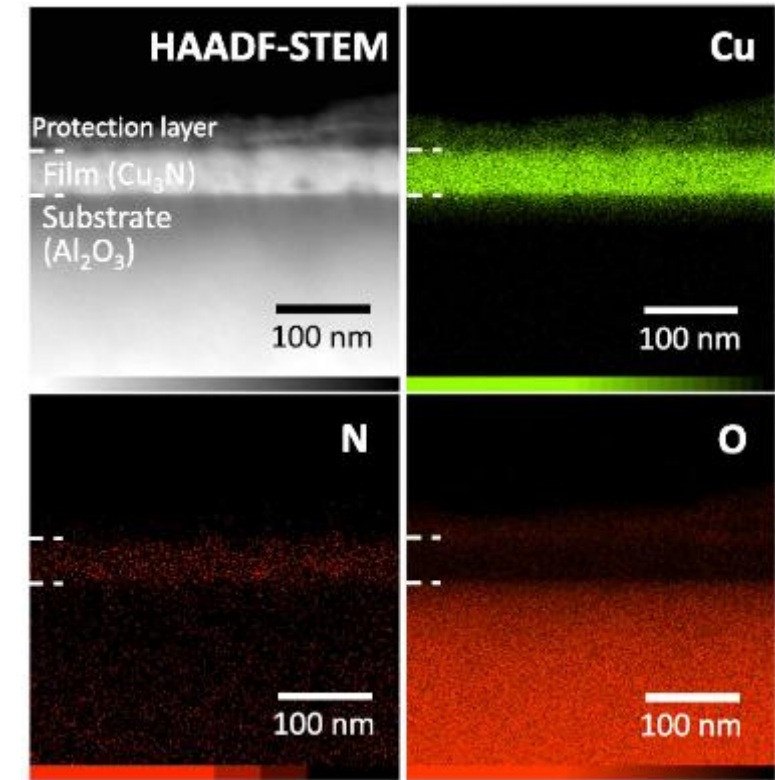
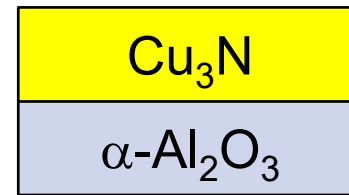
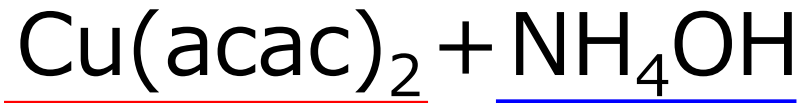


- Cu₃N薄膜の形成
- CuO, Cu₂Oの形成は確認されず

窒化膜製作におけるこれまでの知見

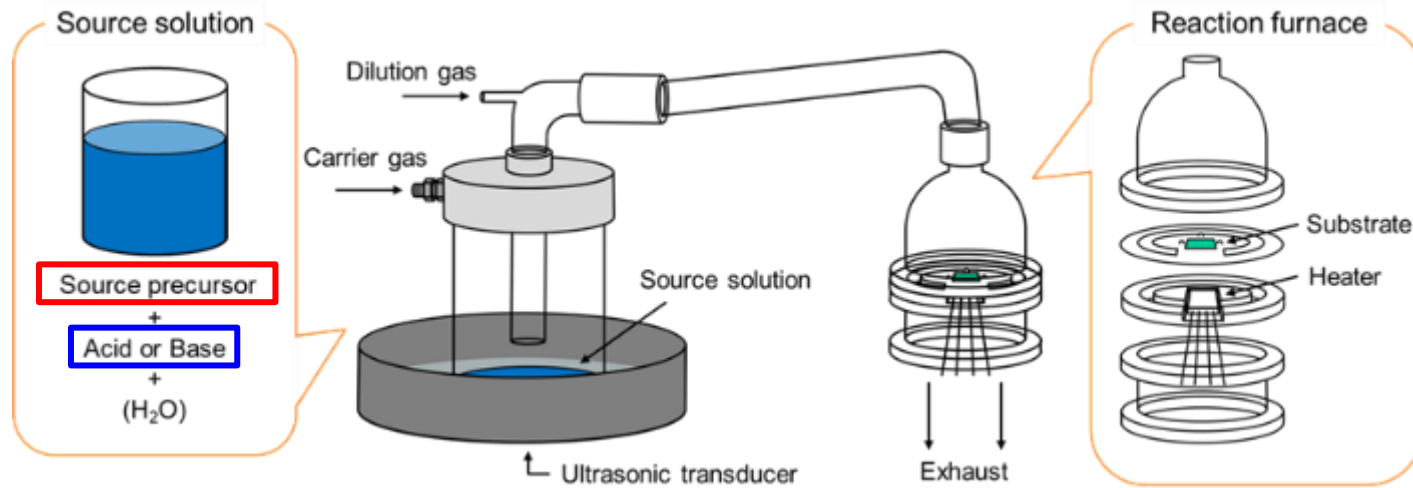


<原料>



- Oの取り込み制御を確認
- Cu_3N の形成機構？

新技術の紹介

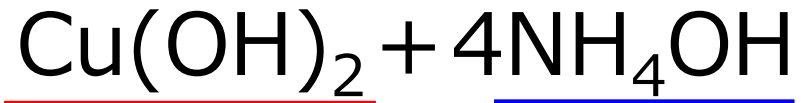


(Cu ₃ N)
α-Al ₂ O ₃

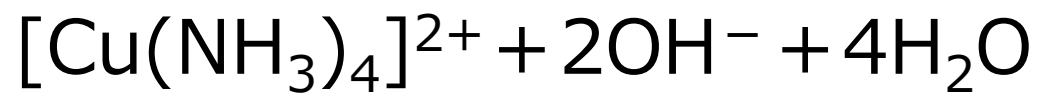
Photograph



<原料>

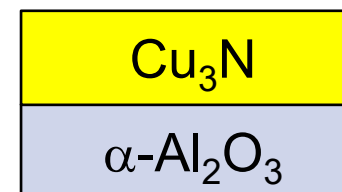
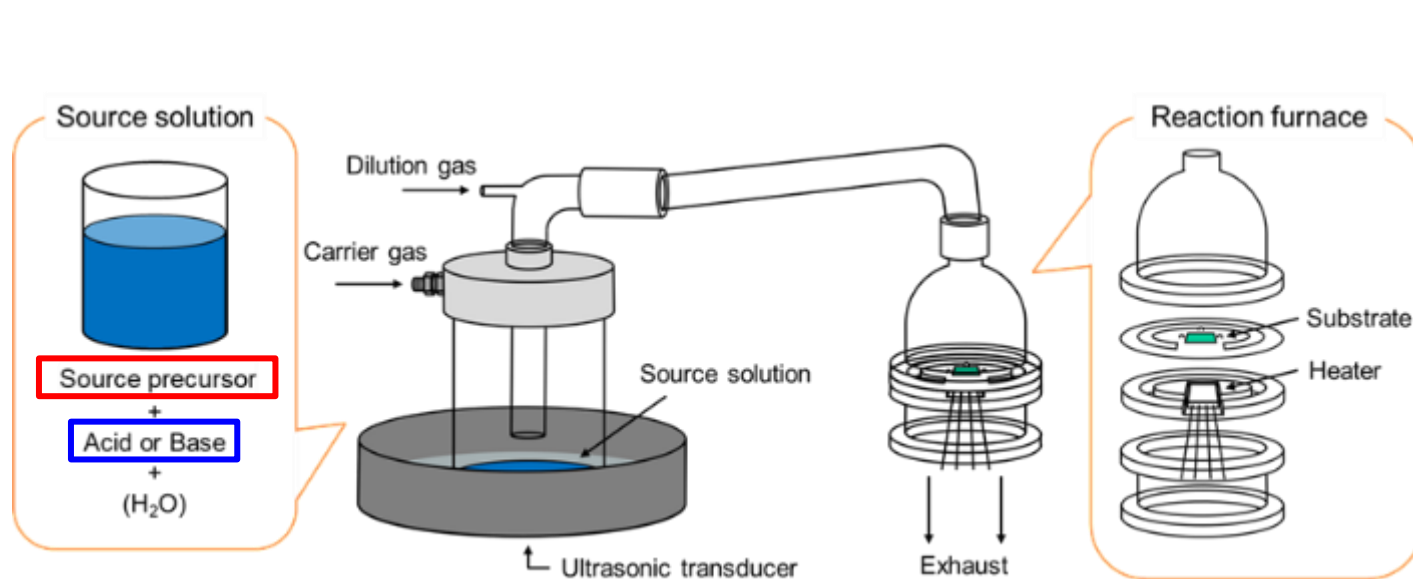


テトラアンミン銅(II)錯体



- α-Al₂O₃基板上に成膜されず

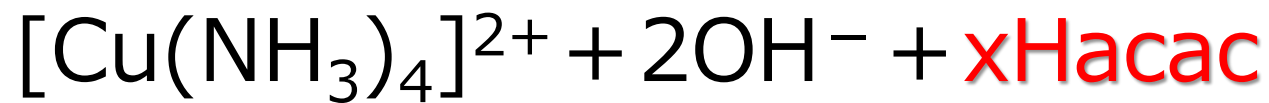
新技術の紹介



Photographs

The molar ratio of Cu to Hacac(Cu: Hacac)				
1:0	1:1	1:2	1:3	1:4

<原料>



※**Hacac**:アセチルアセトン

・原料にHacacを加えることにより
Cu₃N膜が形成

・錯体にHacacが関与

錯体設計の重要性

想定される用途

- Cu_3N は両極性（n型／p型）伝導を示すため、大面積成膜の利点を活かし、太陽電池・光電変換デバイス・センサー材料への展開が期待される。
- Mist CVDは水溶液を用いて低温・低コストで薄膜形成が可能な技術であり、 Cu_3N トランジスタの低温成膜が期待される。
- Cu_3N の分解を利用した自己形成Cu配線との一体化も可能である。

実用化に向けた課題

- 現在、 Cu_3N の安定成膜には成功しているが、n型／p型の導電性制御は課題である。
- SrTiO_3 基板を用いることで格子整合性に基づく高品質エピタキシャル成長が可能である一方、実用化に向けては基板に依存しない高品質結晶成長技術の確立が求められる。

応用展開・社会実装への展開

- 錯体構造制御の知見を他材料へ展開し、 Cu_3N 以外の窒化物薄膜形成を実現することで、応用範囲の拡大が期待される。
- 基板や成膜条件の選択で、アモルファス／多結晶膜／単結晶膜を製作することができる。
- 高移動度 $\alpha\text{-In}_2\text{O}_3$ 膜の成長には 550°C 程度の成膜温度が必要であるが、錯体制御により 300°C 以下の成膜も可能、TFT動作も確認している。

企業への期待

- デバイス設計に関する知見を有する企業との連携により、 Cu_3N のn型／p型制御の確立とトランジスタデバイスの設計・実証を進めたい。
- 錯体設計や材料開発に強みを持つ企業と一緒に、 Cu_3N にとどまらない酸化物・窒化物材料への展開を図り、本技術の実用化と応用拡大を加速したい。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、水溶液を用いたMist CVDにより、低温・低コストかつ大面積で窒化物薄膜を形成できる点に特徴があり、既存の真空プロセスに比べて製造コスト低減や装置簡略化に貢献できる。
- 錯体構造制御に基づく前駆体設計により、薄膜成膜や薄膜特性の自在な制御が可能となり、企業ニーズに応じた機能性薄膜の開発と社会実装への展開が期待できる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 窒化銅膜の製造方法、銅膜の製造方法、及び、窒化銅前駆体組成物
- 出願番号 : 特願2026-060645
- 出願人 : 学校法人工学院大学
- 発明者 : 山口 智広、永井 裕己、佐藤 光史
杉田 直樹、涌井 皇輝

お問い合わせ先

工学院大学
研究推進部 研究企画課

T E L 03-3340 - 3440

e-mail sangaku@sc.kogakuin.ac.jp