

# 低温熱処理で形成した 低屈折率透明フィルムヒーター

永井 裕己 応用物理学科 准教授

キーワード: 化学的湿式法, 透明導電膜, 透明フィルムヒーター, 低屈折率, 高透過率

**概要** 寒冷環境で使用される防犯カメラレンズやセンサーは、結露や積雪で機能が阻害される場合があります。本研究室では、**化学的湿式法の分子プレカーサー法**でガラス基板上に**単層カーボンナノチューブ(SWCNT)/シリカ(SiO<sub>2</sub>)透明フィルムヒーター**を形成しました。他の透明フィルムヒーターと比べて低屈折率なため、レンズなどの光学機器での応用に最適です。このフィルムの厚さは200 nm、**波長550 nmの透過率は80%以上**、**屈折率は1.7**、表面硬度は9H以上を示します。50 Vの電圧を印可すると**わずか15秒で膜面温度は100°C以上**に達します。



図1 形成した透明フィルムヒーター

**アピールポイント**

◆ SWCNT/SiO<sub>2</sub>複合透明フィルムの特徴

- 光学特性: 均一かつ低い屈折率を示します。**光の干渉による視認性低下が抑制**できます。
- 電気特性: 高い導電性、**優れた発熱性(15秒で100°C以上)**を示します。
- 機械特性: **高い表面硬度(9H以上)**を示します。

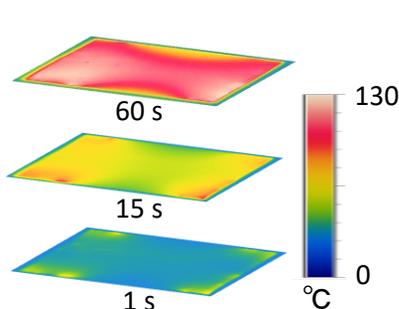


図2 SWCNT/SiO<sub>2</sub>透明フィルム (2×2 cm<sup>2</sup>)に50 V印加した時の表面温度(サーモカメラ)

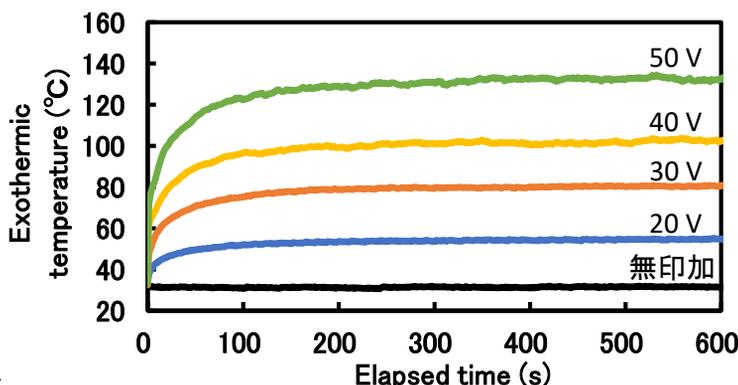


図3 SWCNT/SiO<sub>2</sub>透明フィルム(2×2 cm<sup>2</sup>)に各電圧を印加したときの表面温度

**利用・用途  
応用分野**

- ◆ 透明ヒーターとして: 優れた光学特性と機械的強度から、**光センサーや屋外監視カメラの融雪、結露除去、曇り止め、信号や道路標識の着雪防止**、車のヘッドライト、カメラ、センサーの着雪・凍結による機能障害の防止が期待されます。
- ◆ 透明電極として: SWCNT/SiO<sub>2</sub>透明フィルムは、**深紫外光から可視光での透過率**を示します。**紫外光LEDの電極などへの応用が期待**されます。
- ◆ フレキシブルフィルムとして: この透明フィルムは、**フレキシブル基板上への形成が可能**です。これによって、**ウェアラブル端末などへの応用が期待**されます。

**関連情報**

- 知的財産権 = 特願2021-542860, 機能性膜、機能性膜積層体、機能性膜形成用組成物、機能性膜形成用組成物の製造方法及び機能性膜積層体の製造方法等
- 関連論文 = H. Nagai, M. Sato, Heat treatment, "Heat Treatment in Molecular Precursor Method for Fabricating Metal Oxide Thin Films", INTECH, 297-322 (2012)., Nagai, H.; Ogawa, N.; Sato, M. Deep-Ultraviolet Transparent Conductive MWCNT/SiO<sub>2</sub> Composite Thin Film Fabricated by UV Irradiation at Ambient Temperature onto Spin-Coated Molecular Precursor Film. Nanomaterials 2021, 11, 1348. <https://doi.org/10.3390/nano11051348>

# 分子プレカーサー法による薄膜形成と応用

## Molecular Precursor Method for Functional Thin Films

省資源・省エネルギーのために、材料表面の高機能化が有効です。表面修飾技術を支える原料および機能付与法として分子プレカーサー法は開発されました。

基板に密着した均一な透明薄膜の形成は、どのようにできるでしょうか？化学的には、金属イオンを含む有機・無機ポリマーの溶液を用いるゾルゲル法が知られています。では、ポリマーを経由せずに、含金属成分を適当な厚さの膜にするのは可能でしょうか？この疑問に答える薄膜形成法が分子プレカーサー法で、成型加工・コーティングの視点で錯体を設計し、電子材料から医療用材料まで広い分野への適用をめざしています。錯体（配位化合物）や有機・無機複合体の応用技術です。

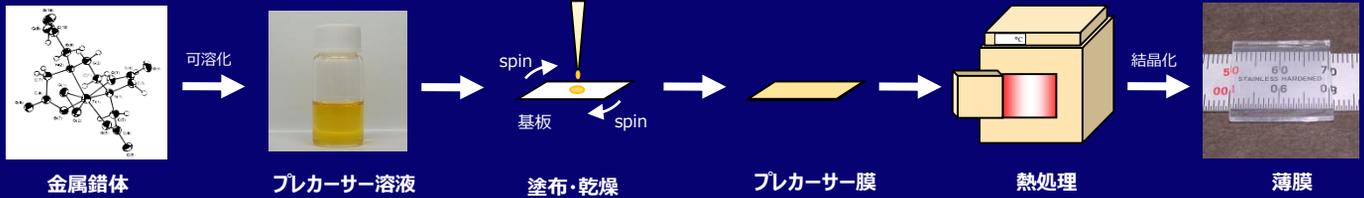


分子プレカーサー法で初めて形成したスピネル型 $\text{Co}_3\text{O}_4$ 薄膜

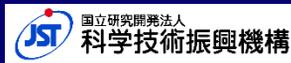
### 分子プレカーサー法

分子プレカーサー法は、汎用有機多座配位子\*を結合させた錯体とアルキルアミンを組み合わせたプレカーサー溶液を用います。プレカーサー溶液を基板に塗布・乾燥し、プレカーサー膜を熱処理して、均一透明な金属酸化物薄膜などを簡便に形成できます。

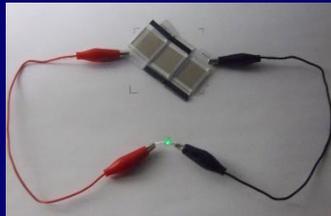
\*エチレンジアミン四酢酸 (EDTA) やニトリロ三酢酸 (NTA) など、陰イオンになりやすい入手が容易なキレート剤



### 応用とプロジェクト



### 光で充電できるリチウムイオン電池!!



透明薄膜のリチウムイオン電池を応用し、光充電でLEDを点灯できるレベルのリチウムイオン電池を作製しました。現在は、全固体化と新規太陽電池への応用を検討しています。

H. Nagai, T. Suzuki, Y. Takahashi, M. Sato, *Functional Materials Letters*, 9 (2016) 1-4.

### 深紫外透明電極!!



分子プレカーサー膜への紫外光照射で深紫外透明導電薄膜を常温で形成しました。形成した膜は、ガラス基板によく密着しており、耐薬品性や耐熱性を示します。

H. Nagai, N. Ogawa, M. Sato, *Nanomaterials*, 11 (2021) 1348.

### 透明な金属酸化物薄膜太陽電池!!



高いホール移動度をもち、かつ純粋なp型 $\text{Cu}_2\text{O}$ 薄膜を化学的に初めて形成しました。その膜を利用して、p-n接合型太陽電池を作製しました。

H. Nagai, T. Suzuki, H. Hara, T. Segawa, C. Mochizuki, and M. Sato, *World Renewable Energy Forum*, 2012, vol. 3.

### ガラスに密着した低抵抗な銅薄膜!!

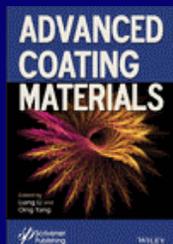


銅錯体溶液の塗布・低温熱処理で、ガラス基板によく密着した低抵抗な銅薄膜を形成しました。透過率や反射率など、膜厚で制御できます。

H. Nagai, S. Mita, I. Takano, T. Honda, M. Sato, *Materials Letters*, 141 (2014) 235-237.

### 研究成果 (書籍)

これらの研究成果は、書籍でもご覧いただけます。Intech社の書籍は、オープンアクセスです。記載したキーワードで検索してください。自由にダウンロードできます。



Keyword; Wiley\_molecular\_precursor

Hiroki Nagai and Mitsunobu Sato (2018). The Science of Molecular Precursor Method, *Advanced Coating Materials*, Dr. Liang Li, Dr. Qing Yang (Ed.), Wiley, DOI: 10.1002/9781119407652.



Keyword; Intech\_molecular\_precursor

Hiroki Nagai and Mitsunobu Sato (2012). Heat Treatment in Molecular Precursor Method for Fabricating Metal Oxide Thin Films, *Heat Treatment - Conventional and Novel Applications*, Dr. Frank Czerwinski (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/50676.



Keyword; Intech\_highly\_lithium

Hiroki Nagai and Mitsunobu Sato (2016). Highly Functionalized Lithium-Ion Battery, *Alkali-ion Batteries*, Dr. Dongfang Yang (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/63491.



Keyword; Intech\_Cu2O

Hiroki Nagai and Mitsunobu Sato (2017). Molecular Precursor Method for Fabricating p-Type  $\text{Cu}_2\text{O}$  and Metallic Cu Thin Films, Dr. Nikolay N. Nikitenkov (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/63326.