

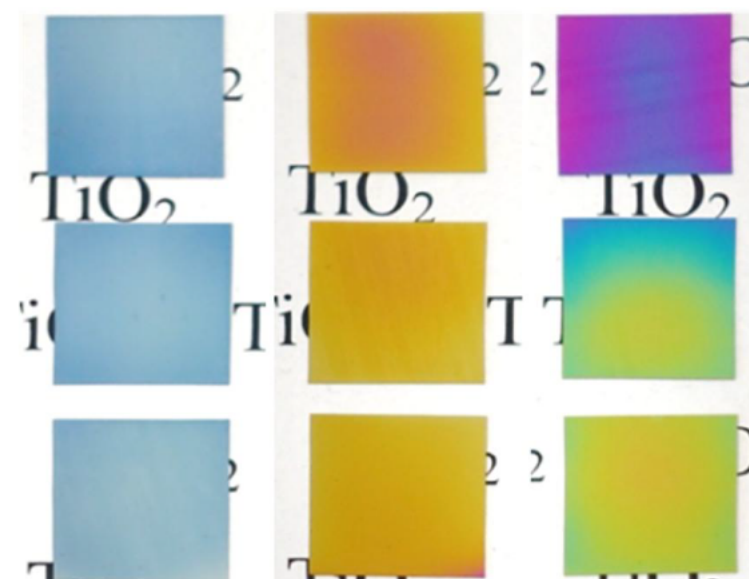
NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo.603-2-08

二酸化チタンをコーティングした SUSセパレータ開発

契約件名
水素利用拡大に向けた
共通基盤強化のための研究開発事業/
次世代燃料電池・水電解の要素技術開発

発表： 2026年7月22日



国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

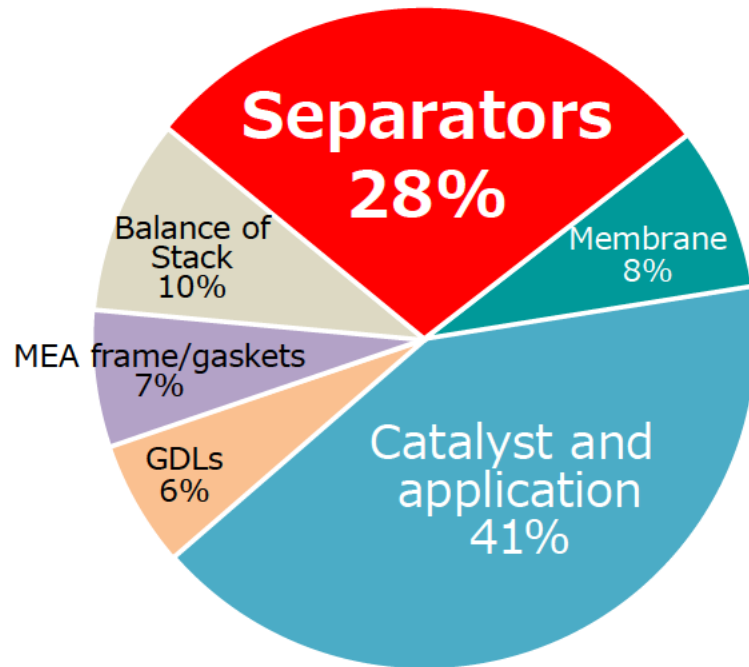
発表者名 簾 智仁 (研究代表者 一杉 太郎)

(国)東京大学・(学校法人中部大学)中部大学

問い合わせ先 東京大学 E-mail: sudare@g.ecc.u-Tokyo.ac.jp TEL: 03-5841-4354

燃料電池用ステンレス製セパレータの開発

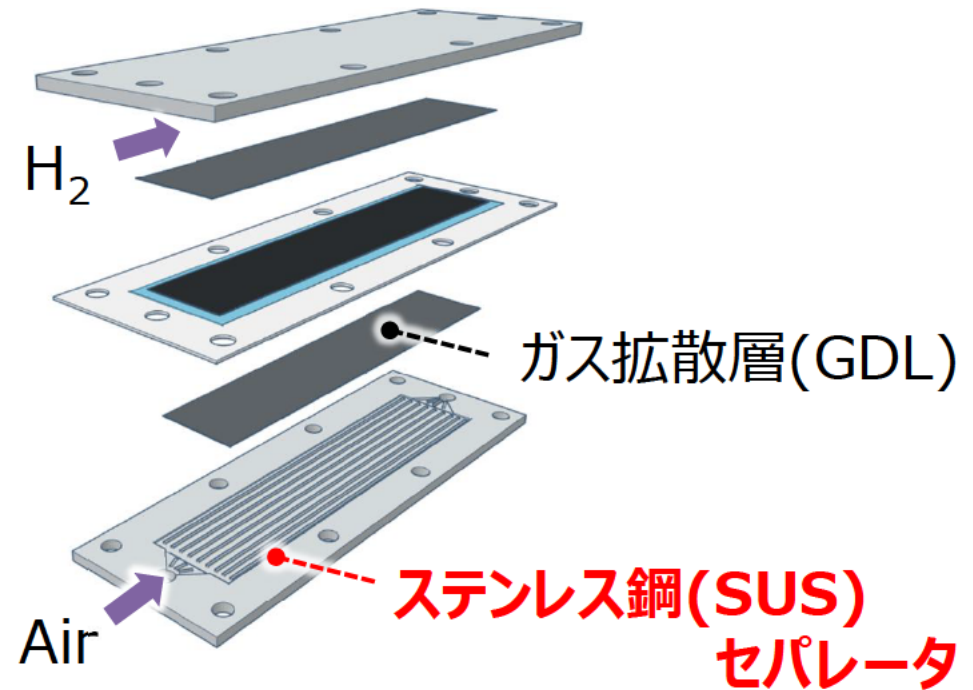
燃料電池の材料費コスト内訳



参考 : S. T. Thompson et al.
J. Power Sources. 399, 304 (2018)

セパレータの材料費コストは
全体の28%

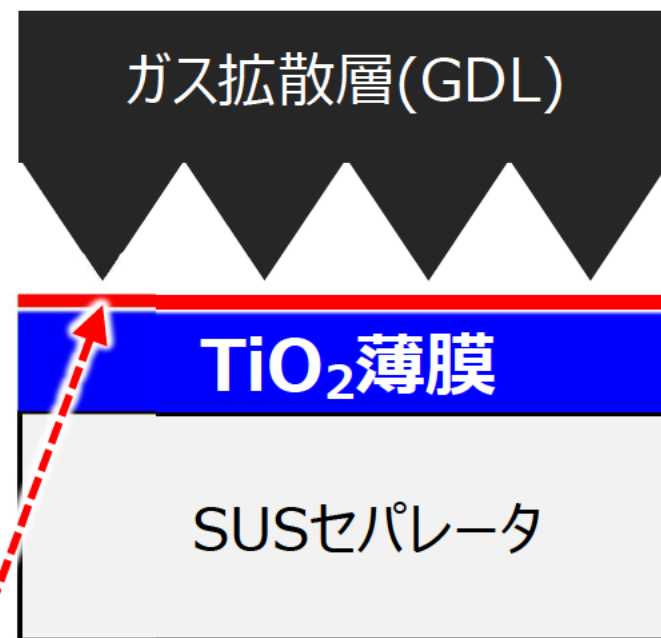
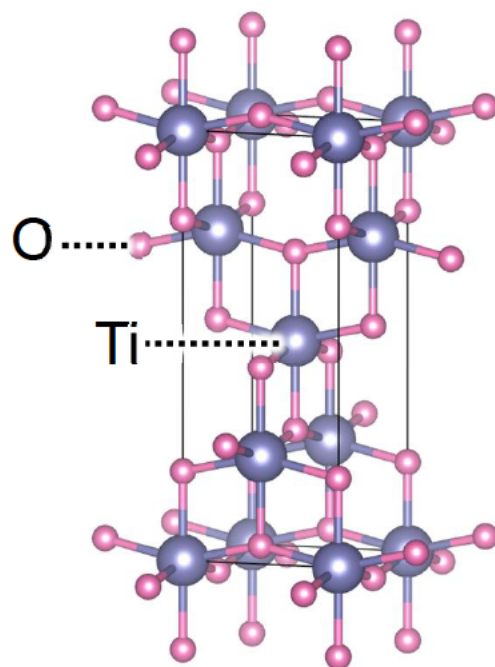
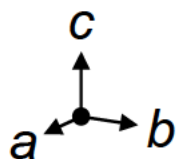
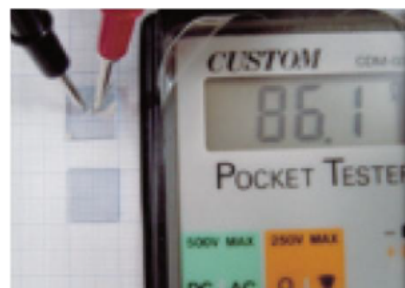
セルスタック



長所: 低コスト・高い機械加工性
短所: 低耐酸性

高い伝導度と耐酸性をもつ保護層の開発が必要

アナターゼ型NbドープTiO₂(TNO)



- 抵抗率 : $2.3 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$
Furubayashi, Hitosugi et al.
Appl. Phys. Lett. 86, 252101 (2005)
- 耐酸性 : $\sim 0.06 \text{ nm min}^{-1}$
(95°C, 95 wt% H₂SO₄)
Ohkubo, Hitosugi et al. *JJAP* 50 018002 (2011)

接触抵抗 < **1.4 mΩcm²**
前NEDO事業で実現
NEDO目標値(<1.5 mΩcm²)を達成

Sudare, Yamada, Hitosugi et al.
ACS Appl. Electron. Mater. 7 2785 (2025)

高い伝導度と耐酸性のTNOを保護層へ応用

前NEDOプロでの目標値達成状況

前NEDOプロ			
	FY2021	FY2024	FY2030最終目標
接触抵抗	~30 mΩcm ²	1.4 mΩcm² (ミストCVD)	<1.5 mΩcm ² (NEDO目標値)
耐食試験後の 接触抵抗	6,300 mΩcm ²	アノード : 4.9 カソード : 700 mΩcm²	<1.5 mΩcm ² (NEDO目標値)
Fe溶出速度	132×10 ⁻¹⁰ cm ⁻² h ⁻¹	0.6×10⁻¹⁰ cm⁻² h⁻¹ (ミストCVD)	<3.0×10 ⁻¹⁰ cm ⁻² h ⁻¹ (NEDO目標値)

課題① : 高いアニール温度 (現状: 700℃)

課題② : 耐食試験後における接触抵抗上昇

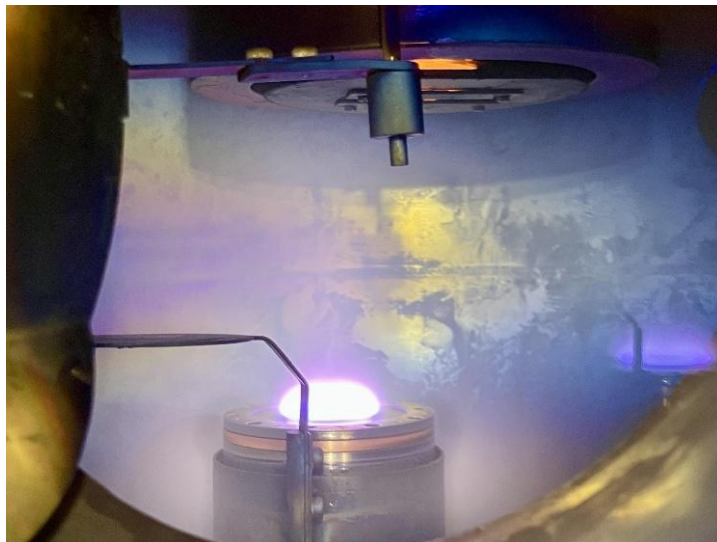
本NEDOプロの中間目標値

	現在	FY2027中間目標	FY2030最終目標
接触抵抗	2.8 mΩcm ² (ミスト) 2.6 mΩcm ² (スパッタ) 真空アニール500℃	<3.0 mΩcm² 真空アニール<500℃ (ミストCVD)	達成済 <1.5 mΩcm ² 大気アニール<500℃ (NEDO目標値)
耐食試験後の接触抵抗	アノード: 254 mΩcm ² カソード: 712 mΩcm ²	<3.0 mΩcm² (ミストCVD)	<1.5 mΩcm ² (NEDO目標値)
Fe溶出速度	アノード: 0.9×10 ⁻¹⁰ カソード: 1.1×10 ⁻¹⁰ cm ⁻² h ⁻¹ (ミストCVD)	<3.0×10⁻¹⁰ cm⁻² h⁻¹ (ミストCVD)	達成済 <3.0×10 ⁻¹⁰ cm ⁻² h ⁻¹ (NEDO目標値)
“実機”で 前NEDOプロ の数値再現	3.6 mΩcm ² Fe溶出: 未実施	達成済 接触抵抗: <10 mΩcm² Fe溶出: <3.0×10⁻¹⁰ cm⁻² h⁻¹	接触抵抗: <10 mΩcm² Fe溶出: <3.0×10⁻¹⁰ cm⁻² h⁻¹

研究の進め方

RFマグネトロンスパッタ法

【東大】



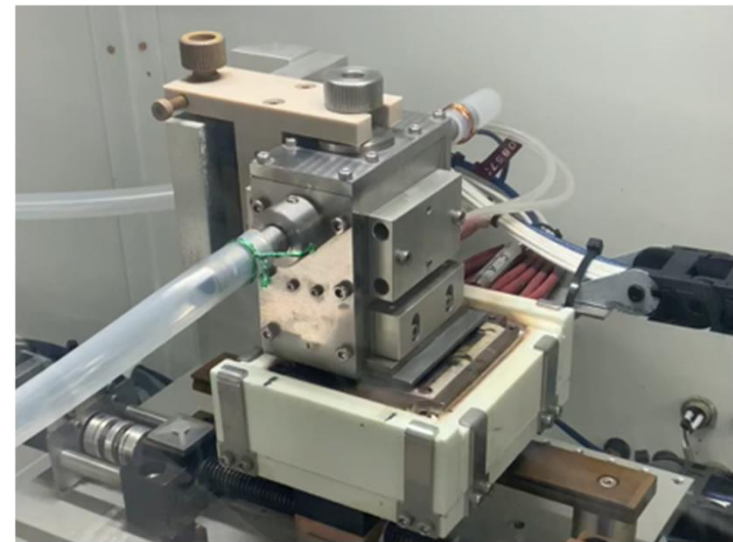
- 高品質膜
- 組成の精密制御
(ドーパント/酸素)



モデル研究

ミスト化学気相成長(CVD)法

【中部大】



- 凹凸構造への均一成膜
- 高速成膜
- 大気プロセス



実用研究

全体計画

前半

2027年9月

後半

2030年3月

東大
スパッタ

TiO₂のポテンシャルを実証(スパッタ)

プロセス低温化

耐食性向上

中部大
ミストCVD

実用化技術研究(ミストCVD)

原料選定による低抵抗化

酸素量制御手法の開発

東大・中部大
+ TMEIC
ミスト生産機

前NEDO事業の数値再現
(基板サイズ: 1cm角)

FC3・
トヨタ

定期ミーティングに参加：議論・迅速な評価

- ・TMEIC社成膜装置の有用性を証明
- ・タクトタイム目標値を決定
- ・大面積化

全体計画

前半

2027年9月

後半

2030年3月

東大
スパッタ

TiO₂のポテンシャルを実証(スパッタ)

プロセス低温化

耐食性向上

中部大
ミストCVD

実用化技術研究(ミストCVD)

原料選定による低抵抗化

酸素量制御手法の開発

東大・中部大
+TMEIC
ミスト生産機

前NEDO事業の数値再現
(基板サイズ: 1cm角)

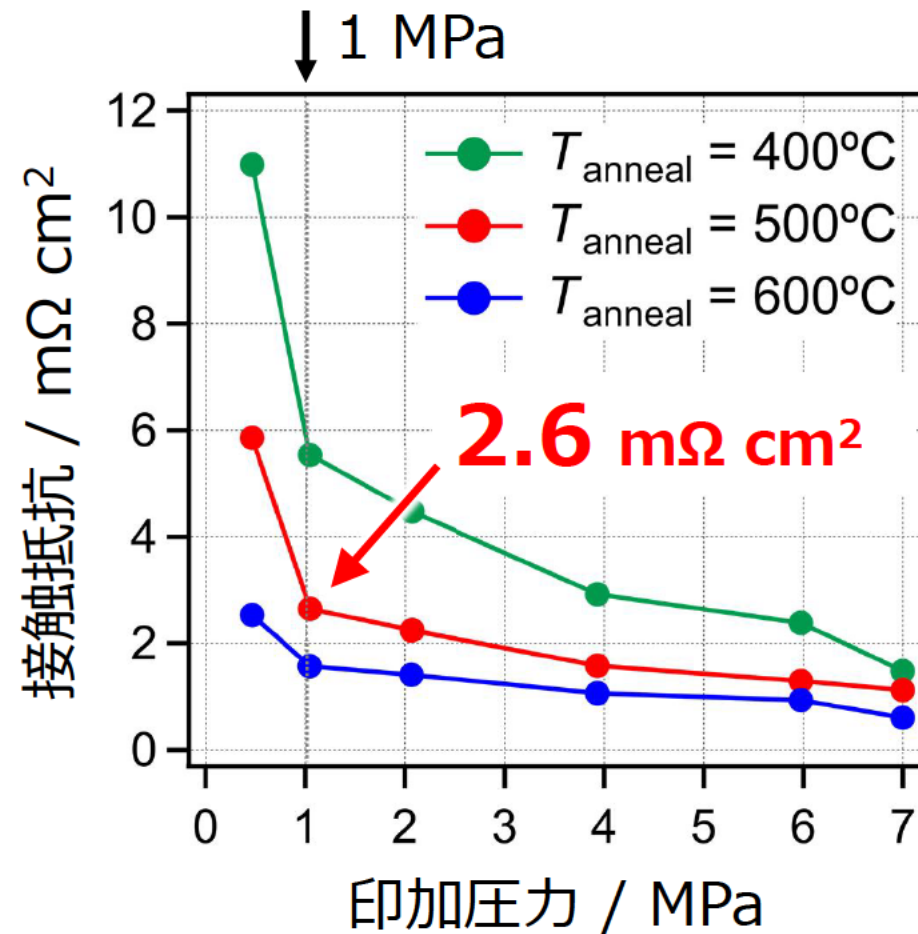
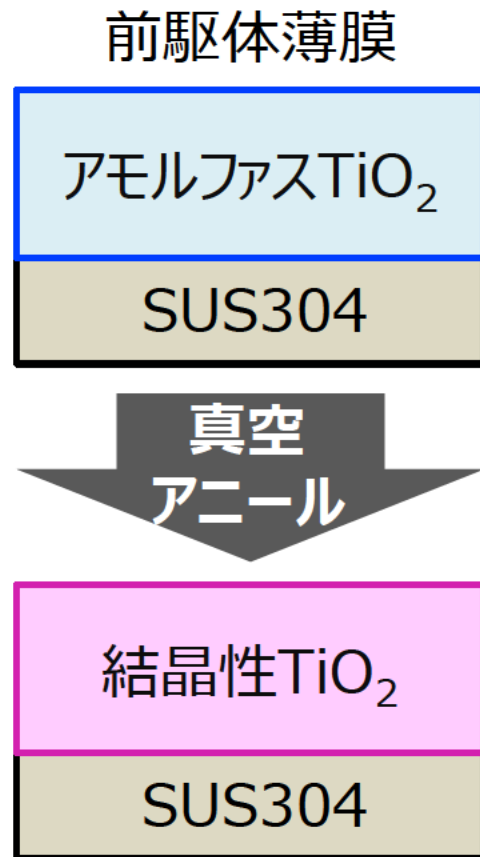
FC3・
トヨタ

定期ミーティングに参加：議論・迅速な評価

- ・TMEIC社成膜装置の有用性を証明
- ・タクトタイム目標値を決定
- ・大面積化

低温化へ向けて：アモルファスからの結晶化

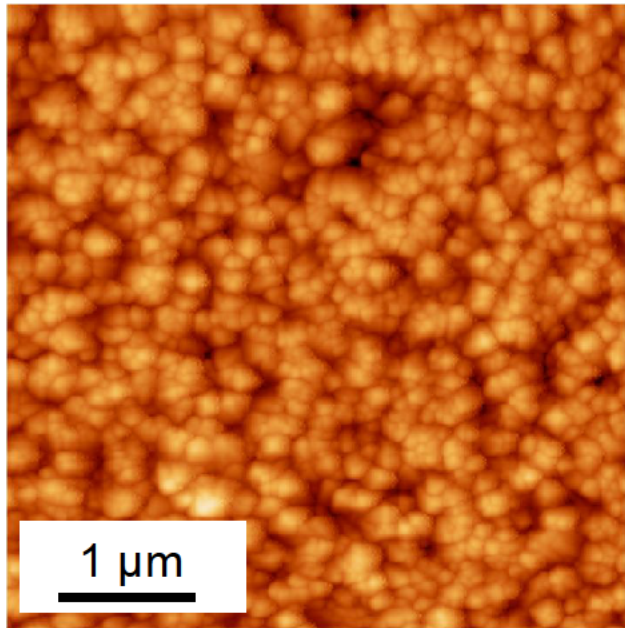
スパッタ法で作製したモデル薄膜



真空アニール温度 500°C で**低抵抗 $2.6 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$** を達成

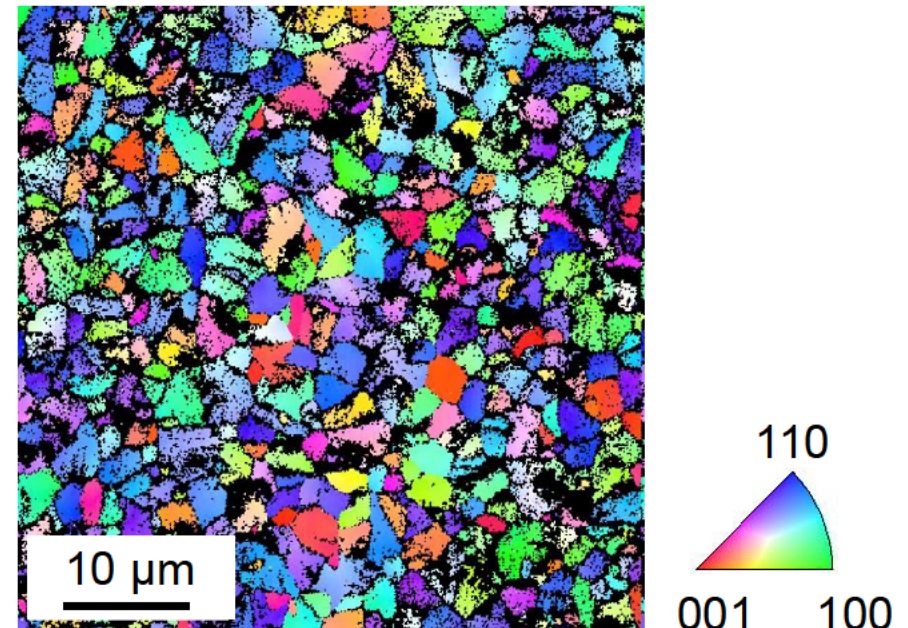
低温化へ向けて：ミスト気相成長法(CVD)膜との比較

ミストCVD膜の 原子間力顕微鏡像



真空アニール温度500°C
平均粒径：0.3 μm
接触抵抗：450 mΩ cm²

スパッタ膜の 電子線後方散乱回折像

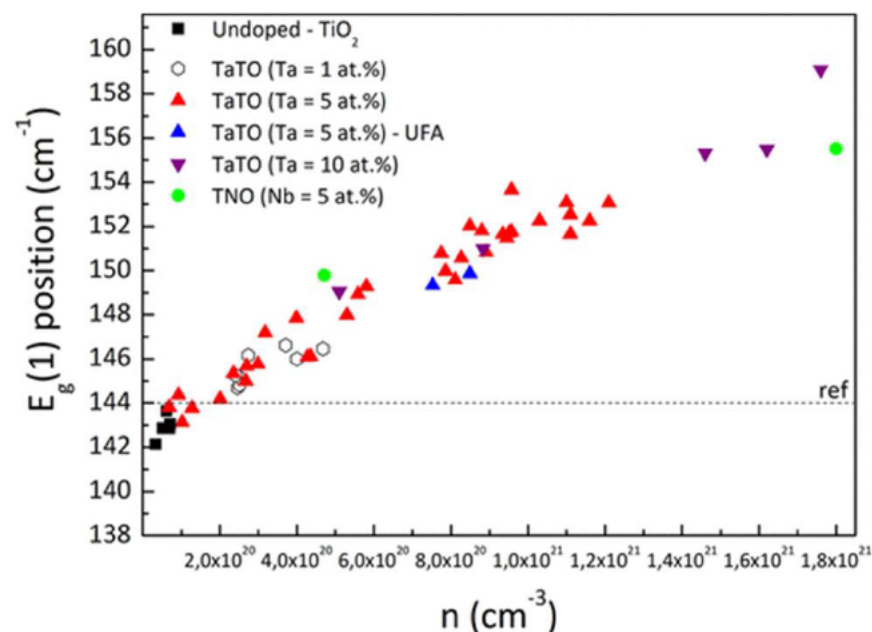


真空アニール温度500°C
平均粒径：～3 μm
接触抵抗：2.6 mΩ cm²

アモルファスからの結晶化はグレインサイズを増大する可能性
→GDLとの接触界面において電気力線を伸長？

低温化のメカニズム

ラマン分光によるキャリア密度評価

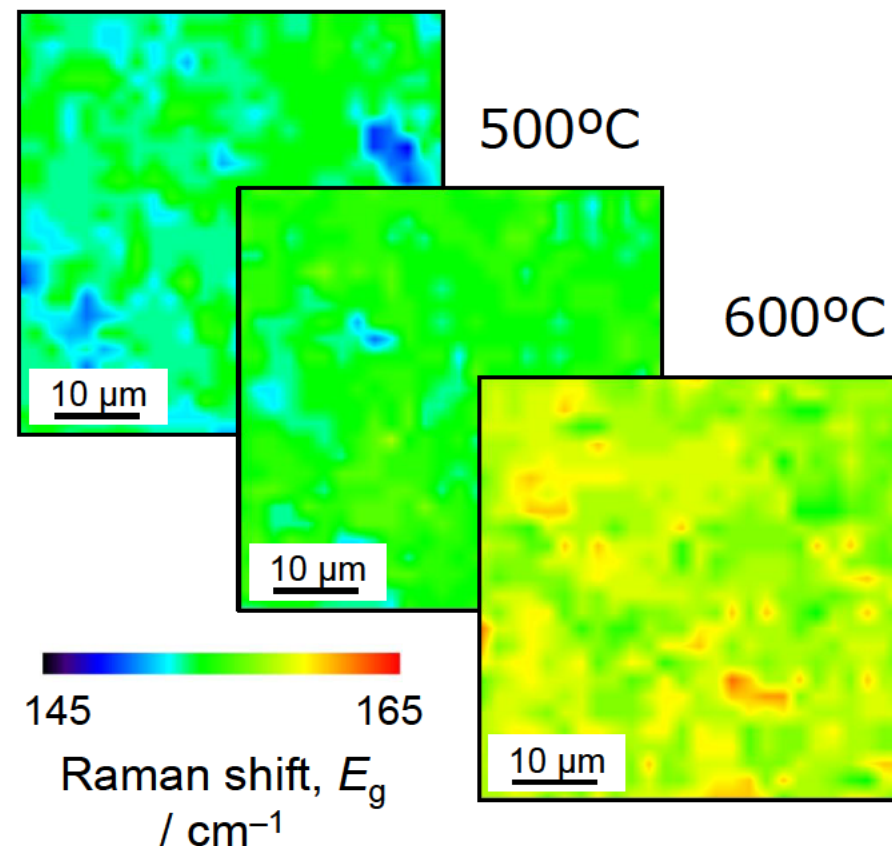


Mazzolini, Hitosugi et al., JPCC 120, 18878 (2016)

キャリア密度と E_g バンド位置が正の相関
(製法やドーパントに非依存)

SUS基板上でキャリア密度

アニール温度400°C

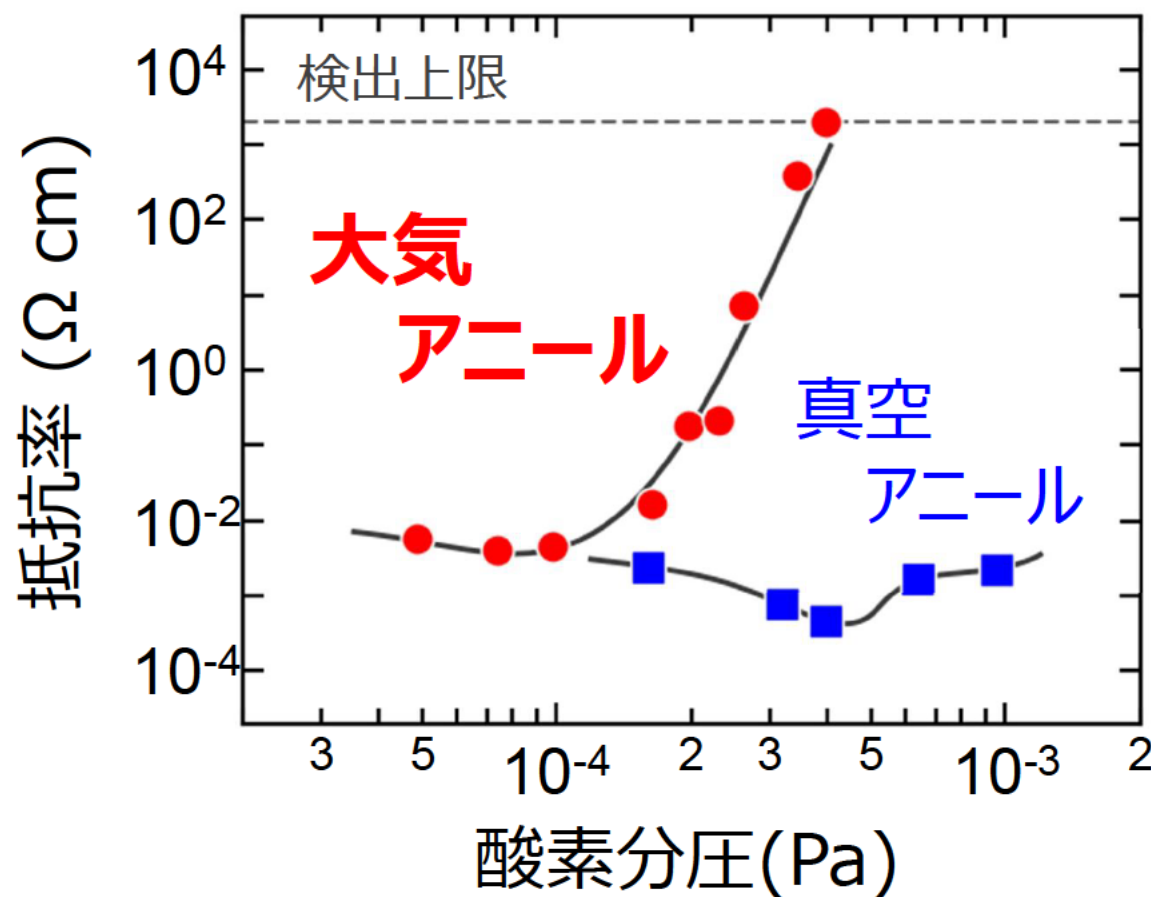


高キャリア密度が低接触抵抗を実現

(論文査読中)

大気プロセスへ向けて：大気アニール

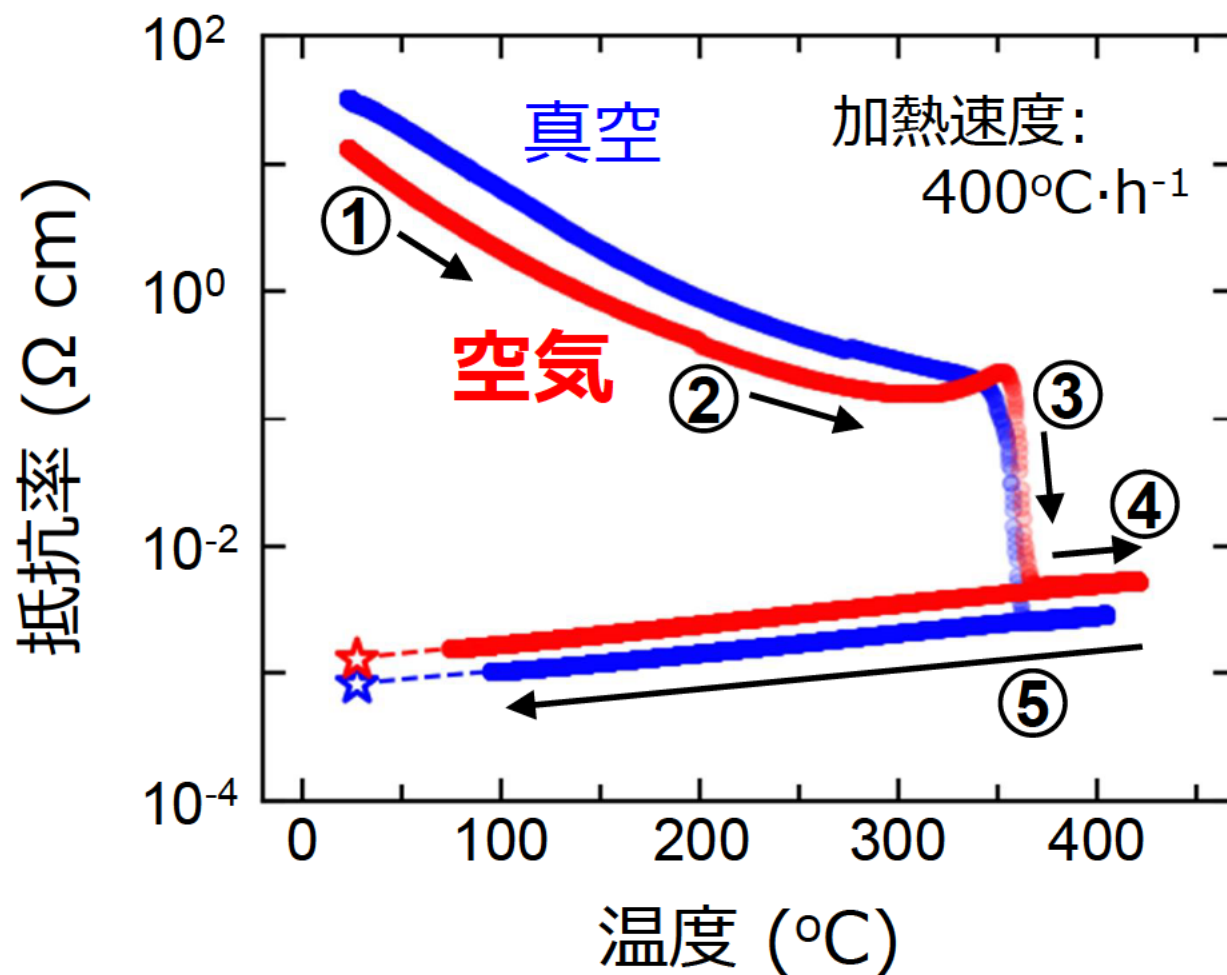
アモルファス前駆体膜中の酸素量に着目



低酸素量のアモルファス薄膜が大気プロセスの鍵

(Miura et al. ACS Appl. Electron. Mater. 8, 3931 (2026))

大気プロセスへ向けて：大気アニール



結晶化・低抵抗化する温度を $<400^{\circ}\text{C}$ に低下

→今後、ミストCVDで再現・SUS基板での低接触抵抗化を実証

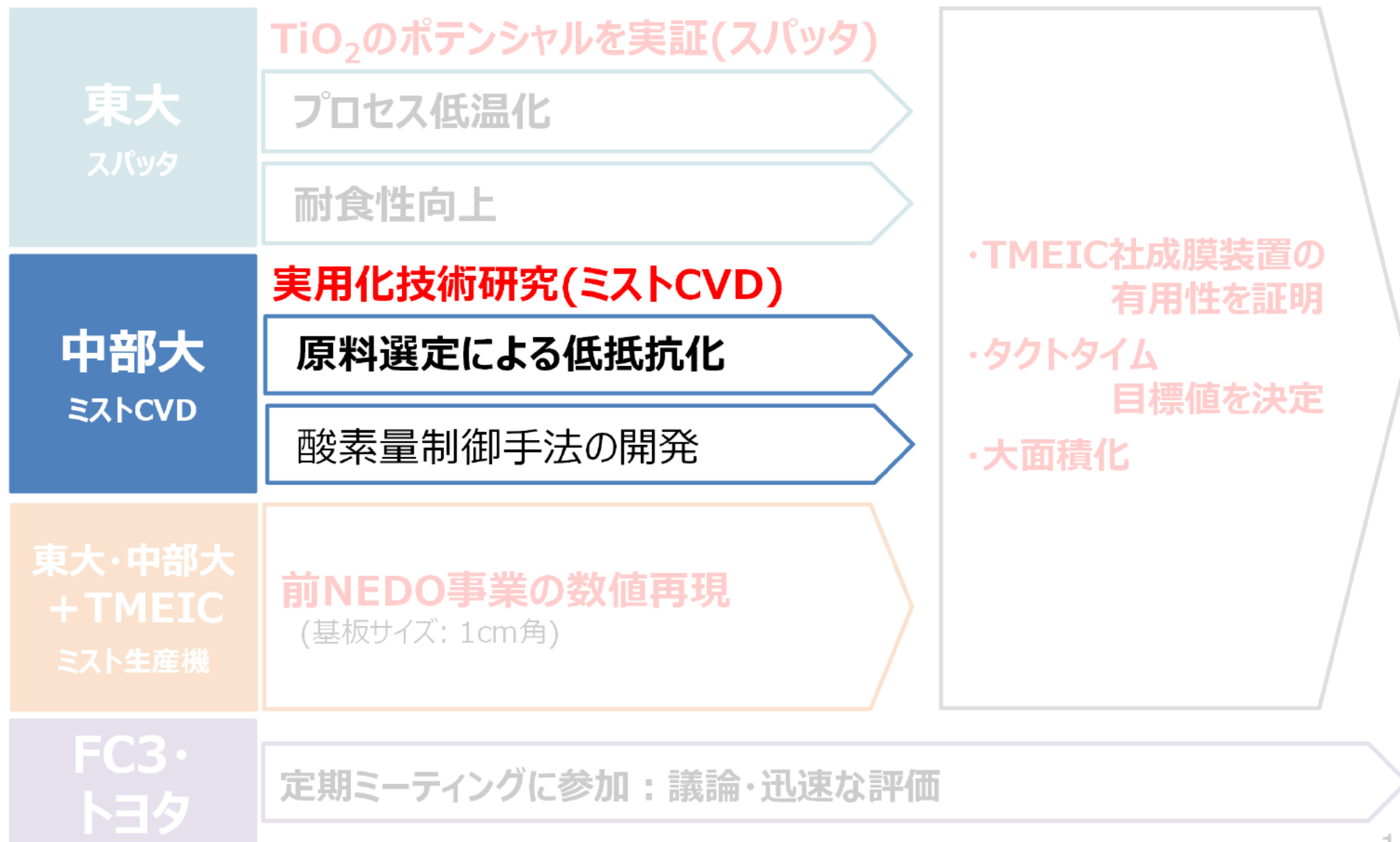
全体計画

前半

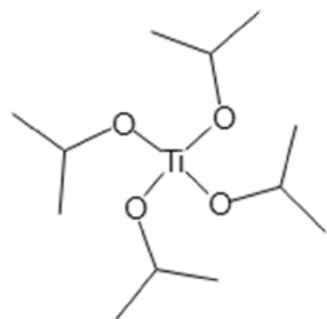
2027年9月

後半

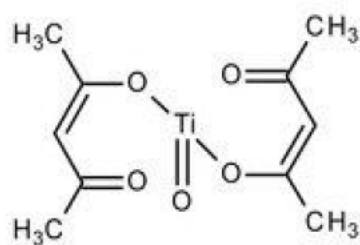
2030年3月



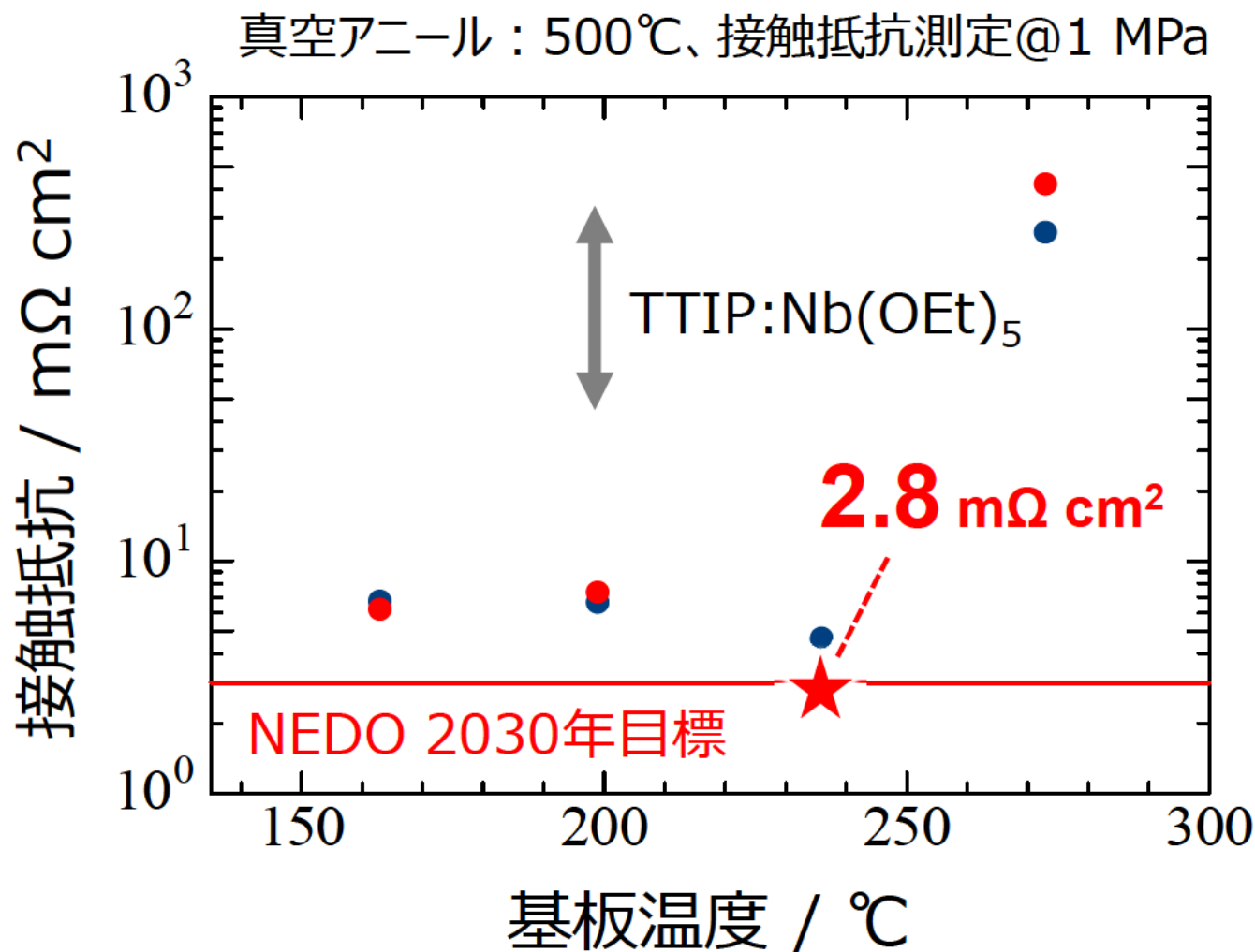
ミスト化学気相成長(CVD)：前駆体の検討



TTIP
 $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_4\text{Ti}$



$\text{TiO}(\text{acac})_2$
 $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_5\text{Ti}$



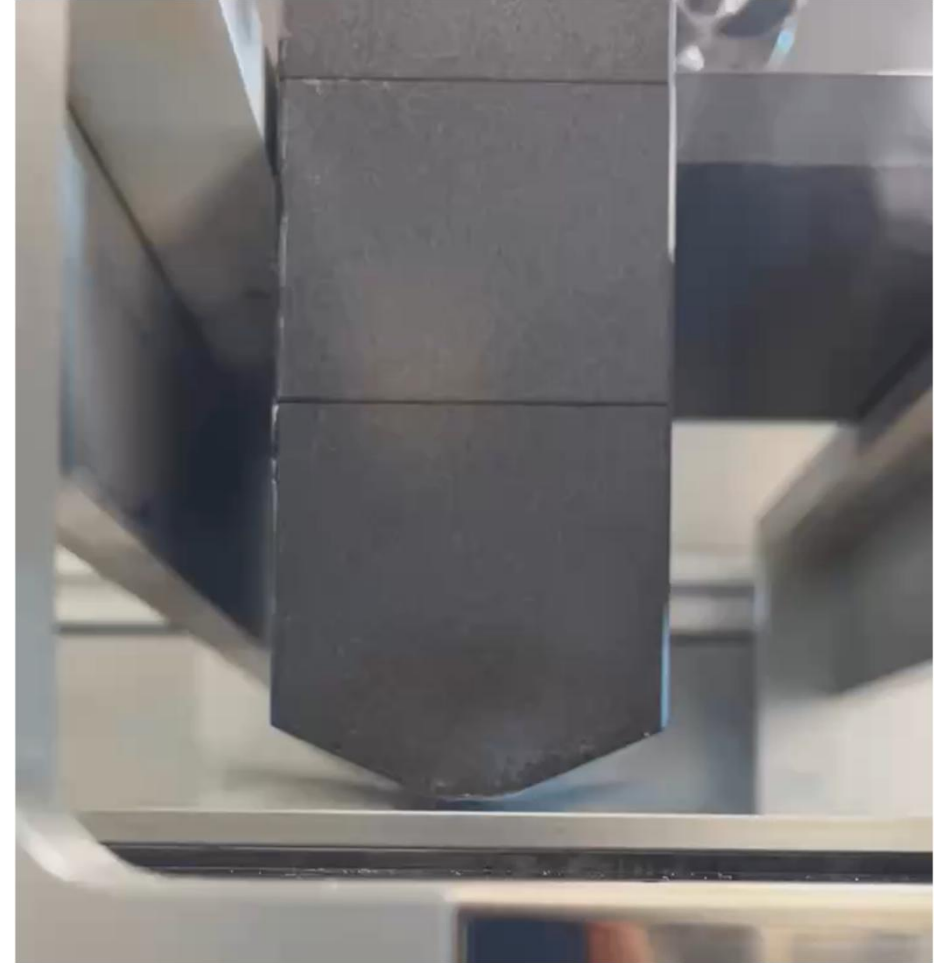
チタン酸アセチルアセトナート前駆体で
低抵抗2.8 $\text{m}\Omega \text{ cm}^2$ を達成 (論文投稿準備中)

生産機での検討

ミストCVD装置@高知工科大



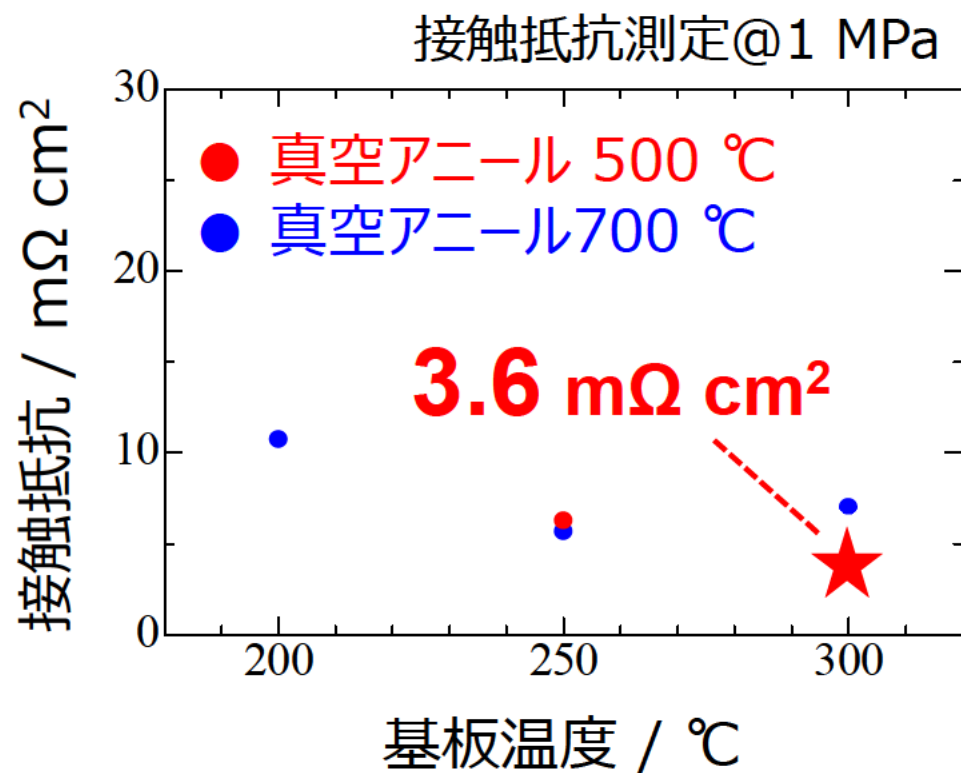
成膜時のノズルの様子



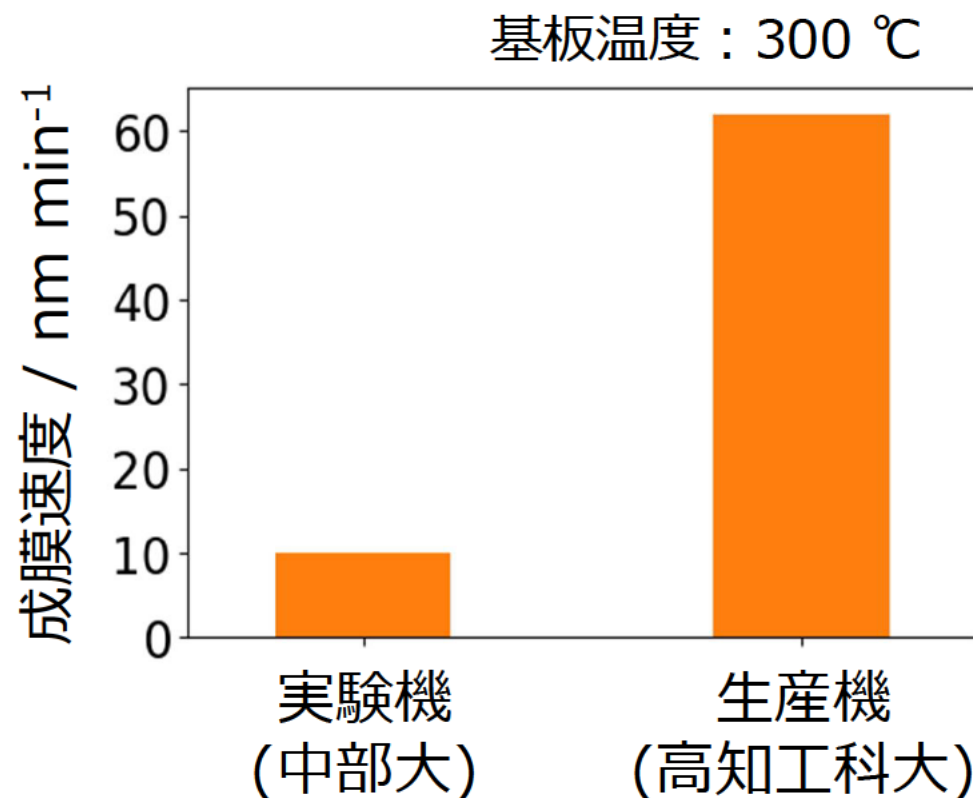
A4サイズでの成膜が可能な生産機での検討をスタート

生産機での検討

接触抵抗



成膜速度



- 初回の検討で、十分に低い接触抵抗を実現
→ 今後、基板温度、ガス流量を最適化
- 生産機の成膜レートは**実験機@中部大の約6倍**

今後の方針

2027年9月

東大
スパッタ

TiO₂のポテンシャルを実証(スパッタ)

プロセス低温化

耐食性向上

大気アニール：接触抵抗の評価

Taドープ：耐食性の評価

中部大
ミストCVD

実用化技術研究(ミストCVD)

原料選定による低抵抗化

酸素量制御手法の開発

耐食性の評価

同位体標識による酸素源の理解

東大・中部大
+TMEIC
ミスト生産機

前NEDO事業の数値再現
(基板サイズ: 1cm角)

- 更なる低接触抵抗の条件探索
- 耐食試験
- 成膜レート見積もり

成果：学会発表

発表者	所属	タイトル	学会名・イベント名等	発表年月
T. Sudare* ¹ R. Shimizu ² , N. Yamada ³ , Y. Miura ¹ , R. Ueda ¹ , K. Nishio ⁴ , T. Hitosugi ¹	1 The University of Tokyo, Japan 2 Institute for Molecular Science, Japan 3 Chubu University, Japan 4 Institute of Science Tokyo, Japan	Role of Interstitial Oxygen on Metal-to-Insulator Transition in Anatase TiO ₂ Thin Films	19th European Conference on Solid State Chemistry (ECSSC 2025)	2025/9/4
Tomohito Sudare ¹ , Reiichi Ueda ¹ , Naoomi Yamada ² , Ryota Shimizu ³ , Taro Hitosugi ¹	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Chubu University, Aichi, Japan 3 Institute for Molecular Science, Aichi, Japan	Anatase TiO ₂ as Coating Material for Separators of Fuel Cells	E-MRS 2025 FALL MEETING & EXHIBIT	2025/9/15
Tomohito Sudare ¹ , Naoomi Yamada ² , Ryota Shimizu ³ , Reiichi Ueda ¹ , Yumie Miura ¹ , Kazunori Nishio ⁴ , Taro Hitosugi ¹	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Chubu University, Aichi, Japan 3 Institute for Molecular Science, Aichi, Japan 4 Institute of Science Tokyo, Japan	Interstitial Oxygen in Transparent Conducting Anatase TiO ₂	The 2nd International Symposium on Solid-State Chemistry (ISSSC2025)	2025/12/1
簾智仁 ¹ 、山田直臣 ² 、清水亮太 ³ 、 三浦弓恵 ¹ 、一杉太郎 ¹	1 東京大学 2 中部大学 3 分子科学研究所	酸化物半導体におけるドーパント局所構造の理解	第38回日本吸着学会研究発表会	2025/11/12
A. Nakamura, ¹ R. Naito, ¹ M. Ariga, ¹ T. Sudare, ² R. Nakayama, ² R. Shimizu, ³ T. Hitosugi, ² N. Yamada ¹	1. 中部大 2. 東大 3. 分子研	Aqueous Solution Derived Nb-Doped Anatase TiO ₂ Coatings for Fuel Cell Separators	Materials Research Meeting 2025	2025/12
中村彩夏, ¹ 内藤蓮人, ¹ 有賀恵美, ¹ 簾智仁, ² 中山亮, ² 清水亮太, ³ 一杉太郎, ² 山田直臣 ²	1. 中部大 2. 東大 3. 分子研	燃料電池セパレータ用の水溶液出発NbドーパTiO ₂ 薄膜	第86回 応用物理学会秋季学術講演会	2025/9

成果：原著論文

発表者	所属	タイトル	発表誌名	ページ番号	発表年月
Y. Miura ¹ , R. Shimizu ^{*2} , T. Sudare ¹ , R. Ueda ¹ , S. Kobayashi ¹ , S. Nakao ¹ , T. Hasegawa ¹ , N. Yamada ³ , T. Hitosugi ^{*1}	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Institute for Molecular Science, Aichi, Japan 3 Chubu University, Aichi, Japan	Transparent Conductive Anatase Nb-doped TiO ₂ Obtained via Annealing in Ambient Air	<i>ACS Appl. Electron. Mater.</i>	8, 9, 3931–3936	2026
Reiichi Ueda ¹ , Tomohito Sudare ^{*1} , Ryota Shimizu ¹ , Kazunori Nishio ² , Ryo Nakayama ¹ , Yumie Miura ¹ , Kentaro Kaneko ³ , Naomomi Yamada ⁴ , Taro Hitosugi ^{*1}	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Institute of Science Tokyo, Japan 3 Ritsumeikan University, Shiga, Japan 4 Chubu University, Aichi, Japan	Anatase TiO ₂ (112) Epitaxial Thin Films Grown by Mist Chemical Vapor Deposition	<i>Cryst. Growth Des.</i>	25, 9086–9091	2025
Tomohito Sudare ^{*1} , Kazunori Nishio ² , Ryo Nakayama ¹ , Naomomi Yamada ³ , Taro Hitosugi ¹	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Institute of Science Tokyo, Japan 3 Chubu University, Aichi, Japan	Topotaxy in Layered Cobalt Oxide/Oxyhydroxide Thin Films	<i>Inorg. Chem.</i>	64, 19671–19678	2025
T. Sudare ^{*1} , H. Xu ² , R. Nakayama ¹ , R. Ueda ¹ , R. Naito ³ , R. Shimizu ¹ , Y. Miura, K. Kaneko ⁴ , N. Yamada ¹ , T. Hitosugi ^{*1}	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Institute of Science Tokyo, Japan 3 Chubu University, Aichi, Japan 4 Ritsumeikan University, Shiga, Japan	Extremely Low Electrical Contact Resistance at the Interface of Carbon Fiber-Based Gas Diffusion Layer and Anatase TiO ₂ Thin Films	<i>ACS Appl. Electron. Mater.</i>	7, 2785–2792	2025
T. Sudare ^{*1} , R. Shimizu ¹ , N. Yamada ² , Y. Miura ¹ , R. Ueda ¹ , R. Nakayama ¹ , S. Kobayashi ¹ , K. Kaneko ³ , T. Hitosugi ^{*1}	1 The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2 Chubu University, Aichi, Japan 3 Ritsumeikan University, Shiga, Japan	Elucidating the Role of Interstitial Oxygen in Transparent Conducting Anatase TiO ₂ by Polarized X-ray Absorption Spectroscopy Study	<i>Chem. Mater.</i>	37, 480	2025