

金並みの導電性、7 eV超の仕事関数、 高耐久性の酸化物薄膜

物質・材料研究機構

ナノアーキテクトニクス材料研究センター

独立研究者 原田 尚之

2025年7月31日

従来技術とその問題点

金属薄膜

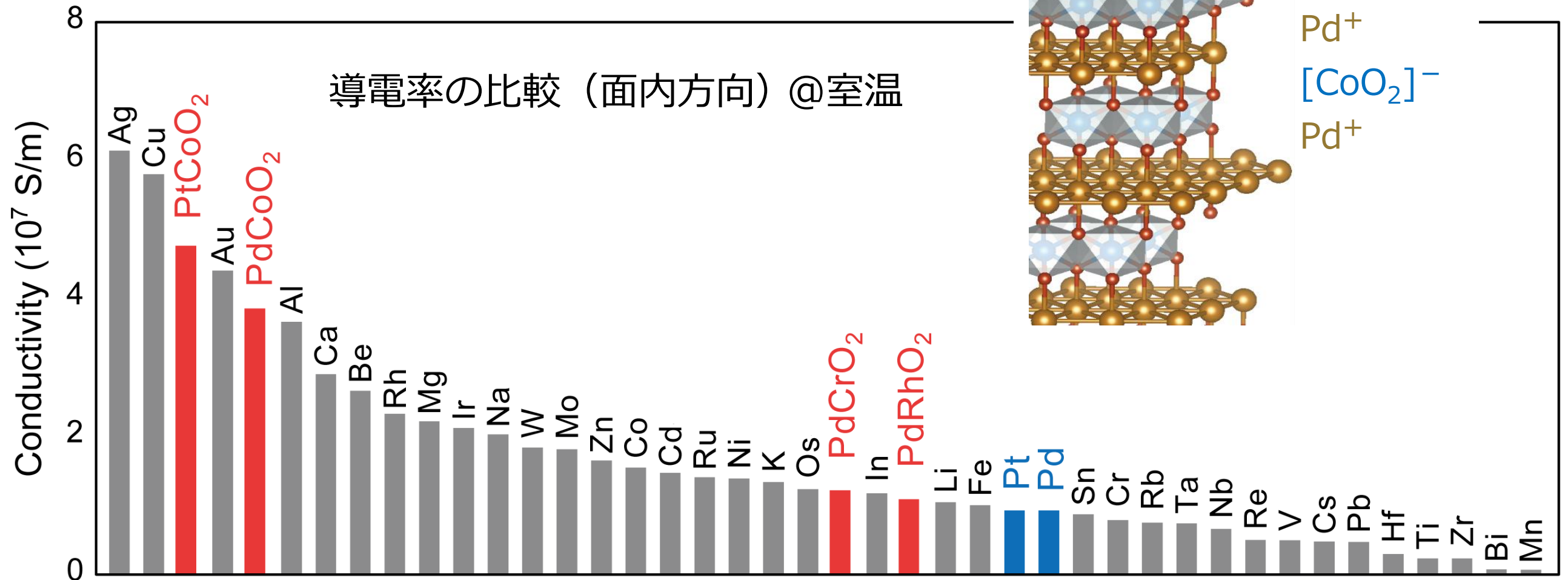
半導体素子の配線・電極、光学素子など広い用途

問題点

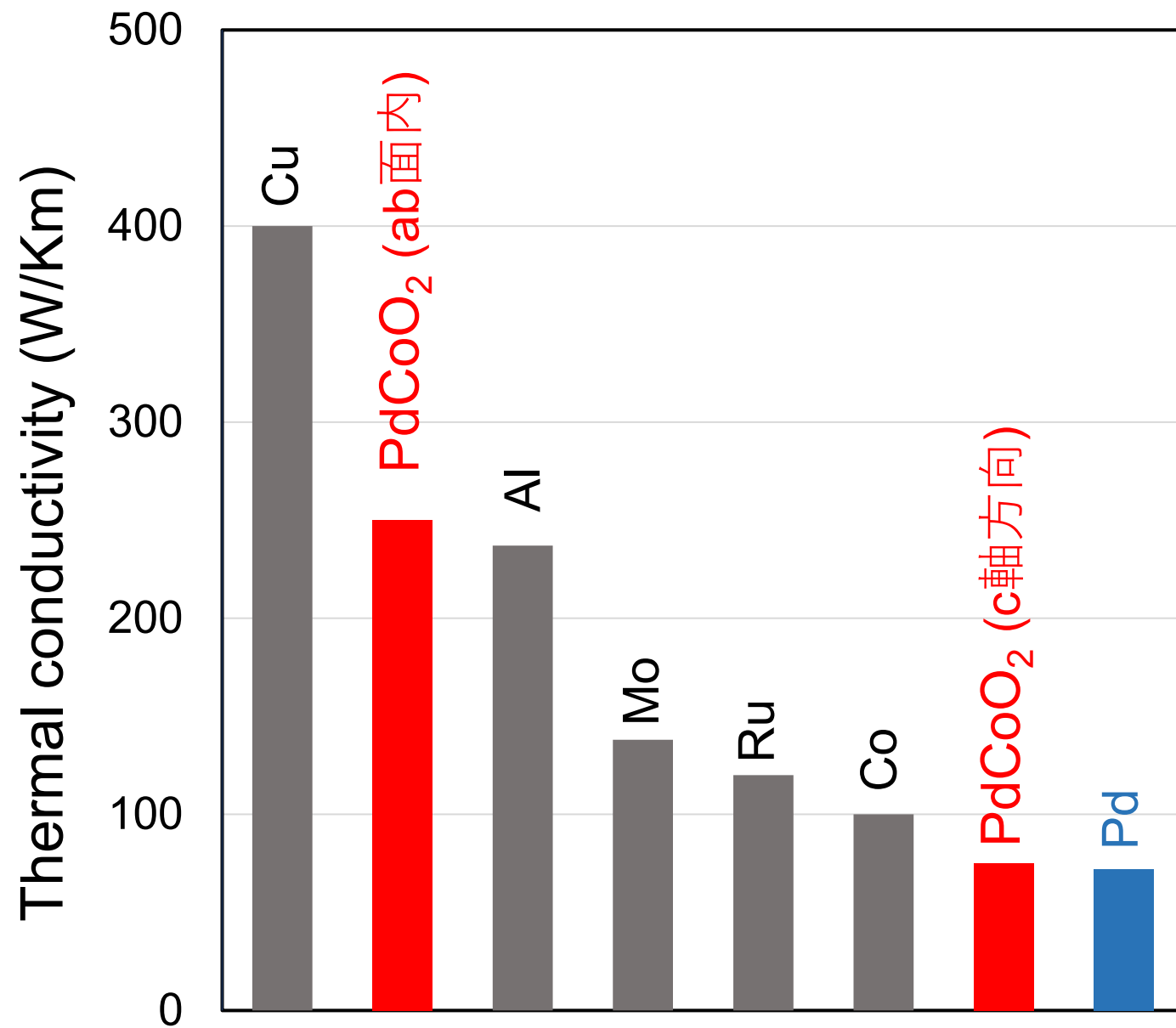
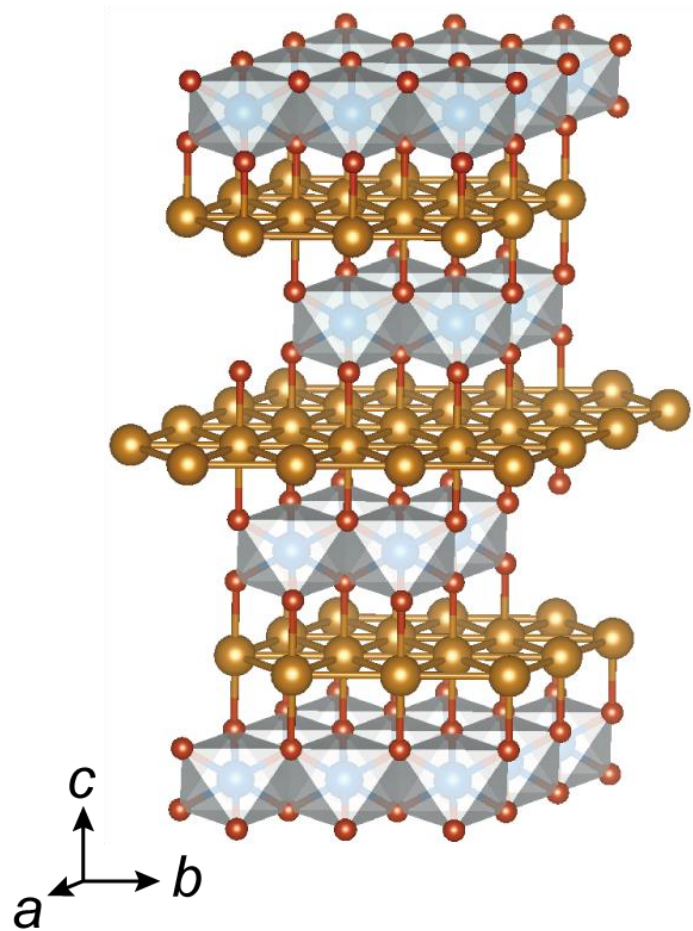
- ・ 錆び
- ・ 高温での耐久性
- ・ 剥離強度

金属性デラフォサイト PdCoO_2 、 PtCoO_2

酸化物なのに貴金属並みに電気を流す



PdCoO₂の熱伝導度



R. Daou *et al.*, Phys. Rev. B **91**, 041113 (2015)

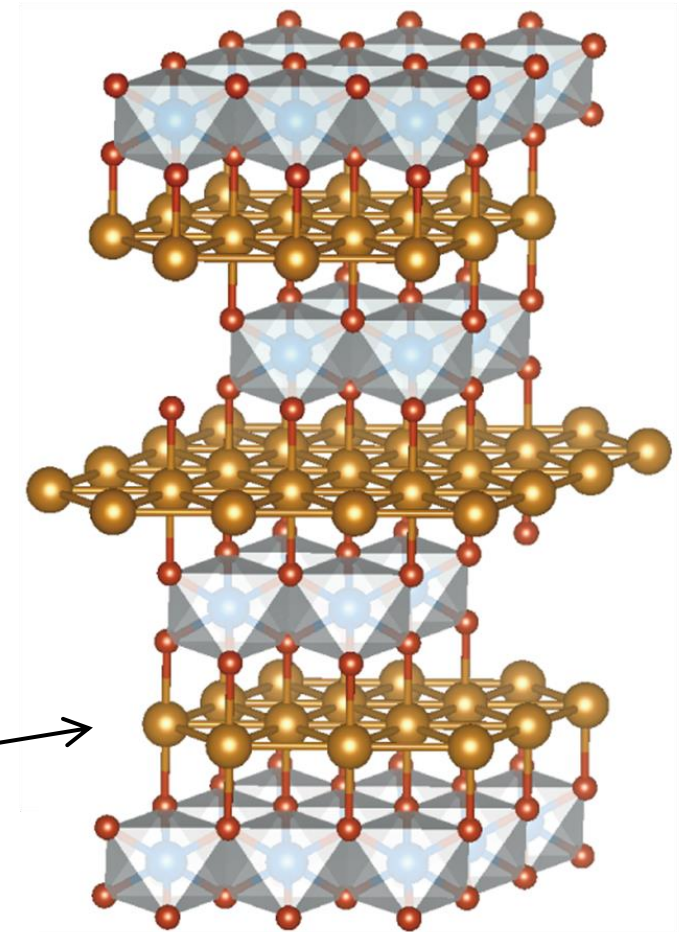
独自技術：PdCoO₂のスパッタ成膜

- 2インチAl₂O₃ウエハ上にスパッタで成膜
- 膜厚30nm以下の薄膜でも 抵抗率 約4μΩcm
- 表面のRMSラフネス 0.4 nm以下

剥離強度、安定性

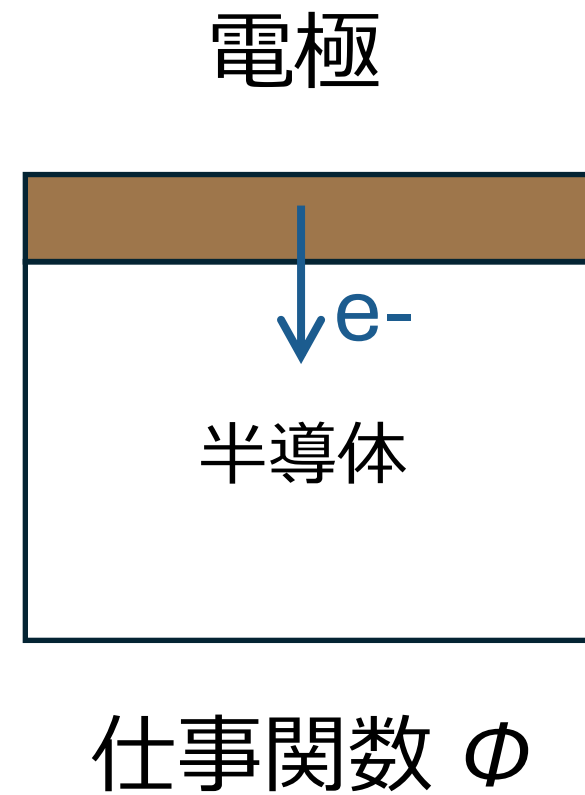
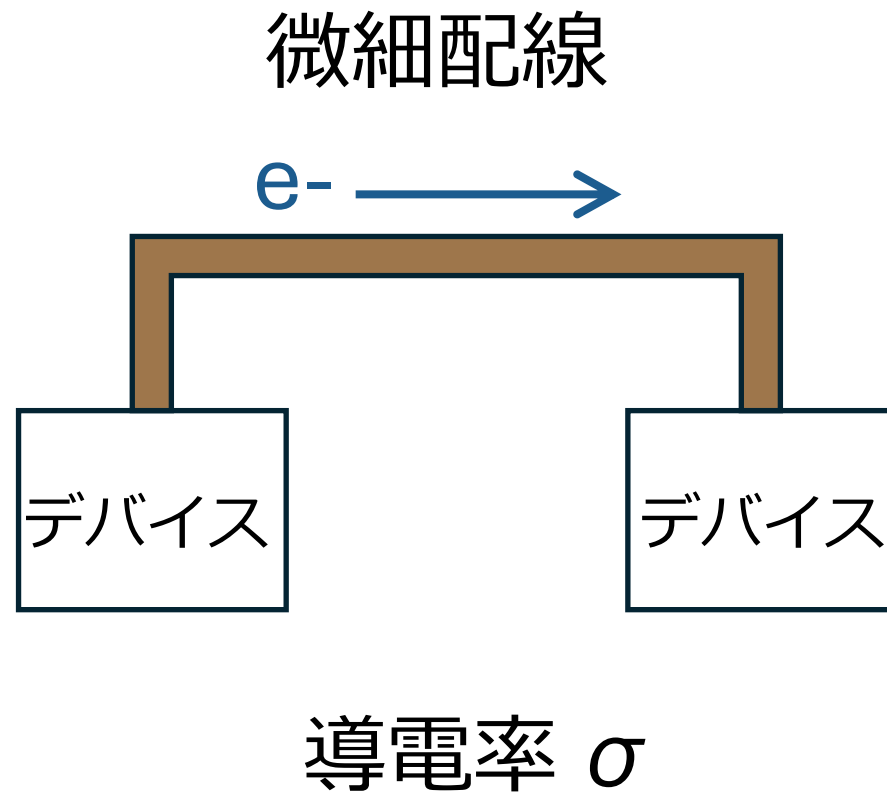
硬くて、安定

- ・ モース硬度 6 ~ 7
* cf. クォーツ 7、ガラス 5、十円玉 3.5 (wikipedia)
- ・ 錆びない、酸・塩基に溶けない
- ・ 耐熱性 大気中 800℃
- ・ ドライエッチング可能

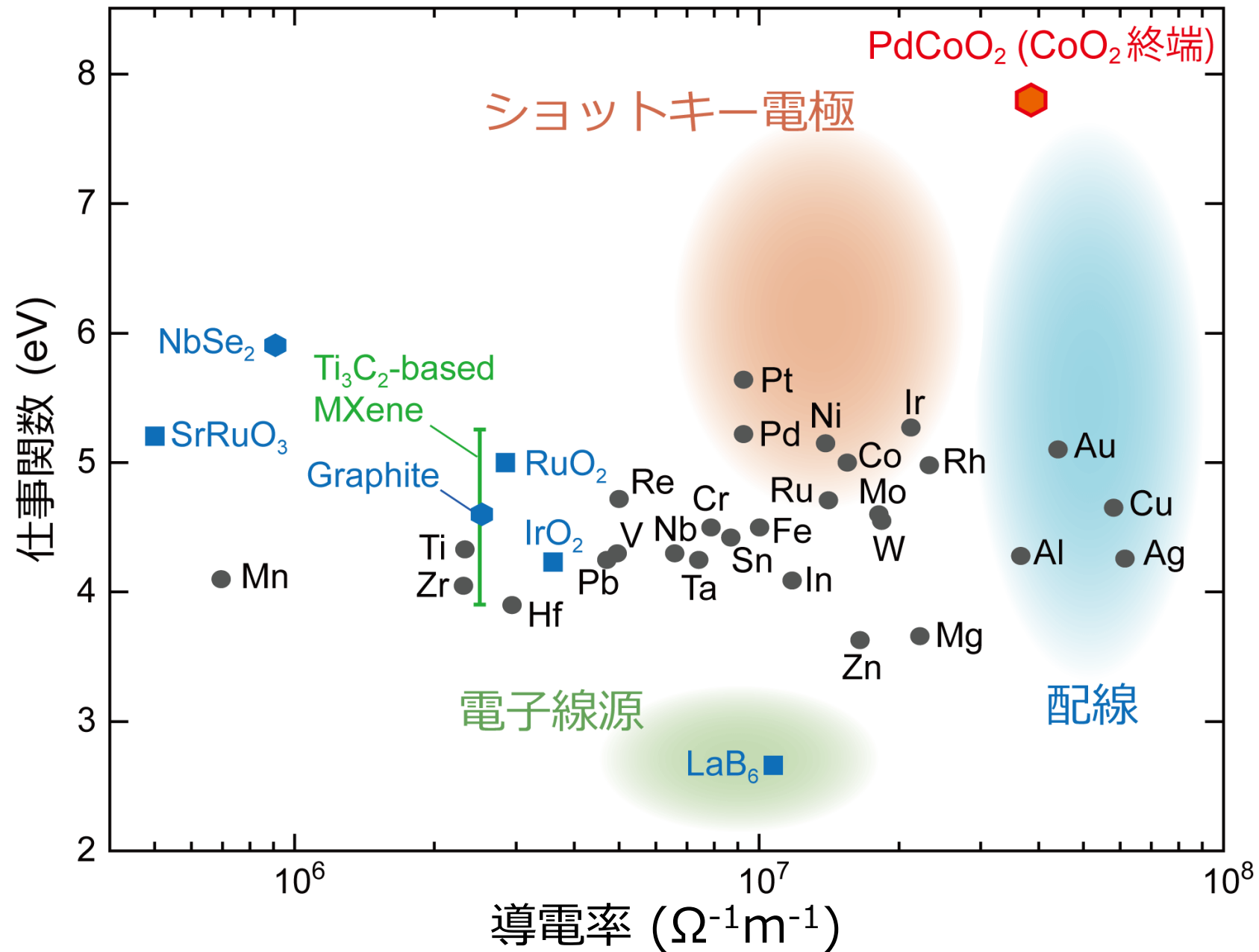


層間がイオン結合
しており頑丈

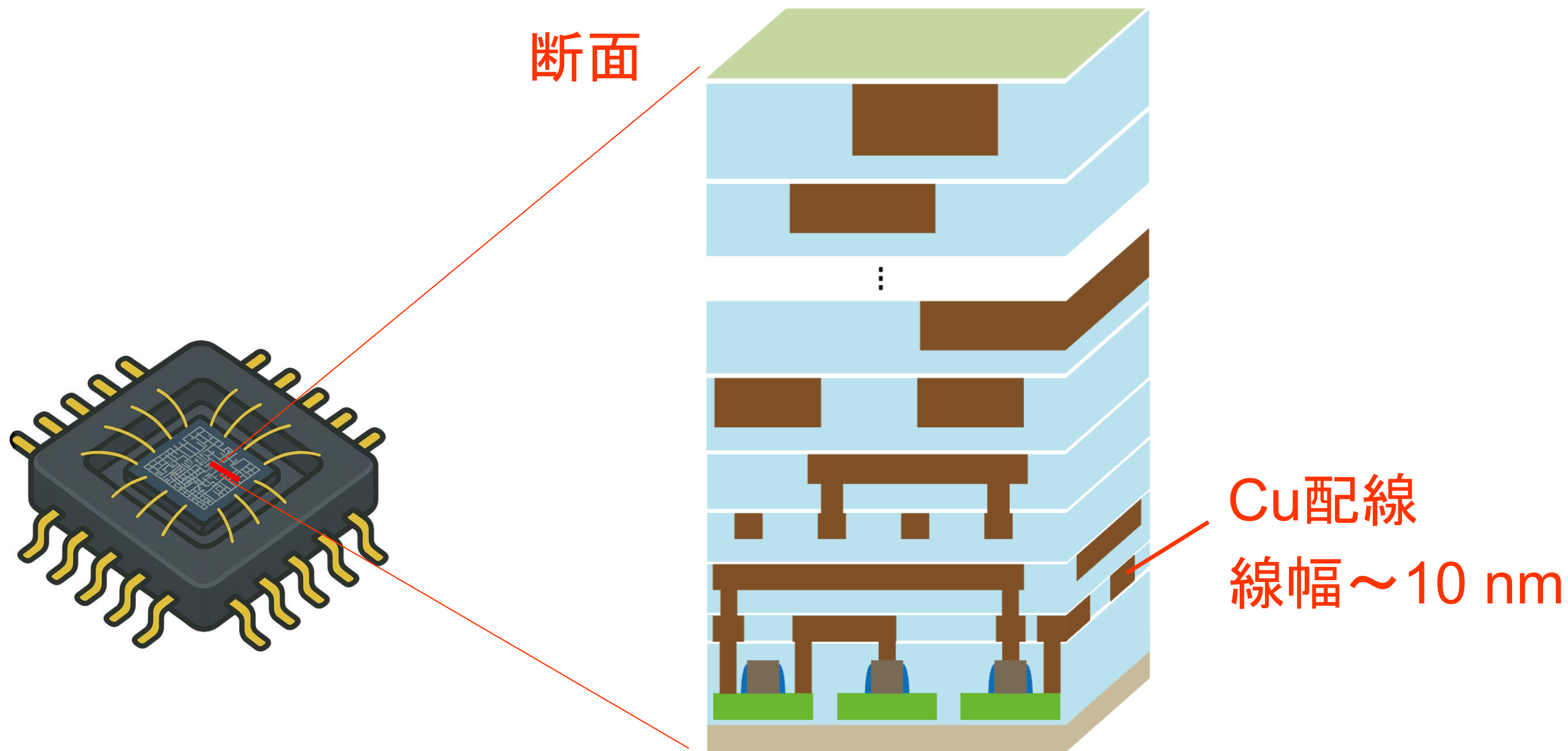
配線・電極



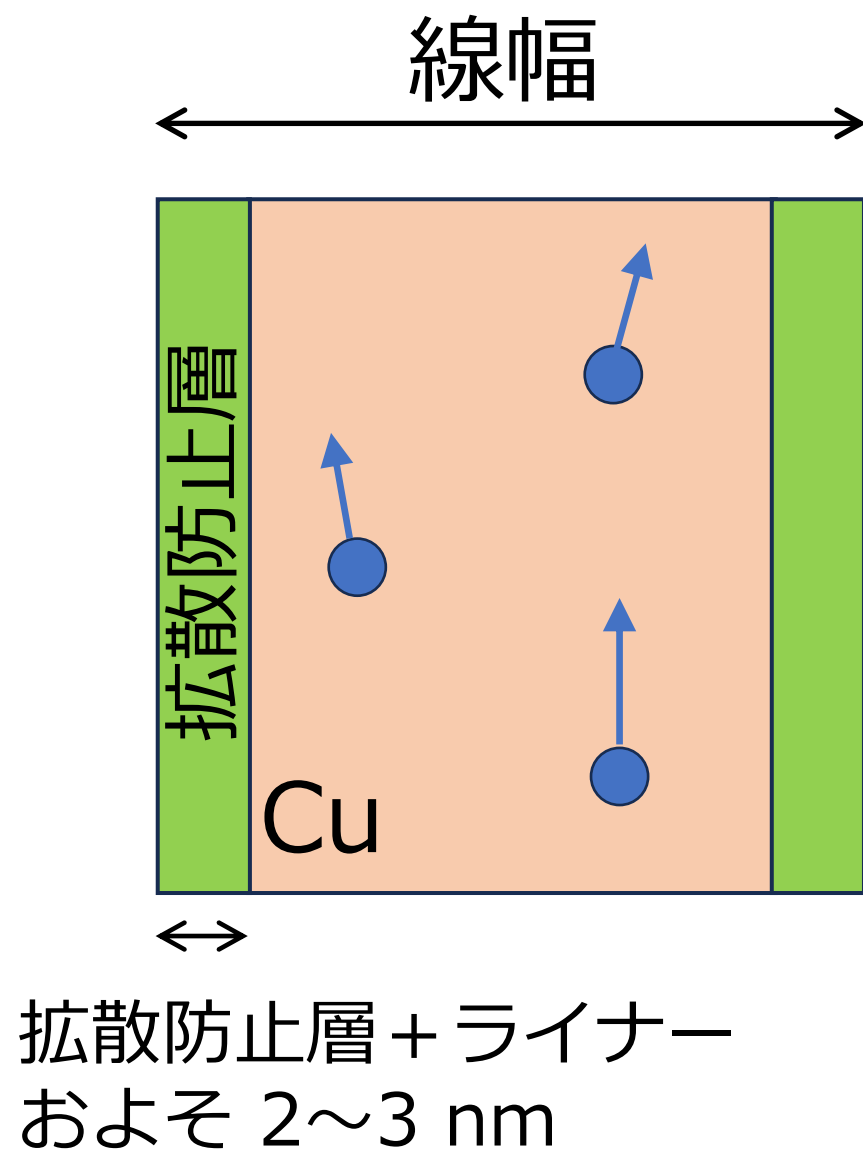
様々な金属との比較



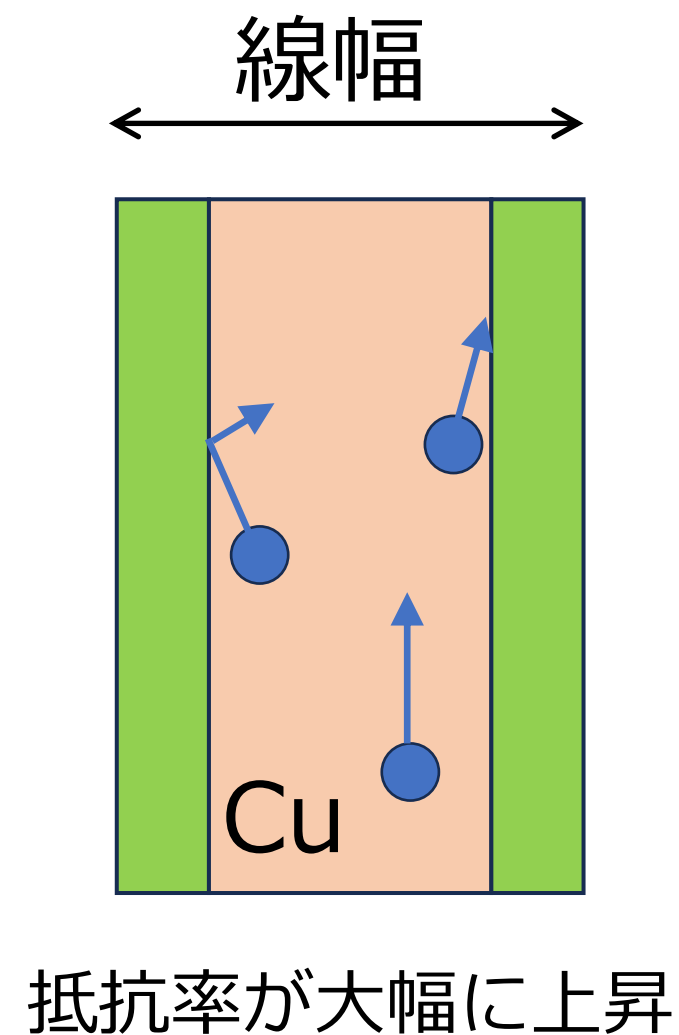
想定用途 1 先端半導体の微細配線



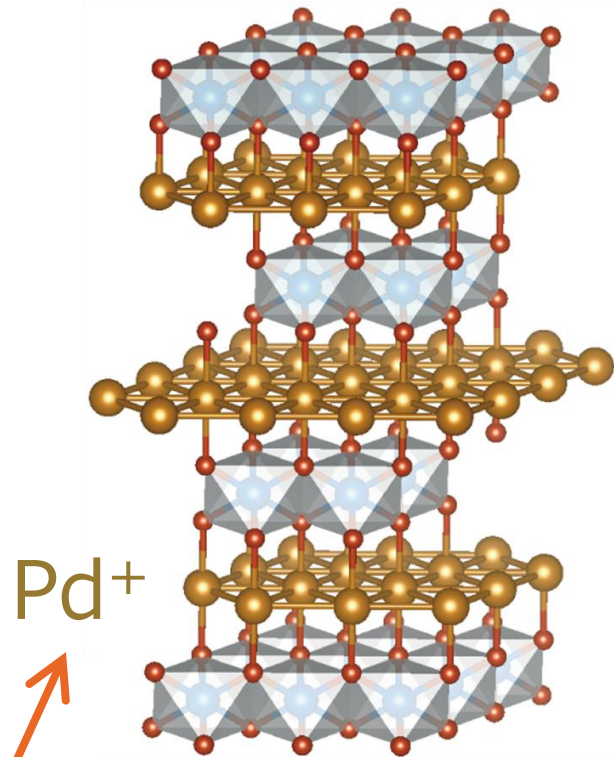
Cu配線の抵抗率上昇が問題



微細化



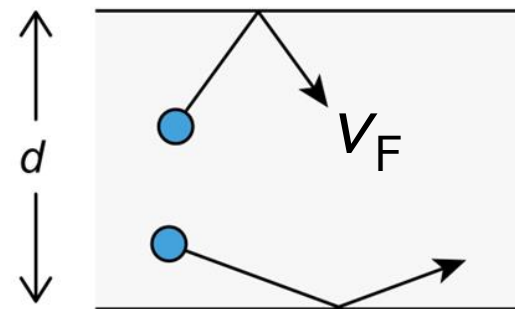
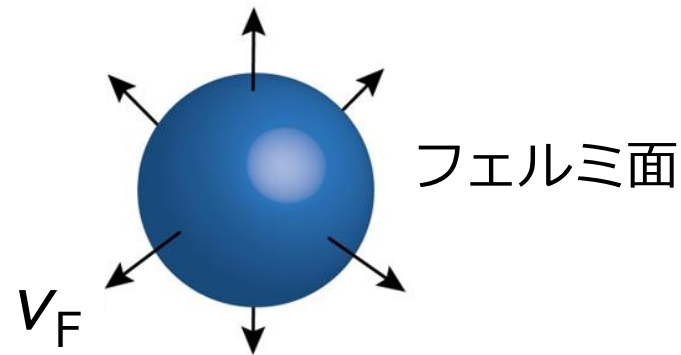
薄くても電気を良く流す理由



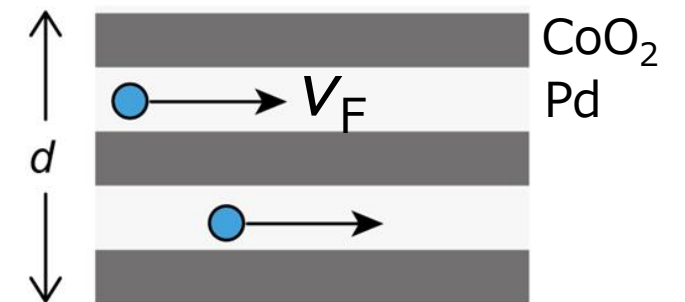
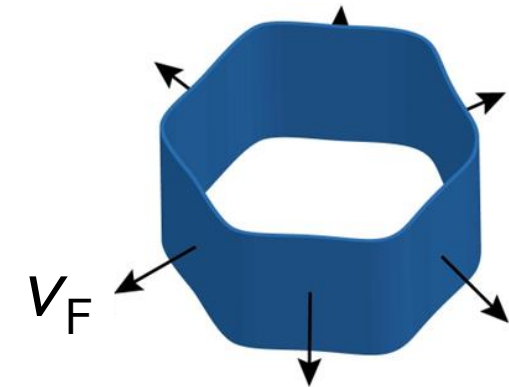
Pdの2次元伝導層
表面散乱を受けにくい

電子状態による説明

一般的な金属

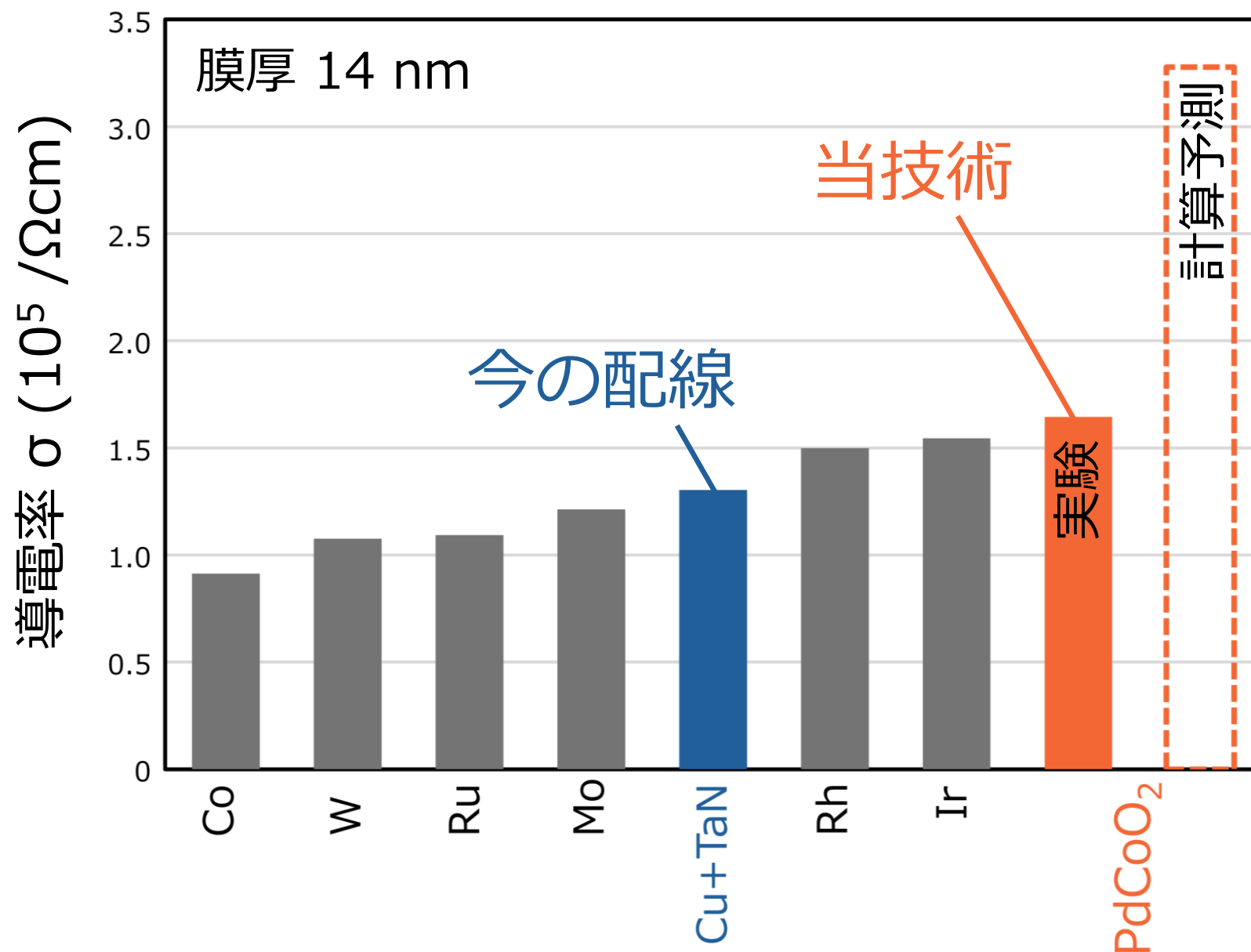


PdCoO₂

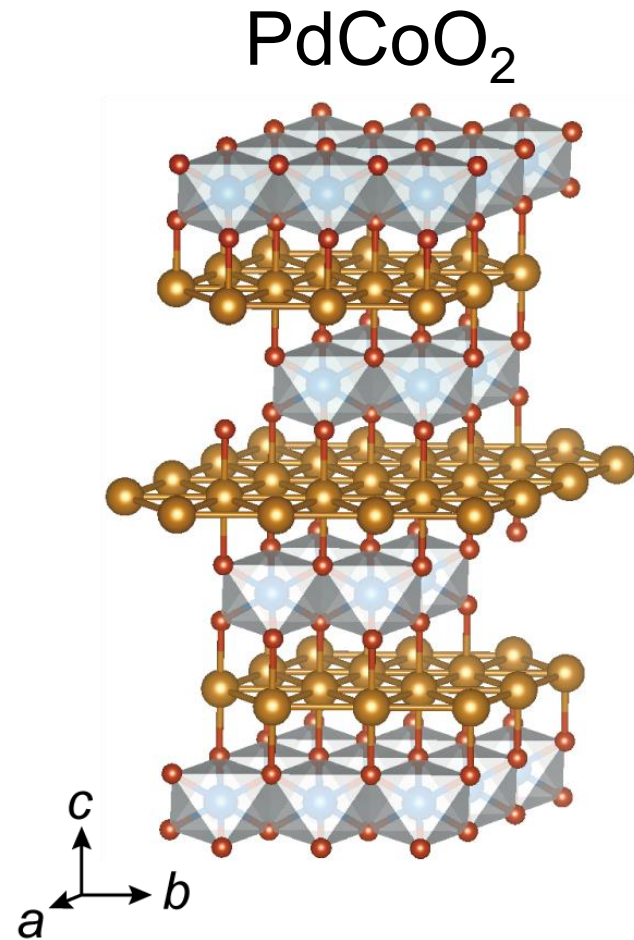


T. Harada and Y. Okada, APL Mater. **10**, 070902 (2022)
オープンアクセス

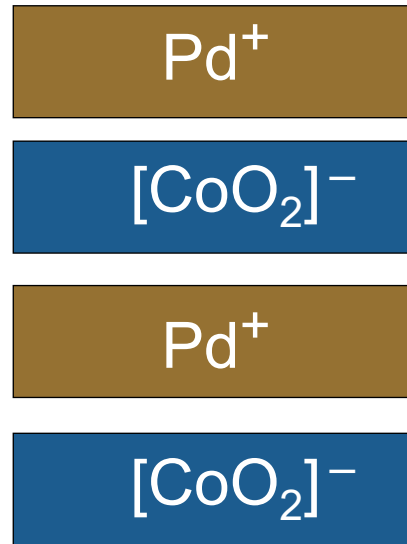
スパッタ成膜したPdCoO₂薄膜の抵抗率



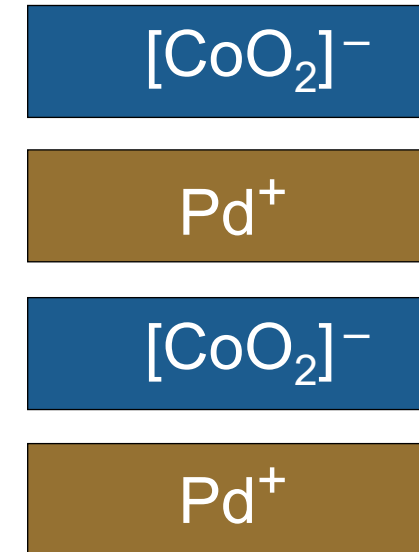
想定用途 2 高仕事関数の電極



$$\varphi_m^{\text{Pd}} = 4.7 \text{ eV}$$



$$\varphi_m^{\text{CoO}_2} = 7.8 \text{ eV}$$



cf. Pt: $\varphi_m = 5.65 \text{ eV}$

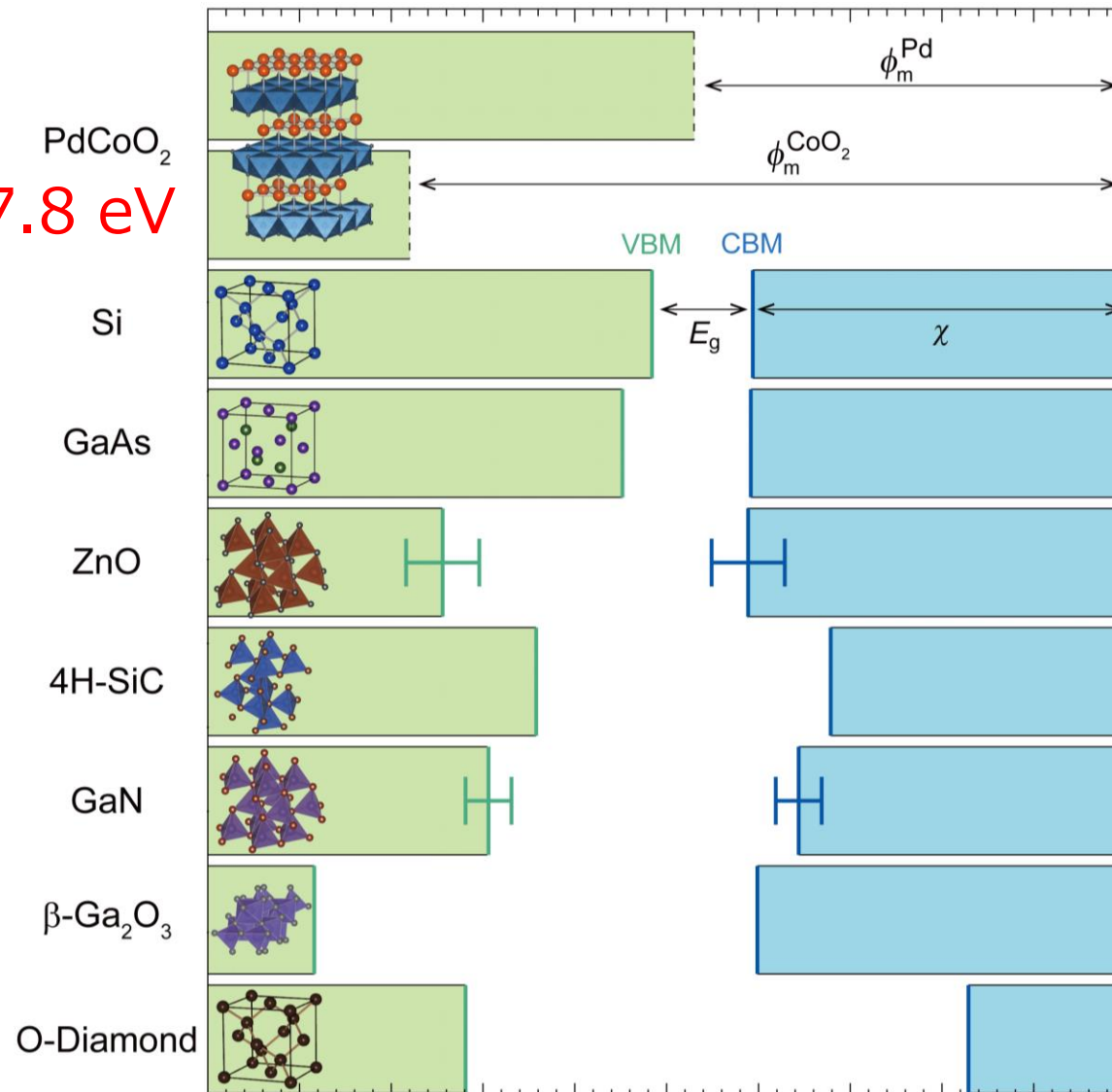
走査型トンネル顕微鏡 (STM)による測定値

C. M. Yim *et al*, Sci. Adv. **7**, eabd7361 (2021)

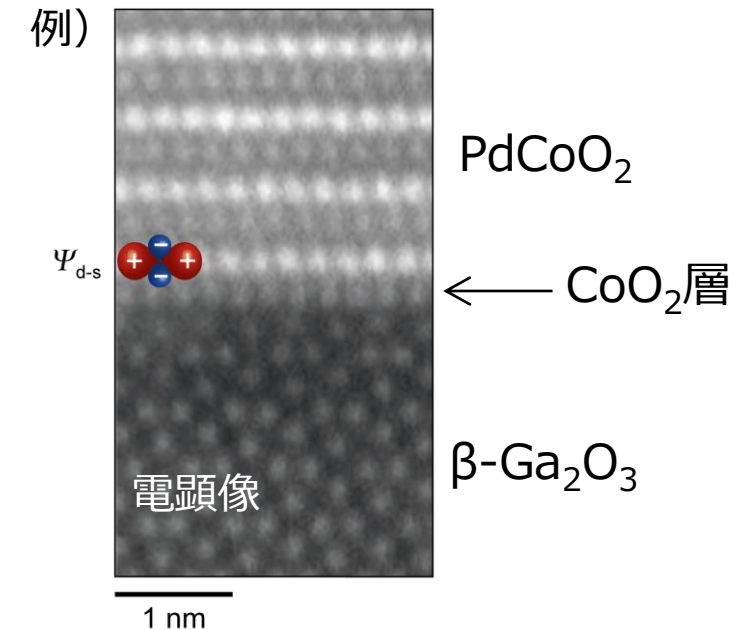
パワーデバイス用の電極

真空準位からのエネルギー (eV)
10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

仕事関数 7.8 eV



PdCoO₂薄膜はCoO₂層から成長



半導体との界面の仕事関数は、
CoO₂終端の値：7.8 eV

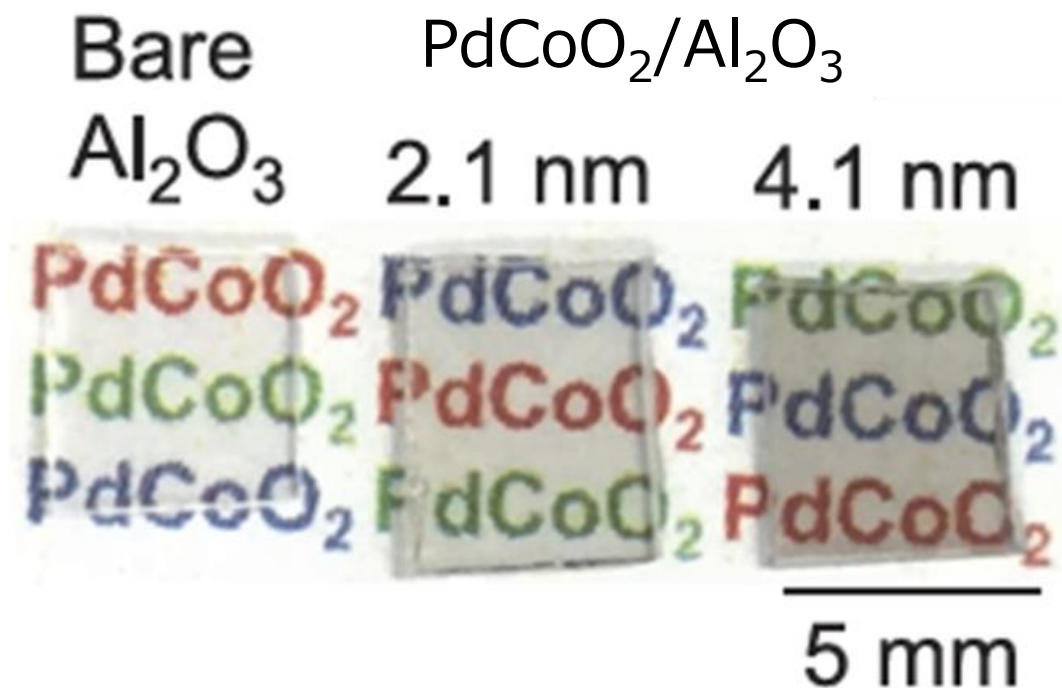
T. Harada *et al.*, Sci. Adv. **5**, eaax5733 (2019)

T. Harada and Y. Okada, APL Mater. **10**, 070902 (2022)

いずれもオープンアクセス

想定用途3 光学、光半導体素子

膜厚が薄いと良く光を透過

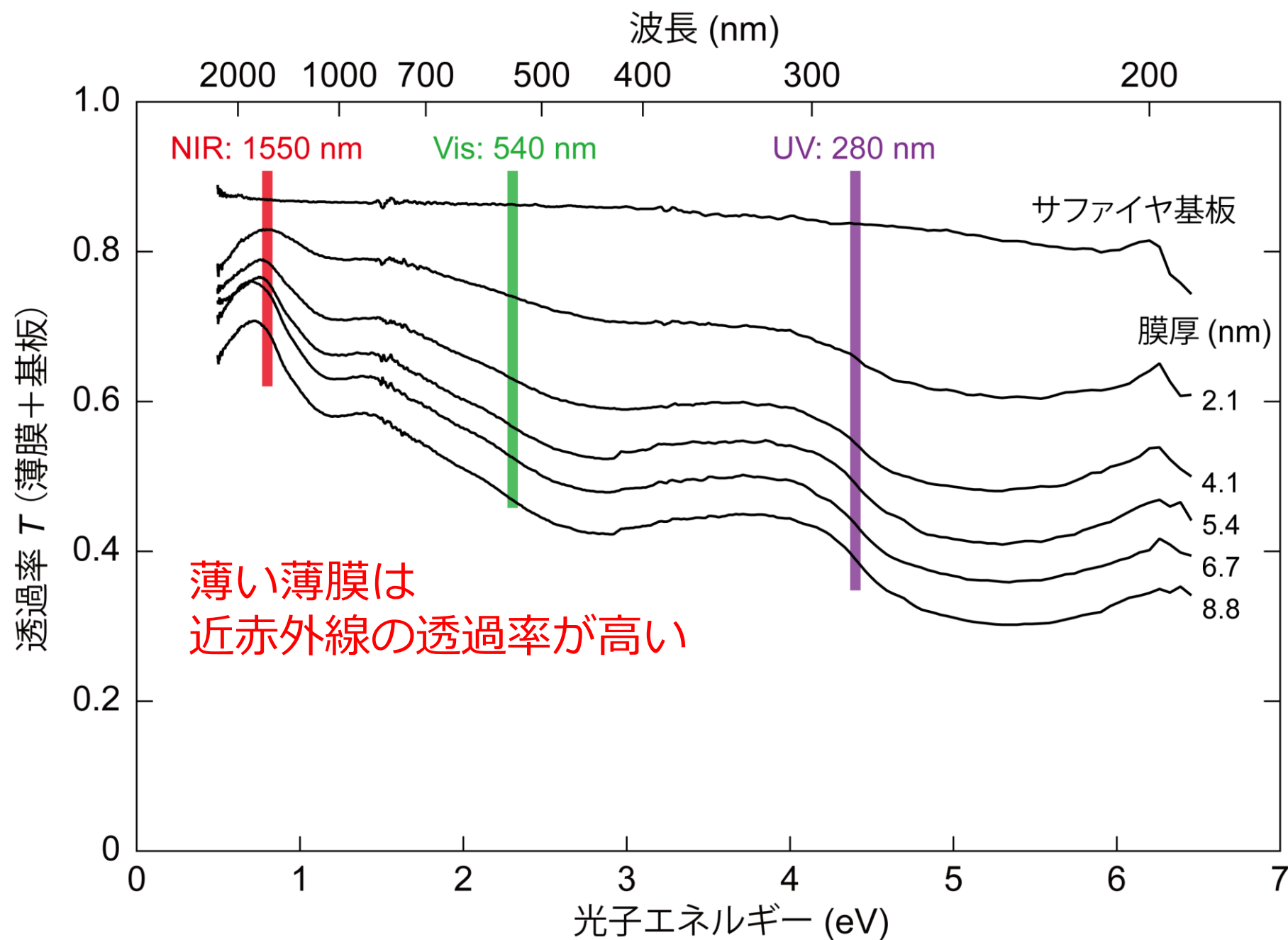


膜厚が厚いと鏡面



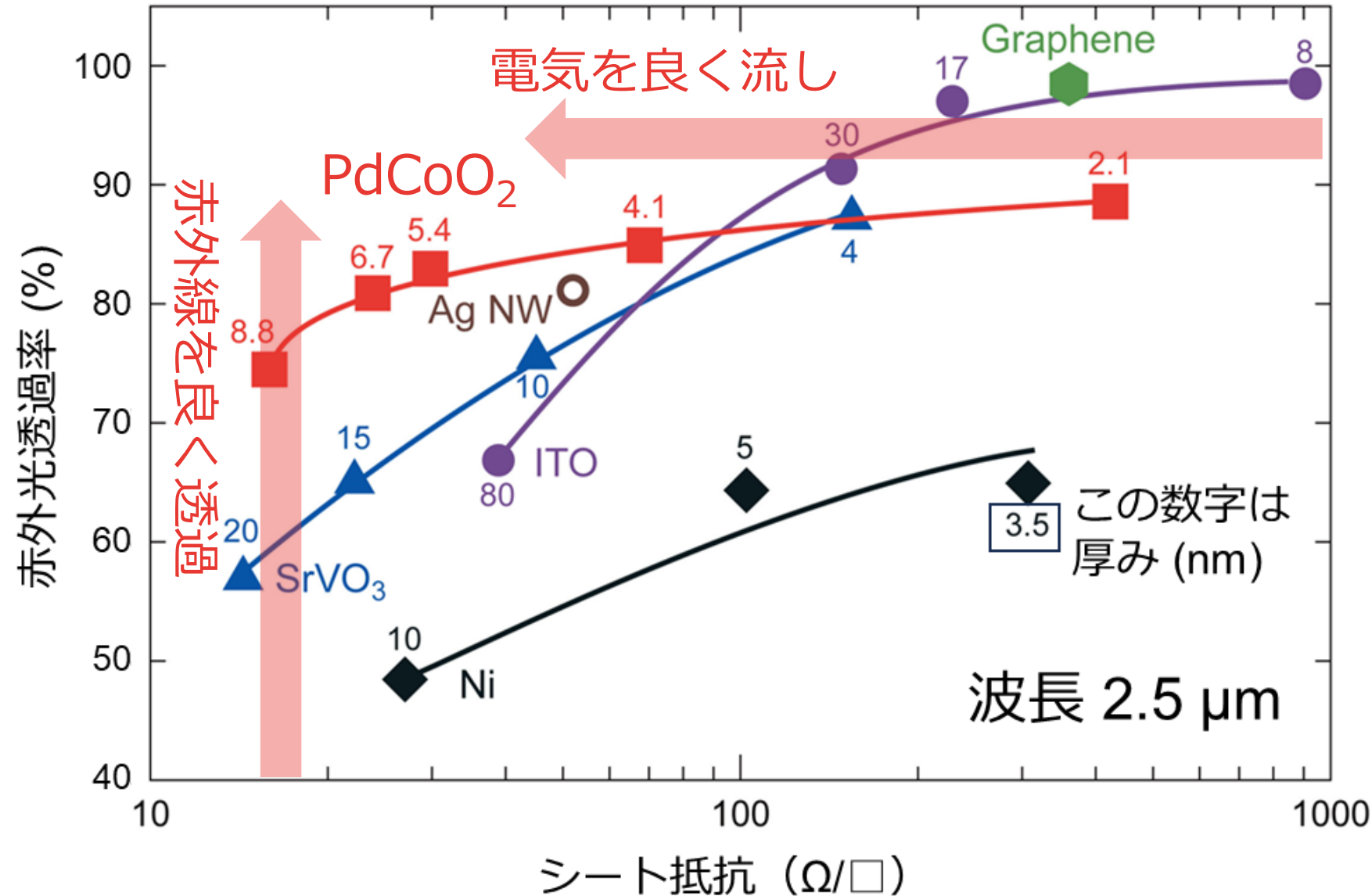
膜厚約30 nmの $\text{PdCoO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ウエハ

想定用途3 光学、光半導体素子



T. Harada *et al.*, APL Mater.
6, 046107 (2018) オープンアクセス

優れた近赤外～赤外透明導電性



T. Harada, Mater. Today Adv.
11, 100146 (2021) オープンアクセス

その他の想定用途

- 電極触媒

水素発生反応においてPtを超える活性

F. Podjaski *et al.*, Nat. Catal. **3**, 55 (2020)

G. Li *et al.*, ACS Energy Lett. **4**, 2185 (2019)

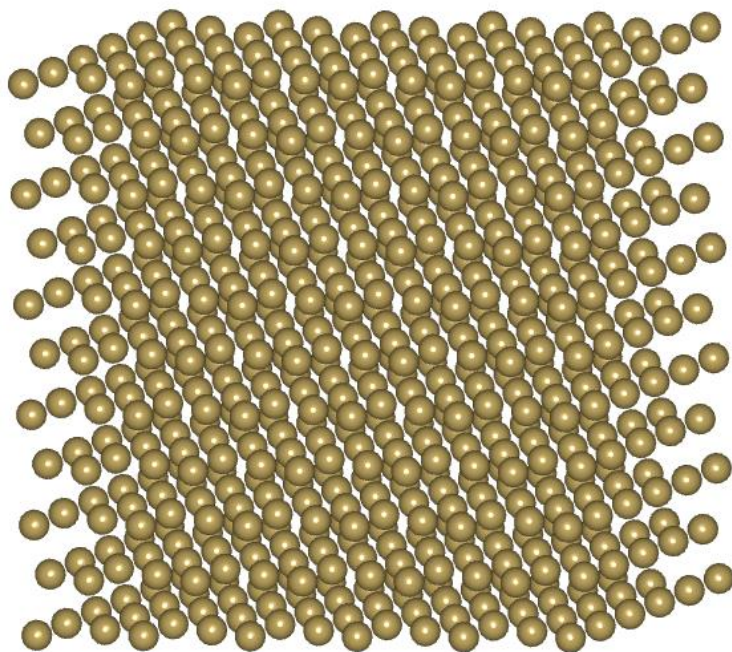
- 安価な薄膜テラヘルツ波発振源

ミスカット Al_2O_3 基板上の PdCoO_2 薄膜に、
フェムト秒レーザーパルスを照射するとTHz波を発生
現状、ZnTe結晶の25%程度の出力

P. Yordanov *et al.*, Adv. Mater. **35**, 2305622 (2023)

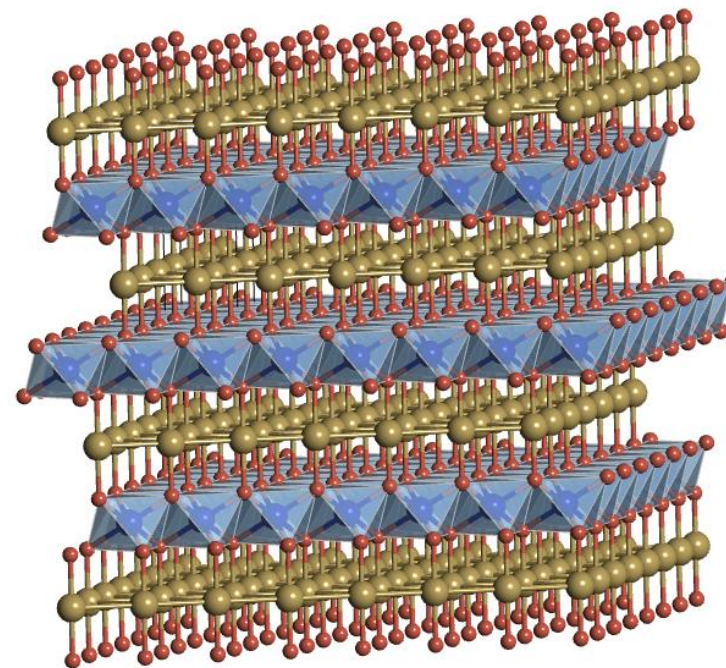
原料コスト：酸化物なのでPdの量は少ない

Pd



$$\rho = 10.8 \mu\Omega\text{cm}$$

PdCoO₂



$$\rho_{ab} = 2.6 \mu\Omega\text{cm}$$

原料コストの比較

	Ru	PdCoO ₂	PtCoO ₂
電気伝導度 (S/m) * バルク値	1.4×10 ⁷	3.9×10 ⁷	4.8×10 ⁷
原料コスト (yen/nm) * φ300 mm、厚み 1 nm あたり	1.89	1.73	2.68
シート伝導度あたりの 原料コスト (yen/S) * φ300 mm、電気伝導度はバルク値	135	45	56
次元性	3 次元	擬 2 次元	擬 2 次元

* 2024年4月の金属価格で算出

実用化に向けた課題

- 様々な基板の上に薄膜を成長する技術の開発
- 結晶の高品質化
- 微細化プロセス技術の開発
- デバイスに載せたときの性能評価
- 想定分野以外の用途探索

アピールポイント

- 通常の金属では錆びたり腐食してしまう環境でも、性能を発揮します。
- 本技術の検討用にテスト試料をご提供できます。
- 薄膜の作製方法について技術指導も可能です。

企業への期待

- 新材料の特徴を活かした製品の共同開発
- 想定外の応用分野での協業も歓迎
- 半導体分野では、微細配線やパワーデバイスへの応用に向けた協業
- 契約の形態は共同研究やライセンスを希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : パラジウムコバルト酸化物薄膜、デラフォサイト型酸化物薄膜、デラフォサイト型酸化物薄膜を有するショットキー電極、パラジウムコバルト酸化物薄膜の製造方法及びデラフォサイト型酸化物薄膜の製造方法
- 出願番号 : PCT/JP2023/012315
- 特許番号 : 台湾TWI873706B（成立）
- 出願人 : 物質・材料研究機構、田中貴金属工業
- 発明者 : 原田尚之、政広泰

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : デラフォサイト型酸化物薄膜の製造方法
及び酸化物薄膜
- 出願番号 : PCT/JP2024/045554
- 出願人 : 物質・材料研究機構、田中貴金属工業
- 発明者 : 原田尚之、政広泰、蒲保典

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構
外部連携部門 企業連携室

企業様向けお問い合わせフォーム
(スマホ対応)



<https://www.nims.go.jp/contact/collaboration.html>