

Oral presentation | 9 Applied Materials Science : 9.3 Nanoelectronics

📅 Thu. Sep 19, 2024 1:00 PM - 3:15 PM JST | Thu. Sep 19, 2024 4:00 AM - 6:15 AM UTC 🏢 D63
(Bandaijima Bldg)

[19p-D63-1~7] 9.3 Nanoelectronics

Takahide Oya(Yokohama Natl. Univ.), Shigeru Imai(立命館大)

1:00 PM - 1:30 PM JST | 4:00 AM - 4:30 AM UTC

[19p-D63-1]

[INVITED] Nanoscale Device Fabrication using Electron-beam Lithography (EBL) and Electroless Au Plating (ELGP) and Development of Applications

○Yutaka Majima¹ (1.Tokyo Tech, IIR)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[19p-D63-2]

Investigation of dependence on SiO₂ film covering for nanogap formation by electromigration method○(M2)Yuhki Tsutsui^{1,2}, Hisashi Shima², Hiroyuki Akinaga², Hiroshi Suga¹, Yasuhisa Naitoh² (1.Chiba Tech., 2.AIST)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[19p-D63-3]

Cu_{1.8}S Nanoplate Transistor○Haru Tanaka¹, Dongbao Yin¹, Seiichiro Izawa¹, Masaki Saruyama², Toshiharu Teranishi², Yutaka Majima¹ (1.Tokyo tech, 2.Kyoto Univ.)

◆ English Presentation

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[19p-D63-4]

Trapping single-C₆₀ molecules in liquid by static sub-nm gap electrodesHongsen Qiu¹, Yue Tian², Xiaohang Qiao⁴, Kazuhiko Hirakawa^{2,3}, ○Shaoqing Du^{1,2} (1.SIMIT-CAS, 2.IIS, UTokyo, 3.INQIE, UTokyo, 4.UOL)

◆ English Presentation

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[19p-D63-5]

Ortho-Para Nuclear Spin Isomer Fluctuations of H₂O molecule in H₂O@C₆₀ Single Molecule Transistors○(D)Tian Yue¹, Shaoqing Du^{1,3}, Katsushi Hashimoto⁵, Yoshifumi Hashikawa⁴, Murata Yasujiro⁴, Yoshiro Hirayama⁵, Kazuhiko Hirakawa^{1,2} (1.IIS, Univ.of Tokyo, 2.INQIE,Univ.of Tokyo, 3.SIMIT, CAS, 4.ICR, Kyoto Univ., 5.Phys. Dept., Tohoku Univ.)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[19p-D63-6]

Relationship between mixing ratio and electrical properties of AuPd alloy nanogap electrodes

○Takuma Sato¹, Yuhki Tsutsui¹, Masato Takei¹, Yasuhisa Naitoh², Kazuhito Tsukagoshi³, Hiroshi Suga¹ (1.Chiba-Tech, 2.AIST, 3.NIMS)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[19p-D63-7]

Improvement of Performance of Pt/TiO_x Junction Hydrogen Sensor by Miniaturization using Atom Migration

○Yasuhisa Naitoh¹, Shima Hisashi¹, Akinaga Hiroyuki¹ (1.AIST)

EBL と ELGP によるナノ構造造形とデバイス応用の展開

Nanoscale Device Fabrication using Electron-beam Lithography (EBL) and
Electroless Au Plating (ELGP) and Development of Applications

真島豊

Yutaka Majima

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所

Laboratory for Materials and Structures, Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology

E-mail: majima@msl.titech.ac.jp

ナノ構造には、極めて大きな内部圧力が加わることを理解・利用して造形することが肝要である。曲面と圧力差の関係をあらわすラプラスの法則 (Laplace's law) によると、物体内外の圧力差 Δp (N/m²) は、 $\Delta p = \gamma (1/r_1 \pm 1/r_2)$ (ただし、 γ (N/m) は表面張力、 r_1 、 r_2 は、主曲率の曲率半径、符号は、放物点、楕円点では正、双曲点では負) と表される。例えば、曲率半径 10 nm のナノワイヤを電子線リソグラフィ (Electron Beam Lithography: EBL) により固体基板上に造形し、その表面張力が 1 N/m とすると、ナノワイヤ内部には 100 MPa の大きな内部圧力が加わる。この内部応力はナノワイヤ形状の変化と、ナノワイヤ内部の結晶化をもたらす。

我々は、EBL と独自の無電解金めっき (Electroless Au Plating: ELGP) のプロセス開発を永らく進めてきた。EBL では、Si/SiO₂ 基板上にギャップ長 6 nm、ギャップ幅 10 nm、耐熱温度 500°C の白金ナノギャップ電極を作製するナノ造形技術確立した¹。ELGP では、白金ナノギャップ電極チップ表面に金を室温でヘテロエピタキシャル成長する技術確立した。ギャップ長は ELGP により狭窄し、金は表面エネルギーが最小となる球状となり、自己停止機能により電氣的に短絡することなく、ギャップ長 0.7 nm、耐熱温度 300°C のヘテロエピタキシャル球状 Au/Pt ナノギャップ電極を作製する技術確立した²。

本報告ではこれら EBL と ELGP を用いたナノ構造造形例を紹介する。また、ナノスケールにおける内部応力と強電

界を利用したデバイス応用として、一つの π 共役分子を半導体として用いる単分子トランジスタ^{3,4}、ELGP ナノポア DNA シーケンサー、ナノギャップガスセンサー⁵、二次元強誘電半導体を用いた面内分極強誘電電界効果型トランジスタメモリ⁶、ナノ構造誘起 L_{10} 規則化 CoPt 強磁性ナノワイヤ⁷ などについて紹介する。

EBLとELGPによるナノ構造造形とデバイス応用

ナノ材料の作製プロセス

トップダウン手法

1. 電子線リソグラフィ (EBL)

線幅 10 nm、ギャップ長 6 nm の
白金ナノギャップ電極 → 耐熱性 500°C

ボトムアップ手法

2. ナノスケール無電解金めっき (ELGP)

ヘテロエピタキシャル成長
表面エネルギー最小化、自己停止機能
ギャップ長 0.7 nm の金/白金ナノギャップ
電極 → 耐熱性 300°C

極限ナノスケールでのみ働く力

ナノワイヤ内の 1000 気圧の圧力による結晶化

3. ナノ構造誘起規則化法による L_{10} 強磁性 単結晶ナノワイヤ

生命科学

EBL で白金/Si 基板上にナノポア
ELGP でポア径を 2 nm まで狭窄
ナノポアを DNA が通過する際のイオン電流

11. ELGP ナノポア DNA シーケンサ

極限ナノスケールにおける電子機能デバイスの創製

ナノエレクトロニクス

トンネル効果

エネルギー準位の量子化

4. 単分子共鳴トンネルトランジスタ

乾電池数個で絶縁破壊電界

5. ナノギャップ・ナノワイヤガスセンサ

強誘電体の自発分極の反転

6. 面内分極を用いた 2 次元強誘電半導体不揮発メモリ

7. ナノクロスポイント電極による強誘電トンネル接合

有機エレクトロニクス

有機半導体薄膜界面での電荷分離

スピン反転

三重項-三重項消滅 (TTA)

8. 高効率光アップコンバージョン

9. 乾電池 1 本で光る青色有機 EL

10. 有機太陽電池の高効率化に向けた界面構造制御

Fig. 1 Nanoscale device fabrication using EBL and ELGP and their applications

本研究は、JST-CREST (JPMJCR22B4)、MEXT D2MatE (JPMXP1122683430)、JST-K program (JPMJJP23H5)、JST-スーパーハイウェイの支援により行われた。

[1] Y. Choi, A. Kwon and Y. Majima, *Appl. Phys. Express*, **12**, 125003 (2019).

[2] Y. Choi, T. Teranishi, and Y. Majima, *Appl. Phys. Express*, **44**, 025002 (2019).

[3] C. Ouyang, K. Hashimoto, H. Tsuji, E. Nakamura, and Y. Majima, *ACS Omega*, **3**, 5125-5130 (2018).

[4] D. Yin, M. Furushima, H. Tanaka, S. Izawa, T. Ono, R. Shintani, Y. Majima, *Adv. Electronic Mater.* accepted (2024).

[5] T. T. Phan, T. Tosa, Y. Majima, *Sensors and Actuators: B. Chemical*, **342**, 130098 (2021).

[6] S. Miao, R. Nitta, S. Izawa, Y. Majima, *Adv. Sci.*, **10**, 2303032 (2023).

[7] R. Toyama, S. Kawachi, J. Yamaura, T. Fujita, Y. Murakami, H. Hosono, Y. Majima, *Nanoscale Adv.*, **4**, 5270 (2022).

エレクトロマイグレーション法によるナノギャップ形成の SiO₂ 膜被覆効果の検証

Investigation of dependence on SiO₂ film covering for nanogap formation by electromigration method

千葉工大¹, 産総研² (M2) 筒井 優貴^{1,2}, 島 久², 秋永 広幸², 菅 洋志¹, 内藤 泰久²

Chiba Tech¹, AIST² Y. Tsutsui^{1,2}, H. Shima², H. Akinaga², H. Suga¹ and Y. Naitoh²

E-mail: ys-naitou@aist.go.jp

【背景・目的】ナノギャップ電極は、絶縁体基板上にナノスケールの空間を2枚の金属電極で隔てた構造で、電圧印加によって可逆的な電気抵抗変化を示す。この抵抗スイッチ効果を利用して不揮発性メモリ（ナノギャップメモリ）としての応用も研究されている[1]。ナノギャップメモリに多結晶白金 (Pt) ナノギャップを用いることで、600℃の高温環境下での安定した動作が確認されており、ナノギャップの形状が不揮発性メモリとしての性能に影響することが報告されている[2]。前回、我々はナノギャップにアルミナ膜をコーティングすることで、スイッチ動作中の構造変化量を抑制できることを示した[3]。本研究では、シリコンデバイスではより一般的に用いられる SiO₂ 膜による影響を検証した。

【実験方法】Fig. 1(a)にサンプルの概略図を示す。SiO₂の絶縁膜を備えたシリコン基板上に Ti, Pt, Ti, SiO₂の順にそれぞれ1 nm, 30 nm, 1 nm, 30 nm 成膜し、電子ビーム露光装置にてパターンニングした。電子ビーム描画装置にて作製したレジストパターンを、ECR イオンシャワー装置で SiO₂ に転写した。レジストを除去した後、Ar ミリング装置で SiO₂ のパターンをハードマスクとして下層の Pt をパターンニングし、Pt のナノワイヤ構造を作製した。Ar ミリングの条件を調節し、ハードマスクの SiO₂ とその下層の Ti を除去して再表面を Pt とした素子 (Sample1) とハードマスクの SiO₂ を残して最表面を SiO₂ とした素子 (Sample2) を作製した。作製したナノワイヤに対して feedback-controlled electromigration (FBEM [4]) を用い、ナノギャップ形成を行った。この FBEM および電気特性評価は真空プローバーにて実施した。

【結果・考察】Fig. 1(b)は、Sample1 の FBEM 後の SEM 像であり、Fig. 1(c)は、Sample2 の FBEM 後の SEM 像である。双方ともに電極エッジ部分のファセット構造が表れているが、Sample2 では内部グレインが成長しており、Sample1 は成長がないままと違いが表れている。この結果は、電極表面に SiO₂ 層が存在することで、Pt 原子の結晶化が促進された可能性がある。以上のように、本研究を通じて、SiO₂ 膜もアルミナ膜と同様に形成構造に影響を与えることが明らかになった。発表では、これらの結果の詳細、および SiO₂ 膜が抵抗スイッチ効果にあたる影響についても紹介する予定である。

【参考文献】[1] Y. Naitoh, *et al.*, Nanotechnology 17, 5669-5674 (2006). [2] H. Suga, *et al.*, Scientific Reports 6, 34961 (2016). [3] 筒井 他, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-A501-1 (2023). [4] D. R. Strachan *et al.*, Appl. Phys. Lett. 86, 043109 (2005).

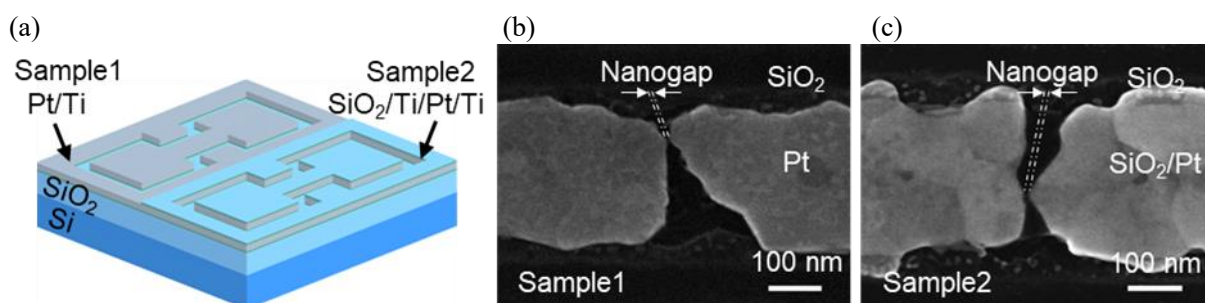


Fig. 1 (a) Schematic of nanowires without (right) and with SiO₂ covered structures (left), respectively. FESEM images of typical nanogaps which were formed using FBEM without (b) and with SiO₂ cap-layer (c).

Cu_{1.8}S ナノプレートトランジスタ

Cu_{1.8}S Nanoplate Transistor

田中晴¹, Dongbao Yin¹, 伊澤誠一郎¹, 猿山雅亮², 寺西利治², 真島豊¹

Haru Tanaka¹, Dongbao Yin¹, Seiichiro Izawa¹, Masaki Saruyama²,
Toshiharu Teranishi², Yutaka Majima¹

¹東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所

²京都大学 化学研究所

¹Laboratory for Materials and Structures, Institute of Innovative Research,
Tokyo Institute of Technology

²Institute for Chemical Research, Kyoto University

E-mail: tanaka.h.cy@m.titech.ac.jp

硫化銅は低毒、安価なイオン伝導体であり、金属銅の原料、触媒、蛍光塗料、帯電防止剤、熱電変換材料などに用いられている。また、CuS、Cu_{1.75}S、Cu_{1.8}S、Cu_{1.95}S、Cu₂Sなどの多様な組成をとり、立方晶系、斜方晶系、六方晶系、単斜晶系など、組成に依存した多様な結晶系が存在する。同じ組成においても、立方晶系と斜方晶系、あるいは六方晶系と単斜晶系のように結晶多形が存在する。これらの組成の中で Cu_{1.8}S は、格子中の銅欠損がアクセプター準位を形成し、優れた p 型半導体特性を示すことで知られている^[1,2]。しかしながら、Cu_{1.8}S ナノ粒子のトランジスタ特性については、これまでにほとんど報告がない。我々はこれまでに六方晶系の Cu_{1.8}S ナノプレートを精密合成し、単離してきた^[3]。前回、Cu_{1.8}S ナノプレートをナノギャップ間に導入した素子の電気特性を報告した^[4]。

今回我々は、電子線リソグラフィ (EBL) によりギャップ長 57 nm、ギャップ幅 400 nm の白金ナノギャップ電極を作製した。対辺距離 57 nm、厚さ 7 nm の六方晶の Cu_{1.8}S ナノプレートをナノギャップ電極間に導入し、トランジスタ特性を検討した。Cu_{1.8}S ナノプレートのナノギャップ電極間への導入は、分散溶液の基板への滴下により行った。Cu_{1.8}S ナノプレートトランジスタの SEM 像を観察したところ、凝集した Cu_{1.8}S ナノプレートがナノギャップ電極間に導入されていた。Cu_{1.8}S ナノプレートトランジスタは、Fig. 1 に示すようなゲート変調特性を示した。

本研究は、JST-CREST(JPMJCR22B4、JPMJCR21B4)、京都大学化学研究所国際共同利用・共同研究(2024-118)、東京工業大学フロンティア材料研究所共同研究の支援により行われた。

[1] S. W. Gu, Y. X. Zhang, J. Guo, J. Feng, Z. H. Ge, *Mater. Res. Express*, **7**, 015923, (2020).

[2] P. Qin, X. Qian, Z. H. Ge, L. Zheng, J. Feng., L. D. Zhao, *Inorg. Chem. Front.*, **4**, 1192, (2017).

[3] Z. Li, M. Saruyama, T. Asaka, Y. Tatetsu, T. Teranishi, *Science*, **373**, 332 (2021).

[4] 田中晴, Yin Dongbao, 土畑瑛嗣, 新田亮介, 伊澤誠一郎, 猿山雅亮, 寺西利治, 真島豊,
第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23p-1BB-11 (2024).

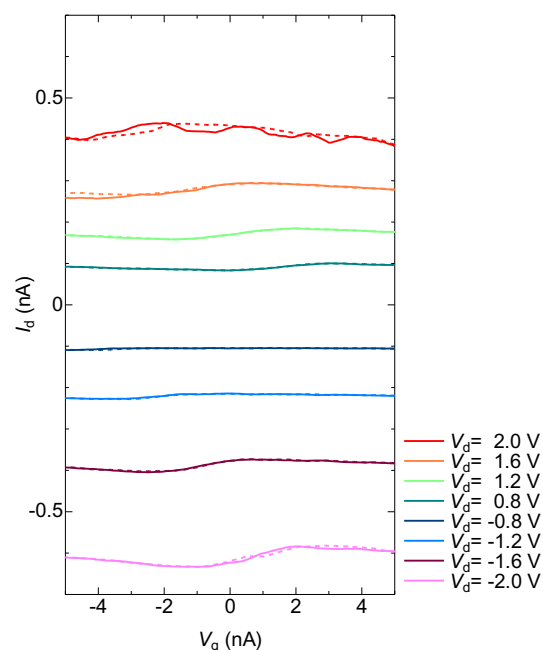


Figure. 1 Cu_{1.8}S ナノプレートトランジスタのゲート変調 (I_d - V_g) 特性

Trapping single-C₆₀ molecules in liquid by static sub-nm gap electrodes

¹SIMIT-CAS, ²IIS/³INQIE, Univ. of Tokyo, ⁴Univ. of Liverpool

Hongsen Qiu¹, Yue Tian², Xiaohang Qiao⁴, Kazuhiko Hirakawa^{2,3}, [○]Shaoqing Du^{1,2}

E-mail: sqdu@mail.sim.ac.cn

Understanding electron transports of a single molecules in liquid has attracted widespread attention due to its great significance in nanoelectronics and molecular dynamics. To date, scanning tunnelling microscopy break junction (STM-BJ) and mechanically controllable break junction (MCBJ) have been used to read single molecular conductance in liquid, demonstrating the feasibility of obtaining single-molecule information in sub-nm gap structures under mechanical dynamic strain. However, both methods necessitate the dynamic adjustment of the distance between the two electrodes, thereby incorporating the effect of the mechanical squeezing force induced by the electrodes on the molecules into the results. In order to obtain the properties of single molecules in a more natural state, it is necessary to develop a method of measuring the current flowing through the molecules without introducing electrode motion.

In this work, we use the static sub-nm gap electrodes to investigate single-C₆₀ molecular electron transports in liquid. We created a sub-nm gap in a gold nanojunction by using electromigration [1, 2], and immerse it in a liquid cell. By measuring the current flow of the gold electrodes, we observed the conductance change due to single-molecule trapping. Fig. 1(a) shows the traces of the conductance G normalized by the quantum conductance G_0 ($\equiv 2e^2/h$) of the sub-nm gap electrodes in air, toluene solvent, and fullerene solution environments. We see when the device was in air and pure toluene solvent, the conductance value was $\sim 0.0021 G_0$. After the C₆₀ solution was dropped, the conductance moved upward randomly as a whole. Furthermore, we measured this sample for 1 hour and plot the histogram of conductance in Fig. 1(b). The histogram for C₆₀ solution shows an additional peak around $0.00235 G_0$ which is consistent with theoretical calculations [3], indicating that the observed change in conductance may be associated with the capture of single molecules. This result tells us that the static sub-nm electrodes have the potential to capture single molecules in liquid, and the random capture process may come from Brownian motion.

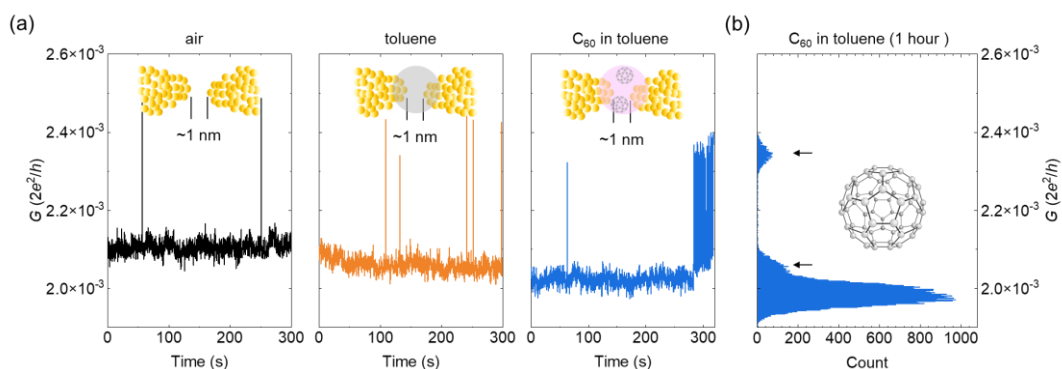


Fig.1 (a) Traces of the conductance G normalized by the quantum conductance G_0 ($\equiv 2e^2/h$) in air, toluene, and C₆₀ solution. The bias voltage for all measurements was 50 mV to avoid geometric changes of the gold electrodes. (b) Histogram of conductance of fullerene solution within one hour.

Reference: [1] A. Umeno and K. Hirakawa, Appl. Phys. Lett. 94 162103 (2009). [2] Y. Tian, et al., Appl. Phys. Express 16, 085001 (2023). [3] S. Bilan, et al., Phys. Rev. B 85, 205403 (2012).

Ortho-Para Nuclear Spin Isomer Fluctuations of H₂O molecule in H₂O@C₆₀ Single Molecule Transistors

H₂O@C₆₀ 単一分子トランジスタ中の水分子のオルソ-パラ核スピン異性体間揺らぎ

¹東大生研・²ナノ量子機構・³上海マイクロシステム情報技術研、⁴京大化研、⁵東北大理

田 珮¹, 杜 少卿^{1,3}, 橋本克史⁵, 橋川祥史⁴, 村田靖次郎⁴, 平山祥郎⁵, 平川一彦^{1,2}

¹IIS/²INQIE, Univ. of Tokyo, ³SIMIT, CAS, ⁴ICR, Kyoto Univ., ⁵Phys. Dept., Tohoku Univ.

°Yue Tian¹, Shaoqing Du³, Katsushi Hashimoto⁵, Yoshifumi Hashikawa⁴, Yasujiro Murata⁴, Yoshiro Hirayama⁵, Kazuhiko Hirakawa^{1,2}

E-mail: tianyue@iis.u-tokyo.ac.jp

Single molecule transistors (SMTs) are useful structures for probing electronic transport properties of individual molecules. Furthermore, it can read out electronic states of encapsulated atoms/molecules in the endohedral fullerene cage[1]. The nuclear spin isomers of a H₂O molecule in H₂O@C₆₀, where a single water molecule is encapsulated within a C₆₀ fullerene cage, is attractive for its potential applications to quantum memory. In our previous study, we performed tunneling spectroscopy measurements and observed para (p)- and ortho (o)-states in tunneling conductance spectra, which means they fluctuate very quickly between the p-and o-states. However, a systematic investigation on how the o-p fluctuation takes place is still missing.

Figure 1(a) is the Coulomb stability diagram of a H₂O@C₆₀ SMT measured at 300 mK. We focused our attention on the excited states below 10meV (rotational excitations), whose excitation energies reflect the nuclear spin states of the H₂O molecule. The excited state lines with energy of 1meV and 2meV that terminate inside the Coulomb diamond correspond to transitions between excited states. We think the 2meV excitation arises from the rotational excitation of the ortho-water molecule, (1₀₁-1₁₀), and 1 meV excitation state corresponds to the transition from the excited 1₁₀(N-1) of the o-water to the excited 1₁₁(N) state of the p-water. This diagonal transition is one of the paths for the o-p fluctuation of the water molecule. In addition to this path, more paths are available for the o-p fluctuation. A conduction electron flips the H nuclear spin in H₂O molecule by fulfilling the conservation of the energy and the total angular momentum. Such processes can be indicated by diagonal arrows in Fig. 1(b). The vertical arrows represent possible rotational excitations of o-H₂O and p-H₂O. The details will be discussed in the presentation.

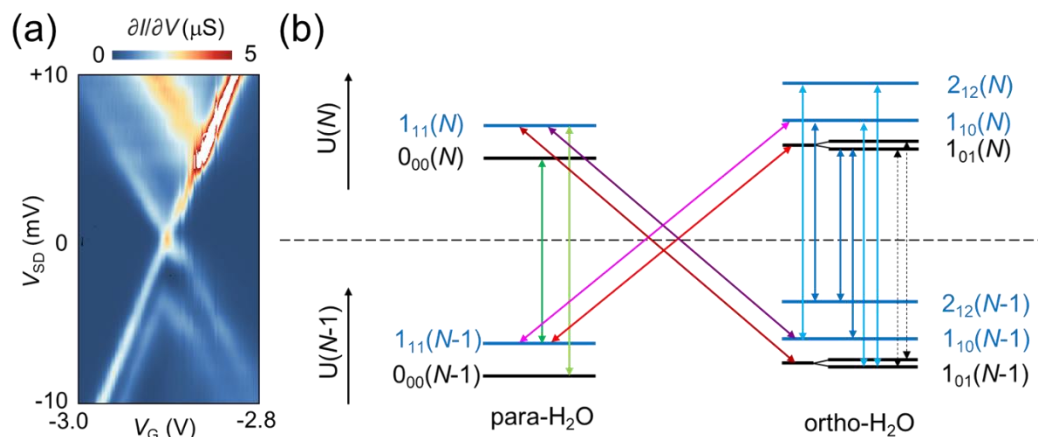


Fig.1 (a) Coulomb stability diagram of a H₂O@C₆₀ SMT at 300mK (b) Full map of the possible transition paths for rotational excitations.

References [1] S. Du et al., Appl. Phys. Exp. **13**, 10 (2020). [2] S. Du et al., Nano Lett. **21**, 24 (2021).

AuPd 混合ナノギャップ電極の電気特性と混合比の影響

Electrical properties of AuPd mixed nanogap electrodes: mixing ratio influence

千葉工大¹, 産総研², 物材機構³ ○(M1)佐藤 拓真¹, (M2)筒井 優貴¹, (D)竹井 慎登¹,内藤 泰久², 塚越 一仁³, 菅 洋志¹Chiba-Tech¹, AIST², NIMS³ ○T. Sato¹, Y. Tsutsui,¹ M. Takei¹,Y. Naitoh², K. Tsukagoshi³, and H. Suga¹E-mail: hiroshi.suga@it-chiba.ac.jp

【背景・目的】ナノギャップ電極は数ナノメートルの間隙を隔てた2つの金属電極から構成され、印加電圧によって抵抗の変化が起きる抵抗スイッチ効果を持ち¹、不揮発性メモリへの応用が期待できる。先行研究において、この抵抗スイッチ効果の電気特性が電極材料の融点に依存することが報告されている²。電極材料に混合材料を用いた際の電気特性は明らかになっていないため、本研究はAuとPdを混合した電極材料のナノギャップ電極を作製し、その電気特性を計測した。

【実験方法】Fig. 1に測定した素子の概略図を示す。厚さ250 nmのSiO₂の絶縁膜を備えた厚さ525 μmのSi基板上に、電子線リソグラフィによってパターンを作製し、AuPd (8:2, 6:4, 3:7)を膜厚10 nmで抵抗加熱蒸着した。エレクトロマイグレーション法により、電圧を印加し電極間に接続された金属ナノワイヤを破断し、ナノギャップを形成した。電気測定は、 1×10^{-2} Pa以下の真空及び室温環境下で行った。電極間に0-10 Vの掃引電圧を印加し高抵抗から低抵抗に遷移(Reset)させ、0.2 Vの電圧で抵抗値の読み取りを行った。その後電流制限を伴った0-10 Vの掃引電圧印加を2回行い高抵抗から低抵抗に遷移(Set)させ、それぞれの動作後に0.2 Vの電圧で抵抗値の読み取りを行った。この電圧印加のサイクルを1000サイクル行い、電気特性を評価した。

【結果・結論】Fig. 2(a)に AuPd (3:7)ナノギャップ電極の Reset 時の $I-V$ 特性を示す。ナノギャップ電極は電流値が最大に到達してから急激に減少する負性微分抵抗 (NDR: Negative Differential Resistance) を発現する。この NDR を開始する電圧値を peak voltage と定義した。Fig. 2 (b)に Au と Pd の混合率と peak voltage の関係を示す。この結果から AuPd ナノギャップ電極において、Pd の混合率が大きくなると peak voltage が低下する傾向がみられた。この傾向は材料の融点の上昇に反しており、電極を構成する Au, Pd の原子のいずれかが優先して動作するなど別の要因が考えられる。講演ではこれらの詳細について議論する。

【参考文献】(1) Y. Naitoh, *et al.*, Nanotechnology 17, 5669 (2006). (2) S. Furuta, *et al.*, Jpn. Jour. Appl. Phys 47, 1806, (2008).

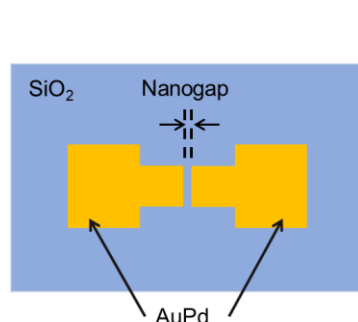


Fig. 1 Schematic diagram of the device structure of the AuPd nanogap electrodes.

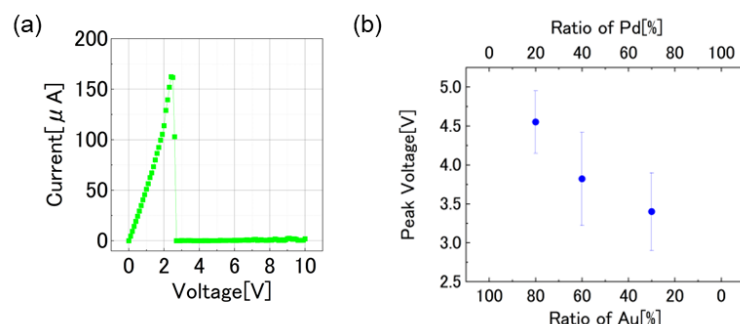


Fig. 2 (a) Typical $I-V$ characteristics of AuPd (3:7) nanogap electrodes during reset operation. (b) Relationship between Au/Pd mixing ratio and peak voltage.

原子移動を用いた微細化による Pt/TiO_x 接合型水素センサの高性能化 Improvement of Performance of Pt/TiO_x Junction Hydrogen Sensor by Miniaturization using Atom Migration

産総研 °内藤泰久, 島久, 秋永広幸

AIST °Y. Naitoh, H. Shima, and H. Akinaga

E-mail: ys-naitou@aist.go.jp

近年、脱炭素社会のキーテクノロジーとして水素エネルギーの利活用が提唱されている。しかし、水素は空気中の爆発限界が 4~75%と非常に広い。その為、安全な水素利用について、高感度で省エネルギーな水素センサが必要である。このセンサにはセンシング部に機能性酸化物を用いるものも利用されているが、その感度向上のためにナノ構造を取り入れる手法が盛んに報告される[1]。その中で我々のグループは、ナノギャップ形成技術を応用し、室温でも応答可能な水素センサを開発した[2]。しかしこのセンサは、高湿度時に室温でのセンシングはできず、50℃以上の加熱を必要としていた。本研究では、湿潤環境下で室温動作を実現するため、さらなる微細化による高感度化を目指した。前回の素子では、図(a)左図のように TiO_x 超薄膜の厚さナノギャップの幅により、高さ・横方向の 2 次元のナノサイズ化を実現していたが、今回はさらに、電圧印加による局所的に原子移動(Forming 動作)を発生させ、局所的な導電性パスを形成することで、図(a)右図や図(b)のように奥行方向も合わせた 3 次元のナノサイズ化を実現した。その結果、湿度によりセンサ感度の減衰は多少あるものの、室温で相対湿度 88%の環境下であっても十分にセンシング可能な水素センサを実現した。さらに動作電圧も 1V から 1mV に低減可能であることを実証し、感度向上だけでなく大幅な省電力化も同時に実現した[3]。講演ではこれらの詳細について報告する。

[1] H. Gu, *et al.*, *Sensors* **12** (2012) 5517-5550.

[2] Y. Naitoh, *et al.*, *Sens. Actuators B Chem.* **371** (2022) 132531.

[3] Y. Naitoh, *et al.*, *SSRN* (2024); 10.2139/ssrn.4781236.

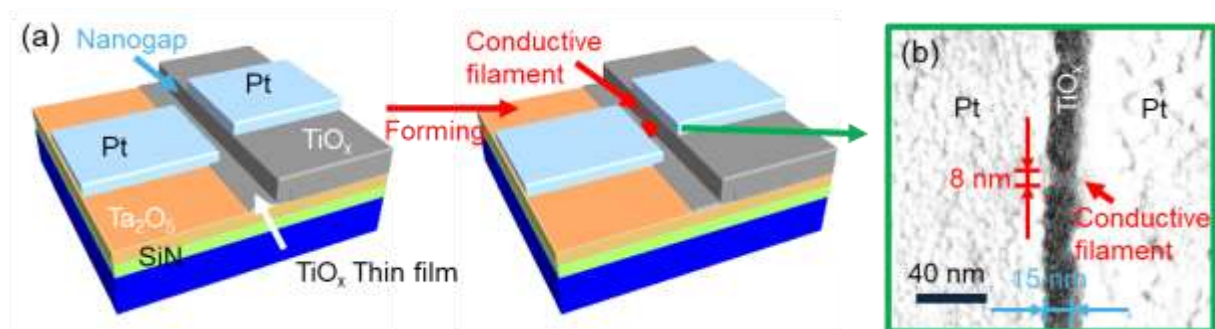


Figure (a) Schematic diagrams of hydrogen sensor before and after forming operation (b) FESEM image of a conductive filament fabricated by atom migration.