

Thu. Nov 4, 2021

P 会場

Poster (core time)

[2P01-37] Poster

座長

15:30-16:30 吉田靖雄 (金沢大)

16:30-17:30 勝部大樹 (長岡技術科学大)

3:30 PM - 5:30 PM P会場 (P会場)

[2P01] Study of Large Barkhausen Jump at

Ferromagnetic Wire

\*Miyuki Ninomiya<sup>1</sup>, Norimichi Watanabe<sup>1</sup>, Susumu Abe<sup>1</sup>,  
Akiyoshi Nakayama<sup>1</sup> (1. Kanagawa University,  
Graduate School of Engineering)

[2P02S] Electronic structure of Cu(001)c(4×2)-Bi  
surface

\*Nanao Morii<sup>1</sup>, Kei Nagatomo<sup>1</sup>, Koichi Takemura<sup>1</sup>,  
Takumi Ouchi<sup>1</sup>, Hitomi Uryu<sup>1</sup>, Shunsuke Nagao<sup>1</sup>, Rio  
Kawazoe<sup>1</sup>, Takushi Iimori<sup>2</sup>, Fumio Komori<sup>1</sup>, Hiroyuki  
Hirayama<sup>3</sup>, Kan Nakatsuji<sup>1</sup> (1. Department of  
Materials Science and Engineering, Tokyo Institute  
of Technology, 2. Institute for Solid State Physics,  
University of Tokyo, 3. Department of Physics,  
Tokyo Institute of Technology)

[2P03] Electronic structure of Bi(110) ultra-thin films  
grown on Si(111)√3×√3-B substrates

\*Takumi Ouchi<sup>1</sup> (1. Department of Materials science  
and Engineering, Tokyo Institute of Technology)

[2P04] Band dispersion measurements of rubrene single  
crystals by ARUPS and comparison with  
theoretical calculations

\*Masaki Murakami<sup>1</sup>, Keisuke Fukutani<sup>2</sup>, Daijiro Okaue<sup>3</sup>,  
Ken-ichi Fukui<sup>2,3</sup>, Hiroyuki Ishii<sup>4</sup>, Satoshi Kera<sup>1,2</sup> (1.  
Graduate School of Science and Engineering, Chiba  
University., 2. Institute for Molecular Science., 3.  
Osaka University., 4. Tsukuba University.)

[2P05] **MD Simulation on Exfoliation of Carbon Fiber-  
Resin Interface in Carbon Fiber Reinforced  
Plastics**

\*Kohei Suzuki<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>2</sup> (1. Department  
of Electrical Engineering, Tokyo University of Science,  
2. Department of Physics, Tokyo University of  
Science)

[2P06] Roughness of a vicinal surface with faceted  
macrosteps

\*noriko akutsu<sup>1</sup> (1. Osaka Electro-Communication  
University)

[2P07] Roughness exponent and a scaling function for  
the assembling/disassembling of faceted  
macrosteps

\*noriko akutsu<sup>1</sup> (1. Osaka Electro-Communication  
University)

[2P08S] Thermal effects for surface chemical state of  
PTFE irradiated by N<sup>+</sup> ion beam

\*Yoshitaka Nakayama<sup>1</sup>, Takano Ichiro<sup>2</sup> (1. Graduate  
School of Engineering Kogakuin University, 2. Faculty  
of Engineering Kogakuin University)

[2P09] STM study of one-dimensional polymerization  
using crown ether ordered array

\*Ayano Yoshida<sup>1</sup>, Fumi Nishino<sup>1</sup>, Toyo Kazu Yamada<sup>1</sup>  
(1. Chiba Univ.)

[2P10S] Atom switch by STM current on SrTiO<sub>3</sub>(100)-  
√13×√13 surfaces

\*Kyungmin Kim<sup>1</sup>, Shiro Yamazaki<sup>2</sup>, Daiki Katsube<sup>3</sup>,  
Hayato Yamashita<sup>1</sup>, Masayuki Abe<sup>1</sup> (1. Graduate  
School of Engineering Science, Osaka University, 2.  
Department of Physics, School of Science, Tokyo  
Institute of Technology, 3. Department of Electrical,  
Electronics and Information Engineering, Nagaoka  
University of Technology)

[2P11] Development of atomic-resolution holography  
microscope (II)

\*Hiroshi Daimon<sup>1</sup>, Hiroki Momono<sup>2</sup>, Hiroyuki Matsuda<sup>3</sup>,  
Laszlo Toth<sup>4</sup>, Yu Masuda<sup>5</sup>, Kouichi Moriguchi<sup>5</sup>, Keiko  
Ogai<sup>5</sup>, Soichiro Takeuchi<sup>6</sup>, Yusuke Hashimoto<sup>6</sup>,  
Tomohiro Matsushita<sup>6</sup> (1. Toyota Physical and  
Chemical Research Institute, 2. NIT, Yonago College,  
3. Institute for Molecular Science, 4. Univ. Debrecen,  
5. APCO Ltd., 6. Nara Institute of Science and  
Technology (NAIST))

[2P12] High spatial resolution imaging of water  
clusters on Cu(110) by atomic force microscopy

\*Akitoshi Shiotari<sup>1,2</sup>, Yoshiaki Sugimoto<sup>1</sup> (1.  
Department of Advanced Materials Science, The  
University of Tokyo, 2. Fritz-Haber Institute of the  
Max-Planck Society)

[2P13S] Study of large Barkhausen jump in laminated  
magnetic thin films

\*Atsushi Matsuo<sup>1</sup>, Norimichi Watanabe<sup>1</sup>, Susumu  
Abe<sup>1</sup>, Akiyoshi Nakayama<sup>1</sup> (1. Graduate School of  
Engineering, Kanagawa University)

[2P14S] Relationship of substrate surface roughness to  
photocatalytic effect of titanium dioxide thin

film

\*Takeda Katsuyuki<sup>1</sup>, Takano Ichiro<sup>2</sup> (1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Kogakuin University, 2. Department of Electrical and Electronic Engineering, Kogakuin University)

- [2P15] Characterization of deep interface states in SiO<sub>2</sub>/B-doped CVD diamond using the transient photocapacitance method  
\*osamu maida<sup>1</sup>, Taishi Kodama<sup>1</sup>, Daisuke Kanemoto<sup>1</sup>, Tetsuya Hirose<sup>1</sup> (1. Graduate School of Engineering, Osaka University)

- [2P16S] Extraction of spinodal decomposition regulators in Shirasu porous glass thin film formation  
\*Nachi Chaya<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Kyosuke Teramura<sup>2</sup>, Tomoyasu Yano<sup>2</sup>, Michiko Kurihara<sup>3</sup>, Chieko Kondo<sup>3</sup> (1. National Institute of Technology, Miyakonojo College, 2. MITSUI MINING & SMELTING CO.,LTD., 3. Takachiho Shirasu)

- [2P17S] Development of phase separation sputtering technology using the kinetic energy of sputtered particles  
\*Ayumu Tanaka<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Kyosuke Teramura<sup>2</sup>, Tomoyasu Yano<sup>2</sup>, Michiko Kurihara<sup>3</sup>, Chieko Kondo<sup>3</sup> (1. National Institute of Technology, Miyakonojo College, 2. MITSUI MINING & SMELTING CO.,LTD., 3. Takachiho Shirasu)

- [2P18] Properties of TiO<sub>2</sub> Films fabricated by reactive sputtering with CO gas  
\*Mamiko Kobayashi<sup>1</sup>, Ozu Ikeda<sup>1</sup>, Eight Utsugi<sup>1</sup>, Kyota Noma<sup>1</sup>, Takahisa Ichinohe<sup>1</sup>, Hideki Ohno<sup>1</sup> (1. National Institute of Technology, Tokyo College)

- [2P19S] Decoloration voltage dependence of electrochromic properties of tungsten oxide films prepared by reactive sputtering  
\*kosuke Hosaka<sup>1</sup>, Reiko Miyoshi<sup>1</sup>, Mian Md Shurz<sup>1</sup>, Nakano Takeo<sup>1</sup> (1. seikei university)

- [2P20] Electronic states of thin films of  $\pi$ -conjugated molecule DBP oriented on Ag(110) substrate  
\*shunya otaki<sup>1</sup>, keisuke fukutani<sup>2</sup>, satoshi kera<sup>1,2</sup> (1. Graduate School of Science and Engineering, Chiba Univ, 2. Institute for Molecular Science)

- [2P21] Low-temperature synthesis of epitaxial LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub> thin films  
\*Kaishu Soeda<sup>1</sup>, Masnori Owari<sup>1</sup>, Susumu Shiraki<sup>1</sup> (1.

Nippon Institute of Technology)

- [2P22] Deformation Analysis of graphene using Scanning Kelvin Probe technique  
Kikuo Mori<sup>1</sup>, Miyuki Tanaka<sup>2</sup>, Sumiko Kawabata<sup>2</sup>, Mitsuhiro Okada<sup>2</sup>, Toshitaka Kubo<sup>2</sup>, \*tetsuo shimizu<sup>2</sup> (1. Yazaki Research Laboratory, 2. AIST)

- [2P23S] Development of analysis method for thermoelectric performance of CNT thin films and its application to semiconductor purity and alignment dependence  
\*Junei Kobayashi<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>2</sup> (1. Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science, 2. Faculty of Science, Tokyo University of Science)

- [2P24] Evaluation of local exciton dynamics of single-layer WS<sub>2</sub> using time-resolved multi-probe STM  
\*Ryosuke Mizuno<sup>1</sup>, Hiroyuki Mogi<sup>1</sup>, Naoki Wada<sup>2</sup>, Yasumitsu Miyata<sup>2</sup>, Yusuke Arashida<sup>1</sup>, Shoji Yoshida<sup>1</sup>, Osamu Takeuchi<sup>1</sup>, Hidemi shigekawa<sup>1</sup> (1. School of Science and Engineering, University of Tsukuba, 2. Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University)

- [2P25S] Particle size effect on photothermal conversion of black carbon particles  
\*Mako Yamamoto<sup>1</sup>, Miu Hurusawa<sup>1</sup>, Mikiya Kaneda<sup>1</sup>, Yoshikazu Homma<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1</sup> (1. Tokyo University of Science)

- [2P26S] Structural identification of  $\alpha$ -terthiophene single molecule junction by surface-enhanced Raman scattering  
\*Shuji Kobayashi<sup>1</sup>, Satoshi Kaneko<sup>1,2</sup>, Tomoaki Nishino<sup>1</sup> (1. Tokyo Institute of Technology, 2. JST PRESTO)

- [2P27] Improvement of thermoelectric power of carbon nanotubes by Pd adsorption  
\*Moka Miyabe<sup>1</sup>, Nakamura Kengo<sup>1</sup>, Yamamoto Takahiro<sup>1</sup> (1. Tokyo University of Science)

- [2P28S] Fabrication of copper oxide nanowires by thermal oxidation method and observation of Cu<sub>2</sub>O/CuO heterostructure  
\*Hiroki Morishita<sup>1</sup>, Shunjiro Fujii<sup>1</sup>, Shin-ichi Honda<sup>1</sup>, Toshitaka Kubo<sup>2</sup>, Tetsuo Shimizu<sup>2</sup> (1. University of Hyogo, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

- [2P29Y] Theoretical study on optimization of thermoelectric properties of nitrogen-doped

carbon nanotubes

\*manaho matsubara<sup>1</sup>, Kenji Sasaoka<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1</sup>, Hidetoshi Fukuyama<sup>1</sup> (1. Tokyo University of Science)

[2P30] Growth process and morphology of Titanium oxide nanowire

\*satoko kuwano<sup>1</sup>, hayato sato<sup>1</sup>, naoki saito<sup>1</sup>, shinnosuke sasaki<sup>1</sup>, hitoshi suzuki<sup>1</sup>, akiko nomura<sup>2</sup>, kazuyo omura<sup>2</sup>, yotoshi noriharu<sup>2,3</sup> (1. Tohoku Gakuin University, 2. Tohoku University, 3. Kyushu University)

[2P31] Molecular dynamics analysis for rotational motions of water molecules encapsulated in a carbon nanotube

\*kenji sasaoka<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1,2</sup> (1. Water Frontier Research Center, Tokyo University of Science, 2. Graduate School of Science, Osaka University)

[2P32] Film thickness evaluation of porous organic thin films fabricated at the air/liquid interface

\*Yuto Fujita<sup>1</sup>, Kanae Yamanami<sup>1</sup>, Ryu Asari<sup>1</sup>, Kazuma Matsui<sup>1</sup>, Tomoko K. Shimizu<sup>1</sup> (1. Keio University)

[2P33S] Influence of a nitrogen dope in a TiO<sub>2</sub> layer on Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> thin-film solar cells

\*Masaki Yanagisawa<sup>1</sup>, Takano Ichiro<sup>2</sup> (1. Graduate School of Engineering, Kogakuin University, 2. Kogakuin University)

[2P34S] Extraction of antibacterial regulators of Shirasu thin film and elucidation of antibacterial mechanisms

\*Yuka Yasuda<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Michiko Kurihara<sup>2</sup>, Chieko Kondo<sup>2</sup> (1. National Institute of Technology, Miyakonojo College, 2. Takachiho Shirasu)

[2P35] Molecular dynamics analysis of shearing behavior in nano-scale thin-film

\*Ayase Nomura<sup>1</sup>, Naoki Matamoto<sup>1</sup>, Kazuhiro Tada<sup>1</sup> (1. National Institute of Technology, Toyama College)

[2P36S] Construction of a novel imaging platform for electric fields in artificial cell membranes

\*Hironori Kageyama<sup>1,3</sup>, Daiki Ando<sup>2,3</sup>, Madoka Sato<sup>1,3</sup>, Maki Komiya<sup>3</sup>, Teng Ma<sup>4</sup>, Kensaku Kanomata<sup>5</sup>, Fumihiko Hirose<sup>5</sup>, Ayumi Hirano-Iwata<sup>3,4</sup> (1. Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, 2. Graduate School of Engineering, Tohoku University, 3. Research Institute of Electrical

Communication (RIEC), Tohoku University, 4. Advanced Institute for Material Research (WPI-AIMR), Tohoku University, 5. Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University)

[2P37] Effect of non-equilibrium space on initial aggregation of amyloid  $\beta$  at lipid membrane interface

\*akane iida<sup>1</sup>, Hideki Nabika<sup>2</sup> (1. Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, 2. Faculty of Science, Yamagata University)

[/] 企業展示 (コアタイム)

株式会社アールデック

入江工研株式会社

株式会社荏原製作所

株式会社大阪真空機器製作所

サエス・ゲッターズ・エス・ピー・エー 日本支店

産業技術総合研究所

シエンタ オミクロン株式会社

株式会社島津製作所

ツジ電子株式会社

株式会社テクノポート

株式会社東京インスツルメンツ

東京電子株式会社

株式会社トヤマ

ブルカージャパン株式会社

株式会社ユニソク

ライボルト株式会社

---

 Poster (core time)

## [2P01-37] Poster

座長

15:30-16:30 吉田靖雄 (金沢大)

16:30-17:30 勝部大樹 (長岡技術科学大)

Thu. Nov 4, 2021 3:30 PM - 5:30 PM P会場 (P会場)

### [2P01] Study of Large Barkhausen Jump at Ferromagnetic Wire

\*Miyuki Ninomiya<sup>1</sup>, Norimichi Watanabe<sup>1</sup>, Susumu Abe<sup>1</sup>, Akiyoshi Nakayama<sup>1</sup> (1. Kanagawa University, Graduate School of Engineering)

### [2P02S] Electronic structure of Cu(001)c(4×2)-Bi surface

\*Nanao Morii<sup>1</sup>, Kei Nagatomo<sup>1</sup>, Koichi Takemura<sup>1</sup>, Takumi Ouchi<sup>1</sup>, Hitomi Uryu<sup>1</sup>, Shunsuke Nagao<sup>1</sup>, Rio Kawazoe<sup>1</sup>, Takushi Iimori<sup>2</sup>, Fumio Komori<sup>1</sup>, Hiroyuki Hirayama<sup>3</sup>, Kan Nakatsuji<sup>1</sup> (1. Department of Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2. Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, 3. Department of Physics, Tokyo Institute of Technology)

### [2P03] Electronic structure of Bi(110) ultra-thin films grown on Si(111)√3×√3-B substrates

\*Takumi Ouchi<sup>1</sup> (1. Department of Materials science and Engineering, Tokyo Institute of Technology)

### [2P04] Band dispersion measurements of rubrene single crystals by ARUPS and comparison with theoretical calculations

\*Masaki Murakami<sup>1</sup>, Keisuke Fukutani<sup>2</sup>, Daijiro Okaue<sup>3</sup>, Ken-ichi Fukui<sup>2,3</sup>, Hiroyuki Ishii<sup>4</sup>, Satoshi Kera<sup>1,2</sup> (1. Graduate School of Science and Engineering, Chiba University., 2. Institute for Molecular Science., 3. Osaka University., 4. Tsukuba University.)

### [2P05] MD Simulation on Exfoliation of Carbon Fiber-Resin Interface in Carbon Fiber Reinforced Plastics

\*Kohei Suzuki<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>2</sup> (1. Department of Electrical Engineering, Tokyo University of Science, 2. Department of Physics, Tokyo University of Science)

### [2P06] Roughness of a vicinal surface with faceted macrosteps

\*noriko akutsu<sup>1</sup> (1. Osaka Electro-Communication University)

### [2P07] Roughness exponent and a scaling function for the assembling/disassembling of faceted macrosteps

\*noriko akutsu<sup>1</sup> (1. Osaka Electro-Communication University)

### [2P08S] Thermal effects for surface chemical state of PTFE irradiated by N<sup>+</sup> ion beam

\*Yoshitaka Nakayama<sup>1</sup>, Takano Ichiro<sup>2</sup> (1. Graduate School of Engineering Kogakuin University, 2. Faculty of Engineering Kogakuin University)

### [2P09] STM study of one-dimensional polymerization using crown ether ordered array

\*Ayano Yoshida<sup>1</sup>, Fumi Nishino<sup>1</sup>, Toyo Kazu Yamada<sup>1</sup> (1. Chiba Univ.)

### [2P10S] Atom switch by STM current on SrTiO<sub>3</sub>(100)-√13×√13 surfaces

\*Kyungmin Kim<sup>1</sup>, Shiro Yamazaki<sup>2</sup>, Daiki Katsube<sup>3</sup>, Hayato Yamashita<sup>1</sup>, Masayuki Abe<sup>1</sup> (1. Graduate School of Engineering Science, Osaka University, 2. Department of Physics, School of Science, Tokyo Institute of Technology, 3. Department of Electrical, Electronics and

Information Engineering, Nagaoka University of Technology)

[2P11] Development of atomic-resolution holography microscope (II)

\*Hiroshi Daimon<sup>1</sup>, Hiroki Momono<sup>2</sup>, Hiroyuki Matsuda<sup>3</sup>, Laszlo Toth<sup>4</sup>, Yu Masuda<sup>5</sup>, Kouichi Moriguchi<sup>5</sup>, Keiko Ogai<sup>5</sup>, Soichiro Takeuchi<sup>6</sup>, Yusuke Hashimoto<sup>6</sup>, Tomohiro Matsushita<sup>6</sup> (1. Toyota Physical and Chemical Research Institute, 2. NIT, Yonago College, 3. Institute for Molecular Science, 4. Univ. Debrecen, 5. APCO Ltd., 6. Nara Institute of Science and Technology (NAIST))

[2P12] High spatial resolution imaging of water clusters on Cu(110) by atomic force microscopy

\*Akitoshi Shiotari<sup>1,2</sup>, Yoshiaki Sugimoto<sup>1</sup> (1. Department of Advanced Materials Science, The University of Tokyo, 2. Fritz-Haber Institute of the Max-Planck Society)

[2P13S] Study of large Barkhausen jump in laminated magnetic thin films

\*Atsushi Matsuo<sup>1</sup>, Norimichi Watanabe<sup>1</sup>, Susumu Abe<sup>1</sup>, Akiyoshi Nakayama<sup>1</sup> (1. Graduate School of Engineering, Kanagawa University)

[2P14S] Relationship of substrate surface roughness to photocatalytic effect of titanium dioxide thin film

\*Takeda Katsuyuki<sup>1</sup>, Takano Ichiro<sup>2</sup> (1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Kogakuin University, 2. Department of Electrical and Electronic Engineering, Kogakuin University)

[2P15] Characterization of deep interface states in SiO<sub>2</sub>/B-doped CVD diamond using the transient photocapacitance method

\*osamu maida<sup>1</sup>, Taishi Kodama<sup>1</sup>, Daisuke Kanemoto<sup>1</sup>, Tetsuya Hirose<sup>1</sup> (1. Graduate School of Engineering, Osaka University)

[2P16S] Extraction of spinodal decomposition regulators in Shirasu porous glass thin film formation

\*Nachi Chaya<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Kyosuke Teramura<sup>2</sup>, Tomoyasu Yano<sup>2</sup>, Michiko Kurihara<sup>3</sup>, Chieko Kondo<sup>3</sup> (1. National Institute of Technology, Miyakonojo College, 2. MITSUI MINING & SMELTING CO.,LTD., 3. Takachiho Shirasu)

[2P17S] Development of phase separation sputtering technology using the kinetic energy of sputtered particles

\*Ayumu Tanaka<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Kyosuke Teramura<sup>2</sup>, Tomoyasu Yano<sup>2</sup>, Michiko Kurihara<sup>3</sup>, Chieko Kondo<sup>3</sup> (1. National Institute of Technology, Miyakonojo College, 2. MITSUI MINING & SMELTING CO.,LTD., 3. Takachiho Shirasu)

[2P18] Properties of TiO<sub>2</sub> Films fabricated by reactive sputtering with CO gas

\*Mamiko Kobayashi<sup>1</sup>, Ozu Ikeda<sup>1</sup>, Eight Utsugi<sup>1</sup>, Kyota Noma<sup>1</sup>, Takahisa Ichinohe<sup>1</sup>, Hideki Ohno<sup>1</sup> (1. National Institute of Technology, Tokyo College)

[2P19S] Decoloration voltage dependence of electrochromic properties of tungsten oxide films prepared by reactive sputtering

\*kosuke Hosaka<sup>1</sup>, Reiko Miyoshi<sup>1</sup>, Mian Md Shurz<sup>1</sup>, Nakano Takeo<sup>1</sup> (1. seikei university)

[2P20] Electronic states of thin films of  $\pi$ -conjugated molecule DBP oriented on Ag(110) substrate

\*shunya otaki<sup>1</sup>, keisuke fukutani<sup>2</sup>, satoshi kera<sup>1,2</sup> (1. Graduate School of Science and Engineering, Chiba Univ, 2. Institute for Molecular Science)

[2P21] Low-temperature synthesis of epitaxial LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub> thin films

\*Kaishu Soeda<sup>1</sup>, Masnori Owari<sup>1</sup>, Susumu Shiraki<sup>1</sup> (1. Nippon Institute of Technology)

- [2P22] Deformation Analysis of graphene using Scanning Kelvin Probe technique  
Kikuo Mori<sup>1</sup>, Miyuki Tanaka<sup>2</sup>, Sumiko Kawabata<sup>2</sup>, Mitsuhiro Okada<sup>2</sup>, Toshitaka Kubo<sup>2</sup>, \*tetsuo shimizu<sup>2</sup> (1. Yazaki Research Laboratory, 2. AIST)
- [2P23S] Development of analysis method for thermoelectric performance of CNT thin films and its application to semiconductor purity and alignment dependence  
\*Junei Kobayashi<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>2</sup> (1. Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science, 2. Faculty of Science, Tokyo University of Science)
- [2P24] Evaluation of local exciton dynamics of single-layer WS<sub>2</sub> using time-resolved multi-probe STM  
\*Ryosuke Mizuno<sup>1</sup>, Hiroyuki Mogi<sup>1</sup>, Naoki Wada<sup>2</sup>, Yasumitsu Miyata<sup>2</sup>, Yusuke Arashida<sup>1</sup>, Shoji Yoshida<sup>1</sup>, Osamu Takeuchi<sup>1</sup>, Hidemi shigekawa<sup>1</sup> (1. School of Science and Engineering, University of Tsukuba, 2. Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University)
- [2P25S] Particle size effect on photothermal conversion of black carbon particles  
\*Mako Yamamoto<sup>1</sup>, Miu Hurusawa<sup>1</sup>, Mikiya Kaneda<sup>1</sup>, Yoshikazu Homma<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1</sup> (1. Tokyo University of Science)
- [2P26S] Structural identification of  $\alpha$ -terthiophene single molecule junction by surface-enhanced Raman scattering  
\*Shuji Kobayashi<sup>1</sup>, Satoshi Kaneko<sup>1,2</sup>, Tomoaki Nishino<sup>1</sup> (1. Tokyo Institute of Technology, 2. JST PRESTO)
- [2P27] Improvement of thermoelectric power of carbon nanotubes by Pd adsorption  
\*Moka Miyabe<sup>1</sup>, Nakamura Kengo<sup>1</sup>, Yamamoto Takahiro<sup>1</sup> (1. Tokyo University of Science)
- [2P28S] Fabrication of copper oxide nanowires by thermal oxidation method and observation of Cu<sub>2</sub>O/CuO heterostructure  
\*Hiroki Morishita<sup>1</sup>, Shunjiro Fujii<sup>1</sup>, Shin-ichi Honda<sup>1</sup>, Toshitaka Kubo<sup>2</sup>, Tetsuo Shimizu<sup>2</sup> (1. University of Hyogo, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
- [2P29Y] Theoretical study on optimization of thermoelectric properties of nitrogen-doped carbon nanotubes  
\*manaho matsubara<sup>1</sup>, Kenji Sasaoka<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1</sup>, Hidetoshi Fukuyama<sup>1</sup> (1. Tokyo University of Science)
- [2P30] Growth process and morphology of Titanium oxide nanowire  
\*satoko kuwano<sup>1</sup>, hayato sato<sup>1</sup>, naoki saito<sup>1</sup>, shinnosuke sasaki<sup>1</sup>, hitoshi suzuki<sup>1</sup>, akiko nomura<sup>2</sup>, kazuyo omura<sup>2</sup>, yotoshi noriharu<sup>2,3</sup> (1. Tohoku Gakuin University, 2. Tohoku University, 3. Kyushu University)
- [2P31] Molecular dynamics analysis for rotational motions of water molecules encapsulated in a carbon nanotube  
\*kenji sasaoka<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1,2</sup> (1. Water Frontier Research Center, Tokyo University of Science, 2. Graduate School of Science, Osaka University)
- [2P32] Film thickness evaluation of porous organic thin films fabricated at the air/liquid interface  
\*Yuto Fujita<sup>1</sup>, Kanae Yamanami<sup>1</sup>, Ryu Asari<sup>1</sup>, Kazuma Matsui<sup>1</sup>, Tomoko K. Shimizu<sup>1</sup> (1. Keio University)

- [2P33S] Influence of a nitrogen dope in a  $\text{TiO}_2$  layer on  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$  thin-film solar cells  
 \*Masaki Yanagisawa<sup>1</sup>, Takano Ichiro<sup>2</sup> (1. Graduate School of Engineering, Kogakuin University, 2. Kogakuin University)
- [2P34S] Extraction of antibacterial regulators of Shirasu thin film and elucidation of antibacterial mechanisms  
 \*Yuka Yasuda<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1</sup>, Michiko Kurihara<sup>2</sup>, Chieko Kondo<sup>2</sup> (1. National Institute of Technology, Miyakonojo College, 2. Takachiho Shirasu)
- [2P35] Molecular dynamics analysis of shearing behavior in nano-scale thin-film  
 \*Ayase Nomura<sup>1</sup>, Naoki Matamoto<sup>1</sup>, Kazuhiro Tada<sup>1</sup> (1. National Institute of Technology, Toyama College)
- [2P36S] Construction of a novel imaging platform for electric fields in artificial cell membranes  
 \*Hironori Kageyama<sup>1,3</sup>, Daiki Ando<sup>2,3</sup>, Madoka Sato<sup>1,3</sup>, Maki Komiya<sup>3</sup>, Teng Ma<sup>4</sup>, Kensaku Kanomata<sup>5</sup>, Fumihiko Hirose<sup>5</sup>, Ayumi Hirano-Iwata<sup>3,4</sup> (1. Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, 2. Graduate School of Engineering, Tohoku University, 3. Research Institute of Electrical Communication (RIEC), Tohoku University, 4. Advanced Institute for Material Research (WPI-AIMR), Tohoku University, 5. Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University)
- [2P37] Effect of non-equilibrium space on initial aggregation of amyloid  $\beta$  at lipid membrane interface  
 \*akane iida<sup>1</sup>, Hideki Nabika<sup>2</sup> (1. Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, 2. Faculty of Science, Yamagata University)
- [/] 企業展示 (コアタイム)  
 株式会社アールデック  
 入江工研株式会社  
 株式会社荏原製作所  
 株式会社大阪真空機器製作所  
 サエス・ゲッターズ・エス・ピー・エー 日本支店  
 産業技術総合研究所  
 シエンタ オミクロン株式会社  
 株式会社島津製作所  
 ツジ電子株式会社  
 株式会社テクノポート  
 株式会社東京インスツルメンツ  
 東京電子株式会社  
 株式会社トヤマ  
 ブルカージャパン株式会社  
 株式会社ユニソク  
 ライボルト株式会社

## 強磁性線における大バルクハウゼンジャンプに関する研究

○二宮 美勇気, 渡邊 騎通\*, 阿部 晋, 中山 明芳

神奈川県立大学大学院 工学研究科

### Study of Large Barkhausen Jump at Ferromagnetic Wire

○Miyuki Ninomiya, Norimichi Watanabe\*, Susumu Abe and Akiyoshi Nakayama

Kanagawa University, Graduate School of Engineering

#### 1. はじめに

強磁性線の線軸を中心に繰り返しひねり応力を加えると、強磁性線の芯部は弾性、外周部は塑性変形し、保磁力の異なる複合磁性層を形成する[1]。この強磁性線の線軸方向に外部磁界を印加し、外周部の磁化の向きを変化させることにより、極低周波においても確実に出力パルス電圧を発生させる事ができる。この出力パルス電圧の半値幅を  $50\mu\text{s}$  以上に広げることができれば、電源を必要としないセンサに応用することも可能になる。本研究の目的は、強磁性線のひねり加工の条件やひねり処理時の張力依存性などを調べ、出力パルス電圧の半値幅を広げることである。

#### 2. 実験

測定系の回路を図1に示す。励磁コイル中に2本の検出コイルを逆極性で直列に接続し、その片側の検出コイルに長さ 25 mm の試料を挿入する。従って、励磁磁界はキャンセルされ、試料の磁束変化だけが観測される。本実験では、Fe-Co-V 系バイカルロイ合金の強磁性線を直径  $250\mu\text{m}$  まで線引きし、試料の線軸を中心に繰り返しひねりを加えた。図2に、周波数 50 [Hz]、大きさ 1350 [A/m] の励磁磁界を印加したときのパルス電圧波形を示す。400 mV の出力電圧が観測されている。図3にパルス電圧の最大値の周波数特性を示す。励磁磁界の周波数が 10Hz 以下の低周波領域でも出力電圧が低下することなく、200 mV 一定の出力電圧が得られている。このことから、強磁性線に磁氣的複合構造が形成され、大バルクハウゼンジャンプが発現していると考えられる。

#### 3. まとめ

Fe-Co-V 強磁性線にひねり処理を施し、大バルクハ

ウゼンジャンプによる励磁周波数に依存しない出力電圧を観測した。

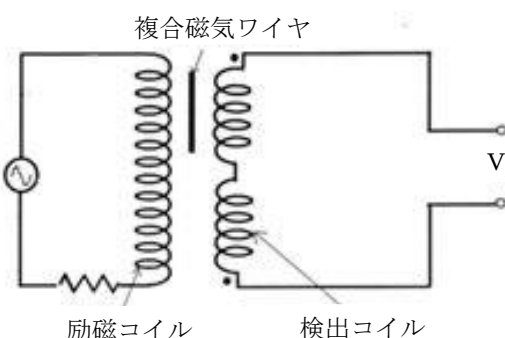


図1 測定回路

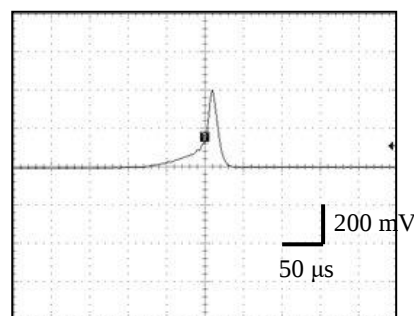


図2 出力電圧波形

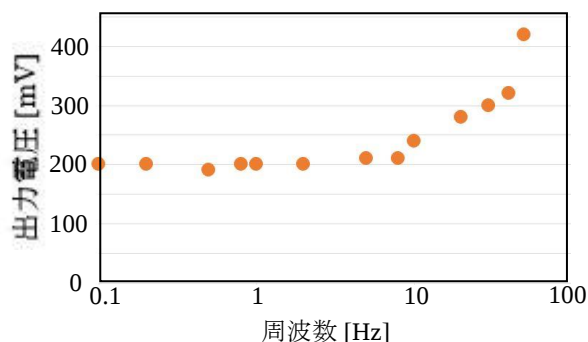


図3 出力電圧の周波数特性

#### 参考文献

[1] S. Abe, et al. IEEE Trans.Magn., 30, 4635 (1994).

\*E-mail: ft102002ho@kanagawa-u.ac.jp

## Cu(001)c(4×2)-Bi 表面の電子状態

○森井 七生<sup>1</sup>, 永友 慶<sup>1</sup>, 竹村 晃一<sup>1</sup>, 大内 拓実<sup>1</sup>, 瓜生 瞳美<sup>1</sup>, 長尾 俊佑<sup>1</sup>,  
河添 理央<sup>1</sup>, 飯盛 拓嗣<sup>2</sup>, 小森 文夫<sup>1</sup>, 平山 博之<sup>3</sup>, 中辻 寛<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学物質理工学院, <sup>2</sup> 東京大学物性研究所, <sup>3</sup> 東京工業大学理学院

## Electronic structure of Cu(001)c(4×2)-Bi surface

○Nanao Morii<sup>1</sup>, Kei Nagatomo<sup>1</sup>, Koichi Takemura<sup>1</sup>, Takumi Ouchi<sup>1</sup>, Hitomi Uryu<sup>1</sup>, Shunsuke Nagao<sup>1</sup>,  
Rio Kawazoe<sup>1</sup>, Takushi Iimori<sup>2</sup>, Fumio Komori<sup>1</sup>, Hiroyuki Hirayama<sup>3</sup> and Kan Nakatsuji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>2</sup>Institute for Solid State Physics, University of Tokyo <sup>3</sup>Department of Physics, Tokyo Institute of Technology

Bi が吸着した金属表面においては、スピン分裂バンドがしばしば報告される。これは、Bi の大きなスピン軌道相互作用に起因するラシュバ効果によるものと考えられている<sup>1)</sup>。本研究で扱う Bi/Cu(001)表面では、Bi の被覆率の変化によって 1×1 (低被覆率)、c(2×2) (0.5 ML)、9(√2×√2)R45° (0.56 ML)、p(10×10) (0.6 ML) と様々な再構成表面が確認されており、c(2×2)表面においてはラシュバ効果によるスピン分裂バンドが報告されている<sup>2,3)</sup>。また、0.25 ML 吸着させた 1×1 表面を 250 K 以下に冷却すると、Bi が最表面層の Cu と置換した c(4×2)構造に変化する<sup>4)</sup>。しかし電子状態については詳細に調べられていないため、本研究では角度分解光電子分光 (ARPES) を用いて c(4×2)-Bi 表面の電子状態を調べた。

試料は以下の手順で作製した。まず、Cu(001)単結晶基板を Ar<sup>+</sup>イオンスパッタリング (1 keV) とアニール (~900 K) を繰り返して清浄化した。次に Bi を室温蒸着し、200 K 以下に保持した低温マニピュレーターに移すことで冷却した。この試料を低速電子回折 (LEED) で観察したところ、Fig. 1(a)に示す鮮明なダブルドメインの c(4×2)-Bi パターンを確認できた。

Figure 1(b)は、1×1-Cu の表面ブリルアンゾーンにおける  $\bar{\Gamma}-\bar{M}$  方向に沿って測定した c(4×2)-Bi 表面のバンド分散である。清浄 Cu 表面の表面状態については  $\bar{M}$  点付近に存在していたタム状態が Bi 蒸着により完全に消滅し、 $\bar{\Gamma}$ 点付近の  $S_7$  バンドに結合エネルギーの小さい方へ 0.2 eV、エネルギーシフトが見られた。その他の表面状態にはほとんど変化が見られなかった。また、 $A_1-A_3$  で示している新たな表面状態が確認された。

このうち、 $A_3$  は先行研究で報告された c(2×2)-Bi 表面の  $I_1$  バンドと結合エネルギー、波数共に類似することから、Bi sp と Cu 3d の混成に由来する状態であると考えられる<sup>3)</sup>。 $A_1, A_2$  については c(4×2)-Bi に特有の状態で、他の Bi/Cu(001)再構成表面には類似するものは見られない。また、今回は  $\bar{\Gamma}-\bar{M}$ 、 $\bar{\Gamma}-\bar{X}$  の 2 方向を測定したが、ラシュバ効果によるスピン分裂バンドの徴候はいずれも見られなかった。

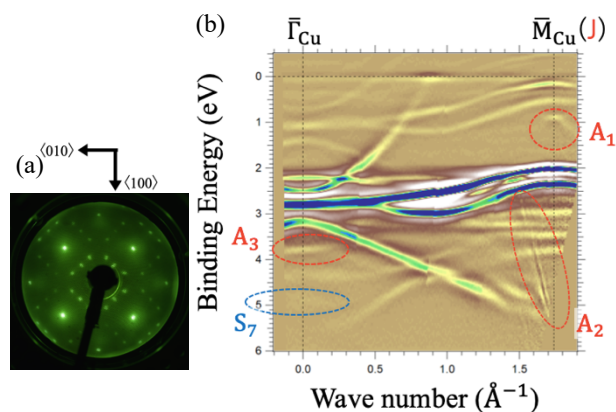


Fig. 1 Cu(001)c(4×2)-Bi表面のLEEDパターン(a)、および  $\bar{\Gamma}-\bar{M}$  方向のバンド分散(b)

## 文 献

- 1) L. Moreschini *et al.*, Phys. Rev. B 80 (2009) 035438.
- 2) P. Gargiani *et al.*, J. Chem. Phys. 139 (2013) 184707.
- 3) P. Gargiani *et al.*, J. Chem. Phys. 132 (2010) 174706.
- 4) S. Higashi *et al.*, Surf. Sci. 600 (2006) 591–597.

\*E-mail : nakatsuji.k.aa@m.titech.ac.jp

## Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -B 表面上の Bi(110)超薄膜の電子状態

○大内 拓実<sup>1</sup>, 中村 玲雄<sup>1</sup>, 竹村 晃一<sup>1</sup>, 志村 舞望<sup>2</sup>, 潮田 亮太<sup>2</sup>,  
飯盛 拓嗣<sup>3</sup>, 小森 文夫<sup>1</sup>, 平山 博之<sup>2</sup>, 中辻 寛<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京工業大学物質理工学院, <sup>2</sup>東京工業大学理学院, <sup>3</sup>東京大学物性研究所

### Electronic structure of Bi(110) ultra-thin films grown on Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -B substrates

○Takumi Ouchi<sup>1</sup>, Leo Nakamura<sup>1</sup>, Koichi Takemura<sup>1</sup>, Maimi Shimura<sup>2</sup>, Ryota Ushioda<sup>2</sup>,  
Takushi Iimori<sup>3</sup>, Fumio Komori<sup>1</sup>, Hiroyuki Hirayama<sup>2</sup> and Kan Nakatsuji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,

<sup>2</sup>Department of Physics, Tokyo Institute of Technology,

<sup>3</sup>Institute for Solid State Physics, University of Tokyo

Bi(ビスマス)は、巨大なスピン軌道相互作用を示すことからスピントロニクス分野の基盤材料として期待されている。このBiを超薄膜化することで興味深い原子構造と電子状態を示すことが報告されている。例えば、Bi(110)超薄膜は、膜厚が偶数原子層でblack-phosphorus(BP)-like構造をとり、奇数原子層ではbulk-like構造を示す[1]。そのため膜厚に依存した電子状態をもつ。なかでもBP-like構造をもった2原子層と4原子層のBi(110)超薄膜は、第一原理計算による電子状態の結果から二次元トポロジカル絶縁体であることが予測されている[2]。

我々はこれまでに、この基板上におけるBi(110)超薄膜が6つの回転ドメインをもつことや偶数層でBP-like構造をとることを解明してきた。電子状態に関しては、 $\Gamma$ -M方向を角度分解光電子分光法(ARPES)で測定し、 $\Gamma$ 点付近でいくつかの量子井戸状態、M点付近でバンドギャップを確認した。この実験で得られたバンド分散は、計算によるフリースタンディングなBi(110)超薄膜のバンド分散[1]と比較して100 meVほど低結合エネルギー側にシフトする結果となった。これは基板とBi(110)超薄膜間による電荷移動が要因であると予測されている。[3]

本研究ではlightly P-doped n-type Si(111)基板、heavily As-doped n-type Si(111)基板、heavily B-doped p-type Si(111)基板的計3種類のSi基板を用いて、Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -B表面上におけるBi(110)超薄膜(4 ML)の電子状態を測定し、バンド分散のエネルギーシフトの要因を調べた。

Figure 1にARPESで測定したheavily As-doped Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -B表面上におけるBi(110)超薄膜のバ

ンド分散を示す。このバンド分散の形状は、heavily B-doped p-type Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -B表面上のBi(110)超薄膜のバンド分散とよく一致するが、Fig. 1中に示した赤色でトレースされた2つのバンド分散は、 $\Gamma$ 点とM点付近でそれぞれ120 meV、80 meVほど高結合エネルギー側にシフトすることが判明した。このエネルギーシフトが基板からの電荷移動が要因であるかは、他の基板上的Bi(110)超薄膜のバンド分散やX線光電子分光法(XPS)で測定したBi 4fとSi 2pスペクトルの結果を照らし合わせて議論する。

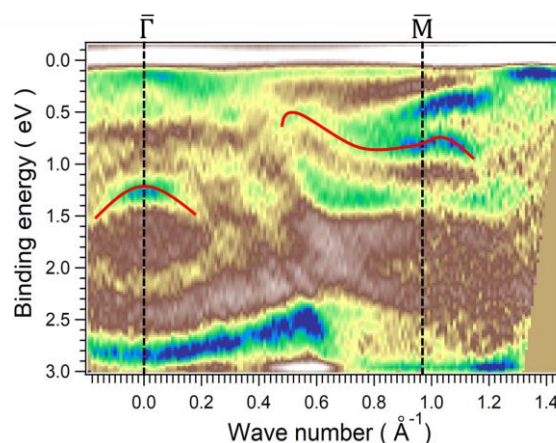


Fig. 1. heavily As-doped Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -B 表面上の Bi(110)超薄膜(4 ML)のバンド分散

## 文 献

- 1) G. Bian *et al.*, Phys. Rev. B **90**, 195409 (2014).
- 2) Y. Lu *et al.*, Nano Lett. **15**, 80 (2015).
- 3) K. Nagase *et al.*, Phys. Rev. B **97**, 195418 (2018).

\*E-mail: nakatsuji.k.aa@m.titech.ac.jp

## ARUPS によるルブレ単結晶のバンド分散測定と理論計算との比較

○村上 雅紀<sup>1</sup>, 福谷 圭祐<sup>2</sup>, 岡上 大二郎<sup>3</sup>, 福井 賢一<sup>2,3</sup>, 石井 宏幸<sup>4</sup>, 解良 聡<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>千葉大院融合理工学府, <sup>2</sup>分子科学研究所, <sup>3</sup>大阪大院基礎工, <sup>4</sup>筑波大数理物質系

### Band dispersion measurements of rubrene single crystals by ARUPS and comparison with theoretical calculations

○Masaki Murakami<sup>1</sup>, Keisuke Fukutani<sup>2</sup>, Daijiro Okaue<sup>3</sup>, Ken-ichi Fukui<sup>2,3</sup>, Hiroyuki Ishii<sup>4</sup>  
and Satoshi Kera<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Chiba Univ., <sup>2</sup>Institute for Molecular Science, <sup>3</sup>Osaka Univ., <sup>4</sup>Tsukuba Univ.

#### 1. はじめに

近年、有機半導体を使用することで、有機 EL などの軽く、柔軟性のある低コストのデバイスが誕生した。しかしながら、このような技術的進歩の一方で、これらのデバイスの動作原理の根本を担う有機半導体の電荷輸送機構の詳細は未解明である。そのため、電荷輸送の一端を担うと考えられる物質のバンド構造を直接観測することができる角度分解紫外光電子分光 (ARUPS) によるバンド分散の実測の研究が進められてきた。

このような有機半導体の中でもルブレ単結晶は、分子性有機半導体の中で高い正孔移動度 ( $\sim 40 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ) が報告されており[1]、デバイス応用におけるその重要性から理論・実験両面においてバンド構造解明に向けた精力的な研究が行われてきた[2]。しかしながら、理論計算[3]と ARUPS の結果の整合性の乏しさなどから、そのバンド構造の詳細について未だに統一見解が得られていない。

本研究では、ルブレ単結晶のバンド構造をこれまでにない精度で測定・決定するため、高品質単結晶を用い、ARUPS によるバンド分散の包括的な測定を行った。

#### 2. 実験方法

使用したルブレ単結晶は物理気層輸送法により作製し、数  $\mu\text{m}$  程度以下の薄い結晶 ( $\sim 2 \text{ mm}^2$  片) を金基板上に転写することで試料を作製した。

マイクロチャンネルプレート低速電子線回折 (MCP-LEED) で回折像を測定し結晶方向を決定し、その場で HeII 光源により ARUPS 測定を行った。測定はすべて室温にて行った。

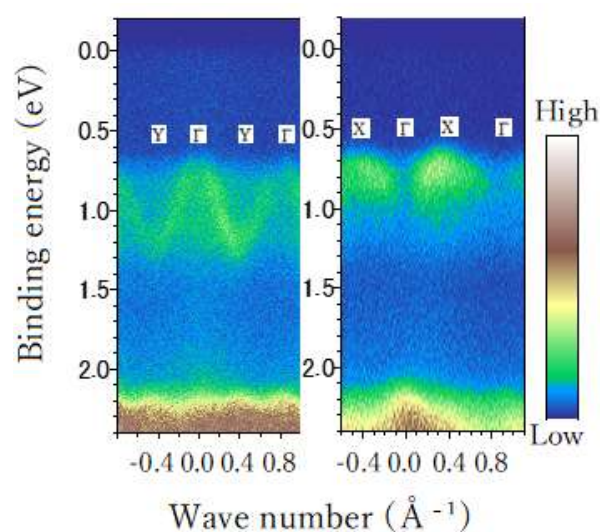


Fig.1. ルブレ単結晶  $\Gamma$ -Y 方向 (左) と  $\Gamma$ -X 方向 (右) の ARUPS の E-k マップ

#### 3. 結果と考察

Fig.1 は MCP-LEED で決定した結晶方向をもとにルブレ単結晶を ARUPS で測定した E-k マップである。先行研究で観測されていた  $\Gamma$ -Y 方向だけでなく  $\Gamma$ -X 方向でもバンド分散の観測に成功した。また、 $\Gamma$ -X 方向では  $\Gamma$  点が最低ギャップエネルギーを決めないことが実証された。講演では理論計算との相違やバンド形状についての考察などについて詳細を報告する。

#### 文 献

- [1] J. Takeya, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **90**, 102120 (2007).
- [2] F. Bussolotti, *et al.*, Nat Commun **8**, 173 (2017).
- [3] X. Wang *et al.*, Cryst. Eng. Commn. **18**, 7353 (2016).

\*E-mail: kera@ims.ac.jp

## Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2021

## 炭素繊維強化プラスチックの炭素繊維-樹脂界面の剥離に関する MD 計算

○鈴木 康平<sup>1</sup>, 山本 貴博<sup>2</sup><sup>1</sup> 東京理科大学大学院工学研究科電気工学専攻, <sup>2</sup> 東京理科大学理学部物理学科**MD Simulation on Exfoliation of Carbon Fiber-Resin Interface  
in Carbon Fiber Reinforced Plastics**○Kohei Suzuki<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>2</sup><sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Tokyo University of Science,<sup>2</sup> Department of Physics, Tokyo University of Science

近年、環境負荷の低減のために、排気ガスの少ない輸送システムへの需要が高まっており、軽くて丈夫な材料が求められている。このため、軽量で高い強度を持つ樹脂と炭素繊維を組み合わせた炭素繊維強化プラスチック(CFRPs)は大きな注目を集めており、既に航空機や自動車への応用が進んでいる。しかし、CFRPsは構造の不均一性により破壊プロセスが複雑となっており、寿命や強度の制御が難しくCFRPsの特性を十分に生かしきれていない[1]。

こうした中、有限要素法を用いたCFRPsの破壊に関する研究が進められており、CFRPsの樹脂-炭素繊維間の界面付近で亀裂が発生し始めることが報告されている[2]。また、実験では炭素繊維への界面処理の方法によって強度が変化することも報告されており、CFRPsの界面の特徴を理解することが重要となっている[3]。しかし、CFRPsの界面の樹脂は炭素繊維の影響を受けており、その構造や破壊メカニズムについては不明な点が多い。このため、CFRPsの界面の構造や詳細な破壊メカニズムを明らかにすることが求められている。このようなことを扱うために、従来の有限要素法などのシミュレーション手法だけでなく、材料科学の視点からこれらを理解することが必要となっている。こうした中で、分子動力学法は有効な手法であり、これを用いることでナノスケールから第一原理的にCFRPsの界面の樹脂の構造や破壊に関する特性を知ることができる。そして、これらの得られた知見を有限要素法などのマクロシミュレーションに組み込むことでCFRPsの寿命や強度の制御の実現に近づくことができる。

そこで本研究では、CFRPsの破壊の初期プロセスを原子スケールから理解するために、カーボンファイバー表面と樹脂の界面を下図のようにモデル化し、界面の引き剥がしに関するMDシミュレーションを行った。この際、炭素繊維としてグラファイトを用いた。また、樹脂を構成するエポキシ分子にBisphenol A diglycidyl ether (BADGE)、硬化剤にIsophoronediamineを用いた。シミュレーションを行った結果、実験値の引張り強度を再現し、樹脂内部から破壊が起こるという結果を得た[4]。また、界面付近の樹脂の密度計算を行い、界面付近で樹脂の密度がバルクの状態の密度に比べて高密度になるという先行研究と同様の結果を得た[4]。さらに、界面の樹脂の構造を解析することで、CFRPs界面付近に存在する樹脂の特異な構造を明らかにした。

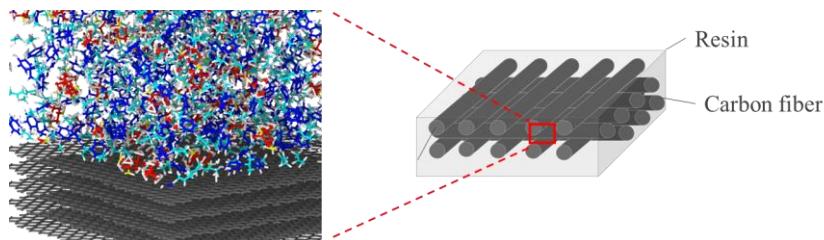


図 1. CFRPs 界面

- 1) 下河利行, 浜口泰正: 材料 **32**,360(1982)
- 2) J. Koyanagi, Y. Sato, T. Sasayama, T. Okabe, S. Yoneyama: Composites. A**56**, 136 (2014).
- 3) M. Nakatani, F. Nakao, Seni: Gakkaishi **44**, 61 (1988).
- 4) K. Mori, N. Matsumoto, M. Yabe, Y. Kohno: Composites **45**, 19 (2019).

\*E-mail: takahiro@rs.tus.ac.jp

## ファセット化マクロステップがある微斜面の表面荒さ

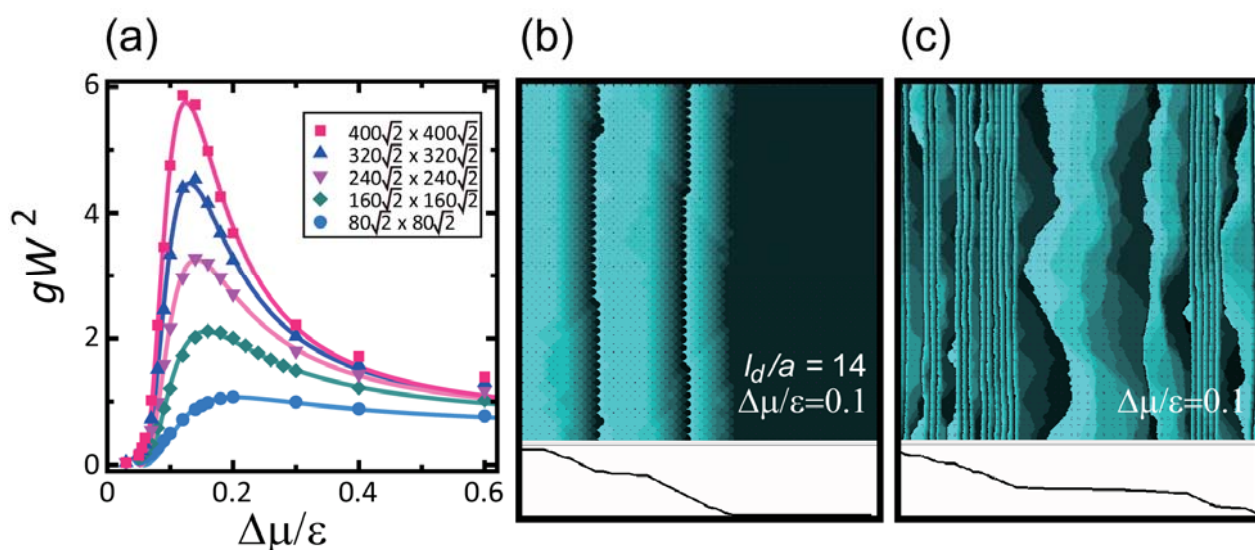
○阿久津 典子\*

大阪電気通信大学工学部

## Roughness of a vicinal surface with faceted macrosteps

○Noriko Akutsu\*

Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University



**Fig. 1.** (a) 微斜面の表面ゆらぎ幅の二乗の結晶成長駆動力( $\Delta\mu$ )依存性。(b) (c) 微斜面のスナップショット( $4 \times 10^8$  MCS/site)。上図は上から表面を見た図、下図は横から表面を見た図。(b) 表面サイズ  $40\sqrt{2} \times 40\sqrt{2}$  (c) 表面サイズ  $320\sqrt{2} \times 320\sqrt{2}$ 。  $k_B T/\varepsilon = 0.4$ 。  $\varepsilon_{\text{int}}/\varepsilon = -0.9$ 。 表面傾斜  $p = 0.530$ 。

制限 solid-on-solid (RSOS) 模型に点型のステップ間引力を導入しただけの模型(p-RSOS 模型)について異方的表面自由エネルギーを密度行列繰り込み群法で計算し、具体的に Wulff 図形及び結晶平衡形を描いた [1]。その結果表面張力が不連続になることを示し、その不連続性に対応して微斜面構造の分類が可能になった [1]。ステップ・ファセティング・ゾーンでは、平衡状態の微斜面において(001)面と(111)面だけから成るファセット化したマクロステップで形成され、その間の一様に傾いた面は熱力学的に不安定であることを示した。

平衡状態に近い非平衡定常状態ではマクロステップ端の凹角部からの 2 次元核形成律速成長する [2]。このような微斜面について、表面荒さをモンテカルロ法で計算したのが Fig.1(a)である。平衡状態( $\Delta\mu=0$ )ではゆらぎ幅はゼロであった。しかし予期せぬことに、非平衡定常状態ではゆ

らぎ幅が表面のサイズが増大すると増大することが得られた (Fig.1 (a))。これは定義から微斜面がラフであることを示す。また、表面の幅はマクロステップの形成・解消点  $\Delta\mu_R$  (表面サイズに依存する) で最大になった。実際、モンテカルロ法によるスナップショットを見ると、小さいサイズではファセット化の様子がよく解るが (Fig.1 (b))、大きいサイズでは、ステップ端から離脱した素ステップ列の空間的ゆらぎの有るパターンが見える (Fig.1 (c))。

## 文 献

- 1) N. Akutsu, Applied Surface Science, **256**, 1205--1209 (2009); J. Phys. Condens. Matter, **23**, 485004, (2011); AIP Adv., **6** 035301 (2016); Adv. Condens. Matter Phys., 2021510 (2017).
- 2) N. Akutsu, Phys. Rev. Materials **2**, 023603 (2018).
- 3) N. Akutsu, Sci. Rep., **11**, 3711 (2021).

\*E-mail: nori@phys.osakac.ac.jp

## ファセット化マクロステップがある微斜面のラフネス指数と マクロステップ形成・解消スケーリング関数

○阿久津 典子\*

大阪電気通信大学工学部

### Roughness exponent and a scaling function for the assembling/disassembling of faceted macrosteps

○Noriko Akutsu\*

Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University

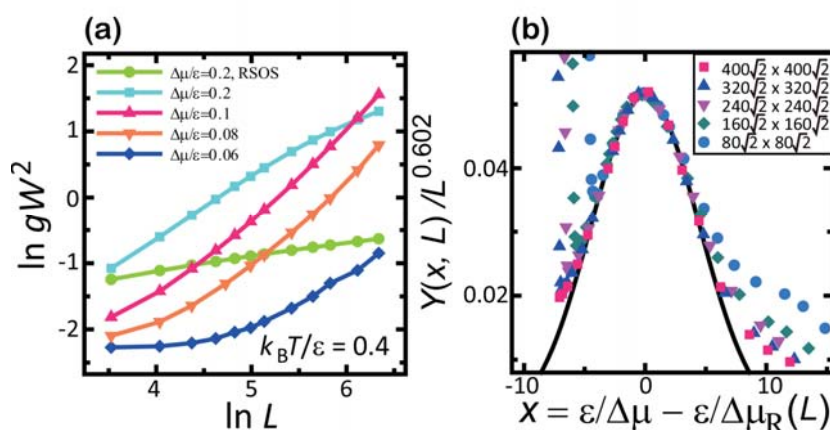


Fig. 1. (a) 表面の幅の二乗のサイズ依存性[1]。見かけのラフネス指数は0.6~0.85。Lは系のサイズ。(b) スケーリング関数 [1]。サイズ $\infty$ におけるラフネス指数は0.60。  $k_B T/\epsilon = 0.4$ 。  $\epsilon_{int}/\epsilon = -0.9$ 。 表面傾斜  $p = 0.530$ 。

対称性原理による理論によれば表面の幅  $W$  は Family-Vicsek スケーリング関数  $W(L, t) \sim L^\alpha f(L^{-z})$ ,  $z = \alpha/\beta$  に従う [1]。ここで  $\alpha, \beta, z$  はそれぞれ、ラフネス指数、成長指数、動的指数である。十分時間が経つと  $W = W(L, t) \sim L^\alpha$  となる。表面荒さの二乗は表面の高さ高さ相関関数と同様なので、散乱構造因子にも影響を与える [2]。

ファセット化マクロステップのダイナミクスを調べる目的で制限 solid-on-solid (RSOS) 模型に点型のステップ間引力を導入しただけの模型(p-RSOS 模型)をモンテカルロ法で調べた。先の講演で、ステップ・ファセティング・ゾーンにおいて平衡状態では(001)面と(111)面だけで形成されスムーズな面であるが、非平衡定常状態では 2D 核形成成長しているにも拘らず、ラフであることを示した [3]。この様な面をファセット化ラフ面と呼ぶ。

本講演では、ファセット化ラフ面、すなわちファセット化マクロステップを持つラフな微斜面について、モンテカルロ法により表面の幅を計算した結果を解析する [3]。

Fig.1 (a)に示したように、表面幅増大のベキ(見かけのラフネス指数)は駆動力に依存し、サイズが大きくなると少しではあるがより大きくなった。

しかし、さらにマクロステップの形成・解消点  $\Delta\mu_R$  近傍を解析したところ、マクロステップの形成・解消に関するスケーリング関数を得た(Fig.1 (b))。この関数の性質から真のラフネス指数は0.60であることを明らかにした。また、真のラフネス指数がどの様に変調されて見かけのラフネス指数になるか導出した [3]。

### 文 献

- 1) A. L. Barabasi and H. E. Stanley, *Fractal Concepts in Surface Growth* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1995).
- 2) J. Krim, G. Palasantzas, *Int. J. Mod. Phys. B*, **9**, 599-632 (1995).
- 3) N. Akutsu, *Sci. Rep.*, **11**, 3711 (2021).

\*E-mail: nori@phys.osakac.ac.jp

N<sup>+</sup>イオンビーム照射が PTFE の表面化学状態に及ぼす熱の影響○中山 芳隆<sup>1</sup>, 鷹野 一朗<sup>2\*</sup><sup>1</sup>工学院大学大学院工学研究科, <sup>2</sup>工学院大学工学部Thermal effects for surface chemical state of PTFE irradiated by N<sup>+</sup> ion beam○Yoshitaka Nakayama<sup>1</sup> and Ichiro Takano<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Kogakuin University, <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Kogakuin University

## 1. はじめに

F と C の強力な結合により構成される PTFE は, 安定した電気的特性を持つため, 高周波電子プリント基板の有力候補である。しかしながら, プリント基板として使用するには配線材である銅との十分な接着が必要であり, PTFE の分子構造から生じる他物質との低い付着性が問題となる。そのため, PTFE を表面改質することにより銅薄膜の付着性を改善することが不可欠となる。

イオンビームは, プラズマと異なり高エネルギーイオンを照射することができ, 高い指向性を有するため PTFE の表面形態を針状構造に改質するなど特徴的な効果をもたらすことが知られている。一方, プラズマ処理では, PTFE を貼付する際, 熱伝導性の異なる基板を用いることで, 表面化学状態が変化することがわかっている<sup>1)</sup>。本研究では, 低角度イオンビーム照射のもとで, PTFE の貼付基板の種類を変え, PTFE の表面化学状態と熱の影響を調査した。

## 2. 実験方法

実験はマルチプロセスコーティング装置 (ULVAC Corp.) を使用し, 磁場質量分析器により N<sup>+</sup>イオンに分析した直径 20mm のイオンビームを加速電圧 10kV, イオン電流密度 7μA/cm<sup>2</sup> で照射した。PTFE には, フッ素樹脂粘着テープ (日東電工(株)No.903UL) を用い, 熱伝導率において約 10 倍の差となるガラス基板とステンレス基板に貼付した。照射時間は 0~700s で変化させ, 連続照射した試料と 10%のデューティサイクルで間欠照射した試料を製作した。表面改質した PTFE の表面化学状態は, X 線光電子分光装置 (Kratos Ultra, Shimadzu Corp.) により測定し, 主として C 1s 軌道のスペクトルを波形分離し評価した。<sup>2)</sup>

## 3. 実験結果と考察

ガラス基板とステンレス基板に PTFE を貼付し, N<sup>+</sup>イオンビームを 320s 連続照射した試料と 10%のデューティサイクルで 320s 間欠照射した試料の C1s スペクトルを Fig.1 に示した。ガラス基板に貼付した PTFE に N<sup>+</sup>イオンビームを連続照射した試料は他の処理試料に比べ, C-C 結合が増加している。ガラスは熱伝導性が低く照射したイオンの熱が蓄積されたことが予想され, 貼付した PTFE の温度上昇により, C-C が再結合したと考えられる。すなわち, イオンビームの表面改質では熱の影響を考慮する必要があることが示唆された。

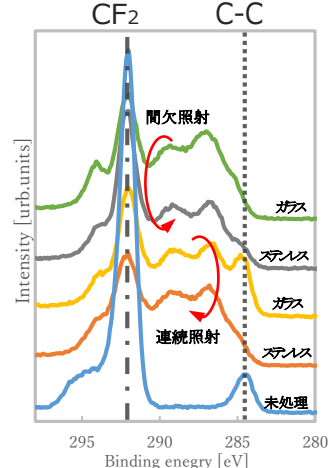


Fig. 1. N<sup>+</sup>イオンビーム照射した PTFE の表面化学状態

## 4. まとめ

本研究では, 低角度 N<sup>+</sup>イオンビームを PTFE に照射し, 貼付する基板や照射時間の条件を変えることで, 照射熱が表面化学状態に影響することが明らかとなった。銅薄膜の付着性改善には F の脱離と C-C 結合が必要であり, 適切な照射熱により再結合が可能となる。今後は, PTFE の温度変化による表面化学状態への影響について調査する。

## 文 献

- 1) 家坂昂希, 鷹野一朗: 電気学会論文誌 A, Vol.141, No.1, pp34-39(2021)
- 2) 筏義人: 高分子表面の基礎と応用 (上), 化学同人, p76,80(1986)

\*E-mail: cm21038@ns.kogakuin.ac.jp

## 規則配列クラウンエーテル環状分子膜の一次元ポリマー化の STM 研究

○吉田 彩乃<sup>1</sup>, 西野 史<sup>2</sup>, 山田 豊和<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>千葉大学工学部, <sup>2</sup>千葉大学大学院工学研究院

## STM study of one-dimensional polymerization using crown ether ordered array

○Ayano Yoshida<sup>1</sup>, Fumi Nishino<sup>1</sup>, Toyo Kazu Yamada<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Faculty of Engineering in Chiba Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Engineering in Chiba Univ.

## 1. はじめに

前駆体分子を超高真空環境の貴金属表面で加熱することで、低次元ナノ構造体を作製できる。例えば、10,10'-dibromo-9,9'-bianthryl 前駆体を用いるとグラフェンナノリボンが作製できる。<sup>1)</sup>

本研究では、環状分子として広く知られている、クラウンエーテル分子：4,4', 5,5'-tetrabromodibenzo[18]crown-6 ether (Br-CR)を使用した。<sup>2)</sup> Br 終端の場合、基板加熱により Br 脱離が生じ、新たな結合が真空基板上で実現できるか検証した。Fig. 1 に Br-CR 構造モデルを示す。

## 2. 実験結果

ポリマー化プロセスを、超高真空・低温(77.8 K)・走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて研究した。基板として Cu(111)を用いた。Cu(111)基板の清浄化と平坦化は、Ar<sup>+</sup>スパッタ (1.0 keV) とアニール (電子衝撃 500 V × 11 mA, 7 min.) を 8 回行い完了した。次に、Cu(111)基板を準備槽から導入槽まで真空を破らずに移動した。導入槽で Br-CR を約 0.25 ML 蒸着した (蒸着レート 0.1 nm/min)。Fig. 2 に STM 結果を示す。Cu(111)テラス上に Br-CR 島がある (高さ約 240 pm)。

この Br-CR 規則配列島を、再び準備槽へ移動し、追加アニール (輻射熱加熱：フィラメント電流 1.84 A (4.45 V), 8 min および 18 min) を行った。加熱後の表面を STM 観察した。すると、Br-CR 島のヘリを含む一部が、あたかも、服の端から糸がほぐれるようにして、新たな線状分子構造体が生じているのを確認した。Fig.3 に示すように、Br-CR は Br 終端しているため、加熱により Br 脱離、新たな結合が生じると考えられる。しかし、なぜ、島の形状を壊して一次元ポリマーを形成する必要があるのか。詳細を報告する。

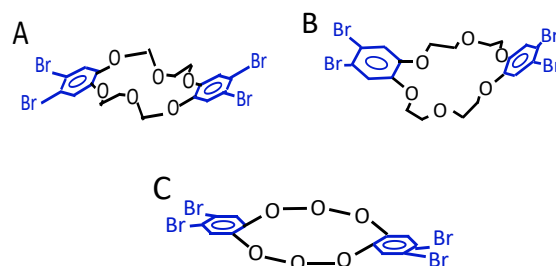


Fig. 1. クラウンエーテル環状分子のモデル構造。(A, B) 気相と (C) Cu(111)表面上での環が開いた構造。

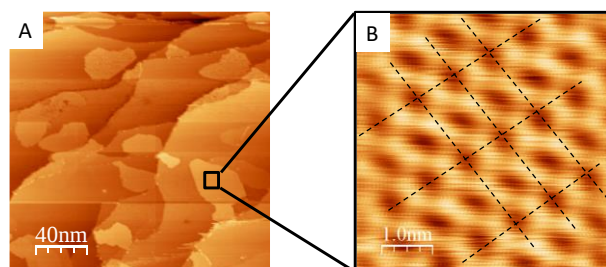


Fig. 2. Cu(111)上のクラウンエーテル島。(A) 200 nm × 200 nm, 試料バイアス -2.5 V, 電流 10 pA. (B) 5.0 nm × 5.0 nm, 試料バイアス -0.8 V, 電流 20 pA.

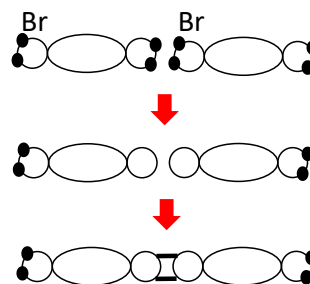


Fig. 3. ポリマー化のモデル図。

## 文 献

- 1) J. Cai *et al.*: Nature **466**, 470 (2010).
- 2) R. Nemoto, T. K. Yamada, *et al.*: J. Phys. Chem. C **123**, 18939 (2019).

\*E-mail: toyoyamada@faculty.chiba-u.jp

STM の電流による  $\text{SrTiO}_3(100)-\sqrt{13} \times \sqrt{13}$  表面上の原子スイッチ

○金 庚民<sup>1\*</sup>, 山崎 詩郎<sup>2</sup>, 勝部 大樹<sup>3</sup>, 山下 隼人<sup>1</sup>, 阿部 真之<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>大阪大学大学院基礎工学研究科, <sup>2</sup>東京工業大学理学院物理学系, <sup>3</sup>長岡技術科学大学工学研究科

Atom switch by STM current on  $\text{SrTiO}_3(100)-\sqrt{13} \times \sqrt{13}$  surfaces

○Kyungmin Kim<sup>1\*</sup>, Shiro Yamazaki<sup>2</sup>, Daiki Katsube<sup>3</sup>, Hayato Yamashita<sup>1</sup>, and Masayuki Abe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering Science, Osaka University, <sup>2</sup>Department of Physics, School of Science, Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Nagaoka University of Technology

## 1. はじめに

遷移金属酸化物は、電荷・スピン・軌道の自由度が密接に絡み合うことで様々な興味深い物性を示す。特に、絶縁体であるペロブスカイト型酸化物薄膜の  $\text{SrTiO}_3$  と  $\text{LaAlO}_3$  の界面に生じる金属的界面状態は、次世代の酸化物薄膜デバイスとして注目されている<sup>1)</sup>。

しかしながら、これらの特異な物性は界面の原子スケールでの原子構造や電子状態に非常に敏感であるにもかかわらず、それらを精密に対応付けた研究は困難であった。そこで我々は、まず基板となる  $\text{SrTiO}_3$  に対して原子スケールで原子構造と電子状態を評価することを出発点とした。その過程で、遷移金属酸化物基板としては稀な  $\text{SrTiO}_3$  基板の原子スイッチ<sup>2)</sup>を発見したので報告する。原子スイッチをプローブとして用い、 $\text{SrTiO}_3$  の知られざるダイナミックな側面に迫る。

## 2. 実験方法

試料には信光社製の Nb ドープ (0.05 wt%) の  $\text{SrTiO}_3(100)$  基板を用いた。まず  $\text{O}_2$  分圧  $1 \times 10^{-4}$  Pa において  $500^\circ\text{C}$  で 2 時間デガスし、次に  $\text{O}_2$  分圧  $1 \times 10^{-3}$  Pa において  $850^\circ\text{C}$  で 1 時間アニールした。反射高速電子線回折 (RHEED) により  $(\sqrt{13} \times \sqrt{13})\text{-R}33.7^\circ$  (以後  $\sqrt{13}$ ) 表面再構成を確認した。実験はオミクロン社製の走査トンネル顕微鏡 (STM) / 原子間力顕微鏡 (AFM) 複合装置を用い、 $1 \times 10^{-9}$  Pa の超高真空中において 78 K の液体窒素温度下で行った。探針は qPlus センサーを用い、加振させた状態で STM 画像を取得した。

## 3. 結果

まず、単位ユニットセルステップと  $\sqrt{13}$  周期の特徴的な格子状構造を示す原子スケールで清浄な  $\text{SrTiO}_3(100)-\sqrt{13}$  表面を確認した。また、格子線上や格子点上などに数種類の欠陥が輝点として見られた。

一部の輝点は STM スキャン中に構造が数状態間で不

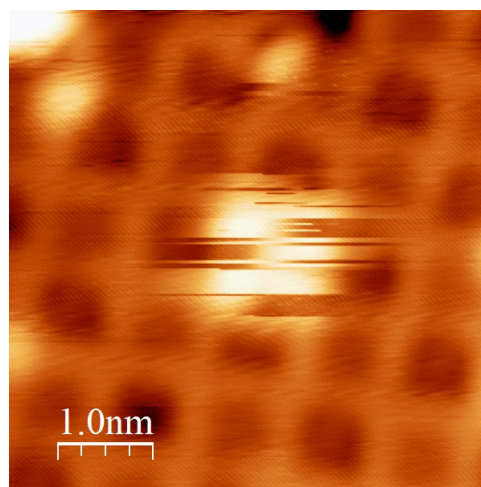


Fig. 1.  $\text{SrTiO}_3(100)-\sqrt{13}$  表面の STM 像。中央のノイズは約 15 回の原子スイッチを示す ( $V=1.9$  V,  $I=0.01$  nA)。

連続に変化する原子スイッチと考えられる (Fig. 1)。

原子スイッチの頻度の電流依存性を調べたところ、電流に大まかに比例して上昇する傾向があり、このことは原子スイッチの機構が電流による一電子過程であることを示唆している。また、原子スイッチの頻度の電圧依存性を調べたところ、およそ 1.8 V から指数関数的に上昇した。これは、およそ 2 V に存在する  $\text{SrTiO}_3$  の DOS に近く、原子スイッチの機構が電子励起であることを示唆している。

当日は、STM の電流による  $\text{SrTiO}_3(100)-\sqrt{13}$  表面上の原子スイッチに関して、画像から判断できる範囲で定性的な議論を行う。将来的には、電流の時間変化を詳細に測定し、電流/電圧/場所依存性を定量的に評価し、理論計算による原子構造、電子状態と比較することで、電流による原子スイッチの機構を確定する。

## 文 献

- 1) A. Ohtomo, et al., Nature, **427**, 423 (2004).
- 2) S. Yamazaki, et al., Nano Lett, **15**, 4356 (2015).

\*E-mail: u764704g@ecs.osaka-u.ac.jp

## 原子分解能ホログラフィー顕微鏡の開発(II)

○大門 寛<sup>1\*</sup>, 桃野浩樹<sup>2</sup>, 松田博之<sup>3</sup>, László Tóth<sup>4</sup>, 益田 有<sup>5</sup>, 森口幸一<sup>5</sup>,  
小粥啓子<sup>5</sup>, 竹内走一郎<sup>6</sup>, 橋本由介<sup>6</sup>, 松下智裕<sup>6</sup>

<sup>1</sup>豊田理化学研究所, <sup>2</sup>米子工業高等専門学校, <sup>3</sup>分子科学研究所, <sup>4</sup>デブレツェン大学, <sup>5</sup>(株)アプロ,  
<sup>6</sup>奈良先端科学技術大学院大学

## Development of atomic-resolution holography microscope (II)

○Hiroshi Daimon<sup>1\*</sup>, Hiroki Momono<sup>2</sup>, Hiroyuki Matsuda<sup>3</sup>, László Tóth<sup>4</sup>, Yu Masuda<sup>5</sup>, Kouichi Moriguchi<sup>5</sup>,  
Keiko Ogai<sup>5</sup>, Soichiro Takeuchi<sup>6</sup>, Yusuke Hashimoto<sup>6</sup>, Tomohiro Matsushita<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Toyota Physical and Chemical Research Institute, <sup>2</sup>NIT, Yonago College, <sup>3</sup>Institute for Molecular Science, <sup>4</sup>Univ.  
Debrecen, <sup>5</sup>APCO Ltd., <sup>6</sup>Nara Institute of Science and Technology (NAIST)

半導体中のドーパントのように機能材料中で孤立した原子の周りの3次元的な原子配列を知ることは、ドーパントの機能解明に基本的に重要であるが、周期性を持たないために通常のX線回折の手法が使えず、構造が分からないまま試行錯誤で開発が進められていた。「原子分解能ホログラフィー」は、このような孤立原子周りの3次元原子配列が直接解析できる強力な手法である。科研費新学術領域研究「3D活性サイト科学」で大きく進展した<sup>1)</sup>。特に、高いエネルギー分解能で測定した価数分解局所構造の知識は、活性ドーパントと不活性ドーパントの解明を可能にし、機能材料の開発に必須である。しかし、これまでのホログラフィー測定には放射光が必要であり、産業現場での解析は不可能であった。また、従来の二次元分析器では、価数分解した電子だけの二次元角度分布を表示できるだけのエネルギー分解能が無かった。

本研究において開発している「原子分解能ホログラフィー顕微鏡」をFig. 1に示す。高いエネルギー分解能を持つ二次元分析器CoDELMAと、小型走査電子顕微鏡(APCO社 MINI-EOC)とを組み合わせたものである。ナノ領域を走査電子顕微鏡で確認して、そのナノ領域の中の孤立原子の周りの原子配列構造をホログラフィーで直視することができる。

CoDELMAは、Fig.1に示すように、減速比可変広角対物レンズ(VD-WAAEL)、エネルギー分析器、投影レンズ、蛍光板から構成されている。減速比可変広角対物レンズは今回新たに発明した<sup>2)</sup>ものであり、 $\pm 50^\circ$ の広い立体角に放出された電子を一度に取り込み、運動エネルギーを入射時の1/5から1/100に減速して、

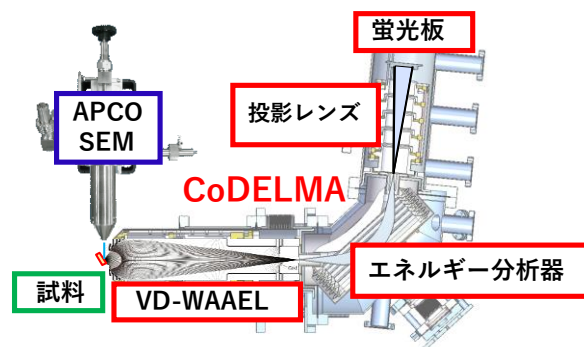


Fig. 1. 原子分解能ホログラフィー顕微鏡

エネルギー分析器に導入することができる。減速しているため、エネルギー分析器でのエネルギー分解能が高くなる。細いビームとしてエネルギー分析器に入射しているため、 $\pm 50^\circ$ の全ての電子を一度に分析でき、広い角度に渡る高エネルギー分解能のホログラムを一度に蛍光板上に表示できる。減速比可変広角対物レンズと投影レンズのテストは既に成功しており<sup>3)</sup>、講演では最近のデータについて発表する。

## 文 献

- 1) H. Daimon, Jpn. J. Appl. Phys. 59, 010504 (2020). STAP REVIEW: Frontier of active site science: new insights on material functions.
- 2) H. Matsuda, L. Tóth, and H. Daimon, Rev. of Scientific Instruments 89, 123105 (2018). (特許出願中)
- 3) H. Momono, H. Matsuda, L. Tóth, H. Daimon, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology 18, 1-5 (2020).

\*E-mail: daimon@toyotariken.jp

## 原子間力顕微鏡による Cu(110)表面上の水分子クラスターの高分解能観察

○塩足 亮隼<sup>1,2\*</sup>, 杉本 宜昭<sup>1</sup><sup>1</sup>東大新領域, <sup>2</sup>フリッツハーバー研究所

## High spatial resolution imaging of water clusters on Cu(110) by atomic force microscopy

○Akitoshi Shiotari<sup>1,2\*</sup> and Yoshiaki Sugimoto<sup>1</sup><sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>Fritz-Haber Institute of the Max-Planck Society

## 1. はじめに

金属基板に吸着した水分子は、基板温度や吸着量に依存して水素結合による様々なネットワーク構造を形成する。Cu(110) 表面上に 20 K で吸着した水分子は、孤立分子として、あるいは2～6 量体程度の小さいクラスターとして存在し、その中でも特に環状の4 量体(4 員環構造)が安定であることが報告されている<sup>1)</sup>。一方で、78 K で吸着した水分子は、[001] 方向に沿った1 次元鎖を形成し<sup>2)</sup>、それは5 員環を構成単位とした水素結合ネットワークであることが報告されている<sup>3,4)</sup>。それらの中間温度領域における構造は未知であり、それを解明することは、この表面上における特徴的なネットワーク配列の起源を理解する上で不可欠である。

非接触式原子間力顕微鏡(AFM)を用いることで、金属表面上の分子やその凝集体を、走査トンネル顕微鏡(STM)を上回る空間分解能で画像化することができる。我々はこれまでに、水分子<sup>4,5)</sup>やギ酸分子<sup>6)</sup>による水素結合ネットワークの AFM 観察とそれによる構造解明を行った。本研究では、その未知の温度領域における水分子の構造を高空間分解能 AFM によって調べた。

## 2. 実験および結果・考察

清浄な Cu(110)表面を 40–65 K に冷却し、水を少量吸着させたときの構造を、5 K での STM および AFM 観察によって確かめた。いずれの温度においても水分子は凝集し、クラスターを形成した。探針先端に一酸化炭素(CO)分子を修飾させることにより<sup>4,5)</sup>、各クラスターに対して高空間分解能 AFM イメージングを行った。それにより、水分子が水素結合によって環状構造となることが示された。その1 例として、5 員環構造のクラスターの像を Fig. 1 に示す。様々な種類のクラ

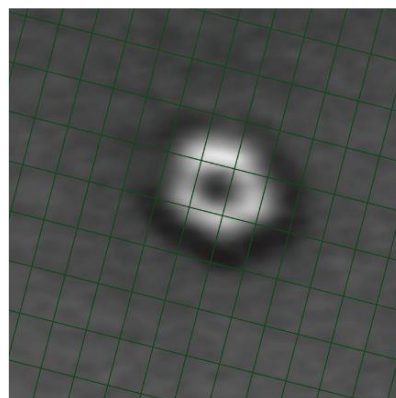


Fig. 1. 40 K において形成した水 5 量体の AFM 像。

メッシュは表面の Cu 原子位置を表す。

スターの構造解明によって、水素結合していない余りの水素原子が環の外側に配置した構造が安定であるという規則性を見出した。

## 3. おわりに

STM では特定困難な水素結合による水クラスターの構造を高空間分解能 AFM イメージングによって解明した。各クラスターの安定性や分子配向の規則性については、理論計算と組み合わせて今後さらなる考察を行う予定である。

## 文 献

- 1) T. Kumagai et al., J. Chem. Phys. **134**, 024703 (2011).
- 2) T. Yamada et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 036105 (2006).
- 3) J. Carrasco et al., Nat. Mater. **8**, 427 (2009).
- 4) A. Shiotari and Y. Sugimoto, Nat. Commun. **8**, 14313 (2017).
- 5) A. Shiotari, Y. Sugimoto, and H. Kamio, Phys. Rev. Materials **3**, 093001R (2019).
- 6) A. Shiotari et al., Small **17**, 2008010 (2021).

\*E-mail: shiotari@fhi-berlin.mpg.de

## 磁性積層薄膜における大バルクハウゼンジャンプに関する研究

○松尾 惇史, 渡邊 騎通\*, 阿部 晋, 中山 明芳

神奈川大学大学院 工学研究科

## Study of large Barkhausen jump in laminated magnetic thin films

○Atsushi Matsuo, Norimichi Watanabe\*, Susumu Abe and Akiyoshi Nakayama

Kanagawa University, Graduate School of Engineering

## 1. はじめに

強磁性線にひねり応力を加えると、磁性線の長さ方向に磁界を加えたときに、磁性線に巻いた検出コイルに大バルクハウゼンジャンプに伴うパルス電圧が発生する[1]。このパルス電圧は、外部磁界の変化率に関係なく、一定の大きさのパルス波形が得られるという特徴を有しており、セキュリティセンサなどへの応用が検討されている。本研究は、保磁力の異なる磁性積層薄膜を作製することにより、薄膜で大バルクハウゼンジャンプを発現させることを目的としている。

## 2. 実験

本実験では、成膜装置に DC マグネトロンスパッタリング装置を用いた。6mm×15mm の Si 基板上にソフト層となる Fe を 110nm 成膜し、その上にハード層となる Co を 160nm 成膜した。作製した試料の磁化特性とパルス電圧は、励磁コイル内に  $4\pi I$  コイルを配置することにより測定した。

図 1 に、作製した Fe / Co 積層膜の磁化特性を示す。磁化特性には、磁化の立ち上がりが急峻なソフト層と、ゆるやかなハード層の特徴がそれぞれ現れており、2 段ループが観測された。図 2 に励磁磁界 1Hz におけるパルス電圧を、図 3 にパルス電圧の最大値の周波数特性を示す。10Hz 以下の低周波領域で、一定の出力電圧が得られており、大バルクハウゼンジャンプによるパルス電圧であると考えられる。

## 3. まとめ

保磁力の異なる Fe/Co 積層膜を作製し、大バルクハウゼンジャンプによるパルス電圧を観測した。

## 文 献

[1] S. Abe, et al. IEEE Trans.Magn., 30, 4635 (1994).

\*E-mail: ft102002ho@kanagawa-u.ac.jp

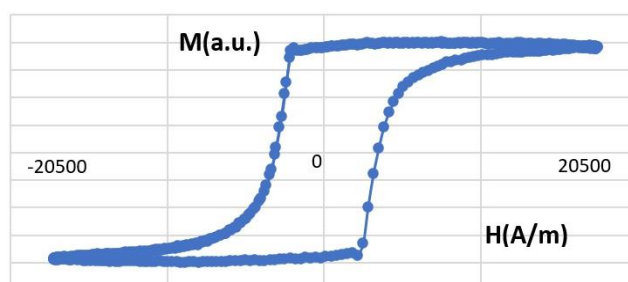


図 1 Fe / Co 積層膜の磁化特性

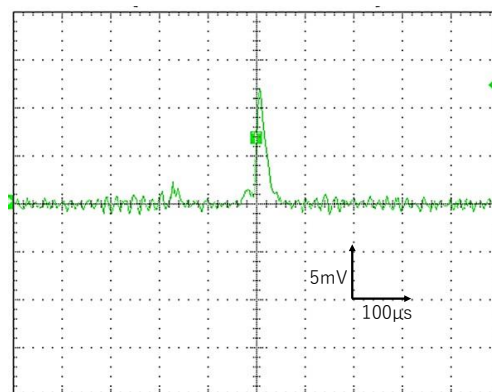


図 2 大バルクハウゼンジャンプによるパルス電圧  
(励磁磁界 9700A/m, 1 Hz)

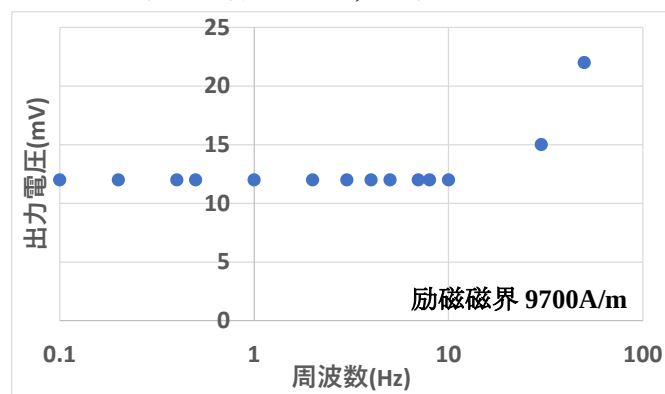


図 3 大バルクハウゼンジャンプによる  
パルス電圧の最大値の周波数特性

## 酸化チタン薄膜の光触媒特性に対する表面粗さの影響

○武田 克行<sup>1</sup>, 鷹野 一朗<sup>2\*</sup><sup>1</sup>工学院大学大学院電気・電子工学研究科, <sup>2</sup>工学院大学

## Influence of surface roughness for photocatalytic property of titanium dioxide thin films

○Katsuyuki Takeda<sup>1</sup> and Ichiro Takano<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Graduate School of Electrical and Electronic Engineering, Kogakuin University, Kogakuin University<sup>2</sup>

## 1. はじめに

近年, 人工光合成に関連した研究が盛んに行われており, 有機物生成を目的とした前段階として水素発生などの報告がなされている. その中でも研究報告が多い材料の一つに二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) がある. 我々の先行研究ではその光吸収領域を拡大するため, ガラス基板上に  $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$  多層薄膜を作製し光触媒効果の向上を確認した<sup>1)</sup>. 一方, 太陽電池などでは表面にテクスチャ構造をつくることで, 光吸収の効率化を図っている. そこで, 本研究ではガラス基板表面を研磨する簡便な方法で, 光反応面積の拡大効果を確認する.

## 2. 実験方法

成膜にはマルチプロセスコーティング装置を用いた. 試料基板には, 15mm×10mm に加工した MICRO SLIDE GLASS を用い, 粗さ P100 の紙やすりで研磨したものを使用した. それぞれの基板は, アルコールにより 10 分間超音波洗浄を行い, さらに真空チャンバーに導入後 Ar ガス雰囲気中で 10 分間スパッタクリーニングを行った. その後, 反応性スパッタリング法により,  $\text{TiO}_2$  は  $\text{O}_2$  流量 1.5sccm, スパッタガス Ar 流量 20sccm, RF スパッタ入力電力 100W,  $\text{Cu}_2\text{O}$  は  $\text{O}_2$  流量 10sccm, スパッタガス Ar 流量 15sccm, DC スパッタ入力電力 25W, Cu はスパッタガス Ar 流量 15sccm, DC スパッタ入力電力 30W とし, それぞれ膜厚が 200nm になるように成膜した.

基板の表面組成は X 線光電子分光装置 (JPS-9030, JEOL Corp.) により測定した. ガラス基板の光学特性は紫外可視分光光度計 (UV-2550, Shimadzu Corp.) を用いて吸光度を測定した. 基板の表面粗さはナノサーチ顕微鏡 (SFT-4500, Shimadzu Corp.) を用いて表面粗

さを測定した. メチレンブルー浸漬試験は, 石英セルを 10ppm のメチレンブルー溶液 3ml で満たし, その中に試料を浸漬し人工太陽照明灯を  $200\text{W}/\text{m}^2$  で 6 時間照射した. 所定の時間ごとに, メチレンブルー溶液の色度変化を分光光度計で測定し光触媒特性として評価した.

## 3. 実験結果

ガラス基板上に  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Cu からなる多層膜を作製し, それぞれ  $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}/\text{Glass plate}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Cu}/\text{Glass plate}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Glass plate}$  とした. 研磨ガラス基板上的ものは, 同様に  $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}/\text{R-glass plate}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{Cu}/\text{R-glass plate}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{R-glass plate}$  とする. ここでは Fig.1 に  $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}/\text{R-glass plate}$  と  $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}/\text{Glass plate}$  また  $\text{TiO}_2/\text{R-glass plate}$  と  $\text{TiO}_2/\text{Glass plate}$  のメチレンブルー透過率を示す. この透過率には光照射のみによる脱色作用も含まれている. 研磨ガラスと未処理ガラスを比較すると研磨ガラスの方が高効率であった. 研磨ガラス表面の粗さは未処理ガラスの約 40 倍であり, その表面積拡大による上昇が推察できる. また, 研磨ガラスでも  $\text{Cu}_2\text{O}$  を下層に配置することで,  $\text{TiO}_2$  単層を上回ることが確認できた.

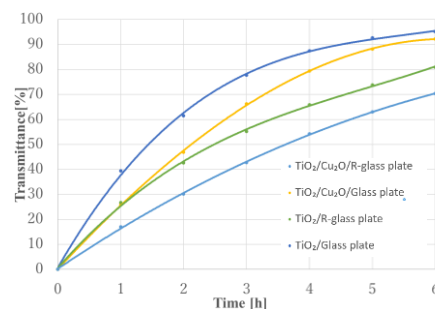


Fig. 1. 光触媒特性

## 文 献

- 1) 城市晃宏, 鷹野一朗: 2018 年日本表面真空学会学術講演会 (2018) 1P51S

\*E-mail: cm21035@ns.kogakuin.ac.jp

## SiO<sub>2</sub>/ホウ素添加 CVD ダイヤモンド界面の過渡光容量法を用いた 界面準位評価

○毎田 修<sup>1\*</sup>, 児玉 大志<sup>1</sup>, 兼本 大輔<sup>1</sup>, 廣瀬 哲也<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院工学研究科

### Characterization of deep interface states in SiO<sub>2</sub>/B-doped CVD diamond using the transient photocapacitance method

○Osamu Maida<sup>1\*</sup>, Taishi Kodama<sup>1</sup>, Daisuke Kanemoto<sup>1</sup> and Tetsuya Hirose<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, Osaka University

#### 1. はじめに

ダイヤモンド薄膜は高いキャリア移動度、高い絶縁破壊電界強度、高熱伝導率などの優れた物性をもつことから次世代のパワーデバイス、高周波デバイス用材料として期待されている。ダイヤモンド FET デバイスの実現には安定な MIS 構造の構築が必要不可欠であるが、絶縁膜/ダイヤモンド薄膜界面は一般に界面準位密度が高い。また、約 5.5 eV というバンドギャップをもつダイヤモンド薄膜と絶縁膜の深い界面準位の詳細は未だ明らかになっていない。そこで本研究では光容量分光法を用いた非輻射欠陥評価系<sup>1)</sup>を構築し、SiO<sub>2</sub>/ホウ素ドーパダイヤモンド薄膜界面の界面準位評価を行った。

#### 2. 実験

基板洗浄を施した高温高压合成 Ib ダイヤモンド (001) 結晶基板 (3.0×3.0×0.3 mm<sup>3</sup>) 上に投入マイクロ波パワー 3200 W、成長温度 1015°C、メタン濃度 4 %、成長圧力 96 Torr を成長条件として膜厚約 10 μm の B ドープダイヤモンド薄膜をトリメチルボロンをドーパントガスとして B/C 比 5 ppm でホモエピタキシャル成長した。その上に電子ビーム蒸着により膜厚 3 nm の Si 膜を形成し、処理温度 600°C、処理時間 10 時間の熱酸化を行い、Al 半透明電極を形成することで SiO<sub>2</sub>/ホウ素ドーパダイヤモンド薄膜 MIS 構造を作製した。

#### 3. 結果と考察

作製した SiO<sub>2</sub>/ホウ素ドーパダイヤモンド MIS 構造に 2 V の順方向バイアスを印可した結果、リーク電流は 1×10<sup>-12</sup> A 以下であり、良好な絶縁特性が得られた。

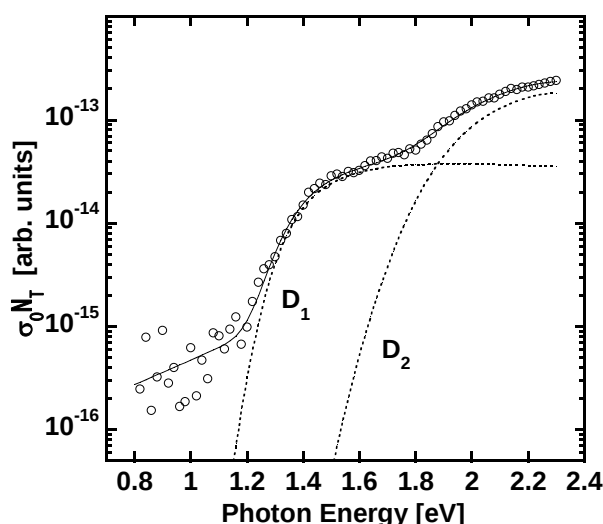


Fig. 1. ダイヤモンド MIS 構造の光容量スペクトル

SiO<sub>2</sub>/ホウ素ドーパダイヤモンド薄膜 MIS 構造の励起光エネルギー 0.75 ~ 2.3 eV における光容量スペクトルを図 1 に示す。光エネルギー 1.2 eV 以上の励起光照射にともない顕著な信号強度の増加が見られ、ホウ素ドーパダイヤモンド結晶中のアクセプタ型欠陥に起因する信号と考えられる。一方、光エネルギー 1.5 eV 以上の励起光照射にともない信号強度の増加はこれまで報告されておらず、SiO<sub>2</sub>/ホウ素ドーパダイヤモンド薄膜界面の界面準位に起因するものと考えられる。

#### 4. 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費「19K05293」および池谷科学技術振興財団の助成を受けたものです。

#### 文 献

- 1) O. Maida, T. Hori, T. Kodama and T. Ito: Mater. Sci. Semicond. Process **70**, 203 (2017).

\*E-mail: maida@eei.eng.osaka-u.ac.jp

## シラス多孔質ガラス薄膜形成におけるスピノーダル分解制御因子の抽出

○茶谷 那知<sup>1</sup>, 野口 大輔<sup>1\*</sup>, 寺村 享祐<sup>2</sup>, 矢野 智泰<sup>2</sup>, 栗原 路子<sup>3</sup>, 近藤 千恵子<sup>3</sup><sup>1</sup>都城工業高等専門学校物質工学科, <sup>2</sup>三井金属鉱業株式会社機能材料事業本部, <sup>3</sup>高千穂シラス株式会社 R&D センターExtraction of spinodal decomposition regulators  
in Shirasu porous glass thin film formation○Nachi Chaya<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1\*</sup>, Kyosuke Teramura<sup>2</sup>, Tomoyasu Yano<sup>2</sup>, Michiko Kurihara<sup>3</sup> and  
Chieko Kondo<sup>3</sup><sup>1</sup>National Institute of Technology, Miyakonojo College, <sup>2</sup>MITSUI MINING & SMELTING CO.,LTD., <sup>3</sup>Takachiho Shirasu.

## 1. はじめに

本研究では九州南部に広く分布する火山噴出物である「シラス」を原料とした機能性材料の研究開発を実施しており、現在までに様々な機能性を有することを明らかにした<sup>1)</sup>。その中で親水特性を応用した防曇特性に注目し、吸水性を付与する為にガラスの相分離現象を利用した多孔質薄膜の作製を試み、優れた防曇特性を長期間維持できることが示唆された薄膜構造の作製に成功している。本研究はスパッタ法で作製した薄膜のスピノーダル分解制御因子を明らかにすることを目的とする。具体的には、成膜時におけるガス圧力や投入電力等の条件による薄膜組成の変化とスピノーダル分解との相関関係及びそのメカニズムの解明を目指し、薄膜組成や薄膜構造を中心とした物性評価を行った。

## 2. 実験方法

本研究では、スパッタ法によって作製した薄膜を一般的なガラスの相分離プロセス<sup>2)</sup>を用いて多孔質化を試みた。薄膜の作製には、RF マグネトロンスパッタ装置(本研究室オリジナル)を用い、ターゲットはシラスを主原料とし、アルカリ及びアルカリ土類金属を添加して作製した分相母ガラス(φ3inch×4t)、スパッタガスは Ar ガス(4N)を用いた。また、成膜条件としてガス圧力を主要なプロセスパラメータとし、膜厚は 500nm とした。熱処理には卓上電気炉を用いてガラス転移点以上で規定時間以上加熱した。その後、酸(HCl)によるエッチングを施すことにより多孔質化を行った。成膜後の薄膜組成の評価は XRF (Rigaku, Supermini200) を用いて行い、一連の処理後における薄膜構造の評価は

SPM(日立製作所, Nanocute) 及び SEM(日立製作所, S-4800)を用いて行った。

## 3. 結果及び考察

Fig.1 に作製した薄膜(スピノーダル分解前)の成分化学組成を示す。Ar ガス圧力の増加に伴い、SiO<sub>2</sub>は単調減少、Na<sub>2</sub>O 及び MgO は単調増加、CaO 及び Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は U 字型、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は逆 U 字型の変化が確認され、薄膜組成が相分離現象の発現に関与することが確認された。また、同一の熱処理条件においてはガス圧力が低い程スピノーダル分解が進行しやすい傾向が確認された。

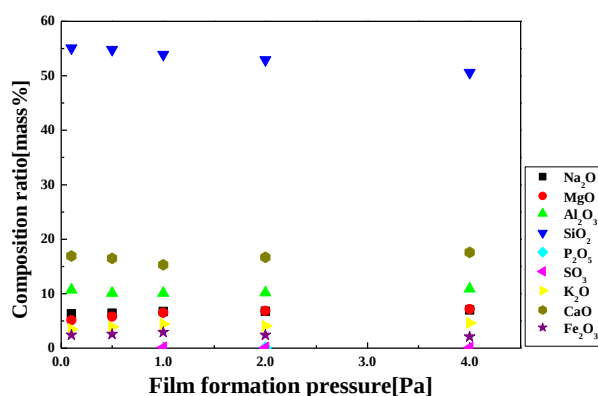


Fig. 1. 成膜後における成分化学組成評価

## 4. 結論

薄膜組成がスピノーダル分解に影響を与えることが確認され、多成分系がとる分相組織図がスパッタリングプロセスに適応できることが示唆された。

## 文 献

1)特許番号 : 6103642

2 作花済夫 : 材料,34,382(1985).

\*E-mail: noguchi@cc.miyakonojo-nct.ac.jp

## スパッタ粒子の運動エネルギーを利用した相分離スパッタ技術の開発

○田中 愛夢<sup>1</sup>, 野口 大輔<sup>1\*</sup>, 寺村 享祐<sup>2</sup>, 矢野 智泰<sup>2</sup>, 栗原 路子<sup>3</sup>, 近藤 千恵子<sup>3</sup>

<sup>1</sup>都城工業高等専門学校物質工学科, <sup>2</sup>三井金属鉱業株式会社機能材料事業本部, <sup>3</sup>高千穂シラス株式会社R&Dセンター

### Development of phase separation sputtering technology using the kinetic energy of sputtered particles

○Ayumu Tanaka<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1\*</sup>, Kyosuke Teramura<sup>2</sup>, Tomoyasu Yano<sup>2</sup>, Michiko Kurihara<sup>3</sup> and  
Chieko Kondo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Technology, Miyakonojo College, <sup>2</sup>MITSUI MINING & SMELTING CO.,LTD., <sup>3</sup>Takachiho Shirasu.

#### 1. はじめに

我々は、新たな防曇材料として南九州特有の火山噴出物であるシラスに着目し、現在までにスパッタ法により薄膜化することで超親水性を示すことを確認している<sup>1)</sup>。超親水性は防曇技術に応用できるが、防曇性の維持が課題となっていた。これまで、ガラスの相分離現象を利用した薄膜構造の多孔質化による吸水性の付与によって解決を試み、長期にわたって周囲の湿度変化によって水分の吸水、水膜の形成が繰り返し起こる薄膜構造を実現している<sup>2)</sup>。しかし、一般的に熱処理が必要な相分離現象では、需要が高まる耐熱性に乏しい基板に対応できない。よって本研究では、シラス薄膜の低温での相分離スパッタ技術開発を目的とし、熱エネルギーに代わり薄膜構造に影響を与えるスパッタ粒子の運動エネルギーの利用を試みた。具体的には、成膜条件がスパッタ粒子の運動エネルギーに与える影響とその運動エネルギーに対する薄膜の成分化学組成比の変化を調査した。また、薄膜の表面構造の評価では、現在、低温での相分離は確認できていない。

#### 2. 実験方法

シラス薄膜の作製には RF マグネトロンスパッタリング装置(本研究室オリジナル)を用い、ターゲットはシラスを主原料とし、アルカリ及びアルカリ土類金属等を添加して作製した相分離性母ガラス( $\phi 3\text{inch} \times 4\text{t}$ )、スパッタガスは Ar ガス(4N)を用いた。また、成膜条件としてガス圧力をプロセスパラメータとし、膜厚は 500nm とした。薄膜の多孔質化を目的とした酸処理は  $1 \times 10^{-5}\text{N-HCl}$  により行った。スパッタ粒子の運動エネルギーは Thompson の式及び Kevin-Meyer の式を用い

て算出した<sup>3)</sup>。また、薄膜の成分化学組成比は XRF、表面構造は SPM 及び SEM を用いて評価した。

#### 3. 結果および考察

スパッタ粒子の運動エネルギーはガス圧力が小さくなると急激に増加した。Fig.1 にスパッタ粒子の運動エネルギーに対する薄膜の成分化学組成比の内、相分離に影響を与える  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{MgO}$  の変化を示す。スパッタ粒子の運動エネルギーの増加に対して、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は U 字型に変化し、 $\text{MgO}$  は単調減少している。これらは、スパッタ粒子の質量の違いが原因だと考えられる。他の成分化学組成比と薄膜構造の詳細は当日報告する。

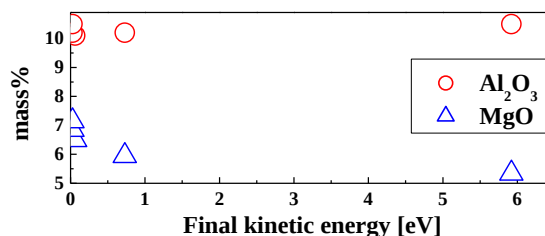


Fig. 1.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{MgO}$  の成分化学組成比の変化

#### 4. 結論

成膜条件とスパッタ粒子の運動エネルギーとの関係とスパッタ粒子の運動エネルギーに対する薄膜の成分化学組成比の変化を確認した。得られた薄膜は熱処理による相分離を確認しているため、相分離する成分化学組成にあるといえ、低温での相分離はより大きいスパッタ粒子の運動エネルギーが必要だと考えている。

#### 参考文献

- 1) [https://shingi.jst.go.jp/past\\_abst/abst/p/14/1406/m905.pdf](https://shingi.jst.go.jp/past_abst/abst/p/14/1406/m905.pdf) (参照 2021年8月23日).
- 2) <https://shingi.jst.go.jp/var/rev/0/0001/2145/miyakonojo01.pdf> (参照 2021年8月23日).
- 3) K.Meyer. et.al, J. Appl. Phys. 52, 5803 (1981).

\*E-mail: noguchi@cc.miyakonojo-nct.ac.jp

## CO ガスを用いた反応性スパッタリングによる TiO<sub>2</sub> 薄膜の形成と評価

○小林 真美子、池田 雄皇、宇都木 瑛人、野間 恭太、一戸 隆久\*, 大野 秀樹

東京工業高等専門学校

### Properties of TiO<sub>2</sub> films fabricated by reactive sputtering with CO gas

○M. Kobayashi, O. Ikeda, E. Utsugi, K. Noma, T. Ichinohe and H. Ohno

National Institute of Technology, Tokyo College

#### 1. はじめに

インジウムスズ酸化物薄膜に代表される透明導電膜(TCO 膜)は、構成元素の希少性により代替材料が必要である<sup>1)</sup>。透明導電膜の候補として、二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)系材料が注目されている<sup>2)</sup>。

本研究では 反応性ガスとしてアルゴン(Ar)希釈一酸化炭素(CO)ガスを用いた反応性マグネトロンスパッタリング法によって薄膜形成し、CO 濃度をパラメータとした諸特性について評価することを目的とする。

#### 2. 実験方法

高純度チタニウムターゲットを用いた直流マグネトロンスパッタリング法により成膜した。キャリアガスとして Ar ガス 0.3 Pa(一定)に対し、反応性ガスとして CO 濃度を 40%まで変化させた。形成した薄膜について、四探針法、紫外可視分光法及び薄膜 X 線回折(XRD)法によって評価した。さらに、形成した薄膜を窒素雰囲気下で熱処理(600℃以下)を 10 分間行い、その特性について調べた。

#### 3. 結果

CO 濃度 6%のときの最大透過率は約 25%、CO 濃度 40%のときは約 75%であった。CO 濃度が高くなるにつれて透過率が上昇する一方、抵抗率は高くなった。600℃の熱処理後は、いずれも 80%以上の高透過率を示した。各熱処理温度における CO 濃度と抵抗率の関係を Fig. 1 に示す。CO 濃度が高くなるにつれて抵抗率が高くなり、比較的低温の熱処理で絶縁性を示すことが分かった。比較的低い抵抗率を示した CO 濃度 6%の膜では 400℃まではほぼ一定の抵抗率を保ち、600℃で絶縁性を示した。一方 CO 濃度 40%では、400℃以上の熱処理で絶縁性を示した。XRD 法による分析結果で

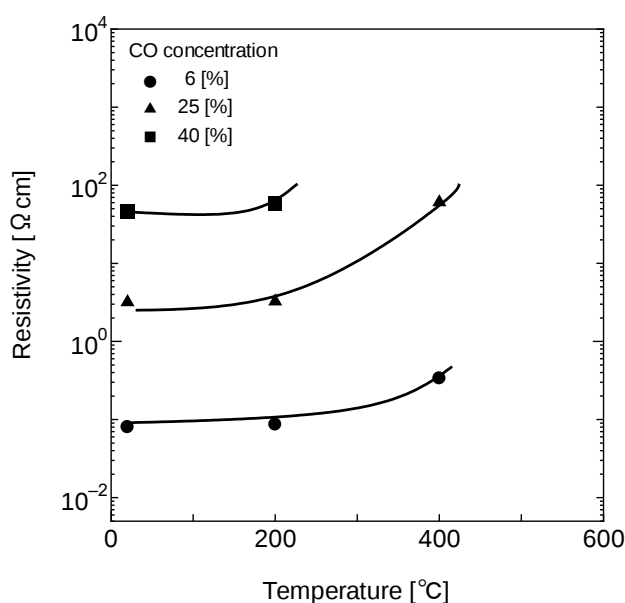


Fig. 1 各熱処理温度における抵抗率

は、いずれも 400℃以下ではアモルファス構造を示したが、600℃では結晶化が見られた。このとき CO 濃度 6%ではルチル型である一方、40%ではアナターゼ型であった。アモルファス薄膜を結晶化すると低抵抗の多結晶薄膜を得られるとの報告<sup>3)</sup>もあるが、本結果はアモルファス構造において低抵抗化が得られる膜の知見が示唆されたものと思われる。

#### 文 献

- 1) T. Ishida, M. Okada, T. Tsuchiya, T. Murakami, M. Nakano: Thin Solid Films, **519**, 1934 (2001).
- 2) 一杉太郎, 古林寛, 長谷川哲也: J. Vac. Soc. Jpn., **50**, 111 (2007).
- 3) 大島浩一, 新妻清純, 移川欣男: “TiO<sub>2</sub> 薄膜の電気的性質に及ぼす熱処理の影響”, 電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集VII-3 (2007).

\*E-mail: ichi@tokyo-ct.ac.jp

## 応性スパッタで作製した酸化タングステン薄膜における エレクトロクロミック特性の消色電圧依存性

○穂坂 晃佑<sup>1</sup>, 三好 礼子<sup>1</sup>, モハメッド シュルズ ミヤ<sup>1</sup>, 中野 武雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>成蹊大学大学院理工学研究科

### Decoloration voltage dependence of electrochromic properties of tungsten oxide films prepared by reactive sputtering

○Kosuke Hosaka<sup>1</sup>, Reiko Miyoshi<sup>1</sup>, Md. Suruz Mian<sup>1</sup>, Takeo Nakano

<sup>1</sup>Dept. of Science and Technology, Seikei University

#### 1. 緒言

酸化タングステン ( $\text{WO}_3$ ) は古くから盛んに研究されている代表的なエレクトロクロミズム材料であり、可逆的な色調変化を示すことから様々な応用が期待されている。我々は、反応性スパッタ法を用いて着色時に5%以下の透過率を示す厚い  $\text{WO}_3$  膜(膜厚 1000 nm)を実現し、高遮光窓ガラスへの応用に向けて研究を進めてきた。ただし消色後透過率の低さが課題として残っていた。前回の報告<sup>1)</sup>では、消色電圧は固定のうえ、(1) 一定の電圧掃引速度で着色電圧を変更、(2) 着色電圧も固定して掃引速度を変更、という2種類の実験により膜に注入する  $\text{Li}^+$  カチオン量を制御して、着色消色の最適化を試みた。結果として、消色後の透過率を成膜直後の透過率に近い値にまで回復させることに成功した。今回は、着色電圧を前回得られた最適値 (-1.2 V) に固定し、消色電圧を変化させることで  $\text{Li}^+$  の引き抜きを促進し、消色後透過率のさらなる向上を試みた。

#### 2. 実験方法

DC 反応性スパッタ法を用いて、ITO 基板上に  $\text{WO}_3$  薄膜を作製した。製膜条件は前回<sup>1)</sup>と同様とした。三極型電解セルを用いて、作製した試料のサイクリックボルタンメトリー測定を行った。このときの電解液には1 Mの  $\text{LiClO}_4$ -炭酸プロピレン溶液 50 mL を用いた。電圧掃引速度を 10 mV/s、着色電圧を -1.2 V に固定し、消色電圧を +1.2 ~ +2.0 V の範囲で変化させた。各電圧範囲の条件で、成膜直後 (As-depo)、着色時 (Colored)、消色時 (Bleached) における試料の透過スペクトルをそれぞれ測定した。

#### 3. 結果

Fig. 1 に得られた透過スペクトルを示す。以降に記す「透過率」は、450~750 nm の可視光領域の範囲における平均値である。As-depo での透過率は約 83%、着色時の透過率は 5 %以下となり、バッチごとのスペクトルの再現性も良好であった。消色電圧を大きくするにつれて消色時の透過率は大きくなり、消色電圧が +1.8 V のときには 80%と、As-depo での透過率の 97% にまで回復した。消色電圧を +2.0 V とすると消色時の透過率は As-depo より高くなり、スペクトルの形状も極端に変化した。これは膜にクラックが発生したためと考えられる。講演では膜に注入された  $\text{Li}^+$  の量や他の電圧での結果について詳細に報告する。

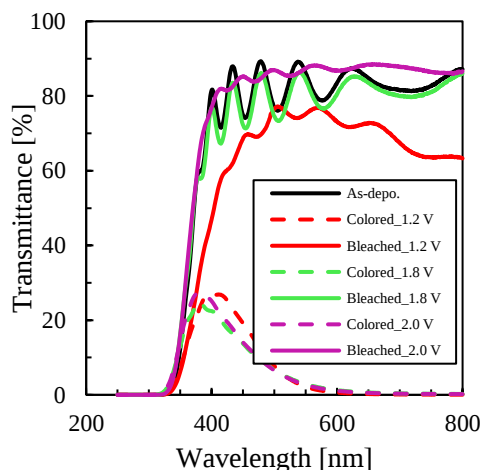


Fig.1 消色電圧に対する透過スペクトルの変化

#### 文 献

- 1) 八木 他, 2020 年日本表面真空学会学術講演会, 1Ea12S. DOI: [10.14886/jvss.2020.0\\_36](https://doi.org/10.14886/jvss.2020.0_36)

\*E-mail: nakano@st.seikei.ac.jp

【ここには印刷段階で著者名が入ります。】

XXX

Ag(110)基板上に配向した $\pi$ 共役系分子薄膜(DBP)の電子状態○大瀧 峻也<sup>1</sup>, 福谷 圭祐<sup>2</sup>, 解良 聡<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>千葉大院融合理工学府, <sup>2</sup>分子科学研究所Electronic states of thin films of  $\pi$ -conjugated molecule DBP oriented on Ag(110) substrate○Shunya Otaki<sup>1</sup>, Keisuke Fukutani<sup>2</sup>, and Satoshi Kera<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>Graduate school of Science and Engineering, Chiba Univ., <sup>2</sup>Institute for Molecular Science

## 1. 序論

有機デバイスにおいて、金属電極から分子への電荷注入機構はデバイスの電荷輸送や変換効率に大きな影響を及ぼす。しかし多くの場合、その界面構造が複雑であるため、電子状態の変化に対する構造との相関が整理されておらず、未解明の部分が多い。そのため有機デバイスの性能向上に向けて、有機分子薄膜と基板界面について、エネルギー的接合のみならず空間的な波動関数接続の微視的な理解は大変重要である。

Tetraphenyldibenzoperiflanthene(DBP)は、ホール伝導度の高い安定なp型半導体として注目を集めている。加えてこの分子は、巨大な $\pi$ 共役平面を持ちながらも側鎖フェニル基による立体障害により、基板と主鎖間の距離が大きくなることが想定される。以上のことから、DBPと基板界面でどのような波動関数接続により電子状態が変化し、界面エネルギー準位接合を満たすのか興味深い。また先行研究により、この分子膜をAg(111)基板上に成膜すると、界面由来と考えられる新たな準位が観測されることが分かっているが、この準位の起源について未だ詳しい議論はなされていない[1]。そこで本研究では、Ag(110)基板上にDBP分子の単層膜を作製し、分子配向や表面および界面の電子状態について、準安定励起原子電子分光法(MAES)と角度分解紫外光電子分光(ARUPS)における光電子放出の角度分布に着目し詳細に研究を行った。

## 2. 実験方法

Ag(110)基板は、スパッタアニールサイクルにより清浄面を得た。DBP粉末の入った坩堝を加熱し、真空蒸着により、単層膜を作製した。最表面の電子状態が観測可能なMAES(He<sup>2+</sup>2s)とUPS(HeI)の膜厚依存性を同

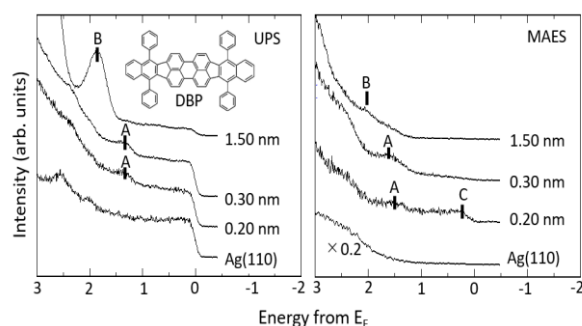


Fig. 1 UPS、MAES スペクトル (単層膜付近、多層膜) 一試料について評価した。蒸着、測定は全て室温にて行った。

## 3. 実験結果

Fig. 1 に清浄基板と単層膜付近、多層膜におけるUPS、MAESの膜厚依存性を示す。仕事関数の飽和より、0.20 nmを一層とした。UPSでは0.20 nm、0.30 nmにおいて(A)1.3 eV 付近に準位が観測された。多層膜(1.50 nm)のUPSでは、界面由来でない分子のHOMOが(B)1.9 eV 付近に観測されたことから界面特有のギャップ準位であると言える。一方MAESでは、UPS(A)に対応する界面準位が1.4 eVに観測される。さらに単層0.20 nmでのみ(C)0.2 eV 付近に準位が観測された。一般的に金属表面におけるMAESでは共鳴イオン化過程によりフェルミ端の構造は観測されない。実際にC準位は清浄基板と0.30 nm以上の膜厚では観測されず、この準位は特定の膜厚での界面電子状態変化を敏感に反映していることが示唆される。つまり基板電子と分子軌道の弱い混成により、界面に局在化した電子状態がMAESで特徴的に検出されたと考えられる。

当日はARUPSの結果も踏まえ、より詳細にこの界面準位の起源について議論を行う。

## 参照

[1]白石龍 ほか、第64回応用物理学会春季学術講演会

\*E-mail: kera@ims.ac.jp

## LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub> エピタキシャル薄膜の低温合成

○副田海周<sup>1\*</sup>, 尾張 眞則<sup>2</sup>, 白木 将<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 日本工業大学 大学院工学研究科 環境共生システム学専攻, <sup>2</sup> 日本工業大学 基幹工学部 応用化学科

### Low-temperature synthesis of epitaxial LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub> thin films

○Kaishu Soeda<sup>1\*</sup>, Masanori Owari<sup>2</sup>, and Susumu Shiraki<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Environmental Symbiotic System Major, Nippon Institute of Technology,

<sup>2</sup>Department of Applied Chemistry, Nippon Institute of Technology

#### 1. はじめに

リチウムイオン二次電池は、過去 20 年にわたって、携帯電話、ノートパソコンなどの携帯用電子機器に広く使用されてきた。最近では、電気自動車、定置型エネルギー貯蔵などの大規模用途でも有望な技術と見なされている。これらの要件を満たすため大容量、高電圧、および低コストの正極材料の開発が急務となっている。スピネル構造を持つ LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub> (以下、LNMO)<sup>1,2</sup> は、3 次元的なリチウムイオン拡散経路を有し、5V 級の高電位を発生する正極材料である。現在普及している Li イオン電池は、正極に充放電電圧が 4V 程度の LiCoO<sub>2</sub> を使用しているため、その充放電電圧を現在の LiCoO<sub>2</sub> の 4V から LNMO の 5V にすることが出来れば、エネルギー密度の向上にもつながる。一般に、LNMO のような遷移金属酸化物の合成では、1000 度前後での焼結プロセスが必要であり、新規電池材料の実用化には焼結温度の低温化による低コスト化も重要なポイントである。本研究では、LNMO のエピタキシャル薄膜の低温合成を目指し実験を行なった。

#### 2. 実験方法

キャノンアネルバ製 EB1000 を用いて、RF スパッタリング法により LNMO の薄膜作製を行った。基板には、SrTiO<sub>3</sub> (111) 単結晶基板 (STO) を用いた。成膜時の全圧は 3.0 Pa、Ar ガス導入流量は 3.0 mL/min、O<sub>2</sub> ガス導入流量は 5.0 mL/min、RF 出力は 50 W、ターゲットと基板間の距離は 50 mm、基板温度は室温 (21℃)、成膜時間は 30 分であった。作製した薄膜は、ホットプレートを用いて大気中 100℃、200℃、300℃、400℃、500℃のいずれかで 15 時間の加熱処理を行い、X 線回折 (XRD) 測定を行った。測定には、リガク製 Ultima IV ならびに Smart Lab を用いた。

#### 3. 結果

Fig. 1 に XRD 測定の結果を示す。室温での成膜直後及び、100℃加熱後の試料では基板由来のピークのみが見られ LNMO の回折ピークは見られなかった。加熱温度 200℃以上では LNMO440 の回折ピークが明瞭に観察され、薄膜がエピタキシャル成長したことがわかる。結晶配向関係は LNMO (110) [1-10]//STO (111) [1-10] であった。さらに、加熱温度が高くなるに従い、ピークが鋭くなっていることから、結晶性が高くなっていることもわかる。以上のことから STO 上に室温で成膜した LNMO 薄膜が比較的低温の加熱により (110) 配向でエピタキシャル成長することが分かった。また、500℃加熱後の試料からは LNMO111 回折ピークが見られ、より高温の加熱では、(110) 配向と結晶配向の異なる (111) 配向した成分も混在してエピタキシャル成長することが分かった。

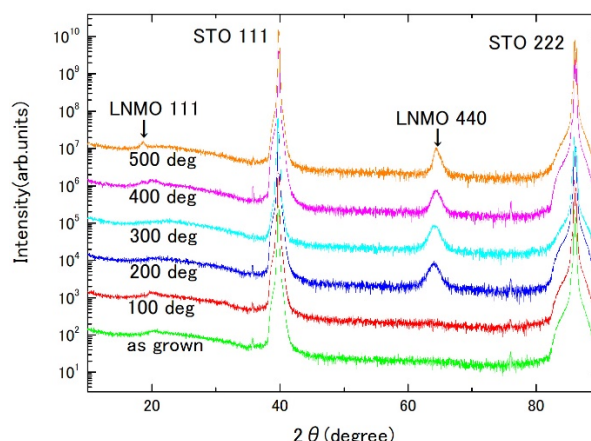


Fig. 1. 加熱温度による回折パターンの変化

#### 文 献

- 1) H. Kawasoko *et al.*, ACS Applied Materials and Interfaces 13 (2021) 5861.
- 2) H. Kawasoko *et al.*, ACS Applied Energy Materials 3 (2020) 1358.

\*E-mail: 2216002@stu.nit.ac.jp

## Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2021

## ケルビンプローブ法を用いたグラフェンの変形解析

森喜久雄<sup>1\*</sup>、田中深幸<sup>2</sup>、川端澄子<sup>2</sup>、岡田光博<sup>2</sup>、久保利隆<sup>2</sup>、○清水哲夫<sup>2\*</sup><sup>1</sup>矢崎総業株式会社、<sup>2</sup>国立研究開発法人産業技術総合研究所

## Deformation Analysis of graphene using Scanning Kelvin Probe technique

Kikuo Mori<sup>1\*</sup>, Miyuki Tanaka<sup>2</sup>, Sumiko Kawabata<sup>2</sup>, Mitsuhiro Okada<sup>2</sup>,  
Toshitaka Kubo<sup>2</sup> and ○Tetsuo Shimizu<sup>2</sup><sup>1</sup>Yazaki Research Laboratory, <sup>2</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

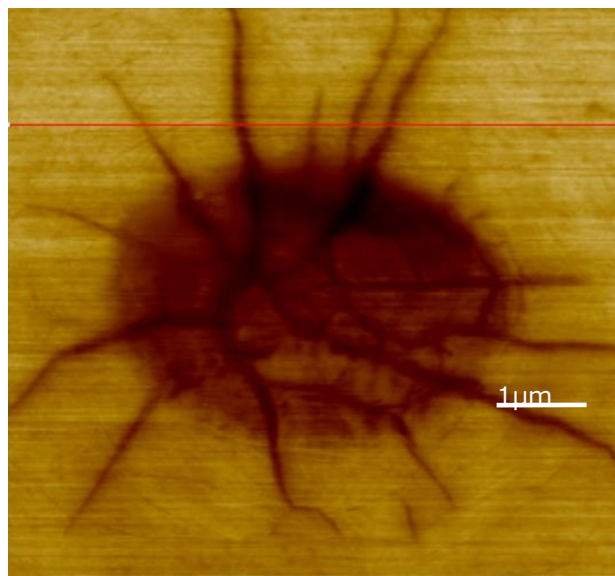
ナノテクノロジーの技術革新に伴い電子デバイスの小型、高機能、高速動作やフレキシブル化が進んでいる。特に炭素のみからなるフラーレン、ナノチューブ、グラフェンなどのナノ材料は、新たな合成方法を実現することで研究を活発にしてきた。グラフェンは化学的に表面不活性であるため、酸化しやすい金属基板に表面被覆することで酸化抑制できる可能性がある。

銅表面には高品質なグラフェンが CVD により成膜できる。そこで銅上に成膜されたグラフェンに機械的変形を加えたときにどのような影響を受けるかを調べることにした。そのため、今回はケルビンプローブ法に着目して変形が仕事関数に及ぼす影響について調べることにした。試料は銅基板表面全体にグラフェンが被覆している試料である。用いた AFM は、パーク社製 NX10 である。

数マイクロメートルの押し込みによる変形にくべてグラフェンの膜の厚さは 1 nm 程度である。そのため、プローブ顕微鏡の凹凸情報から、グラフェン膜の変化を計測するのは困難である。そこでケルビンプローブ法を適応して仕事関数像を取得し微細な変化をとらえることを試みた。その像を Fig. 1. に示す。明るいコントラストは、仕事関数が大きく、暗いコントラストは、仕事関数が小さくなるように色付けした。変形を加えた楕円状の箇所は、暗いコントラストであった。したがって変形を加えたところは、グラフェンが剥離し、暗いコントラストで観察されたと考えられる。変形を加えた部分の外側に向かって放射状

に暗いコントラストが伸びているのが観察された。このことは、変形に伴いグラフェンが引っ張られてグラフェンが割れた結果を反映していると考えている。

グラフェンを被覆した試料に変形を加え、変形による変化をケルビンプローブ法により高分解能で観察できた。グラフェンの剥離のみならず、放射状に延びた割れを高分解能で把握できた。



**Fig. 1.** サファイア基板上に 1 μm の厚さで銅（111 面）を成膜した試料に、CVD 法でグラフェンを成膜した。そのグラフェン表面にタングステン探針を用いてインデンテーションを行った表面の仕事関数像である。明るいコントラストほど仕事関数が高い。凹凸像では、検出が難しいグラフェンの割れを高分解能で検出できた。

\*E-mail: kikuo.mori@jp.yazaki.com, tetsuo-shimizu@aist.go.jp

## CNT 薄膜の熱電性能解析手法の開発 及び半導体純度・配向性依存性への応用

○小林 遵栄<sup>1</sup>, 山本 貴博<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>東京理科大学大学院工学研究科, <sup>2</sup>東京理科大学理学部

### Development of analysis method for thermoelectric performance of CNT thin films and its application to semiconductor purity and alignment dependence

○Junei Kobayashi<sup>1</sup> and Takahiro Yamamoto<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science, <sup>2</sup> Faculty of Science, Tokyo University of Science

#### 1. はじめに

カーボンナノチューブ(CNT)は、高い柔軟性と高い電気的特性を有することから、フレキシブルな熱電デバイスの材料に適している[1,2]. CNTの熱電性能に関する理論的研究の焦点は主にミクロな個々のCNTに向けられている[3]. CNTは生成過程で金属CNTと半導体CNTが1:2の割合で混合された状態で生成され、この比率を変えると熱電性能が大きく変わり、またゼーベック係数のゲート電圧依存性において、半金比率に限らず電荷中性点付近から大きく立ち上がることが実験で示されている[4]. さらに、配向したCNT薄膜において、CNTの配向方向に平行な電気伝導率は垂直な電気伝導率よりも明らかに大きく異方的であることに對し、ゼーベック係数はほとんど変化せず当方的であることが実験で示された[5]. このような熱電性能の振る舞いは理論的に明らかにされておらず、個々のCNTから理解することは困難であるため、熱電性能のセミマクロなパラメータへの依存性を系統的に調べるための新しいシミュレーション手法の開発が必要である。

#### 2. シミュレーション方法

CNTを模した直線をランダムな角度と位置に配置することでCNT薄膜をランダムスティックネットワーク(RSN)モデルに変換する[6]. CNT同士の接触点に接触電気抵抗または接触熱抵抗を、接触間のCNTに電気抵抗または熱抵抗を与えることで、RSNモデルを電気・熱回路網とみなすことができる。この電気回路網を解くことでCNT薄膜の電気伝導率 $\sigma$ を求めることができる。また熱回路網を解くことで、すべての

接点間にかかる温度差を計算でき、その温度差とCNTのゼーベック係数または接触ゼーベック係数の積である熱起電力を加えた新たな電気回路網の開放電圧 $V_{OC}$ を計算することでCNT薄膜のゼーベック係数 $S$ を $S = V_{OC} / \Delta T$ から求めることができる。

#### 3. 結果と考察

本研究で新規開発した手法を用いて複数の半導体純度での熱電性能の化学ポテンシャル依存性を解析した結果、実験結果[4]の電気伝導率及びゼーベック係数の振る舞いを良く再現し、電荷中性点付近のゼーベックの振る舞いがCNT同士の接触ゼーベックによる影響であることを理論的に明らかにした。

さらに配向性を制御したCNT薄膜についても実験結果[5]と同様な電気伝導率の異方性、ゼーベック係数の等方性を再現し、電気伝導率は有効接点数の差から異方性の原因を、ゼーベック係数は電圧・温度勾配の一様性から等方性の原因を明らかにした。

#### 文 献

- [1] A. Javey et al., Nature **424**, 654 (2003).
- [2] J. Bahk, et al., J. Mater. Chem. C, **3**, 10362 (2015).
- [3] T. Yamamoto and H. Fukuyama, Jpn. J. Phys. Soc. **87**, 114710 (2018).
- [4] Y. Ichinose et al., Nano Lett. **19**, 7370 (2019).
- [5] K. Fukuhara et al., Appl. Phys. Lett., **113**, 243105 (2018).
- [6] M. Tsukuda et al., Appl. Phys. Express. **12**, 055006 (2019).

\*E-mail: takahiro@rs.tus.ac.jp

時間分解多探針 STM を用いた単層 WS<sub>2</sub> の局所励起子ダイナミクス評価

○水野 良祐<sup>1</sup>, 茂木 裕幸<sup>1</sup>, 和田 尚樹<sup>2</sup>, 宮田 耕充<sup>2</sup>,  
嵐田 雄介<sup>1</sup>, 吉田 昭二<sup>1</sup>, 武内 修<sup>1</sup>, 重川 秀実<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>筑波大学理工学群, <sup>2</sup>東京都立大学理学部

Evaluation of local exciton dynamics of single-layer WS<sub>2</sub> using time-resolved multi-probe STM

○Ryosuke Mizuno<sup>1</sup>, Hiroyuki Mogi<sup>1</sup>, Naoki Wada<sup>2</sup>, Yasumitsu Miyata<sup>2</sup>,  
Yusuke Arashida<sup>1</sup>, Shoji Yoshida<sup>1</sup>, Osamu Takeuchi<sup>1</sup>, Hidemi Shigekawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Univ. of Tsukuba, <sup>2</sup> Tokyo Metropolitan Univ.

遷移金属ダイカルコゲナイド系(TMDCs)二次元半導体は、Siに匹敵する高い移動度や可視光領域に対応するバンドギャップを持つこと、組成選択の自由度が高いことなどから高パフォーマンスかつ極薄膜の電子・光電子デバイス応用へ向けて盛んに研究されている。また、2次元構造に由来する閉じ込め効果の存在や、弱いスクリーニング効果のために励起子が高い束縛エネルギーを持ち、室温でも安定に存在することが知られている。そのため、2次元励起子を用いた新たな情報伝達デバイスへの応用も期待されており、実用化に向けて励起子の時間・空間的なダイナミクスをより詳細に計測することが重要である。励起子ダイナミクスに関する研究はこれまで、フォトルミネッセンス法等による光学的な計測によって進められてきたため、空間分解能はサブマイクロメートル程度に限られてしまい、グレインバウンダリ等の微細構造における特性の解明は困難だった。

本研究では、当研究グループが開発した多探針走査トンネル顕微鏡にポンプ-プローブ光学系を組み合わせることで探針直下の局所的な励起子ダイナミクスが測定できることを明らかにした。Fig 1 に試料の光学顕微鏡像を示す。試料は SiO<sub>2</sub>/Si 基板上に化学気相成長(CVD)法により作成した WS<sub>2</sub>/WSe<sub>2</sub> 面内ヘテロ構造を使用した。図中矢印で示したヘテロ界面付近では、WSe<sub>2</sub> 領域は比較的平坦であったのに対し、WS<sub>2</sub> 領域ではグレインバウンダリにより誘起される波状の構造が確認できた\*。この波状構造を STM により形状観察すると同時に、2 nm 毎に遅延時間スキャンを行い各探針位置毎の時間分解スペクトルを取得した。それぞれ単一成分の指数関数によりフィッティングして得られた時定数を Fig 2 に示す。得られた時定数は波状構造の頂上部と底部で異なり、頂上部の方が底部よりも大きな値となった。この理由のひとつとして、WS<sub>2</sub> と基板間の界面の粗さによるポテンシャルの揺らぎによって、底部では局所的に光生成励起子の EEA( exciton-exciton annihilation )過程が活発化していることが考えられる。本研究結果は単分子層の光電子デバイスの理解と将来の応用に必要不可欠な知見をもたらすものである。

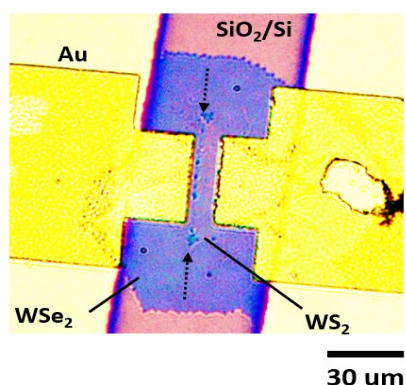


Fig 1 試料光学顕微鏡像

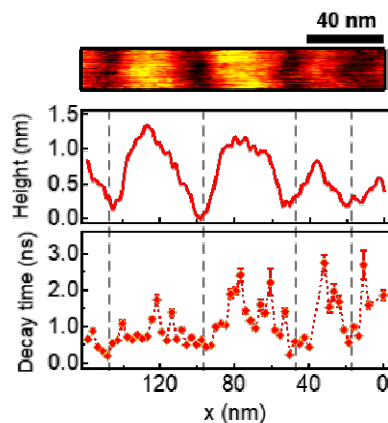


Fig 2 上から STM 形状像,  
高さラインプロファイル, 時定数

\* H. Liu, D. Chi, Scientific Reports 5, 11756 (2015)

\*E-mail: [hidemi@ims.tsukuba.ac.jp](mailto:hidemi@ims.tsukuba.ac.jp), <https://dora.bk.tsukuba.ac.jp>

## ブラックカーボン粒子の光熱変換に対する粒径効果

○山本 真子<sup>1</sup>, 古澤 美卯<sup>1</sup>, 金田 実希也<sup>1</sup>, 本間 芳和<sup>1</sup>, 山本 貴博<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京理科大学理学部

### Particle size effect on photothermal conversion of black carbon particles

○Mako Yamamoto<sup>1</sup>, Miu Hurusawa<sup>1</sup>, Mikiya Kaneda<sup>1</sup>, Yoshikazu Homma<sup>1</sup> and Takahiro Yamamoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Science

#### 1. はじめに

様々な有機物の不完全燃焼によって生成される炭素質粒子であるブラックカーボン (BC) は、視光領域での吸収率が高いことから、球温暖化の原因の一つと考えられている[1]。しかし、BC の構造的・物理的特性がどのように地球温暖化に寄与しているのかはまだ明らかになっていない。そこで、本研究では BC の粒子サイズに大きな差があることに着目し、光熱変換に対する粒径サイズ効果を評価することを目的とした。

#### 2. BC の粒径

エタノールは炭素数 2, プロパノールは炭素数 3, ろうそくは炭素数 20 以上と、炭素数の異なる様々な種類の有機材料から BC を合成した。エタノール, プロパノール, ロウソクで製造した BC を SEM で観察し、粒径を測定した。平均粒径は、プロパノール生成 BC では 26.9 nm, キャンドル生成 BC では 40.9 nm であった。一方、エタノール生成 BC の粒径は、プロパノール生成やキャンドル生成の BC の粒径に比べてはるかに小さく、その粒径を測定することは困難であった。我々の実験では、炭素含有量が多い BC は粒径が大きく、炭素含有量が少ない BC は粒径が小さいと考えられる。

#### 3. 光熱変換

次に、ラマンスペクトルの G バンドピークのレーザー強度依存性を、試料の温度 (●エタノール、▲プロパノール、■キャンドル) に応じて測定した。このピークは、レーザー強度の増加とともに単調に減少し、Fig.1 に示すような直線でよく表された。エタノールで生成された BC の傾きは他 2 つの BC よりも大きくなっていた。ダウンシフト  $\Delta\omega$  の値から、

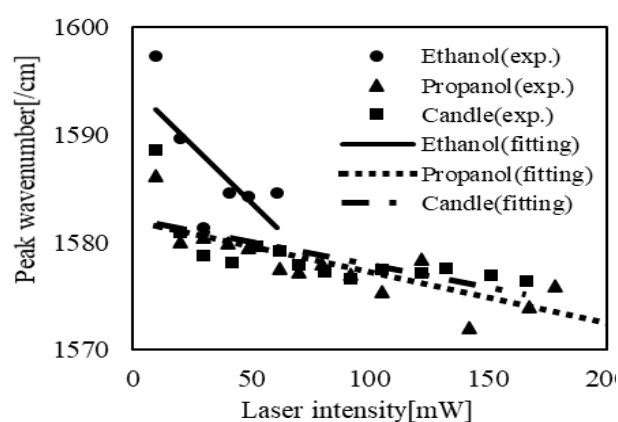


Fig. 1. G-バンドピーク強度とレーザー強度の関係

$\chi = -1.62 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}/\text{K}$  [2] の  $\Delta T = \Delta\omega/\chi$  の関係を用いて、BC の温度上昇を求めた。エタノール, プロパノール, ロウソクで生成した BC に波長 532 nm のレーザーを照射したところ、それぞれ 20 K/mW, 2.6 K/mW, 1.7 K/mW の温度上昇が見られた。これらの結果から、炭素含有量の多い有機材料から製造した BC は、波長 532 nm の照射光に対して低い光熱変換効率を示すことがわかった。

#### 4. おわりに

BC の粒径測定とラマンによる光熱変換効率の計算結果は、炭素含有量が高い BC は、粒子径が大きい BC となり、波長 532 nm の照射光で光熱変換効率が低くなることを示唆している。

#### 文 献

- 1) T. C. Bond, et al. : Res. Atmos., **118**, 5380-5552 (2013).
- 2) I. Calizo, et al. : Nano Lett., **7**, 2645- 2649 (2007).

\*E-mail: takahiro@rs.tus.ac.jp

$\alpha$ -テルチオフェン単分子接合の表面増強ラマン散乱による構造解析○小林 柊司<sup>1</sup>, 金子 哲<sup>1,2\*</sup>, 西野 智昭<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 東京工業大学理学院, <sup>2</sup>JST さきがけStructural identification of  $\alpha$ -terthiophene single molecule junction by surface-enhanced Raman scattering○Shuji Kobayashi<sup>1</sup>, Satoshi Kaneko<sup>1,2\*</sup>, Tomoaki Nishino<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>JST PRESTO

[緒言]金属間に単一分子を架橋した構造体である単分子接合は、分子を用いた微小電子デバイスの材料として期待されている。π共役系を用いた単分子接合は電極間距離に対する電気伝導度の減衰率が小さく、特に、長いπ共役系を持つオリゴチオフェンは分子ワイヤの材料として注目されている。しかし、これまでのオリゴチオフェンの研究は、架橋部位の規定のためにアンカー基を導入したものがほとんどである。したがって、π共役系と金属が直接接続されておらず、高い伝導性を保持したままの単分子接合が形成されていない。そこで本研究では、アンカー基を持たない $\alpha$ -テルチオフェン(3T)を架橋した単分子接合について、電流-電圧( $I$ - $V$ )特性と表面増強ラマン散乱(SERS)を同時に計測することにより、単分子接合の電気伝導度および対応する界面構造の解明を目標とした。

[実験手法] 単分子接合は Mechanically-Controllable Break-Junction (MCBJ)法により室温・大気中で作製した。様々な電気伝導度の状態で単分子接合を保持し $I$ - $V$ と SERS を計測した。<sup>[1]</sup>得られた SERS スペクトルから架橋構造を推定するため、金原子のクラスター間に 3T 分子を架橋させた構造について、Gaussian 16 を用いラマンスペクトルの計算を行った。基底関数として B3LYP/LanL2DZ を用い、計算の初期構造として、Fig.1 に示したように金電極に接続するチオフェン環の組み合わせを①から③まで系統的に変化させたものを用いた。

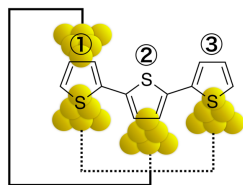


Fig. 1. 計算に用いた架橋部位の概念図

[結果・考察] Fig. 2 には、3T 単分子接合の SERS スペクトルおよび $I$ - $V$ 曲線の例を示した。SERS スペクトルでは、チオフェン環の C-C 伸縮に由来する振動が $1520\text{ cm}^{-1}$ 付近(図中青色部)に観測された。また、 $I$ - $V$ 曲線から算出される電気伝導度は、 $10^{-3}\text{ G}_0 \sim 0.1\text{ G}_0$

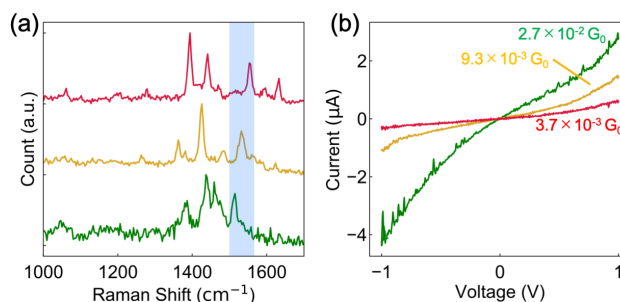


Fig. 2. 3T 単分子接合の(a) SERS と(b)  $I$ - $V$  の例

( $=2e^2/h$ )を中心とした幅広い範囲に分布した。C-C 伸縮振動の振動数は、電気伝導度が高いほど低くなる傾向が見られた。また、 $I$ - $V$  曲線から算出される金属-分子間の相互作用が大きいほど、C-C 伸縮の振動数が低くなる傾向も見られた。続いて、得られた結果を計算により求めたラマンスペクトルと比較することで、架橋構造を推定した。計算の結果、2つの金電極の接合部位が近いほど、C-C 伸縮の振動数は低くなった。2つの金電極の接合部位が近くなると、電極間の距離が短くなり、金属と分子のπ面の間の角度が垂直に近い配座が有利になる。金属と分子のπ面の間の角度が斜めの状態から垂直な状態に近づくことで、金属-分子間の相互作用の強度が増加し、C-C 伸縮の振動数が孤立分子の値から低下したものと考えられる。<sup>[1]</sup>それと同時に、電極間距離の減少と相互作用の増加により電気伝導度が上昇するものと考えられる。

以上、本研究では、アンカーを持たない $\alpha$ -テルチオフェン分子の単分子接合の電気伝導度および、対応する架橋構造を SERS 計測によって明らかにした。

[謝辞] MCBJ 基板の作製にあたり、物質・材料研究機構の塚越一仁博士にご協力を頂きました。御礼申し上げます。

## 文 献

- [1] S. Kobayashi, et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **11**, 6712 (2020).

\*E-mail: skaneko@chem.titech.ac.jp, tnishino@chem.titech.ac.jp

## パラジウム吸着によるカーボンナノチューブの熱電出力の向上

○宮部 萌果<sup>1</sup>, 中村 健吾<sup>2</sup>, 山本貴博<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>東京理科大学理学研究科

○Moka Miyabe<sup>1</sup> and Kengo Nakamura<sup>2</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Tokyo University of Science

IoT の早期実現に向けて、数兆個のセンサーを用いたネットワーク社会（トリリオンセンサー社会）を実現するための基礎技術開発が様々な分野で進められている。そのような中、IoT 用のセンサー電源として、これまでの化学電池のみに頼るのではなく、身の回りの自然エネルギーを高効率かつ高出力に電気エネルギーに変換する技術（エネルギーハーベスティング技術）に注目が集まっている。熱電発電の応用先として「ウェアラブルデバイス」を念頭におき、その候補物質として「カーボンナノチューブ (CNT)」に注目した。その理由は次の通りだ。ウェアラブルデバイスの電源として熱電発電を利用する場合には、材料の熱電変換効率や熱電出力の向上のみならず、人体表面のように形状変形（曲げや伸び縮み）する表面との熱接触を確保する必要があるため、これらのニーズに応える材料が CNT という訳である。ところが CNT（特に、産業用に量産されるスーパージョイント CNT (SG-CNT)）は、多くの欠陥を含むため、熱電性能が理想値よりも格段に低下していることが知られていた。最近、Pd 吸着法を行うことで、欠陥のある CNT の熱電性能が実験的に改善されることが報告されている[1]。しかし、その改善メカニズムはまだ解明されていない。

本シミュレーション研究では原子空孔を有する直径約 0.8nm の CNT に Pd を吸着させた系 (Fig. 1) を用いた。この系に対して、密度汎関数法と非平衡グリーン関数法を組み合わせた第一原理計算により、欠陥のある CNT の熱電特性に対する Pd 吸着の影響を理論的に調べた[1]。

まず、2 つの炭素原子が取り除かれた空孔欠陥を有する CNT に対する Pd 吸着エネルギーを計算した。Pd 原子が欠陥に吸着したときのエネルギー利得は 4.74eV である。この値は、室温の熱エネルギーよりもはるかに大きい。これは、室温において Pd 原子が欠陥

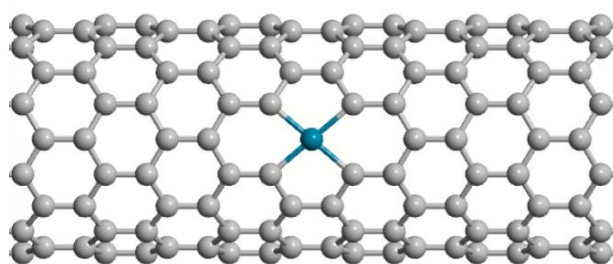


Fig. 1. Pd adsorbed CNT

に吸着されると、Pd 原子は欠陥から抜け出せないことを意味する。こうして、Pd 原子が欠陥サイトに選択的に吸着することが明らかになった。

次に、欠陥のある CNT に Pd 原子を吸着させた場合と吸着していない場合の室温における電気伝導度、ゼーベック係数、パワーファクタを計算した。化学ポテンシャルが価電子帯のバンドエッジ付近にあるとき（すなわち、p 型半導体 CNT）、Pd 原子が空孔に吸着することで電気伝導度が上昇し、ゼーベック係数はほぼ変化しなかった。その結果、空孔に Pd 原子を吸着させると、価電子帯のバンドエッジ付近でパワーファクタが上昇することが明らかとなり、実験結果を見事に再現した。同様の結果は、異なる直径の CNT でも得られた。

本シミュレーション研究により、欠陥のある CNT に Pd を吸着させる手法が、CNT の熱電性能の向上に有効であることを理論的に裏付けた。

### 参考文献

- [1] K. Oshima, et al., Mater. Adv. 1, 2926 (2020).
- [2] <https://docs.quantumatk.com/>

\*Email: 1221546@ed.tus.ac.jp

# 熱酸化法により作製した酸化銅ナノワイヤーにおける

## Cu<sub>2</sub>O/CuO ヘテロ接合の観測

○森下 裕貴<sup>1</sup>, 藤井 俊治郎<sup>1</sup>, 本多 信一<sup>1</sup>, 久保 利隆<sup>2</sup>, 清水 哲夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立大, <sup>2</sup>産業技術総合研究所

### Fabrication of copper oxide nanowires by thermal oxidation method and observation of Cu<sub>2</sub>O/CuO heterostructure

○H. Morishita<sup>1</sup>, S. Fujii<sup>1</sup>, S. Honda<sup>1</sup>, T. Kubo<sup>2</sup>, T. Shimizu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univ. of Hyogo, <sup>2</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

#### 1. はじめに

p 型半導体である酸化銅 (CuO) から成る一次元酸化銅ナノワイヤー (CuO NWs) は、良好な結晶性と高アスペクト比を備えており、ガスセンサーや電子放出源、太陽電池などの電子・光デバイスへの応用が期待されている<sup>1)</sup>。この CuO NWs は、銅箔を熱酸化する簡便な手法で作製可能である<sup>2)</sup>。この手法では、アニール条件により、CuO NWs の直径をある程度制御可能であり、数十 nm～数百 nm の直径を持つ CuO NWs の形成が報告されている<sup>1-4)</sup>。これまで、直径が比較的小さい (100 nm 以下) CuO NWs の構造は詳細に調べられている<sup>1-4)</sup>。しかしながら、直径の大きい CuO NWs の構造について詳細に調べた報告はなく、その構造は明らかになっていない。そこで、本研究では直径の大きい CuO NWs に着目してその構造を調べた結果、新たな知見が得られたので報告する。

#### 2. 実験方法と実験結果

CuO NWs は、厚さ 20 μm でサイズ 1 cm<sup>2</sup> の銅箔を電気炉で大気アニールすることにより作製した。大気アニールは、昇温時間 1 h、加熱温度 500°C、加熱時間 2 h の条件で行った。大気アニール後の試料を走査型電子顕微鏡により観察した結果、CuO NWs の形成が確認された。また、ナノワイヤー先端部が細く、基板付近は先端よりも太い傾向が見られ、基板付近の平均直径は 136 nm であった。次に、CuO NWs 基板をエタノールに浸し、超音波分散機により剥離した。得られた懸濁液を基板に滴下して、単一ナノワイヤーの観察試料を作製した。Fig.1 に、顕微ラマン分光法により測定した基板上の単一ナノワイヤーのラマンスpekトルおよ

び対応する光学顕微鏡像を示す。ナノワイヤーの直径が小さい領域①では、CuO に由来するピーク (296cm<sup>-1</sup>、334cm<sup>-1</sup>) が見られたのに対し、直径の大きい領域③では Cu<sub>2</sub>O に由来するピーク (211cm<sup>-1</sup>) が見られた。この結果から、直径の小さい領域と大きい領域で組成が異なることが分かった。一方、ナノワイヤー中央部の領域②では、CuO と Cu<sub>2</sub>O のピークが見られた。次に、単一ナノワイヤーの構造を調べるため、電子線後方散乱回折法 (EBSD) により観察を行った。その結果、直径の大きいナノワイヤーの同一領域から、立方晶構造の Cu<sub>2</sub>O 相と単斜晶構造の CuO 相の 2 つの構造が検出された。顕微ラマン分光と EBSD の両方の結果から、ナノワイヤーの先端部の領域は CuO から形成され、基板付近の領域には Cu<sub>2</sub>O/CuO ヘテロ接合が形成されていることが新たに分かった。詳細は当日報告する。

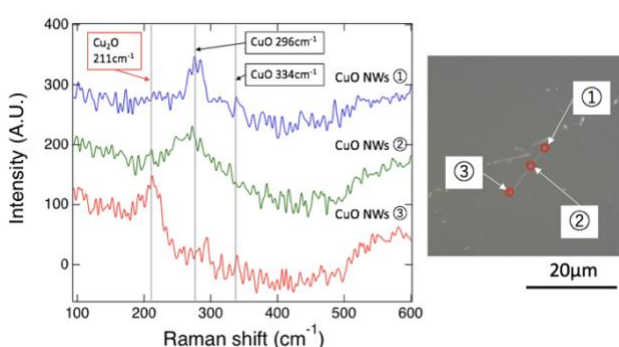


Fig. 1 CuO NWs のラマンスpekトルと光学顕微鏡像

#### 文 献

- (1) L. Feng et al.: AIP Advances **8** (2018) 045109.
- (2) X. Jiang, et al.: Nano Lett., **2** (2002) 1333.
- (3) M. Chen et al.: J. Appl. Phys. **111** (2012) 104305.
- (4) C-L. Chen et al.: Nanotechnology **18** (2007) 245604.

\*E-mail: er20d019@steng.u-hyogo.ac.jp

## 窒素ドーピングカーボンナノチューブの熱電特性の最適化

○松原愛帆<sup>1\*</sup>, 笹岡健二<sup>2</sup>, 山本貴博<sup>1,2</sup>, 福山秀敏<sup>3</sup><sup>1</sup>東京理科大学理学部, <sup>2</sup>東京理科大学総合研究院, <sup>3</sup>東京理科大学

## Theoretical study on optimization of thermoelectric properties of nitrogen-doped carbon nanotubes

○Manaho Matsubara<sup>1\*</sup>, Kenji Sasaoka<sup>1</sup>, Takahiro Yamamoto<sup>1</sup>, and Hidetoshi Fukuyama<sup>1</sup><sup>1</sup>Tokyo University of Science

## 1. はじめに

カーボンナノチューブ(CNT)は、高い熱電出力が期待される1次元材料であり、さらに軽量かつフレキシブルな機械的特性を有することから、ウェアラブルな熱電デバイスへの応用が期待される。CNTのみからなる熱電素子を製作するためには、p型とn型の半導体CNTが必要である。本研究では、n型半導体CNTの候補である窒素ドーピング半導体CNTに着目し、その熱電特性の温度依存性を明らかにするとともに、様々な直径のCNTの熱電特性、特にパワーファクター(PF)を最大化する窒素ドーピング量を理論的に予測した。

## 2. 計算手法

半導体CNTの伝導バンド(+)と価電子バンド(-)の頂点近傍のエネルギー分散関係( $\epsilon^\pm$ )は、有効質量( $m^*$ )、波数( $k$ )、バンドギャップ( $E_g$ )を用いて

$$\epsilon^\pm(k) = \pm \left( \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*} + \frac{E_g}{2} \right)$$

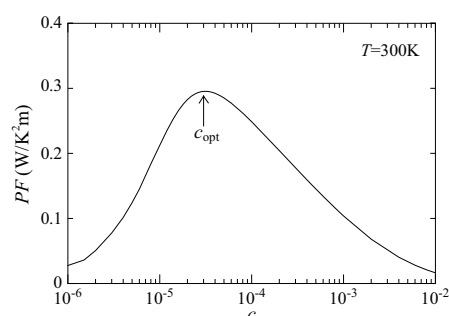
と記述した。

また、不純物をドーピングした半導体CNTという「乱れた系」の熱電特性を正確に予測するために、久保-ラッティンジャーの熱電線形応答理論と温度グリーン関数法を組み合わせた理論手法を用い [1-3]、ランダムにドーピングされた窒素原子による電子散乱の記述には自己無撞着T行列近似を用いた [4]。

## 3. 結果と考察

本研究では、様々な環境温度に対するCNTのPFを最大化する最適な窒素ドーピング量 $c$ (=単位胞あたりの窒素原子量)を理論的に明らかにした。例えば Fig.1 に示すように、(20,0)半導体CNT(直径約16Å)のPFは、300Kにおいて $c_{\text{opt}} = 3.1 \times 10^{-5}$ で最大となる。

このPF( $=L_{11}S^2$ )の振る舞いは、化学ポテンシャル( $\mu$ )と電気伝導率( $L_{11}$ )、そしてゼーベック係数( $S$ )の $c$ 依存性から理解することができる。例えば、 $c = 10^{-2}$ では、 $\mu$ は不純物バンドの下に位置し $c$ の減少に伴い下降す

Fig. 1. 300KにおけるPFの $c$ 依存性。

る。これは、 $c$ の減少により正味のキャリア数が減少したためであり、この $\mu$ の減少により $S$ は増加する。また、 $c$ の減少により散乱が抑制されるため $L_{11}$ も増加し、その結果PFは増加する。さらに $c$ が減少すると、 $\mu$ はバンドギャップ中央へと漸近する。この領域では価電子帯内のホール熱励起が顕著となり $L_{11}$ は増加する。一方で $S$ は、熱励起したホールと電子の寄与が互いに相殺するため急激に減少する。その結果PFは減少に転じる。以上より、我々は使用する温度に応じてPFを最大化する最適な不純物ドーピング量( $c_{\text{opt}}$ )が存在することを定量的かつ定性的に明らかにした。また、様々な温度に対して、 $c_{\text{opt}}$ とPFの最大値を示した[4]。

さらに、直径の異なるCNTについても網羅的な調査を行った。その結果、直径の減少に伴い $c_{\text{opt}}$ は減少し、PFの最大値は指数関数的に増加することが明らかとなった。これは、直径の減少、すなわち $E_g$ の増加に伴い、熱励起するホール数が抑制されるためである。

## 文 献

- 1) T. Yamamoto and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn., 87, 024707 (2018).
- 2) T. Yamamoto and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn., 87, 114710 (2018).
- 3) M. Ogata and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn., 88, 074703 (2019).
- 4) M. Matsubara, K. Sasaoka, et al., J. Phys. Soc. Jpn., 90, 044702 (2021).

\*E-mail: mmatsubara@rs.tus.ac.jp

## 酸化チタンナノワイヤーの形状と形成過程について

○桑野 聡子<sup>1\*</sup>, 佐藤 隼<sup>1</sup>, 齋藤 直毅<sup>1</sup>, 佐々木 新之介<sup>1</sup>, 鈴木 仁志<sup>1</sup>, 野村 明子<sup>2</sup>, 大村 和世<sup>2</sup>, 吉年 則治<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> 東北学院大学, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> 九州大学

## Growth process and morphology of Titanium oxide nanowire

○Satoko Kuwano<sup>1\*</sup>, Hayato Sato<sup>1</sup>, Naoki Saito<sup>1</sup>, Shinnosuke Sasaki<sup>1</sup>, Hitoshi Suzuki<sup>1</sup>, Akiko Nomura<sup>2</sup>, Kazuyo Omura<sup>2</sup> and Noriharu Yotoshi<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Tohoku Gakuin University, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>Kyushu University

## 1. はじめに

金属酸化物の微細構造は、様々な形状を持ち[1]、その材質と形状・構造の違いにより、センサー、バッテリー、触媒など、様々な機能を持つ事が可能である。これらのナノ構造の機能の更なる向上の為には、最適な形状・構造を得る為の作製条件を明確にする必要性がある。チタン系材料については様々な作製手法がある中で、チタン-アルミ合金を水酸化ナトリウム等のアルカリ水溶液と反応させた脱合金酸化法が、最も容易で安価に超微細ナノワイヤーが作製される手法として注目されている。この方法においては、酸化チタン層とナトリウム層からなる層状のレピドクロサイト構造を持つチタン酸ナトリウムの糸状のナノワイヤー[2]や、チューブ状のナノワイヤーの構造[3]がそれぞれ確認されている。更に本研究では、多孔質や膜形状などの微細構造も確認し、これらの微細構造が、作製時の条件の違いにより形状調整が可能である可能性を見出した。

よって本研究では、原料の組成やエッチング条件の違いにより、ナノワイヤーの成長メカニズムや原材料の組成および構造への依存性について調査し、解明することを目的とする。

## 2. 実験方法

脱合金酸化法[2]を用いて、異なる組成のチタン-アルミ合金を水酸化ナトリウム水溶液と反応させた。得られた試料を X 線回折 (XRD)、走査型電子顕微鏡 (SEM)、エネルギー分散型 X 線分析 (EDS)、透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて構造・形状や組成について観察、計測を行った。

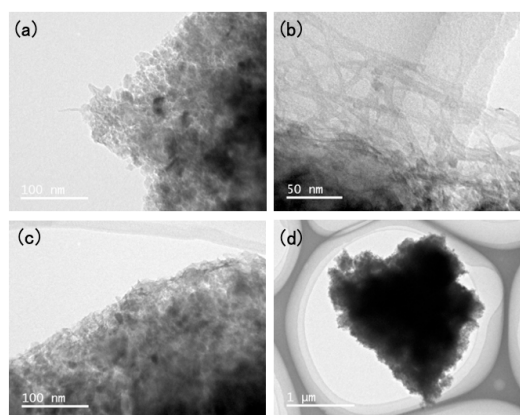


Fig. 1. 腐食した試料の TEM 像。原料の Ti 組成が (a) 4.3 at.%, (b) 9.2 at.%, (c) 11.5 at.%, (d) 14.7 at. %

## 3. 実験結果

原料合金を XRD で計測して、結晶構造に近いが、組成の異なる合金粉末を用いた。次にそれらを NaOH 水溶液を用いてエッチングした。その結果、Ti 含有量が 9.2at.% では糸状のナノワイヤーが確認できたが、その他の組成率では微粒子のみが観察され、ナノワイヤーは形成されていなかった。すなわち、構造が近くても、組成の違いにより、ワイヤーの形成の有無が異なることが TEM の観察により明らかになった。

## 4. まとめ

原料の組成および構造に対するワイヤー形成の依存性について検討した。その結果、構造の依存性は低く、組成への依存性が高いということが確認できた。

## 文 献

- 1) Scientific Reports 7 (2017) 7158.
- 2) Nano Lett. 15 (2015) 2980.
- 3) Appl. Phys. Lett. 79, 3702 (2001).

\*E-mail: s\_kuwano@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

## カーボンナノチューブに内包された水分子の 回転運動の分子動力学解析

○笹岡 健二<sup>1</sup>, 山本 貴博<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>東京理科大学ウォーターフロンティア研究センター, <sup>2</sup>東京理科大学理学部

### Molecular dynamics analysis for rotational motion of water molecules encapsulated in a carbon nanotube

○Kenji Sasaoka<sup>1</sup> and Takahiro Yamamoto<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Water Frontier Research Center, RIST, Tokyo University of Science <sup>2</sup>Graduate School of Science Tokyo University of Science

#### 1. はじめに

ナノ空間に閉じ込められた水の固相は、最もよく知られた六方晶系の氷と異なる結晶構造になり、カーボンナノチューブ(Carbon NanoTube, CNT)に内包された氷はその典型的な例である。この氷はアイスナノチューブ(ice-NanoTube, ice-NT)と呼ばれ、ice-NTの断面はCNTの直径に依存して様々な多角形構造になることが知られている[1]。ice-NTの存在はすでにX線回折や核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)の実験により確認され、現在でもCNT内包氷は理論的・実験的に研究され続けている[2, 3]。それらの研究の中で、CNT内包氷の相図は学術的な観点から最も興味深い研究対象の1つである。通常、大気圧下で温度を上げれば、氷は固相から液相へと一次相転移し、液相における水分子は完全にランダムな並進・回転運動をする。一方、CNTに内包された水分子はCNTの内壁によって自由に並進・回転運動することができない、すなわち、CNTに内包された氷はice-NT(固相)から不完全な液相に変化すると考えられる。したがって、CNT内包氷の相変化は一次相転移と異なると容易に推測でき、この相変化を解明すべくNMR実験が試みられている。しかしながら、NMRは相転移・相変化近傍の水分子の運動の時間スケールを調べるのに適した実験手法であるものの、NMRの実験だけでは水分子の微視的運動を明らかにすることは難しい。

本研究ではCNT内包氷の相変化を明らかにするために、分子動力学(Molecular Dynamics, MD)法を用いて、CNT内部の水分子の微視的運動をシミュレートし、最終的にNMRの実験の観測量に関係する回転運動を解析

することが目的である。

#### 2. 方法

本MDシミュレーションでは、CNTの直径を10Å、長さを2130Å(カイラリティは(13, 0)、炭素原子数26000個)、CNTに内包された水分子を2000個とした。また、水分子をSPC/Eモデルとして取り扱い、CNTを固定、水分子とCNT間の相互作用にUFF力場(カットオフは15Å、静電相互作用の計算手法はエバルト和)を使用した。境界条件は周期境界条件である。このシミュレーションモデルに対して、温度を能勢・フーバー法で制御したNTVアンサンブルを100psまで実行した。また、比較のため、同数の水分子のバルク水の計算も行い、回転自己相関関数の評価を行った。

#### 3. シミュレーション結果

CNT内包氷の場合、時間が経つにつれて回転相関関数が減少して有限の値に収束しているのに対し、バルク水の場合、0の値に収束していることが本数値計算によりわかった。これは、前述したとおり、バルク水では水分子がランダムな回転運動をしているのに対して、CNT内包氷の水分子が完全にランダムでない回転運動を示している。

#### 文 献

- 1) K. Koga et al., Nature **412**, 802 (2001).
- 2) H. Kyakunot, et al., J. Chem. Phys. **134**, 244501 (2011).
- 3) C. Calero, J. Martí, and E. Guàrdia, J. Phys. Chem. B, **119**, 1966 (2015).

\*E-mail: sasaoka@rs.tus.ac.jp

## 気液界面上で自己組織化した多孔性有機薄膜の膜厚評価

○藤田 優人<sup>1</sup>, 山波 加苗<sup>1</sup>, 浅里 隆<sup>1</sup>, 松井 一真<sup>1</sup>, 清水 智子<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学理工学部

### Film thickness evaluation of porous organic thin films fabricated at the air/liquid interface

○Yuto Fujita<sup>1</sup>, Kanae Yamanami<sup>1</sup>, Ryu Asari<sup>1</sup>, Kazuma Matsui<sup>1</sup> and Tomoko K. Shimizu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Keio University

#### 1. 研究背景

多孔性有機薄膜は特定の分子や原子を取り込む吸着材や分離材、また触媒など様々な応用が期待される材料である。薄膜の作製方法として、我々は気液界面の自己組織化に着目した。この方法は、真空中での固体基板への蒸着<sup>[1]</sup>とは異なり、薄膜形成時に基板の影響を受けにくく、積層構造を容易に得ることができる。

1,3,5-Tris(4-carboxyphenyl)benzene (BTB)は気液界面で分子間水素結合によりハニカム構造の2次元単層膜を形成する。それが $\pi$ - $\pi$ 相互作用により積層するため垂直方向に1次元のチャンネルが形成され、数ナノメートルの厚さで薄膜が作製されることが既に報告されている<sup>[2]</sup>。しかし、孔のサイズが異なる材料でも同様に薄膜を作製できるか、薄膜の厚さを制御する方法はあるのか等は未解明である。そこで本研究ではBTBと形状が類似する有機分子を用いて、同様にFig. 1. (a)に示すような薄膜を作製できるか調査した。併せて、展開液の溶媒混合比と薄膜転写時の表面張力を変化させ、膜厚への影響を調査した。

#### 2. 薄膜の作製方法

薄膜作製には Langmuir-Trough 装置を用いた。1,3,5-Triscarboxyphenylethynyl (BTE)またはBTBをメタノールとトルエンの混合溶媒に溶かし、濃度を1 mMにしたものを展開液とし、トラフに満たした純水上に滴下した。溶媒が揮発するまでしばらくの間放置し、その後表面張力を一定に保持してSi基板へ転写した。この一連の作業を溶媒の混合比と転写時の表面張力を変化させて繰り返し行い、得られた各薄膜を大気中原子間力顕微鏡(AFM)により評価した。

#### 3. AFMを用いた多孔性有機薄膜の解析

作製したBTE薄膜は先行研究で報告されている

BTB薄膜と同様に密集したアイランドとして形成されることを確認した。その様子をFig. 1. (b)に示す。

表面張力の増加に伴いアイランドが密集するだけでなく、膜が重なる様子が見られた。また、混合溶媒のメタノール比を大きくするとBTE, BTBいずれの場合も膜厚が減少することが明らかとなった。加えて、50 nm四方に拡大したAFM像から、アイランド内部は構造モデルの通りハニカム構造を形成していることが明らかとなった。

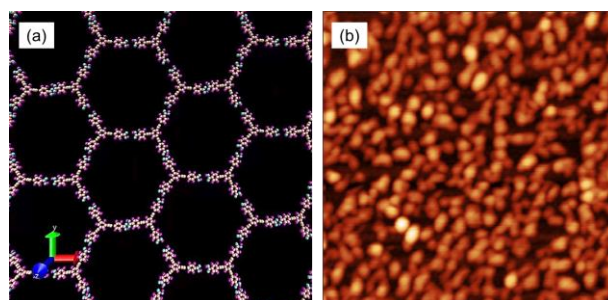


Fig. 1. (a) Expected honeycomb structure of BTE thin films (b) AFM image (2  $\mu$ m  $\times$  2  $\mu$ m) of the BTE thin film.

#### 4. 結論

BTBと同様にBTE薄膜を気液界面で作製できること、溶媒の比により膜厚が変化すること、さらにハニカム構造が形成されている証拠をAFM観察で得ることに成功した。今後、他の相互作用により形成される多孔性薄膜の作製条件と構造の関連についても研究を進める。

#### 謝辞

本研究の一部は文部科学省委託事業ナノテクノロジープラットフォーム課題として物質・材料研究機構微細構造解析プラットフォームの支援(課題番号JPMXP09A21NM0066)を受けて実施されました。

#### 文 献

- 1) J. Li *et al.*: *J. Phys. Chem. C* **120**, 18093(2016).
- 2) R. Makiura *et al.*: *ACS Nano* **11**, 10875(2017).

\*E-mail: tshimizu@appi.keio.ac.jp

Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 薄膜太陽電池における TiO<sub>2</sub> 層への窒素添加○柳澤 将希<sup>1</sup>, 鷹野 一朗<sup>2\*</sup><sup>1</sup>工学院大学大学院工学研究科, <sup>2</sup>工学院大学Influence of a nitrogen dope in a TiO<sub>2</sub> layer on Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> thin-film solar cells○Masaki Yanagisawa<sup>1</sup> and Ichiro Takano<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Kogakuin University, <sup>2</sup>Kogakuin University

## 1. はじめに

再生可能エネルギーの中核である太陽電池は、技術的に変換効率が飽和状態であるものの利用拡大の方向性には変わりはない。Si 系太陽電池は光変換効率及び信頼性が高いという特徴があるが、原料となる Si の不足や製造コストの観点から、新たな太陽電池が求められている。その候補として酸化物太陽電池の実用化が期待されている。酸化物太陽電池では、半導体電極 (TiO<sub>2</sub>)、ルテニウム増感色素および電解液からなる湿式色素増感太陽電池と、これらを金属酸化物に置換した固体型色素増感太陽電池が研究されている。著者らは、長期安定性の面から固体型に注目し、p 型半導体を Cu<sub>2</sub>O 薄膜、n 型半導体を TiO<sub>2</sub> 薄膜とした酸化物太陽電池を作製した<sup>1)</sup>。Cu<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> 薄膜太陽電池は Si 系太陽電池と比較すると、著しく効率は下がるが、Si 系太陽電池より安価であり、大電力を必要としない IoT 分野の個別電源として期待が持てる。本研究では、TiO<sub>2</sub> 層に着目し、窒素添加による吸光端の拡張を目的として、N 添加した際の変換効率を調査した<sup>2)</sup>。

## 2. 実験方法

成膜にはマルチプロセスコーティング装置を用いた。試料基板には、15mm×9mm に加工した無アルカリガラス (イーグル XG) 及び FTO 成膜ガラスを 10 分間アルコールにより超音波洗浄をしたものを使用した。試料基板は表面残留物の除去を目的として、真空中で逆スパッタ処理を 10 分間行い、その後反応性スパッタリング法により、O<sub>2</sub> ガス雰囲気中で Ar をスパッタガスとして成膜を行った。ターゲットには Cu (99.99%), Ti (99.9%) をそれぞれ用い、積層膜は下層を TiO<sub>2</sub>、上層を Cu<sub>2</sub>O とし、Cu<sub>2</sub>O 成膜では Ar 流量 15sccm, 入力電力 30W, O<sub>2</sub> 流量 8.5sccm, 膜厚 300nm

とした。TiO<sub>2</sub> は、全て Ar 流量 20sccm, 入力電力 100W, O<sub>2</sub> 流量 1.5sccm のもとで、N<sub>2</sub> 流量を 0-0.2sccm まで変化させ膜厚 300nm とした。

I-V 特性はソーラーシミュレータ (HAL-250, 朝日分光株) を用いた。測定条件は、100mW/cm<sup>2</sup> の人工太陽光を照射し、電子負荷のもとで電圧と電流を測定した。

## 3. 実験結果および考察

I-V 特性を図 1 に示す。開放電圧はほぼ同じ 0.2V であるものの、短絡電流密度は N 未添加の TiO<sub>2</sub>-0 に対して、N<sub>2</sub> ガスを 0.2sccm とした TiO<sub>2</sub>-2 は約 4 倍に増加した。また、光変換効率は、TiO<sub>2</sub>-0 が  $0.971 \times 10^{-3}\%$ 、TiO<sub>2</sub>-2 が  $3.45 \times 10^{-3}\%$  となり、窒素

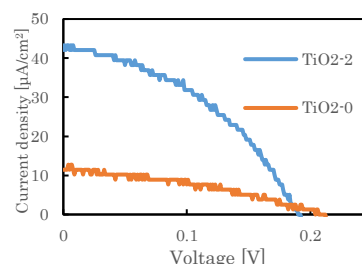


Fig. 1 I-V 特性

添加した試料が未添加の試料より 3 倍以上高い変換効率を示したことが確認された。これは、N を添加したことによって光吸光領域が拡大し、キャリアが増加したと推測される。一方、過剰な N 添加は TiN の形成につながり、変換効率が低下すると考えられるため、最適条件の調査が必要である。N 添加層の詳細な調査委については当日言及する。

## 文 献

- 1) 石坂啓介, Anmar H. Shukor, 鷹野一朗: 表面と真空, 63, 7(2020) pp348-351
- 2) 高山和紀, 鷹野一朗, 沢田芳夫: 真空, 46, 5 (2003) pp457-461

\*E-mail: cm21054@g.kogakuin.jp

## シラス薄膜の抗菌性制御因子の抽出と抗菌メカニズムの解明

○安田 優花<sup>1</sup>, 野口 大輔<sup>1\*</sup>, 栗原 路子<sup>2</sup>, 近藤 千恵子<sup>2</sup><sup>1</sup>都城工業高等専門学校物質工学科, <sup>2</sup>高千穂シラス株式会社 R&D センター

## Extraction of antibacterial regulators of Shirasu thin film and elucidation of antibacterial mechanisms

○Yuka Yasuda<sup>1</sup>, Daisuke Noguchi<sup>1\*</sup>, Michiko Kurihara<sup>2</sup> and Chieko Kondo<sup>2</sup><sup>1</sup>National Institute of Technology, Miyakonojo College, <sup>2</sup>Takachiho Shirasu

## 1. はじめに

我々の研究室では、南九州に広く分布するシラスを原料として作製した薄膜の工学的応用に関する研究を行っている。本研究では、シラス薄膜の機能性の1つとして抗菌性に着目した。現在までに抗菌試験法の改良とシラス薄膜の成分化学組成分布と抗菌性の再現性に注目してシラス薄膜の抗菌性を明らかにした<sup>1)</sup>一方で、抗菌性を示すメカニズムは解明されていない。そこで、薄膜表面に存在する酸素欠陥によるルイス酸点をもつ固体酸がその触媒作用により活性酸素を生み出すことで抗菌性を示すとモデルを立て、ドライエッチングプロセスを用いてシラス薄膜にルイス酸点を発現させ、その抗菌性に対する効果を明らかにすることで、シラス薄膜の抗菌性制御因子の特定を行うことを目的とした。

## 2. 実験方法

シラス薄膜の作製には、高周波(RF)マグネトロンスパッタリング装置(本研究室オリジナル)を使用し、ターゲットにシラス焼結体(φ3inch×5t)、スパッタガスにAr(4n)ガスを用い、成膜時の条件はRF Power:100w、Arガス圧力:2.0Paと同一条件に設定し300nmの膜厚を持つサンプルを作製した。また、薄膜上の酸点の形成は、成膜後に薄膜表面に対してドライエッチングプロセスであるプラズマ処理(逆スパッタリング、RF Power:100w、Arガス圧力:1.0Pa)を行い酸素欠陥を発生させることで酸点を形成した。膜厚の評価に段差計(KLA-Tencor 社、D-100)を、酸点の評価に分光光度計(日立製作所、U-4000)による透過率測定を用い、抗菌試験には、JIS Z 2801「抗菌加工製品—抗菌性試験方法・抗菌効果」<sup>2)</sup>を参照とし、簡略化した本研究オリジナルの試験方法を用いた。

## 3. 結果および考察

エッチング時間の異なるサンプルの500~600nm領域における透過率の測定結果をFig. 1に示す。エッチングを施していないサンプル(図中(a))に比べ、エッチングを加えたサンプル(図中(b)、(c))は、どちらも透過率が低下していることが分かる。500~600nm領域における透過率の減少は酸素欠損に由来することが知られていることから、エッチングによってルイス酸点が生成されたことが考えられる。また、図中の(b)に比べ(c)の方がより大きい透過率の低下を見せたため、エッチング時間の増加と共に酸点発現量も増加したと考えられる。

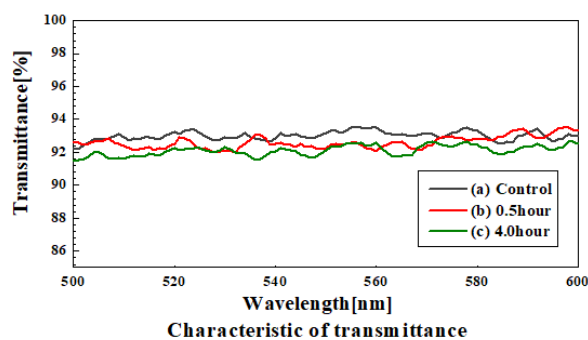


Fig. 1. 500~600nm 領域におけるエッチング時間による透過率の変化(a)Control (b)0.5hours (c)4.0hours

## 4. 結論

シラス薄膜は、ドライエッチングプロセスを用いることでルイス酸点を発現させることができ、またその発現量はエッチング時間に影響される。

## 参考文献

- 1) 木原香澄: 都城高専物質工学科卒業論文集 (2017).
- 2) JIS Z 2801 (2012).

\*E-mail: noguchi@miyakonojo.kosen-ac.jp

## 有機ナノ薄膜のせん断挙動に関する分子動力学解析

○野村 紋世<sup>1</sup>, 俣本 尚輝<sup>1</sup>, 多田 和広<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 富山高等専門学校

## Molecular Dynamics Analysis of Shearing Behavior in Nano-Scale Thin-Film

○Ayase Nomura<sup>1</sup>, Naoki Matamoto<sup>1</sup> and Kazuhiro Tada<sup>1\*</sup><sup>1</sup> National Institute of Technology, Toyama College

## 1. はじめに

微細加工技術のひとつとして、ナノスケールでのパターン転写を行うナノインプリント法が広く用いられている。しかし、ナノインプリントにおいてはモールドの位置決め時や有機材料の充填時、離型時における有機材料-モールド間の摩擦特性など加工サイズの微細化に伴う物性や表面効果の急激な変化に伴うナノトライボロジー現象について経験的な予測が難しくなっている。

我々はこれまで、ナノトライボロジー現象に関する基礎的な知見獲得、及び本現象に起因する課題解決に向けて、分子動力学を用いてナノスケールの隙間を有する基板に挟まれた有機材料のせん断応力解析を行ってきた。

本研究では、有機材料の種類や基板ラフネス、押し付け圧力などのせん断条件が、せん断応力に及ぼす影響について原子レベルで考察を行った。

## 2. 計算条件

Fig.1 にシミュレーションモデルの概要図を示す。2枚の基板に有機材料を挟み込み、下側基板を固定、上側基板をX軸方向に滑らせた時のせん断応力分布と上側基板が受ける力を調べた。また、ラフネスのパターン周期  $P[\text{nm}]$ 、ラフネスの深さ  $Ro[\text{nm}]$ 、有機材料の重合度  $DP$  などを変化させ、せん断条件の違いがせん断応力にどのように関わってくるのかを調べた。使用する有機材料は、ポリエチレン(PE)、ポリメタクリル酸メチル(PMMA)、ポリスチレン(PS)とした。また、分子動力学ソフトには LAMMPS を使い、上側基板と下側基板は共にニッケルの結晶構造を持つ剛体とし、有機材料の温度は 300[K] で一定とした。

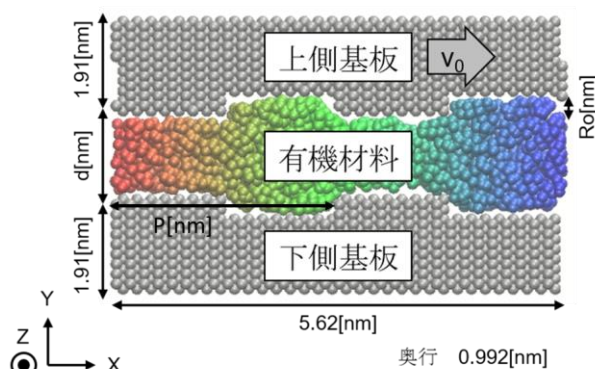


Fig.1. Schematic diagram of friction system for Polyethylene.

## 3. 解析結果

Fig.2 に有機材料の重合度  $DP$  が 10、基板のパターン周期  $P$  が 5.632[nm] のときのせん断応力-膜厚特性を示す。全体の傾向として膜厚が大きくなるにつれてせん断応力が低くなることが分かった。また、有機材料ごとに比較を行うと、PMMA と PS はおおよそ似た値をとっているが、PE は他の材料に比べてせん断応力が低いことが分かった。これは、PS は直鎖上の高分子であり、有機材料内での応力集中が起こりにくいことが原子応力分布から確認できた。

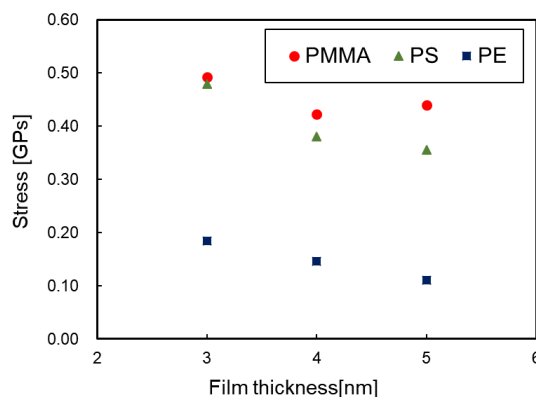


Fig.2. Shear stress-film thickness characteristics (DP=10, P=5.632[nm])

\*E-mail: tada@nc-toyama.ac.jp

## 人工細胞膜内電界のイメージングプラットフォームの構築

○陰山 弘典<sup>1,3</sup>, 安藤 大貴<sup>2,3</sup>, 佐藤 まどか<sup>1,3</sup>, 小宮 麻希<sup>3</sup>, 馬 騰<sup>4</sup>, 鹿又 健作<sup>5</sup>,  
廣瀬 文彦<sup>5</sup>, 平野 愛弓<sup>3,4</sup>.

<sup>1</sup> 東北大学大学院医工学研究科, <sup>2</sup> 東北大学大学院工学研究科, <sup>3</sup> 東北大学電気通信研究所,  
<sup>4</sup> 東北大学材料科学高等研究所, <sup>5</sup> 山形大学大学院理工学研究科

## Construction of a novel imaging platform for electric fields in artificial cell membranes

○Hironori Kageyama<sup>1,3</sup>, Daiki Ando<sup>2,3</sup>, Madoka Sato<sup>1,3</sup>, Maki Komiya<sup>3</sup>, Teng Ma<sup>4</sup>,  
Kensaku Kanomata<sup>5</sup>, Fumihiko Hirose<sup>5</sup>, Ayumi Hirano-Iwata<sup>3,4</sup>.

<sup>1</sup> Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku Univ., <sup>2</sup> Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.,  
<sup>3</sup> RIEC, Tohoku Univ., <sup>4</sup> WPI-AIMR, Tohoku Univ., <sup>5</sup> Graduate School of Science and Engineering, Yamagata Univ.

## 1. 緒言

我々の身体を構成する全ての細胞は細胞膜によって覆われており、細胞膜中に包埋されている膜タンパク質は生命活動の根幹を担う主要な物質のひとつである。我々は生体内の細胞膜を模倣した人工細胞膜を安定形成する技術を開発し、以前から様々な膜タンパク質の反応機構を評価するための人工細胞膜プラットフォームを構築してきた。最近、従来の膜貫通方向の電圧に加えて、膜に平行な方向に電圧を印加できる膜系を構築し、膜中に包埋された電位依存性 Na<sup>+</sup>チャネル (Nav. 1.5) の活性が膜平行電圧によって変調されることを見出した[1]。しかし、この現象を説明するメカニズムは未解明であるため、本研究ではその作用原理の解明を目指し、人工細胞膜中の電界を可視化するための実験系を構築したので、ここに報告する。

## 2. 方法

テフロンフィルム (厚さ 12.5 μm) 中に微細孔 (φ: 80-150 μm) を形成し、その孔周りに Ti 電極および SiO<sub>2</sub> 絶縁層を蒸着した。これを支持体として形成した人工

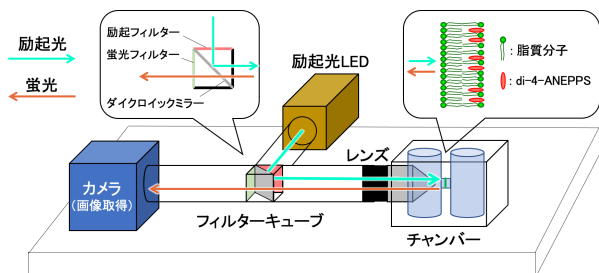


Fig. 1. 人工細胞膜の蛍光イメージング系

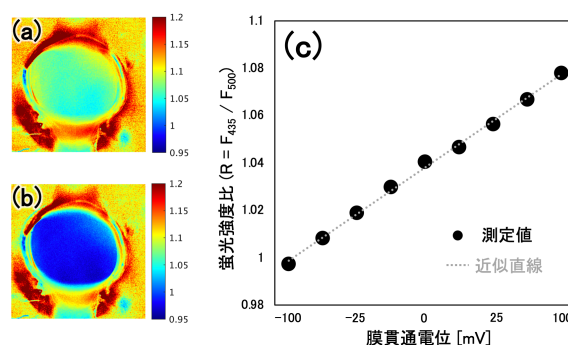


Fig. 2. 蛍光強度比の膜貫通電位依存性

(a: 膜電位+100 mV, b: 膜電位-100 mV, c: 線形性)

細胞膜に対して膜電界プローブの Di-4-ANEPPS を導入し、Fig. 1 のような蛍光観察系を構築した。なお、測定・解析には二波長比イメージング法[2]を用いた。

## 3. 結果

構築した測定系の有効性を評価するために、蛍光色素 Di-4-ANEPPS を用いて、膜電位依存性について検討した。Di-4-ANEPPS は細胞膜に対して垂直に挿入され、膜貫通電位や膜表面電位、双極子電位を感知することが知られている。この色素を導入した人工細胞膜に膜貫通電界を印加すると、膜全体の蛍光強度比が均一に変化した (Fig. 2)。この蛍光強度比は膜貫通電位に対して直線的に変化し、Di-4-ANEPPS の蛍光強度比によって膜貫通電位が評価できることが示された。本講演では、人工細胞膜に対して、膜平行電界を印加した際の結果についても議論したい。

## 文 献

- 1) T. Ma, et al., *Chem. Lett.*, **50**, 418 (2021).
- 2) V. Montana, et al., *Biochem.*, **28**, 4536-4539 (1989).

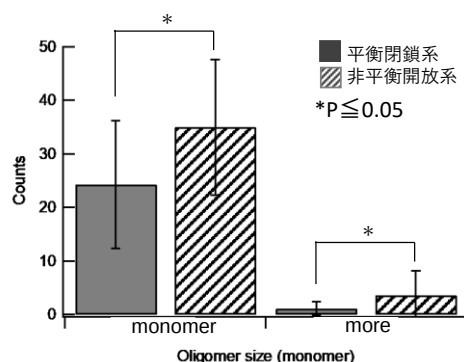
\*E-mail: hironori.kageyama.pl@dc.tohoku.ac.jp

脂質膜界面でのアミロイド  $\beta$  の初期凝集に対する非平衡空間の効果○飯田 茜<sup>1</sup>, 並河 英紀<sup>2\*</sup><sup>1</sup>山形大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup>山形大学理学部Effect of non-equilibrium space on initial aggregation of amyloid  $\beta$  at lipid membrane interface○Akane Iida<sup>1</sup> and Hideki Nabika<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, <sup>2</sup>Faculty of Science, Yamagata University

アルツハイマー病 (AD) はアミロイド  $\beta$  (A $\beta$ ) 蛋白質の異常凝集により神経細胞死が進行する疾患であるが、その分子機構は未解明な部分が多い。機構解明が困難をきたす理由として、脳細胞表面で流動する間質液が常に物質を供給・排斥し、非平衡空間を維持していることが挙げられる。間質液による継続的な A $\beta$  の供給・排斥が凝集を促進する一方、老廃物除去機構により凝集を抑制することも報告されており、これらの相反する効果の実験的検証が不可欠である。しかし既報では、生体内と本質的に異なる、シャーレ等を用いた供給・排斥のない平衡閉鎖系にて実験が行われてきた。また近年、A $\beta$  のオリゴマー状態が最も高い細胞毒性であることが示されており、細胞膜上における初期の凝集機構解明が急がれる。そこで本研究では、脂質膜上の A $\beta$  凝集挙動の観察が可能な非平衡開放実験系を独自に構築し<sup>1)</sup>、非平衡開放系の分子科学的寄与ならびに初期の凝集挙動を解明することを目的とした。

セルホルダーとマイクロペリスタポンプを用いて非平衡開放実験系を構築し、はじめに基板上に DOPC 二重膜を製膜した。その後 A $\beta$  を添加して 5 nM に調製し、平衡閉鎖系では静置、非平衡開放系では A $\beta$  の供給・排斥を継続して、全反射照明蛍光顕微鏡にて脂質膜上の A $\beta$  単分子観察を行った。

はじめに、A $\beta$  単分子の蛍光強度を特定するために、個々の輝点の蛍光強度の経時変化を追跡した。単量体では脱離または蛍光退色により蛍光消滅を確認し、二量体以上では量子化された蛍光退色が確認された。この結果から、1 分子の A $\beta$  の蛍光強度を特定し、蛍光強度分布より単量体から五量体までの A $\beta$  の個数の定量化を可能とした。そこで次に、平衡閉鎖系と非平衡開放系にて、A $\beta$  添加後 0.5 時間後と 5 時間後の各会合数の個数を比較した。平衡閉鎖系では、0.5 時間後にかけ



**Fig. 1.** 平衡閉鎖系および非平衡開放系における 5 時間後の単量体および六量体以上 (more) の個数比較. 標準偏差は  $P \leq 0.05$ 、平衡閉鎖系の  $n=43$ 、非平衡開放系の  $n=56$ .

て吸着が進行したが、その後凝集が進行するに伴い 5 時間後までに単量体の吸着量が減少した。これは、A $\beta$  の脂質膜吸着による溶液濃度の減少により、膜界面での会合にて減少した吸着量を溶液から補填できないためと考えられる。一方非平衡開放系では、はじめ吸着が進行し、その後会合化が進行しても単量体の吸着量が増加し続けた。これは、溶液の供給・排斥により溶液濃度が保持されているため、膜界面での A $\beta$  の会合化に伴い溶液から単量体が補填されたと考えられる。また、平衡閉鎖系と非平衡開放系を比較すると、0.5 時間後には有意差はなかったが、5 時間後には平衡閉鎖系の単量体が減少し非平衡開放系の六量体以上のオリゴマーが増加した (Fig. 1.)。以上の結果から、非平衡開放系では A $\beta$  の吸着量を維持し凝集を促進することが明らかとなり、平衡閉鎖系では吸着・凝集ともに平衡定常状態へ、非平衡開放系では非平衡定常状態へと収束する機構が提案される。

## 文 献

- 1) A. Iida et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, **12**, 4453-4460 (2021).

\*E-mail: nabika@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

(Thu. Nov 4, 2021 3:30 PM - 5:30 PM P会場)

## [/] 企業展示（コアタイム）

株式会社アールデック

入江工研株式会社

株式会社荏原製作所

株式会社大阪真空機器製作所

サエス・ゲッターズ・エス・ピー・エー 日本支店

産業技術総合研究所

シエンタ オミクロン株式会社

株式会社島津製作所

ツジ電子株式会社

株式会社テクノポート

株式会社東京インスツルメンツ

東京電子株式会社

株式会社トヤマ

ブルカージャパン株式会社

株式会社ユニソク

ライボルト株式会社

### <企業展示見学者へ>

ポスター・企業展示会場に入室いただき、上方向に進むと**左右両脇**に各企業展示がご覧になれます。床の色が変わった部分では外側の音が聞こえないので、集中して説明を聞くことができます。

また、外部の方が立ち入れない**個別商談スペース**も用意しておりますので、ご活用ください。商談スペースの詳細な使用法は各企業担当者へお問い合わせください。