

Wed. Nov 3, 2021

Room C

Surface Science(SS1) Physical Property

[1Ca02-12] SS1

Chair:(Waseda University), Shinichiro Hatta(Kyoto University)

9:15 AM - 12:00 PM Room C (Takamatsu)

[1Ca02R] Magnetism of epitaxial Fe nanofilms on three-dimensionally structuralized Si {111} facet surfaces

*Liliyany Noviyanty Pamasi¹, Aydar Irmikimov¹, Yuya Sakai¹, Tomoya Shimizu¹, Haobang Yang¹, Nobuyoshi Hosoi¹, Azusa Hattori², Ai Osaka², Hidekazu Tanaka², Ken Hattori¹ (1. Nara Institute of Science and Technology, 2. Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University)

9:15 AM - 9:30 AM

[1Ca03S] Electronic structure and magnetic properties of magnetic topological sandwich structures

*Ryushiro Fukushima¹, Kazuki Sumida², Yukiharu Takeda², Satoru Ichinokura¹, Toru Hirahara¹ (1. Tokyo Institute of Technology, 2. JAEA-SPring-8)

9:30 AM - 9:45 AM

[1Ca04Y] Observation of structure and electronic states of a single-layer Kondo lattice CePt₆/Pt(111)

*koichiro ienaga^{1,2}, Sunghun Kim^{1,3}, Toshio Miyamachi^{1,4}, Fumio Komori^{1,5} (1. ISSP, the Univ. of Tokyo, 2. Dept. of Phys., Tokyo Tech., 3. KAIST, 4. ImaSS, Nagoya Univ., 5. IIS, the Univ. of Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM

[1Ca05] Visualization of charge density wave domains in 2H-NbSe₂ by STM

*Shunsuke Yoshizawa¹, Keisuke Sagisaka¹ (1. National Institute for Materials Science)

10:00 AM - 10:15 AM

[1Ca06] Superconducting state of nodal line semimetal NaAlSi studied by STM

*masahiro haze¹, Yudai Sato¹, Takahiro Yamada², Hisanori Yamane², Daigorou Hirai¹, Zenji Hiroi¹, Yukio Hasegawa¹ (1. University of Tokyo, 2. Tohoku University)

10:15 AM - 10:30 AM

[その他] Break time

10:30 AM - 10:45 AM

[1Ca08] Role of steps on superconductor-insulator

transition in mono-atomic-layer metal films grown on semiconducting substrates

*Yudai Sato¹, Masahiro Haze¹, Shunsuke Yoshizawa², Takashi Uchihashi², Yukio Hasegawa¹ (1. The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, 2. National Institute for Materials Science)

10:45 AM - 11:00 AM

[1Ca09S] Transport properties of monolayer FeSe on Nb-doped SrTiO₃ substrate

*Koshiro Ide¹, Toshihiro Kobayashi¹, Tomoaki Tanaka¹, Satoru Ichinokura¹, Ryota Shimizu², Taro Hitosugi², Toru Hirahara¹ (1. School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2. School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology)

11:00 AM - 11:15 AM

[1Ca10S] Tuning the transition temperature of atomic-layer superconductor

*Kenta Yokota^{1,2}, Takahiro Kobayashi³, Wenxuan Qian¹, Shunsuke Inagaki³, Kazuyuki Sakamoto³, Takashi Uchihashi^{1,2} (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. National Institute for Materials Science, 3. Graduate School of Engineering, Osaka University)

11:15 AM - 11:30 AM

[1Ca11R] Can we enhance diradical character using surface interactions?— A theoretical investigation using chemical indices

*Kohei Tada¹, Hiroyuki Ozaki¹, Koji Fujimaru^{1,2}, Yasutaka Kitagawa³, Takashi Kawakami², Mitsutaka Okumura² (1. Research Institute of

Electrochemical Energy, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2. Graduate School of Science, Osaka University, 3. Graduate School of Engineering Science, Osaka University)

11:30 AM - 11:45 AM

[1Ca12S] How do viscoelastic objects begin to slide? - relation between precursor slip and friction coefficient-

*Wataru Iwashita¹, Hiroshi Matsukawa², Michio Otsuki¹ (1. Graduate School of Engineering Science, Osaka University, 2. College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University)

11:45 AM - 12:00 PM

[1Ca02-12] SS1

Chair:(Waseda University), Shinichiro Hatta(Kyoto University)

Wed. Nov 3, 2021 9:15 AM - 12:00 PM Room C (Takamatsu)

[1Ca02R] Magnetism of epitaxial Fe nanofilms on three-dimensionally structuralized Si {111} facet surfaces*Liliany Noviyanty Pamasi¹, Aydar Irmikimov¹, Yuya Sakai¹, Tomoya Shimizu¹, Haobang Yang¹, Nobuyoshi Hosoi¹, Azusa Hattori², Ai Osaka², Hidekazu Tanaka², Ken Hattori¹ (1. Nara Institute of Science and Technology, 2. Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University)

9:15 AM - 9:30 AM

[1Ca03S] Electronic structure and magnetic properties of magnetic topological sandwich structures*Ryushiro Fukushima¹, Kazuki Sumida², Yukiharu Takeda², Satoru Ichinokura¹, Toru Hirahara¹ (1. Tokyo Institute of Technology, 2. JAEA-SPring-8)

9:30 AM - 9:45 AM

[1Ca04Y] Observation of structure and electronic states of a single-layer Kondo lattice CePt₆/Pt(111)*koichiro ienaga^{1,2}, Sunghun Kim^{1,3}, Toshio Miyamachi^{1,4}, Fumio Komori^{1,5} (1. ISSP, the Univ. of Tokyo, 2. Dept. of Phys., Tokyo Tech., 3. KAIST, 4. ImaSS, Nagoya Univ., 5. IIS, the Univ. of Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM

[1Ca05] Visualization of charge density wave domains in 2H-NbSe₂ by STM*Shunsuke Yoshizawa¹, Keisuke Sagisaka¹ (1. National Institute for Materials Science)

10:00 AM - 10:15 AM

[1Ca06] Superconducting state of nodal line semimetal NaAlSi studied by STM*masahiro haze¹, Yudai Sato¹, Takahiro Yamada², Hisanori Yamane², Daigorou Hirai¹, Zenji Hiroi¹, Yukio Hasegawa¹ (1. University of Tokyo, 2. Tohoku University)

10:15 AM - 10:30 AM

[その他] Break time

10:30 AM - 10:45 AM

[1Ca08] Role of steps on superconductor-insulator transition in mono-atomic-layer metal films grown on semiconducting substrates*Yudai Sato¹, Masahiro Haze¹, Shunsuke Yoshizawa², Takashi Uchihashi², Yukio Hasegawa¹ (1. The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, 2. National Institute for Materials Science)

10:45 AM - 11:00 AM

[1Ca09S] Transport properties of monolayer FeSe on Nb-doped SrTiO₃ substrate*Koshiro Ide¹, Toshihiro Kobayashi¹, Tomoaki Tanaka¹, Satoru Ichinokura¹, Ryota Shimizu², Taro Hitosugi², Toru Hirahara¹ (1. School of Science, Tokyo Institute of Technology, 2. School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology)

11:00 AM - 11:15 AM

[1Ca10S] Tuning the transition temperature of atomic-layer superconductor*Kenta Yokota^{1,2}, Takahiro Kobayashi³, Wenxuan Qian¹, Shunsuke Inagaki³, Kazuyuki

Sakamoto³, Takashi Uchihashi^{1,2} (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. National Institute for Materials Science, 3. Graduate School of Engineering, Osaka University)

11:15 AM - 11:30 AM

[1Ca11R] Can we enhance diradical character using surface interactions?— A theoretical investigation using chemical indices

*Kohei Tada¹, Hiroyuki Ozaki¹, Koji Fujimaru^{1,2}, Yasutaka Kitagawa³, Takashi Kawakami², Mitsutaka Okumura² (1. Research Institute of Electrochemical Energy, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 2. Graduate School of Science, Osaka University, 3. Graduate School of Engineering Science, Osaka University)

11:30 AM - 11:45 AM

[1Ca12S] How do viscoelastic objects begin to slide? -relation between precursor slip and friction coefficient-

*Wataru Iwashita¹, Hiroshi Matsukawa², Michio Otsuki¹ (1. Graduate School of Engineering Science, Osaka University, 2. College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University)

11:45 AM - 12:00 PM

Magnetism of epitaxial Fe nanofilms on three-dimensionally structuralized Si{111} facet surfaces

○L. N. Pamasi¹, A. Irmikimov¹, Y. Sakai¹, T. Shimizu¹, H. Yang¹, N. Hosoi¹,
A. N. Hattori², A. I. Osaka², H. Tanaka², and K. Hattori^{1*}

¹Nara Institute of Science and Technology, ²Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University

In nanostructured magnetic materials, such as ferromagnetic nanofilms, the magnetic behavior is widely determined by the interaction of the magnetization with its shape, by fabricating thin-film patterns with controlled boundaries between ferromagnetic regions, such as disks and squares, characteristic in-plane magnetic moment distributions such as magnetic vortices can be created [1,2]. In this case, the magnetic interaction is restricted to the flat surface. On the other hand, in ferromagnetic nanofilms on three-dimensional structures such as pyramids, the creation of various magnetically stable structures such as symmetric and asymmetric magnetic vortices depending on the three-dimensional pyramid's size and thickness of the film is predicted from Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) simulations have been predicted [2]. However, so far, there is no successful experimental demonstration have been obtained due to the difficulty in fabricating micro- and nano-sized 3D nanofilms with high accuracy [2].

Our group has successfully fabricated pyramidal structures with Si{111} clean faceted surfaces (edge width W 16 μm) on Si(001) substrate by combining Si substrate processing technology and ultra-high vacuum surface technology, and performed Fe deposition (film thickness θ_{Fe} 30 nm). The magnetization field (M - H) curve of the pyramid-shaped Fe nanofilm controlled with atomic precision was measured by vibrating sample magnetometer, and the characteristic of the M - H curve (bending point due to stable magnetic vortex formation) predicted by LLG was observed (Fig. 1) [3].

In the present study, in order to further understand the magnetic behavior of three-dimensional magnetic nanofilms, we have investigated 1) the thickness dependence of Fe film (θ_{Fe} = 30-150 nm) in the pyramidal structure (W 16 μm), 2) the aspect ratio dependence of the pyramidal structure with different length (L) and fixed width (W), that is, the facet line structure (Fig. 2, W 16 μm , L/W = 1-10, θ_{Fe} 150 nm) were measured. In this talk, we will report the details.

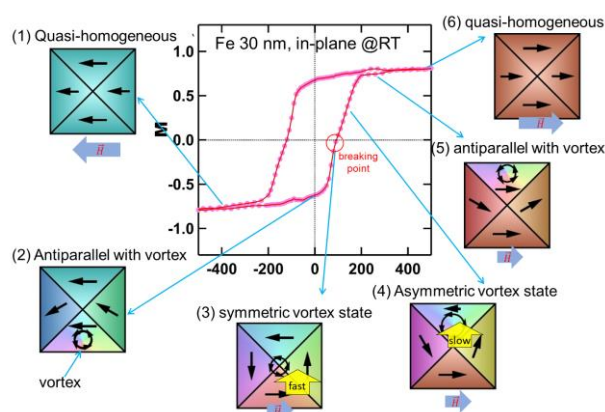


Fig. 1. M - H curves of pyramidal Fe nanofilms.

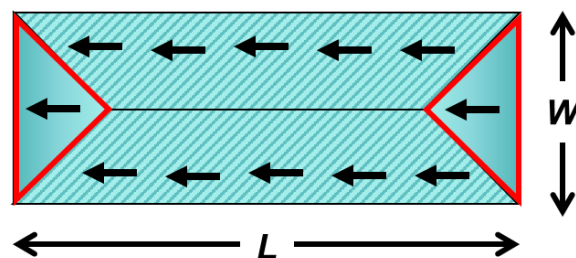


Fig. 2. Facet line structure with different aspect ratio (L/W).

References

- 1) A. Knittel et al., New. J. Phys. **12**, 113048 (2010).
- 2) R. P. Cowburn et al., Phys. Rev. Lett. **83**, 1042 (1999).
- 3) A. Irmikimov, L. N. Pamasi, K. Hattori, et al., ACS Cryst. Growth Des. **21**, 946 (2021).

*E-mail: khattori@ms.naist.jp

磁性トポロジカル絶縁体サンドウィッチ構造の 電子状態と磁化特性

○福島隆司朗¹, 角田一樹², 竹田幸治², 一ノ倉聖¹, 平原徹¹

¹東工大理, ²JAEA-Spring-8

Electronic structure and magnetic properties of magnetic topological sandwich structures

○R. Fukushima¹, K. Sumida², Y. Takeda², S. Ichinokura¹, T. Hirahara^{1*},

¹Dept. Phys., Tokyo Tech., ²JAEA-Spring-8

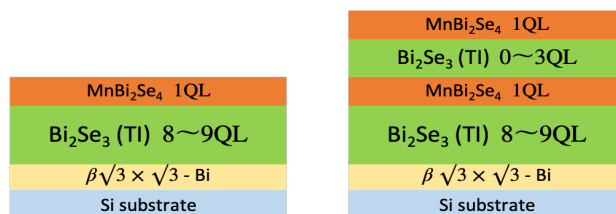
トポロジカル絶縁体 (TI) に磁性を導入し時間反転対称性(TRS)を破ると表面ディラックコーンにギャップが開き、フェルミ準位がギャップ内にあれば、量子異常ホール効果(QAHE)などの現象が発現する[1]。我々は、このような磁性トポロジカル絶縁体で QAHE を高温で実現させることを目指している。

これまでの研究でトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 に Mn と Se を同時蒸着すると表面最上位層が磁性絶縁体 MnBi_2Se_4 になることがわかり、 $\text{MnBi}_2\text{Se}_4/\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ヘテロ構造が開拓された[2](図左)。この系では Mn 原子層挿入による TI の磁気拡張によって TRS が破られており、ディラックコーンのギャップが確かに TRS 由来であることが明らかになっている。ただ、ヘテロ構造では Bi_2Se_3 の下面に強磁性が到達しないため、基板との界面でギャップレスな状態が残り、QAHE の発現の妨げになる。

そこで本研究では、通常のヘテロ構造から、TI を磁性層で挟んだサンドウィッチ構造(ダブルヘテロ構造)へ発展させ、下面にも強磁性層を作ることを試みた(図右)。さらに二次元磁性体という観点からは、二つの磁性層の磁気的相互作用については未解明であり、それを調べることも興味深い。 Bi_2Se_3 の上下に MnBi_2Se_4 を接合させた $\text{MnBi}_2\text{Se}_4/n\text{-QL Bi}_2\text{Se}_3/\text{MnBi}_2\text{Se}_4$ サンドウィッチ構造を作製し、層数 n が異なるサンプルを用意した。角度分解光電子分光により、層数 n が 0-3 のサンドウィッチ構造ではヘテロ構造に比べて大きなギャップが観測され、 n が大きくなるとヘテロ構造の場合のギャップサイズに近づいていった。また X 線磁気円二色性測定により、層数 n が 0,1,2,3,6 のサンドウィッチ構造ではキュリー温度がヘテロ構造より高くなり、Mn 層間の磁気相互作用が強磁性状態を安定化させていることが明らかになった。

[1]C. Z. Chang *et al.*, Science **340**, 167 (2013).

[2]T. Hirahara *et al.*, Nano Lett. **17**, 3493 (2017).



図：磁性トポロジカル絶縁体ヘテロ構造（左）と
サンドウィッチ構造（右）の模式図

単層近藤格子 CePt₆/Pt(111)の構造評価と電子状態観測○家永紘一郎^{1,2*}, 金聖憲^{1,3}, 宮町俊生^{1,4}, 小森文夫^{1,5}¹東京大学物性研究所, ²東京工業大学理学院, ³韓国科学技術院, ⁴名古屋大学未来材料・システム研究所, ⁵東京大学生産技術研究所Observation of structure and electronic states of a single-layer Kondo lattice CePt₆/Pt(111)○Koichiro Ienaga^{1,2*}, Sunghun Kim^{1,3}, Toshio Miyamachi^{1,4}, and Fumio Komori^{1,5}¹ISSP, the Univ. of Tokyo, ²Dept. of Phys., Tokyo Tech., ³KAIST, ⁴ImaSS, Nagoya Univ., ⁵IIS, the Univ. of Tokyo

表面構造パラメータに依存した電子磁気特性を解明することは表面物理の重要なテーマである。Ce系、U系化合物に代表される近藤格子系では、外部圧力や元素置換により格子定数を変化させることで、*f*電子軌道と伝導電子の混成の強さに応じた多彩な電子相関現象が報告されている。これらの物質群に対してエピタキシャル成長を用いることで、膜厚制御によって電子状態が劇的に変わることが近年明らかにされてきた[1]。

そこで我々は、Ce系合金であるCePt₅に着目した。バルクCePt₅結晶はPt₃カゴメ格子層とCePt₂六角格子層の積層からなり、1.0 K以下で反強磁性秩序を示す。一方でPt(111)基板上へ成長した多層膜CePt₅/Pt(111)では、20 K以下でコヒーレント近藤状態を形成することが角度分解光電子分光によって示唆されている[2]。多層膜では膜厚に依存して様々な超構造を形成することが報告されているが[3]、特に単層膜の成長可能性や構造に関してはコンセンサスが得られておらず、詳細な電子状態観測の報告もない。単層膜による2次元近藤格子が実現すれば、Au(111)基板上に自己集積したFe(II)フタロシアニン分子による2次元近藤格子[4]のように、*f*電子磁性イオンの配置制御が可能な新たな実験舞台となると期待される。

本研究では単層膜をエピタキシャル成長させ、走査トンネル顕微鏡/分光を用いて構造と電子状態の観測を行なった[5]。試料はPt(111)清浄表面へのCe室温蒸着とアニールにより作製された。原子分解能での構造観察の結果、Pt(111)基板と整合する(2×2)構造が観測され、

最表面にはPt₃層に余剰なPt原子が付加されたPt₄層の存在が確認された。(2×2)の構造変調は、Pt(111)基板の上にバッファ層としてPt₃カゴメ格子層があり、その上にCePt₂層、最表面にPt₄層があるという積層モデルによって再現され、第一原理計算で予想されたものと一致した[6]。5Kでトンネル分光による準粒子干渉測定を実施したところ、Pt(111)の非占有表面状態と同様の分散を持ち、低エネルギー側へシフトした電子状態が観測された。これは、Pt(111)と同じ原子密度を持つ最表面Pt₄層が、下地のCePt₂層からの電荷移動を受けたものと解釈される。さらに、フェルミエネルギー付近で実施したトンネル分光測定では、近藤共鳴と混成ギャップとして解釈可能なゼロバイアス異常が観測され、単層膜でもコヒーレント近藤状態の形成が示唆された。

文 献

- 1) H. Shishido, T. Shibauchi, K. Yasu, T. Kato, H. Kontani, T. Terashima, Y. Matsuda, Science **327**, 980 (2010).
- 2) M. Klein A. Nuber, H. Schwab, C. Albers, N. Tobita, M. Higashiguchi, J. Jiang, S. Fukuda, K. Tanaka, K. Shimada, M. Mulazzi, F. F. Assaad, and F. Reinert, Phys. Rev. Lett. **106**, 186407 (2011)
- 3) J. Kemmer, C. Praetorius, A. Krönlein, P.-J. Hsu, K. Fauth, and M. Bode, Phys. Rev. B **90**, 195401 (2014).
- 4) N. Tsukahara, S. Shiraki, S. Itou, N. Ohta, N. Takagi, and M. Kawai, PRL **106**, 187201 (2011).
- 5) K. Ienaga, S. Kim, T. Miyamachi, and F. Komori, submitted to Phys. Rev. B
- 6) P. Tereshchuk, M. J. Piotrowski, and J. L. F. Da Silva, RSC Adv. **5**, 521 (2015).

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

STM による 2H-NbSe₂ の電荷密度波ドメインの可視化○吉澤 俊介^{1*}, 鷲坂 恵介¹¹物質・材料研究機構Visualization of charge density wave domains in 2H-NbSe₂ using STM○Shunsuke Yoshizawa^{1*} and Keisuke Sagisaka¹¹National Institute for Materials Science

遷移金属ダイカルコゲナイド 2H-NbSe₂ は、33 K で格子不整合な電荷密度波 (CDW) 転移を示し¹⁾、7.2 K で超伝導転移を示す。層状構造を有し、劈開により清浄表面が容易に得られるため、極低温 STM による CDW の観察もよく行われている。そのため、CDW の観察自体に真新しさはあまり無いが、今日でも新しい発見が報告されている。たとえば比較的最近の STM 研究²⁾によると、2H-NbSe₂ の CDW は局所的には hollow centered (HC) ドメインと anion centered (AC) ドメインとよばれる格子整合な 2 種類の 3×3 構造からなる。そして HC ドメインは変調の位相の違いによってさらに 9 種類に区別され、それらが AC ドメインのハニカム状ネットワークによって仕切られているという、興味深いドメイン構造をなしていることが報告されている。しかし、この描像が提示されるにあたって、HC ドメイン (9 種類) と AC ドメイン (1 種類) が非対称に取り扱われている点、ドメイン構造の抽出が (おそらく) 目視で行われている点で、解析の仕方に改善の余地がある。また、格子整合に近い不整合 CDW が discommensuration と呼ばれるドメイン境界を介して位相の異なる整合領域に分離することは以前から知られており³⁾、2 次元 CDW に関してもランダウ理論の枠組みで理論研究が行われているが⁴⁾、それとの関係も明らかでない。

そこで 2H-NbSe₂ の CDW をより正確に理解するため、先に述べた問題を解消する研究を行った。極低温 STM により 2H-NbSe₂ の CDW 状態の観察を行い (Fig. 1)、得られた原子分解能イメージをフーリエ変換ないし畳み込み演算を利用する微小変位抽出の手法^{4,5)}を使って処理することで、CDW のドメイン構造について恣意性をできるだけ排除した解析を行った。その結果、先行研究²⁾で HC ドメインと AC ドメインと呼ばれていた領域が三角形タイリングを構成しており、さ

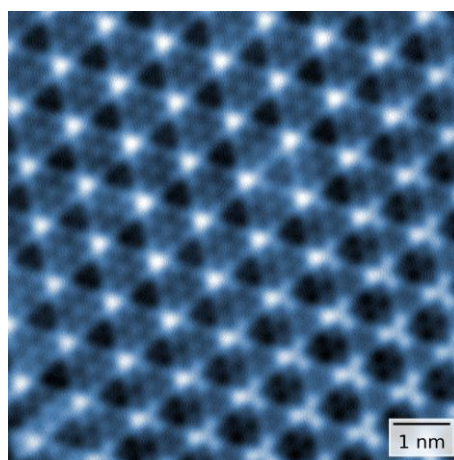


Fig. 1. 2H-NbSe₂ 劈開面の STM イメージ。温度 4.5 K、試料バイアス 100 mV、トンネル電流 100 pA で測定。

らに各ドメインを整数値の組により統一的に指数付けできることを明らかにした。この結果は、70~80 年代の STM が発明される以前に主に行われた理論研究⁴⁾で予測されたタイリング構造をよく再現する。

文 献

- 1) D. E. Moncton, J. D. Axe, and F. J. DiSalvo, Phys. Rev. Lett. 34, 734 (1975).
- 2) G. Gye, E. Oh, and H. W. Yeom, Phys. Rev. Lett. 122, 016403 (2019).
- 3) W. L. McMillan, Phys. Rev. B 14, 1496 (1976).
- 4) H. Shiba and K. Nakanishi, In K. Motizuki (ed.), Structural Phase Transitions in Layered Transition-metal Compounds (Reidel, 1986).
- 5) M. J. Hytch, E. Snoeck, R. Kilaas, Ultramicroscopy 74, 131 (1998).
- 6) M. J. Lawler, K. Fujita, J. Lee, A. R. Schmidt, Y. Kohsaka, C. K. Kim, H. Eisaki, S. Uchida, J. C. Davis, J. P. Sethna, and E. -A. Kim, Nature 466, 347 (2010).

*E-mail: YOSHIKAWA.Shunsuke@nims.go.jp

STM によるラインノード半金属 NaAlSi の超伝導状態測定

○土師将裕^{1*}, 佐藤優大¹, 山田高広², 山根久典², 平井大悟郎¹,
 広井善二¹, 長谷川幸雄¹

¹ 東京大学物性研究所, ² 東北大学多元物質科学研究所

Superconducting state of nodal line semimetal NaAlSi studied by STM

○M. Haze^{1*}, Y. Sato¹, T. Yamada², H. Yamane², D. Hirai¹, Z. Hiroi¹,
 and Y. Hasegawa¹

¹Institute for solid state physics, University of Tokyo, ²Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University

1. はじめに

トポロジカル絶縁体の発見以降、ワイル半金属、ディラック半金属など、様々な種類のトポロジカルに非自明な物質が提案されてきた。これらのトポロジカルな状態は、超伝導と結びつくことにより、マヨラナ粒子を始めとした新奇な物理現象のプラットフォームとなりうる。

近年、NaAlSi は伝導帯と価電子帯がブリルアンゾーンの線上で交差するギャップレスな電子系を持つラインノード半金属であることが示され、比較的高い温度 (7K) で超伝導転移を示すことが報告された [1, 2]。一方で、NaAlSi は走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いた表面研究が行われておらず、どのような電子状態が実現しているかは明らかではない。

2. 目的

本研究では、極低温走査トンネル顕微鏡測定によって NaAlSi で実現している電子状態を明らかにすることを目的としている。

3. 測定結果

NaAlSi 表面は、清浄表面を得るために、超高真空・極低温中でへき開することにより準備した。図(a)に示すように非常に広い平坦な表面がへき開によって得られ、原子分解能イメージングにより、Si 原子が可視化された。図(b)にフェルミ面近傍で取得した dI/dV スペクトルを示す。ここから、フェルミ面に対して対称なギャップが開いていることが確認され、Dynes 関数による解析から超伝導ギャップであるという結論を得た。さらに詳細な解析から、多バンド超伝導が実現し

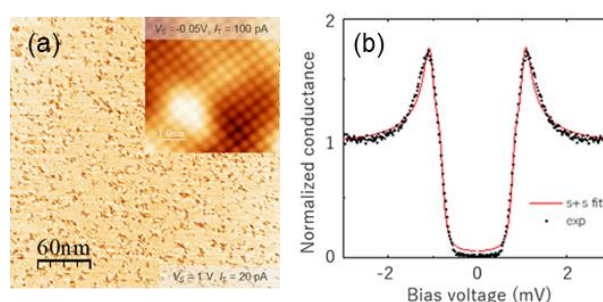


Fig. 1. 図 (a) STM トポグラフィ像
 (b) フェルミ面付近での dI/dV スペクトル

ている可能性が示された。

講演では、波数空間とエネルギーの分散関係を測定する準粒子干渉測定を本試料に適用した結果や、超伝導ギャップの空間・磁場依存性を詳細に測定した結果を用いて、トポロジカルな状態と超伝導状態について詳しい議論を行う予定である。

文 献

- 1) L. Muechler et al., APL Materials 7, 121103 (2019).
- 2) T. Yamada et al., J. Phys. Soc. Jpn. 90, 034710 (2021).

*E-mail: haze@issp.u-tokyo.ac.jp

10:30 AM - 10:45 AM (Wed. Nov 3, 2021 9:15 AM - 12:00 PM Room C)

[その他] Break time

半導体基板上に形成された金属単原子層薄膜の 超伝導絶縁体転移におけるステップの影響

○佐藤 優大^{1*}, 土師 将裕¹, 吉澤 俊介², 内橋 隆², 長谷川 幸雄¹

¹ 東京大学物性研究所, ² 物質・材料研究機構

Role of steps on superconductor-insulator transition in mono-atomic-layer metal films grown on semiconducting substrates

○Yudai Sato^{1*}, Masahiro Haze¹, Shunsuke Yoshizawa², Takashi Uchihashi² and Yukio Hasegawa²

¹The Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, ²National Institute for Materials and Science

二次元超伝導体では、磁場印加により、超伝導絶縁体転移(superconductor-insulator transition; SIT)を示す。これは、絶対零度でも生じる量子相転移の一つであり、その多くは、量子位相揺らぎの結果として生じるボソンのシナリオで説明されている[1]。ボソンのシナリオでは、超伝導相では、クーパー対は凝縮し渦糸は局在する一方で、絶縁相では、クーパー対が局在し渦糸は凝縮する。また、転移温度や転移磁場が、不純物や欠陥などの乱れによって変化することが知られている。二次元超伝導体は乱れに極めて敏感なため、わずかな乱れの導入であっても、SITの振る舞いに変化が現れることが期待される。

近年、結晶性が高く乱れの少ない二次元超伝導体において、絶対零度近傍において、磁場印加により異常な金属状態の出現が報告されている[2]。異常金属状態は、絶対零度近傍での温度依存しない残留抵抗として検出される。しかしながら、SITのほとんどの先行研究は電気伝導測定をはじめとする巨視的手法が用いられており、クーパー対が局在した相や異常金属相の微視的視点の研究は不十分である。したがって、超伝導の微視的研究の強力な手法である走査トンネル顕微鏡(STM)による研究が不可欠である。一方で、磁場中でのSTMによる電子状態測定からSITを議論する研究[3]も報告されているものの、いずれも乱れの強い系に対するものであり、異常金属状態が起こるとされる乱れの弱い系および、その乱れを制御した系でのSITをSTMにより観測した報告はない。

我々はこれまで、Si(111)表面上のPb単原子層薄膜の超伝導特性を電気伝導測定およびSTM観察によって評価しており[4]、この系が異常金属状態が発現する結晶性の高い系であり、加えて、ステップが乱れとし

て機能することを明らかにしている。さらなる解析の結果、結晶性の高い系の特徴である異常金属状態を含む磁場誘起SITの振る舞いが、ステップ密度に依存することが判明した。興味深いことに、ステップ密度が大きい試料では、ステップ密度が小さい場合とは異なり、軌道対破壊臨界磁場よりも高い磁場で超伝導ギャップが残る。この結果から、ステップ密度の増大によって、クーパー対が局在したボソンのSITが実現していることが推測される。

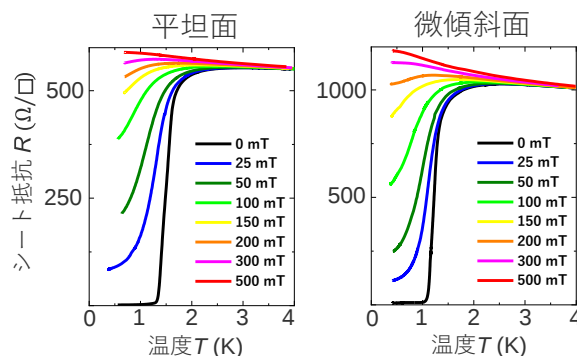


Fig. 1. Si(111)平坦面(左)および微傾斜面(右)上のPb単原子層薄膜の磁場中の電気抵抗の温度依存性

文 献

- 1) Matthew P. A. Fisher, *et al.*, Phys. Rev. B **40**, 546 (1989).
- 2) K. Ienaga, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **125**, 257001 (2020).
- 3) M. Žemlička, *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 180508(R) (2020).
- 4) 佐藤優大, *et al.*, 2020年表面真空学会 学術講演会, 2Ba05S (2020)

*E-mail: ysatoissp@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

Nb ドープ SrTiO₃ 上の単層 FeSe の電気伝導特性

○出 高志朗¹, 小林 俊博¹, 田中 友晃¹, 一ノ倉 聖¹,
清水 亮太², 一杉 太郎², 平原 徹^{1*}

¹ 東京工業大学理学院, ² 東京工業大学物質理工学院

Transport properties of monolayer FeSe on Nb-doped SrTiO₃ substrate

○Koshiro Ide¹, Toshihiro Kobayashi¹, Tomoaki Tanaka¹, Satoru Ichinokura¹,
Ryota Shimizu², Taro Hitosugi², Toru Hirahara^{1*}

¹ Dept. of Phys., Tokyo Institute of Technology,

² School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology

鉄系超伝導体の一つである FeSe はバルクでは超伝導転移温度(T_c)が 8 K である。単一ユニットセルの厚さの FeSe の薄膜(単層 FeSe)を Nb ドープされた SrTiO₃(Nb-STO)基板上に成長させると T_c が大幅に上昇することが知られている。超伝導体を薄膜化すると T_c は減少するのが普通なので、これは特異な振る舞いであるが、これまでに報告された T_c は 65 K~109 K とばらついている[1,2]。この T_c の上昇には FeSe と STO の界面が重要な役割を果たすと言われているが、その微視的起源に関する統一の見解は得られておらず、 T_c のバラツキの原因も明らかではない。我々はこれを解明するため、STO 基板の表面超構造依存性 [3]や STO 基板のドーピング量に着目して研究を行っている。以前、超高真空中での電気伝導測定により絶縁 STO 基板上の FeSe 単層膜において $T_c = 40$ K の超伝導を検出した[4]。この T_c の値は Nb-STO 基板上の FeSe 単層膜で報告されているものより低い[2]、本研究では Nb-STO 上 FeSe 単層膜について in situ 電気伝導測定を行った。

導電性基板への変更に伴い、超伝導転移を常伝導状態が mΩ オーダーの抵抗変化から検出する必要が生じた。そのため、まず測定回路とプログラムの改良を行い、抵抗測定の精度を 1mΩ まで向上させ、10 mK 以下の間隔で温度依存性が測定できるようにした。これを用いた測定例として図 1(a)に 10 nm の Nb 薄膜の抵抗の温度依存性を示す。超伝導転移に伴い、4.5 K から急激に抵抗が減少し、3.6 K にて検出限界以下まで抵抗が減少する様子を観測できた。さらに、Dual configuration 法[5]を自動で行うことのできる回路を作成し、Nb-STO 基板上単層 FeSe 薄膜の測定を行った結果を図 1(b)に示す。約 40 K 以下で急激に抵抗が減少した。講演では、この変化が超伝導転移であるか否か、電流-電圧測定や角度分解光電子分光の結果も用いて議論する。

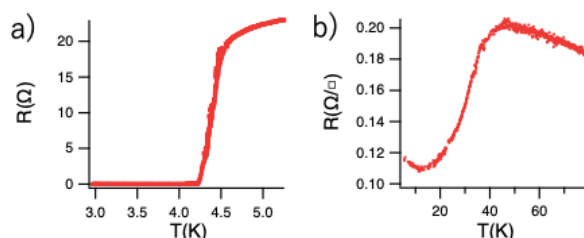


Fig. 1. (a) 10 nm の厚さの Nb 薄膜の抵抗-温度曲線。
(b) 1 UC FeSe/Nb-STO の面抵抗-温度曲線。

文 献

- [1] W. Qing-Yan *et al.*, Chin. Phys. Lett. **29**, 037402 (2012).
- [2] J.-F. Ge *et al.*, Nat. Mat. **14**, 285 (2015).
- [3] T. Tanaka *et al.*, Phys. Rev. B **98**, 121410(R) (2018); Phys. Rev. B **101**, 205421 (2020).
- [4] A. Pedersen *et al.*, Phys. Rev. Lett. **124**, 227002 (2020).
- [5] M. Yamada *et al.*, e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. **10**, 400–405 (2012).

*E-mail: ide@surfnano.titech.ac.jp

有機分子蒸着による Si(111)-($\sqrt{7} \times \sqrt{3}$)-In 超伝導転移温度の変化

○横田 健太^{1,2}, 小林宇宏³, Wenxuan Qian¹, 稲垣俊輔³, 坂本一之³, 内橋 隆^{1,2*}

¹北海道大学大学院理学院, ²物質・材料研究機構, ³大阪大学大学院工学研究科

Tuning the transition temperature of atomic-layer superconductor

○Kenta Yokota¹, Takahiro Kobayashi³, Wenxuan Qian¹, Shunsuke Inagaki³,
Kazuyuki Sakamoto³, and Takashi Uchihashi^{1,2*}

¹ Hokkaido University, ² National Institute for Materials Science, ³ Osaka University

近年、グラフェンや SrTiO₃ 基板上的 FeSe などの原子層物質の研究が盛んに行われている[1]。このような低次元電子構造を有する系は表面・界面に対して非常に敏感であり、表面上に異種の物質を蒸着し、電荷移動や交換相互作用などの近接効果を利用することで物性を変化させることが可能である[2]。本研究ではシリコン基板表面上のインジウム原子層超伝導体上に PTCDA 分子を蒸着し、各蒸着量における超伝導転移温度(T_c)の変化を調べた。T_cは多元極限環境下(超高真空: $\sim 2.0 \times 10^{-11}$ mbar・極低温: ~ 1.7 K)において、電子輸送測定を行うことで決定した。Si(111)-($\sqrt{7} \times \sqrt{3}$)-In は Si 基板上にエピタキシャル成長した In 2 原子層による表面超構造をもつ原子層物質であり、およそ 3 K で超伝導転移する[3]。明確な金属的な電子バンドが存在し、複雑な相関効果を見逃して議論することができる。In 原子層上に PTCDA 分子を蒸着すると蒸着量に応じて T_c が減少した(Fig. 1A)。走査トンネル顕微鏡(STM)を用いて吸着構造を調べたところ、PTCDA 分子は In 層を壊して配列していた。これが T_c が減少した原因であると考えられる。また、我々は In 原子層上に ZnPc 分子を蒸着し、同様に T_c の変化を調べた。また、我々は In 原子層上に ZnPc 分子を蒸着し、同様に T_c の変化を調べた。ZnPc を蒸着すると PTCDA 分子の場合とは異なり、T_c は最大でおよそ 0.3 K 上昇した(Fig. 1B)。STM の結果から ZnPc は In 原子層を壊すことなく、規則的に配列していることがわかった。ZnPc の場合では In 原子層と弱いながらも有限の相互作用を示し、電荷移動効果によって転移温度が上昇したと考えられる。詳細は当日報告する。

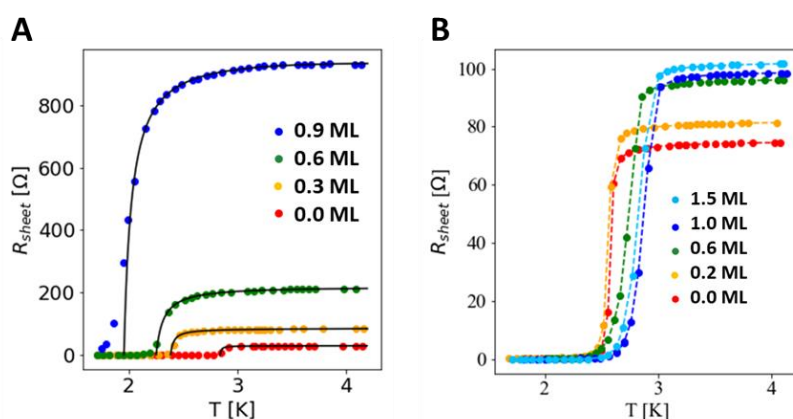


Fig.1 分子蒸着による In 原子層の T_c 変化 (A) PTCDA 蒸着。(B) ZnPc 蒸着。

参考文献

- 1) T. Uchihashi, Supercond. Sci. Technol. **30**, 013002 (2017).
- 2) S. Yoshizawa et al., Nano Lett. **17**, 2287 (2017).
- 3) T. Uchihashi et al., Phys. Rev. Lett. **107**, 207001 (2011).

*E-mail: YOKOTA.Kenta@nims.go.jp

表面相互作用によるジラジカル性変調に関する理論研究

○多田 幸平^{1*}, 尾崎 弘幸^{1*}, 藤丸 航志^{1,2}, 北河 康隆³, 川上 貴資², 奥村 光隆²¹産業技術総合研究所電池技術研究部門, ²大阪大学大学院理学研究科, ³大阪大学大学院基礎工学研究科

Can we enhance diradical character using surface interactions?—A theoretical investigation using chemical indices

○Kohei Tada^{1*}, Hiroyuki Ozaki¹, Koji Fujimaru^{1,2}, Yasutaka Kitagawa³, Takashi Kawakami², and Mitsutaka Okumura²¹Research Institute of Electrochemical Energy, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,²Department of Chemistry, Graduate School of Science, Osaka University, ³Department of Materials Engineering Science, Graduate School of Engineering Science, Osaka University

分子の分解過程において生じるジラジカル状態とよばれる電子状態の詳細検討は量子化学分野における重大な研究トピックの一つである^{1,2}。このジラジカル状態は開殻電子状態の一つであり、酵素の活性中心や単分子磁石、安定有機ラジカルや複核錯体など様々な材料にあらわれ、その物性の根源となっている²。近年、このジラジカル状態の特異性を分子デバイスとして確立すべく、ジラジカル分子の表面固定化が試みられている。しかしながら、実践例は未だ少なく理論計算に基づくデータ駆動型の設計が望まれている。一方で、固体表面の理論計算で一般的に用いられる密度汎関数平面波法(DFT/plane-wave法)によるバンド計算結果からジラジカル分子の特性を理解・解析する手段は未だ確立されておらず、データ駆動型のジラジカル修飾表面デバイス研究の実行を妨げている。本研究では、このような現状を打破すべく、DFT/plane-wave法の標準出力から簡便にジラジカル分子の特徴量を計算する近似手法を提案する³。この近似精度は量子化学計算による定義に基づく算出値と比較することで確かめられた。そして、開発手法を用いてジラジカル分子の性質が表面で変調する可能性を理論的に検討した。

ジラジカル状態の特徴量として最も広く利用されているのが、ジラジカル性である。ジラジカル性は2電子励起配置の寄与として定義されており、量子化学計算で求める軌道占有数を用いて解析的に求まる(理論値)²。他方、我々はDFT/plane-wave法の標準出力でもある電荷密度分布より近似的に算出する方法を見出した(近似値)³。Fig. 1(a)は開発手法で計算したジラジカル性の近似値を理論値に対してプロットした結果であり、それらは非常に良い一致を示す。Fig. 1(b)

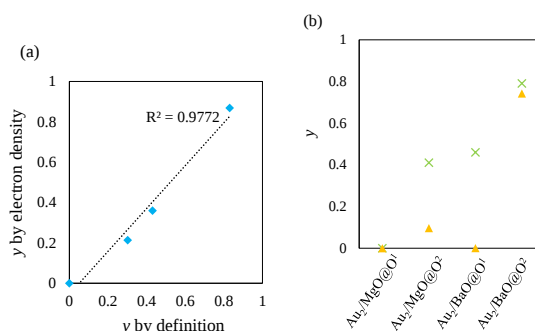


Fig. 1. (a) ジラジカル性 (y) の理論値と近似値 (開発手法) の比較。最小二乗による傾きは 1.062, R^2 は 0.9772 であった。(b) 表面 (MgO (001), BaO (001)) 吸着前後のモデルジラジカル (金二量体) のジラジカル性。@O¹, @O² は吸着サイトの違いを示すインデックス。×が吸着後の値で、△が吸着前の値。

はモデルジラジカル分子のジラジカル性を表面吸着の有無で比較した結果である。採用したジラジカル分子は金二量体、吸着表面は MgO (001) と BaO (001) である。表面相互作用によりジラジカル性が増幅されている。金二量体と表面の間に電荷移動は確認されず、この増幅効果は酸化物アニオンによる磁性軌道に対する分極誘起であることが確認された。当日では、具体的な計算式とともに他の特徴量の結果も発表する。

文 献

- 1) A. Szabo and N.S. Ostlund, Modern Quantum Chemistry, (Dover Publications, 1996).
- 2) T. Stuyver, B. Chen, T. Zeng, P. Geerlings, F. De Proft, R. Hoffmann, Chem. Rev., **119**, 11291 (2019).
- 3) K. Tada, Y. Kitagawa, T. Kawakami, M. Okumura, S. Tanaka, Chem. Lett., **50**, 392 (2021).

*E-mail: k-tada@aist.go.jp

粘弾性体はどうやって滑りだすか —前駆滑りと摩擦係数の挙動—

○岩下 航^{1*}, 松川 宏², 大槻 道夫¹¹大阪大学大学院基礎工学研究科, ²青山学院大学理工学部

How do viscoelastic objects begin to slide? –relation between precursor slip and friction coefficient–

○Wataru Iwashita^{1*}, Hiroshi Matsukawa², and Michio Otsuki¹¹Osaka University, ²Aoyama Gakuin University

せん断力が最大静摩擦力を超えたとき、固体は滑りだす。アモントン則によると、最大静摩擦力は荷重に比例し、見かけの接触面積には依存しない。すなわちアモントン則は、摩擦力和荷重の比である摩擦係数が圧力や物体のサイズによらないことを示している。しかし、近年の研究では、弾性変形をする物体の場合、系全体の滑りの前に発生する前駆滑りによってアモントン則が破れることが明らかになっている^{1,2)}。ただし、先行研究の解析は2次元系に限定されており、より現実的な3次元系に適用できるかは明らかではない。そこで、本研究では、より一般的な粘弾性体での滑りの発生を調べるために、有限要素法(FEM)を用いた数値計算により、基板上の3次元物体の滑り運動を調べた。

本研究では、Fig. 1 に示したような基板上の粘弾性体ブロックの有限要素法による数値計算を行った。ブロックの長さを L 、幅を W 、高さを H 、ヤング率を E とする。上面には一様圧力 P_{ext} を加える。そして、底面から高さ h の側面の中心を、剛体棒によって y 方向に十分ゆっくり一定速度で押す。底面には、局所的にアモントン則に従うと仮定して摩擦力を与える。局所的な静摩擦係数と動摩擦係数はそれぞれ μ_S と μ_K とする。

物体は巨視的に Stick-Slip 運動をし、その摩擦力の時間変化から巨視的な静摩擦係数 μ_M が決まる。 μ_M の P_{ext} と W に対する変化を Fig. 2 に示した。 P_{ext} と W が増加すると、 μ_M は減少しており、アモントン則の破れが見られる。また、物体と基板間の2次元界面では前駆滑りの発生が確認され、前駆滑りが臨界サイズに達したときにバルク滑りが起こることが分かった。

これらの結果を理論的に理解するために1次元有効モデルの解析を行った。このモデルでは z 方向と x 方向の変位を無視し、 x 方向に依存する y 方向の変位のみを考慮する。このモデルは定性的に3次元FEM計算で

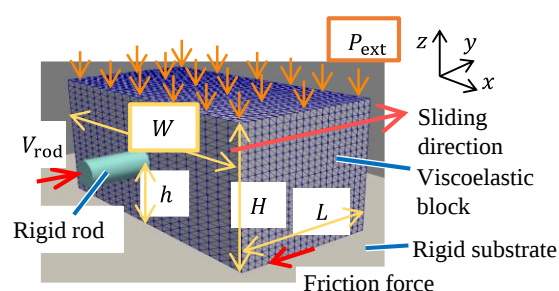


Fig. 1. 3次元 FEM の概要図

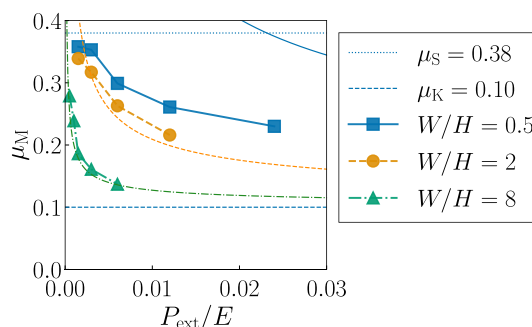


Fig. 2. 巨視的な静摩擦係数 μ_M の P_{ext} と W に対する依存性。塗りつぶしたシンボルが有限要素法の結果、細線が1次元有効モデルの解析結果を示す。

の結果を再現する。解析の結果、速度弱化的摩擦力和粘性力の競合で決まる安定性により、前駆滑りの臨界サイズが求められることが分かった。さらに、その臨界サイズによって、 μ_M が求められることができ、それを Fig. 2 に線で示した。解析結果はFEMの結果と定性的に一致しており、 μ_M の P_{ext} と W に対する依存性が説明されることを示している。

文 献

- 1) M. Otsuki and H. Matsukawa: Sci. Rep. **3**, 1586 (2013).
- 2) Y. Katano, K. Nakano, M. Otsuki, and H. Matsukawa: Sci. Rep. **4**, 6324 (2014).

*E-mail: w_iwashita@fm.me.es.osaka-u.ac.jp