



東北大学

第141回

東北大学 金属材料研究所 講演会

日時

2021年11月30日(火) ~ 12月1日(水)

第141回 金属材料研究所講演会 プログラム

実行委員：吉川 彰、井口 敏

11月30日(火)

13:30～13:40 「所長挨拶」

所長 古原 忠

◎ 特別講演

座長：吉川 彰 教授

13:40～14:40

次世代半導体材料・デバイス開発における材料学的展望

物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 次世代半導体グループ

特命研究員／グループリーダー 小出 康夫

14:55～15:55

機械学習とロボットが”自律的”に研究を進める時代に、

人間の研究者は何をすべきか？

東京工業大学 物質理工学院 教授

物質・情報卓越教育院 副教育院長 一杉 太郎

◎ ポスターセッション

座長：井口 敏 准教授

16:00～17:30

12月1日(水)

《 午前 》

◎一般講演

座長：藤原 航三 教授

9：45～10：35

「強相関トポロジカル超伝導体 UTe_2 の多重超伝導と磁場誘起現象」

教授 青木 大

10：50～11：20

「磁気対称性の破れとトポロジジーが生み出す輸送現象」

准教授 鈴木 通人

11：30～12：00

「耐摩耗性と耐食性を両立した鉄鋼材料の開発」

准教授 山中 謙太

《 午後 》

◎一般講演

座長：加藤 秀実 教授

13：30～14：00

「ウィークビーム走査透過電子顕微鏡を用いた中性子照射欠陥の定量解析」

准教授 吉田 健太

14：10～15：00

「金属材料中の水素の挙動と水素脆化」

教授 秋山 英二

15：15～16：05

「科学が文明と社会に果たす役割 - 過去・現在・未来 -」

教授 今野 豊彦

◎ポスター賞表彰式

16：15～16：35

■特別講演

- 次世代半導体材料・デバイス開発における材料学的展望 9
物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 次世代半導体グループ
特命研究員／グループリーダー 小出 康夫
- 機械学習とロボットが”自律的”に研究を進める時代に、人間の研究者は何をすべきか？ 10
東京工業大学 物質理工学院 教授
物質・情報卓越教育院 副教育院長 一杉 太郎

■一般講演

- 強相関トポロジカル超伝導体 UTe_2 の多重超伝導と磁場誘起現象 11
教授 青木 大 (アクチノイド物質科学研究部門)
- 磁気対称性の破れとトポロジが生み出す輸送現象 12
准教授 鈴木 通人 (計算材料学センター)
- 耐摩耗性と耐食性を両立した鉄鋼材料の開発 13
准教授 山中 謙太 (加工プロセス工学研究部門)
- ウィークビーム走査透過電子顕微鏡を用いた中性子照射欠陥の定量解析 14
准教授 吉田 健太 (附属量子エネルギー材料科学国際研究センター)
- 金属材料中の水素の挙動と水素脆化 15
教授 秋山 英二 (耐環境材料学研究部門)
- 科学が文明と社会に果たす役割 - 過去・現在・未来 - 16
教授 今野 豊彦 (不定比化合物材料学研究部門)

■ポスターセッション

下線は発表者

- P-A01 三元系共晶体シンチレータの作製とイメージング性能評価 17
瀧澤優威¹, 鎌田圭^{2,3}, Kyoung Jin Kim¹, 吉野将生¹, 山路晃広¹, 黒澤俊介², 横田有為¹, 佐藤浩樹²,
豊田智史², 大橋雄二², 花田貴¹, Vladimir. V. Kochurikhin³, 吉川彰^{1,2,3}
東北大金研¹, 東北大 NICHe², 株式会社 C&A³
- Growth and luminescence properties of ternary eutectics
Yui Takizawa¹, Kei Kamada^{2,3}, Kyoung Jin Kim¹, Masao Yoshino¹, Akihiro Yamaji¹,
Shunsuke Kurosawa², Yuui Yokota¹, Hiroki Sato², Satoshi Toyoda², Yuji Ohashi², Takashi Hanada¹,
Vladimir. V. Kochurikhin³, Akira Yoshikawa^{1,2,3}
IMR Tohoku Univ.¹, NICHe Tohoku Univ.², C&A corporation.³

- P-A02 Shielded Arc Melting 法を用いた $Zn_3Ta_2O_8$ 及び CaO の結晶育成 18
矢島隆雅¹, 鎌田圭^{1,2,3}, 石川志緒利³, 瀧澤優威¹, Kyoung Jin Kim², 吉野将生¹, 山路晃広²,
 黒澤俊介², 横田有為¹, 佐藤浩樹², 豊田智史², 大橋雄二², 花田貴¹, Vladimir Kochurikhin³,
 吉川彰^{1,2,3}
 先端結晶工学研究部門¹, 東北大学 NICHe², C&A³
 Crystal Growth of $Zn_3Ta_2O_8$ and CaO by Shielded Arc Melting Method
R. Yajima¹, K. Kamada^{1,2,3}, S. Ishikawa³, Y. Takizawa¹, K. J. Kim², M. Yoshino¹, A. Yamaji²,
 S. Kurosawa², Y. Yokota¹, H. Sato², S. Toyoda², Y. Ohashi², T. Hanada¹, V. Kochurikhin³,
 A. Yoshikawa^{1,2,3}
 Advanced Crystal Engineering Research Laboratory¹, NICHe, Tohoku University², C&A³
- P-A03 Antisymmetric interlayer exchange coupling in Pt/Co/Ir/Co/Pt with in-plane
 inversion symmetry breaking 19
H. Masuda^{1,2}, T. Seki^{1,3,4}, Y. Yamane^{5,6}, R. Modak³, K. Uchida^{1,3,4}, J. Ieda⁷, Y.-C. Lau^{1,4},
 S. Fukami^{4,6,8,9}, and K. Takanashi^{1,4,7,9}
 IMR, Tohoku Univ.¹, Graduate school of Engineering, Tohoku Univ.², NIMS³,
 CSRN, Tohoku Univ.⁴, FRIS, Tohoku Univ.⁵, RIEC, Tohoku Univ.⁶, ASRC, JAEA⁷,
 WPI-AIMR, Tohoku Univ.⁸, CSIS, Tohoku Univ.⁹
- P-A04 Pt/NiO/CoFeB 接合系における熱スピン効果のサーモリフレクタンス測定 20
山崎匠^{1,2}, 関剛斎^{1,2}, 窪田崇秀^{1,2}, 高梨弘毅^{1,2,3}
 東北大 CSRN¹, 東北大金研磁性材料学研究部門², 東北大 CSIS³
 Thermoreflectance measurement of thermo-spin effects in Pt/NiO/CoFeB junction system
T. Yamazaki^{1,2}, T. Seki^{1,2}, T. Kubota^{1,2}, and K. Takanashi^{1,2,3}
 CSRN, Tohoku Univ.¹, Magnetic Materials Research Lab., IMR, Tohoku Univ.²,
 CSIS, Tohoku Univ.³
- P-A05 Topological aspects of spin and anomalous Hall effects in Dirac fermion antiferromagnet CuMnAs . 21
Vu Thi Ngoc Huyen¹, Yuki Yanagi¹, and Michi-To Suzuki^{1,2}
 Institute for Materials Research, Tohoku University¹
 Center for Spintronics Research Network, Osaka University²
- P-A06 反応力場分子動力学法に基づく鉄鋼材料における水素脆化の解明 22
陳茜^{1,2}, 大谷優介², 尾澤伸樹^{1,2}, 久保百司^{2,1}
 東北大未来センター¹, 東北大金研²

- P-A07 W 坩堝を用いたマイクロ引き下げ法による $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ と $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ の結晶育成 23
 須田貴裕¹, 横田有為¹, 堀合毅彦¹, 山路晃広², 吉野将生¹, 花田貴¹, 佐藤浩樹², 豊田智²,
 大橋雄二², 黒澤俊介^{1,2}, 鎌田圭^{1,2,3}, 吉川彰^{1,2,3}
 東北大金研先端結晶工学研究部門¹, 東北大 NICHe², C&A³
 Crystal Growth of $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ and $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ by micro-pulling-down method using W crucibles
 Takahiro Suda¹, Yuui Yokota¹, Takahiko Horiai¹, Akihiro Yamaji³, Masao Yoshino¹,
 Takashi Hanada¹, Hiroki Sato³, Satoshi Toyoda³, Yuji Ohashi³, Shunsuke Kurosawa^{1,3},
 Kei Kamada^{1,3,4}, and Akira Yoshikawa^{1,3,4}
 Physics of Electronic Materials Research Laboratory of IMR Tohoku univ.¹,
 NICHe Tohoku univ.², C&A³
- P-A08 金属溶湯中におけるポーラス FeCr リガメント粗大化の溶湯成分依存性 24
 黒岩優太¹, 和田武², 加藤秀実²
 東北大学大学院工学研究科¹, 東北大学金属材料研究所²
 Dependence of liquid metal components on ligament coarsening of porous FeCr in liquid metal
 Y. Kuroiwa¹, T. Wada², H. Kato²
 Graduate School of Engineering, Tohoku University¹
 Institute for Materials Research, Tohoku University²
- P-A09 Nanoporous Mo-M Alloys Fabricated by Liquid Metal Dealloying for Efficient Hydrogen Evolution
 Electrocatalysts 25
 R. Song^{1,2} (D3), J. Han³, M. Okugawa⁴, T. Wada¹, H. Kato¹
 Institute for Materials Research, Tohoku University¹
 Graduate School of Engineering, Tohoku University²
 Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University³
 Division of Materials and Manufacturing Science,
 Graduate School of Engineering, Osaka University⁴
- P-A10 強磁場 ESR を用いた結合ダイマー系 TlCuCl_3 におけるマグノンボーズ凝縮の相転移挙動の観測 . 26
 渡邊尚登, 木村尚次郎, 淡路智, 田中秀数¹
 強磁場超伝導材料研究センター, 東工大理学院¹
 Phase transition behaviors of the magnon BEC in the interacting dimer system TlCuCl_3 by high field ESR
 N. Watanabe, S. Kimura, S. Awaji, H. Tanaka¹
 HFLSM, IMR Tohoku Univ., Tokyo Inst. Tech.¹
- P-A11 共巻き REBCO 高温超電導コイルの電磁特性 27
 阿部徹¹, Arnaud Badel^{1,2}, 岡田達典¹, 淡路智¹, 藤田真司³, 土屋光揮³, 飯島康裕³,
 大保雅載³
 強磁場超伝導材料研究センター¹, Neel 研究所², 株式会社フジクラ³
 Electromagnetic property of co-winding REBCO high temperature superconducting coil
 T. Abe¹, A. Badel^{1,2}, T. Okada¹, S. Awaji¹, S. Fujita³, K. Tsuchiya³, Y. Iijima³, M. Daibo³
 High Field Laboratory for Superconducting Materials¹, Neel Institute², Fujikura Ltd.³

- P-A12 炭素添加によるフェライト粒界でのリン偏析の抑制効果 28
山崎康一郎, 張咏杰, 宮本吾郎, 古原忠
 金属組織制御学研究部門
 Suppression effect of C addition on P segregation to ferrite grain boundary
K. Yamasaki, Y.-J. Zhang, G. Miyamoto, T. Furuwara
 Microstructure Design of Structural Metallic Materials
- P-A13 ナノ結晶ハイエントロピー合金薄膜の作製とその結晶粒成長の評価 29
野崎翔吾, 魏代修, 和田武, 加藤秀実
 非平衡物質工学研究部門
 Synthesis of nanocrystalline high entropy alloy thin film and its grain growth behavior during heat treatment
S. Nozaki, D. Wei, T. Wada, H. Kato
 Non-Equilibrium Materials Research Laboratory
- P-A14 ラジオリシスで生成する酸化剤が鉄の水溶液腐食に与える影響 30
太田智裕, 味戸沙耶, 北條智彦, 小山元道, 秋山英二
 耐環境材料学研究部門
 Effect of oxidants formed by radiolysis on aqueous corrosion of steel
Tomohiro Ota, Saya Ajito, Tomohiko Hojo, Motomichi Koyama, Eiji Akiyama
 Environmentally Robust Materials
- P-A15 Radiation tolerance of alumina scales formed in FeCrAl ODS ferritic steels 31
H. Yu, S. Kondo, Y. Okuno, R. Kasada
 Nuclear Materials Engineering, IMR
- P-A16 マイクロ引下げ法を用いた Ce 添加 Lu 置換 YAlO₃ 単結晶の育成と発光特性の Lu 濃度依存性 . . . 32
堀合毅彦, Jan Pejchal¹, Romana Kucerkova¹, Martin Nikl¹, 横田有為, 吉川彰
 先端結晶工学研究部門, チェコ科学アカデミー物理学研究所¹
 Crystal growth of Ce-doped Lu substituted YAlO₃ single crystals by micro-pulling-down method and dependence of luminescence characteristics on Lu concentration
T. Horiai, J. Pejchal¹, R. Kucerkova¹, M. Nikl¹, Y. Yokota, A. Yoshikawa
 Research laboratory on advanced crystal engineering, Institute of Physics, CAS¹
- P-A17 ホットスタンプ加熱時の亜鉛めっき鋼板における Fe/Zn 界面反応挙動 33
河合啓太, 宮本吾郎, 古原忠
 金属組織制御学研究部門
 Fe/Zn interfacial reaction on galvanized steel during hotstamping heating
K. Kawai, G. Miyamoto, T. Furuwara
 Microstructure Design of Structural Metallic Materials Institute for Materials Research

- P-A18 CH法を用いたNd添加近赤外発光シンチレータの探索 34
石澤倫¹, 黒澤俊介^{1,2}, 山路晃広^{1,2}, 藤原千隼¹, 吉川彰^{1,2,3}
 先端結晶光学部門¹, 東北大 NICHe², 株式会社 C&A³
 Search for Nd-doped near-infrared-emitting scintillator using the CH method
S. Ishizawa¹, S. Kurosawa^{1,2}, A. Yamaji^{1,2}, C. Fujiwara¹, A. Yoshikawa^{1,2,3}
 Advanced Crystal engineering¹, Tohoku Univ. NICHe², C&A³
- P-A19 Zr基金属ガラス過冷却液体の結晶化挙動に及ぼすハイエントロピー化の影響 35
太田桂介, Jing Jiang, 和田武, 加藤秀実
 非平衡物質工学研究部門
 Influence of mixing entropy on crystallization kinetics in Zr-based metallic glasses
K.Ota, J.Jiang, T.Wada, H.Kato
 Non-equilibrium materials research laboratory
- P-A20 Bonding strength evaluation of tungsten coated ferritic steel using ultra-small double notch shear compression test 36
X. WU^{1,2}, S. Kondo², H. YU², Y. Okuno², H. Kurotaki³, M.Ando³, R.Kasada²
 Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.¹, IMR², QST³
- P-A21 High Flux Neutron Detector Based on Perovskite Solar Cell 37
Y. Okuno, Y. Matsui¹, T. Kobayashi²
 KINKEN, Panasonic¹, RIKEN²
- P-A22 水晶を用いた二層構造振動子の貼り合わせ境界で生じる反射波の影響に関する検討 38
野口太生¹, 大橋雄二², 面政也³, 横田有為¹, 黒澤俊介², 鎌田圭², 佐藤浩樹², 豊田智史², 山路晃広², 吉野将生¹, 花田貴¹, 吉川彰^{1,2}
 電子材料物性学研究部門¹, 東北大 NICHe², XMAT³
 Consideration on the influence of the reflected waves generated at the bonding boundary of the double-layered resonator using α -quartz
T. Noguchi¹, Y. Ohashi², M. Omote³, Y. Yokota¹, S. Kurosawa², K. Kamada², H. Sato², S. Toyoda², A. Yamaji², M. Yoshino¹, T. Hanada¹, A. Yoshikawa^{1,2}
 Physics of Electronic Materials¹, NICHe Tohoku Univ.², XMAT³
- P-B01 広域 X線吸収端微細構造解析によるチタン中に添加された4d遷移金属周りの局所的原子変位の観測 39
池田陽一¹, 松村大樹², 辻卓也², 梅本好日古¹, 橋本勇輝¹, 北澤崇文¹, 藤田全基¹
 金属材料研究所量子ビーム金属物理学部門¹, 日本原子力研究開発機構²
 Local atomic displacement around 4d transition-metal atoms in titanium revealed by extended X-ray absorption near edge fine structure analysis
Y. Ikeda¹, D. Matsumura², T. Tsuji², Y. Umemoto¹, Y. Hashimoto¹, T. Kitazawa¹, M. Fujita¹
 Institute for Materials Research, Tohoku Univ.¹, JAEA²

- P-B02 らせん磁性体 MnAu_2 薄膜における室温でのヘリシティの電流制御 40
 増田英俊¹, 関剛斎^{1,2}, 新居陽一^{1,3}, 増田啓人¹, 高梨弘毅^{1,2,4}, 小野瀬佳文¹
 東北大金研¹, 東北大 CSRN², JST さきがけ³, 東北大 CSIS⁴
 Electric current control of spin helicity in the room-temperature spiral magnet MnAu_2 thin film
 H. Masuda¹, T. Seki^{1,2}, Y. Nii^{1,3}, H. Masuda¹, K. Takanashi^{1,2,4}, Y. Onose¹
 IMR, Tohoku Univ.¹, CSRN, Tohoku Univ.², JST PRESTO³, CSIS, Tohoku Univ.⁴
- P-B03 α ''-(BEDT-TTF)₂Rb_{1,2}Co(SCN)₄ の圧力下での磁性 41
 小林広樹, 井口敏, 佐々木孝彦
 低温電子物性学部門
 Magnetism of α ''-(BEDT-TTF)₂Rb_{1,2}Co(SCN)₄ under pressure
 H. Kobayashi, S. Iguchi, T. Sasaki
 Low Temperature Condensed State Physics Division
- P-B04 ガス吸着により制御される水車型 $[\text{Ru}_2]$ -TCNQ 系二次元層状磁性体の電荷の揺らぎと磁気相転換 . . 42
 樋渡淑恵, 張俊, 高坂亘, 宮坂等
 錯体物性研究部門
 Charge fluctuation induced by Gas-sorption accompanied with magnetic phase switching in a two-dimensional layer of paddlewheel $[\text{Ru}_2]$ units and TCNQ
 Y. Hiwatashi, Zhang Jun, W. Kosaka, H. Miyasaka
 Division of Solid State Metal-Complex Chemistry
- P-B05 ランダムネスを制御した有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の赤外顕微分光 43
 佐藤直道, 桐野友輝, 井口敏, 古川哲也, 杉浦栞理, 米山直樹¹, 池本夕佳², 森脇太郎², 佐々木孝彦
 低温電子物性学研究部門, 山梨大工¹, SPring-8/JASRI²
 Infrared spectroscopy of a randomness-controlled organic superconductor
 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br
 N. Sato, Y. Kirino, S. Iguchi, T. Furukawa, S. Sugiura, N. Yoneyama¹, Y. Ikemoto², T. Moriwaki², and T. Sasaki
 Low Temp. Cond. State Phys., Yamanashi Univ.¹, SPring-8/JASRI²
- P-B06 量子ビームによる T* 型構造銅酸化物 $\text{La}_{1-x/2}\text{Eu}_{1-x/2}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-y}$ の F 置換効果の研究 44
 高濱元史^{1,2}, 谷口貴紀², 渡邊功雄³, 幸田章宏⁴, 藤田全基²
 東大院理¹, 量子ビーム金属物理学部門², 理化学研究所仁科加速器研究センター³, 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所⁴
 Study of the F doping effect on T*-type cuprates $\text{La}_{1-x/2}\text{Eu}_{1-x/2}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-y}$ via quantum beam
 M. Takahama^{1,2}, T. Taniguchi², I. Watanabe³, A. Koda⁴, and M. Fujita²
 Grad. Sch. Of Sci., Tohoku Univ.¹, Quantum beam materials physics division², Meson Science laboratory RNC. RIKEN³, IMSS. KEK⁴

- P-B07 マンガンおよびモリブデン量が鉄マンガン基恒弾性合金の低温弾性率に与える影響 45
梅本好日古¹, 池田陽一¹, 林智紀^{2,3}, 市坪哲³, 藤田全基¹
 東北大院理, 量子ビーム金属物理学部門¹, 東北大院工², 構造制御機能材料学研究部門³
 Effect of Manganese and Molybdenum Amount on the Low-Temperature Elastic Modulus of FeMn-based Elinvar Alloys
Yoshihiko Umemoto¹, Yoichi Ikeda¹, Tomoki Hayashi^{2,3}, Tetsu Ichitubo³, and Masaki Fujita¹
 Grad. Sch. of Sci., Tohoku Univ.¹, Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ.²,
 Structure-Controlled Functional Materials³
- P-B08 Design and control of the electronic state by electrochemical tuning in neutral tetraoxolene-bridged iron honeycomb layered metal-organic frameworks 46
N. Eguchi¹, W. Kosaka¹, K. Taniguchi¹, Y. Sekine², H. Miyasaka¹
 Division of Solid-State Metal-Complex Chemistry¹
 Graduate school of science and technology, Kumamoto University²
- P-B09 SrTiO₃ 電気二重層トランジスタの輸送現象における非相反性 47
弘内遼太郎, 大内拓, 野島勉
 低温物質科学実験室
 Nonreciprocal response in transport properties of SrTiO₃ electric double layer transistors
R. Hirouchi, T. Ouchi, T. Nojima
 Lab. of Low Temperature Materials Science, IMR, Tohoku Univ.
- P-B10 ESR studies on spin-singlet transition in organic salt (BEDT-TTF)Cu[N(CN)₂]₂ 48
M. K. Nuryadin, S. Iguchi, N. Yoneyama¹, Y. Oshima², T. Tsumuraya³, T. Moriwaki⁴, Y. Ikemoto⁴, and T. Sasaki
 Inst. for Materials Res., Tohoku Univ., Univ. of Yamanashi.¹, RIKEN², Kumamoto University³,
 SPring-8⁴, Japan Synchrotron Radiation Research Institute
- P-B11 スピン偏極した量子ホール系におけるジョセフソン電流のペア対称性 49
仲井良太¹, 野村健太郎¹, 田仲由喜夫²
 金属物性論研究部門¹, 名古屋大学²
 Edge-induced pairing states in a Josephson junction through a spin-polarized quantum anomalous Hall insulator
R. Nakai¹, K. Nomura¹, Y. Tanaka²
 IMR¹, Nagoya Univ.²

P-B12 材料科学系ジャーナル 50 誌に見る被引用数と FWCI との関係 50

湯本道明, ハンゼン マーク¹, 荘司弘樹^{1,2}

金研所長室, 東北大学 URA センター¹, 電気通信研究所²

Relationship Between Citations and Field-Weighted Citation Impacts in 50 Journals of Materials Sciences

Michiaki Yumoto, Marc Hansen¹, Hiroki, Shoji^{1,2}

IMR-Director Office, Tohoku University Research Administration Center¹,

Research Institute of Electrical Communication²

特別講演

日時：11月30日(火) 13:40～15:55

次世代半導体材料・デバイス開発における材料学的展望

小出 康夫

物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 次世代半導体グループ

今日、半導体産業は、デジタル変革の進展やカーボンニュートラル実現に向けて重要な縁下の力持ち分野となっている。世界市場は約 50 兆円規模となり、世界経済全体の地平線に広がっている。我が国の半導体産業は、世界シェアを落としつつあるものの、シリコン (Si) が主役となるイメージセンサやフラッシュメモリ、そして自動車向けマイクロコントローラユニットでは依然フロントランナーを維持している。更にはアナログ回路やパワー半導体分野では存在感を持っている。今後、新たな半導体材料開発による更なる光・電子デバイス市場の拡大が期待される。

一例として我が国の電力エネルギー供給体制は、ベストミックスされた分散型発電とスマートグリッドの普及が進む方向にあり、これら電力変換が頻々に行われる電力供給システム構築に向けて、パワーデバイスの更なる高性能化が切望されている。現在ほとんどのパワーデバイスは Si を用いて製造されているが、高性能化はその材料限界に制限されつつある。次世代パワー半導体材料として、市場拡大が期待される炭化シリコン (SiC) および窒化ガリウム (GaN)、更には次々世代材料として酸化ガリウム (Ga₂O₃)、およびダイヤモンドが注目されている。パワーデバイスの市場適用範囲は、高速化の指標として動作周波数を横軸に、大容量化の指標として出力容量を縦軸に議論され、高速化と大容量化を同時に実現することが高性能化の目指すべき方向である。SiC は Si-IGBT を高速化・大容量化する領域、および Si 基板上 GaN (GaN-on-Si と表記) は Si-MOSFET を高速化する領域において既に少しの量産の段階に入っている。表 1 に、期待される種々パワー半導体材料の市販ウェハに関する結晶成長技術の比較を示す。候補パワー半導体材料の中では SiC がウェハ技術およびエピ成長技術ともに一步先んじている。本講演では、ポスト 5 G の高周波パワー分野を含めて、次世代半導体材料・デバイス開発の現状と材料学的課題を展望する。

表 1. 種々パワー半導体材料の市販ウェハおよび結晶成長技術の比較

		Si	SiC	GaN	Ga ₂ O ₃	ダイヤモンド
ウェハ技術	結晶成長法 サイズ	FZ/6インチ CZエピ/8インチ	昇華法 4~6インチ	ハイドライド気相成長(HVPE) 2~4インチ	気相成長, 溶液成長 1~4インチ	高温高圧, プラズマ気相成長(CVD) 3mm~1インチ
	価格	<0.2千円/インチ ²	10-20千円/インチ ²	30-100千円/インチ ²	50-100千円/インチ ²	>300千円/インチ ²
欠陥(転位)密度		無	マイクロパイプ無 10 ³ ~10 ⁴ /cm ²	10 ⁴ ~10 ⁶ /cm ²	10 ³ ~10 ⁴ /cm ²	10 ³ ~10 ⁶ /cm ²
耐圧保持層エピ エピ成長速度		FZ	CVD 40-60μm/h	MOCVD <5μm/h	HVPE <5μm/h	MPCVD 1~10μm/h 最大150μm/h
必要エピ厚さ(Si=1)		1	0.05~0.1	0.03~0.06	0.05~0.1	0.015~0.03
必要エピ厚/エピ成長速度 ~エピコスト(SiC=1)			1	6~7	6~8	0.1~4
技術課題	サイズ	◎	大型化可能	大型化めど	大型化可能	モザイク基板
	欠陥	◎	欠陥解析進展	欠陥調査中	欠陥調査中	△
	その他		低価格化, 国産化	低価格化, 半絶縁基板	低価格化, 熱制御	低価格化, 低抵抗基板, 表面研磨

謝辞 本講演の一部は、文部科学省「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発（評価基盤領域）2016~2020 年度」事業により得られた成果を含みここに感謝致します。

機械学習とロボットが”自律的”に研究を進める時代に、 人間の研究者は何をすべきか？

一杉 太郎

東京工業大学 物質理工学院 応用化学系

材料科学には夢がある。

人類がこれまで合成した物質は、考え得る化合物のほんの一部である。一説には 10^{60} 以上の物質があるという。ドーピングした物質や準安定構造、階層構造を含めると、無限大といっても良い。このように、**巨大な物質探索空間**が我々の目の前に存在し、その中に**社会の課題を解決する有用な物質が多く眠っている**。つまり、宇宙開拓や深海探査のように、**物質・材料探索は人類のフロンティア**と言え、私はワクワクしながら物質探索を進めている。

この巨大な探索空間から「**予想外の材料**」をいかに速く見つけ、**実用化につなげるか**。それを徹底的に考えた。その結果、材料科学にも宇宙探査機や深海探査艇のようなツール、つまり、機械学習とロボットを活用した「**材料探索機**」が必要であるという結論に達した(図1)。

世界の状況を俯瞰すると、現在、「**人間が想像した探索空間内**」を自動的・自律的に調べ、**最適物質・材料**を短時間で見つけ出す**材料探索機の Proof of Concept は完了した**といつて良い。ここで「**自律**」とは、**次になすべき実験をコンピュータが判断し、ロボットが実験を進める**ということである。その際、人間の介入は不要である。現在、この技術の適用範囲を広げる段階にある。そしてもっとも重要である、「**人間が予想しなかった新物質の発見と新学理を構築する**」点に焦点が移りつつある。本講演では世界最先端の状況を紹介する。

すでに我々は**自律的に実験を進めるシステムを構築し、研究を進めている**。その実験システムに研究者の**勘・コツ・経験**を埋め込み、**シミュレーション技術と組み合わせた高度な材料予測技術**を強化する試みをスタートした。今後、このシステムを多くの研究者と**シェアリングし、データの共有を進める**予定である。

この研究を進めれば進めるほど、「**人間の研究者は何をすべきか**」について、深く考えさせられる。機械学習やロボットが何でもやってくれるわけではない。それらの可能性と限界をしっかりと認識し、**人間しかできないことに注力していくことが望まれる**。そのために、**機械学習やロボットを使いこなし、我々研究者は創造性がより高い仕事に取り組みたい**(図2)。

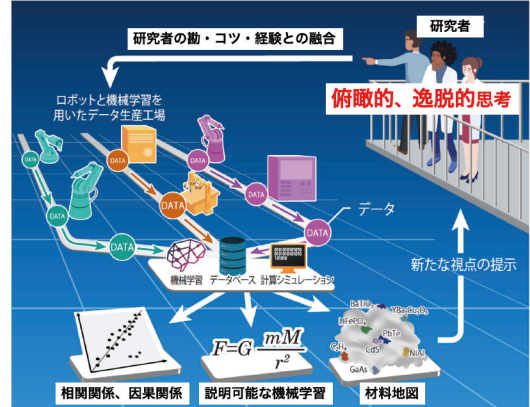


図1 材料探索機のビジョン。匠の技を埋め込んだ自律実験ロボットが、人間では取得できない量のリアル実験データを生成する(データ生産工場)。そのデータを機械学習が構造化して「**材料地図**」や**モデル(数式)**、**相関関係、因果関係**を提示する。そして、研究者の**予想外の材料や、材料地図を俯瞰的に見て「知」を生み出す**。複雑現象を解きほぐして本質を抜き出し、人間の発想を広げることが必要である。

科学研究の進め方: パラダイムシフト

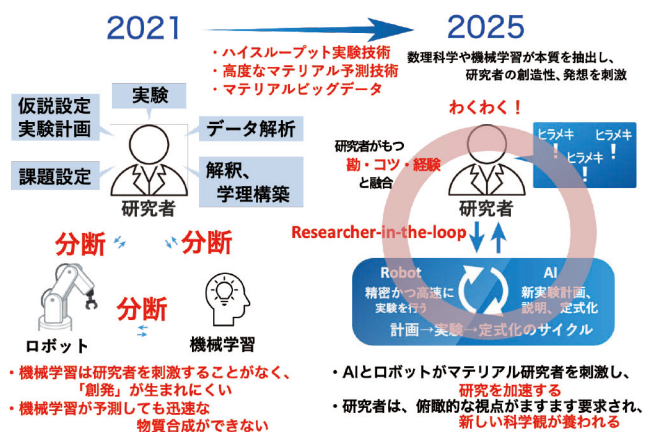


図2 研究の進め方についての将来像

一般講演

日時：12月1日(水) 9:45～16:05

強相関トポロジカル超伝導体 UTe_2 の多重超伝導と磁場誘起現象

青木 大

東北大学 金属材料研究所 アクチノイド物質科学研究部門

UTe_2 は 2018 年末に米国で初めて超伝導が報告された新奇スピン三重項超伝導体である [1]。発見以来、すでに 50 編を超える論文が発表されるなど大変注目を集めている。10 年以上前に、我々は UTe_2 の単結晶育成に成功し、いわゆる「重い電子系」物質であることを発表していたが、超伝導発見には至らなかった。最近になって、 UTe_2 の特徴ある超伝導が他のグループによって発見され、大変悔しい思いをした。そのような個人的な思い入れもあって、集中的にこの物質の研究に取り組んでいる。

UTe_2 の基本的な物性を以下の通りである。結晶構造は $Immm$ の空間群を持つ体心正方晶であり、 c 軸方向に対を組んだ U の「ダイマー」が、 a 軸方向に梯子のように連なった特徴的な構造を持っている。空間反転中心は U サイトにはなく、 U と U の間にある。極低温まで磁気秩序を示さない常磁性体であるが、帯磁率の異方性は大きい。 a 軸方向の帯磁率の臨界発散的な振る舞いから強磁性臨界点近傍にあり、強磁性超伝導体 $URhGe$ 、 $UCoGe$ との類似性が指摘されている。多体効果を取り込まない通常の LDA のバンド計算によれば、 UTe_2 はフェルミエネルギー近傍でフラットなバンド構造と小さなギャップを形成する近藤半導体が予想されているが、現実の UTe_2 は十分なキャリア数を持つ金属である。 UTe_2 の最も特徴ある性質はその超伝導である。超伝導転移温度は 1.7K であり、比熱に大きな飛びを示す強結合的振る舞いである [2]。 a 、 b 、 c 軸の全ての磁場方向において、超伝導上部臨界磁場 H_{c2} は弱結合の BCS 理論から期待される限界値であるパウリリミットを大幅に超えている。特に b 軸方向では、16T 以上の強磁場で磁場再突入型の超伝導相図を示し、35T まで超伝導が生き残る [3]。35T では磁化が段階的に上昇するメタ磁性が起き、超伝導は 35T 以上で突然消失する。このような磁場に対して極めて強い超伝導は、通常の BCS 理論から期待される s 波の超伝導ではなく、 p 波あるいは f 波のスピン三重項超伝導であることを強く示唆している。強磁性超伝導体 $URhGe$ 、 $UCoGe$ でも同様に磁化困難軸方向に磁場を加えたときに磁場再突入あるいは磁場強化型超伝導が見出されており、その意味で UTe_2 と強磁性超伝導体は類似性がある。 UTe_2 のスピン三重項超伝導を支持するもう一つ重要な実験事実は、圧力下に現れる多重超伝導相図である。圧力を加えるとわずか 0.3GPa で超伝導転移温度は分裂し、それ以上の圧力で多重超伝導相が現れる。しかも、多重超伝導相が現れる圧力で a 軸方向に磁場を加えると、それぞれの多重超伝導相の多彩な磁場応答を反映して H_{c2} が極低温で急激な上昇を示すこともわかった [4]。このような多重超伝導は、古くは超流動 3He や UPt_3 、 $U(Th)Be_{13}$ など知られており、スピン三重項超伝導のスピン、軌道自由度を反映したものだと考えられる。また、 $P_c \sim 1.45GPa$ の臨界圧以上では超伝導が消失し磁気秩序が現れる。 P_c 直上で磁場を加えるとゼロ磁場では超伝導が現れないが、10T 以上の強磁場で超伝導が現れるという「磁場誘起超伝導」も見出した [5]。金研強磁場のハイブリッドマグネットを使った実験でもこの超伝導は生き残っていることを確認した。

このように UTe_2 は次から次へと多彩な現象が飛び出てくるおもしろ箱のような物質である。スピン三重項超伝導体である UTe_2 はトポロジカル超伝導体としても注目を集めている [6]。トポロジカル超伝導体は、通常 s 波の超伝導体を薄膜や次元性などでチューニングして得ることが多いが、 UTe_2 をはじめウラン化合物に見出されるスピン三重項超伝導体はバルクとして、「そのまま」トポロジカル超伝導体であり、しかも電子相関が強い。今後も研究分野の広がりや発展が見込まれる。

本研究は、フランスの CEA-Grenoble、LNCMI、大洗センター、強磁場センター及び国内外の多くの研究グループの方々との共同研究によるものである。

[1] S. Ran et al. Science 365, 684 (2019).

[2] D. Aoki et al. J. Phys. Soc. Jpn. 88, 043702 (2019).

[3] G. Knebel et al. J. Phys. Soc. Jpn. 88, 063707 (2019).

[4] D. Aoki et al. J. Phys. Soc. Jpn. 89, 053705 (2020).

[5] D. Aoki et al. J. Phys. Soc. Jpn. 90, 074705 (2021).

[6] レビュー論文として以下を参照 D. Aoki et al. arXiv:2110.10451.

磁気対称性の破れとトポロジーが生み出す輸送現象

鈴木通人

金属材料研究所 計算材料科学センター

磁気秩序系における磁気モーメントの配向自由度は、秩序化に伴う磁気対称性の破れによって多彩な物性現象の源となる。磁気秩序に伴う対称性の破れはスピン・軌道相互作用を通してエネルギーバンドの縮退構造を変化させ、特定の条件下で磁性体における巨大輸送・応答現象の引き金になると考えられる。近年、第一原理計算から得られた電子構造をもとに有効タイトバインディングモデルを構築する理論手法が洗練化されたことで、線形応答関数などの計算を比較的低い計算コストで行うことが可能になり、物質の輸送現象に関する理解が大きく進展しているが、複雑な磁気秩序下で生じる磁性体の輸送現象の発現メカニズムの同定は困難であった。

発表者は、磁気秩序の新しい理論解析手法として磁性表現論と多極子理論を融合させたクラスター多極子法を考案し[1-3] (図1参照)、第一原理計算を併用した磁気構造と電子構造の解析から、 Mn_3Sn , Mn_3Ge の反強磁性秩序相で観測された巨大異常ホール効果の発現機構を明らかにしたのをはじめ [2]、アンチペロブスカイトマンガン窒化物や反強磁性ディラック半金属 $MnCuAs$ を対象に行った解析から、エネルギーバンドの縮退構造が反強磁性体の異常ホール効果やスピンホール効果の増強に果たす役割などを明らかにしている[4, 5] (図2参照)。

本発表ではこれら反強磁性体の輸送現象に関する研究の他、クラスター多極子法とハイスループット第一原理計算を活用した磁気構造データベースの解析[6]や、有限波数によって特徴づけられる空間変調を伴うより複雑な磁気秩序系の解析への応用など、理論の進展に伴う近年の研究成果を紹介する。

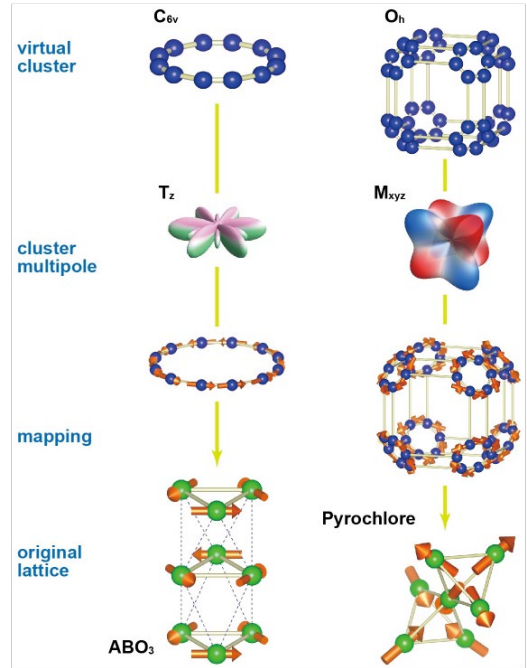


図1 クラスター多極子法による磁気構造生成[3]

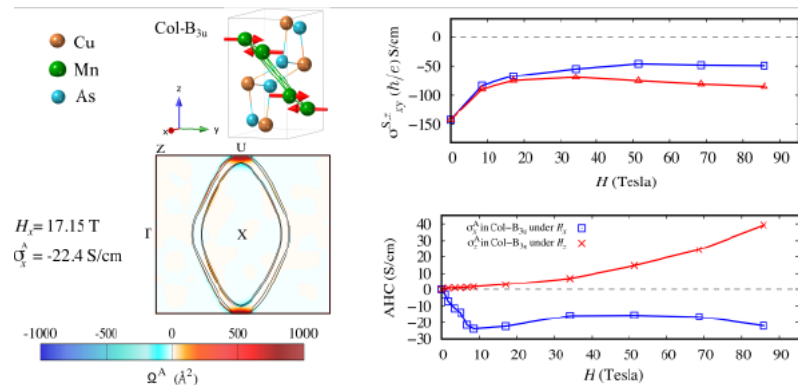


図2 ディラック半金属 $CuMnAs$ の反強磁性秩序下のスピンホール効果と磁場下異常ホール効果の解析[5]

- [1] クラスター多極子法と電子状態計算による反強磁性体の物性解析, 鈴木通人, 柳有起, 有田亮太郎, 固体物理 **55**, 561 (2020)
- [2] M.-T. Suzuki, T. Koretsune, M. Ochi, R. Arita, Phys. Rev. B **95**, 094406 (2017)
- [3] M.-T. Suzuki, T. Nomoto, R. Arita, Y. Yanagi, S. Hayami, H. Kusunose, Phys. Rev. B **99**, 174407 (2019)
- [4] V. T. N. Huyen, M.-T. Suzuki, K. Yamauchi, T. Oguchi, Phys. Rev. B **100**, 094426 (2019)
- [5] V. T. N. Huyen, Y. Yanagi, M.-T. Suzuki, Phys. Rev. B **104**, 035110 (2021)
- [6] M.-T. Huebsch, T. Nomoto, M.-T. Suzuki, R. Arita, Phys. Rev. X **11**, 011031 (2021)

耐摩耗性と耐食性を両立した鉄鋼材料の開発

山中 謙太

加工プロセス工学研究部門

ポリフェニレンサルファイド (PPS) は、優れた機械的特性、耐熱性、耐薬品性、寸法安定性、難燃性等を特徴とするスーパーエンジニアリングプラスチックであり、自動車の軽量化や電装化、HV/EV の普及を背景に需要が拡大している。PPS 部材は主に射出成形により製造されるが、樹脂の熱分解に起因した腐食と樹脂中に強化を目的に 30–40% 添加されるガラス繊維や強化ファイバーに起因した摩耗により射出成形装置に用いられる金属部材 (スクリュー・金型) にとっては過酷な使用環境と言える。PPS 射出成形用スクリューには耐摩耗性やコストの観点から高速度鋼に代表される炭化物強化マルテンサイト鋼が用いられているが、炭化物の形成により耐食性に課題があった。

以上のような背景から、発表者らは PPS 射出成形用スクリューへの応用を主なターゲットに、トレードオフの関係にある硬度・耐摩耗性と耐食性を両立した鉄鋼材料の開発に取り組んできた[1,2]。図 1(a) は、本研究にて開発した微量の Cu を添加した Fe–16Cr–3W–2Cu–1C (wt.%) 合金 (開発鋼) と Cu を含まない比較鋼の耐食性を PPS の射出成形を模擬した硫酸水溶液への浸漬試験における重量損失により評価した結果である[1]。当該鋼種では構成相である炭化物とマルテンサイトの電気化学ポテンシャル差を駆動力とした腐食反応が起こり、比較鋼では加速的な重量損失を伴うマルテンサイトの溶出が観察された。一方、開発鋼では比較鋼に比べて一桁以上低い腐食速度を示し、優れた耐食性が得られた[1]。開発鋼におけるマルテンサイトの溶出抑制は Cu の表面濃化に起因しており、走査型ケルビンプローブフォース顕微鏡 (SKPFM) 観察では、浸漬試験前の試料表面において存在した構成相間の電位差が硫酸水溶液への浸漬後に低減されることを確認した (図 1(b))。このような腐食抑制効果は焼入温度が高いほど顕著であり、実際に腐食表面において Cu の濃化挙動に明確な焼入れ温度依存性が観察された[2]。一方、開発鋼の硬さは焼入温度とともに増加し、既存の高速度鋼と同等以上の高硬度と優れた耐食性を同時に得ることに成功した。また、実機試作と PPS 射出成形の実機試験により開発鋼を用いたスクリューが既存材の 2 倍の耐久性を示すことを確認した。

一連の研究では、中性子回折を用いた組織定量化や熱間加工特性評価を基に合金組成と加工プロセスの最適化に取り組むとともに、射出成形機部材としての実用化や Additive Manufacturing への応用展開による高機能部材の開発にも取り組んでいる。また、最近の研究では Ni–Cr–Mo 系耐食合金において塑性変形により導入した転位境界への Cu の偏析・析出を利用した高強度化にも成功し、強化元素としての Cu の重要性も明らかにした[3]。

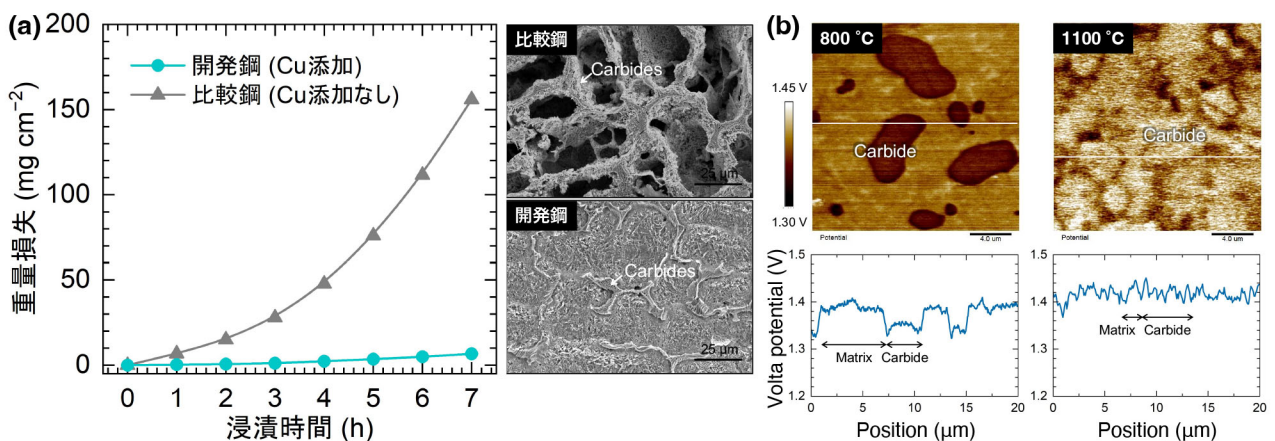


図 1 (a) 0.5M 硫酸水溶液への浸漬試験における重量損失 (腐食量) と腐食表面の SEM 観察結果。(b) SKPFM を用いて評価した 1 h 浸漬後の試料表面の電位分布に及ぼす焼入温度の影響。

- [1] C. Zhang, K. Yamanaka, H. Bian, A. Chiba, *npj Mater. Degrad.*, **3** (2019) 30.
- [2] K. Yamanaka, M. Mori, K. Yoshida, Y. Onuki, S. Sato, A. Chiba, *npj Mater. Degrad.*, **5** (2021) 43.
- [3] H. Shima, M. Mori, K. Yamanaka, K. Yoshida, T. Yamazaki, A. Chiba, *Scr. Mater.*, in press. doi:10.1016/j.scriptamat.2021.114389.

ウィークビーム走査透過電子顕微鏡を用いた中性子照射欠陥の定量解析

吉田健太

金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター

原子炉容器鋼が中性子照射を受けると材料中には、溶質原子クラスター(SC)や転位ループ、ナノボイド、ヘリウムバブルが形成する。これらナノスケールの照射欠陥が脆化に及ぼす影響を解明するために、より正確な定量解析法が必要とされている。

我々の研究センターでは、アトムプローブトモグラフィー(3D-AP)で中性子照射量(0.17dpa相当)までの加圧水型原子炉監視試験片を系統的に調査することで、SC形成の照射量依存性、障害物強度の予測などを行ってきた[1]。私は、転位ループなどある特定方向への強い格子歪み場から、選択的に像コントラストを取得できるウィークビーム走査透過電子顕微鏡(WB-STEM)法を開発し、マトリックス損傷(MD:硬化に寄与する格子欠陥)の定量解析を実現した[2]。市販化のための各種WB-STEMパーツの設計・開発を経て、WB-STEM法は次世代炉候補材として注目される9Cr-2W鋼[3]、タングステン核融合炉ブランケット材[4]などの照射欠陥の定量解析にも応用されるようになった。近年では、F82H低放射化フェライト鋼の高照射領域で生じる転位ループとヘリウムバブルを同時に定量するため、画像解析法の改善に取り組んでいる。

また、試料ドリフトに対して高い許容性を有するWB-STEM法の特徴を生かし「その場WB-STEM法の開発」も進めている。これまでに着脱式加熱カートリッジの自動温度制御[5]など、放射化した原子炉容器鋼中の中性子照射欠陥の定量解析と安定性評価を両立できる新しい二軸傾斜加熱ホルダーを開発(2021年4月より販売開始)した。

低合金フェライト鋼では、中性子照射によって生じた微小な $1/2\langle 111 \rangle$ 型転位ループ(自己格子間原子集合体)の成長および転位ループと転位組織との相互作用過程を可視化し、数密度・サイズ・バーガースベクトルの分布の定量解析から、転位ループによる転位の修飾を実験的に証明した[6]。近年は、F82Hなどより複雑な微細組織を有する次世代炉・核融合炉候補材の照射欠陥および集合組織の熱的安定性を評価している。

以上、実用鉄鋼材料に中性子照射によって誘起される格子間原子・空孔クラスターの定量解析のために開発したWB-STEM法は鉄鋼材料中の転位ループおよびナノボイド、ヘリウムバブルを定量解析する極めて有効なイメージング法であることを示した。現在、分散強化のための酸化物粒子やハイエントロピー合金中の欠陥評価に有効な結像系レンズ系の改良も実施中である。原子力材料研究における透過電子顕微鏡分析の位置づけを向上させて行きたいと考えている。

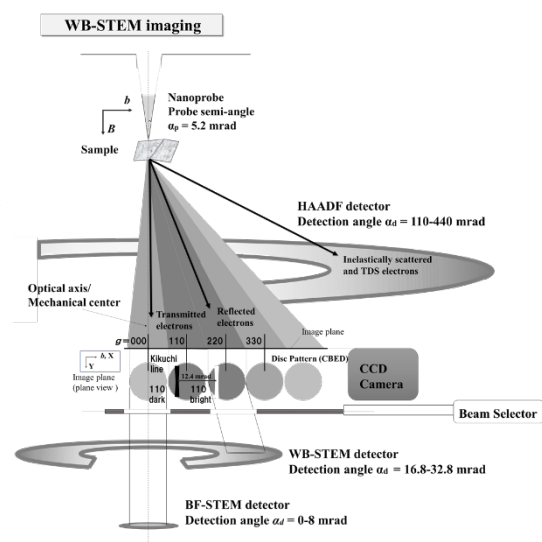


図 1: WB-STEM 像の検出角模式図

参考文献

- [1] M. Shimodaira, T. Toyama, K. Yoshida, K. Inoue, N. Ebisawa, K. Tomura, T. Yoshiie, K. J. Milan, R. Gerard, Y. Nagai, *Acta Mater.*, **155** (2018) 402.
- [2] K. Yoshida, M. Shimodaira, T. Toyama, Y. Shimizu, K. Inoue, T. Yoshiie, K. J. Milan, R. Gerard, Y. Nagai, *Microsc.*, **66** (2017) 120.
- [3] Y. F. Zhang, Q. Zhan, S. Onuki, A. Kimura, F.R. Wan, K. Yoshida, Y. Nagai, *J. Nucl. Mater.*, **517** (2019) 1.
- [4] A. Hasegawa, T. Miyazawa, D. Ito, T. Hattori, K. Yoshida, S. Nogami, *Phy. Scr.*, **T171** (2020) 014016.
- [5] Y. Shimada, K. Yoshida, K. Inoue, T. Shiraiishi, T. Kiguchi, Y. Nagai, T. J. Konno, *Microsc.*, **68** (2019) 271.
- [6] Y. Du, K. Yoshida, Y. Shimada, T. Toyama, K. Inoue, K. Arakawa, T. Suzudo, K. J. Milan, R. Gerard, S. Ohnuki, Y. Nagai, *Materialia*, **12** (2020) 100778.

金属材料中の水素の挙動と水素脆化

秋山英二
耐環境材料学研究部門

応力が与えられた金属材料中に環境中から水素が取り込まれた水素によって引き起こされる脆性的な破壊は、水素脆化あるいは遅れ破壊と呼ばれる。日本国内では、1960年代に13T級（130 kgf/mm²）がJIS化されたが、水素脆化による破断が生じたためJIS規格から外された。これを契機に高強度鋼の水素脆化の研究が盛んに行われるようになった。一般に、高強度鋼の水素脆化感受性は強度が増すに従って高くなることが知られているが、土木、建築用の高強度鋼のボルト、ワイヤの高強度化に加え、現在では引張強度が1500 MPa級の自動車用鋼板が実用されていることから、その水素脆化課題に対する関心は高まっている。また、水素エネルギー利用の普及に向け、高圧水素環境で用いられる鋼の信頼性の面からも水素脆化は重要視されている。

一般に水素脆化特性の評価は、水素をプレチャージした試験片の引張試験や水素チャージ条件下での引張試験によって破断応力もしくは破断伸びなどによって評価される。ボルト用鋼の場合には、ボルトのねじ底の応力集中を模擬して、環状切欠付き丸棒試験片が用いられてきた。近年高強度化が進み水素脆化が懸念される高強度鋼板についても、同様に水素チャージと引張試験が行われる一方で、プレス成形によって導入される塑性ひずみや、残留応力、拘束応力の影響を反映させるために、U曲げ試験片や張出し試験片を用いた水素脆化特性の評価が行われている。平滑試験片と比較して、これらプレス成形を模擬した試験片の場合には、水素脆化に影響を及ぼすと考えられる内部の応力、塑性ひずみ、水素濃度に分布があり、これらを考慮した評価が必要である。我々の研究室では、U曲げ試験片を用い、昇温脱離分析、有限要素法による弾塑性解析やSPring-8の放射光を利用した解析を行っている。

高強度ボルトや高強度鋼板が用いられる実環境での水素侵入の原因は大気腐食による。水素脆化のプロセスを明らかにするためには、腐食による環境からの水素の侵入挙動や、鋼中での拡散挙動、及びそれに及ぼす材料の組織因子の影響を知る必要があり、その手段の一つとして、水素可視化が期待される。従来用いられてきた方法としては、水素マイクロプリント法や銀デコレーション法、トリチウムオートラジオグラフィやSIMSなどがあげられるが、水素の挙動のその場観察や、広い視野での可視化は難しかった。我々の研究室では、水素ガスと反応して色が変わるIr錯体を用いた方法や、原子状の水素と反応して色が変わるポリアニリンを用いた水素透過挙動のその場水素可視化に取り組んでいる。

講演では、前述のU曲げ試験片を用いた高強度鋼板の水素脆化特性評価や、新規な水素可視化法を用いた水素透過挙動などについて得られた結果について説明する。

科学が文明と社会に果たす役割

- 過去・現在・未来 -

金属材料研究所 今野豊彦

約 300 万年前に誕生した人類は 1 万年前の最後の氷河期から現在にいたる短い年月に長足の進歩を遂げ、あと数 10 年でこの地球上には 100 億以上の人々が暮らすといわれています。長い地球の歴史の中から見れば、ほとんど瞬間的に起こったこの変化の背景にあるのは農業革命や産業革命を引き起こした科学と技術に他なりません。果たしてこの「発展」はいつまで続くのでしょうか？

短い時間ですが本稿では人類の歴史を振り返り、科学する心はどのように生まれ、育ち、ときには試練につつまれながら、人類社会にもたらした影響を駆け足で見ようと思います。ローマ時代から中世、そしてルネサンスに至る歴史、日本においては文明開化と鉄の技術史から学ぶものは何でしょうか。人類が産業革命に至るまで味わった試練、そしてその後の急速な科学技術の進歩が何をもたらしたかを考えることが本稿の大きなテーマです。

特に材料が果たしてきた役割については、いくつかの実例を通してみていくとともに、先人の努力や、時にはセレンティビティに助けられた逸話をいくつか紹介いたします。トラブルや事故にも触れ、開発に携わるものが何を考え、困難をどのように克服したか、時には行政の果たした役割も考えたいと思います。また工学だけではなく、時間の許す範囲で医学の進歩にも触れたいと思います。



ジュラルミンを発明した
アルフレッド・ビルム

科学の発展を担うのは人間です。アインシュタインは著書「Ideas and Opinions」の中で次のように語っています。

"Truth resembles a stature of marble which stands in the desert and is continuously threatened with burial by the shifting sand." (真実は砂漠の中に立つ銅像に似ている。それは押し寄せる砂によって埋没する危機に常にさらされている。)

私たちもこのメッセージの意味を通して、科学の進歩に際して持つべき心構えをご一緒に考えたいと思います。

最後に人類の活動が地球環境そのものを変えるようにまでなった現代、地質学的にも人新世 (Anthropocene) と呼ばれる時代^{*1)}に、我々がなすべきことは何か、科学文明の功罪を知ることを通して、私たちの子供たちが暮らすことになる地球とその将来を見つめなおしてみたいと思います。

*1): S.L. Lewis, M.A. Maslin, Nature 519 p171 (2015) (doi:10.1038/nature14258)

ポスターセッション

日時：11月30日(火) 16:00～17:30

三元系共晶体シンチレータの作製とイメージング性能評価

瀧澤 優威¹, 鎌田 圭^{2,3}, Kyoung Jin Kim¹, 吉野将生¹, 山路晃広¹, 黒澤俊介², 横田有為¹,
佐藤浩樹², 豊田智史², 大橋雄二², 花田貴¹, Vladimir. V. Kochurikhin³, 吉川 彰^{1,2,3}
東北大金研¹, 東北大 NICHe², C&A³

Growth and luminescence properties of ternary eutectics

°Yui Takizawa¹, Kei Kamada^{2,3}, Kyoung Jin Kim¹, Masao Yoshino¹, Akihiro Yamaji¹,
Shunsuke Kurosawa², Yuui Yokota¹, Hiroki Sato², Satoshi Toyoda², Yuji Ohashi², Takashi Hanada¹,
Vladimir. V. Kochurikhin³, Akira Yoshikawa^{1,2,3}

IMR Tohoku Univ.¹, NICHe Tohoku Univ.², C&A corporation.³

Keywords : シンチレータ(Scintillators)・放射線イメージング(Radiation imaging)・共晶体(Eutectic)

【緒言】 X線イメージング装置では, Tb:Gd₂O₃ 焼結体板や Tl:CsI ウィスカー板をシンチレータとし, 数 μm の解像度を有する光検出器と組み合わせることでイメージングを行っている. 我々の研究グループでは, 光導波型の共晶体構造を利用することで X線イメージングの分解能を改善する技術を提案してきた. 一方向性凝固により結晶成長させた共晶体シンチレータにおいて, 相同土で大きな屈折率差が存在するとき, シンチレーション光が屈折率の高い相の内部を全反射し, シンチレーション光の分散を抑え, 高い空間分解能につながる. 例えば Tl 添加 CsI/CsCl/NaCl シンチレータにおいて, 各相が柱状に結晶成長し, シンチレータ相である CsI 相が光導波する様子を報告してきた. 今回は, CsI および BaCl₂ を発光相として, 共晶体シンチレータの探索を行い, 三元系共晶体について検討を行ったので報告する.

【実験方法】 本研究において対象とした三元系共晶体は CsI/CsCl/NaCl, CsI/CsCl/KCl, CsI/KI/KCl, BaCl₂/NaCl/KCl であった. 純度 99.9% の原料粉末を共晶体組成となるように秤量し, 垂直ブリッジマン法・Cz 法を用いて一方向性凝固による結晶成長を行った. 育成結晶に対し, SEM, BEI および粉末 XRD による共晶組織の観察, 相同定やカソードルミネッセンスによる発光相の確認や発光スペクトルの測定を行った.

【結果・考察】 Cz 法により 0.2 mm/min の引上げ速度で結晶育成した Tl:CsI/CsCl/NaCl 共晶体の写真を図 1 に示す, 光学的に透明な共晶体が得られた. 図 2 に本研究の CsI/CsCl/NaCl 共晶体の断面方向の BEI 像および共晶体構造の模式図を示す. ここで, 各相の屈折率は CsI > CsCl > NaCl の順に大きいため, CsI 相で生じるシンチレーション光の, 隣接する CsCl と NaCl 相への拡散を抑えることが可能となる. 当該共晶体を用いて試作した放射線検出器により撮像した, β 線のイメージング結果を図 3 に示す. 16 μm の位置分解能が確認された.



図 1 Tl:CsI/CsCl/NaCl 結晶およびサンプルウエハの写真

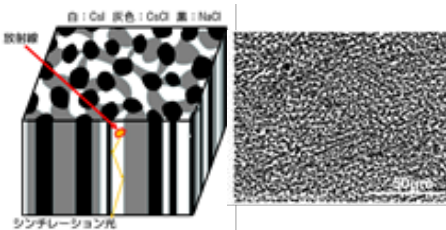


図 2 左) 3 元系共晶体構造の模式図および右) Tl:CsI/CsCl/NaCl の反射電子像

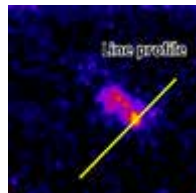


図 3 3 元系共晶体を用いた β 線イメージングの結果

Shielded Arc Melting 法を用いた $Zn_3Ta_2O_8$ 及び CaO の結晶育成

矢島隆雅¹, 鎌田圭^{1,2,3}, 石川志緒利³, 瀧澤優威¹, Kyoung Jin Kim², 吉野将生¹, 山路晃広², 黒澤俊介², 横田有為¹, 佐藤浩樹², 豊田智史², 大橋雄二², 花田貴¹,
Vladimir Kochurikhin³, 吉川彰^{1,2,3}
先端結晶工学研究部門¹, 東北大学 NICHe², C&A³

Crystal Growth of $Zn_3Ta_2O_8$ and CaO by Shielded Arc Melting Method

R. Yajima¹, K. Kamada^{1,2,3}, S. Ishikawa³, Y. Takizawa¹, K. J. Kim², M. Yoshino¹, A. Yamaji², S. Kurosawa², Y. Yokota¹, H. Sato², S. Toyoda², Y. Ohashi², T. Hanada¹, V. Kochurikhin³, A. Yoshikawa^{1,2,3}

Advanced Crystal Engineering Research Laboratory¹, NICHe, Tohoku University², C&A³

Keywords : Crystal Growth, Scintillator

【緒言】 シンチレータは放射線を可視光へ変換する材料であり、透過性の高い結晶体であることが求められる。さらに、高発光量、短い蛍光寿命、高密度といった様々な特性が求められるため、新たな高性能シンチレータ材料の探索競争が世界規模で展開されている。新規材料探索においては、数ミリ径程度の単結晶を高速で作製する手法が求められることから、マイクロ引下げ (μ -PD) 法やフローティングゾーン (FZ) 法が用いられてきた。一方で μ -PD 法などの坩堝を用いる結晶育成法では、坩堝の融点を超える高融点材料の探索が不可能であり、FZ 法では光源に対する透過性の高い材料では加熱が困難となる問題や、蒸発物による遮光の問題があり、これまで超高融点材料や揮発性材料の結晶の材料探索は困難であった。

本研究では、輻射熱を利用した新たな結晶育成手法である Shielded Arc Melting (SAM) 法を開発したので報告する。SAM 法では原料を W 等の高融点金属で覆い、その金属をアーク放電により加熱し、金属裏面から放出される輻射熱で非接触に原料を熔融する手法であり、10 分程度の短時間に数ミリ径程度の小型結晶育成が可能である。2200°C を超える高融点材料や、高蒸気圧な酸化物原料を含む結晶育成が困難とされる材料の短時間での結晶育成が可能であることから、優れた材料探索手法として期待される。本研究では、高融点材料として Eu:CaO、高蒸気圧酸化物を含む材料として $Zn_3Ta_2O_8$ [1] の結晶育成を行い、シンチレータ特性を評価したので報告する。

【実験方法】 SAM 法の模式図を図 1 に示す。Eu1mol%:CaO 及び $Zn_3Ta_2O_8$ の各粉末原料を 6 mm 径のペレットとし、Cu ハース上に設置した。W 板を用いて、当該ペレットを非接触で覆った。Ar 雰囲気中、W 電極を用いたアーク放電により W 板を加熱し、内部のペレットを輻射熱により間接過熱し、熔融した。その後、5分間でアーク放電の出力徐々に低下させて熔融部を固化させ、室温まで降温した。

【結果】 育成した CaO および $Zn_3Ta_2O_8$ の結晶の写真を図 2 に示す。光透過性を有する結晶が得られた。 $Zn_3Ta_2O_8$ において、X 線ロッキングカーブを測定し、655 arcsec ([442], 74.3°) の値を確認した。当日はこれらの結果に加えて発光量、蛍光寿命、発光・励起波長といった光学・発光特性を報告する。

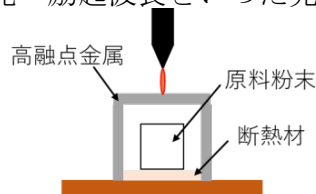


図 1 SAM 法の模式図

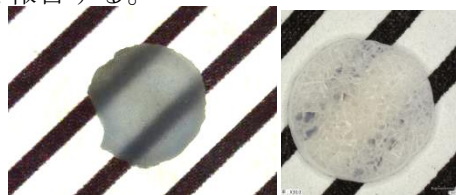


図 2 SAM 法育成 CaO (左) および $Zn_3Ta_2O_8$ (右) の写真

[1] E. D. Bourret, D. M. Smiadak, R. B. Borade, Y. Ma, G. Bizarri, M. J. Weber, and S. E. Derenzo, "Scintillation of tantalate compounds," *J. Lumin.*, vol. 202, no. October, pp. 332–338, 2018, doi: 10.1016/j.jlumin.2018.05.044.

Antisymmetric interlayer exchange coupling in Pt/Co/Ir/Co/Pt with in-plane inversion symmetry breaking

H. Masuda^{1,2}, T. Seki^{1,3,4}, Y. Yamane^{5,6}, R. Modak³, K. Uchida^{1,3,4},
J. Ieda⁷, Y.-C. Lau^{1,4}, S. Fukami^{4,6,8,9}, and K. Takanashi^{1,4,7,9}

IMR, Tohoku Univ.¹, Graduate school of Engineering, Tohoku Univ.², NIMS³,
CSRN, Tohoku Univ.⁴, FRIS, Tohoku Univ.⁵, RIEC, Tohoku Univ.⁶, ASRC, JAEA⁷,
WPI-AIMR, Tohoku Univ.⁸, CSIS, Tohoku Univ.⁹

Keywords : Interlayer exchange coupling, Metallic superlattice, Inversion symmetry breaking

The interlayer exchange coupling (IEC), which had been widely studied from 1980 to 1990 [1], is known as the symmetric interaction between magnetizations in two ferromagnetic layers separated by a nonmagnetic interlayer. Recently, the antisymmetric type of IEC has been discovered in the metallic superlattice without the in-plane spatial inversion symmetry, which is observed as asymmetry in the perpendicular magnetization reversal process under the additional in-plane magnetic field (H_{ip}) [2-5]. However, the mechanism of the antisymmetric IEC is still under debate, and the systematic experiments exploiting the well-controlled structural asymmetry are indispensable. In this study, we systematically study on the symmetric and antisymmetric IECs in Pt/Co/Ir/Co/Pt where the in-plane spatial inversion symmetry is intentionally broken by forming the wedge-shaped layers.

The 9 mm square-size double-wedged Ta (1)/Pt (2)/Co (t_{Co})/Ir (t_{Ir})/Co (0.5)/Pt (2)/Ta (1) (in nanometer) film was deposited on a SiO_x substrate using dc magnetron sputtering equipped with a linear shutter system. The t_{Co} and t_{Ir} were continuously varied from 0.6 to 1.6 nm and from 0 to 1.5 nm, respectively, and the wedged-Ir layer was formed in the direction orthogonal to the wedged bottom Co layer. The double-wedged thin film was patterned into the Hall bar-shaped devices, and the anomalous Hall effect (AHE) was measured for the investigation of magnetic properties. The periodic change of the saturation field ($\mu_0 H_s$) against t_{Ir} indicates the symmetric IEC of the Co/Ir/Co system. The AHE under additional $\mu_0 H_{ip} = 50$ mT showed the asymmetric hysteresis loops in which the switching fields (H_{sw}) are largely shifted from the AHE curve without H_{ip} . The shift of H_{sw} ($\mu_0 \Delta H_{sw}$) was estimated to be 14.8 mT for the device with $t_{Co} \sim 0.80$ nm and $t_{Ir} \sim 0.27$ nm, which is one order of magnitude larger than the values reported previously (0.7~1.7 mT [3,5]). This large $\mu_0 \Delta H_{sw}$ corroborates the large antisymmetric IEC. The t_{Ir} dependence of $\mu_0 \Delta H_{sw}$ showed local minimum at $t_{Ir} \sim 0.87$ nm. This behavior is analogous to the t_{Ir} dependence of $\mu_0 H_s$ and suggests the correlation between the symmetric and antisymmetric IECs. We also demonstrated the perpendicular magnetization switching induced by only the application of H_{ip} in the system with the large antisymmetric IEC.

[1] M. D. Stiles, *J. Magn. Magn. Mater.* **200**, 322-337 (1999). [2] E. Y. Vedmedenko *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 257202 (2019). [3] D.-S. Han *et al.*, *Nat. Mater.* **18**, 703 (2019). [4] A. Fernández-Pacheco *et al.*, *Nat. Mater.* **18**, 679 (2019). [5] K. Wang *et al.*, *Commun. Phys.* **4**, 10 (2021).

Pt/NiO/CoFeB 接合系における熱スピン効果の サーモリフレクタンス測定

山崎 匠^{1,2}, 関 剛斎^{1,2}, 窪田 崇秀^{1,2}, 高梨 弘毅^{1,2,3}
東北大 CSRN¹, 東北大金研磁性材料学研究部門², 東北大 CSIS³

Thermoreflectance measurement of thermo-spin effects in Pt/NiO/CoFeB junction system

T. Yamazaki^{1,2}, T. Seki^{1,2}, T. Kubota^{1,2}, and K. Takanashi^{1,2,3}
CSRN, Tohoku Univ.¹, Magnetic Materials Research Lab., IMR, Tohoku Univ.²,
CSIS, Tohoku Univ.³

Keywords : spin caloritronics, thermoreflectance

磁性体で構成された接合部においては、スピン流と熱流の変換現象である熱スピン効果によって熱流が生成されることが知られている。熱流を出力とする熱スピン効果には、マグノンにより駆動するスピンペルチェ効果 (SPE) [1,2]や伝導電子により駆動するスピン依存ペルチェ効果 (SdPE) [3]があり、前者は主に伝導電子のスピン自由度が凍結したフェリ磁性絶縁体 $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ を用いた接合系において精力的に研究されてきた。後者は非磁性金属 (NM) /強磁性金属 (FM) 接合で生じる現象であるが、NM/FM 接合においては SPE も併せて発現し、その大きさが無視できない量であることが理論および実験の両面から示唆されている[4,5]。これらの熱スピン効果に加え、FM 層に電流を印加した場合には磁気熱電効果である異常エッチングスハウゼン効果 (AEE) [6]による熱流も発生する。このように、NM/FM 接合における温度変化には異なる物理的起源に由来する現象が寄与しており、温度変化の詳細を理解するためには、これらの寄与を分離することが不可欠である。

本研究では、NM/FM 間に反強磁性絶縁体 NiO を挿入した系において熱スピン効果の測定を行った。ここで NM には典型的なスピンホール材料である Pt を、FM には $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ (CoFeB) を用いた。Pt 層に電流を印加すると、スピンホール効果により生じたスピン流は NiO 中のマグノンを介して CoFeB に注入される。この時、NiO の挿入により CoFeB には電流が流れないため AEE が生じず、SPE と SdPE のみを検出できるようになる。本研究ではマグネトロンスパッタリング法により MgO(111)基板の上に Pt(10 nm)/NiO(t_{NiO})/CoFeB(20 nm)を作製した後、測温用トランスデューサーとして、Al-O(20 nm)/Cr(5 nm)/Au(100 nm)をイオンビームスパッタリング法により成膜した。そしてフォトリソグラフィと Ar イオンミリングにより幅 400 μm 、長さ 2.5 mm の矩形に薄膜試料をパターンニングした。熱スピン効果による温度変化の測定には、反射率の温度依存性 (サーモリフレクタンス) を利用した測温技術とロックイン検出を組み合わせたロックインサーモリフレクタンス (LITR) 法[7]を用い、室温、大気圧下で測定を行った。NiO 膜厚 $t_{\text{NiO}} = 10$ nm において LITR 測定を行った結果、約 0.2 mK の温度振幅を検出した。また、温度変化の磁場依存性は CoFeB の磁化曲線に対応しており、取得した温度信号が熱スピン効果に起因することを示唆する結果となった。さらに、得られた信号が NiO 内のマグノン伝搬を反映したものであることを確認するため、 t_{NiO} を 5 nm-50 nm の範囲で変化させ、温度振幅の t_{NiO} 依存性を調査した。詳細は当日発表する予定である。

[1] J. Flipse *et al.*, Phys. Rev. Lett. **113**, 027601 (2014). [2] S. Daimon *et al.*, Nat. Commun. **7**, 13754 (2016). [3] J. Flipse *et al.*, Nat. Nanotechnol. **7**, 166 (2012). [4] M. Beens *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **51**, 394002 (2018). [5] R. Iguchi *et al.*, Phys. Rev. B **98**, 014402 (2018). [6] T. Seki *et al.*, Appl. Phys. Lett. **112**, 152403 (2018). [7] T. Yamazaki *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **54**, 354001 (2021).

Topological aspects of spin and anomalous Hall effects in Dirac fermion antiferromagnet CuMnAs

Vu Thi Ngoc Huyen¹, Yuki Yanagi¹, and Michi-To Suzuki^{1,2}

Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Miyagi, Japan¹

Center for Spintronics Research Network, Osaka University, Toyonaka, Osaka, Japan²

Keywords : spin Hall effect, anomalous Hall effect, antiferromagnet

Spin Hall effect (SHE) and anomalous Hall effect (AHE) have a relation to the topological electronic band through Berry phase theory [1, 2]. In antiferromagnetic (AFM) systems, these phenomena have essential advantages in comparison with ferromagnetic systems since there is no stray fields interfering with the neighboring cells as well as faster spin dynamics than ferromagnets [3,4]. In this work, we investigate in detail the topology features of electronic structures of CuMnAs by first-principles density-functional-theory calculations [5].

We show the nodal line gapped with spin-orbit coupling in CuMnAs dominantly generates large spin Hall conductivity in the ground state and applied magnetic fields produce a significant anomalous component of the Hall conductivity with the magnetic symmetry breaking though the magnetic symmetry in the ground state of CuMnAs forbids the anomalous Hall effect.

We identify that the dominant contribution to anomalous Hall components comes from further lifting of band degeneracy under external magnetic fields for the Bloch states generated with splitting of nodal lines by spin-orbit coupling near Fermi energy [5]. This study might motivate and guide further various research for a relation between topology and macroscopic phenomena as well as for AFM spintronics applications.

- [1] Nagaosa, J. Sinova, S. Onoda, A. H. MacDonald, and N. P. Ong, *Rev. Mod. Phys.* **82**, 1539 (2010).
- [2] D. Xiao, M. C. Chang, and Q. Niu, *Rev. Mod. Phys.* **82**, 1959 (2010).
- [3] S. Nakatsuji, N. Kiyohara¹, and T. Higo, *Nature* **527**, 212 (2015).
- [4] V. Baltz, A. Manchon, M. Tsoi, T. Moriyama, T. Ono, and Y. Tserkovnyak, *Rev. Mod. Phys.* **90**, 015005 (2018).
- [5] V. T. N. Huyen, Y. Yanagi, and M.-T. Suzuki, *Phys. Rev. B* **104**, 035110 (2021).

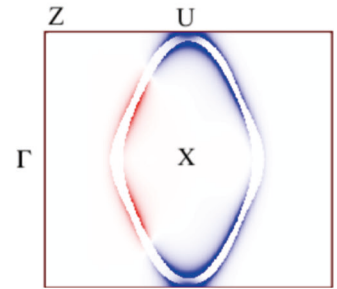


Figure 1. Spin Berry curvature around gapped nodal line.

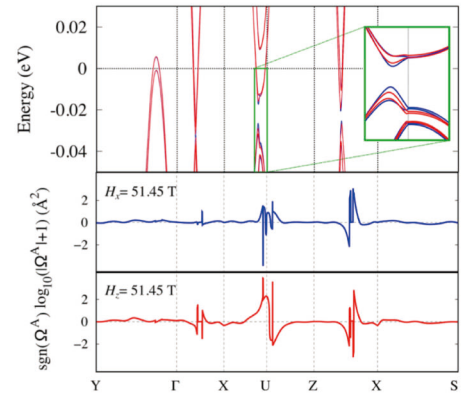


Figure 2. Electronic band structure and the corresponding Berry curvature under the different magnetic fields

反応力場分子動力学法に基づく鉄鋼材料における水素脆化の解明

陳 茜^{1,2}、大谷 優介²、尾澤 伸樹^{1,2}、久保 百司^{2,1}

東北大未来センター¹、東北大金研²

Keywords : Iron, Hydrogen embrittlement, Reactive molecular dynamics

【緒言】鉄鋼構造材料は発電所において広く使用されているが、水素脆化による鋼材の劣化が問題となっている。よって、発電所の高耐久・長寿命の実現には、高温・高圧水環境下における水素侵入現象に関する解明及び水素が鉄材料の劣化を促進するメカニズムの解明が重要である。原子レベルの検討が可能な計算科学において、金属材料の亀裂進展シミュレーションに通常使われる EAM(Embedded Atom Method)力場には「化学反応」と「水素侵入のダイナミクスを扱えない」という問題が存在する。そのため、高温・高圧水環境における水素に起因する鋼材の破壊メカニズムは未解明である。そこで本研究では、反応力場分子動力学法を用い、高温・高圧水環境における水素侵入のダイナミクス及び水素侵入に伴う粒界破壊のプロセスを検討した。

【研究方法】本研究では、高温・高圧水環境における鉄鋼材料の水素脆化シミュレーションを行うため、当研究室で開発した分子動力学プログラム LASKYO を用いた。力場には化学反応を扱える ReaxFF を用いた。水素は亀裂と粒界に集中するため、純鉄のモデルにはランダム粒界と粒界に沿って予亀裂を導入した。高温・高圧水をランダムに配置し、水素侵入と引張りによる破壊プロセスを調べた。

【結果】高温・高圧水環境下における水素の侵入プロセスを再現するため、水素が鉄に侵入する活性化バリアを定量的に表せるように ReaxFF パラメータの最適化を行い、1000 K の条件で NPT 緩和計算を行った。シミュレーションの結果、水分子が解離し、鉄と酸素の結合により表面酸化を見られた(図 1)。その後、水素原子は鉄のバルクに連続的に侵入し、粒界に集中した(図 2)。

次に、水素が破壊に与えるの影響を明らかにするため、引張り計算を行った。シミュレーション結果により、粒界に集中する水素原子は粒界周辺における転位の可動性を低下させ、粒界破壊を促進することが分かった。

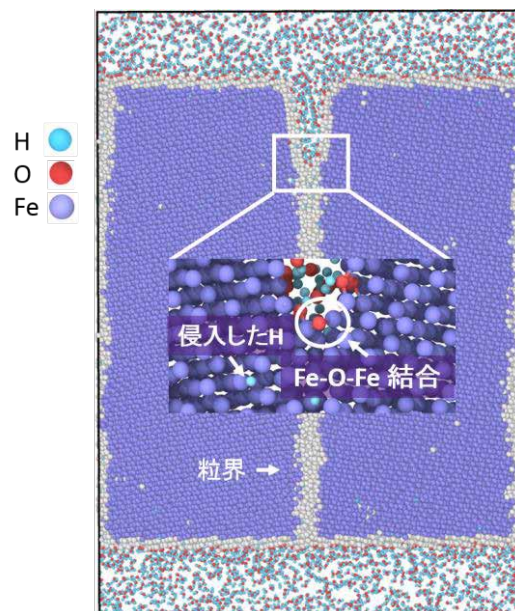


図 1 純鉄にランダムに粒界と予亀裂を導入したモデルを用いた時の Fe-O-Fe 結合の生成

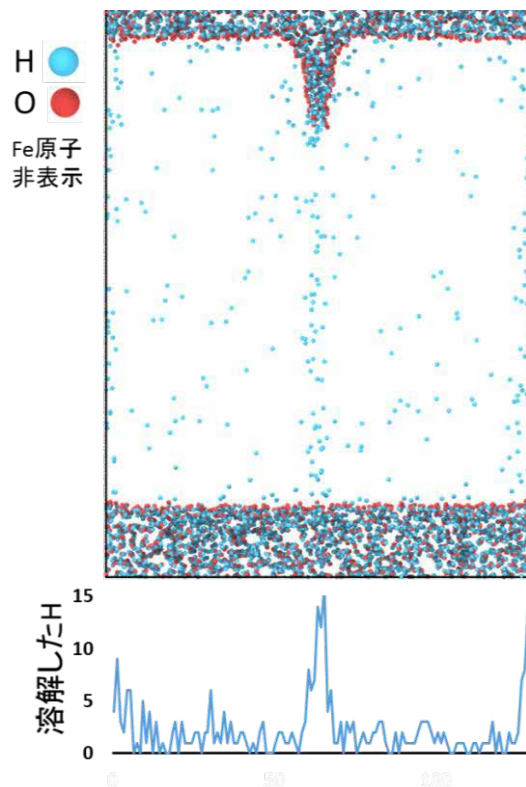


図 2 Fe バルクに侵入した水素の分布

W 坩堝を用いたマイクロ引き下げ法による $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ と $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ の結晶育成

須田貴裕¹, 横田有為¹, 堀合毅彦¹, 山路晃広², 吉野将生¹, 花田貴¹, 佐藤浩樹², 豊田智²,
大橋雄二², 黒澤俊介^{1,2}, 鎌田圭^{1,2,3}, 吉川彰^{1,2,3}

東北大金研先端結晶工学研究部門¹, 東北大 NICHe², C&A³

Crystal Growth of $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ and $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ by micro-pulling-down method using W crucibles

Takahiro Suda¹, Yuui Yokota¹, Takahiko Horiai¹, Akihiro Yamaji³, Masao Yoshino¹, Takashi Hanada¹, Hiroki Sato³, Satoshi Toyoda³, Yuji Ohashi³, Shunsuke Kurosawa^{1,3},
Kei Kamada^{1,3,4}, and Akira Yoshikawa^{1,3,4}

Physics of Electronic Materials Research Laboratory of IMR Tohoku univ.¹, NICHe Tohoku univ.², C&A³

Keywords: 結晶成長, 酸化物

【背景】 マイクロ引き下げ法 (μ -PD 法) は、従来の融液成長法に比べて比較的育成速度が速いことから、機能性単結晶の材料探索に利用されてきた。 μ -PD 法による結晶育成には、高温で安定な Ir や Pt 坩堝が一般的に用いられており、Ir (耐熱温度: 2200°C) や Pt (耐熱温度: 1400°C) の耐熱温度よりも低い融点の単結晶が主に開発されてきた。一方で、2200°C を超える高融点材料は坩堝を用いた融液成長法による結晶育成の報告は少なく、その物性は主にセラミックスによって評価されてきた。そこで我々は、Ir や Pt よりも高い融点を有する W を坩堝材に用いることで、 μ -PD 法による高融点を有する機能性単結晶の材料探索を試みることにした。本研究では、W 坩堝を用いて $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ (融点: 2283 °C) と $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ (融点: 2418 °C) の単結晶育成を行い、得られた試料の結晶状態や物性を評価した。

【実験方法】 出発原料として La_2O_3 (5N) と ZrO_2 (4N)、 HfO_2 (3N) 粉末を用い、 $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ と $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 焼結体 (1600 °C, 24 時間, 大気雰囲気中) を作製した。結晶育成には ϕ 3 mm のダイを有する W 坩堝を使用した。坩堝内に焼結粉末を充填し、高周波誘導加熱により熔融した後、Ar 雰囲気下、脱酸素処理 ZrO_2 断熱材を使用し、W ロッドを用いてそれぞれ結晶の引き下げを行った。得られた結晶は、ラウエカメラにより背面反射ラウエ像を撮影し、粉末 X 線回折測定により相の同定を行い、結晶性を評価するために X 線ロックンブ測定を行った。

【結果・考察】 W 坩堝を用いて $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ と $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 結晶の育成を試みた結果、Fig. 1 に示した結晶の育成に成功した。得られた $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 結晶はクラックの無い透明体だった。一方で、得られた $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 結晶は黒色を示したことから、育成中に結晶内に酸素欠損が発生したことが示唆された。そのため、 $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 結晶を大気アニールしたところ、Fig. 1 に示した通り透明体となった。粉末 X 線回折パターンでは、すべての回折ピークが各々 $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ と $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ で同定でき、得られた結晶は単相であることが明らかになった (Fig. 2)。尚、結晶育成と結晶評価の詳細は当日報告する。

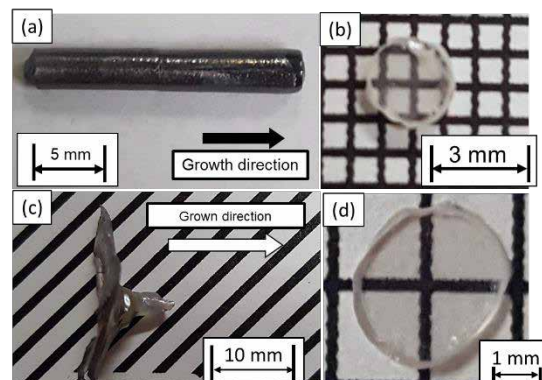


Fig.1 (a) as-grown $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 結晶, (b) ポストアニール後 $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 研磨試料, (c) as-grown $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 結晶, (d) $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ 研磨試料

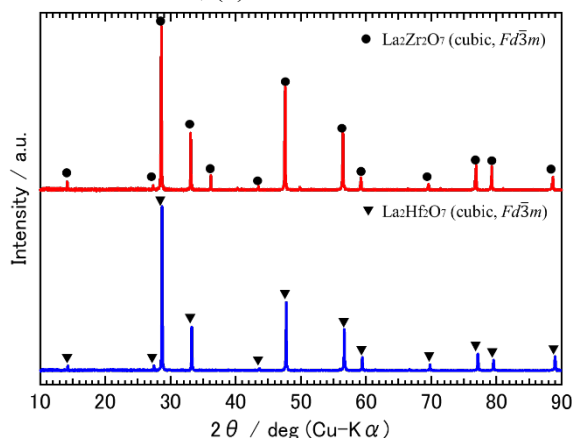


Fig. 2 育成した結晶の粉末 XRD パターン

金属溶湯中におけるポーラス FeCr リガメント粗大化の 溶湯成分依存性

東北大学大学院工学研究科¹、東北大学金属材料研究所²

黒岩優太¹、和田武²、加藤秀実²

Dependence of liquid metal components on ligament coarsening of porous FeCr in liquid metal

Graduate School of Engineering, Tohoku University¹,

Institute for Materials Research, Tohoku University²

Y. Kuroiwa¹, T. Wada², H. Kato²

Keywords: Porous structure, Interfacial diffusion

【緒言 Introduction】金属溶湯脱成分(LMD)とは、前駆合金固体を金属液体に浸漬させることで合金中の特定成分を選択溶出させて、ナノスケールの連結気孔を有するポーラス金属の作製技術である。ナノポーラス金属はその莫大な比表面積や良好な物質輸送性から、キャパシタや電極材料への応用が期待されている。しかし、LMD では高温金属液体中でポーラス構造が粗大化して比表面積が低下してしまい、諸特性が損なわれる問題がある。従って、ポーラス構造の粗大化機構を解明してポーラス構造の制御方法を確立する必要がある。これまで、金属液体中においてポーラス構造は表面拡散により粗大化することが明らかにされている。しかし、その粗大化過程において金属浴の成分系及び組成の影響は十分に解明されていない。本研究では、LMD ポーラス FeCr を異なる成分系及び組成の金属溶湯に浸漬した際の形態変化とその速度解析により、リガメント粗大化の金属溶湯成分依存性を明らかにすることを目的とする。

【実験方法 Experimental】 $(\text{Fe}_{0.8}\text{Cr}_{0.2})_{30}\text{Ni}_{70}$ 前駆合金をアーク溶製し、冷間圧延により板状に加工した。これを700°CのMg浴に15分浸漬して脱成分を行い、この後に硝酸に浸漬することでポーラス $\text{Fe}_{80}\text{Cr}_{20}$ を抽出した。この試料をMg溶湯及び $\text{Bi}_{60}\text{Mg}_{40}$ 溶湯にそれぞれ浸漬することでポーラス構造を粗大化させた。得られた試料の組織や組成をSEM-EDSで調査した。また、画像解析ソフトFijiを用いて試料の断面像を解析し、リガメントサイズを評価した。

【結果 Results】図はポーラス $\text{Fe}_{80}\text{Cr}_{20}$ を700°CのMg溶湯及び $\text{Bi}_{60}\text{Mg}_{40}$ 溶湯にそれぞれ30~120分間浸漬した際のリガメントサイズ d と浸漬時間 t の関係である。リガメントはMg溶湯に浸漬した場合より $\text{Bi}_{60}\text{Mg}_{40}$ 溶湯の場合の方が顕著に粗大化した。また、リガメント粗大化は界面拡散によって生じており、活性化エネルギーはMg溶湯の場合は約130 kJ/mol、 $\text{Bi}_{60}\text{Mg}_{40}$ 溶湯の場合は約115 kJ/molであることが分かった。

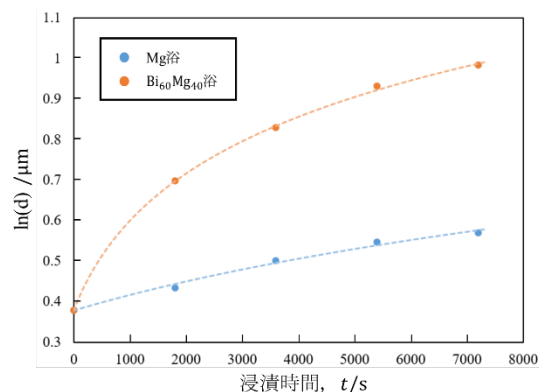


図. リガメントサイズ d と浸漬時間 t の関係

Nanoporous Mo-M Alloys Fabricated by Liquid Metal Dealloying for Efficient Hydrogen Evolution Electrocatalysts

R. Song^{1,2} (D3), J. Han³, M. Okugawa⁴, T. Wada¹, H. Kato¹

¹Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai

²Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai

³Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University, Sendai

⁴Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

As a clean energy carrier, H₂ has the highest energy density of 142 MJ·kg⁻¹ and can be produced by the hydrogen evolution reaction (HER) in water splitting. However, the widespread application of electrocatalytic hydrogen production has been obstinately hindered by the high operation overpotentials and poor durability of electrocatalysts in the water-alkali system. Hence, it is urgent to develop efficient electrocatalysts with high intrinsic catalytic activity, amply available surface area, efficient electron-transfer and mass-transport pathways, and robustness. In the efforts to explore competitive alternatives of the scarce and high-cost noble-metal catalysts, earth-abundant electrocatalysts based on Mo, W, Co, Fe, Ni, etc., have been developed for the HER. While most of the electrocatalysts are immobilized on a conductive substrate with insulating polymer binders, self-supported electrodes would be a superior design as it can eliminate the undesirable interfaces of composite electrodes that usually affect the conductivity and energy efficiency. Dealloying, the selective dissolution of less stable elemental components from an alloy, has been demonstrated to be one of the most effective top-down approaches to fabricate 3D nanoporous materials for energy applications. Among the several dealloying techniques, liquid metal dealloying (LMD) is particularly suitable for fabricating nanoporous materials of high-melting-point metals, such as Mo-based metals/alloys, due to the elevated dealloying temperature and enhanced surface diffusivity. LMD is a process that element “A” of precursor alloy “A-B” dissolves in the metallic melt liquid “C” for negative mixing enthalpy ($\Delta H_{\text{mixingA-C}}$), and the other element “B” of the precursor alloy “A-B” will be left with porous structure for positive mixing enthalpy ($\Delta H_{\text{mixingB-C}}$). Herein, we report the development of Mo-M (M = Co, Fe, Cr) alloys with nanoporous structures by LMD as electrocatalysts for the HER. In this research, self-supported nanoporous Mo-M (M = Co, Fe and Cr) alloys with pore sizes < 50 nm have been fabricated by LMD. Stemming from the high intrinsic catalytic activity (due to the alloying effect) and the bicontinuous nanoporous structure for efficient electron-transfer and mass-transport, the nanoporous Mo-M alloys delivered a low overpotential of ~10 mV at 10 mA·cm⁻² and a small Tafel slope of ~36 mV·dec⁻¹ for the HER. Furthermore, the intermetallic phase of the Mo-M alloys gave rise to a long-term stability of the electrocatalysts in the water-alkali system.

強磁場 ESR を用いた結合ダイマー系 TlCuCl_3 における マグノンボーズ凝縮の相転移挙動の観測

渡邊尚登, 木村尚次郎, 淡路智, 田中秀数¹
強磁場超伝導材料研究センター, 東工大理学院¹

Phase transition behaviors of the magnon BEC in the interacting dimer system TlCuCl_3 by high field ESR

N. Watanabe, S. Kimura, S. Awaji, H. Tanaka¹
HFLSM, IMR Tohoku Univ., Tokyo Inst. Tech.¹

Keywords : TlCuCl_3 , magnon BEC, quantum fluctuation

TlCuCl_3 は磁性を担う Cu^{2+} イオンが組むダイマーが 3 次元的ネットワークを形成する, $-$ スピンギャップ系物質である. この系の磁気励起はダイマー構造を反映したスピントリプレットが弱いダイマー間相互作用を介して伝搬するマグノンと呼ばれ, TlCuCl_3 は, このマグノンの Bose-Einstein 凝縮による磁場誘起量子相転移によって反強磁性秩序する興味深い物質である[1,2]. このマグノンボーズ凝縮相への相転移挙動は, 転移温度付近で磁気無秩序相と反強磁性秩序相の共存領域を伴う一次相転移であることが過去の NMR 測定から報告されているが, この一次相転移挙動の詳細な起源は不明である[3]. そこで本研究では, 強磁場電子スピン共鳴(ESR)を用いて相転移挙動を詳細に調査し, 起源解明を目指している.

Figure 1 は 228 GHz の電磁波を用いて測定した TlCuCl_3 の ESR スペクトルである. 一次相転移を反映して, 転移温度付近($T_N \sim 4.7$ K)で反強磁性秩序相のピーク(8.02–8.04 T)と無秩序相のピーク(~ 8.08 T)が共存するスペクトルが観測された. なお, 7.94 T 付近の信号は試料に付着した不純物によるものである. さらに電磁波の周波数を変えることで, 様々な共鳴磁場において同様に相転移挙動を調査したところ, 量子臨界点近傍($H_c \sim 6$ T)では共存温度領域が広がること, 一方で高磁場領域では共存領域を持たない二次相転移へとクロスオーバーしていくことが分かった. この結果は, この系に顕著な量子揺らぎが一次相転移挙動に影響している可能性を示唆するものである. 発表では, 量子揺らぎに加えて, TlCuCl_3 の磁気秩序誘起電気分極[4]を考慮した考察や, 相転移挙動の磁場方向依存性についても報告する.

[1] A. Oosawa *et al.*, J. Phys. Condens. Matter **11** (1999) 265.

[2] T. Nikuni *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 5868.

[3] O. Vyaselev *et al.*, Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 207202.

[4] S. Kimura *et al.*, Nat. Commun. **7** (2016) 12822.

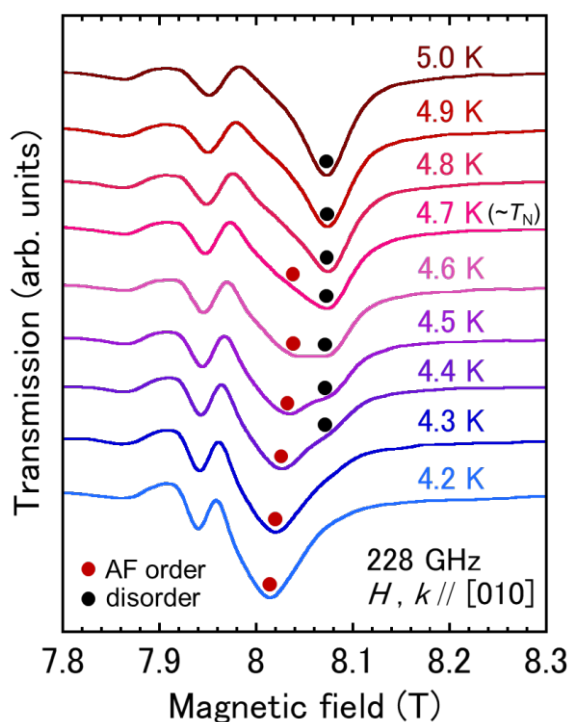


Fig. 1 TlCuCl_3 の ESR スペクトル

共巻き REBCO 高温超伝導コイルの電磁特性

阿部徹¹, Arnaud Badel^{1,2}, 岡田達典¹, 淡路智¹,
藤田真司³, 土屋光揮³, 飯島康裕³, 大保雅載³

強磁場超伝導材料研究センター¹, Neel 研究所², 株式会社フジクラ³

Electromagnetic property of co-winding REBCO high temperature superconducting coil

T. Abe¹, A. Badel^{1,2}, T. Okada¹, S. Awaji¹,
S. Fujita³, K. Tsuchiya³, Y. Iijima³, M. Daibo³

High Field Laboratory for Superconducting Materials¹, Neel Institute², Fujikura Ltd.³

Keywords : REBCO, Superconducting magnet, Critical current

1. はじめに

REBa₂Cu₃O_x (REBCO, RE: 希土類元素/Y) 線材は高磁場中における臨界電流特性に優れており、超伝導マグネットのさらなる高磁場化に向けた利用が試みられている。しかし、REBCO 線材は局所的な欠陥の影響を受けやすく、コイルを構成する上で問題になっている。その対処策として、REBCO 線を 2 枚共巻きにしたコイル化技術が提案されている[1]。本研究では、2 枚共巻きコイルの有効性を評価すべく、REBCO 線材の一部に人為的に劣化部を導入した共巻き REBCO コイルを作製し、その通電・電磁特性を調べた。

2. 実験・解析方法

本研究で使用した REBCO コイルは、REBCO 線材を 101 ターン 2 枚共巻きしたパンケーキコイル 2 層 (ダブルパンケーキコイル) から成る (Fig.1 上)。人為的な劣化は下部コイルの 55 ターン目、外側線材に位置しており、劣化導入部の局所臨界電流はほぼゼロである。2 枚の線材を絶縁せずに共巻きすることで、一方の線材に欠陥が生じた時に電流がもう一方の線材に迂回してコイルの焼損を防ぐ効果が期待される (Fig.1 下)。このダブルパンケーキコイルの I - V 特性を 77 K 以下の温度、自己磁場下で測定した。 I - V 特性から n 値モデルフィッティングにより REBCO コイルの臨界電流を求め、その温度変化を調べた。

3. 実験結果・考察

Fig. 2 に自己磁場下におけるコイル臨界電流の温度変化を示す。77 K では劣化部を含まない上部コイル及び劣化部を含む下部コイルの臨界電流 I_c^{top} 、 I_c^{bottom} の比は $I_c^{\text{bottom}}/I_c^{\text{top}}=0.96$ であった。温度の低下に伴ってこの比が低下する傾向が見られたが、コイル臨界電流の測定が可能だった最低温度の 45 K で $I_c^{\text{bottom}}/I_c^{\text{top}}=0.93$ 程度を維持しており、共巻き技術によって局所欠陥の影響を回避できたと言える。これらの振る舞いはコイル内の磁場分布に起因した臨界電流分布が密接に関連しており、詳細な電磁場解析と超伝導特性を組み合わせた詳細な解析が必要とされる。講演では、上記を詳しく報告すると共に、コイル内におけるターン毎の臨界電流分布を元に $I_c^{\text{bottom}}/I_c^{\text{top}}$ 比の温度変化の原因を議論したい。

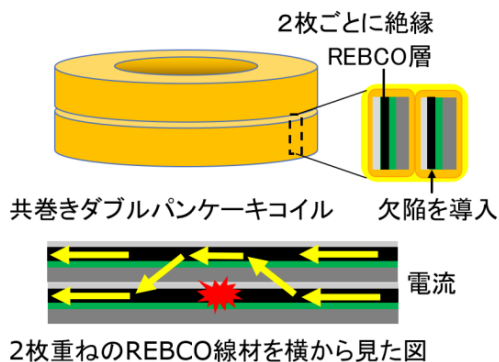


Fig.1 REBCO コイルの概念図

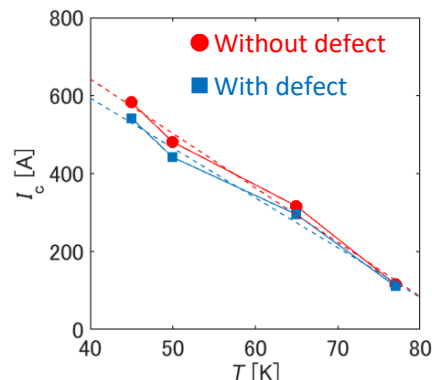


Fig.2 欠陥の有無による I_c の温度変化の違い

参考文献 : [1] S. Awaji *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., **29** (2019) 4300305.

炭素添加によるフェライト粒界でのリン偏析の抑制効果

山崎康一郎, 張咏杰, 宮本吾郎, 古原忠

金属組織制御学研究部門

Suppression effect of C addition on P segregation to ferrite grain boundary

K. Yamasaki, Y.-J. Zhang, G. Miyamoto, T. Furuwara

Microstructure Design of Structural Metallic Materials

Keywords : grain boundary segregation, elemental interaction, atom probe tomography

【緒言】鋼中の微量不純物元素であるリン (P) の粒界偏析は粒界を脆化することで鋼の靱性を低下させ、マルテンサイト鋼の高温焼戻し脆性の原因であるとされている。過去のオージェ電子分光法 (AES) を用いたフェライト組織を有するモデル合金での研究では、少量の炭素 (C) の添加により P の粒界偏析が減少することが明らかとなっているが、そのメカニズムについては不明である。本研究では、定量性よく粒界偏析量を測定できる三次元アトムプローブ (3DAP) 法を用いて、C 添加による P 偏析の抑制効果を系統的に調査し、そのメカニズムを明らかにすることを目的とする。

【実験方法】Fe-0.01 mass % P 合金に浸炭処理を行い、0.005 mass%までの C を添加した Fe-P-C 三元合金を作製した。溶質原子を十分に拡散させ平衡偏析とするために、全ての合金について Ar 雰囲気中フェライト単相域の 600 °C で 24 hr の熱処理を行い水冷した。粒界偏析量の定量評価は 3DAP を用いて行った。

【実験結果】Fig. 1 に各合金から得られた P と C の粒界偏析量を過剰溶質原子濃度 (interfacial excess) としてまとめた。C 添加量が増加すると C の偏析量が増加していることがわかり、それに伴って P の偏析量は減少し、C 添加による P 粒界偏析の抑制効果が確認された。実験結果から McLean の式で求められた粒界偏析エネルギーを用いて、P と C の元素間相互作用を考慮せずに両元素の粒界濃度の関係を予測したところ図中の破線のようになり、実験結果での C 添加による P 偏析抑制効果は予想される抑制効果よりも強く働いた。しかし、元素間相互作用を考慮したモデルを用いて、実験結果からフィッティングで求めた P-C 元素間の反発的相互作用を考慮すると図中の実線のように実験結果を説明できる。以上より、C 添加による P 偏析抑制の効果は、粒界における両元素の反発的相互作用が原因であることが明らかとなった。

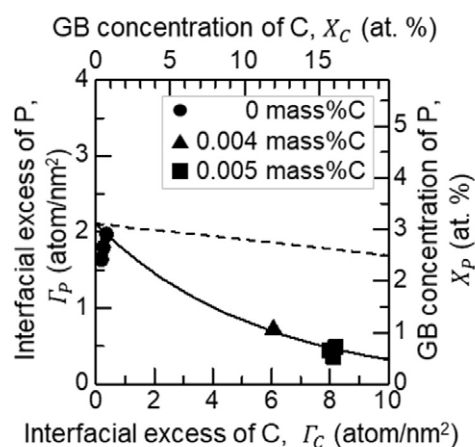


Fig. 1 Fe-0.01P-C 合金における P と C の粒界偏析量の関係。破線は元素間相互作用を考慮しないとき、実線は元素間相互作用を考慮したときの計算値である。

ナノ結晶ハイエントロピー合金薄膜の作製とその結晶粒成長の評価

野崎翔吾, 魏 代修, 和田 武, 加藤秀実
非平衡物質工学研究部門

Synthesis of nanocrystalline high entropy alloy thin film and its grain growth behavior during heat treatment

S. Nozaki, D. Wei, T. Wada, H. Kato
Non-Equilibrium Materials Research Laboratory

Keywords : High entropy alloy, Nanocrystalline material, Grain growth

【緒言】 ハイエントロピー合金(HEA)は 5 種類以上の元素を含む配置エントロピーが $1.5R$ 以上の合金である。HEA のコア効果の一つに、拡散が遅く、組織の熱安定性に優れることが挙げられる。これを利用して Nguyen らは、 $\text{Al}_9(\text{CoCrFeMnNi})_{91}$ HEA を高圧ねじり加工によりナノ結晶化することで、 1073 K で最大 2000% の超塑性伸びを達成した。^[1] 本研究では、ナノ結晶 HEA が呈する超塑性変形を利用して、インプリント加工を試みる。インプリント加工は、モールドのパターンを材料表面に転写する加工技術で、小型部品等の製造に用いられている。パターンを精密に転写するためには結晶粒がパターンサイズよりも十分に小さい必要がある。しかし、組織の熱安定性が低い場合にはインプリント加工時の加熱によって結晶粒粗大化が生じてしまいインプリント加工は困難である。一方で HEA では上述した組織の高い熱安定性により、ナノ結晶構造が保たれ、ナノインプリント加工材料としての応用が期待される。その実現のためには、高温での組織のより詳細な評価が必要であり、本研究ではナノ結晶 $\text{Al}_9(\text{CoCrFeMnNi})_{91}$ 合金をスパッタリング法で作製し、結晶相や粒径など高温での組織を評価することを目的とした。

【実験方法】 高周波溶解により $\text{Al}_9(\text{CoCrFeMnNi})_{91}$ 合金のインゴットを作製後、加工しスパッタリングターゲットとした。合金薄膜は、各スパッタリング条件を変えながら DC スパッタリングにより作製した。得られた合金薄膜を 800°C で各時間熱処理した。熱処理後の試料について、SEM を用いた組織観察、XRD を用いた相同定と Scherrer の式を用いた結晶子サイズの評価を行った。

【結果】 図 1 は成膜後試料と 800°C での熱処理を 300 s、600 s、1200 s で行った後の試料の XRD パターンである。成膜後試料のパターンからは、膜が fcc(111) 配向であることが示唆され、300 s、600 s、1200 s 熱処理した試料では、fcc 相に加え B2 相、 σ 相の存在が確認された。当日は fcc(111) のピークから結晶子サイズを算出した結果や試料の TEM 像も加えて、考察を示す。

[1] Nguyen, N.T., et al., Nat Commun, 11, 2736 (2020).

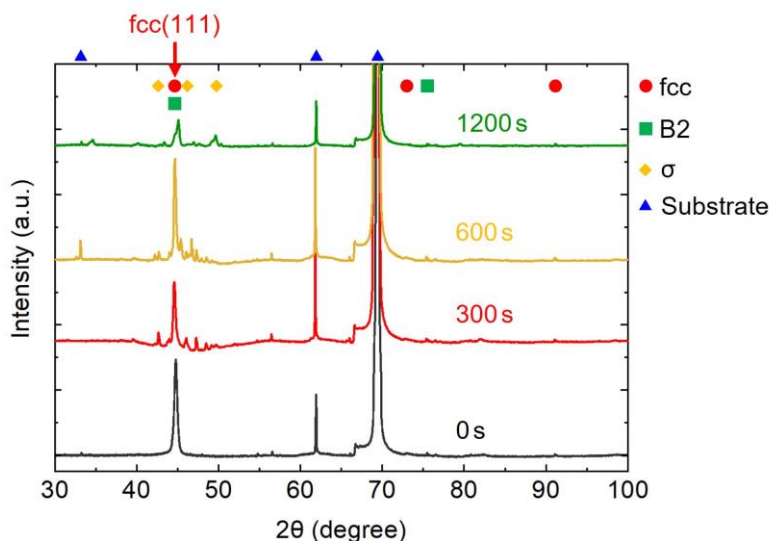


図1 成膜後試料と 800°C で各時間熱処理後試料の XRD パターン (Cu-K α)

ラジオリシスで生成する酸化剤が鉄の水溶液腐食に与える影響

太田智裕, 味戸沙耶, 北條智彦, 小山元道, 秋山英二
耐環境材料学研究部門

Effect of oxidants formed by radiolysis on aqueous corrosion of steel

T. Ota, S. Ajito, T. Hojo, M. Koyama, E. Akiyama
Environmentally Robust Materials

Keywords : steel, corrosion, radiolysis

【緒言】

福島第一原子力発電所の1から3号機の格納容器内には燃料デブリが堆積し、注入された冷却水による冠水環境にある。さらに格納容器内を不活性に維持するため窒素雰囲気下にある。これらの環境下において、燃料デブリから放出されるガンマ線の照射に起因した放射線分解によって生成する過酸化水素や窒素酸化物は、格納容器の腐食を促進する可能性がある¹⁾。長期的な廃炉作業において、格納容器の健全性を維持するためには、この特殊環境下での腐食挙動を把握することが重要である。

そこで本研究では、過酸化水素と同様に水や窒素の放射線分解により生成し酸化剤として働くオゾンと硝酸イオンを水溶液に添加し、ガンマ線の照射環境を模擬した。このように、特殊環境を模擬した水溶液中での鉄の腐食挙動を調査した。

【実験方法】

試料には鉄板(99.5wt%)、試験溶液は、pH5.5に調整した0.1 M 酢酸/酢酸ナトリウム緩衝溶液を用いた。またガンマ線照射環境を模擬するために、溶液にはオゾンジェネレータ(Soec V 350, 有限会社マルコー電器製)を用いて、あらかじめ20時間オゾン及び窒素酸化物を含む空気をバブリングして添加した。オゾンジェネレータの出力を0, 50, 80%に調整することで、オゾン及び窒素酸化物の添加量を変化させた。バブリング停止後、鉄の腐食試験を行った。腐食試験中は分極抵抗を測定した。参照電極には銀/塩化銀電極(SSE)、補助電極には白金線を用いた。分極抵抗測定では、電位範囲を腐食電位に対して±10 mV、走査速度を1 mV/sとした。分極抵抗は、比例定数kを20 mVとしてStern-Gearyの式を用いて腐食速度を換算した²⁾。

【結果】

Fig. 1 にバブリングした水溶液中の鉄の分極抵抗から算出した腐食速度の経時変化を示す。オゾンジェネレータの出力が増加するほど、鉄の腐食速度は増加した。すなわち、オゾン及び硝酸イオンが、鉄の腐食反応を促進することが分かった。

参考文献

1) K. Daub, X. Zhang, J.J. Noël, J.C. Wren, *Electrochimica Acta*, 55 (2010) 2767-2776

2) M. Stern, A. L. Geary, *J. Electrochem. Soc.*, 104 (1957), 56-63

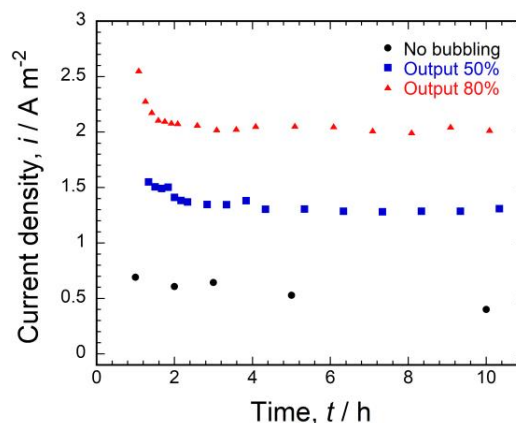


Fig. 1 Transient of the corrosion current density calculated from the polarization resistance as a function of output of the ozone generator.

Radiation tolerance of alumina scales formed in FeCrAl ODS ferritic steels

H. Yu, S. Kondo, Y. Okuno, R. Kasada
Nuclear Materials Engineering, IMR

Keywords: radiation tolerance, alumina scale, ODS

Alumina-forming FeCrAl oxide dispersion-strengthened (ODS) ferritic steels are one of key structural materials for fission and fusion reactors due to the formed alumina scale is capable to protect the materials from nuclear environment attack. Current work is aimed at investigating radiation tolerance of the alumina scales formed on Fe-15Cr-7Al-0.5Y₂O₃-0.4Zr (wt. %) ODS ferritic alloy by using Fe³⁺ ion simulation bombardment to 2 dpa at 500 °C. Nanoindentation testing demonstrated that the hardness of the alumina scale decreased after the Fe³⁺ ion irradiation. Alumina grain growth and softening in accordance with the Hall-Petch relationship are responsible for the hardness decrease. Irradiation-induced dissolution of the Y-Zr oxide particles in alumina grains as well as the irradiation-induced segregation of reactive elements along the alumina grain boundaries were observed. Preferential intergranular fracture of alumina scales formed in Fe ODS alloys was supposed to be used to interpret the fracture process in nanoindentation, which was accelerated by ion irradiation through the reduction of grain boundary cohesion. A detailed interpretation will be given in the presentation.

マイクロ引下げ法を用いた Ce 添加 Lu 置換 YAlO₃ 単結晶の育成と発光特性の Lu 濃度依存性

堀合毅彦, Jan Pejchal¹, Romana Kucerkova¹, Martin Nikl¹, 横田有為, 吉川彰
先端結晶工学研究部門, チェコ科学アカデミー物理学研究所¹

Crystal growth of Ce-doped Lu substituted YAlO₃ single crystals by micro-pulling-down method and dependence of luminescence characteristics on Lu concentration

T. Horai, J. Pejchal¹, R. Kucerkova¹, M. Nikl¹, Y. Yokota, A. Yoshikawa

Research laboratory on advanced crystal engineering, Institute of Physics, CAS¹

Keywords : single crystal, scintillator, thermal quenching

【緒言】 発光中心として Ce³⁺を添加した REAlO₃ (RE = Y, Lu)等のシンチレータ材料は、X 線やガンマ線といった高エネルギーフォトンに紫外・可視光等の低エネルギーフォトンに変換することができ、光電子増倍管等の光検出器と組み合わせることで放射線検出器として応用されている¹⁾。Ce:YAlO₃ (Ce:YAP) や Ce:LuAlO₃ (Ce:LuAP) は高温下でも比較的高い発光量を維持できることが報告されており、高温応用シンチレータとして有望な材料である。そこで本研究では、Ce:YAP の Y サイトへの Lu 置換を行い、結晶構造や光学特性および温度消光メカニズムへの Lu 置換量の影響を評価した。

【実験方法】 (Ce_{0.002}Y_{0.998-x}Lu_x)AlO₃ (x=0.000, 0.010, 0.100, 0.200)単結晶はマイクロ引下げ法を用いて育成を行った²⁾。原料粉末として CeO₂, Y₂O₃, α-Al₂O₃ (純度 99.99%以上)および Lu₂O₃(純度 99.9%以上)を使用し、化学量論組成で秤量した。坩堝には直径 φ3 mm の Ir 坩堝を使用し、種結晶として(010)方位の Ce:YAP 単結晶を用いて、窒素雰囲気下で 0.03 mm/min の速さで引き下げて育成を行った。

【結果と考察】 Lu 濃度 0-20 mol%の範囲において透明な単結晶の育成に成功した。育成した単結晶の結晶構造について粉末 X 線回折法によって評価した結果、結晶系および空間群はそれぞれ直方晶系および *Pbnm* と同定できた。Lu 置換による結晶構造への影響を明らかにするために、YAP 単結晶および Lu 20mol%置換 YAP (Lu20%-YAP) の詳細な結晶構造を評価した。発光中心として添加した Ce³⁺の発光に大きな影響を与える希土類イオン-酸素イオン間距離を評価したところ、YAP および Lu20%-YAP における平均結合距離はそれぞれ 2.404 Å と 2.398 Å であり、Lu 20 mol%置換によって平均結合距離はわずかに短くなった。また、Ce:YAP および Ce:Lu20%-YAP のフォトルミネッセンス発光スペクトルを比較すると、どちらの試料も Ce³⁺ 5d₁-²F_{5/2} および 5d₁-²F_{7/2} 遷移による発光ピークがそれぞれ 360 nm および 375 nm 近傍に確認できたが、Lu 置換によるスペクトル変化はみられなかった (図 1)。これは、Y³⁺ および Lu³⁺ のイオン半径が Y³⁺ (8 配位)=1.019 Å, Lu³⁺ (8 配位)=0.977 Å と同程度であり、Lu 置換による結晶場の強さに影響がほとんどなかったためと考えられる³⁾。発光の温度特性を評価した結果、Ce:YAP では約 550 K 以上で温度消光が起こり始めたが、Ce:Lu20%-YAP では約 600 K 以上で温度消光が起こり始めており、Lu 置換によって温度消光が抑制されることがわかった。

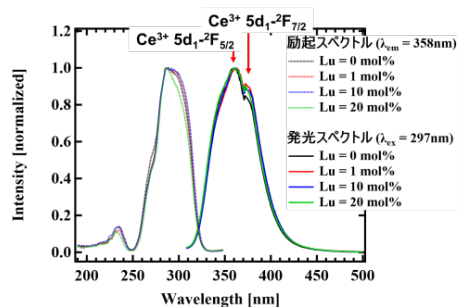


図 1 育成した Ce_{0.002}Y_{0.998-x}Lu_x)AlO₃ 単結晶の励起・発光スペクトル

2.404 Å と 2.398 Å であり、Lu 20 mol%置換によって平均結合距離はわずかに短くなった。また、Ce:YAP および Ce:Lu20%-YAP のフォトルミネッセンス発光スペクトルを比較すると、どちらの試料も Ce³⁺ 5d₁-²F_{5/2} および 5d₁-²F_{7/2} 遷移による発光ピークがそれぞれ 360 nm および 375 nm 近傍に確認できたが、Lu 置換によるスペクトル変化はみられなかった (図 1)。これは、Y³⁺ および Lu³⁺ のイオン半径が Y³⁺ (8 配位)=1.019 Å, Lu³⁺ (8 配位)=0.977 Å と同程度であり、Lu 置換による結晶場の強さに影響がほとんどなかったためと考えられる³⁾。発光の温度特性を評価した結果、Ce:YAP では約 550 K 以上で温度消光が起こり始めたが、Ce:Lu20%-YAP では約 600 K 以上で温度消光が起こり始めており、Lu 置換によって温度消光が抑制されることがわかった。

【参考文献】 1) J.A. Mares, et al., Detect. Assoc. Equip. 498 (2003) 312. 2) A. Yoshikawa, et al., Opt. Mater. 30 (2007) 6. 3) R.D. Shannon, Acta Cryst. A32 (1976) 751.

ホットスタンプ加熱時の亜鉛めっき鋼板における Fe / Zn 界面反応挙動

河合啓太, 宮本吾郎, 古原忠

金属組織制御学研究部門

Fe / Zn interfacial reaction on galvanized steel during hotstamping heating

K. Kawai, G. Miyamoto, T. Furuhashi

Microstructure Design of Structural Metallic Materials Institute for Materials Research

Keywords: hotstamping, galvanized steel

【緒言】高強度鋼の加工方法として、鋼板をオーステナイト域まで加熱したのち冷却したダイスにて成形とクエンチを同時に行うホットスタンプ(HS)がある。HSにはZnめっき鋼板がしばしば用いられ、Znによる液体金属脆化を引き起こすことが報告されているが、 γ 域焼鈍時において生じる基材とZnめっきの反応について調査された例は少ない。本研究ではZnめっきを施した純鉄、およびFe-0.2C合金について、850°Cへの加熱時のFe/Zn界面反応挙動を明らかにすることを目的とした。

【実験方法】フェライトである純鉄材とマルテンサイトであるFe-0.2mass%C合金(0.2C材)材に厚さ約20 μm の電気Znめっきを施した。その後850°Cの大気雰囲気炉に試料を挿入し、試料温度が650°C、700°C、750°C、800°Cに達した直後および850°Cに達してから約150s保持後水冷した。組織観察には光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡(SEM)を用い、組成分析にSEM-EDSを用いた。また相同定にはXRDおよびEBSDを用いた。

【結果】図1にめっきまま、650°C、700°C、750°C、800°C時点および850°C、150s保持後水冷した純鉄材のXRDプロファイルを示す。めっきままでは六方晶の η -Znのピークしか見られないが、650°C材で η と δ 、700°C、750°C、800°C材で η 、 δ 、 Γ 、850°C、150s材で η 、 δ 、 Γ 、および α -FeにZnが固溶した α -(Fe,Zn)のピークが見られる。図2に650°C、750°C、800°C加熱後水冷した純鉄材の断面組織を示す。すべての組織で左側が表面のZnめっき部、右側の最も暗いコントラストの部分が母材である。純Znの融点は419°Cであり、650°C材では一旦熔融したZnがその後の冷却時に凝固した η -Zn領域が表面側に観察され、その内側に柱状粒からなる δ 領域が明るいコントラストで見られる。 δ と母材の間にはやや暗いコントラストで厚さ2 μm 程度の Γ (Fe₃Zn₁₀)領域が観察される。750°Cでは母材界面から突起状に Γ 相が成長しており、その左側は η 相と明るいコントラストの δ 相の混在組織となっている。800°Cでは母材に接する部分に厚さ3 μm 程度の α -(Fe,Zn)が生成する。以上のFe/Zn界面での反応は概ねFe-Zn二元系状態図で説明可能であった。

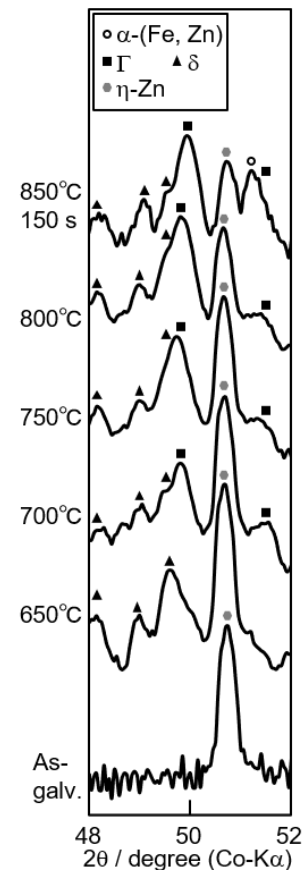


図1: めっきまま、650、700、750、800°Cまで加熱後および850°C、150s保持後水冷した純鉄材のXRDプロファイル

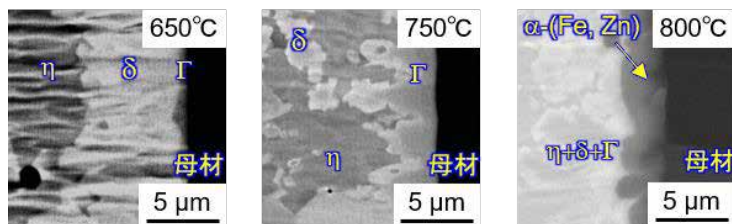


図2: 650、750、800°C時点で水冷した純鉄材の断面組織

CH法を用いたNd添加近赤外発光シンチレータの探索

石澤 倫¹, 黒澤 俊介^{1,2}, 山路 晃広^{1,2}, 藤原千隼¹, 吉川 彰^{1,2,3}

先端結晶光学部門¹, 東北大 NICHe², 株式会社 C&A³

Search for Nd-doped near-infrared-emitting scintillator using the CH method

S. Ishizawa¹, S. Kurosawa^{1,2}, A. Yamaji^{1,2}, C. Fujiwara¹, A. Yoshikawa^{1,2,3}

Advanced Crystal engineering¹, Tohoku Univ. NICHe², C & A³

Keywords : Scintillator, CH method, Nd doped Lu₂O₃

【背景】

福島第一原子力発電所の廃炉作業のために、比較的放射線耐性のあるシンチレータと光ファイバーを用いて線量を測定する遠隔線量計の概念が提案された[1]。遠隔線量計用シンチレータには、大きな有効原子番号と、その発光波長が光ファイバーで高い伝送効率を持つことが要求性能として挙げられる。また高線量場ではファイバー自身が無視できないチェレンコフ光やシンチレーション光といった深刻なノイズが500 nm以下に発生するので[2]、ノイズに対する信号の比を十分に得るためには、高い発光量や、ノイズ成分からの信号の分離と伝送効率の向上が見込まれる発光波長（赤色/近赤外発光: 700~1100 nm程度）を有する必要がある。近年では遠隔線量計に用いられる有望なシンチレータとして発光波長:700 nmのハロゲン化物シンチレータCs₂HfF₆[3]が開発された。しかしハロゲン化物材料は潮解性を有しているため実用時の経年劣化が課題で、その取り扱いが難しい。そこで我々は、潮解性が無く比較的大きな有効原子番号を持ちやすいHfやLuを含む酸化物シンチレータに着目した。ただし、これらの酸化物はその融点の高さから融液からの結晶育成が難しく、透明体結晶を用いた材料探索やその特性評価が進んでいない。本研究では、高融点酸化物の透明体結晶を短時間で育成できる近年開発されたコア・ヒーティング法(CH法)[4]を用いて、まず近赤外発光を示すNd添加Lu₂O₃(Nd:Lu₂O₃)透明体結晶の育成を試みた。

【実験方法】

Nd₂O₃とLu₂O₃の原料粉末を混合した粉末試料と圧粉して作製したペレットを焼結した焼結体、ならびにイリジウム(Ir)金属をアーク炉(GES-300A, GES Corp., Sendai, Japan)に設置した。そして電極から照射されるアークでIrを熱して間接的に粉末試料と焼結体を溶融するCH法を行った。育成された透明体は、X線回折装置D8 DISCOVER(Bruker)と高分解能薄膜構造解析用X線回折装置ATX-E(RIGAKU)を用いて、結晶構造の同定と結晶性の評価を行った。

【実験結果】CH法を用いて育成したNd:Lu₂O₃透明体の一部を鏡面研磨したところ、図1に示すような5.0×5.0×1.7mm³のNd:Lu₂O₃透明体を得ることができた。その透明体はLu₂O₃の単相で、ロッキングカーブの半値幅は130.8±0.9 arcsecであった。本講演では、これら同定した結晶構造や結晶性の評価の詳細に加え、Nd:Lu₂O₃のX線励起発光等の発光特性の結果についても報告する。

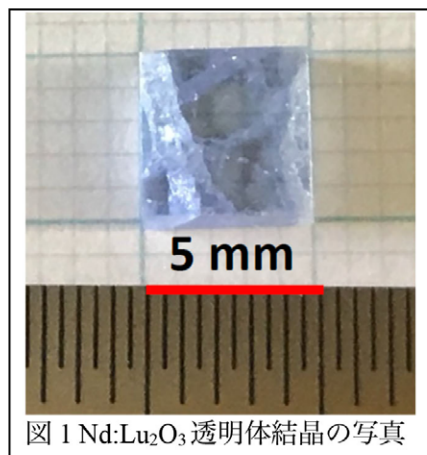


図1 Nd:Lu₂O₃透明体結晶の写真

参考文献 [1] C. Ito et al., ICONE22-31110, V006T13A021 (2014), [2] S. Kodama et al., TNS 67, 1055(2020), [3] S. Kodama et al., Appl. Phys. Express, 13 047002 (2020), [4] Y. Kurashima et al., Cryst. Growth Des. 21, 572, (2021).

Zr 基金属ガラス過冷却液体の結晶化挙動に及ぼすハイエントロピー化の影響

太田桂介、Jing Jiang、和田武、加藤秀実

非平衡物質工学研究部門

Influence of mixing entropy on crystallization kinetics in Zr-based metallic glasses

K. Ota, J. Jiang, T. Wada, H. Kato

Non-equilibrium materials research laboratory

Keywords : Metallic glasses, Mixing entropy, Crystallization kinetics

【緒言】金属ガラス（MG）は昇温過程でガラス遷移を示す非晶質合金であり、ガラス転移点から結晶化温度までの過冷却液体領域においてナノオーダーでの微細成形加工が可能であるというメリットを有する。しかし、過冷却液体は熱力学的に非平衡であるため、長時間の等温保持により結晶化が進行し非晶質としての特性が失われる。このため、過冷却液体の熱的安定性、特に結晶化への抵抗を高めることはMGの実用化に向けて重要である。そこで、本研究ではMGのハイエントロピー化に着目した。ハイエントロピー化は結晶合金で盛んに研究されている合金設計指針であり、混合エントロピーを意図的に高めることにより従来合金にない4つのコア効果（ハイエントロピー効果、緩慢な原子拡散効果、格子歪効果、カクテル効果）が発現することが報告されている。このような高い混合エントロピーの効果は非晶質合金であるMGでも発現すると考えられ、特に緩慢な原子拡散効果は過冷却液体の結晶化抵抗に寄与すると期待できる。そこで本研究では、既に開発されているZr基MGの構成元素を同族元素などで置換し熱的性質を比較することで、MGのハイエントロピー化が過冷却液体の結晶化挙動に与える影響について検討した。

【実験】 $(Zr_{1-x}Hf_x)_{65}Cu_{20}Al_{10}Ni_5$ ($x=0, 0.2, 0.8, 1$) 母合金をアーク溶製したのち、単ロール液体急冷法を用いて薄帯状非晶質試料を作製した。得られた各試料の過冷却液体領域での等温保持試験により結晶化の速度論解析および析出相の同定を行った。相の同定にはX線回折（XRD）、熱分析には示差走査熱分析（DSC）を用いた。

【結果】等温過程における結晶化の潜伏時間より算出した活性化エネルギー及び速度論解析によるアブラミ指数の平均値のHf量依存性を図1に示す。図は混合エントロピー ΔS_{mix} の増加に伴いアブラミ指数が減少する一方で活性化エネルギーが増大する傾向を示している。アブラミ指数の減少は核生成頻度の減少に起因するものとみられ、過冷却液体の結晶化過程のうち核生成はハイエントロピー化により抑制された可能性が考えられる。

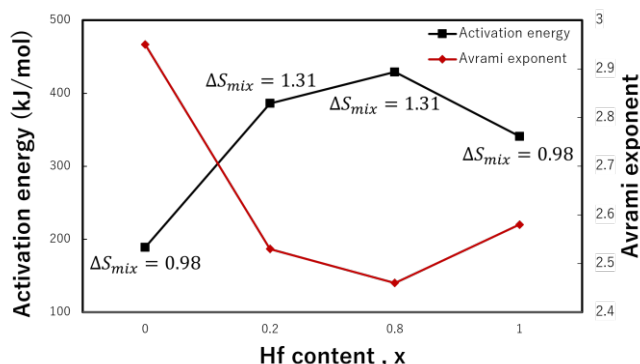


図1 等温過程における核生成の活性化エネルギーおよびアブラミ指数のHf量依存性

Bonding strength evaluation of tungsten coated ferritic steel using ultra-small double notch shear compression test

X. WU^{1,2}, S. Kondo², H. YU², Y. Okuno², H. Kurotaki³, M. Ando³, R. Kasada²
 Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.¹, IMR², QST³

Keywords: Ultra-small testing technology, interface bonding strength, dissimilar joint

The evaluation of the interface bonding strength is of great significance for assuring the feasibility of material designs of dissimilar bonding structures in various devices including fusion power plants. Particularly, the tungsten (W) coated reduced activation ferritic steel (F82H) shows promise in the plasma-facing component of fusion reactor requiring a good interface bonding strength to resist thermal load during service. However, due to the limited scale of coating layer and bonding interface area, conventional micromechanical testing methods have difficulties to evaluate the interface bonding strength, while, the newly developed micromechanical testing techniques show promise in the accurate assessment of such local bonding strength.

In this study, we aim to use the developed ultra-small double notch shear compression test to directly evaluate the bonding strength of W-coated F82H which was fabricated using the explosive welding (EXW) technique and vacuum plasma spraying (VPS) technique. The Focused-ion beam (FIB) was utilized to fabricate micro double-notch shear specimen and the compressive shear test was carried out by nanoindenter G200. To comparably analyze the shear strength result of the interface area, DNS compression tests were not only performed on the interface area but also W coating and F82H substrate. For the EXW W-F82H, the compressive shear result showed a relatively higher strength at the interface area than in the W coating for a specimen with a cross-sectional area of $\sim 1 \mu\text{m}^2$, which probably identified the shear strength of the interface region. The larger-sized interface specimens were fractured in the W region and showed a similar strength trend as the DNS specimen at the W coating layer, suggesting that the interface bonding shear strength was larger than that of the W region. While the shear strength results of EXW W coating showed a size dependence as “small is stronger”. For the VPS W-F82H, we found that the shear strength results of interface area and W coating are scattered and not that strong as that of EXW W coating and interface. All their strength results of W and interface area are larger than the measured shear strength of F82H substrate. The relationship between the strength results and the microstructures or/and fracture surface appearance will be discussed.

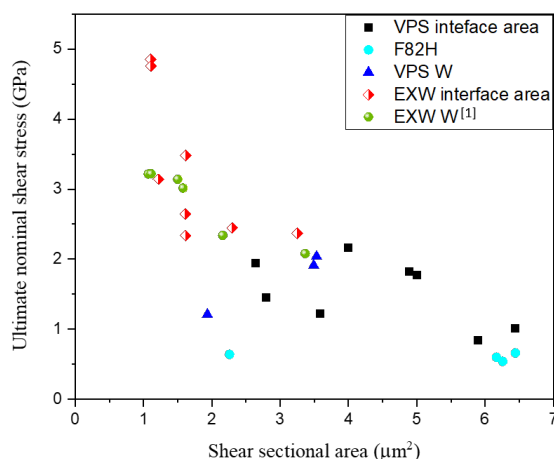


Fig. 1. Ultimate nominal shear stress versus shear sectional area

[1] X. Wu, R. Kasada et al. Materials Science and Engineering: A 826 (2021): 141995.

High Flux Neutron Detector Based on Perovskite Solar Cell

Y. Okuno, Y. Matsui¹, T. Kobayashi²
KINKEN, Panasonic¹, RIKEN²

Keywords : perovskite solar cell, neutron detector, BNCT

Neutrons are employed for various applications in various research fields, such as neutron radiography for light element compound and large structures, and in medical applications such as radiation biology and boron neutron capture therapy (BNCT). A neutron detector is required to control the exposure dose for boron neutron capture therapy (BNCT). However, issues such as detector radiation tolerance, response linearity, and gamma-ray noise make it difficult to develop a satisfactory neutron detector. Metal halide perovskite solar cells have received attention owing to rapid improvements in their performance. Perovskite crystals are reported to have radiation detection characteristics for γ -rays and neutrons and exhibit superior radiation resistance. Previous studies reported the application of Si and III –V compound semiconductor solar cells to internal potential-driven detectors wherein the radiation-induced current depended on the radiation dose rate. Therefore, we selected a perovskite solar cell as the neutron sensor for BNCT because it is expected to be highly efficient and stable under a harsh radiation field. In this study, we demonstrate the world's first perovskite solar cell-based neutron detector, which can satisfy all the requirements for BNCT application.

The device structure of our perovskite neutron detector is similar to that of a high-performance solar cell as shown in Fig. 1(a). A BN layer, which acted as a neutron conversion layer, was formed on the back electrode of the device. ^{10}B captured neutron in the BN layer emits α -ray and a lithium nuclei. We employed a backside conversion configuration (BSCC) device to detect neutrons, namely, neutrons passing through the perovskite device layer and the substrate are converted into charged particles by a conversion layer, as shown in Fig. 1(b). The detection characteristics for high-flux neutrons exhibited excellent linearity shown in Fig.1(c) and stable operation with no degradation during neutron irradiation. Noise by γ -rays had little effect on the accuracy of neutron flux measurement. The measurement requires only a single perovskite detector in the module and an ammeter. Thus, the perovskite module serves as a suitable monitoring sensor that can manage the neutron flux for BNCT.

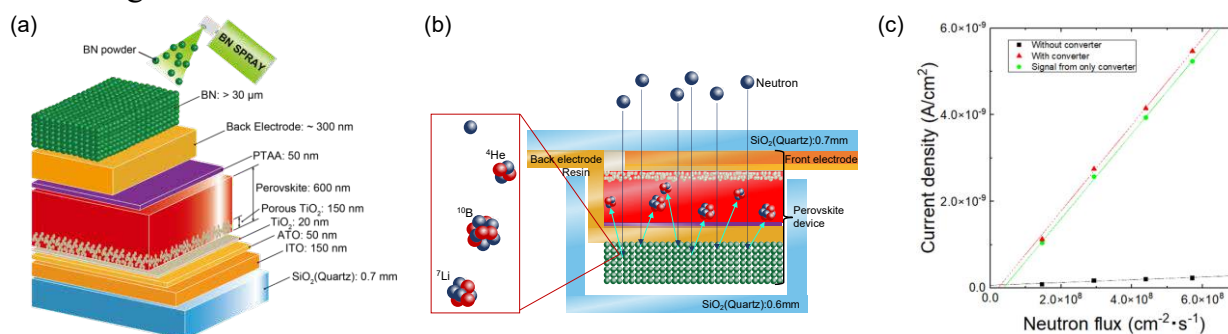


Fig.1. Characteristics of perovskite solar cell-based neutron detector. (a) Device structure of perovskite solar cell-based neutron detection module. (b) Schematic of encapsulated perovskite neutron detector for neutron irradiation. (c) Induced current behaviour of modules with and without the BN converter and characteristics of the neutron detection of perovskite detector.

水晶を用いた二層構造振動子の貼り合わせ境界で生じる 反射波の影響に関する検討

野口太生¹, 大橋雄二², 面政也³, 横田有為¹, 黒澤俊介², 鎌田圭²,
佐藤浩樹², 豊田智史², 山路晃広², 吉野将生¹, 花田貴¹, 吉川彰^{1,2}
電子材料物性学研究部門¹, 東北大NICHe², XMAT³

Consideration on the influence of the reflected waves generated at the bonding boundary of the double-layered resonator using α -quartz

T. Noguchi¹, Y. Ohashi², M. Omote³, Y. Yokota¹, S. Kurosawa², K. Kamada²,
H. Sato², S. Toyoda², A. Yamaji², M. Yoshino¹, T. Hanada¹, A. Yoshikawa^{1,2}
Physics of Electronic Materials¹, NICHe Tohoku Univ.², XMAT³

Keywords : Resonator, Reflected waves, Temperature characteristic

【緒言】貼り合わせ振動子は、共振周波数温度特性の異なる2つの基板を直接接合することで互いの特性を補償し、広い温度範囲で共振周波数変動を非常に小さくすることができる。筆者らは本振動子を半導体の製造に欠かせない原子層堆積法などにおける成膜モニタ用センサとしての応用研究を進めている。これまでランガサイト型圧電単結晶を貼り合わせた振動子で検討を進めてきた。その振動子設計においては次式のような関係式を用いて温度特性の予測を行ってきた[1]。

$$df_{DL} = df_{\#1} \cdot x + df_{\#2} \cdot (1 - x) \quad (1)$$

$$df_{DL} = df_{\#1} \cdot R_{D1} + df_{\#2} \cdot (1 - R_{D1}) \quad (2)$$

ここで、 x は厚さ比、 R_{D1} は電束密度比である。音響的性質の異なる境界では必然的に反射波が生じるが、上記ランガサイト型結晶の場合、音響インピーダンス差が小さく、境界での反射波がほとんど生じなかったため、反射波の影響についてはまだ十分には分かっていない。本報告では、音響的異方性の大きい水晶を用いて貼り合わせ振動子内部の境界で生じる反射波が共振特性に及ぼす影響を検討する。

【実験方法】基板材料として水晶を取り上げ、正の温度特性の $0^\circ Y$ カット基板と負の温度特性の $129.55^\circ Y$ カット基板を、 $100^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ で共振周波数変動が最小となるような厚さ比 x を計算により求めて貼り合わせ試料を作製し($x=0.520$)、インピーダンスアナライザ(HP4294A)を用いて同温度範囲で共振周波数を測定した。

【結果】図1に共振波形、図2に共振周波数温度特性の結果を示す。図1から、試料の共振波形は単層のものに比べて小さく、鈍ってしまうこと、図2から上記の予測式では試料の温度特性を表現しきれず、予測値よりも $129.55^\circ Y$ 側にずれることが分かった。前者の原因として、境界で反射が起こると透過波が減衰することから、共振時の相対振幅が小さくなることと対応することを示唆した。また後者の原因として、振動子内を往復する波と境界で反射する波の位相整合条件から低音響インピーダンス基板内($129.55^\circ Y$)で同位相、他方は逆位相となることで、 $129.55^\circ Y$ 側の特性がより強く反映されること示唆した。

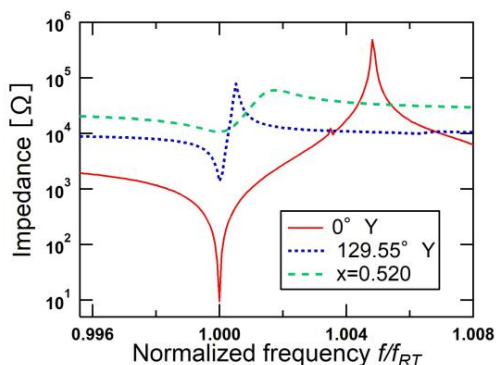


図1 試料及び単層振動子の共振波形。

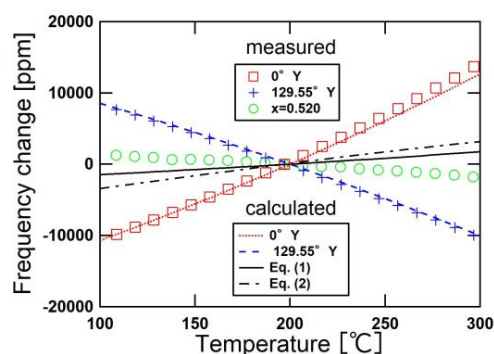


図2 試料及び単層振動子の共振周波数温度特性の計算値と実験値。

[1] Y. Ohashi, Y. Owada, A. Yoshikawa, et al., IEEE Trans. UFFC (2021) (accepted)

広域 X 線吸収端微細構造解析による

チタン中に添加された 4d 遷移金属周りの局所的原子変位の観測

池田陽一¹, 松村大樹², 辻卓也², 梅本好日古¹, 橋本勇輝¹, 北澤崇文¹, 藤田全基¹
 金属材料研究所量子ビーム金属物理学部門¹, 日本原子力研究開発機構²

Local atomic displacement around 4d transition-metal atoms in titanium revealed by extended X-ray absorption near edge fine structure analysis

Y. Ikeda¹, D. Matsumura², T. Tsuji², Y. Umamoto¹, Y. Hashimoto¹, T. Kitazawa¹, M. Fujita¹
 Institute for Materials Research, Tohoku Univ.¹, JAEA²

Keywords : local structure, titanium alloy, EXAFS

金属材料中の局所的なひずみは、マルテンサイト変態などの構造変態と密接な関係があり、内因的に様々な材料特性に影響を与える。そのため局所変位の大きさを実験的に評価し、物性への影響を解明することは、金属材料特性の効果的で効率的な制御方法の確立に必要である。しかしながら、合金中に添加された不純物元素周りの局所ひずみは、非周期的な微小変位となるため、通常の回折法による観測は原理的に難しい。そこで元素選択的に局所状態を得ることができる広域 X 線吸収端微細構造解析 (EXAFS) による観測を試みている。

今回は、六方晶チタン中に添加した 4d 遷移金属不純物周りの局所変位の大きさと、その元素依存性を明らかにするために、EXAFS 解析法による直接観測を行った。これに関連し、近年、第一原理計算により[1]、チタン中に添加された不純物元素周りの局所変位の元素依存性が明らかにされた。森永による計算によると、六方晶チタンに対してイットリウム Y 等を添加した場合は *a* 軸、*c* 軸共に伸長し、その一方で、モリブデン Mo 等を添加した場合は、添加元素周りで両軸共に収縮すると言われている。今回の測定結果は、第一原理計算の結果を半定量的に再現し、EXAFS は局所構造観測に有効であることが示された。

Results : atom dependence of EXAFS & its Fourier spectrum

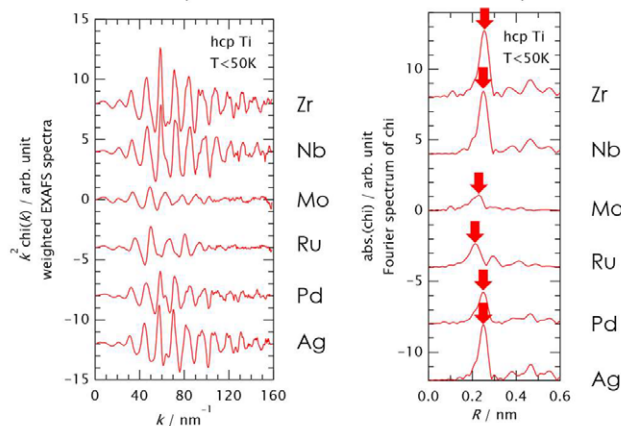


Fig. 1 Atom dependence of EXAFS and its Fourier spectrum in Ti alloys.

[1] M. Morinaga, "A quantum approach to alloy design: an exploration of material design and development based upon alloy design theory and atomization energy method", Elsevier (2018), and references therein.

らせん磁性体 MnAu₂ 薄膜における 室温でのヘリシティーの電流制御

増田英俊¹, 関剛斎^{1,2}, 新居陽一^{1,3}, 増田啓人¹, 高梨弘毅^{1,2,4}, 小野瀬佳文¹
東北大金研¹, 東北大 CSRN², JST さきがけ³, 東北大 CSIS⁴

Electric current control of spin helicity in the room-temperature spiral magnet MnAu₂ thin film

H. Masuda¹, T. Seki^{1,2}, Y. Nii^{1,3}, H. Masuda¹, K. Takanashi^{1,2,4}, Y. Onose¹
IMR, Tohoku Univ.¹, CSRN, Tohoku Univ.², JST PRESTO³, CSIS, Tohoku Univ.⁴

Keywords : スピントロニクス, らせん磁性

らせん磁気構造は伝搬ベクトルに沿って局在スピンの向きがなめらかに変化する磁気構造である。最近らせん磁性金属において図 1 のように、らせんの巻き方の自由度(ヘリシティー)を電流と磁場によって制御できることが明らかにされた[1]。高密度電流のもとではスピン移動トルクによってらせん磁気構造がコーン状に変形し、ヘリシティーと電流方向に応じた磁化が生じる。これと外部磁場の結合により、電流と磁場が平行か反平行かによってヘリシティーを制御することができる。本研究ではこの現象を室温へと拡張することを目指し、らせん転移温度~360K のらせん磁性体 MnAu₂ に着目して研究を行なった。

MnAu₂ 単結晶薄膜をスパッタリングによって作製した。図 2(a)に示すように、300K では $H_c \sim 1.5\text{T}$ でらせん磁性相から強制強磁性(常磁性)相への転移が観測された。そこで、直流電流 j_{pol} のもとで磁場を $H_{pol} > H_c$ から 0T へと掃引するポーリング操作によって、らせん磁気構造のヘリシティーを制御することを試みた。ヘリシティーの検出は空間反転対称性の破れに敏感なプローブである電流非相反性により行なった。図 2(b)のように H_c 以下のらせん磁性相において非相反抵抗が観測された。この結果はらせん磁気秩序に伴う空間反転対称性の破れを反映している。さらに j_{pol} と H_{pol} の符号反転によって非相反抵抗率の符号が反転する。これは j_{pol} と H_{pol} が平行か反平行かによってらせん磁気構造のヘリシティーが制御されていることを示す。当日は磁場掃引を含まないスイッチングによるヘリシティー制御についても報告する。

[1] N. Jiang et al., Nat. Commun. 2020.

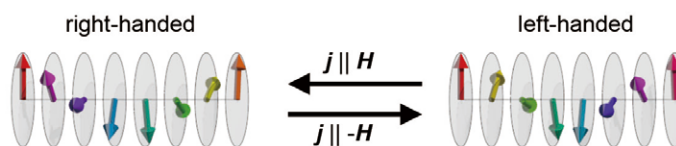


図1 電流 j と磁場 H によるヘリシティー制御

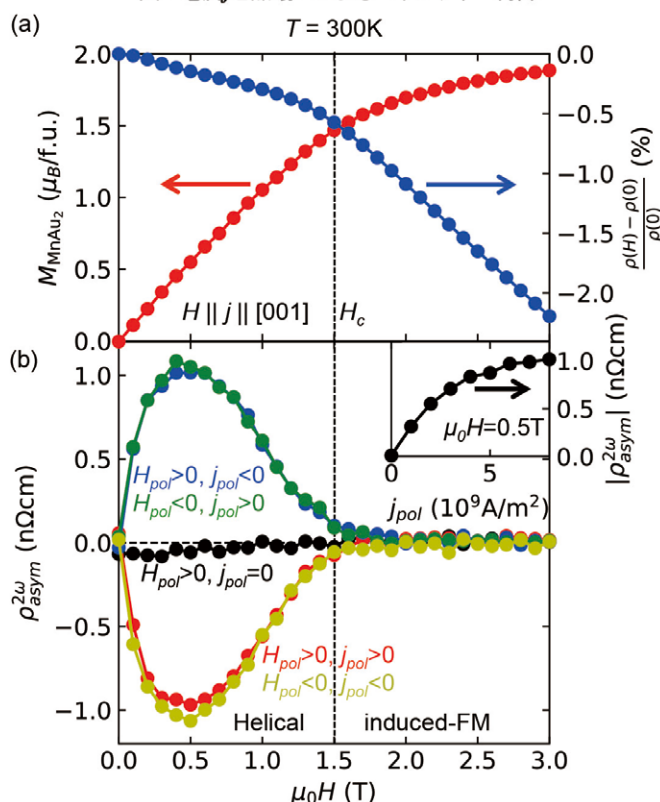


図2 (a)磁化、抵抗率、(b)非相反抵抗率の磁場依存性。

α'' -(BEDT-TTF)₂Rb_{1.2}Co(SCN)₄ の圧力下での磁性

小林広樹, 井口敏, 佐々木孝彦
低温電子物性学部門,

Magnetism of α'' -(BEDT-TTF)₂Rb_{1.2}Co(SCN)₄ under pressure

H. Kobayashi, S. Iguchi, T. Sasaki

Low Temperature Condensed State Physics Division

Keywords : Magnetism, Organic, Pressure

α'' -(BEDT-TTF)₂Rb_{1.2}Co(SCN)₄ (図 1. (a), (b))は有機強相関電子系であり、下の電子相図(図 1. (c))に示すように常圧では温度の低下とともに金属-電荷秩序絶縁体転移を起こし 40 K で磁気転移を示す(図 1. (d))[1]。圧力下ではトランスファーの増大のために金属状態が安定化することが一般的には多いが、この物質では半導体相をとる。この半導体状態での電子フィリングは +0.4 という半端な数であるため、強相関の絶縁体、つまりモット絶縁体であることが予想される。しかし、結晶構造と分子間トランスファーからはダイマーを形成するとは考えにくく、通常のダイマー型ではないモット絶縁体という特徴的な性質をもつ物質である可能性がある。このように α'' -(BEDT-TTF)₂Rb_{1.2}Co(SCN)₄ の半導体相では電子がどのように共有されてモット絶縁体になるのか、そもそもモット絶縁体であるのかなど未解明なことが多く、非常に面白い物質である。

これまでの圧力下での研究では主に抵抗測定や光学測定が調べられており、磁性については調査されていない。半導体相がモット絶縁体である場合、局在化した電子の磁性はキュリー常磁性が予想される。そこで、小型圧力セルによって圧力下の磁化測定を行うことで半導体相の磁性を解明できると考えた。その方法として、2 つの実験を考えている。①常温で圧力をかけることで金属相から半導体相への磁性の変化をとらえること、②大気圧下で 40 K あたりにみられる磁気転移の圧力依存性を調べること、である。現在、②の実験を行っており、低温圧力下で磁気転移を観測できれば、高温半導体相でも磁性が存在する裏付けになると考えている。

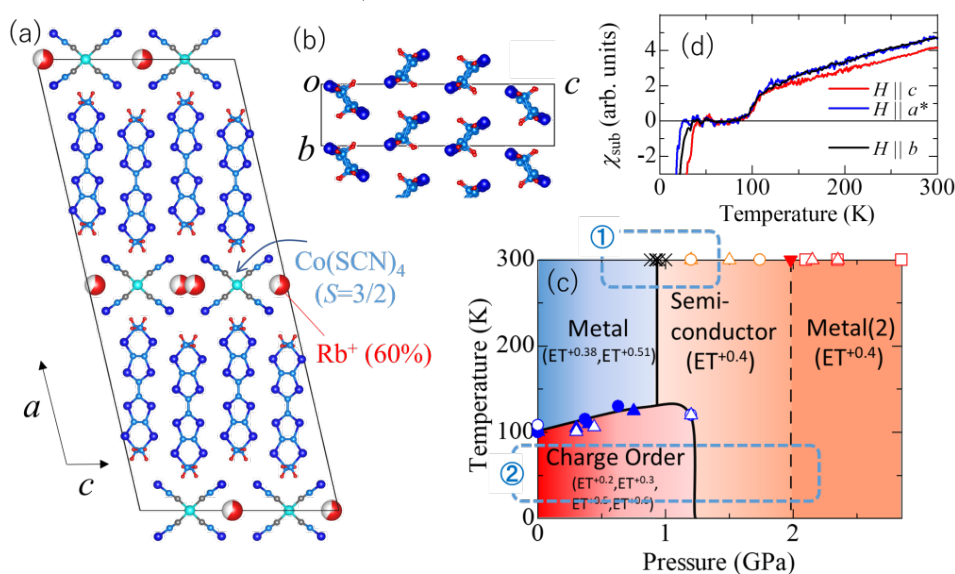


図 1. (a)結晶構造、(b)伝導面内分子配列、(c)圧力-温度電子相図、(d) π 電子磁化

[1] S. Iguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 074701 (2021).

ガス吸着により制御される水車型[Ru₂]-TCNQ 系二次元層状磁性体の 電荷の揺らぎと磁気相転換

樋渡 淑恵, 張 俊, 高坂 亘, 宮坂 等
錯体物性研究部門

Charge fluctuation controlled by Gas-sorption accompanied with magnetic phase switching in a two-dimensional layer of paddlewheel [Ru₂] units and TCNQ

Y. Hiwatashi, Zhang Jun, W. Kosaka, H. Miyasaka
Division of Solid State Metal-Complex Chemistry

Keywords : Metal-Organic Framework, Charge fluctuation, Gas adsorption

電子供与体 (D) と受容体 (A) で構成される電荷移動型金属有機複合骨格 (D/A-MOF) は様々な応用の可能性を秘めた分子性の多孔性材料であり, 近年注目を集めている. MOFの持つ高い結晶性は細孔に均一性をもたらし, その構造柔軟性や電子状態の可変性と相まって, ゲスト吸着と同期した相転移の発現に大きな役割を果たす. 一方でMOF内部においては有機配位子の一部が可動となり, 静的・動的なディスオーダーを伴う局所的な不均一性が発現する. しかし, このような不均一性が物性にもたらす影響については明らかにされていない. 本研究では, 構造の静的ディスオーダーを持つ二次元層状磁石 $\{[\text{Ru}_2(\text{oClPhCO}_2)_4]_2 [\text{TCNQ}(\text{OMe})_2]\}$ (**1**, $\text{oClPhCO}_2^- = \text{ortho-chlorobenzoate}$) [1] が, ガス吸着による構造揺らぎの変化を通じて, 電子状態や物性にどのような変化を及ぼすのか検討を行った.

化合物 **1** は単結晶構造解析の結果, 架橋安息香酸のオルト位の Cl 原子のディスオーダーが消失することで CO₂ の吸着サイトとなる細孔が生じ, CO₂ 吸着相 (**1**→CO₂) を与えることが明らかとなった (図 1a, b). 分子ユニットの結合長からは, **1**, **1**→CO₂ のどちらも[Ru₂]から TCNQ へ 1 電子移動した状態 (1e-I)であることが示唆された. 1e-I 状態では TCNQ 上に不対スピン ($S = 1/2$) が生じるため, 長距離磁気秩序の発現が期待される. 実際に磁気測定の結果, ドライ相は 66 K で磁気相転移を示したが, その相転移温度 (T_c) は CO₂ 吸着により 100 K へと大幅に増加した (図 1c). IR 測定の結果, CO₂ 吸着下にて反磁性の TCNQ(OMe)²⁻種の減少を伴うようなスペクトル変化が見られ (図 1d), そのために T_c の増加が起こったことが示唆された. この事実は逆に, ドライ相の電子状態が正確な 1e-I 状態ではなく, 少し還元が進んだ状態 ((1+ δ)e-I 状態) であったことを示唆している. すなわち本系ではドライ相に存在する構造の揺らぎと連動した電荷の揺らぎが, ガス吸着により抑制されたため T_c の大幅な増加が実現したと考えられる.

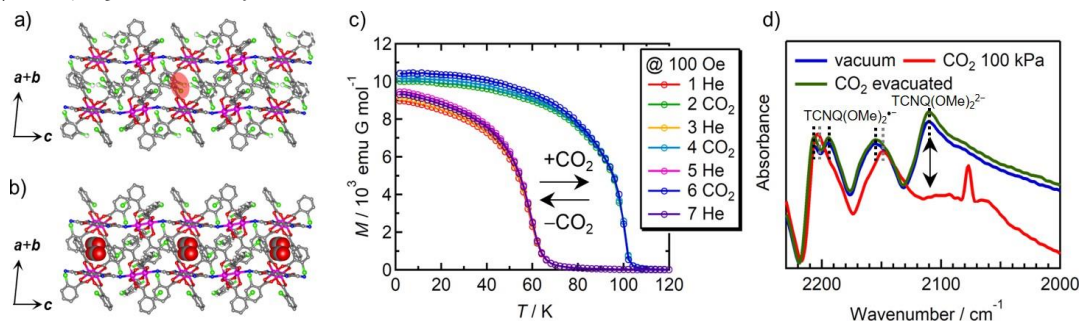


図 1 **1** (a) および **1**→CO₂ (b) のパッキング構造. (c) 外部磁場 100 Oe 下での **1** (He) 及び **1**→CO₂ の磁場中冷却磁化曲線. (d) 真空下 (青), 90 kPa の CO₂ (赤), 及び CO₂ 脱気後 (緑) での IR スペクトル (200 K).

[1] N. Motokawa *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 11943–11951.

ランダムネスを制御した有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の赤外顕微分光

佐藤直道, 桐野友輝, 井口敏, 古川哲也, 杉浦栞理, 米山直樹¹, 池本夕佳²,
森脇太郎², 佐々木孝彦
低温電子物性学研究部門, 山梨大工¹, SPring-8/JASRI²

Infrared spectroscopy of a randomness-controlled organic superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br

N. Sato, Y. Kirino, S. Iguchi, T. Furukawa, S. Sugiura, N. Yoneyama¹, Y. Ikemoto²,
T. Moriwaki², and T. Sasaki
Low Temp. Cond. State Phys., Yamanashi Univ.¹, SPring-8/JASRI²

Keywords : 分子性有機超伝導体, ランダムネス, 赤外分光

強相関電子系への乱れの影響は、古くから理論的な検討がなされている。近年、分子性物質へエックス線を照射して分子欠陥を生成することにより、電子系に乱れを導入する研究が進んできた。この方法の利点は、試料に導入する乱れの大きさをエックス線の照射時間によってコントロールできることである。直流電気抵抗測定の結果から、有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br にエックス線を照射すると、超伝導が抑制され、乱れによるアンダーソン絶縁体化が起こることが明らかとなっている[1]。

我々のグループでは、照射による微視的な変化を探るために赤外反射スペクトル測定を行っているが、一つの試料に連続的にエックス線照射時間が異なる領域を作り、各領域に対して赤外反射スペクトルのマッピング測定を行うという手法を用いている。この手法の利点は、試料依存性が排除できることと、細かい照射時間間隔で連続的な測定が行えることである。今回は、この傾斜エックス線照射の手法を用いて、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の赤外反射マッピング測定を行った。測定により得られた反射スペクトル、あるいは光学伝導度スペクトルから、0.1eV 以下で顕著な電子状態の変化が観測された。観測されたスペクトルを Drude-Lorentz モデルでフィッティングすることにより (図 1)、照射による金属的ドルーデ応答から絶縁体的なスペクトルへの連続的な変化を、定量的に議論することを試みる。

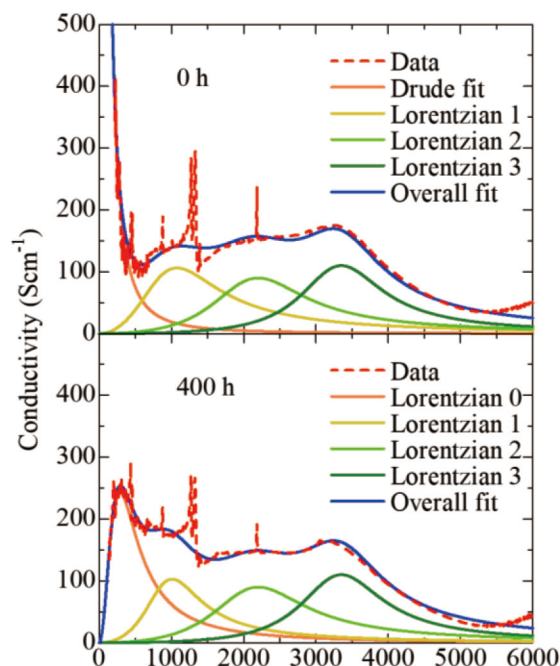


図 1 : κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br の光学伝導度の Drude-Lorentz フィッティング ($T = 5$ K, $E \parallel c$, irradiation time $t = 0$ h, 400 h)

[1] K. Sano *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 217003 (2010).

量子ビームによる T*型構造銅酸化物

La_{1-x/2}Eu_{1-x/2}Sr_xCuO_{4-y}F_y の F 置換効果の研究高濱元史^{1,2}, 谷口貴紀², 渡邊功雄³, 幸田章宏⁴, 藤田全基²東北大院理¹, 量子ビーム金属物理学部門², 理化学研究所仁科加速器研究センター³,
高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所⁴

Study of the F doping effect on T*-type cuprates

La_{1-x/2}Eu_{1-x/2}Sr_xCuO_{4-y}F_y via quantum beam.M. Takahama^{1,2}, T. Taniguchi², I. Watanabe³, A. Koda⁴, and M. Fujita²Grad. Sch. Of Sci., Tohoku Univ.¹, Quantum beam materials physics division²,
Meson Science laboratory RNC. RIKEN³, IMSS. KEK⁴Keywords : 銅酸化物超伝導体, μ SR

近年、銅酸化物超伝導体では、銅イオンの周りの酸素が超伝導に及ぼす影響が注目されている。従来、銅酸化物はモット絶縁体にキャリアをドーピングしていくと超伝導を発現すると理解されていた。しかし、近年、銅イオンが平面 4 配位である T'構造銅酸化物において、希土類置換によるキャリアドーピングを行わずとも適切に還元アニールを施した試料等で超伝導が発現することが報告され[1]、結晶構造の違いにより様々な基底状態を取り得ると注目を集めている。銅イオン周りの酸素がピラミッド構造を有する 5 配位の T*構造銅酸化物では、試料作製が困難であり系統的にキャリア量を変化させた研究は行われていなかった。そこで、我々は T*構造を有する La_{1-x/2}Eu_{1-x/2}Sr_xCuO₄(0.14 ≤ x ≤ 0.28)において、磁性と超伝導特性を調べてきた。この組成範囲ではアニール処理を施す前の(as-sintered)試料ではおよそ 10K 以下でスピングラス転移を示し、アニールした後の(annealed)試料では超伝導転移を示す。しかし、単相の結晶構造を保ったまま置換できる Sr 量には限界があり、低キャリア濃度の物性は調べられていなかった[2]。そこで、今回、O²⁻を F で置換した La_{1-x/2}Eu_{1-x/2}Sr_xCuO_{4-y}F_y (LESCOF)を作製した。LESCOF の as-sintered 試料に対してミュオンスピン緩和測定(μ SR)を行った。x=0.24, y=0.03 と x=0.24, y=0.10 の μ SR 時間スペクトルを示す。磁気秩序の形成を意味する指数関数型スペクトルが y=0.03 の試料では 20K 以下で観測され、y=0.10 の試料では 100K 以下から観測された。これは F 置換により磁気秩序が安定化することを示しており、T*構造銅酸化物の希薄ドーピング領域に磁気秩序相が存在することを示唆している。また、annealed 試料において磁化測定の結果、仕込み量から見積もられるホール濃度(p=x-y)において上記の p~0 の低キャリア濃度でも超伝導転移を示すことが明らかになった。アニールにより質量も増加するので、酸素欠損補填が超伝導形成には不可欠であり、低キャリア濃度においても超伝導性は失われないことが分かった。

本講演では μ SR 測定と磁化測定の結果を元に XAS の結果も合わせて、T*型構造銅酸化物の低キャリア濃度領域の物性について議論する。

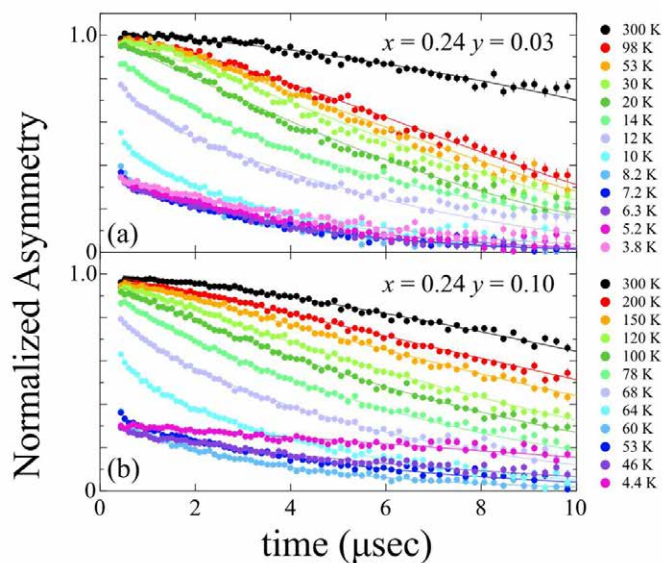


図 1 La_{1-x/2}Eu_{1-x/2}Sr_xCuO_{4-y}F_y (a)x=0.24 y=0.03 と (b)x=0.24 y=0.10 の μ SR 時間スペクトル。

[1] O. Matsumoto *et al.*, *Physica C*, **469**, 924 (2009) [2] S. Asano *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88**, 084709 (2020)

マンガンおよびモリブデン量が鉄マンガン基恒弾性合金の低温弾性率に与える影響

梅本 好日古¹, 池田 陽一¹, 林 智紀^{2,3}, 市坪 哲³, 藤田 全基¹

東北大院理, 量子ビーム金属物理学部門¹, 東北大院工², 構造制御機能材料学研究部門³

Effect of Manganese and Molybdenum Amount on the Low-Temperature Elastic Modulus of FeMn-based Elinvar Alloys

Yoshihiko Umemoto¹, Yoichi Ikeda¹, Tomoki Hayashi^{2,3}, Tetsu Ichitubo³, and Masaki Fujita¹
Grad. Sch. of Sci., Tohoku Univ.¹, Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ.², Structure-Controlled Functional Materials³

Keywords : Elinvar, FeMn-based alloy, Electromagnetic acoustic resonance method

Fe₇₂Mn₂₅二元合金の鉄を3 wt%のモリブデンで置換することにより, 353~375 Kの温度範囲でヤング率の温度係数が $-2.3 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ となる優れた恒弾性を示す[1]. 我々は, 鉄マンガン基合金の弾性特性に対するモリブデン置換効果を明らかにするために, MHz帯域の超音波を利用した電磁超音波共鳴(EMAR)法による多結晶弾性率の測定を行ってきた. 第140回金属材料研究所講演会で報告したように[2], 恒弾性組成のFe₇₂Mn₂₅Mo₃合金では, 300 Kから4 Kにかけて, 弾性率が2~3%程度増加するものの, 非恒弾性組成のFe₆₄Mn₃₀Mo₆合金と比べて変化量は明らかに小さく, 弾性率の温度変化が抑制されていることがわかっている. これらの結果を踏まえ, 我々は弾性率の温度変化に対する元素置換効果を明らかにするために, Fe_{75-(x+y)}Mn_xMo_y (20 < x < 30, 0 < y < 6) 試料に対するEMAR測定を進めている.

試料はアーク溶解法により作製し, 弾性率(共鳴周波数)の温度依存性を調べた. 図1に共鳴周波数の温度変化のモリブデン置換量依存性を示す. 室温付近では置換量によらず下に凸状の温度変化を示し, 弾性率の温度変化が抑制されていることが明らかとなった. モリブデン置換量0, 1.5 wt%では50 K以下に明瞭なソフト化がある一方で, 置換量3, 6 wt%では明確なソフト化異常は見られなかった. 低温ソフト化異常を示す合金(0, 1.5 wt%)では, 室温以上で面心立方晶の母相から六方晶のマルテンサイト相に変態するものの, その変態は部分的で, 母相は低温で残存することがこれまでの研究によりわかっている[3]. すなわち, 低温ソフト化異常は, 構造的に不安定なまま凍結された合金中に残存する母相により生じているのではないかと考えている. 講演では実験結果の詳細を示し, マンガン量およびモリブデン量と低温での弾性率のふるまいとの関係を議論する.

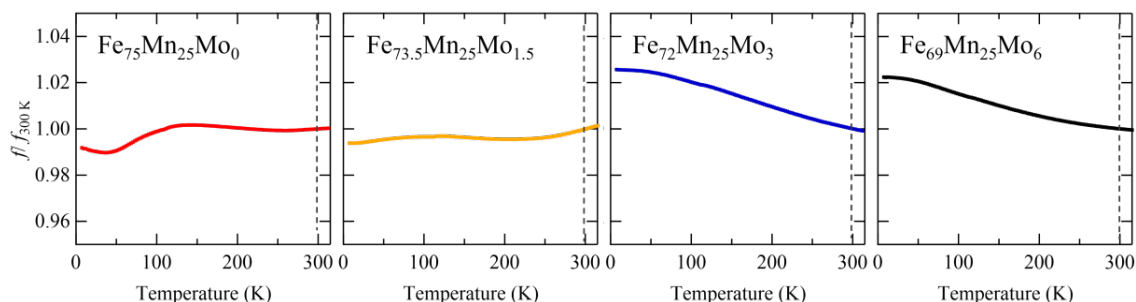


図1 300 Kで規格化した共鳴周波数の温度変化のモリブデン置換量依存性

[1] T. Masumoto *et al.*, *Mater. Trans.* **58**, 701 (2017), [2] Y. Umemoto *et al.*, 第140回金属材料研究所講演会ポスター発表, [3] Y. Umemoto *et al.*, 中性子科学会第20回年会 09pPS-16.

Design and control of the electronic state by electrochemical tuning in neutral tetraoxolene-bridged iron honeycomb layered metal-organic frameworks

N. Eguchi¹, W. Kosaka¹, K. Taniguchi¹, Y. Sekine², H. Miyasaka¹

Division of Solid-State Metal-Complex Chemistry,¹

Graduate school of science and technology, Kumamoto University²

Keywords : Fe, Metal-Organic Frameworks (MOFs), Lithium ion battery

Our groups have reported the intriguing physical properties of electron-donor (D)/acceptor(A) layered framework composed of Fe ion as D and tetraoxolene derivatives (X_2An^{n-} , 2,5-dihydroxy-3,6-dihaloeno-1,4-benzoquinonate, $n = 2, 3, 4$) as A, where D and A are contained in a 2:3 ratio (D_2A_3 -MOFs) with counter cations Z^+ formulated as $Z_2[Fe_2(X_2An)_3]$, forming two-dimensional honeycomb $[D_2A_3]^{2-}$ layer^[1]. Here, we report new type of honeycomb layered D/A-MOFs developed by incorporating charge neutral bridging ligand into a framework to adjust charge balance. Consequently, a series of two-dimensional assemblies, $[Fe_2(X_2An)_2(bpym)] \cdot n(\text{solvent})$ (**1-X-solv**, bpym = 2,2-bipyrimidyl; X = F, Cl, Br) and their desolvated phases (**1-X**) were successfully synthesized. Additionally, honeycomb layers are stacked in an eclipsed manner in **1-F** while slipped manner in **1-Cl/Br**. As a result, **1-F** has one-dimensional channels while **1-Cl/Br** contain isolated pores (**Fig. a,b**). The compounds were then applied as cathode materials of lithium-ion batteries (LIBs). They showed cyclability as cathodes of LIB systems with the electronic state change of tetraoxolene derivatives ($X_2An^{2-} \leftrightarrow X_2An^{3-} \leftrightarrow X_2An^{4-}$) accompanied with Li-ion and electron insertion/extraction from the pore and the ligand, respectively. Furthermore, **1-F** showed a smaller difference between oxidation and reduction potentials in the charging and discharging process compared to those of **1-Cl/Br** (**Fig. c,d**) and different cycle performance. These results reflect the pore shape of **1-F** and **1-Cl/Br** in their redox properties.

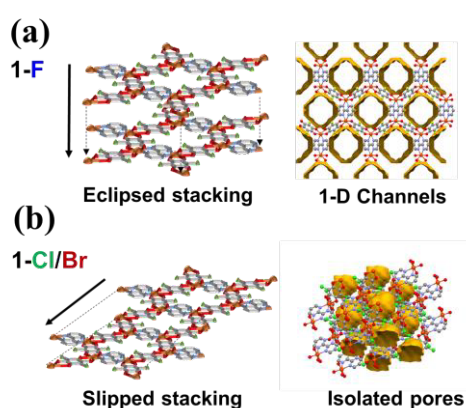


Fig. 1 The honeycomb lattice stacking and shape of pores in (a) **1-F** and (b) **1-Cl** and **Br**.

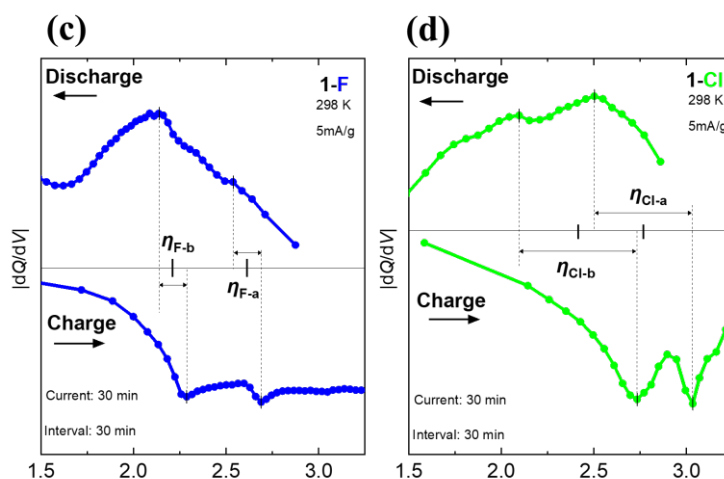


Fig. 2 The derivative of the charge/discharge curve for (c) **1-F** and (d) **1-Cl**. The peak indicates the redox potential.

[1] *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 3610–3618.

SrTiO₃ 電気二重層トランジスタの輸送現象における非相反性

弘内 遼太郎, 大内 拓, 野島 勉
低温物質科学実験室

Nonreciprocal response in transport properties of
SrTiO₃ electric double layer transistors

R. Hirouchi, T. Ouchi, T. Nojima

Lab. of Low Temperature Materials Science, IMR, Tohoku Univ.

Keywords : SrTiO₃, EDLT, Nonreciprocal

物質の非相反性とは、左右の電流方向の違いによりのその応答に違いが現れる現象であり、時間反転対称性の破れと空間反転対称性の破れを伴う条件において観測されることが知られている[1]。これまで、非相反現象は、ラッシュバ反対称性スピン相互作用が強いバルク半導体やヘリカル磁性体等といった特殊なスピン構造をもつ物質系において、磁場中の電流電圧特性の非対称性や AC 抵抗の 2 次高調波成分 $R^{2\omega}$ 成分の存在によって確認されてきた。非相反現象の条件となる時間・空間反転対称性の破れは、基本的に電気分極と電気伝導が共存した物質系で実現され得るため、強誘電性と金属性が共存すれば、磁場がなくても現れると予測されるが、その報告例はほとんどない。

SrTiO₃ は、絶縁状態で Ca 置換や ¹⁸O アイソトープ置換、圧縮歪み等によるわずかな摂動により強誘電秩序を示す一方で、通常の金属に比べ 3 桁少ない極少キャリアドープで超伝導を伴う金属になる。このため SrTiO₃ 系の絶縁状態と金属状態の境界付近における電子状態は、誘電性と伝導性が競合・共存した（極性を持った）特異なものになると予測される。近年、Ca 置換と酸素欠陥を組み合わせた単結晶[2]や基板による圧縮歪と元素置換による電子ドープを組み合わせた薄膜[3]において、強誘電性と金属伝導性が共存する状態が報告されるようになったが、非相反性を含めその電子状態は未だ明らかになっていない。

これまで我々は、SrTiO₃ に対し広範囲にキャリアドープ制御が可能な電気二重層トランジスタ(EDLT)を用い、その輸送特性を観測することにより、強誘電性と金属性の関係および両者の共存状態を見出してきた。その中で、降温過程と昇温過程の電気抵抗の温度依存性 $R(T)$ を詳細に測定した結果、2 種類の共存状態に起因すると考えられるヒステリシス現象($T_1 \sim 80$ K)や、 $T_2 \sim 20$ K 以下における電気抵抗のアップターンを発見した[4]。

本研究ではこの現象に対してさらなる知見を得るために抵抗の 2 次高調波 $R^{2\omega}$ 成分を観測した。その結果、ゼロ磁場中にも関わらず、図 1 に示すような、有限な $R^{2\omega}$ 成分（実効値 $I^{2\omega} = R^{2\omega}/(IR^{\omega})$ でプロット）が現れること、それらは 2 種類の強誘電性と金属性の共存状態を反映した特徴的な温度 T_1 と T_2 で異常を示すことを見出した。発表では、非相反伝導を観測することで明らかになってきた SrTiO₃-EDLT の特異な電子状態の描像を議論したい。

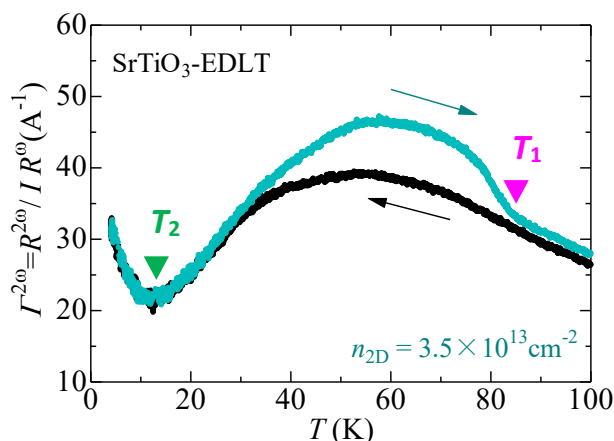


図 1 : SrTiO₃-EDLT における抵抗の 2 次高調波成分の温度依存性

[1] Y. Tokura and N. Nagaosa, Nat. Commun. **1038**, 9 (2018).

[2] C. W. Rischau *et al.*, Nat. Phys. **13**, 643–648 (2017).

[3] R. Russel *et al.*, Phys. Rev. Materials. **3**, 0914101 (2019)

[4] 弘内遼太郎, 大内拓, 野島勉, 第 139 回金研講演会 (2020).

ESR studies on spin-singlet transition in organic salt (BEDT-TTF)Cu[N(CN)₂]₂

M. K. Nuryadin, S. Iguchi, N. Yoneyama¹, Y. Oshima², T. Tsumuraya³,
T. Moriwaki⁴, Y. Ikemoto⁴, and T. Sasaki

Inst. for Materials Res., Tohoku Univ., ¹ Univ. of Yamanashi., ²RIKEN, ³Kumamoto
University, ⁴Spring-8, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Keywords : BEDT-TTF, Spin-Peierls transition, Electron spin resonance

(BEDT-TTF)Cu[N(CN)₂]₂ is an organic salt with the chemical composition of a 1:1 donor and anion molecules ratio, which is expected to have a half-filling band. This organic salt shows an insulating behavior of the DC resistivity and a large optical gap and Hubbard band transition in the optical conductivity spectra, which indicate the Mott insulating state. However, a spin-singlet transition has been observed around $T_{sp} \approx 26$ K as a sudden decrease of the magnetic static and spin susceptibility as measured by SQUID magnetometer. This spin-singlet-like transition might indicate a spin-Peierls transition [1]. In this study, we present experimental results of magnetic properties using a SQUID and ESR measurements to confirm the magnetic state of this salt.

We conducted ESR spectroscopy measurement along with three principal directions of g -values as shown inset Fig. 1(a). Fig. 1(a) shows ESR spectra of temperature dependence at H parallel to g_{max} or close to a^* direction. The ESR spectrum consists of two components of Lorentzian functions labeled as component s , and s' . The g -values of both component s and s' are almost close to each other. Component s and s' merge into an asymmetric spectrum at higher temperature region (for example 18 K). The spin susceptibility χ_s can be calculated using parameters fitting of the first derivative of Lorentzian function fitted to the ESR spectrum. From Fig. 1(b), the total χ_s from two component ($s + s'$) shows similar temperature dependence of static susceptibility χ_{DC} after subtracting Curie component χ_C . Both ESR and SQUID results have sudden decrease at T_{sp} of 26 K. Furthermore, in the Fig. 1(c), component s , and s' show the singlet-like transition with almost $\chi_s = 0$ below 20 K. Very small Curie contribution is found at low temperatures. These observations indicate that component s and s' are important to form a spin-singlet transition in this organic salt. To get a better understanding, we will discuss additional ESR parameters together with other experimental results.

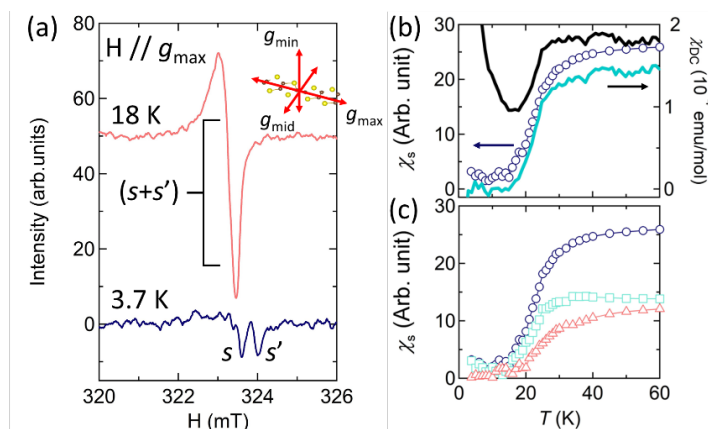


Fig 1. (a) ESR spectra at 3.8 K and 18 K along g_{max} direction. (b) The black solid curve is static susceptibility χ_{DC} , blue solid curve ($\chi_{DC} - \chi_C$), and circles correspond total spin susceptibility $\chi_s(s + s')$, along g_{max} direction. (c) spin susceptibility ESR components along the g_{max} direction: circles indicate $\chi_s(s + s')$, square indicate component s and triangle indicate component s' , respectively. Inset figure shows three principal directions of g -values in the BEDT-TTF molecule.

[1] M. Hase, I. Terasaki and K. Uchinokura, Phys. Rev. Lett. **70**, 3651 (1993)

スピン偏極した量子ホール系におけるジョセフソン電流のペア対称性

仲井良太¹, 野村健太郎¹, 田仲由喜夫²
金属物性論研究部門¹, 名古屋大学²

Edge-induced pairing states in a Josephson junction through a spin-polarized quantum anomalous Hall insulator

R. Nakai¹, K. Nomura¹, Y. Tanaka²
IMR¹, Nagoya Univ.²

Keywords : Josephson effect, quantum Hall system

量子ホール系を介して流れるジョセフソン電流は、端状態の性質に応じてペア対称性が決まる。本研究では、スピン偏極したカイラルな端状態を持つ量子異常ホール系と従来型超伝導体との接合系におけるジョセフソン効果を考えた。その結果、ジョセフソン電流を運ぶクーパー対が、スピン偏極した三重項であり、偶周波数と奇周波数成分が共存していて、かつ非零の運動量をもつという特徴を持っていることを示した。またこれらの性質がジョセフソン電流の界面磁化依存性や接合系の幅の依存性として現れることを示した[1]。

[1] RN, Nomura, Tanaka, Phys. Rev. B **103**, 184509 (2021).

材料科学系ジャーナル 50 誌に見る被引用数と FWCI との関係

湯本 道明, ハンゼン マーク¹, 荘司 弘樹^{1,2}

金研所長室, 東北大学 URA センター¹, 電気通信研究所²

Relationship Between Citations and Field-Weighted Citation Impacts in 50 Journals of Materials Sciences

Michiaki Yumoto, Marc Hansen¹, Hiroki, Shoji^{1,2}

IMR-Director Office, Tohoku University Research Administration Center¹,
Research Institute of Electrical Communication²

Keywords : 大学研究力評価指標, Scopus/SciVal, 被引用数向上検討

【はじめに】

大学・研究機関の研究力を評価する指標として、学術論文の被引用数や Field-Weighted Citation Impact (FWCI)などが利用されている。FWCI は発行年と研究分野を考慮した、規格化された被引用状況を示すものであるが、被引用数と FWCI との直接的な関係について明確に述べられている機会はあまり例がない。そこで、本講演では金属材料研究所の研究者が数多く投稿しているジャーナル (50 誌) を対象として、各ジャーナルにおいて被引用数と FWCI との関係を提示する。

【利用するデータ】

材料科学系ジャーナル 50 誌掲載学術論文 (2016 年から 2021 年秋まで) のエルゼビア社 SciVal データ

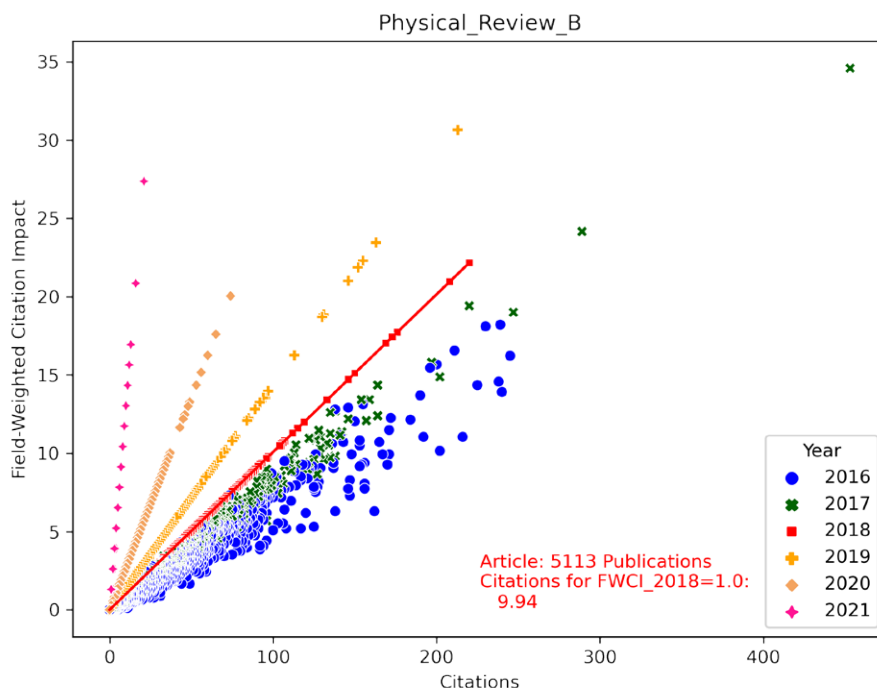


図 1 Physical Review B に掲載された論文 (Article) 毎の被引用数と FWCI との関係
予察的検討では、論文発行後 4 年以内の学術論文において被引用数と FWCI との間には発行年毎で線形関係があることが確認できている。Physical Research B の場合、FWCI がまもなく固定する 2018 年論文で FWCI が 1 となる被引用数は 9.94 となっている。この数値はジャーナル毎に異なる。

第 141 回金研講演会 ポスターセッション 等開催方法

11月30日(火)午後および12月1日(水)のポスター関連スケジュールは下記の通りです。ZoomのURLは後日、メールでお知らせします。

11/30(火)

16:00~17:30 ポスターセッション: ポスターNo. P-A01~P-A22, P-B01~P-B12

12/1(水)

16:15~16:35 ポスター賞表彰式


● ポスターセッション

Zoomのブレイクアウトルーム機能(下記参照)を用いて行います。ポスター発表者はスライド形式で10枚以内程度の資料を準備し、自身のポスターの時間(コアタイム)になったら、自分のポスター番号と名前のブレイクアウトルームに入室し、待機して下さい。参加者が来たら、スライド資料を画面共有し、説明、議論等して下さい。2つのセッションともに13:00過ぎごろから入室は可能です。

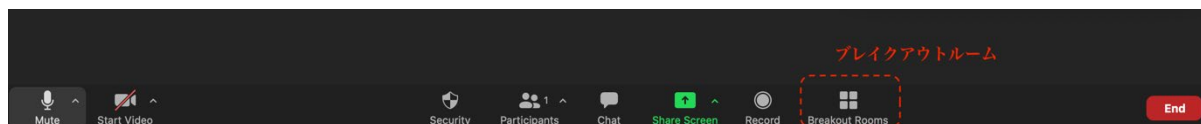
コアタイム以外でもブレイクアウトルームで議論を行っていただいても結構です。また、議論を行わないとき、あるいは他のポスターを閲覧するときは、ポスターを自動再生(1枚20秒程度)に切り替えて(下記参照)、閲覧できるようにしていただいても結構です。

● ブレイクアウトルーム

各ポスターのブレイクアウトルームは事前に作成されています。発表者も含めて参加者は自由にルーム間を行き来できます。

ブレイクアウトルームに入るには、Zoom画面下部の右側に表示されている Breakout Rooms  (下図、赤の破線部) をクリックすると、各ポスターのルームが表示されるので、入りたいルームをクリックします。

※Zoom のバージョンが古いと、ブレイクアウトルームが使えない(表示されない)ことがあります。その場合は Zoom ソフトウェアをアップデートして下さい。



退出するときは、「ブレイクアウトルームから退出」を選んで下さい。「ミーティングから退出」は Zoom ミーティング(セッション全体)から出てしまいます。

ブレイクアウトルームへの参加については下記にも説明があります。

<https://support.zoom.us/hc/ja/articles/115005769646>

- **ポスター自動再生の方法**

PPT の場合:

<https://www.microsoft-365.jp/2021/07/15/%E3%83%91%E3%83%AF%E3%83%BC%E3%83%9D%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%83%88%E3%81%AE%E3%82%B9%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%89%E3%82%92%E8%87%AA%E5%8B%95%E5%86%8D%E7%94%9F-%E7%B9%B0%E3%82%8A%E8%BF%94%E3%81%97%E5%86%8D/>

key note の場合:

https://support.apple.com/kb/PH24381?viewlocale=ja_JP&locale=ja_JP

PDF(Acrobat reader)の場合

<http://blog.1dz.jp/?eid=828>

第141回

東北大学 金属材料研究所 講演会



お問い合わせ先

金属材料研究所 情報企画室 広報班

TEL 022-215-2144 URL <http://www.imr.tohoku.ac.jp/>

E-MAIL k.kouen.imr@grp.tohoku.ac.jp

金研講演会

検索