

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05241

研究課題名(和文) ソルボサーマル法による新規超伝導体の創製

研究課題名(英文) Synthesis of new superconductors by the solvothermal method

研究代表者

野地 尚 (NOJI, Takashi)

東北大学・工学研究科・シニア研究員

研究者番号：50180740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：鉄系超伝導体FeSeと遷移金属ダイカルコゲナイドWTe₂、MoTe₂、SnSe₂に対し、常圧溶液反応法とソルボサーマル法を用いてコインターカレーションを行い、種々の新超伝導体の合成に成功した。FeSeでは、Liと直鎖モノアミンであるオクタデシルアミンのコインターカレーションにより、Fe-Fe層間長が今まで報告された最高値となる新超伝導体の合成に成功した。他方、WTe₂とMoTe₂においては、コインターカレーションにより超伝導転移温度T_c = 3.8 - 5.6 Kの新規超伝導体を合成することに成功し、SnSe₂においても、T_c = 5.5 - 7 Kの新物質合成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、層間に金属と有機分子をコインターカレート(共挿入)することにより、キャリア濃度と次元性を同時に変化させて多くの新規超伝導体を合成することである。FeSeにおいては、直鎖モノアミンを用いると層間に縦に二重にモノアミンが配列し、層間長が極端に伸長することが分かった。この手法は、他の物質にも応用可能であり、層間長制御における新しい知見を得る事が出来た。遷移金属ダイカルコゲナイドWTe₂とMoTe₂はワイル半金属候補物質であり、コインターカレーションに初めて成功し超伝導を観測したことは、トポロジカル物質の研究分野においても非常に意義のある研究である。

研究成果の概要(英文)： We have succeeded in synthesizing various new intercalation superconductors via the co-intercalation into the iron-based superconductor FeSe and the transition metal dichalcogenides WTe₂, MoTe₂ and SnSe₂.

We have been synthesized via the co-intercalation of linear monoamines of octadecylamine together with Li into FeSe. The distance between neighboring Fe layers expands up to 55.7 Å which is much larger than the previous record of 19 Å in the FeSe-based intercalation superconducting compounds. On the other hand, we have successfully synthesized new superconductors with superconducting transition temperature T_c = 3.8 - 5.6 K through the co-intercalation of Li and ethylenediamine into WTe₂ and MoTe₂, and we also succeeded in synthesizing new superconductors with T_c = 5.5 - 7 K in SnSe₂.

研究分野：超伝導

キーワード：超伝導 コインターカレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インターカレーションは、層状物質中に他の元素が侵入する可逆反応であり、キャリアを導入する手法として古くから用いられてきた。近年、金属原子と有機分子を共挿入するコインターカレーションは、キャリア数と次元性を同時に変化させることができることから、超伝導分野において超伝導転移温度 T_c の上昇や新物質合成につながる事が報告された[1 - 3]。

他方、有機分子の挿入により、層間距離を大幅に伸長させることが可能となり、有機分子を変化させて層間距離を制御する手法としても興味もたれている。

2. 研究の目的

(1) 鉄系超伝導体 FeSe はコインターカレーションにより、 T_c が 8 K から 45 K まで上昇し、Fe - Fe 層間長 d と T_c に相関があることが報告された[2]。そこで本研究の第一の目的は、今まで報告された d の最高値 19.04 [4]より d を伸長させた FeSe 系超伝導体を合成する手法を確立する。そして、 d と T_c の相関を決定することである。

(2) 遷移金属ダイカルコゲナイド MX_2 において、 WTe_2 と $MoTe_2$ はトポロジカル物質の一つであるタイプ II ワイル半金属の候補物質であることが予測されており、理論・実験の双方から精力的に研究されている[5, 6]。 MTe_2 は、一般に層間の結合が強いためインターカレーションが難しいと言われている。しかし、両物質は、 $1T'$ 型や T_d 型と呼ばれる歪んだ正八面体型配位を持つことが知られているため[7]、 MTe_2 においても、 WTe_2 と $MoTe_2$ はインターカレーション化合物の合成は可能と考えた。そこで第二の目的は、 WTe_2 と $MoTe_2$ に金属と有機分子のコインターカレーションを試み、新規超伝導体を合成することとした。

(3) MX_2 において、インターカレーションの母体として多く研究が進められている物質は、 M が d ブロック金属である。本研究においては、 M を p ブロック金属の Sn とした $SnSe_2$ に着目した。P ブロック金属は d 軌道よりも空間的に広い s 軌道や p 軌道で結合しているため、共有結合性が強い。共有結合性が強いと、電子の隣接原子間を飛び移る確率が増加するため、超伝導に有利に働くことから、第三の目的はコインターカレーションにより $SnSe_2$ を母体とした新規超伝導体の合成とした。

3. 研究の方法

(1) 「FeSe の場合」

母体の FeSe 多結晶は、石英管に真空封入し、固相反応法で作製した。粉末の FeSe にコインターカレートする金属は Li を用い、有機分子は、直鎖のモノアミンが挿入されると二重に配置され大きく層間を伸長させると予想されることから、ヘキシルアミン、オクチルアミン、オクタデシルアミンを用いた。コインターカレーションは、反応温度が 70 °C までは一般の常圧溶液反応法で行い、100 °C 以上ではオートクレーブを用いたソルボサーマル法で試料合成を行った。

(2) 「 WTe_2 , $MoTe_2$ の場合」

母体の WTe_2 、 $MoTe_2$ は、両物質とも石英管に真空封入し、固相反応法で作製した。焼結後の冷却は、 $MoTe_2$ については、炉冷をすると 2H 型構造の試料が得られてしまうため急冷を行った。インターカレーションは、Li のみをインターカレートした物質と、Li と有機分子をコインターカレートした物質を合成した。Li のみの場合は n-BuLi ヘキサン溶液を用いた溶液反応法で行い、コインターカレーションは、Li 金属を有機溶媒に溶解させて反応させた。

(3) 「 $SnSe_2$ の場合」

母体の $SnSe_2$ は、真空封入し固相反応法で作製した。コインターカレートする金属は Li を用い、有機分子は直鎖のモノアミンと環状アミンを用いた。コインターカレーションは、反応温度が 70 °C までは一般の常圧溶液反応法で行い、100 °C 以上ではオートクレーブを用いたソルボサーマル法で試料合成を行った。

上記で合成された試料は、粉末 X 線回折で結晶構造を決定し、磁化率、電気抵抗率、比熱等

を測定し、試料の物性を評価した。また、ICP 組成分析によるインターカレートされた Li 量の同定も行った。

4. 研究成果

(1) 「FeSe について」

FeSe に Li とモノアミンをコインターカレーションすることで、従来の最長 Fe-Fe 層間距離 19.04 を超える新規超伝導体の合成を目指した。また、得られた試料の層間長と T_c を測定し、それらの相関を調べた。使用した直鎖の有機分子は、ヘキルアミン(HA)、オクチルアミン(OA)、オクタデシルアミン(ODA)であり、これらのモノアミンが層間に 2 分子が垂直に挿入されると予想して合成を行った。

以下に得られた新規超伝導物質と、それぞれの Fe-Fe 層間長 d と、超伝導転移温度 T_c のを示す。

- ・ $\text{Li}_{1.0}(\text{HA})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ $d = 23.3 \text{ \AA}$ $T_c = 43 \text{ K}$
- ・ $\text{Li}_{1.0}(\text{OA})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ $d = 30.2 \text{ \AA}$ $T_c = 42 \text{ K}$
- ・ $\text{Li}_{1.0}(\text{ODA})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ $d = 55.7 \text{ \AA}$ $T_c = 42 \text{ K}$

以上のように、今まで FeSe 系で報告された d の最高値 19 を 3 物質共に超えており、特に ODA をコインターカレートした物質は、55.7 Å と驚異的な値となった。これは、予想通りに直鎖のモノアミンは 2 重に縦配置で挿入されている結果であり、層間を伸長させる有望な手法といえる。

他方、 d の伸長を達成した一方で、超伝導転移温度 T_c は 3 種類の新規超伝導体全てにおいて、FeSe の上限と目される 45 K を超えることはなかった。これは、理論計算によると d が 9 Å 以上では電子構造が完全に二次元になり、磁氣的揺らぎを媒介とする FeSe 系超伝導体では、9 Å 以上での T_c は一定値になるという主張[8]を指示する結果となった。

(2) 「 WTe_2 , MoTe_2 について」

「 WTe_2 」

T_d 型構造と呼ばれる歪んだ正八面体型配位を持つ T_d - WTe_2 に、 $n\text{-BuLi}$ ヘキサン溶液を用いて Li のみをインターカレートした Li_xWTe_2 ($x = 0.25 - 0.5$) の合成を行った。合成後、粉末 X 線回折により c 軸長の伸長と、磁化率の温度依存性から求めた Pauli 常磁性磁化率 (フェルミ準位の電子状態密度) の増加を確認し、Li がインターカレーションされていることを確認した。しかし、これらの試料では 2K 以上での超伝導転移は観測されなかった。

次に、 T_d - WTe_2 に対し、Li とエチレンジアミン(EDA)、ヘキサメチレンジアミン(HMDA)、2-フェニルエチルアミン(2-PEA)、ヘキシルアミン(HA)のコインターカレーションを試みた。その結果、Li と EDA のコインターカレーション物質 $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{WTe}_2$ ($x = 0.25 - 5$) に成功した。これは、遷移金属ダイカルコゲナイド MTe_2 (M : Metal) への金属と有機分子のコインターカレーションの初めての成功例である。 $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{WTe}_2$ の磁化率から見積もった T_c の最高値は 3.8 K ($x = 0.5$) となり、Pauli 常磁性磁化率は Li のみをインターカレートした Li_xWTe_2 よりも増加していた。これは、EDA の挿入で c 軸長が伸長し、結晶構造・電子構造の二次元化によりバンド幅が狭まることでフェルミ準位での電子状態密度が増加したためであると考えられる。また、 T_c と 300 K における Pauli 常磁性磁化率の Li 量 x 依存性は、非常によく相関していることが分かった。故に、この物質は BCS 的な超伝導体であると結論できる。

「 MoTe_2 」

1T' 型構造の母体試料である MoTe_2 へ、Li のみのインターカレーションと Li と EDA のコインターカレーションを行った。構造解析の結果、両物質共に 1T' 型構造から WTe_2 と同じ T_d 型構造に変化することが分かった。Li のみをインターカレートした Li_xMoTe_2 ($x = 0.25 - 0.5$) は、母体より Pauli 常磁性磁化率が上昇していることから、電子キャリアの増加は確認できたが、3 K 以上で超伝導転移は観測されなかった。

コインターカレーション化合物 $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{MoTe}_2$ ($x = 0.25 - 2$) は、 $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{WTe}_2$ と同じ結晶構造で、ほぼ同じ c 軸長となった。また、ICP 組成分析により Li 量は、仕込み通り試料に挿入されていることを確認した。磁化率から見積もった T_c の最高値は 5.6 K ($x = 0.5$) となり、 T_c と Pauli 常磁性磁化率の Li 量 x 依存性は、 $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{WTe}_2$ と同様に非常によく相関していた。

$\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{MoTe}_2$ ($T_{c \text{ max}} = 5.6 \text{ K}$) と $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{WTe}_2$ ($T_{c \text{ max}} = 3.8 \text{ K}$) を比較すると、300 K における Pauli 常磁性磁化率の値は、 $\text{Li}_x(\text{EDA})_y\text{MoTe}_2$ の方が小さいにも関わらず T_c が高いことが分かった。結晶構造は共に T_d 型であり、この明らかな T_c の違いは元素、つまり W と Mo の違い、つ

まり Mo の方が軽い元素であることに起因するものであると考えられる。この違いを明らかにするために、両物質の母体の比熱を測定し、デバイ温度の比較を行った。その結果、1T'-MoTe₂ と T_d-WTe₂ のデバイ温度は、130 K、119 K となり、Li_x(EDA)_yMoTe₂ の T_c が高い原因は、デバイ温度、すなわちフォノンのエネルギーの違いである可能性が高いことが分かった。

(3) 「SnSe₂ について」

SnSe₂ へのインターカレーションによる超伝導化の試みは、Wu らが、Li 単独のインターカレーションをした Li_{0.2}SnSe₂ で T_c ~ 4.5 K を、Li とテトラヒドロフラン(THF)またはプロピレンカーボネート(PC)をコインターカレーションした Li_x(THF)_ySnSe₂ と Li_x(PC)_ySnSe₂ でそれぞれ T_c ~ 7 K、7.5 K を観測したと報告している[9]。この結果は、c 軸長 (Sn - Sn 層間距離 *d*) が長いと T_c が上昇していることから、本研究では多種の有機溶媒を用いて *d* を変化させ、T_c の上昇を目指した。有機溶媒は、直鎖アミンであるヘキシルアミン(HA)、オクチルアミン(OA) と環状アミンであるピリジン(PD)、メチルピリジン(MPD)、ピラジン(PZ) を用いて、Li とのコインターカレーションを行った。

以下に得られた新規超伝導物質、Sn - Sn 層間距離 *d*、T_c を示す。

- ・ Li_{1.0}(HA)_ySnSe₂ *d* = 25.6 Å T_c = 6.0 K
- ・ Li_{1.0}(OA)_ySnSe₂ *d* = 28.2 Å T_c = 6.4 K
- ・ Li_x(PD)_ySnSe₂ *d* = 12.0 Å T_c = 7.0 K
- ・ Li_x(MPD)_ySnSe₂ *d* = 22.0 Å T_c = 6.5 K
- ・ Li_x(PZ)_ySnSe₂ *d* = 12.0 Å T_c = 5.5 K

以上から、*d* と T_c の相関を見ると、*d* が 12 Å までの領域では *d* が伸長するにつれ T_c も上昇していき、*d* が 12 Å 以上の領域になると T_c は上昇しなくなる結果となった。この振る舞いを理解するために、密度汎関数法(WIEN2k)でバンド計算を行った。SnSe₂ に電子が供給されると、Sn の s 軌道と Se の p 軌道が結合して作るバンドにドーピングされる。*d* を変化させて計算を行った結果、10 Å 以上伸長させてもバンドの形にほとんど変化がないことが分かり、層間距離を伸長させても T_c が上昇しないのは、層間距離の伸長により母体における二次元的の向上が限界に達したために、バンドの形状が変化しなくなったことが原因であると理解できる。T_c の上昇には、*d* の伸長よりも、キャリア濃度の最適化が必要との結果となった。

- [1] T. P. Ying, X. L. Chen, G. Wang, S. F. Jin, T. T. Zhou, X. F. Lai, H. Zhang, and W. Y. Wang, *Sci. Rep.* **2**, 426 (2012).
- [2] T. Noji, T. Hatakeda, S. Hosono, T. Kawamata, M. Kato, and Y. Koike, *Physica C* **504**, 8 (2014).
- [3] K. Sato, T. Noji, T. Hatakeda, T. Kawamata, M. Kato, and Y. Koike, *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 104701 (2017).
- [4] T. Hatakeda, T. Noji, K. Sato, T. Kawamata, M. Kato, and Y. Koike, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 103702 (2016).
- [5] A.A. Soluyanov, D. Gresch, Z. Wang, Q.S. Wu, M. Troyer, X. Dai and B.A. Bernevig, *Nature* **527**, 495 (2015).
- [6] Y. Wu, D. Mou, N. H. Jo, K. Sun, L. Huang, S. L. Bud'ko, P. C. Canfield and A. Kaminski, *Phys. Rev. B* **94**, 121113 (2016).
- [7] S.-J. Liu, Y.-C. Zou, X.-L. Shi, Q.-Z. Li, Y.-Z. Yang, W.-D. Liu, Z.-G. Chen, and J. Zou, *J. Alloys Comp.* **777**, 926 (2015).
- [8] D. Guterding, H. O. Jeschke, P. J. Hirschfeld, and R. Valenti, *Phys. Rev. B* **91**, 041112(R) (2015).
- [9] H. Wu, S. Li, M. Susner, S. Kwon, M. Kim, T. Haugan, and B. Lv, *2D Mater.* **6**, 045048 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Masato ono, Takashi Noji, Kazuki Sato, Takayuki Kawamata, and Masatsune Kato	4. 巻 90
2. 論文標題 New Lithium and Ethylenediamine Co-Intercalated Superconductors $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{MoTe}_2$.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044707~044707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.044707	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Harada Keiichi, Teramoto Yuki, Usui Tomohiro, Itaka Kenji, Fujii Takenori, Noji Takashi, Taniguchi Haruka, Matsukawa Michiaki, Ishikawa Hajime, Kindo Koichi, Dessau Daniel S., Watanabe Takao	4. 巻 105
2. 論文標題 Revised phase diagram of the high-Tc cuprate superconductor Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ revealed by anisotropic transport measurements	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085131~085131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.085131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Sakamoto Chika, Noji Takashi, Sato Kazuki, Kawamata Takayuki, Kato Masatsune	4. 巻 89
2. 論文標題 Synthesis of New Lithium- and Monoamine-Intercalated Superconductors $\text{Li}_x(\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N})_y\text{Fe}_1-z\text{Se}$ ($n = 6, 8, 18$) with the Dramatically Expanded Interlayer Spacing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 115002 ~ 115002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.115002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Eguchi Ritsuko, Senda Megumi, Uesugi Eri, Goto Hidenori, Fujiwara Akihiko, Imai Yasuhiko, Kimura Shigeru, Noji Takashi, Koike Yoji, Kubozono Yoshihiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Inhomogeneous superconductivity in thin crystals of $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ ($x = 1.0, 0.95, \text{ and } 0.9$)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Research Express	6. 最初と最後の頁 036001 ~ 036001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1591/ab7c85	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sun Yue, Ohnuma Haruka, Ayukawa Shin-ya, Noji Takashi, Koike Yoji, Tamegai Tsuyoshi, Kitano Haruhisa	4. 巻 101
2. 論文標題 Achieving the depairing limit along the c axis in Fe _{1+y} Te _{1-x} Se _x single crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134516 ~ 134516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.134516	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ono Masato, Noji Takashi, Harada Mimori, Sato Kazuki, Kawamata Takayuki, Kato Masatsune	4. 巻 90
2. 論文標題 New Lithium- and Ethylenediamine-Intercalated Superconductors Li _x (C ₂ H ₈ N ₂) _y WTe ₂	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 014706 ~ 014706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.014706	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakagawa Kohei, Sumino Yoshiki, Kim Keon, Noji Takashi, Kawamata Takayuki, Koike Yoji, Kato Masatsune	4. 巻 564
2. 論文標題 Enhancement of the superconducting transition temperature by the Sr-substitution for Ba in (Yb,Ca)Ba ₂ Cu ₃ O ₆	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica C: Superconductivity and its Applications	6. 最初と最後の頁 38 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physc.2019.06.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sunohara Toshiki, Kawamata Takayuki, Shiosaka Kota, Takamatsu Tomohisa, Noji Takashi, Kato Masatsune, Koike Yoji	4. 巻 89
2. 論文標題 Electron-Doping Effect on T _c in the Undoped (Ce-Free) Superconductor T _{1-x} La _{1.8} Eu _{0.2} Cu _{0.4} Studied by the Fluorine Substitution for Oxygen	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 014701 ~ 014701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.014701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 坂本 千佳、野地 尚、川股 隆行、加藤 雅恒
2. 発表標題 SnSe ₂ への リチウム モノアミン コインターカレーションによる超伝導
3. 学会等名 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十右 理乃、佐藤 秀孝、川股 隆行、野地 尚、加藤 雅恒
2. 発表標題 共置換したY _{1-x} CaxBa _{2-y} SryCu ₄ O ₈ の超伝導特性
3. 学会等名 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 佑、川股 隆行、野地 尚、加藤 雅恒
2. 発表標題 Bi-2212相の超伝導転移温度向上を目指した(Bi,Pb) ₂ (Sr,Ba,La) ₂ CaCu ₂ O ₈ の合成
3. 学会等名 第76回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本 千佳、野地 尚、川股 隆行、加藤 雅恒
2. 発表標題 SnSe ₂ へのリチウムアミンのコインターカレーションと超伝導特性
3. 学会等名 第76回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 勇樹、長岡 凌生、川股 隆行、野地 尚、加藤 雅恒
2. 発表標題 反強磁性スピン正方格子系La ₂ NiO ₄ の単結晶育成とスピン熱伝導
3. 学会等名 第76回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 一志、樋口 海、川股 隆行、野地 尚、加藤 雅恒
2. 発表標題 超伝導転移温度の向上を目指したNdBa ₂ Cu ₃ O _y におけるBa ²⁺ /Nd ³⁺ 置換効果
3. 学会等名 第76回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十右理乃、佐藤秀孝、川股 隆行、野地 尚、加藤 雅恒
2. 発表標題 超伝導転移温度向上に向けた(Y, Ca)(Ba, Sr) ₂ Cu ₄ O ₈ の合成
3. 学会等名 第76回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayano Imigi, Hidetaka Sato, Takayuki Kawamata, Takashi Noji, Masatsune Kato
2. 発表標題 Superconductivity in Y _{1-x} CaxBa _{2-y} SryCu ₄ O ₈ prepared by the solid-state reaction method
3. 学会等名 The 34th International Symposium on Superconductivity (ISS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐勇樹, 川股隆行, 長岡凌生, 野地尚, 加藤雅恒
2. 発表標題 二次元反強磁性スピン系La ₂ NiO ₄ + のスピン熱伝導
3. 学会等名 日本物理学会 第77 回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Sun, H. Ohnuma, S. Ayukawa, T. Noji, Y. Koike, T. Tamegai, H. Kitano
2. 発表標題 Achieving the depairing limit along c-axis in Fe(Te,Se) single crystals.
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masato Ono, Takashi Noji, Mimori Harada, Kazuki Sato, Takayuki Kawamata, Masatsune Kato
2. 発表標題 New Lithium- and Ethylenediamine-Intercalated Superconductors Lix(C ₂ H ₈ N ₂)yWTe ₂
3. 学会等名 33th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野雅斗, 野地尚, 原田美森, 佐藤和輝, 川股隆行, 加藤雅恒
2. 発表標題 金属-有機分子コインターカレーションによる新規超伝導体Lix(EDA)yWTe ₂ の合成
3. 学会等名 第75回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本 千佳、野地 尚、川股 隆行、加藤 雅恒
2. 発表標題 SnX ₂ (X=S, Se)への金属有機分子コインターカレーションによる超伝導
3. 学会等名 第75回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Ueno, Takashi Noji, Takayuki Kawamata, Masatsune Kato
2. 発表標題 Co-Intercalation of Li and Ethylenediamine into the Bi-based Chalcogenide with the Layered Structure by Solvothermal Technique
3. 学会等名 32th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Takano, Ryohei Ito, Takayuki Kawamata, Takashi Noji, Masatsune Kato
2. 発表標題 Superconductivity in the heavily Pb-doped Bi-2212 phase of (Bi,Pb) ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈ -
3. 学会等名 32th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiki Sunohara, Takayuki Kawamata, Kota Shiosaka, Tomohosa Takamatsu, Takashi Noji, Masatsune Kato
2. 発表標題 Electron-doping Effect and the Electronic State in the Undoped (Ce-free) superconductor T'-La _{1.8} Eu _{0.2} CuO ₄ -
3. 学会等名 32th International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kato, K. Nakagawa, T. Kawamata, T. Noji and Y. Koike
2. 発表標題 Elemental Substitution in the Re-123 and Bi-2212 Cuprate Superconductors for the Enhancement of Tc
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十右理乃、野地尚、川股隆行、加藤雅恒
2. 発表標題 (RE, Ca)(Ba, Sr)2Cu408のTc向上を目指した元素置換
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関