

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13512

研究課題名(和文) 金属と有機分子のコインターカレーションによるエキゾチック高温超伝導体の創製

研究課題名(英文) Synthesis of exotic high-temperature superconductors via the co-intercalation of metal and organic molecules

研究代表者

小池 洋二 (Koike, Yoji)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：70134038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：超伝導転移温度 $T_c=8\text{K}$ の層状物質 FeSe に Li または Na と有機分子(ヘキサメチレンジアミン(HMDA)または2-フェニルエチルアミン)をコインターカレーション(共挿入)することにより、 $T_c=38\text{-}44\text{K}$ の高温超伝導体の創製に成功した。この T_c 値は FeSe 単層膜における値に近く、層間距離の増大による T_c のさらなる向上は期待できない。

また、層状構造を有する TiSe_2 および MoSe_2 に Li と有機分子(エチレンジアミン(EDA)またはHMDA)を共挿入することにより、 $T_c=2.4\text{-}6.0\text{K}$ の超伝導体、さらに、 Ta_2PdSe_6 にEDAを挿入することにより、 $T_c=4.5\text{K}$ の超伝導体の創製に成功した。

研究成果の概要(英文)： We have succeeded in the synthesis of new superconductors of $A_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$ and $A_x(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ ($A = \text{Li}, \text{Na}$) with the superconducting transition temperature $T_c = 38 - 44 \text{ K}$ via the co-intercalation of alkali metal and hexamethylenediamine (HMDA) or 2-phenethylamine into FeSe . These T_c values are similar to those of single-layer films of FeSe . Accordingly, we have concluded that unfortunately no further enhancement of T_c is expected through any further expansion of the interlayer spacing between FeSe layers.

We have also succeeded in the synthesis of new superconductors of $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{MSe}_2$ and $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{MSe}_2$ ($M = \text{Ti}, \text{Mo}$) with $T_c = 2.4 - 6.0 \text{ K}$ via the co-intercalation of Li and ethylenediamine (EDA) or HMDA into MSe_2 . Moreover, we have succeeded in the synthesis of a new superconductor of $(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Ta}_2\text{PdSe}_6$ with $T_c = 4.5 \text{ K}$ via the intercalation of EDA into Ta_2PdSe_6 .

研究分野：低温電子物性、超伝導

キーワード：高温超伝導 インターカレーション アルカリ金属 有機分子 鉄系超伝導体 遷移金属カルコゲナイド 電荷密度波

1. 研究開始当初の背景

(1) 2008年に発見された鉄系超伝導体は、銅酸化物超伝導体に次ぐ高い超伝導転移温度 T_c を持つことから、盛んに研究されていた。なかでも、図1(a)のように、鉄系超伝導の中で最も単純な層状の結晶構造を持つ FeSe は、図1(b)のように、層間にアルカリ金属とともにアンモニア NH_3 やピリジン $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ をインターカレートすると、 T_c が 8K から 43K、45K と飛躍的に上昇することが分かり、注目されていた[1,2]。我々も、図1(c)のように、層間にリチウムとエチレンジアミン(EDA) $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$ あるいはヘキサメチレンジアミン(HMDA) $\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2$ をインターカレートすることにより、それぞれ、45K と 38K の T_c を実現した[3,4]。FeSe にリチウムだけをインターカレートしても T_c は上がらない[5]。また、FeSe の層間距離 d が無限大とも言える FeSe の単層膜では、 T_c が 100K を超えるとの報告もあった[6]。したがって、FeSe の層間をさらに大きな有機分子で拡げることによって、さらに高い T_c が期待できると考えた。

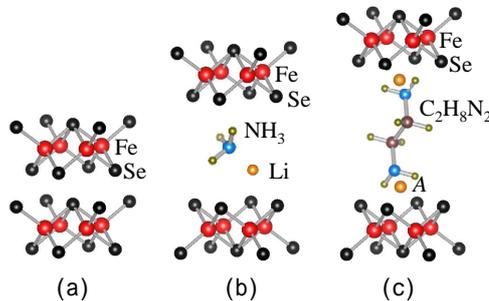


図1 . (a) FeSe , (b) $\text{Li}_x(\text{NH}_3)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$, (c) $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$ の結晶構造 .

(2) また、層状物質である遷移金属ダイカルコゲナイド MX_2 (M =遷移金属; X =S, Se, Te) は、1970年代に盛んに研究され、電荷密度波(CDW)や異方的超伝導等の2次元電気伝導体に特徴的な物性が明らかにされた。 MX_2 へのインターカレーションの研究もなされたが、金属とともに有機分子をインターカレートする研究の報告はなかった。それゆえ、 MX_2 に対して、金属と種々の有機分子をインターカレートすることによって、新しい超伝導体の創製が期待できると考えた。特に、有機分子の分極を介した電子対の形成によるエキゾチックな超伝導も期待できる。また、CDWを示す MX_2 においては、インターカレーションによってその長距離秩序を破壊すれば、電荷のゆらぎを介した電子対の形成による超伝導も期待できると考えた。

2. 研究の目的

(1) そこで、FeSe に対して、金属と種々の有機分子のインターカレーションを試み、 T_c を向上させることを第1の目的とした。

(2) また、 MX_2 および層状構造を有する遷移金属カルコゲナイドに対して、金属と種々の有

機分子のインターカレーションを試み、新しい高温超伝導体を創製することを第2の目的とした。

(3) そして、合成したインターカレーション化合物の結晶構造と電子物性と超伝導の関係を調べ、より高い T_c を持つ高温超伝導体(究極的には室温超伝導体)を探索する指針を得ることを第3の目的とした。

3. 研究の方法

まず、インターカレーションの母体となる多結晶試料を作製した。FeSe 多結晶試料については、Guo ら[7]の固相反応法(アルミナ坩堝に原料を入れて、坩堝ごと石英管に真空封入して反応させる方法)を採用し、不純物が非常に少ない試料を得た。 MX_2 については、通常の固相反応法で 1T-TiSe_2 と 2H-MoSe_2 の多結晶試料を作製した。さらに、層状構造を有する遷移金属カルコゲナイド Ta_2PdSe_6 の多結晶試料も固相反応法で作製した。

次に、金属と有機分子のインターカレーションを溶液反応法で行った。金属としては、アルカリ金属(Li および Na)、有機分子としては、直鎖状の EDA (長さ: 5.4 Å) と HMDA (長さ: 10.4 Å)、および、環状基を有する 2-フェニルエチルアミン(2-PEA) $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$ (長さ: 8.2 Å) を用いた。これらの有機分子を用いた理由は、窒素原子に属する孤立電子対を有しているため、正に帯電したアルカリ金属イオンに引き付けられてインターカレートしやすいこと、また、室温で液体であるために取り扱いが容易なことである。具体的には、有機分子の液体にアルカリ金属を溶かし、その溶液に粉末状にした母体試料を入れて、45-100 °C で数日から数週間反応させた。また、Li のみをインターカレートさせる実験も行った。その場合には、粉末状の母体試料を n -ブチルリチウムのヘキサン溶液に入れて、室温で数日反応させた。これらの作業は、アルゴン雰囲気グローブボックスの中で行った。

生成されたインターカレーション化合物については、粉末 X 線回折により結晶構造を決定した。また、誘導結合プラズマ(ICP)法により組成分析を行った。

超伝導の検出は、SQUID を用いた磁化率測定装置で行った。さらに、超伝導試料については、粉末試料をペレット状に成型し、電気抵抗率を測定し、超伝導転移を確認した。

4. 研究成果

(1) 我々は、FeSe に Li と HMDA をインターカレートした $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$ が $T_c=38\text{K}$ で超伝導を示すことを既に報告していたが[4]、本研究では、この試料を真空中でアニールすることにより、さらに2つの相が安定に存在することを見出した[8]。図2に示すように、as-intercalated 相(相1)を 100-125 °C でアニールすると、HMDA の一部が試料からデイン

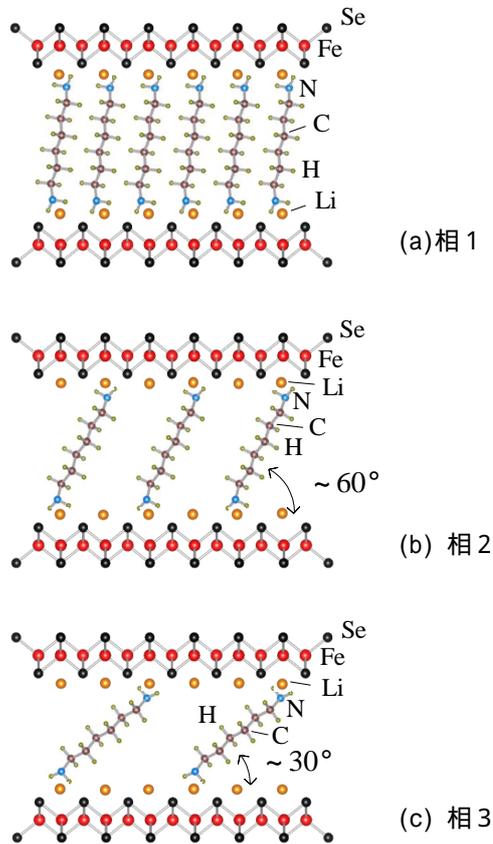


図 2 . $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$ における 3 つの相の結晶構造 . (a) as-intercalated 相 (相 1) . (b) 相 1 を 100-125 でアニールして得た相 (相 2) . (c) 相 1 を 125-200 でアニールして得た相 (相 3) .

ターカレートし、HMDA が FeSe 層間で傾いた相 (相 2) が形成され、125-200 でアニールすると、HMDA がさらにデインターカレートし、HMDA がさらに傾いた相 (相 3) が形成されることが分かった。そして、この相 3 の T_c は 41K と相 1 の 38K よりも高いことが分かった。さらに、本研究では、 $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$ の試料作製を、溶液中の反応温度を変化させ、また、Li 量 x を変化させて行った [9]。その結果、45 の溶液中の反応では、インターカレートは試料の表面付近に留まり、試料の内部までは拡散しづらく、一方、100 の溶液中の反応では、インターカレートは試料の内部まで比較的一様に入ることが分かった。そして、100 の溶液中で反応させた場合、 $x=1$ では $T_c=30\text{K}$ 、 $x=2$ では $T_c=38\text{K}$ となり、 T_c は x の増加とともに上昇することが分かった。

本研究では、アルカリ金属 (Li あるいは Na) と環状基を有する有機分子 2-PEA がコインターカレートした $\text{A}_x(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ ($\text{A}=\text{Li}, \text{Na}$) の合成にも成功した [10]。FeSe 層間距離 d は 18-19 と予想外に大きく、これまでに合成された FeSe 系インターカレーション化合物の中で最も大きい。おそらく、図 3 に示すように、2-PEA 分子が 2 個縦に挿入されているものと思われる。 T_c は $\text{A}=\text{Li}$ で 39K、 $\text{A}=\text{Na}$ で 44K であった。

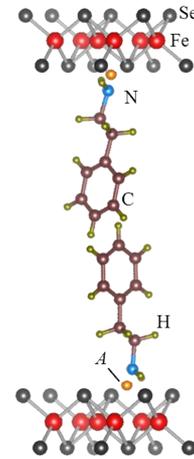
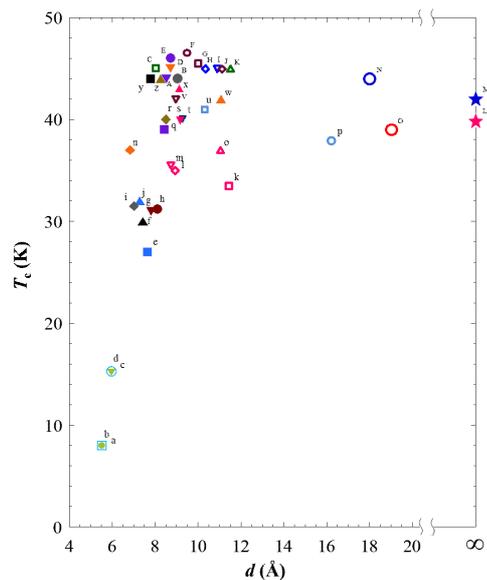


図 3 . $\text{A}_x(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ ($\text{A}=\text{Li}, \text{Na}$) の結晶構造 .

図 4 に、これまでに観測された FeSe 系インターカレーション化合物の T_c の d 依存性を示す。この振る舞いは、Guterding ら [11] の理論計算に基づいて理解できる。すなわち、 d の増加とともに電子構造がより 2 次元的になるため、フェルミ面のネスティングがよくなり、スピンゆらぎによる超伝導が増強されることによって T_c が上昇する。そして、 $d=8$ では、電子構造が完全に 2 次元的になっているため、 T_c は d にはあまり依存しないと理解できる。また、 $d=8$ における T_c のばらつきは、インターカレートしたアルカリ金属の量の違いによる FeSe 層にドーブされたキャ



● FeSe	▲ $\text{Sr}_{0.25}(\text{C}_6\text{H}_9\text{N})_{0.53}\text{Fe}_{1.99}\text{Se}_2$	■ $\text{Li}(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$
▼ $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$	□ $\text{Li}(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$	○ $\text{Na}_x(\text{NH}_4)_{1-x}\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$
□ LiFeSe	■ $\text{Ba}_{0.9}\text{Fe}_2\text{Se}_{2.01}$ (in NH_3)	● $\text{Na}_{0.9}\text{Fe}_2\text{Se}_{1.9}$ (in NH_3)
○ $\text{Li}_x\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$	▲ $\text{Li}_2(\text{NH}_4)\text{Fe}_2\text{Se}_3(\text{Li}(\text{NH}_4)_{0.5})$	● $\text{Na}_{0.9}(\text{C}_6\text{H}_9\text{N})_{0.53}\text{Fe}_{1.98}\text{Se}_2$
■ $\text{Cs}_{0.9}\text{FeSe}_{1.99}\text{Te}_{0.1}$	▼ $(\text{Li}_3\text{Fe}_2\text{O}_7)\text{OHFeSe}$	○ $\text{Na}_{0.9}(\text{C}_6\text{H}_9\text{N})_{0.53}\text{Fe}_{1.99}\text{Se}_2$
▲ $\text{K}_{0.97}(\text{FeSe}_{1.99}\text{Te}_{0.1})$	▼ $\text{LiFeO}_2\text{FeSe}_2$	● $\text{Li}(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$
▼ $\text{Rb}_{0.9}(\text{NH}_4)\text{FeSe}$	□ $\text{Li}(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$ (annealed)	▼ $\text{Na}_x(\text{C}_6\text{H}_9\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$
● $\text{Cs}_{0.2}(\text{NH}_4)\text{FeSe}$	▲ $\text{Na}_{0.82}(\text{NH}_4)_{0.44}\text{Fe}_{1.97}\text{Se}_2$	▼ $\text{Na}_{0.9}(\text{C}_6\text{H}_9\text{N})_{0.77}\text{Fe}_{1.99}\text{Se}_2$
● $\text{K}_2\text{Fe}_2\text{Se}_2$	▲ $\text{Na}_{0.8}(\text{NH}_4)_{0.24}\text{Fe}_{1.97}\text{Se}_2$	▲ $\text{Li}(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$ (annealed)
▲ $\text{Rb}_{0.88}\text{Fe}_{1.8}\text{Se}_2$	▲ $\text{Na}_{0.9}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2)\text{Fe}_2\text{Se}_2$	▲ $\text{Li}(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})\text{Fe}_{1-z}\text{Se}_2$ (annealed)
■ $\text{Sr}_{0.25}(\text{N}_2\text{H}_4)_{0.18}\text{Fe}_{1.88}\text{Se}_2$	● $\text{K}_{0.2}(\text{NH}_4)_{0.6}\text{Fe}_{1.97}\text{Se}_2$	★ single-layer FeSe film
▼ $\text{Sr}_{0.22}(\text{N}_2\text{H}_4)_{0.24}\text{Fe}_{1.82}\text{Se}_2$	▲ $\text{Li}_{0.9}(\text{NH}_4)_{0.3}\text{Fe}_2\text{Se}_2$	● single-layer FeSe film
▼ $\text{Sr}_{0.23}(\text{C}_6\text{H}_9\text{N})_{0.11}\text{Fe}_{1.97}\text{Se}_2$	▼ $\text{Li}_2\text{Fe}_2\text{Se}_3$ (in NH_3)	○ $\text{Na}_x(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$
● $\text{Na}_{0.65}\text{Fe}_{1.9}\text{Se}_2$	● $\text{K}_{0.87}\text{Fe}_{1.9}\text{Se}_2$	○ $\text{Li}_x(\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N})\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$

図 4 . FeSe 系インターカレーション化合物における T_c の FeSe 層間距離 d 依存性 . $d=$ のデータは FeSe 単層膜のもの .

リア密度の違い、あるいは、格子の局所歪みの違いによるものと推察される。図4において注目すべきことは、 $d \approx 8$ における T_c の値が、最近 FeSe 単層膜の電気抵抗測定から得られた値 $\sim 40\text{K}$ [12,13]とほぼ等しいことである。FeSe 単層膜は d が無限大のインターカレーション化合物と見なすことができるため、この結果は、FeSe の層間を大きな有機分子のインターカレーションによってさらに拡げても、残念ながら、 T_c のさらなる向上は期待できないことを意味している。したがって、1 で述べた $T_c=100\text{K}$ を示した FeSe 単層膜の実験結果[6]は、その再現性のチェックが必要であると思われる。また、FeSe 単層膜における角度分解光電子分光実験では、60K 付近から超伝導ギャップが開くと報告されているが[14]、それは2次元超伝導体において顕著に現れる超伝導ゆらぎによるものであると思われる。実際、 $T_c=40\text{K}$ 程度の FeSe 系インターカレーション化合物における電気抵抗の測定では、60K あたりから超伝導ゆらぎによる電気抵抗の低下が観測されている[15]。

(2) MX_2 については、まず、CDW 転移を示す 1T-TiSe_2 に Li と EDA あるいは HMDA をコインターカレートした $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ と $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ の合成に成功した。さらに、Li のみをインターカレートした Li_xTiSe_2 と EDA のみをインターカレートした $(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ の合成にも成功した。そして、 Li_xTiSe_2 は 2.4K で、 $(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ は 2.8K で、 $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ と $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ は 4.2K で超伝導に転移することが分かった。電気抵抗と磁化率を測定した結果、超伝導を示す試料においては CDW 転移が消失しており、Li から TiSe_2 層へのキャリアドーピングも、EDA や HMDA による TiSe_2 層間距離の増大(あるいは格子の乱れ)も CDW を抑制することが分かった。この結果は、CDW と超伝導が競合関係にあることを意味しているが、 T_c があまり高くないので、常識的には、この超伝導は通常のフォノンを介した電子対形成によるものとして理解することができ、電荷のゆらぎを介した電子対形成が実現しているか否かについては、今後、物性研究によって明らかにする必要がある。また、Li と EDA あるいは HMDA がコインターカレート試料の T_c が Li 単独、あるいは、EDA 単独でインターカレートした試料の T_c よりも高いのは、Li によるキャリアドーピングの効果と有機分子による結晶構造や電子構造の2次元化の効果が相乗的に働いたためと思われる。

次に、半導体である 2H-MoSe_2 に Li と EDA あるいは HMDA をコインターカレートした $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{MoSe}_2$ と $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{MoSe}_2$ の合成に成功した。そして、 $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{MoSe}_2$ は 4.2K で、 $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{MoSe}_2$ は $3.2\text{-}6.0\text{K}$ で超伝導を示すことが分かった。 T_c は MoSe_2 層間距離とは相関がなく、むしろ、磁化率の測定から見

積もったパウリ常磁性の大きさ、すなわち、 MoSe_2 層にドーピングされたキャリア密度と相関があることが分かった。 2H-MoSe_2 は半導体であるがゆえに、超伝導の発現には、まずはキャリア密度が重要であり、FeSe 系インターカレーション化合物の超伝導に重要な2次元性(フェルミ面のネスティング)は不要ということかもしれない。したがって、この系の超伝導は通常のフォノンを介した電子対形成によるものである可能性が高い。

さらに、層状構造を有する半金属である Ta_2PdSe_6 に Li と EDA をコインターカレートした $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Ta}_2\text{PdSe}_6$ の合成に成功した。そして、Li のない $(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Ta}_2\text{PdSe}_6$ は 4.5K で超伝導に転移し、Li もコインターカレートされると超伝導が抑制されることが分かった。したがって、 $(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Ta}_2\text{PdSe}_6$ における超伝導には、層間の拡張による電子構造の2次元化によるフェルミ面の状態密度の増大、または、伝導面の単層化による電子-フォノン相互作用の増大、あるいは、EDA の電子分極を介した電子対形成が効いている可能性がある。

(3) FeSe へのアルカリ金属と 2-PEA のコインターカレーションによって FeSe 層間距離 d が最大の新しい高温超伝導体を発見したが、これまでの T_c の最高値 45K を超えることはなかった。FeSe 単層膜の T_c が 40K 程度であることを考慮すると、今後さらに d の大きな FeSe 系インターカレーション化合物を合成しても、残念ながら、 T_c が $40\text{-}50\text{K}$ より高くなる可能性は少ないと思われる。しかし、FeSe 系よりも電子相関の強いスピンゆらぎの大きな2次元電子系を探索すれば、より高い T_c を持つ高温超伝導体を得る可能性はあると思われる。

また、遷移金属カルコゲナイドへのアルカリ金属と有機分子のインターカレーションによって新しい超伝導体を発見したものの、 T_c は高々 6K であった。 TiSe_2 系インターカレーション化合物においては電荷のゆらぎが、 $(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Ta}_2\text{PdSe}_6$ においては EDA の分極が電子対の形成に寄与している可能性はあるが、このような手法で高い T_c を持つ高温超伝導体を得ることは、残念ながら、かなり難しいように思われる。

<引用文献>

- [1] T. P. Ying et al., Sci. Rep. **2**, 426 (2012).
- [2] A. Krzton-Maziopa et al., J. Phys.: Condens. Matter **24**, 382202 (2012)
- [3] T. Hatakeda et al., J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 123705 (2013).
- [4] S. Hosono et al., J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 113704 (2014).
- [5] H. Abe et al., Physica C **470**, S487 (2010).
- [6] G.-F. Ge et al., Nat. Mater. **14**, 285 (2015)

- [7] J. Guo et al., Nat. Commun. **5**, 4756 (2014).
- [8] S. Hosono et al., J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 013702 (2016).
- [9] S. Hosono et al., J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 104701 (2016).
- [10] T. Hatakeda et al., J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 103702 (2016).
- [11] D. Guterding et al., Phys. Rev. B **91**, 041112(R) (2015).
- [12] Y. Sun et al. Sci. Rep. **4**, 6040 (2014).
- [13] J. Shiogai et al., Nat. Phys. **12**, 42 (2016).
- [14] S. Tan et al., Nat. Mater. **12**, 634 (2013)
- [15] T. Hatakeda et al., J. Phys.: Conf. Ser. **568**, 022032 (2014).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

S. Hosono, T. Noji, T. Hatakeda, T. Kawamata, M. Kato, Y. Koike, Superconductivity and Intercalation State in the Lithium-Hexamethylenediamine-Intercalated Superconductor $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$: Dependence on the Intercalation Temperature and Lithium Content, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **85**, 104701-1-6 (2016)
DOI:10.7566/JPSJ.85.104701

T. Hatakeda, T. Noji, K. Sato, T. Kawamata, M. Kato, Y. Koike, New Alkali-Metal- and 2-Phenethylamine-Intercalated Superconductors $\text{A}_x(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ (A = Li, Na) with the Largest Interlayer Spacings with $T_c \sim 40$ K, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **85**, 103702-1-4 (2016)
DOI:10.7566/JPSJ.85.103702

S. Hosono, T. Noji, T. Hatakeda, T. Kawamata, M. Kato, Y. Koike, New Superconducting Phase of $\text{Li}_x(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)_y\text{Fe}_{2-z}\text{Se}_2$ with $T_c = 41$ K Obtained through the Post-Annealing, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **85**, 013702-1-5 (2016)
DOI:10.7566/JPSJ.85.013702

〔学会発表〕(計15件)

中村慎一郎, 野地尚, 畑田武宏, 佐藤和輝, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, Ta_2PdSe_6 への金属と有機分子のインターカレーションによる新規超伝導体の合成と超伝導特性, 日本物理学会第72回年次大会, 2017年3月17-20日, 大阪大学(豊

中)

T. Hatakeda, T. Noji, K. Sato, T. Kawamata, M. Kato, Y. Koike, Synthesis and Superconductivity of New FeSe-Based Intercalation Compounds $\text{A}_x(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ (A = Li, Na) with the Largest Interlayer Spacings, 29th International Symposium on Superconductivity, 2016年12月13-15日, Tokyo International Forum (東京)

中村慎一郎, 野地尚, 畑田武宏, 佐藤和輝, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, 新規インターカレーション超伝導体 $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{Ta}_2\text{PdSe}_6$ の合成と超伝導特性, 応用物理学会東北支部第71回東北支部学術講演会, 2016年12月1-2日, 東北大学(仙台)

保坂駿介, 野地尚, 佐藤和輝, 畑田武宏, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, 2H-TaS₂ に対するアルカリ金属と有機分子のコインターカレーションによる超伝導化, 応用物理学会東北支部第71回東北支部学術講演会, 2016年12月1-2日, 東北大学(仙台)

佐藤和輝, 野地尚, 畑田武宏, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, 金属と有機分子のコインターカレーションによる新規 MoSe₂ 系超伝導体の合成, 日本物理学会 2016年 秋季大会, 2016年9月13-16日, 金沢大学(金沢)

畑田武宏, 野地尚, 佐藤和輝, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, 環状基を有するインターカレーション超伝導体 $\text{A}_x(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{N})_y\text{Fe}_{1-z}\text{Se}$ (A=Li, Na) の結晶構造と T_c のキャリア濃度依存性, 日本物理学会 2016年 秋季大会, 2016年9月13-16日, 金沢大学(金沢)

保坂駿介, 野地尚, 佐藤和輝, 畑田武宏, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, エキソチック絶縁体 Ta_2NiSe_5 のアルカリ金属・有機分子コインターカレーション効果, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19-22日, 東北学院大学(仙台)

畑田武宏, 野地尚, 細野祥平, 佐藤和輝, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, 金属とフェニル基を有する有機分子のコインターカレーションによる新 FeSe 系超伝導体の合成, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19-22日, 東北学院大学(仙台)

佐藤和輝, 野地尚, 畑田武宏, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, アルカリ金属と有

機分子をコインターカレートした TiSe_2 の超伝導, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 19-22 日, 東北学院大学 (仙台)

Y. Koike, Superconductivity in metal- and organic-molecule-intercalated FeSe, International Workshop on Superconductivity and Related Functional Materials 2016 (招待講演), 2016 年 3 月 17 日, 東北大学 (仙台)

佐藤和輝, 野地尚, 畑田武宏, 川股隆行, 加藤雅恒, 小池洋二, アルカリ金属と有機分子のコインターカレーションによる新規超伝導体 $\text{Li}_x(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_y\text{TiSe}_2$ の合成と超伝導特性, 応用物理学会東北支部第 70 回東北支部学術講演会, 2015 年 12 月 3-4 日, 南田温泉ホテルアップルランド (平川)

小池洋二, FeSe-アルカリ金属-有機分子インターカレーション化合物の超伝導, 東京大学物性研究所短期研究会 (招待講演), 2015 年 11 月 26-28 日, 東京大学物性研究所 (柏)

Y. Koike, Superconductivity in alkali-metal- and organic-molecule-intercalated FeSe, 28th International Symposium on Superconductivity, (招待講演), 2015 年 11 月 16-18 日, タワーホール船堀 (東京)

Y. Koike, T. Hatakeda, S. Hosono, T. Noji, T. Kawamata, M. Kato, K. Kurashima, Superconductivity in alkali-metal- and linear-organic-molecule-intercalated FeSe, The 11th International Conference on Materials & Mechanisms of Superconductivity, 2015 年 8 月 23-28 日, Geneva (Switzerland)

Y. Koike, Superconductivity in FeSe-based intercalation compounds, The 8th International Conference on Advanced Materials (招待講演), 2015 年 7 月 7-10 日, Bucharest (Romania)

[その他]

ホームページ等

<http://www.apph.tohoku.ac.jp/low-temp-lab/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小池 洋二 (KOIKE, Yoji)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 7 0 1 3 4 0 3 8

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

野地 尚 (NOJI, Takashi)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 5 0 1 8 0 7 4 0

川股 隆行 (KAWAMATA, Takayuki)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 0 0 4 3 1 6 0 1

(4) 研究協力者

畑田 武宏 (HATAKEDA, Takehiro)
東北大学・大学院工学研究科

細野 祥平 (HOSONO, Shohei)
東北大学・大学院工学研究科

佐藤 和輝 (SATO, Kazuki)
東北大学・大学院工学研究科

保坂 駿介 (HOSAKA, Shunsuke)
東北大学・大学院工学研究科

中村 慎一郎 (NAKAMURA, Shin-ichiro)
東北大学・大学院工学研究科