

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 9日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350055

研究課題名（和文） 電子構造を任意に設計できる可溶性半導体の開発と素子機能の基礎研究

研究課題名（英文） Design of soluble semiconductors and study on their device functionality

研究代表者

稲辺 保（INABE TAMOTSU）

北海道大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：20168412

研究成果の概要（和文）：可溶性金属-ハロゲン化合物有機・無機複合ペロブスカイトについて、有機カチオン、金属、ハロゲンの選択による電子構造・ドーピング量・電気物性の変化の系統的な調査と、溶液プロセス可能な有機半導体材料も含め、ドーピング手法開発とデバイス構築の可能性について調べた。ヨウ化スズ系について高伝導性の起源を明らかにした。また、有機半導体について接触型ドーピングという新しいキャリア注入の手法の開拓と電子状態の変化について調べた。

研究成果の概要（英文）：Systematic investigation of the electronic structure, doping level, transport properties of the solution processable organic-inorganic hybrid perovskites was performed. Design of the novel doping method and device construction including organic semiconductors was also examined. As for the tin-iodide system, the origin of the high conductivity was clarified by this study. As for the organic semiconductors, novel concept of doping at the contact interface was proposed, and the electronic state at the interface was studied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2012年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：可溶性半導体・ドーピング・ヨウ化スズ・有機無機複合ペロブスカイト・半導体素子

1. 研究開始当初の背景

ペロブスカイト化合物は機能の宝庫とされているが、電子機能に関しては酸化物の研究が圧倒的に多い。しかし、酸化物は素子化のための加工が難しい。一方、ハロゲン化合物ペロブスカイトは溶液から得られるものも多く、電子材料として魅力的である。しかし、半導体材料として活用されるには、ドー

ピングによる電気特性の制御が可能だが必要であり、この条件を満たすものはこれまで知られていなかった。

一方、スズとヨウ素からなる立方晶ペロブスカイト、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ は、高伝導性を示すことが報告されており（Mitzi, et al., *J. Solid State Chem.*, **1995**, *114*, 159）、さらに、有機カチオン R-NH_3 によってペロブスカイト層を分断

した一連の有機無機複合層状化合物 $(R-NH_3)_2(MeNH_3)_{n-1}Sn_nI_{3n+1}$ は、ペロブスカイト層の厚さ (n) によって導電性が絶縁体→金属へと変化すると報告された (Mitzi, et al., *Nature*, **1994**, *369*, 467)。しかし、これらの化合物は化学的に不安定であり、電気物性の測定は粉末の圧縮ペレットに対して電極を押し当てる形で測定されていた。この方法ではデータの信頼性は低く、新しい電子材料として注目されてはいたが、研究は進展しなかった。その様な状況のもと我々は単結晶試料に対して、化学活性の低いカーボンペーストを用い、接触抵抗を 100~1000 Ω まで低下させることに初めて成功した。この方法で、単結晶の比抵抗を測定したところ、絶縁体と言われていた $n = 1$ の化合物でも高伝導性を示すものがあることが明らかになった。

一方、 $n = 1$ の化合物について、カチオンを変化させ、構造を調べ、バンド計算を行ったところ、どの化合物もエネルギーギャップが 1 eV 以上ある典型的な半導体であることがわかった。この結果は、電気伝導性と大きく食い違っており、その詳細を調べるために、単結晶を用いて熱電能を測定した結果、キャリアがホールであり、温度変化を示さないことから不純物半導体であることが判明した。そこで、人為的なホールドーピング実験を行ったところ、伝導度を向上させることに成功し、*as-grown* 結晶でも自発的なホールドーピングが起こるために高伝導性となることを示した (*Chem. Mater.* **2007**, *19*, 6312)。

2. 研究の目的

以上の成果から、一連のヨウ化スズペロブスカイト化合物は、有機カチオンによってバンド構造が可変であり、さらにホールドーピングによって電気特性も可変な半導体材料である事が解る。特にエタノールのような有機溶媒に可溶性優れた加工特性を持つ有用な化合物であることは特筆に値する。しかし、この化合物の単結晶物性測定に成功したのは世界中で我々のグループだけであり、物質設計の自由度が豊富であるがデータの蓄積はほとんどないため、この物質の機能材料としての可能性を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、ヨウ化スズ系を中心にカチオン種および層構造と電子構造・ドーピング量・電気物性について系統的に調べ、電子構造/物性設計の指針を見いだすことを第一の目的とした。さらに、溶液プロセス可能な半導体材料として実際にデバイス構造を構築し性能を調べることも目的の一つとした。また、化学的安定性については、純粋なヨウ化スズ系が不安定であるのに対して、スズと鉛の合金化が可能であることから、合金化による安定性の改善についても同時に検討することとした。

上記研究と平行して、デバイス構造の構築に有効と考えられる接触型ドーピングについて、有機半導体を中心に調べ、キャリア注入や導電性の変化の機構について明らかにすることも一つの目的とした。

3. 研究の方法

(1) 物質探索/合成

層状ペロブスカイト化合物の設計には以下のように複数のパラメータがある。

有機カチオン：アンモニウム系のカチオンを用いるが、結晶中では末端アンモニウム基がヨウ化スズペロブスカイト骨格のヨウ素と水素結合で固定化される。カチオンの選択によって骨格構造のひずみが変わり、バンド構造 (価電子帯の幅、バンドギャップ幅) が変化する。これまでの、 $n = 1$ のいくつかの結晶データに加え、その他の様々なカチオン (直鎖および環状アルキルアンモニウム、*p*-置換ピリジニウム、鎖状および環状ジアンモニウム、等) を用いて結晶を作製し、カチオンと電子構造との関係を系統的に調べる。

層の厚さ：層の厚さが増えるに従って価電子帯、伝導帯の幅は広がり、バンドギャップは小さくなる。 $n = \infty$ では第一原理計算ではバンドギャップは 0.4 eV 程度まで狭まるが、この物質の電子構造と物性の食い違いに関しては未解決であり研究対象物質の一つとする。 $n = 1$ については有機カチオンの選択によりバンドギャップは 1.4~4.0 eV の範囲で可変であることから、カチオンの選択と層の厚みによって広範囲 (0.4~4.0 eV) にバンドギャップが制御できる。

Pb-Sn の組成：Pb との合金化は化合物の安定化への効果を調べるためにも行われるが、バンドギャップの制御にも活用できる。ヨウ化鉛の層状ペロブスカイトはスズ系に比べ 0.5~0.8 eV バンドギャップが広がることから、合金化をパラメータに加えられるように、いくつかの組成で化合物を合成し、バンドギャップとの関係を調べる。

結晶の作製は目的物の組成に対応する比率の原料を含む溶液を加熱により調整後、温度を精密に制御した恒温槽で徐冷することで行う。溶媒は基本的に脱水エタノールを用いるが、蒸留したヨウ化水素酸水溶液を用いることも可能であり、両者でドーピング効果を比較する。また、スズ、鉛のヨウ化物系に加え臭化物系も対象とする。

(2) ドーピング制御

これまでの研究では $n = 1$ の化合物 (カチオンは PEA (phenylethylammonium)) に対してホールドーピング実験を行った。結晶作製時に、 Sn^{2+} の一部を Sn^{4+} に置換する方法でアクセプタ準位が形成され、伝導度は向上するが、ドーピング量は低かった。ホールドー

ングを形式的に Sn^{4+} が Sn^{2+} サイトに置換されたと考えると、組成は $(\text{cation})_{2-2x}(\text{Sn}^{2+})_{1-x}(\text{Sn}^{4+})_x\text{I}_4$ となり、カチオン（またはプロトン）欠損を伴うことになる。従って、ドーピング量の制御にはカチオンの設計も重要である。

そこで、ジカチオン系に注目した。モノカチオンの場合、ドーピングに伴うカチオンサイトの正電荷の欠損は、カチオンが丸ごと欠損するか、プロトン化されていない中性分子によるカチオンサイトの置換が必要であるが、この制御は容易ではない。しかし、アンモニウム基がペロブスカイト層と水素結合で固定化されることを考慮すると、不完全にプロトン化したジカチオン系または類似構造のモノカチオンを用いることで半ば強制的に正電荷欠損を導入できる（図1）。そこで、種々のジアミン系分子を用い、結晶作製時の Sn^{4+} の添加とカチオン欠損を同時に導入する形でドーピング量の人為的な制御を行う。

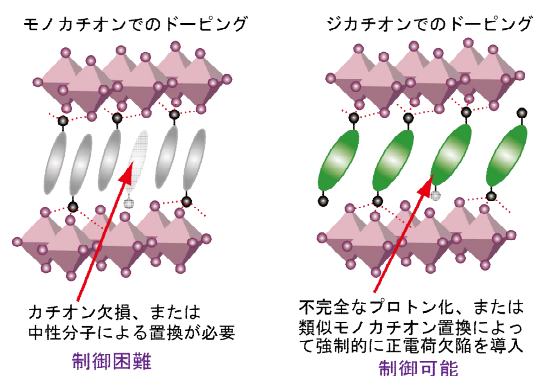


図1 ジカチオンを用いたドーピング

上記実験と平行して、強力なドナーやアクセプタを接触させることで界面に導電性を生み出す接触型ドーピングについても実験を行う。対象となる半導体は単成分有機結晶、基底状態が様々な電荷移動錯体結晶等であるが、雛形となっている TTF (tetrathiafulvalene) + TCNQ (7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane) の系での界面での高伝導化 (Alves, et al., *Nat. Mater.* 2008, 7, 574) の機構について最初に調べ、次いで donor + acceptor 系、電荷移動 (CT) 錯体 + donor (or acceptor) 系へと実験を拡張する。実験手法としては界面の伝導度測定、ラマン散乱、AFM 測定、粉末混合試料については IR 等の分光測定を行う。

(3) 構造解析・バンド計算・物性測定・半導体としての機能評価

ペロブスカイト骨格構造の詳細を知るために X 線単結晶構造解析を行う。ドーピングを行った試料については、骨格構造が保持されているか、ドーピング量の増加に伴う超格子構造の可能性、結合距離の変化について X

線回折によって調べる。得られた原子パラメータを用いてバンド計算を拡張ヒュッケル法で行う。また、光学物性測定によりバンド計算結果との対応を調べる。より正確なバンド計算が必要な系 ($n = \infty$) については第一原理計算によってバンド構造を求める (共同研究)。物性測定については as-grown 結晶とドーピングを行った結晶について、電気物性の測定を中心に進める。ドーピング効果を最も端的に調べる方法としては電気伝導度が有効である。ドーピング量が少ない場合、アクセプタ準位は価電子帯のすぐ上に形成されるが、ある程度ドーピング量が増加するか価電子帯のバンド幅が十分に広い場合ギャップは無くなり、低温まで金属的な伝導度を示すようになる。おそらく $n = \infty$ ではこのような状況になっていると考えられ、熱電能の測定によって電子状態を調べる。前者の状況では温度変化がほとんどない不純物半導体として振舞うが、後者では温度に比例した金属的な挙動となることから、実際に温度変化の測定によりバンド構造の情報を得る。また、Hall 効果の測定によって正確にドーピング量を決定し、移動度がドーピング量でどのように変化するか調べる。移動度の高い p-型半導体としての特徴を持つことから、その機能性については実際にデバイス構造を作り調べる。最も単純な構造である FET について、単結晶およびスピコート膜の試料についてボトムコンタクトの手法で調べる。

4. 研究成果

(1) ヨウ化スズ系

$n = 1$ の層状ペロブスカイト系 $(\text{R-NH}_3)_2\text{SnI}_4$ について、ジカチオンを用いたドーピングの候補として $\text{H}_3\text{N}-(\text{CH}_2)_m-\text{NH}_3$, $m = 4, 5$ (C*mdi*) を取り上げ、集中的に実験を行った。(C4*di*) SnI_4 の as-grown 結晶は 250 K 付近で相転移を起こし、低温相でバンドギャップが若干増加 (1.69 eV \rightarrow 1.87 eV) することが分かった。室温比抵抗は 7000 Ω cm で転移点で小さな異常が現れるが、温度変化はスムーズで活性化エネルギーが 0.015 eV と求められた。従って、as-grown 状態で微量ではあるが自発的ドーピングが起こっていることを確認した。(C5*di*) SnI_4 の as-grown 結晶は相転移は示さないが、バッチによって 2 桁以上室温比抵抗値の異なる結晶が得られた (max: 1800 Ω cm, min: 5 Ω cm)。伝導の活性化エネルギーは両者ともに 0.01 eV 前後であることから、結晶成長条件によって自発的ドーピングのレベルが変化する特異な系であることが分かった。

人為的ドーピングについては以下の 2 種の方法を用いた。① SnI_2 の一部を SnI_4 に置換するがジカチオンの化学量論は固定。② SnI_2 の一部を SnI_4 に置換すると同時にジカチオン

の一部をモノカチオンに置換。①の方法で作製した *doped* 結晶は、(C4di)SnI₄でも(C5di)SnI₄でも比抵抗値が *as-grown* 結晶とほとんど変化しなかったが、②の手法で作製した結晶は、(C4di)SnI₄では *as-grown* に比べ2桁程度の比抵抗の低下が認められ、(C5di)SnI₄では最も低抵抗な *as-grown* 結晶に比べ1桁以上の抵抗の低下が認められた。以上の結果から、ヨウ化スズ系の人為的なホールドーピングには Sn^{IV}の添加に加えて、カチオン電荷欠損を積極的に行うことが有効であることが明らかとなった。

$n = \infty$ の立方晶ペロブスカイト CH₃NH₃SnI₃については、第一原理計算によるバンド計算により、0.4 eV 程度のバンドギャップのある半導体であることを確認した。次いで単結晶試料を用いた構造決定と輸送特性の測定に初めて成功している。熱電能が正でありフェルミエネルギーが非常に小さいことからこの物質の金属的な輸送特性が自発的ホールドーピングによって価電子帯上端にキャリアがドーピングされていることが示唆された。実際、Sn^{IV}の添加による人為的ドーピングを行うと比抵抗は1桁以上低下し、熱電能の傾きも小さくなることを見出した(図2)。しかし、ドーピングレベルはかなり低く通常の分析手法では定量的に見積ることができなかった。

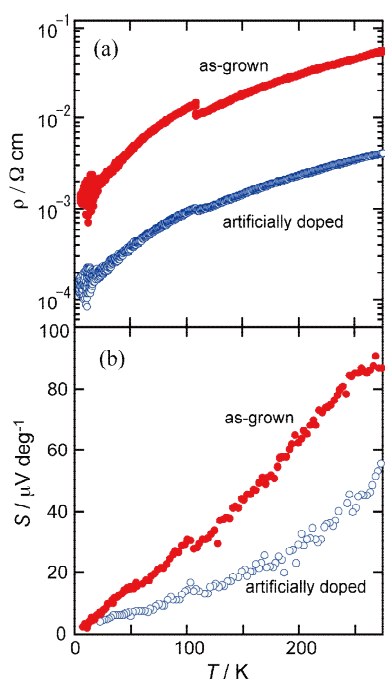


図2 CH₃NH₃SnI₃ 単結晶の(a)比抵抗と (b)熱電能

そこで、このホール濃度を Hall 効果の測定によって定量的に決定した。さらに、ドーピング量が人為的なホールドーピングによって増加するが移動度の挙動には何も影響を

及ぼさないことから、この物質の金属的な輸送特性が *extrinsic* な要因で生じていることを明らかにした。

(2) (Pb,Sn)-X 系

層状ペロブスカイト化合物の合金系の作製にあたり、有機カチオンは以下の条件を満足する必要がある。①Pb-X 系と Sn-X 系で結晶構造が同形である。②両系ともある程度溶解する共通の溶媒があること。PEA については①の条件を満たしていることが知られていたが、②としてヨウ化水素酸以外の有機溶媒の探索も行い、THF, DMF 等に可溶であることを見出した。また、他のカチオン系として CEA (cyclohexenylethylammonium), CPA (cyclopentylammonium)を新たに対象として調べ、①の条件を満たすことを明らかにしたが、②の条件を理想的に満足する溶媒は残念ながら見つからなかった。立方晶ペロブスカイトについてはヨウ化水素酸を用いて混晶の作製を行い、整流効果を示す電流-電圧特性が得られ、組成分布が一様ではないため単結晶内に半導体-半導体疑似接合ができていることが示唆された。

デバイス化に向けて上記の合金系について薄膜の作製を試みた。(PEA)₂(Sn,Pb)I₄については THF を用いスピコートまたはキャストによる薄膜作製を行い、ペロブスカイト層が基板に平行となる高配向な膜ができることが分かった。しかし、バルク結晶では顕著であった整流効果はほとんど現れなくなり、組成分布の均質化が示唆される。また、FET 特性も調べ、p 型として動作することは確認されたが移動度は低かった。CH₃NH₃-(Sn,Pb)I₃についても薄膜化が可能な有機溶媒系を見出すことには成功しており、デバイス化への糸口を掴むことができた。

(3) 接触型ドーピング

TTF + TCNQ の系について、TCNQ を基板結晶として TTF の粉末を接触させ、一定時間放置後に粉末を除去することで剥き出しの接触界面の作製に成功した。この試料を用いてラマン散乱を測定し、TCNQ の存在を確認し TTF からの電荷注入が起きていることが確認された。さらに、TTF-TCNQ 錯体に由来するピークも観測され、AFM によっても針状結晶が生成していることを見出しており、界面では TTF-TCNQ 錯体ナノ結晶が同時に生成していることも見出された。つまり、この系では接触によって注入された電子と分子レベルでの反応によって生成した TTF-TCNQ 錯体の両方が伝導を担っていることを明らかにした。導電性錯体を形成しない *donor* と *acceptor* の組合せについて、同じ実験を行うことで、前者の機構のみでも高伝導化が起ることも確認している。

一方、後者の機構に注目すると、基板の半導体は単成分の有機物に限定されない。TCNQ を acceptor 成分とする CT 錯体を基板結晶とすることで TTF と接触させて界面に導電性の TTF-TCNQ 錯体を形成させ高伝導性の界面を作り出すことも可能である。この場合、基底状態が中性で、交互積層型の CT 錯体を基板結晶として用いると高配向の TTF-TCNQ ナノ結晶が生成した高伝導性の表面となることが見出された。

基底状態がイオン性の CT 錯体を用いた場合でも、錯体中の donor 成分に比べ、接触させる donor の相対的強度が強ければ、錯体から acceptor 成分を引抜き界面に新たな錯体が再形成される。この際、接触させた成分から基板 CT 錯体への電荷注入が必然的に起こることから、上記とは異なる機構の高伝導化が起こる可能性がある。そのような例として、有機 Mott 絶縁体である ET-F₂TCNQ (ET = bis(ethylenedithia)tetrathiafulvalene, F₂TCNQ = 2,5-difluoro-TCNQ) を基板結晶として TTF と接触させた界面について調べた。その結果、界面には TTF-F₂TCNQ が形成されていることが確認されたが、この錯体も基板結晶も絶縁体であるにもかかわらず高伝導化が認められた。これは TTF から基板結晶への電荷注入が起こり Mott 絶縁状態が破壊されたために高伝導化が起きたと考えられ (図 3)、有機 Mott 絶縁体へのドーピングの新しい方法として注目される。

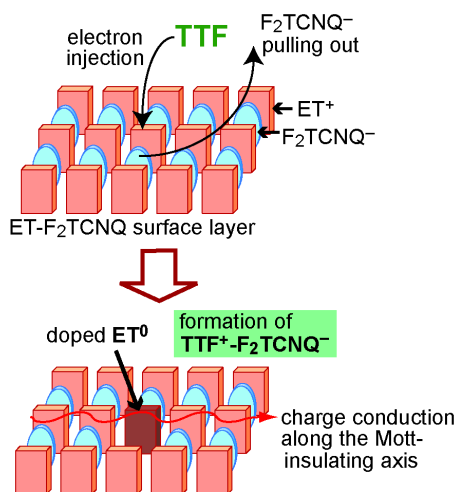


図 3 ET-F₂TCNQ + TTF 系での高伝導化機構

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① T. Miyahira, H. Hasegawa, Y. Takahashi, T. Inabe, "Electrochemical Crystallization of

Organic Molecular Conductors: Electrode Surface Conditions for Crystal Growth", Cryst. Growth Des., 査読有、in press, 2013
DOI: 10.1021/cg301852k

- ② Y. Nakagawa, Y. Takahashi, J. Harada, T. Inabe, "The bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene based ionic charge-transfer complex with 2,3-dichloro-5,6-dicyano-*p*-benzoquinone", Acta Crystallogr. Sect. C, 査読有、69, 400-402, 2013

DOI: 10.1107/S0108270113003685

- ③ T. Naito, T. Karasudani, S. Mori, K. Ohara, K. Konishi, T. Takano, Y. Takahashi, T. Inabe, S. Nishihara, K. Inoue, "Molecular Photoconductor with Simultaneously Photocontrollable Localized Spins", J. Am. Chem. Soc., 査読有、134, 18656-18666, 2012

DOI: 10.1021/ja306260b

- ④ T. Naito, T. Karasudani, K. Ohara, T. Takano, Y. Takahashi, T. Inabe, K. Furukawa, T. Nakamura, "Simultaneous Control of Carriers and Localized Spins with Light in Organic Materials", Adv. Mater., 査読有、24, 6153-6157, 2012

DOI: 10.1002/adma.201203153

- ⑤ Y. Takahashi, Y. Nakagawa, K. Hayakawa, T. Inabe, T. Naito, "Carrier doping to the organic Mott insulator by conjugating with tetrathiafulvalene", Appl. Phys. Lett., 査読有、101, 103303(1-4), 2012

DOI: 10.1063/1.4750066

- ⑥ Y. Takahashi, K. Hayakawa, T. Naito, T. Inabe, "What Happens at the Interface between TTF and TCNQ Crystals (TTF = Tetrathiafulvalene and TCNQ = 7,7,8,8-Tetracyanoquinodimethane)?", J. Phys. Chem. C, 査読有、116, 700-703, 2012

DOI: 10.1021/jp2074368

- ⑦ Y. Takahashi, R. Obara, Z. Lin, Y. Takahashi, T. Naito, T. Inabe, S. Ishibashi, K. Terakura, "Charge-Transport in Tin-Iodide Perovskite CH₃NH₃SnI₃: Origin of High Conductivity", Dalton Trans., 40, 査読有、5563-5568, 2011

DOI: 10.1039/c0dt01601b

- ⑧ T. Naito, A. Kakizaki, T. Inabe, R. Sakai, E. Nishibori, H. Sawa, "Growth of Nanocrystals in a Single Crystal of Different Materials: A Way of Giving Function to Molecular Crystals", Cryst. Growth Des., 査読有、11, 501-506, 2011

DOI: 10.1021/cg101295p

[学会発表] (計 76 件)

- ① 長谷川裕之, 大崎剛, 工藤勇, ロレーナジーヤンカルロ, 高橋幸裕, 原田潤, 稲辺保, 有機・無機ハイブリッド半導体の物性とデバイス化、日本化学会第 93 春季年会、

2013. 3. 22-3. 25、立命館大学びわこ・くさつキャンパス(草津市)
- ② ロレーナ ジーヤンカルロ, 高橋幸裕, 長谷川裕之, 原田潤, 稲辺保, 有機・無機ハイブリッド層状ペロブスカイト化合物 A_2MX_4 (M= Pb, Cu and X= Cl, Br, I)の構造と物性、日本化学会第 93 春季年会, 2013. 3. 22-3. 25、立命館大学びわこ・くさつキャンパス(草津市)
- ③ G. S. Lorena, T. Osaki, Y. Kudo, H. Hasegawa, Y. Takahashi, J. Harada, T. Inabe, Crystal Structure and Properties of Organic-Inorganic Hybrid Perovskites based on A_2MX_4 (where A= Organic ammonium, M= Pb, Cu and X= Cl, Br, I), ElecMol'12, 2012. 12. 3-12. 7、MINATEC HOUSE in Grenoble (France)
- ④ Y. Takahashi, Y. Nakagawa, K. Takayama, J. Harada, T. Inabe, The metallic transport properties at contact the interface of donor and acceptor molecular crystals, ElecMol'12, 2012. 12. 3-12. 7、MINATEC HOUSE in Grenoble (France)
- ⑤ T. Inabe, Y. Takahashi, H. Hasegawa, J. Harada, Charge Transport at the Crystal-to-Crystal Interface, MDF2012, 2012. 12. 1-12. 4、宮崎国際会議場 (宮崎市)
- ⑥ 工藤勇, 大崎剛, ロレーナ ジーヤンカルロ, 長谷川裕之, 高橋幸裕, 原田潤, 稲辺保, (Pb,Sn)-I系層状ペロブスカイト型化合物の構造と電子機能、第6回分子科学討論会、2012. 9. 18 -9. 21、東京大学本郷キャンパス(東京都)
- ⑦ 長谷川裕之, 大崎剛, 工藤勇, ロレーナ ジーヤンカルロ, 高橋幸裕, 原田潤, 稲辺保, ハロゲン化スズペロブスカイト化合物の電子物性、第6回分子科学討論会、2012. 9. 18-9. 21、東京大学本郷キャンパス(東京都)
- ⑧ 高橋幸裕, 横倉聖也, 中川裕貴, 三笠仁裕, 長谷川裕之, 原田潤, 稲辺保, 分子結晶接触界面へのキャリア注入、第6回分子科学討論会、2012. 9. 18-9. 21、東京大学本郷キャンパス(東京都)
- ⑨ 高橋由香利, 長谷川裕之, 高橋幸裕, 稲辺保, Sn-I系ペロブスカイト型化合物へのドーピングによる導電性制御の試み、日本化学会第92春季年会, 2012. 3. 25-3. 28、慶応義塾大学日吉キャンパス(横浜市)
- ⑩ 長谷川裕之, 大崎剛, 工藤勇, 高橋由香利, 高橋幸裕, 稲辺保, 臭化スズ系有機・無機ハイブリッド半導体へのドーピング効果、日本化学会第92春季年会, 2012. 3. 25-3. 28、慶応義塾大学日吉キャンパス(横浜市)
- ⑪ 工藤勇, 高橋由香利, 高橋幸裕, 長谷川裕之, 稲辺保, (Pb,Sn)-I系層状ペロブスカイト型化合物の電子機能開拓、日本化学会第92春季年会, 2012. 3. 25-3. 28、慶応義塾大学日吉キャンパス(横浜市)
- ⑫ 高橋由香利, 長谷川裕之, 高橋幸裕, 稲辺保, 有機ジカチオンを用いた有機・無機複合 Sn-I系層状ペロブスカイト型化合物へのカチオン欠損による導電性制御の試み、第5回分子科学討論会, 2011. 9. 20-9. 23、札幌コンベンションセンター(札幌市)
- ⑬ 長谷川裕之, 工藤勇, 高橋由香利, 高橋幸裕, 稲辺保, 臭化スズ系有機・無機ハイブリッド半導体の構造と物性、第5回分子科学討論会, 2011. 9. 20-9. 23、札幌コンベンションセンター(札幌市)
- ⑭ Y. Kudo, Y. Takahashi, Y. Takahashi, T. Inabe, T. Naito, Physical and FET Properties of Alloyed Organic-Inorganic Hybrids, ECME2011, 2011. 7. 7-7.10, Auditorio Axa in Barcelona (Spain)
- ⑮ Y. Takahashi, Y. Takahashi, T. Inabe, T. Naito, Hole Doping in Soluble Organic-Inorganic Hybrid Perovskites using organic dications, ECME2011, 2011. 7. 7-7.10, Auditorio Axa in Barcelona (Spain)
- ⑯ Y. Takahashi, Z-Z Lin, Y. Takahashi, T. Naito, T. Inabe, Hole doping in soluble organic-inorganic hybrid perovskites, PACIFICHEM2010, 2010. 12. 15-12. 20, HAWAII CONVENTION CENTER (U.S.A.)
- ⑰ Y. Takahashi, Y. Takahashi, T. Inabe, Hole Doping in Soluble Organic-Inorganic Hybrid Semiconductors Using Organic Dications, ICSM 2010, 2010. 7. 4-7. 9, Kyoto International Conference Center (Kyoto)
- ⑱ 高橋由香利, Lin Zheng-Zhong, 高橋幸裕, 内藤俊雄, 稲辺保, Sn-I系ペロブスカイト型化合物へのドーピングの試み、第4回分子科学討論会, 2010. 9. 14-9. 17, 大阪大学豊中キャンパス(大阪市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲辺 保 (INABE TAMOTSU)
北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号：20168412

(2) 連携研究者

高橋 幸裕 (TAKAHASHI YUKIHIRO)
北海道大学・大学院理学研究院・助教
研究者番号：40443197
原田 潤 (HARADA JUN)
北海道大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号：00313172