

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26288029

研究課題名(和文) 化学的電荷注入による結晶表面電子機能開拓

研究課題名(英文) Design of crystal surface electronic functionality by chemical charge injection

研究代表者

稲辺 保 (INABE, TAMOTSU)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20168412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：電荷注入の手法として接触型ドーピングという機能設計を提案した。界面では、電荷注入のみが起こる場合と、分子性錯体が形成される場合がある。

単成分母体結晶の場合、蒸気圧の低い接触物質との界面では電子のやり取りのみが起こるが、酸化還元電位の差から電荷注入が起こらないと予想される場合でも伝導度が増加することが見出された。母体結晶が中性基底状態のTCNQ錯体の場合、TTF蒸気との接触で表面にナノサイズのTTF-TCNQ針状結晶が高秩序に配列した薄膜が形成されることを見出した。母体結晶が分離積層構造のアニオンラジカル塩の場合、強力な受容体と接触させることで絶縁体状態にホールが注入されることを見出した。

研究成果の概要(英文)：We proposed contact-doping as a novel method of charge-injection. At the interface, pure charge-injection occurs in some cases, but in other cases molecular-complex-formation might occur at the same time.

When the substrate is single-component crystals, pure charge-injection occurs by contacting donor or acceptor crystals with a low vapor pressure. Even for the combination in which charge-injection is not expected to occur due to large difference between the redox potentials of the donor and acceptor, it has been found that the conductivity at the interface is increased. When the substrate is mixed-stacked TCNQ charge-transfer complexes with a neutral ground state, it has been found that conducting thin films of highly oriented nano-size TTF-TCNQ needle-crystals are formed by contacting a TTF vapor. When the substrate is segregated-stacked TCNQ anion radical crystals, it has been found that holes can be doped at the interface in the insulating state by contacting strong acceptors.

研究分野：固体化学

キーワード：分子性結晶 電荷注入 電子機能化

1. 研究開始当初の背景

有機エレクトロニクスの研究は世界中で活発に進められている。有機物質の優位性は軽量、機械的柔軟性、加工性、化学的柔軟性であり、特に分子レベルでの設計・合成の多様性は無機物質では到底真似のできない優れた点である。しかし、電子構造制御のためのドーピングが困難な点が有機エレクトロニクスの開発において問題となっている。有機物質でのドーピングの難しさは、母体格子を保ったまま異種分子を溶解するのが難しいことに起因する。分子結晶では固体の形成は限られた例でしか実現されず、さらに電子供与性/受容性をもつゲスト分子を格子に溶かしこむにはかなりの制約がある。

バルク結晶深部へのドーピングは困難であるが、結晶の表層では事情は異なる。分子結晶の表面が、無機結晶の表面と異なる点はダングリングボンドが無い点で、表面でも結晶格子は維持されている。言い換えれば表面の分子は強固に格子に束縛されていないため、再配列や界面での分子の移動も含んだ“柔軟性”を持っている。この特徴を端的に表しているのが“mechanochemistry”で、二種類の固体を乳鉢で混ぜるだけで分子錯体の形成が起こりうる (Braga & Grepioni, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2004**, 43, 4002)。この現象の詳細が解明されている訳ではないが、結晶の表面分子が(他の結晶の)異種分子と接触することで反応を起こしている。つまり、分子結晶の表面はある意味“活性”であり、異種物質(分子)と接触することで、酸化還元反応が起これば電荷の注入が起こり、錯形成を起こす場合は分子移動を伴う新しい物質相の形成が起こることになる。

そのような接触界面での反応が改めて注目されるきっかけになったのは、電子供与体 TTF の単結晶と電子受容体 TCNQ の単結晶を貼り合わせることで金属的な性質を示す界面ができるという報告であった (Alves, et al., *Nature Mater.*, **2008**, 7, 574)。著者等の解釈では TTF 結晶から TCNQ 結晶への接触界面を通しての電子注入ということであったが、我々の実験では接触界面では TTF と TCNQ の酸化還元反応に伴う電子注入だけでなく、導電性結晶である TTF-TCNQ 錯体のナノ結晶が界面で形成され(図1) これら二つの効果で金属的な導電性が実現されていることを明らかにした (*J. Phys. Chem. C*, **2012**, 116, 700)。

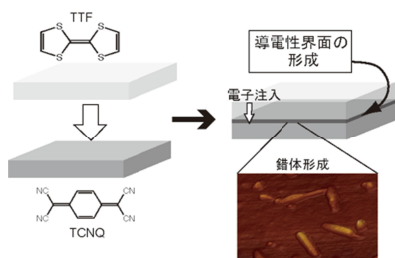


図1 TTF/TCNQ 接触界面

2. 研究の目的

分子結晶の表面に異種分子結晶を接触させることで、新しい物質相または電子構造層が構築される現象は化学的電荷注入と考えることができる。つまり、結晶 A と結晶 B の構成分子の酸化還元能に差がある場合、接触させることで電子が一方から他方へ移動する現象が起こり表層へ電荷が注入される。さらに、A-B という電荷移動錯体の形成がエネルギー的に有利であれば、接触界面で分子の移動を伴った錯体の形成が起きるが、この現象は「電荷注入 + 分子移動」の複合過程と考えることができる。そこで、本研究ではこの現象を新しいドーピング手法とみなし、異種分子結晶の接触による界面導電層の形成の機構、条件、機能の詳細を調べることを目的とする。視点を変えると、この手法は無機半導体で行われている「ヘテロ接合」界面の形成と共通する面があるが、特に重要なのは、二種の結晶の酸化還元電位が重要な因子となる点で、表面導電層のフェルミ準位はショットキー障壁を形成せず、基板となる有機半導体の価電子帯または伝導帯と必然的にマッチすることである。この特徴は電極からの電荷注入におけるバリアの軽減に有効で、デバイスへの展開に対して有用である。

ドーピングを受ける結晶は半導体また絶縁体で、ここではこれらを母体結晶と呼ぶ。接触によってドーピングを起こす物質には高い酸化還元能が必要で、ここではこれらを接触物質と呼ぶ。本研究では、母体結晶として共役系分子の単成分結晶、中性基底状態の電荷移動錯体結晶、アニオンラジカル塩等の半導体結晶を対象とし、接触物質としては電子を注入する能力の高い電子供与体結晶、電子を引抜く能力の高い電子受容体結晶を用い、母体結晶の電子状態によって、どのような組合せで、どのような機構で結晶表層の電子状態変調、界面構造変化が起こるかを明らかにする。また、これらの化学的電荷注入によって変調を受けた表層と母体結晶との界面は、半導体-半導体接合、半導体-金属接合となっており、半導体デバイス構成の基盤となることも考えられる

3. 研究の方法

接触物質によって起こるドーピングは母体結晶の電子状態によって多様に変化する。どのような現象が起こりうるかそれぞれの母体結晶について以下にまとめる。

(1) 単成分結晶

電荷注入を受けるために母体結晶の構成分子は酸化還元能を持たなければならない。例えば電子供与体の場合、接触物質は電子受容体となり、両者の接触により母体結晶にはホールが注入される。両成分が電荷移動錯体を形成しない場合は、注入されたホールが電荷キャリアとなり母体半導体の表層が導電性を帯びる。もし、電荷移動錯体が形成される組合せであれば、負の電荷を帯びた接触物

質の電子受容体とホールが注入された母体結晶の電子供与体が反応し、界面には電荷移動錯体が生成し、これが導電体である場合は導電パスを形成することになる。候補となる化合物として、有機導電体の電子供与体、電子受容体成分が対象となる。錯体形成を起こさない組合せの候補分子はフタロシアニン (Pc: 図2) 類やルブレンが挙げられる。この場合、接触物質は強い電子受容体となる。

(2) 中性基底状態の電荷移動錯体

中性基底状態の電荷移動錯体は必ず交互積層型の構造になる。そのため、電子構造はギャップのある半導体(または絶縁体)となる。母体結晶に電子が注入される場合を考えると、母体結晶を構成する電子供与体よりも強い電子供与体を接触物質とすることで、まず、母体結晶に電子が注入される。これを受け取るのは電荷移動錯体を構成する電子受容体成分で、負電荷を帯びた母体結晶中の電子受容体は結晶中に留まるよりも、正電荷を帯びた接触物質の電子供与体と新しいイオン性の電荷移動錯体を形成した方が静電エネルギーを得るため有利となる。新しく界面に形成されるイオン性の電荷移動錯体が導電性をもたば界面に導電パスが形成される。母体結晶の電子供与体あるいは電子受容体は充分弱い必要がある。また、対成分は導電性結晶の成分となるものが選ばれる。例えば TCNQ を電子受容体成分として固定し、弱い電子供与体と組み合わせた電荷移動錯体は交互積層構造となり、接触物質として TTF を選べば、接触界面に TTF-TCNQ ナノ結晶が生成し導電パスを形成する。

(3) アニオンラジカル結晶

アニオンラジカルが閉殻対イオンと結晶化した物質群を対象とするが、格子変調や電子相関でギャップのある電子構造を持った結晶が対象となる。母体結晶へのホール注入のためには、接触物質が母体結晶を構成するラジカルアニオンを酸化できる強い電子受容体でなければならない。接触により注入されたホールはラジカルアニオンを中性分子へと変換することで中性成分がイオン相にドーピングされ導電性が生まれる。対イオンがより強い静電エネルギーを得ようとすると、負電荷を帯びた接触物質の電子受容体と塩を形成する。1価の対イオンと1:1のアニオンラジカル塩は half-filled バンドをもつため、二量化したバンド絶縁体や Mott 絶縁体。そのような母体結晶の候補は TCNQ 塩で、接触物質は F₄TCNQ (図2) や DDQ となる。

ドーピング実験は以下の3種の手法で行う。

実験 A: 母体結晶、接触物質ともに単結晶で、平坦な結晶面を貼り合わせる

実験 B: 母体結晶は単結晶で、粉末状の接触物質を母体結晶に接触させる

実験 C: 母体結晶、接触物質と一緒に乳鉢

で充分すりつぶし混合する

界面反応調査と光学・回折実験: 実験 B で得られる母体結晶の表面における、母体結晶と接触物質の反応での錯体結晶形成の有無について AFM 像の測定を行う。界面での生成物の同定、電子状態調査のためにラマン散乱の測定を行う。実験 C の粉末試料については X 線回折、FT-IR、UV-Vis-NIR 拡散反射および ESR 測定を行い、錯形成の有無、分子のイオン化の確認を行う。

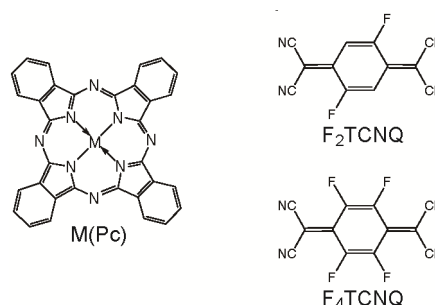


図2 本研究の主な化合物

4. 研究成果

(1) 単成分結晶

接触界面で電荷移動錯体を形成しない組み合わせとして Ni(Pc)と F₂TCNQ の単結晶貼り合わせ実験を行った。その結果、界面の高伝導化とともに、band-like な伝導度の温度依存性を観測した。界面で錯形成が起こっていないことは、貼り合わせ面の AFM 観察および混合粉末の X 線回折によって証明された。従って、Ni(Pc)/F₂TCNQ の接触界面では Ni(Pc)から F₂TCNQ への電子注入が起こっていると結論付けられ(図3)、実際混合粉末の FT-IR では F₂TCNQ⁻¹ のピークも観測された。接触界面で伝導パスがどのように形成されているかを調べるために熱電能の測定(混合粉末および貼り合わせ単結晶試料)を行い、正の値が得られたことから主に Ni(Pc)結晶中のホールが伝導を担っていることが見出された。

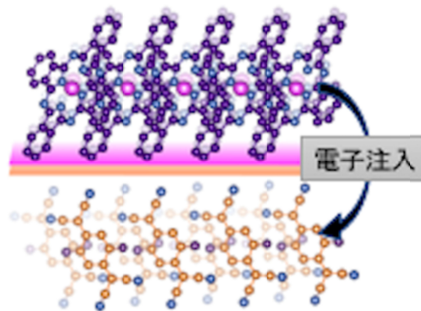


図3 Ni(Pc)/F₂TCNQ の接触界面

Ni(Pc)の酸化電位と F₂TCNQ の還元電位を比べると、Ni(Pc)から F₂TCNQ への電子移動にはエネルギー的に障壁が存在すると考えられる。この点をより系統的に調べるために数種の酸化電位の異なる電子供与体と F₂TCNQ との単結晶貼り合わせ界面について

も調べた。電子供与体から F_2TCNQ への電子移動のためには酸化電位と還元電位の差がある程度小さいと容易に起こると考えられる。しかし、この差がかなり大きい組み合わせでも実際には高伝導化が起こることが見出され、酸化還元電位の関係だけが界面電荷注入に対して重要な要素となる訳でないことが分かった。この点について明らかにするにはさらに詳細な実験が必要と考えられ、現在も引き続き研究を進めている。

(2) 中性基底状態の電荷移動錯体

基底状態が中性の TCNQ 電荷移動錯体は数種の縮合多環芳香族炭化水素を電子供与体とすることで準備した。これらの錯体がすべて中性基底状態の一次元交互積層構造となることは単結晶 X 線回折によって確認された。これらの単結晶試料の近傍に蒸気圧の高い TTF 粉末を置くことで電荷移動錯体母体結晶の表面にナノサイズの TTF-TCNQ の針状結晶が薄膜状に成長することを見出した(図4)。系統的に調べた結果、母体 TCNQ 錯体結晶中の電子供与体の電子供与能が弱い場合、TTF-TCNQ ナノ結晶が高度に配向した薄膜を与え、同時に薄膜の導電性が高くなることが分かった。この現象は以下のように説明される。

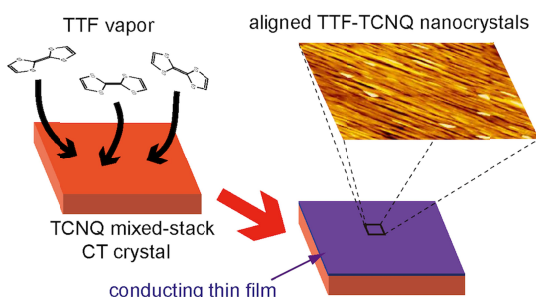


図4 TCNQ 錯体結晶上への TTF-TCNQ 薄膜形成

母体結晶中の電荷移動相互作用が弱い場合、電子供与体の格子への束縛力が弱い。TTF 蒸気が表面に接することで TTF から TCNQ へ電子注入が起こると母体結晶中の電子供与体は容易に表面から放出され、代わりに TTF-TCNQ ナノ結晶が形成される。この過程は電荷移動相互作用の働く交互積層カラム方向に一次的に伝搬するため針状軸が高度に配向した薄膜を与える。一方、電荷移動相互作用の強い母体結晶では TTF 蒸気の接触による電子注入が起こっても、TTF-TCNQ ナノ結晶の核形成頻度が小さくなり、結果的に太い結晶がまばらに生成して導電性は低くなる。

(3) アニオンラジカル結晶

TCNQ のカリウム塩、 $K-TCNQ$ 単結晶に F_4TCNQ 単結晶または粉末を接触させることでホールドーピングに成功した。母体結晶中で TCNQ アニオンラジカルは一次元カラム

を形成しているが、二量化によって Peierls 型の絶縁体になっているが、 F_4TCNQ の接触によって伝導度の増加が観測された。接触界面での $K-F_4TCNQ$ の生成がラマン散乱によって確認されたが、導電性 AFM は導電パスがホールドーピングされた $K-TCNQ$ 母体結晶の接触面に形成されていることを示した(図5)基板。母体 $K-TCNQ$ は 395 K で Mott 絶縁体へと転移することが知られているが、ホールドーピングされた $K-TCNQ$ 表面では転移が抑制されることが見出された。

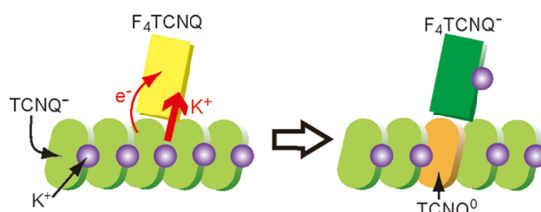


図5 $K-TCNQ$ へのホールドーピング

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15件)

T. Inabe and N. Hanasaki, Axially Ligated Phthalocyanine Conductors with Magnetic Moments, *Magnetochemistry*, 査読有, **3**, 2017, 18(1-11)
DOI: 10.3390/magnetochemistry3020018

H. Hasegawa, K. Kobayashi, Y. Takahashi, J. Harada, and T. Inabe, Effective band gap tuning by foreign metal doping in hybrid tin iodide Perovskites, *J. Mater. Chem. C*, 査読有, **5**, 2017, 4048-4052.
DOI: 10.1039/C7TC00446J

M. Matsuda, G. Yoshida, J. Yamaura, T. Inabe, and H. Tajima, The magnetoresistance effect in a conducting molecular crystal consisting of dicyano(phthalocyaninato)manganese(III), *Dalton Trans.*, 査読有, **46**, 2017, 1892-1897
DOI: 10.1039/C6DT04481F

M. Kurokawa, J. Fe. F. Jose-Larong, H. Hasegawa, Y. Takahashi, J. Harada, and T. Inabe, Structural and transport properties of neutral radical crystals of $Co^{III}(tmp)(CN)_2$ ($tmp = 5,10,15,20$ -tetramethylporphyrinato) and the CN-bridged polymer $[Co^{III}(tmp)(CN)]_n$, *Dalton Trans.*, 査読有, **46**, 2017, 4422-4429
DOI: 10.1039/C6DT04418B

H. Hasegawa and T. Inabe, Electrical properties of organic-inorganic hybrid tin bromide cubic perovskites: hole-doping and iodide substitution effects, *New J. Chem.*, 査読有, **40**, 2016, 7043-7047
DOI: 10.1039/C6NJ00439C

M. Ikeda, T. Kida, T. Tahara, H. Murakawa, M. Nishi, M. Matsuda, M. Hagiwara, T. Inabe,

and N. Hanasaki, High Magnetic Field Study on Giant Negative Magnetoresistance in the Molecular Conductor TPP[Cr(Pc)(CN)₂]₂, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, **85**, 2016, 064713(1-6)
DOI: 10.7566/JPSJ.85.064713

Y. Takahashi, T. Mikasa, K. Hayakawa, S. Yokokura, H. Hasegawa, J. Harada, and T. Inabe, Fabrication of Conducting Thin Films on the Surfaces of 7,7,8,8-Tetracyanoquinodimethane Single-Component and Charge-Transfer Complex Single Crystals: Nucleation, Crystal Growth, Morphology, and Charge Transport, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, **120**, 2016, 17537-17545
DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b05376

H. Kubota, Y. Takahashi, H. Hasegawa, T. Shimada, J. Harada, and T. Inabe, Charge Carrier Doping into the Peierls Insulator of the TCNQ Anion Radical Salt (TCNQ = 7,7,8,8-Tetracyanoquinodimethane), *J. Phys. Chem. C*, 査読有, **120**, 2016, 11545-11551
DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b02665

M. Ikeda, A. Kanda, H. Murakawa, M. Matsuda, T. Inabe, H. Tajima, and N. Hanasaki, Effect of Localized Spin Concentration on Giant Magnetoresistance in Molecular Conductor TPP[Fe_xCo_{1-x}(Pc)(CN)₂]₂, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, **85**, 2016, 024713(1-9)
DOI: 10.7566/JPSJ.85.024713

S. Yokokura, Y. Takahashi, H. Nonaka, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, R. Kumai, H. Okamoto, M. M. Matsushita, and K. Awaga, Switching of Transfer Characteristics of an Organic Field-Effect Transistor by Phase Transitions: Sensitive Response to Molecular Dynamics and Charge Fluctuation, *Chem. Mater.*, 査読有, **27**, 2015, 4441-4449
DOI: 10.1021/acs.chemmater.5b01383

T. Mikasa, Y. Takahashi, K. Hayakawa, S. Yokokura, H. Hasegawa, J. Harada, and T. Inabe, Highly ordered alignment of conducting nano-crystallites on organic semiconductor single crystal surfaces, *Thin Solid Films*, 査読有, **579**, 2015, 38-43
DOI: 10.1016/j.tsf.2015.02.034

H. Kubota, Y. Takahashi, J. Harada, and T. Inabe, Structural and Physical Properties of a Series of 7,7,8,8-Tetracyanoquinodimethane Salts with Dications Bearing Two Terminal Pyridinium Rings, *Cryst. Growth Des.*, 査読有, **14**, 2014, 5575-5584
DOI: 10.1021/cg500820v

Y. Takita, H. Hasegawa, Y. Takahashi, J. Harada, A. Kanda, N. Hanasaki, and T. Inabe, One-dimensional phthalocyanine-based conductor with S = 3/2 isotropic magnetic centers, *J. Porphyrins Phthalocyanines*, 査読有, **18**, 2014, 814-823

DOI: 10.1142/S108842461450062X

G. S. Lorena, H. Hasegawa, Y. Takahashi, J. Harada, and T. Inabe, Hole Doping of Tin Bromide and Lead Bromide Organic-Inorganic Hybrid Semiconductors, *Chem. Lett.*, 査読有, **43**, 2014, 1535-1537
DOI: 10.1246/cl.140536

Y. Takahashi, K. Hayakawa, K. Takayama, S. Yokokura, J. Harada, H. Hasegawa, and T. Inabe, Charge Conduction Properties at the Contact Interface between (Phthalocyaninato)-nickel(II) and Electron Acceptor Single Crystals, *Chem. Mater.*, 査読有, **26**, 2014, 993-998
DOI: 10.1021/cm403033b

[学会発表](計21件(総件数77件))
島田拓郎, 高橋幸裕, 原田潤, 稲辺保, 有機単結晶ヘテロ接合界面のキャリア輸送特性, 日本化学会 第97春季年会, 2017.3.16-19, 慶應義塾大学(神奈川県・横浜市)

高橋幸裕, 島田拓郎, 原田潤, 稲辺保, ドナー結晶とアクセプター結晶の接触界面で生じる電荷移動, 第10回分子科学討論会2016神戸, 2016.9.13-15, 神戸ファッションマート(兵庫県・神戸市)

Y. Takahashi, T. Shimada, J. Harada, T. Inabe, Electric Conduction Properties at the Contact Interface between Electron Donor and Acceptor Single Crystals, 8th International Conference on Molecular Electronics, 2016.8.22-26, Université Pierre et Marie Curie (France)

T. Shimada, Y. Takahashi, J. Harada, H. Hasegawa, T. Inabe, Switching Characteristics at the Contact Interface between Electron Donor and Electron Acceptor Single Crystals, 8th International Conference on Molecular Electronics, 2016.8.22-26, Université Pierre et Marie Curie (France)

T. Inabe, Charge Conduction Properties at the Contact Interface between Electron Donor and Acceptor Single Crystals, ICCMSE 2016, 2016.3.17-20, Athens (Greece)

Y. Takahashi, T. Shimada, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Formation of the conductive interface by conjugating electron donor and acceptor single crystals, PACIFICHEM 2015, 2015.12.15-20, Honolulu (USA)

T. Shimada, Y. Takahashi, J. Harada, H. Hasegawa, T. Inabe, Charge conduction properties at the contact interface between electron donor and acceptor single crystals, PACIFICHEM 2015, 2015.12.15-20, Honolulu (USA)

T. Inabe, Charge carrier injection into molecular crystals at the contact interfaces, PACIFICHEM 2015, 2015.12.15-20, Honolulu (USA)

S. Yokokura, Y. Takahashi, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, H. Okamoto, M. Matsushita, K. Awaga, Switching of transfer characteristics of organic field effect transistor by phase transitions, PACIFICHEM 2015, 2015.12.15-20, Honolulu (USA)

M. Takehisa, Y. Takahashi, J. Harada, H. Hasegawa, T. Inabe, Formation of a highly ordered thin film of ferroelectric on a molecular crystal, PACIFICHEM 2015, 2015.12.15-20, Honolulu (USA)

T. Shimada, Y. Takahashi, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Metal-Like Transfer Properties at the Contact Interfaces between F₂TCNQ and Donor Single Crystals, 2015 MRS Fall Meeting & Exhibit, 2015.11.29-12.4, Boston (USA)

M. Takehisa, T. Mikasa, Y. Takahashi, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Formation of Highly Ordered Organic Ferroelectric Thin Films Grown on Molecular Crystals, 2015 MRS Fall Meeting & Exhibit, 2015.11.29-12.4, Boston (USA)

島田拓郎, 高橋幸裕, 長谷川裕之, 原田潤, 稲辺保, 有機単結晶の接触界面に生じる金属的輸送特性のドナー依存性, 第9回分子科学討論会 2015 東京, 2015.9.16-19, 東京工業大学 (東京都・目黒区)

伊藤和輝, 高橋幸裕, 原田潤, 長谷川裕之, 稲辺保, 接触法を用いた高移動度半導体結晶表面における電極形成, 化学系学協会北海道支部 2015 年冬季研究発表会, 2015.1.27-28, 北海道大学 (北海道・札幌市)

T. Shimada, Y. Takahashi, K. Takayama, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Charge Conduction Properties at the Contact Interface between Phthalocyanine Nickel (Ni(Pc)) and Tetracyanoquinodimethane (TCNQ) Derivatives Single Crystals, 11th International Conference on Nano-Molecular Electronics, 2014.12.17-19, Kobe, Hyougo, Japan

T. Mikasa, Y. Takahashi, K. Hayakawa, S. Yokokura, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Highly Ordered Alignment of Conducting Nano-Crystallites on Organic Semiconductor Single Crystal Surfaces, Core-to-Core/Leverhulme Trust Joint Workshop, Sapporo 2014 “Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems”, 2014.10.24-25, Otaru, Hokkaido, Japan

T. Inabe, Contact doping: A new method for modifying electronic structure of molecular solids, Core-to-Core/Leverhulme Trust Joint

Workshop, Sapporo 2014 “Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems”, 2014.10.24-25, Otaru, Hokkaido, Japan

高橋幸裕, 高山克哉, 長谷川裕之, 原田潤, 稲辺保, ドナー結晶とアクセプター結晶接触界面における金属的輸送特性, 第8回分子科学討論会 2014 東広島, 2014.9.21-24, 広島大学 (広島県・東広島市)

窪田啓之, 高橋幸裕, 長谷川裕之, 原田潤, 稲辺保, 接触法によるアニオンラジカル塩へのキャリアドーピングと物性変化, 第8回分子科学討論会 2014 東広島, 2014.9.21-24, 広島大学 (広島県・東広島市)

Y. Takahashi, K. Takayama, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Charge Conduction Properties at the Contact Interface between Electron Donor and Electron Acceptor Single Crystals, 7th International Conference on Molecular Electronics, 2014.8.24-29, Strasbourg (France)

② H. Kubota, Y. Takahashi, H. Hasegawa, J. Harada, T. Inabe, Contact Doping Effects on the Physical Properties of TCNQ Anion Radical Salt, 7th International Conference on Molecular Electronics, 2014.8.24-29, Strasbourg (France)

〔その他〕
ホームページ等
<http://barato.sci.hokudai.ac.jp/~kotai/new/Welcome.html>

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) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

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

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

(4) 研究協力者

なし