

戦略的創造研究推進事業
ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ

研究領域「新しい物理現象や動作原理に基づいた
ナノデバイス・システムの創製」

研究課題「固液界面反応の原子プロセスの解明と
その応用」

研究終了報告書

研究期間 平成14年11月～平成20年3月

研究代表者：板谷 謹悟
(東北大学大学院工学研究科 教授)

1 研究実施の概要

5年の研究を振り返り、試行錯誤から始め、模索の中から本質的に重要と思われた完全結晶成長という1つのブレークスルーに到達し、その後、全グループが問題意識を共有し、一丸となり、有機電子デバイスの本陣に攻め入った道程を時系列として出来る限り正確に記し、世に問う公開報告書とした。

初年度の平成 14 年度

板谷グループでは、これまでの走査トンネル顕微鏡に加え、デバイスへの展開を行う上で、絶縁体上でも分子配列が決定可能な、非接触原子間顕微鏡ユニット（日本電子）導入し、既存の超高真空装置に組み込み超高真空に到達した。後に、この手法が完全結晶を作る上で、重要な役割を演じた。**庭野グループ**では、特に有機 FET デバイス特性の向上の為の要因を、分子レベルで再検討する事になった。**大沢グループ**では、赤外分光法をはじめとし、SFG, SHG 分光関係の装置や部品を購入し、短時間分解能測定法を確立した上で、表面反応を直接観察することを目標とした。この半年の段階では、板谷がこれまで進め来た延長線上、つまり、従来の単分子膜からの積層するという単純なボトムアップでデバイスに使用可能な材料形成を進めようとした。(K.Itaya, Progress in Surface Science, 58, 121-247 (1998))

平成 15 年度

実質的な研究開始の年であった。**板谷グループ**では、密閉型グローブボックスを購入し、有機物質が溶解できる非水溶媒中での STM、あるいは FET の対象になる分子の取り扱い方法の検討を開始した。また、絶縁性の多層膜のキャラクタリゼーションに必要なとの予想から FM-AFM モードでの非接触原子間顕微鏡装置の運転に入った。探索を開始した系は、CdS、CdTe 等の電気化学的エピ成長、電解重合法による規則高分子鎖の可能性、重合度のそろったオリゴチオフェン、フタロシアニン、ポルフィリン等の分子群の単分子吸着層の構造の解析と積層法である。**大沢グループ**では、板谷グループと共同して、単分子膜の赤外分光法による構造決定を行った。**庭野グループ**では、ペンタセン蒸着膜を用いた有機 FET の性能を決定している要因の解析が行われた。顕微赤外分光システムを新規購入し、基板に対するペンタセン及び DNA 等の分子の配向性に注目した。平成 15 年の 10 月頃からは、デバイス創製に固液界面をどのように応用するのか？との戦略での徹底した討論を板谷、庭野の間でおこなわれた。要は、蒸着法のような物理的手法ではなく、固液界面反応を利用した、有機半導体の形成に関する方向の見極めであった。

平成 16 年度

重要な反応場である「**固液界面**」を、分子レベルで解明する事を基本としつつも、本研究の目標が「**新しい原理に基くデバイスの創製**」であることに鑑み、特に**板谷グループ**では、「固液界面」を用いた、新しいデバイス構築の方向論あるいは原理を提示すべく、**自己組織化の究極である結晶化を「固液界面」で作製し、その電子物性、並びに、FET デバイス特性を分子レベルで検討する事である。**以後の研究は、この未踏の方向に向かって進みここに研究期間の終了を迎えたことになる。

ポリチオフェンに代表されるホール導電性高分子の吸着構造、分子量が正確に規制されたオリゴチオフェン類、1次元結晶を与える TTF 誘導体の一つである DT-TTF、さらには、ペンタセン、ルブレナ等の FET をターゲットとする、**液相からの単結晶化**の研究が始まった。その他に、電気化学的手法を用いた電解合成法の検討、更に、保有する超高真空表面分析装置、排気系の活用である。**庭野グループ**では、板谷グループと連携の上、有機 FET 基板の再検討、単結晶を用いた FET の測定法の確立を開始した。物質固有の正確な移動度の測定法の確立、さらには、得た単結晶の X 線構造解析等の手法の確立を行った。**大沢グループ**は、上記で述べた方向に対し、超高速赤外時間分解測定法の確立、電極表面の 2 次元赤外イメージング法の確立、電極表面での動的過程を顕微赤外分光法によって 2 次元的にイメージ化する手法を開拓し、自発的なパターン形成や、マイクロアレイ電極表面における反応過程を明らかにするとの当初の目的以外にも、有機結晶の成長過程を検討することになった。

平成 16 年度の研究成果の内、以下の 2 点が研究方向を定めるブレークスルーとなり、単結晶の液相成長に絞った研究戦略が確信を持って進めることを可能とした。

①DT-TTF の基板上の直接結晶成長過程の連続観察

溶液からの再結晶法を用いる戦略の下で、予備的実験を進めている時期に、アメリカ化学会誌(*J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 984(2004))に、DT-TTF のクロルベンゼン溶液を FET 基板上に直接展開すると、特異的形をした帯状結晶が成長し、移動度の上限値が、約 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と非常に大きいことが報告された。化合物は市販されておらず、合成を兵庫県立大の山田順一先生（平成 18 年度より共同研究者）に依頼し、その結晶の結晶化の連続観察を行った。

図 1 に基板上での結晶化過程の時間変化を示した。左図は結晶化が起こる寸前であり、結晶核が見え始める。真ん中の写真は 10 分後、右図が 40 分後である。特徴的な帯状結晶が電極間に成長する様子がわかる。この実験から、固液界面が、基板上に直接結晶を成長させる有力な手法である事を認識するに至った。



図 1 基板上での DT-TTF 結晶成長連続写真

②ペンタセン完全単結晶の育成の成功：有機・無機分子からなる分子性薄膜あるいは単結晶の成長法には、一般的に、気相からの昇華法と液相成長法が知られているが、FET、EL、太陽電池等の電子デバイスのこれまでの殆どの研究・開発では、蒸着法に代表される気相法で有機薄膜が作られている。しかし、これまでの有機デバイス開発の経緯から、液相結晶成長法は、ほとんど検討されていない。有機 FET、有機 EL の最近の研究・開発では、蒸着法が用いられている。

液相法で得られる様々な結晶の構造を、主に表面・界面の重要性から、通常の X-線構造解析の他に、非接触原子間顕微鏡 (FM-AFM) を用いる事により、液相法から得られた結晶のこれまで知られていなかった極めて重要な特長を得た。詳細は後述するが、図 2 に、得られた結晶の光学顕微鏡、AFM 像（2 ミクロン角）、そして観測させた 3 本の単分子ステップの分子構造模式図を示した。

重要な発見は、分子的に平坦なテラスが数ミクロンの広さに渡っており、ペンタセンの単結晶はほぼ完全結晶であることが判明した点である。

この成果が、以後の結晶の作成条件、FET デバイスによる移動度の検討、ペンタセン以外の有機半導体の結晶化、等の研究が加速度的に行われることになった原点である。



図 2 ペンタセン完全結晶の光学顕微鏡写真と NC-AFM 像および単分子ステップの分子構造模式図。

平成17年度

5年間のプロジェクト期間において最も重要な年度であるとの認識から、具体的かつ厳選した課題を箇条書きにして、本格的な実験研究に入った。以下には、具体的な最重要課題の成果を簡単に述べる。なお、この時点での研究の詳細は、平成17年11月18日付けの「研究実施中間報告書」で述べている。

- (1) **ペンタセ及びルブレンの単結晶成長の可能性の検討**：いずれも、高品位の単結晶が得られる事を確認した。
- (2) **オリゴチオフェン類の単結晶成長の可能性の検討**：STMによる、単分子の吸着構造を決定した。(18年度：単結晶化を試みる)
- (3) **単結晶FETの特性解析**：固液界面反応を用いて形成したペンタセン、ルブレン単結晶のホール移動度を測定した結果、物理的手法(真空蒸着法)で得られた単結晶と同等であることを確認した。
- (4) **単結晶表面の基礎物性評価**：大沢グループは単結晶表面評価に高感度赤外分光法、和周波分光法(SFG)を活用し、当初の目的を達した。板谷グループは、単結晶表面評価に**非接触AFM**が有効であることを実証した。
- (5) **結晶成長の精密制御**：溶液の温度降下速度の精密制御が重要であることが判明した。
- (6) **必要な測定手法の再検討と今後の課題の抽出**：物質固有の移動度の測定が、極めて重要な課題と成った。**TOF装置**の試作検討に入った。

平成18年度

上で述べたように、17年度の各課題を更に深化させ、定量的議論を可能にする実験を行った。18年度は、17年度までの3年間の研究の進捗状況からして、大沢グループが主に進めてきた、単分子膜構造の研究は当初の目的を達成したとの判断から研究グループの再編を行い、新たに、TOFによる移動度の精密測定のために広瀬グループ、材料合成のために山田グループの参画を得た。検討課題と主に実施したグループ名を記した・

- (1) **有機単結晶の固有なキャリア輸送特性測定法の確立**。(廣瀬、庭野)
- (2) **有機FETの電位分布測定とその解析による界面及びコンタクトの定量化**。(庭野、廣瀬)
- (3) **新規FET用化合物の合成と精製**。(山田)
- (4) **新規化合物の単結晶の育成**。(板谷、庭野、山田)
- (5) **1次元DT-TTF単結晶成長の偏光顕微鏡による連続観察と成長メカニズムの解明**。(板谷、山田、伊藤)
- (6) **超高真空・非接触原子間顕微鏡による、結晶表面の微細構造決定**(板谷、伊藤)
- (7) **液中AFMによる単結晶/溶液界面の直接観察法の可能性の検討**。(板谷)
- (8) **ナノレベルとマクロレベルを繋ぐ、光学顕微鏡の検討**。(共焦点法)(板谷)

平成19年度(最終年度)

- (1) **結晶成長の精密制御**(板谷、山田、伊藤)
- (2) **新しい化合物の設計指針を得る**(山田)
- (3) **FET特性と結晶構造との関係**(庭野、板谷、山田、廣瀬、伊藤)
- (4) **導電性高分子膜の配向制御とFET特性**(庭野、板谷)
- (5) **新課題の抽出**(板谷、庭野、山田、廣瀬、伊藤)

2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

本研究は、1) 東北大学大学院工学研究科教授 板谷謹悟 2) 東北大学電気通信研究所教授 庭野道夫 3) 山形大学工学研究科助教授 廣瀬文彦 4) 兵庫県立大学物質理学研究科助教授 山田順一 5) 東北大学学際科学国際高等研究センター助教授 伊藤隆 6) 北海道大学触媒化学研究センター教授 大澤雅俊の6グループの連携によって行われる。広瀬、山田、伊藤グループは、18年度より参入した共同研究グループである。大沢グループの研究課題は、17年度で終了した。

以下に、6グループのそれぞれの役割について簡単に記す。

板谷グループ

東北大学 大学院工学研究科 (板谷 謹悟)

研究実施項目：原子・分子レベルで制御された、超薄膜、結晶成長、及び単結晶薄膜の「固液界面」を用いた作成プロセスの確立と、そのメカニズム解明。FET 特性と結晶構造の関係の定量化。研究統括。

概要：広義の「固液界面反応」を、原子・分子レベルで解析し同時に制御をも可能とする、先導的研究を行った。「固液界面」をデバイス構築の場として捉え、単結晶ナノ構造体を創製し、更に自己組織的に構築する手法の確立を行った。今まで培われた「固液界面」において原子・分子を操り、構造を形成する技術を発展させ、STM、AFM、光学顕微鏡による連続観察、X-線構造解析をはじめとする手法を駆使し、高性能デバイスに応用可能な構造体の構築を、分子レベルで行った。

庭野グループ

東北大学 電気通信研究所 (庭野 道夫)

研究実施項目：有機 FET の電位分布と移動度や ON/OFF 比等の FET 特性の相関関係を調べ最適化された有機 FET の諸特性を解明する。

概要：単結晶及びポリマー系有機膜からなる FET 特性の解明、更には、TOF 測定等により有機半導体の物質固有の移動度を廣瀬グループと連携し測定する。また、動作中における FET の電位分布および、絶縁体界面近傍に置ける有機半導体のイオン化の様子を赤外分光を用いて測定する。また、多孔質材料を用いた DNA マイクロアレイ等の開発など生体関連物質分析デバイスの開発も行った。

廣瀬グループ

山形大学 大学院工学研究科 (廣瀬 文彦)

研究実施項目：原子・分子レベルで制御された有機結晶薄膜の TOF によるキャリア輸送特性の解析

概要：これまでの TOF 装置の問題点を解決した新たな装置の開発を行い、分子性半導体単結晶の固有の移動度を精密に決定し、結晶成長法、あるいは、新たな有機半導体材料の開発指針を与えた。

山田グループ

兵庫県立大学 大学院物質理学研究科 (山田 順一)

研究実施項目：有機 π 電子化合物の構造と FET 性能の関連付け、および優れた FET 特性を示す有機 π 電子化合物の設計と合成。

概要：新規有機分子性金属・超伝導体・磁性伝導体の開発を目的としてこれまでに蓄積した様々な分子性導体の構造と物性に関する知見に基づき、有機 π 電子化合物の結晶構造と移動度の関係を明らかにし、優れた FET 特性を発現できる新たな有機 π 電子化合物の設計と合成を行った。

伊藤グループ

東北大学学際科学国際高等研究センター (伊藤 隆)

研究実施項目：結晶成長。

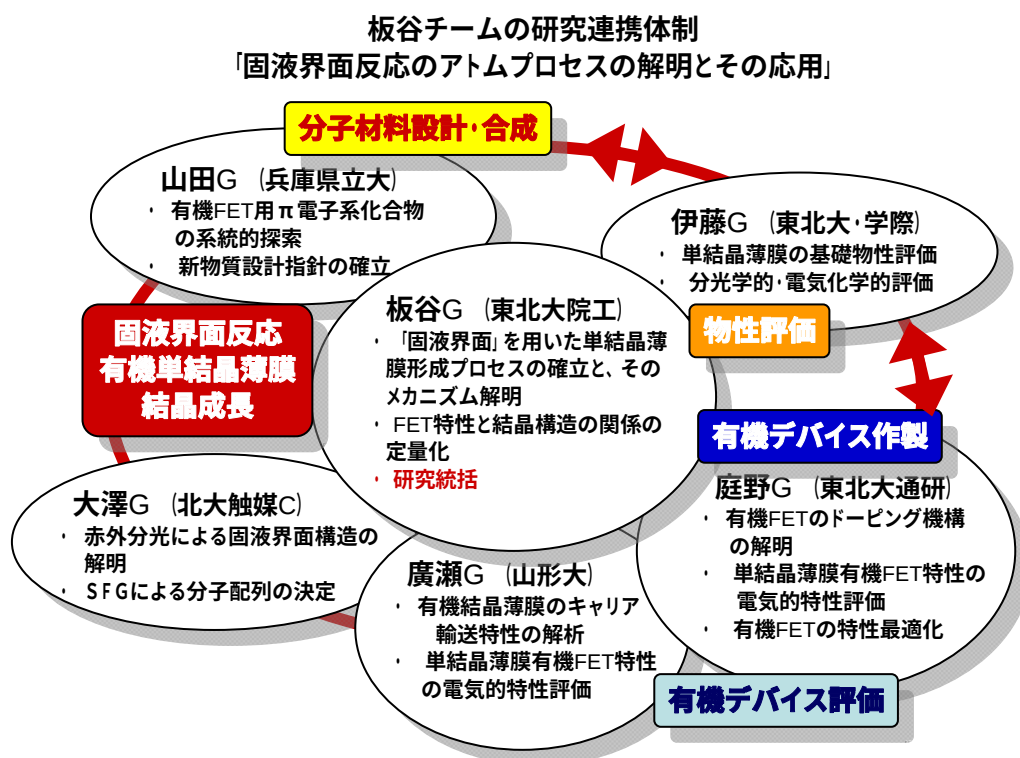
概要：有機 FET 素子の単結晶薄膜成長条件の探索を中心とし、分光学的・電気学的視り広義の化学物質の物性を明らかにし、電子物性との相関関係の解明を行った。

大澤グループ

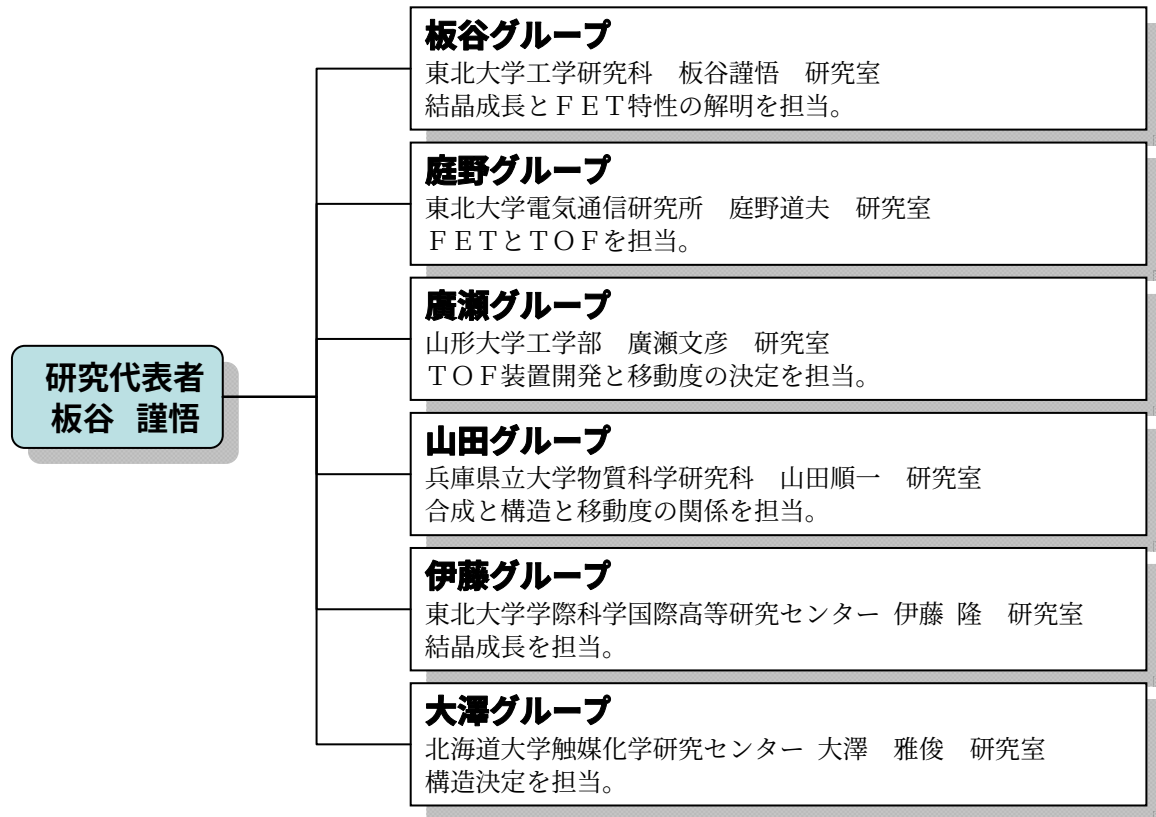
北海道大学 触媒化学研究センター (大澤 雅俊)

研究実施項目：表面増強赤外分光(SEIRAS)及び和周波発生(SFG)分光による広義の固液界面反応の動的挙動の解明

概要：振動分光を用い、電極表面における分子の吸着脱離過程、吸着分子層構造の変化、ならびに反応過程のダイナミクスをナノ秒から秒の時間分割で解析し、高配向分子性ナノ構造体を化学的、あるいは、電気化学的手法で創生するために不可欠な分子構造論的知見を成長の動的過程を含めて検討した。



(2)実施体制



3 研究実施内容及び成果

3.1 全体の成果の概要と板谷グループ

本研究は、①完全単結晶の作成、結晶のキャラクタリゼーション、FET挙動の解析等は板谷、庭野グループが一体になり行った。②結晶の固有の移動度をTOF法によって決定したのは広瀬グループである。③DT-TTF等の化合物の合成は山田グループである。④大沢、伊藤グループは主に上記①の結晶成長に関する基礎的課題に対し、板谷グループとの連携で行われた。各グループの成果の詳細は個別に述べるが、ここでは全体にわたってその研究実施内容と成果について述べる。

平成15年度の予備的実験、それに基づいた平成16年度の本格的実験によって、固液界面反応のアトムプロセスを応用して、電子デバイス(特にFET)の評価に耐えうる高度に構造規制された単結晶の育成という大方針が決まった。その根拠となった実験結果を以下に簡単に示しつつ研究の流れを記録に残す。

平成15年12月頃:

①DT-TTFの基板上への直接結晶成長過程の連続観察の成功

溶液からの再結晶法を用いる方針の下で、予備的実験を進めている時期に、アメリカ化学会誌(*J. Am. Chem. Soc.*, 126, 984(2004))に、DT-TTFのクロルベンゼン溶液をFET基板上に直接展開すると、図3に示す、帯状結晶が成長し、移動度の上限値が、約 $1 \sim 0.01 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と報告された。この結果を受け、DT-TTFの合成を後に共同研究者となった山田准教授に依頼し、実際に結晶成長の連続観察成功したのは、平成15年の12月である。

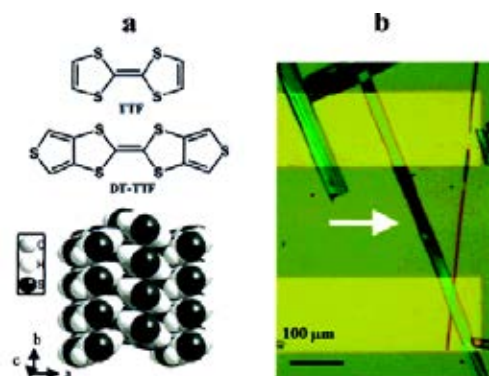


図3. 基板上で成長したDT-TTF結晶写真



図4. 基板上でのDT-TTF結晶成長連続写真

図4には、結晶核の生成時、次は10分後、そして40分後の写真である。こうした、連続観察の手法によって初めて有機結晶を基板上に直接成長させ、その制御を可能とする有力な手法である事を確認した。後にFET測定から求められた移動度は、文献値に近いことを確認するに至っている。

平成16年2月～

②ペンタセン蒸着膜のNC-AFMによる表面構造

FET、EL、太陽電池等の電子デバイスのこれまでの殆どの研究・開発では、蒸着法に代表される気相法で有機薄膜が作られている。

図5には、有機FETで最も検討が進んでいるペンタセンの蒸着膜の典型的なAFM像である。観察領域は $500 \text{ nm} \times 500 \text{ nm}$ であり、蒸着領域全面に渡って同一のモルフォロジーであっ

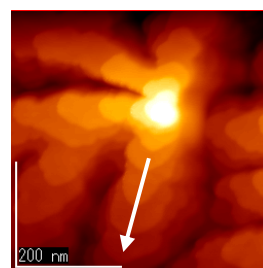


図5 ペンタセン蒸着膜のAFM像

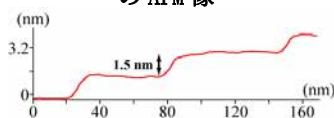


図6 ラインプロファイル

た。図6は図5のAFM像中に引かれた実線に沿っての表面の凹凸を示すラインプロファイルである。基本的には、島状成長をしているもののステップ高さは1.4~1.6 nmであり、ステップ間のテラスは、分子レベルで平坦である。テラス幅は、各層によって異なるが、10~30 nm程度である。蒸着法によってもこうした分子的に平滑なテラスと単分子ステップからなる表面

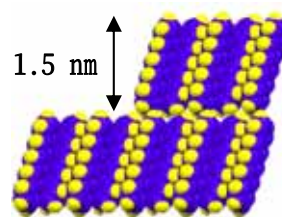


図7 ペンタセン積層構造

構造であることは、分子間の相互作用が大きく、層状に成長する傾向の高い分子性結晶である事が示唆された。図7は、側面から見た結晶のX線解析から得られた構造で有り、ペンタセンの長軸がやや傾斜した積層構造である。構造から明らかのように、AFMで観察されたステップは、傾斜配向したペンタセンの層間の高さに対応している。

この様に、蒸着膜は島状に成長し結晶内には結晶粒界が無数に存在し、そうした結晶の中の正孔の移動度は大きく制限されていることが推察される。こうした実験も、次項で述べる液相での単結晶化に向けて研究を進める根拠になった。また、NC-AFMは、X線回折法では見逃しがちな、結晶の微細構造を表面とはいえども明らかにすることができる装置であることも確認した。NC-AFM（日本電子社製）は、本研究の15年度に導入したものである。

平成16年3月～

③固液界面でのペンタセン及びルブレンのほぼ完全に近い単結晶成長の確認

これまでの有機デバイス開発の経緯から、液相結晶成長法は、殆ど検討されていない。有機半導体デバイス開発において、溶液から析出された結晶には、溶媒、不純物等が混在し、有機半導体としては使えないとの先入観が多い中での、研究課題の推進であった。

前項①の実験を受けペンタセン、及びルブレンの液相成長の実験を開始、再結晶法の溶媒選定、溶液の安定性、溶解度、等の基本的技術の構築である。

有機物の溶液からの結晶化は、化合物の精製、あるいは、X線構造解析用の単結晶の作製法として、合成化学の一般的手法である。大別すると、1) 温度変化による溶解度の差を用いる方法。2) 溶媒蒸発法。3) 蒸気拡散法。4) 溶液拡散法。5) 溶融成長法、等がある。

本研究では、溶液からの単結晶の成長という手法を戦略テーマとしたが、気相法でのFETデバイス用の有機単結晶の作成は数年前から行われていることは論文で明らかになっていた。しかし、気相法では、基礎研究用の試料を作成できたとしても、有機物質の熱安定性、結晶形態の制御性、大量生産等を考慮すると、一般的なデバイス製造方法になることは困難と思われる。

有機FETの大半の研究・開発が蒸着ペンタセンを用いてのものであったことから、液相法でペンタセン結晶の析出実験に的を絞った研究が行われた(図8)。

ルブレンについても同様である。気相成長法で作成された単結晶ルブレンのFETに関する重要論文2報が2004年に出されている (*Science*, 303, 1644 (2004) と *Phys.Stat.Sol.* 201,1302(2004))。気相成長ルブレンを用いたFETの詳細は、以後に、東北大学金研の岩佐教授のグルー

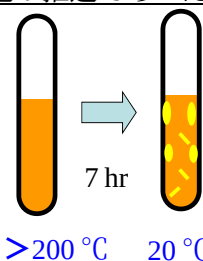


図8 ペンタセン単結晶の液相成長法模式図。



図9 液相ペンタセン単結晶の光学顕微鏡写真

プが本 CREST 領域で研究代表者として研究が行われた。

以上の状況の下、ペンタセン溶液の長期間の安定化法、結晶の析出速度の制御等の基本的実験を確立し、安定に薄片状ペンタセン結晶を得る方法を確立するに至った。図9は、完全脱ガスされたジクロロールベンゼン溶液から析出したペンタセン結晶をマイカ上に固定した時の光学顕微鏡写真である。

結晶の大きさは約 0.5 mm の角型をしている。この中央部の結晶の膜厚は、300 nm と非常に薄く膜厚はほぼ測定誤差内で均一であった。つまり、結晶のマクロの形状からすると結晶は、結晶の横手方向に早い速度で成長し、厚み方向の成長速度は非常に遅いと結論された。X-線構造解析からは均一な単結晶であった。結晶の品位を計測すべく、NC-AFM による表面構造を調べた。図10は、この結晶の NC-AFM 像である。走査範囲 ($2 \times 2 \mu\text{m}$) は、図5に示した蒸着膜の AFM 像の観察より相当広い。像中のステップは、先に述べた傾斜したペンタセンの単分子高さに相当する。

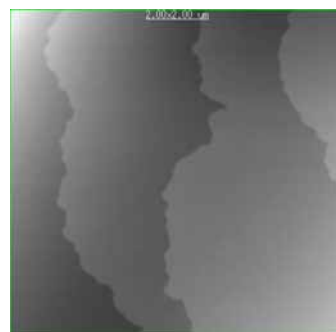


図10 液相ペンタセン単結晶の NC-AFM 像($2 \times 2 \mu\text{m}$)。

この結晶の NC-AFM 像である。走査範囲 ($2 \times 2 \mu\text{m}$) は、図5に示した蒸着膜の AFM 像の観察より相当広い。像中のステップは、先に述べた傾斜したペンタセンの単分子高さに相当する。

特筆すべき点は、 $2 \times 2 \mu\text{m}$ 領域に3本の単分子ステップのみが観察され、結晶全体にわたって、ステップ密度はほぼ均一であった。分子的に平坦なテラスの幅は、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ と“異常とも思われる広さのテラス”が観測され、テラス上には、“アイランドの様な欠陥”も見つからない。

研究代表者はこれまで多くの金属、半導体単結晶の清浄表面構造を STM によって観察してきた。通常は無機固体表面では見られない理想表面がペンタセン結晶表面で観察されたことは、液相法で作られたペンタセン単結晶は、ほぼ完全結晶であることを強く示している。

図11は、同一観察領域 ($5 \mu\text{m}$ 四方) で比較した蒸着膜と単結晶の AFM 像を示す。その違いは驚くものであった。

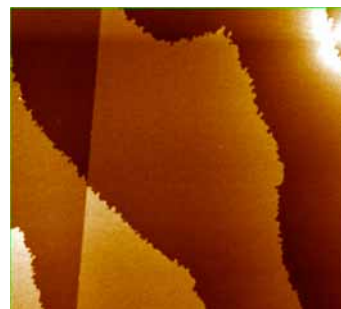
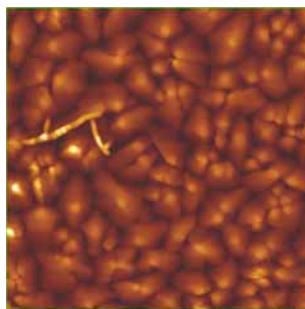


図11 ペンタセン蒸着膜 (左) 及び単結晶 (右) の AFM 像 (縮尺: $5 \times 5 \mu\text{m}$)

こうした分子性結晶の異常に広いテラスの出現は、金属の電気化学的な析出、溶解の有名な TSK モデルに示された原子レベルの素過程の中で、吸着ペンタセン分子の非常に速い表面拡散の結果であると考えられる(図12)。今後の材料開発において重要なポイントである。

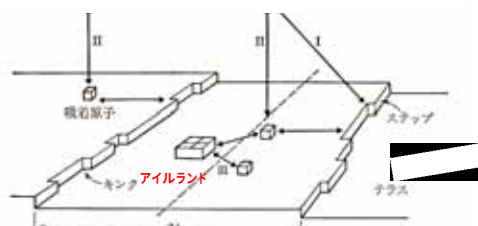


図12. TSK モデルによる析出・溶解過程

更に、現有する超高真空 FM-AFM 装置による、結晶表面の分子配列の決定を行った。図

13 には、分子的に平滑なテラス上で観察された最初のペンタセン結晶の分子像である。各スポットの配列は、図13(c)に示す単結晶の構造と一致した。分子欠陥もほとんど観測されない。この結果も分子レベルでペンタセン結晶が完全結晶である事を支持している。[ペンタセンのここまでの結果は、Langmuir に最近掲載された。\(K. Sato, T. Sawaguchi, M. Sakata, K. Itaya, Langmuir, 23, 12788 \(2007\):Noncontact Atomic Force Microscopy of Perfect Single Crystals of Pentacene Prepared by Crystallization from Solution\)](#)

以上の実験結果は、液相結晶化法の優位性を示すものであり、更には、FET 挙動の検討という課題にチーム一丸となって研究を推し進める原動力になった。

更に、ルブレンについても液相法で完全結晶が得られることも確認した。得られた結晶の表面は、ペンタセンと同様に数ミクロンから数十ミクロンの広いテラスと単分子ステップから成り、高分解 FM-AFM でその分子配列の決定にも成功している（論文投稿準備中）。

結晶評価には、この他に、X-線単結晶構造解析装置（ブルカー）、偏光顕微鏡（カールザイツ）、偏光顕微可視・紫外スペクトルメーター、レーザー走査共焦点微分顕微鏡（オリンパス）を導入し、総合的に有機単結晶の評価を可能とした。

後者の顕微鏡によれば、光学顕微鏡の視野内で単分子ステップを直接観察することが可能となり、今後の材料開発、結晶の成長制御、機構解明に強力な武器になることを初めて実証した。（論文投稿準備中）更に、東北大学多元研の河野教授が保有する、マイクロ RHEED により、単結晶ルブレンの電子線回折実験にも成功している。（論文投稿準備中）

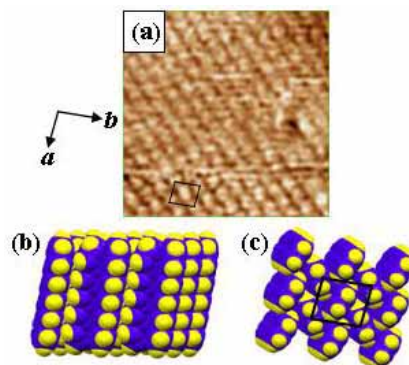


図 13 ペンタセン蒸着膜（左）及び単結晶（右）の AFM 像（縮尺：5×5 μm）。

④ペンタセンの FET 特性

平成 16 年 10 月頃に液相単結晶ペンタセンの高い移動度を初めて確認した。以下に述べるのは、その後 3 年間の精密なデータ集積と解析の概要である。

FET 基板: p-型 Si(100) を所定の前処理後、純酸素下 1100 度で加熱し、酸化膜（膜厚：100 nm）を形成後、ボトムコンタクトの場合は、20 μm のチャンネル長、1 mm のチャンネル幅を持つ Au 電極を蒸着法によって作成した。トップコンタクトの場合は、庭野グループの報告で述べるが、真空蒸着、有るは銀ペーストの導電材料でソース、ドレイン電極を形成した。

FET 特性: FET 特性を決定している主因子であるホール移動度 (μ_{FET}) は、分子性結晶中の分子配向に大きく依存する。その為、分子配向が良く規定された有機単結晶を活性層に用いることで、更なる性能向上が期待された。

ペンタセン蒸着膜

蒸着ペンタセン膜の移動度は、物質の精製、蒸着速度、基板 SiO₂ 表面の清浄度等の因子によって大きく変わる。これまでの庭野研での実験条件下、典型的な測定値として、ボトムコンタクトで約 $7-8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と再現性の高い値を得た。図 14 は典型的な電流/電圧特性である。

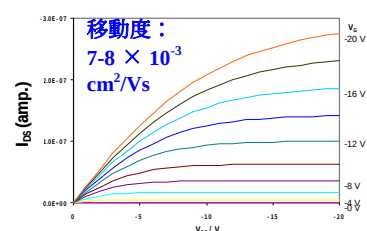


図 14 ペンタセン蒸着膜 FET の電流-電圧特性。

ペンタセン単結晶

結晶は、高純度窒素ドライボックス中で、FET 基板上に単結晶を溶液から移動し、銀ペーストで結線後、ターボ排気 of FET 測定用真空チャンバー内で測定した。図 15 には、銀ペーストを用いた、FET デバイスのトップビューの 1 例である。中央の結晶が SiO₂ 酸化膜上の単結晶である。

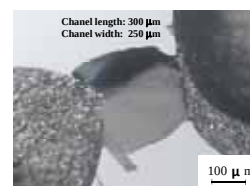


図 15 FET 素子のトップビュー。

完全に近いペンタセン単結晶の FET 特性曲線の典型的な結果の 1 例を図 16 に示す。ドレイン電圧の低い領域では、非常に直線性の良く、飽和電流もドレイン電圧 20 V の範囲内で明確に観測された。

この特性曲線の飽和領域、及び、線形領域は、以下の式 (1, 2) によって解析した。

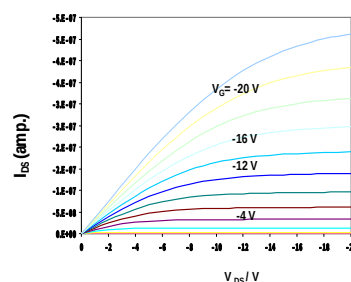


図 16 ペンタセン単結晶 FET の電流-電圧特性。

$$I_D(\text{飽和領域}) = \frac{C_i W \mu_{FET}}{2L} (V_G - V_T)^2 \quad \text{式1}$$

$$I_D(\text{直線領域}) = \frac{C_i W \mu_{FET}}{L} (V_G - V_T) V_D \quad \text{式2}$$

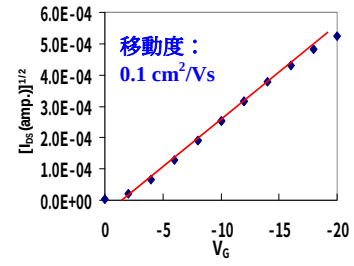


図 17 ペンタセン単結晶 FET の飽和領域での輸送特性。

図 17 は飽和領域での I_D (ソース・ドレイン電流: 図中では I_{DS} と表示) と V_G (ゲート電圧) の関係を示した。非常に良い直線を与え、この勾配から求められた移動度は $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。また、直線領域のソース・ドレイン電圧 (V_D : 図中では V_{DS} と表示) が -2 V でのコンダクタンスと V_G の関係を図 18 に示した。既報の多くの論文では、勾配が異なる複数の直線で近似できる曲線が報告されているなか、ほぼ完全な直線を与え、閾値 (V_T) も解析した V_{DS} の値 (-2 V) に近い値である。この勾配から求めた、移動度は、 $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ となり、飽和領域で求めた値に一致した。

この様に、単結晶ペンタセンの FET 挙動はほぼ理想的な挙動であった。この成果は、本研究の中核をなす重要な結果であり、注意深い再現実験を繰り返した。

楕形アレー電極による結晶の FET 評価:

X-線回折、あるいは、NC-AFM、偏光顕微鏡等の観察からは、結晶は膜厚一定な完全結晶である。同一結晶の異なる場所での移動度を測定するために、是までにない、複数電極対を有する楕形アレー電極を SiO_2 基板上に作成し、FET 特性を結晶の異なる場所で測定した。

フォトリソグラフィーを用い、電極は、Ti 5nm、Pt 20nm、Au 20nm の順にスパッタ法で作成した。Pt は Ti と Au の接着を良くするために、Ti と Au の間にスパッタした。チャンネル長は $50 \mu\text{m}$ 、チャンネル幅は 1 mm として設計した。

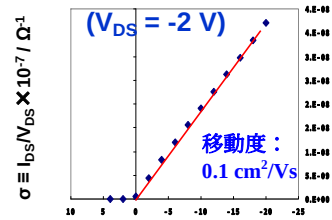


図 18 ペンタセン単結晶 FET の直線領域での輸送特性。

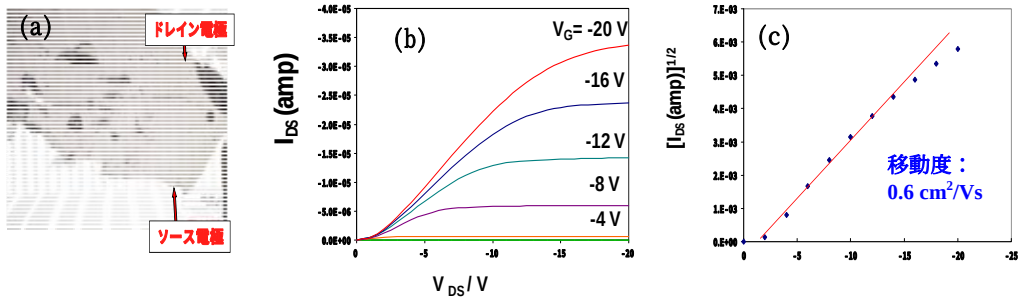


図 19 ペンタセン単結晶楕形アレー電極 FET 素子の (a) 全体写真、(b) 出力特性、及び (c) 輸送特性。

図 19(a) は FET 素子の写真、(b) は図 (a) 中に示した 1 対の電極 FET 特性、(c) は飽和領域における $\sqrt{I_{DS}}_{\text{sat}} / A^{1/2}$ と V_{DS} の関係である。 -15 V 以下では直線からの変位が見られるものの、

良好な直線を与え、その勾配から求めた移動度は、 $0.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ である。明らかに結晶に欠陥がある個所を除いた 1 対の電極対から求めた移動度は、非常に再現性よく、 $0.5 \sim 0.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の範囲に入っていた。この結果は、結晶が均一であり、しかも、異なる場所で FET 特性が一致していることを意味し、同一の FET 特性を有する FET アレーを開発する上で指針を与えるものである。

以上を要約すると;

蒸着膜、あるいは、欠陥の存在する有機半導体を用いた FET では、図 20 (a) に示す様に、ソースから注入されたホールは結晶中のグレイン境界で散乱され物質固有の移動度より低い値を示すのに対し、単結晶とりわけ、本研究で作成された完全結晶では図 20(b) に示すように、結晶中での散乱は極めて少なく、高い移動度の発現になったと結論される。さらに、逆説的ではあるが、液

体中から成長させた単結晶の化学、物理的純度は極めて高いと結論される。

この結論は、今後の各方面での有機デバイスの研究・開発にとって極めて重要な指針を与えるものと思われる。

⑤TOF法による移動度決定:平成17年より

物質固有の移動度に近いと思われるFET特性を得たものの、板谷チームでは、材料探索、結晶成長制御法の探索を行う立場から、多くの諸因子によって影響されるFET特性から求められる移動度ではなく、物質固有の移動度測定法としてのTOF法に注目していた。庭野グループで平成17年より、山形大学、広瀬教授との1年にわたる準備を経て、平成18年度より同広瀬グループが正式に参入し、装置開発を行った。対象としている試料の形状(剥片状単結晶)によって、縦方向の測定を対象とした市販のTOF装置では測定することが困難である。

詳細は、主に単結晶ルブレンについて広瀬グループのところで述べられるが、有機半導体の標準サンプルである、アントラセン、シリコン単結晶の測定された移動度はほぼ文献値に一致する精度の装置が完成した。ペンタセン単結晶の移動度は $1\sim 5\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の範囲にすることがわかり、その精密測定が現在も進行中である。また、気相成長単結晶ルブレンのホールの移動度の測定を試料の作成条件、測定条件を変更して繰り返したが、**a軸方向で $8\sim 16\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、b軸方向では $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度で得られている(論文 APL 投稿準備中)**。この値は、先に述べたルブレン単結晶のFETの論文(*Science*, 303, 1644 (2004)と*Phys.Stat.Sol.* 201, 1302(2004))中の値と相当近いものであった。このことは、FETの測定条件が適切に行えれば物質固有の移動度が測定されることを意味している。しかし、Takeya 等の最近の論文(*APL*, 90, 102129(2007))で報告されている $40\text{ cm}^2/\text{Vs}$ のような数値は観測されなかった。外乱因子の少ないTOF法を確立したことは、有機半導体の研究分野に今後寄与する成果である。

⑥ルブレン完全単結晶

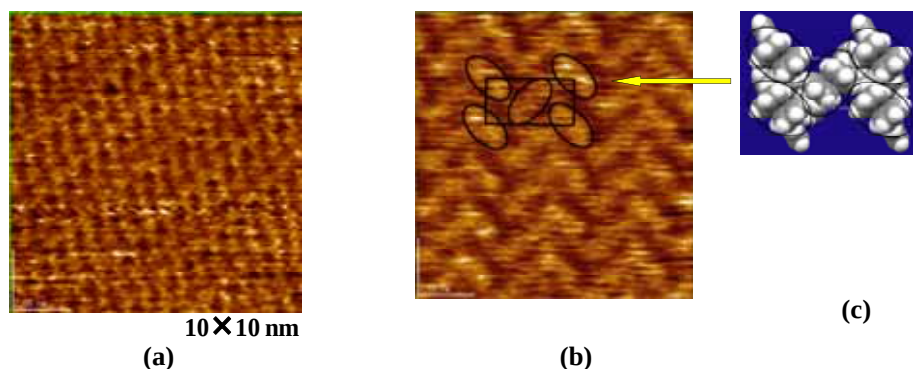


図 21 ルブレン結晶表面の NC-AFM 像:(a)10×10 nm、(b)3x3 nm、(c)ルブレン分子の表面配列構造。

気相成長に加え液相成長によるルブレン完全結晶の作成に成功している。このFET挙動については庭野グループでも解析式の問題点と共に述べられるが、ここでは、ルブレン完全結晶のNC-AFMの観測結果とFETの特性について簡単に述べる。

ルブレンの完全結晶では、ペンタセンと同様、数ミクロン、場合によっては数十ミクロンの分子的に平坦なテラスが観測される。そのテラス上で観測されたFM-AFMによる分子配列を図 21 に示

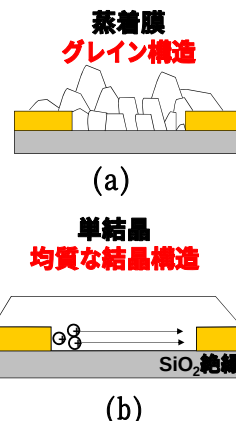


図 20 (a)蒸着膜及び(b)単結晶を用いたホール移動度との関係の模式図。

した。10 x 10 nm の比較的大きな領域でも分子配列が明確に観測され、分子欠陥は見当たらない。図中(b)は高解像度FM-AFM像である。この像から判明する単位格子の大きさ、分子の配置、配列方向等は、X-線回折から予想されるものと一致した。表面の構造は、再配列していない。これらの分子情報も結晶の完全性を示している。(論文投稿準備中)

⑦ルブレ単結晶のFET特性:

ルブレ単結晶を用いた2つのデバイス特性について述べる。

7-1. 未修飾SiO₂上:

ルブレ単結晶のFETに関するオリジナル論文以来、SiO₂上に高分子、あるいは、単分子を配置しその上でのFET特性が調べられている。SiO₂上に直接ルブレ単結晶を置いた場合、FET特性を得ることは当初我々でも困難であった。しかし非常に薄い単結晶を試料に用いた場合は、基板と単結晶の接触が改善され、動作するFET素子を安定に作ることができた。図22は、結晶厚み約300 nmのトップコンタクトのFET素子である。図23にはFET特性、図24には飽和領域における輸送特性の見事な直線関係を示した。

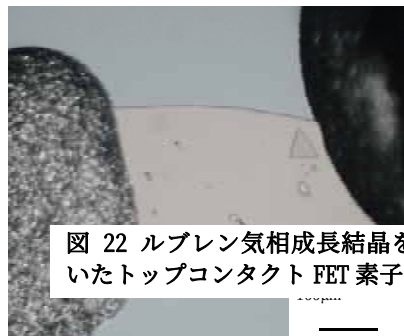


図22 ルブレ気相成長結晶を用いたトップコンタクトFET素子。

この勾配から求められた移動度は約 $0.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、相当大的な値を示す。結晶の接着が悪いと図24の特性は、ほとんどの場合漏れ電流程度しか測定されなく結果的に移動度が決定できない、あるいは非常に低い移動度を示す。

気相ルブレ単結晶の最初のFET特性が高分子(図25の(a)のポリシロオキサン)上で報告されたこと理由は結晶と絶縁膜の接触に理由があったと推論される。

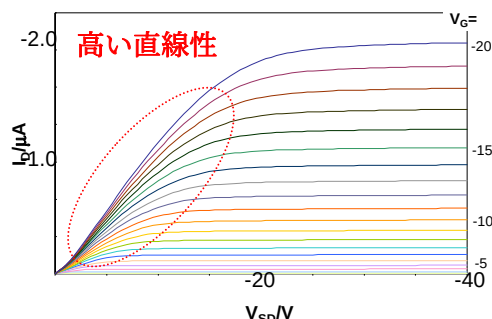


図23 ルブレ気相成長結晶のFET特性。

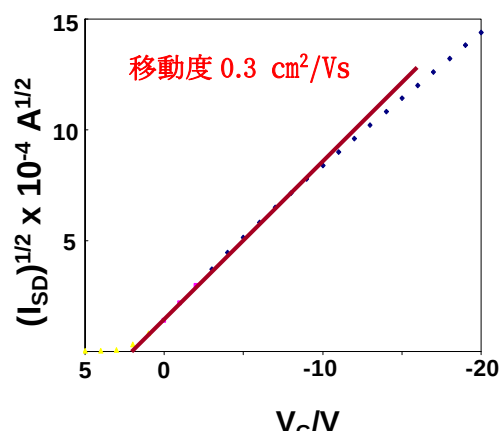


図24 ルブレ気相成長結晶の輸送特性。

7-2. 高分子修飾SiO₂上: 図25には、検討した高分子の分子構造と素子の模式図である。極薄(50-100 nm 程度)の高分子をSiO₂上にスピコートし、その上に、ルブレ結晶を置くデバイス構成である。

図中bはPMMA, cはポリスチレンである。高分子の純度、接着を向上する上での撥水性の観点から、主にポリスチレンを検討した。図26には、典型的なFET特性を示した。直接SiO₂上で得られた曲線と同様に非常に綺麗な特性である。飽和領域での勾配(図27)から求められた移動度は $3.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。 $2-4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の再現ある数値が得られている。我々のTOFによる移動度の数値に近く、結晶の配向、界面、接触等の複雑な課題を解決する糸口を見出した。

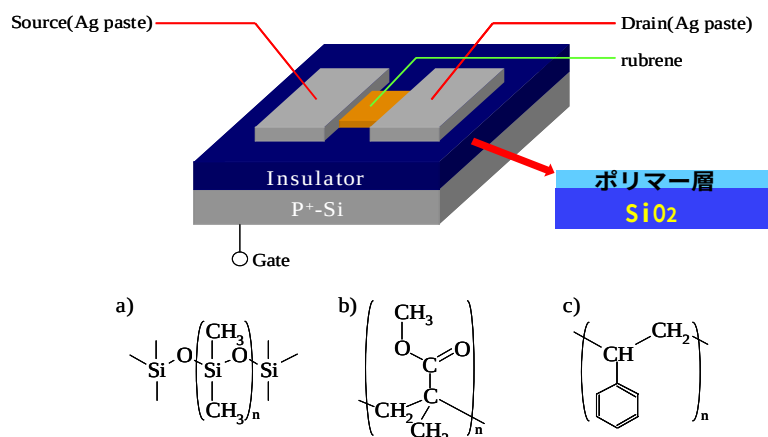


図 25 高分子絶縁膜を使用した有機 FET の模式図と、高分子の構造；(a)ポリシロキサン、(b)ポリメタクリル酸メチル (PMMA)、(c)ポリスチレン

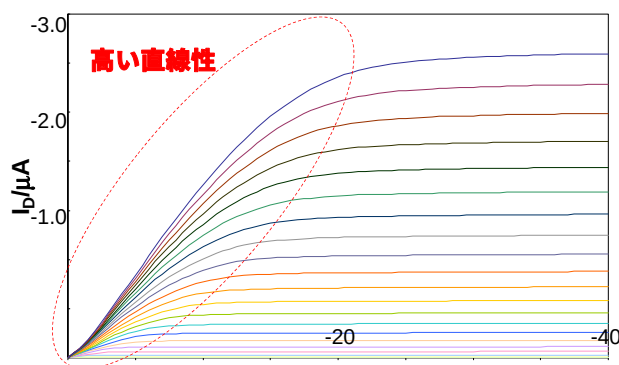


図 26 高分子絶縁膜を使用したルブレノ気相成長結晶の FET 特性。

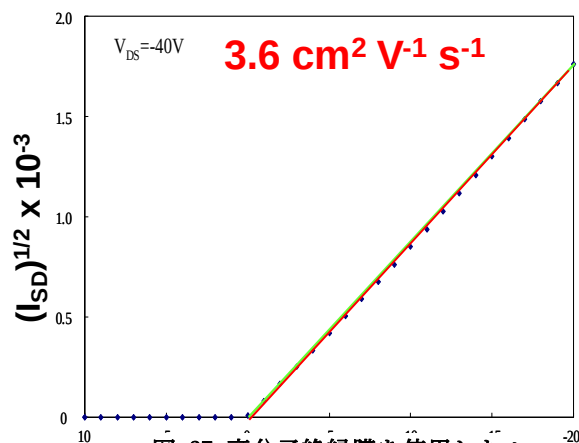


図 27 高分子絶縁膜を使用したルブレノ気相成長結晶の FET 特性。

7-3. その他の単結晶: DT-TTF は山田グループによって合成された。先に述べたように基板に結晶が成長する重要な系である。この結晶も図 28 に示すように非常に広いテラスと示す結晶である。FET測定から求められた、移動度は現在までのところ $0.01\text{--}0.03\text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、論文で報告された $1\sim 0.01\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の範囲に入るが、上限値の $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ なる値はまだ得られていない。DT-TTF および関連化合物の検討は、今後の重要課題の1つである。

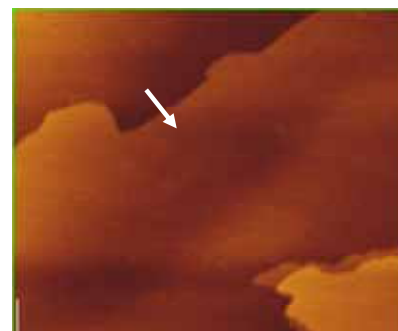


図 28 液相成長 DT-TTF 単結晶の AFM 像

走査範囲 ($2 \times 2\text{ }\mu\text{m}^2$)

まとめと展望

以上のように、有機 FET として最も研究がおこなわれているペンタセン、ルブレノという有機半導体を、溶液からの結晶化法により得られた完全結晶が有機FETの基盤材料として高い移動度を示すことを世界ではじめて実証した。ある意味で物理工学分野の常識を破るものである。

溶液あるいはより一般的に液体中からの結晶化は多くの化合物に適用可能であり、このことが、

新たな新物質の発見につながる可能性を秘めており、新たな研究・開発の方向を提示したと考えられる。更には、有機EL、有機太陽電池等の有機電子デバイス製造プロセスで採用されているドライプロセスに代る可能性もあり、今後のさらなる先導的研究を行っていく。

庭野グループ

(1)研究実施内容及び成果

有機デバイスの動作機構の解明

＜研究実施内容＞

有機電界効果トランジスタ(OFET)は、材料として有機物を用いているため候補となる材料が数多く存在することや安価に作製できることなどで現在注目されている。しかしながら、その動作機構は解明されておらず、OFET の特性向上のためにも、その解明が急務となっている。OFET の動作機構には、有機/金属界面におけるキャリアの注入現象や有機/絶縁体界面でのキャリアトラップなど、界面が重要な役割を果たしている。そこで、OFET の特性評価とともに変位電流測定法(DCM)を用いることにより、OFET の動作機構に及ぼす界面、特に有機/金属界面の効果を調べた。

＜成果＞

変位電流評価法(DCM):

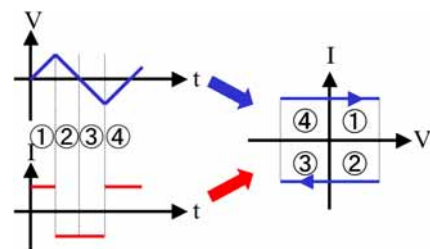
OFET の動作機構において、電極からのキャリア注入現象は重要な役割を果たしている。したがって、OFET のキャリア注入現象を捉えるための測定法の開発が必要である。

一般的に容量 C のコンデンサに流れる変位電流 I_{dis} は、

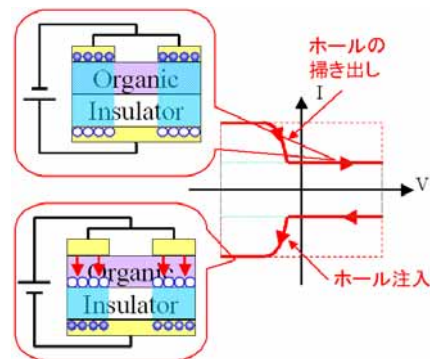
$$I_{dis} = \frac{dQ}{dV} = \frac{d(CV)}{dt} = C \frac{dV}{dt} + V \frac{dC}{dt} \quad (1)$$

であり、容量が変化しなければその容量と印加電圧 V のランプレートに比例した電流が流れる。したがって、三角波の電圧を印加することにより、図 3-2-1 (a) に示すような一定電流が流れる。次に、OFET のソース電極とドレイン電極とを短絡させ、変位電流を測定する場合を考える。キャリアの注入現象がない場合、変位電流波形は図 3-2-1 (a)と同様となる。一方、キャリアの注入現象が生じると、デバイスの容量 C が大きくなるため、図 3-2-1 (b)に示すように変位電流も大きくなる。したがって、この変位電流の変化を観測することにより、OFET へのキャリアの注入現象を捉えることができる。

実際に測定したペンタセン OFET の変位電流波形を図 3-2-2 に示す。図 3-2-1 (b)と同様な波形が得られており、ホールの注入及び掃き出しによる変位電流の変化が明瞭に測定されている。このことは、反転層でチャネルを形成するシリコン FET とは動作機構が異なることを如実に表している。ゲート電圧が印加されていないときは、チャネルにキャリアは存在せず、FET は ON とならない。一方、ゲートに電圧を印加することによりソースまたはドレイン電極から有機膜へキャリアが注入され、チャネルが形成される。つまり、有機/金属界面は、オーミック接触となっておらず、有機/金属界面でのキャリアの注入現象が



(a) 試料がコンデンサの場合



(b) キャリア注入がある場合

図 3-2-1: DCM の原理

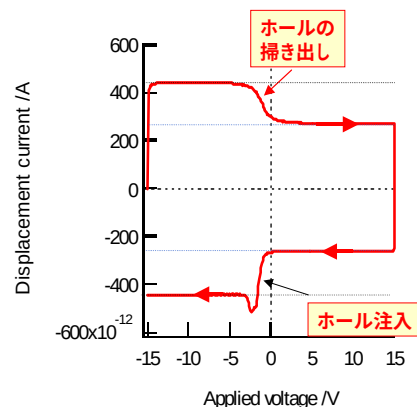


図 3-2-2: ペンタセン OFET の(a)出力特性と(b)変位電流波形

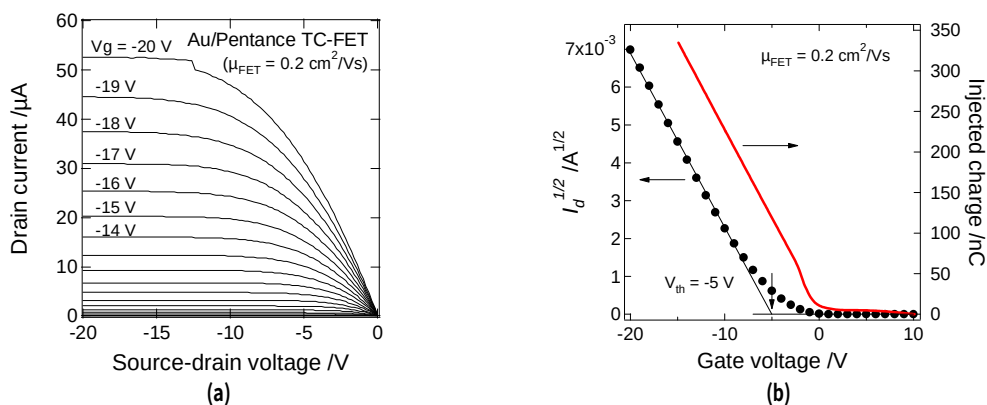


図 3-2-3: ペンタセン OFET の(a)出力特性と(b)輸送特性とチャネルに蓄積した電荷量

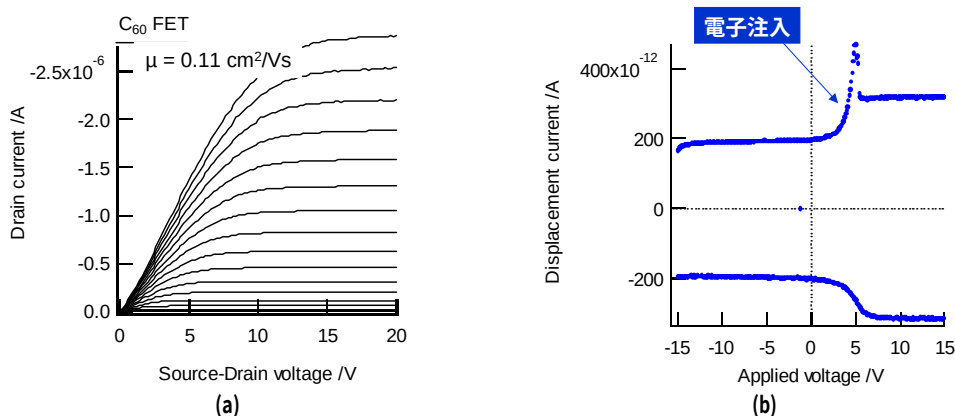


図 3-2-4: C60-OFET の(a)出力特性と(b)変位電流波形

OFET の動作機構に重要な役割を果たしていることがわかる。

ところで、変位電流波形は、ゲート電極に蓄積された電荷を反映しているため、チャネルに蓄積された電荷量を見積もることも可能である。図 3-2-3 にソース、ドレイン電極として Au を用いたペンタセン OFET の(a)出力特性と(b)輸送特性と変位電流波形から見積もられたチャネルに蓄積した電荷量を示す。図 3-2-3 (a)からペンタセン OFET が p チャネル FET として動作していることがわかる。また、図 3-2-3 (b)からゲート電圧に依存してドレイン電流が変調されており、ドレイン電流はゲート電圧の 2 乗に比例して増加していくことがわかる。また、蓄積電荷量はゲート電圧に比例していることがわかる。つまり、チャネルに蓄積された電荷量によって輸送コンダクタンスが制御されており、OFET の特性を決定づけていることがわかる。以上のことから、OFET は電極からのキャリア注入とチャネルに蓄積する電荷の両方によりその特性が制御されていることがわかる。

変位電流評価法は p チャネル FET だけでなく n チャネル FET にも応用可能である。図 3-2-4 に C₆₀-OFET の(a)出力特性と(b)変位電流波形を示す。C₆₀-OFET は n チャネル FET として動作することが知られており、図 3-2-4 (a)に示すように、本研究で作製した C₆₀-OFET

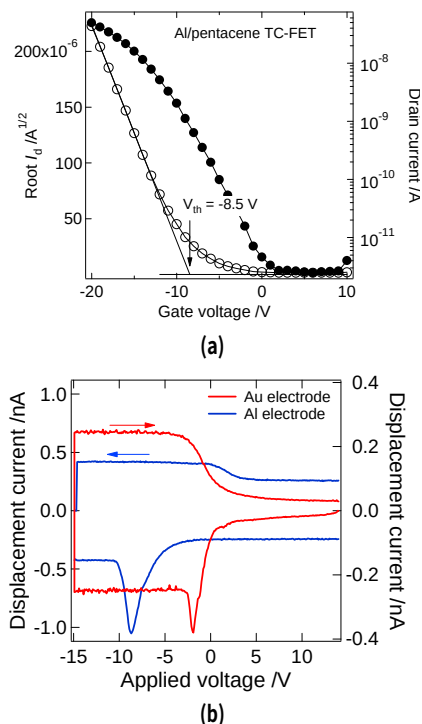


図 3-2-5: Al 電極を用いた場合のペンタセン OFET の(a)出力特性と(b)変位電流波形

もまた良好な n チャネル FET として動作している。また、図 3-2-4 (b)の変位電流波形は、ペンタセンとは異なり、正電圧を印加したときに変位電流が増加しており、C60-OFET の場合、キャリアは正電圧印加時に注入することがわかる。これは、C60 には正電圧によって電子が注入していることを示している。つまり、C60-OFET は、電子をチャネルに蓄積することによって FET が動作していることを示しており、n チャネル FET としての動作を示している図 3-2-4 (a)の出力特性の結果と一致している。

(i) ソース、ドレイン電極の材料依存性

図 3-2-5 にソース、ドレイン電極として Au ではなく Al を用いた場合のペンタセン OFET の(a)輸送特性と(b)変電流波形を示す。図 3-2-5 (a)から閾電圧が -8.5 V と見積もられ、Au を電極として用いた場合の -5 V と比べてその絶対値が非常に大きな値となっていることがわかる。また、図 3-2-5 (b)に示す変位電流波形においても、Al 電極を用いた場合、キャリア注入開始電圧が Au 電極と比べて大きく負側にシフトしており、OFET の閾電圧がキャリア注入開始電圧に強く依存していることがわかる。これは、Au と Al のフェルミレベルの位置の違いによると考えられる。図 3-2-6 に示すように、ホールの伝導に寄与するペンタセンの HOMO は、Au のフェルミレベルとほぼ同じ位置にある。したがって、Au からペンタセンの HOMO にホールを低電圧で注入することが可能である。しかしながら、Al のフェルミレベルは、ペンタセンの HOMO と LUMO のほぼ中間に位置し、Al から HOMO へホールを注入するためには大きな電圧を必要とする。このように、ソース、ドレインの電極材料の違いによる OFET の閾電圧の差は、そのフェルミレベルの位置が大きな影響を与えていると考えられる。

(ii) ルブレネ単結晶による OFET

通常、蒸着で堆積した有機膜は、多結晶またはアモルファスであり、それらを OFET に用いた場合、その膜質が OFET の特性に大きな影響を与えることが知られている。そこで、有機単結晶を用いて OFET を作製し、OFET の動作機構に及ぼす有機/金属界面の与える影響をさらに詳細に調べた。本研究では厚さ約 $1\mu\text{m}$ のルブレネ単結晶を用いた。昇華精製後のルブレネを再び昇華させ、その昇華したルブレネを窒素キャリアガスにて低温

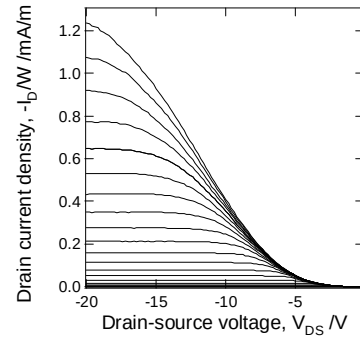


図 3-2-9: Au 電極を用いたルブレネ単結晶 FET の典型的な出力特性

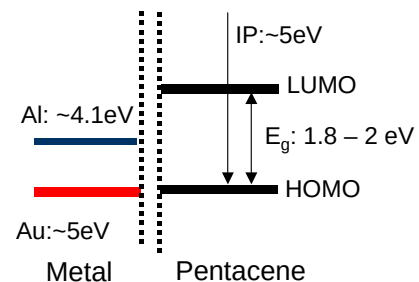


図 3-2-6: Au および Al のフェルミレベルとペンタセンの HOMO, LUMO との関係

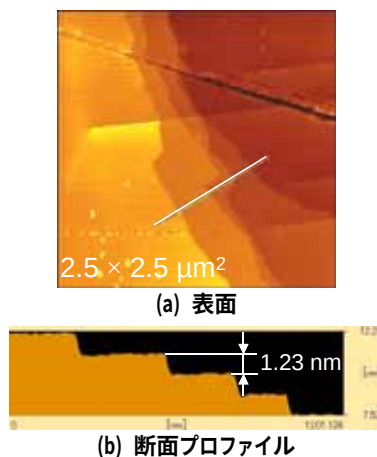


図 3-2-7: 気相成長で作製した単結晶ルブレネの (a)AFM 像と(b)その断面プロファイル

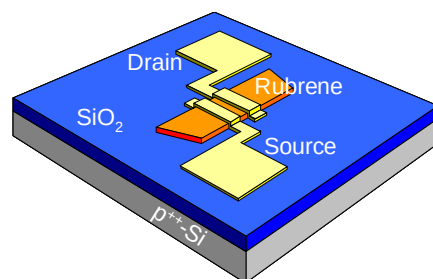


図 3-2-8: ルブレネ単結晶 FET の構造

部に送り、冷却した。その冷却されたルブレが再結晶化することにより、単結晶ルブレが得られる。図 3-2-7 に得られたルブレ結晶の AFM 像を示す。1.23 nm のステップと平坦なテラスによってその表面は構成されており、得られたルブレ結晶が単結晶であることを示唆している。

このようにして得られたルブレ単結晶を図 3-2-8 に示すように熱酸化 SiO₂ 膜上に固定し、その上に Au や Ag 等の金属を堆積し、その FET 特性を測定した。Au 電極を用いたルブレ単結晶 FET の典型的な出力特性を図 3-2-9 に示す。ドレイン電流は、ゲート電圧によって変調され、飽和特性も得られているが、ペンタセン OFET の場合の出力特性である図 3-2-4 (a)とはことなり、ドレイン電圧が低い領域において直線ではなく、下に凸の曲線を描いていることがわかる。ドレイン電流が蓄積電荷によってのみ制限されているのであれば、直線領域が存在することは Maxwell-Wagner モデルによっても示されている。しかしながら、Au 電極を用いたルブレ単結晶 FET では直線領域は存在しない。

さらに、電界効果移動度と閾電圧との関係を調べた。ソース、ドレイン電極として、Au、Ag、Ag ペースト、Ag を 20nm 堆積した上に Au を堆積した Au/Ag(20nm)の4種類の電極をそれぞれ用いた。電界効果移動度 μ_{FET} は、しばしば、

$$I_d^{\text{sat}} = \mu \frac{WC_i}{2L} (V_G - V_{th})^2 \quad (2)$$

を用いて飽和ドレイン電流 I_d^{sat} から見積もられる。ここで、 W 、 L 、 C_i は、それぞれ、ゲート幅、ゲート長、単位面積あたりのゲート容量である。式(2)によって見積もられた移動度と閾電圧の関係を図 3-2-10 に示す。閾電圧の絶対値が小さいほど電界効果移動度が大きいことが明瞭に示されている。しかしながら、電界効果移動度を見積もるときの式(2)は、飽和ドレイン電流に及ぼす閾電圧の効果は考慮済みであり、移動度に関して無関係である。つまり、式(2)で見積もられる移動度は“見かけ”の移動度であり、ルブレ単結晶の移動度を必ずしも反映しておらず、電極の影響を大きく受けている。先述のように有機/金属界面はオーミック接触とはなっておらず、キャリアがその界面を乗り越えるためには障壁 ϕ が存在する。このようなとき、その電流-電圧は、図 3-2-11 に示すような二極管と同じ特性となると考えられる。このときの飽和電流 I_s は、ショットキー効果を考慮した Richardson-Dushman の熱電界放出の式

$$I_s = AT^2 \exp\left(-\frac{\phi}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{e}{k_B T} \sqrt{\frac{eE}{\pi\epsilon}}\right) \quad (3)$$

によって表される。ペンタセン OFET のように膜厚が薄い場合、その電界は大きく、F-N(Fowler-Nordheim)トンネルによる電流が支配的となるであろう。いずれにせよ、飽和電流 I_s に有機/金属界面での電界強度 E が大きな影響を与える。図 3-2-12 に膜厚 20 nm の Ag 薄膜表面の AFM 像を示す。膜厚 20 nm の Ag 薄膜表面は直径数十 nm の Ag 微粒子によってできていることがわかる。このような Ag 微粒子が集まっている場合、電界増強効果が期待される。単純な Ag 電極では、ほぼ Au と同様の閾電圧を

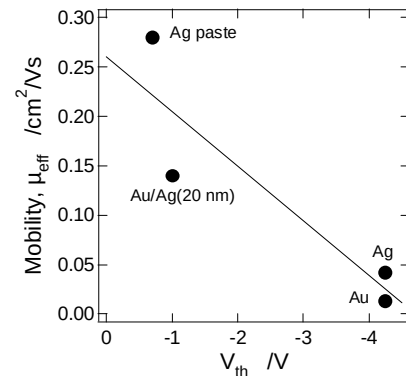


図 3-2-10: 電界効果移動度と閾電圧との関係

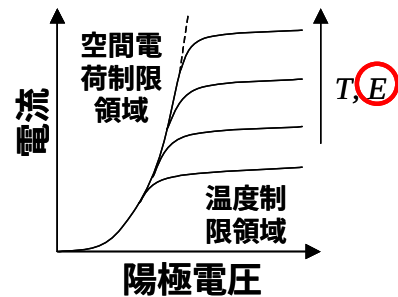


図 3-2-11: 二極管の電流電圧特性

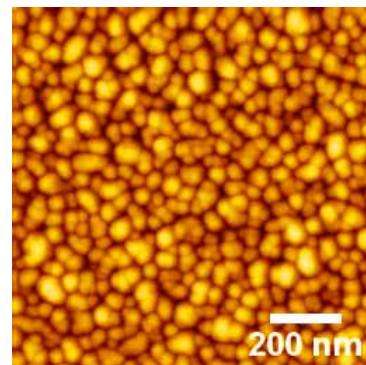


図 3-2-12: 膜厚 20 nm の Ag 薄膜表面の AFM 像

示すにもかかわらず、Au/Ag(20 nm)の電極を用いた場合には、その閾電圧は大幅に小さくなっている(図 3-2-10)。これは、Ag 微粒子による電界増強効果を示すものであり、ドレイン電流が式(3)に示すような有機/金属界面での熱電界放出によって制限されていることを示している。

以上のように OFET のドレイン電流は、チャンネルに蓄積された電荷量だけでなく有機/金属界面におけるポテンシャル障壁による飽和電流によっても制限される。どちらが律速するかは、ポテンシャル障壁の大きさ、電界強度、チャンネル長などの OFET の寸法などが複雑に関係し合っていると考えられる。有機/金属界面の効果が大きい場合には、移動度を見積もるための式として式(2)を用いることは適切ではない。したがって、今後の有機 FET の特性向上のためには、さらなる動作原理の解明、特性の評価技術の向上が不可欠である。

① 固液界面を利用したナノ構造作製

＜研究実施内容＞

固液界面を利用して作製できるナノ構造の 1 つにポーラスアルミナ(por- Al_2O_3)がある。por- Al_2O_3 はアルミニウム(Al)を陽極酸化することによって得られ、蜂の巣状の孔を有した構造をしている。その孔の周期や径は、陽極電圧や溶液により数十から数百 nm まで制御することができる。そこで、por- Al_2O_3 をテンプレートとして半導体表面に規則ナノ構造を作製すること及びその形成機構を利用したナノデバイスの試作を行った。また、色素増感太陽電池(DSSC)の陰極材料や光触媒材料として有名な酸化チタン(TiO_2)のナノチューブ作製方法として、チタン(Ti)の陽極酸化による手法を検討し、 TiO_2 ナノチューブの高速作製に成功した。また、それを DSSC へと応用した。

＜成果＞

(i) ヘテロ界面における por- Al_2O_3 の形成機構の解明とシリコン表面への転写

por- Al_2O_3 の規則ナノ構造をテンプレート利用するためには、対象となる基板上へ Al 薄膜を堆積させその Al 薄膜を陽極酸化する必要がある。したがって、Al/半導体ヘテロ界面での por- Al_2O_3 の形成機構を解明する必要がある。本研究では、多重内部反射赤外吸収分光法(MIR-IRAS)を用いて Al/半導体ヘテロ界面での por- Al_2O_3 の形成過程をその場観察し、その形成機構を調べた。半導体基板としては p 型シリコン(p-Si(100))を用いた。溶液は 0.3M シュウ酸、陽極電圧は 40 V とした。図 3-2-13 にその結果を示す。溶液を示す OH 伸縮振動モード (3200 cm^{-1})、por- Al_2O_3 ($1460, 1570\text{ cm}^{-1}$)、及び SiO_2 形成 ($1460, 1570\text{ cm}^{-1}$)を示す吸収ピークが観測されている。これらの吸収ピークの強度を陽極電流とともにプロットしたものが図 3-2-14 である。陽極酸化時間 1050 秒までは赤外吸収ピークは現れず(図 3-2-14 の A)、それ以降(図 3-2-14 の B)陽極電流の減少とともに

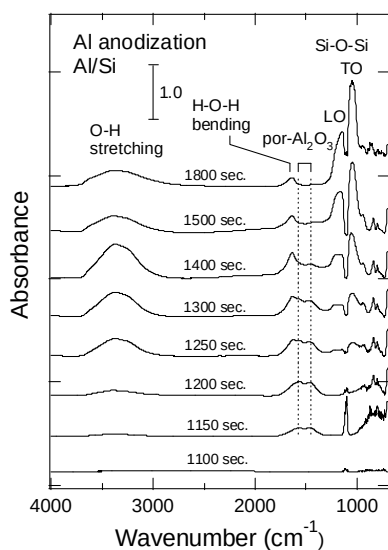


図 3-2-13: 陽極酸化中における Al/Si 界面の赤外吸収スペクトル

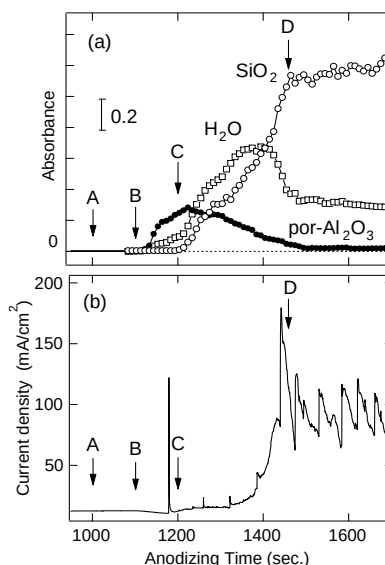


図 3-2-14: 赤外吸収ピーク強度と陽極酸化電流

por- Al_2O_3 及び溶液によるピークが増加していることがわかる。MIR-IRAS は半導体界面に励起されたエバネセント波による吸収を測定しているため、界面にのみその感度を持つ。したがって、これらのピークの変化は、por- Al_2O_3 が Al/Si 界面まで成長してきたことを示している。また、陽極酸化電流の減少は、Al の枯渇し始めていることを示しており、赤外吸収スペクトルの結果と一致する。その後、スパイク状の陽極電流が観測された。その直後、 SiO_2 が現れはじめ、por- Al_2O_3 は減少することがわかる。これは、完全に Al が枯渇し、por- Al_2O_3 /Si 界面に溶液が侵入し、Si 表面が酸化され始めていることを示している。スパイク状の陽極電流は溶液が por- Al_2O_3 /Si に侵入することによる電気二重層の変化によるものであると考えられる。その後、por- Al_2O_3 は完全に消滅し、 SiO_2 が急激に増加する。これは、 SiO_2 の形成およびその形成中における水素等のガスの発生により por- Al_2O_3 が剥離したことを示している。また、 SiO_2 の形成は、溶液を Si から遠ざけ、エバネセント波からも遠ざけることになるため、溶液の吸収ピークは SiO_2 の形成とともに減少している。さらに、por- Al_2O_3 の形成過程を電子顕微鏡(FE-SEM)により観察した結果を図 3-2-15 に示す。por- Al_2O_3 の成長、Al の枯渇、por- Al_2O_3 /Si 界面へのボイドの形成がはっきりと見て取れる。この結果は、MIR-IRAS によるその場観察の結果と一致しており、MIR-IRAS は固液界面反応をリアルタイムに測定できる有力な手法であることがわかる。

これらの por- Al_2O_3 形成機構を踏まえ、por- Al_2O_3 の形成後、フッ酸(HF)中で陽極酸化を行なうことにより、すべてを溶液プロセスにて por- Al_2O_3 の規則ナノ構造を Si 表面に転写した。その結果を図 3-2-16 に示す。Si の陽極酸化の条件は、孔の直径と周期を por- Al_2O_3 と揃えることが重要であり、溶液は、HF とエタノールの混合液(HF(10%): $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ = 1:1)を用い、陽極電流を 8 mA/cm^2 とし、背面から可視光を照射しながら陽極酸化を行った。直径約 60 nm、深さ約 200 nm の孔が Si 表面に規則的に配列し、por- Al_2O_3 の規則ナノ構造が転写されていることがわかる。

以上の結果は、固液界面反応場を制御することによりナノサイズの加工が可能であることを示している。

(ii) por- Al_2O_3 形成機構を利用した単電子トランジスタの作製

先述したように、Al 薄膜の陽極酸化においては、ヘテロ界面付近まで por- Al_2O_3 が成長すると Al が枯渇してくる。図 3-2-15(b)は Al が枯渇する直前の断面 SEM 像であるが、それを詳細に見ると、por- Al_2O_3 /Si 界面に Al のナノドットが形成していることがわかる。図 3-2-17R に por- Al_2O_3 層を取り除いた後の Si 表面の SEM 像を示す。三角形の Al ナノドットが自己組織的に作製できていることがわかる。この自己組織的に作製されるナノドットを利用して単電子トランジスタを作製した。

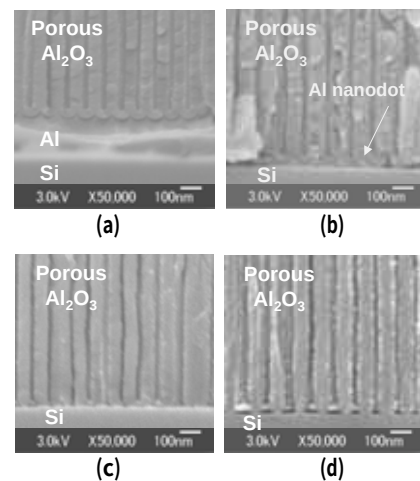


図 3-2-15: Al/Si ヘテロ界面における por- Al_2O_3 の FE-SEM 像

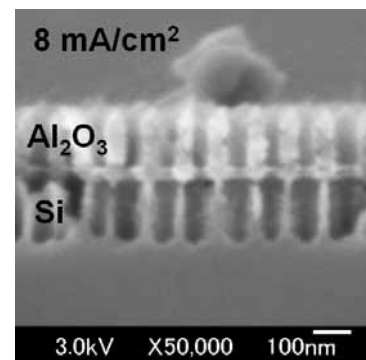


図 3-2-16: por- Al_2O_3 規則ナノ構造を転写した Si の断面 SEM 像

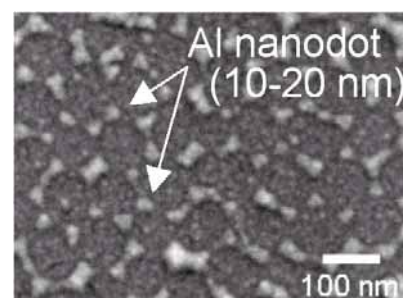


図 3-2-17R: Al の陽極酸化中に自己組織的に作製される Al ナノドット

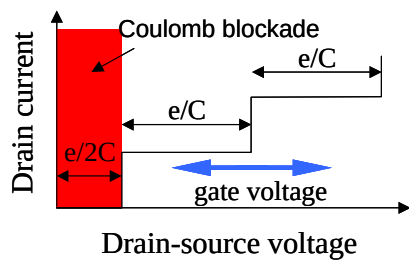


図 3-2-18R: 単電子トランジスタの電流-電圧特性

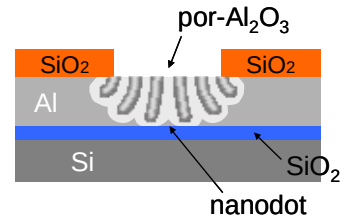


図 3-2-19: パターニングされた Al 電極の陽極酸化による por- Al_2O_3 及び Al ナノドットの形成

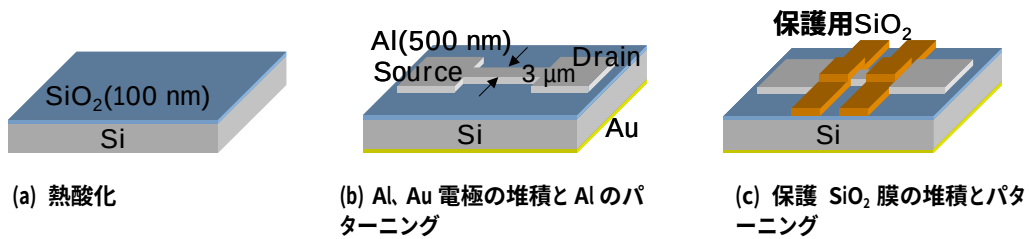


図 3-2-20: Al マイクロワイヤの作製とそのパターニング

単電子トランジスタは、ソース、ドレイン及びクーロン島と呼ばれるナノドットからなり、その電流-電圧特性は、図 3-2-18R に示すように、ソース電圧に対して階段状の電流が流れる。デバイスの全容量を C としたとき、電流ステップは $e/2C$ に現れ、その後 e/C ごとに現れる。このような電流-電圧特性をクーロン階段と呼ばれている。ナノデバイスの集積化のためには、そのデバイスの位置を制御することが非常に重要である。そこで、図 3-2-19 に示すように陽極酸化する領域をマスクすることにより陽極酸化する位置を制限し、Al ナノドットの形成場所を制御する。また、本手法は、ナノドットが作製されると同時にソース、ドレイン電極も形成できることが大きな特徴である。実際には、図 3-2-20 に示すように、先ず(a)Si 基板の熱酸化によって作製した SiO_2 膜上に(b)約 $3\mu\text{m}$ 幅の Al マイクロワイヤを作製し、その上に陽極酸化を行なう場所を制限するために SiO_2 保護膜を堆積し、それをパターニングする。これにより、図 3-2-19 に示すようなパターニングされた Al ナノワイヤが作製される。実際に作製されたパターニングされた Al 電極を図 3-2-21 に示す。

Al マイクロワイヤを陽極酸化し、ナノドットを所望の場所に作製するためには、図 3-2-15 で示すように、陽極酸化時間が重要である。陽極酸化時間を制御するためには、Al マイクロワイヤが切断された時間を正確に把握しなければならない。Al マイクロワイヤには図 3-2-20 (b), (c)のように、ソース電極、ドレイン電極としてパットが 2 つ用意さ

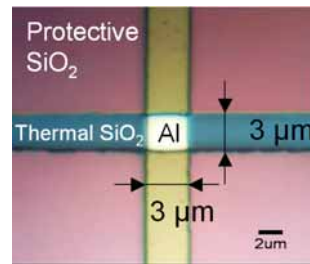
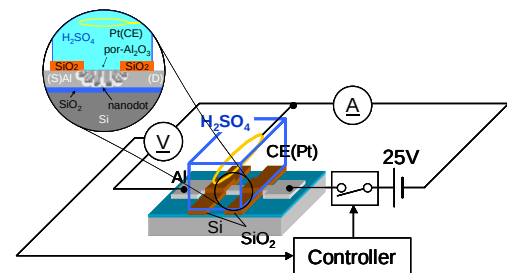
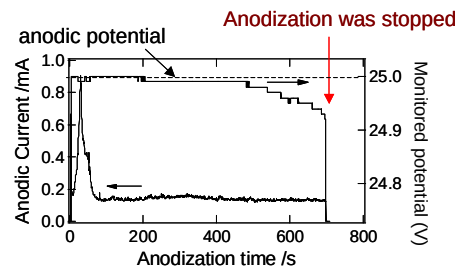


図 3-2-21: パターニングされた Al 電極



(a) マイクロワイヤの陽極酸化時間制御回路



(b) 陽極電流と Al 電極電位

図 3-2-22: マイクロワイヤの陽極酸化プロセス

れている。そこで、図 3-2-22 (a)に示すように Al マイクロワイヤの 1 つの電極パッドから陽極電圧を印加し、もう 1 つの電極パッドを通してカウンター電極間との電位を測定した。この電位は、Al マイクロワイヤが切断される前は印加されている陽極電圧と一致する。一方、それが切断されたときには、測定されている電位は、陽極電圧との間に電位差を生じる。この電位差を生じたときにコントローラを用いて陽極電圧印加用の回路を遮断することにより陽極酸化時間を制御した。本研究

究では、その電位差を 0.1 V と設定した。図 3-2-22 (b)に陽極酸化中における陽極電流と電極の電位を示す。ただし、陽極電圧は 25 V、溶液は、1.7 wt.%の硫酸を用いた。陽極酸化初期における電極電位はほぼ 25 V を示しており、陽極電圧と一致していることがわかる。また、陽極酸化が進行するにつれて、電極電位は減少している。電極電位が 24.9 V になったとき、電位及び電流が急激に減少し、回路がコントローラによって切断されたことがわかる。このようにして作製されたナノデバイス実際の写真を図 3-2-23 に、また、その電流-電圧特性を図 3-2-24 に示す。なお、この測定は、室温で行なわれた。ソース電圧が 2 V まで電流は全く流れず、それを超えると急激に電流が増加し、定電流が流れている。その後、ソース電圧が 6 V 付近で再び電流が増加している。また、電流値が急激に増加するソース電圧は 2V と 6V であり、ちょうど 1:3 の関係にある。これは、図 3-2-18R に示した理想的な単電子トランジスタの電流-電圧特性であり、クーロン階段そのものである。また、そのクーロンブロック電圧は 2 V という巨大な値を示しており、この値は、現時点で世界最大の値である。クーロンブロック電圧は、単電子トランジスタの室温動作を考える上で非常に重要なパラメータである。この電圧と電子素量との積はクーロン島に電子を 1 つ帯電させるために必要なエネルギーであり、それが室温のエネルギーである 26 meV よりも大きくなければ単電子トランジスタは室温で動作しない。したがって、2 V ものクーロンブロック電圧は、室温動作に必要な条件を十分に満足する値であるため図 3-2-24 に示すような理想的なクーロン階段が観測されたと考えられる。このクーロンブロック電圧からデバイス容量を見積もると約 4×10^{-2} aF という非常に小さな値となる。これは、図 3-2-24 の挿入図に示すように、ナノドットが三角形をしていること及び、ソース、ドレイン電極もまた先端が先鋭化していることにより極小の容量が得られたと考えられる。

図 3-2-25 (a)はパターニングされた Al の陽極酸化の様子を示した断面 SEM 像である。SiO₂ マスク付近は por-Al₂O₃ の成長速度が遅く、SiO₂ マスクの窓の中心付近が最も成長速度が速いことがわかる。これによ

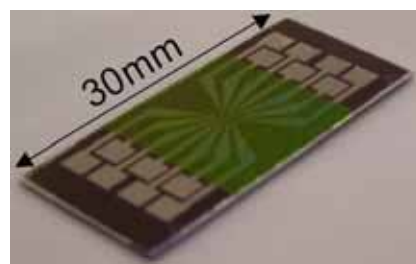


図 3-2-23: 作製された単電子トランジスタ

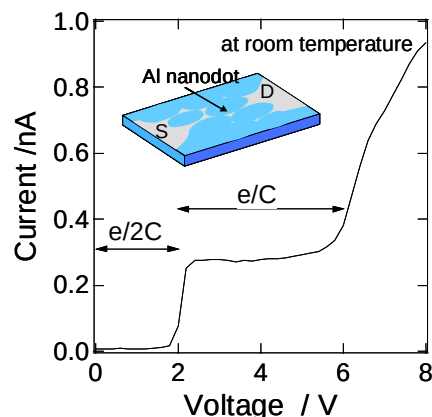
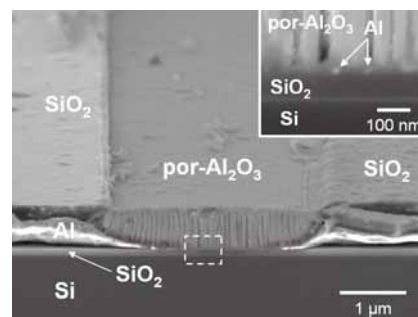
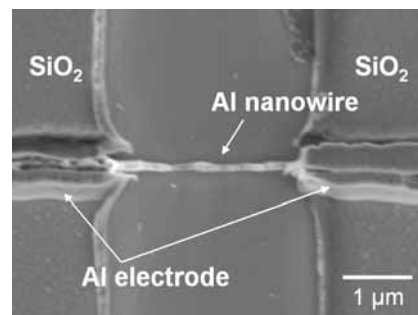


図 3-2-24: 陽極酸化によって得られたナノドットからのクーロン階段



(a)



(b)

図 3-2-25: (a)パターニングされた Al 膜を陽極酸化したときの試料断面と(b)陽極酸化によって切断される直前の Al マイクロワイヤ FE-SEM 像

り、ナノドットは、 SiO_2 マスクの窓の中心付近に形成する。実際に図 3-2-25 (a)の拡大図はその中心付近を拡大したものであるが、Al ナノドットが形成していることがわかる。一方、図 3-2-25 (b)は Al マイクロワイヤが切断される前に陽極酸化を終了し、por- Al_2O_3 層を除去した試料の SEM 像であるが、約 100 nm のナノワイヤが形成していることがわかる。これは、Al マイクロワイヤの側面からの陽極酸化により Al マイクロワイヤが細線化したと考えられる。これは、パターニングされた Al の中心付近にナノドットが形成されていることを示しており、ナノデバイスの位置を制御することが可能であることを示している。また、これらのナノドット付近でのソース、ドレイン電極の薄膜化と細線化もまたデバイス容量の低減に寄与していると考えられる。

以上の結果は、リソグラフィ技術などのトップダウンプロセスと自己組織化などのボトムアッププロセスとを組み合わせることにより、位置を制御した室温動作可能なナノデバイスの構築が十分可能であり、ナノデバイスを構築するために必ずしもナノメートルサイズのリソグラフィ技術を必要としないことを示している。

(iii) 陽極酸化による TiO_2 ナノチューブの作製

現在、DSSC の陰極材料として用いられている TiO_2 は、微粒子である。微粒子構成された TiO_2 膜の場合、発電の際、多くの電子は微粒子間の界面により散乱され、リーク電流や直列抵抗の増加につながり、変換効率の低下の原因となると考えられる。したがって、 TiO_2 に注入された電子が直接透明電極まで輸送されるような TiO_2 ナノチューブを陰極材料として使い、電子の散乱を抑制することにより、DSSC の特性向上が期待できる(図 3-2-26)。そのためには、効率よく TiO_2 ナノチューブを作製する技術の開発が必要である。

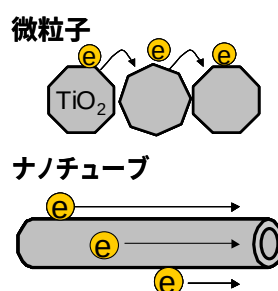
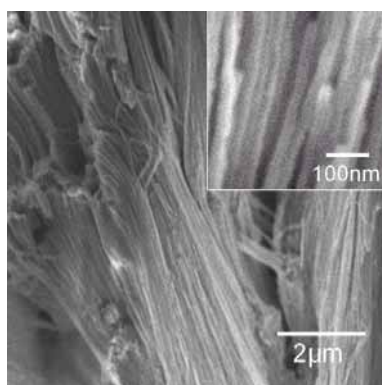
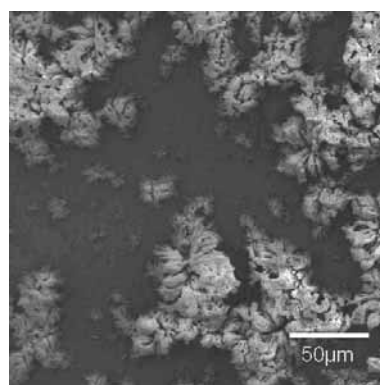


図 3-2-26: TiO_2 ナノチューブの電子輸送

Ti は Al と同様にバルブメタルの 1 つであり、Ti を陽極酸化することにより TiO_2 ナノチューブの作製が試みられている。しかしながら、その溶液はフッ化物系であり、長時間の陽極酸化時間を必要とした。そこで、過塩素酸を用いて陽極酸化を行った。図 3-2-27 に 0.1%の過塩素酸中で 15V の陽極電圧によって 5 分間 Ti を陽極酸化したときに作製された TiO_2 ナノチューブの SEM 像を示す。図 3-2-27 (a)から直径が約 30nm の TiO_2 ナノチューブが形成していることがわかる。しかしながら、図 3-2-27 (b)から、 TiO_2 ナノチューブは均一に成長していないことがわかる。一方、溶液として 60 wt.%の過塩素酸とエタノールの混合溶液(1:15)を用い、40 V で 5 分の陽極酸化を行った場合、図 3-2-28 に示すように、約 70nm の直径を有する TiO_2 が基板に均一に成長していることがわかる。図 3-2-28 の挿入図は、 TiO_2 ナノチューブが剥離した部分の Ti 表面の SEM 像であるが、均一にクレータ状のくぼみが見られ、これからも均一な陽極酸化が進行していることがわかる。

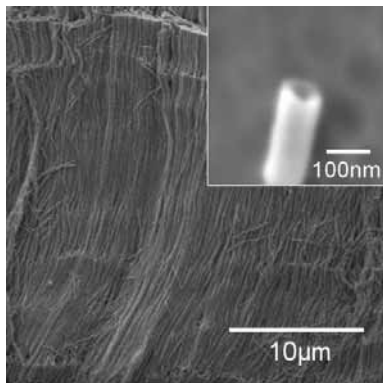


(a) 断面

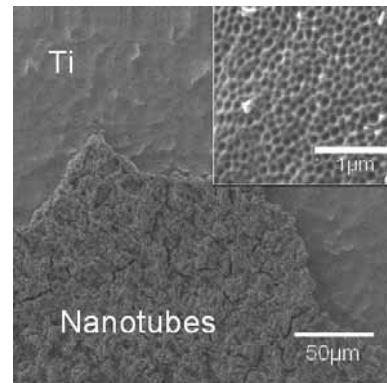


(b) 表面

図 3-2-27: 0.1%過塩素酸中、15V、5 分の陽極酸化により作製した TiO_2 ナノチューブ



(a) 断面



(b) 表面

図 3-2-28: 60 wt.%の過塩素酸とエタノールの混合溶液(1:15 中、40 V、5 分の陽極酸化により作製した TiO_2 ナノチューブ

さらに、図 3-2-29 に示すように過塩素酸のみでは、 TiO_2 ナノチューブの直径は陽極電圧を変化させても 20 ~ 30 nm の間で大きく変化しないが、エタノールとの混合溶液を用いることにより、 TiO_2 ナノチューブの直径を制御することが可能となった。また、過塩素酸中で高電圧で陽極酸化を行なうと図 3-2-29 の挿入図にあるように長さの短い TiO_2 ナノチューブしか成長しなくなる。ナノチューブの形成機構において、陽極電圧印加による TiO_2 の溶解速度と成長速度とのバランスが重要であることが知られているが、過塩素酸のみ溶液の場合、 TiO_2 の溶解・成長速度のバランスがとれる領域が狭く、エタノールを加えることにより、陽極電圧の広い範囲でそれらのバランスが維持されていると考えられる。また、均一な陽極酸化が可能となるのは、電気二重層の幅が過塩素酸のみの場合よりも広がるためであると考えられる。

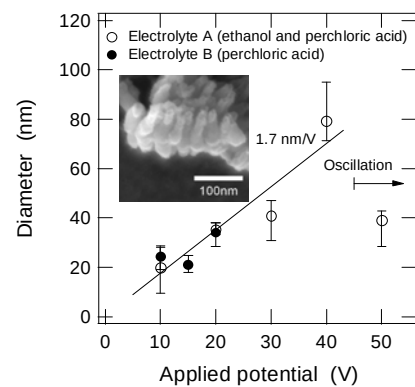


図 3-2-29: TiO_2 ナノチューブの直径の陽極電圧依存性

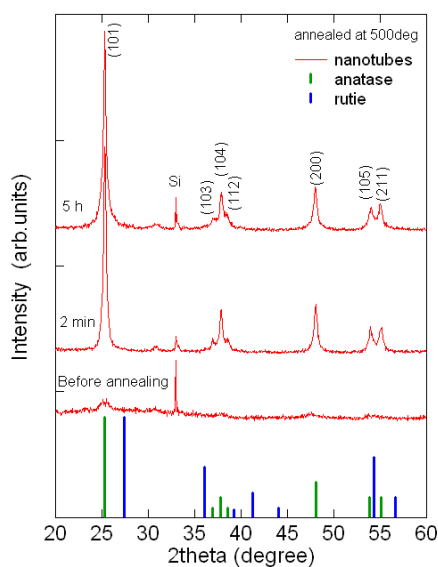


図 3-2-30: 熱処理前後の陽極酸化 TiO_2 ナノチューブの X 線回折像

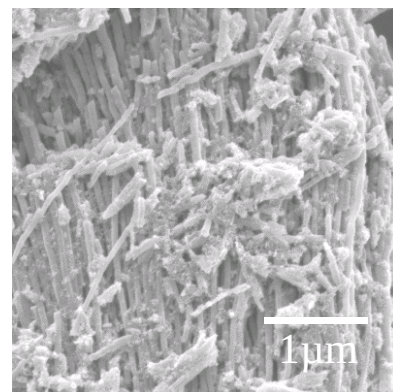


図 3-2-31: 熱処理後の TiO_2 ナノチューブの SEM 像

次に、陽極酸化で作製した TiO_2 ナノチューブを DSSC の陰極に応用した。過塩素酸とエタノールの混合溶液中での陽極酸化により得られた TiO_2 ナノチューブは図 3-2-30 に示す X 線回折像からわかるようにアナターゼの微結晶またはアモルファス TiO_2 からなる。また、これを大気中 500℃ で熱処理することにより、アナターゼのみからなる TiO_2 に相変態していく様子がわかる。図 3-2-31 は熱処理後の TiO_2 ナノチューブの SEM 像である。熱処理後もナノチューブの構造を保持していることがわかり、図 3-2-30 の X 線回折像と合わせて熱処理によって、陽極酸化によって作製された TiO_2 ナノチューブを熱処理することによりアナターゼからなる TiO_2 ナノチューブ作製できることがわかる。

図 3-2-32 は、Ti を陽極酸化した後、Ti から剥離した TiO_2 ナノチューブを用いて実際に作製した DSSC の電流-電圧特性である。使用した光源はコールドライト(HOYA-SCOTT HL100)であり、そのスペクトルを挿入図に示す。解放電圧が約 0.78 V、フィルファクター FF が 0.62 という特性が得られた。これらの値は、これまで報告されている DSSC の一般的な値と同等であり、陽極酸化によって作製された TiO_2 ナノチューブが DSSC の陰極材料として十分な性能を有していることを示している。

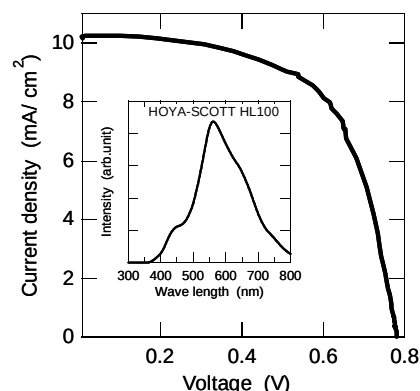


図 3-2-32: 陽極酸化 TiO_2 ナノチューブを用いた DSSC の電流-電圧特性

(2) 研究成果の今後期待される効果

OFET の動作機構の解明では、有機/金属界面を中心に有機 FET の動作機構に与える界面の影響を調べてきた。その結果、OFET はチャンネル領域の蓄積電荷量だけでなく、有機/金属界面での電気的特性が大きな影響を与えることを示した。これは、OFET の電流駆動能力の向上や閾電圧の安定化など、今後、OFET の特性を向上させる上で重要な知見であり、OFET の動作理論の確立にもつながると考えられる。

固液界面を利用したナノ構造の作製では、バルブメタルの陽極酸化に注目し、por- Al_2O_3 や TiO_2 ナノチューブの利用、作製を行った。Al の陽極酸化過程を利用した SET の作製では、位置制御された室温動作ナノデバイスの作製プロセスの提案を行い、実際にそれを作製し、2 eV にも及ぶ巨大なクーロンブロックード電圧を世界に先駆け観測した。この結果は、トップダウンプロセスとボトムアッププロセスとを組み合わせることにより、ナノデバイスを作製するためにナノメートルの加工寸法は必ずしも必要ないことを示しており、今後のナノデバイスの作製プロセスの重要な方向性を示唆しており、ナノデバイス構築の大きな大きな第一歩といえる。また、Ti の陽極酸化により TiO_2 ナノチューブの高速合成に成功し、これを DSSC へと応用した。その結果、陽極酸化 TiO_2 ナノチューブは、DSSC の陰極材料として十分な特性を有することがわかった。Ti の陽極酸化は、今後期待される新しい太陽電池である DSSC や有機太陽電池で理想的といえる図 3-2-33 に示すような TiO_2 の陰極構造を作製できる手法の 1 つである。したがって、本研究において、陽極酸化 TiO_2 ナノチューブの高速合成が可能であること、また、それが、DSSC の陰極として用いるための十分な特性を有していることが示されたことは DSSC や有機太陽電池の高効率化という点において非常に意義深いといえる。

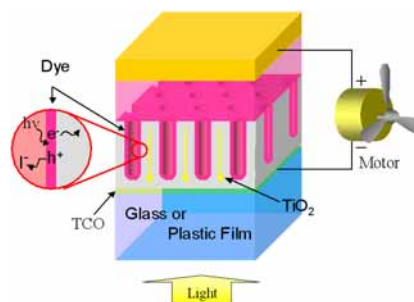


図 3-2-33: 陽極酸化 TiO_2 ナノチューブによる理想的な TiO_2 陰極構造

廣瀬グループ

(1)研究実施内容及び成果

(1)-1 概要

有機半導体のキャリア移動度は有機デバイスの性能を直接決める重要な特性である。これまでキャリア移動度は、飛行時間計測法（Time-of-flight , TOF 法）や Hall 効果測定、FET の電界効果移動度から見積もられてきた。この中でもっとも広く活用されているのが電界効果移動度である。これは、有機 FET の電流増幅メカニズムが Si の Metal-oxide-semiconductor FET (MOSFET) と同一であるとの前提にドレイン電流のゲート電圧依存性から算出するものである。しかし、有機 FET のメカニズムが SiMOSFET と同一とは考えにくく、また実際の有機 FET の特性はチャンネル移動度のみならず、有機半導体と電極との界面抵抗やゲート絶縁膜の表面状態に強く影響をうけることが知られており、これから有機半導体本来の移動度を抽出するのは疑問視する見方もある。

TOF 法は、有機半導体に局所的に紫外光を照射し、そこで発生したキャリアを 2 端子電極で印加した電界で移動させ、その移動時間を変位電流の持続時間で測定するものであり、原理的に電極抵抗の影響を受けにくい。これまで多く研究報告がされているが、その殆どは $10^{-2}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以下の低移動度材料に限られていた。それは、従来法では紫外光を膜表面に入射させる縦測定であり、飛行距離が十分に稼げないため、移動度が $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 近くになると TOF 信号がサブマイクロ秒となり、信号記録回路の帯域確保が困難であるからである。本研究課題で取り扱う分子性有機単結晶では移動度として $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える高速キャリア輸送が期待されており、この評価のためには飛行距離を十分にかせげる横方向 TOF が必要であり、本研究ではそのシステムを独自に開発した。また測定されるフォトカレントは μ 秒の矩形波になるため、そのための高速プリアンプを独自に開発した。本研究では開発された装置を用いて、 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える高移動度性で注目されている有機単結晶ルブレンの測定を試み、成功した。

分子性結晶は 3 次元的に結晶の周期性に異方性があることから、移動度においても異方性があることがいわれている。すなわち、分子性有機単結晶のポテンシャルを最大限に引き出すためには、移動度の異方性の評価も重要である。本研究で開発された TOF 法ではその評価も可能であることがわかった。これから以下に示す節では、開発した横方向 TOF の概要と分子性結晶ルブレンの評価結果、また研究の過程で見出された C-V 法を用いた移動度評価法について記述する。

(1)-2 開発された TOF 装置の概要

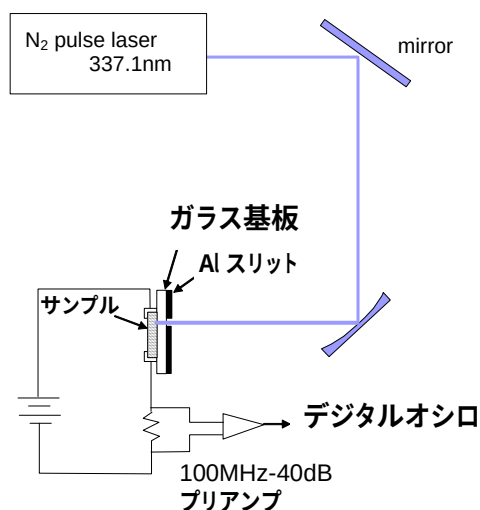


図1 横方向 TOF の測定系統

TOF 測定系統を図 1 に示す。窒素パルスレーザー光 (337nm) が鏡を経由し、試料に照射されるようになっている。レーザー光のトリガー信号は光路の途中に設置されているフォトディテクターにより取り出される。図 2 にサンプルホルダーの構造を示す。長さ 2mm の長方形の薄膜有機単結晶を試料とする。試料の面内方向に直流電界を印加するため、長方形サンプルの両端に電極を形成した。電極は銀である。この試料は裏面にスリットを形成した薄い白板ガラスに接着されている。スリットはメタルマスク越しに Al を蒸着することで形成した。スリットの幅は 150~300 μm である。UV 光はスリットを通過し試料に照射されるようになっている。この測定では、TOF 波形のキンクからホールの飛行時間を測定する。回路で発生した光電流は高速プリアンプにより増幅され、デジタルオシロスコープで記録するようになっている。

高移動度有機材料の測定するためには、プリアンプの伝送帯域を十分に確保することが重要である。本試験では図 4 に示されるようなカットオフ周波数 100MHz で 40dB の増幅度を持つアンプを独自に開発した。

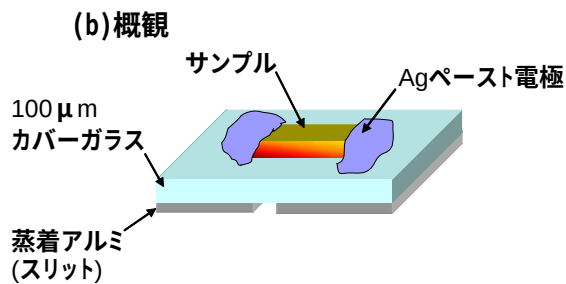
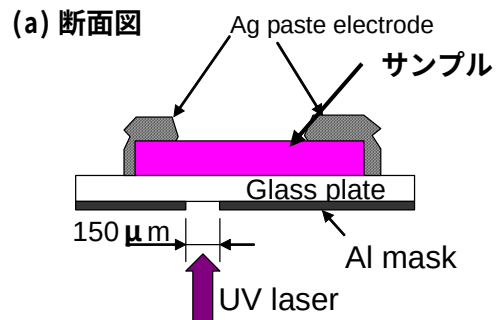


図 2 横方向 TOF 用サンプルホルダー

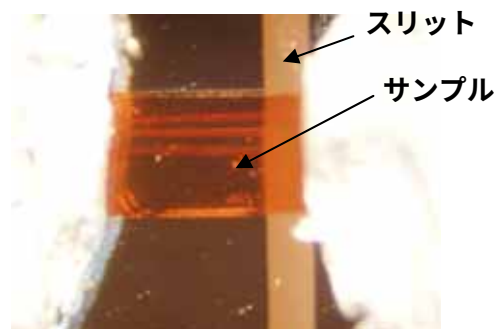


図 3 測定試料の顕微鏡写真

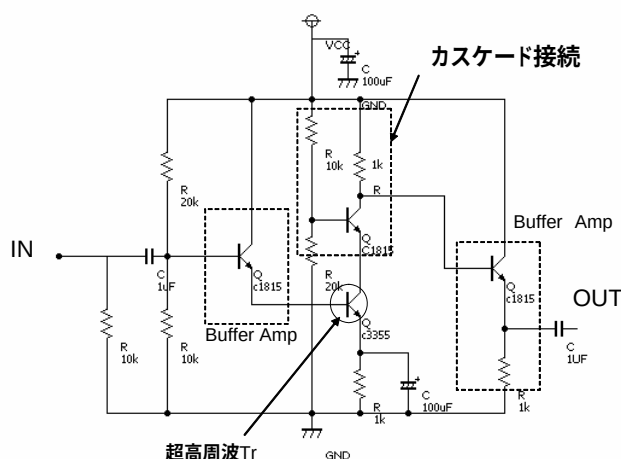


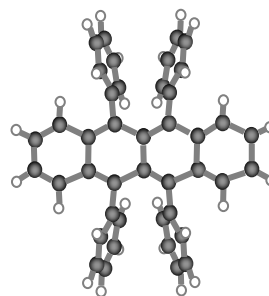
図 4 本研究のために開発された TOF 用超高速プリアンプの回路図

(1)-3 ルブレ分子性単結晶の移動度評価

図5に有機単結晶ルブレの単分子構造と分子性結晶の基底面からみた結晶構造を示す。図からも明らかなようにルブレ結晶は、基底面のa軸とb軸方向で格子定数が異なり、また分子間距離が異なることがわかる。Demetrioらは量子化学計算でa軸方向はb軸方向に比べて π 電子の重なりが大きいことを報告しており、またSundarらはFET試作により電界効果移動度がa軸方向でb軸に比べて数倍の高いことを報告している。本研究で開発された横方向TOF法では、そのことが改めて確認できた。a及びb軸方向のTOF波形を図6に示す。これから求めたホールの移動度はa軸方向で $13.6\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、b軸方向で $0.7\text{cm}^2/\text{Vs}$ であった。この移動度評価は例示されている以外にも数回繰り返したが、a軸方向で $8\sim 16\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、b軸方向では $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度で得られている。a軸方向の高い移動度特性は、ルブレ単結晶がポリシリコンまたはアモルファスシリコンと比較できる程の高速なキャリア輸送の特性を持つことを示すものである。

以上に示すTOFの測定結果は、これまで報告されている電界効果移動度とよく一致している。さらに、我々は移動度として精密に評価されているアントラセンやポリマー系有機半導体であるP3HT、6Tなどの材料においても測定を行ったが、これらの材料についても既報とよい一致をしていることがわかった。今後、電極形状やスリット幅の測定精度に与える影響について吟味する必要があるが、以上の結果は、本研究で開発されたTOF法が電界効果移動度測定と同様に移動度評価技術として有用であることを示唆している。本方法は原理的に電極抵抗の影響を受けにくいことから、高い精度での分子性有機結晶本来の移動度評価が可能になると考えられる。

(a)ルブレ分子構造



(b)ルブレ結晶の基底面から見た図

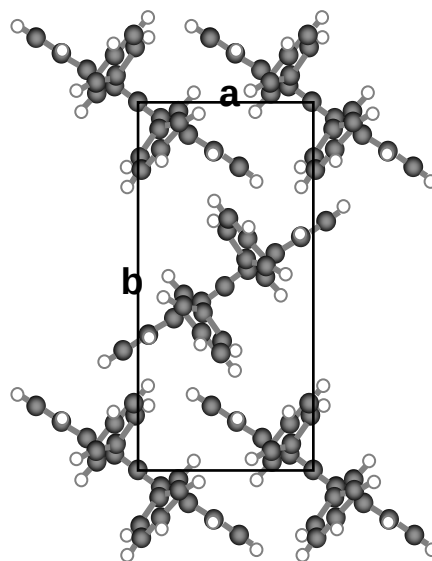


図5 ルブレ分子性結晶の分子構造

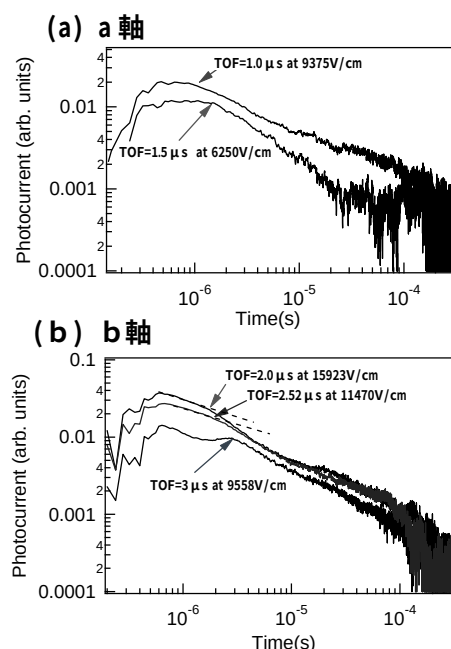


図6 ルブレ結晶から取得したTOF波形

(1) -4 4端子法及びC-V法を用いた移動度評価法の開発

我々はこれまで、MOSFET 試作に頼らない移動度抽出法として横方向 TOF 法を開発したが、これと相補的な評価技術として C-V 法と4端子法を組み合わせた移動度評価技術を作り上げた。

この方法では対象となる有機材料に金属をショットキー接触させてダイオードを作る。本研究では、図7に示される Al と P3HT の接合からなるショットキーダイオードを製作し評価した。そこでは、図8に示されるような良好なダイオード特性が得られ、これを逆バイアス状態で C-V 評価にかけたところ、図9に示すような特性線を得た。接合が理想的なショットキー接触である場合、 C^{-2} と印加電圧の関係は直線になり、その傾きから有機半導体層のキャリア密度を評価することができる。その結果、試料として使用した P3HT 膜のホール密度は $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ と求められ、別途4端子法で求めた膜の導電率から移動度算出したところ $1 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{Vs}$ と求められた。この値は我々が別途同じ形成法で製作した P3HT 膜を使った FET で得られた電界効果移動度と良く一致したほか、TOF 法で測定した結果とも近い値であった。

本手法も TOF 法と同様に電極抵抗の影響を受けにくい移動度評価が可能である上に、キャリア濃度という接合型デバイスを形成する上で極めて有用な情報を得ることができ、有機半導体のキャリア輸送機構の研究の加速に貢献できると思われる。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究で開発された横方向 TOF 法では、分子性有機単結晶の高移動度特性や移動度の異方性の評価が可能であることが、近年注目を集めているルブレ単結晶を用いて明らかにすることができた。本技術は今後、Si に迫る高移動度有機材料を開発していく上で、きわめて有効な技術であると考えられる。さらに別途開発した4端子法及びC-V法を用いた評価技術においても、電

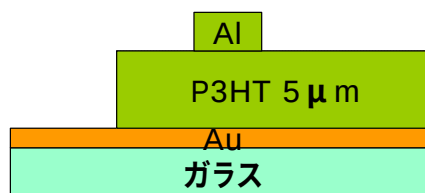
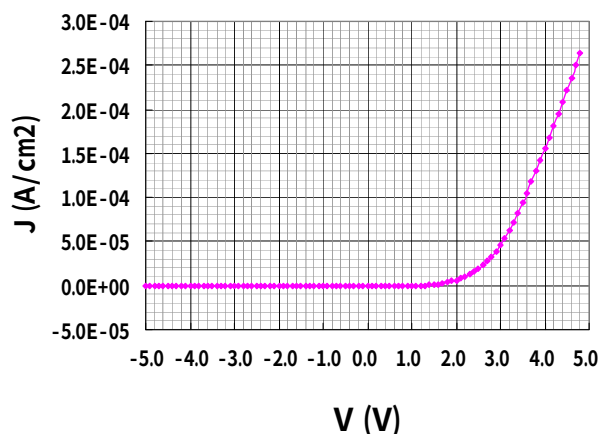


図7 C-V評価法ショットキーダイオードの構造



J-V 特性

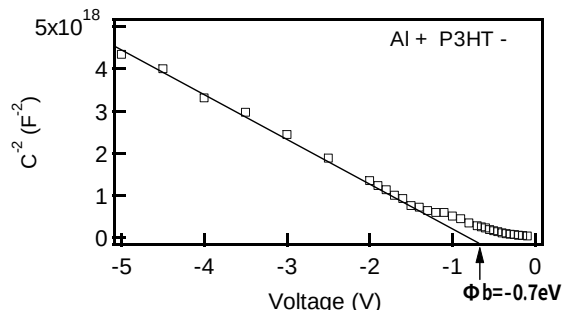


図9 山大試作有機半導体膜移動度測定用ショットキーダイオードサンプルとその C-V 特性

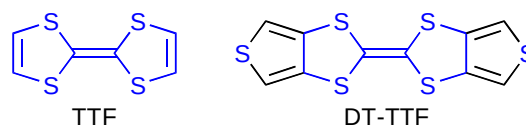
特性線の傾きからキャリア密度と移動度を求めることが出来る。

極抵抗の影響を受けにくいという点で TOF 法と同様に高精度な移動度評価技術として活用できると考えられる。TOF 法と相補的に活用することで、より高い精度での有機半導体のキャリア輸送特性評価が可能になると考えられる。

山田グループ

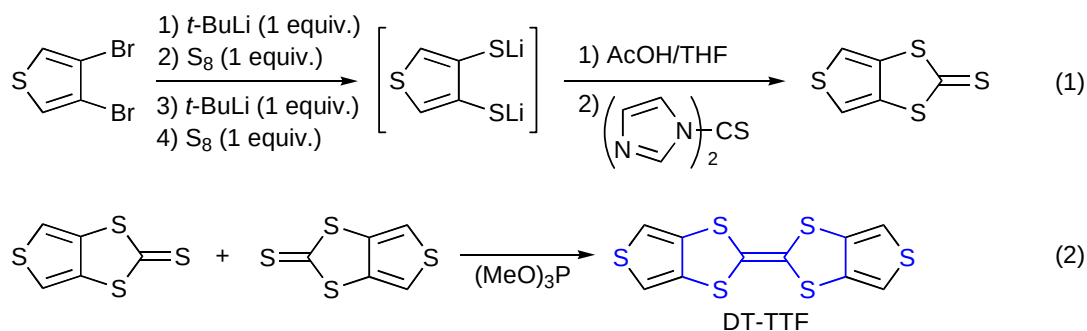
(1) 研究実施内容及び成果

有機半導体から有機超伝導体に至るまで広範囲な物質を研究対象とする有機分子性導体の研究分野において、当研究グループは**物質開発**という観点から、新しい有機分子性金属や有機超伝導体、有機磁性伝導体の設計と合成を行っている。この研究分野では、有機分子性導体を構成するドナー成分として TTF 誘導体が重要な役割を果たしており、TTF ドナーを機軸としてこの研究分野が発展してきた、と言っても過言ではない。さらに最近では、TTF 誘導体を用いた有機 FET の作製についても報告されるようになった。TTF 誘導体の中でも、DT-TTF は高い移動度 ($1.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) を示すことが報告されており (*J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 8546-8553 (2004))、その結晶は一軸方向に成長する。これらの重要性に着目し、液相からの DT-TTF 単結晶作製とその FET 特性について研究を行うために、DT-TTF を合成した。



DT-TTF の合成

DT-TTF のビルディングブロックであるチオフェン環を有するチオン体は、文献 (*J. Org. Chem.*, **48**, 4713-4717 (1983)) に従って合成した (スキーム、式(1))。次いで、得られたチオン体のカップリング反応を検討した (スキーム、式(2))。文献 (*J. Org. Chem.*, **59**, 3307-3313 (1994)) では、このカップリング反応の溶媒に $(\text{MeO})_3\text{P}$ を用いると 31% の収率で DT-TTF が得られると報告されている。収率の向上を目指して、 $(\text{MeO})_3\text{P}$ -benzene 混合溶媒を用いたり、反応時間を長くしたりしたが、収率は改善されなかった。しかし、カラムクロマトグラフィーによる精製と CS_2 -EtOH からの再結晶により、高純度の DT-TTF を得ることに成功した。



結晶構造と FET 特性

分子性導体では、分子軌道計算に基づいて電子状態 (エネルギーバンド) を導くことが可能であり、実験的に明らかにされた物性と結晶構造 (分子配列) との関係解釈の上で、このバンド計算が有用となる。そこで、有機 FET 研究において汎用されているルブレナやペンタセン、さらに DT-TTF を始めとした TTF 誘導体の FET 特性について、拡張ヒュッケル法を用いて計算した重なり積分から解釈を施した。

ルブレネおよびペンタセンの重なり積分と FET 特性

ルブレネとペンタセンの結晶構造の特徴は、分子がスタックし、さらにその分子スタックが隣接して層を形成していることである(図1,2)。ルブレネの層間における重なり積分を計算したところ、最大値はほぼゼロに等しく(0.021×10^{-3})、層間には相互作用がほとんどないことが示唆された。一方、層内ではスタック内方向(a 軸方向)の重なり積分値($a = -3.56 \times 10^{-3}$)がスタック間方向の重なり積分値($p = 0.93 \times 10^{-3}$)より大きく見積もられ(重なり積分の大きさは絶対値で評価される)、異方性が示唆された。実際に、ルブレネ結晶では a 軸方向に測定された移動度($\mu = 15.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)が b 軸方向の移動度($\mu = 4.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)より大きな値を示すことが報告されている[文献(*Science*, **303**, 1644-1646 (2004))では、スタック内方向が b 軸で、スタック間方向が a 軸で表記されている]。ペンタセンの層間においても、重なり積分の最大値(-0.012×10^{-3})から、相互作用がほとんどないと思われる。ペンタセンの層内では、ルブレネの層内とは異なり、スタック間での重なり積分値($p = -3.11 \times 10^{-3}$, $q = 4.52 \times 10^{-3}$)のほうがスタック内の重なり積分値($a = -1.46 \times 10^{-3}$)より大きく見積もられた。したがって、ペンタセンの層内では、スタック間での相互作用の方がスタック内の相互作用より強く、二次元的な相互作用があることが示唆される。

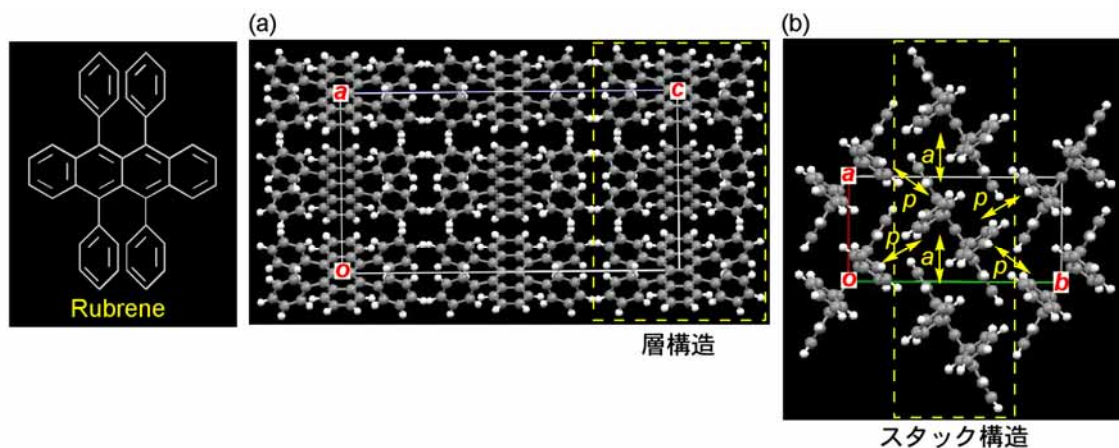


図1. ルブレネの(a)結晶構造と(b)層内での重なり積分値($\times 10^{-3}$): $a = -3.56$, $p = 0.93$

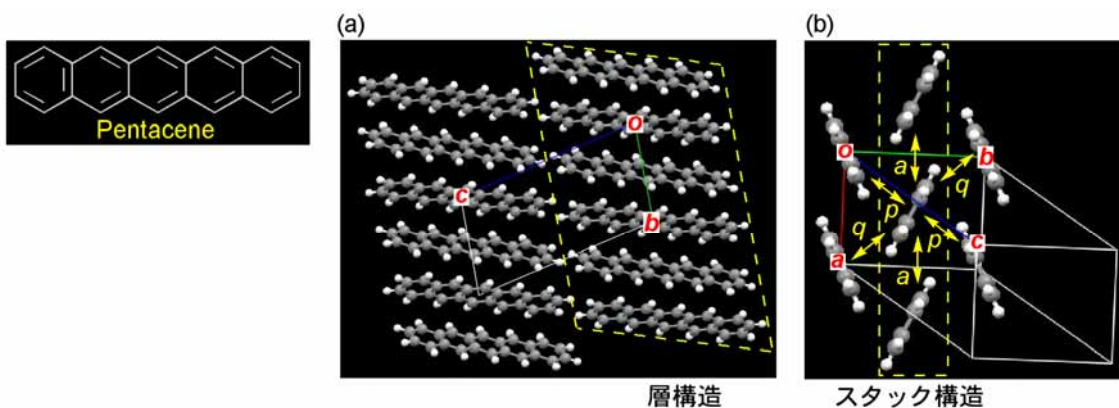


図2. ペンタセンの(a)結晶構造と(b)層内での重なり積分値($\times 10^{-3}$): $a = -1.46$, $p = -3.11$, $q = 4.52$

DT-TTF の重なり積分と FET 特性

ルブレネやペンタセンと同様に、DT-TTF の結晶構造でも分子スタック構造および層構造が見られる(図3)。DT-TTF の重なり積分値のパターンはペンタセンと似ており、層間での最大値は -0.014×10^{-3} 、また、層内におけるスタック間重なり積分($p = 5.55 \times 10^{-3}$)はスタック内重なり積分($b = -1.46 \times 10^{-3}$)より大きな値であった。この結果は、層内における二次元的な相互作用を示唆する。DT-TTF の結晶は b 軸方向に成長し、この結晶長軸方向の移動度の最大値(μ_{max})は、 $1.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

であると報告されている(*J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 8546–8553 (2004))。

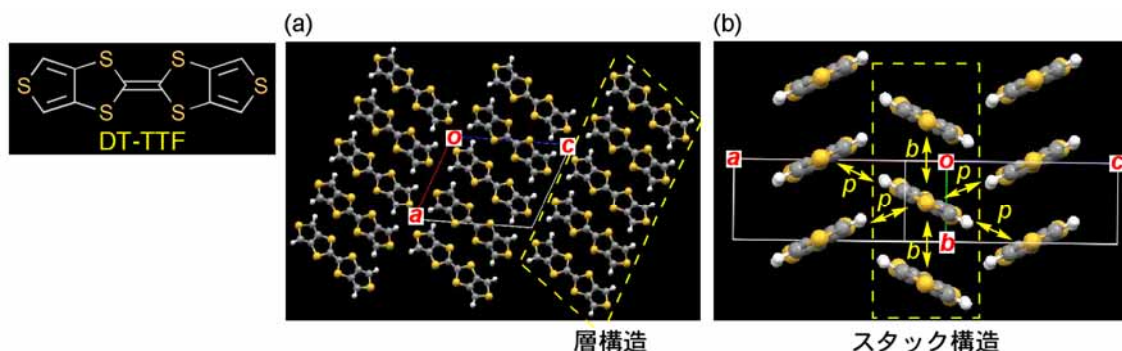


図 3. DT-TTFの(a)結晶構造と(b)層内での重なり積分値($\times 10^{-3}$): $b = -1.46$, $p = 5.55$

BET-TTF および BEDT-TTF の重なり積分と FET 特性

図4に示すように、TTF 誘導体の移動度に関しては、移動度の程度により G1、G2、G3 のグループに分類されている(*J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 8546–8553 (2004))。高移動度を示す DT-TTF (図4では DT と表記されている)は G3 に属する。ここでは、G2 に属する TTF 誘導体として BET-TTF (BET)を、また、G1 に属する TTF 誘導体として BEDT-TTF (BEDT)を取りあげて、重なり積分を計算した。

BET-TTF の結晶構造では、分子スタック構造と層構造が見られるが、ルブレンやペンタセン、および DT-TTF と比較して、層内における分子は大きくずれながら(1/2 分子程度ずれながら)スタックしている(図5)。また、ルブレン、ペンタセン、および DT-TTF の重なり積分値のパターンとは異なり、層内の重なり積分値(スタック内: $p1 = -4.17 \times 10^{-3}$; スタック間: $p2 = 3.41 \times 10^{-3}$, $p3 = -0.08 \times 10^{-3}$)に比べて層間の重なり積分の最大値(14.2×10^{-3})が大きく見積もられた。したがって、層間方向(a 軸方向)に移動度が測定できれば、移動度の向上が予想される。

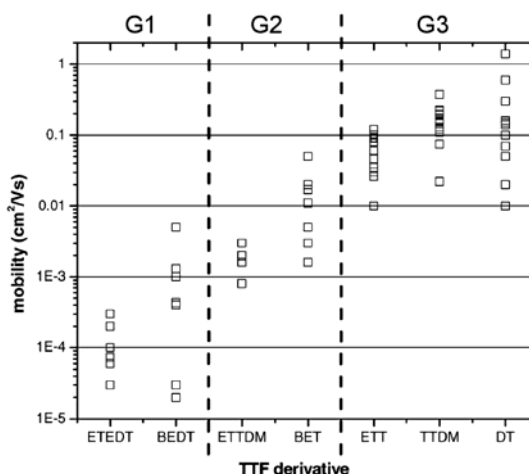


図 4. TTF誘導体の移動度

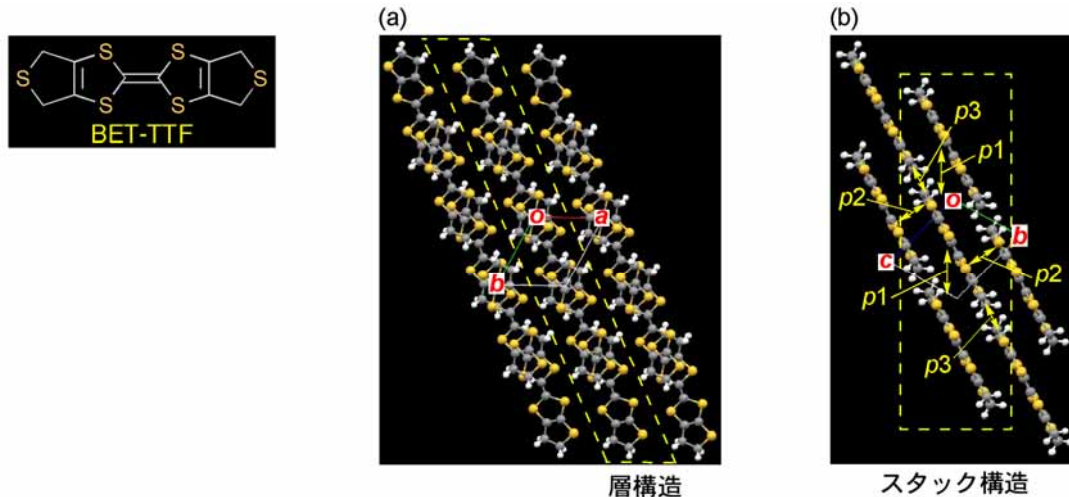


図 5. BET-TTFの(a)結晶構造と(b)層内での重なり積分値($\times 10^{-3}$): $p_1 = -4.17$, $p_2 = 3.41$, $p_3 = -0.08$

BEDT-TTF の構造と、これまでに述べたルブレン、ペンタセン、DT-TTF、BET-TTF の構造との違いは、BEDT-TTF では層内における分子がスタック構造をとらずに、二量化していることである(図6)。層間での重なり積分の最大値(1.15×10^{-3})は小さく、さらに、層内の二量体内($p = 1.18 \times 10^{-3}$)および二量体間($q_1 = -0.48 \times 10^{-3}$, $q_2 = 0.94 \times 10^{-3}$)においても小さな重なり積分が計算された。これらの重なり積分の値から、BEDT-TTF では分子間相互作用が弱く、異方性も期待できないことが示唆される。実際に、BEDT-TTF の移動度は低い値である。

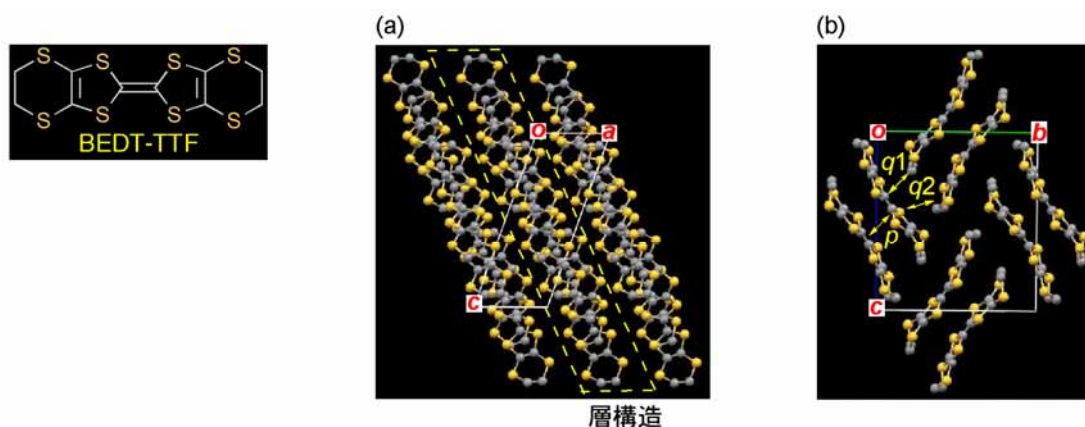


図 6. BEDT-TTFの(a)結晶構造と(b)層内での重なり積分値($\times 10^{-3}$): $p = 1.18$, $q_1 = -0.48$, $q_2 = 0.94$

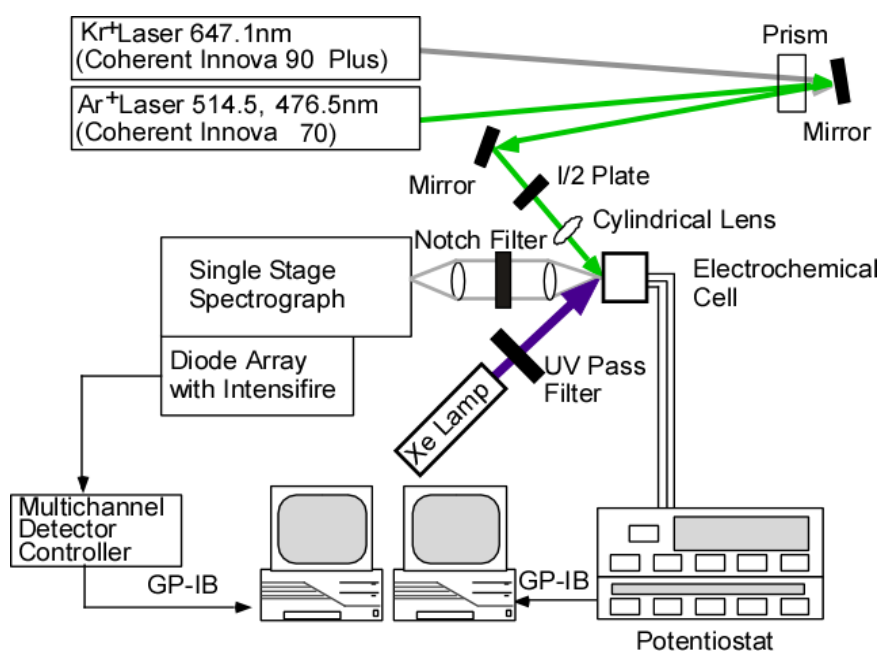
(2) 研究成果の今後期待される効果

分子軌道計算によって、芳香族炭化水素化合物やTTF誘導体の結晶構造と移動度の関係が原子・分子レベルで解明されつつある。本研究で得られた知見は、高移動度が期待できる有機 π 電子化合物を設計する上で、重要な指針となる。今後は、有機分子性金属・超伝導体・磁性伝導体を構築するための設計指針を踏まえて、新規高性能 FET 用有機半導体の合成を続ける。

伊藤グループ

(1)研究実施内容及び成果

当該研究課題において、電気化学的手法と分光学的手法を組み合わせたその場ラマン分光計測に関する研究を展開している。電気化学的手法としてのサイクリックボルタモグラム法を当該研究課題において用い、電極界面の構造や電極界面における電極反応を進行させることが可能であり、その反応メカニズムを分光学的手法であるラマン散乱分光法や赤外吸収分光法を用いて行っている。特に、界面における酸素還元反応は化学における根幹を成す化学反応の1つであり、この酸素を包含した化学反応を扱う領域は“オキサイドケミストリー”として、電気化学、触媒化学、生物等のさまざまなフィールドで扱われている。ひと昔前までは、電気化学的な反応解析により、酸素還元反応は活性酸素種が絡んだ電気化学的な2電子反応、4電子反応といった静的な反応解析にとどまっていた。水溶液中において酸素分子が還元され、物質が酸化される反応は、水分子が絡む複雑な素反応の上に酸化還元反応が成り立っている。当該研究課題により、酸素が絡んだ反応を電気化学的手法と分光学的手法であるラマン分光法の2つの方法を組み合わせたその場ラマン分光法により解析することができている。下図に構築したラマンシステムを示す。構築したラマンシステムは、広範囲な表面物性探索に威力を発揮すると考えている。得られた結果は、新規FET材料の開発と界面の諸問題の解決に大きく寄与すると期待することができる。



界面修飾については、分子を修飾した炭素電極の界面のその場ラマン散乱分光解析を行った。電極界面に化学吸着した分子は、電極電位の変調により電子の授受を行うことを電気化学的なサイクリックボルタモグラムより確認した。その条件下にて、その場ラマンスペクトルの測定を行った結果、電位の変化に伴い化学結合した分子のラマンスペクトルに変化が見られた。一般に、ラマン散乱分光法において単分子層程度の界面を観察する場合は表面増強ラマン散乱 (Surface Enhanced Raman Scattering: SERS) 効果を用いる必要があり、下地金属電極を金、銀、銅等とする必要がある。当該研究課題においては、この SERS 効果が期待できない炭素材料を基板とし、超高感度ラマン分光システムを用いることによる超高感度電気化学ラマン散乱分光法により、炭素電極に単分子層程度化学吸着した分子のその場ラマンスペクトルの測定に成功している。化学吸着分子のラマン散乱強度は電極電位に依存することが判明し、これは分子が電子を授受することにより分子内に存在する電子が局在化することにより、結合様式が変化する。分子内結合様式の変化、すなわち、分子の吸光度が変化することによりラマン散乱強度が変化したと結論付けることができた。この結果は、Analytical and Bioanalytical Chemistry の招待論文として紹介されている。また、ナノギャップ電極に用いる金ナノワイヤーの作製についても、順調に成果が出つつある。鋳型法を用いた金ナノワイヤーを高性能な電界放射型電子顕微鏡で確認することができている。

(2)研究成果の今後期待される効果

これらの研究成果は、以下に示す研究成果である電極界面のその場電気化学分光解析により、学術・工学的に有用なエネルギーデバイスに関する電気化学的な裏付けを持つ有用な知見を導きだすことができている。さらに、個々の研究要素は今後益々必要とされるデバイスに貢献する確固たる方向性を有しており、将来的に大きな発展性を期待することができる。

大澤グループ

(1)研究実施内容及び成果

【当初の研究計画】 固液界面反応を自在に制御・利用するためには、反応過程を原子・分子のレベルから理解することが不可欠である。当グループは、豊富な分子構造情報を与える振動分光を用いてこの課題に取り組んだ。当グループの特徴は、SEIRASとSFGという先端振動分光を用いることにあり、高速時間分解による反応ダイナミクス解析、新たな固液界面情報を得ることを目的とした。

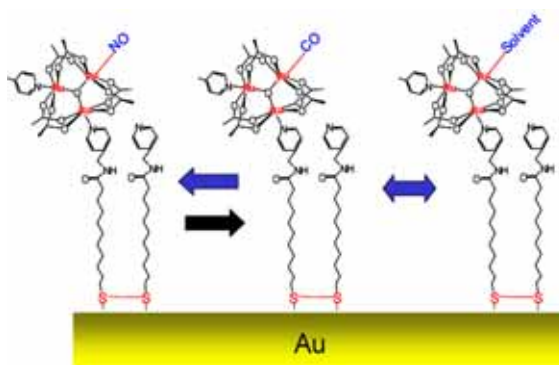
【主な研究テーマ】 固液界面構造解析、反応ダイナミクス解析、電極触媒反応機構、機能性自己集積単分子膜の構築と制御、機能有機薄膜の評価と構造規制、擬似生体膜の構築と応用、固体表面の改質、多層界面の構造解析など。

【研究実施内容及び成果】

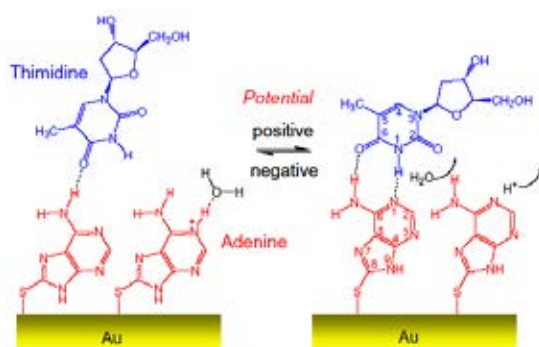
1. 表面の分子構造制御と機能化: 自己集積化法を用い、表面に得意な機能を有する分子を固定化し、その構造と機能の相関を検討した。

単分子膜内にある3つのルテニウムの電子状態は、印加する電位により制御することができる (例えば、[II, II, II]、[II, III, III]など)。電子状態を制御することにより、配位子 (溶媒分子、CO、NO) を自由に交換させることができる。新しい機能材料として期待できる。(J. Am. Chem. Soc., 126, (2004) 7434-7435; Chem. Eur. J. 2005, 11 (2005) 5040-5054.)

DNA におけるアデニン(A)ーチミン(T)、グアニン(G)ーシトシン(C)の特異な水素結合対形成



による分子認識能を基板上に形成した分子素子の試みが行われている。チオール化したアデニン誘導体を金基板に自己組織化し、溶液中のチミン誘導体の間に形成される水素結合状態をSEIRASで検討した結果、溶液のpHと分子配向を制御しなければ、期待される分子認識は行われないことを明らかにした。(Anal. Chem., 2004, 76, 5564-5569)



2. SFGによる有機薄膜解析方法の進展; SFGは界面の情報が選択的に得られるという特徴がある。

ラングミュアブロジェット膜を試料として、測定条件を選ぶことにより埋もれた界面が測定できることを明らかにした。結晶成長など複雑な系の解析が可能であることを示した。

Langmuir-Blodgett 偶数膜における相変化: 理想的な二分子膜は SFG 信号を発生しないが、時間と共に強度が増加する。この結果は偶数膜に共通して得られ、SFG 強度は層数に依存しない。よって、最外層で分子層の反転が起こると考えられる (AFM 像からも支持される)。純水中では反転が起こりにくいが、大気中に取り出すと、ただちに反転が起こる。生体膜 (脂質二分子膜) に展開 (Langmuir, 2003, 19, 2238-2242; 2004, 20, 357-365,.)。

(2)研究成果の今後期待される効果: これらの方法は、有機半導体の液相成長機構解明に今後重要と思われる。

4 研究参加者

①板谷グループ(完全単結晶の創製の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
板谷 謹悟	東北大院工	教授	グループ研究総括	平成 14 年 11 月～ 平成 20 年 3 月
犬飼 潤治	東北大院工	助教授	超高真空等を用いた測定および解析	平成 14 年 11 月～ 平成 18 年 1 月
吉本 惣一郎	東北大院工	助手	電気化学 STM 等を用いた測定および解析	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
野田 浩之	東北大院工	助手	STM, 結晶成長	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 12 月
吹留 博一	東北大院工	助教	超高真空等を用いた測定および解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
湊 丈俊	東北大院工	助教	超高真空等を用いた測定および解析	平成 19 年 10 月～ 平成 20 年 3 月
澤口 隆博	産業技術総合研究所	東北大学リサーチフェロー	AFM, 電気化学反応、結晶成長	平成 17 年 4 月～ 平成 17 年 12 月
Bensliman Fahd	東北大院工	CREST 研究員	半導体電極の電気化学的合成	平成 15 年 5 月～ 平成 18 年 3 月
姚 学麟	東北大院工	CREST 研究員	電気化学 STM 等を用いた測定および解析	平成 15 年 5 月～ 平成 18 年 3 月
馬 厚義	東北大院工	CREST 研究員	電気化学 STM 等を用いた測定および解析	平成 15 年 6 月～ 平成 18 年 3 月
坂田 雅文	東北大院工	CREST 研究員	新規有機単結晶作成法を用いた探索	平成 18 年 3 月～ 平成 19 年 3 月
伊熊直彦	東北大院工	CREST 研究員	単結晶作成、X 線構造解析	平成 19 年 2 月～ 平成 20 年 3 月
阿部 益弘	東北大院工	博士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 17 年 9 月
松本 匡史	東北大院工	博士 3 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
Tongol Bernard Jhon,V	東北大院工	博士 3 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
欧陽 良岳	東北大院工	博士 3 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
Shah MD.Moinuddin	東北大院工	博士 3 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 9 月
章 志豪	東北大院工	博士 3 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 9 月
佐藤 一弥	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
白石 章一郎	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月

陶山 博司	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
大越 士生	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
石田 雄人	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
大笹 慎也	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
佐々木 亮人	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
吉田 達也	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
今村 芳樹	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
河上 泰之	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
十亀 淳次郎	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
東海 栄	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
松浦 健一	東北大院工	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
中村 優	東北大院工	修士 1 年	実験および解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
爲谷 伊佐夫	東北大院工	修士 1 年	実験および解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
武田 加奈子	東北大院工	チーム事務員	会計・経理および庶務	平成 14 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
加藤 尚美	東北大院工	チーム事務員	会計・経理および庶務	平成 14 年 12 月～ 平成 17 年 11 月
坪内 和美	東北大院工	チーム事務員	会計・経理および庶務	平成 17 年 12 月～ 平成 18 年 3 月
柴 由香理	東北大院工	チーム事務員	会計・経理および庶務	平成 19 年 4 月～ 平成 19 年 9 月

②庭野グループ (FET デバイス特性の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
庭野 道夫	東北大学電気 通信研究所	教授	研究の統括・装置組み 立て・測定・実験結果 の解析・評価	平成 14 年 11 月 ～平成 20 年 3 月
石井 久夫	東北大学電気 通信研究所	助教授	装置・測定・実験結果 の解析	平成 14 年 11 月 ～平成 18 年 3 月
木村 康男	東北大学電気 通信研究所	助教	装置・測定・実験結果 の解析	平成 14 年 11 月 ～平成 20 年 3 月
佐藤 信之	東北大学電気 通信研究所	助手	装置・測定・実験結果 の解析	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
平野 愛弓	東北大学電気 通信研究所	助教	装置・測定・実験結果 の解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
細井 宣伸	東北大学電気 通信研究所	CREST 研 究員	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 3 月
青木 まり	東北大学電気 通信研究所	研究補助 員	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 17 年 10 月
下柿元 稚子	東北大学電気 通信研究所	研究補助 員	実験および解析	平成 17 年 11 月 ～平成 20 年 3 月
岡村 康史	東北大学電気 通信研究所	博士 3 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 3 月
二瓶 瑞久	東北大学電気 通信研究所	博士 3 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
小川 賢	東北大学電気 通信研究所	博士 3 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
杉 啓司	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 3 月
瀧 裕之	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 3 月
宮本 浩一郎	東北大学電気 通信研究所	博士 3 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
田中 俊司	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
石橋 健一	東北大学電気 通信研究所	博士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
西條 直人	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 17 年 3 月
白木 宏一	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 17 年 3 月
内城 竜生	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 15 年 4 月～ 平成 17 年 3 月
安彦 尚文	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
山口 僚太郎	東北大学電気 通信研究所	博士 1 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
齋藤 伸治	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月

横山 裕子	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
伊藤 和雅	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
津波 大介	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
沼澤 武尊	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
三好 智之	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
山本 学志	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
山本 雄一	東北大学電気 通信研究所	修士 1 年	実験および解析	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
大場 朋央	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
小野寺 恒太	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
勝間田 堯	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
亀井 一浩	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
田中 公貴	東北大学電気 通信研究所	修士 2 年	実験および解析	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
佐藤 広章	東北大学電気 通信研究所	修士 1 年	実験および解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
島倉 尚子	東北大学電気 通信研究所	修士 1 年	実験および解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
武藤 高見	東北大学電気 通信研究所	修士 1 年	実験および解析	平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月

③ 廣瀬グループ(ToF の研究)

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
廣瀬 文彦	山形大院理工	教授	研究の統括・装置 組立・測定・実験 結果の解析・評価	H18.4～H19.9
鈴木 貴彦	山形大工	技術職員	装置組立・測定	H19.4～H19.9
木下 友太	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.9
栗林 幸永	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.9
塩見 祐介	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.9

松島 優	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.9
テイ ヘンシン	山形大院理工	修士	実験および解析	H19.4～H19.9
小岩 恭祐	山形大院理工	修士	実験および解析	H19.4～H19.9
渋谷 豪	山形大院理工	修士	実験および解析	H19.4～H19.9
長瀬 真一	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.3
永戸 雅也	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.3
岩田 博志	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.3
安部 稔洋	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.3
輪島 寿夫	山形大院理工	修士	実験および解析	H18.4～H19.3

④山田グループ(FET 用有機 π 電子化合物の構造・性能・合成に関する研究)

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
山田 順一	兵庫県大院物質理	准教授	グループ研究総括および実験結果の解析・評価	平成18年4月～平成20年3月
坪 広樹	兵庫県大院物質理	助教	X 線構造解析および物性評価	平成18年4月～平成20年3月
梅宮 将充	兵庫県大院物質理	客員教員	X 線構造解析および合成実験	平成18年4月～平成19年1月
Bardin, Andrew Alex	兵庫県大院物質理	CREST 研究員	分子軌道計算および合成実験	平成18年12月～平成20年3月
下野 智史	兵庫県大院物質理	客員教員	合成実験および実験結果の解析	平成19年4月～平成20年3月
木下 英利	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成19年3月
久利 庸平	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成19年3月
佐藤 佳子	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成19年3月
平谷 なるみ	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成19年3月
大西 亮	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成19年3月
青木 克之	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成20年3月
改發 敬之	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～平成20年3月

信沢 光徳	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～ 平成20年3月
山下 真司	兵庫県大院物質理	修士2年	合成実験	平成18年4月～ 平成20年3月
笹井 貴之	兵庫県大院物質理	修士1年	合成実験	平成19年4月～ 平成20年3月

⑤伊藤グループ(電気化学的手法を最大限に活用し、新規半導体薄膜の合成、結晶成長、界面修飾、ナノギャップ電極等を検討する)

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
伊藤 隆	東北大・学際科学国際高等研究センター	准教授	研究の統括・装置組立・測定・実験結果の解析・評価	平成 18 年4月～ 平成 20 年 3 月
尹 東柱	東北大・学際科学国際高等研究センター	研究員	装置組立・測定・実験結果の解析・評価・解析	平成 18 年4月～ 平成 20 年 3 月
土岐 和雅	東北大・学際科学国際高等研究センター	D3	実験・解析	平成 18 年4月～ 平成 20 年 3 月
野田泰斗	東北大・学際科学国際高等研究センター	D2	実験・解析	平成 18 年4月～ 平成 20 年 3 月
土岐 和雅	東北大・学際科学国際高等研究センター	研究支援者	実験・解析	平成 19 年4月～ 平成 20 年 3 月

⑥大澤グループ(表面増強赤外分光 (SEIRAS) ならびに和周波発生 (SFG) 分光による固液界面反応のダイナミクスの研究)

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
大澤 雅俊	北海道大学触媒化学研究センター	教授	研究計画の立案と総括	平成 14 年 11 月～ 平成 18 年 3 月
叶 深	北海道大学触媒化学研究センター	助教授	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 14 年 11 月～ 平成 18 年 3 月
山方 啓	北海道大学触媒化学研究センター	助手	光電極反応の超高速ダイナミクス	平成 15 年 10 月～ 平成 18 年 3 月
津島 稔	北海道大学触	CREST 研	光電極反応の超高速ダ	平成 15 年 4 月～

	媒化学研究センター	究員	イナミクス	平成 17 年 3 月
Gabor Samjeske	北海道大学触媒化学研究センター	CREST 研究員	電位制御電極反応ダイナミクス解析	平成 15 年 8 月～平成 18 年 3 月
馬 運生	北海道大学触媒化学研究センター	CREST 研究員	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 17 年 4 月～平成 18 年 3 月
国松 敬二	北海道大学触媒化学研究センター	研究員	金属ナノ微粒子の触媒特性解析	平成 15 年 4 月～平成 17 年 5 月
三宅 博都	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	電位制御電極反応ダイナミクス解析	平成 15 年 3 月～平成 16 年 9 月
三木 敦史	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	金属ナノ微粒子の触媒特性解析	平成 15 年 3 月～平成 16 年 3 月
周 尉	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 15 年 4 月～平成 17 年 3 月
李 桂峰	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 15 年 4 月～平成 16 年 1 月
西田 拓磨	北海道大学大学院地球環境科学研究科	修士・博士課程学生	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 15 年 4 月～平成 18 年 3 月
酒井 英忠	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	金属ナノ微粒子の触媒特性解析	平成 15 年 4 月～平成 16 年 3 月
先崎 尊博	北海道大学大学院地球環境科学研究科	修士課程学生	金属ナノ微粒子の触媒特性解析	平成 15 年 4 月～平成 16 年 1 月
東 基	北海道大学大学院地球環境科学研究科	修士課程学生	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 15 年 4 月～平成 16 年 3 月
真田 貴寛	北海道大学大学院地球環境科学研究科	修士課程学生	金属ナノ微粒子の触媒特性解析	平成 16 年 4 月～平成 16 年 1 月
内田 太郎	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	電位制御電極反応ダイナミクス解析	平成 16 年 4 月～平成 16 年 3 月
張 一	北海道大学大学院地球環境科学研究科	博士課程学生	自己組織化有機超薄膜の構築	平成 16 年 4 月～平成 18 年 3 月
最上 洋和	北海道大学大学院地球環境科学研究科	修士課程学生	電位制御電極反応ダイナミクス解析	平成 16 年 4 月～平成 18 年 3 月

5 招聘した研究者等

氏 名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
二本柳聡史 テンプル大学（USA） ポスドク研究員	「和周波発生分光法による固液及び気液界面における振動分光」研究について研究打ち合わせ	東北大学 板谷 G	H16.12.25～27
Thomas Wandlowski ドイツユーリヒ大学教授	ユーリヒ大学における研究発表および研究打ち合わせ	東北大学 北海道大学	H15.9.9～14
Shue Chia - Haw 台湾中央大学（China） 博士課程後期	固液界面の原子・分子レベルでの構造決定に関する情報収集と、今後の共同研究に関する打ち合わせ	東北大学	H15.1.14～17
Marcus Lay ジョージア大学（USA） 博士課程	「電気化学原子層エピタキシー」に関する研究打合せ	東北大学	H15.1.14～17
Thorsten Wagner (University of Duisburg-Essen, Research Associate)	低電流走査型顕微鏡による有機単結晶表面観察の研究を行うため。	東北大学	2006 年 10 月～12 月
Thorsten Wagner (University of Duisburg-Essen, Research Associate)	非接触原子間力顕微鏡による有機単結晶表面観察の研究を行うため。	東北大学	2007 年 9 月～12 月 2008 年 9 月～10 月

6 成果発表等

<板谷グループ>

(1)原著論文発表（国内誌 0 件、国際誌 49 件）

- 1) Masatoshi Sugimasa, Junji Inukai, Kingo Itaya, "Structure of Sulfur Adlayer on Cu(111) Electrode in Alkaline Solution", *J. Electrochem. Soc.*, **150**(2), E110–E116 (2003).
- 2) Soichiro Yoshimoto, Akinori Tada, Koji Suto, Ryuji Narita, Kingo Itaya, "Adlayer Structure and Electrochemical Reduction of O₂ on Self-Organized Arrays of Cobalt and Copper Tetraphenyl Porphines on a Au(111) Surface", *Langmuir*, **19**(3), 672–677 (2003).
- 3) Masatoshi Sugimasa, Junji Inukai, Kingo Itaya, "Adlayer of 1,10-Phenanthroline on Cu(111) in Acidic Solution An In Situ STM Study", *J. Electrochem. Soc.*, **150**(5), E266–E270 (2003).
- 4) Soichiro Yoshimoto, Koji Suto, Kingo Itaya, Nagao Kobayashi, "Host–guest recognition of calcium by crown-ether substituted phthalocyanine array on Au(111): relationship between

- crown moieties and gold lattice", *Chem. Commun.*, 2174–2175 (2003).
- 5) Koji Suto, Junji Inukai, Kingo Itaya, "Adlayers of methyl-substituted benzene derivatives formed on Rh(111) in HF solution", *J. Electroanal. Chem.*, **550–551**, 105–112 (2003).
 - 6) Masatoshi Sugimasa, Junji Inukai, Kingo Itaya, "In situ STM studies of sulfur and thiocyanate adlayers on Cu(111) in alkaline solution", *J. Electroanal. Chem.*, **554–555**, 285–291 (2003).
 - 7) Soichiro Yoshimoto, Akinori Tada, Koji Suto, Kingo Itaya, "Adlayer Structures and Electrocatalytic Activity for O₂ of Metallophthalocyanines on Au(111): In Situ Scanning Tunneling Microscopy Study", *J. Phys. Chem. B*, **107(24)**, 5836–5843 (2003).
 - 8) Soichiro Yoshimoto, Masuhiro Abe, Kingo Itaya, Fumitaka Narumi, Kenji Sashikata, Katsuhiko Nishiyama, Isao Taniguchi, "Formation of Well-Defined *p*-tert-Butylcalix[4]arene dithiolate Monolayers on a Au(100)–(1 × 1) Surface Studied by In Situ Scanning Tunneling Microscopy", *Langmuir*, **19(20)**, 8130–8133 (2003).
 - 9) Koji Suto, Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, "Two-Dimensional Self-Organization of Phthalocyanine and Porphyrin: Dependence on the Crystallographic Orientation of Au", *J. Am. Chem. Soc.* **125(49)**, 14976–14977 (2003).
 - 10) Soichiro Yoshimoto, Junji Inukai, Akinori Tada, Toru Abe, Tatsuki Morimoto, Atsuhiko Osuka, Hiroyuki Furuta, Kingo Itaya, "Adlayer Structure of and Electrochemical Reduction of O₂ on Cobalt Porphine-Modified and Cobalt Octaethylporphyrin-Modified Au(111) in HClO₄", *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108(6)*, 1948–1954.
 - 11) Masashi Matsumoto, Junji Inukai, Eishi Tsutsumi, Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, Osamu Ito, Koichi Fujiwara, Michihisa Murata, Yasujiro Murata, Koichi Komatsu, "Adlayers of C₆₀-C₆₀ and C₆₀-C₇₀ Fullerene Dimers Formed on Au(111) in Benzene Solutions Studied by STM and LEED", *Langmuir* **2004**, *20(4)*, 1245–1250.
 - 12) Masanori Hara, Yoshiki Nagahara, Soichiro Yoshimoto, Junji Inukai, Kingo Itaya, "Underpotentially Deposited Layers of Bi on Au(100) in HClO₄ Investigated by In Situ STM", *J. Electrochem. Soc.* **2004**, *151(3)*, E92–E96.
 - 13) Yoshiki Nagahara, Masanori Hara, Soichiro Yoshimoto, Junji Inukai, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "In Situ Scanning Tunneling Microscopy Examination of Molecular Adlayers of Haloplatinate Complexes and Electrochemically Produced Platinum Nanoparticles on Au(111)", *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108(10)*, 3224–3230.
 - 14) Soichiro Yoshimoto, Akinori Tada, Koji Suto, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "In Situ Scanning Tunneling Microscopy of Molecular Assemblies of Cobalt(II) and Copper(II) Coordinated Tetraphenyl Porphine and Phthalocyanine on Au(100)", *Langmuir* **2004**, *20(8)*, 3159–3164.
 - 15) Soichiro Yoshimoto, Akinori Tada, Kingo Itaya, "In Situ Scanning Tunneling Microscopy Study of the Effect of Iron Octaethylporphyrin Adlayer on the Electrocatalytic Reduction of O₂ on Au(111)", *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108(17)*, 5171–5174.
 - 16) Liang-Yueh Ou Yang, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "Scanning Tunneling Microscopy of Sulfur

and Benzenethiol Chemisorbed on Ru(0001) in 0.1 M HClO₄", *Langmuir* **2004**, *20*(11), 4596–4603.

- 17) Soichiro Yoshimoto, Eishi Tsutsumi, Yosuke Honda, Yasujiro Murata, Michihisa Murata, Koichi Komatsu, Osamu Ito, Kingo Itaya, "Controlled Molecular Orientation in an Adlayer on Au(111) of a Supramolecular Assembly Consisting of an Open-Cage C₆₀ Derivative and Zn(II) Octaethylporphyrin", *Angew. Chem., Int. Ed.* **2004**, *43*(23), 3044–3047.
- 18) Junji Inukai, Masatoshi Sugimasa, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "Adsorption of Sulfur and Growth of Copper Sulfide on Cu(100) and Cu(110) in Alkaline Solution", *Electrochemistry* **2004**, *72*(6), 458–461.
- 19) Soichiro Yoshimoto, Koji Suto, Akinori Tada, Nagao Kobayashi, Kingo Itaya, "Effect of Adlayer Structure on the Host-Guest Recognition between Calcium and Crown-ether-Substituted Phthalocyanine Arrays on Au Single Crystal Surfaces", *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*(25), 8020–8027.
- 20) Soichiro Yoshimoto, Eishi Tsutsumi, Yosuke Honda, Osamu Ito Kingo Itaya, "Supramolecular Assembly of [60] Fullerene and Highly Ordered Zinc Octaethylporphyrin Adlayer Formed on Au(111) Surface", *Chem. Lett.* **2004**, *33*(7), 914–915.
- 21) Soichiro Yoshimoto, Norihito Higa, Kingo Itaya, "Two-dimensional Supramolecular Organization Consisting of Copper Octaethylporphyrin and Cobalt Phthalocyanine on Au(111): Molecular Assembly Control at an Electrochemical Interface", *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*(27), 8540–8545.
- 22) Junji Inukai, Mitsuru Wakisaka, Kingo Itaya, "*p*-Xylene Adlayers Formed on Rh(111) and Pt(111) Surfaces in Vacuum", *Jpn. J. Appl. Phys.* **2004**, *43*(7B), 4549–4553.
- 23) Junji Inukai, Mitsuru Wakisaka, Kingo Itaya, "Adlayer of Naphthalene on Rh(111) Studied by Scanning Tunneling Microscopy", *Jpn. J. Appl. Phys.* **2004**, *43*(7B), 4554–4556.
- 24) Junji Inukai, Mitsuru Wakisaka, Masaoki Yamagishi, Kingo Itaya, "Adlayer of Hydroquinone on Pt(111) in Solution and in a Vacuum Studied by STM and LEED", *Langmuir* **2004**, *20*(18), 7507–7511.
- 25) Yuliang Zhao, Zhenling Chen, Hui Yuan, Xingfa Gao, Li Qu, Zhifang Chai, Gengmei Xing, Soichiro Yoshimoto, Eishi Tsutsumi, Kingo Itaya, "A Highly Selective and Simple Synthesis of C_{2n}-X-C_{2m} Fullerene Dimers", *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*(36), 11134–11135.
- 26) Masanori Hara, Yoshiki Nagahara, Soichiro Yoshimoto, Junji Inukai, Kingo Itaya, "Electroreduction of Peroxide on Au(100) surface Modified with Underpotentially-deposited Bismuth", *Jpn. J. Appl. Phys.* **2004**, *43*(10), 7232–7233.
- 27) Yaw-Chia Yang, Ya-Pei Yen, Liang-Yueh Ou Yang, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "Elucidation of the Deposition Processes and Spatial Structures of Alkanethiol and Arylthiol Molecules Adsorbed on Pt(111) Electrodes with in Situ Scanning Tunneling Microscopy", *Langmuir*, **20**(23), 10030–10037 (2004).

- 28) Chia-Haw Shue, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "In Situ Scanning Tunneling Microscopy of Au(111) in Acidic and Alkaline Potassium Cyanide", *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*(45), 17433–17440.
- 29) Masanori Hara, Junji Inukai, Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, "Electrochemical and *In situ* Scanning Tunneling Microscopy Studies of Submonolayer Deposition of Antimony on Au(100) in Perchloric Acid Solution", *J. Phys. Chem. B* **2004**, *108*(45), 17441–17447.
- 30) Junji Inukai, Mitsuru Wakisaka, Kingo Itaya, "An STM study on growth process of vapor-deposited hydroquinone adlayers on Rh(111) and Pt(111)", *Chem. Phys. Lett.* **2004**, *399*(4-6), 373–377.
- 31) Soichiro Yoshimoto, Akira Saito, Eishi Tsutsumi, Francis D'Souza, Osamu Ito, Kingo Itaya, "Electrochemical Redox Control of Ferrocene using a Supramolecular Assembly of Ferrocene-Linked C₆₀ Derivative and Metallooctaethylporphyrin Array on a Au(111) Electrode", *Langmuir* **2004**, *20*(25), 11046–11052.
- 32) Soichiro Yoshimoto, Eishi Tsutsumi, Oomi Fujii, Ryuji Narita, Kingo Itaya, "Effect of underlying coronene & perylene adlayers for [60]fullerene molecular assembly", *Chem. Commun.* **2005**, 1188–1190.
- 33) Chia-Haw Shue, Liang-Yueh Ou Yang, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "In-Situ Scanning Tunneling Microscopy of Carbon Monoxide Adsorbed on Au(111) Electrode", *Langmuir* **2005**, *21*(5), 1942–1948.
- 34) Junji Inukai, Mitsuru Wakisaka, Masaoki Yamagishi, Kingo Itaya, "Adlayer of Hydroquinone on Rh(111) in Solution and in Vacuum Studied by STM and LEED", *J. Electrochem. Soc.* **2005**, *152*(2), E35–E39.
- 35) Soichiro Yoshimoto, Yosuke Honda, Yasujiro Murata, Michihisa Murata, Koichi Komatsu, Osamu Ito, Kingo Itaya, "Dependence of Molecular Recognition of Fullerene Derivative on the Adlayer Structure of Zinc Octaethylporphyrin Formed on Au(100) Surface", *J. Phys. Chem. B* **2005**, *109*(18), 8547–8550.
- 36) Chen-Fu Mai, Chia-Haw Shue, Yaw-Chia Yang, Liang-Yueh Ou Yang, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya, "Adsorption of Formaldehyde on Pt(111) and Pt(100) Electrodes: Cyclic Voltammetry and Scanning Tunneling Microscopy", *Langmuir* **2005**, *21*(11), 4964–4970.
- 37) Liang-Yueh Ou Yang, Fahd Bensliman, Chia-Haw Shue, Yaw-Chia Yang, Ze-Haw Zang, Li Wang, Shueh-Lin Yau, Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, "Role of the Anion in the Underpotential Deposition of Cadmium on a Rh(111) Electrode: Probed by Voltammetry and *in situ* Scanning Tunneling Microscopy", *J. Phys. Chem. B* **2005**, *109*(31), 14917–14924.
- 38) Soichiro Yoshimoto, Eishi Tsutsumi, Koji Suto, Yosuke Honda, Kingo Itaya, "Molecular assemblies and redox reactions of zinc(II) tetraphenylporphyrin and zinc(II) phthalocyanine on Au(111) single crystal surface at electrochemical interface", *Chem. Phys.* **2005**, *319*(1-3), 147–158.

- 39) Masashi Kunitake, Tetsutaro Hattori, Sotaro Miyano, Kingo Itaya, "Two-dimensional Supramolecular Arrangements of Enantiomers and Racemic Modification of 1,1'-Binaphthyl-2,2'-Dicarboxylic Acid", *Langmuir* **2005**, 21(20), 9206–9210.
- 40) Kingo Itaya, "Pioneer works in development of in situ scanning tunneling microscopy for electrochemical surface science", *Electrochemistry* **2006**, 74(1), 19–27.
- 41) Masanori Hara, Yoshiki Nagahara, Junji Inukai, Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, "In situ STM Study of Underpotential Deposition of Bismuth on Au(110) in Perchloric Acid Solution", *Electrochim. Acta* **2006**, 51(11), 2327–2332.
- 42) Soichiro Yoshimoto, Nozomi Yokoo, Takamitsu Fukuda, Nagao Kobayashi, Kingo Itaya, "Formation of highly ordered porphyrin adlayers induced by electrochemical potential modulation", *Chem. Commun.* **2006**, (5), 500–502.
- 43) Houyi Ma, Liang-Yueh Ou Yang, Na Pan, Shueh-Lin Yau, Jianzhuang Jiang, Kingo Itaya, "Ordered Molecular Assemblies of Substituted Bis(phthalocyaninato) Rare Earth Complexes on Au(111): In situ Scanning Tunneling Microscopy and Electrochemical Studies", *Langmuir* **2006**, 22(5), 2105–2111.
- 44) Soichiro Yoshimoto, Shoko Sugawara, Kingo Itaya, "Effect of Underlying Ni(II) Porphyrin Adlayer on the Formation of Supramolecular Assembly of Fullerenes on Au(111) in Solution", *Electrochemistry* **2006**, 74(2), 175–178.
- 45) Yu-Xia Diao, Mei-Juan Han, Li-Jun Wan, Kingo Itaya, Taro Uchida, Hiroto Miyake, Akira Yamakata, Masatoshi Osawa, "Adsorbed Structures of 4,4'-Bipyridine on Cu(111) in Acid Studied by STM and IR" *Langmuir* **2006**, 22(8), 3640–3646.
- 46) Kazuhiro Sato, Soichiro Yoshimoto, Junji Inukai, Kingo Itaya, "Effect of sulfuric acid concentration on the structure of sulfate adlayer on Au(111) electrode", *Electrochem. Commun.* **2006**, 8(5), 725–730.
- 47) Koji Suto, Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, "Electrochemical Control of the Structure of two-dimensional Supramolecular Organization Consisting of Phthalocyanine and Porphyrin on a Gold Single-Crystal Surface", *Langmuir* **2006**, 22(25), 10766–10776.
- 48) Soichiro Yoshimoto, Kazuhiro Sato, Shoko Sugawara, Yu Chen, Osamu Ito, Takahiro Sawaguchi, Osamu Niwa, Kingo Itaya, "Formation of Supramolecular Nanobelt Arrays Consisting of Cobalt(II) "Picket-Fence" Porphyrin on Au Surfaces", *Langmuir* **2007**, 23(2), 809–816.
- 49) Soichiro Yoshimoto, Eishi Tsutsumi, Ryuji Narita, Koichi Fujiwara, Michihisa Murata, Yasujiro Murata, Koichi Komatsu, Osamu Ito, Kingo Itaya "Epitaxial Supramolecular Assembly of Fullerenes Formed by Using a Coronene Template on a Au(111) Surface in Solution", *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, 129(13), in press.
- 50) Soichiro Yoshimoto, Kingo Itaya, "Advances in Supramolecularly Assembled Nanostructures of Fullerenes and Porphyrins at Surfaces", *J. Porphyrins Phthalocyanines* **2007**, accepted (Minireview dedicated to Prof. Osamu Ito of the Institute of Multidisciplinary Research for

Advanced Materials, Tohoku University).

- 51) Kazuya Sato, Takahiro Sawaguchi, Masafumi Sakata, Kingo Itaya, "Non-Contact Atomic Force Microscopy of Perfect Single Crystals of Pentacene Prepared by Crystallization from Solution", *Laugmuir*, **2007**, accepted.

(2)その他の著作物（総説、書籍など）

- 1)板谷謹悟「分子性結晶の成長過程における特異性とその電子デバイスへの応用」*第二次先端ウォッチング調査:融合領域の創成 分子性結晶の化学と電子デバイスへの応用*, 社団法人日本化学会学術研究活性化委員会, 49-58 (2007).

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

①招待講演(国内 13 件、国際 12 件)

- 1) Kingo Itaya, 9th International Seminar on Electroanalytical Chemistry, Changchun, 2003.10.
- 2) Kingo Itaya, 10th International Beijing Conference & Exhibition on Instrumental Analysis, Beijing, 2003.10.
- 3) Kingo Itaya, "Atomic processes at solid/liquid interfaces", 7th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, 奈良, 2003.11.
- 4) Kingo Itaya, "Atomic processes at solid/liquid interfaces observed by STM", The 11th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, 熱川, 2003.12.
- 5) 板谷謹悟「固液界面反応の原子・分子レベルでの解析と応用」電気化学会第 71 回大会、慶応義塾大学、2004.3.24～26
- 6) Kingo Itaya "Atomic Processes at Solid/Liquid Interfaces Investigated by Electrochemical STM", Beijing - TEDA 2004 Scanning Probe Microscopy, Sensors and Nanostructures, Tianjin, China, 2004 年 5 月 23-27 日
- 7) Junji Inukai, Kingo Itaya "HYDROQUINONE ADLAYS FORMED ON Rh(111) AND Pt(111) IN SOLUTION AND IN VACUUM" Beijing - TEDA 2004 Scanning Probe Microscopy, Sensors and Nanostructures, Tianjin, China, 2004 年 5 月 23-27 日
- 8) Kingo Itaya, "Atomic processes at solid/liquid interfaces investigated by scanning tunneling microscopy", 12th International Conference on Solid films and Surfaces, Hamamatsu, 2004. 6.21-25.
- 9) 板谷謹悟「固液界面反応のアトムプロセスの解明とその応用」表面技術協会第 110 回講演大会／ホテル松島大観荘（2004 年 9 月 13 日）
- 10) 板谷謹悟「原子・分子レベルで見た電極反応の解析とその応用」化学系学協会東北大会 岩手県盛岡市 岩手大学（2004 年 9 月 17 日）
- 11) 板谷謹悟「溶液中における ZnO(0001)表面エッチング過程の STM 観察」第 9 4 回触媒討論会／東北大学川内キャンパス（2004 年 9 月 27 日～30 日）
- 12) 板谷謹悟「原子・分子レベルで見た電極表面」第 2 4 回表面科学講演大会／早稲田大学総合学術情報センター（国際会議場）（2004 年 11 月 8 日）
- 13) 犬飼潤治・板谷謹悟「超高真空—電気化学複合装置による電極表面の研究」第 2 4 回表面科学講演大会／早稲田大学総合学術情報センター（国際会議場）（2004 年 11 月 8 日）（会誌賞受賞記念講演）
- 14) 板谷謹悟「電極表面反応の原子・分子プロセスの解明」日本化学会第 85 春季年会（学会賞受賞講演）／神奈川大学(2005 年 3 月 26 日-29 日)
- 15) 吉本 惣一郎「電気化学 STM を用いた単分子膜観察」日本化学会第 85 春季年会（／神奈川大学(2005 年 3 月 26 日-29 日)
- 16) Kingo Itaya, China International Conference on nanoscience & technology, Beijing, 2005.6
- 17) Kingo Itaya, 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy Spectroscopy and

Related Techniques(STM'05), 札幌、2005,7

- 18)Kingo Itaya," In situ STM of Reconstruction of Au Single Crystal Electrodes in Propylene Carbonate", The 56th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry ,Busan, Republic of Korea, 2005.9.
- 19)板谷 謹悟「電極表面科学とは」第26回表面科学講演大会、大阪大学コンベンションセンター、2006.11.6～9.
- 20) 板谷謹悟「固液界面のアトムプロセスの解明とその応用」21世紀COEプログラム「大分子複雑系未踏化学」シンポジウム、東北大学、2007.3.16.
- 21)板谷謹悟(東北大院工)「分子性結晶の成長過程における特異性とその電子デバイスへの応用」日本化学会第87春季年会・第二次先端ウォッチング/大阪府吹田市 関西大学(2007年3月27日)。
- 22)板谷謹悟(東北大院工)「基礎電気化学：電極表面科学の現状と展望」電気化学会第74回大会/千葉県野田市 東京工業大学(2007年3月30日)
- 23)Kingo Itaya, "Organic FET Using Well-defined Single Crystal Semiconductors," ChinaNANO2007, Beijing, China, 2007.6.4-7.
- 24) Kingo Itaya, "A New Avenue of Electrochemical Surface Science~From Monolayer to 3D-Crystals", 58th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Banff, Canada, 2007.9.9-14.
- 25) 板谷謹悟「固液界面反応のアトムプロセスの解明とその応用」2007年電気化学会北陸支部秋季大会・表面技術協会関東支部第74回講演・見学会合同大会、長岡グランドホテル、2007.10.18.

②口頭講演(国内 57 件、国際 8 件)

- 1)犬飼潤治, 杉政昌俊, 板谷謹悟「Cu (111) 電極表面上の phen の吸着構造解析」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 2)藤井大海, 松本匡史, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「Au (100) 面上へのコロネンおよびペリレンの吸着層作製と構造解析」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 3)松本匡史, 堤 栄史, 犬飼潤治, 板谷謹悟「Au (111) 面上へのフラーレン誘導体単分子膜の超高真空装置を用いた構造解析」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 4)阿部益宏, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「金単結晶電極上における 9,10-ビスフェニルエチニルアントラセンの電気化学的挙動および吸着構造の解析」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 5)吉本惣一郎, 須藤貢治, 板谷謹悟「ポルフィリン及びフタロシアニンを用いた金単結晶表面への異種混合膜の作製とその吸着構造」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 6)吉本惣一郎, 須藤貢治, 小林長夫, 板谷謹悟「Au (111) 表面に吸着したクラウンエーテルフタロシアニンの吸着構造とホスト・ゲストの直接観察」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 7)永原良樹, 原 正則, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 板谷謹悟「金単結晶電極上における白金錯体の吸着及び電気化学的挙動の測定」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 8)多田明徳, 阿部 徹, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「Au (111) 面上のコバルトオクタエチルポルフィンの吸着構造と電気化学特性」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1～4.3
- 9)犬飼潤治, 脇坂暢, 板谷謹悟「Pt(100)表面の真空中、気相中および水溶液中における構造」第 64 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡大学、2003.8.30～9.2
- 10)犬飼潤治, 杉政昌俊, 板谷謹悟「Cu(111)電極上におけるイオウ原子の吸着と Cu₂S 薄膜のエピタキシャル成長」第 64 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡大学、2003.8.30～9.2
- 11)松本匡史, 堤栄史, 犬飼潤治, 板谷謹悟「Au(111)表面へのフラーレン二量体単分子膜の

- 作製と超高真空中におけるその構造解析」第 64 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡大学、2003.8.30～9.2
- 12)吉本惣一郎, 須藤貢治, 比嘉憲仁, 板谷謹悟「金単結晶表面へのポルフィリンとフタロシアニン混合単分子膜の作製とその構造」第 64 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡大学、2003.8.30～9.2
- 13)松本匡史, 本多洋介, 犬飼潤治, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「Au(111)面上のフラーレンマロン酸単分子膜の溶液中及び真空中における構造解析とその比較」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 14)平山智彦, 多田明德, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「Au(111)面上に吸着した金属オクタエチルポルフィンの吸着構造」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 15)吉本惣一郎, 須藤貢治, 小林長夫, 板谷謹悟「クラウンエーテルフタロシアニン修飾電極上でのカルシウムのホスト-ゲスト反応：吸着構造と結晶面の関連性」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 16)犬飼潤治, 杉政昌俊, 板谷謹悟「Cu(111)電極上における S と SCN の吸着構造」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 17)堤 栄史, 松本匡史, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 伊藤 攻, 小松紘一, 板谷謹悟「コロネン修飾した Au 単結晶表面上でのフラーレン類のナノ構造形成とその表面観察」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 18)阿部益宏, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「Au(111)面上への 10, 12-ペンタコサジイン酸単分子膜の作製とその構造観察」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 19)吉本惣一郎, 多田明德, 板谷謹悟「Au(111)面上に吸着したコバルトおよび鉄オクタエチルポルフィンの吸着構造と酸素還元活性」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 20)原 正則, 永原良樹, 平山智彦, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 板谷謹悟「Au(100)面上における白金錯体の吸着および電気化学挙動の測定」2003 年電気化学秋季大会、北海道大学、2003.9.11-12
- 21)松本匡史, 堤 栄史, 犬飼潤治, 板谷謹悟「Au(111)表面上におけるフラーレン二量体単分子膜の作製と超高真空中におけるその構造解析」第 2 3 回表面科学講演大会、早稲田大学、2003.11.26～28.
- 22)犬飼潤治, 杉政昌俊, 板谷謹悟「Cu(111)上における S₂-および SCN-の吸着および電気化学反応」第 2 3 回表面科学講演大会、早稲田大学、2003.11.26～28.
- 23)犬飼潤治, 伊藤剛也, 板谷謹悟「水溶液中における ZnO(0001)面のエッチング機構」電気化学会第 71 回大会、慶応義塾大学、2004.3.24～26.
- 24)犬飼潤治, 脇坂暢, 板谷謹悟「白金及びロジウム電極上における p-キシレンとヒドロキノンの吸着構造」、電気化学会第 71 回大会、慶応義塾大学、2004.3.24～26.
- 25)吉本惣一郎, 堤栄史, 本多洋介, 板谷謹悟「金単結晶表面上へのポルフィリン/フラーレン超分子構造の作製とその評価」、電気化学会第 71 回大会、慶応義塾大学、2004.3.24～26.
- 26)原正則, 永原良樹, 平山智彦, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 板谷謹悟「Au 単結晶電極表面上における白金錯体の吸着挙動の面方位依存性」、電気化学会第 71 回大会、慶応義塾大学、2004.3.24～26.
- 27) 松本匡史, 本多洋介, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 伊藤 攻, 板谷謹悟「Au(111)面上におけるフラーレンマロン酸の吸着構造」第 51 回応用物理学関係連合講演会、東京工科大、2004.3.28～31.
- 28)犬飼潤治, 脇坂 暢, 板谷謹悟「溶液中及び真空中におけるロジウム及び白金(111)表面上のメチル基置換ベンゼン誘導体の吸着構造」第 51 回応用物理学関係連合講演会、東京工科大、2004.3.28～31.
- 29)犬飼潤治, 脇坂 暢, 板谷謹悟「溶液中及び真空中におけるロジウム及び白金(111)表面上のヒドロキノンの吸着構造」第 51 回応用物理学関係連合講演会、東京工科大、2004.3.28～31.

- 30)吉本惣一郎, 板谷謹悟「機能性有機分子を用いた配向・配列制御」第 51 回応用物理学関係連合講演会、東京工科大、2004.3.28～31.
- 31)Junji Inukai・Kingo Itaya「Etching processes of ZnO(0001) surface in solution studied by *in situ* scanning tunneling microscopy」EUROCORR2004／Niece, France (2004 年 9 月 12 日-16 日)
- 32) Junji Inukai・Kingo Itaya「Comparison of Etching Processes on Si(111) and ZnO(0001) Surfaces in Solution using *in situ* STM」International Conference on Electrode Processes／Szczyrk, Poland (2004年9月15日-18日)
- 33)Junji Inukai・Kingo Itaya「*p*-Xylnene and Hydroquinone adlayers formed on Rh and Pt(111) in vacuum and in solution」ISE meeting in 2004／Thessaloniki, Greece (2004年9月19日-24日)
- 34)犬飼潤治・脇坂暢・板谷謹悟「Pt(100)再配列表面上での電気化学反応」日本化学会東北大会、岩手県盛岡市 岩手大学 (2004年9月17日～19日)
- 35)佐藤一宏・板谷謹悟「非水溶液中における金単結晶電極の電気化学的挙動」日本化学会東北大会、岩手県盛岡市 岩手大学 (2004年9月17日～19日)
- 36)本多洋介・板谷謹悟「金単結晶電極表面上におけるフラレン-ポルフィリン超分子構造体の形成とSTMによる構造評価」日本化学会東北大会、岩手県盛岡市 岩手大学 (2004 年 9 月 17 日～19 日)
- 37)Liang-Yueh Ou Yang, Shueh-Lin Yau, Kingo Itaya
「Scanning Tunneling Microscopy of Sulfur, Benzenethiol and carbon Monoxide Chemisorbed on Ru(0001) in 0.1 M HClO₄」5th International Symposium on ELECTROCHEMICAL MICRO & NANOSYSTEM TECHNOLOGIES 2004 (September 29 – October 1, 2004)
- 38)松本匡史・本多洋介・堤栄史・吉本惣一郎・犬飼潤治・伊藤攻・小松紘一・板谷謹悟
「Adlayer Structures of Fullerene Derivatives on Au(111)」電気化学日米合同大会
／ハワイ・ホノルル ヒルトン・ハワイアンヴィレッジ (2004 年 10 月 3 日～8 日)
- 39)松本匡史・本多洋介・堤栄史・吉本惣一郎・犬飼潤治・板谷謹悟「Adlayer Structures of Fullerene Derivatives on Au(111)」九大 21 世紀 COE 第 1 回国際会議(1st IS-FIMI)／福岡 九州大学 (2004 年 10 月 13～15 日)
- 40)犬飼潤治・脇坂暢・板谷謹悟「Rh および Pt(111)上における芳香族分子の吸着」第 2 4 回表面科学講演大会／早稲田大学総合学術情報センター (国際会議場) (2004 年 11 月 8 日～10 日)
- 41)犬飼潤治・板谷謹悟「水溶液中における銅単結晶電極上への硫化銅の生成」銅及び銅合金技術研究会第 4 4 回講演大会／かずさアカデミアホール (かずさアーク内) (2004 年 11 月 13 日)
- 42)犬飼潤治・板谷謹悟「Etching Processes on ZnO(0001) Electrode Surfaces Studied by *in situ* STM」銅及び銅合金技術研究会第 4 4 回講演大会／かずさアカデミアホール (かずさアーク内) (2004 年 11 月 13 日)
- 43)吉本惣一郎・伊藤 攻・板谷謹悟「ポルフィリン・フタロシアンニンを用いた金単結晶表面の機能化とその特性評価」日本化学会第 85 回春季年会／神奈川大学(2005 年 3 月 26 日-29 日)
- 44)吉本惣一郎・斉藤 彰・伊藤 攻・板谷謹悟「フラレン・ポルフィリン超分子構造を利用したフェロセンの電子移動反応制御」電気化学会第 7 2 回大会／熊本大学黒髪キャンパス (2005 年 4 月 2 日) (口頭)
- 45)吉本惣一郎・本多 洋介・板谷 謹悟「ポルフィリンおよびフタロシアンニン混合単分子膜の構造制御」電気化学会第 7 2 回大会／熊本大学黒髪キャンパス (2005 年 4 月 2 日)
- 46)吉本惣一郎・板谷謹悟「電極表面上における機能性分子の組織化と構造制御」電気化学会第 72 回大会／熊本大学黒髪キャンパス (2005 年 4 月 2 日)
- 47)佐藤一宏・板谷謹悟「原子分解能を有する非水溶液中での STM 装置の開発とその応用」電気化学会第 72 回大会／熊本大学黒髪キャンパス(2005 年 4 月 2 日)
- 48)吉本惣一郎,横尾 望,福田貴光,小林長夫,板谷謹悟「カルボン酸を有するポルフィリン誘導体の単分子膜作製と電気化学的構造制御」2005 年電気化学秋季大会、千葉大学、

2005.9.8-9.

- 49)佐藤 一弥・野田 浩之・庭野 道夫・板谷 謹悟「ペンタセン単結晶の成長と非接触 AFM による表面構造と FET 特性」日本化学会第 86 春季年会、日本大学 船橋キャンパス (2006.3-27-30)
- 50)吉本 惣一郎・佐藤 一宏・菅原 尚子・板谷 謹悟・Chen, Yu・伊藤 攻・澤口 隆博・丹羽 修「ピケットフェンスポルフィリンを用いた金電極上でのナノアレイ制御」日本化学会第 86 春季年会、日本大学 船橋キャンパス (2006.3-27-30)
- 51)佐藤 一弥・澤口 隆博・板谷 謹悟「高分解能非接触 AFM によるペンタセン結晶の表面構造と分子配向」日本化学会第 86 春季年会、日本大学 船橋キャンパス (2006.3-27-30)
- 52)佐藤一弥・板谷謹悟「ペンタセン分子結晶の FM-AFM による表面構造」第 53 回応用物理学関係連合講演会、武蔵工大、2006.3.22-26.
- 53)白石章一郎, 野田浩之, 庭野道夫, 梶田憲一, 山田順一, 板谷謹悟「DT-TTF 結晶成長の動的過程と表面構造」第 53 回応用物理学関係連合講演会、武蔵工大、2006.3.22-26.
- 54)吉本惣一郎, 佐藤一宏, 菅原尚子, 板谷謹悟, Yu Chen, 伊藤 攻, 澤口隆博, 丹羽 修「電極表面上に配列したピケットフェンスポルフィリンナノアレイ中での配位酸素の影響」第 53 回応用物理学関係連合講演会、武蔵工大、2006.3.22-26.
- 55)吉本惣一郎, 佐藤一宏, 菅原尚子, 板谷謹悟, Chen Yu, 伊藤攻, 澤口隆博, 丹羽修「ピケットフェンスポルフィリンを用いたナノアレイ作製とその電気化学特性」電気化学会第 73 回大会、首都大学東京、2006.4.1~3.
- 56)Kingo Itaya 「Surface Structures of Pentacene Thin Films Using NC-AFM」9th International Conference on Non-Contact Atomic Force Microscopy／兵庫県神戸市、2006 年 7 月 17 日
- 57)坂田雅文, 佐々木亮人, 今村芳樹, 佐藤智重, 北村真一, 板谷謹悟「分子性単結晶ペンタセンおよびルブレンの FM-AFM による表面分子像」第 67 回応用物理学会学術講演会/滋賀県草津市 立命館大学 (2006 年 8 月 30 日)
- 58)野田浩之, 佐々木亮人, 今村芳樹, 坂田雅文, 小川 賢, 木村康男, 庭野道夫, 板谷謹悟「液相および気相法で合成したルブレン単結晶薄片の構造評価」第 67 回応用物理学会学術講演会/滋賀県草津市 立命館大学 (2006 年 8 月 30 日)
- 59)坂田雅文, 伊藤 隆, 梶田憲一, 山田順一, 庭野道夫, 板谷謹悟「液相法による DT-TTF 単結晶の FET 基板への直接形成過程と FET 特性」第 67 回応用物理学会学術講演会/滋賀県草津市 立命館大学 (2006 年 8 月 31 日)
- 60)坂田雅文, 佐々木亮人, 今村芳樹, 石田雄人, 小川 賢, 木村康男, 庭野道夫, 板谷謹悟「液相法による薄片状ペンタセン単結晶の合成と結晶評価及び FET 特性」, 第 67 回応用物理学会学術講演会/滋賀県草津市 立命館大学 (2006 年 8 月 31 日)
- 61)吉本惣一郎, 佐藤一宏, 犬飼潤治, 板谷謹悟「高濃度硫酸中における Au(111)電極の電気化学挙動と表面構造変化」2006 年電気化学秋季大会/京都府京田辺市 同志社大学 (2006 年 9 月 14 日)
- 62)坂田雅文, 野田浩之, 佐々木亮人, 今村芳樹, 佐藤智重, 北村真一, 板谷謹悟「非接触 AFM による有機結晶表面の分子像観察」第 26 回表面科学講演大会、大阪大学、2006.11.6~9.
- 63)坂田雅文「固液界面での分子レベルでの配列制御」ヤングブレインズによる先端科学シンポジウム、東北大学、2007.2.17.
- 64)坂田雅文, 野田浩之, 佐藤智重, 北村真一, 板谷謹悟「FM-AFM によるルブレン単結晶の表面分子構造と FET 特性」第 54 回応用物理学関係連合学術討論会/神奈川県相模市 青山学院大学 (2007 年 3 月 30 日)
- 65)Kingo Itaya, “Structures of single-crystals of organic semiconductors”, International Conference on Electrified Interfaces 2007, Sahoro, Hokkaido, 2007. 6.24-27.

③ポスター発表(国内 6 件、国際 0 件)

- 1) 原 正則, 永原良樹, 吉本惣一郎, 板谷謹悟「金単結晶電極上における Bi および Sb の UPD 過程の STM 観察と電気化学触媒能の評価」電気化学会創立 70 周年記念大会、東京工業大学、2003.4.1~4.3
- 2) 松本匡史, 堤栄史, 本多洋介, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 伊藤攻, 小松紘一, 板谷謹悟「Au 単結晶表面上におけるフラレーン誘導体の単分子膜作製とその構造解析」電気化学会第 71 回大会、慶応義塾大学、2004.3.24~26
- 3) 松本匡史, 本多洋介, 吉本惣一郎, 犬飼潤治, 伊藤攻, 小松紘一, 板谷謹悟「Au(111)面上におけるフラレーン誘導体の単分子膜作製とその構造解析」第 24 回表面科学講演大会／早稲田大学総合学術情報センター（国際会議場）（2004 年 11 月 8 日~10 日）
- 4) 坂田雅文, 佐々木亮人, 大笹慎也, 今村芳樹, 野田浩之, 板谷謹悟「有機単結晶の結晶成長と AFM による結晶評価」第 26 回表面科学講演大会、大阪大学、2006.11.6~9.
- 5) 坂田雅文, 佐々木亮人, 板谷謹悟(東北大院工)「液相及び気相からのペンタセン単結晶の育成と FET 特性」第 54 回応用物理学関係連合学術討論会/神奈川県相模市 青山学院大学（2007 年 3 月 27 日）
- 6) 坂田雅文, 吉田達哉, 山本学志, 木村康男, 庭野道夫, 大坪徹夫, 板谷謹悟(東北大院工、東北大通研, 広大院工)「オリゴチオフエン誘導体の構造と移動度」第 54 回応用物理学関係連合学術討論会/神奈川県相模市 青山学院大学（2007 年 3 月 27 日）

(4)特許出願

①国内出願 (1 件)

高品位分子性結晶製造方法及び有機半導体デバイス、板谷謹悟、庭野道夫、安宅龍明、JST／オリンパスKK、平成18年8月28日、特願2006-231279

(5)受賞等

①受賞

1. 板谷謹悟 平成 15 年度 紫綬褒章 日本国天皇 2003.11.3
2. 板谷謹悟 日本化学会第 57 回日本化学会学会賞受賞「電極表面反応の原子・分子プロセスの解明」2005.3.27 日本化学会
3. 吉本惣一郎 日本化学会第 54 回進歩賞受賞「ポルフィリン・フタロシアニンを用いた単結晶表面の機能化とその特性評価」2005.3.27 日本化学会

②新聞報道

1. 平成 19 年 6 月 18 日 河北新報朝刊
「ペンタセン単結晶化に成功 東北大グループ」
2. 平成 19 年 7 月 3 日 日刊工業新聞
「有機半導体ペンタセンの単結晶 固液界面で完全結晶化 東北大が製造技術」

<庭野グループ>

(1)原著論文発表 (国内誌 11 件、国際誌 31 件)

<国内誌>

1. 庭野 道夫「半導体表面における水素の挙動 —赤外分光解析—」 *Journal of Vacuum Society of Japan (真空)* vol. **46**, no. 8, pp.600-606, 2003.
2. 岡村康史, 小川賢, 浜裕之, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫「Si(100)-2X1 表面上ナフタレン吸着の赤外吸収分光解析」 *表面科学* vol. **24**, no 9, pp543-549, 2003.
3. 渡辺隼人, 篠原正典, 木村康男, 斎藤峯雄, 庭野道夫「Si(100)表面上ベンゼン分子吸着過程」 *表面科学* vol. **24**, no 2, pp98-104, 2003.
4. 杉啓司, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫「Alq₃ 遮光下真空蒸着膜に発生する光消去可能な巨大表面電位の特性評価」, *電子情報通信学会技術研究報告* **103** (283, 285) 41-44, 2003.
5. 小川賢, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫「変位電流評価法で調べた有機 FET のキャリア注入特性」, *電子情報通信学会技術研究報* **103** (283, 285) 35-39, 2003.
6. 木村康男, 細井宜伸, 石井久夫, 庭野道夫「多重内部反射型赤外吸収分光法によるシリコン表面の電気化学エッチング過程の“その場”観察」 *表面科学* vol. **25**, No. 2, pp. 84-90, 2004.
7. 篠原正典, 片桐輝昭, 岩辻圭太郎, 松田良信, 藤山寛, 木村康男, 庭野道夫, 「酸素プラズマ中での Si 表面水素の挙動」, *表面科学* **25**, 541-547, 2004.
8. 小川賢、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「変位電流評価法で調べたペンタセン有機電界効果トランジスタ界面のキャリア挙動」、*表面科学*、**25**, 513, 2004.
9. 「有機分子エレクトロニクスのための金属・分子界面の電子構造」、石井久夫、*固体物理* 40 巻 6 号 375-388, 2005.
10. 山口僚太郎、石橋健一、白木宏一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「顕微赤外分光法によるポーラスシリコン表面上における DNA 分子の検出」、*表面科学*、第 26 巻、第 9 号、537-541, 2005.
11. 宮本浩一郎、石橋健一、山口僚太郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「多重内部反射型赤外分光法による DNA ハイブリダイゼーションの液中その場観察」、*表面科学*、第 26 巻、第 9 号、553-558, 2005.

<国際誌>

1. S. Ogawa, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, "Carrier Injection Characteristics in Organic Field Effect Transistors Studied by Displacement Current Measurement", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 42, Part 2, No. **10B**, pp. L1275-L1278, 2003.
2. S. Ogawa, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, "Carrier Injection Characteristics in Organic Field Effect Transistors Studied by Displacement Current Measurement", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 42, Part 2, No. **10B**, pp. L1275-L1278, 2003.

3. Y. Kimura, J. Nemoto, M. Shinohara, and M. Niwano, "In-situ observation of chemical states of a Si electrode surface during a galvanostatic oscillation in fluoride electrolytes using infrared absorption spectroscopy", *Physica Status Solidi (a)* vol. **197**, no. 2, pp.577–581, 2003.
4. S. Ogawa, Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, "Field Effect of Fullerene Thin Film Studied by Displacement Current Measurements and Infrared Absorption Spectroscopy in The Multiple Reflection Geometry", *Materials Research Society Symposium Proceedings* vol. **771**, pp. L7.13.1- L7.13.6, 2003.
5. K. Sugi, H. Ishii, Y. Kimura, M. Niwano, N. Hayashi, Y. Ouchi, E. Ito and K. Seki, "Spontaneous Orientation of Alq3 Molecule in Evaporated Film and Its Vanishment by Light Irradiation", *Materials Research Society Symposium Proceedings* vol. **771**, pp.L7.9.1- L7.9.6, 2003.
6. H. Shiraki, Y. Kimura, H. Ishii, S. Ono, K. Itaya, and M. Niwano, "Investigation of formation processes of an anodic porous alumina film on a silicon substrate", *Applied Surface Science* **237**, 369-373, 2004.
7. Y. Kimura, H. Shiraki, H. Ishii, S. Ono, K. Itaya, and M. Niwano, "In-situ Observation of Formation Processes of Anodic Porous Alumina on a Si Substrate Using Infrared Absorption Spectroscopy", *Materials Research Society Symposium Proceedings* **788**, L8.6.1-L8.6.5, 2004.
8. H. Ishii, N. Hayashi, E. Ito, Y. Washizu, K. Sugi, Y. Kimura, M. Niwano, Y. Ouchi, K. Seki, "Kelvin probe study of band bending at organic semiconductor/metal interfaces: examination of Fermi level alignment", *Physica Status Solidi (a)* **201**, 1075-1094, 2004.
9. K. Sugi, H. Ishii, Y. Kimura, M. Niwano, E. Ito, Y. Washizu, N. Hayashi, Y. Ouchi, K. Seki, "Characterization of light-erasable giant surface potential built up in evaporated Alq(3) thin films", *Thin Solid Films*, **464-65**, 412-415, 2004.
10. M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, H. Fujiyama, Y. Kimura, M. Niwano, "Oxygen-plasma induced hydrogen desorption from hydrogen-terminated Si(100) and (111) surfaces investigated by infrared spectroscopy", *Thin Solid Films*, **464-465**, 14-17, 2004.
11. K. Okamura, Y. Hosoi, Y. Kimura, H. Ishii, M. Niwano, "Adsorption of cata-condensed aromatics on a Si(100)-2 x 1 surface investigated by infrared absorption spectroscopy", *Applied Surface Science*, **237**, 439-443, 2004.
12. M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, Y. Kimura, M. Niwano, H. Fujiyama, "Plasma oxidation process of silicon surfaces investigated by infrared spectroscopy", *Journal of Advanced Oxidation Technologies* **8**, 41-46, 2005.
13. K. Okamura, H. Ishii, Y. Kimura, M. Niwano, "Adsorption of naphthalene on a Si(100)-2 x 1 surface investigated by infrared spectroscopy", *Surface Science* **576**, 45-55 2005.
14. M. Shinohara, T. Katagiri, K. Iwatsuji, Y. Matsuda, H. Fujiyama, Y. Kimura, M. Niwano, "Oxidation of the hydrogen terminated silicon surfaces by oxygen plasma investigated by in-situ infrared spectroscopy", *Thin Solid Films* **475**, 128-132, 2005.
15. K. Miyamoto, K. Ishibashi, K. Hiroi, Y. Kimura, H. Ishii, M. Niwano, "Label-free detection and classification of DNA by surface vibration spectroscopy in conjugation with electrophoresis", *Applied Physics Letters* **86**, 053902, 2005.

16. Y. Hosoi, K. Okamura, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, "Infrared spectroscopy of pentacene thin film on SiO₂ surface", *Applied Surface Science*, **244**, 607-610, 2005.
17. S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, "Displacement Current Measurement as a Tool to Characterize Organic Field Effect Transistors", *Synthetic Metals*, **153**, 253-256, 2005.
18. T. Nishikawa, S. Kobayashi, T. Nakanowatari, T. Mitani, T. Shimoda, Y. Kubozono, G. Yamamoto, H. Ishii, M. Niwano, and Y. Iwasa, "Ambipolar operation of fullerene field-effect transistors by semiconductor/metal interface modification", *J. Appl. Phys.* **97**, 104509, 2005.
19. S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, "Photoinduced doping effect of pentacene field effect transistor in oxygen atmosphere studied by displacement current measurement" *Appl. Phys. Lett.* **86**, 252104, 2005.
20. H. Ishii, S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, and M. Niwano, "Ambient Gas Effect to Pentacene FET Studied by Displacement Current Measurement: Photo-induced Doping Effect", The proceeding of International Symposium on Super-Functionality Organic Devices, (IPAP Conference Series 6) 31-34, 2005.
21. S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, "Photoinduced doping of organic field effect transistors studied by displacement current measurement and infrared absorption spectroscopy in the multiple internal reflection geometry", *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, 530-533, 2006.
22. N. Abiko, K. Sugi, T. Suenaga, Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, "Carrier injection characteristics of metal/Alq₃ interface with a long chain alkane insertion layer", *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, 442-446, 2006.
23. K. Miyamoto, K. Ishibashi, R. Yamaguchi, Y., Hisao Ishii, and M. Niwano, "In situ observation of DNA hybridization and denaturation by surface infrared spectroscopy", *Journal of Applied Physics* **99**(9), 94702, 2006.
24. Y. Kimura, H. Shiraki, K. Ishibashi, H. Ishii, K. Itaya, and M. Niwano, "In-situ, real-time infrared spectroscopy study of formation of porous anodic alumina on Si", *Journal of the Electrochemical Society* **153**(5), C296-C300, 2006.
25. S. Ogawa, Y. Kimura M. Niwano, and H. Ishii, "Trap elimination and injection switching at organic field effect transistor by inserting an alkane (C₄₄H₉₀) layer", *Applied Physics Letters* **90**(3), 33504, 2007.
26. Y. Kimura, T. Numasawa, M. Nihei, and M. Niwano, "Infrared reflection absorption spectroscopy investigation of carbon nanotube growth on cobalt catalyst surfaces, *Applied Physics Letters* **90**(7), 73109, 2007.
27. Y. Kimura, K. Itoh, R. Yamaguchi, K. Ishibashi, K. Itaya, and M. Niwano, "Room-temperature observation of a Coulomb blockade phenomenon in aluminum nanodots fabricated by an electrochemical process", *Applied Physics Letters* **90** (9), 93119, 2007.
28. K. Miyamoto, K. Onodera, R. Yamaguchi, K. Ishibashi, Y. Kimura and M. Niwano, "Hydration of single-stranded DNA in water studied by infrared spectroscopy", *Chemical Physics Letters* **436**(1-3), 233-238, 2007.

29. R. Yamaguchi, K. Miyamoto, K. Ishibashi, A. Hirano, S. M. Said, Y. Kimura, and M. Niwano, "DNA hybridization detection by porous silicon-based DNA microarray in conjugation with infrared microspectroscopy", *Journal of Applied Physics*, **102**, 014303, 2007.
30. K. Onodera, A. Hirano-Iwata, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Kataoka, Y. Shinohara, and M. Niwano, "Label-Free Detection of Protein-Protein Interactions at the GaAs/Water Interface through Surface Infrared Spectroscopy: Discrimination between Specific and Non-specific Interactions by Using Secondary Structure Analysis", *Langmuir* (to be published)
31. K. Ishibashi, R. Yamaguchi, Y. Kimura and M. Niwano, "Fabrication of Titanium Oxide Nanotubes by Rapid and Homogeneous Anodization in a Mixture of Perchloric Acid and Ethanol", *Journal of The Electrochemical Society* (to be published)

(2)その他の著作物（総説、書籍など）

《著者、タイトル、掲載誌もしくは書籍、巻、号、ページ、発行年など》

1. 庭野道夫、「表面赤外分光法を用いたバイオセンシング」、*応用物理*、74、12、1569-1575、2005
2. 庭野道夫、「表面赤外分光を用いた非標識バイオセンシング」、*臨床検査*、50、12、1519-1528、2006
3. 木村康男、宮本浩一郎、庭野道夫、「生体計測のための赤外吸収分光技術」、*表面科学*、28、5、283-286、2007
4. 石井 久夫、津波 大介、末永 保、佐藤 信之、木村 康男、庭野 道夫「光電子収量分光による有機エレクトロニクス材料・界面の電子構造評価」、*表面科学*、28、5、264、2007

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 4 件)

〈国内会議〉

1. 木村康男（東北大通研）、庭野道夫、「陽極酸化により作製したアルミニウムナノドットからのクーロン階段の室温観測」、電子情報通信学会研究会電子部品・材料研究会（CPM8），山形大学, 2007.8.9-8.10（招待講演）

〈国際会議〉

1. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, and M. Niwano, "Behavior of Carriers in Organic Devices Studied by Displacement Current Measurement ", The 6th International Conference on Nano-Molecular Electronics, Kobe, Japan, DEC15-17, 2004 (Invited)
2. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, and M. Niwano, "Ambient gas sensing of organic thin film transistors studied by displacement current and infrared spectroscopy: carrier-generation process and perspective towards biosensors", Molecule-Based Information Transmission and Reception -Application of Membrane Protein Biofunction-(MB-ITR2005),, Okzaki, Japan, March 3-7, 2005 (Invited)
3. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, T. Naijo, T. Suenaga, N. Sato, Y. Kimura, M. Niwano, K. Komatsu, K. Kanai, and K. Seki, "Characterization of Organic Semiconductor Films and Devices in both Vacuum and Atmospheric Conditions using Displacement Current

Measurement, Infrared Spectroscopy, and Photoelectron Yield Spectroscopy”, 8th European Conference on Molecular Electronics (ECME), 29 June-2 July, 2005, Bologna, Italy (Invited)

4. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, T. Naijo, D. Tsunami, T. Suenaga, N. Sato, Y. Kimura, and M. Niwano, “Characterization of Interfacial Properties of Organic Electronics by Displacement Current Measurement and Spectroscopic Methods”, Electronic Structure and Processes of Molecular-Based Interfaces: In Relation to Organic and Molecular Devices (ESPMI-O6), 2-4 March, 2006, Nagoya, Japan (Invited).

② 口頭発表 (国内会議 78 件、国際会議 36 件)
〈国内学会〉

1. 白木 宏一 (東北大通研)、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「多重内部反射型赤外吸収分光法による陽極酸化ポラスアルミナ薄膜の形成過程のその場観察」第 64 回応用物理学会学術連合講演会 1p-YH-2 (2003)
2. 杉 啓司 (東北大通研)、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「変異電流評価法を用いた Alq₃ 薄膜の分極特性評価」第 64 回応用物理学会学術講演会 2a-S-1 (2003)
3. 小川 賢 (東北大通研)、木村康男、石井 久夫、庭野 道夫「変異電流評価法で調べたペンタセン FET のキャリア注入特性」第 64 回応用物理学会学術講演会 2p-S-3 (2003)
4. 岡村 康史 (東北大通研)、細井 宜伸、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「Si (100) -2×1 表面における縮合多環芳香族炭化水素の吸着課程」第 64 回応用物理学会学術講演会 1p-L-10 (2003)
5. 杉 啓司 (東北大通研)、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「Alq₃ 遮光下真空蒸着薄膜に発生する光消去可能な巨大表面電位の特性評価」電子情報通信学会 電子デバイス・有機エレクトロニクス合同研究会 (2003)
6. 小川 賢 (東北大通研)、木村康男、石井 久夫、庭野 道夫「変位電流評価法で調べた有機 FET のキャリア注入特性」電子デバイス/有機エレクトロニクス研究会 (2003)
7. 白木 宏一 (東北大通研)、木村 康男、石井 久夫、小野 幸子、板谷 謹悟、庭野 道夫「陽極酸化ポラスアルミナ薄膜の孔の規則配列性に及ぼす蒸着 Al は区膜の膜質の影響」電気化学秋季大会 2H05 (2003)
8. 白木 宏一 (東北大通研)、木村 康男、石井 久夫、小野 幸子、板谷 謹悟、庭野 道夫「多重内部反射方赤外吸収分光法による Al は区幕の陽極酸化過程のその場観察」第 23 回表面科学講演大会 3B34 (S) (2003)
9. 細井 宜伸 (東北大通研)、岡村 康史、濱 裕之、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「Si(100)-2×1 表面上の縮合多環芳香族炭化水素の吸着構造」分子構造総合討論会 3Da08 (2003)
10. 岡村 康史 (東北大通研)、細井 宜伸、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「赤

外吸収分光法を用いた Si(100)-2×1 表面上におけるアセチレンの吸着構造解析」
第 23 回表面科学講演大会 3A04 (2003)

11. 小川 賢 (東北大通研)、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫「変位電流評価法で調べた有機電界効果トランジスタ界面のキャリア挙動」第 23 回表面科学講演大会 3A35 (2003)
12. 田中俊司 (東北大通研)、木村康男、石井久夫、庭野道夫「散乱型プローブを用いた赤外 SNOM の開発」応用物理学会東北支部第 58 回学術講演会 5aA1 (2003)
13. 細井 宜伸 (東北大通研)、岡村康史、木村康男、石井久夫、庭野道夫「多重内部反射方赤外吸収分光法で調べたシリコン酸化膜上のペンタセン薄膜の成長過程」第 51 回応用物理学関係連合講演会 28a-ZR-3 (2004)
14. 木村 康男 (東北大通研)、田中俊司、石井久夫、庭野道夫「金属プローブを用いた赤外走査型近接場顕微鏡の開発」電子情報通信学会総合大会 (2004)
15. 木村 康男 (東北大通研)、宮本浩一郎、石井久夫、庭野道夫「半導体表面を用いた DNA 高感度計測」第 51 回応用物理学関係連合講演会講演 31a-B-5 (2004)
16. 安彦 尚文 (東北大通研)、末永保、杉啓司、木村康男、石井久夫、庭野道夫「長鎖アルカン分子層挿入による金属/Alq3 界面の電化注入特性の改善」日本表面科学会東北支部講演会 O-3 (2004)
17. 廣井 慧 (東北大通研)、石橋健一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫「LB 膜上での DNA ハイブリダイゼーションの赤外分光法による検出」日本表面科学会東北支部講演会 O-4 (2004)
18. 末永 保 (東北大通研)、佐藤信之、木村康男、石井久夫、庭野道夫、小松憲市、金井要、関一彦「常圧下で動作する光電子収量分光装置の開発」日本表面科学会東北支部大会 O-5 (2004)
19. 石井久夫(東北大通研)、「有機半導体薄膜の大気下光電子収量分光と多重内部反射赤外分光：光と雰囲気ガスによるドーピング効果」、表面科学会東北支部講演会(I-3)、郡山(日本大学工学部) 2004 年 3 月 11 日(招待講演)
20. 山口僚太郎(東北大通研)、白木宏一、石橋健一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「顕微赤外分光法によるポーラスシリコン表面上での DNA 分子の検出」第 24 回表面科学講演大会 (2A24)、東京、2004 年 11 月 9 日
21. 内城竜生(東北大通研)、小川賢、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「変位電流評価法と多重内部反射型赤外分光法で調べた有機半導体薄膜のドーピング効果」第 24 回表面科学講演大会(3B24) 東京、2004 年 11 月 10 日
22. 小川 賢(東北大通研)、内城 竜生、木村 康男、石井久夫、庭野 道夫、「Pentacene FET の雰囲気ガス効果：光誘起ドーピングの観測(2)」、第 65 回応用物理学会学術講演会 1a-ZR-10、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 1 日
23. 宮本 浩一郎(東北大通研)、石橋 健一、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫、「赤外吸収分光法による溶液中 DNA ハイブリダイゼーションのその場観察」第 65 回

応用物理学関係連合学術講演会 4p-ZT-3、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 4 日

24. 庭野道夫(東北大通研)、宮本浩一郎、石橋健一、木村康男、「赤外吸収分光法を用いた高感度バイオセンシング」、第 65 回応用物理学学会学術講演会 2p-K-7(シンポジウム)、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 2 日
25. 白木宏一(東北大通研)、山口遼太郎(東北大通研)、木村康男(東北大通研)、石井久夫(東北大通研)、板谷謹悟(東北大工学部)、庭野道夫(東北大通研)、「陽極酸化ポーラスアルミナ薄膜を利用した Si 基板へのハニカム構造転写」、第 65 回応用物理学関係連合学術講演会 3a-ZH-10、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 3 日
26. 石橋健一(東北大通研)、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「赤外吸収分光法を用いた DNA 固定化 Si 基板表面におけるハイブリダイゼーション反応の検出」、第 65 回応用物理学関係連合学術講演会 4P-ZT-5、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 5 日
27. 末永保(東北大通研)、佐藤信之、木村康男、石井久夫、庭野道夫、小松賢市(名古屋大院理)、金井要(名古屋大院理)、関一彦(名大・物質国際研)、「真空下及び常圧下で動作する光電子収量分析装置の開発」、第 65 回応用物理学学会学術講演会 2a-N-10、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 2 日 (講演奨励賞受賞)
28. 安彦尚文(東北大通研)、末永保、杉啓司、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「長鎖アルカン分子層を挿入した Al/Alq₃ 界面の電子注入特性」、第 65 回応用物理学学会学術講演会 4p-ZG-1、仙台市(東北学院大学)、2004 年 9 月 4 日
29. 小川 賢(東北大通研)、内城 竜生、木村 康男、石井久夫、庭野 道夫、「Pentacene FET の光誘起ドーピングの励起光波長依存性」、第 52 回応用物理学関係連合講演会 29p-YG-6、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 29 日
30. 宮本 浩一郎(東北大通研)、石橋 健一、木村 康男、石井 久夫、庭野 道夫、「液中 DNA 分子の凝集状態における赤外吸収分光観察」、第 52 回応用物理学関係連合講演会 30a-YL-7、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 30 日
31. 内城竜生(東北大通研)、小川賢、木村康男、石井久夫、庭野道夫「変位電流評価法と多重内部反射型赤外吸収分光法による P3HT 薄膜のドーピング現象の観測」第 52 回応用物理学関係連合講演会 29p-YG-5、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 29 日
32. 末永 保(東北大通研)、佐藤信之(東北大通研)、木村康男(東北大通研)、石井久夫(東北大通研)、庭野道夫(東北大通研)、小松賢市(名大院理)、金井 要(名大院理)、関 一彦(名大物質国際研)、「真空下及び常圧下で動作する光電子収量分析装置の開発 II ; 雰囲気ガス効果の測定」第 52 回応用物理学関係連合講演会、講演奨励賞受賞記念講演 30p-YB-1、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 30 日
33. 横山裕子(東北大通研)、山口僚太郎、石橋健一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫「DNA の赤外吸収スペクトルに及ぼすハイブリダイゼーション反応の影響」、第 52 回応用物理学関係連合講演会 30a-YL-8、さいたま市(埼玉大学)、

2005 年 3 月 30 日

34. 山口遼太郎(東北大通研)、石橋健一、白木宏一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「顕微赤外分光法を用いたポーラスシリコン表面上での DNA ハイブリダイゼーション反応の検出 I」第 52 回応用物理学関係連合講演会 1p-YN-2、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 4 月 1 日
35. 石橋健一(東北大通研)、山口遼太郎、横山裕子、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「赤外吸収分光法を用いた DNA 固定化 Si 表面におけるハイブリダイゼーション反応の検出 II」、第 52 回応用物理学関係連合講演会 1p-YN-3、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 4 月 1 日
36. 木村康男(東北大通研)、白木宏一、山口遼太郎、石井久夫、庭野道夫、板谷謹悟(東北大工学部)「陽極酸化ポーラスアルミナ薄膜ハニカム構造の Si 表面への転写」第 52 回応用物理学関係連合講演会 30a-ZG-1、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 30 日
37. 廣瀬文彦(山形大工学部)、木村康男(東北大通研)、篠原正典(長崎大工学部)、庭野道夫(東北大通研)「SiH₄ 吸着 SiGe(100)表面からの水素脱離過程」、第 52 回応用物理学関係連合講演会 29p-ZC-6、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 29 日
38. 栗田幹也(山形大工学部)、廣瀬文彦(山形大工学部)、向田昌志(山形大工学部)、木村康男(東北大通研)、庭野道夫(東北大通研)「FTIR 法を用いた TiO₂ 表面上有機汚染の光触媒除去過程の観察」、第 52 回応用物理学関係連合講演会 29p-K-2、さいたま市(埼玉大学)、2005 年 3 月 29 日
39. 廣瀬文彦(山形大学工学部)、木村康男(東北大学通研)、篠原正典(長崎大学工学部)、庭野道夫(東北大学通研)「SiGe(001) 2 x 1 表面上の SiH₄ 吸着過程」、日本表面科学会東北支部講演会(0-3)、郡山(日本大学工学部)、2005 年 3 月 10 日
40. 末永 保(東北大通研)、佐藤信之(東北大通研)、木村康男(東北大通研)、石井久夫(東北大通研)、庭野道夫(東北大通研)、小松賢市(名古屋大院理)、金井 要(名古屋大院理)、関 一彦(名大・物質国際研)「常圧下で動作する光電子収量分析装置の開発Ⅱ; 6eV 以上の IP 測定」日本表面科学会東北支部講演会(P-10)、郡山(日本大学工学部)、2005 年 3 月 11 日
41. 石井久夫(東北大通研)、「有機 EL 素子と仕事関数」、第 66 回応用物理学会学術講演会「薄膜・表面物理分科会企画「古くて新しい仕事関数」」シンポジウム 2005 年 9 月 7 日 7p-ZQ-8、徳島大学
42. 庭野道夫(東北大通研)、宮本浩一郎、山口僚太郎、石橋健一、木村康男、「半導体表面を用いた赤外分光生体計測」、第 66 回応用物理学会学術講演会 8p-C-8(シンポジウム)、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 8 日
43. 三好智之(東北大通研)、山口僚太郎、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「マイクロキャピラリ内における DNA の赤外吸収分光」第 66 回応用物理学会学術講演会 9p-ZB-18、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 9 日
44. 宮本浩一郎(東北大通研)、山口僚太郎、石橋健一、木村康男、石井久夫、庭野

道夫、「液中 DNA 分子の凝集状態における赤外吸収分光観察 II」第 66 回応用物理学会学術講演会 9p-ZB-19、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 9 日

45. 山口僚太郎(東北大通研)、石橋健一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「顕微赤外分光法を用いたポーラス Si 表面上での DNA ハイブリダイゼーション反応の検出 II」第 66 回応用物理学会学術講演会 9p-ZB-20、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 9 日
46. 木村康男(東北大通研)、山口僚太郎、石橋健一、石井久夫、板谷謹悟、庭野道夫、「ポーラスシリコンの形成過程に及ぼす表面ハイドライドの影響」第 66 回応用物理学会学術講演会 7p-P3-6、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 7 日
47. 小川賢(東北大通研)、内城竜生、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「変位電流評価法による有機 FET 特性の評価: トップコンタクト型 vs ボトムコンタクト型」、第 66 回応用物理学会学術講演会 9p-N-2、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 9 日
48. 安彦尚文(東北大通研)、末永保、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「変位電流評価法で調べた AIDCN-電極界面の電荷注入特性」、第 66 回応用物理学会学術講演会 8a-V-3、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 8 日
49. 津波大介(東北大通研)、末永保、佐藤信之、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「光電子収量分光法を用いた有機-金属界面の電子構造評価」、第 66 回応用物理学会学術講演会 10p-V-17、徳島市(徳島大学)、2005 年 9 月 10 日
50. 石井久夫(東北大通研)、小川賢、内城竜生、木村康男、庭野道夫、「光誘起電荷移動を用いた有機半導体ドーピング: 変位電流測定と赤外分光による観察」、分子構造総合討論会 3C04、東京、2005 年 9 月 29 日
51. 石井久夫(東北大通研)、末永保、佐藤信之、津波大介、木村康男、庭野道夫、「真空下でも常圧下でも動作する光電子収量分光装置-有機半導体のイオン化ポテンシャルと界面電子構造の測定-」、第 54 回高分子討論会、2Q06、2005 年 9 月 21 日 山形市(山形大学)
52. 小川 賢(東北大通研)、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「変位電流評価法で評価した Pentacene FET の Ambipolar 特性」、電子情報通信学会電子デバイス/有機エレクトロニクス合同研究会、2006 年 4 月 12 日.
53. 石井久夫(東北大通研)、津波大介、末永保、佐藤信之、木村康男、庭野道夫、「光電子収量分光法による有機 EL 材料・界面の電子構造評価」、有機 EL 討論会第二回例会(日本科学未来館)、2006 年 5 月 13 日、S7-1.
54. 山本学志(東北大通研)、小川賢、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「多重内部反射型赤外吸収分光法を用いた有機デバイスの評価」、電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会(OME)、2006 年 7 月 27 日、OME2006-58.
55. 宮本浩一郎(東北大通研)、小野寺恒太、山口僚太郎、石橋健一、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「DNA と水分子の水素結合状態の赤外分光その場観察 (II)」, 第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学、琵琶湖草津キャンパス、滋賀)、2006 年 8 月 31 日、31p-RB-10.

56. 津波大介（東北大通研），末永保，佐藤信之，木村康男，庭野道夫，石井久夫，「光電子収量分光法を用いた有機－金属界面の電子構造評価(Ⅱ)」，第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学，琵琶湖草津キャンパス，滋賀)，2006 年 8 月 30 日，30p-N-10.
57. 山本学志（東北大通研），小川賢，木村康男，庭野道夫，石井久夫，吉田達也，坂田雅文，大坪徹夫，板谷謹悟，「チオフェンオリゴマーを用いた有機電界効果トランジスタの作製と評価」，第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学，琵琶湖草津キャンパス，滋賀)，2006 年 8 月 31 日，31a-ZH- 7.
58. 伊藤和雅（東北大通研），山口僚太郎，石橋健一，木村康男，庭野道夫，板谷謹悟，「陽極酸化による自己組織化金属ナノドットの作製と室温動作単電子トランジスタへの応用」，第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学，琵琶湖草津キャンパス，滋賀)，2006 年 8 月 30 日，31a-RE-6.
59. 石橋健一（東北大通研），伊藤和雅，山口僚太郎，木村康男，庭野道夫，板谷謹悟，「陽極酸化 TiO₂ ナノチューブによる色素増感太陽電池の出力特性の改善」，第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学，琵琶湖草津キャンパス，滋賀)，2006 年 8 月 31，31p-N-9.
60. 小川 賢（東北大通研），木村康男，石井久夫，庭野道夫，「ゲート絶縁膜によって制御した Pentacene FET の Ambipolar 特性」，第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学，琵琶湖草津キャンパス，滋賀)，2006 年 8 月 29 日，29p-ZH-11.
61. 小野寺恒太（東北大通研），宮本浩一郎，片岡正俊，篠原康雄，庭野道夫，「表面赤外吸収分光を用いた抗原抗体反応の溶液中その場観察」，第 26 回表面科学講演大会（大阪大学），2006 年 11 月 8 日，3D05.
62. 亀井和浩（東北大通研），山本学志，小川賢，木村康男，庭野道夫，「F8T2-FET のゲート絶縁膜界面修飾と熱処理効果」，2006 年(平成 18 年)応用物理学会東北支部第 61 回学術講演会(東北大学工学部青葉記念会館)，2006 年 12 月 7 日，7aB13.
63. 大場朋央（東北大通研），小川賢，木村康男，庭野道夫，「有機単結晶 FET の電荷注入特性」，2006 年(平成 18 年)応用物理学会東北支部第 61 回学術講演会(東北大学工学部青葉記念会館)，2006 年 12 月 7 日，7pC4.
64. 勝間田堯（東北大通研），小川賢，木村康男，庭野道夫，「変位電流評価法で調べた PN 接合型 Ambipolar 有機 FET の電荷注入特性」，2006 年(平成 18 年)応用物理学会東北支部第 61 回学術講演会(東北大学工学部青葉記念会館)，2006 年 12 月 7 日，7pC4.
65. 田中公貴（東北大通研），石橋健一，宮本浩一郎，平野愛弓，木村康男，庭野道夫，「ラベルフリー DNA チップのための分光学的手法を用いた DNA ハイブリダイゼーション反応検出」，2006 年(平成 18 年)応用物理学会東北支部第 61 回学術講演会(東北大学工学部青葉記念会館)，2006 年 12 月 7 日，7pC6.
66. 武藤高見（東北大通研），宮本浩一郎，平野愛弓，木村康男，庭野道夫，「赤外吸収分光法を用いた細胞増殖過程のその場観察」，2006 年(平成 18 年)応用物理学

会東北支部第 61 回学術講演会（東北大学工学部青葉記念会館），2006 年 12 月 7 日，7pC5.

67. 平野愛弓（東北大通研），小野寺恒太，宮本浩一郎，片岡正俊，篠原康雄，木村康男，庭野道夫，「表面赤外分光法を用いた抗原抗体反応の非標識検出」、表面科学会ソフトナノテクノロジー研究部会 3 月ワークショップ，2007 年 3 月 12 日
68. 小野寺恒太（東北大通研）、宮本浩一郎、片岡正俊、篠原康雄、平野愛弓、木村康男、庭野道夫、「表面赤外分光を用いた抗原抗体反応の溶液中その場観察」、2007 年春季 第 54 回応用物理学関連連合講演会、青山学院大学 相模原キャンパス、2007 年 3 月 29 日，29a-SB-3
69. 田中公貴（東北大通研）、石橋健一、宮本浩一郎、平野愛弓、木村康男、庭野道夫、「赤外吸収分光法を用いた DNA 固定化 Si 表面におけるハイブリダイゼーション反応の検出III」2007 年春季 第 54 回応用物理学関連連合講演会、青山学院大学 相模原キャンパス、2007 年 3 月 28 日，28p-SA-2
70. 平野愛弓（東北大通研）、三好智之、山口僚太郎、木村康男、庭野道夫、「表面赤外分光法を利用したマイクロ流路中の DNA の泳動挙動解析」、2007 年春季 第 54 回応用物理学関連連合講演会、青山学院大学 相模原キャンパス、2007 年 3 月 27 日，27p-SA-4
71. 大場朋央、木村康男、庭野道夫、「ルブレ単結晶 FET の動作特性に及ぼすソース・ドレイン電極の影響」、電子情報通信学会 電子デバイス/シリコン材料・デバイス/有機エレクトロニクス研究会、九州大学西新プラザ（福岡）、2007 年 4 月 20 日，ED2007-7
72. 平野愛弓（東北大通研）、小野寺恒太、宮本浩一郎、木村康男、片岡正俊、篠原康雄、庭野道夫、「表面赤外分光を用いた抗原抗体反応の非標識検出」、第 68 回分析化学討論会，宇都宮、2007 年 5 月 20 日，A2013
73. 山口僚太郎（東北大通研）、宮本浩一郎、磯田博子、宮崎 均、木村康男、平野愛弓、庭野道夫、「赤外分光による細胞活動のその場観察のための装置内培養環境の構築」第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007 年 9 月 5 日、5p-A-8
74. 勝間田堯（東北大通研）、木村康男、石井久夫、庭野道夫、「変位電流評価法によるヘテロ接合型 Ambipolar 有機 FET の電荷トラップ」第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007 年 9 月 7 日、7a-D-8
75. 石橋健一（東北大通研）、武藤高見、山口僚太郎、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟、「陽極酸化チタンナノチューブの成長に及ぼすチタン基板の表面ラフネスの影響」第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007 年 9 月 5 日、5a-ZT-7
76. 中山泰生（千葉大）、町田真一、舟越亮博、津波大介、木村康男、庭野道夫、野口 裕、石井久夫「大気中光電子収量分光法によるルブレ単結晶薄膜の光酸化反応の追跡」第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007 年 9 月 8 日、8a-B-2
77. 大場朋央（東北大通研）、木村康男、庭野道夫、「ルブレ単結晶 FET のトランス

ファ特性に及ぼす電極の影響」第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007 年 9 月 8 日、7a-D-4

78. 木村康男（東北大通研）、沼沢武尊，二瓶瑞久，庭野道夫、「カーボンナノチューブの成長過程に及ぼす水の効果」第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007 年 9 月 7 日、7p-T-6

<国際会議>

1. K. Sugi (Tohoku Univ.), H. Ishi, Y. Kimura, M. Niwano, E. Ito, Y. Washizu, N. Hayashi, Y. Oushi, K. Seki, 18D37 “Characterization of light-erasable giant surface potential built up in evaporated Alq₃ thin films”, 7th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Nara, Japan, 2003
2. K. Okamura (Tohoku Univ.), Y. Hosoi, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, 19B50 “Adsorption of cata-condensed aromatics on a Si(100)×2-1 surface investigated by infrared absorption spectroscopy”, 7th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Nara, Japan, 2003
3. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, Y. Kimura, M. Niwano, K. Mizuno, Y. Ouchi, K. Seki, E. Ito, “Charging Phenomena at Organic Interfaces Studied by Infrared Spectroscopy and UV photoemission”, Second International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE2), Tokyo, 7 March 2003.
4. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, Y. Kimura, and M. Niwano, “Pentacene and C₆₀ FET studied by MIR-IRAS and Displacement Current Measurements”, SPIE’s 48th Annual Meeting, San Diego, 3-8 August 2003.
5. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, Y. Kimura, and M. Niwano, “Carrier Injection and Accumulation in Organic Field Effect Transistors Studied by Displacement Current Measurement and Infrared Spectroscopy”, ASOMEA-II, Hayama, JAPAN, 21-25 Oct., 2003
6. Y. Kimura (Tohoku Univ.), H. Shiraki, H. Ishii, S. Ono, K. Itaya, and M. Niwano, Proceedings vol. 788, pp. L8.6.1-L8.6.5 “In-situ Observation of Formation Processes of Anodic Porous Alumina on a Si Substrate Using Infrared Absorption Spectroscopy”, Materials Research Society Symposium, Boston, 2003.
7. H. Ishii (Tohoku Univ.), K. Sugi, N. Abiko, Y. Kimura, and M. Niwano, “Injection and Polarization Properties of Alq₃/Metal Interfaces Studied by Displacement Current Measurement and Kelvin Probe Method”, International Discussion Meeting on Tris (8-hydroxyquinoline) aluminum(III), Wako, JAPAN, 21,22 September 2004
8. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, and M. Niwano, “Ambient Gas Effect to Pentacene FET Studied by Displacement Current Measurement: Photo-induced Doping Effect”, The International Symposium on Super-Functionality Organic Devices, Chiba University, 25-28 October, 2004.
9. Y. Kimura (Tohoku Univ.), H. Shiraki, R. Yamaguchi, H. Ishii, S. Ono (Kogakuin Univ.), K. Itaya, and M. Niwano, “In-situ Observation of Formation of Anodic Porous Alumina Film on a Silicon Using Infrared Absorption Spectroscopy”, 2004 Joint International Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, 3-8 October, 2004.
10. M. Niwano (Tohoku Univ.), “Detection of biomolecules on porous Si by infrared

spectroscopy: Applications to biosensing”, 2004 Joint International Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, 3-8 October 2004.

11. M. Niwano (Tohoku Univ.), K. Okamura, Y. Hosoi, Y. Kimura, and H. Ishii, “Adsorption of Cata-condensed Aromatic Compounds on Si(100)”, AVS 51st International Symposium, Anaheim, U.S.A., 2004.
12. S. Ogawa (Tohoku Univ.), T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, “Photo-induced doping effect of organic thin film transistors studied by displacement current measurement and infrared spectroscopy”, Third International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE3) , Tokyo, 3-4 March, 2005.
13. H. Ishii (Tohoku Univ.), S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, and M. Niwano, “Photo-Illumination Effect on Oxygen Doping to Organic Field Effect Transistors Studied by Displacement Current Measurement and Infrared Spectroscopy”, ASOMEA-III, Vadstena, Sweden, 2-4 June 2005.
14. K. Miyamoto (Tohoku Univ.), Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, O34 “High-sensitive detection of DNA in aqueous solution using surface infrared spectroscopy”, 13th International Congress on Thin Films / 8th International Conference on Atomically Controlled Surface, Interfaces and Nanostructures, Stockholm, Sweden, 19-24 June 2005.
15. Y. Kimura (Tohoku Univ.), H. Shiraki, R. Yamaguchi, K. Ishibashi, H. Ishii, K. Itaya, and M. Niwano, O97 “Pattern transfer of the anodic porous alumina honeycomb structure to silicon surface using electrochemical processes”, 13th International Congress on Thin Films / 8th International Conference on Atomically Controlled Surface, Interfaces and Nanostructures, Stockholm, Sweden, 19-24 June 2005.
16. S. Ogawa (Tohoku Univ.), T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii, M. Niwano, “Photo-induced Doping of Pentacene and Polythiophene Field Effect Transistors Studied by Displacement Current Measurement and Infrared Spectroscopy”, 8th European Conference on Molecular Electronics (ECME8), 29 June - 3 July, 2005 - Bologna, Italy (2005).
17. S. Ogawa (Tohoku Univ.), T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii, M. Niwano, “Photo-Induced Oxygen Doping to Organic Field Effect Transistors”, The 54th Fujihara Seminar "Organic Semiconductors and Conductors: Half Century and Future Prospects" OSCC50, Hokkaido, August 31- September 4 (2005).
18. R. Yamaguchi (Tohoku Univ.), K. Ishibashi, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Niwano, DN+BI-MoA7 “Detection of DNA hybridization on porous silicon surface by infrared microspectroscopy”, American Vacuum Society 52nd International Symposium, Boston, U.S.A. October 30-November 4, 2005.
19. K. Miyamoto (Tohoku Univ.), R. Yamaguchi, K. Ishibashi, Y. Kimura, H. Ishii, , M. Niwano, DN+BI-TuM11 “In-situ infrared spectroscopic study of protonation of DNA aggregated at electrode surfaces in aqueous solution”, AVS 52nd international symposium, Boston, U.S.A. October 30-November 4, 2005.
20. Y. Kimura (Tohoku Univ.), H. Ishii, and M. Niwano, SS2-ThM10 “Infrared Spectroscopy Study of Adsorption of Maleic Anhydride on Si(100)”, AVS 52nd international symposium, Boston, U.S.A. October 30-November 4, 2005.
21. R. Yamaguchi (Tohoku Univ.), K. Ishibashi, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Niwano, We-B17 “Detection of DNA hybridization on porous silicon surface by infrared

microspectroscopy”, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology. (ISSS-4), Saitama, Japan, 2005.

22. S. Ogawa (Tohoku Univ.), Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, “Characterization of organic field effect transistors using displacement current measurement”, Electronic Structure and Processes of Molecular-Based Interfaces: In Relation to Organic and Molecular Devices (ESPMI-06). Nagoya, March 1-4, 2006.
23. Y. Kimura (Tohoku Univ.), H. Shiraki, R. Yamaguchi, K. Ishibashi, H. Ishii, K. Itaya, and M. Niwano, A2-84 “Formation of Ordered Nanohole Arrays on a Silicon Surface using Electrochemical Etching Processes”, 209th Electrochemical Society (ECS) Meeting, Denver, Colorado, USA, May 7-11, 2006.
24. Y. Kimura (Tohoku Univ.), T. Numasawa, M. Nihei, and M. Niwano, 8B-5 “Investigation of Growth Process of Carbon Nanotubes on Cobalt Catalysts using Infrared Absorption Spectroscopy”, Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2006), Jul. 3-5, 2006.
25. S. Ogawa (Tohoku Univ.), G. Yamamoto, Y. Kimura, H. Ishii, and M. Niwano, 9B-4 “Photo-induced doping effect of organic semiconductors”, Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2006), Jul. 3-5, 2006.
26. R. Yamaguchi (Tohoku Univ.), K. Ishibashi, K. Miyamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, C-7-5 “Manipulation of DNA Molecules in Nanopores by Electric Field for Porous Silicon Based DNA Microarray Applications”, 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, Sept. 15, 2006.
27. K. Miyamoto (Tohoku Univ.), R. Yamaguchi, K. Ishibashi, Y. Kimura and M. Niwano, C-8-4 “In-situ monitoring of DNA hybridization using surface infrared spectroscopy”, 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, Sept. 15, 2006.
28. R. Yamaguchi (Tohoku Univ.), K. Ishibashi, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Niwano, DN-MoA2 “Transport of DNA in Porous Silicon-Based Microarrays by an External Potential Gradient”, American Vacuum Society 52nd International Symposium & Exhibition, San Francisco, Nov. 12-17, 2006.
29. T. Miyoshi, A. Hirano, R. Yamaguchi, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Niwano, P4.5 “Electroosmotic Flow and Electromigration of DNA Molecules in a Microfluidic Device Investigated by Surface Vibration Spectroscopy”, 2007 MRS Spring Meeting, San Francisco, 11-Apr-2007
30. A. Hirano, K. Onodera, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Kataoka, Y. Shinohara, M. Niwano, 21B-11 “Label-Free Detection and Conformational Analysis of Antigen-Antibody Interactions at GaAs Surfaces by surface Infrared Spectroscopy”, 1st International Symposium on Nanomedicine-from Basic to Applications-(ISNM2007) and 2nd Molecule-Based Information Transmission and Reception (MB-ITR2007), Okazaki, April 21, 2007.
31. K. Ishibashi, T. Mutoh, R. Yamaguchi, Y. Kimura and M. Niwano, abs #1277 “Fabrication of anodic titanium nanotubes with high growth rate and their application to a dye-sensitized solar cell” 211th ECS Meeting, May 7, 2007.
32. Y. Kimura, K. Itoh, T. Mutoh, R. Yamaguchi, K. Ishibashi, A. Hirano, K. Itaya, and M

Niwano, abs.#1227 “Room-temperature observation of Coulomb blockade staircases in aluminum nanodots fabricated by an anodization process” 211th ECS Meeting, Chicago, Illinois, USA, 6-10, May, 2007.

33. Y. Kimura, T. Numasawa, M. Nihei, and M. Niwano, 10-025 “Investigation of carbon nanotube growth on cobalt catalyst surfaces using infrared reflection absorption spectroscopy” International Conference on Nanoscience and Technology(ChinaNano2007), Beijing, China, 2007.6.4-6.6
34. A. Hirano, K. Tanaka, K. Ishibashi, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Niwano, D-9-5 “In-Situ Surface Infrared Study of DNA Attachment and Hybridization at Si Surfaces”, The 2007 international conference on solid state device and materials, Tsukuba, 2007. 9.19-9.21
35. R. Yamaguchi, A. Hirano, K. Ishibashi, K. Miyamoto, Y. Kimura, M. Niwano, “In-situ detection and Classification of DNA by porous alumina filter in conjugation with infrared absorption spectroscopy” The 2007 international conference on solid state device and materials, Tsukuba, 2007. 9.19-9.21
36. Y. Kimura, T. Muto, R. Yamaguchi, K. Ishibashi, K. Itaya, M. Niwano, HH7.8 “Selforganization of Nanodots and Nanogaps by Anodization and Room-temperature Observation of a Giant Coulomb Blockade Voltage”, 2007 MRS Fall Meeting, Boston, MA, USA, 2007.11.26-30

③ ポスター発表 (国内会議 5 件、国際会議 14 件)

<国内会議>

1. 三好智之(東北大通研), 山口僚太郎、宮本浩一郎、木村康男、庭野道夫, 「赤外分光法を利用したマイクロ流路中の DNA 検出」, 第 67 回応用物理学会学術講演会(立命館大学, 琵琶湖草津キャンパス, 滋賀), 2006.8.31, 31p-P13-10.
2. 木村康男(東北大通研), 山本学志, 小川賢, 庭野道夫, 「F8T2 を用いた有機電界効果トランジスタの特性劣化」, 第 54 回応用物理学関連連合講演会(青山学院大学相模原キャンパス), 2007.3.27, 27a-W-33. (ショート口頭発表付き)
3. 勝間田堯(東北大通研), 小川賢, 木村康男, 石井久夫, 庭野道夫, 「変位電流評価法による ambipolar 有機 FET の電荷注入特性の評価」, 第 54 回応用物理学関連連合講演会(青山学院大学相模原キャンパス), 2007.3.28, 28a-W-21. (ショート口頭発表付き)
4. 平野愛弓、山口僚太郎、石橋健一、宮本浩一郎、木村康男、庭野道夫, 「表面赤外分光法を用いたポーラスアルミナ細孔中での DNA 分子の挙動解析」, 第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007/9/7、6p-P-12
5. 木村康男、武藤高見, 山口僚太郎, 石橋健一, 板谷謹悟, 庭野道夫, 「陽極酸化による位置制御アルミニウムナノドット形成機構」, 第 68 回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007/9/5、5a-N-13

(4)特許出願

①国内出願 (1 件)

1. 「分子認識チップとその製造方法、分子認識チップ分析方法並びに顕微赤外 DNA 解析装置」庭野道夫、木村康男、石井久夫、宮本浩一郎、出願人：(独)

科学技術振興機構、出願日：2004 年 10 月 7 日、特願 2004-295456

②海外出願 (0件)

(5)受賞等

①受賞

②新聞報道

1. 日経産業新聞：単電子トランジスタ 基本構造簡単に作製 ―東北大、酸化処理を活用―2007 年 5 月 31 日

④ その他

<廣瀬グループ>

(1)原著論文発表 (国内誌0件、国際誌 0 件)

(2)その他の著作物 (総説、書籍など)

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

④ 招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 0 件)

廣瀬文彦、“4端子法および Time-of-flight 法を用いた有機半導体のキャリア輸送特性評価”, 応用物理学会 有機分子バイオエレクトロニクス研究会 上山文化会館 2007 年 6 月

⑤ 口頭発表 (国内会議 5 件、国際会議 0 件)

1. 安部稔洋、テイヘンシン、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, “有機無機ヘテロ接合ダイオードの電気特性評価”, 第 54 回応用物理学会 2007 春 30pV1

2. ティヘンシン、小岩恭祐、松島優、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, “C-V, 4 端子法を用いた P 3 HT 薄膜のキャリア輸送特性評価” 第 54 回応用物理学会 2007 春 29aV8

3. 小岩恭祐、松島優、ティヘンシン、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, “P3HT 有機電界効果トランジスタの有機絶縁膜界面の化学修飾効果”, 電子情報通信学会電子部品材料研究会 CPM2007-37

4. 松島優、小岩恭祐、ティヘンシン、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, “高分子系有機トランジスタの有機半導体層への熱処理効果”, 電子情報通信学会電子部品材料研究会 CPM2007-38

5. ティヘンシン、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, “Time-of-flight 法を用いたルブレノ有機単結晶のキャリア輸送特性評価”, 電子情報通信学会 ED 研究会 2007.4

⑥ ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

(4)特許出願

①国内出願 (0 件)

②海外出願 (0 件)

(5)受賞等

①受賞

②新聞報道

③その他

<山田グループ>

(1)原著論文発表 (国内誌 1件、国際誌 26件)

1. K. Furuta, H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, and S. S. Turner, “The first organic molecular-based metal containing ferrocene”, *J. Mater. Chem.*, **16**, 1504–1505 (2006).
2. S. Kudo, A. Miyazaki, T. Enoki, S. Golhen, L. Ouahab, T. Toita, and J. Yamada, “Pressure Effect on Bulk Weak Ferromagnets: (BDH-TTP)[M(iso)₂(NCS)₄] (M = Cr^{III}, Fe^{III}; isoq = isoquinoline)”, *Inorg. Chem.*, **45**, 3718–3725 (2006).
3. S. Nakatsuji, T. Amano, H. Akutsu, and J. Yamada, “Organic biradical compounds with a mesogenic core and long alkoxy groups: preparation, structures and magnetic properties”, *J. Phys. Org. Chem.*, **19**, 333–340 (2006).
4. H. Nishikawa, H. Sekiya, A. Fujiwara, T. Kodama, I. Ikemoto, K. Kikuchi, J. Yamada, H. Oshio, K. Kobayashi, S. Yasuzuka, and K. Murata, “Molecular Conductor Based on Reduced π -System Donor: Insulating State of (MeDH-TTP)₂AsF₆”, *Chem. Lett.*, **35**, 912–913 (2006).
5. H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, and S. S. Turner, “A novel BEDT-TTF-based purely organic magnetic conductor, α -(BEDT-TTF)₂(TEMPO-N(CH₃)COCH₂SO₃)·3H₂O”, *Solid State Commun.*, **140**, 256–260 (2006).
6. 山田順一, 梅宮将充, 「有機超伝導体の電解合成と最近の発展」, 表面科学(特集「固液界面科学の将来展望」), **27**, 568–571 (2006).
7. J. Yamada, K. Fujimoto, H. Akutsu, S. Nakatsuji, A. Miyazaki, M. Aimatsu, S. Kudo, T. Enoki, T. Isono, and K. Kikuchi, “Pressure Effect on BDA-TTP Conductors”, *J. Low Temp. Phys.*, **142**, 239–245 (2006).
8. S. Takahashi, A. Betancur-Rodriguez, S. Hill, S. Takasaki, J. Yamada, and H. Anzai, “Are Lebed’s Magic Angles Truly Magic?”, *J. Low Temp. Phys.*, **142**, 311–314 (2006).
9. N. Matsunaga, K. Hino, T. Ohta, K. Yamashita, K. Nomura, T. Sasaki, M. Watanabe, J. Yamada, and S. Nakatsuji, “Role of the Dimerized Gap Due to Anion Ordering in the Quantized Hall Phases of Quasi-One Dimensional Organic Conductors”, *J. Low Temp. Phys.*, **142**, 473–476 (2006).
10. Y. Oshima, T. Tokumoto, J. S. Brooks, H. Akutsu, and J. Yamada, “Electron Spin Resonance Study of the Organic Conductor β -(BDA-TTP)₂FeCl₄”, *J. Low Temp. Phys.*, **142**, 555–558 (2006).
11. H. Nishikawa, Y. Sato, T. Kodama, K. Kikuchi, I. Ikemoto, J. Yamada, H. Oshio, R. Kondo, and S. Kagoshima, “Charge Ordered Insulating State in DODHT Salts”, *J. Low Temp. Phys.*, **142**, 633–636 (2006).
12. H. Kinoshita, H. Akutsu, J. Yamada, and S. Nakatsuji, “Formation, structures and magnetic properties of M(hfac)₂ (M = Cu or Mn) complexes of 4-amino-TEMPO and its derivative”, *Mendeleev Commun.*, 305–306 (2006).
13. E. I. Zhilyaeva, A. M. Flakina, R. N. Lyubovskaya, I. V. Fedyanin, K. A. Lyssenko, M. Yu. Antipin, R. B. Lyubovskii, E. I. Yudanov, and J. Yamada, “Synthesis, crystal structures and properties of new radical cation salts based on some tetrathiapentalene derivatives with halogenomercurate anions”, *Synth. Met.*, **156**, 991–998 (2006).
14. B. Barszcz, A. Lapinski, A. Graja, A. Flakina, E. Zhil'taeva, J. Yamada, and R. Lyubovskaya,

- “Spectral studies of new organic conductors: κ -(BDH-TTP) $_4$ Hg $_3$ X $_8$, where X = Cl, Br”, *Synth. Met.*, 156, 1043–1051 (2006).
15. H. Nishikawa, A. Machida, T. Kodama, I. Ikemoto, K. Kikuchi, J. Yamada, and H. Oshio, “ONE-DIMENSIONAL ALTERNATING ANTIFERROMAGNETIC CHAIN ACCOMPANYING CHARGE ORDERING IN DODHT ORGANIC SUPERCONDUCTORS”, *Multifunctional Conducting Molecular Materials*, eds. G. Saito, F. Wudl, R. C. Haddon, K. Tanigaki, T. Enoki, H. E. Katz, and M. Maesato, RSC Publishing, Cambridge, 59–62 (2007).
 16. J. Yamada, H. Song, H. Akutsu, S. Nakatsuji, and K. Kikuchi, “DIMETHYL-SUBSTITUTED ANALOGUE OF BDH-TTP, DMDH-TTP AND ITS METALLIC SALTS”, *Multifunctional Conducting Molecular Materials*, eds. G. Saito, F. Wudl, R. C. Haddon, K. Tanigaki, T. Enoki, H. E. Katz, and M. Maesato, RSC Publishing, Cambridge, 63–66 (2007).
 17. J. Yamada, N. Hiratani, K. Kunigita, H. Akutsu, S. Nakatsuji, and K. Kikuchi, “MONOOXYGEN-CONTAINING ANALOGUES OF DHDA-TTP, DHOTA-TTP AND OTDA-TTP AND THEIR CHARGE-TRANSFER SALTS”, *Multifunctional Conducting Molecular Materials*, eds. G. Saito, F. Wudl, R. C. Haddon, K. Tanigaki, T. Enoki, H. E. Katz, and M. Maesato, RSC Publishing, Cambridge, 67–70 (2007).
 18. J. Yamada, Y. Kuri, R. Oka, H. Akutsu, S. Nakatsuji, H. Nishikawa, and K. Kikuchi, “TTF DERIVATIVES LINKING A DIMETHYLDIOXOLANE RING AND THEIR CHARGE-TRANSFER SALTS”, *Multifunctional Conducting Molecular Materials*, eds. G. Saito, F. Wudl, R. C. Haddon, K. Tanigaki, T. Enoki, H. E. Katz, and M. Maesato, RSC Publishing, Cambridge, 71–74 (2007).
 19. Y. Bando, M. Ashizawa, T. Matsuzawa, N. Takashita, T. Kawamoto, T. Mori, T. Kakiuchi, H. Sawa, K. Takimiya, T. Otsubo, Y. Misaki, and J. Yamada, “NEW STRATEGIES FOR DESIGNING TTP-BASED DONOR MOLECULES”, *Multifunctional Conducting Molecular Materials*, eds. G. Saito, F. Wudl, R. C. Haddon, K. Tanigaki, T. Enoki, H. E. Katz, and M. Maesato, RSC Publishing, Cambridge, 139–142 (2007).
 20. K. Furuta, H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, and S. S. Turner, “THE FIRST METALLIC SALT CONTAINING FERROCENE, β'' -(BEDT-TTF) $_4$ (FE-CPCONHCH $_2$ SO $_3$) $_2$ ·2H $_2$ O, AND NOVEL FERROCENE CONTAINING ANIONS, CPFECP-CONH-(*m*-, *p*-)C $_6$ H $_4$ SO $_3^-$ ”, *Multifunctional Conducting Molecular Materials*, eds. G. Saito, F. Wudl, R. C. Haddon, K. Tanigaki, T. Enoki, H. E. Katz, and M. Maesato, RSC Publishing, Cambridge, 147–150 (2007).
 21. A. V. Kazakova, N. D. Kushch, L. I. Buravov, E. B. Yagubskii, S. V. Simonov, L. V. Zorina, S. S. Khasanov, R. P. Shibaeva, E. Canadell, J. Yamada, and M. Umemiya, “First radical cation salts of 2,5-bis(1,3-dithian-2-ylidene)-1,3,4,6-tetrathiapentalene (BDA-TTP) with copper(II) metal complex anions: β -(BDA-TTP) $_4$ Cu $_2$ Cl $_6$ and (BDA-TTP) $_2$ CuCl $_4$ ”, *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.*, 56, 49–55 (2007).
 22. M. Fujino, S. Hasegawa, H. Akutsu, J. Yamada, and S. Nakatsuji, “Radical compounds and metal complexes with azobenzene chromophore”, *Polyhedron*, 26, 1989–1992 (2007).
 23. B. Rahman, K. Kanbara, H. Akutsu, J. Yamada, and S. Nakatsuji, “Radical salts derived from TEMPO-substituted 2,4,6-triphenylpyridinium”, *Polyhedron*, 26, 2287–2290 (2007).
 24. B. Rahman, H. Akutsu, J. Yamada, and S. Nakatsuji, “Molecular Complexes Based on Tetrathiafulvalene and Dialkylviologens”, *Molecules*, 12, 853–860 (2007).
 25. A. Akutsu-Sato, H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, S. S. Turner, and P. Day, “Suppression of superconductivity in a molecular charge transfer salt by changing guest molecule: β'' -(BEDT-TTF) $_4$ [(H $_3$ O)Fe(C $_2$ O $_4$) $_3$](C $_6$ H $_5$ CN) $_x$ (C $_5$ H $_5$ N) $_{1-x}$ ”, *J. Mater. Chem.*, 17, 2497–2499 (2007).
 26. Y. Takagi, S. Miyazaki, R. Minamihara, T. Makino, K. Fujimoto, J. Yamada, S. Nakatsuji, “Direct detection of optically-induced microwave spin precession in Fe(III) halogenates”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 317, 8–14 (2007).
 27. E. I. Zhilyaeva, A. M. Flakina, E. I. Yudanov, R. N. Lyubovskaya, I. V. Fedyanin, K. A. Lyssenko, and J. Yamada, “New Organic Conductor Based on Tetrathiapentalene Derivative (BDA-TTP) $_4$ Hg $_2$ I $_6$ ”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 468, 151/[503]–161/[513] (2007).

(2)その他の著作物（総説、書籍など）

1. 山田順一,「有機分子性金属の開発から有機超伝導体の開発へ」,第二次先端ウオッチング調査:融合領域の創成 分子性結晶の化学と電子デバイスへの応用, 社団法人日本化学会学術研究活性化委員会, 5-18 (2007).

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 1件、国際会議 0件)

1. 山田順一,「有機分子性金属の開発から有機超伝導体の開発へ」,日本化学会第87春季年会, 吹田, 3月25-28日(2007).

② 口頭発表 (国内会議 22件、国際会議 2件)

1. 坂田雅文, 伊藤隆, 梶田憲一, 山田順一, 庭野道夫, 板谷謹悟,「液相法によるDT-TTF単結晶のEFT基板への直接形成過程とFET特性」,第67回応用物理学学術講演会, 草津, 8月29日-9月1日(2006).
2. 磯野貴之, 児玉健, 改發敬之, 坏広樹, 山田順一, 菊地耕一,「 β -(BDA-TTP)₂X (X = I₃, BrI₂, Br₂I)の超伝導」,分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9月20-23日(2006).
3. 平谷なるみ, 梶田憲一, 坏広樹, 中辻慎一, 山田順一, 菊地耕一,「酸素原子の導入による分子性導体の電子構造制御」,分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9月20-23日(2006).
4. 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一,「弱いアクセプター性を有するアニオン Cl₃-p-benzoquinone-NHCH₂SO³⁻とその電荷移動塩の構造と物性」,分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9月20-23日(2006).
5. 吉野治一, 藤原知晃, 安塚周磨, 坏広樹, 山田順一, 菊地耕一, 村田恵三「 β -(DOET)₂Au(CN)₂の金属-絶縁体転移と輸送現象」,日本物理学会 2006年秋季大会, 千葉, 9月23-26日(2006).
6. 山田順一, 改發敬之, 平谷なるみ, 坏広樹, 中辻慎一, 磯野貴之, 菊地耕一,「分子性導体における化学修飾と有機超伝導性の発現」,第15回有機結晶シンポジウム, 松山, 11月24, 25日(2006).
7. 磯野貴之, 児玉健, 改發敬之, 坏広樹, 山田順一, 菊地耕一,「 β -(BDA-TTP)₂X (X = I₃, BrI₂, Br₂I)の物性と構造」,日本物理学会 2007年春季大会, 鹿児島, 3月18-21日(2007).
8. 石原哲夫, 伊東裕, 黒田新一, 山田順一,「有機超伝導体 β -(BDA-TTP)₂SbF₆ の一軸性圧縮効果」,日本物理学会 2007年春季大会, 鹿児島, 3月18-21日(2007).
9. 翁宇峰, 吉野治一, 村田恵三, 平谷なるみ, 坏広樹, 山田順一, 菊地耕一,「高圧下における β ''-(OTDA-TTP)₂SbF₆ の輸送現象」,日本物理学会 2007年春季大会, 鹿児島, 3月18-21日(2007).
10. 坏広樹, 坏(佐藤)あかね, 山田順一, 中辻慎一,「弱い電子受容性を有するアニオン、2-sulfomethylamino-3,5,6-trichloro-1,4-benzoquinone の BEDT-TTF 塩の伝導度の圧力効果」,日本化学会第87春季年会, 吹田, 3月25-28日(2007).
11. ラーマンビルキッシュ, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一,「新規な3成分系有機 CT 錯体の構造と性質」,日本化学会第87春季年会, 吹田, 3月25-28日(2007).
12. 改發敬之, 梅宮将充, 坏広樹, 中辻慎一, 山田順一, 菊地耕一,「直線状アニオンを用いた BDA-TTP 塩の構造と物性」,日本化学会第87春季年会, 吹田, 3月25-28日(2007).
13. 青木克之, 梅宮将充, 坏広樹, 中辻慎一, 山田順一, 菊地耕一,「MTDH-TTP 塩および C₂TDH-TTP 塩の構造と物性」,日本化学会第87春季年会, 吹田, 3月25-28日(2007).
14. 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一,「弱い電子受容性を有するアニオン、2-sulfo-3,5,6-trichloro-1,4-benzoquinone とその電荷移動塩の構造と物性」,日本化学会第87春季年会, 吹田, 3月25-28日(2007).
15. J. Yamada, "Chemical Modifications in Molecular Conductors: From Metallic State to Superconducting State", *Post-Symposium of International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA) in Himeji/Harima on Functional Aromatic Compounds*, Hyogo, Japan, July 30-31 (2007).
16. 木下英利, 則竹理史, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一,「種々の4-アミノ TEMPO 誘導体を配位子とする新規な金属錯体類の構造と性質」,第16回有機結晶シンポジウム, 千葉, 9月6, 7日(2007).
17. 山田順一, 宋華, 青木克之, 坏広樹, 中辻慎一, 小笠原美紀, 磯野貴之, 菊地耕一,「分子

性導体における化学修飾と相転移の発現」, 第 16 回有機結晶シンポジウム, 千葉, 9 月 6, 7 日 (2007).

18. 坪広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「弱いアクセプターアニオンとその電荷移動錯体の構造と物性」, 第 1 回分子科学討論会, 仙台, 9 月 17-20 日 (2007).
19. 改發敬之, 坪広樹, 中辻慎一, 山田順一, 菊地耕一, 「直線状アニオンを用いた BDA-TTP 塩の構造と物性」, 第 1 回分子科学討論会, 仙台, 9 月 17-20 日 (2007).
20. 黒内正博, 榎敏明, 宮崎章, 山田順一, 梅宮将充, 「(BDH-TTP)₂(FeBr₄)_x(FeCl₄)_{1-x} の物性の組成依存性」, 第 1 回分子科学討論会, 仙台, 9 月 17-20 日 (2007).
21. 青木克之, 坪広樹, 中辻慎一, 山田順一, 小笠原美紀, 磯野貴之, 菊地耕一, 「MTDH-TTP 塩および C₂TDH-TTP 塩の構造と物性」, 第 1 回分子科学討論会, 仙台, 9 月 17-20 日 (2007).
22. 村岡竜二, 野村一成, 市村晃一, 樋田孝, 山田順一, 「 β -(BDA-TTP)₂SbF₆ の STM 分光 II」, 日本物理学会第 62 回年次大会, 札幌, 9 月 21-24 日 (2007).
23. 鴻池貴子, 長田俊人, 山口尚秀, 寺島太一, 宇治進也, 山田順一, 「有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ の vortex 格子における量子 slush 相 III」, 日本物理学会第 62 回年次大会, 札幌, 9 月 21-24 日 (2007).
24. T. Tokumoto, J. V. Tol, E. S. Choi, L.-C. Brunel, J. S. Brooks, Y. Oshima, T. Kaihatsu, H. Akutsu, J. Yamada, "Coexistence of a spin single state and an exchange interaction", 7th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2007), Peñíscola, Spain, September 24-29 (2007).

③ ポスター発表 (国内会議 19件、国際会議 22件)

1. Y. Aoki, H. Akutsu, S. Nakatsuji, and J. Yamada, "Bis(alkylthio)-Substituted BDY (Bis-Fused 1,3-Dithiol-2-ylidene) Donors and Their Charge-Transfer Materials", *The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems (F7 π)*, Osaka, Japan, May 15-20 (2006).
2. N. Hiratani, K. Kunigita, H. Akutsu, S. Nakatsuji, J. Yamada, and K. Kikuchi, "Electrical Conductivity and Crystal Structures of (DHDA-TTP)₂SbF₆, (DHOTA-TTP)₂SbF₆, and (OTDA-TTP)₂SbF₆", *The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems (F7 π)*, Osaka, Japan, May 15-20 (2006).
3. T. Kaihatsu, N. Hiratani, H. Akutsu, S. Nakatsuji, J. Yamada, T. Isono, and K. Kikuchi, "Crystal Structures and Physical Properties of β -(BDA-TTP)₂X (X = BrI₂ and Br₂I) and β -(OTADA-TTP)₂I₃", *The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems (F7 π)*, Osaka, Japan, May 15-20 (2006).
4. B. Rahman, H. Akutsu, J. Yamada, and S. Nakatsuji, "Structures and Properties of Radical Salts Based on a TEMPO-Substituted Pyridinium", *The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems (F7 π)*, Osaka, Japan, May 15-20 (2006).
5. H. Kinoshita, H. Akutsu, J. Yamada, and S. Nakatsuji, "Formation and Properties of Metal Complexes Derived from Functional Benzylideneamine Derivatives", *The Seventh International Symposium on Functional π -Electron Systems (F7 π)*, Osaka, Japan, May 15-20 (2006).
6. K. Kikuchi, T. Isono, T. Kodama, K. Fujimoto, H. Akutsu, and J. Yamada, "Uniaxial Pressure Effect on Superconductivity of β -(BDA-TTP)₂I₃", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
7. H. Yoshino, T. Fujihara, S. Yasuzuka, H. Akutsu, J. Yamada, K. Kikuchi, and K. Murata, "Transport Properties and Phase Transition of a Novel Two-Dimensional Organic Conductor (DOET)₂Au(CN)₂", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
8. N. Hiratani, K. Kunigita, H. Akutsu, S. Nakatsuji, J. Yamada, and K. Kikuchi, "Similarities and Differences in the Structures and Electrical Conductivity of DHDA-TTP, DHOTA-TTP and OTDA-TTP Salts", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
9. A. Akutsu-Sato, H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, L. Martin, S. S. Turner, and P. Day, "Structures and Properties of BEDT-TTF Salts Derived from Several Alkylsulfonates", *The*

International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).

10. H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, and S. S. Turner, "Structures and Properties of a Monoanionic Weal Electron Acceptor, Chloranil-4-NHCH₂SO³⁻, and its BEDT-TTF Salt", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
11. M. Tokumoto, T. Mizutani, Y. V. Sushko, Y. Uwatoko, J. Yamada, and K. Ishida, "Anomalous Pressure Effect on the Superconductivity in an Organic Molecular Conductor β -(BDA-TTP)₂SbF₆", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
12. H. Ito, T. Ishihara, H. Watanabe, and J. Yamada, "Uniaxial Compression Effect on the Superconductivity of β -(BDA-TTP)₂SbF₆", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
13. N. Matsunaga, K. Hino, K. Nomura, T. Sasaki, M. Watanabe, J. Yamada, and S. Nakatsuji, "Cooling rate dependence of the magnetic torque in the FISDW transition of (TMTSF)₂ClO₄", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
14. J. Yamada, T. Kaihatsu, N. Hiratani, H. Akutsu, S. Nakatsuji, T. Isono, and K. Kikuchi, "Physical and Structural Properties of β -(BDA-TTP)₂X (X = BrI₂, Br₂I) and β -(OTADA-TTP)₂I₃", *The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM) 2006*, Dublin, Ireland, July 2-7 (2006).
15. 梅宮将充, 宋華, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 菊地耕一, 「*meso* 体および(*S,S*)体 DMDH-TTP を用いた分子性導体の開発」, 分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9 月 20-23 日 (2006).
16. 佐藤桂子, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「TEMPO および PROXYL のスルホ誘導体アニオンを用いた電荷移動錯体の構造と物性」, 分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9 月 20-23 日 (2006).
17. 大西亮, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「1,1'-Fe(C₅H₄SO₃)₂ ジアニオンを構成成分とする電荷移動錯体の開発」, 分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9 月 20-23 日 (2006).
18. 青木克之, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「MTDH-TTP および C₂TDH-TTP を用いた分子性導体の構造と物性」, 分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9 月 20-23 日 (2006).
19. 坏(佐藤)あかね, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, Lee Martin, Scott Turner, Peter Day, 「アルキルスルフォネート(C_nH_{2n+1}SO³⁻)を有する分子性伝導体の構造と物性」, 分子構造総合討論会 2006, 静岡, 9 月 20-23 日 (2006).
20. 信沢光徳, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「アントラキノユニットを有する有機ラジカル結晶類の構造と物性」, 第 18 回基礎有機化学連合討論会, 福岡, 10 月 7-9 日 (2006).
21. 改發敬之, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「トリハロゲン化アニオンを用いた BDA-TTP 塩の構造と物性」, 第 18 回基礎有機化学連合討論会, 福岡, 10 月 7-9 日 (2006).
22. 木下英利, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「モノ及びビス TEMPO 誘導体から形成される金属錯体類の合成と性質」, 第 18 回基礎有機化学連合討論会, 福岡, 10 月 7-9 日 (2006).
23. 藤野正博, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「トランスアゾベンゼン骨格を有する安定ラジカル化合物及び関連金属錯体の合成と性質」, 第 15 回有機結晶シンポジウム, 松山, 11 月 24, 25 日 (2006).
24. 坏(佐藤)あかね, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, Lee Martin, Scott Turner, Peter Day, 「直鎖アルキルスルフォネートを対アニオンとする数種の BEDT-TTF 塩の構造と性質」, 第 15 回有機結晶シンポジウム, 松山, 11 月 24, 25 日 (2006).
25. 信沢光徳, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「安定ラジカル置換アントラキノおよび関連金属錯体の構造と性質」, 日本化学会第 87 春季年会, 吹田, 3 月 25-28 (2007).
26. 山下真司, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「新しい有機ラジカル誘導体アニオン、TEMPO-NR₂COCH₂SO₃⁻ (R = C₂H₄OCH₃, C₂H₄OC₂H₅)の合成とその電荷移動塩の構造と物性」, 日本化学会第 87 春季年会, 吹田, 3 月 25-28 (2007).
27. 笹井貴之, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, 「新規磁性アニオン TEMPO-NR₂COCH₂SO₃⁻ (R = *c*-C₄H₇, *c*-C₄H₇, *c*-C₆H₁₁)の合成とその電荷移動塩の構造と物性」, 日本化学会第 87 春季年会, 吹田, 3 月 25-28 (2007).
28. 信沢光徳, 坏広樹, 山田順一, 中辻慎一, アシアルクマールアマツナドゥ, イエラマガードチ

- ヤナバサベスワー,「安定ラジカル置換トリフェニレン誘導体の合成と性質」,日本化学会第 87 春季年会,吹田,3 月 25-28(2007).
29. 則竹理史,木下英利,坏広樹,山田順一,中辻慎一,「4-アミノ TEMPO 誘導体を配位子とする新規金属錯体類の合成と性質」,日本化学会第 87 春季年会,吹田,3 月 25-28 (2007).
 30. Y. Aoki, H. Akutsu, S. Nakatsuji, J. Yamada, M. Ogasawara, T. Isono, and K. Kikuchi, "Crystal Structures and Electrical Conductivity of MTDH-TTP and C₂TDH-TTP Salts", *12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA)*, Awaji Island, Japan, July 22-27 (2007).
 31. T. Kaihatsu, H. Akutsu, S. Nakatsuji, J. Yamada, and K. Kikuchi, "Crystal Structures and Physical Properties of BDA-TTP Salts with Linear Anions", *12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA)*, Awaji Island, Japan, July 22-27 (2007).
 32. M. Nobusawa, H. Akutsu, J. Yamada, A. S. Achalkumar C. V. Velamaggad, and S. Nakatsuji, "Preparation and Properties of Triphenylene Derivatives Carrying a Stable Radical", *12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA)*, Awaji Island, Japan, July 22-27 (2007).
 33. S. Yamashita, H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, and S. S. Turner "Structures and Properties of New Purely Organic Magnetic Anions, TEMPO-NR₂COCH₂SO₃⁻ (R = -C₂H₄OCH₃, -C₂H₄OC₂H₅) and their Charge-transfer Salts", *12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA)*, Awaji Island, Japan, July 22-27 (2007).
 34. T. Sasai, H. Akutsu, J. Yamada, S. Nakatsuji, and S. S. Turner "Structures and Properties of Novel Organic Magnetic Anions, TEMPO-NR₂COCH₂SO₃⁻ (R = *n*-C₃H₅, *n*-C₄H₇, *n*-C₅H₉, *n*-C₆H₁₁) and their Charge-transfer Salts", *12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA)*, Awaji Island, Japan, July 22-27 (2007).
 35. 笹井貴之,坏広樹,山田順一,中辻慎一,「弱いアクセプター性を有する新しいアニオン (Cl₃Q-A-C₂H₄SO₃⁻, Q = *p*-benzoquinone, A = S, O, NCH₃)とその電荷移動錯体の開発」,第 1 回分子科学討論会,仙台,9 月 17-20 日(2007).
 36. 山下真司,佐藤桂子,坏広樹,山田順一,中辻慎一,「新規ラジカルアニオン PROXTL-CONHCH₂SO₃⁻とその電荷移動錯体の構造と物性」,第 1 回分子科学討論会,仙台,9 月 17-20 日(2007).
 37. 坏広樹,大西亮,坏広樹,山田順一,中辻慎一,「α''-(BEDT-TTF)₄Fe(Cp-SO₃)₂6H₂O の構造と物性」,第 1 回分子科学討論会,仙台,9 月 17-20 日(2007).
 38. 小笠原美紀,磯野貴之,児玉健,菊地耕一,青木克之,坏広樹,山田順一,「(MTDH-TTP)₄I₃ の低温における構造変化と電子物性」,第 1 回分子科学討論会,仙台,9 月 17-20 日(2007).
 39. A. Kazakova, N. Kushch, L. Buravov, E. Yagubskii, S. Simonov, L. Zorina, S. Khasanov, R. Shibaeva, M. Umemiya, J. Yamada, "New BDA-TTP and BDH-TTP radical cation salts with the [Cu₂Cl₆]²⁻ and [CuCl₄]²⁻ metal complex anions", *7th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2007)*, Peñíscola, Spain, September 24-29 (2007).
 40. K. Kikuchi, T. Isono, T. Kodama, T. Kaihatsu, H. Akutsu, J. Yamada, "The Electrical Properties and Crystal Structures of BDA Pressure-Induced Superconductors under Pressure", *7th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2007)*, Peñíscola, Spain, September 24-29 (2007).
 41. J. Yamada, T. Kaihatsu, Y. Aoki, H. Akutsu, S. Nakatsuji, T. Isono, K. Kikuchi, "New BDA-TTP and MTDH-TTP Conductors: Occurrence of Superconducting and Metal-to-Metal Transitions", *7th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2007)*, Peñíscola, Spain, September 24-29 (2007).

(4)特許出願

①国内出願 (0件)

なし

②海外出願 (0 件)

なし

(5)受賞等

①受賞

なし

②新聞報道

なし

③その他

なし

<伊藤グループ>

(1)原著論文発表 (国内誌3件、国際誌6件)

1. In Situ Surface-enhanced Raman Scattering Spectroelectrochemistry of Oxygen Species, Takashi Itoh, Toshiteru Maeda and Atsuo Kasuya Faraday Discussions, 132 (2006) 95-109
2. その場赤外・ラマン分光法による電極表面解析, 伊藤 隆, 表面科学, 27 (10), (2006), 591-594
3. Phase Transformation of Unpromoted and promoted Fe catalysts and the Formation of Carbotaneous Compounds during Fischer-Tropsch Synthesis Reaction, Wensheng Ning, Naoto Koizumi, Hai Chang, Takehisa Mochizuki, Takashi Itoh and Muneyoshi Yamada, Applied Catalysis A 312, (2006), 35-44
4. Electrochemical Investigations of Al-Carbon Hybrid Bipolar Plate Materials for Polymer Electrolyte Fuel Cells. [Electrochemistry, 75 (2), (2007), 187-189] Dongzhu Yin, Takashi Itoh, Kazumasa Toki, Atsuo Kasuya, Muneyoshi Yamada and Tatsuo Uchida
5. その場赤外・ラマン分光法による電極表面解析. [表面科学, 27 (10), (2006), 591-594]伊藤 隆
6. 燃料電池が作る未来. [まなびの杜, 35, (2006), 6-6]伊藤 隆
7. Phase Transformation of Unpromoted and promoted Fe catalysts and the Formation of Carbotaneous Compounds during Fischer-Tropsch Synthesis Reaction. [Applied Catalysis A, 312, (2006), 35-44]Wensheng Ning, Naoto Koizumi, Hai Chang, Takehisa Mochizuki, Takashi Itoh and Muneyoshi Yamada
8. Hydrogen-Controlled Crystallinity of 3C-SiC Film on Si(110) Grown with Monomethylsilane. [Japanese Journal of Applied Physics, 46 (2), (2007), L40-L42] Yuzuru Narita, Atsushi Konno, Hideki Nakazawa, Takashi Itoh, Kanji Yasui, Tetsuo Endoh and Maki Suemitsu
9. In situ Raman spectroelectrochemistry of azobenzene monolayers on glassy carbon. [Analytical and Bioanalytical Chemistry, 388, (2007), 131-134]Takashi Itoh and Richard L. McCreery

(2)その他の著作物 (総説、書籍など)

なし

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演

(国内会議 2 件、国際会議1件)

1. その場赤外ラマン分光法による電極表面解析 [表面科学会 第 26 回表面科学講演大会](2006 年 11 月 6 日～2006 年 11 月 9 日, 大阪, 日本国), 口頭 (招待講演)

2. 水素発生のための光電気化学反応のその場観察 [第68回応用物理学会学術講演会シンポジウム “光と半導体による新しいエネルギー生成と環境浄化”] (2007年9月4日～2007年9月8日, 札幌, 日本国), 口頭 (招待講演)
3. In Situ SERS Spectroelectrochemistry of Oxide Chemistry at Energy Conversion Interfaces [35th International Conference on Spectroscopy, Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXV] (2007年9月23日～2007年9月27日, Xiamen, 中国), 口頭 (招待講演)

② 口頭発表 (国内会議 7件、国際会議 2件)

1. “Developments for Metal-Carbon Hybrid Bipolar Plates for Polymer Electrolyte Fuel Cell”; Dongzh Yin, Takashi Itoh, Kazumasa Toki, Atsuo Kasuya, Muneyoshi Yamada and Tatsuo Uchida; 210th Meeting of The Electrochemical Society; October 29-November 3, 2006; Cancun, Mexico
2. “Electrochemical Properties for Metal-Carbon Hybrid Bipolar Plate for Polymer Electrolyte Fuel Cell”; Takashi Itoh, Dongzhu Yin, Kazumasa Toki, Atsuo Kasuya, Muneyoshi Yamada and Tatsuo Uchida, First Asian Conference on Electrochemical Power First Asian Conference on Electrochemical Power Sources, November 15 November 15-17, 2006, Kyoto, JAPAN
3. 伊藤隆, 尹東柱, 土岐和雅, 粕谷厚生「金属材料ーカーボン薄膜ハイブリッドセパレータの作製と評価」第46回電池討論会／2005年11月16日18日；名古屋；2A03
4. 伊藤隆, 尹東柱, 土岐和雅, 粕谷厚生「表面増強ラマン散乱分光法による酸素還元反応の追跡」電気化学会第73回大会／2006年4月1日ー3日；八王子；2N10
5. 尹東柱, 伊藤隆, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「固体高分子形燃料電池用炭素ー金属ハイブリッドセパレータの界面制御」電気化学会第73回大会；2006年4月1日ー3日；八王子；2P04
6. 伊藤隆, 尹東柱, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「固体高分子形燃料電池用炭素ー金属ハイブリッドセパレータのデュアル化」電気化学会第73回大会；2006年4月1日ー3日；八王子；2P05
7. 尹東柱, 伊藤隆, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「炭素ーアルミ系材料を用いた固体高分子形燃料電池用ハイブリッドセパレータ材の電気化学的評価」2006年電気化学秋季大会／2006年9月14日ー15日；京田辺；2C34
8. 伊藤隆, 尹東柱, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「アルミ合金ーカーボン薄膜ハイブリッドセパレータ材の界面制御と電気化学的特性評価」第47回電池討論会／2006年11月20日ー22日；東京；3B25
9. 伊藤隆, 尹東柱, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「炭素ーアルミ系材料を用いた固体高分子型燃料電池用ハイブリッドセパレータ材の電気化学的評価」第30回電解技術討論会ーソーダ工業技術討論会／2006年11月23日ー24日；京都

③ ポスター発表 (国内会議 2件、国際会議 0件)

1. 尹東柱, 伊藤隆, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「炭素ーアルミ系材料を用いた固体高分子形燃料電池用ハイブリッドセパレータ材の電気化学的評価」平成18年度化学系学協会東北大会／2006年9月22日ー24日；秋田；2P091
2. 伊藤隆, 尹東柱, 土岐和雅, 粕谷厚生, 山田宗慶, 内田龍男「金属・カーボン界面制御セパレータの研究開発」企業と学術研究機関との出会い-MEET2006-(主催, 財団法人みやぎ産業振興機構)／2006年11月2日, 仙台

(4)特許出願

①国内出願 (0件)

なし

②海外出願 (0件)

なし

(5)受賞等

①受賞

2007年5月 インテリジェント・コスモス奨励賞「有機化合物－導電固体電極界面のその場ラマン分光解析と機能発現」, 財団法人インテリジェント・コスモス学術振興財団

②新聞報道

なし

③その他

なし

<大澤グループ>

(1) 原著論文発表 (国内誌 0 件、国際誌 35 件)

1. Y. X. Chen, A. Miki, S. Ye, H. Sakai, and M. Osawa, "Formate, an Active Intermediate for Direct Oxidation of Methanol on Pt Electrode", *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 3680-3681(2003).
2. S. Ye, H. Noda, S. Morita, K. Uosaki, and M. Osawa, "Surface Molecular Structures of *Langmuir-Blodgett* Films of Stearic Acid on Solid Substrates Studied by Sum Frequency Generation Spectroscopy", *Langmuir*, **19**, 2238-2242(2003).
3. S. Ye, G. Li, H. Noda, K. Uosaki, and M. Osawa, "Characterization of self-assembled monolayers of alkanethiol on GaAs surface by contact angle and angle-resolved XPS measurements", *Surf. Sci.*, **529**, 163-170(2003).
4. S. Ye, S. Morita, G. Li, H. Noda, M. Tanaka, and Osawa, "Structural Changes in Poly(2-methoxyethyl acrylate) Thin Films Induced by Absorption of Bisphenol A. An Infrared and Sum Frequency Generation (SFG) Study" *Macromolecules*, **36**, 5694-5703(2003).
5. M. Abe, T. Michi, A. Sato, T. Kondo, W. Zhou, S. Ye, K. Uosaki, and Y. Sasaki, "Electrochemically Controlled Layer-by-Layer Deposition of Metal-Cluster Molecular Multilayers on Gold", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **42**, 2912-2915 (2003).
6. S. Ye, H. Noda, T. Nishida, S. Morita, and M. Osawa, "Cd²⁺-Induced Interfacial Structural Changes of *Langmuir-Blodgett* Films of Stearic Acid on Solid Substrates: A Sum Frequency Generation Study", *Langmuir* **20**, 357-365 (2004).
7. G. Li, S. Morita, S. Ye, M. Tanaka, and M. Osawa, "Quartz Crystal Microbalance and Infrared Reflection Absorption Spectroscopy Characterization of Bisphenol A Absorption in the Poly(acrylate) Thin Films", *Anal. Chem.* **76**, 788-795 (2004).
8. A. Miki, S. Ye, T. Senzaki and M. Osawa, "Surface-enhanced infrared study of catalytic electrooxidation of formaldehyde, methyl formate, and dimethoxymethane on platinum electrodes in acidic solution", *J. Electroanal. Chem.* **563**, 23-31 (2004).
9. S. Morita, S. Ye, G. Li, and M. Osawa, "Effect of Glass Transition Temperature on the Absorption of Bisphenol A in Poly(acrylate)s Thin films", *Vibrational Spectroscopy* **35**, 15-19 (2004).
10. H. Miyake and M. Osawa, "Surface-enhanced Infrared Spectrum of CO Adsorbed on Cu Electrodes in Solutions", *Chem. Lett.* **33**, 278-279 (2004).

11. G.F. Li, S. Ye, S. Morita, T. Nishida, and Masatoshi Osawa, "Hydrogen Bonding on the Surface of Poly(2-methoxyethyl acrylate)", *J. Am. Chem. Soc.*, **2004**, 126, 12198-12199.
12. Y. Sato, H. Noda, F. Mizutani, and M. Osawa, "In situ monitoring of self-assembly and association with complementary base of 6-amino-purinethiol monolayer on gold: surface-enhanced infrared absorption study", *Anal. Chem.*, **76** (2004) 5564-5569.
13. S. Ye, W. Zhou, M. Abe, T. Nishida, L. Cui, K. Uosaki, M. Osawa and Y. Sasaki, "Electrochemical Control of CO/NO Ligand Exchange in a Triruthenium Cluster Monolayer Assembled on a Gold Electrode Surface", *J. Am. Chem. Soc.*, **126** (2004) 7434-7435.
14. J. Holman, S. Ye, D. Neivandt and P. Davies, "Studying Nanoparticle-Induced Structural Changes within Fatty Acid Multilayer Films Using Sum Frequency Generation Vibrational Spectroscopy", *J. Am. Chem. Soc.*, **126** (2004) 14322-14323.
15. K. Kunitatsu, T. Senzaki, M. Tsushima and M. Osawa, "A combined surface-enhanced infrared and electrochemical kinetics study of hydrogen adsorption and evolution on a Pt electrode", *Chem. Phys. Lett.* **401** (2005) 451-454.
16. Y. Yan, Q. Li, S. Huo, M. Ma, W. Cai and M. Osawa, "Ubiquitous Strategy for Probing ATR Surface-Enhanced Infrared Absorption at Platinum Group Metal-Electrolyte Interfaces", *J. Phys. Chem. B.*, **109** (2005) 7900-790.
17. S. Huo, Q. Li, Y. Yan, Y. Chen, W. Cai, Q. Xu and M. Osawa, "Tunable Surface-Enhanced Infrared Absorption on Au Nanofilms on Si Fabricated by Self-Assembly and Growth of Colloidal Particles", *J. Phys. Chem. B.*, **109** (2005) 15985-15991.
18. W. Zhou, S. Ye, M. Abe, T. Nishida, K. Uosaki, M. Osawa and Y. Sasaki, "Oxidation States and CO Ligand Exchange Kinetics in a Self-Assembled Monolayer of a Triruthenium Cluster Studied by In Situ Infrared Spectroscopy", *Chem. Eur. J.*, **11** (2005) 5040-5054.
19. G. Samjeské and M. Osawa, "Current Oscillations during Formic Acid Oxidation on a Pt Electrode: Insight into the Mechanism by Time-Resolved IR Spectroscopy", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **44** (2005) 5694-5698.
20. J. Holman, P. B. Davies, T. Nishida, S. Ye, D. Neivandt, "Sum Frequency Generation from Langmuir Blodgett Multilayer Films on Metal and Dielectric Substrates", *J. Phys. Chem. B*, **109** (2005) 18723 -18732.
21. G. Samjeské, A. Miki, S. Ye, A. Yamakata, Y. Mukouyama, H. Okamoto, M. Osawa, "Potential Oscillations in Galvanostatic Electrooxidation of Formic Acid on Platinum: A Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Study", *J. Phys. Chem. B*, **109** (2005) 23509-23516.
22. Y. Ayato, K. Kunitatsu, M. Osawa and T. Okada, "Study of Pt Electrode/Nafion Ionomer Interface in HClO₄ by in situ surface-enhanced FT-IR spectroscopy", *J. Electrochem. Soc.*, **153** (2006) A203-A209.
23. H. Shiroishi, Y. Ayato, J. Rais, K. Kunitatsu, M. Osawa and T. Okada, "Effect of cobalt bis(dicarbollides) on electrochemical oxygen reduction on Pt electrode in methanol-acid solution", *Electrochim. Acta*, **51** (2006) 1225-1234.
24. K. Kunitatsu, H. Uchida, M. Osawa, and M. Watanabe, "In Situ Infrared Spectroscopic and Electrochemical Study of Hydrogen Electro-oxidation on Pt Electrode in Sulfuric Acid", *J. Electroanal. Chem.*, **587** (2006) 299-307.
25. S.-J. Huo, X.-K. Xue, Y.-G. Yan, Q.-X. Li, M. Ma, W.-B. Cai, Q.-J. Xu, and M. Osawa, "Extending in Situ Attenuated-Total-Reflection Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy to Ni Electrodes", *J. Phys. Chem. B*, **110** (2006) 4162-4169.
26. A. Yamakata, T. Uchida, J. Kubota and M. Osawa, "Laser-Induced Potential Jump at The Electrochemical Interface Probed by Picosecond Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy", *J. Phys. Chem. B*, **110** (2006) 6423-6427.
27. Y.-X. Diao, M.-J. Han, L.-J. Wan, K. Itaya, T. Uchida, H. Miyake, A. Yamakata, and M. Osawa, "Adsorbed Structures of 4,4'-bipyridine on Cu(111) in Acid Studied by STM and IR", *Langmuir*, **22** (2006), 3640-3646.
28. T. Nishida, M. Johnson, J. Holman, M. Osawa, P. B. Davies and S. Ye, "Optical Sum-Frequency Emission from Langmuir-Blodgett Films of Variable Thickness: Effects of the Substrate and Polar Orientation of Fatty Acids in the Films", *Phys. Rev. Lett.*, **96** (2006) 77402.
29. Y. X. Chen, S. Ye, M. Heinen, Z. Jusys, M. Osawa, and R. Behm, "Application of In-situ Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy for the Understanding of

- Complex Reaction Mechanism and Kinetics: Formic Acid Oxidation on a Pt Film Electrode at Elevated Temperatures", *J. Phys. Chem. B.*, **110** (2006) 9534-9544.
30. Y. Mukouyama, M. Kikuchi, G. Samjeské, M. Osawa, and H. Okamoto, "Potential Oscillations in Galvanostatic Electrooxidation of Formic Acid on Platinum: A Mathematical Modeling and Simulation", *J. Phys. Chem. B.*, **110** (2006) 11912-11917.
 31. G. Samjeské, A. Miki, S. Ye, and M. Osawa, "Mechanistic Study of Electrocatalytic Oxidation of Formic Acid at Platinum in Acidic Solution by Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy", *J. Phys. Chem. B.*, **110** (2006) 16559-16566.
 32. H. Miyake, E. Hosono, M. Osawa, and T. Okada, "Surface-enhanced infrared absorption spectroscopy using chemically deposited Pd thin film electrodes", *Chem. Phys. Lett.*, **428** (2006) 451-456.
 33. K. Kunitatsu, T. Senzaki, G. Samjeske, M. Tsushima, M. Osawa, "Hydrogen adsorption and hydrogen evolution reaction on a polycrystalline Pt electrode studied by surface-enhanced infrared absorption spectroscopy", *Electrochim. Acta*, **52** (2007) 5715-5724
 34. G. Samjeské, A. Miki, and M. Osawa, "Electrocatalytic Oxidation of Formaldehyde on Platinum under Galvanostatic and Potential Sweep Conditions Studied by Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy", *J. Phys. Chem. C.*, **111** (2007) in press.
 35. M. Osawa, M. Tushima, H. Mogami, G. Samjeské, and A. Yamakata, "Structure of Water at the Electrified Platinum-Water Interface Studied by Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy, submitted.

(2)その他の著作物（総説、書籍など）

1. 叶 深、大澤雅俊、「和周波発生(SFG)による有機薄膜の界面分子構造の研究」、表面科学、**24**： 740-746 (2003).
2. 叶 深、魚崎浩平:「SFG 計測」、ナノテクノロジーハンドブック、II 編「観る」3 章「短パルスナノ光で観る」、オーム社、69-74(2003)
3. 叶 深、大澤 雅俊、魚崎浩平:「和周波発生(SDG)による水素終端 Si 表面の研究」、真空、**47**: 439-445 (2004)
4. 魚崎浩平、叶 深、「和周波発生(SFG)による固液界面における水分子の構造評価」、真空、**47**、529-534 (2004)
5. 山方啓、大澤雅俊、「時間分解赤外分光法でみた表面反応ダイナミクス」、触媒、**47**: 334-340 (2005)
6. 叶 深、「非線形振動分光法によるリン脂質二分子膜の構造評価」、分光研究、**54**: 109-110 (2005)
7. 大澤雅俊:「金属微粒子による表面増強赤外分光」、光学、**34**, 518-523 (2005).
8. T. Michi, M. Abe, S. Ye, M. Osawa, T. Kondo, K. Uosaki, and Y. Sasaki, "Interfacial Electron-Transfer and Ligand-Dissociation Characteristics of Layer-by-Layer Nanoarchitectures Constructed from Ruthenium Cluster Molecules", in *Electrode Processes VII*, V. I. Birss, D. Evans, M. Josowicz, and M. Osawa (Eds.), The Electrochemical Society, Inc., Pennington (2005), p. 116-127.
9. K. Kunitatsu, T. Senzaki, M. Tsushima, and M. Osawa, "Reaction Intermediate of Hydrogen Evolution Reactions Studied by Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy", *Electrode Processes VII*, V. I. Birss, D. Evans, M. Josowicz, and M. Osawa (Eds.), The Electrochemical Society, Inc., Pennington (2005), p. 249-254.
10. 山方 啓、「分子はどうやって活性点にたどり着くのか?」、触媒、**48**、611 (2006)
11. 叶 深、「和周波発生(SFG)振動分光法」、ぶんせき、500-505 (2006)
12. 叶 深、「非線形振動分光法による界面分子構造の解析」、ぶんせき、632-639 (2006)
13. 大澤雅俊:「表面増強赤外分光」、『プラズモンナノ材料の設計と応用技術』、山田淳監修、シーエムシー出版(2006), 第 17 章, p. 224-235.
14. M. Osawa, In-situ Surface-enhanced Infrared Spectroscopy of the Electrode/Solution Interface, in *Diffraction and Spectroscopic Methods in Electrochemistry (Advances in Electrochemical*

Science and Engineering. Vol. 9), R. C. Alkier, D. M. Kolb, J. Lipkowski, and P. N. Ross, Eds., Wiley-VCH, Weinheim (2006), p. 269-314.

15. M. Osawa, Electrocatalytic Reactions on Platinum Electrodes Studied by Dynamic Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy (SEIRAS), in *In-situ Spectroscopic Studies of Adsorption at the Electrode and Electrocatalysis*, S.-G. Sun, P. A. Christensen, and A. Wieckowski, Eds., Elsevier, Amsterdam (2007), p.209-246.

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 27 件、国際会議 17 件)

1. 大澤雅俊：「赤外線で観る固液界面」，文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究「光機能界面の学理と技術」公開シンポジウム，日吉（2003.1）．
2. 大澤雅俊：「放射光をつかった表面増強赤外分光の展望－遠赤外光領域での電極界面の測定－」，UVSOR ワークショップ「ビームライン高度化（第3回）」，岡崎（2003.3.7-8）．
3. 叶 深：「ブロードバンド SFG 分光測定による LB 膜の界面分子構造の解析」，名大物質国際研ワークショップ「和周波混合分光法」，名古屋（2003.3.13-14）．
4. M. Osawa, A. Miki, A., Y.-X.Chen, H. Sakai, and S. Ye : “Methanol electrooxidation on platinum studied by surface-enhanced infrared spectroscopy”, 225th American Chemical Society Meeting, New Orleans, USA (2003.3.23-27).
5. 叶 深：「和周波発生法による H-Si (111) の Si-H 結合の安定性の研究」，日本物理学会年会、仙台(2003/3/28-30).
6. M. Osawa : “Mechanistic study of methanol electrooxidation on Pt electrodes by time-resolved surface-enhanced infrared spectroscopy”, Workshop on Theory and Surface Measurements of Fuel Cell Catalysis, Hosterkob, Denmark (2003.6.16-18).
7. 叶 深：「和周波発生(SFG)分光法による超親水 TiO₂ 表面における分子構造の研究」，第3回光触媒研究討論会、東京(2003.7.7).
8. S. Ye, H. Noda, S. Morita, T. Nishida, and M. Osawa : “Outmost Layer Structure of Langmuir-Blodgett Films on the Solid Substrate Investigated by SFG”, The 2nd International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-2), Nottingham, UK (2003.8.24-29).
9. S. Ye, H. Noda, S. Morita, T. Nishida, and M. Osawa : “Interfacial Structure and Stability of Langmuir-Blodgett Films on Solid Substrates Studied by Sum Frequency Generation (SFG)”, The 10th International Conference on Organized Molecular Film, Beijing, China (2003.10.6-11).
10. M. Osawa, A. Miki, , Y.-X. Chen, H. Sakai, and S. Ye, : “Surface-enhanced infrared spectroscopy: A powerful tool for in situ studies of electrode dynamics”, 54th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, San Paulo, Brazil (2003.8.31-9.5).
11. 叶 深：「非線形振動分光法による界面分子構造の研究」，2003 年電気化学秋季大会、札幌(2003.9.11-12)*
12. A. Miki, S. Ye, and M. Osawa : “Electrooxidation of formaldehyde on platinum electrodes studied by surface-enhanced infrared spectroscopy”, 204th Electrochemical Society Meeting, Orlando, USA (2003.10.12-16).
13. 叶 深：「和周波発生 (SFG) 分光法による固液界面分子構造に関する研究の進展」，2003 年電気化学秋季大会、札幌(2003.9.11-12).
14. 大澤雅俊：「表面増強赤外分光法－赤外分光の測定感度を向上させる－」，2003 DIGILAB FT-IR 技術セミナー，東京(2003.10.23).
15. 大澤雅俊：「表面増強赤外分光の固液界面研究への応用」，平成16年度日本分光学会秋季講演会・シンポジウム、仙台(2003.11.4-5).
16. M. Osawa : “Surface-enhanced infrared absorption study of electrode dynamics”, The 12th National Electrochemistry Meeting of China, Shanghai, China (2003.11.27-30).

17. 大澤雅俊：「表面増強赤外分光による固液界面反応ダイナミクスの解析」、北海道大学電子科学研究所シンポジウム「分光学の新たな展開」、札幌(2003.12.10).
18. Y. Sato, H. Noda, F. Mizutani, F. and M. Osawa, "Surface-Enhanced Infrared Study of Hydrogen Bonding between Complimentary Bases at the Electrochemical Interface", 2nd Spring Meeting of the International Society of Electrochemistry, Xiamen, China (2004.3.7-10).
19. M. Osawa and H. Miyake, "Surface-enhanced infrared absorption spectroscopy (SEIRAS) as a tool for in situ study of the electrochemical interface", 227th ACS National Meeting, Anaheim, USA (2004.3.28-4.1).
20. 叶 深、東 基、西田拓磨：「ジアセチレン単分子膜の光重合過程における膜分子構造の解析」、第4回光触媒研究討論会、東京(2004.7.27).
21. 大澤 雅俊、「表面増強赤外分光による固液界面反応のダイナミクス研究」、表面科学会、東京(2004.5.14)
22. 山方 啓：「赤外分光法を用いた光触媒反応ダイナミクスの研究」、ライラックセミナー 第10回若手研究者交流会、大滝(2004.6.19-20).
23. M. Osawa : "An Electromagnetic Model of Enhanced Infrared Absorption of molecules Adsorbed on Rough Metal Surfaces", 2nd International Nanophotonics Symposium Handai, July 26-28, 2004, Osaka (2004.7.28-28).
24. 大澤雅俊：「赤外分光を用いた DMFC 電極反応の解析」、高分子学会 2003 年度燃料電池材料研究会講座、東京(2004.10.25-26).
25. 大澤雅俊：「表面増強赤外分光の固液界面研究への応用」、平成 16 年度日本分光学会秋季講演会・シンポジウム、仙台(2004.11.4-5).
26. 山方 啓：「時間分解赤外分光法を用いた二酸化チタン光触媒反応中間体の観察」、第24回表面科学講演大会、東京(2004.11.8-10).
27. 叶 深：「非線形振動分光法による界面分子構造の解明」、物質材料研究機構・エコマテリアルセンターセミナー、筑波(2005.1.21).
28. 叶 深：「SFG 振動分光法による有機薄膜の界面分子構造の研究」、第二回 SFG 研究会、名古屋(2005.3.22-23).
29. 大澤雅俊：「表面増強赤外分光法による電極表面の反応ダイナミクス研究」、日本化学会第85回春季年会（日本化学会学術賞受賞講演）、横浜(2005.3.26-29)*
30. 大澤雅俊：「電極触媒反応：気相系触媒反応との類似点と相違点」、第21回化学反応討論会、大阪(2005.6.1-3).
31. M. Osawa, M., G. Samjeské, and S. Ye : "Optical Properties of Metal Nanoparticles in the Infrared Region and Its Application to Surface Studies", ChinaNano2005, Beijing, China (2005.6.9-11)
32. 叶 深：「非線形分光法によるポリアクリレート表面分子構造の評価」、第7回鶴田フォーラム、東京 (2005.07.30)
33. S. Ye, T. Nishida, E. Tyrode, and M. Osawa : "Sum Frequency Generation (SFG) Study on the Interfacial Structures of Organic Thin Films", コロイド界面シンポジウム、札幌 (2006/9/15)
34. 叶 深、大澤雅俊：「非線形振動分光法による界面分子構造の研究」、平成 18 年度日本表面科学会東北支部研究発表会、仙台(2006/3/9-10).
35. M. Osawa : "Recent Developments in Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy: Theory, Experimental, and Applications", 57th Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy (PITTCON 2006), Orland, Florida, USA, (2006.3.16).
36. G. Samjeské : "In Situ FT-IR monitoring of a fast electrode reaction: Oscillations during the Oxidation of Formic Acid on Pt", 第22回ライラックセミナー・第11回若手研究者交流会、大滝(2005.6.18-6.19).
37. M. Osawa : "Recent Developments in Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy: Theory, Experimental, and Application", Pittsburgh Conference 2006, Orland, USA, March 12-17, 2006.
38. M. Osawa : "Electrochemical Oscillations in Formic Acid Oxidation on Platinum: Infrared

- Experiment and Theoretical Modeling”, International Conference on Surface Imaging and Spectroscopy at the Solid/Liquid Interface, Krakow, Poland, May 28-June 1, 2006.
39. A. Yamakata, J. Kubota, and M. Osawa : “Picosecond Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy at the Electrochemical Interface: Monitoring of the Potential Jump Induced by Visible Laser Pulses”, 57th Annual Meeting of ISE, Edinburgh, UK., Aug. 27-Sep. 1, 2006.
 40. S. Ye, T. Nishida, Y. Ma, M. Johnson, E. Tyrode, and M. Osawa : “Molecular Structures on the Organic Thin Film Interfaces Probed by Sum Frequency Generation (SFG)”, in symposium of *Advanced Vibrational Spectroscopy Studies on Organic, Polymer, and Biological Surfaces*, co-organized by Chen, Z. and Ye, S., 232nd ACS National Meeting, San Francisco, USA, September 10-14, 2006.
 41. A. Yamakata, J. Kubota, and M. Osawa: “Probing Ultrafast Electrode Dynamics by Picosecond Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy”, Workshop on *Electrocatalysis: Surface science approaches*, Leiden, Netherlands, Oct. 16-20, 2006.
 42. 大澤雅俊:「時間分解表面増強赤外分光による Pt 電極触媒反応のダイナミクスの解析」、第 26 回表面科学講演大会、大阪 (2006.11.6-9)
 43. 叶 深:「和周波発生(SFG) 分光による固液界面における分子構造の研究」、第 26 回表面科学講演大会、大阪 (2006.11.6-9)
 44. S. Ye, Y. Tong, T. Nishida, M. Johnson, E. Tyrode, and M. Osawa : “Molecular Structures on the Organic Thin Film Interfaces Studied by SFG Vibrational Spectroscopy”, IMS symposium of *Frontier of Molecular Science Explored by Sum-Frequency Spectroscopy*, Okazaki, December 5-6, 2006.

② 口頭発表 (国内会議57件、国際会議13件)

1. 李 桂峰, 森田 成昭, 叶 深, 大澤 雅俊:「QCM 及び IRRAS を用いたアクリレート系高分子薄膜へのビスフェノール A の吸着過程の追跡」、日本化学会北海道支部 2003 年冬季研究発表会、札幌(2003.2)
2. 野田浩之、森田成昭、叶 深、大澤雅俊:「和周波発生分光法によるリン脂質二分子膜表面のその場構造解析」、日本化学会北海道支部 2003 年冬季研究発表会、札幌(2003.2)
3. 森田成昭、李桂峰、野田浩之、田中賢、叶 深、大澤雅俊:「Adsorption of small molecules and interfacial structure changes on the poly(acrylate) polymer thin films」、高分子学会北海道支部研究発表会、札幌 (2003.2)
4. 三宅博都、叶 深、大澤雅俊:「ステップスキャン FT-IR を用いた電位変調分光による電極反応ダイナミクスの検討」、電気化学会北海道支部 2003 年研究発表会、北海道大学、札幌(2003.1.15)
5. 先崎尊博、叶 深、大澤雅俊:「表面増強赤外分光法による Pt 電極表面での水素吸着挙動の観察」、電気化学会北海道支部 2003 年研究発表会、北海道大学、札幌(2003.1.15)
6. 森田成昭、叶 深、野田浩之、大澤 雅俊:「SFG 及び QCM 測定による高分子薄膜へのビスフェノール A の吸着過程解析」、日本化学会第 83 春季年会、早稲田大学、東京 (2003.3.18-3.21)
7. 叶 深、野田浩之、森田成昭、大澤 雅俊:「和周波発生(SFG)分光法を用いた固液界面における有機分子薄膜の構造解析」、日本化学会第 83 春季年会、早稲田大学、東京 (2003.3.18-3.21)
8. 叶 深、陳 艶霞、三木 篤史、酒井 英忠、大澤 雅俊:「白金でのメタノールの電気化学的反応機構に関する研究」、日本化学会第 83 春季年会、早稲田大学、東京 (2003.3.18-3.21)
9. 三木敦史、陳 艶霞、酒井英忠、叶 深、大澤雅俊:「メタノール酸化における副生成物の反応メカニズムの検討」、電気化学会 2003 年大会、東京工業大学、東京(2003.4.1-3)
10. 野田浩之、森田成昭、叶 深、大澤雅俊:「和周波発生分光法による有機分子薄膜修飾

- 電極表面のその場構造解析」、電気化学会 2003 年大会, 東京工業大学, 東京(2003.4.1-3)
11. 周 尉、叶 深、阿部正明、佐々木陽一、大澤雅俊：「表面増強赤外分光測定によるルテニウム多核錯体自己組織化単分子膜の構造と機能性の評価」、電気化学会 2003 年大会, 東京工業大学, 東京(2003.4.1-3)
 12. 森田成昭、李 桂峰、野田浩之、田中 賢、叶 深、大澤雅俊：「SFG 分光法による高分子薄膜の異なる界面における分子構造の観察」、電気化学会 2003 年大会, 東京工業大学, 東京(2003.4.1-3)
 13. 叶 深、陳 艶霞、三木敦史、酒井英忠、野田浩之、大澤雅俊：「表面増強赤外分光法 (SEIRAS) による白金表面におけるメタノールの電気化学的酸化反応のその場追跡」、電気化学会 2003 年大会, 東京工業大学, 東京(2003.4.1-3)
 14. 三宅博都、叶 深、大澤雅俊：「電位変調赤外分光によるフェロセニルヘキサアルカンチオールの電極反応ダイナミクスの検討」、電気化学会 2003 年大会, 東京工業大学, 東京(2003.4.1-3)
 15. 酒井英忠、陳 艶霞、三木敦史、叶 深、大澤雅俊：「フローセルを用いた白金上でのメタノール酸化反応中間体の考察」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 16. 先崎尊博、国松敬二、叶 深、大澤雅俊：「PtRu 電極でのギ酸およびメタノール酸化の赤外分光法による追跡」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 17. 三木敦史、大森唯義、Zi-Dong Wei、大澤雅俊：「表面増強赤外分光による Sn/Pt 電極上のメタノール酸化反応メカニズムの検討」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 18. 国松敬二、先崎尊博、津島 稔、大澤雅俊：「Pt 電極表面における水素吸着の表面増強赤外分光解析」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 19. 津島 稔、国松敬二、大澤雅俊：「表面増強赤外分光法による Pt 電極表面における水分子の構造解析」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 20. 三宅博都、叶 深、大澤雅俊：「銅電極上での分子吸着と配向の表面増強赤外分光による検討」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 21. 森田成昭、李 桂峰、田中 賢、叶 深、大澤雅俊：「和周波発生 (SFG) 分光法を用いた高分子薄膜界面の分子構造変化観察」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 22. 周 尉、叶 深、阿部正明、佐々木陽一、大澤雅俊：「ルテニウム多核錯体自己組織化単分子膜への小分子の導入とその構造評価」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 23. 李 桂峰、森田 成昭、田中 賢、叶 深、大澤 雅俊：「アクリレート系高分子薄膜における環境ホルモン吸着の研究」、2003 年電気化学会秋季大会、札幌(2003.9.11-12)
 24. 周 尉、叶 深、阿部正明、佐々木陽一、大澤雅俊：「その場赤外分光測定によるルテニウム多核錯体自己組織化単分子膜の構造と機能性の評価」、第 53 回錯体化学討論会、山形大学, 山形(2003.9.24-26)
 25. 野田浩之、道 貴之、阿部正明、叶 深、佐々木陽一、魚崎浩平、大澤雅俊：「その場 STM によるルテニウム三核錯体単分子膜における酸化還元反応の直接観察」、第 53 回錯体化学討論会、山形大学, 山形 (2003.9.24-26)
 26. 最上洋和、三宅博都、大澤雅俊、「表面増強赤外分光法を用いた銅電極上における硫酸吸着の解析」、2004 年三学協会北海道支部研究発表会、札幌(2004.2.1-2)
 27. 佐藤 縁、大澤雅俊、水谷文雄、丹羽 修、「核酸塩基誘導体で修飾した金電極の構造と塩基間相互作用の検出」、第 14 回インテリジェント材料/システムシンポジウム、東京(2004.3.9-10)
 28. 真田貴寛、先崎尊博、国松敬二、叶 深、大澤雅俊、「表面増強赤外分光法による白金電極でのエタノール酸化反応の追跡」、電気化学会第 71 回大会、横浜(2004.3.24-26)
 29. 大澤雅俊、国松敬二、先崎尊博、津島稔、「白金電極上での水素発生反応の中間体と反

- 応機構の SEIRAS による解析」、電気化学会第 71 回大会、横浜(2004.3.24-26)
30. 三宅博都、G. Samjeské、大澤雅俊、「電位変調赤外分光による電極反応の速度論的解析」、電気化学会第 71 回大会、横浜(2004.3.24-26)
 31. 真田貴寛、先崎尊博、国松敬二、叶 深、大澤雅俊、「表面増強赤外分光法による白金電極でのエタノール酸化反応の追跡」、電気化学会第 71 回大会、横浜(2004.3.24-26)
 32. 大澤雅俊、国松敬二、先崎尊博、津島 稔、「白金電極上での水素発生反応の中間体と反応機構の SEIRAS による解析」、電気化学会第 71 回大会、横浜(2004.3.24-26)
 33. 西田拓磨、野田浩之、叶 深、大澤雅俊、「その場和周波発生分光による飽和脂肪酸 LB 膜の界面分子構造評価」、電気化学会第 71 回大会、横浜(2004.3.24-26)
 34. 大澤雅俊、国松敬二、先崎尊博、津島 稔、「表面増強赤外分光による Pt 電極表面における水素吸着と水素発生機構の解析」、分子構造総合討論会 2004、広島 (2004.9.27-30)
 35. 山方 啓、津島 稔、大澤雅俊、「表面反応追跡を目指したピコ・ナノ秒時間分解赤外分光装置の制作」、第 94 回触媒討論会、仙台(2004.9.27-30)
 36. S. Ye, G. Li, T. Nishida, H. Noda, S. Morita, and M. Osawa, "Sum Frequency Generation (SFG) Studies of Molecular Structure on the Organic Film Surface", 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
 37. M. Abe, T. Michi, H. Noda, T. Masuda, T. Kondo, W. Zhou, S. Ye, M. Osawa, K. Uosaki, and Y. Sasaki, "Controlled Formation, Charge Transport, and Redox-/Photoinduced Reactivities of Layer-by-Layer Molecular Cluster Assemblies on Gold", 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
 38. G. Samjeské, A. Miki, and M. Osawa, "Time-resolved Infrared Studies of Potential Oscillations during Galvanostatic Oxidation of Formic Acid on Pt", 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
 39. K. Kunitatsu, T. Senzaki, M. Tsushima, and M. Osawa, "Reaction Intermediate of Hydrogen Evolution Reaction on a Pt Electrode Studied by Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy", 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
 40. A. Yamakata, M. Tsushima, M. Osawa, "Dynamics of Surface Species on Pt Electrode Induced by Laser Pulse Irradiation", 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
 41. W. Zhou, S. Ye, M. Abe, M. Osawa, K. Uosaki, and Y. Sasaki, "Electrochemically Controlled Ligands Switching in a Ruthenium Cluster Monolayer Assembled on Gold Electrode Surface", 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
 42. 山方 啓、大澤雅俊、「白金電極表面に吸着した一酸化炭素の光励起プロセス」、第 23 回吸着分子の分光学的セミナー、南紀白浜(2004.12.3)
 43. 山方 啓、津島 稔、大澤雅俊、「金属電極表面吸着種の光励起過程」、2004 年北海道支部冬季研究発表会、札幌(2005.2.3-4)
 44. G. Samjeské、三木敦史、叶 深、大澤雅俊、「電気化学振動の時間分解赤外分光解析」、第 85 回日本化学会春季年会、東京(2005.3.26-29)
 45. 山方 啓、津島 稔、大澤雅俊、「金属電極表面の光励起プロセス」、第 85 回日本化学会春季年会、東京(2005.3.26-29)
 46. 西田拓磨、「LB 薄膜界面のその場構造解析」、第二回 SFG 研究会、名古屋(2005.3.22-23)
 47. G. Samjeské、大澤雅俊、「Current oscillations during the oxidation of formic acid under

- potential control monitored by time-resolved in situ SEIRA spectroscopy」、電気化学 72 回大会、熊本(2005.4.1-3)
48. 國松敬二、内田裕之、渡辺政廣、大澤雅俊、「Pt 電極における水素発生および酸化反応機構の ATR-SEIRAS による解析」、電気化学 72 回大会、熊本(2005.4.1-3)
 49. 三宅博都、大澤雅俊、「Cu 電極表面における CO、水素、リン酸イオン競争吸着の表面増強赤外分光解析」、電気化学 72 回大会、熊本(2005.4.1-3)
 50. M. Osawa, G. Samjeské, and S. Ye, "Potential oscillations in formic acid oxidations at a platinum electrode studied by surface-enhanced infrared spectroscopy", 207th Meeting of Electrochemical Society, Quebec, Canada, (2005.5.15-20)
 51. S. Ye, "Molecular Structures on Biopolymer Surfaces Investigated by Sum Frequency Generation (SFG) Vibrational Spectroscopy", 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, (2005.6.26-30)
 52. M. Osawa and G. Samjeské, "Electrocatalytic Oxidation of Small Organic Molecules on Pt Studied by Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy", 3rd Gerischer Symposium, Berlin, Germany (2005.7.6-8).
 53. G. Samjeské and M. Osawa, "Time-resolved in situ FT-IR spectroscopy for monitoring a fast electrode process: Current oscillations during the oxidation of formic acid at Pt", 3rd Gerischer Symposium, Berlin, Germany, 7/8-6 (2005).
 54. S. Ye, T. Nishida, G. Li, M. Tanaka, M. Osawa, "Hydrogen Bonding on the Biopolymer Thin Film Studied by Sum Frequency Generation (SFG)", The 3rd International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-3), Chicago, USA, (2005.8.13-19)
 55. 中田 耕、香山陽太、嶋津克明、山方 啓、大澤雅俊：「白金電極上における硝酸イオン吸着の表面増強赤外分光法による評価」、2005 年電気化学秋季大会、千葉(2005.9.8-9)
 56. 張 一、周 尉、叶 深、阿部正明、魚崎浩平、佐々木陽一、大澤雅俊、「混合配位子を有する金属クラスター自己組織化単分子膜の構築と評価」、2005 年電気化学秋季大会、千葉(2005.9.8-9)
 57. G. Samjeské、三木敦史、叶 深、山方 啓、向山義治、岡本博司、大澤雅俊、「ギ酸酸化の定電流酸化における電位振動：時間分解 SEIRAS による反応解析」、2005 年電気化学秋季大会、千葉(2005.9.8-9)
 58. 向山義治、菊池光延、G. Samjeské、大澤雅俊、岡本博司、「ギ酸の定電流酸化における電位振動：シミュレーション」、2005 年電気化学秋季大会、千葉(2005.9.8-9)
 59. 内田太郎、山方 啓、大澤雅俊、「表面増強赤外吸収分光法による銅電極上の 4,4'ビピリジンの吸着配向の解析」、2005 年電気化学秋季大会、千葉(2005.9.8-9)
 60. 中田 耕、香山陽太、嶋津克明、山方 啓、大澤雅俊、「スズ修飾白金電極上の硝酸イオン還元における吸着化学種の表面増強赤外分光法による検討」、2005 年電気化学秋季大会、千葉(2005.9.8-9)
 61. 山方 啓、内田太郎、久保田純、大澤雅俊、「表面増強赤外吸収分光法を用いた電極表面光励起過程の時間分解観察」、分子構造総合討論会 2005、東京(2005.9.27-30)
 62. 中田 耕・香山陽太・嶋津克明・山方 啓・大澤雅俊：「白金およびスズ修飾白金電極を用いた硝酸イオン還元の電極吸着化学種の表面増強赤外分光法による検討」、2006 冬季研究発表会、札幌
 63. 山方 啓、久保田純、大澤雅俊：「表面増強赤外吸収分光法を用いたレーザー照射電位ジャンプのピコ秒時間分解測定」、電気化学会第 73 回大会、八王子 (2006.4.1-3)
 64. 最上洋和、大澤雅俊：「金属電極表面における硫酸吸着種の表面増強赤外分光解析」、電気化学会第 73 回大会、八王子 (2006.4.1-3)
 65. 三宅博都、大澤雅俊、岡田達弘：「表面増強赤外分光法(SEIRAS)による Pd 電極上のギ酸酸化反応解析」、電気化学会第 73 回大会、八王子 (2006.4.1-3)

66. 山方 啓、久保田 純、大澤雅俊：「ピコ秒赤外パルスを用いた電極界面の超高速ダイナミクス」、第 67 回分析化学討論会、秋田（2006.5.13-14）
67. Ye, S., Nishida, T., Tyrode, E., Ma, T., and Osawa, M.: “Molecular Structure on the TiO₂ Surface Investigated by Sum Frequency Generation (SFG) Spectroscopy”, SIEMM’13, Qindao, China, July 18-22, 2006.
68. G. Samjeske、叶深、大澤雅俊：「電極界面の赤外分光イメージング」、2006 年電気化学会秋季大会、京田辺（2006.9.14-15）
69. G. Samjeske、大澤雅俊：「Pt 表面でのギ酸酸化：赤外分光からの新しい解釈」、2006 年電気化学会秋季大会、京田辺（2006.9.14-15）
70. Yamakata, A., Kubota, J., and Osawa, M.: “Ultra-fast potential jump at the Electrochemical Interface Studied by Picosecond Time-resolved Surface-enhanced IR Absorption Spectroscopy”, 210th meeting of Electrochemical Society, Cancun, Mexico, October 29 - November 3, 2006.

③ポスター発表 (国内会議4件、国際会議16件)

1. 周 尉、叶 深、阿部正明、佐々木陽一、魚崎浩平、大澤雅俊：「表面赤外分光測定によるルテニウム多核錯体自己組織化単分子膜の電子移動に伴う構造変化のその場追跡」、電気化学会北海道支部 2003 年研究発表会、北海道大学、札幌(2003.1.15)
2. 野田浩之、森田成昭、叶 深、大澤雅俊：「Molecular Structure of Langmuir-Blodgett Films at Solid/Liquid Interface studies by Broad-Band Sum Frequency Generation (SFG) Spectroscopy」、界面ナノアーキテクニクス国際ワークショップ、筑波（2003.3.6-7）
3. 森田成昭、李桂峰、田中賢、叶 深、大澤雅俊：「高分子薄膜の異なる界面における分子構造の評価」、分子構造総合討論会 2003、京都(2003.9.24-27)
4. 野田浩之、森田成昭、西田拓磨、叶 深、大澤雅俊：「和周波発生(SFG)分光法を用いた LB 膜最表層の分子構造評価」、分子構造総合討論会 2003、京都(2003.9.24-27)
5. 大澤雅俊、三木敦史、叶 深：「ギ酸の電気化学的酸化反応機構の表面増強赤外分光解析」、分子構造総合討論会 2003、京都(2003.9.24-27)
6. Miyake, H., Ye, S., and Osawa, M.: “Surface-enhanced infrared spectroelectrochemistry on chemically deposited Cu film electrodes”, 204th Electrochemical Society Meeting, Orland, USA (2003.10.12-16)
7. Y. Sato, M. Osawa, F. Mizutani, “Electrochemical Responses and surface Structure of Gold Electrodes modified with Nucleic Acid Base Derivatives”, 205th Meeting of The Electrochemical Society, San Antonio, USA (2004.5.9-13)
8. S. Ye, T. G. Nishida, G. Li, J. Holman and M. Osawa, Interfacial Molecular Structure on the Organic Thin Films Investigated by Sum Frequency Generation (SFG), Gordon Research Conference (GRC), Meiden, USA, (2004.8.15-20)
9. M. Tsushima, K. Kunimatsu, K. Itaya, and M. Osawa, “Structure of Water Molecules on a Pt Electrode Surface Studied by Surface-Enhanced Infrared Spectroscopy”, 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
10. G. Li, S. Morita, S. Ye, and M. Osawa, “Infrared and SFG Studies on Hydrogen Bonding Interaction between Poly(acrylate) and Bisphenol A”, 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
11. T. Nishida, H. Noda, S. Ye, and M. Osawa, “Interfacial Molecular Structure of LB Films of Fatty Acids Studied by in-situ Sum Frequency Generation (SFG) Spectroscopy”, 206th Meeting of The Electrochemical Society and 2004 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA (2004.10.3-8)
12. S. Ye, “Molecular Structure on the Interface of Organic Thin Films Investigated by Non-linear Vibrational Spectroscopy” (Young Scientist Lecture), Nanoscale Surface Self-Assembly a EuChemS Conference, Stockholm, Sweden (2005.6.19-23)

13. S. Ye, "Nonlinear Vibrational Spectroscopic Study on the Molecular Structure of LB Thin Films of Fatty Acids on Solid Substrates", 11th International Conference on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, (2005.6.26-30)
14. S. Ye, T. Nishida, G. Li, M. Tanaka, M. Osawa, "Hydrogen Bonding on the Biopolymer Thin Film Studied by Sum Frequency Generation (SFG)", The 3rd International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-3), Chicago, USA, (2005.8.13-19)
15. Yamakata, A., Kubota, J., and Osawa, M.: "Laser-induced Potential Jump at the Electrode Surface by Picosecond Surface-enhanced IR Absorption", 5th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics", Abashiri, June 21-25, 2006.
16. Ye, S., Nishida, T., Ma, Y., Johnson, M., Tyrode, E., and Osawa, M.: "Surface Structures of Organic Thin Films Investigated by Sum Frequency Generation (SFG) Spectroscopy", Gordon Research Conference, Maine, USA, July 8-14, 2006.
17. Zhang, H.-X., Abe, M., Ye, S., Osawa, M., and Sasaki, Y.: "Interactions between some Lewis acids and the oxo-bridge of (μ -oxo)di(μ -acetato) diruthenium(III,III) complexes immobilized on gold surface", 13th International SPACC-CSJ Symposium: *New Frontier of Functional Metal Complexes and Intelligent Compounds*, Sapporo, August 3-5, 2006.
18. H. Miyake, G. Samjeske, M. Osawa and T. Okada, "Surface-enhanced IR study of electro-oxidation of formic acid on Pd electrodes in acidic solution", 57th Annual Meeting of ISE, Edinburgh, UK., Aug. 27-Sep. 1, 2006.
19. Zhang, H.-X., Abe, M., Ye, S., Uosaki, K., Osawa, M., and Sasaki, Y.: "Electrochemical Behavior of the (μ -Oxo)di(μ -acetato)diruthenium(III,III) Complexes on Gold Surface in the Presence of some Lewis Acids", The Sixth China-Japan Joint Symposium on Metal Cluster Compounds, Huangshan, China, October 22-26, 2006.
20. Zhang, H.-X., Abe, M., Ye, S., Uosaki, K., Osawa, M., and Sasaki, Y.: "Construction of Self-assembled Monolayers of Oxo-bridged Diruthenium(III,III) Complexes on Gold Surface and their Redox Behavior", Japan-China Joint Symposium on Modern Chemistry, Sapporo, November 10-11, 2006.

(4)特許出願

①国内出願 (0件)

なし

②海外出願 (0件)

なし

(5)受賞等

① 受賞

山方 啓：2004 年 11 月、日本表面科学会奨励賞「時間分解赤外分光法を用いた二酸化チタン光触媒反応中間体の観察」

叶 深：2005 年 2 月、日本化学会北海道支部奨励賞「固液界面の原子・分子での構造解析と機能制御」

大澤 雅俊：

2005 年 3 月 27 日、日本化学会第 25 回学術賞「表面増強赤外分光法の確立と電極表面反応ダイナミクスへの応用」

2006 年 8 月 26 日 Prix Jacques Tacussel (国際電気化学会) "Work on surface-enhanced infrared spectroscopy and its application to adsorption and reactions on electrode surface"

② 新聞報道

ピコ秒赤外分光による固液界面の超高速ダイナミクス研究 (A. Yamakata, T. Uchida, J. Kubota and M. Osawa, "Laser-Induced Potential Jump at The Electrochemical Interface Probed by Picosecond Time-Resolved Surface-Enhanced Infrared Absorption Spectroscopy", *J. Phys. Chem. B*, **110** (2006) 6423-6427.) が、Photonics Spectra 誌 2006 年 7 月号で紹介された。

③その他

なし

7 研究期間中の主な活動(ワークショップ・シンポジウム等)

年月日	名称	場所	参加人数	概要
15 年 10 月 2,3 日	チーム研究員研究討論会	宮 城 県 宮 城 郡 松 島 町 「ホテル大 観荘	約 70 名	チーム内打ち合わせ
16年 7 月	チーム研究員・学生における、研究発表及び研究検討会	北 海 道 大 学 触媒化学研 究センター	約 70 名	シンポジウム (板谷チーム内)
16年11月8 日	電極表面科学～溶液中でのナノテクノロジー～	早 稲 田 大 学 総 合 学 術 情 報 セ ンター		第 24 回表面科学講演大会内でのシンポジウム (企画者：固液界面部会長。板谷謹悟)
17 年 4 月 1 日	シンポジウム：電極反応のアトムプロセス	熊本大学		電気化学会第72回大会内でのシンポジウム（主催：電極表面科学研究懇談会）
17 年 11 月 18日	部会セッション「電極表面部会」	大 宮 ソ ニ ックシティ -		第 25 回表面科学講演大会内でのシンポジウム (部会長：板谷謹悟)
18年3月29 日	日本化学会特別シンポジウム「分子性結晶の化学と電子デバイスへの応用」	日 本 大 学 船 橋 キ ャ ンパス	約 250 名	応用物理分野の研究者と化学会との総合シンポジウム。企画者：板谷、庭野
19年3月29 日～20日	シンポジウム「表面電気化学」	電 気 化 学 会(東京工 業大学)	約 150 名	電気化学会内でのシンポジウム（主催：電極表面科学懇談会、主査：板谷謹悟）
18 年 4 月 26-28日	研究チーム打ち合わせ会	東北大学	約 30 名	チーム内打ち合わせ
18年11月8 日	電極表面部会セッション「ナノ電気化学：原子レベルで見た電極表面」	大阪大学		第 26 回表面科学講演大会内でのシンポジウム (部会長：板谷謹悟)
18 年 12 月 18日	板谷チーム研究戦略会議	東北大学	約 30 名	チーム内打ち合わせ
19年3月27 日	日本化学会特別シンポジウム「分子性結晶の化学と電子デバイスへの応用」	日 本 化 学 会 春 季 年 会 (関西大 学)	約 250 名	応用物理分野の研究者と化学会との総合シンポジウム。企画者：板谷、庭野
19年9月19 日～20日	電気化学会シンポジウム「ナノレベルでの界面・表面 ～ 電極表面科学の新展開」	電 気 化 学 会(東京工 業大学)	約 100 名	電気化学会内でのシンポジウム（主催：ナノ界面・表面研究懇談会、主査：板谷謹悟）

8 研究成果の展開

(1)他の研究事業への展開

なし

(2)実用化に向けた展開

なし

9 他チーム、他領域との活動とその効果

(1)領域内の活動とその効果

領域内で有益な議論は行ってきたが、具体的に共同研究等の発展には至らなかった。

(2)領域横断的活動とその効果

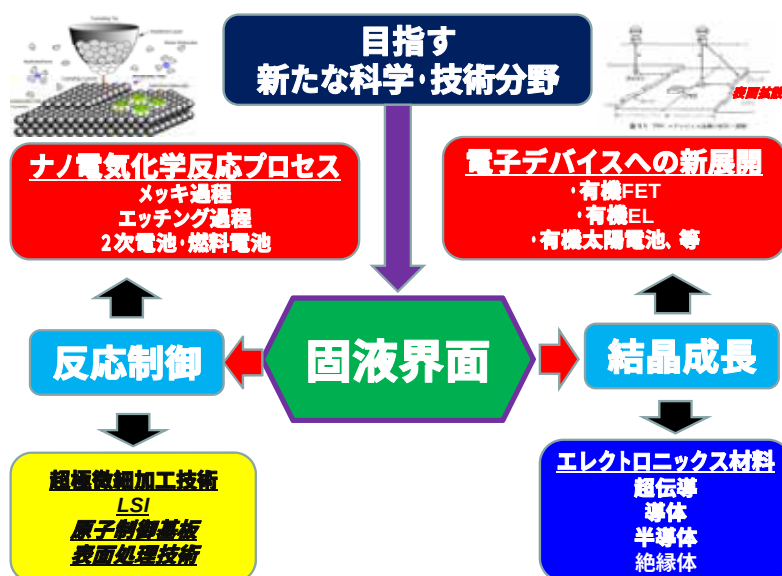
本研究の性格上、化学会、電気化学会、応用物理学会、表面科学会、結晶学会等広い範囲の学会に参加し、本研究を進める上で有益であった。

10 研究成果の今後の貢献について

これまで積み上げてきた「固液界面」研究成果を基本として、有機半導体であるペンタセンあるいはルブレン等の分子性結晶を「固液界面」で成長させると、ほぼ完全な単結晶が得ることを実証した。また、ペンタセンの完全単結晶を用いた有機FETの特性は、ペンタセン固有の移動度を発現することも明らかにした。この実証実験は、デバイス分野のみならず、化学分野においても重要と認知されている。本代表者は、日本化学会の年会(平成17年3月、平成18年3月)において過去2年間「分子性結晶の化学と電子デバイスへの応用」と題した、特別シンポジウムを企画してきた。有機半導体薄膜形成法と電子デバイスに関する化学の役割、固液界面反応の重要性を、日本化学会で指導する立場でもある。

固液界面が関連するプロセスに革新的ブレークスルーを与えるには、原子あるいは分子の固液界面での結晶成長、溶解等を同時に進めなければならないとの思いである。

具体的には、以下の図に示す研究領域、科学技術分野に革新的状況を生み出す原動力になりうると思われる。



(2) 社会・経済の発展が期待される成果

上図に示した分野はいずれも重要な科学技術分野である。従って、社会・経済の発展にも寄与する。

11 結び

以上のように、有機FETとして最も研究がおこなわれているペンタセン、ルブレンという有機半導体を、溶液からの結晶化法により得られた完全結晶が、有機FETの基盤材料として高い移動度を示すことを世界ではじめて実証した。ある意味で物理工学分野の常識を破るものである。

溶液あるいは、より一般的に液体中からの結晶化技術は、多くの化合物に適用可能であり、このことが、新たな新物質の発見につながる可能性を秘めており、新たなスタンスでの研究の世界標準となる成果と考えられる。

更には、有機EL、有機太陽電池等の有機電子デバイス製造プロセスで採用されているドライブプロセスに代る可能性も充分あり、今後のさらなる先導的研究が待たれる。

5年に及んだ研究で各グループとも必死にブレークスルーを越えようと努力してくれたことに、深く感謝する。特に、板谷グループにおいては、それまで、電極表面、電極反応の解明が主テーマで来たものを、有機単結晶の成長とそのキャラクタリゼーションを行うようになり、当初、学生、研究スタッフも暗中模索の状況であった。

しかし、有機結晶表面の広大なテラスを見た瞬間から、これまで知られていなかった固液界面の重要な特徴が浮き彫りになり、以来、日夜の実験の結果、ここに、最終報告書をまとめる最終年度を迎えた。

各グループとも今後の展開が重要との認識であり、1つの分野での1つの研究が終了したとは思っていない。終了後も引き続き、各グループ、それぞれの立場で、更なる発展を期すとの思いである。

分野の相当かけ離れたグループが、終了時まで熱い思いを共有できたことは、研究代表者として、何にも代えがたい成果である。特に、**固液界面の応用**を一貫して貫きとうせたのは、庭野先生と交わされた度重なる研究打ち合わせと激励であった。

梶村領域代表を元とする関係各位の叱咤激励に感謝申し上げます。

平成20年3月末日