

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域

「ナノ科学を基盤とした革新的製造技術の創成」

研究課題

「高精度にサイズ制御した単電子デバイスの開発」

研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年3月

研究代表者：真島豊

(東京工業大学応用セラミックス研究所、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

無電解メッキの自己停止機能を用いてギャップ長を高精度に制御した5nm以下のナノギャップ電極を一度に高い歩留まりで作製するプロセスを確立し、分子構造を精密に規定することが可能な金属クラスターおよび金属錯体分子ワイヤーを単電子島として合成し、ナノギャップ電極間に選択的に集積することにより、常温で確実に動作する「高精度にサイズ制御した単電子デバイス」により論理回路を構築するための製造技術を確立することを本CRESTでは目的としている。

真島グループは、ヨウ素無電解金メッキ法の自己停止反応のメカニズムを解明し、ギャップ長5nm以下のナノギャップ電極を、270個の初期電極が存在する $9 \times 9 \text{mm}^2$ の基板上で96%の歩留まりで製造する技術を確立した。さらに、メッキ液に界面活性剤を加えた「分子定規無電解メッキ法(Molecular Ruler Electroless Plating (MoREP))」を発明し、界面活性剤の構造を変えると無電解メッキの自己停止反応が、相互嵌合型(Interdigitation)と架橋型(Interlink)の2つの様式をとることをつきとめ、界面活性剤の鎖長により平均ギャップ長をサブナノメートルの精度で制御し、最小で平均1.6nmのギャップ長を有するナノギャップ電極を作製する技術を確立した。また、無電解金メッキナノギャップ電極の断面は湾曲しており、最も狭い部分が基板面から離れており、ナノギャップに電圧を加えた際に強い電界がギャップ部に加わる構造となっていることを明らかにした。

室温単電子トンネルを実現するためには、電極-単電子島(Au クラスター)間のトンネル抵抗低減ならびにの大きな帯電エネルギーを有する単電子島の合成が必要となる。寺西グループは、まず、電極-単電子島間のトンネル抵抗低減のため、Au クラスターの低抵抗有機配位子として、 π 電子雲が金クラスター表面に平行に近接する多座配位型大環状 π 共役分子の合成を行った。具体的には、アセチルチオ基がフェニル基の2位に種々のメチレン基数($n = 0 \sim 2$)で連結し、ポルフィリン環に対し全て同方向を向いたテトラフェニルポルフィリン(SC_nP)の合成に成功した。これらを Au クラスター保護剤として用いることにより、組成式 $\text{Au}_{309}(\text{SC}_0\text{P})_{-14}$ 、 $\text{Au}_{65}(\text{SC}_1\text{P})_{-6}$ 、 $\text{Au}_{66}(\text{SC}_2\text{P})_{-6}$ の合成・同定に成功した。光学特性評価から、ポルフィリン環-Au クラスター間距離が近くなるほどポルフィリン誘導体の電子構造が変調されており、トンネル抵抗低減に寄与していることが予想された。また、Au クラスターを金電極間に選択集積するために、軸配位性金属イオンである Zn^{2+} をポルフィリン環に導入した $\text{ZnSC}_n\text{P-Au}$ クラスターの合成にも成功した。

分子レベルでの素子機能の集積化には、精密に空間配置を制御しながら多種・多数の分子を思い通りに組織化し、分子間コミュニケーションを自在に生み出すことが必要である。田中グループは、機能性分子ユニットとして、安定な酸化還元性、化学修飾による酸化還元電位の多様性の観点からポルフィリンやフタロシアンを選び、その一次元組織化による分子素子構築を行った。逐次合成が可能なペプチド結合で連結したポルフィリンアレイや、自由度高く外部刺激に構造応答性を示すロタキサン構造で組織化したポルフィリン-フタロシアンアレイなど、構成分子間での電気化学的および電子的コミュニケーションを示す分子群の合成法を見出し、その評価を行った。また、これらの分子組織を金電極上に接合することを目的とし、金基板上に環平面をスタックさせて結合し、分子組織を積み重ねることが可能なアンカーポルフィリン合成し、それらの電気化学特性及び、室温単分子メモリー効果を評価した。

これらの技術を統合し、素子特性が極めて安定で、再現性のある理想的なクーロンダイアモンドを観察できる単電子トランジスタを24%の歩留まりで作製するプロセス技術を確立し、帯電エネルギーのばらつきが小さい(10%)単電子トランジスタを作製することが出来るこ

とを明らかにした。さらに、単電子トランジスタ回路の構築に向けて、触媒化学気相成長法 (Cat-CVD) による SiNx 薄膜と、パルスレーザー蒸着法 (PLD) による Al₂O₃ 薄膜によって単電子トランジスタをパッシベートする技術を確立し、トップゲート単電子トランジスタの動作を確認した。常温動作単電子トランジスタについては、コア粒径 1.2 nm の金ナノ粒子を用いて、クーロンオシレーションとクーロンステアケースを常温で観察し、常温動作を達成した。単電子トランジスタの論理演算回路については、2つのサイドゲート電極に加えてトップゲート電極の3つのゲート変調を可能とする単電子トランジスタを構築し、世界で初めて3つのゲート電極を有する1つの単電子トランジスタにおける3入力 XOR 回路動作を実現した。分子素子の展開については、ポルフィリン誘導体を用いた常温単分子メモリ効果を STS で観察し、固体基板上単分子メモリ素子が、STS におけるメモリ動作と同様に動作すること、サブポルフィリン分子間のトンネル現象が、分子共鳴トンネルダイオードとして動作することを明らかにした。さらに、無電解金メッキで作製したナノギャップ電極が、電圧軸に対して非対称なヒステリシス特性を含むメモリ素子として動作することを発見した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 均一な帯電エネルギーを有する単電子トランジスタ

概要:

ナノ粒子を単電子島として用いた単電子トランジスタでは、帯電エネルギーを均一にすることが可能であることを明らかにした。無電解メッキにより作製したナノギャップ電極に金ナノ粒子を導入した我々の単電子トランジスタは、理想的なクーロンダイヤモンドを示し、帯電エネルギーのばらつきは金ナノ粒子の粒径のばらつきと等しくなった。この結果は、均一な帯電エネルギーにより常温動作単電子トランジスタを高い歩留まりで構築することができる可能性を示唆している点で先導的である (Appl. Phys. Lett 誌に掲載)。

2. 正六面体 Au クラスタ

概要:

Au 原子と結合可能なアセチルチオ基を4つ有するポルフィリン誘導体を用い、Au クラスタを合成した結果、6つのポルフィリン誘導体が約 1 nm の等方性 Au クラスタを取り囲んだ正六面体 Au クラスタの合成に成功した。等方性クラスタに異方性結合部位を導入できた点、ポルフィリン環-Au クラスタ間距離制御によりポルフィリン誘導体の電子構造を変調できた点が先導的・独創的である (J. Am. Chem. Soc. に掲載)。

3. ポルフィリン-フタロシアニン超分子組織

概要:

分子素子の構成要素として有用なポルフィリンとフタロシアニンを、ロタキサン構造で結合し、 π 平面をスタックさせた分子組織を構築した。この構造は様々な酸化電位を持つ π 平面性分子をプログラムして 1 次元配列化する方法論へ展開可能である。また、ロタキサン結合の酸塩基反応をとおして、ポルフィリンとフタロシアニンの中心金属間のスピン-スピン相互作用を可逆的に変換した。新しいタイプの分子素子として、Nature Chemistry 誌においてハイライトされた。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 無電解金メッキによるナノギャップ電極の製造技術の確立

概要:

当初の目標を超えるギャップ長 5 nm 以下のナノギャップ電極を 96% の高い歩留まりで作製する技術を確立し、界面活性剤の分子の鎖長、構造を工夫することにより 2 nm 以下

のギャップ長をサブナノメートルの精度で実現する分子定規無電解金メッキ技術を開発し、ナノギャップ電極を量産し、実用化につながる技術を達成し、これにより単電子デバイスの集積化回路、メモリデバイスを実現出来る見通しを立てた(関連特許、国内2件、海外PCT1件出願準備中)。

2. 単電子トランジスタのパッシベーション技術の確立

概要:

単電子デバイスを実用化するためには、配線技術を確立する必要がある。有機分子を配位子として用いているナノ粒子や機能性分子は、耐プロセス性の観点で無機物の絶縁体でパッシベーションすることが困難であった。本研究では、ナノギャップ間に導入されたナノ粒子や分子が、触媒化学気相成長法(Cat-CVD)による SiNx 薄膜や、パルスレーザー蒸着法(PLD)による Al₂O₃ 薄膜によってパッシベートする技術を確立し、トップゲート電極を導入し、配線を形成することができることを示した。(関連特許、国内1件、海外PCT2件出願)

3. 複数ゲート電極を有する単電子トランジスタ論理演算素子の実現

概要:

単電子トランジスタは、単電子島のオフセット電荷により On/Offするため、複数のゲート電極があると、ゲート電圧による単電子島への電荷誘起の効果の重ね合わせが可能となる。本研究では、パッシベーション膜上に設けたトップゲート電極と2つのサイドゲート電極により、3入力の論理演算素子を実現した。この成果は、単電子トランジスタによる回路を構築する上で、重要な意味を持つ。本内容は、Nature Nanotechnology 誌において”Logic with Chemistry”というタイトルでハイライトされた。(関連特許、国内1件)

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

無電解メッキと分子構造を規定した単電子島の合成という2つのボトムアップ手法を用いて高精度にサイズ揺らぎを制御した常温で動作する「単電子デバイス」により論理回路を構築するための製造技術確立を本研究では目標とする。具体的には、無電解メッキの自己停止機能を用いてギャップ長を高精度に制御した5nm以下のナノギャップ電極を一度に高い歩留まりで作製するプロセスを確立する。また、分子構造を精密に規定することが可能な金属クラスターおよび金属錯体分子ワイヤーの合成手法を駆使して、ナノギャップ電極間に選択的に集積することができ、常温で動作可能で、構造に一意性のある単電子島を化学的に合成する。これらの単電子島をナノギャップ電極に選択的に集積することにより、常温で確実に動作し、サイズ揺らぎの問題を克服する「高精度にサイズ制御した単電子デバイス」を構築するための製造技術確立し、論理回路の基本となるインバータ回路を実現する。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

【中間評価の総合評価】

分子定規無電界プロセスの手法を用い、高精度でギャップ長を制御でき、それを基盤に SET を用いた論理回路を実証したことはすばらしい成果である。今後は SET の応用分野を明確にして、実用化に向けた研究を展開することを期待している。ただその出口をバイオセンサーに求めるのは不相当と思われる。視野を広げて出口を見つけて欲しい。例えば、量子情報の分野や、ナノギャップを90%の収率で作製したことだけでも評価されるという意見もあり、これを使ったプラットフォームにしたデバイスの創製にも繋がることも対象として考えられる。その上で、今後の展開の中で研究成果の国際的な発信を積極的に行うことを期待する。本研究は分子エレクトロニクスの分野であり、我が国のアクティビティは米国と比べ相当低く、常温動作が可能な SET を分子ワイヤーで接続した論理素子やメモリ素子が実現すれば直面する LSI の消費電力の問題の多くの部分が解決し、その意味でインパクトは甚大である。

【それを踏まえて対応した結果】

単電子トランジスタの回路構築に向けて、 SiN_x と Al_2O_3 によるパッシベーション技術確立し、トップゲート電極を導入できるようになった。トップゲート電極によりゲート容量が増大し、常温で動作する単電子トランジスタを実現した。国際的な発信としては、ACS Nano 誌 (2報)、J. Am. Chem. Soc. (2報)、Nature Nanotechnology 誌と Nature Chemistry 誌のそれぞれで、ハイライト論文として紹介され、Appl. Phys. Lett. 誌に掲載された「常温単一分子メモリ」の論文は、Cover Image に選ばれた。

② 上記①以外で生まれた新たな展開について

無電解金メッキにより作製したナノギャップ電極において、負性微分抵抗を含むメモリ特性を発見した。このメモリ特性は、電圧軸に対して非対称で極性が存在し、 $-40\sim 120^\circ\text{C}$ という広い温度範囲で特性が得られ、メモリ動作の繰り返し耐性も良い。

また、分子デバイスの構築に向けて、常温単一分子メモリ、分子間共鳴トンネルダイオードなどの新しい分子機能も発見した。

§ 3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「東京工業大学 真島豊」グループ
研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
真島豊	東京工業大学応用セラミックス研究所	教授	H21.7～H26.3
東康男	東京工業大学応用セラミックス研究所	助教	H21.10～H26.3
加納伸也	東京工業大学応用セラミックス研究所	ポスドク	H25.4～H26.3
Victor M. Serdio V.	東京工業大学大学院	D3	H20.10～H26.3
Guillaume Hackenberger	東京工業大学大学院	M2	H23.10～H25.9
Daniel Hurtado	東京工業大学大学院	M2	H23.10～H25.9
青山詠樹	東京工業大学大学院	M2	H24.4～H26.3
川本慎	東京工業大学大学院	M2	H24.4～H26.3
大沼悠人	東京工業大学大学院	M1	H25.4～H26.3
小林祥希	東京工業大学大学院	M1	H25.4～H26.3
眞方山貴也	東京工業大学大学院	M1	H25.4～H26.3
宮川みちよ	東京工業大学応用セラミックス研究所	研究補助員	H22.4～H26.3
押川千春	東京工業大学応用セラミックス研究所	事務補佐員	H25.7～H26.3
倉橋恵美	東京工業大学応用セラミックス研究所	事務補佐員	H24.5～H25.7 H25年7月退職
加納伸也	東京工業大学大学院	D3	H20.10～H25.3 H25年3月修了
武下宗平	東京工業大学大学院	M2	H23.4～H25.3 H25年3月修了
前田幸祐	東京工業大学大学院	D1	H22.4～H24.7 研究テーマ変更のため
末松智子	東京工業大学大学院	事務補佐員	H23.5～H24.7 H24年7月退職
岡林則夫	東京工業大学応用セラミックス研究所	特任助教	H22.4～H24.3 H24年3月退職
皆川慶嘉	東京工業大学大学院	M2	H21.4～H24.3 H24年3月修了

田中傑	東京工業大学大学院	M2	H21.4~H24.3 H24年3月修了
鈴木宏貴	東京工業大学大学院	D1	H22.10~H24.9 H23年9月退学
三宅久美	東京工業大学大学院	事務補佐員	H22.8~H23.5 H23年5月退職
服部繁樹	東京工業大学大学院	D3	H21.4~H23.3 H23年3月修了
福野裕之	東京工業大学大学院	M2	H20.10~H22.3 研究テーマ変更 のため
小川大輔	東京工業大学大学院	M2	H21.4~H23.3 H23年3月修了
村木太郎	東京工業大学大学院	M2	H21.4~H23.3 H23年3月修了
田村茂雄	東京工業大学	技術専門員	H21.4~H23.3 ナノネットへの EBL 描画依頼が 終了したため
松本亜紀	東京工業大学大学院	事務補佐員	H21.10~H22.8 H22年8月退職
木村有香	東京工業大学大学院	研究補助員	H20.10~H21.8 H21年8月退職
真島豊	東京工業大学大学院	准教授	H20.10~H21.6 教授に昇任のため
東康男	東京工業大学大学院	特任助教	H21.4~H21.9 助教に採用のため
鈴木聖一	東京工業大学大学院	D3	H20.10~H22.3 H22年3月修了
小林昇洋	東京工業大学大学院	M2	H20.10~H21.3 H21年3月修了
岩本全央	東京工業大学大学院	M2	H20.10~H22.3 H22年3月修了
鈴木太陽	東京工業大学大学院	M2	H20.10~H22.3 H22年3月修了

研究項目

- ・無電解メッキの自己停止機能のメカニズムの解明
- ・ナノギャップ単電子トランジスタの動作実証

②「京都大学 寺西利治」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
----	----	----	------

寺西利治	京都大学化学研究所	教授	H20.10~H26.3
坂本雅典	京都大学化学研究所	助教	H21.11~H26.3
佐藤良太	京都大学化学研究所	助教	H23.4~H26.3
吉永泰三	筑波大学大学院	D3	H21.4~H26.3
田中大介	筑波大学大学院	D3	H21.4~H26.3
Wu, Hsing Lun	筑波大学大学院	D3	H23.4~H26.3
Chen, Lifui	京都大学大学院	D1	H23.4~H26.3
金成元	京都大学大学院	D1	H25.4~H26.3
田渊路昌	京都大学大学院	M1	H25.4~H26.3
山岡智	京都大学大学院	M1	H25.4~H26.3
吉田兆志	京都大学化学研究所	特任研究員	H24.7~H26.3
櫻井潤一	筑波大学大学院		H20.10~H21.3 H21年3月修了
金原正幸	筑波大学大学院	助教	H20.10~H22.3 研究テーマ変更のため
板子典史	筑波大学大学院		H20.10~H22.3 H22年3月修了
鈴木義人	筑波大学大学院		H21.4~H22.3 H22年3月修了
本田哲也	筑波大学大学院		H21.4~H22.3 H22年3月修了
鬼形尚子	筑波大学大学院		H21.4~H23.3 H23年3月修了
小堀啓	筑波大学大学院		H21.4~H23.3 H23年3月修了
関根光	筑波大学大学院		H20.10~H22.3 H23年3月修了
江口美陽	筑波大学大学院	準研究員	H21.5~H24.3 研究テーマ変更のため
井上洸紀	筑波大学大学院	M2	H22.4~H24.3 H24年3月修了
金久保竜	筑波大学大学院	M2	H22.4~H24.3 H24年3月修了
多田邦生	筑波大学大学院	M2	H22.4~H24.3 H24年3月修了
三井大輔	筑波大学大学院	M2	H21.4~H24.3 H24年3月修了

池田飛展	筑波大学大学院	D3	H21.4~H25.3 H25年3月修了
大嶋 翔	筑波大学大学院	M2	H24.4~H25.3 H25年3月修了
小幡美絵	筑波大学大学院	M2	H22.4~H25.3 H25年3月修了

研究項目

- ・Au クラスタ、ナノ粒子のナノギャップ電極間集積
- ・新規 π 共役配位子保護 Au クラスタの合成

③「名古屋大学田中健太郎」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
田中健太郎	名古屋大学大学院理学研究科	教授	H20.10~H26.3
山田泰之	名古屋大学物質科学国際研究センター	助教	H20.10~H26.3
河野慎一郎	名古屋大学大学院理学研究科	助教	H20.10~H26.3
西野智雄	名古屋大学大学院理学研究科	D3	H21.4~H26.3
佐々木阿子	名古屋大学大学院理学研究科	M2	H23.4~H26.3
濱崎貴志	名古屋大学大学院理学研究科	M2	H23.4~H26.3
三原のぞみ	名古屋大学大学院理学研究科	M2	H23.4~H26.3
伊藤涼平	名古屋大学大学院理学研究科	M1	H25.4~H26.3
石倉舞子	名古屋大学大学院理学研究科	M1	H24.4~H26.3
加藤雅大	名古屋大学大学院理学研究科	M1	H24.4~H26.3
小林千夏	名古屋大学大学院理学研究科	M1	H24.4~H26.3
縄手克彦	名古屋大学大学院理学研究科	M1	H24.4~H26.3
坂野智彦	名古屋大学大学院理学研究科	M1	H24.4~H26.3
末松基起	名古屋大学	B4	H25.4~H26.3
中村友梨香	名古屋大学	B4	H25.4~H26.3

西尾基貴	名古屋大学	B4	H25.4~H26.3
原田孝広	名古屋大学	B4	H25.4~H26.3
山田和史	名古屋大学	B4	H25.4~H26.3
吉村太希	名古屋大学	B4	H25.4~H26.3
森修一	名古屋大学		H20.10~H21.3 H21年3月修了
吉野文博	名古屋大学大学院理学研究科		H20.10~H22.3 H22年3月修了
鈴木真理恵	名古屋大学		H22.4~H21.3 H22年3月修了
Swapnil, Patil	名古屋大学大学院理学研究科		H21.4~H23.9 H23年9月修了
鹿嶋映臣	名古屋大学大学院理学研究科		H21.4~H23.3 H23年3月修了
鈴木敦仁	名古屋大学大学院理学研究科		H21.4~H23.3 H23年3月修了
平賀恒介	名古屋大学大学院理学研究科		H21.4~H23.3 H23年3月修了
石田夕加里	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H24.3 H24年3月修了
石原悠	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H24.3 H24年3月修了
稲田博	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H24.3 H24年3月修了
岡田賢明	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H24.3 H24年3月修了
中村有美子	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H24.3 H24年3月修了
内田彩乃	名古屋大学		H23.4~H24.3 H24年3月修了
柴野慎也	名古屋大学		H23.4~H24.3 H24年3月修了
土本達司	名古屋大学		H22.4~H24.3 H24年3月修了
荻野沙也佳	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H25.3 H25年3月修了
久保田貴之	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H25.3 H25年3月修了
倉橋献身	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H25.3 H25年3月修了
成田一貴	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4~H25.3 H25年3月修了

松本悟	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4～H25.3 H25年3月修了
村井嵩文	名古屋大学大学院理学研究科		H22.4～H25.3 H25年3月修了
飯田隼人	名古屋大学		H24.4～H25.3 H25年3月修了

研究項目

- ・ペプチド型ポルフィリンアレイの合成と同定
- ・超分子型ポルフィリンアレイの合成と同定

(2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

○ダブルドット単電子トランジスタの量子情報処理への応用を目指した研究を推進するために、英国ケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所半導体物理グループ**Charles G. Smith教授**との研究室に、CREST期間内に博士課程学生2名を3ヶ月ずつ派遣し、現在、博士研究員を1年間派遣中。これまでに共著の論文は、ACS Nano誌、Appl. Phys. Lett誌、J. Appl. Phys.誌にそれぞれ掲載されている。

○単電子トランジスタのパッシベーションを行い、集積化を図ることを目的として、大阪大学産業科学研究所**松本和彦教授**と共同研究を進めている。Cat-CVD法によるSiN_x薄膜でパッシベーションし、トップゲート電極を蒸着した単電子トランジスタを実現した（Jpn. J. Appl. Phys.誌に印刷中）。

○ヨウ素無電解金メッキにより作製したナノギャップ電極のスイッチ効果に関する共同研究を産総研の**内藤泰久博士**と進めている。ギャップ長が狭いことに起因して低電圧でスイッチ効果が発現することを明らかにした（Appl. Phys. Express誌に掲載）。

○分子共鳴トンネルダイオードに関する共同研究を京都大学理学研究科化学教室の**大須賀篤弘教授**と進めている。分子の軌道間で共鳴トンネル現象が起きていることを明らかにした（J. Am. Chem. Soc.誌に掲載）。

§ 4 研究実施内容及び成果

4.1 サブテーマ名1(東京工業大学 真島グループ)

(1)研究実施内容及び成果

○無電解メッキの自己停止機能のメカニズムの解明とナノギャップ電極作製プロセスの歩留まりの向上

ヨウ素を用いた無電解金メッキ(ヨウ素無電解金メッキ)の本研究にて解明した自己停止反応のメカニズムと96%を達成したナノギャップ電極の歩留まりについて説明する。

ナノギャップ電極は以下の工程により作製した。Si/SiO₂ 基板上に電子線描画装置を用いて初期電極パターンを描画後、電子ビーム蒸着装置によりTi(2 nm) / Au(10 nm)電極を蒸着する。リフトオフ後、フォトリソグラフィ、電子ビーム蒸着装置を用いてTi(2 nm) / Au(100 nm)のコンタクト用電極パッドを形成する。

ヨウ素無電解金メッキの自己停止機能を反応メカニズムは以下のように説明される。ヨードチンキ(Iodine tincture)に金箔を溶かす($2\text{Au} + \text{I}_3^- + \Gamma \rightarrow 2[\text{AuI}_2]^-$)。次に還元剤としてL(+)-ascorbic acid(アスコルビン酸(ビタミンC) $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)を過剰に加えることで、次の3つの反応が起きる。1. ヨウ素の除去と2. 三価のヨウ素イオンの除去:溶液中の金を溶解する三価の残留ヨウ素イオン(I_3^-)を発生させるヨウ素(I_2)を一価のヨウ素イオン(Γ)に還元する($1:2\text{KI} + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{K}^+ + \text{I}_3^- + \Gamma$ と $2:\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + \text{I}_3^- \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 3\Gamma + 2\text{H}^+$)。3. 金の還元(三価から一価へ):三価の金イオン($[\text{AuI}_4]^-$)を一価の金イオン($[\text{AuI}_2]^-$)に還元($3:[\text{AuI}_4]^- + \Gamma \rightarrow [\text{AuI}_2]^- + \text{I}_3^-$)。調整したメッキ溶液を超純水で希釈し、よく洗浄した電極パターンを形成した基板をメッキ液に浸漬する。無電解金メッキ溶液中の還元剤であるアスコルビン酸により基板上的金電極表面がエレクトロニックリッチな状態とし、金電極表面の表面自己触媒反応により Au^+ イオンが還元され Au となることで、金電極表面だけに選択的に金が無電解メッキされナノギャップ電極が形成される($2[\text{AuI}_2]^- \rightarrow 2\text{Au} + \text{I}_3^- + \Gamma$)。無電解メッキが自己停止するメカニズムは、一価の金イオン $[\text{AuI}_2]^-$ とアスコルビン酸の拡散律速により、それぞれの供給が制限されることにより起こる。

図1にヨウ素無電解メッキ前後のナノギャップ電極のSEM像を示す。無電解メッキの自己停止機能により、ギャップ長5nm以下のナノギャップ電極が形成されている。ヨウ素無電解メッキ後のギャップ長のヒストグラムを図2に示す。ヨウ素無電解金メッキの、メッキ時間、電極形状な

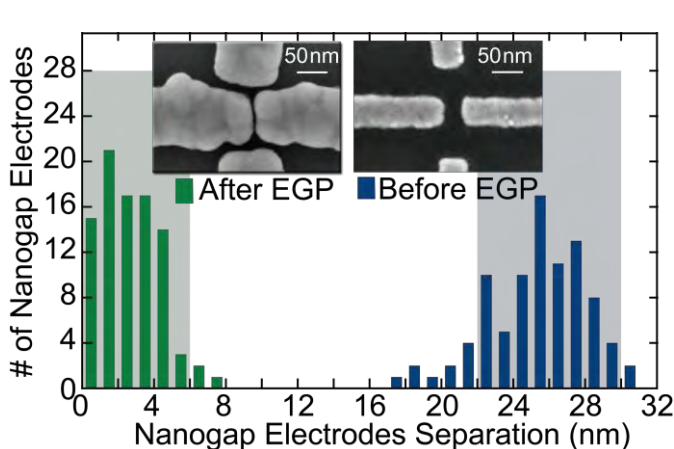


図1 初期電極のギャップ長(青色)とヨウ素無電解メッキ後のギャップ長(緑色)のヒストグラムとSEM像。5nm以下のギャップ長の収率90%

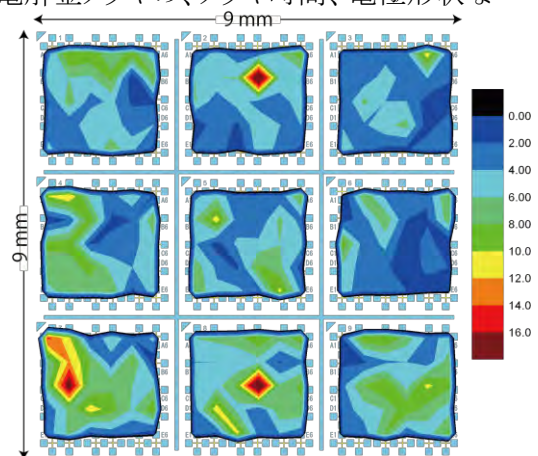


図2 ヨウ素無電解メッキ後のギャップ長の基板上分布(9×9 mm²に270個のナノギャップ)、収率96%

どのプロセスを最適化することにより、平均ギャップ長 3.4nm、標準偏差 1.7 nm のナノギャップ電極を同一基板上に1度に複数作製する技術を確立した。図1においてギャップ長 5 nm 以下のナノギャップ電極の収率は 90% である。これにより、研究項目1の目標である「ギャップ長 5 nm 以下のナノギャップ電極を収率 90%で製造する」を達成した。ヨウ素無電解メッキによるナノギャップ電極は、アルカンチオール SAM で表面を覆うことが可能であり、ジチオール分子を用いた金ナノ粒子の吸着プロセスと、親和性が良い。また、アニールは 170°Cまで形状の変化が起こらないことを確認した。

中間評価後の収率の進展としては、図2のギャップ長の面内分布に示すように、9×9m²の基板における 270 個のナノギャップ電極において、均一な無電解金メッキを実現し、収率 96%を達成した。

○ギャップ長のさらなる精密制御にむけた分子定規無電解メッキ法の開発

ヨウ素無電解金メッキ法により作製したナノギャップ電極では、ギャップ長が 5 nm 以下の収率は、96%を達成しているが、ギャップ長の平均値は 3.4nm、標準偏差は、1.7 nm であり、常温動作単電子トランジスタの想定されるコア粒径 2 nm と比較すると、ギャップ長が大きく、ばらつきも大きい。そこで、ギャップ長のさらなる精密制御にむけて、界面活性剤分子を保護基として用いた分子定規無電解メッキ法 (Molecular Ruler Electroless Plating: MoREP) を新たに開発した。

交互嵌合型分子定規無電解金メッキ (Interdigitation MoREP) (図3)

分子定規無電解メッキに用いるメッキ液は、界面活性剤、塩化金(III)酸水溶液、還元剤、酸の 4 種類からなる。界面活性剤としては、

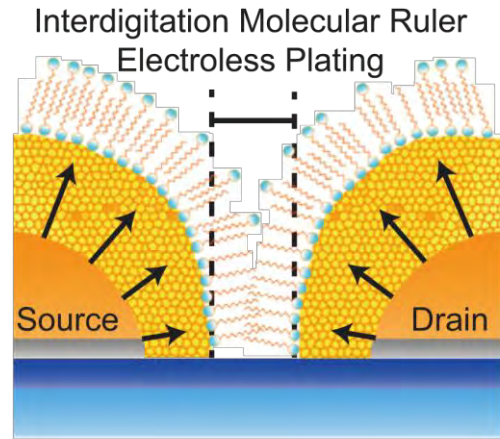


図3 交互嵌合型分子定規無電解金メッキの概念図 (Interdigitation MoREP)

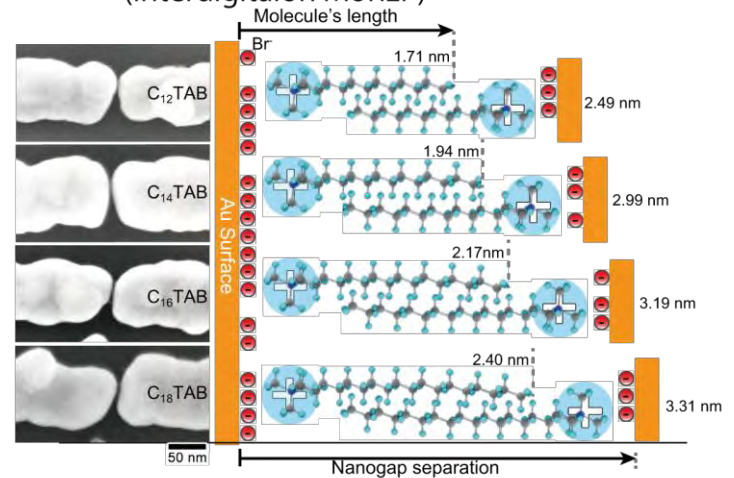


図4 CnTAB を界面活性剤として用いた MoREP により作製したナノギャップ電極の SEM 像と概念図

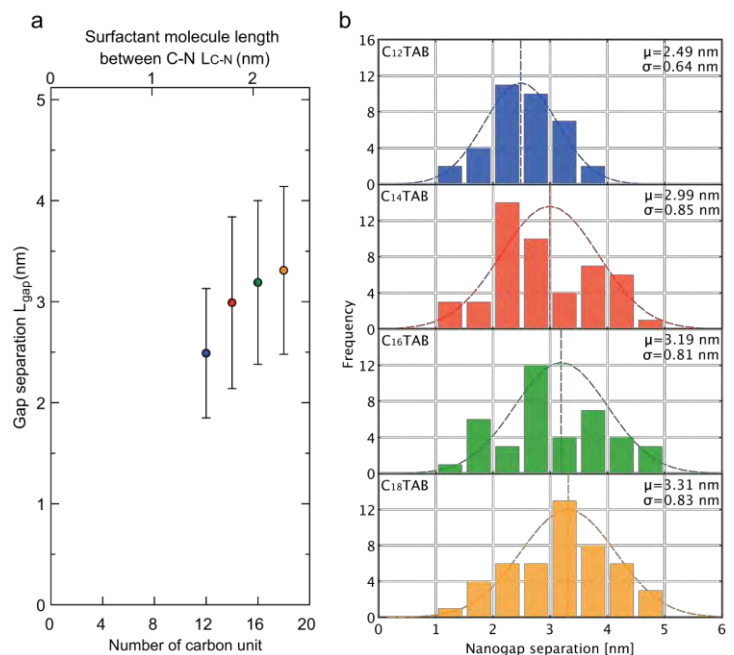


図5 CnTAB-MoREP ナノギャップ電極のギャップ長の炭素鎖依存性 (左) とギャップ長ヒストグラム

Alkyltrimethylammonium Bromide (Cn-TAB)のうち、アルキル鎖長が C12, C14, C16, C18-TAB)をそれぞれ用いた。塩化金酸水溶液はメッキ時の Au イオンの供給源である。Au イオンの還元剤はL(+)-アスコルビン酸を用いた。酸はクラスターの核形成を抑制することを目的としており、ここでは酢酸を用いた。

図4は、分子定規無電解金メッキによるナノギャップ電極のアルキル鎖長依存性を示す SEM 像、図5 (b)は分子定規無電解メッキ法により作製したナノギャップ電極のギャップ長のヒストグラム、図5 (a)は、ギャップ長と炭素数のプロットである。図より、ナノギャップ電極の平均ギャップ長は界面活性剤のアルキル鎖長が長くなると大きくなる。これらの結果は、図3に示すように界面活性剤のアルキル鎖がナノギャップ間を交互嵌合(interdigitation)で埋めることにより無電解メッキが自己停止する交互嵌合分子定規無電解メッキ法(Interdigitation Molecular Ruler Electroless Plating (MoREP))として機能し、平均ギャップ長はアルキル鎖長によってギャップ長を 2.5nm (C12)~3.3 nm (C18)の間で制御できること明らかにした。また、分子定規無電解メッキ法で作製したナノギャップ電極のギャップ長の標準偏差は、0.6~0.8nm 程度であり、ヨウ素無電解メッキ法(標準偏差 1.7nm)の半分までばらつきを低減した。

○ナノギャップ単電子トランジスタの動作実証

ヨウ素無電解金メッキにより作製したナノギャップ電極表面にオクタンチオール/デカンジチオール混合 SAM を形成し、オクタンチオール保護金ナノ粒子の配位子置換により、デカンジチオールのアンカー分子を用いてギャップ間に化学吸着した単電子トランジスタの SEM 像を図9に示す。SEM 像より1つのナノ粒子がギャップ間に導入されている(矢印部分)。この単電子トランジスタのスタビリティダイアグラム(微分コンダクタンスのドレイン電圧、ゲート電圧の二次元プロット)を図9に示す。図より、単一の単電子島に起因する理想的なクーロンダイヤモンドが9Kにおいて観察されている。

単一のナノ粒子に起因する単電子トランジスタの静電容量をクーロンダイヤモンドから見積もり、帯電エネルギー $E_c (=e^2/C_2, C_2$ は、単電子島からみた静電容量の和)の統計を評価したところ、帯電エネルギーのばらつきは、10%程度であり、金ナノ粒子の粒径分散と同じ値になること

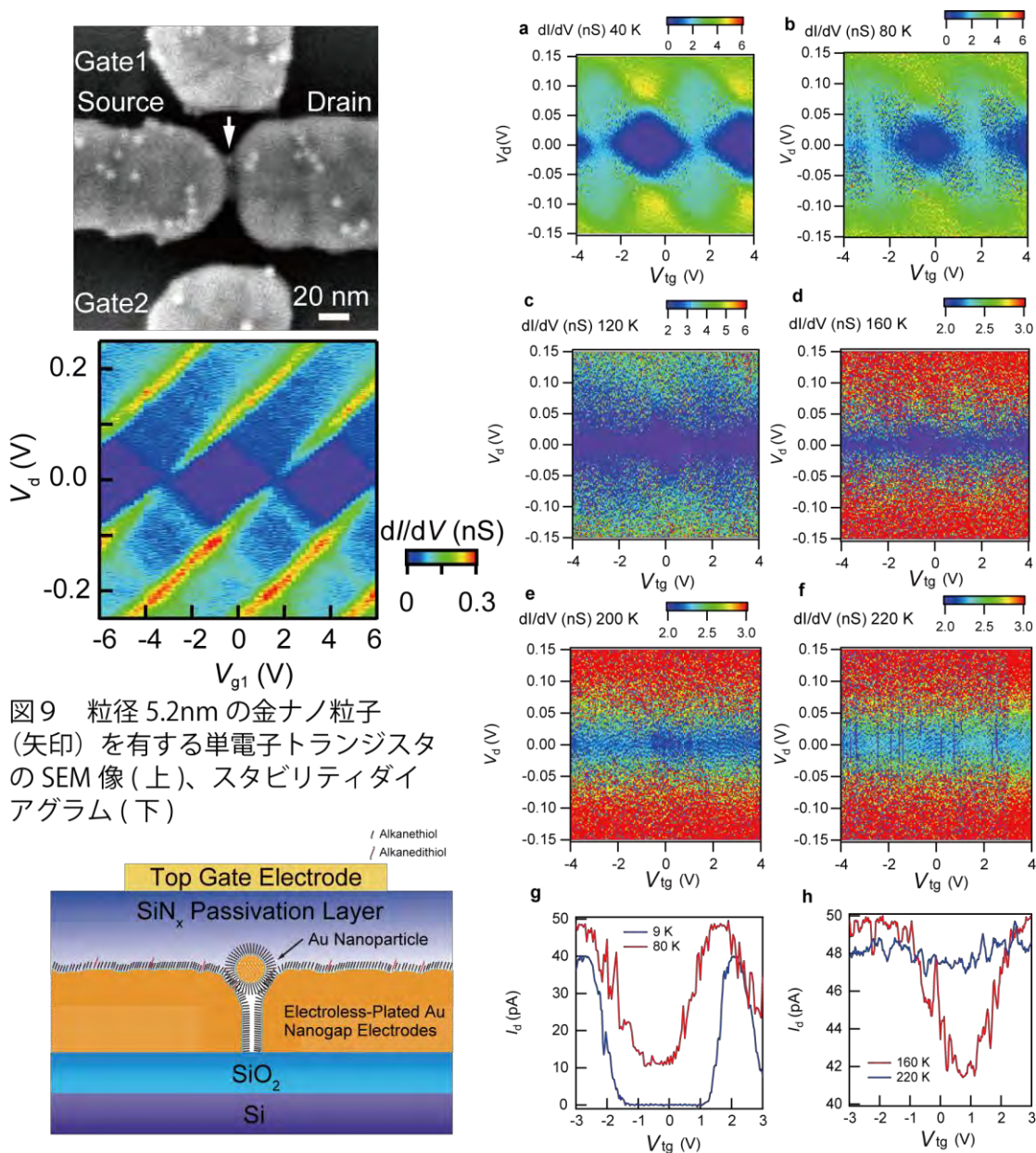


図9 粒径 5.2nm の金ナノ粒子 (矢印) を有する単電子トランジスタの SEM 像 (上)、スタビリティダイアグラム (下)

図10 Cat-CVD 法で SiNx をパッシベーションした単電子トランジスタの断面像 (左) とスタビリティダイアグラム (a-f) とクーロンオシレーション (g-h) の温度依存性 (40-220K)

を明らかにした。常温で単電子トランジスタを動作させるためには、帯電エネルギーが電子の熱エネルギー kT (k はボルツマン定数)の4倍以上あることが必要である。トップダウン手法を用いて作製する単電子トランジスタにおいて、帯電エネルギーを制御することは困難であった。本成果は、ナノ粒子、ナノクラスター、機能性分子を用いた単電子トランジスタでは、本質的に粒径分散を抑えることができるため、帯電エネルギーを制御できることを示唆している。

○単電子トランジスタのパッシベーション

常温で単電子トランジスタを動作させ、回路を構築するためには、単電子島に対するゲート容量を大きくするためにトップゲート電極を配置し、配線を構築することを可能とするパッシベーションを行うことが必要となる。本研究では触媒化学気相成長法 (Cat-CVD) による SiN_x 薄膜の低温成長 (大阪大学産業科学研究所松本和彦教授との共同研究) とパルスレーザー蒸着法 (PLD) による Al_2O_3 薄膜 (東京工業大学応用セラミックス研究所須崎友文准教授との共同研究) の2つの絶縁性パッシベーション膜を導入した。

SiN_x でパッシベートしたトップゲート電極を有する単電子トランジスタの断面図を図10 (前ページ) に示す。トップゲート電極によるゲート容量は、サイドゲート容量と比較して17倍増大し、明瞭なクーロンダイヤモンドが確認された。単電子トランジスタの最も重要な特性である、クーロンダイヤモンドとクーロンオシレーションは、220K まで観察することができた (図10)。

Al_2O_3 でパッシベートしたトップゲート単電子トランジスタ特性については、3入力単電子トランジスタ論理演算動作の項で述べる。

○Au ナノ粒子におけるクーロンステアケースの室温観察

室温で単電子トランジスタを動作させるためには、帯電エネルギーが室温の熱エネルギー (25.8 meV) よりも4倍以上大きいことが必要である。コア粒径が2nmのナノ粒子は、10倍程度の帯電エネルギーが得られることが予想される。そこで、粒径が2nm以下の単一Auナノ粒子の室温における電気特性評価を走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いて行い、ナノギャップ電極を用いて室温動作単電子トランジスタの特性を測定した。

コア粒径1.8nmの塩基性有機分子に保護されたAuナノ粒子を、酸性の自己組織化単分子膜 (SAM) を展開したAu(111)基板上に酸塩基相互作用により化学吸着させた。単一のAuナノ粒子を、STMを用いて観察し、走査トンネル分光 (STS) 測定を行い、室温でクーロンステアケースを観察した (図11)。クーロンステアケースは複数の単一粒子において観察され、Orthodox theory から見積もられるAuナノ粒子の帯電エネルギーは、平均で室温の熱エネルギーの10倍以上の値であった。この結果により、コア粒径が1.8nm以下のAuナノ粒子

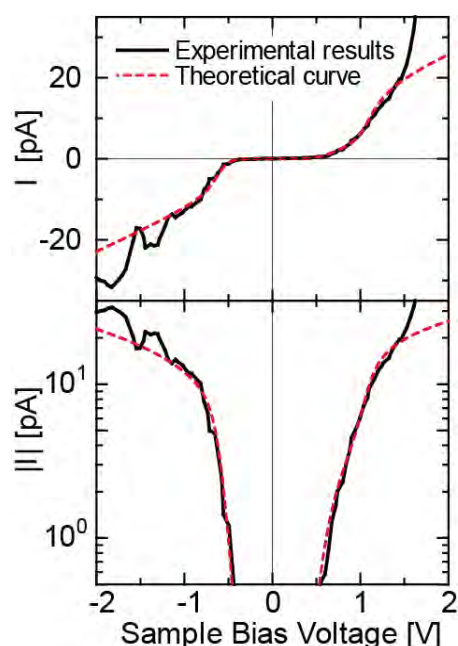


図11 STMを用いた単一Auナノ粒子の室温クーロンステアケース

は、室温で動作する SET の単電子島として利用できることを明らかにした。さらに、Orthodox theory による理論フィッティングにより、Au ナノ粒子と Au(111)基板間のトンネル抵抗値が $3.5 \text{ G}\Omega \pm 15 \%$ に制御できることを明らかにした。この結果は、化学吸着した SET ではトンネル抵抗を制御することも可能であることを示している。

○単電子トランジスタの常温動作

コア粒径 1.2 nm のデカンチオール分子保護金ナノ粒子を、ヨウ素無電解金メッキによるナノギャップ電極間に、デカンジチオールをアンカー分子として、金ナノ粒子をギャップ間に化学吸着させ、触媒化学気相成長法(Cat-CVD)を用いて Si_3N_4 保護膜で単電子トランジスタ表面を覆い、電子ビーム描画法の重ね露光によりトップゲート電極をナノギャップ電極上に作製したトップゲート単電子トランジスタを作製した。

9K におけるクーロンダイヤモンド特性より、コア粒径 1.2 nm の単一金ナノ粒子の単電子トランジスタが形成されており、その帯電エネルギーは、350 meV であった。図12に常温で測定したクーロンステアケースと、トップゲート電極からのゲート変調によるクーロンオシレーションを示す。常温の電子の熱エネルギー kT と比較して帯電エネルギーは13倍大きいので、この単電子トランジスタは、常温で安定に動作していることが分かる。

○金ナノ粒子の量子化準位評価

SET の素子構造の把握は、単電子島とナノギャップ電極の相対的な位置を知り、SET の精密な構造設計のために重要である。また、2 nm 以下の Au ナノ粒子を単電子島として用いる場合、Au ナノ粒子の平均の量子化準位間隔が、室温の熱エネルギーより十分に大きくなるため、その量子化準位の影響が SET 特性に現れることが予想される。そこで、作製した SET を極低温下で測定することにより、SET の構造評価と、化学合成した Au ナノ粒子の量子化準位の評価を行った。

無電解金メッキ法により作製した Au ナノギャップ電極にオクタンチオール/デカンジチオール混合 SAM を展開し、コア粒径 6.2 nm のデカンチオール保護金ナノ粒子を配位子置換により化学吸着させた。作製した素子を、共同研究を行っているケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所に郵送し、クライオスタットを用いて 300 mK で測定した。その結果、2つのゲート電極をそれぞれ用いた2つのクーロンダイヤモンド特性から、作製された単電子トランジスタが2つの単電子島と1つの単電子箱から構成されることを明らかにした(図13(a))。これは、化学的に組み立てた単電子トランジスタが理想的なクーロンダイヤモンド特性を示すことに起因して、単電子トランジスタの精密な構造決定が可能であることを示している。

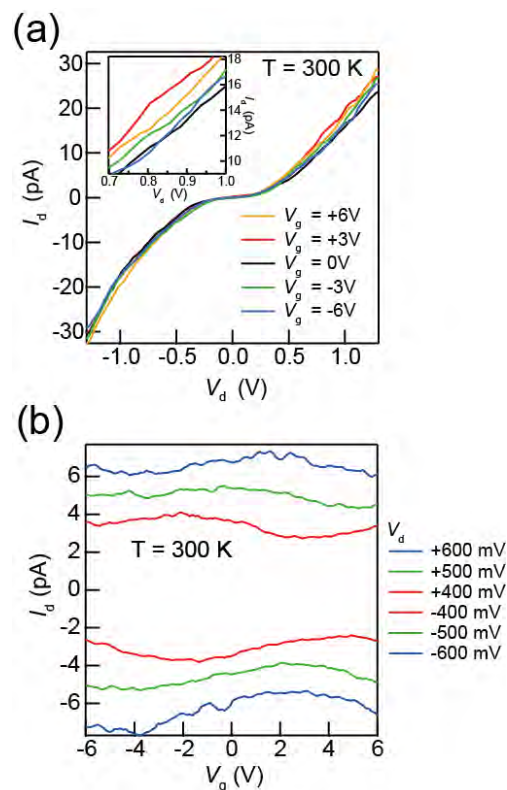


図12 常温動作 SET 特性
(a)クーロンステアケース
(b)クーロンオシレーション

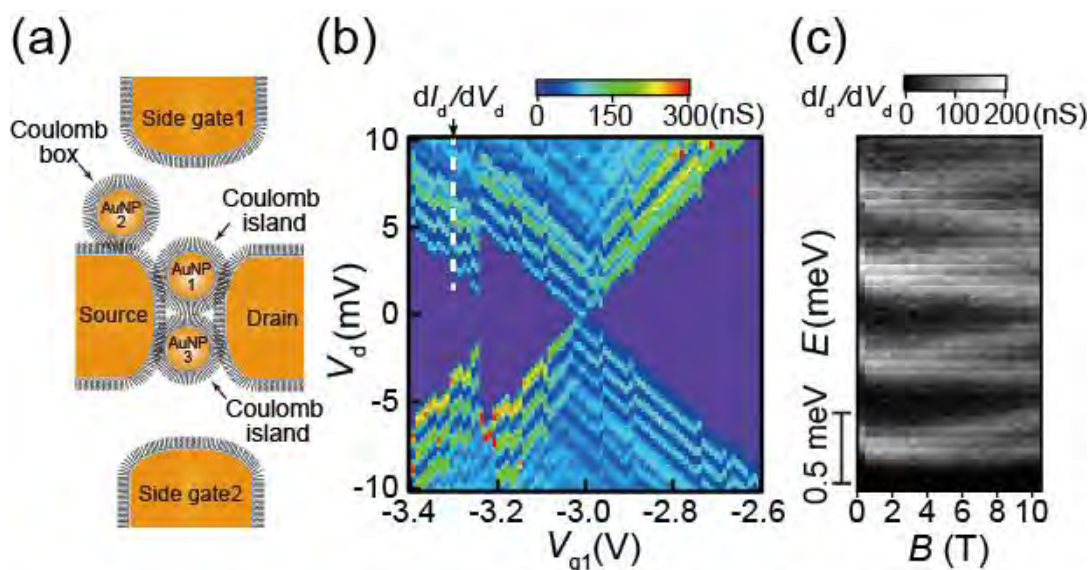


図13 (a) 作製した SET の模式図、(b) クーロンダイヤモンド特性、(c) 量子化準位のゼーマン分裂

クーロンダイヤモンドの境界線に沿って、 V_d 方向に金ナノ粒子の量子化準位を介した共鳴トンネル効果に起因する、微分コンダクタンスピークを観察した(図13(b))。これらの量子化準位は磁場を印加することにより、電子のスピンの縮退が解けてゼーマン分裂を示す(図13(c))。得られた量子化準位の平均準位間隔(0.73 meV)は、金ナノ粒子のコア粒径から求められる理論値と比較して妥当であった。したがって、得られた微分コンダクタンスピークの間隔から、単電子島として働く金ナノ粒子のコア粒径を推定することも可能である。金ナノ粒子の量子化準位が観察されたことから、今後、ダイマー金ナノ粒子を用いて 2 重量子ドットを作製し、それを量子ビットとして使い量子計算を行う量子情報分野への展開を進める。

○単電子トランジスタを用いた論理演算回路

単電子トランジスタは、単電子島のオフセット電荷をゲート電圧により変化させて動作する。複数のゲート電極が存在すると、オフセット電荷の変化は足し合わせになるので、1つの単電子トランジスタで論理回路を構築することができる。図14(左)は2つゲート電極が有効に機能する単電子トランジスタの SEM 画像である。上下に2つのゲート電極があり、ギャップ間に1つの金ナノ粒子が存在している。図14(中)は、2次元出力特性である。紫色の部分に電流がゼロ

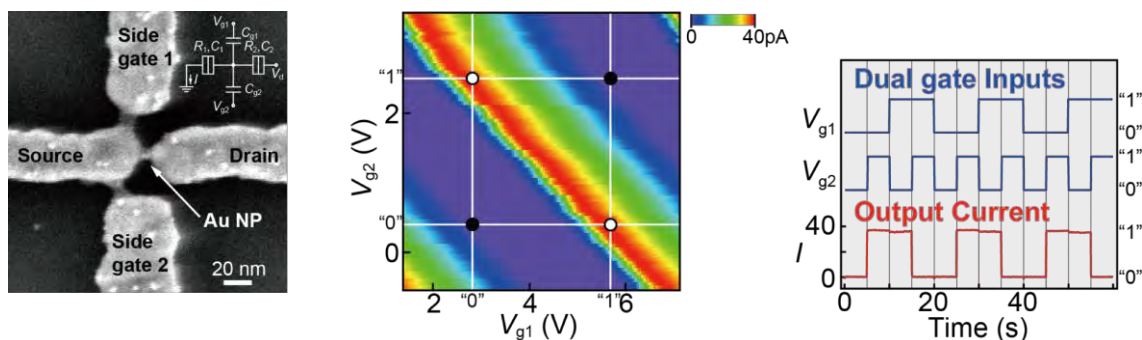


図14 上下に存在する2つのサイドゲート電極が有効に機能する単電子トランジスタの SEM 写真(左)、 V_{g1} , V_{g2} 電圧に対する二次元出力特性、パルス電圧出力応答(排他的論理和動作)

ロで、赤色の部分で電流が最大となる。2つのゲート電圧の 0 と 1 のレベルを図中の○印と●印で表される電圧とすると、図14(右)に示したようにパルス電圧を入力した際に排他的論理和の回路動作が1つの単電子トランジスタで実現する。この内容は、Nature Nanotechnology の Research Highlights で紹介された。

○ポルフィリン誘導体の室温単分子メモリ効果の発見および固体基板単分子メモリ素子

ポルフィリン面が金電極と平行に配置するように設計された4つのチオール基を有するポルフィリン誘導体は、単体で分子素子として機能することが期待される。そこで、この分子単体の電気特性を室温 STM で評価し、その特性を応用した室温単分子メモリ素子の作製を行った。

図16(a)に構造式を示したポルフィリン誘導体分子を Au(111)基板上に化学吸着させ、STM を用いて単一分子に STS 測定を行った。図16(b)に測定の模式図を示す。その結果、このポルフィリン誘導体分子に、印加するパルス電圧によりコンダクタンスが変化するメモリ効果が室温で現れることを見出した(図16(c))。この単一分子メモリ効果は、分子に対するオフセットチャージが電圧挿引により変化することによるクーロンブロッケード現象の変調に起因していると考えられる。今回の単分子メモリ効果のオンオフ比($I_{on}/I_{off}=2.9$)は、過去の低温 STM を用いた単分子メモリ効果の報告例と同程度であった。単分子メモリ素子の構築という観点において、常温での単分子メモリ効果の発見は重要である。この内容は、Applied Physics Letter 誌の cover image に採用されている。

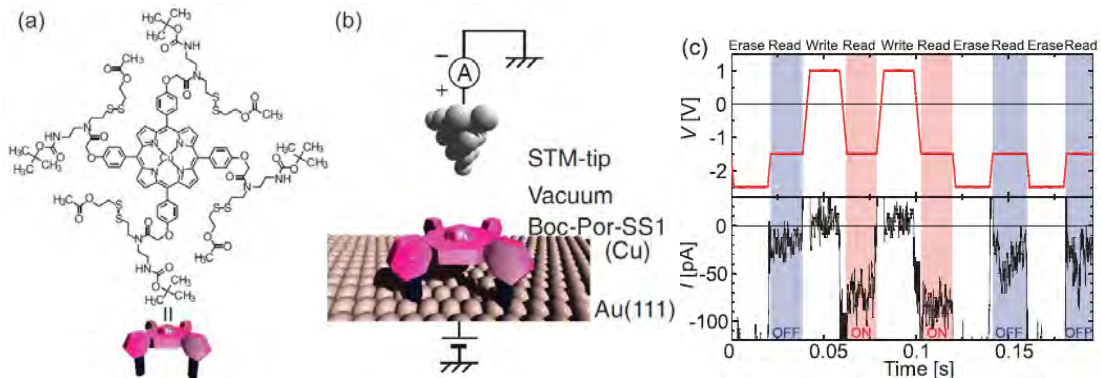


図16 (a) ポルフィリン誘導体分子、(b) STM による測定模式図、(c) STM を用いた常温単分子メモリ効果

次に、このポルフィリン分子を金ナノギャップ電極に導入し、固体基板上で室温単分子メモリを作製した。ナノギャップ電極は分子定規無電解メッキ法を用いて作製した。図17(a)に素子の模式図を示した。図17(b)に固体基板上における室温単分子メモリ動作を示した。STM で観察された室温単分子メモリ効果が、ナノギャップ電極を用いた固体基板上でも現れている。これは、固体基板上での室温単分子メモリの作製が達成されたことを示しており、同時に無電解金メッキした金ナノギャップ電極が分子素子の電極として利用できることを示した。

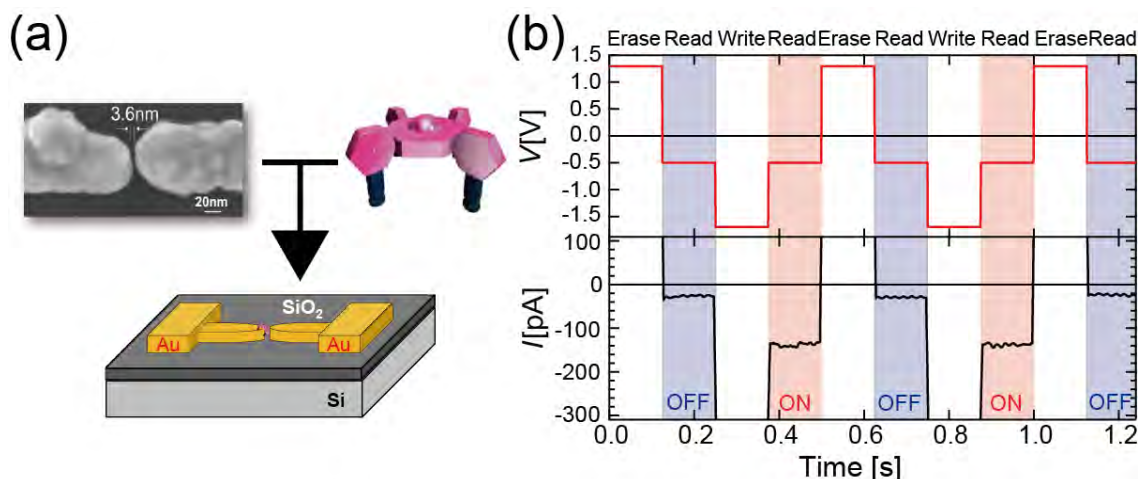


図17 (a) 固体基板上分子メモリの模式図、(b) 固体基板上における室温単分子メモリ効果

○分子共鳴トンネルダイオード

三角形構造のコンパクトな π 共役系分子であるサブポルフィリンは、最高非占有軌道(HOMO)とHOMO-1のそれぞれのエネルギー準位が孤立している。図18にHOMOとHOMO-1の2つの軌道に対応した2つの負性微分抵抗現象が観察されている。STMを用いて、STM探針に分子が付着していない状態と付着している状態を判別し、基板上的分子からSTM探針に付着している分子へのトンネル過程が分子間共鳴トンネル現象により説明できることを明らかにした。今後は、分子間共鳴トンネルダイオードを発振器などへ応用することを検討する。

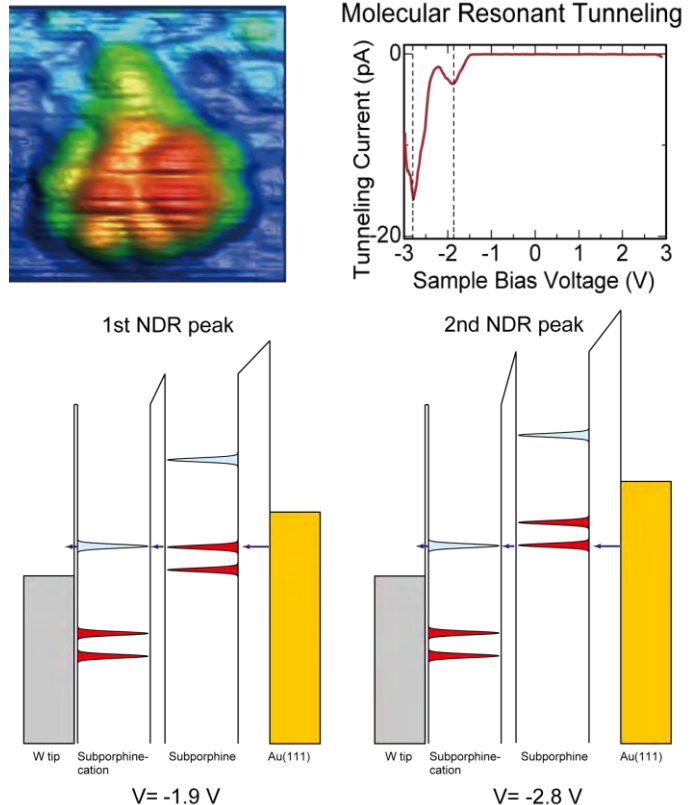


図18 サブポルフィリンのSTM像(左上)、分子から分子へのトンネル現象において、2つの負性微分抵抗現象を観察(右上)、第1の電流ピーク(左下)と第2の電流ピーク(右下)に相当するエネルギー図(水色はLUMO, 赤色はHOMO, HOMO-1)

○ナノギャップ電極メモリ

SEM観察によるギャップ長の見積もりが2nm以下の無電解金メッキにより作製したナノギャップ電極において、図19に示すような負性微分抵抗を含むメモリ特性を発見した。このメモリ特性は、電圧軸に対して非対称で極性が存在することが特徴であり、 -40°C から 120°C の温度範囲で動作する。また大気中でも同様に動作する。パルス電圧入力時の繰り返しメモリ特性は非常に安定で、 120°C における繰り返し耐性も良好である。ヨウ素無電解金メッキと分子定規無電解金メッキの双方で作製したナノギャップ電極で、このメモリ特性は確認されている。

我々のナノギャップ電極は、産総研で報告されているナノギャップスイッチとしても動作することを、産総研との共同研究の成果として報告している。産総研のナノギャップスイッチは、電圧軸に対して対称であり、On/Off特性も異なることから、図19のメモリ特性は異なるメカニズムに起因していると考えられるため、このメモリ特性は、オリジナルな現象の発見であると認識している。On/Off比は現在10程度であるので、これを向上させることを今後目指す。

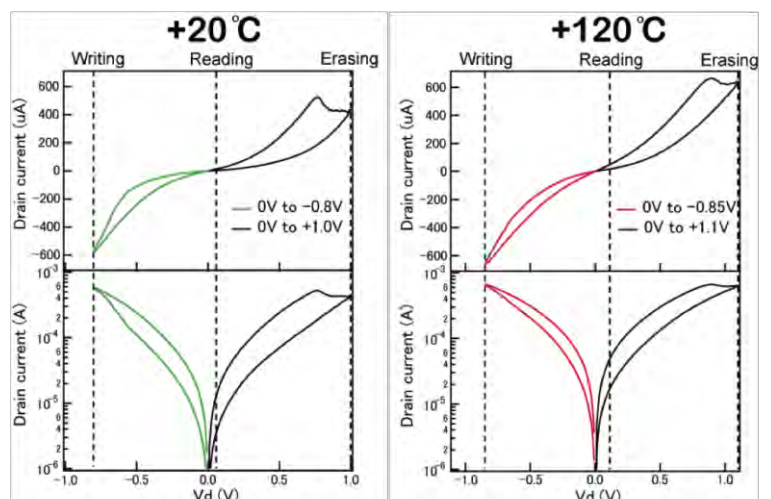


図19 無電解金メッキにより作製したナノギャップ電極の負性微分抵抗を含む電流-電圧特性(左:常温, 右: 120°C)

4. 2 新規 π 共役配位子保護 Au クラスターの合成 (京都大学 寺西グループ)

(1)研究実施内容及び成果

《実施方法・実施内容・成果に加え、成果の位置づけや類似研究との比較をまとめてください。》

○ 多座配位型大環状 π 共役配位子の合成

室温単電子トンネルを実現する条件の一つが、電極-単電子島 (Au クラスター) 間のトンネル抵抗の低減である。また、Au クラスターを金電極間に選択的に集積するためには、Au クラスターの保護分子と電極表面に自己組織化した有機小分子との化学結合 (錯形成) を利用することが望ましい。そこで、Au クラスターの低抵抗有機配位子として、 π 電子雲が金クラスター表面に平行に近接する多座配位型大環状 π 共役分子の合成を行った。具体的には、アセチルチオ基をフェニル基の 2 位に種々のメチレン基数 ($n = 0 \sim 2$) で連結したテトラフェニルポルフィリン (SC_nP 、図 20) を合成し、

クロマトグラフィーにより配位性元素 (S) が全て同方向を向いた $\alpha,\alpha,\alpha,\alpha$ 異性体のみ分取した。 SC_1P および SC_2P は単結晶 X 線構造解析により構造を明らかにした (図 2 a,b)。 SC_0P および SC_1P は、ポルフィリン環がわずかに歪んでいたが (SC_0P の構造は DFT 計算 (B3LYP/6-31G) から予測)、 SC_2P のポルフィリン環は完全に平面であり、四つの硫黄原子は同一平面上に存在することが分かった。ポルフィリン環-硫黄原子距離は、

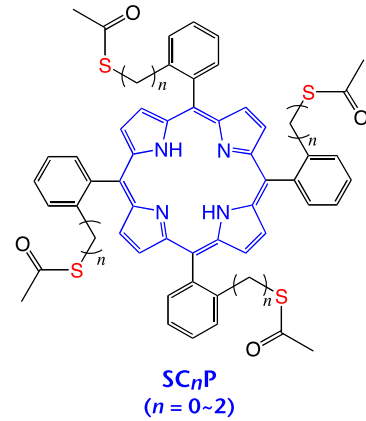


図 20. (a) ポルフィリン誘導体 SC_nP の化学構造

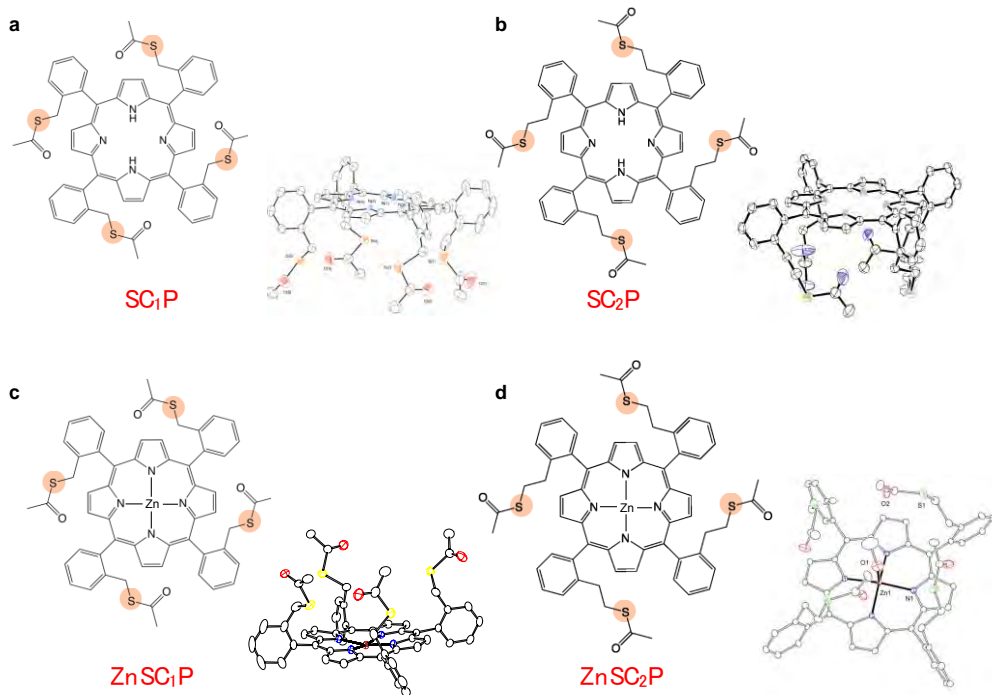


図 21. (a) SC_1P 、(b) SC_2P 、(c) $ZnSC_1P$ 、(d) $ZnSC_2P$ の化学構造と ORTEP 図

~2.6 Å (SC_0P)、~3.4 Å (SC_1P)、4.85 Å (SC_2P) であり、ポルフィリン-金クラスター表面間距離をオングストロームオーダーで制御できると期待される。また、 SC_nP ($n = 1,2$) を酢酸亜鉛と反応させることにより、軸配位性金属イオンである Zn^{2+} をポルフィリン環に導入した $ZnSC_nP$ の合成にも成功した (図 21c,d)。

○ SC_nP 保護 Au クラスターの合成と光学特性

室温単電子トンネルを実現するためには、トンネル抵抗低減の他に大きな帯電エネルギーを有する単電子島の利用が挙げられる。Au クラスターを単電子島として用いる場合、粒径 2 nm 以下のクラスターで、室温の熱エネルギーの 10 倍程度の帯電エネルギーとなる。そこで、 SC_nP ならびに $ZnSC_nP$ を配位子として微細 Au クラスターの合成を行った。まず、 SC_nP 配位子存在下、ジクロロメタン/メタノール混合溶媒中で、 Au^{3+} イオンの低温 (200 K) 直接還元により、 SC_nP 保護 Au (SC_nP-Au) クラスターを合成した。生成物は数種類の Au クラスターの混合物であり、GPC でこれら混合物を単離することができ、粒径 2 nm 以下の微細で単分散なクラスターを得ることができた。図 22 に、 SC_nP-Au クラスターの透過型電子顕微鏡 (TEM) 像を示す。 SC_0P では、Au 原子に結合する硫黄原子がフェニル機に直接結合しているため柔軟性に乏しく、2 nm の Au クラスターしか得られなかった。すなわち、 SC_0P で表面保護可能なクラスターの曲率が 2 nm 程度であることを意味している。一方、 SC_1P および SC_2P では極めて微細で単分散な Au クラスター (SC_1P-Au : 1.0 ± 0.2 nm、 SC_2P-Au : 1.1 ± 0.2 nm) が得られた。質量分析およ

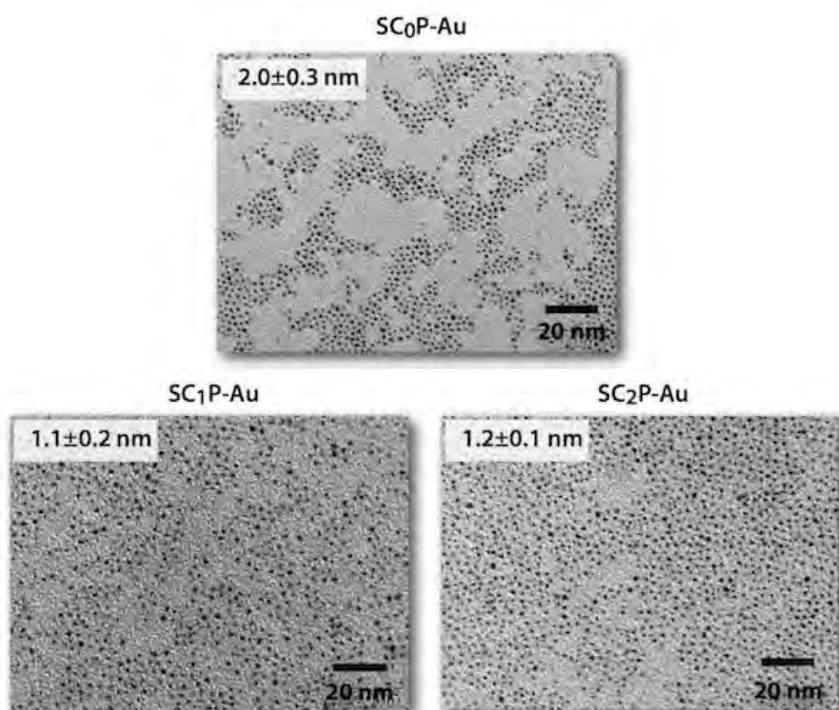


図 22. SC_nP-Au クラスターの TEM 像

び元素分析の結果、Au クラスタが 65 個程度の Au 原子からなり、6 個のポルフィリン誘導体で保護されていることが示唆された。さらに、SC₁P-Au クラスタの STM 測定では、いずれのクラスタも 2.2 nm の高さを有していることが分かった。この値は Au クラスタコア粒径 (1.0 nm) と SC₁P 二分子の厚さ (0.6 nm × 2) を足し合わせたものとよい一致を示しており、6

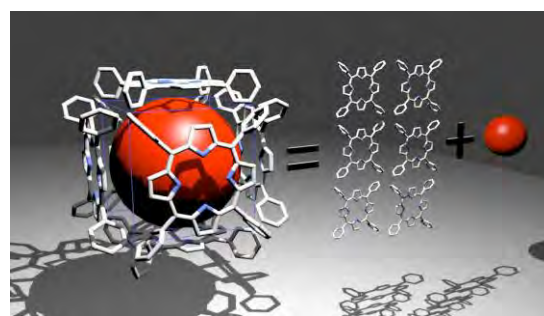


図 23. ポルフィリン誘導体 6 分子と Au クラスタからなるプラトン立方体

個の SC₁P 分子が Au クラスタに平面配位し正六面体構造をとっていることを示している (図 23)。最終的に得られた各 Au クラスタの組成は、Au₃₀₉(SC₀P)₁₄、Au₆₅(SC₁P)₆、Au₆₆(SC₂P)₆ となった。Zn²⁺イオンを導入した ZnSC_nP を用いた場合も同様な結果が得られた。

次に、ポルフィリン π 軌道-Au 軌道間相互作用を検討するために、UV-Vis-NIR 吸収スペクトル測定を行った。図 24 に示すように、ポルフィリン環-Au クラスタ間距離が近くなるほどポルフィリン Soret 帯吸光度が長波長シフトするとともに小さくなり、ポルフィリン誘導体の電子構造が変調されていることが分かる。このポルフィリン π 軌道-Au 軌道間相互作用による電子構造変調は、ポルフィリン環-Au クラスタ間距離に大きく依存することが明らかとなった。

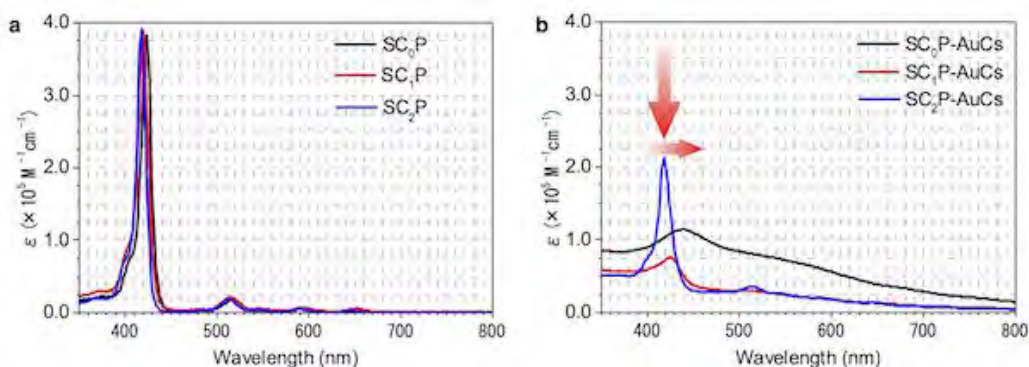


図 24. (a) SC_nP および (b) SC_nP-Au クラスタの UV-Vis-NIR スペクト

○ ZnSC_nP-Au クラスタの配位定数の決定

単電子島となる微細 Au クラスタをナノギャップ電極間に選択集積させるため、単座配位子 **1** (図 25) を合成し、1.3 nm ZnSC₁P-Au クラスタの配位定数の決定を行った。その結果、配位子 **1** と ZnSC₁P-Au クラスタは逐次平衡状態にあり、第一・第二平衡の配位定数は ZnSC₁P の配位定数と同程度 ($\sim 10^3 \text{ M}^{-1}$) であることが分かった。Au クラ

スターを局在表面プラズモンによる輻射圧等で電極間に濃縮すれば、ナノギャップ間への Au クラスターの選択集積が可能であると考えられる。また、二座軸配位子を同時に用いることにより、Au クラスター集積体が形成されることが明らかとなった。

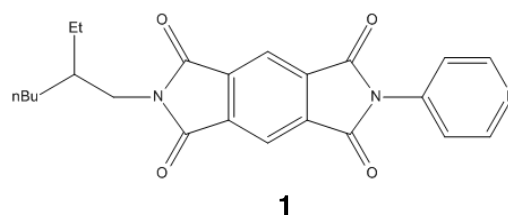


図 25. 軸配位子 **1** の化学構

○ その他の有機配位子で保護された Au クラスター・ナノ粒子

Au クラスターを保護する金属ポルフィリンと電極上の軸配位子との錯形成反応以外で、Au クラスター・ナノ粒子をナノギャップ電極に化学的に集積させる他の手法として、アセチルチオ基およびスルファニル基を両末端に有する有機配位子を合成し、Au₂₅ クラスターおよび 2.7±0.2 nm Au ナノ粒子に一部導入した。その結果、Au クラスター・ナノ粒子が効率よく Au ナノギャップ電極間に集積されることが分かった。

次に、新規低トンネル抵抗有機分子として一連のオリゴフェニレンエチニレン (OPE; 図 26) を合成し、Au ナノ粒子の配位子として用いた。その結果、OPE 分子のスルファニル基間距離が Au ナノ粒子の粒径を規定するとともに、OPE 分子添加量により Au ナノ粒子表面での OPE 分子の配向を制御できることを明らかにした。OPE 分子が垂直配向した Au ナノ粒子は、ナノギャップ電極間へ容易に集積されると期待できる。

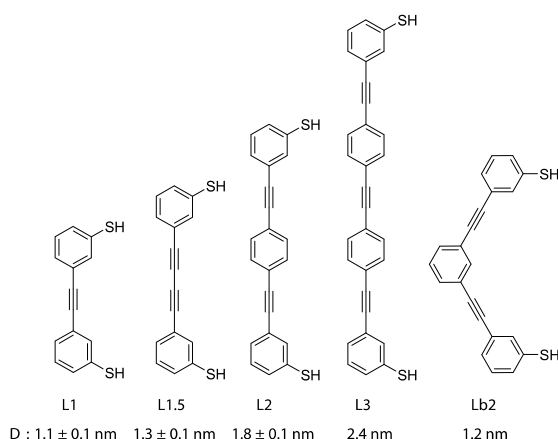


図26. 合成した一連のOPE分子とスルファニル基間距離D

○ 情報処理速度の高速化を目指したプラズモン導波路の作製

将来の情報処理速度の高速化を目指し、光の回折限界以下で光エネルギーの伝搬が可能となるプラズモン導波路の作製について検討した。界面活性剤存在下、二段 seed-mediated 成長法により 169±7.0 nm の正六面体 Au ナノ粒子を合成し、ナノマニピュレーターにより粒子間隔が精密に制御された Au ナノ粒子一次元鎖を作製した。Au ナノ粒子一次元鎖のプラズモン伝搬をエバネッセント場にて測定したところ、dark mode を利用した低損失プラズモン伝搬を実証することに成功した (図 27)。

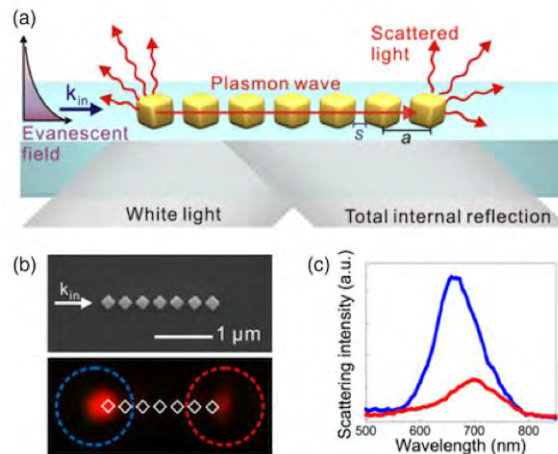


図27. (a) 大気下での光散乱測定に用いた装置図、(b) 頂点間距離 70 ± 5 nm で配置した7個の 169 ± 7.0 nm正六面体Auナノ粒子一次元鎖のFE-SEM像とエバネッセント場プラズモン結合条件下での共鳴散乱シグナル、(c) 一次元鎖両端の散乱スペクトル(図bの散乱に対応)

寺西グループの成果の位置づけや類似研究との比較

100 個以下の原子からなる Au クラスターの合成に関しては米国を中心に研究が精力的に行われており、いくつかの魔法数 Au クラスター (Au₂₅、Au₃₈ など) が合成・単離されている。しかし、一定数の大環状 π 共役分子で Au クラスターを安定化することにより、等方的な Au クラスターに異方性結合部位を付与するとともに、 π 軌道-Au 軌道間相互作用による電子構造変調を実証した点は世界で初めてである。

4. 3 超分子型ポルフィリンアレイの合成と同定 (名古屋大学 田中グループ)

(1)研究実施内容及び成果

○ ペプチド型金属錯体分子組織の合成

分子レベルでの素子機能の集積化には、精密に空間配置を制御しながら多種・多数の分子を思い通りに組織化し、分子間コミュニケーションを自在に生み出すことが必要である。ペプチドの逐次合成法は、ビルディングブロックとなるアミノ酸を逐次的に縮合していくため、ディスクリートな一次元分子鎖内に望み通りに機能性分子ユニットを効率

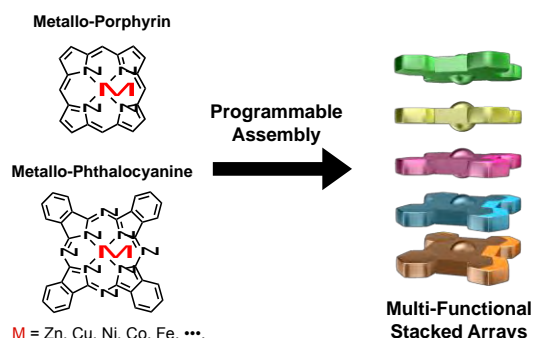


図 28 ポルフィリンやフタロシアニンの一次元組織化

よくプログラム配列する合成法として有用である。我々は、機能性分子ユニットとして、安定な酸化還元性、化学修飾による酸化還元電位の多様性の観点からポルフィリンやフタロシアニンを選び、その一次元組織化による分子素子構築を考えた(図 28)。向かい合うメソ位にアミノ酸ユニットを2つ導入した(アミノ酸)-(ポルフィリン)-(アミノ酸)型の分子をビルディングブロックとし、アミノ酸部分を逐次的に重合することで、2本のペプチド鎖をポルフィリンで梯子上に架橋したオリゴマーを合成した。この梯子形オリゴマー内では、中心のポルフィリンが一次元状にスタックして配列していると考えられる。

2つの人工ペプチド鎖をポルフィリンのスタッキングアレイが架橋した構造をもつラダー型の構造を持つため、ペプチド鎖の中央にポルフィリン環が整列し、ポルフィリン同士の相対的空間配置が明確である。事実、NMR測定や吸収スペクトル測定から、H会合型のスタッキングアレイが構築されたことが明らかとなった。また、ポルフィリン環同士は互いに強く電子的にカップリングしていることが、電気化学測定により明らかになった。この合成法は、様々な金属ポルフィリンを配列化することに用いることができ、実際に Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pd^{2+} , Zn^{2+} といった金属イオンがプログラム通りに配列化可能であることを示した(図 29)

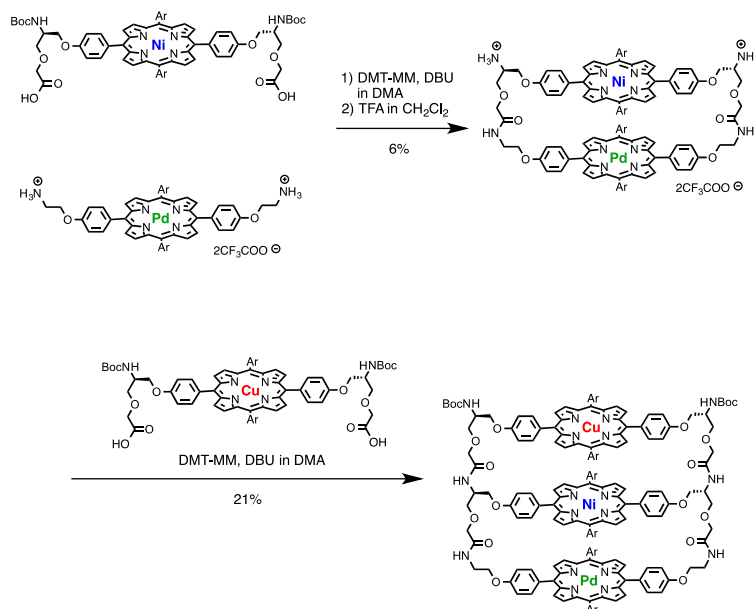


図 29 ラダー型ペプチド二重鎖内での金属イオンの精密配列化

○ ロタキサン型金属錯体分子組織の合成

環状分子を軸状分子が貫通したメカニカルな結合構造を持つロタキサンは、共有結合により構築される構造体に比べて分子の自由度が高いため、新しい素子・素材への応用が期待される分子群である。ロタキサン形成反応を利用して、ポルフィリンやフタロシアニンを一次元にスタッキングさせながらプログラム通りに配列化できれば、熱、pH、酸化還元などの外部刺激に応答して可逆的に分子機能のスイッチングが可能なスタッキング型分子ワイヤーを精密に構築につながる。我々は、ジアルキルアンモニウムとクラウンエーテルとの間のロタキサン形成反応を利用して、4本の

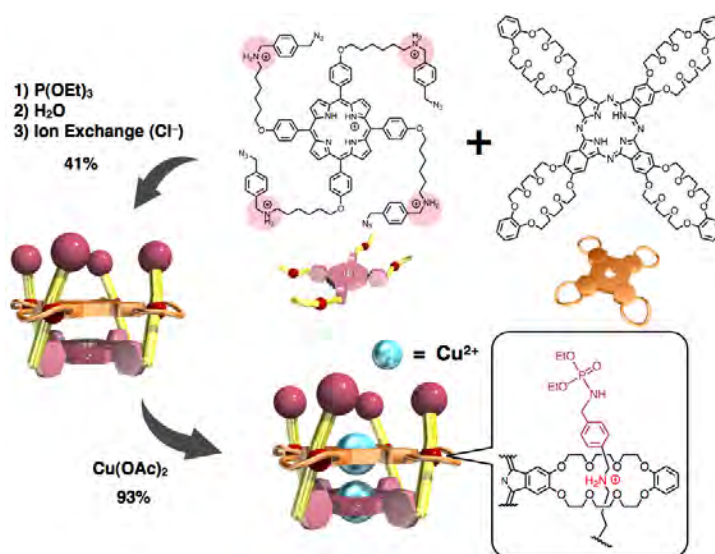


図 30 4重ロタキサン型ポルフィリン-フタロシアニン2量体の合成

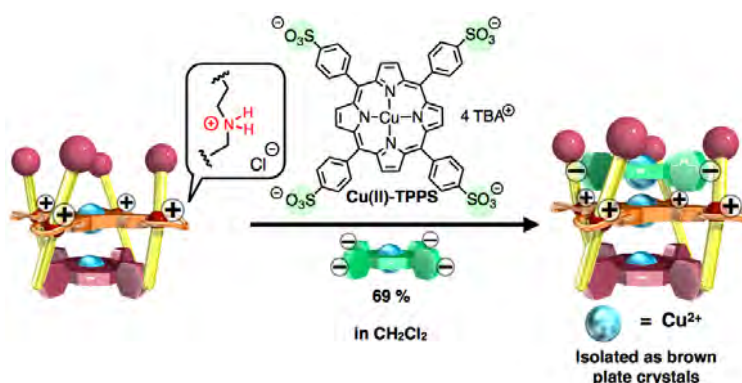


図 31 金属錯体の3重ヘテロスタッキング会合体の合成

側鎖をもつポルフィリン上に4つのクラウンエーテルユニットをもつフタロシアニンを集積化させることで、4重ロタキサン型ポルフィリン-フタロシアニンヘテロ二量体が収率よく合成できることを見出した(図30)。この4重ロタキサン型スタッキングアレイ内には、異なる2種類の金属イオンの組織化も可能である。また、4重ロタキサン型ポルフィリン-フタロシアニンスタッキング分子は、側鎖に4つのアンモニウムカチオンを持つため、4つのスルホニルアニオンを持つポルフィリンと、スタッキング相互作用と静電的相互作用を介して、1:1会合体を形成することがわかった。単結晶構造解析からも、3種類の異なる大きな π システムが積層している構造が明らかとなった(図31)。

ロタキサン型スタッキングアレイの柔軟な構造に基づく物性チューニングについての一例を紹介する。4重ロタキサン構造は、2級アンモニウム塩とクラウンエーテル環酸素原子の非共有電子対との相互作用で安定化しているため、アンモニウム塩を中和することにより、

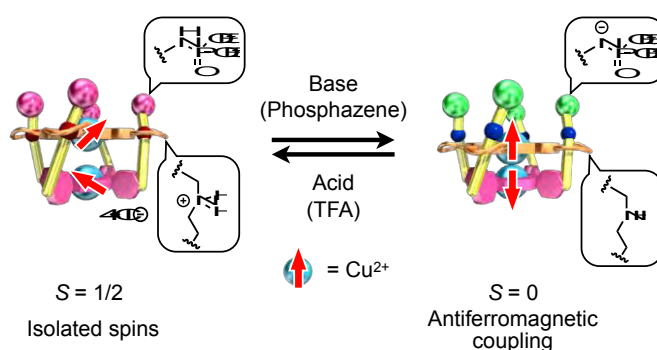
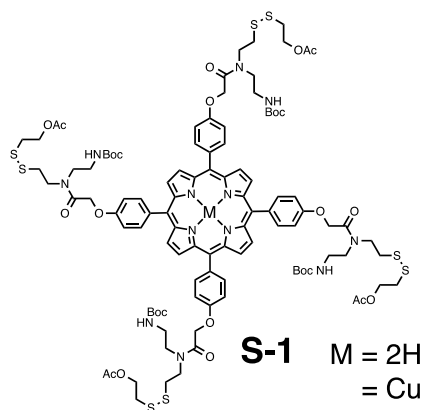


図 32 スピン間相互作用スイッチング

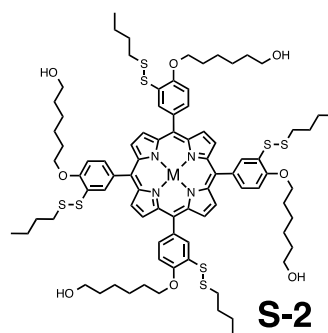
、ポルフィリンとフタロシアニンの相互作用を変換することが可能である (図 32)。Cu²⁺二核錯体における Cu²⁺間のスピン-スピン相互作用は、塩基の添加で大きく変化した。プロトン化したロタキサンでは、Cu²⁺錯体間にはスピン-スピン相互作用が見られず、それぞれ独立した $S = 1/2$ のスピン特性を示した。これに対し、酸性プロトンの中和により、Cu²⁺イオン間の磁氣的相互作用に大きな変化が見られ、 $S = 0$ の基底状態となる反強磁性的な相互作用を示した。これらのスピン間相互作用は酸塩基の添加に伴い可逆的に応答し、ロタキサン構造の柔軟性を反映した、プロトンによるポルフィリン-フタロシアニン間の電子的コミュニケーション制御を行うことができたと考えられる。

○ 電極とポルフィリン/フタロシアニン分子組織を結合するアンカー分子ユニットの合成

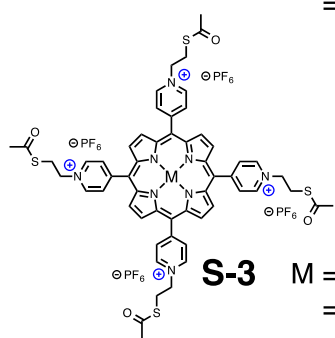
金電極と分子素子を結合するためのアンカー分子ユニットとして、チオール基を持つポルフィリンを各種合成した。これらの分子は、図 33 に示したとおり、核種の金属イオンをその中心に導入することが可能である。また、4つのチオール基がそれぞれ平面状の金電極と結合することで、ポルフィリン面が金電極と接するように設計した。**S-1** および **S-2** はチオール基の他に、他の分子ユニットで修飾することが可能な4つの置換活性な官能基を持っており、ペプチド型やロタキサン型分子を基板上に修飾するためのアンカーとして用いることができる。**S-3** および **S-4** はカチオン性のピリジニウム基を4つ導入していることから、イオン結合的に、他のポルフィリン/フタロシアニンユニットを電極上に固定化するためのアンカーとして用いることができる。これらのアンカー分子は、それぞれ単独でも分子素子としての機能を持つことが期待できる。例えば、**S-3** は、その中心に、金属を持たないもの、Ni²⁺イオンを結合したもの、Cu²⁺イオンを結合したものの間で、大きくその酸化還元電位が異なり、金属との接合するための電位を化学修飾により制御することが可能であると考えられる。



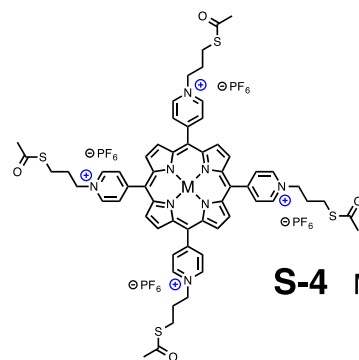
S-1 M = 2H
= Cu
= Ni
= Zn



S-2 M = 2H



S-3 M = 2H
= Cu
= Ni



S-4 M = 2H
= Cu
= Ni
= Co

図 33 金電極状へ分子組織を結合するためのアンカー分子

§ 6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0件、国際(欧文)誌 40件)

1. Yasuyuki Yamada, Takayuki Kubota, Mototaka Nishio, and Kentaro Tanaka, "Sequential and Spatial Organization of Metal Complexes inside a Peptide Duplex", *J. Am. Chem. Soc.*, accepted.
2. D. Tanaka, Y. Inuta, M. Sakamoto, A. Furube, M. Haruta, Y.-G. So, K. Kimoto, I. Hamada, and T. Teranishi, "Strongest π -Metal Orbital Coupling in a Porphyrin/Gold Cluster System" *Chem. Sci.* **5**, 2007-2010 (2014)
3. Shinya Kano, Yasuo Azuma, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, Luke W. Smith, Charles G. Smith, and Yutaka Majima, "Random telegraph signals by alkanethiol-protected Au nanoparticles in chemically assembled single-electron transistors", *J. Appl. Phys.* **114**, 223717 (2013). (DOI: 10.1063/1.4847955)
4. Yutaka Majima, Daisuke Ogawa, Masachika Iwamoto, Yasuo Azuma, Eiji Tsurumaki, and Atsuhiko Osuka, "Negative Differential Resistance by Molecular Resonant Tunneling between Neutral Tribenzosubporphine Anchored to a Au(111) Surface and Tribenzosubporphine Cation Adsorbed on to a Tungsten Tip", *J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 14159-14166 (2013). (DOI: 10.1021/ja404512w)
5. Guillaume Hackenberge, Yasuo Azuma, Shinya Kano, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, Yasuhide Ohno, Kenzo Maehashi, Kazuhiko Matsumoto, and Yutaka Majima, "Silicon-Nitride-Passivated Bottom-Up Single-Electron Transistors", *Jpn.J. Appl. Phys.*, **52**, 110101-1-5 (2013) (DOI: 10.7567/JJAP.52.110101)
6. D. H. Choi, Q. Wang, Y. Azuma, Y. Majima, J. H. Warner, Y. Miyata, H. Shinohara, and R. Kitaura, "Fabrication and Characterization of Fully Flattened Carbon Nanotubes: A New Graphene Nanoribbon Analogue", *Scientific Reports (Nature Publishing Group)*, **3**, 1617-1-5(2013). (DOI: 10.1038/srep01617)
7. L. De Los Santos Valladares, A. Bustamente Dominguez, J. Albino Aguiar, R. M. Reeve, T. Mitrelias, R. M. Lamgford, Y. Azuma, C. H. W. Barnes, Y. Majima, "Reorientation Response of Magnetic Microspheres Attached to Gold Electrodes Under an Applied Magnetic Field", *Braz. J. Phys.*, **43**, 209-213 (2013). (DOI: 10.1007/s13538-013-0133-2)
8. Yasuyuki Yamada, Nozomi Mihara, Shinya Shibano, Kunihisa Sugimoto, and Kentaro Tanaka, "Triply Stacked Heterogeneous Array of Porphyrins and Phthalocyanine through Stepwise Formation of a Fourfold Rotaxane and an Ionic Complex", *J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 11505-11508 (2013). (DOI: 10.1021/ja405963t)
9. Yasuyuki Yamada, Nozomi Mihara, and Kentaro Tanaka, "Synthesis of a Hetero-Dinuclear Metal Complex in a Porphyrin/Phthalocyanine Four-Fold Rotaxane", *Dalton Trans.* **42**, 15873-15876 (2013). (DOI: 10.1039/C3DT51043C)
10. Yasuyuki Yamada, Kentaro Tanaka, "Metal-Induced Structural Switching of a Folded Quinone-Sandwiched Porphyrin", *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **23**, 180-185 (2012). (DOI: 10.1007/s10904-012-9726-4)
11. Victor M. Serdio V., Yasuo Azuma, Shuhei Takeshita, Taro Muraki, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima, "Robust nanogap electrodes by self-terminating electroless gold plating", *Nanoscale*, **4**, 7161-7167, 2012. (DOI: 10.1039/C2NR32232C)
12. Shinya Kano, Yasuo Azuma, Kosuke Maeda, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, Luke W. Smith, Charles G. Smith, and Yutaka Majima, "Ideal Discrete Energy Levels in Synthesized Au Nanoparticles for Chemically Assembled Single-Electron Transistors", *ACS Nano*, **6**, 9972-9977, 2012. (DOI: 10.1021/nn303585g)

13. Miharuru Eguchi, Daisuke Mitsui, Hsin-Lun Wu, Ryota Sato, and Toshiharu Teranishi,
“Simple Reductant Concentration-Dependent Shape-Control of Polyhedral Gold Nanoparticles and Their Plasmonic Properties”,
Langmuir, **28**, 9021-9026, 2012. (DOI: 10.1021/la3002114)
14. Shigeki Hattori, Shinya Kano, Yasuo Azuma, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima,
“Coulomb blockade behaviors in individual Au nanoparticles as observed through noncontact atomic force spectroscopy at room temperature”,
Nanotechnology, **23**, 185704-1-185704-9, 2012 (DOI 10.1088/0957-4484/23/18/185704)
15. Yasuhisa Naitoh, Shuhei Takeshita, Daiki Ishida, Eiji Ohmura, Kei Kobayashi, Hirofumi Yamada, and Yutaka Majima,
“Resistive Switching Effects in Metallic Nanogap Electrode Fabricated by Electroless Gold Plating”,
Appl. Phys. Express, **5**, 085201-1-085201-3, 2012 (DOI: 10.1143/APEX.5.085201)
16. L. De Los Santos Valladares, D. Hurtado Salinas, A. Bustamante Dominguez, D. Acosta Najarro, S.I. Khondaker, T. Mitrelias, C.H.W. Barnes, J. Albino Aguiar, and Yutaka Majima,
“Crystallization and electrical resistivity of Cu₂O and CuO obtained by thermal oxidation of Cu thin films on SiO₂/Si substrates”,
Thin Solid Films, **520**, 6368-6374, 2012 (DOI: 10.1016/j.tsf.2012.06.043)
17. Yutaka Majima
“Single-Electron Transistor made by Au Nanoparticles and Nanogap Electrodes”,
The Journal of the Vacuum Society of Japan, **55**, 328-332, 2012. (DOI: 10.3131/jvsj2.55.328)
18. Hyunmo Koo, Shinya Kano, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, Gyoujin Cho, and Yutaka Majima,
“Characterization of thiol-functionalized oligo(phenylene-ethynylene)-protected Au nanoparticles by scanning tunneling microscopy and spectroscopy”,
Appl. Phys. Lett., **101**, 083115-1-083115-5, 2012. (DOI: 10.1063/1.4747720)
19. Masayuki Kanehara, Jun Takeya, Takafumi Uemura, Hideyuki Murata, Kazuo Takimiya, Hikaru Sekine, and Toshiharu Teranishi
“Electroconductive π -Junction Au Nanoparticles”,
Bull. Chem. Soc. Jpn., **85**, 957-961, 2012. (DOI: 10.1246/bcsj.20120103)
Selected Papers
20. Jinchong Xiao, Yasuo Azuma, Yi Liu, Gang Li, Fengxia Wei, Ke Jie Tan, Christian Kloc, Hua Zhang, Yutaka Majima, and Qichun Zhang,
“Synthesis, Structure, Physical Properties, and Displacement Current Measurement of an n-Type Organic Semiconductor: 2:3,5:6-Bis(1,1-dicyanoethylene-2,2-dithiolate)-quinone”,
Aust. J. Chem, **65**, 1674- 1678, 2012. (DOI: 10.1071/CH12325)
21. Masanori Sakamoto, Daisuke Tanaka, and Toshiharu Teranishi
“Rigid Bidentate Ligands Focus the Size of Gold Nanoparticles”,
Chem. Sci., **4**, 824-828, 2013. (DOI: 10.1039/c2sc21560h)
22. Kosuke Maeda, Norio Okabayashi, Shinya Kano, Shuhei Takeshita, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima,
“Logic Operations of Chemically Assembled Single-Electron Transistor,
ACS Nano, **6**, 2798-2803 (2012) (DOI: 10.1021/nn3003086),
Nature Nanotechnology の Research Highlights で紹介された。
(DOI:10.1038/nnano.2012.58)

23. Yasuo Azuma, Seiichi Suzuki, Kosuke Maeda, Norio Okabayashi, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, Mark R. Buitelaar, Charles G. Smith, and Yutaka Majima,
“Nanoparticle single-electron transistor with metal-bridged top-gate and nanogap electrodes”,
Appl. Phys. Lett., **99**, 073109-1-3, 2011. (DOI: 10.1063/1.3626036)
24. Norio Okabayashi, Kosuke Maeda, Taro Muraki, Daisuke Tanaka, Masanori Sakamoto, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima,
“Uniform charging energy of single-electron transistors by using size-controlled Au nanoparticles”,
Appl. Phys. Lett., **100**, 033101-1-3, 2012. (DOI: 10.1063/1.3676191)
25. Shinya Kano, Yasuyuki Yamada, Kentaro Tanaka, and Yutaka Majima,
“Room-temperature single molecular memory”,
Appl. Phys. Lett., **100**, 053101-1-3, 2012, (DOI: 10.1063/1.3679127) **(Cover image)**
26. Masanori Sakamoto, Daisuke Tanaka, Hironori Tsunoyama, Tatsuya Tsukuda, Yoshihiro Minagawa, Yutaka Majima, and Toshiharu Teranishi,
“Platonic Hexahedron Composed of Six Organic Faces with an Inscribed Au Cluster”,
J. Am. Chem. Soc., **134** (2), 816-819, 2012, (DOI: 10.1021/ja209634g)
27. Toshiharu Teranishi, Miharuru Eguchi, Masayuki Kanehara, and Shangjr Gwo,
“Controlled Localized Surface Plasmon Resonance Wavelength for Conductive Nanoparticles over the Ultraviolet to Near-Infrared Region”,
J. Mater. Chem., **21**, No. 28, pp.10238-10242, 2011 (DOI:10.1039/X0JM0454D)
28. Nobuyuki Sakai, Takahiro Ikeda, Toshiharu Teranishi, and Tetsu Tatsuma,
“Sensitization of TiO₂ with Pt, Pd, and Au Clusters Protected by Mercapto- and Dimercaptosuccinic Acid”,
Chem. Phys. Chem., **12**, No. 13, 2415-2418, 2011 (DOI: 10.1002/cphc.201100223)
29. Hung-Ying Chen, Chieh-Lun He, Chun-Yuan Wang, Meng-Hsien Lin, Daisuke Mitsui, Miharuru Eguchi, Toshiharu Teranishi, and Shangjr Gwo,
“Far-Field Optical Imaging of a Linear Array of Coupled Gold Nanocubes: Direct Visualization of Dark Plasmon Propagating Modes”,
ACS Nano, **5**, No. 10, 8223-8229, 2011 (DOI: 10.1021/nn2029007)
30. Yasuyuki Yamada, Mitsuhiro Okamoto, Ko Furukawa, Tatsuhisa Kato, and Kentaro Tanaka,
“Switchable Intermolecular Communication in a Four-Fold Rotaxane”,
Angew. Chem. Int. Ed., **51**, No. 2, 709–713, 2012 (DOI: 10.1002/anie.201107104)
31. Shigeki Hattori, Shinya Kano, Yasuo Azuma, and Yutaka Majima
“Surface Potential of 1,10-Decanedithiol Molecules Inserted into Octanethiol Self-Assembled Monolayers on Au(111)”
J. Phys. Chem. C, **114** (18), 8120–8125, 2010. (DOI: 10.1021/jp101998q)
32. Yasuo Azuma, Yuhsuke Yasutake, Keiji Kono, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima
“Single-Electron Transistor Fabricated by Two Bottom-Up Processes of Electroless Au Plating and Chemisorption of Au Nanoparticle”
Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 090206(3), 2010. (DOI: 10.1143/JJAP.49.090206)
33. Masachika Iwamoto, Daisuke Ogawa, Yuhsuke Yasutake, Yasuo Azuma, Hisashi Umemoto, Kazunori Ohashi, Noriko Izumi, Hisanori Shinohara, and Yutaka Majima
“Molecular Orientation of Individual Lu@C₈₂ Molecules Demonstrated by Scanning Tunneling Microscopy”
J. Phys. Chem. C, **114** (35), 14704–14709, 2010. (DOI: 10.1021/jp1023394)
(Cover Image)
34. Shinya Kano, Yasuo Azuma, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima
“Room-Temperature Coulomb Blockade from Chemically Synthesized Au Nanoparticles Stabilized by Acid–Base Interaction”

- Appl. Phys. Express* **3**, 105003 (3), 2010. (DOI: 10.1143/APEX.3.105003)
35. Luis De Los Santos Valladares, Angel Bustamante Dominguez, Justin Llandro, Seiichi Suzuki, Thanos Mitrelias, Richard Bellido Quispe, Crispin H. W. Barnes, and Yutaka Majima
 “Attaching Thiolated Superconductor Grains on Gold Surfaces for Nanoelectronics Applications”
Jpn. J. Appl. Phys., **49**, 093102 (5), 2010. (DOI: 10.1143/JJAP.49.093102)
 36. Luis De Los Santos Valladares, Lizbet Leon Felix, Angel Bustamante Dominguez, Thanos Mitrelias, Francois Sfigakis, Saiful I Khondaker, Crispin H W Barnes, and Yutaka Majima
 “Controlled Electroplating and Electromigration in Nickel Electrodes for Nanogap Formation”, *Nanotechnology*, **21**, 445304 (8), 2010.
 (doi: 10.1088/0957-4484/21/44/445304) **(Cover Image)**
 37. Yasuo Azuma, Norihiro Kobayashi, Simon Chorley, Jonathan Prance, Charles G. Smith, Daisuke Tanaka, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima,
 “Individual transport of electrons through a chemisorbed Au nanodot in Coulomb blockade electron shuttles”, *J. Appl. Phys.* **109**, 024303, 2011.
 (DOI:10.1063/1.3525833)
 38. Ryota Sato, Masayuki Kanehara, and Toshiharu Teranishi,
 “Homoepitaxial Size Control and Large-Scale Synthesis of Highly Monodisperse Amine-Protected Palladium Nanoparticles”,
Small **7** (4), 417–545, 2011. (DOI: 10.1002/sml.201001685)
 39. Xinheng Li, Yuhsuke Yasutake, Keijiro Kono, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima,
 “Au Nanoparticles Chemisorbed by Dithiol Molecules Inserted in Alkanethiol Self-Assembled Monolayers Characterized by Scanning Tunneling Microscopy”,
Japanese Journal of Applied Physics **48**, 04C180 (2009), DOI: 10.1143/JJAP.48.04C180
 40. Yusuke Takezawa, Wakana Maeda, Kentaro Tanaka, Mitsuhiko Shionoya
 “Discrete Self-Assembly of Iron(III) Ions inside Triple-Stranded Artificial DNA”,
Angew. Chem. Int. Ed., **48**, 1081–1084 (2009), DOI: 10.1002/anie.200804654

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 真島豊
 ボトムアップ手法で作製する単電子トランジスター
 パリティ, 28, (2013)42-45
2. 真島豊
 走査型トンネル顕微鏡による高次 π 空間系分子の精密電子物性計測と電子機能の
 発現
 高次 π 空間の創発と機能開発 (シーエムシー出版), 173-177 2013.
3. 寺西利治
 “無機ナノ粒子を用いたナノプラズモニクス”、
 電気学会論文誌 C, 132, 1251-1254, 2012.
4. 真島豊
 精密ボトムアップ手法と走査型プローブ顕微鏡による単電子・分子デバイスへの
 展開
 応用物理、78, (2009) 882-886.
5. 真島豊
 単一分子ナノデバイス
 「超分子サイエンス&テクノロジー-基礎からイノベーションまで-」
 (国武豊喜監修) (エヌ・ティー・エス 2009)
6. 寺西利治

「金属ナノ粒子の単電子デバイスへの応用」
砥粒加工学会誌、53, 478 (2009).

7. 田中健太郎
金属錯体型人工DNAを利用した金属錯体の精密集積
「超分子サイエンス&テクノロジー-基礎からイノベーションまで-」
(国武豊喜監修) (エヌ・ティー・エス 2009)
8. 田中健太郎・塩谷光彦
人工DNA・ペプチド錯体
「超分子金属錯体」(藤田誠・塩谷光彦編) (三共出版 2009)
9. 田中健太郎
生体高分子をモチーフとした精密分子組織
「配位空間の化学-最新技術と応用-」(北川進監修) (シーエムシー出版 2009)

(3)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 37 件、国際会議 40 件)

招待講演 (国内)

1. 真島豊(東京工業大学)
“無電解メッキによるナノギャップ電極を用いた単電子トランジスタ・分子デバイスの創製”
ミニシンポジウム組織化と機能 2013-分子-光-電子, 九州大学伊都キャンパス(福岡)、2013
年 11/22
2. 田中健太郎(名古屋大学)
“金属錯体分子組織の階層的構築”
第7回バイオ関連シンポジウム、名古屋大学(名古屋)、 2013 年 9/28
3. 寺西利治(京都大学)
“特異界面機能をもつ無機ナノ粒子”
日本セラミックス協会第26回秋季シンポジウム、信州大学長野キャンパス(長野)、
2013 年 9/5
4. 寺西利治(京都大学)
“金クラスターを単電子島とする単電子デバイスの開発”
平成 25 年度応用セラミックス研究所長賞記念講演会、東京工業大学すずかけ台キ
ャンパス(神奈川)、2013 年 7/17
5. 寺西利治(京都大学)
“プラズモンナノ材料の作り方と使い方”
第4回プラズモニク化学シンポジウム、東京工業大学田町キャンパス(東京)、
2013 年 6/14
6. 寺西利治(京都大学)
“無機ナノ粒子のエネルギー材料への展開”
高分子同友会勉強会、薬業年金会館(大阪)、 2013 年 4/11
7. 寺西利治(京都大学)
“金クラスターを内包したポルフィリン正六面体の合成と単電子デバイスへの応
用”
第60回応用物理学会春季学術講演会、神奈川工科大学(神奈川)、 2013 年 3/27
8. 寺西利治(京都大学)
“ π 共役分子-無機クラスター複合系の特異光物性”
日本化学会第93春季年会、慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川)、 2013 年 3/22
9. 寺西利治(京都大学)
“低次元性が誘起する有機-無機ハイブリッドナノ粒子の構造特異光学特性”

- 日本化学会「低次元系光機能材料研究会」、物質・材料研究機構(筑波)、2012年11/2
10. 寺西利治(京都大学)
“無機ナノ粒子の革新的エネルギー材料への展開”
第30回関西界面科学セミナー、シーパル須磨(兵庫)、2012年7/7
 11. 真島豊(東京工業大学)
“ボトムアップ手法で精密に単電子トランジスタを組み上げる”
日本化学会第92春季年会、慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川)、2012年3/27
 12. 寺西利治(京都大学)
“無機ナノ構造による表面プラズモン共鳴波長制御”
日本化学会第92春季年会、慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川)、2012年3/26
 13. 真島 豊(東京工業大学)
“ボトムアップ単電子トランジスタの作製技術の確立と論理回路への展開”、
新学術領域研究「配位プログラム」第3回公開シンポジウム、東京工業大学蔵前会館(東京)、2012年2/2
 14. 寺西利治(京都大学)
“無機ナノ粒子の構造変態と物性”
磁性分光研究会、京都大学化研黄檗プラザ(京都)、2011年12/3
 15. 寺西利治(京都大学)
“複数の結晶相が接合したナノ粒子”
関学化学フォーラム、関西学院大学神戸三田キャンパス(神戸)、2011年11/26
 16. 寺西利治(京都大学)
“無機ナノ粒子プラズモニクス：近赤外光電場増強と局在プラズモン伝播”
第2回プラズモン化学シンポジウム、東京大学生研コンベンションホール(東京)、
2011年11/25
 17. 真島豊(東京工業大学)
“ビーカの中で次世代のナノデバイスを創る”、
東京工業大学主催公開講演会「東工大の最先端研究」、東京工業大学大岡山キャンパス(東京)、2011年10/7
 18. 寺西利治(筑波大学)
“無機ナノ粒子の構造制御による局在表面プラズモン共鳴波長制御”
第1回プラズモン化学シンポジウム、東京大学小柴ホール(東京)、2011年6/1
 19. 真島豊(東京工業大学)
“無電解メッキナノギャップ電極を用いた単電子・分子デバイス”
69回表面科学研究会、東京工業大学大岡山キャンパス(東京)、2011年3/9
 20. 田中健太郎(名古屋大学)
“生体高分子から発想した配位プログラミング”
第3回 ChemBio ハイブリッドレクチャー、東京大学(東京)、2010年11/6
 21. 寺西利治(筑波大学)
“無機ナノ粒子の精密構造制御と機能”
ナノ粒子・構造応用研究会、化学会館(東京)、2010年10/14
 22. 田中健太郎(名古屋大学)
“生体高分子から発想した配位プログラミング”
第59回高分子討論会、北海道大学(北海道)、2010年9/15
 23. 田中健太郎(名古屋大学)
“バイオインスパイアードな階層性による精密分子プログラミング”
第59回高分子討論会、北海道大学(北海道)、2010年9/15
 24. 真島豊(東京工業大学)

- “ナノデバイス作製に向けたナノ粒子の低加速電圧観察と電気特性評価”
電子顕微鏡学会 SCANTECH 2010, 東京都市大学世田谷キャンパス(東京), 2010年9/10
25. 田中健太郎(名古屋大学)
“階層的な配位プログラミングによる化学空間構築”
日本化学会第4回関東支部大会、筑波大学(筑波)、2010年8/30
26. 寺西利治(筑波大学)
“無機ナノ粒子の構造特異機能の創出”
第38回東北地区若手研究会夏季ゼミナール、飯坂ホテル聚楽(福島)、2010年8/2
27. 寺西利治(筑波大学)
“ハイブリッドナノ粒子の液相精密構造制御と構造特異機能”
(財) 科学技術交流財団研究会、愛知県産業労働センター(愛知)、2010年6/24
28. 田中健太郎(名古屋大学)
“金属錯体の精密組織プログラミング”
高分子学会ポリマーフロンティア21、東京工業大学大岡山キャンパス(東京)、2010年6/11
29. 真島豊(東京工業大学)
“ナノ粒子を用いたボトムアップエレクトロニクスへの展開”
日本化学会第90春季年会、近畿大学本部キャンパス(大阪)、2010年3/26
30. 田中健太郎(名古屋大学)
“階層的な組織化による化学ナノ空間の創製”
第12回生命化学研究会、芦原温泉清風荘(福井)、2010年1/8
31. 真島豊(東京工業大学)
“ナノギャップ電極作製とボトムアップエレクトロニクスへの展開”
第29回マイクロ化学懇話会、京都大学(京都)、2009年11/18
32. 田中健太郎(名古屋大学)
“金属錯体集積化のプログラミング”
生物物質科学フォーラム第3回講演会、北陸先端大学院大学(石川)、2009年11/13
33. 寺西利治(筑波大学)
“大環状 π 共役配位子保護金ナノ粒子の単電子デバイス応用”
第58回高分子討論会、熊本大学(熊本)、2009年9/17
34. 真島豊(東京工業大学)
“無電解メッキによるナノギャップ電極作製と単電子デバイスへの応用”
第70回応用物理学会学術講演会、富山大学(富山)、2009年9/9
35. 金原正幸(筑波大学)
“ π 接合層を有する金ナノ粒子の合成と電子物性”
第70回応用物理学会学術講演会、富山大学(富山)、2009年9/9
36. 寺西利治(筑波大学)
“ナノ粒子の構造特異機能の創出”
北海道大学グローバル COE 物質科学イノベーション講演会、北海道大学(北海道)、2009年8/7
37. 寺西利治(筑波大学)
“ナノ粒子の構造特異機能の創出”
筑波大-KEK 第一回連携研究会、北海道大学(北海道)、2009年8/7

招待講演〈国際〉

1. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
“Hierarchical Construction of Soft Nano Materials”
The 2nd Japan-France Coordination Chemistry Symposium, (Nara, Japan), (2013) 11/24-28
2. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
“Molecular Architecture of Metal Complexes”
The 3rd CAMPUS Asia Symposium, (Seoul, Korea), (2013) 11/7-9
3. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Electroless Plated Nanogap Electrodes and Their Device Applications”
26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2013),
(Hokkaido, Japan), (2013) 11/5-8.
4. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
“Macrocyclic Columnar Liquid Crystals Formed via Hierarchical Self-Assembly”
The 2nd Canada–Japan Joint Symposium on Coordination Chemistry, (Okinawa, Japan),
(2013) 11/1-2
5. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Bottom-up Single-Electron Transistors and Molecular Devices”
International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE 2013), (Jeju, Korea),
(2013) 9/10-13
6. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Room-temperature Single Molecular Memory”
The 24th International Conference on Molecular Electronics and Devices (IC ME&D 2013),
(KAIST, Korea) (2013) 5/15-16
7. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Synthesis and Photochemical Behavior of Platonic Hexahedron Composed of Six
Porphyrins and an Au Cluster”
223rd ECS Meeting, (Toronto, Canada), (2013) 5/15
8. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Inorganic Nanoparticles as Innovative Energy Materials”
I²CNER Seminar Series, (Fukuoka, Japan), (2013) 2/8
9. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Discrete Energy Levels in Synthesized Au Nanoparticle for Chemically Assembled
Single-electron Transistors”,
International Conference on Nano Science and Nano Technology (ICNST) 2012, (Gwangju,
Korea), (2012) 11/9
10. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Nanoplasmonics in Inorganic Nanoparticles”
IUMRS-ICEM2012, (Yokohama, Japan), (2012) 9/25
11. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Nanoplasmonics in Polyhedral Gold Nanoparticle Assemblies”
Gold2012, (Tokyo, Japan), (2012) 9/8
12. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Control over Structures and Plasmonic Properties of Various Inorganic Nanoparticles”
Yamada Conference LXVI, (Tokyo, Japan), (2012) 6/4
13. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Charge Separation in Type-II Semiconductor Heterodimers Formed by Anion Exchange
Reaction”
221th ECS Meeting, (Seattle, USA), (2012) 5/7
14. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Charge Separation in Type-II Semiconductor Heterodimers Formed by Anion Exchange
Reaction”
International Conference and Workshop on Nanostructured Ceramics & Other

- Nanomaterials (ICWNCN), (Delhi, India), (2012) 3/16
15. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Programmable Arraying of Metal Complexes for Inter-Molecular Communications”
 1st CAMPUS Asia Symposium (CAMPUS Asia in Chemistry: Cutting Edge Science and Technology in Chemistry and Materials - A Cooperative Asian Education Gateway for a Sustainable Society), (Nagoya, Japan), (2012) 3/12-13
 16. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
 “Macrocyclic π -Conjugated Ligand-protected Au Nanoparticles for Single Electron Devices”
 1st International Symposium on Creation of Functional Materials, (Tsukuba, Japan), (2011) 12/17
 17. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
 “Nanoplasmonics for Inorganic Nanoparticles”
 2011 Tsukuba Nanotechnology Symposium, (Tsukuba, Japan), (2011) 12/16
 18. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Bottom-up Single-Electron Transistors by Au Nanoparticles and Electroless-Plated Nanogap Electrodes”
 International Conference on Nano Science and Nanotechnology (ICNST2011), (Sunchon, Korea) (2011) 11/10-11
 19. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Au Nanoparticle Single-Electron Transistors on Electroless Gold-Plated Nanogap Electrodes”
 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference(MNC 2011), (Kyoto, Japan), (2011) 10/24-27
 20. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Programmable Arraying of Metal Complexes on Supramolecular Templates”
 3rd Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC3), (New Delhi, India), (2011) 10/17-20
 21. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Nanoparticle Single-Electron Transistors on Electrodes Plated Nanogap Electrodes”
 International Workshop on Quantum Nanostructures and Nanoelectronics(QNN2011), (Tokyo, Japan), (2011) 10/3-4
 22. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
 “High-Quality Inorganic Nanoparticles for Highly Efficient Photoenergy Conversion”
 14th Asian Chemical Congress 2011, (Bangkok, Thailand), (2011) 9/8
 23. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “High-Quality Inorganic Nanoparticles for Highly Efficient Photoenergy Conversion”
 International Conference on Materials for Advanced Technologies 2011 (ICMAT2011), (Suntec, Singapore), (2011) 6/29
 24. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Programmable Stacked Arrays of Porphyrin and Phthalocyanine”
 The France-Japan Coordination Chemistry Symposium (FJCCS), (Rennes, France), (2011) 6/28-7/2
 25. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Nanoparticle Single-Electron Transistors on nanogap Electrodes by bottom-up processes”
 International Seminar on printed Electronics, (Konkuk Univ. Korea), (2011) 6/8
 26. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Au Nanoparticle Single-Electron Transistors on Electroless Plated Nanogap Electrodes”
 The 22nd International Conference on Molecular Electronics and Devices, (POSTECH, Korea), (2011) 5/19-20
 27. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “High-Quality Inorganic Nanoparticles for Highly Efficient Photoenergy Conversion”
 219th ECS Meeting, (Montreal, Canada), (2011) 5/2

28. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Marie Suzuki (Nagoya Univ.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yoshihiro Minagawa (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Programmable Metal Assembly in Artificial DNA and PNA”
 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), (Honolulu, USA), (2010) 12/15-20
29. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “High-Quality Inorganic Nanoparticles for Highly Efficient Photoenergy Conversion”
 International Symposium of Advanced Energy Science, (Kyoto, Japan), (2010) 11/18
30. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Single-Electron Transistors fabricated by Electroless Plated Nanogap Electrodes and Chemisorbed Au Nanoparticle”
 2010 10th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, (Shanghai, China), (2010) 11/1-4
31. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Macrocyclic π -conjugated Ligand-protected Au Nanoparticles for Single Electron Devices”
 60th Anniversary Conference on Coordination Chemistry (60CCCCO), (Osaka, Japan), (2010) 9/28
32. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Electroless Au Plating and Scanning Tunneling Spectroscopy toward Molecular-Based Devices”
 60th Anniversary Conference on Coordination Chemistry (60CCCCO), (Osaka, Japan), (2010) 9/27-30
33. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Hierarchical Programmed Arrays of Metal Complexes”
 8th China-Japan Joint Symposium on Metal Cluster Compounds (8th CJSMCC), (Xi’an, China), (2010) 8/10-12
34. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Structure-specific Optical Properties of Inorganic Nanoparticles”
 TOCAT6/APCAT5 Post-conference, (Toyako, Japan), (2010) 7/24
35. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Nanogap Electrodes by Self-terminating Electroless Gold Plating Toward Molecular Devices”
 The 21st International Conference on Molecular Electronics and Devices (21st IC ME&D), (Sunchon, Korea), (2010) 5/19
36. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Molecular Orientation of Endohedral Metallofullerene Molecules demonstrated Scanning Tunneling Microscopy”
 The 105th Spring Meeting of the Korean Chemical Society, (Incheon, Korea), (2010) 4/30,
37. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Structural Control of Metal Sulfide and Plasmonic Metal Nanoparticles for Energy Conversion”
 217th ECS Meeting, (Vancouver, Canada), (2010) 4/28
38. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Synthesis and Structure-specific Functions of Inorganic Nanoparticles”
 Tsukuba-Hsinchu Bilateral Symposium on Advanced Materials Science and Technology 2010, (Hsinchu, Taiwan), (2010) 4/2
39. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Patchy Nanoparticles: Synthesis and Structure-specific Functions”
 The 13th Asian Chemical Congress, (Shanghai, China), (2009) 9/14
40. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Precise Structural Control of Plasmonic and Metal Sulfide Nanoparticles for Energy Conversion”

215th ECS Meeting, (San Francisco, USA), (2009) 5/25

② 口頭発表 (国内会議 97 件、国際会議 16 件)

口頭発表 (国内)

1. Serdio Victor(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“Self-terminated Nanogap Electrodes by Electroless Gold Plating”
第 61 回応用物理学春季学術講演会、神奈川 2014 年 3/17
2. 川本慎(東京工業大学)、小林祥希(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
ポルフィリン誘導体保護 Au ナノ粒子のトンネル抵抗制御:
第 61 回応用物理学春季学術講演会、神奈川 2014 年 3/17
3. 大沼悠人(東京工業大学)、真島豊(東京工業大学)
無電解金メッキ法による縦型非対称ナノギャップ電極の作製
第 61 回応用物理学春季学術講演会、神奈川 2014 年 3/17
4. 青山詠樹(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学):
無電解金メッキ法におけるナノギャップ電極密度とメッキ成長速度の関係
第 61 回応用物理学春季学術講演会、神奈川 2014 年 3/17
5. 山田泰之(名古屋大学)、久保田貴之(名古屋大学)、岡田賢明(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“逐次合成反応を利用したポルフィリン/フタロシアニンスタッキングアレイのプログラム構築”
錯体化学会第 63 回討論会、沖縄、2013 年 11/4
6. Ako Sasaki(名古屋大学)、Shin-ichiro Kawano(名古屋大学)、Kentaro Tanaka(名古屋大学)
“Liquid Crystalline Macrocycles Composed of Paddle Wheel Metal Complexes”
錯体化学会第 63 討論会、沖縄、2013 年 11/3
7. Takashi Hamazaki(名古屋大学)、Shin-ichiro Kawano(名古屋大学)、Kentaro Tanaka(名古屋大学)
“Structures and Liquid Crystalline Properties of Dibenzothiophene-Salen-Based Macrocyclic Metal Complexes”
錯体化学会第 63 討論会、沖縄、2013 年 11/3
8. 三原のぞみ(名古屋大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“ロタキサン結合およびイオン性会合体によりプログラム組織化した会合体の物性制御”
錯体化学会第 63 回討論会、沖縄、2013 年 11/3
9. 田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)
ポルフィリンが最近接して平面配位した金クラスターの構造と界面相互作用
第 64 回コロイドおよび界面化学討論会、名古屋、2013 年 9/18
10. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、古部昭広(京都大学)、寺西利治(京都大学)
ポルフィリン修飾金ナノ粒子における光化学挙動の分子配向依存性
2013 年光化学討論会、愛媛、2013 年 9/11
11. 田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)
ポルフィリン誘導体保護金クラスターの構造と界面相互作用
ナノ学会第 11 回大会、東京、2013 年 6/8

12. 河野慎一郎(名古屋大学)、石田夕加里(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“カルバゾール-サルフェン型大環状金属錯体によるカラムナー液晶の構築”
ナノ学会第 11 回大会、東京、2013 年 6/6
13. 川本慎(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、庄子良晃(東京工業大学)、福島孝典(東京工業大学)、真島豊(東京工業大学)
“3 座 CN 基を有するトリプチセンの Au(111)上の SAM 形成”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
14. 東康男(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、真島豊(東京工業大学)
“金ナノギャップ電極中に導入した[6,6]-Phenyl-C61-Butyric Acid Methyl Ester の非弾性トンネル効果の測定”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
15. Daniel Hurtado(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“Room Temperature Memory Operation in a Solid-State Device based on Thiol-Functionalized Oligo(Phenylene-Ethynylene)-Protected Gold Nanoparticles”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
16. 加納伸也(東京工業大学)、Hyunmo Doo(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“チオール基を有するオリゴフェニレンエチニレン誘導体保護 Au ナノ粒子の統計的スイッチ現象”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
17. 青山詠樹(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、Guillaume Hackenberger(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“ボトムアップ単電子トランジスタによる 2-bit A/D コンバータ”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
18. Guillaume Hackenberger(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、松崎功佑(東京工業大学)、須崎友文(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“Aluminum Oxide Passivated Chemically Assembled Single-Electron Transistors”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
19. 武下宗平(東京工業大学)、Serdio Victor(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“分子定規無電解金メッキ法 (MoREP) によるナノギャップ電極の断面観察”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
20. Serdio Victor(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“Electroless Gold Plating Processes for the Fabrication of Nanogap Electrodes”
第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川、2013 年 3/27-30
21. 田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“ポルフィリンが平面配位した金クラスターの合成と界面相互作用”
日本化学会第 93 春季年会、滋賀、2013 年 3/23
22. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“剛直な多座配位子によるナノ粒子の形状および異方性の制御”
日本化学会第 93 春季年会、滋賀、2013 年 3/22

23. 寺西利治(京都大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)
“金クラスターを内包したポルフィリン正六面体の合成と特異光学特性”
第 61 回高分子討論会、名古屋、2012 年 9/21
24. 加納伸也(東京工業大学)、前田幸祐(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、Luke Smith(ケンブリッジ大学)、Charles Smith(ケンブリッジ大学)、真島豊(東京工業大学)
“ランダムテレグラフシグナルの観察によるボトムアップ単電子トランジスタの単電子検出”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
25. Guillaume Hackenberger(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、大野恭秀(大阪大学)、前橋兼三(大阪大学)、松本和彦(大阪大学)、真島豊(東京工業大学)
“Availability of Silicon Nitride Passivation to Chemically Assembled Single-Electron Transistors”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
26. Daniel Hurtado(東京工業大学)、Guillaume Hackenberger(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)、大野恭秀(大阪大学)、前橋兼三(大阪大学)、真島豊(東京工業大学)
“Room Temperature Coulomb Oscillation in Chemically Assembled SET with SiNx Passivation Layer”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
27. 武下宗平(東京工業大学)、Victor Serdio(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“無電解金メッキ法によるナノギャップ電極のギャップ長精密制御”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
28. Serdio Victor(東京工業大学)、村木太郎(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、Daniel Hurtado(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“Temperature Dependence in Molecular Ruler Electroless Gold Plating(MoREP) Process for Nanogap Electrodes”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
29. 川本慎(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、Victor Serdio(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
“無電解金メッキ表面の STM 観察”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
30. Daniel Hurtado(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、武下宗平(東京工業大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)、真島豊(東京工業大学)
“Room Temperature Solid-State Molecular Device by Using Porphyrin Derivatives”
第 73 回応用物理学会学術講演会、松山、2012 年 9/11-14
31. 山田 泰之(名古屋大学)、古川 貢(名古屋大学)、加藤 立久(名古屋大学)、田中 健太郎(名古屋大学)
“4 重ロタキサン型ポルフィリン—フタロシアニン超分子アレイ”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28

32. 岡田 賢明(名古屋大学), 山田 泰之(名古屋大学), 田中 健太郎(名古屋大学)
“逐次連結を目指したロタキサン型ポルフィリンスタッキングアレイの構築”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28
33. 河野慎一郎(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
“ビスヒドロキシピリドン型大環状金属錯体の配向組織化”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28
34. 濱崎貴志(名古屋大学), 河野慎一郎(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
“柔軟なナノ空間構築を目指したジベンゾチオフェナーサレン大環状金属錯体液晶の創製”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28
35. 田中傑(東京工業大学), 東康男(東京工業大学), 柳内克昭(TDK)、真島豊(東京工業大学)
“引力モード 2 次共振磁気力顕微鏡 (ASR-MFM) ”
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
36. 加納伸也(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 武下宗平(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学), Luke Smith(ケンブリッジ大学), Charles Smith(ケンブリッジ大学), 真島 豊(東京工業大学)
“ボトムアップ単電子トランジスタにおける金ナノ粒子の量子化準位の観察”
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
37. 岡林則夫(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学), 真島豊(東京工業大学)
“二重ドットボトムアップ単電子トランジスタの電気伝導”
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
38. 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 加納伸也(東京工業大学), 武下宗平(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学)、真島豊(東京工業大学)
ボトムアップ単電子トランジスタによる相補型インバータ
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
39. Guillaume Hackenberger(東京工業大学), 東康男(東京工業大学), 加納伸也(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学), 大野恭秀(大阪大学), 前橋兼三(大阪大学), 松本和彦(大阪大学), 真島豊(東京工業大学)
“Stable Chemically Assembled Single-Electron Transistors with Silicon Nitride Passivation Layer and Au Top Gate Electrode”
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
40. 田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“Platonic Hexahedron Composed of Six Organic Faces with an Inscribed Au Cluster”
第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム、横浜、2011 年 12/21
41. 山田泰之(名古屋大学), 岡本光弘(名古屋大学), 古川貢(名古屋大学), 加藤立久(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
“4 重ロタキサン形成による銅 (II) ポルフィリン—銅 (II) フタロシアニン会合体の構築と電子的相互作用制御”
錯体化学会第 61 回討論会、岡山、2011 年 9/17-19

42. 河野慎一郎(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
 “柔軟な機能的ナノ空間の構築を目指したサレン架橋型ジベンゾチオフェン大環状錯体の合成と組織化”
 錯体化学会第 61 回討論会、岡山、2011 年 9/17-19
43. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
 “ポルフィリン平面配位金クラスターにおける高速光電子移動”
 2011 年光化学討論会、宮崎、2011 年 9/6
44. 岡林則夫(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), Victor Serdio(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 寺西利治(京都大学), 真島豊(東京工業大学)
 “ナノギャップ電極と金ナノ粒子を用いた単電子トランジスタ”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
45. 加納伸也(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), Victor Serdio(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 寺西利治(京都大学), 真島豊(東京工業大学)
 “金ナノ粒子を用いた単電子トランジスタの温度依存性”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
46. 東康男(東京工業大学), 鈴木聖一(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 寺西利治(京都大学), Buitelaar Mark(ケンブリッジ大学), Smith Charles(ケンブリッジ大学), 真島豊(東京工業大学),
 “金属架橋構造を有するトップゲート型ナノ粒子単電子トランジスタ”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
47. 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), Victor Serdio(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 寺西利治(京都大学), 真島豊(東京工業大学)
 “2つのサイドゲート電極を有する金ナノ粒子単電子トランジスタの NOR 回路動作”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
48. 田中傑(東京工業大学), 柳内克昭(TDK), 真島豊(東京工業大学)
 “2次共振 MFМ を用いて駆動電流を変化させた際の垂直磁気記録ヘッドの磁場分布観察”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
49. 真島豊(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), Victor M. Serdio V. (東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 寺西利治(京都大学)
 “分子定規無電解金メッキ(MoREP)法によるナノギャップ電極のギャップ長制御”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
50. 真島豊(東京工業大学), 皆川慶嘉(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 田中大介, 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学)
 “ポルフィリン誘導体保護金ナノ粒子の常温 STM 追記型メモリ”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2
51. 鈴木宏貴(東京工業大学), 小川大輔(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 一杉俊平(東北大学), 中西和嘉(東北大学), 磯部寛之(東北大学), 真島豊(東京工業大学)
 “自己組織化単分子膜上および Au(111)表面上におけるアントラセダイマーの走査トンネル顕微鏡による観察”
 第 72 回応用物理学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2

52. 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), Victor M. Serdio V. (東京工業大学), 田中大介(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “無電解金メッキナノギャップ電極と金ナノ粒子を用いた単電子トランジスタの統計評価”
 ナノ学会第9回大会、北海道、2011年6/3
53. 真島豊(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), Victor M. Serdio V. (東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 田中大介(筑波大学), 寺西利治(筑波大学)
 “ナノギャップ電極のための分子定規無電解金メッキ (MREP) 法の開発”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
54. 岡林則夫(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), 田中大介(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 猪狩佳幸(東北大学), 米田忠弘(東北大学), 真島豊(東京工業大学)
 “無電解金メッキナノギャップにおける金ナノ粒子の化学吸着”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
55. 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), 田中大介(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “無電解金メッキナノギャップ電極を用いた単一金ナノ粒子単電子トランジスタ”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
56. 加納伸也(東京工業大学), 村木太郎(東京工業大学), 前田幸祐(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 金原正幸(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “塩基性配位子保護金ナノ粒子ナノギャップ素子におけるクーロンブロッケード現象の常温観察”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
57. 皆川慶嘉(東京工業大学), 加納伸也(東京工業大学), 田中大介(筑波大学), 坂本雅典(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “単一 Au ナノ粒子スイッチの常温 STM 操作”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
58. 鈴木宏貴(東京工業大学), 小川大輔(東京工業大学), 岡林則夫(東京工業大学), 一杉俊平(東北大学), 中西和嘉(東北大学), 磯部寛之(東北大学), 真島豊(東京工業大学)
 “分子分解能 STM によるアントラセンダイマーの分子軌道の直接観察”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
59. 小川大輔(東京工業大学), 岩本全央(東京工業大学), 鈴木宏貴(東京工業大学), 東康男(東京工業大学), 鶴巻英治(大阪大学), 大須賀篤弘(大阪大学), 真島豊(東京工業大学)
 “トリベンゾサブポルフィンによる分子共鳴トンネルダイオード”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
60. 東康男(東京工業大学), 小川大輔(東京工業大学), 鶴巻英治(大阪大学), 大須賀篤弘(大阪大学), 真島豊(東京工業大学)
 “金ナノギャップ電極中に導入したトリベンゾサブポルフィン誘導体による分子共鳴トンネルダイオード”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27
61. 田中傑(東京工業大学), 柳内克昭(TDK), 真島豊(東京工業大学)
 “2次共振(SR-)MFMの開発：垂直磁気記録ヘッドの磁場分布観察”
 第58回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011年3/24-27

62. 山田泰之(名古屋大学), 鈴木真理恵(名古屋大学), 田中 健太郎(名古屋大学)
 “ポルフィリンとフタロシアニンからなる一次元精密組織の配位プログラミング”
 第 60 回錯体化学討論会、大阪、2010 年 9/28
63. 平賀恒介(名古屋大学), 山田泰之(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
 “金属錯形成をトリガーとするポルフィリン蛍光スイッチングシステムの構築”
 第 60 回錯体化学討論会、大阪、2010 年 9/28
64. 河野慎一郎(名古屋大学), 田中 健太郎(名古屋大学)
 “ナノレベルの化学空間構築のための大環状金属錯体の合成と組織化”
 第 60 回錯体化学討論会、大阪、2010 年 9/27
65. ビクトールセルディオ(東京工業大学)、村木太郎(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、真島豊(東京工業大学)
 “無電解金メッキの自己停止機能を用いた 4 nm ナノギャップ電極”
 第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎、2010 年 9/14-17
66. 加納伸也(東京工業大学)、皆川慶嘉(東京工業大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)、真島豊(東京工業大学)
 “単一ポルフィリン分子における走査型トンネル顕微鏡によるメモリ効果の常温観察”
 第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎、2010 年 9/14-17
67. 真島豊(東京工業大学)、田中傑(東京工業大学)、柳内克昭(TDK)
 “FM 変調磁気力顕微鏡による垂直磁気記録ヘッドの観察”
 第 34 回日本磁気学会学術講演会、茨城、2010 年 9/5
68. 田中大介(筑波大学)、坂本雅典(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “単電子トランジスタ創成に向けた多座配位型ポルフィリン保護金クラスターの構造解析”
 日本化学会第 4 回関東支部大会、つくば、2010 年 8/31
69. 関根光(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “フタロシアニン保護金ナノ粒子の合成と光物性”
 日本化学会第 4 回関東支部大会、つくば、2010 年 8/31
70. 関根光(筑波大学)、板子典史(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “平面多座配位型フタロシアニン誘導体保護金ナノ粒子の合成と光学特性”
 新学術領域研究「高次 π 空間の創発と機能開発」第 4 回シンポジウム、つくば、2010 年 7/16
71. 加納伸也(東京工業大学)、皆川慶嘉(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)、真島豊(東京工業大学)
 “走査型トンネル顕微鏡を用いたポルフィリン分子の電気的特性の観察”
 材料デバイスサマーミーティング、東京、2010 年 6/25
72. 東康男(東京工業大学)、鈴木太陽(東京工業大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “ポルフィリン自己組織化単分子膜によるペンタセン TFT の接触抵抗の低減”
 材料デバイスサマーミーティング、東京、2010 年 6/25
73. 皆川慶嘉(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “ π 共役系保護基を有する Au ナノ粒子を用いた二重トンネル接合の抵抗値”
 材料デバイスサマーミーティング、東京、2010 年 6/25

74. 田中大介(筑波大学)、坂本雅典(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “ポルフィリン保護微細金ナノ粒子の合成”
 ナノ学会第8回大会、岡崎、2010年5/15
75. 河野慎一郎(名古屋大学)、鈴木敦仁(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
 “機能的ナノ化学空間の構築を目指した大環状金属錯体の合成とその物性”
 日本化学会第90春年年会、大阪、2010年3/29
76. 山田泰之(名古屋大学)、鈴木真理恵(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
 “ポルフィリン-フタロシアニン超分子アレイの構築”
 日本化学会第90春年年会、大阪、2010年3/29
77. 岩本全央(東京工業大学)、小川大輔(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、鶴巻英治(大阪大学)、大須賀篤弘(大阪大学)、真島豊(東京工業大学)
 “分子分解能 STM による単トリベンゾサブポルフィンの STS 測定”
 第57回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010年3/17-20
78. 小川大輔(東京工業大学)、岩本全央(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、鶴巻英治(大阪大学)、大須賀篤弘(大阪大学)、真島豊(東京工業大学)
 “分子分解能 STM を用いた単トリベンゾサブポルフィンの分子起動の直接観察 STS 測定”
 第57回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010年3/17-20
79. 皆川慶嘉(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “ π 共役系保護基を有する Au ナノ粒子を用いた二重トンネル接合の抵抗値”
 第57回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010年3/17-20
80. 加納伸也(東京工業大学)、皆川慶嘉(東京工業大学)、東康(東京工業大学)、田中大介(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “走査型トンネル顕微鏡を用いたポルフィリン分子の電気的特性の観察”
 第57回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010年3/17-20
81. 服部繁樹(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “常温AFS によるクーロンブロッケードに依存した金ナノ粒子上の単電子計測”
 第57回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010年3/17-20
82. 村木太郎(東京工業大学)、Victor M. Serdio V. (東京工業大学)、鈴木聖一(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “金クラスターとナノギャップ電極を用いた室温におけるクーロンブロッケード現象の観察”
 第70回応用物理学学会学術講演会、富山、2009年9/8-11
83. Victor M. Serdio V. (東京工業大学)、鈴木聖一(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、村木太郎(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “単電子トランジスタ作製に向けたナノギャップ電極における無電解メッキ法の改善”
 第70回応用物理学学会学術講演会、富山、2009年9/8-11

84. 皆川慶嘉(東京工業大学), 加納伸也(東京工業大学), 東康男(東京工業大学), 金原正幸(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “かさ高い保護基を有する Au ナノ粒子の分子分解能 STM 観察”
 第 70 回応用物理学会学術講演会、富山、2009 年 9/8-11
85. 加納伸也(東京工業大学), 東康男(東京工業大学), 金原正幸(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “常温動作ボトムアップ二重トンネル接合のトンネル抵抗値の分散”
 第 70 回応用物理学会学術講演会、富山、2009 年 9/8-11
86. 真島豊(東京工業大学)
 “無電解メッキによるナノギャップ電極作製と単電子デバイスへの応用”
 第 70 回応用物理学会学術講演会、富山、2009 年 9/8-11
87. 真島豊(東京工業大学)
 “分子分解能 STM/STS による π 空間分子の精密電子物性計測と電子機能の発現”
 第 70 回応用物理学会学術講演会、富山、2009 年 9/8-11
88. 岩本全央(東京工業大学), 小川大輔(東京工業大学), 東康男(東京工業大学), 梅本久(名古屋大学), 伊藤靖浩(名古屋大学), 沖本治哉(名古屋大学), 泉乃里子(名古屋大学), 篠原久典(名古屋大学), 真島豊(東京工業大学)
 “走査トンネル分光によるオクタンチオール SAM 上の Lu@C82 のエネルギー準位の評価”
 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会、東京、2009 年 9/3
89. 真島豊(東京工業大学)
 “ボトムアップ手法による単電子デバイスの構築”
 電気学会 光・量子デバイス研究会、東京、2009 年 9/1
90. 鈴木太陽(東京工業大学), 安武裕輔(東京大学), 富成征弘(大阪大学), 西川尚男(大阪大学), 竹谷純一(大阪大学), 真島豊(東京工業大学)
 “ルブレ単結晶 FET のトラップサイトの変位電流-チャンネル電流法による評価”
 第 56 回応用物理学関係連合講演会、つくば、2009 年 3/30-4/2
91. 加納伸也(東京工業大学), 小林昇洋(東京工業大学), 金原正幸(筑波大学), 寺西利治(筑波大学), 真島豊(東京工業大学)
 “常温における Au ナノ粒子のクーロンブロッケードの観察”
 第 56 回応用物理学関係連合講演会、つくば、2009 年 3/30-4/2
92. 岩本全央(東京工業大学), 安武裕輔(東京大学), 梅本久(名古屋大学), 沖本治哉(名古屋大学), 泉乃里子(名古屋大学), 篠原久典(名古屋大学), 真島豊(東京工業大学)
 “走査型トンネル顕微鏡によるオクタンチオール SAM 上の単一 Lu@C82 の分子配向変化の観察”
 第 56 回応用物理学関係連合講演会、つくば、2009 年 3/30-4/2
93. 真島豊(東京工業大学)
 “ボトムアッププロセスによる常温動作単電子デバイス”
 日本化学会第 89 回春季年会、千葉、2009 年 3/28
94. 真島豊(東京工業大学)
 “ボトムアッププロセスによる常温動作単電子デバイス”
 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会、仙台、2009 年 3/12

95. 岩本全央(東京工業大学)、安武裕輔(東京大学)、梅本久(名古屋大学)、伊藤靖浩(名古屋大学)、沖本治哉(名古屋大学)、泉乃里子(名古屋大学)、篠原久典(名古屋大学)、真島豊(東京工業大学)
“走査型トンネル顕微鏡によるオクタンチオール自己組織化単分子膜上の単一 Lu 内包フラーレンの分子配向変化の観察”
電子情報通信学会技術研究報告、東京、2009 年 3/6
96. 真島豊(東京工業大学)
“ナノ粒子・分子デバイス構築に向けた STM・STS”
ナノ統合拠点分子科学 WG 連続研究会、岡崎、2009 年 1/29
97. 小林昇洋(東京工業大学)、東康男(大阪大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、Simon Chorley(ケンブリッジ大学)、Jonathan Prance(ケンブリッジ大学)、Charles G. Smith(ケンブリッジ大学)、真島豊(東京工業大学)
“クーロンブロッケードエレクトロンシャトル素子におけるシャトル電流 ef の観察”
有機エレクトロニクス研究会、名古屋、2009 年 1/21

口頭発表 (国際)

1. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Photochemical Behavior of Type-II Semiconductor Heterodimers”
Nanomaterials: Applications and Properties, (Alushta, Ukraine),(2013) 9/17
2. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Charge Separation in Type-II Semiconductor Heterodimers”
Hybrid Materials 2013, (Sorrento, Italy), (2013) 3/7
3. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Kosuke Maeda (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), Luke W. Smith (Univ. of Cambridge), Charles G. Smith (Univ. of Cambridge), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Discrete Energy Levels in Synthesized Au Nanoparticle by Chemically Single-Electron Transistors”
2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2012), (Kyoto, Japan), (2012) 9/25
4. Masanori Sakamoto (Kyoto Univ.), Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), and Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Size Control of Gold Nanoparticles Using Rigid Bidentate Ligands”
GOLD2012, (Tokyo, Japan), (2012) 9/7
5. Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Masanori Sakamoto (Kyoto Univ.), and Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Platonic Hexahedron Composed of Six Porphyrins and an Au Cluster”
GOLD2012, (Tokyo, Japan), (2012) 9/6
6. Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Programmable Stacked Arrays of Porphyrin and Phthalocyanine”
XXIV IUPAC Symposium on Photochemistry, (Coimbra, Portugal), (2012) 7/19
7. Masanori Sakamoto (Kyoto Univ.), Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), and Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
“Ultrafast Charge Separation/Recombination of Porphyrin Face-Coordinated Au Cluster”
International Association of Colloid and Interface Scientists, (Sendai, Japan), (2012) 5/16

8. Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Kosuke Maeda (Tokyo Tech.), Norio Okabayashi (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), Mark R. Buitelaar (Univ. of Cambridge), Charles G. Smith (Univ. of Cambridge), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
 “Nanoparticle Single-Electron Transistor with Metal-Bridged Top-Gate Electrode”, 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials(SSDM2011), (Nagoya, Japan), (2011) 9/29
9. K. Tanaka (Nagoya Univ.), Y. Yamada (Nagoya Univ.), M. Suzuki (Nagoya Univ.), T. Kato (Nagoya Univ.), and K. Furukawa (Nagoya Univ.)
 “Programmable Stacked Arrays of Porphyrin and Phthalocyanine”
 14th IUPAC International Symposium on Macromolecular Complexes (MMC-14), (Helsinki, Finland), (2011) 8/14-17
10. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Tuning of Surface Plasmon Resonance Wavelengths by Structural Control of Inorganic Nanoparticles”
 Pacificchem 2010, (Honolulu, USA), (2010) 12/16
11. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Marie Suzuki (Nagoya Univ.), Hiroaki Okada (Nagoya Univ.) and Yu Ishihara (Nagoya Univ.)
 "Coordination Programming on Bio-inspired Templates"
 11th Eurasia Conference on Chemical Sciences (EuAsC2S-11), (The Dead Sea, Jordan), (2010) 10/6-10
12. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Tuning of Surface Plasmon Resonance Wavelengths by Structural Control of Inorganic Nanoparticles”
 XXIIIrd IUPAC Symposium on Photochemistry, (Ferrara, Italy), (2010) 7/13
13. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Tuning of Surface Plasmon Resonance Wavelengths by Structural Control of Inorganic Nanoparticles”
 The International Conference on Nanophotonics 2010, (Tsukuba, Japan), (2010) 6/2
14. Shinichiro Kawano (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Synthesis of Macrocyclic Metal Complexes Directed Toward Nano-porous Soft Materials”
 The 8th joint seminar University of Münster - Nagoya University, (Nagoya, Aichi), (2009) 9/28
15. Shinichiro Kawano (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Synthesis of Macrocyclic Metal Complexes Directed Toward Functionalized Chemical Nano-Space”
 Nagoya University Global COE in Chemistry 2nd Annual Symposium, (Nagoya, Aichi), (2009) 6/9
16. Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Au Nanodot Single Electron Transistor by Bottom Up Processes”
 UK-Japan Frontiers of Science Symposium 2008, (Kanagawa, Japan), (2008) 10/4

③ ポスター発表 (国内会議 41 件、国際会議 51 件)

ポスター (国内)

1. 河野慎一郎(名古屋大学)、石田夕加里(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“カルバゾール-サレン型大環状化合物の金属錯形成による液晶性制御”
錯体化学会第 63 討論会、沖縄、2013 年 11/3
2. 西野智雄(名古屋大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“大環状金属錯体の自己組織的構築とディスクリートな積層化”
錯体化学会第 63 回討論会、沖縄、2013 年 11/2
3. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“剛直な多座配位子によるナノ粒子の粒径制御”
第 64 回コロイドおよび界面化学討論会、名古屋、2013 年 9/20
4. 東康男(東京工業大学)、藤田克彦(九州大学)、真島豊(東京工業大学)
“KFM によるハイパーブランチポリスチレン保護金ナノ粒子の表面電位測定”
第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、京都、2013 年 9/17
5. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“剛直な多座配位子によるナノ粒子の形状および異方性の制御”
ナノ学会第 11 回大会、東京、2013 年 6/8
6. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“ポルフィリン修飾金クラスターにおける光誘起電子移動の分子配向依存性”
日本化学会第 93 春季年会、滋賀、2013 年 3/23
7. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“ポルフィリン修飾金クラスターの光化学的性質における分子配向依存性”
第 1 回公開シンポジウム・第 2 回フォーラム「人工光合成」、東京、2012 年 12/17
8. 武下宗平(東京工業大学)、Victor M. Serdio V. (東京工業大学)、真島豊(東京工業大学)
“分子定規無電解金メッキ (MoREP) 法による 2 nm のナノギャップ電極の作製”
高次 π 空間の創発と機能開発第 8 回公開シンポジウム、石川、2012 年 7/19
9. 真島豊(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、小川大介(東京工業大学)、岩本全央
(東京工業大学)、鶴巻英治(大阪大学)、大須賀篤弘(大阪大学)
“無電解金メッキナノギャップ電極を用いたトリベンズサブポルフィン分子デバイ
スの構築”
高次 π 空間の創発と機能開発第 8 回公開シンポジウム、石川、2012 年 7/19
10. 坂本雅典(京都大学)、田中大介(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“ポルフィリン配位金クラスターの配向に依存した光挙動”
ナノ学会第 10 回大会、大阪、2012 年 6/14
11. 田中大介(京都大学)、坂本雅典(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“金クラスターとポルフィリン誘導体から構成されるナノプラトン立方体の合成”
ナノ学会第 10 回大会、大阪、2012 年 6/14
12. 山田 泰之(名古屋大学)、三原 のぞみ(名古屋大学)、田中 健太郎(名古屋大学)
“4 重ロタキサン型ポルフィリン-フタロシアニン会合体による異種複核錯体の構
築”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28
13. 石原悠(名古屋大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“ロタキサン型銅ポルフィリン-銅フタロシアニンスタッキングアレイの酸化還元
挙動”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28
14. 石田夕加里(名古屋大学)、河野慎一郎(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)

- “様々な側鎖構造を持つカルバゾール-サルフェン型大環状化合物の配向組織化と液晶形成”
日本化学会第 92 回春季年会、横浜、2012 年 3/25-28
15. 東康男(東京工業大学), 加納伸也(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学), 真島豊(東京工業大学)
“ボトムアップ単電子トランジスタにおける Ni ナノギャップ電極と Au ナノギャップ電極の比較”
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
 16. 武下宗平(東京工業大学), Victor Serdio(東京工業大学), 田中大介(京都大学), 坂本雅典(京都大学), 寺西利治(京都大学), 真島豊(東京工業大学)
“デカメトニウムブロマイドを用いた分子定規無電解金メッキ(MoREP)法によるナノギャップ電極の作製”
第 59 回応用物理学関連連合講演会、東京、2012 年 3/15-17
 17. 江口美陽(京都大学), 近藤敏彰(京都大学), 小堀啓、三井大輔(京都大学)、益田秀樹(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“金属ナノ粒子配列におけるプラズモン特性の分子制御”
光拠点第 4 回合同シンポジウム、名古屋、2011 年 11/14
 18. Tomoo Nishino(名古屋大学), Yasuyuki Yamada(名古屋大学), and Kentaro Tanaka(名古屋大学)
“Stacked Assembly of Macrocyclic Metal Complexes via Discrete Multiplex Formation of Oligo-Urea”
第 2 回統合物質シンポジウム、名古屋、2011 年 11/7-8
 19. Tomoo Nishino(名古屋大学), Yasuyuki Yamada(名古屋大学), and Kentaro Tanaka(名古屋大学)
“Metal Induced Triplex Formation of Oligo-urea”
名古屋大学グローバル COE プログラム「分子性機能物質科学の国際教育研究拠点形成」第 5 回物質科学フロンティアセミナー –新時代の物質創製を目指して、名古屋、2011 年 10/21
 20. 西野智雄(名古屋大学), 山田泰之(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
“オリゴウレア鎖をテンプレートとした大環状金属錯体アレイの構築”
錯体化学会第 61 回討論会、岡山、2011 年 9/17-19
 21. 石田夕加里(名古屋大学), 河野慎一郎(名古屋大学), 田中健太郎(名古屋大学)
“液晶中でのナノチャネルの構築を目指したサルフェン-カルバゾールからなるディスク状大環状金属錯体の合成”
錯体化学会第 61 回討論会、岡山、2011 年 9/17-19
 22. 江口美陽(京都大学), 近藤敏彰(京都大学), 小堀啓、三井大輔(京都大学)、益田秀樹(京都大学)、寺西利治(京都大学)
“金ナノ粒子の一次元配列におけるプラズモン伝播の観察”
2011 年光化学討論会、宮崎、2011 年 9/7
 23. 東康男(東京工業大学), Jinechong Xiao(ナンヤン大学), Qichun Zhang(ナンヤン大学), 真島豊(東京工業大学)
“有機半導体 DDBD を用いた n 型有機薄膜トランジスタにおける電子注入の変位電流観察”
第 72 回応用物理学学会学術講演会、山形、2011 年 8/30-9/2

24. Tomoo Nishino(名古屋大学), Yasuyuki Yamada(名古屋大学), and Kentaro Tanaka(名古屋大学)
 “Stacked Assembly of Macrocyclic Metal Complexes via Discrete Triplex Formation of Oligo-Urea”
 Nagoya University Global COE in Chemistry Establishment of COE for Elucidation and Design of Materials and Molecular Functions 4th Annual Symposium、名古屋、2011年6/16
25. 田中大介(筑波大学)、坂本雅典(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “平面多座配位型ポルフィリン保護金クラスターの構造解析と光物性”
 ナノ学会第9回大会、札幌、2011年6/2
26. 坂本雅典(筑波大学)、田中大介(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “ポルフィリン平面配位金クラスターにおける高速光電子移動”
 ナノ学会第9回大会、札幌、2011年6/2
27. 関根光(筑波大学)、板子典史(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “フタロシアニン保護金ナノ粒子の合成と光物性”
 第20回日本MRS学術シンポジウム、横浜、2010年12/22
28. 田中大介(筑波大学)、坂本雅典(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “微細ポルフィリン保護金ナノ粒子の合成と光学特性”
 第20回日本MRS学術シンポジウム、横浜、2010年12/22
29. 田中傑(東京工業大学)、柳内克昭(TDK)、真島豊(東京工業大学)
 “FM 変調磁気力顕微鏡による垂直磁気記録ヘッドの観察”
 第71回応用物理学会学術講演会、長崎、2010年9/14-17
30. 東康男(東京工業大学)、鈴木太陽(東京工業大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
 “ポルフィリン自己組織化単分子膜を用いたペンタセン TFT における接触抵抗の低減”
 第71回応用物理学会学術講演会、長崎、2010年9/14-17
31. 坂本雅典(筑波大学)、田中大介(筑波大学)、犬田陽子(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
 “ポルフィリン修飾金クラスターの光学特性”
 日本化学会第4回関東支部大会、つくば、2010年8/30
32. 鈴木敦仁(名古屋大学)、河野慎一郎(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
 “柔軟な機能的ナノ空間の構築を目指したジベンゾチオフェン-サレン架橋型大環状化合物の合成”
 日本化学会第90春年年会、大阪、2010年3/26-29
33. 平賀恒介(名古屋大学)、大河原悠介(名古屋大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
 “金属錯形成により蛍光強度のスイッチングが可能なポルフィリン化合物の合成”
 日本化学会第90春年年会、大阪、2010年3/26-29
34. 鈴木真理恵(名古屋大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
 “ペプチド二重鎖上にプログラムしたポルフィリンアレイ”
 日本化学会第90春年年会、大阪、2010年3/26-29
35. 吉野文博(名古屋大学)、山田泰之(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
 “ペプチドをテンプレートとした白金錯体アレイの構築”
 日本化学会第90春年年会、大阪、2010年3/26-29

36. 皆川慶嘉(東京工業大学)、加納伸也(東京工業大学)、東康男、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
“ π 共役系保護基を有するAu ナノ粒子を用いた二重トンネル接合の抵抗値”
第 57 回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010 年 3/17-20
37. 加納伸也(東京工業大学)、皆川慶嘉(東京工業大学)、東康男(東京工業大学)、田中大介(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)、真島豊(東京工業大学)
“走査型トンネル顕微鏡を用いたポルフィリン分子の電気的特性の観察”
第 57 回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2010 年 3/17-20
38. 板子典史(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
“平面多座配位型フタロシアニン誘導体保護金ナノ粒子の合成と光学特性”
第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム、横浜、2009 年 12/8
39. 河野慎一郎(名古屋大学)、田中健太郎(名古屋大学)
“ソフトなナノ化学空間構築のための大環状金属錯体の合成”
第三回物質科学フロンティアセミナー—ものづくりを基盤とする最先端科学:分子の設計、創造、そして解明—、名古屋大学、2009年11/30
40. Swapnil Patil(名古屋大学), Yasuyuki Yamada(名古屋大学), Kentaro Tanaka(名古屋大学)
“Synthesis of Redox-Active Self-Assembled Trimeric Flavin Bearing Peptide Nanotube”
第三回物質科学フロンティアセミナー—ものづくりを基盤とする最先端科学:分子の設計、創造、そして解明—、名古屋大学、2009年11/30
41. 板子典史(筑波大学)、金原正幸(筑波大学)、寺西利治(筑波大学)
“平面多座配位型フタロシアニン誘導体保護金ナノ粒子の合成と光学特性”
第 62 回コロイドおよび界面化学討論会、岡山、2009 年 9/19

ポスター 〈国際〉

1. Yoshiki Kobayashi (Tokyo Tech.), Eiki Aoyama (Tokyo Tech.), Makoto Kawamoto (Tokyo Tech.), Yoshiaki Shoji (Tokyo Tech.), Takanori Fukushima (Tokyo Tech.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Multistate switching of redox active unimolecular device based on electroless plated gold nanogap electrodes”
247th American Chemical Society National Meeting (Dallas US), (2014) 3/16-20.
2. Makoto Kawamoto (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Yoshiaki Shoji (Tokyo Tech.), Takanori Fukushima (Tokyo Tech.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Cyano-Anchored Triptycene Self-assembled Monolayer on Au(111) Surface”
KFJ International Conference on Organic Materials For Electronics and Photonics (KJF-ICOME2013), (Busan Korea), (2013)8/28-31
3. Daniel Hurtado S. (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Victor Serdio (Tokyo Tech.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Memory Operation in Electroless Gold Plated Nanogap Electrodes”
KFJ International Conference on Organic Materials For Electronics and Photonics (KJF-ICOME2013), (Busan Korea), (2013)8/28-31
4. Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Katsuhiko Fujita (Kyushu Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Surface Potential of Hyper-branched Polystyrene Protected Au Nanoparticles Measured by Kelvin Force Microscopy”
KFJ International Conference on Organic Materials For Electronics and Photonics (KJF-ICOME2013), (Busan Korea), (2013)8/28-31
5. Eiki Aoyama (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)

- “Inverter and 2-bit Analog-to-Digital Converter Operation by Chemically Assembled Single-Electron Transistors”
KJF International Conference on Organic Materials For Electronics and Photonics (KJF-ICOME2013), (Busan Korea), (2013)8/28-31
6. Victor Serdio (Tokyo Tech.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Electroless Gold Plating Processes for Fabrication of Uniform Nanogap Electrodes for Large Chip Areas”
KJF International Conference on Organic Materials For Electronics and Photonics (KJF-ICOME2013), (Busan Korea), (2013)8/28-31
 7. Victor M. Serdio (Tokyo Tech.), Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Electroless Gold Plating Processes for the Fabrication of Nanogap Electrodes”
The 7th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics(STAC7), (Yokohama Japan), (2013) 6/19-21
 8. Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Molecular Devices Consisting of [6,6]-Phenyl-C61-Butyric Acid Methyl Ester and Electroless Plated Au Nanogap Electrodes”
The 7th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics(STAC7), (Yokohama Japan), (2013) 6/19-21
 9. Yutaka Majima (Tokyo Tech.), Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), and Yasuo Azuma (Tokyo Tech.),
“Nanogap Separation Control on Electroless Gold Plated (EGP) Nanogap Electrodes for Molecular Devices”,
4th International Symposium on Emergence of Highly Elaborated π -Space and Its Function, (Hamamatsu, Japan), (2012) 11/13
 10. Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), Daniel E. Hurtado S. (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
“Nanogap Electrodes Towards Molecular Devices by Molecular Ruler Electroless Gold Plating (MoREP)”,
4th International Symposium on Emergence of Highly Elaborated π -Space and Its Function, (Hamamatsu, Japan), (2012) 11/13
 11. Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“2 nm Nanogap Electrodes by Molecular Ruler Electroless Gold Plating (MoREP) with Decamethonium Bromide”
KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF 2012), (Sendai, Japan), (2012) 8/29-9/1
 12. Daniel E. Hurtado S. (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
“Room Temperature Operating Solid-State Molecular Device by Using Porphyrin Derivatives” KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF 2012), (Sendai, Japan), (2012) 8/29-9/1
 13. Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Shuhei Takeshita (Tokyo Tech.), Daniel E. Hurtado S. (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Temperature Dependence in Molecular Ruler Electroless Gold Plating (MoREP) for Nanogap Electrodes”
KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF 2012), (Sendai, Japan), (2012) 8/29-9/1

14. Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Masanori Sakamoto (Kyoto Univ.), and Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
 “Strong Intersurface Interaction Between Au Cluster and Proximally-Positioned Porphyrin in Porphyrin Face-coordinated Au Cluster”
 International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters XVI, (Leuven, Belgium), (2012) 7/12
15. Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Masanori Sakamoto (Kyoto Univ.), and Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.)
 “Platonic Hexahedron Composed of Six Porphyrins and an Inscribed Au Cluster”
 1st International Symposium on Creation of Functional Materials, (Tsukuba, Japan), (2011) 12/17
16. Tomoo Nishino (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Discrete triplex of oligo-urea toward stacked nanochannel formation”
 Nagoya University Global COE International Symposium on Elucidation and Design of Materials and Molecular Functions and 7th and 8th Yoshimasa Hirata Memorial Lectures, (Nagoya, Japan), (2011) 11/28-30
17. Tomoo Nishino (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Stacked Assembly of Macrocyclic Metal Complexes via Discrete Multiplex Formation of Ligand-bearing Oligo-Urea”
 3rd Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC3), (New Delhi, India), (2011) 10/17-20
18. Kosuke Maeda (Tokyo Tech.), Norio Okabayashi (Tokyo Tech.), Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Kyoto Univ.), Toshiharu Teranishi (Kyoto Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
 “Statistical Analysis and Application of Single-electron Transistors by Using Gold Nanoparticle and Electroless Gold-Plated Nanogap Electrodes”,
 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2011), (Gyeongju, Korea), (2011) 9/15-18
19. Norio Okabayashi (Tokyo Tech.), Kosuke. Maeda (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
 “Single-Electron Transistor by Using Gold Nano Particle and Nano Gap Electrode”
 Joint conference of 5th international conference on science and technology for advanced ceramics and 2nd international conference on advanced materials development and integration of novel structured metallic and inorganic materials (STAC5-AMDI2), (Yokohama, Japan), (2011) 6/22-24
20. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Kosuke Maeda (Tokyo Tech.), Norio Okabayashi (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
 “Observation of Coulomb Blockade Behaviors Using Basic-Ligand Au Nanoparticles at Room Temperature”,
 Joint conference of 5th international conference on science and technology for advanced ceramics and 2nd international conference on advanced materials development and integration of novel structured metallic and inorganic materials (STAC5-AMDI2), (Yokohama, Japan), (2011) 6/22-24
21. Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Kosuke Maeda (Tokyo Tech.), Norio Okabayashi (Tokyo Tech.), Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), Mark R. Buitelaar (Univ. of Cambridge), Charles G. Smith (Univ. of Cambridge), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
 “Metal Bridge Structure with Air-Gap on Nanogap Au Electrodes for Nanodevices”,
 Joint conference of 5th international conference on science and technology for advanced

- ceramics and 2nd international conference on advanced materials development and integration of novel structured metallic and inorganic materials (STAC5-AMDI2), (Yokohama, Japan), (2011) 6/22-24
22. Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Masanori Sakamoto (Univ. of Tsukuba), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), and Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Synthesis and Optical Property of Small Au Nanoparticles Protected by Porphyrin Derivatives for Single Electron Device”
 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2010), (Honolulu, USA), (2010) 12/15-20
 23. Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Marie Suzuki (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Programmable Stacked Nanoarrays of Porphyrins and Phthalocyanines”
 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2010), (Honolulu, USA), (2010) 12/15-20
 24. Yutaka Majima (Tokyo Tech.), Daisuke Ogawa (Tokyo Tech.), Norio Okabayashi (Tokyo Tech.), Shunpei Hitosugi (Tohoku Univ.), Waka Nakanishi (Tohoku Univ.), and Hiroyuki Isobe (Tohoku Univ.)
 “Aligned Disilanyl Double-Pillared Bisanthracene on Alkanethiol Self-Assembled Monolayer observed by Molecular Resolution STM”
 2nd International Symposium on Emergence of Highly Elaborated π -Space and Its Function, (Kyoto, Japan), (2010) 11/13-14
 25. Atsushi Suzuki (Nagoya Univ.), Shin-ichiro Kawano (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Synthesis of Salen-Bridged Dibenzothiophene Macrocycle Directed Toward Functionalized Flexible Nano-Space”
 60th Anniversary Conference on Coordination Chemistry in Osaka, Japan (60CCCO), (Osaka, Japan), (2010) 9/28
 26. Masanori Sakamoto (Univ. of Tsukuba), Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), and Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Photochemical Properties of Porphyrin-coordinated Small Gold Nanoparticles”
 International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science (NCSS2010), (Makuhari, Japan), (2010) 9/20
 27. Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Masanori Sakamoto (Univ. of Tsukuba), and Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
 “Synthesis and Optical Properties of Small Au Nanoparticles Protected by Porphyrin Derivatives for Single Electron Transistor”
 International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science (NCSS2010), (Makuhari, Japan), (2010) 9/20
 28. Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Taiyo Suzuki (Tokyo Tech.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Contact Resistance Reduction at S/D Electrodes-Patacene Interface by Porphyrin Self-assembled Monolayers in Organic Thin-film Transistors”
 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEPE), (Fukuoka, Japan), (2010) 8/22-25
 29. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yoshihiro Minagawa (Tokyo Tech.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Electrical Characteristics of Porphyrin Derivative at Room Temperature by Scanning Tunneling Microscopy”
 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEPE), (Fukuoka, Japan), (2010) 8/22-25

30. Yoshihiro Minagawa (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “STM/STS Study of Chemically Synthesized Au Nanoparticles toward Room Temperature Single-Electron Transistors”
 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF), (Fukuoka, Japan), (2010) 8/22-25
31. Daisuke Ogawa (Tokyo Tech.), Masachika Iwamoto (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Eiji Tsurumaki (Osaka Univ.), Asuhiro Osuka (Osaka Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “STM/STS Measurements of Individual Tribenzosubporphine Derivative by Molecular Resolution STM”
 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEF), (Fukuoka, Japan), (2010) 8/22-25
32. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yoshihiro Minagawa (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Electrical characterization of porphyrin molecule by scanning tunneling microscopy”
 International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), (Tokyo, Japan), (2010) 6/4
33. Victor. M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Self-terminating electroless gold plating process for nanogap electrodes fabrication with 4 nm of separation”
 International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), (Tokyo, Japan), (2010) 6/4
34. Yoshihiro Minagawa (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Coulomb blockade phenomena at room temperature with π -conjugated ligand protected Au nanoparticles”
 International Symposium on Technology Evolution for Silicon Nano-Electronics (ISTESNE), (Tokyo, Japan), (2010) 6/4
35. Swapnil Patil (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Self-Assembly of a Trimeric Flavin-Bearing Peptide Nanotube through Complementary Hydrogen Bonding”
 Nagoya University Global COE-RCMS International Symposium on Organic Chemistry and 6th Yoshimasa Hirata Memorial Lecture, (Nagoya, Aichi), (2010) 1/12
36. Atsushi Suzuki (Nagoya Univ.), Shin-ichiro Kawano (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Synthesis of Dibenzothiophene Salen-Bridged Macrocyclic Directed Toward Functionalized Flexible Nano-Space”
 Nagoya University Global COE-RCMS International Symposium on Organic Chemistry and 6th Yoshimasa Hirata Memorial Lecture, (Nagoya, Aichi), (2010) 1/12
37. Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), and Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.)
 “Supramolecular Arraying of Porphyrin-Phthalocyanine Assemblies”
 Nagoya University Global COE-RCMS International Symposium on Organic Chemistry and 6th Yoshimasa Hirata Memorial Lecture, (Nagoya, Aichi), (2010) 1/12
38. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Dispersion of Tunneling Resistance in Room-temperature Double Barrier Tunneling

- Junctions by Bottom-up Processes.
2009 MRS Fall Meeting, (Boston, USA), (2009) 11/30-12/4
39. Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Self-terminating Electroless Gold Plating process for Nanogap Electrodes toward Room Temperature Operational Single-Electron Transistors”
2009 MRS Fall Meeting, (Boston, USA), (2009) 11/30-12/4
 40. Taro Muraki (Tokyo Tech.), Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara, (Univ. of Tsukuba) Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Coulomb Blockade at Room Temperature by Using Gold Nanoparticles and Electroless Gold Plated Nanogap Electrodes”
2009 MRS Fall Meeting, (Boston, USA), (2009) 11/30-12/4
 41. Hikaru Sekine (Univ. of Tsukuba), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), and Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
“Synthesis and Characterization of Phthalocyanine-protected Au Nanoparticles”
Symposium on Creation of Functional Materials 2009, (Tsukuba, Ibaraki), (2009) 12/3
 42. Daisuke Tanaka (Univ. of Tsukuba), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), and Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba)
“Synthesis of Small Gold Nanoparticles Protected by Thiolated Porphyrins”
Symposium on Creation of Functional Materials 2009, (Tsukuba, Ibaraki), (2009) 12/3
 43. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Shin-ichiro Kawano (Nagoya Univ.), Yusuke Takezawa (Univ. of Tokyo), Guido H. Clever (Ludwig-Maximilians Univ.), and Mitsuhiko Shionoya (Univ. of Tokyo)
“Programmable Assembly of Metal Complexes”
The 4th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-4), (Bangkok, Thailand), (2009) 11/29-12/3
 44. Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Taro Muraki (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Self-termination Process in Electroless Au Plating of Electrodes towards Nanogap based Single Electron Transistors”
G-COE PICE International Symposium on Silicon Nano Devices in 2030-Prospeccs by World’s Leading Scientists, (Tokyo, Japan), (2009) 10/13
 45. Yasuo Azuma (Tokyo Tech.), Yuhsuke Yasutake (Univ. of Tokyo), Keiji Kono (Tokyo Tech.), Xinheng Li (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), Simon Chorley (Univ. of Cambridge), Charles Smith (Univ. of Cambridge), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
“Single-electron transistors by stable chemisorbed Au nanoparticles”
G-COE PICE International Symposium on Silicon Nano Devices in 2030-Prospeccs by World’s Leading Scientists, (Tokyo, Japan), (2009) 10/13
 46. Kentaro Tanaka (Nagoya Univ.), Yasuyuki Yamada (Nagoya Univ.), Shin-ichiro Kawano (Nagoya Univ.), Yusuke Takezawa (Univ. of Tokyo), Guido H. Clever (Ludwig-Maximilians Univ.), and Mitsuhiko Shionoya (Univ. of Tokyo)
“Programmable Self-Assembly of Metal Ccomplexes”
The 8th Japan-France Workshop on Nanomaterials, (Tsukuba, Ibaraki), (2009) 6/15-17

47. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Norihiro Kobayashi (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.),
 “Coulomb Blockade on Au Nanoparticle toward Room Temperature Operation of Single Electron Transistor”
 Fifth International conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE5), (Miyazaki, Japan), (2009) 3/15-18
48. Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba),
 “Unique Optical and Electronic Properties of Macrocyclic π -conjugated Ligand-Protected Gold Nanoparticles”
 Hybrid Materials 2009, (Tours, France), (2009) 3/16
49. Victor M. Serdio V. (Tokyo Tech.), Seiichi Suzuki (Tokyo Tech.), Hiroyuki Fukuno (Tokyo Tech.), Shinya Kano (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Observation of Coulomb Staircase Using Au Cluster and Electroless Gold Plated Nanogap Electrodes at Room Temperature”
 Korea-Japan Joint Forum 2008 (KJF2008), (Chitose, Hokkaido), (2008) 10/22-25
50. Shinya Kano (Tokyo Tech.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Coulomb Blockade in Au-Nanoclusters at Room Temperature”
 Korea-Japan Joint Forum 2008 (KJF2008), (Chitose, Hokkaido), (2008) 10/22-25
51. Norihiro Kobayashi (Tokyo Tech.) Yasuo Azuma (Osaka Univ.), Masayuki Kanehara (Univ. of Tsukuba), Toshiharu Teranishi (Univ. of Tsukuba), Simon Chorley (Univ. of Cambridge), Jonathan Prance (Univ. of Cambridge), Charles G. Smith (Univ. of Cambridge), and Yutaka Majima (Tokyo Tech.)
 “Nanomechanical Coulomb Blockade Shuttle through a Chemically Absorbed Au Nanodot”
 Korea-Japan Joint Forum 2008 (KJF2008), (Chitose, Hokkaido), (2008) 10/22-25

(4)知財出願

国内出願 (8 件)

(5)受賞・報道等

①受賞

1. KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2013) Poster Presentation Award
 Victor Serdio, Yutaka Majima,
 “Electroless Gold Plating Processes for Fabrication of Uniform Nanogap Electrodes for Large Chip Areas”
 2013 年 8 月 30 日
2. KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2012) Poster Presentation Award
 Shuhei Takeshita, Victor M. Serdio V., Toshiharu Teranishi, Yutaka Majima
 “2 nm Nanogap Electrodes by Molecular Ruler Electroless Gold Plating (MoREP) with Decamethonium Bromide”
 2012 年 8 月 31 日
3. 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム奨励賞
 田中大介
 “Platonic Hexahedron Composed of Six Organic Faces with an Inscribed Au Cluster”
 2012 年 1 月 11 日
4. G-COE PICE Excellent Student Award
 Victor Serdio
 2011 年 10 月 3 日

5. 電気・電子情報学術振興財団植之原留学生奨励賞
Victor Serdio
2011年5月11日
6. KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2010) Poster Presentation Award
Shinya Kano, Yoshihiro Minagawa, Yasuyuki Yamada, Kentaro Tanaka, and Yutaka Majima
“Electrical Characteristics of Porphyrin Derivative at Room Temperature by Scanning Tunnelling Microscopy”
2010年8月22日
7. 工学教育賞文部科学大臣賞
真島豊
「一般公開向けと学内向けオープンコースウェアの統合ウェブシステムの開発と教育サービスの多面的提供」
2010年8月20日
8. KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2009) Poster Presentation Award
Seiichi Suzuki, Taiyou Suzuki, Adhitya Bhaswara, and Yutaka Majima
“Charge injection dynamics and transfer properties in bottom-contact organic thin-film transistors by displacement current measurements(DCM)”
2009年8月25日
9. KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2009) Poster Presentation Award
Victor M. Serdio V., Seiichi Suzuki, Shinya Kano, Taro Muraki, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima
“Study of the Self-termination Process in Electroless Gold Plating of Electrodes towards Nanogap based Single Electron Transistors”
2009年8月25日
10. Fifth International conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE5) young-scientist poster award
Shinya Kano, Norihiro Kobayashi, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi, and Yutaka Majima
“Coulomb Blockade on Au Nanoparticle toward Room Temperature Operation of Single Electron Transistor”
2009年3月17日
11. 東工大教育賞最優秀賞
真島豊
2009年2月19日
12. Korea-Japan Joint Forum 2008 (KJF2008) Poster Award、
Victor M. Serdio V., Seiichi Suzuki, Hiroyuki Fukuno, Shinya Kano, Masayuki Kanehara, Toshiharu Teranishi and Yutaka Majima
“Observation of Coulomb Staircase Using Au Cluster and Electroless Gold Plated Nanogap Electrodes at Room Temperature”
2008年10月23日

②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. マイナビニュース、「東工大と京大、分子から分子への共鳴トンネル現象を確認」
2013年9月18日(<http://news.mynavi.jp/news/2013/09/18/033/index.html>)
分子から分子への共鳴トンネル現象を世界で初めて確認した。走査型トンネル顕微鏡を用いて、STM 探針に分子が付着していない状態と付着している状態を判別し、基板上の分子から STM 探針に付着している分子へのトンネル過程が共鳴トンネル現象により説明できることを明らかにした。この成果は分子間共鳴トンネルダイオードを発

信器などへ応用する道を開くものである。

用いた分子はサブポルフィリンと呼ばれる三角形構造のコンパクトな π 共役系分子であり、最高非占有軌道(HOMO)と HOMO-1 のそれぞれのエネルギー準位が孤立している。これにより、HOMO と HOMO-1 の 2つの軌道に対応した 2つの負性微分抵抗現象を観察した。

この成果は、半導体量子井戸構造の量子化準位を利用してきた共鳴トンネルダイオードが、分子軌道のエネルギー準位を用いても実現できることを示唆している。分子構造には一意性があることから、分子構造ならびに素子構造を最適化することにより素子特性の安定性を向上することが期待できる。

この研究は、サブポルフィリンを京大で合成し、分子間共鳴トンネルダイオード特性を東工大が確認した。米国の科学誌「ジャーナルオブアメリカンケミカルソサイエティ」2013年9月号に掲載された。

2. マイナビニュース、「東工大、単電子トランジスタを化学的手法で製作- 6種類の論理演算を実証」

2012年3月6日(<http://news.mynavi.jp/news/2012/03/06/070/>)

化学的にトランジスタの構成要素を組み上げていくボトムアップ技術を用い、電子1個でスイッチングする数ナノメートル (nm、1 nm は 10 億分の 1 m) サイズの単電子トランジスタの製作に成功した。さらに、このトランジスタ1個で排他的論理和 (XOR) など6種類すべての論理演算ができることを実証した。微細化に伴う現在の半導体製造技術や素子性能の限界を突破する成果として注目される。

素子が 10nm サイズになると、現在の露光技術を利用して基板を加工するトップダウンの製造技術には限界があり、また金属酸化膜半導体 (MOS) 構造は微細化に伴って現れる量子力学的効果による性能面の問題の解決が困難とみられている。

この成果は2月29日発行の米国化学会「ACS Nano」に掲載された。

③その他

1. Nature Nanotechnology, Research Highlights “SINGLE-ELECTRON TRANSISTORS: Logic with chemistry”doi:10.1038/nnano.2012.58, Published online 05 April 2012

単一電子トランジスタ (SET) は、単一の電荷の動きを正確に制御できるデバイスで、消費電力が少なく小型化できるため、ナノエレクトロニクスに利用できる可能性がある。ボトムアップ手法によって、大きさが 10 nm 未満の SET を実現できる。しかし、安定した機能デバイスを作るには、製造工程全体を細かく制御する必要がある。東京工業大学、筑波大学、京都大学、順天大学校 (韓国) の真島豊たちは今回、化学的な組み立て法を用いて、排他的論理和 (XOR) や否定排他的論理和 (XNOR) などの 2 入力論理ゲート動作を実行できる 2 ゲート SET を作製している。

(6)成果展開事例

- ①実用化に向けての展開
- ②社会還元的な展開活動

- 本研究成果をインターネット (URL: <http://www.msl.titech.ac.jp/~majima/>) で公開し、一般に情報提供している。

§ 6 研究期間中の活動

6. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2013年 10月18日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	京都大学	5人	研究進捗報告・検討のための ミーティング
2013年 9月6日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	名古屋大学	23人	堀池領域総括をお招きし、研 究の進捗を報告し、今後の研 究の進め方について議論を行 う研究会を開催した。
2013年 7月5日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	東京工業 大学	15人	研究進捗報告・検討のための ミーティング
2013年 2月28日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	京都大学	5人	研究進捗報告・検討のための ミーティング
2013年 1月18日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	名古屋大学	22人	堀池領域総括をお招きし、研 究の進捗を報告し、今後の研 究の進め方について議論を行 う研究会を開催した。
2012年 10月31日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	京都大学	6人	研究進捗報告・検討のための ミーティング
2012年 7月23日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	東京工業 大学	15人	堀池領域総括をお招きし、研 究の進捗を報告し、今後の研 究の進め方について議論を行 う研究会を開催した。
2012年 5月10日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	京都大学	6人	研究進捗報告・検討のための ミーティング
2012年 2月23日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	東京工業 大学	10人	研究進捗報告・検討のための ミーティング
2011年 11月1日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究打合せ(非公 開)	京都大学	3人	研究進捗報告・検討のための グループ長ミーティング
2011年 10月7日	アウトリーチ講演会	田町キャン パスイノー ベーションセンタ ー	65人	東工大の一般公開講演
2011年 5月31日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	東京工業 大学	15人	堀池領域総括をお招きし、研 究の進捗を報告し、今後の研 究の進め方について議論を行 う研究会を開催した。
2011年 1月17日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	東京工業 大学	15人	研究進捗報告のためのミーテ ィング
2010年 9月28日	International Symposium as a part of 60CCCO "Coordination Programming Directed toward Molecular-Based Electronic Devices"	大阪国際交 流センター	30人	内外5人の分子デバイスの先 端研究者を講師に招き、シン ポジウムを開催

2010年 8月4日	ボトムアップ RT-SET CREST 研究会(非公開)	東京駅八重 洲ビジネス センター	3人	本研究の現状、研究の方向性 について議論した。
2009年 7月8日	第2回ボトムアップ RT-SET CREST 研究会	名古屋大学	18人	堀池領域総括をお招きし、 CREST チーム全体のミーテ ィングを行い、本研究の現状、 研究の方向性について議論し た。 講演者は、金原助教(寺西チ ーム)、山田助教(田中チ ーム)、東特任助教(真島チ ーム)であり、堀池領域総括から 総評を頂いた。
2009年 1月26日	第1回ボトムアップ RT-SET CREST 研究会	東京工業 大学	18人	堀池領域総括をお招きし、 CREST チーム全体のキックオ フミーティングを行い、本研 究の目的、現状、研究の方向性 について議論した。 講演者は、金原助教(寺西チ ーム)、山田助教(田中チ ーム)、真島研究代表であり、堀 池領域総括から総評を頂いた。

§ 7 最後に

無電解金メッキによるナノギャップ電極作製プロセスの原理解明と収率の向上については、当初の目標を超え、96%の収率で 5nm 以下のギャップ長を得られるまでに進歩した。また、本研究にて新たに提案した、界面活性剤を含むメッキ液を用いる分子定規無電解金メッキは、アルキル鎖長によりナノギャップ電極のギャップ長を制御することに成功し、最小で平均 1.6nm のギャップ長を有するナノギャップ電極を作製することに成功した（特許国内 2 件、海外 3 件出願）。このギャップ長 1.6nm は、単電子トランジスタの常温動作に必要なコア粒径 2 nm 以下を満たすものであり、メモリ動作等を示す機能性分子の大きさとも一致するため、数 nm スケールのデバイスを作製する上でのプラットフォームにもなるものである。無電解金メッキのプロセス探求は、試行錯誤の連続であり、ノウハウを豊富に含むため、本研究では無電解メッキ技術の継承に留意した。ナノギャップ電極については、研究者や企業から引き合いが多く、ナノギャップ電極を共同研究先に供給することも進めている。

ナノギャップ電極を供給した共同研究の成果としては、産総研のナノギャップ電極メモリ動作の論文が既があり、既存のエレクトロマイグレーション法で作製したナノギャップ電極よりも動作電圧が低いことを実証している（原著論文 12）。ナノギャップ電極は、本研究を支える根幹であるが、収率を目標以上とし、極めて小さなギャップ長を実現したことから、達成度は非常に高いと自負している。

ナノ粒子の合成に関しては、単電子トランジスタの単電子島として要求される、粒径、粒径分散、配位子のトンネル抵抗、自己組織化によるギャップ間への化学吸着という観点により、多種多様なナノ粒子を合成した。機能性配位子としては、ポルフィリン系とオリゴフェニルエチニレン系を導入した。ポルフィリン系では特異的な STM 単一ナノ粒子メモリ動作を確認した（原著論文 23）。STM/STS によるナノ粒子の単電子島としての評価結果と、ナノ粒子をナノギャップ電極間に導入した単電子トランジスタのデバイスパラメータは、1 対 1 の対応関係があり、STM/STS によりナノ粒子のスクリーニングができることを示したことも大きな成果であり、達成度は高い。

分子ワイヤーの合成に関しては、ポルフィリン常温単一分子メモリ動作を発見し、ナノギャップ間に導入したデバイスにおいても分子メモリ動作を確認している。2 量体までの合成には成功しており、今後大きく研究が進展することが期待される。

単電子トランジスタの構築については、ナノギャップ電極とナノ粒子を組み合わせた単電子トランジスタが極めて安定に動作することを明らかにし（原著論文 21）、常温動作を実現する上でばらつきを制御する必要がある帯電エネルギーを 10% のばらつきに抑えることに成功し、2 入力の論理演算を 1 つの単電子トランジスタで実現し（原著論文 19、Nature Nanotechnology のリサーチハイライト）、単電子トランジスタ回路を実現する上で必須となる絶縁体のパッシベーションに成功し、（原著論文 2）、さらには 3 入力の論理演算回路の実現にも成功している（投稿準備中）。1 つの単電子トランジスタによる 3 入力の論理演算回路の実現は世界初である。また、複数の単電子トランジスタによるインバータ回路の動作も実現した。常温動作に向けては、クーロンステアケースおよびクーロンオシレーションの動作は常温動作を達成した（投稿準備中）、ただし、クーロンダイヤモンドの観察は 200K までである。常温動作という点では、未達の部分があるものの、安定動作、ばらつきの制御、パッシベーションの実現、3 ゲート論理回路の実現という観点で、総合的な達成度は非常に高いと考える。

今後の研究の展開としては、無電解金メッキによるナノギャップ電極は、我々のオリジナル技術であるため、供給も含めて共同研究を積極的に進めることにより、ナノデバイスの研究領域を発展させて行きたい。また、常温動作単電子トランジスタによる回路動作は必ず実現すると共に、分子メモリデバイスの実用化に向けた研究を企業との共同

研究により進め、本研究の成果を社会に還元することを目指す。

研究代表者としてのプロジェクト運営としては、ほぼ同世代の3名の研究者がグループ代表となり、化学系と物理・電子系が完全に融合し、目標達成に向けて緊密に連携してプロジェクトを強力に推進できたという自負がある。このような、すばらしいチームを組めたことに対して、グループ代表の寺西先生、田中先生には感謝したい。研究費の用途については、研究を推進するに当たって必須となる設備品を導入させて頂き、消耗品、人件費等を有効に使わせて頂くことができたと考えている。

